

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEŞİTLİ HAFİF AGREGALARLA ÜRETİLEN HARÇLARIN FİZİKSEL,
MEKANİK VE DURABİLİTE ÖZELLİKLERİ**

Binyamin NEVRUZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

2016

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEŞİTLİ HAFİF AGREGALARLA ÜRETİLEN HARÇLARIN FİZİKSEL,
MEKANİK VE DURABİLİTE ÖZELLİKLERİ**

Binyamin NEVRUZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**(Bu tez Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü Birimi
tarafından FYL-2014-61 nolu proje ile desteklenmiştir.)**

2016

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEŞİTLİ HAFİF AGREGALARLA ÜRETİLEN HARÇLARIN FİZİKSEL,
MEKANİK VE DURABİLİTE ÖZELLİKLERİ**

Binyamin NEVRUZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez 26/07/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir

Doç. Dr. Niyazi Uğur KOÇKAL

Doç. Dr. Erdem ÇAMURLU

Doç. Dr. Turhan BİLİR

ÖZET

ÇEŞİTLİ HAFİF AGREGALARLA ÜRETİLEN HARÇLARIN FİZİKSEL, MEKANİK VE DURABİLİTE ÖZELLİKLERİ

Binyamin NEVRUZ

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği
Danışman: Doç. Dr. Niyazi Uğur KOÇKAL
Temmuz 2016, 77 sayfa

Günümüzde çimento bağlayıcılı malzemeler inşaat sektörünün yaygın olarak çoğu faaliyet alanında kullanılmaktadır. Dolayısıyla farklı alanlarda kullanılabilme kapasitesine sahip bu malzemeler gereklilikler dahilinde farklı özellikleri de içermek durumundadır. Yalıtım ve nakliye gibi özelliklerde olumlu etki gösteren hafif yapı elemanlarının üretilmesi için kullanılan hafif agregalı çimento bağlayıcılı malzemeler de bahsi geçen gereklilik dahilinde üretilen ve geliştirilen ürünler arasında yer almaktadır.

Bu kapsamda değişik yörelerden temin edilen pomza agregaları kırma kumla %100 yer değiştirilerek harç numuneleri üretilmiştir. Bu üretilen numunelerin tayin edilen özellikleri hem kendi aralarında hem de kırma kumla yapılan numuneler ile karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmalar neticesinde elden edilen taze hal özelliklerinin yanında sertleşmiş haldeki fiziksel, mekanik ve durabilite özelliklerinin nedenleri mikroyapı incelemeleri ile de desteklenmeye çalışılmıştır.

ANAHTAR KELİMELELER: Pomza, hafif agregalı, harç, durabilite, mekanik, fiziksel

JÜRİ: Doç. Dr. Niyazi Uğur KOÇKAL (Danışman)

Doç. Dr. Erdem ÇAMURLU

Doç. Dr. Turhan BİLİR

ABSTRACT

PHYSICAL, MECHANICAL AND DURABILITY PROPERTIES OF MORTARS PRODUCED WITH DIFFERENT LIGHTWEIGHT AGGREGATES

Binyamin NEVRUZ

MSc Thesis in Civil Engineering

Supervisor: Doç. Dr. Niyazi Uğur KOÇKAL

Temmuz 2016, 77 pages

Today, cement building materials are used in operating activities widely the construction sector . However, these materials are capable of use in various fields has to include different characteristics within the requirements. Insulation transport features such as the production of lightweight construction materials in mortal showing effect for lightweight aggregate used in cement building materials betting is located between products produced within the last requirement we have developed.

In this context, various pumice aggregate are obtained from 100% crushed sand areas where changing the mortar samples were produced . designated properties of these samples produced were compared with each other , both specimens were crushed sand . Experimental studies in addition to the fresh state properties as a result of getting physically hardened state, has been supported with reasons for microstructure analysis of the mechanical properties and durability.

KEYWORDS: Pumice, lightweight aggregate, mortar, durability, mechanical, physical

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Niyazi Uğur KOÇKAL (Supervisor)
Assoc. Prof. Dr Erdem ÇAMURLU
Assoc. Prof. Dr. Turhan BİLİR

ÖNSÖZ

Tez konunun belirlenmesinde ve çalışmalarımın yürütülmesi sırasında, beni değerli bilgi ve birikimleriyle yönlendiren ve her konuda bana destek olan sayın hocam Doç. Dr. Niyazi Uğur KOÇKAL'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımda bana yardımcı olan ve maddi manevi desteklerini esirgemeyen değerli annem Nezahat Kırhan'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2.KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI.....	2
2.1. Çimento Bağlayıcı Malzemelerin Sınıflandırılması	2
2.1.1. Çimento bağlayıcı malzemelerin BHA'larına göre sınıflandırılması	2
2.1.2. Hafif çimento bağlayıcı malzemeler	2
2.1.2.1. Hafif çimento bağlayıcı malzemelerin sınıflandırılması	3
2.1.2.2. Hafif ÇBM'lerin bileşenleri ve üretim teknikleri	4
2.1.2.3. Hafif ÇBM'ler üretiminde kullanılan hafif agregalar	5
2.1.2.4 Hafif ÇBM'lerde boşluk oluşumu ve taşıyıcılık	9
2.1.3. Pomza agregasının ÇBM'lerde mühendislik özelliklerine etkisi.....	9
2.1.3.1 Pomza agregalı ÇBM'lerin fiziksel özellikleri	10
2.1.3.2. Pomza agregalı ÇBM'lerin mekanik özellikleri	13
2.1.3.3. Pomza agregalı ÇBM'lerin durabilite özellikleri.....	14
3. MATERYAL VE METOT	18
3.1. Çimento Bağlayıcı Malzemeleri Bileşenleri.....	18
3.1.1. Çimento.....	18
3.1.2. Karışım suyu	18
3.1.3. Pomza agregaları.....	18
3.1.3.1. Bileşenlerin kimyasal kompozisyonları ve minerolojik yapısı	19
3.1.3.2. Agregaların tane boyut dağılımı	20
3.1.3.3. Bileşenlerin fiziksel özellikleri	20
3.2. Çimento Bağlayıcı Malzemelerin Hazırlanışı.....	22
3.2.1 Çimento bağlayıcı karışım oranları ve taze hal deneyleri.....	22
3.2.2 Taze hal karışımlarının kalıplara dökülmesi.....	23
3.2.3 Sertleşmiş çimento bağlayıcı malzeme deneyleri.....	23
3.2.3.1. Fiziksel deneyler	24
3.2.3.2 Sertleşmiş ÇBM üzerinde mekanik deneyler.....	25

3.2.3.3. Sertleşmiş çimento bağlayıcılı malzeme üzerinde durabilite deneyleri	29
4. BULGULAR	31
4.1. Çimento Bağlayıcılı Malzemenin Kimyasal ve Fiziksel Deney Sonuçları	31
4.1.1. Çimento bağlayıcılı malzeme bileşenlerinin kimyasal özellikleri	31
4.1.2. Fiziksel deney sonuçları ve taze hal deney sonuçları	38
4.1.2.1. Agregada ve sertleşmiş harcın fiziksel deney sonuçları	38
4.1.2.2. Taze hal deney sonuçları	41
4.2. Çimento bağlayıcılı malzemenin mekanik ve durabilite deney sonuçları	42
4.2.1. Eğilme deneyleri	42
4.2.2. Yarmada çekme dayanımı	42
4.2.3. Basınç dayanımları	43
4.2.4. Kılcal geçirimsizlik tayini	43
5. TARTIŞMA	48
5.1. Harç Üretiminde Kullanılan Agregada Özelliklerinin Değerlendirilmesi	48
5.1.1. Agregaların kimyasal özelliklerinin değerlendirilmesi	48
5.1.2. Agregaların su emme kapasitelerinin değerlendirilmesi	49
5.1.3. Agregaların özgül ağırlıklarının değerlendirilmesi	50
5.1.4. Agregaların tane boyut dağılımı değerlendirilmesi	50
5.2. Taze Hal Üzerinde Yapılan Deneylerin Değerlendirilmesi	50
5.3. Sertleşmiş Çimento Bağlayıcılı Malzeme Üzerinde Yapılan Deneylerin	51
5.3.1. Kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) jellerinin boşlukları doldurması	51
5.3.1.1. Birim hacim ağırlıklarının değerlendirilmesi	51
5.3.1.2. Kür süresinde porozite azalmalarının değerlendirilmesi	52
5.3.1.3. Kür süresinde kılcal geçirimsizlik değerlendirilmesi	53
5.3.2. Mekanik deney sonuçlarının değerlendirilmesi	54
5.3.2.1. Yarmada çekme dayanımı	54
5.3.2.2. Eğilmede çekme dayanımı	56
5.3.2.3. Basınç dayanımı	57
5.3.3. Durabilite deney sonuçlarının değerlendirilmesi	59
6. SONUÇ	70
7. KAYNAKLAR	72
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

σ_e : Eğilme dayanımı

σ_b : Basınç dayanımı

f_{ct} : Yarma da çekme dayanımı

Kısaltmalar

BHA Birim hacim ağırlık

ÇBM Çimento bağlayıcı malzemeler

D-Ç Donma Çözünme

A Aksaray pomza agregası

I Isparta pomza agregası

M Manisa pomza agregası

K Normal agrega (Kırma Kum)

SDKY Suya doymun kuru yüzey

SEM Scanning electron microscope Taramalı elektron mikroskobu

XRF X-ray fluorescence X-Işınlı Floresans Spektrofotometrisi

XRD X-Ray Diffraction X-Işımlar Difraktometresi

C-S-H Kalsiyum Silikat Hidrat

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Hafif ÇBM'lerin sınıflandırılması	7
Şekil 2.2. Pomza agregası genel görünümü	8
Şekil 2.3. Pomza agregası ile üretilen hafif ÇBM'lerde basınç dayanım ilişkisi.....	13
Şekil 2.4. Beton içerisinde kılcal boşlukların bağımsız boşluklara bağlanması	15
Şekil 3.1 Tez kapsamında kullanılan agregalar.....	19
Şekil 3.2. Isıtıcı plaka cihazı ile 60 °c de agregayı sdyk hale getirme	21
Şekil 3.3. Taze halde ki karışımın yayılma tablası deneyi	23
Şekil 3.4 Sertleşmiş ÇBM'de özgül ağırlık deney düzeneği	24
Şekil 3.5. Kılcal geçirimsizlik tayini	25
Şekil 3.6. Eğilme deneyi şeması (Akçaözoğlu 2008)	26
Şekil 3.7. Basınç dayanım tayini (Akçaözoğlu 2008).....	27
Şekil 3.8. Yarmada çekme dayanım tayini ve kırılan numuneler	28
Şekil 3.9. Donma çözünme deneylerinin yapıldığı düzenek.....	29
Şekil 3.10. Zamana göre fırının 400 °c'ye çıkma ivme grafiği	30
Şekil 3.11. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılma.....	30
Şekil 4.1. Çalışmada kullanılan çimentonun xrd verileri.....	31
Şekil 4.2. Çalışmada kullanılan aksaray agregasının xrd verileri	32
Şekil 4.3. Çalışmada kullanılan ısparta agregasının xrd verileri.....	33
Şekil 4.4. Çalışmada kullanılan manisa agregasının xrd verileri.....	33
Şekil 4.5. Manisa pomza agregalı numunenin agrega kısmından alınan sem/eds görüntüsü ve grafiği	34
Şekil 4.6. Aksaray pomza agregalı numunenin agrega kısmından alınan sem/eds görüntüsü.....	35
Şekil 4.7. Isparta pomza agregalı numunenin agrega kısmından alınan sem/eds görüntüsü.....	36
Şekil 4.8. Geleneksel agrega içeren numunenin agrega kısmından alınan sem/eds	37
Şekil 4.9. Yüzde geçen miktarlarına göre agregaların tane boyut dağılımı eğrileri	39
Şekil 4.11. Manisa pomza agregalı numunenin çimento kısmından alınan sem/eds	44
Şekil 4.12. Aksaray pomza agregalı numunenin çimento kısmından alınan sem/eds	45
Şekil 4.13. Isparta pomza agregalı numunenin çimento kısmından alınan sem/eds.....	46
Şekil 4.14. Geleneksel agregalı numunenin çimento kısmından alınan sem/eds.....	47
Şekil 5.1. Xrf deney sonuçlarına göre agregalardaki kimyasal bileşikler.....	48
Şekil 5.2. Bha'larda yüzdesel artış	51
Şekil 5.3. A, b, c, d değerlerin 28 ve 90 günlük yüzdesel artış azalış değerleri.....	52
Şekil 5.4. Kılcal geçirimsizlikte olan 90 günlük numunelerde yüzdesel azalma	53
Şekil 5.5. Yarmada çekme dayanımında 90 günlük yüzde artış değerleri	55
Şekil 5.6. Eğilmede çekme dayanımında 90 günlük olan yüzdesel değişim	57
Şekil 5.7. Basınç dayanımında 90 günlük olan basınç dayanımında yüzdesel artışlar ...	58
Şekil 5.8. 30 çevrim D-Ç' ye maruz kalan numunelerin 28 günlük normal numunelere göre yüzdesel dayanım kayıpları	60
Şekil 5.9. Normal agregalı 28 günlük 30 çevrime maruz kalmış numunelerin.....	61
Şekil 5.10. D-Ç'ye maruz kalan numunelerin 90 günlük normal numunelere göre	63
Şekil 5.11. 90 dakika 400 °C'ye maruz kalan numunelerin 28 günlük normal	64

Şekil 5.12. 90 dakika 400 °C'ye maruz kalan numunelerin 90 günlük normal numunelere göre yüzdesel olarak basınç dayanım kayıpları.	65
Şekil 5.13. D-Ç'ye maruz kalan numunelerin 28 günlük normal numunelere göre eğilme yüzdesel dayanım kayıpları.....	66
Şekil 5.14. D-Ç'ye maruz kalan numunelerin 90 günlük normal numunelere göre eğilme dayanımında yüzdesel olarak dayanım kayıpları	67
Şekil 5.15. 90 dakika 400 °C'ye maruz kalan numunelerin 28 günlük normal	68
Şekil 5.16. 90 dakika 400 °C'ye maruz kalan numunelerin 90 günlük normal	69

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Hafif ÇBM'lerin sınıflandırılması (taşdemir 2003).	3
Çizelge 2.2. İşlevlerine göre hafif betonların sınıflandırılması (taşdemir 2003).	4
Çizelge 2.3. Doğal ve yapay hafif agrega ile üretilen betonlar (kılınçkaya 2003).	11
Çizelge 2.4. Bazı hafif ÇBM'lerin su emme oranları (chandra ve berntsson 2002).	12
Çizelge 3.1. 1m ³ 'e göre kütlece karışım oranı.	22
Çizelge 4.1. Kullanılan çimentonun kimyasal kompozisyonu (xrf).	31
Çizelge 4.2. Kullanılan suyun kalite raporu mayıs 2014 asat su verileri.	32
Çizelge 4.3. ÇBM içinde kullanılan agregaların kimyasal kompozisyonu (xrf).	32
Çizelge 4.4. Kütlece elek açıklarından geçen agrega yüzdeleri	38
Çizelge 4.5. Agregaların su emme kapasiteleri de verilmiştir.	39
Çizelge 4.6. Agregaların gevşek ve sıkı bha' ları.	39
Çizelge 4.7. Balon joje ve le chatelier ile yapılan deneylerin ortalaması ile elden edilen özgül ağırlık sonuçları (gr/cm ³).	40
Çizelge 4.8. A, b, c, d hem 28 günlük hem de 90 günlük deney sonuçları verilmiştir. ..	40
Çizelge 4.9. Taze halde ki bha'ları ve yayılma tablasındaki kıvam sonuçları.	41
Çizelge 4.10. Taze harcın hava miktarı.	41
Çizelge 4.11. Eğilmede çekme dayanımı.	42
Çizelge 4.12. Yarmada çekme dayanımı sonuçları.	42
Çizelge 4.13. Basınç dayanım sonuçları.	43
Çizelge 4.14. Kılcal geçirimsizlik deneysel veri sonuçları.	43
Çizelge 5.1. Agregaların silica oranını göre sınıflandırılması (evan vd 1999).	48
Çizelge 5.2. Kullanılan agregalarının su emme değerleri.	49
Çizelge 5.3. Agregaların özgül ağırlıklarının değerlendirilmesi.	50
Çizelge 5.4. BHA'larda yüzdesel artış.	51
Çizelge 5.5. A, b, c, d 28 ve 90 günlük değerler.	52
Çizelge 5.6. Kılcal geçirimsizlikte olan yüzdesel azalma.	53
Çizelge 5.7. Yarmada çekme dayanımında yüzdesel artışlar.	54
Çizelge 5.8. Yarmada çekme dayanımı değerleri.	55
Çizelge 5.9. Numunelerin eğilme deneyleri yüzdesel değişimleri.	56
Çizelge 5.10. 90 günlük numunelerin yüzdesel artış miktarları.	57
Çizelge 5.11. D-Ç' ye maruz kalan numunelerin 28 günlük normal numunelere göre basınç dayanımında yüzdesel olarak dayanım kayıpları.	60
Çizelge 5.12. D-Ç' ye maruz kalan numunelerin 90 günlük normal numunelere göre yüzdesel olarak dayanım kayıpları.	62
Çizelge 5.13. 90 dakika 400 °C'ye maruz kalan numunelerin 28 günlük normal numunelere göre yüzdesel olarak dayanım kayıpları.	64
Çizelge 5.14. 90 dakika 400 °C'ye maruz kalan numunelerin 90 günlük normal numunelere göre yüzdesel olarak dayanım kayıpları.	65
Çizelge 5.15. D-Ç'ye maruz kalan numunelerin 28 günlük normal numunelere göre eğilme dayanımında yüzdesel olarak dayanım kayıpları.	66
Çizelge 5.16. D-Ç'ye maruz kalan numunelerin 90 günlük normal numunelere göre eğilme dayanımında yüzdesel olarak dayanım kayıpları.	67
Çizelge 5.17. 90 dakika 400 °C'ye maruz kalan numunelerin 28 günlük normal numunelere göre yüzdesel olarak eğilme dayanım kayıpları.	68
Çizelge 5.18. 90 dakika 400 °C'ye maruz kalan numunelerin 90 günlük normal numunelere göre yüzdesel olarak eğilme dayanım kayıpları.	69

1. GİRİŞ

Geleneksel çimento bağlayıcılı malzeme (ÇBM) üretiminde hacmin %70-80'ini agrega teşkil etmekte olup, diğer bileşenler ise su, çimento ve bunun yanında taze veya sertleşmiş ÇBM'nin farklı özelliklerini iyileştirmek amaçlı kullanılan mineral ve kimyasal katkılarıdır. Agregası, ÇBM'nin birçok özelliğinde etken olduğu gibi ağırlığında da önemli bir parametredir. Dünya genelinde ÇBM'ler ağırlıklarına göre sınıflandırıldıklarında ağır ÇBM, normal ÇBM ve hafif ÇBM olarak ayrılmaktadır.

Hafif ÇBM'ler avantajları dikkate alınarak birçok ülkede kullanım imkanı bulunmaktadır. Hafif agrega kullanılarak üretilen hafif ÇBM'ler öncelikle duvar elemanı olarak kullanılmıştır. Sonrasında diğer amaçlar içinde hafif ÇBM kullanılabilenliği düşünülerek, hafif ÇBM üretimi hızla artış göstermiştir (Akçaözoğlu 2008).

Hafif ÇBM üretiminin çeşitli yöntemleri vardır. Literatürde yapılan çalışmalarda agrega değiştirilmeden geleneksel ÇBM'de konvansiyonel agrega kullanılarak köpüklendirme yöntemi ile gazbeton gibi hafif ÇBM üretilirken, hiç konvansiyonel agrega kullanılmadan veya kullanılan agreganın hacimce belirli bir yüzdesi yer değiştirilerek, özgül ağırlığı konvansiyonel agregadan düşük atık pet (Akçaözoğlu 2008), pomza agregası, mısır koçanı (Jorge vd 2012), talaş (Coatanlem vd 2006), kauçuk (Lv vd 2015) tuğla kırığı, seramik kırığı (Aciu 2014), sinterlenmiş uçucu kül (KOÇKAL ve Özturan 2007) gibi agregalar kullanılarak hafif ÇBM üretimleri denemektedir.

Deprem anında yapıya gelen yükler yapının ağırlığı ile doğru orantılıdır. Yapı ne kadar hafif olursa, depremde daha az bir yükü zorlanacaktır. Bir yapının hafif olabilmesi için, dolgu ve bölme duvarlarının ve döşemelerin olabildiğince hafif malzemelerden yapılması gerekir (Bayülke 1998).

Pomza agregasının ülkemizde bilinen rezervleri 3 milyar m³'ü aşmaktadır (Çiftçi 2003). Hafif ÇBM'lerden ısı ve sesin az geçmesi bekleneneğinden bu tipte ki projelerin ülke ekonomisi açısından önem arz etmektedir. Bu projenin amacı yukarıda bahsedilenler ışığında değişik tip pomza agregalarının normal agregalarla %100 yer değiştirilerek ÇBM'ler üretmek ve bu üretilen malzemeler üzerinde taze ve sertleşmiş özellikleri (mekanik, fiziksel ve durabilite) tayin etmektir. Elde edilen özelliklerin sebepleri mikro yapısal minerolojik analizlerle araştırılmış ve birbirleri ile ilintili özellikler arasında korelatif bağıntılar oluşturarak karşılaştırılmaları yapılmıştır.

2.KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI

Betonu oluşturan hammaddeler çimento, su, ince agreg, iri agreg ve gerektiğinde kimyasal ve/veya mineral katkılarıdır. Betonda kullanılan bileşenler belirli standartlarda sınıflandırılmaktadır.

2.1. Çimento Bağlayıcı Malzemelerin Sınıflandırılması

ÇBM birçok özelliğine bağlı olarak belirli standartlarda sınıflandırılmaktadır. Dayanımın, ısı iletkenliğine, kalıcılığına (durabilitesine), yalıtım değerlerine, kıvamına, birim ağırlıklarına ve daha birçok fiziksel, kimyasal özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır.

2.1.1. Çimento bağlayıcı malzemelerin BHA'larına göre sınıflandırılması

Birim ağırlığına göre ÇBM'ler ağır ÇBM, normal ÇBM ve hafif ÇBM olarak 3 ana grupta sınıflandırılmaktadır.

Normal ÇBM; etüv kurusu durumda ki yoğunluğu 2000 kg/m^3 'ten büyük olup, 2600 kg/m^3 'ü geçmeyen ÇBM'dir, Hafif ÇBM; etüv kurusu durumda ki yoğunluğu 800 kg/m^3 ten büyük olup, 2000 kg/m^3 'ü geçmeyen, ağır ÇBM, etüv kurusu durumdaki birim hacim kütlesi (yoğunluğu), 2600 kg/m^3 'ten büyük olan ÇBM'dir (TS EN 206-1 2002).

Kullanım amaçlarına göre de yalıtım betonları ve taşıyıcı betonlar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Taşıyıcı hafif beton 28 günlük basınç dayanımı 15-17 MPa'dan yüksek ve hava kurusu birim ağırlığı 1850 kg/m^3 'ten az olan betondur. Yalıtım betonları ise yoğunluğu 800 kg/m^3 veya daha düşük olan betonlardır (ACI 213R 1987). Taşıyıcı hafif betonların yalıtım betonlarına göre birim ağırlıkları daha yüksek, ısı yalıtım özellikleri ise daha düşüktür.

2.1.2. Hafif çimento bağlayıcı malzemeler

ÇBM içerisinde çeşitli yollarla boşluklar oluşturularak ve birim hacim ağırlık (BHA) değeri klasik agregaya kıyasla daha düşük olan agregalar kullanılarak ÇBM'nin BHA'sı düşürülebilmektedir. Bu yollardan herhangi biri ile üretilen BHA'sı 2200 kg/m^3 ten düşük olan ÇBM'lere hafif ÇBM denilmektedir.

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. BHA değeri 800 kg/m^3 'ten fazla, 2200 kg/m^3 'den düşük olan betonlar hafif beton olarak adlandırılmaktadır (Tuğrul ve Sev 2015).

2.1.2.1. Hafif çimento bağlayıcılı malzemelerin sınıflandırılması

Hafif ÇBM'ler üretim tekniklerine göre, hafif agregalı ÇBM, gazbetonlar ve ince agregasız ÇBM olmak üzere üç grupta toplanmaktadır. Kullanım amaçlarına göre de yalıtım ÇBM'leri ve taşıyıcı ÇBM'ler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Taşıyıcı hafif ÇBM 28 günlük basınç dayanımı 15-17 MPa'dan yüksek ve hava kurusu birim ağırlığı 1850 kg/m^3 'ten az olan ÇBM'dir. Yalıtım ÇBM'leri ise yoğunluğu 800 kg/m^3 veya daha düşük olan ÇBM'lerdir. Taşıyıcı hafif ÇBM'lerin yalıtım ÇBM'lerine göre birim ağırlıkları daha yüksek, ısı yalıtım özellikleri ise daha düşüktür

Bir başka çalışmada ise hafif ÇBM'ler Çizelge 2.1'de verilen ÇBM tiplerine göre sınıflandırması yapılmıştır (Taşdemir 2003).

Çizelge 2.1. Hafif ÇBM'lerin sınıflandırılması (Taşdemir 2003)

Hafif Beton Sınıfı	Birim Ağırlık (kg/m^3)	Basınç Dayanım (MPa)
S1	800	1-7
S2	800-1200	7-10
S3	1000-1400	10-14
S4	1300-1800	14-25
S5	1500-1800	25-40
S6	1800-2000	40-70

Hafif ÇBM'lerin birim ağırlıkları geniş bir aralıkta değişmektedir. Bu ÇBM'lerin basınç dayanımlarını da göz önüne alarak Çizelge 2.1'deki gibi sınıflandırma yapılabilir. S1 sınıfındaki hafif betonlar esas olarak ısı yalıtımının sağlanmasında, kısmen de taşıyıcı olarak yararlanır. S2 ve S3 betonları orta yalıtımlı betonlar olup yalıtım özellikleri de vardır. S4, S5 ve S6 betonları ise taşıyıcı hafif betonlardır

Taşıyıcı olarak tasarlanamayan S1 ve S2 sınıfı hafif betonlar duvar malzemesi olarak kullanılarak yapının ağırlığı azaltılarak deprem yükleri azaltılmış olunur (Altun 2005).

Hafif ÇBM'ler sadece yoğunluk ve mukavemet değerlerine göre sınıflandırılmazlar. İşlevlerine bağlı olarak ta hafif ÇBM'lerin sınıflandırmaları mevcuttur.

Çizelge 2.2. İşlevlerine göre hafif betonların sınıflandırılması (Taşdemir 2003).

Sınıf	I	II	III
Hafif betonun türü	Taşıyıcı	Taşıyıcı ve yalıtım	Yalıtım
Fırın kurusu birim ağırlık (kg/m ³)	<2000	Koşul Konmamış	Koşul Konmamış
Basınç dayanımı (MPa)	>15,00	>3,5	>0,5
Isı iletim katsayısı (W/mK)	-	<0,75	<0,30

2.1.2.2. Hafif ÇBM'lerin bileşenleri ve üretim teknikleri

Hafif ÇBM üretiminin bileşenleri geleneksel ÇBM gibi su, çimento, agrega ve zorunlu olmamak üzere opsiyonel olarak kullanılan kimyasal katkıdır.

Hafif betonlar üretim tekniklerine göre, hafif agregalı beton, gazbeton ve ince agregasız beton olmak üzere üç grupta toplanmaktadır (Akçaözoğlu 2008).

Hafif betonlar aşağıdaki metotları uygulayarak üretilebilmektedir.(Uğur 2003);

- Hafif agrega kullanarak beton üretmek

- Kum kullanmadan yalnız iri agrega ile beton üretmek
- Köpüklü beton
- Gaz beton
- Muhtelif metotları aynı zamanda uygulayarak beton üretmek

Hafif ÇBM üretim yöntemleri çeşitli olup kullanılacak yapıya göre yöntem seçilmektedir. Hafif ÇBM üretiminde endüstriyel teknik değiştirilerek üretilen gazbeton örnekleri olduğu gibi, hafif agregalı ÇBM üretiminde geleneksel ÇBM üretiminde ki kullanılan konvansiyonel kum agregaları ile hacimce tamamen ya da belirli bir yüzdede yer değiştirilerek kullanılan pomza agregalarının çok fazla sayıda çeşidi bulunmaktadır. Farklı bölgelerden alınan bu pomza agregalarının kimyasal ve fiziksel özellikleri farklı olmaktadır. Bütün bu farklılar düşünüldüğünde nihai ÇBM'nin farklı özellikte olması beklenmektedir.

2.1.2.3. Hafif ÇBM'ler üretiminde kullanılan hafif agregalar

Geleneksel ÇBM ve hafif ÇBM üretiminde en önemli fark genel olarak kullanılan agreganın farklı olması ve/veya hava sürüklenmesidir. Bu agregalar doğal ve yapay olarak elde edilen agregadır.

Hafif agregalar ya doğal olarak bulunurlar ya da yapay yolla elde edilirler. Hafif ÇBM üretebilmek amacıyla kullanılan agregalar şunlardır (Çelik ve Gürdal 2005).

- Doğal hafif agregalar: Pomza agregası, volkanik tuf, volkanik curuf.
- Doğal malzemelerden üretilen yapay hafif agregalar: Genleştirilmiş kil, şist ve arduvaz.
- Endüstriyel atıklardan oluşan agregalar: Curuf, uçucu kül.
- Endüstriyel atıkların işlenmesiyle üretilen hafif agregalar: Genleştirilmiş curuf, kızdırılmış uçucu kül.
- Organik hafif agregalar: Hububat tanecikleri, ağaç parçacıkları.
- Polimer kökenli malzemeler: Styropor

Doğal olarak elde edilen agregalar sadece kırma ve eleme gibi mekanik işleme tabi tutularak saf halde kullanılmaktadır.

Pomza, volkanik faaliyetler neticesinde yüzeye çıkarak ani soğumasıyla ve volkanik tüflerin püskürmesiyle elde edilen agrega çeşididir.

Pomza, ağırlıklı olarak SiO₂'den oluşan amorf yapıda gözenekli volkanik bir kayaç olup sertliği 5–6 (Mohs) ve özgül ağırlığı 1–2 g/cm³ olan pomza, makro ve mikro boyutta gözenekli bir yapıya sahiptir. Gözenekler arası, genellikle bağlantısız ve mesafeli olduğundan geçirgenliği düşük, ısı ve ses yalıtım özelliği ise oldukça yüksektir. Bu üstün fiziksel özellikleri ile pomza, günümüzde birçok endüstride geniş kullanım alanına sahiptir (Yaşar ve Erdoğan 2001).

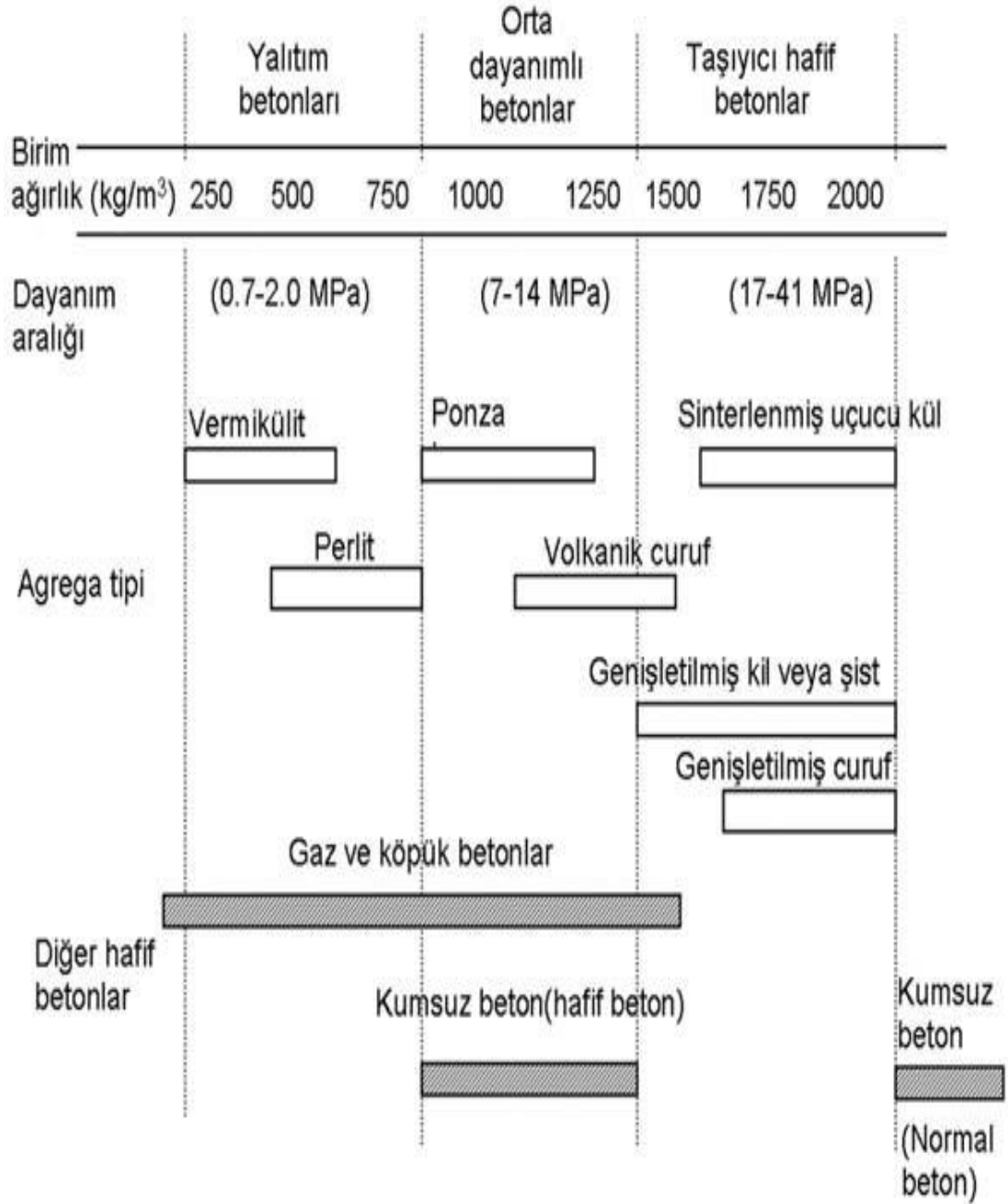
Yapay olarak elde edilen agregalarda 2 ana grupta toplanır. Doğal agregaların ısı işleme tabi tutulması sonrasında kullanılmasıyla (kil, kil taşı, şeyl gibi) veya endüstriyel atıkların ısı işleme tabi tutulması sonrasında kullanılırlar.

Bu agregalar kendi içerisinde kimyasal kompozisyon değerlerine göre asidik, bazik ayrıldığı gibi BHA olarak ta kendi içerisinde çeşitli gruplara ayrılmaktadır. Bu agregaların çeşitli fiziksel özellikleri Şekil 2.1. verilmiştir (Taşdemir 2003).

Hafif agregalı ÇBM'lerin ısı iletkenliğini daha düşük olma beklentisi olduğundan yüksek sıcaklığa maruz kaldığında normal ÇBM'ye göre daha avantajlı olduğu genel olarak bilinmektedir. Bazik pomza da iletkenlik kimyasal kompozisyonuna göre tersi davranış gösterebilmektedir.

Ülkemizde yapı endüstrisi açısından pomza, doğal, hafif ve gözenekliliği sebebiyle önemli bir malzeme haline gelmiştir. İnşaat sektöründe yapı elemanı olarak farklı formlardaki ürünleri, inşaatlarda blok şeklinde duvar dolgu elemanı olarak değerlendirilmesi gün geçtikçe artmaktadır. Pomza aynı zamanda fiziksel, kimyasal ve iç yapısı itibarıyla inşaat sektöründe kullanılan doğal hafif agrega sınıfına girmektedir. Pomza kayacı doğal hafif agrega olarak, fiziksel ve kimyasal özelliklerinde herhangi bir değişime maruz bırakılmaksızın, farklı tane boyutlarında serbest taneler halinde ısı yalıtım amaçlı bir malzeme olarak da kullanılabilir.

Günümüzde hafif agrega olarak değerlendirilen birçok malzeme bulunmaktadır. Bunların en başlıcaları; genişmiş kil agregalar, kömürden elde edilen cüruf agregalar, volkanik cüruf agregalar, tüf agregalar, diatomit agregalar, genişleştirilmiş perlit agregalar, vermikülit agregalar, pomza agregalar vb. birçok agrega türü sayılabilmektedir.



Şekil 2.1. Hafif ÇBM'lerin sınıflandırılması (Taşdemir 2003)

Pomza, volkanizma faaliyetleri sırasında ani soğuma ve gazların bünyeyi ani terk etmesi sonucu gözenekli bir yapıya sahip volkanik kökenli bir malzemedir. Gözenekli olmasından dolayı ısı ve ses yalıtımı özelliklerine sahiptir. Sünger görümlü, silikat esaslı, birim hacim ağırlığı genellikle 1 gr/cm³ ten küçük, camsı doku özelliği gösteren bir malzemedir.



Şekil 2.2. Pomza agregası genel görünümü

Genel olarak pomza agregaları kimyasal kompozisyonlarına göre iki ayrı grupta incelenmektedir. Asidik ve bazik pomza agregaları olarak asidik pomza agregaları daha fazla SiO_2 içinde barındıran pomza agregasıdır ve açık renklidir. Bazik pomza agregaları ise daha düşük SiO_2 içerir ve koyu renklidir.

Yapılan kimyasal analizlerde SiO_2 miktarı pomza agregasının bulunma miktarı % 50 dir. SiO_2 miktarı pomza agregasının ne derece asidik, bazik, ultra asidik veya ultra bazik olduğu hakkında bize bilgi vermektedir (Evan vd 1999).

Bazik pomza agregasında ise daha koyu bir renk vardır bu rengi verende metallerdir. Bazik pomzaya koyu rengini veren demirin paslanmasıdır. Bazik pomza agregalarında metal oranı daha yüksektir (Tapan vd 2012).

Yapılan çalışmalarda asidik ve bazik pomza agregalarında yapılan kimyasal analizleri neticesinde asidik pomza da ortalama bulunan bileşenler ile bazik pomza da bulunan bileşenler birbirinden farklı olmaktadır.

Asidik magma bazik magmaya nazaran daha viskozdur ve yüksek silis içerir. Bazik magmanın sıvı olduğu sıcaklıklarda asidik magma katkı halde bulunur (Özkan ve Twicer 2001).

2.1.2.4 Hafif çimento bağlayıcılı malzemelerde boşluk oluşumu ve taşıyıcılık

Hafif ÇBM üretiminin birçok yöntemi bulunmaktadır. Boşluk miktarı yüksek olan malzemelerin yalıtımda ideal bir malzeme olduğu bilinmektedir. Bu yöntemler içerisinde birim ağırlıkları ve ısı iletkenlikleri düşük olan ÇBM malzemelerinden çoğunlukla sinterlenmiş uçucu kül, pomza, diatomit ve volkanik kökenli tuf gibi doğal hafif agregalar veya yüksek fırın cürufu, genleştirilmiş perlit, gibi yapay hafif agregalar kullanılarak üretilen yalıtım amaçlı hafif ÇBM'ler olup, yük taşıma kapasiteleri yoktur. Yalıtım özelliklerinin yanında taşıyıcı ÇBM istenilen yerlerde genelde özgül ağırlığı 1 – 1,5 gr/cm³ olan pomza agregaları kullanarak hafif ÇBM üretilmektedir (Ünal vd 2007).

Normal betonun ağırlığı, karışım içerisinde kullanılan katı malzemenin bir kısmının hava ile yer değiştirmesi ya da bir başka ifadeyle, beton içerisinde bir miktar hava boşluğu bırakmak suretiyle azaltılabilmektedir (Gündüz ve Uğur 2001).

Havanın beton içerisinde bulunuşu 3 farklı şekilde olabilmektedir:

- 1) Hafif agrega olarak bilinen agrega türlerinin içerisinde
- 2) Hücresel beton içerisinde
- 3) İri agregalar arasında bulunan ince agregaların azaltılması ile elde edilen ince agregasız boşluklu ÇBM elde edilir.

Taşıyıcı hafif ÇBM'ler 28 günlük silindirik mukavemeti 170 kgf/cm² değerinden küçük olmayan ve birim ağırlığı 1350-1900 kg/m³ arasında değişen yapısal hafif beton betonlar ASTM (C330-77) standardına göre taşıyıcı beton olarak kabul edilmektedir (Uğur 2003).

2.1.3. Pomza agregasının çimento bağlayıcılı malzemelerde mühendislik özelliklerine etkisi

Betonun özellikleri kullanılan malzemeler tarafından belirlenir. Beton hacminin yaklaşık %75'ini oluşturan agregaların kalitesi ve türü betonun performansını ve kalıcılığını büyük ölçüde etkilemektedir. Performansı yüksek ve/veya uygun beton elde edebilmek için uygun agrega kullanılması gerektiği bilinen bir gerçektir.

Agreganın kimyasal ve mineralojik bileşimi, petrografik yapısı, özgül ağırlığı, sertliği, dayanımı, fiziksel ve kimyasal kararlılığı, boşluk yapısı ve rengi gibi özellikleri, kayacın özelliklerine bağlıdır. Ancak, uygulamada genellikle agreganın tane şekli ve

boyutu, yüzey yapısı ve su emmesi gibi özellikleri göz önüne alınır. Tüm bu agrega özelliklerinin beton özellikleri üzerinde önemli etkisi vardır (Şengül vd 2002).

2.1.3.1 Pomza agregalı çimento bağlayıcılı malzemelerin fiziksel özellikleri

Betonarme bir yapının taşıyıcı hafif beton kullanılarak yapılması yapının toplam ağırlığını azaltarak muhtemel bir deprem anında yatay kuvvetlerin azalmasına ve yapıda oluşabilecek deprem hasarlarının önlenmesine olanak sağlar.

Ayrıca, ağırlığına göre yüksek dayanıma sahip olması, betonarme donatısında ekonomi sağlaması, düşük termik iletkenlik katsayısı ve çok iyi ses yalıtımı, betonarme kalıbına daha düşük bir basınç uygulaması gibi özellikler yapısal hafif betonun önemli avantajlarından bazılarıdır. Ancak taşıyıcı hafif betonların elastisite modülü gibi bazı mekanik özelliklerinin normal betonlardan düşük olması nedeniyle yapıların tasarımında farklı hesap yöntemlerinin kullanılması gerektiği de göz önünde bulundurulmalıdır (Türkel ve Kadiroğlu 2007).

Pomza agregası kullanılarak üretilen hafif betonların, su emme oranlarının ve porozitelerinin yüksek oluşu nedeniyle neme ve geçirimsizliğe karşı iyi bir yalıtım gerektirmesi betonarme yapıların kalıcılığı açısından önemlidir (Alduaij vd 1999).

Günümüz koşullarında gürültü kirliliğinin giderek artması, yaşanan kapalı mekanlarda akustik konforun önemini gündeme getirmektedir. Yapılan konutlarda akustik konforun sağlanması, yapıda kullanılan agrega malzemelerinin akustik özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Malzeme yüzeyine çarpan ses enerjisinin bir kısmı yapı elemanının malzeme cinsine ve yüzey yapısına bağlı olarak yutulur (gerisi) yansıtılır. Yutulan ses enerjisinin yüzeye gelen ses enerjisine oranı, ses yutma katsayısı olarak ifade edilmektedir (Gündüz 1998).

İyi bir ses yutumu, pürüzlü ve gözenekli yüzeyli malzemeler ile elde edilir. Gözenekli yapılan sebebiyle, pomza agregalar ile elde edilen betonların ses yutma özellikleri genellikle yüksek olmaktadır (Şapçı vd 2004).

Günümüzde yapılan binalarda ısısal konforun optimum koşullarda sağlanmış olması, inşaat sektörü ile ilgili yönetmelikler ve tüzüklerde kaçınılmaz bir kural olarak uygulamaya konmuştur. Özellikle 08 Mayıs 2000 tarihinde Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından yürürlüğe konan "Binalarda Isı Yönetmeliği" ve 14 Haziran 2000 tarihinden itibaren revize edilerek yürürlüğe giren "TS 825 Isı Yalıtım Standardı", yeni yapılan konutlarda, ısısal konforun sağlanma prensip ve uygulama kriterlerini

tanımlamakla birlikte, ısısal konfor açısından malzemelerde aranan özellikleri belirtmektedir. Bu yönetmelik ve standart irdelendiğinde açıkça görülmektedir ki, binalarda ısısal konforun sağlanması, tamamıyla binada yapı elemanı ve/veya bileşeni olarak kullanılan malzemenin ısısal özellikleri ile ilgilidir (Gündüz 2001).

Çizelge 2.3. Doğal ve yapay hafif agrega ile üretilen betonlar (Kılınçkaya 2003)

ÇBM’de Kullanılan Hafif Agregası	Kullanım Genel Amacı
Perlit	Isı ve ses yalıtımı
Yüksek Fırın Cürufu	Isı ve ses yalıtımı
Genleştirilmiş Kil ve Şist	Isı ve ses yalıtımı ve hafif taşıyıcı
Tüf, uçucu kül ve sünger taşı (pomza veya bims taşı)	Isı ve ses yalıtımı
Odun talaşı ve ahşap yonga	Isı ve ses yalıtımı
Perlit	Isı ve ses yalıtımı

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 (Öztürk 2011).

Özel firmalar tarafından volkanik faaliyetlerde elde edilen pomza agregası ile bims blok duvar yapı elemanları yapılmaktadır. Duvar elemanlarında ısı ve ses yalıtımının yüksek olması istendiğinden pomza agregası içeren ÇBM’ler avantajlı olmaktadır.

Isı ve ses, yoğunluğu fazla olan maddelerden çok daha rahat geçmektedir. dolayısı ile dayanımı yüksek betonlar iyi bir yalıtım malzemesi olmamaktadır. Boşluklu malzemeler ses ve ısı yalıtımında her zaman daha avantajlı olmaktadır. Pomza agregalarının boşluklu malzeme olduğu düşünülürse normal kumla yapılan ÇBM’ye göre daha avantajlı sonuçlar vereceği kesindir.

Hafif agregalı beton blok elemanlar, geleneksel betonların yerine uygunluk sağlayan birçok mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır. Beton yapılarında betonun yoğunluğunun azaltılarak yapı üzerindeki toplam yükün azaltılması istenir ve bu yüklerin en önemlisi de ölü yüklerdir. Bu yüzden hafif betonun kullanılmasıyla bu ölü yükler azaltılır ve taşıyıcı elemanların boyutları küçülerek ekonomik bir kazanç

sağlar. Birçok hafif beton üretim yöntemleri vardır. Bu yöntemlerden bir tanesi beton bileşenlerinden olan ince malzemeyi çıkarmaktır. Hafif beton üretiminin diğer bir yolu kimyasal karışımlar kullanarak betonun içine hava kabarcıkları katmaktır. Bu tip betonlar gözenekli veya gaz beton olarak da bilinirler. Hafif beton üretiminin en popüler yolu ise hafif agrega kullanmaktır.

Çizelge 2.4. Bazı hafif ÇBM'lerin su emme oranları (Chandra ve Berntsson 2002)

ÇBM' de Kullanılan Hafif Agrega	Su emme Oranı %
Diatomit	40-55
Bimsblok	20-35
Genleştirilmiş Perlit	20-35
Genleştirilmiş Yüksek Fırın Curufu	15-25
Kalsine Uçucu Kül	10-20
Gazbeton	25-35
Alçı	30-35
Vermikulit	28-50
Normal ÇBM	<10

Hafif agregalı betonların içinde kullanılan sentetik kökenli veya doğal kökenli agregaların boşluk oranı ve boşluk türüne bağlı olarak betonun su emme değerleri değişmektedir (Chandra ve Berntsson 2002).

Agregaların gözenekli yapısı da hafif ÇBM' nin su emme oranı üzerinde büyük rol oynamaktadır. Aynı agrega oranında fakat farklı agregalarla üretilen ÇBM'lerin su emme oranları da agregaların gözenek yapılarından dolayı farklı olmaktadır. Örneğin diyatomit gibi çok yüksek gözenek oranına sahip agregayla üretilen ÇBM'lerin su

emmeleri, pomza gibi yarı açık gözenekleri bulunan agregalarla üretilen hafif ÇBM'ler den fazladır (Topçu ve Uygunoğlu 2007).

ÇBM'lerin birim hacim ağırlıkları, su emme, görünür boşluk oranları ASTM C 642'e göre aşağıdaki formüllerle hesaplanmıştır (KOÇKAL 2011).

$$A=W_1/(W_2-W_3) \quad (2.1)$$

$$B=W_1/(W_1-W_3) \quad (2.2)$$

$$C=((W_2-W_1)/(W_2-W_3))*100 \quad (2.3)$$

$$D=((W_2-W_1)/(W_1))*100 \quad (2.4)$$

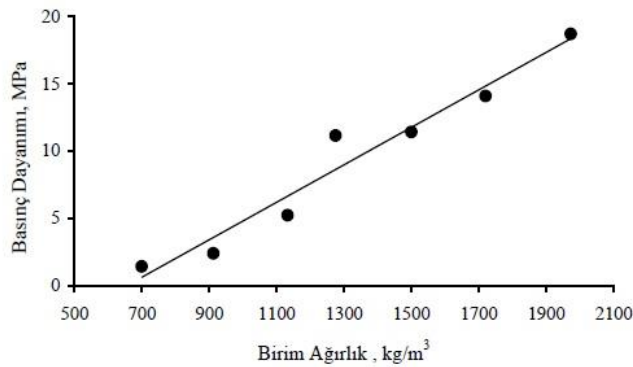
A kuru BHA, B görünür BHA, C görünür boşluk oranı %, D ağırlıkça su emme oranı %, W_1 Sertleşmiş harcın etüv kurusu ağırlığı (gr), W_2 Sertleşmiş harcın SDKY ağırlığı (gr), W_3 Sertleşmiş harcın su içindeki ağırlığı (gr).

Hafif agregalı ÇBM'lerin elastisite modülü değerleri normal agregalı ÇBM'lerin sahip olduğu elastisite modülüne göre daha düşük değerler almaktadır (Haque vd 2004).

Yapılan başka bir çalışmada ise %18 hacim oranına sahip karışımlarda betonun basınç dayanımının ve elastisite modülünün agrega tipinden bağımsız olduğu ve su/bağlayıcı oranı ile kontrol edildiği gözlenmiştir (Altun 2005).

2.1.3.2. Pomza agregalı çimento bağlayıcılı malzemelerin mekanik özellikleri

Pomza agrega kullanılması genel olarak birim hacim ağırlığı düşürür dolayısı ile mekanik özelliklerde düşer. Pomza agregası ile üretilen hafif ÇBM' nin basınç dayanımı ve BHA arasındaki ilişki Şekil 2.3'de verilmiştir (Taşdemir 2003).



Şekil 2.3. Pomza agregası ile üretilen hafif ÇBM'lerde basınç dayanım ilişkisi (Taşdemir 2003)

Bir başka çalışmada ise çimento inceliğinde öğütülen pomza agregalarının puzolanik etkileri araştırılmış. 28 gün küre tabi tutulmuş mekanik değerleri kontrol beton numunelerine göre % 18,23 az tespit edilmişken, 90 gün küre tabi tutulmuş numunede bu değer % 3,06 olarak belirlenmiştir. Bu durum pomzanın, puzolanik aktivitesini ileri kür yaşlarında göstermesinden kaynaklanmaktadır (Yazıcıoğlu ve Demirel 2006).

Çimento kullanılmadan pomza agregası ile hazırlanan beton numunesinin puzolanik aktivitesi 2 günlük $8,3 \text{ N/mm}^2$, 7 günlük $14,8 \text{ N/mm}^2$ ve 28 günlük $19,8 \text{ N/mm}^2$ bulunmuştur. Bu sonuçlar pomzanın çimento gibi kullanılabileceğini göstermektedir (Döyem ve Aksoy 2013).

Pomza bağlayıcı madde ile yer değiştirmeden agrega ile yer değiştirildiğinde ise bünyesinde tuttuğu su ile betonun küreüne yardımcı olduğu daha evvelki çalışmalarda belirtilmektedir. Hafif pomza agregalı betonlar 28 günlük kür süresinde basınç dayanımlarının %95-98'ni, normal betonlarda %85-90'nı almıştır. Bu durum, hafif agrega tanelerinin içinde bulundukları suyu, su rezervi olarak kullanarak betonun küreüne yardımcı olduğu ve dolayısıyla betonun daha kısa sürede dayanım kazanmasını sağladığı söylenebilir (Geçten ve Gül 2013).

Bazik ve asidik pomzalarının kullanılması ile hazırlanan beton örnekleri üzerinde yapılan birim hacim ağırlık, basma ve çekme dayanımı deneylerinin sonuçlarına göre, bölgede çıkarılan asidik pomzanın yüksek dayanım ve düşük yoğunluktan dolayı hafif beton yapımında agrega olarak kullanılabilirliğinin mümkün olduğu daha evvelki çalışmalarda belirtilmiş olup, bazik pomzanın oldukça yüksek mukavemet değerleri gösterdiği tespit edilmiştir. Asidik pomzanın mekanik değerleri bazik pomzaya göre daha düşük olmasına karşın birim hacim ağırlık olarak oldukça hafif bir malzeme olması bu malzemenin hafif yapı malzemesi olarak kullanılabilirliğini gösterilmiştir (Yaşar ve Erdoğan 2005).

2.1.3.3. Pomza agregalı çimento bağlayıcı malzemelerin durabilite özellikleri

Donma çözünmeye karşı direnç

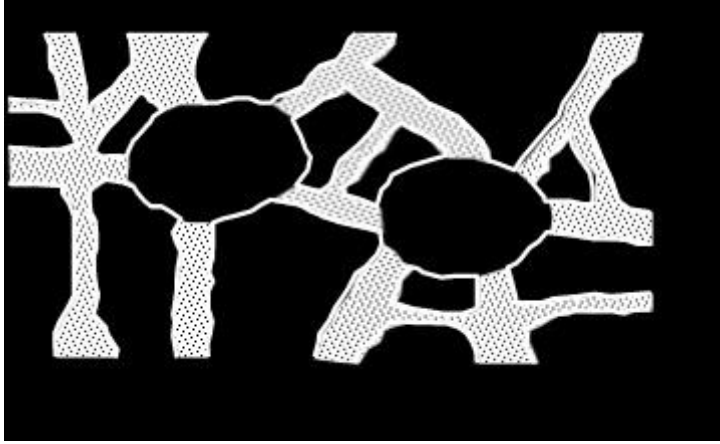
ÇBM'de dayanım ve kalıcılığı etkileyen en büyük etkenlerden biri boşluk miktarıdır. Bu boşluklar mikro boşluklar, kapiler boşluklar, hava boşlukları ve sıkıştırma boşlukları olarak bulunabilir. Bu boşluklar hafif ÇBM'lerin yük taşıma kapasitesini büyük ölçüde etkiler. Betonun dayanıklılığında en önemli faktör, boşluksuz

bir beton üretmektir. Boşluk oranının kontrolü, en düşük değere indirilmesi, beton teknolojisinin kurallarına uymakla olanaklıdır. Boşluk yarıçapı $10^{-7} - 10^{-3}$ m yani kapiler (kılcal) boşluklardır ve dayanıklılıkta önemli rol oynar (Kılınçkaya 2003).

Her ne kadar pomza agregaları boşluklu yapıya sahip olsa da pomza agregası içerisinde bulunan bağımsız boşluk sayesinde durabilite değerlerinde kontrol numunelerine göre yüksek performans gösterebilmektedir.

Hava sürükleyici katkı kullanılarak betonun donma dayanım faktörünün artırıldığı bilinmektedir. Bu katkı maddeleriyle beton içinde homojen dağılmış, boyutları 10 mikrondan birkaç milimetreye ulaşabilen, birbirlerinden bağımsız küresel hava boşlukları oluşturulur (Pigeon ve Pleau 1995).

Bu boşluklar hem betonun kılcallık yoluyla su emmesini engelleyecektir, hem de kılcal boşluklarda su donduğu zaman buzun boşluk içine doğru oluşmasını sağlayarak donma etkisiyle kılcal boşluk çeperlerine basınç uygulanmasını önleyip betonun donma çözünmeden dolayı oluşacak mukavemet kayıpları önlenecektir (Şengül vd 2004).



Şekil 2.4. Beton içerisinde kılcal boşlukların bağımsız boşluklara bağlanması

Pomza agregalı ÇBM'ler geleneksel kum ile yapılan ÇBM'lerden farklı olarak daha fazla donma çözünme etkisine karşı dayanıklı olduğu yapılan çalışmalarda görülmüştür.

Aynı tip agregalara değişik oranlarda su emdirilerek donma çözünmeye karşı direnç deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre az su emen numunelerin donma çözünme ye karşı daha dirençli olduğu belirlenmiştir (Kucharczykova vd 2012).

Yüksek sıcaklığa karşı direnç

Yapıların maruz kaldığı en önemli tehlikelerden biri de yüksek sıcaklık etkisidir. Yangın veya sıcaklığın fazla olduğu üretim mekanlarında sıcaklık 500 °C-1000 °C'ye ulaşmaktadır. ÇBM'nin yüksek sıcaklıktan etkilenmesi ÇBM'nin bileşenlerine, ÇBM'de kullanılan agrega türüne, ÇBM'de ki nem miktarına, ÇBM yaşına vs. göre değişir.

Hafif betonların normal betonlara göre yüksek sıcaklığa karşı dayanımı %20 daha fazla olduğu daha evvel yapılan çalışmalarda görülmüştür (Evan vd 1999).

400 °C'ye maruz kalmış pomza katkılı ÇBM'lerin basınç dayanımları artmıştır. Ancak, bu sıcaklıktan sonra tüm ÇBM numunelerinde basınç dayanımlarında beton morfolojisinin bozulmasından dolayı önemli miktarda düşüşler meydana gelmiştir (Demirel ve Keleştemur 2011).

Hafif agregalı ÇBM'ler normal ÇBM'ler kadar aşınmaya karşı dayanıklı değildir. Bunun nedeni de hafif ÇBM üretiminde kullanılan hafif agregaların normal agregalar kadar yüksek dayanıma sahip olmadıklarındandır. Bununla birlikte ÇBM'nin aşınma dayanımı üzerinde agrega-çimento ara yüzeyinde ki kenetlenme durumu da etkilidir. Agreg-a-çimento ara yüzü normal ÇBM'ye göre daha iyi olan hafif ÇBM'lerin aşınma kayıpları normal ÇBM'ye yakın elde edilebilir (Chandra ve Berntsson 2002).

Aşınma dayanımı değeri genel olarak ÇBM'nin sertliği ile alakalıdır keza mukavemeti de öyle dolayısıyla aşınmaya karşı hafif agregalı ÇBM'ler genel olarak uygun olmamaktadır.

Diğer tüm yapı malzemelerinde olduğu gibi, ÇBM'lerde de beklentiler dayanımla sınırlı kalmamaktadır. ÇBM'lerin geçirimsizlik, D-Ç'ye karşı direnç, yüksek sıcaklığa karşı direnç, kılcal su emme gibi özellikleri de deneysel çalışmalarla belirlenmekte, mikro yapısal ve mineralojik analizlerle nedenleri araştırılmaktadır.

Konut, okul, fabrika, işyeri gibi binalar, tünel, köprü, petrol platformu gibi yapılar, işlevleri gereği veya yangın nedeni ile yüksek sıcaklık etkisinde kalabilirler. Yüksek sıcaklığın kaynaklarından biri olan yangının betona ve betonarme yapılara etkisi 1922'den günümüze kadar araştırılmaktadır. 10 yıl öncesine kadarki çalışmalarda yüksek sıcaklığın normal dayanımlı betona etkileri üzerinde odaklanılmıştır (Khoury 2003).

Ancak günümüzde modern yapılarda, endüstri yapılarında, tünellerde veya özel hizmet amaçlı inşa edilen yapılarda kimyasal ve mineral katkıların kullanımı ile yüksek performanslı ve yüksek dayanımlı betonlar üretilmeye başlanmıştır. Bu betonların yüksek sıcaklık etkisindeki davranışı iyi bilinmelidir. Çünkü içyapıdaki sıklık yangın direncini azaltır ve yüksek dayanımlı betonu normal betona göre daha riskli duruma getirir (Scherefler vd 2003).

Betonarme eleman yüksek sıcaklığa maruz kaldığında fiziksel ve mekanik özelliklerinde değişiklikler görülür. Bu değişiklikler, betonun basınç dayanımında ve elastisite modülünde azalma, çatlak oluşumu, parçalanma ve dağılma, çelikte ise akma dayanımı, duktilite ve çekme dayanımında azalmadır. Yangın nedeni ile yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan betonarme bir yapının yıkım ya da onarımına karar vermek için yerinde ve laboratuarda tahribatlı ve tahribatsız deneyler yapılmalıdır. Yerinde yapılan ilk inceleme görsel incelemedir, bu aşamada betonda çatlakların, dağılmaların, renk değişiminin olup olmadığı araştırılır (Guisse vd 1996).

Literatürde oda sıcaklığına kadar soğutulan numunelerde kontrol deneyleri yapılmış, aynı numunelerde Munsell Renk bileşenleri olan tür, değer ve doymuşluk, tayfsal ışıkölçer ile sayısal olarak belirlenmiştir. Deney sonuçlarından, yüksek sıcaklık etkisinde kalan harcın basınç dayanımında meydana gelen değişim ile rengin tür bileşeninde meydana gelen değişimin paralellik gösterdiği tespit edilerek harcın basınç dayanımı değişimi ile renk değişimi arasında ilişki kurulmuş ve agrega türüne bağlı olarak iki farklı bağıntı elde edilerek korelatif bağıntılar kurulmuştur (Kızıllanat ve Yüzer 2008).

3. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde, deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri, fiziksel özellikleri, ÇBM karışımlarında kullanılan malzeme oranları ve gerçekleştirilen deneysel çalışmalara yer verilmiştir.

3.1. Çimento Bağlayıcı Malzemeleri Bileşenleri

3.1.1. Çimento

Bu çalışmada, CEM I 42,5 R Göltaş Çimento Fabrikası tarafından üretilen TSE TS EN 197-1-2012 ile uyumlu Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimento nem almayacak şekilde koruyucu kaplarda korunmuştur. CEM I 42,5 R sadece portland çimentosu klinkeri ve alçıtaşından oluşmaktadır. Yüksek erken ve nihai mukavemet sağlayan bir çimento tipidir.

Çimentonun özgül ağırlığı Le Chatelier deneyi ile belirlenmiştir. Kimyasal kompozisyonu XRF deneyi ile Göltaş çimento fabrikasının laboratuvarında belirlenmiştir. Minerolojik yapısı ise XRD deneyi ile belirlenmiştir.

3.1.2. Karışım suyu

Su geleneksel ÇBM de olduğu gibi içilebilir olan çeşme suyu kullanılmıştır S/Ç ve çimento dozajı taze ÇBM içinde agregayı saracak şekilde seçilmiştir.

3.1.3. Pomza agregaları

Çalışma kapsamında literatürde yapılan çalışmalardan farklı olarak 3 ayrı bölgeden pomza agregası getirilmiş ve bu agregalardan harç üretilmiştir. Aksaray pomza agregası (A), Isparta pomza agregası (I), Manisa pomza agregası (M) ve bütün bu numunelerin normal harçlardan uygun veya uygun olmayan özelliklerini görebilme amaçlı normal agregası (K) kullanılmıştır.

Literatürde yapılmış çalışmalardan genel olarak farklı bir çalışma yapılmış olup sadece pomza agregasının geleneksel agregaya göre avantajları ve dezavantajları izlenmemiş olup pomza agregalarının birbirleri arasında performansları incelenmiştir.



Şekil 3.1 Tez kapsamında kullanılan agregalar

3.1.3.1. Bileşenlerin kimyasal kompozisyonları ve minerolojik yapısı

Pomza agregalarının kimyasal kompozisyonları hangi oksit bileşenin hangi miktarda olduğunu belirleme amacıyla 50 gram kadar öğütülerek Göltaş Çimento A.Ş'nin laboratuvarların da kimyasal kompozisyonları (XRF) X-ray fluorescence X-Işınlı Floresans Spektrofotometrisi deneyleri yaptırılmıştır.

Pomza agregalarının minerolojik yapısını belirlemek için (XRD) X-Ray Diffraction X-Işınlar Difraktometresi deneyleri yapılmış, analize 75 mikron aşığından geçen boyutta ki numuneler gönderilmiştir. Sonuçları 4. Bölümde verilmiştir.

ÇBM karışımı oluşturulmadan önce ÇBM bileşenleri içinde önemli bir yere sahip olan agrega bileşenin özelliklerini tam belirlemek amacıyla her bir agrega ayrı ayrı titizlikle incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Sertleşmiş ÇBM'den alınan SEM görüntüleri hem matris kısmında hemde agrega kısmından alınarak XRF ve XRD verileri ile karşılaştırılmıştır.

Scanning electron microscope (SEM) elektron taramalı mikroskop deneyler genel feldspat değerlerinin belirlenmesi amacıyla yaptırılmıştır. Feldspat, yer kabuğunun %60-65'ini oluşturan bir mineral grubudur. Sodyum, potasyum, kalsiyum, lityum ve kimi zaman baryum ve sezyum içeren alümina silikatlarıdır. Ana minerallerden;

ortoklas $KAlSi_3O_8$ ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$)

anortit $CaAl_2Si_2O_8$ ($CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$)

anortoklas $(Na,K)AlSi_3O_8$

Numunelerde bu önemli minerallerin bulunma oranlarını belirlemek amaçlı SEM görüntüleri deneyleri yaptırılmıştır.

3.1.3.2. Agregaların tane boyut dağılımı

Agrega tane boyut dağılımını belirlemek için, malzemenin bir seri eleme işlemi yardımıyla azalan büyüklüğe sahip farklı tane boyutları halinde büyüklüğü ve eleklerin sayısı, talep edilen hassasiyet derecesine uygun olarak seçilmiştir. Farklı elekler üzerinde kalan tanelerin kütlesi, malzemenin ilk kütlesi ile ilişkilendirilmiş, her bir eleğe geçen kümülatif yüzdeler sayısal formda ve istendiğinde grafik olarak teslim edilmiştir.

Elek açıklıkları 0.063, 0.125, 0.25, 0.5, 1, 2 ve 4 mm olan elekler üst üste konup en aşağı toplama kabı konularak 1-2 dakika sallanarak her elek üzerinde kalan agrega tartılıp her agrega çeşidi için ayrı ayrı agrega tane boyut dağılım deneyleri yapılmıştır. Kullanılan standartlarda TS EN 933-1 ve ASTM C-136.

Agregaların tane boyut dağılımı eğrilerine bakıldığında inceliği en fazla olan agreganın M olduğu görülmektedir. Ardından I, K ve en iri danelere sahip olan agreganın ise A olduğu gözlenmektedir.

3.1.3.3. Bileşenlerin fiziksel özellikleri

Özgül ağırlık deneylerinde birden fazla yöntem kullanılarak daha sağlıklı deney sonuçları elde edilmiştir. Deney kapsamında tüm yapılan deneyler hassas yapılmış olup özgül ağırlığını ölçeceğimiz olan agregalar öncelikle suya doygun kuru yüzey (SDKY) hale getirilmiştir öncesinde 24 saat suda bekletilmiş daha sonra ısıtıcı plaka ile kuru

yüzeyle doygun hale getirilinceye kadar kurutulma işlemine tabii tutulmuştur. SDKY hale gelip gelmediğinin tayini için kesik koni aparatı kullanılmıştır. SDKY doygun hale getirilen numunelerin özgül ağırlıkları Balon joje ve Le Chatelier deneyleri ile belirlenmiştir.



Şekil 3.2. Isıtıcı plaka cihazı ile 60 °C de agregayı SDYK hale getirme

Agregaların su emme kapasiteleri hata paylarını en aza indirmek için özgül ağırlık deneyinde kullandığımız agregalar, etüve atıp 24 saat beklediğimiz (100 °C) ve nem ölçer cihazı ile ölçtüğümüz 3 değer karşılaştırılmış karışım hesabında kullanılan değer ona göre alınmıştır. Bu değerler çizelge olarak sunulmuştur.

Agregaların hava kuru halinde 3 dm³ kap içerisinde yakın mesafeden doldurulup sonra üstünü silme sıfırlanıp ağırlığı ölçülerek gevşek BHA belirlenmiştir. Sıkı BHA ise yarıya kadar doldurulup 25 defa şişlendikten sonra tekrar tamamını doldurup bir 25 defa şişlenip sıkı BHA değeri elde edilmiştir.

Agregalar SDYK haline ısıtıcı plakada getirilmiş özgül ağırlık ve su emme yüzdeleri SDYK halinde ölçülmüştür.

3.2. Çimento Bağlayıcı Malzemelerin Hazırlanışı

3.2.1 Çimento bağlayıcı karışım oranları ve taze hal deneyleri

Karışım oranları 1000 dm^3 (1m^3) e göre hacimce önce hesaplanmış daha sonra özgül ağırlıklarla çarpılıp ağırlıkça kütlece oran bulunmuştur. S/Ç 0,60 seçilmiş daha düşük oranlarda agreganın çimentoyu sarmadığı gözlemlenmiştir. ÇBM içindeki boşluk miktarı % 1 (10 dm^3) kabul edilmiştir.

Çizelge 3.1 deki kütlece oranlar 9/1000 ile çarpılarak ihtiyaç kadar ÇBM bileşen miktarları kütlece bulunmuştur. 1m^3 'e göre yapılan hesapta agregaların ağırlıkları bulunurken kullanılan özgül ağırlıklar hassasiyetle ölçülmüştür.

Çizelge 3.1. 1m^3 'e göre ÇBM karışımı kütlece oranı

Karışım Pomzası	Su Kütlesi kg	Çimento Miktarı kg	Agrega kütlesi
Aksaray	360	600	989,33
Isparta	360	600	880,86
Manisa	360	600	1002,35
Normal Kum	360	600	1188,94

Bileşenler sırasıyla önce karışım suyu, sonra çimento ve agregata katılarak 2 dakika 5. devirde karma işlemi yapılmıştır.

Hazırlanan ÇBM'lerin kalıplara dökülmeden önce taze BHA'ları ölçülmüştür. İşlenebilirliğin tayini için çelik bir koni içerisine iki aşamadan konulan harcın her aşamada 20 defa şişlenmesini ve tablanın 25 kez akma tablasının kolunu çevirerek düşürülmesini kapsamaktadır.

4 farklı agregata ile üretilen taze halde ki her bir karışım için ayrı ayrı bütün taze hal deneyleri yapılmıştır. Karışım anında S/Ç oranı yüksek seçildiğinden akışkanlığı arttıran kimyasal katkı kullanılmasına gerek kalmamıştır. Kimyasal katkı kullanılmamasının bir diğer sebebi ise kimyasal katkı kullanılan ÇBM'lerin kimyasal katkı kullanılmayan ÇBM'lerden daha maliyetli olmasıdır. Yapı yönetiminde en önemli parametrelerden biri maliyet olması ve kimyasal katkıların çıkardığı dezavantajlar göz önünde bulundurulduğunda çalışmanın önemi ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3.3. Taze halde ki karışımın yayılma tablası deneyi

3.2.2 Taze hal karışımlarının kalıplara dökülmesi

Hazırlanan ÇBM'lerden 40x40x160 mm prizmatik numuneler, D=50 mm H=100 mm silindir numuneler ve 1 adet 100 mm lik küp numune üretilmiştir.

Her deney türü için 3 adet numune üretilmiştir. Prizmatik numuneler için 3 lü çelik kaplar ve silindirik numuneler için 3 adet birbirinden bağımsız silindirik çelik kap kullanılmıştır.

Kalıptan 24 saat sonra çıkarılan numuneler kirece doymuş sıcaklığı 23 ± 2 °C olan kür tankında 28 ve 90 günlük kürlenme süresi Su sıcaklığı 20-25 C arası sabitlenmiştir.

Üretilen ÇBM malzemelerin tümü standartlara uygun biçimde 28 ve 90 gün olarak kürde bekletilmişlerdir.

3.2.3 Sertleşmiş çimento bağlayıcılı malzeme deneyleri

Sertleşmiş ÇBM de üzerinde iki farklı beton kür süresi için fiziksel, mekanik ve durabilite özelliklerinin tayini amaçlı her pomza agregalı ÇBM için deneyler yapılmıştır

3.2.3.1. Fiziksel deneyler

3.2.3.1.1. SDKY birim hacim ağırlık ve etüv kuru birim hacim ağırlık

28 ve 90 günlük numuneler kür tankından çıkarılıp BHA'ları ölçülmüştür. Kür tankından çıkarılan 3 numune önce havlu ile yüzeyi kurutulup SDKY hale getirilip havada ve suda numuneler tartılmıştır. Aynı numuneler 24 saat etüvde 100 °C de bekletilip kuru BHA'lar için aynı ölçümler yapılmıştır sonrasında aynı numuneler 400 °C de yüksek sıcaklığa maruz bırakılmıştır.



Şekil 3.4 Sertleşmiş ÇBM'de Özgül Ağırlık Deney Düzeneği

3.2.3.1.2. Kılcal geçirimsizlik tayini deneyi

28 ve 90 günlük kür tankından çıkarılan numuneler her farklı kür süresi 3 adet numune alınarak 24 saat suyun kaynama sıcaklığı 100 °C de tutulmuştur. Daha sonra yanlardan su almayı önlemek tabanda 20 mm kadar numunenin yanları parafinlenmiştir. Numuneler 10 mm civarı su dolu kaba konulmuş tam kılcallık belirlenmesi açısından kab altına elektrot konulmuş taban suyun açık bir şekilde emdirilmesi sağlanmıştır.

$$K=Q/(A*\sqrt{t}) \quad (3.1)$$

K= Kılcallık katsayısı (cm/sn)

Q= Tabandan çekilen su miktarı (cm³)

A= Taban alanı (cm²)

T= Zaman (sn)

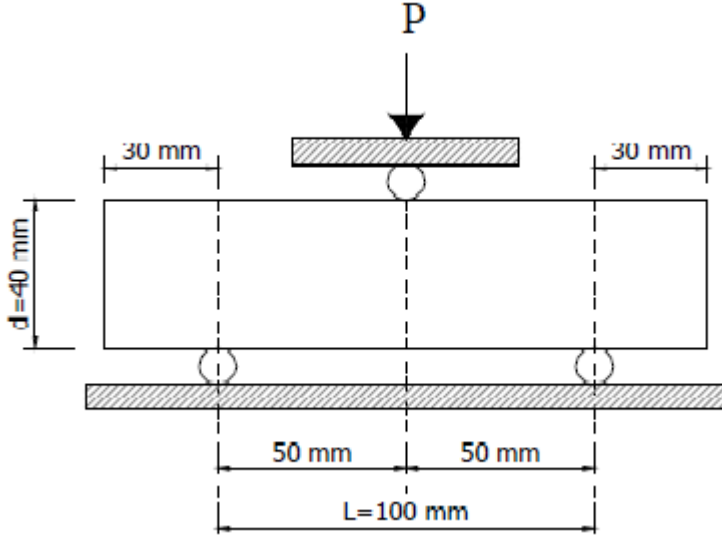


Şekil 3.5. Kılcal geçirimsizlik tayini

3.2.3.2 Sertleşmiş çimento bağlayıcılı malzeme üzerinde mekanik deneyler

Eğilmede çekme dayanımı

Kürde bekletilen 40 mm x 40 mm x 160 mm boyutlu prizmatik numuneler 28 ve 90 günlük zaman dilimlerinde eğilmede çekme deneyine tabi tutulmuştur. ÇBM numunelerin belirtilen gündeki eğilmede çekme dayanımını bulmak için, üç adet prizmatik numune TS EN 1015-11’de belirtildiği gibi üç noktadan yükleme deneyine tabi tutulmuştur. Bunun için her numune, aralarındaki mesafe 100 mm olan iki silindir üzerine oturtulmakta ve numunenin üst yüzeyinin tam ortasına gelen aynı boyutlu silindir üzerine numune kırılıncaya kadar 5 kg/sn hızla yükleme yapılmaktadır. Bulunan kırılma yükünden eğilme gerilmesi hesaplanabilmektedir. Şekil 3.6.’da eğilmede çekme dayanımı tayininde kullanılan deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 3.6. Eğilme deneyi şeması (Akçaözoğlu 2008)

$$\sigma_e = 1,5PL/bd^2 \quad (3.2)$$

P : Uygulanan kuvvet (kg)

L : Destek silindirleri arasındaki mesafe (100 mm)

b : Numune kesitinin dar kenar uzunluğu (40 mm)

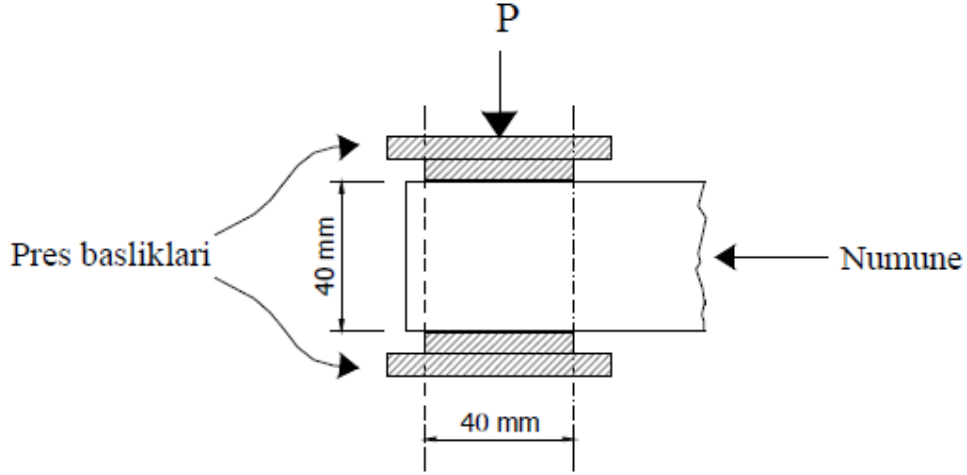
d : Numune kesitinin yüksekliği (40 mm)

σ : Eğilme dayanımı

Basınç dayanım tayini

İki farklı sürede kür edilen ÇBM numuneler TS EN 1015-11 (2000) doğrultusunda 28 ve 90 günlük zaman dilimleri için basınç deneyine tabi tutularak basınç dayanım değerleri bulunmuştur. Bunun için eğilmede çekme deneyine tabi tutulan üç adet prizmatik numunenin yaklaşık olarak ortalarından kırılmalarıyla elde edilen altı adet prizma şekilli yarım numune kullanılmaktadır. Her bir yarım numune, basınç dayanımlarının tespiti için pres aletinde kırılmaktadır. Bunun için numune, hazırlanan bir aparatın içine kırık yüzeyi yana gelecek şekilde yerleştirilir. Numunenin alt ve üstündeki 40 mm x 40 mm'lik metal başlıklarla numune 200 kg/sn hızla yüklemeye tabi tutulmuştur. Kırma başlıkları arasındaki prizma 40 mm x 40 mm x 40

mm'lik bir küp görevi görmektedir Şekil 3.7'de ki gibi yüklemeye tabi tutulan numunelerin basınç değerleri eşitliği yardımıyla bulunur ve altı numuneden elde edilen sonuçların ortalaması alınarak basınç dayanım değeri olarak tespit edilir.



Şekil 3.7. Basınç dayanım tayini (Akçaözoğlu 2008)

$$\sigma = P/A \quad (3.3)$$

σ_b : Basınç dayanımı

P : Uygulanan kuvvet (kg)

A : Kesit alanı (1600 mm²)

Yarmada çekme dayanım tayini

Silindirik kapta standartlara uygun çapı 50 mm olan ve yüksekliği 100 mm olan kaba taze ÇBM döküldükten sonra hem 28 günlük hem de 90 günlük kür tankında bekletilerek özel bir aparat kullanarak basınç dayanımı tayininde ki gibi numune 200 kg/sn hızla yüklemeye tabi tutulmuştur. Her bir kür süresi için 3 numune hazırlanmıştır.

Aksaray pomza agregalı numunenin diğer numunelerden daha büyük daneler sahip olduğu kırılan bölgenin alanına bakılarak incelenmiştir. Hazırlanan 3 numune titizlikle kırılmış ve numunelerin yarma çekme dayanım sonuçlarının birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.8. Yarmada çekme dayanım tayini ve kırılan numuneler

Yarmada çekme dayanımını hesaplamak için kullanılan formül

$$f_{ct} = \frac{2F}{\pi LD} \quad (3.4)$$

f_{ct} : Yarma da çekme dayanımı MPa (N/mm²)

F : En büyük yük (N)

L : Numunenin yükleme parçasına temas çizgisi uzunluğu, (mm)

D : Numunenin seçilen en kesit boyu (mm)

Yarmada çekme dayanımı diğer ismi ile Brezilya yarma deneyi olarak da adlandırılmaktadır. Silindirik harç numunelerinde yaptığımız yarma deneyi her numune için ayrı ayrı yapıлып çekme dayanım değerleri belirlenmiştir.

3.2.3.3. Sertleşmiş çimento bağlayıcılı malzeme üzerinde durabilite deneyleri

Donma çözünme deneyi

Diğer deneysel çalışmalarda olduğu gibi 3 tane 40x40x160 mm olan prizmatik numunenin 28 günlük kür ve 90 günlük kürden sonra 30 çevrim donma çözünmeye maruz bırakıldıktan sonra ölçülen dayanım kayıpları ölçülmüştür. Numuneler havada donma suda çözünme yapıp -20 °C 20 °C arasında tutulmuştur.

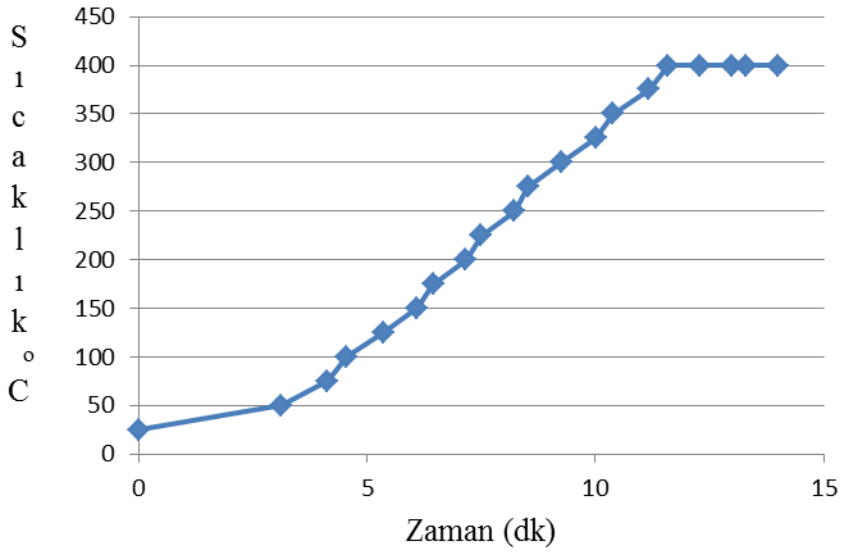
Donma çözünme tayininde eski yöntemler olan buzdolabın da dondurup eritme yöntemi kullanılmamıştır. Donma çözünme deneyini yapan özel bir cihaz ile 6 saatte bir çevrim yapan günde toplam 4 defa donma çözünme ile sonuçlara gidilmiştir. Elde edilen numuneler önce 3 nokta eğilmede dayanımın da daha sonra kırılan numunelerde basınç dayanımı deneyleri yapıp dayanım kayıpları hesaplanmıştır.



Şekil 3.9. Donma çözünme deneylerinin yapıldığı düzenek

Yüksek sıcaklığa karşı direnç

Yüksek sıcaklığa direnci belirlemek için yine 24 Saat 100 °C de bekletilen numuneler sonrasında 90 dakika 400 °C'ye bırakılarak eğilme ve basınç dayanımına bakılmıştır. Dayanım kayıpları yine 28 ve 90 günlük olmak üzere her kür süresi içinde 3 adet numune kırılarak yapılmıştır. Zamana bağlı 400 °C'ye çıkış grafiği Şekil 3.10 da verilmiştir.



Şekil 3.10. Zamana göre fırının 400 °C'ye çıkma ivme grafiği



Şekil 3.11. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılma

4. BULGULAR

Pomza agregalarının kullanıldığı ÇBM numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneylerin sonuçları bu bölümde yer almaktadır.

4.1. Çimento Bağlayıcı Malzemenin Kimyasal ve Fiziksel Deney Sonuçları

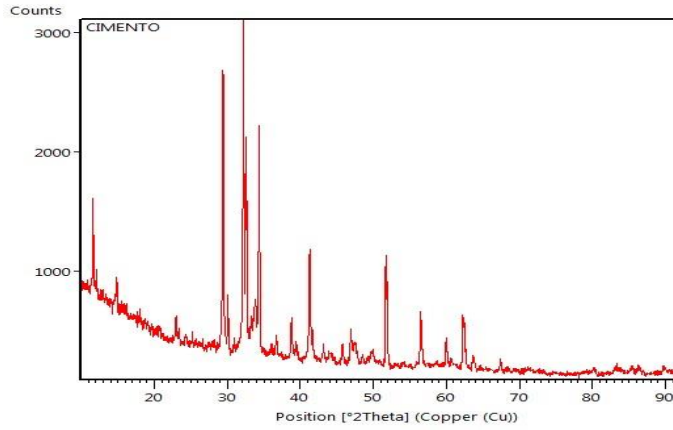
Bu bölümden sertleşmiş ÇBM üzerinde yapılan kimyasal ve fiziksel deney sonuçları verilmiştir.

4.1.1. Çimento bağlayıcı malzeme bileşenlerinin kimyasal özellikleri

Karışımında kullanılan çimento, agrega ve karışım suyunun kimyasal sonuçları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kullanılan çimentonun kimyasal kompozisyonu (XRF)

Oksit	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	KK	alkaliler
%	19,28	4,28	2,65	61,36	1,77	2,95	0,58	0,1	5,65	1,53



Şekil 4.1. Çalışmada kullanılan çimentonun XRD verileri

CEM I 42,5 R çimentosu kimyasal olarak yüksek oranda CaO ve SiO₂ düşük oranda Al₂O₃, Fe₂O₃, SO₃, MgO, K₂O, Na₂O bileşiklerinden oluşmaktadır. Bir başka yapılan CEM I 42,5 R çimentosu XRD analizinde bu çalışma kapsamında yapılan çimento XRD analizi sonuçlar karşılaştırılmış paralel veriler elde edildiği tespit edilmiştir (Yıldız vd 2016).

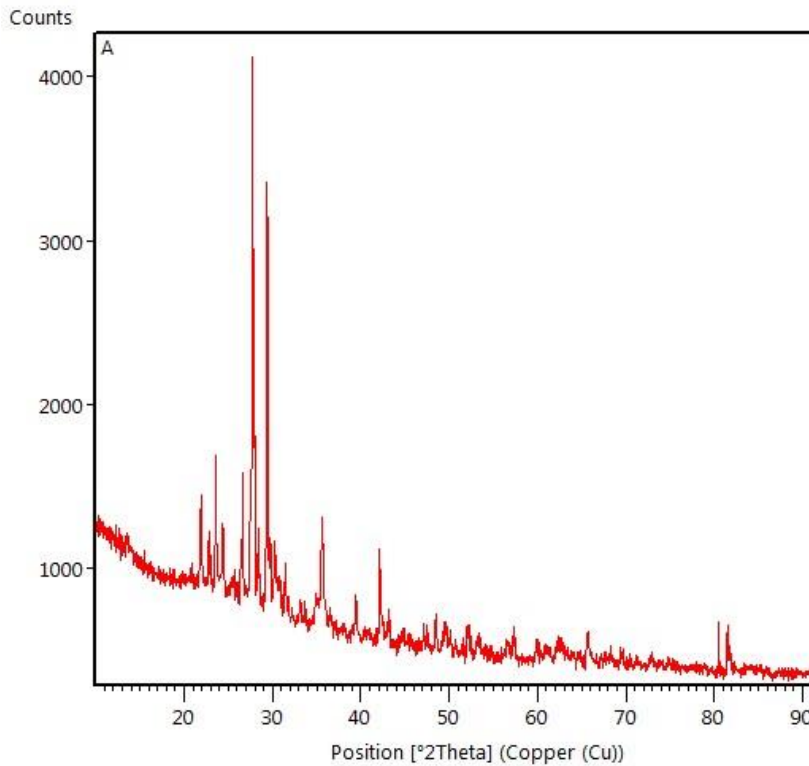
Çizelge 4.2. Kullanılan suyun kalite raporu Mayıs 2014 ASAT su verileri

PH	İletkenlik μS/cm	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	Na mg/l	Ca mg/l	K mg/l	NO ₃ mg/l	NO ₂ mg/l	PO ₄ mg/l	Sertlik Fr
7,51	19,28	23,27	25,32	17,65	84,18	1,27	9,22	<0,01	5,65	27,72

Çizelge 4.3. ÇBM içinde kullanılan agregaların kimyasal kompozisyonu (XRF)

Oksit	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	KK*
Isparta	54,77	15,46	7,08	5,36	2,46	0,21	5,25	3,95	2,75
Manisa	47,00	17,95	10,52	7,31	4,39	0,16	3,46	4,62	2,32
Aksaray	50,99	15,30	12,19	8,63	6,26	0,01	1,59	2,80	2,10

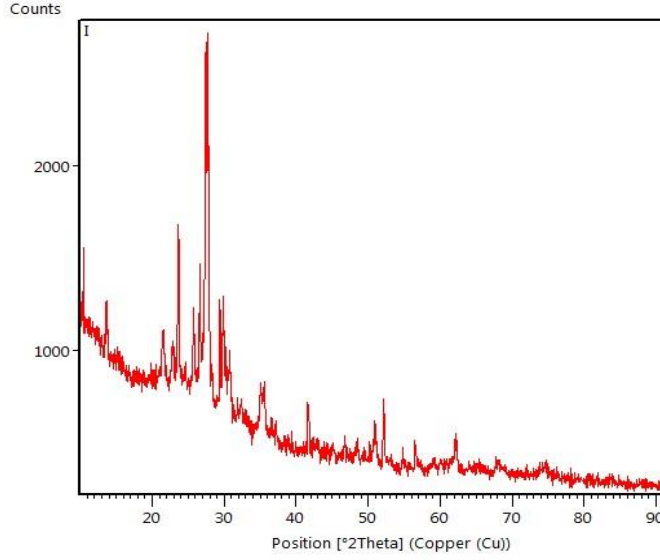
*Kızdırma kaybı



Şekil 4.2. Çalışmada kullanılan Aksaray agregasının XRD verileri

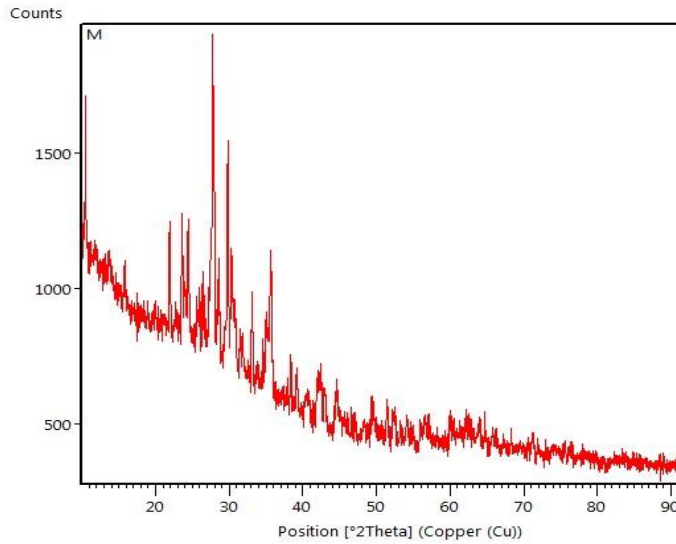
Aksaray pomza agregasında XRD analizi ile belirlenen anortit ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) oldukça yüksek miktarda kristal yapı olarak bulunduğu belirlenmiştir. Yüksek

poroziteye sahip anortit miktarı yüksek diğer bir çalışmada düşük ısı iletkenlikte yüksek dayanımlı malzemeler üretilebileceği belirlenmiştir (Li vd 2016).



Şekil 4.3. Çalışmada kullanılan Isparta agregasının XRD verileri

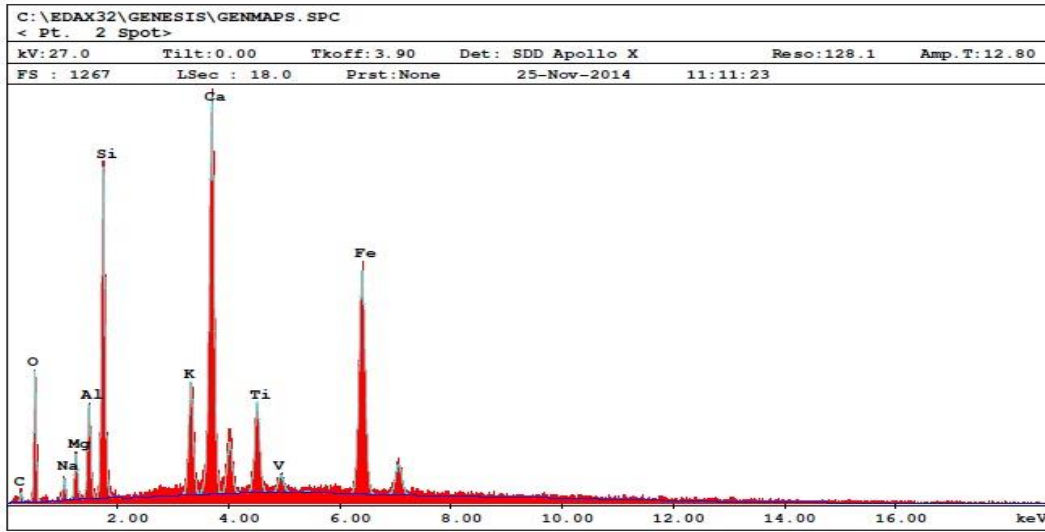
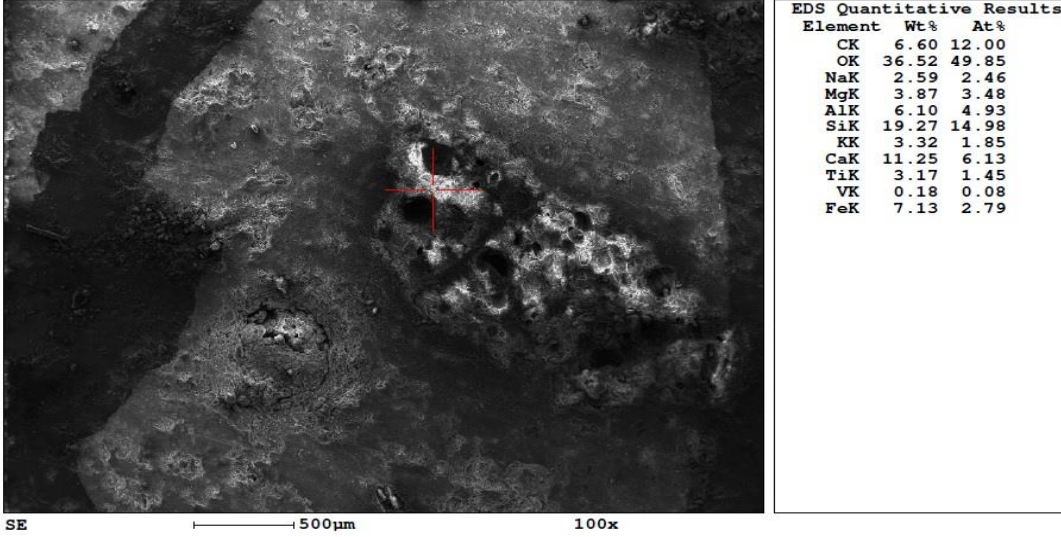
Isparta pomza agregasında XRD analizi sonucunda ortoklas ($KAlSi_3O_8$) kristal yapısı fazla oranda mevcuttur. Pomza agregaları XRF analizi incelendiğinde K (Potasyum) miktarı en fazla olan agrega türü olduğu görülmüştür.



Şekil 4.4. Çalışmada kullanılan Manisa agregasının XRD verileri

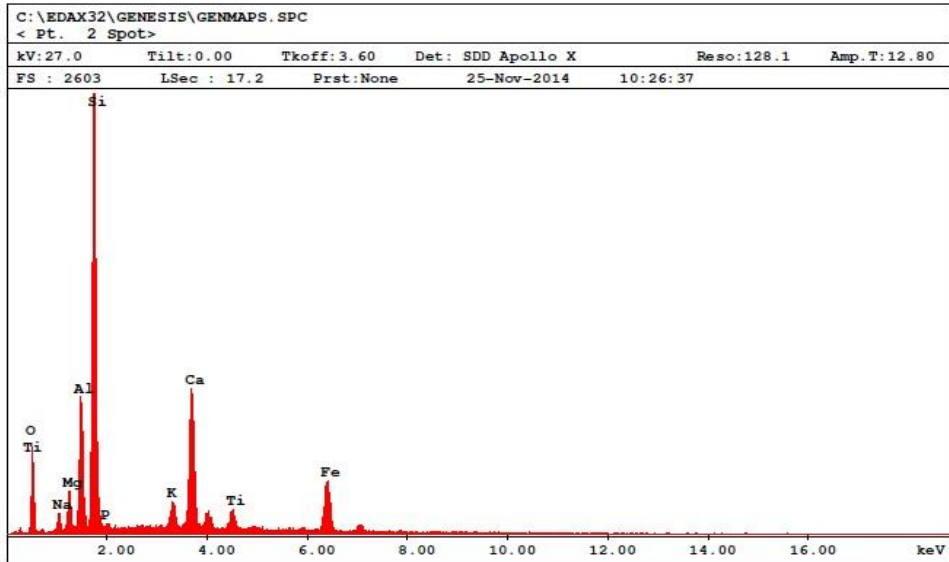
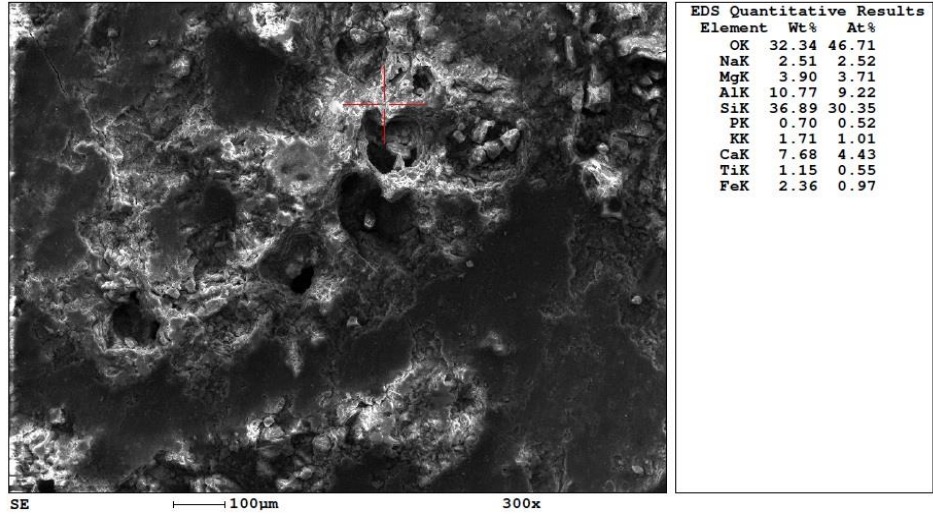
XRD analizi veri sonuçları değerlendirildiğinde Manisa pomza agregasında ise anortoklas ($(Na,K)AlSi_3O_8$) XRD piklerinin çoğunluğunu oluşturmaktadır. Pomza

agregalarının XRF analizleri incelendiğinde Na içeriği en çok pomza agregası olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.5. Manisa pomza agregalı numunenin agrega kısmından alınan SEM/EDS görüntüsü ve grafiği

Sertleşmiş Manisa pomzası içeren ÇBM’de C-S-H jel oluşumları gözlemlenmiştir. XRD analizinde belirlenen Na, K içeren anortoklas yapı EDS grafiğinde görülmektedir.

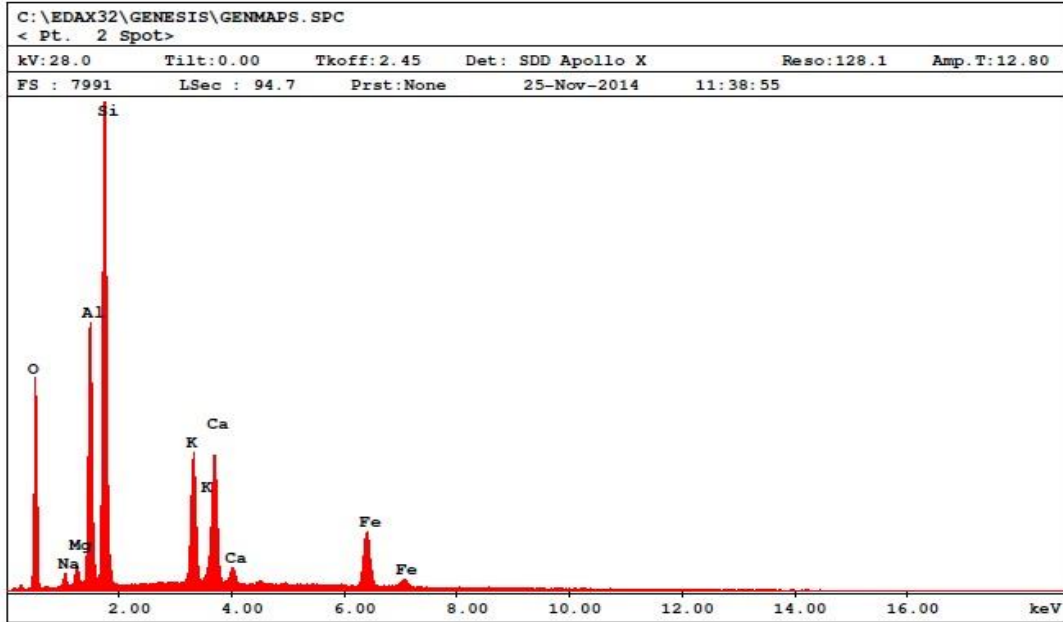
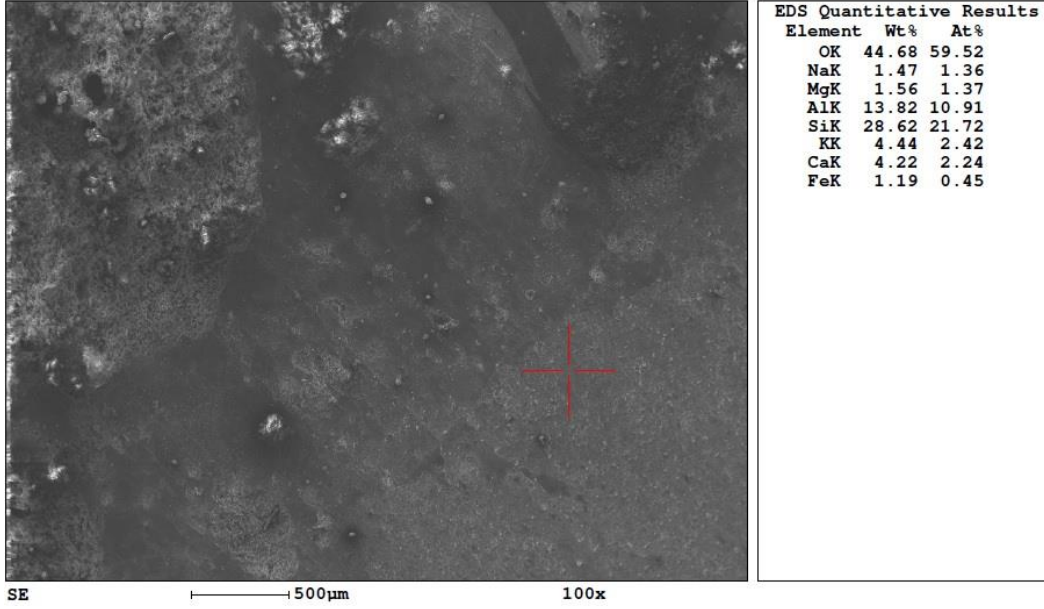


Şekil 4.6. Aksaray pomza agregalı numunenin agregası kısmından alınan SEM/EDS görüntüsü

Hafif ÇBM numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde, gözenekli camı yapıya sahip ve mineraller içeren hafif agregalar bulunduğu görülmüştür. Ca, Si yüksek pik vermesi C-S-H jellerini oluşumunu belirgin halde göstermektedir.

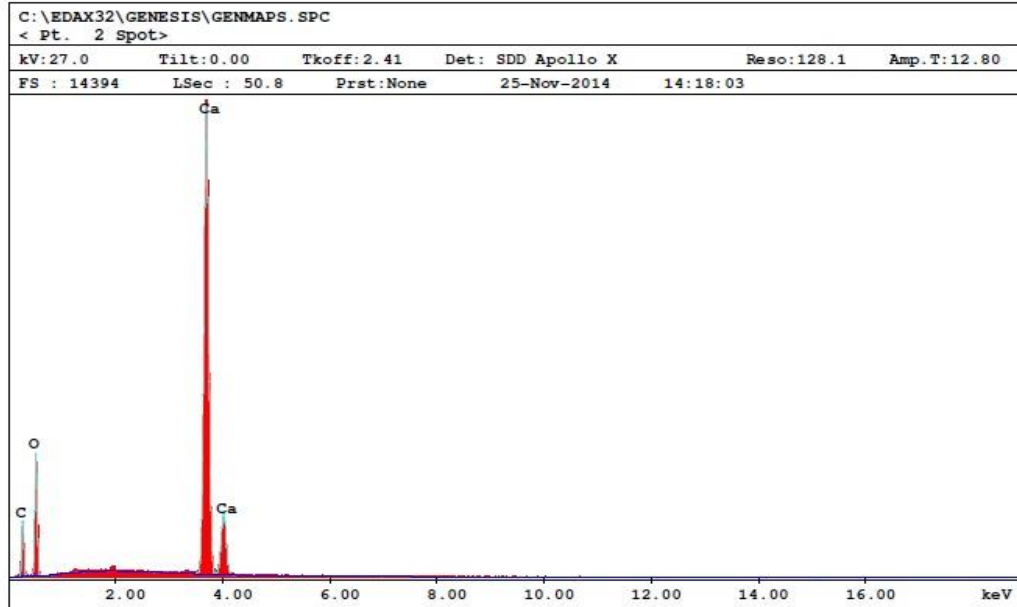
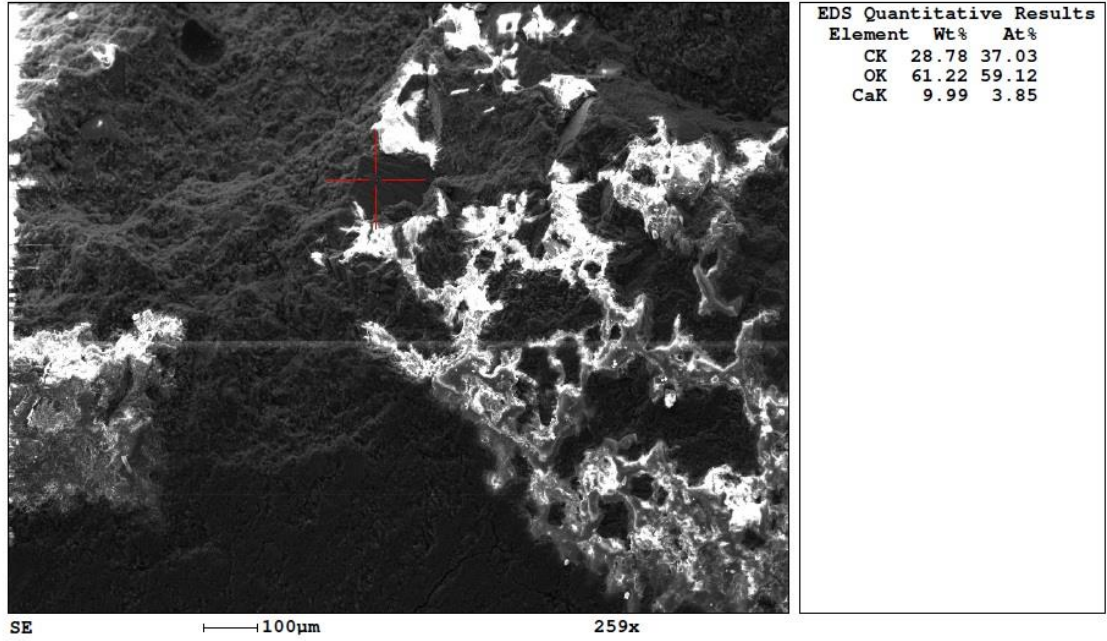
XRF analiz sonucu kimyasal kompozisyonu %12,19 Fe içeren Aksaray pomza agregası EDS görüntüsünde ki değerlerle örtüşmektedir.

Aksaray pomza agregasında XRD analizi ile belirlenen anortit ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) oldukça yüksek miktarda kristal yapı olarak bulunduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.7. Isparta Pomza Agregalı Numunenin Agrega Kısmından Alınan SEM/EDS Görüntüsü

Isparta pomza agregasında XRF analizi sonucunda Si içeriği %54,77 ve Al içeriği %15,46 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar EDS pikleri ile paraleldir. EDS içeriğinde bulunan K içeriği XRD analizi ile belirlenen ortoklas miktarının yüksek olması birbirini desteklemektedir.



şekil 4.8. Geleneksel Agrega İçeren Numunenin Agrega Kısımından Alınan SEM/EDS Görüntüsü

Genel literatürde bilindiği üzere geleneksel betonda kullanılan normal kum agregasının Ca içeriği fazladır. EDS görüntüsünde Ca içerikleri net şekilde görülmektedir.

Sertleşmiş ÇBM üzerinde alınan SEM görüntüleri ile kimyasal kompozisyon değerleri XRF sonuçları ile karşılaştırılmış aşağıdaki paralel veriler edinilmiştir.

4.1.2. Fiziksel deney sonuçları ve taze hal deney sonuçları

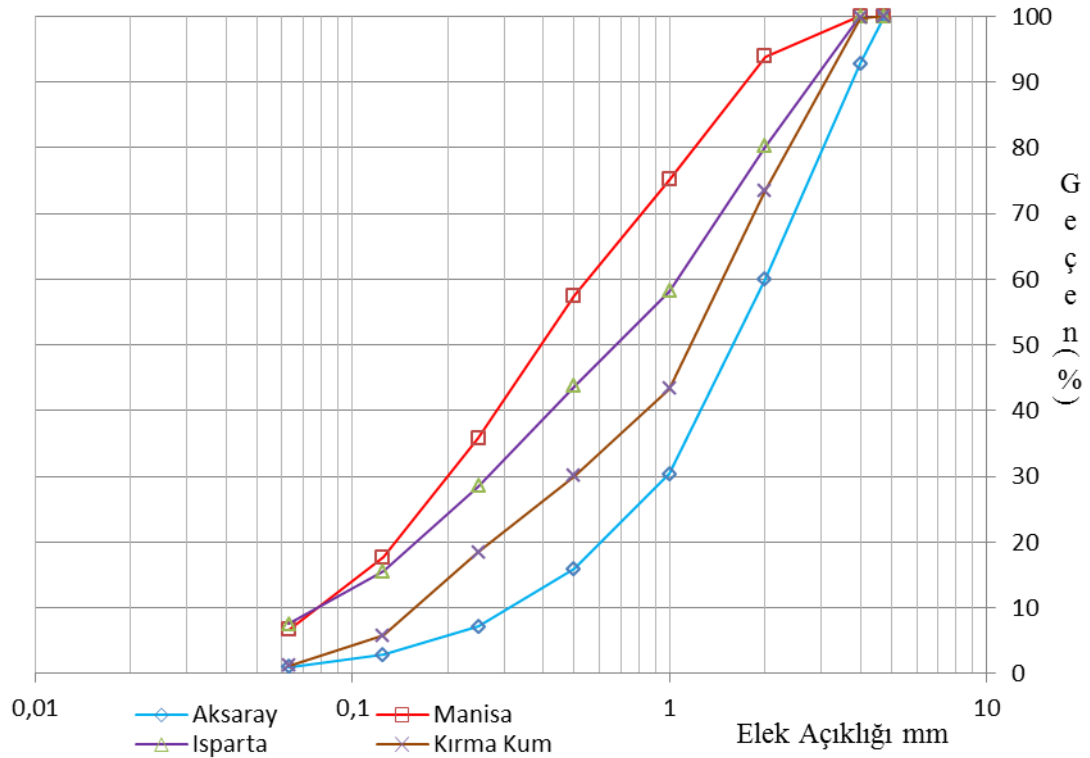
ÇBM karışımında kullanılan bileşenlerin fiziksel özelliklerinin tayininde edinilen bulgular aşağıda verilmiştir.

4.1.2.1 Agregata ve sertleşmiş harcın fiziksel deney sonuçları

Çizelge 4.4. Kütlece elek açıklarından geçen agregata yüzdeleri

Elek Açıklıkları mm	Yüzde Geçen Aksaray %	Yüzde Geçen Manisa %	Yüzde Geçen Isparta %	Yüzde Geçen Normal Kum %
Toplama Kabı	0	0	0	0
0,063	0,99	6,70	7,51	1,24
0,125	2,83	17,69	15,57	5,78
0,25	7,14	35,79	28,55	18,44
0,5	15,93	57,47	43,72	30,03
1	30,42	75,20	58,13	43,36
2	60,06	93,92	80,19	73,47
4	92,86	100,00	100,00	99,73
4,75	100,00	100,00	100,00	100,00

Elek analizi sonucu belirlenen pomza agregalarının tane boyutları incelendiğinde en iri danelere sahip pomza agregasının Aksaray pomza agregası olduğu belirlenmiştir. En ince pomza agregasının ise Manisa pomza agregası olduğu gözlemlenmiştir. 4 mm den büyük agregalar hiçbir harç içerisinde kullanılmamıştır.



Şekil 4.9. Yüzde geçen miktarlarına göre agregaların tane boyut dağılımı eğrileri

Çizelge 4.5. Agregaların su emme kapasiteleri de verilmiştir

Agrega Cinsi	Su Emme %
Aksaray	6,99
Isparta	13,04
Manisa	11,25
Normal Kum	1,74

Çizelge 4.6. Agregaların gevşek ve sıkı BHA'ları.

Oda Koşullarında Alınan Agreganın	Agreganın Gevşek BHA	Agreganın Sıkı BHA	İncelik Modülü
Aksaray	0,92	1,05	4,90
Isparta	0,98	1,08	3,66
Manisa	1,10	1,20	3,13
Normal Kum	1,62	1,79	4,28

Çizelge 4.7. Balon joje ve Le Chatelier ile yapılan deneylerin ortalaması ile elde edilen özgül ağırlık sonuçları (gr/cm^3)

Özgül Ağırlığı Ölçülecek Agrega	Karışım Hesabında Alınan Özgül Ağırlık gr/cm^3
Aksaray	2,28
Isparta	2,03
Manisa	2,31
Normal Kum	2,74
Çimento	3,06

Sertleşmiş harç için A, Kuru birim ağırlık, B, görünür birim hacim ağırlık, C, görünür boşluk oranı, D, ağırlıkça su emme oranı ise ASTM C 642 ye göre hesaplanan değerler Çizelge 4.8 te verilmiştir.

Çizelge 4.8. A, B, C, D hem 28 günlük hem de 90 günlük deney sonuçları verilmiştir

Numune 90				
günlük	A (gr/cm^3)	B (gr/cm^3)	C= %	D= %
Aksaray	1,72	2,62	30,52	20,09
Isparta	1,56	2,43	40,43	23,50
Manisa	1,67	2,52	42,01	20,34
Kontrol	1,94	2,66	12,32	14,051

Numune 28				
günlük	A (gr/cm^3)	B (gr/cm^3)	C= %	D= %
Aksaray	1,64	2,51	31,79	21,09
Isparta	1,47	2,43	42,88	26,76
Manisa	1,63	2,54	47,76	22,09
Kontrol	1,92	2,62	12,12	13,79

100 °C etüv de 24 saat tutulan numuneler daha sonra 400 °C de 1.5 saat daha bekletilerek ortalama 10 gram daha su kaybettiği görülmüştür.

4.1.2.2 Taze hal deney sonuçları

Taze hal BHA hesap sonuçları ve yayılma tablası deney sonuçları Çizelge 4.9’de verilmiştir.

Çizelge 4.9. Taze halde ki BHA’ları ve yayılma tablasındaki kıvam sonuçları

Taze Halde ki Karışım	Taze Harcın BHA	Yayılma Çapı 25 Darbe
Aksaray	1,89	24 cm
Isparta	1,82	7.Vuruşta Dağıldı 25 cm
Manisa	1,90	8.Vuruşta Dağıldı 25 cm
Normal Kum	2,16	9. Vuruşta Dağıldı 25 cm

Çizelge 4.10. Taze harcın hava miktarı

Taze Haldeki Karışım	Taze Harcın Hava Miktarı %
Aksaray	1,89
Isparta	1,82
Manisa	1,90
Normal Kum	2,16

Taze beton hava miktarı: beton içerisinde kapalı agrega boşlukları dışındaki var olan havanın hacminin beton hacmine oranının % olarak ifadesidir. Beton içerisindeki havanın miktarının bilinmesi ne kadar önemli ise, havanın beton üzerindeki etkilerinin bilinmesi de bir o kadar önemlidir.

Taze beton içerisinde bulunan havanın belirlenmesinde amaç; taze betonun işlenebilirliğini, sertleşmiş betonun yoğunluğu, dayanımı, su geçirimsizliği, ısı ve ses yalıtımı gibi özelliklerini etkileyen beton içindeki havanın miktarının hacim metodu ile belirlenmesidir. Beton içerisindeki hava şöyle tanımlanır. Beton içerisinde %0,5 ile %3 oranında hapsedilmiş durumdaki doğal hava ve katkı maddeleri ile beton içerisinde oluşturulan havadır.

4.2. Çimento bağlayıcılı malzemenin mekanik ve durabilite deney sonuçları

Bu bölümden sertleşmiş ÇBM üzerinde yapılan eğilme, yarmada eğilme ve basınç dayanımları verilmiştir.

4.2.1 Eğilme deneyleri

3 Numune üzerinde yapılan yarmada çekme deneyinin hem 28 günlük hem de 90 günlük deney sonuçları megapascal (MPa) olarak verilmiştir. Donma-Çözünme (D-Ç) deneyine ve 400 °C ye maruz kalmış numunelerin deney sonuçları da Çizelge 4.11. de verilmiştir

Çizelge 4.11. Eğilmede çekme dayanımı MPa

Harcın İçerdiği Agrega	28 günlük	90 günlük	28 günlük D-Ç	90 günlük D-Ç	28 günlük 400 °C	90 günlük 400 °C
Aksaray	5,26	6,16	4,29	5,85	3,54	3,78
Isparta	5,13	5,14	4,22	4,45	2,85	3,00
Manisa	5,27	5,85	4,52	5,80	4,17	4,86
Normal Kum	6,12	6,28	Parçalanma	Parçalanma	4,08	4,71

4.2.2. Yarmada çekme dayanımı

3 Numune üzerinde yapılan yarmada çekme deneyinin hem 28 günlük hem de 90 günlük MPa olarak Çizelge 4.12. de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Yarmada çekme dayanımı sonuçları

Yarmada Çekme	Yarmada 28 günlük Fct MPa	Yarmada 90 Günlük Fct MPa
Aksaray	3,03	4,17
Isparta	2,68	3,32
Manisa	2,78	3,57
Normal Kum	4,16	4,39

4.2.3. Basınç dayanımları

Eğilme deneyinde kırılan numunelerden elde edilen 6 numunenin basınç ortalamaları Çizelge 4.2.3 te verilmiştir. Donma-Çözünme (D-Ç) deneyine ve 400 °C' ye maruz kalmış numunelerin deney sonuçları da Çizelge 4.13. de verilmiştir.

Çizelge 4.13. Basınç dayanım sonuçları

	28 günlük	90 günlük	28 günlük D-Ç	90 günlük D-Ç	28 günlük 400 °C	90 günlük 400 °C
Aksaray	27,96	39,84	21,04	33,19	23,05	25,09
Isparta	27,34	36,27	25,23	34,50	20,11	26,44
Manisa	26,05	39,40	25,69	36,42	22,08	26,20
Normal	40,81	45,65	Parçalanma	Parçalanma	27,09	29,44

4.2.4. Kılcal geçirimsizlik tayini

28 ve 90 günlük kılcal geçirimsizlikte pomza çeşidine göre üretilen ÇBM'lerin geçirimsizlikte ne kadar azaldığı deneysel verilerle Çizelge 4.14. de verilmiştir.

Çizelge 4.14. Kılcal geçirimsizlik deneysel veri sonuçları

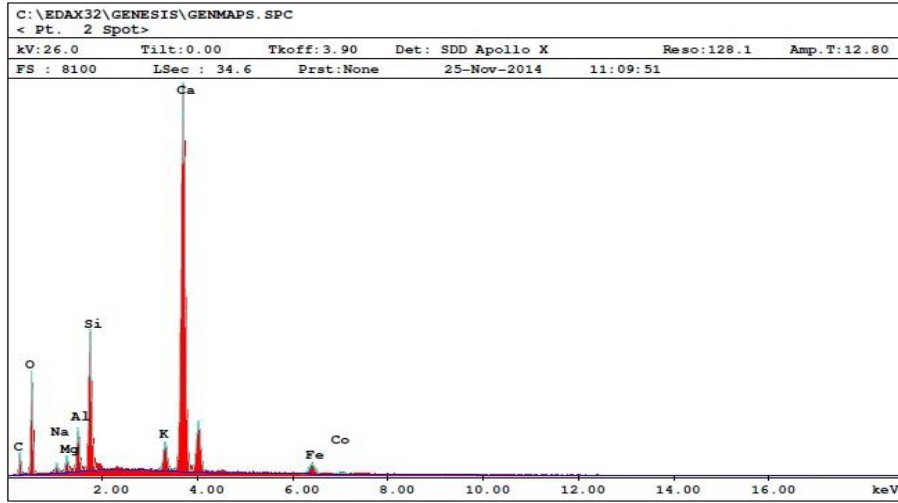
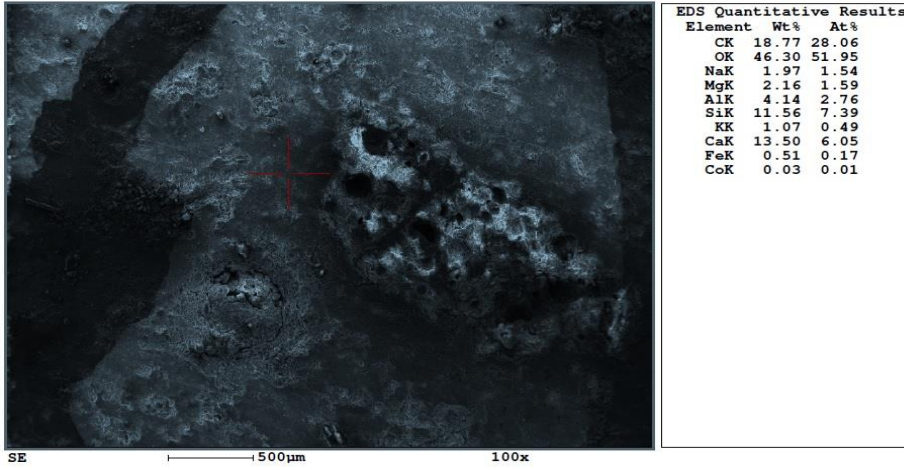
Kılcal Geçirimsizliği Hesaplanan ÇBM	Kılcal Geçirimsizlik 28 günlük	Kılcal Geçirimsizlik Hesabı 90 günlük
Aksaray	0,004991119	0,00454885
Isparta	0,005260449	0,00348712
Manisa	0,005054908	0,00226238
Normal	0,001478483	0,00138634

Kılcal geçirimsizlik ve durabilite gibi deneylerde C-S-H jel boşluklarının oluşması önemli bir yere sahip olmasından dolayı çimento hamuru üzerinden alınan SEM/EDS görüntüleri aşağıda verilmiştir.

SEM/EDS görüntüleri pomza agregaları yüzeyinden ve çimento hamuru yüzeyinden ayrı ayrı alınmıştır.

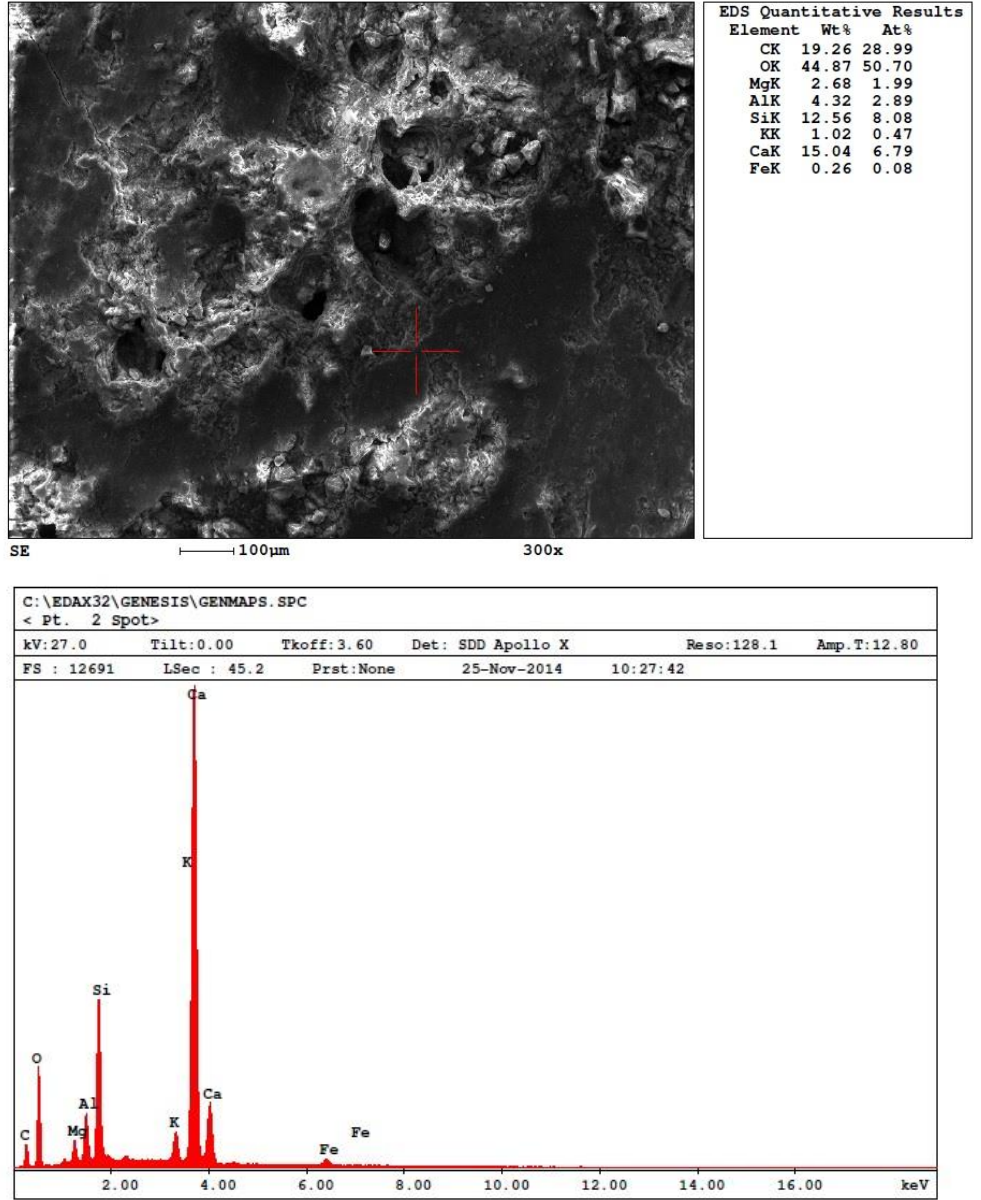
3 pomza agregası ve konvansiyonel agrega ile üretilen 4 numunenin SEM görüntüleri aşağıda verilmiştir. Numunelerin bir çimento bağlayıcı kısmından görüntü alınmıştır

Elde edilen değerlerin agrega XRF değerleri ile paralel sonuçları kontrol edilmiştir.



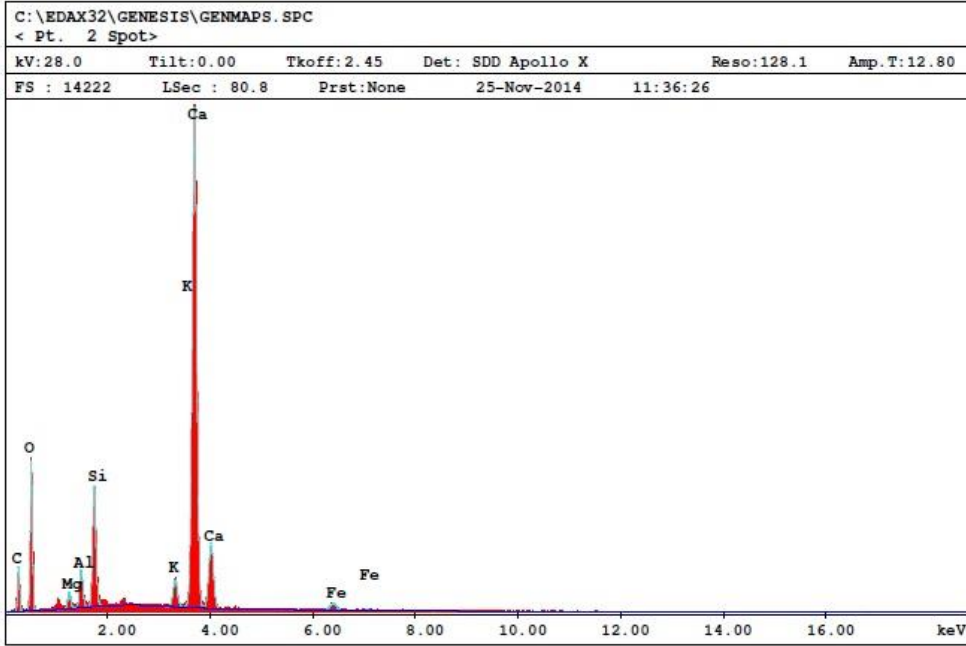
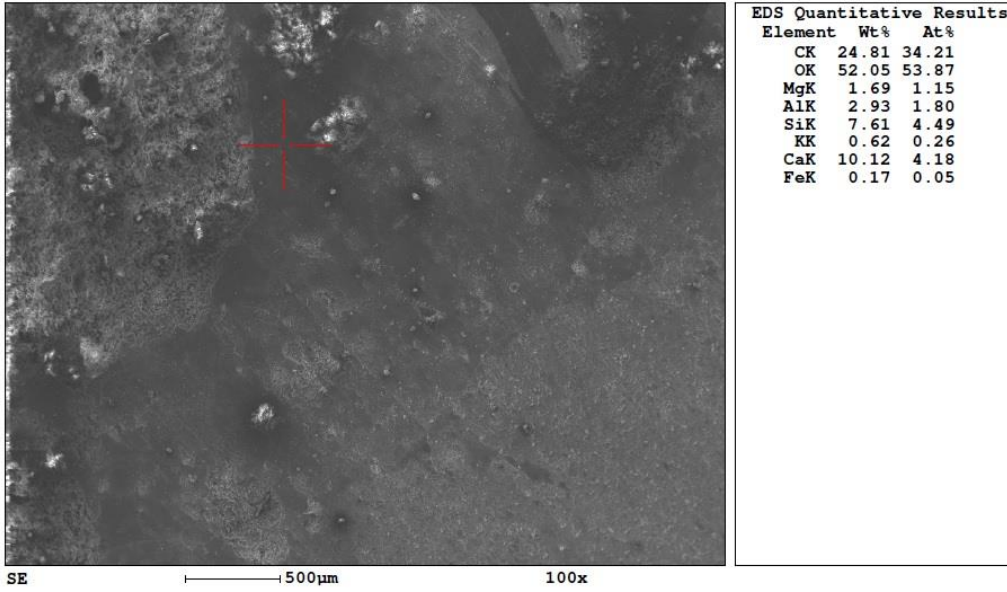
Şekil 4.11. Manisa pomza agregalı numunenin çimento kısmından alınan SEM/EDS görüntüsü

Çimento hamurunda edinilen EDS analizlerinde Manisa Ca içeriğinin yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. XRD analizinde belirlenen agregada ki Na, K içeren anortoklas yapı EDS grafiğinde belirgin olduğu görülmektedir.



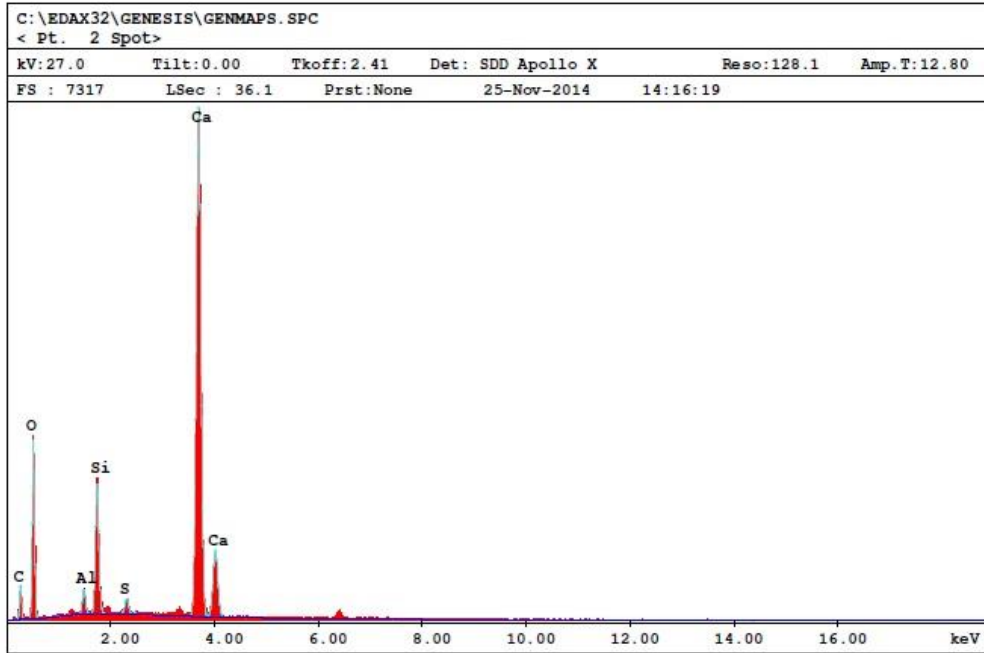
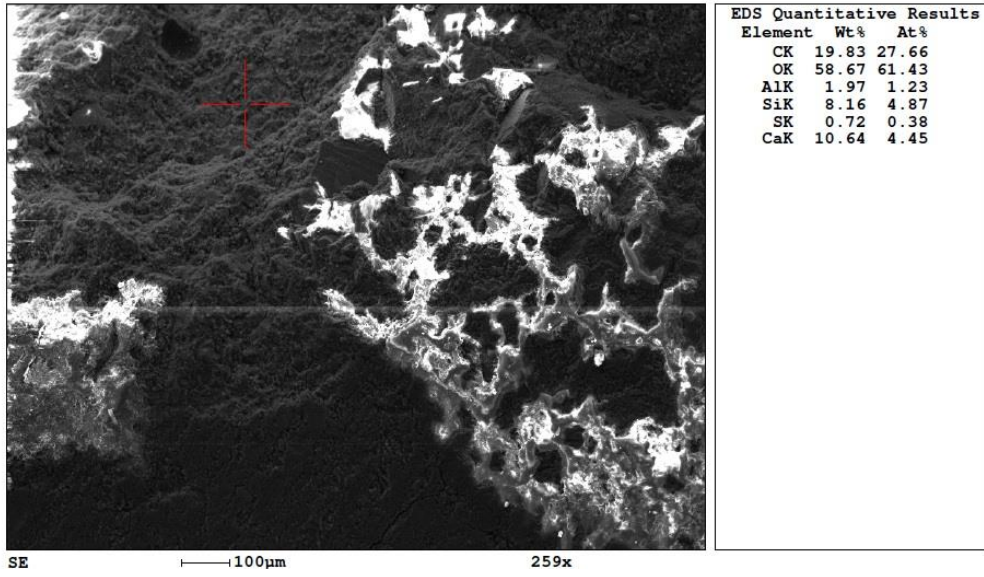
Şekil 4.12. Aksaray pomza agregalı numunenin çimento kısmından alınan SEM/EDS görüntüsü

Çimentonun XRF analizinde Si % 19,28, Ca % 61,36, Al % 4,28 ve Fe % 2,65 değerleri Aksaray pomza agregası içeren numunenin çimento hamurundan alınan EDS analizi ile yakın değerler elde edilmiştir.



Şekil 4.13. Isparta Pomza agregalı numunenin çimento kısmından alınan SEM/EDS görüntüsü

Çimento hamurundan alınan Isparta pomza agregasında Ca içeriğın yüksek olduğu görölmektedir. K içeriği XRD analizi ile belirlenen ortoklas miktarının yüksek olması çimento hamurunda alınan EDS görüntüsünde de K içeriği yüksek olduğu görölmektedir.



Şekil 4.14. Geleneksel agregalı numunenin çimento kısmından alınan SEM/EDS görüntüsü

Geleneksel agrega üzerinden alınan EDS analizinde Si içeriğinin olmaması ve çimento hamurunun üzerinden alınan EDS analiz sonucu Si içeriğinin görülmesi C-S-H jellerin çimento hamur kısmında oluştuğunu ve geleneksel agreganın boşluksuz yapısı hakkında bilgi vermektedir.

5. TARTIŞMA

5.1. Harç Üretiminde Kullanılan Agregaların Özelliklerinin Değerlendirilmesi

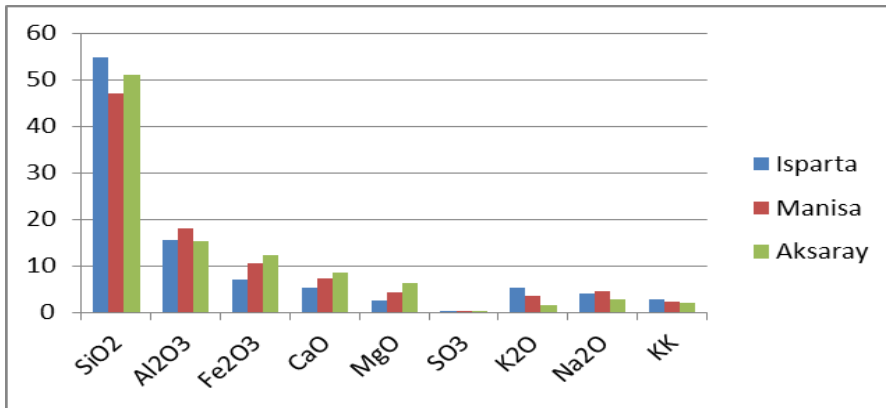
5.1.1. Agregaların kimyasal özelliklerinin değerlendirilmesi

Asidik ve bazik yapı inşaat malzemelerinde önemli bir kimyasal faktör olduğundan dünya genelinde Silika (SiO_2) yüzdesine göre yapılan sınıflandırmalar mevcuttur (Evan vd 1999).

Çizelge 5.1. Agregaların silica oranını göre sınıflandırılması (Evan vd 1999)

Ad	Silika %	XRF Yapılan Agregalar
Asidik	>66 %	-
Orta	52-66 %	Isparta
Bazik	45-52 %	Manisa,Aksaray
Ultrabazik	<45 %	-

Manisa ve Aksaray'dan alınan pomzaların bazik karakterde olduğu Isparta pomza agregasının ise daha çok orta derece de bir asidik pomza agregası olduğu XRF incelemesi tespit edilmiştir. XRF incelemesinde bileşenler yüzdesel olarak Şekil 5.1. de verilmiştir.



Şekil 5.1. XRF deney sonuçlarına göre agregalardaki kimyasal bileşikler

Aksaray pomza agregasında anortit ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) oldukça yüksek miktarda kristal yapı olarak bulunmaktadır. Isparta pomza agregasında ortoklas (KAlSi_3O_8) kristal yapısı fazla oranda mevcuttur. Manisa pomza agregasında ise anortoklas ($(\text{Na,K})\text{AlSi}_3\text{O}_8$) XRD piklerinin çoğunluğunu oluşturmaktadır.

Bir başka çalışmada bazalt pomza agregalarında anortit yüzdeleri genellikle % 45–55 arasında değiştiği gözlemlenmiştir (Yanık 2007).

4. Bölümde verilen agregaya yüzeyinden alınan SEM görüntüleri ile XRF kimyasal kompozisyon değerleri paralel çıktığı gözlemlenmiştir.

5.1.2. Agregaların su emme kapasitelerinin değerlendirilmesi

Çizelge 5.2. Kullanılan agregalarının su emme değerleri

Agrega Cinsi	3 Deney Ortalaması Su Emme %
Aksaray	6,99
Isparta	13,04
Manisa	11,25
Normal Kum	1,74

Aynı tane boyutunda yapılan asidik ve bazik pomza agregalarının su emme değerlerinde genel olarak asidik pomzaların su emme değerlerinin daha yüksek olduğu önceki çalışmalarda da belirtilmiştir (Yaşar ve Erdoğan 2005).

Agregaların su emme kapasiteleri değerlendirilirken kapalı boşluk miktarı tayini oldukça öneme sahip olmaktadır. Kapalı boşluk miktarı arttıkça su emme kapasitesi azalmaktadır buna karşılık özgül ağırlıkta düşme görülmektedir.

Karışımlar hazırlanmadan önce agregaya özelliklerinin tayininde su emme kapasitesi hem durabilite hemde mekanik özelliklerin belirlenmesinde önemli bir yere sahiptir. Her agregaya için yapılan deneylerde en yüksek su emme kapasitesine sahip olan pomza agregası Isparta pomza agregası olarak saptanmıştır. Isparta pomza agregasının özgül ağırlığında düşük olması boşluklu bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir.

5.1.3. Agregaların özgül ağırlıklarının değerlendirilmesi

Özgül ağırlık hesapların bazik pomzaların birbirine yakın değerlerde olduğunu asidik pomzanın ise biraz daha aşağı bir değerde olduğu görülmektedir. Isparta asidik pomzasının su emme kapasitesinin yüksek olduğundan görüldüğü gibi daha boşluklu bir malzeme olduğu görülmüştür. Buna bağlı olarak Isparta pomzanın özgül ağırlığı düşük çıkmıştır.

Çizelge 5.3. Agregaların özgül ağırlıklarının değerlendirilmesi

Özgül Ağırlığı Ölçülecek Agrega Türü	Karışım Hesabında Alınan Özgül Ağırlık gr/cm ³
Aksaray	2,28
Isparta	2,03
Manisa	2,31
Normal Kum	2,74
Çimento	3,06

5.1.4. Agregaların tane boyut dağılımı değerlendirilmesi

Agregaların tane boyut dağılım eğrilerine bakıldığında inceliği en fazla olan agreganın Manisa pomzası olduğu görülmektedir. Ardından Isparta, normal kum ve en iri danelere sahip olan agreganın ise Aksaray olduğu gözlenmektedir.

5.2. Taze hal üzerinde yapılan deneylerin değerlendirilmesi

Kimyasal katkı kullanılmadan uygun bulunan S/Ç 0,60 olarak belirlenmiştir. Bu da akışkan bir ÇBM elde edilmesini sağlamıştır. S/Ç'ler normalde dayanımın fazla olması adına minimum tutulması beklenir. Hafif agregalı betonlar dayanımdan ziyade yalıtım veya hafif taşıyıcı betonlara hizmet verdiğinden S/Ç yükseltilebilir.

Akışkan olan taze ÇBM'ler 25 darbeyi tamamlamadan akma tablasından yayılarak akmıştır.

Agrega boyutları en yüksek olan Aksaray pomza agregası ile üretilen ÇBM'nin en az işlenebilirliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir.

T

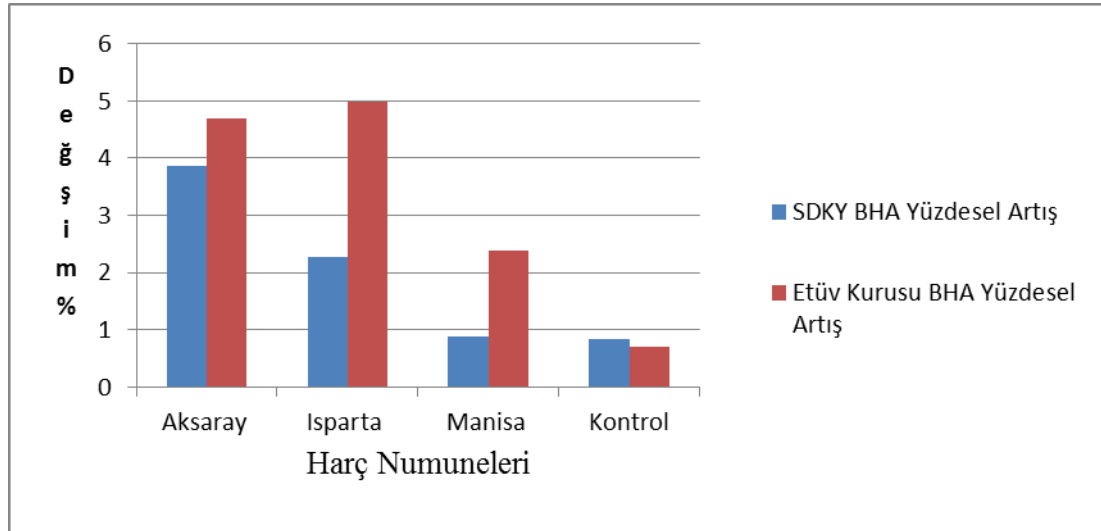
5.3. Sertleşmiş Çimento Bağlayıcı Malzeme Üzerinde Yapılan Deneylerin Değerlendirilmesi

5.3.1. Kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) jellerinin boşlukları doldurması

5.3.1.1. Birim hacim ağırlıkların değerlendirilmesi

Çizelge 5.4. BHA'larda yüzdesel artış

Numunenin İçerdiği Agrega Cinsi	SDKY BHA % Artış	Kuru BHA % Artış
Aksaray	3,859952635	4,700751923
Isparta	2,278280569	4,991289806
Manisa	0,894546015	2,381075341
Kontrol	0,847728917	0,71106792



Şekil 5.2. BHA'larda yüzdesel artış

Pomza agregalı ÇBM'lerin BHA'larda yüzdesel artış normal agregalı ÇBM numunelerine göre daha üstün olduğu gözlemlenmiştir. Asidik pomza olan Isparta pomzası ile üretilen ÇBM'nin kuru BHA'sında artış miktarının en yüksek olduğu belirlenmiştir.

Önceki çalışmalarda normal betonların iki farklı kür süresinde BHA'larında ki yüzdesel artış miktarı pomza agregalı çimentolara göre daha az olduğu gözlemlenmiştir (Türkel ve Kadiroğlu 2007).

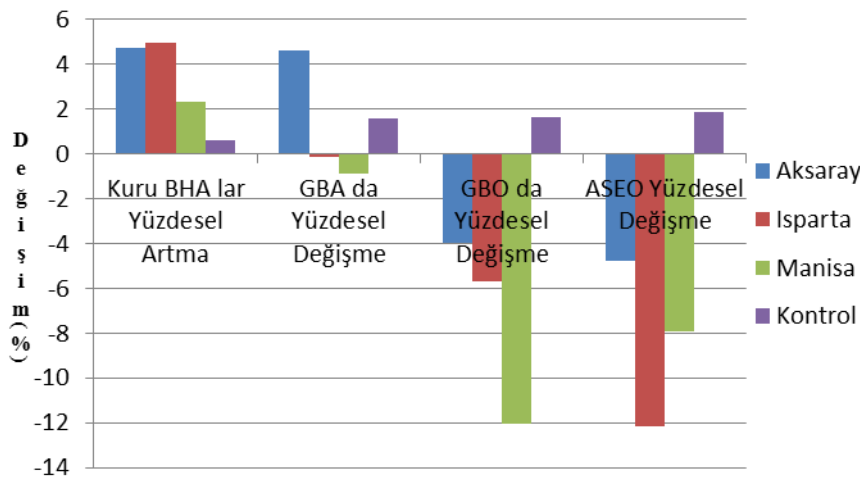
5.3.1.2. Kür süresinde porozite azalmalarının değerlendirilmesi

Burada, A, Kuru birim ağırlık, B, görünür birim hacim ağırlık, C, görünür boşluk oranı, D, ağırlıkça su emme oranı ise ASTM C 642 ye göre hesaplanan değerler Çizelge 5.5 de verilmiştir.

Çizelge 5.5. A, B, C, D 28 ve 90 günlük değerler

Numune 28 günlük	A gr/cm ³	B gr/cm ³	C %	D %
Aksaray	1,6394081	2,505952381	31,79377014	21,09263658
Isparta	1,472556391	2,429900744	42,88052373	26,75516977
Manisa	1,628134796	2,542839657	47,76274714	22,09386282
Kontrol	1,92412231	2,619218911	12,12068966	13,79242692

Numune 90 günlük	A	B	C	D
Aksaray	1,717195736	2,621294616	30,52291937	20,08539118
Isparta	1,545595054	2,427184466	40,43010753	23,50000000
Manisa	1,666218242	2,520348837	42,01172154	20,33910035
Kontrol	1,936434109	2,66027689	12,32011232	14,05124099



Şekil 5.3. A, B, C, D değerlerin 28 ve 90 günlük yüzdesel artış azalış değerleri

Pomzadaki SiO₂ miktarının fazlalığı ve amorf yapısından dolayı puzolanik reaksiyon göstererek Ca(OH)₂'i tüketip C-S-H jeline dönüştürerek basınç dayanımında artışa sebep olduğu bilinmektedir (Lee vd 2003).

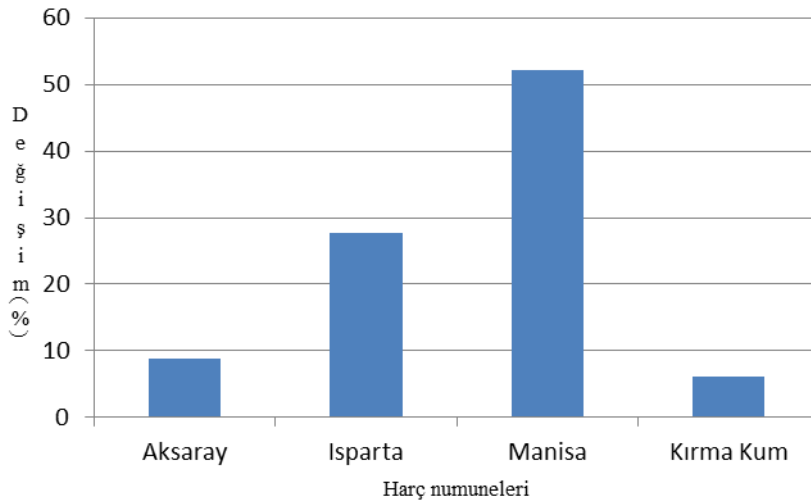
Etüv de 100 °C 24 saat tutulan numuneler daha sonra 400 °C de 1.5 saat daha bekletilerek ortalama 10 gram daha su kaybettiği görülmüştür.

5.3.1.3 Kür süresinde kılcal geçirimsizlik değerlendirilmesi

Özellikle Manisa pomza ile yapılan ÇBM de büyük ölçüde kapiler boşluklarda azalma olduğu görülmektedir. Manisa pomza agregasının inceliğinin bunda etkisinin olduğu düşünülmelidir. Puzolanik etkiden ince malzemelerde 58 günden sonra ki değerler daha önemli yere sahip olduğundan ikinci kür süresi 90 gün olarak alınmıştır.

Çizelge 5.6. Kılcal geçirimsizlikte olan yüzdesel azalma

Numunenin İçerdiği Agrega Cinsi	Kılcal Geçirimsizlikte Yüzdesel Azalma
Aksaray	8,861119297
Isparta	27,72837484
Manisa	52,1367717
Kontrol	6,232018303



Şekil 5.4. Kılcal geçirimsizlikte olan 90 günlük numunelerde yüzdesel azalma

Önceki çalışmalarda pomza agregalı betonların kılcal geçirimsizlik katsayıları, normal betonlara göre daha düşük değerlerde çıkmıştır. Uygulanan kür iyileştikçe geçirimsizliğin azaldığı belirlenmiştir. Böylece, iyi kür uygulandığında hafif betonların, normal betonlara göre daha iyi hidrasyon yaptığını ortaya koymuş ve kapiler boşluklarını yüzdesel olarak daha hızlı doldurduğu görülmüştür (Geçten ve Gül 2013).

Bir başka çalışmada hidrasyonun sürekliliği için betona uygulanan özellikle su kürünün dayanımdan çok geçirimsizliği etkilediğini belirtmektedir (Taşdemir 1998).

5.3.2. Mekanik deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Eğilme dayanımı, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve bu dayanımların 90 günlük numunelerde yüzdesel değişimlerine yer verilmiştir.

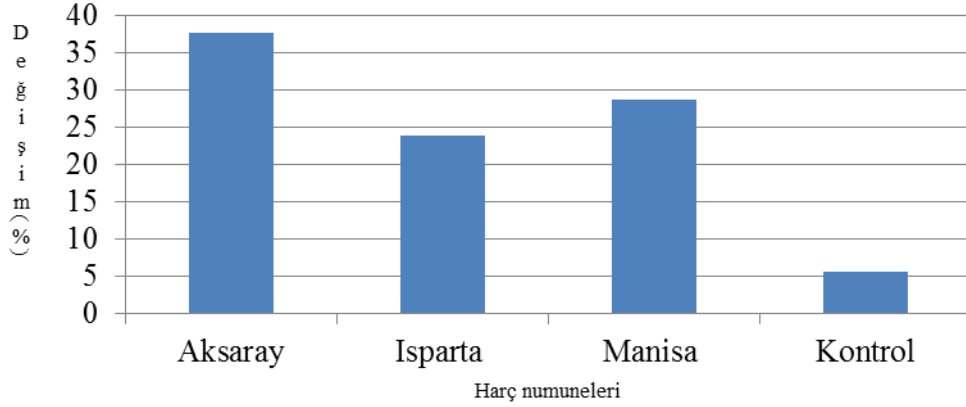
5.3.2.1. Yarmada çekme dayanımı

Yarmada çekme dayanımı deneyinin 90 günlük yüzdesel artışları Çizelge 5.7 de verilmiştir. Şekil 5.5’de yüzdesel artışlar grafik olarak verilmiştir.

Çizelge 5.7. Yarmada çekme dayanımında yüzdesel artışlar

Numunenin İçerdiği Agregata Cinsi	90 Günlük Numunelerde Yarmada Çekmede % Artış
Aksaray	37,60504204
Isparta	23,89240505
Manisa	28,66972475
Kontrol	5,612244902

Pomza agregaları ile üretilen numuneler ile kontrol numunesi karşılaştırıldığında pomza agregaları ile üretilen numuneler çok daha hızlı bir dayanım artışı sergilediği belirlenmiştir. Pomza agregaları numuneler kendi aralarında değerlendirildiğinde ise iri danelere sahip bazik pomza agregası ile üretilen Aksaray pomza agregası en yüksek yüzde artışa ulaşmıştır.



Şekil 5.5. Yarmada çekme dayanımında 90 günlük yüzde artış değerleri

Önceki çalışmalarda pomza ile üretilen beton ile normal agrega ile üretilen betonlar arasında 7-28 günlük yarmada çekme dayanımlarda yüzdesel artış farkı % 2-3 olduğu gözlemlenmiştir (Türkel ve Kadiroğlu 2007).

Çalışma kapsamında yapılan 90 günlük yarmada çekme dayanımlarının artış farkının %23-37 üzerinde olduğu gözlenmiştir. Bazik pomza agrega içeren numunelerin asidik pomza içeren numuneden daha hızlı bir dayanım artışı gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.8. Yarmada çekme dayanımı değerleri

Numunenin İçerdiği Agrega Cinsi	Yarmada 28 günlük Fct (MPa)	Yarmada 90 Günlük Fct (MPa)
Aksaray	3,03	4,17
Isparta	2,68	3,32
Manisa	2,78	3,57
Normal Kum	4,16	4,39

Geleneksel agrega içeren numunenin 28 günlük eğilme değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. 90 günlük numunelerde ise iri agrega tane boyutlu Aksaray pomzası içeren numunenin normal ÇBM'ye yaklaşık dayanım değerlerine ulaştığı görülmüştür.

Öğütülmüş pomzanın çimento ile belli oranlarda yer değiştirmesi ile yapılan çalışmalarda 7, 28, 90 ve 180 gün kürede bekletilen numunelerin yarmada çekme dayanım sonuçları yapılmış puzolanik etki araştırılmıştır. Çalışma kapsamında üretilen

kontrol numuneleri ile %20 çimento ile yer değiştirilmiş pomza tozu içeren numune karşılaştırıldığında 7 günlük dayanımı kontrol numunesinden düşük olmasına rağmen, pomza tozu içeren numunenin 180 günlük deney sonuçlarında kontrol numunesinden yüksek değere ulaştığı görülmüştür (Kabay vd 2015).

Bir başka çalışmada silindir yarma ve eğilme deneylerinde hafif agregalı betonların normal betonlara kıyasla erken dönemde daha düşük dayanım değerlerinde kırılmalarının yanısıra daha tok bir sesle ve daha gevrek bir şekilde kırıldıkları gözlenmiştir. Kırılma yüzeyleri incelendiğinde de, pomza agregaların kırılması sonucu hafif betonların normal betonlardan daha pürüzsüz bir yüzeye sahip olduğu görülmüştür. Hafif betonlarda, mekanik özellikleri normal agregalardan daha düşük olan pomza agregalarının etkilendiği yük ile kırılması, kireçtaşı agregalı normal betonlarda ise kırılmanın bağlayıcı matrisinin içinden geçerek ve agregata etrafından dolaşarak gerçekleşmesinden kaynaklanan bu durum nedeniyle, hafif betonların taşıyıcı amaçlarla kullanımında enerji yutabilme kapasitelerinin (tokluklarının) önemli bir unsur olduğu göz önünde bulundurulması gerektiği belirtilmiştir (Türkel ve Kadıroğlu 2007).

5.3.2.2. Eğilmede çekme dayanımı

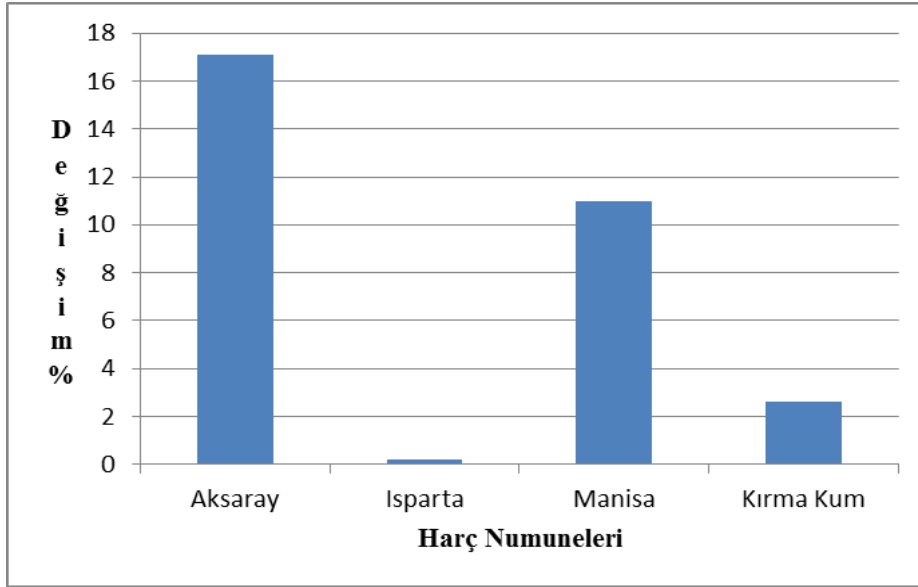
3 Numune üzerinde yapılan yarmada çekme deneyinin hem 28 günlük hemde 90 günlük yaşta MPa olarak hesabı yapılmıştır.

Çizelge 5.9. Numunelerin eğilme deneyleri yüzdesel değişimleri

Numunenin İçerdiği Agrega Cinsi	90 Günlük Eğilmede Yüzdesel Değişim
Aksaray	17,11
Isparta	0,19
Manisa	11
Kontrol	2,61

Numuneler üzerinde yapılan eğilme deneyleri ve yarmada çekme dayanımı değerlendirildiğinde sonuçların paralel sonuçları olduğu görülmektedir. Aksaray pomza agregalı numunenin daha yüksek bir yüzde ile artış gösterdiği saptanmıştır.

Asidik pomza agregalı Isparta numunesinin düşük değerde bir yüzde artışı gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 5.6. Eğilmede çekme dayanımında 90 günlük olan yüzdesel değişim

Eğilme dayanımı süneklik ile alakalıdır. Betonarme yapılarda çelik kullanılması amacı budur. Bazik pomzaların geleneksel betona göre daha iyi bir dayanım artışı olduğu Isparta pomzasında ise dayanım artışının az bir miktar olduğu görülmektedir.

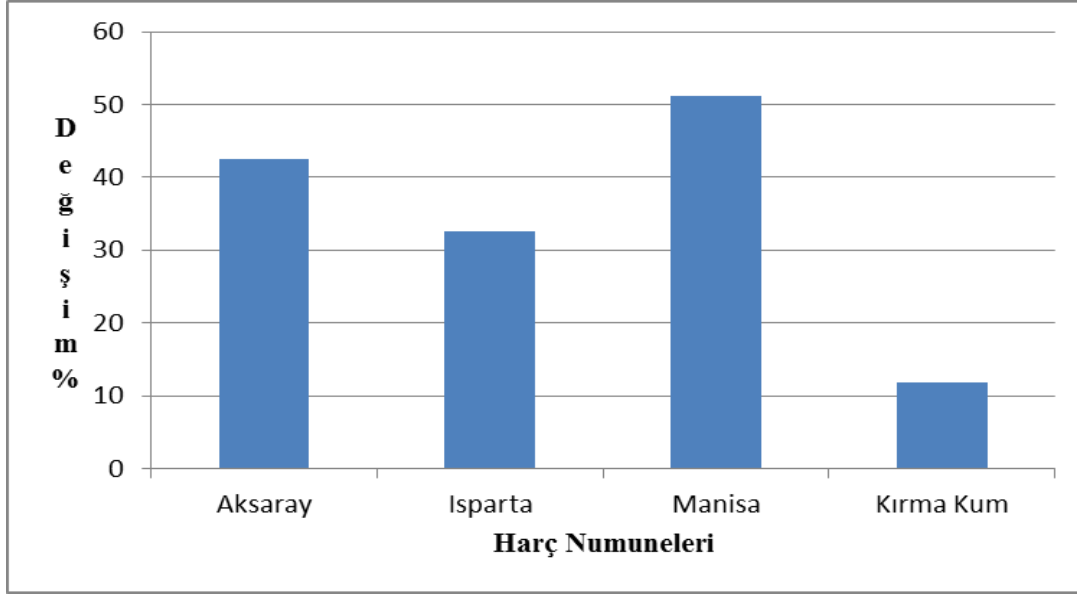
Isparta pomza agregasının düşük artışı göz önüne alındığında karışımlar yapılarak kimyasal reaksiyonların minimuma indirilmesi sağlanmadan mümkün oldukça şüpheli agrega kullanılmaması gerektiği belirtilmiştir (Gürkan 2006).

5.3.2.3. Basınç dayanımı

Eğilme deneyinde kırılan numunelerden elde edilen 6 numunenin basınç dayanımının 28-90 günlük sürede yüzdesel dayanım artışları

Çizelge 5.10. 90 günlük numunelerin yüzdesel artış miktarları

Numunenin İçerdiği Agrega Cinsi	Basınçta Yüzdesel Değişim 28 ve 90 Günlük
Aksaray	42,52
Isparta	32,66
Manisa	51,22
Kontrol	11,86



Şekil 5.7. Basınç dayanımında 90 günlük olan basınç dayanımında yüzdesel artışlar

Isparta yöresinde yapılan bir başka çalışmada 3-28 günlük kür sürelerinde dayanım artışının % 60,8 olduğu deneysel çalışmalarla belirlenmiştir (Başyiğit vd 2011).

Puzolanlar, betonda klinkerin hidrasyonundan oluşan Ca(OH)_2 ile tepkime verirler. Bu nedenle betona karışım suyu ilavesinden itibaren bir süre ortamda Ca(OH)_2 birikene kadar portland çimentosunu seyreltici bir etki yapması beklenir. Fakat zamanla ortamda Ca(OH)_2 birikmesi puzolanların da sistemin dayanımını arttıran etkilerinin ortaya çıkmasını sağlar. Bu sebeple, Portland çimentosu-puzolan karışımı içeren betonlar aynı incelikteki Portland çimentosu içeren betonlara göre daha uzun süreli küre ihtiyaç duyarlar (Yazıcıoğlu ve Demirel 2006).

Pomza katkılı üretilen betonlarda puzolanik etkinin daha yüksek olduğu geleneksel agrega ile pomza agregaları yer değiştirilmesi ile ve/veya çimentonun ince öğütülmüş agrega ile yer değiştirmesi 12 haftalık deneysel çalışmalara evvel ki çalışmalarda tespit edilmiştir (Hossain 2011).

İnşaat mühendisliğinde yaygın uygulama alanı bulan normal betonun iyi bir taşıyıcı olup, birim ağırlığı büyüktür. Normal betonun birim ağırlığının düşürülmesiyle betonarme elemanın öz ağırlıkları azaltılarak yapı hafifletilebilirken beton dayanımları azalmaktadır. Isparta pomzanın boşluk oranının diğer pomza agregalarından yüksek

olduğu düşünülürse daha düşük performans göstermesi yüksek poroziteye sahip olmasına bağlanabilir.

Pomza agregası ve/veya belirli oranlarda çimento ile yer değiştiren öğütülmüş pomza katkılı çimento ile üretilmiş ÇBM'lerde erken yaş dayanımının düşük olduğu daha C-S-H jel boşlukların dolması ile uzun dönemde mekanik özelliklerin iyileştiği bilinen durumdur. Pomza içeren ÇBM'lerin erken yaş dayanım özelliğini arttırmak amaçlı çalışmalar yapılmaktadır. Alkyl Alkoxy Silane gibi katkı maddeleri kullanılarak erken yaş dayanımının %45 arttığı literatür çalışmalarında görülmüştür (Felekoğlu 2012).

Isparta pomzası ile üretilen numunelerin diğer numunelerden daha az dayanım sonuçları verdiği gözlemlenmiş olup 28 günlük dayanımdan 90 günlük dayanıma geçişte daha az yüzdesel artış göstermiştir. Bir başka çalışmada %71,6 SiO₂ içeren perlit agregası ile yapılan çalışmalar ASR deneylerinde daha çok genleşme görülmüştür. Reaktif agreganın daha çok oranda bulunduğu tespit edilmiş olup pesimum reaktif agrega oranı belirlenmiştir (Gökçe ve Şimşek 2010). Isparta pomza agregalı numeninde reaktif agrega oranını ile ilgili bu performans düşüklüğü ilişkilendirilebilir.

Önceki yapılan çalışmalarda perlit agregası bulunan harç çubuğu örneklerinin 14 günlük boy uzama değerlerinin ASTM C-1260 "Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method) standardında belirtilen "Genleşme Sınırını, (% 0,1)" aşdığı deneysel çalışmalarla belirlenmiş ve literatürde yerini almıştır. Ankara Çubuk perlit agregasının yüksek alkali-silika reaktivitesi yüzünden, agreganın mineral katkıları ile birlikte kullanılmasının, betonda muhtemel bir alkali silika reaksiyonunun engellenmesi açısından önemli olduğu yine çalışmalarda belirtilmiştir (Gökçe vd 2010).

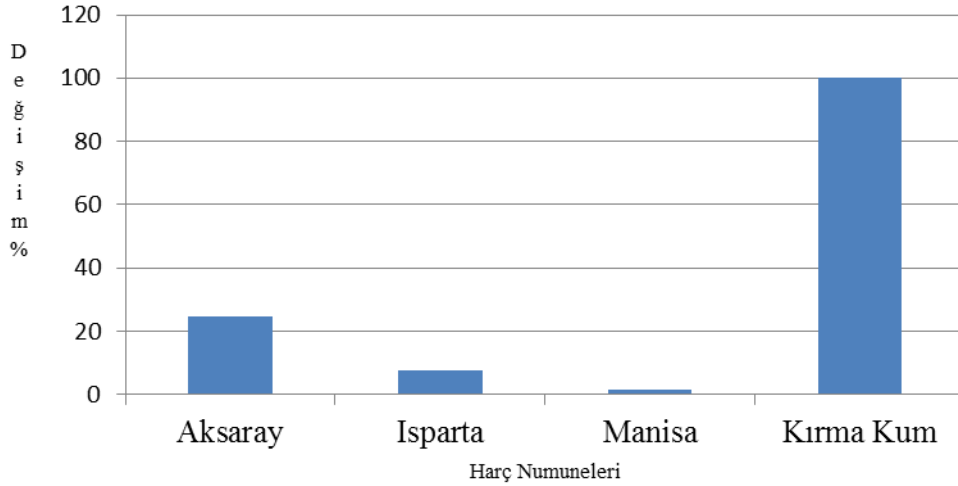
5.3.3. Durabilite deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Dayanıklılık (durabilite), beton ve veya betonarme yapının zaman içinde özelliklerini kaybetmemesidir. Betonun durabilitesinin etki eden faktörler başlıca D-Ç etkisi, sülfat saldırısı, yüksek sıcaklığa maruz kalma ve daha birçok etmen beton ömrünü etkilemektedir. Aşağıda pomza agregası ile yapılan numunelerin durabilite özellikleri değerlendirilmiştir.

Donma-çözünme kabininde 30 çevrime maruz kalan numunelerin 28 ve 90 günlük D-Ç'ye maruz kalmayan numunelere göre dayanım kayıpları yüzdesel olarak incelenmiştir.

Çizelge 5.11. D-Ç'ye maruz kalan numunelerin 28 günlük normal numunelere göre basınç dayanımında yüzdesel olarak dayanım kayıpları

Numunenin İçerdiği Agrega Cinsi	Basınçta Yüzdesel Azalma 28 ve 28 günlük D-Ç
Aksaray Pomza İçeren ÇBM	24,73
Isparta Pomza İçeren ÇBM	7,73
Manisa Pomza İçeren ÇBM	1,39
Kırma Kum İçeren ÇBM	100



Şekil 5.8. 30 Çevrim D-Ç'ye maruz kalan numunelerin 28 günlük normal numunelere göre yüzdesel olarak dayanım kayıpları.

D-Ç' ye karşı kullanılan hava sürükleyici katkıları ve diğer yöntemlere alternatif doğal bir yöntem olarak pomza agregalarının beton veya harç içinde kullanılabilmesi gözlemlenmiştir.

D-Ç' ye çok miktarda maruz kalan her bölgede numunenin yük taşıma kapasitesine uygun olan her bölgede pomza agregalarının kullanılabilmesi saptanmıştır



Şekil 5.9. Normal agregalı 28 günlük 30 çevrime maruz kalmış numunelerin dağılması

Donma-çözünme kabininde 30 çevrime maruz kalan numunelerin 28 ve 90 günlük D-Ç'ye maruz kalmayan numunelere göre dayanım kayıpları yüzdesel olarak incelenmiştir.

Normal kumla 28 gün küre tabi tutularak üretilen numuneler 30 günlük çevrimde tamamen dayanımını kaybederken pomza agregalı numunelerde çok daha az dayanım kaybı olup ince tane boyutuna sahip Manisa pomza agregalı numunede dayanım artışı gözükmemektedir.

Yüksek poroziteli hafif agregalarla üretilen numunelere farklı oranlarda su emdirilerek yapılan mekanik deneylerde daha düşük oranda su emdirilen ve/veya etüv kurusu yüksek poroziteye sahip agregalı numunelerin D-Ç karşı daha yüksek direnç gösterdiği tespit edilmiştir (Kucharczykova 2012).

Bu çalışmada ise SDKY agregası kullanılmış %100 su emdirilmiştir. SDKY agregalı numunelerin normal kumla yapılan ÇBM'lere göre daha dirençli olduğu görülmüştür.

Yüksek poroziteli agregası kullanılarak kuru agregası, %13 su emdirilerek ve % 29 su emdirilerek yapılan çalışmada ise kontrol numunesi ile D-Ç deney sonuçlarında bir avantaj elde edilememiş porozitesi yüksek agregalarda ön emdirme işleminin önemi ortaya çıkarılmak istenmiştir (Pospíchal vd 2010).

Bir başka çalışmada %10, %20 ve % 30 hacimce normal agregası ile yer değiştiren genişletilmiş perlit ve pomza agregalı betonların normal hava sürükleyici katılarak 100 çevrim D-Ç'ye maruz bırakılmıştır. İkisinde de bütün deney sonuçlarında hava sürükleyiciden daha iyi bir direnç elde edilmiştir. %10 agregası ile yer değiştiren hafif agregalı numunelerde 100 çevrim sonucunda azalma değil artma görülmüştür (Polat vd 2010).

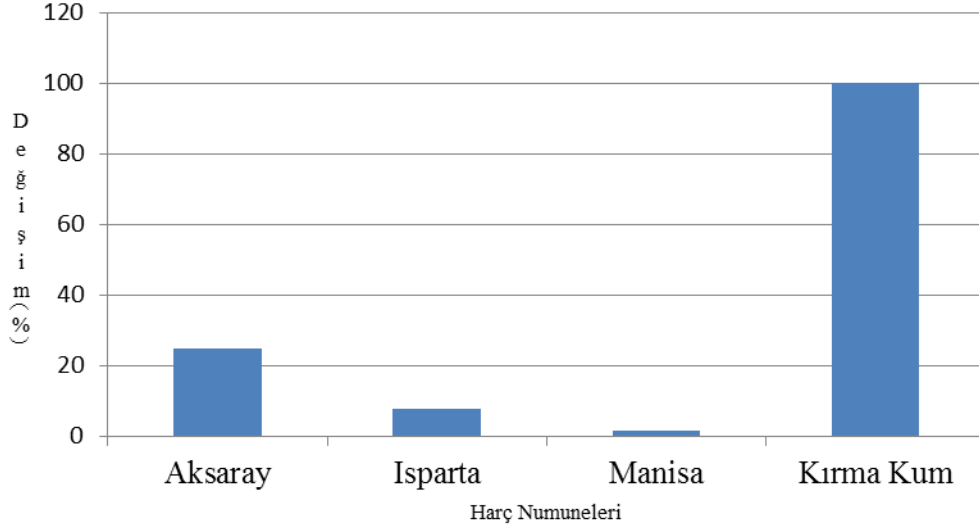
Bir başka araştırmada kullanılan doğal hafif agregayla üretilen betonların çimento miktarıyla önemli mekanik dayanımlarının arttığı, kireç katkısıyla bu dayanımların azaldığı ve donma-çözülme etkisinin betonun özellikleri üzerinde önemsiz derecede olumsuz etkilere sahip olduğu ve bu betonların soğuk iklim koşullarına açık, yapı elemanlarında da başarıyla kullanılabilmesi sonucuna varılabilir. Bu şekilde hafif betonların hafiflik ve yeteri derecede dayanım gerektiren yapı elemanlarında, yalıtım betonu ve taşıyıcı olarak kullanılabilmesi söylenebilir (Turgutalp ve Örüng 1992).

Çizelge 5.12. D-Ç'ye maruz kalan numunelerin 90 günlük normal numunelere göre yüzdesel olarak dayanım kayıpları

Numunenin İçerdiği Agregası	Basınçta Yüzdesel Günlük 90 günlük D-Ç
Aksaray	16,71
Isparta	4,88
Manisa	7,58
Kontrol	100

Avrupa'da, pomza agregası ile üretilen betonlar toplam hafif betonun yaklaşık % 3'ünü teşkil edip Almanya'da toplam pomza agregası tüketiminin % 70'inin sünger taşı olduğu istatistiksel verilerde yer almaktadır. Üretilen harçların D-Ç'ye karşı mükemmel direnci yapılan deneyler sonucunda belirlenmiştir (Litwan 1985).

D-Ç'ye maruz kalan bölgelerde ÇBM'ye D-Ç'nin vereceği tahribatı önlemeye yönelik tedbir alınmadığı takdirde betonun veya harcın taşıyıcılığını tamamen kaybedeceği bilinen bir durumdur. Bu durum gözönüne alındığında D-Ç'ye karşı alınacak önlemlerin önemi görülmektedir. Alınacak her kimyasal katkı beraberinde komplikasyon bir dezavantaj getirebilmektedir. Pomza agregası kullanımı gibi doğal çözüme gitmenin faydalı bir sonuç getirebileceği çalışma kapsamında gözlemlenmiştir.



Şekil 5.10. D-Ç'ye maruz kalan numunelerin 90 günlük normal numunelere göre yüzdesel olarak basınç dayanım kayıpları

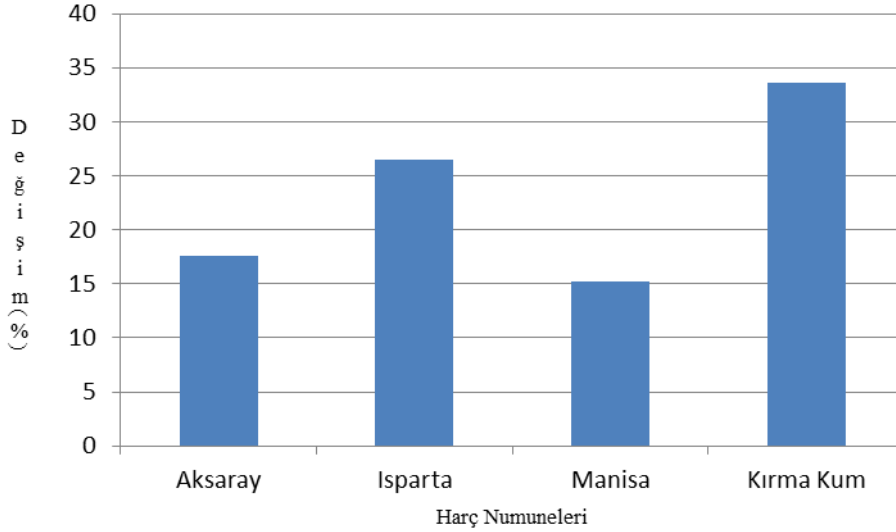
Hava sürükleyici katkı içeren betonlarda D-Ç etkisi sonucunda daha az hasar oluştuğu önceki çalışmalarda tespit edilmiştir. Farklı agregalarla aynı koşullarda üretilen numunelerde D-Ç etkisi araştırıldığında farklı agregaların D-Ç'ye karşı direnci etkilediği görülmüştür (Şengül vd 2003).

Hava sürükleyici katkı maddelerinin normal betonların dayanımlarını ortalama % 5 düşürdüğünü göz önüne alınarak katkı maddesi hiç kullanılmadan agregada D-Ç etkisine karşı direnç arttırmada alternatif çözüm arayışlarında böyle çalışmalar önem arz etmektedir.

Pomza agregalı numunelerin D-Ç'ye karşı direnci kontrol numunesine göre incelendiğinde pomza agregalı numunelerin daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. Pomza agregalı numuneler kendi aralarında incelendiğinde ise iri danelere sahip Manisa pomza agregalı numunenin çok daha az dayanım kaybettiği belirlenmiştir. Kırma kum ile üretilen kontrol numunesi harcı hem 28 günlük hem de 90 günlük numunelerde 30 çevrimde dağılmış ve yük yaşayamaz hale gelmiştir.

Çizelge 5.13. 90 dakika 400 °C'ye maruz kalan numunelerin 28 günlük normal numunelere göre yüzdesel olarak dayanım kayıpları

Numunenin İçerdiği Agrega Cinsi	Basınçta Yüzdesel Azalmalar 28 günlük ve 28 günlük 400 °C
Aksaray	17,54
Isparta	26,44
Manisa	15,23
Kontrol	33,61



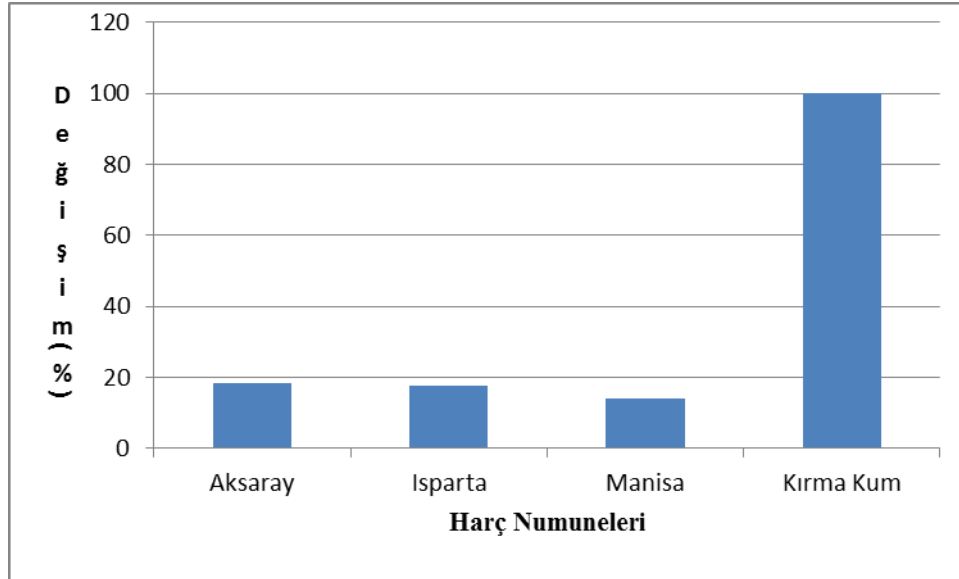
Şekil 5.11. 90 dakika 400 °C'ye maruz kalan numunelerin 28 günlük normal numunelere göre yüzdesel olarak basınç dayanım kayıpları

Pomza ve perlit agregaları ile yapılan yüksek sıcaklık dayanımlarında en büyük kayıplar 700 °C olduğu evvel ki çalışmalarda deneysel olarak belirtilmiştir (Karakoç 2013)

28 günlük bazik pomza agregası içeren numuneler kontrol numunelerine göre yaklaşık %15 daha az dayanım kaybetmiştir. Asidik Isparta pomza agregası ile kaybedilen dayanım ise diğer pomza agregalı ÇBM'lere göre daha fazladır. Isparta agregası içeren ÇBM'nin bu dayanım kaybı ASR veya başka bir kimyasal reaksiyon ile ilişkilendirilebilir. Sıcaklığın artması ASR reaksiyonlarını hızlandırdığı deneysel çalışmalarla belirlenmiştir (Gürkan 2006).

Çizelge 5.14. 90 dakika 400 °C' ye maruz kalan numunelerin 90 günlük normal numunelere göre yüzdesel olarak dayanım kayıpları.

Harcın İçerdiği Agrega Cinsi	Basınçta Yüzdesel Azalma 90 günlük - 90 günlük 400 °C
Aksaray	37,03
Isparta	27,11
Manisa	33,50
Kontrol	35,51



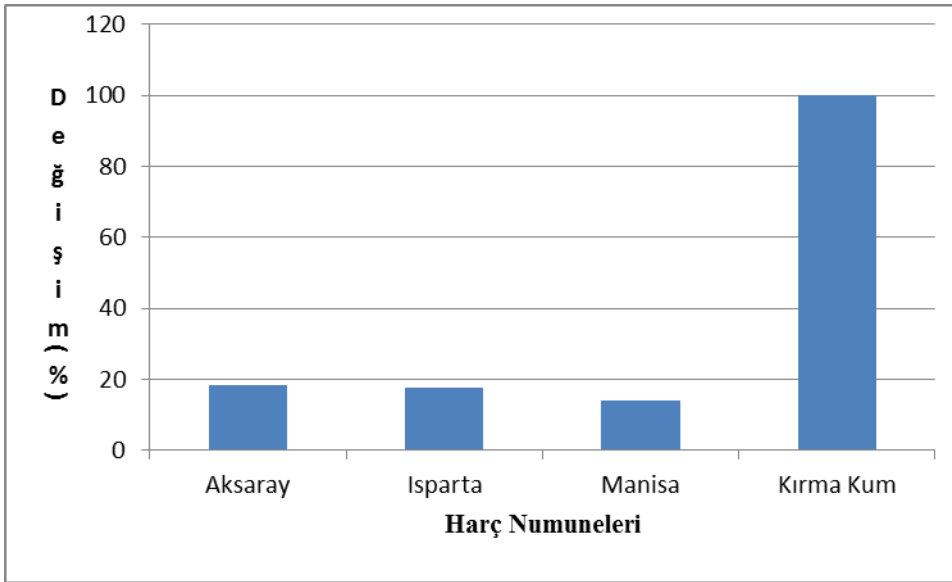
Şekil 5.12. 90 dakika 400 °C'ye maruz kalan numunelerin 90 günlük normal numunelere göre yüzdesel olarak basınç dayanım kayıpları.

Hafif betonların normal betonlara göre yüksek sıcaklığa karşı dayanımı %20 daha fazla olduğu daha evvel yapılan çalışmalarda görülmüştür (Evan vd 1999). İleri yaş dönemlerinde bu çalışma kapsamında dayanım kayıplarının arttığı gözlemlenmiştir.

Hafif betonların sıcaklığa karşı direncini belirlemede 150 ve 300 °C maruz kalan numunelerde kayda değer bir dayanım azalması görülmemiştir (Bingöl ve Gül 2004)

Çizelge 5.15. D-Ç'ye maruz kalan numunelerin 28 günlük normal numunelere göre eğilme dayanımında yüzdesel olarak dayanım kayıpları

Harcın İçerdiği Agrega Cinsi	Eğilmede Yüzdesel Azalma 28 günlük ve 28 günlük D.Ç.
Aksaray	18,44
Isparta	17,66
Manisa	14,03
Kontrol	100

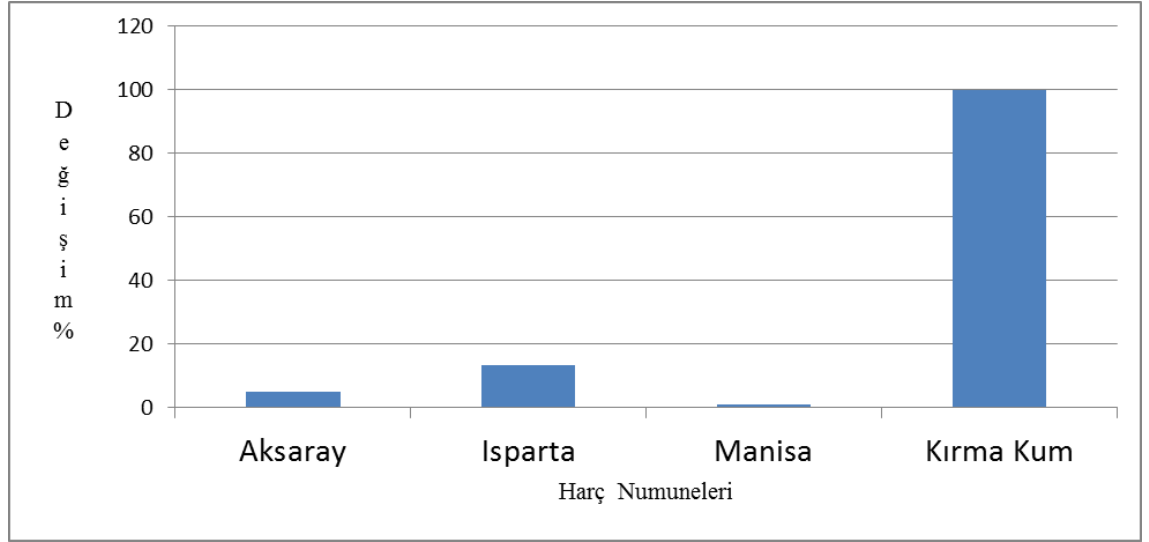


Şekil 5.13. D-Ç'ye maruz kalan numunelerin 28 günlük normal numunelere göre eğilme dayanımında yüzdesel olarak dayanım kayıpları

Genleştirilmiş perlit agregası ve pomza agregası ile yapılan 100 çevrim D-Ç deneylerinde numunelerde mekanik dayanım kaybı olmadığı %10 agregası ile yer değiştiren bazı numunelerde ise kontrol numunelerine göre artış meydana geldiği görülmüştür (Polat vd 2010).

Çizelge 5.16. D-Ç'ye maruz kalan numunelerin 90 günlük normal numunelere göre eğilme dayanımında yüzdesel olarak dayanım kayıpları

Harcın İçerdiği Agrega Cinsi	Eğilmede Yüzdesel Azalma 90 günlük ve 90 günlük D.Ç.
Aksaray	5,03
Isparta	13,42
Manisa	0,85
Kontrol	100



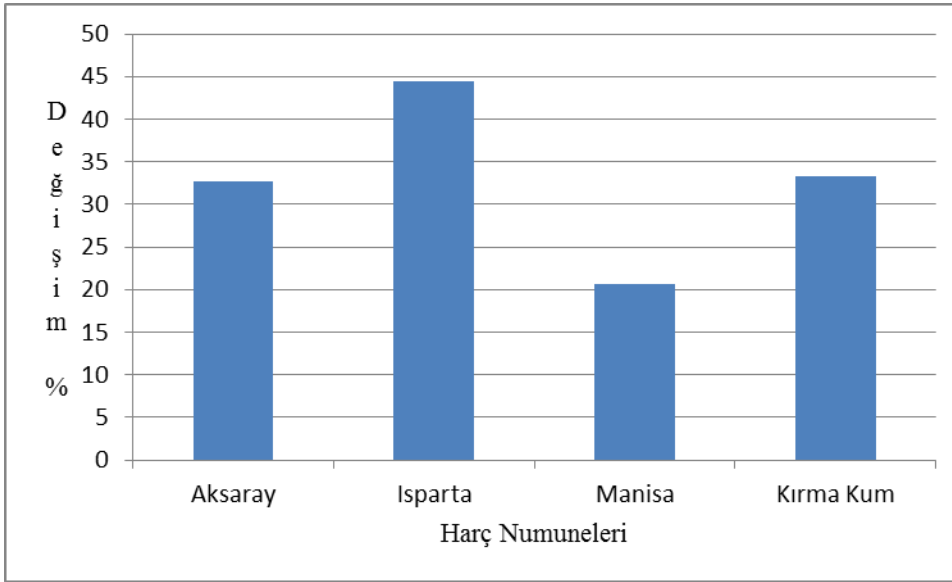
Şekil 5.14. D-Ç'ye maruz kalan numunelerin 90 günlük normal numunelere göre eğilme dayanımında yüzdesel olarak dayanım kayıpları

Betonda tahribat yapmadan ultrasonik testler sonucunda: betonun homojenliği, içindeki boşluklar, çatlaklar, beton yapısındaki yangın ve kimyasal olaylarla meydana gelen değişimler ile beton dayanımı ve kalitesi ile ilgili bilgiler elde edilmektedir (Karahana 2006).

Bütün basınç dayanım değerlerinde olduğu gibi 3 çeşit pomza agregalı numuneler eğilme dayanımında da kontrol numunesine göre çok daha az dayanım kaybına uğramıştır.

Çizelge 5.17. 90 dakika 400 °C'ye maruz kalan numunelerin 28 günlük normal numunelere göre yüzdesel olarak eğilme dayanım kayıpları

Harcın İçerdiği Agrega Cinsi	Eğilmede Yüzdesel Azalma 28 günlük ve 28 günlük 400 °C
Aksaray	32,67
Isparta	44,39
Manisa	20,69
Kontrol	33,30



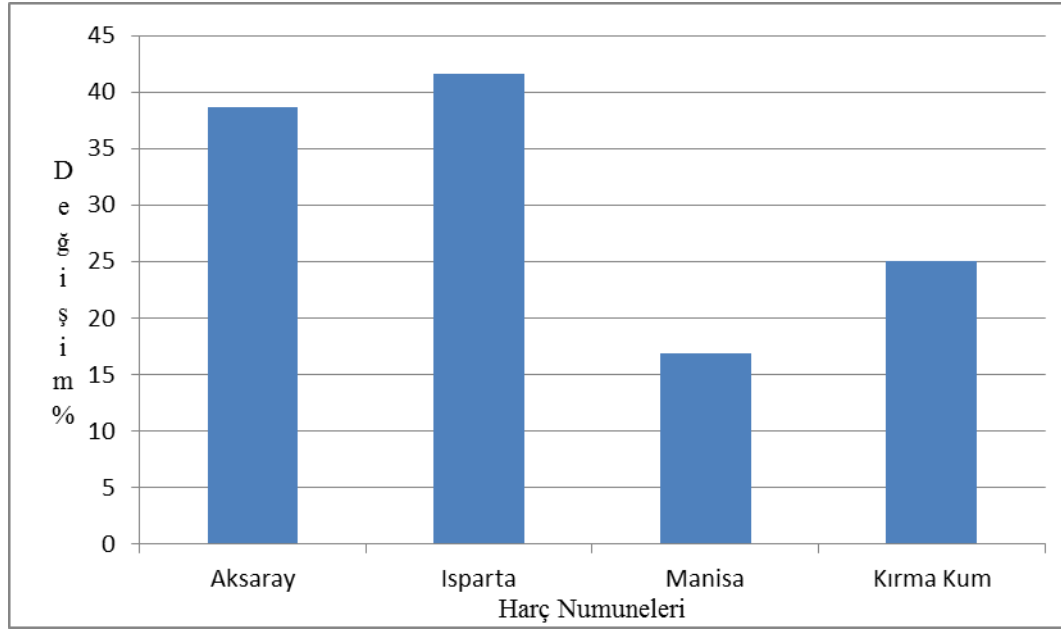
Şekil 5.15. 90 dakika 400 °C'ye maruz kalan numunelerin 28 günlük normal numunelere göre yüzdesel olarak eğilme dayanım kayıpları

Beton eğer yüksek sıcaklığa maruz bırakılırsa, betonun kimyasal kompozisyonu ve fiziksel yapısı epeyce değişmektedir. Sonuç olarak yüksek sıcaklığı etkisi betonun mikroyapı özelliklerini değiştirmektedir böylece betonun dayanım ve durabilite özellikleri olumsuz etkilenmektedir (Fares vd 2009).

Geleneksel beton ve harçta ki yüksek sıcaklığa karşı direnç pomza agregalı numunelerle karşılaştırıldığında kesin bir sonuç elde edilememiştir.

Çizelge 5.18. 90 dakika 400 °C'ye maruz kalan numunelerin 90 günlük normal numunelere göre yüzdesel olarak eğilme dayanım kayıpları

Harcın İçerdiği Agrega Cinsi	Eğilmede Yüzdesel Azalma 90 günlük ve 90 günlük 400 °C
Aksaray	38,64
Isparta	41,63
Manisa	16,92
Kontrol	25



Şekil 5.16. 90 dakika 400 °C'ye maruz kalan numunelerin 90 günlük normal numunelere göre yüzdesel olarak eğilme dayanım kayıpları

Yüksek sıcaklıklarda yüksek performans göstermek için, üretilen betonda uygun agrega seçimi çok önemlidir. Agreganın türü, gözeneklilik ve mineralojisi içinde bulunduğu betonun davranışı üzerinde önemli bir etkidir. Çimento hamuru ve agrega arasında kalan bölgede ki maksimum kuvvet termal açılımlar betonda tahribat açısından önemlidir (Mehta vd 2006).

6. SONUÇ

Günümüzde çimento bağlayıcı malzemelerin ihtiyaca göre çok çeşitli üretimler yapıldığı ve her geçen gün yapılan bilimsel çalışmalar değerlendirildiğinde bu çeşitliliğin arttığını gözlemlenmektedir.

Bu çalışma kapsamında üretilen pomza agregalı harçların basınç dayanımları her ne kadar 28 günlük dayanımları kontrol numunesine göre az çıkmış olsa da pomza agregalı numuneler bu arada ki büyük farkı indirmiş basınç dayanım farkını azaltmıştır. Pomza agregalı harçlar kendi aralarında ise asidik karakterde olan pomza agregası bazik pomzalara göre daha az bir dayanım artışı göstermiş. Deney sonuçları bakılarak pomza agregalar kullanım alanların sadece yalıtım olmadığı görülmüş taşıyıcı malzeme olarak ta kullanılabileceği söylemek mümkündür. Eğilme ve yarmada çekme dayanım sonuçlarında ise yine benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Isparta pomza agregası ile üretilen harçların düşük performans göstermesi her pomza agregasının beton da uygun olmayacağına dair fikir vermektedir. Kimyasal etkilere karşı önlem alabilmek için pomza agregalarında reaktif silis miktarını ölçülmesi gerektiği belirlenmiştir.

Betonda ve/veya harçta kılcal geçirimsizliğin betonun kalıcılığında önemli bir etken olduğu düşünüldüğünde kılcal geçirimsizlik sonuçları oldukça önem taşımaktadır. Kılcal geçirimsizlik değerleri 28 günlük deney sonuçlarında pomza agregalı numuneler daha yüksek değerde çıkmıştır. 90 günlük deney sonuçlarında ise kılcal geçirimsizlikte azalma kontrol numunesine göre yüzdesel olarak çok daha fazla olmuştur. Pomza agregalı numuneler kendi aralarında incelendiğinde ince tane boyutuna sahip numunelerde daha yüksek bir değerde düşme gerçekleşmiş ve ince pomza agregası ile üretilen numuneler kendi araların incelendiğinde bazik karakterli ince tane boyuta sahip pomza agregalı numunenin 90 gün sonunda kontrol numunesi ile aynı değere yakın değer aldığı tespit edilmiştir. Kılcal geçirimsizliği düşük bir çimento bağlayıcı malzeme istenilen bir bölgede bazik karakterli ince tane boyutuna sahip bir pomza agregası kullanabileceğini söylemek mümkündür.

Beton kalıcılığına pomza agregalarının harç içerisinde etkisi incelendiğinde D-Ç deney sonuçlarına bakıldığında kontrol numuneleri 30. çevrimde dağılırken pomza agregalı numuneler dayanım azalması oldukça az olmuş ince tane boyutuna sahip olan pomza agregalı numunelerinde ise 28 veya 90 günlük numunelerinde artış gözlemlenmiştir. D-Ç maruz kalacak bölgelerde pomza agregalı ÇBM üretmenin oldukça avantajlı olduğunu söylemek mümkündür.

400 °C'ye maruz bırakılan numunelerde ise daha evvel ki çalışmalarda olduğu gibi kontrol numunelerine göre ortalama % 10-20 civarında daha az bir dayanım kaybı olduğu görülmüştür. Bu çalışmada 28 günlük numunelerde bazik karakterli numunelerde 400 °C'ye karşı % 10-12 daha az bir azalma görülürken 90 günlük

numunelerde ise asidik karakterde % 10-12 arası bir azalma görülmüştür. Yüksek sıcaklığa karşı direnç için daha kapsamlı bilgi verilmesi daha kapsamlı bir çalışma ile mümkün olacağını söylemek mümkündür.

Hava sürükleyici katkı kullanımı ile D-Ç'ye karşı direncin arttığı bilinmektedir. Dezavantaj olarak hava miktarındaki %1'lik bir artışın dayanımda yaklaşık %5'lik bir azalmaya neden olduğu literatürde belirtilmektedir. Alternatif çözüm olarak bazik pomza agregaları düşünülebilir.

Dolayısıyla, Doğu Anadolu Bölgesinin soğuk iklimi ve birinci derece deprem bölgesi olma durumu gözönüne alındığında; hafif betonların özellikle kırsal alandaki tanımsal yapıların yalıtım ve hafiflik gerektiren yapı elemanlarında kullanılması bazı üstünlükler sağlayabilecektir. Pomza katkılı betonların D-Ç'ye defalarca maruz kalan su taşıma da kullanılan beton tarım kanallarında kullanılabileceği çıkarılabilir.

7. KAYNAKLAR

AKÇAÖZOĞLU, S. 2008. Atık Pet Şişe Kırıklarının Hafif Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği, 1 p

ALDUAJIL, J., ALSHALEH K., HAQUE, M.N. and ELLAITHY K. 1999. Lightweight Concrete in Hot Coastal Areas. *Cement & Concrete Composites*, No. 21, 453- 458.

ALTUN, C.M., 2005. Hafif Beton, Harç ve Çimento Hamurunda Kırılma Parametrelerinin Belirlenmesi, 6 p.

ALTUN, C.M., 2005. Hafif Beton, Harç ve Çimento Hamurunda Kırılma Parametrelerinin Belirlenmesi, 8 p.

BAŞYİĞİT, C., AKKAŞ, A., SERİN, E. and KARTLI, M.İ. 2011. Investigation Effects Of Different Curing Conditions On Pumice Aggregate Lightweight Concrete Properties *New World Sciences Academy* 6: 1540-1546

BAYÜLKE, N. 1998. Depreme Dayanıklı Betonarme ve Yığma Yapı Tasarımı. İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, 27: 245-246.

BİNGÖL A.F., GÜL R., 2004. Compressive strength of lightweight aggregate concrete exposed to high temperatures, *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, 11: 68–72.

BİNİCİ, H., KÜÇÜKÖNDER, A., SEVİNÇ A.H., EKEN M ve KARA M., 2013. Hafif ve Ağır Malzemelerin Isı, Ses ve Radyasyon Yalıtım Özelliklerinin Araştırılması *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(2): 113-123

CHANDRA, S., and BERNTSSON, L. 2002. Lightweight aggregate concrete. Science, Technology and application William Andrew Publishing, pp.136-138 Norwich, New York, USA

COATANLEM P., JAUBERTHIE R., and RENDELL F. 2006. Lightweight wood chipping concrete durability. *Construction and Building Materials*, 20: 776–781

ÇELİK, Ç. ve GÜRDAL, E. 2005. Yerfıstığı kabuğunun agrega olarak kullanım olanakları *itü dergisi/a mimarlık, planlama, tasarım*, 1:4 37-46.

ÇİFTÇİ, E., 2003. Yer Bilimleri Teknik Terim Sözlüğü, NİĞDE

DEMİREL, B., ve KELEŞTEMUR, O. 2011. Yüksek Sıcaklığa Maruz Pomza Ve Silis Dumanı Katkılı Betonların Mekanik ve Fiziksel Özelliklerine Kür Yaşının Etkisi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi* 7 (1): 1-13

DÖYEN, A. ve AKSOY, E. 2013. Isparta ve Gelincik Pomza Yataklarının Jeolojisi ve Beton Yapımına Uygunluğunun Araştırılması *Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(1): 26-34

EVANS, E. J., INGLETHORPE S.J. D and WETTON P.D. 1999. Evaluation Of Pumice and Scoria Samples From East Africa As Lightweight Aggregates, *british geological survey*, WG/99/15

FARES H., NOUMOWE A., TOUTANJİ H.A., PIERCE K. 2009. Mechanical and physicochemical properties of lightweight self consolidating concrete subjected to elevated temperatures *Taylor & Francis Group* 63–67

FELEKOĞLU B., 2012. A method for improving the early strength of pumice concrete blocks by using alkyl alkoxy silane *Construction and Building Materials* 28: 305–310

GUISE S.E., SHORT N.R. VE PURKİSS J.A., 1996. Colour Analysis for Assessment of Fire Damaged Concrete, Concrete Repair, Rehabilitation and Protection, Proceeding of The International Conference Held at The University of Dundee,

GURKAN A., Pomza Ve Zeolitin Alkali Silika Reaksiyonu Üzerine Etkisi P.85

GÜNDÜZ, L. ve UĞUR, I., 2001. Gözenekli ve Hafif Doğal Kayaçlardan Elde Edilen Blok Malzemelerin Kaya Mekaniği Açısından İrdelenmesi 17th. International Mining Congress & Exhibition of Turkey, SS. 19-22 Haziran, Ankara

GÜNDÜZ, L. 1998. Pomza Teknolojisi, Cilt I, Isparta, 288 s.

GÜNDÜZ, L. 2001. Pomza Isı Yalıtım Agregası Olarak Pomzanın Kullanımı. 4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, ss. 59-68, 18-19 Ekim, İstanbul.

GEÇTEN, O. ve GÜL, R. 2013. Pomza ve Normal Agregalı Betonların Kılcal Geçirimsizliği ve Basınç Dayanımları Üzerine Kürün Etkileri *Journal of Engineering Sciences*, 16(2) 30-35.

GÖKÇE H.S. ve ŞİMŞEK O. 2010. Perlit Agregasının Pesimum Reaktif Agregası Oranının Farklı Yöntemlerle İncelenmesi *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi* 25(4): 839-846

GÖKÇE H.S., TABAN S., and ŞİMŞEK O. 2010. Zeolitik Tüf İkamesinin Farklı Agregalar Üzerinde Alkali-Silika Reaksiyonu Etkilerinin *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(4): 803-809

HAQUE, M.N., AL-KHAİAT, H. AND KAYALİ, O., 2004. Strength and Durability of Light Weight Concrete, *Cement and Concrete Composites*, 26: 307-314

HOSSAIN K.M.A., AHMED S and LACHEMI M. 2011. Lightweight concrete incorporating pumice based blended cement and aggregate: Mechanical and durability characteristics *Construction and Building Materials* 25: 1186–1195

KABAY M.,TUFEKÇİ, KIZILKANAT A.B., and OKTAY D. 2015. Properties of concrete with pumice powder and fly ash as cement replacement materials *Construction and Building Materials* 85: 1-8

KARAKOÇ M.B., 2013. Effect of cooling regimes on compressive strength of concrete with lightweight aggregate exposed to high temperature *Construction and Building Materials* 41: 21–25.

KARAHAN O., 2006. Liflerle Güçlendirilmiş Uçucu Küllü Betonların Özellikleri pp. 104

KOÇKAL, N.U and ÖZTURAN, T. 2011. Durability of Lightweight Concrete with Lightweight Fly Ash Aggregates. *Construction and Building Materials*, 25 : 1430-1438

KUCHARCZYKOVA B. vd 2012. The Porous Aggregate Pre-soaking in Relation to the Freeze–Thaw Resistance of Lightweight Aggregate *Concrete Construction and Building Materials*, 30: (761–766)

KHOURY G.A., 2003 Fire & Assessment, International Centre for Mechanical Sciences, *Course on Effect of Heat on Concrete*.

KILINÇKAYA F., 2003. Betonda Dayanıklılık *Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı* 427(5): 32-33

KOÇKAL, N. U. ve ÖZTURAN, T. 2007 Sinterleme Sicakliginin Uçucu Kül Hafif Agregaların Özelliklerine Etkisi 7. Ulusal Beton Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, Kasım, ss. 133-144.

LEE, C.Y., LEE, H.K. and LEE, K.M. 2003. Strength and microstructural characteristics of chemically activated fly-ash-cement system, *Cement and Concrete Research*, 33(3): 425-431

LI C., BIANA C., HANA Y., WANG C., and AN L. 2016. Mullite whisker reinforced porous anorthite ceramics with low thermal conductivity and high strength *Journal of the European Ceramic Society* 36: 761–765

LITWAN G.G. 1985. Further study of particulate admixtures for enhanced freeze–thaw resistance of concrete. *American Concrete Institute* 82(5):724–30.

LV J., ZHOU T., DU Q., and WU H. 2015. Effects of rubber particles on mechanical properties of lightweight aggregate concrete *Construction and Building Materials*, 91: 145–149

MEHTA P.K., MONTERÍO P.J.M., 2006. Concrete, Microstructure Properties And Materials, *Indian Concrete Institute*, P. 150.

PIGEON, M., and PLATEAU, R. 1995. Durability of Concrete In Cold Climates. E&FN Spon, United Kingdom, 244 s.

PINTO J. , VIEIRA B., PEREIRA H. , JACINTO C. , VIELELA P. , PAIVA A.,

PEREI S., . CUNHA V.M.C.F., and VARUM H. 2012. Corncob lightweight concrete for non structural applications. *Construction and Building Materials*, 34: 346–351

POLAT R., DEMİRBOĞA R., KARAKOÇ M. B., and TÜRKMEN İ. 2010. The influence of lightweight aggregate on the physico-mechanical properties of concrete exposed to freeze–thaw cycles *Cold Regions Science and Technology*, 60: 51–56

POSPÍCHALA O., KUCHARCZYKOVÁ B., MĚSÁKA P., and VYMAZALA T. 2010 Freeze-Thaw Resistance Of Concrete With Porous Aggregate *Procedia Engineering* 2: 521–529

ŞAPÇI, N., GÜNDÜZ, L. ve ULUSOY, M. 2004. Karaman ve Cıvırı Pomza Oluşumlarının Hafif Beton Sektöründe Agregada Olarak Yeri ve Önemi. 5 Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 13-14 Mayıs, İzmir, Türkiye

SCHEREFLEER B.A., GAWİN D., KHOURY G.A. and MAJORANA C.E., 2003. Physical, Mathematical & Numerical Modelling, International Centre for Mechanical Sciences, *Course on Effect of Heat on Concrete*.

ŞENGÜL,Ö., TAŞDEMİR, C and TAŞDEMİR, M.A. 2002. Influence of Aggregate Type on the Mechanical Behavior of Normal and High Strength Concretes. *ACI*

ŞENGÜL,Ö., TAŞDEMİR, C., KORUÇ, Ş. ve SÖNMEZ, R 2003. Agregada Türünün Betonun Donma - Çözülme Dayanıklılığına Etkisi. III Ulusal Kırmataş Sempozyumu, ss. 44-50, 3-4 Aralık, İstanbul.

TAŞDEMİR, C., 1998. Mineral katkıların ve kür koşullarının betonun kılcal geçirimsizliğine etkileri. Beton-Çimento ve Boya Semineri, 47-56, Ankara

TAŞDEMİR, C.,2003. Hafif Betonların ısı yalıtım ve taşıyıcılık özellikleri *Tmh - Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 427(5): 58-60*

TURGUTALP E.Ü ve ÖRÜNG İ., 1992. Doğal Hafif Agregalı Betonların Donma-Çözülme Etkisi Altındaki Bazı Özellikleri Üzerine Bir Araştırma Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 23: 72-88

TÜRKEL, S., KADİROĞLU, B. 2007. Pomza Agregalı Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *Mühendislik Bilimleri Dergisi* 13 (3): 353-359

TOPÇU, İ.B., UYGUNOĞLU, T., and ÜNAL, O., 2007. Kendiliğinden yerleşen yarı hafif betonların özelliklerinin araştırılması TCMB, 3. Uluslararası Çimento ve Betonda Sürdürülebilirlik Sempozyumu, 21-23 Mayıs, İstanbul, Türkiye, ss. 833-844.

TUĞRUL, F. ve SEV, A. 2015. Geleceğin Sürdürülebilir Yapı Teknolojilerine Bir Bakış. 2nd International Sustainable Buildings Symposium, ss. 304-308, 28-30 Mayıs, Gazi Üniversitesi, Ankara.

UĞUR, İ. 2003. Kırmataş Agregalı Hafif Betonların Mühendislik Özelliklerinin İyileştirilmesi Üzerine Bir Analiz, III Ulusal Kırmataş Sempozyumu, SS. 69-72, 3-4 Aralık, İstanbul.

ÜNAL, O. ve UYGUNOĞLU T., 2007. Diatomitin Hafif Beton Üretiminde Kullanılması, *İMO Teknik Dergi*, 266: 4026-4027

YAZICIOĞLU S. ve DEMİREL B. 2006. Puzolanik Katkı Maddesi Olarak Kullanılan Elazığ Yöresi Pomzasının İlerleyen Kür Yaşlarında Betonun Basınç Dayanımına Etkisi *Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Bil. Dergisi* 18(3): 367-374

YILDIZ K., DORUM A. ve KOÇAK Y. 2010. Pomza Zeolit Ve Cem I Çimentosunun Minerolojik Moleküler Elektrokinetik Ve Termal Uyumunun Yüksek Dayanımlı Betona Etkisinin Araştırılması *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(4): 867-879

YAZICIOĞLU, S. ve DEMİREL B. 2006. Puzolanik Katkı Maddesi Olarak Kullanılan Elazığ Yöresi Pomzasının İlerleyen Kür Yaşlarında Betonun Basınç Dayanımına Etkisi *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilim Dergisi* 18 (3): 367-374

YAŞAR, E. ve ERDOĞAN, Y. 2005. Asidik (Nevşehir) ve Bazik (Osmaniye) Pomzaların Yapı Sektöründe Değerlendirilmesi Türlüye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı, ss. 409-418, 09-12 Haziran, İzmir.

YILMAZ, R. 2014. Elektromanyetik Kalkanlama Özelliği Olan Malzemeler *Electronic Journal of Vocational Colleges*-ss. 136-150 Mayıs, Kırklareli

YANIK, S. 2007. Bazik Pomzaların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği p.20

YAŞAR, E. ve ERDOĞAN, Y. 2001. Toprakkale Bazaltının Doğal Taş Endüstrisindeki Yeri. 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, ss.87-96, 18-19 Ekim, İzmir

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Berlin’de doğdum. 1995 yılında Hazar İlköğretim Okulunu, 1999 yılında Ali İhsan Barut Ortaokulunu, 2003 yılında Manavgat Yabancı Dil Ağırlıklı Liseyi bitirdim. 2008 öğretim yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun oldum. 2011 yılında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı olarak İnşaat Mühendisliği Ana Bilim dalında Yüksek Lisans eğitime başladım. 2016 yılı Ağustos ayında yüksek lisans mezuniyetimi gerçekleştirdim.

