



**BİTLİS YÖRESİ POMZASININ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN
HARÇLARDA MİNERAL KATKI OLARAK
KULLANILABİLİRLİĞİ**

İnşaat Mühendisi Abdurrahman ERGİN

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARATAŞ

AĞUSTOS - 2016

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

BİTLİS YÖRESİ POMZASININ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇLARDA
MİNERAL KATKI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdurrahman ERGİN

111115107

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 16.08.2016

Tezin Savunulduğu Tarih: 19.09.2016

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARATAŞ

Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Ragıp İNCE

Yrd. Doç. Dr. Ahmet BENLİ

AĞUSTOS - 2016

ÖNSÖZ

Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalında yürütülen bu çalışmada Bitlis yöresi pomzasının kendiliğinden yerleşen harçlarda mineral katkı olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Yüksek performanslı beton sınıfında bulunan kendiliğinden yerleşen betonun (KYB) bütünleşik bir parçası olan kendiliğinden yerleşen harçların (KYH) incelenmesi beton teknolojisine önemli bir katkı sağlayacağı belirtilmiştir. Dolayısıyla mineral katkıların, beton üretiminde önemli bir konuma sahip olduğu bilindiğinden Bitlis yöresi pomzasının etkisi incelenerek pratikte kullanılabilirliği düşünülmüştür.

Bu çalışmamda katkılarından dolayı değerli hocam **Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARATAŞ'** a teşekkürü bir borç bilirim.

Abdurrahman ERGİN

ELAZIĞ- 2016

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	IV
SUMMARY.....	V
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VI
TABLolar LİSTESİ.....	VII
SEMBOLLER LİSTESİ.....	VIII
KISALTMALAR LİSTESİ.....	IX
1.GİRİŞ.....	1
2.KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇ.....	5
2.1.Kendiliğinden Yerleşen Betonun Tanımı.....	5
2.2.Kendiliğinden Yerleşen Betona Giren Malzemeler.....	6
2.2.1.Su.....	6
2.2.2.Agrega.....	6
2.2.3.Çimento.....	6
2.2.4.Mineral Katkılar.....	6
2.2.5.Kimyasal Katkılar.....	7
2.3.Kendiliğinden Yerleşen Beton' nun Tarihsel Gelişimi.....	8
2.4.Kendiliğinden Yerleşen Beton' nun Kullanım Alanları.....	8
2.5.Kendiliğinden Yerleşen Harçta Deney Yöntemleri	9
2.5.1.Mini Çökme-Yayılma Deneyi.....	9
2.5.2.Mini V Hunisi Deneyi	11
2.5.3.Üç Noktalı Eğilmede Çekme ve Basınç Deneyi	13
2.5.4.Kapiler (Kılcal) Su Emme Deneyi.....	14
3.MİNERAL KATKI MADDESİ OLARAK POMZA	17
3.1.Puzolanlar.....	17
3.2.Pomza.....	19
3.2.1.Pomza'nın Tanımı.....	19
3.2.2.Pomzanın Kullanım Alanları.....	24
4.DENEYSEL ÇALIŞMA.....	25

4.1.Deneylerde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri	25
4.1.1.Agrega.....	25
4.1.2.Portland Çimentosu	26
4.1.3.Su	27
4.1.4.Kimyasal Katkılar	27
4.1.5.Mineral Katkılar	27
4.2.Numunelerin Hazırlanması	30
4.3.KYH’de Karışım Hesabı	32
5.DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	35
5.1.Mini Çökme-Yayılma ve Mini V Hunisi Deneyi Sonuçları	35
5.2.Üç Noktalı Eğilmede Çekme ve Basınç Deneyi Sonuçları	38
5.3.Kapiler Su Emme Deneyi Sonuçları	44
6.SONUÇLAR	50
KAYNAKLAR	53
EKLER.....	58
ÖZGEÇMİŞ	62

ÖZET

Mineral katkı olarak Bitlis yöresi pomzası kullanılarak üretilen KYH' ların mekanik ve durabilite özelliklerini inceleyerek Türkiye rezervinin büyük bir bölümünü oluşturan Bitlis yöresi pomzasının kullanılma oranını artırmak hedeflenmektedir. Yürütülen deneylerle, öğütülmüş pomza ikameli kendiliğinden yerleşen harçların karışım oranları mini çökme-yayılma deneyleriyle belirlenmiştir.

Daha sonra mineral katkı olarak öğütülmüş pomza tozu (ÖPT) ile üretilen kendiliğinden yerleşen harç (KYH) numuneleri hazırlanmış ve %5, %10, %15, %20, %25, %30, %35 ÖPT ilaveli karışımlar olmak üzere kontrol harcıyla birlikte 8 seri harç numuneleri üretilmiştir. Toplam 72 adet 40x40x160 mm³ harç numuneleri hazırlanmış ve 3 günlük, 28 günlük, 90 günlük kür sürelerinde şehir şebeke suyunda bekletilmiş, akabinde eğilmede çekme dayanımları ve basınç dayanımları ayrı ayrı ölçülmüştür. En yüksek dayanımların, %15 oranında ÖPT ilaveli karışımlarda olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte 50x50x50 mm³ harç numuneleri de aynı ÖPT ilaveli karışım oranlarında toplam 24 adet hazırlanmış ve 28 günlük kür süresinde şehir şebeke suyunda bekletilmiş ve su emme deneyi uygulanmıştır.

Çalışma sonucunda 28 günlük küre maruz harçlarda en düşük su emme oranına %10 ÖPT içeren harç numunesinin sahip olduğu belirlenmiştir. Farklı kür sürelerindeki eğilmede çekme dayanımları ve basınç dayanımları değerleri ile su emme oranı değerlerinin sonuçları arasında benzerlik olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kendiliğinden Yerleşen Harç, Öğütülmüş Pomza Tozu, Su Emme Dayanımı, Eğilmede Çekme Dayanımı ve Basınç Dayanımı.

SUMMARY

THE POTENTIAL USE OF A SELF-COMPACTING MORTARS OF PUMICE OF BITLIS REGION AS MINERAL ADDITIVES

This study aims to increase the potential use of the pumice found around Bitlis region, which makes up a large portion of Turkey's pumice reserves, through examining the mechanical and durability properties of SCMs, which are produced as mineral additives by use of the Bitlis region pumice. In the conducted experiments, the mixture proportions of self-compacting mortars substituted with the ground pumice were determined by mini-slump flow tests.

Afterwards, the samples of the Self-Compacting Mortar (SCM), which are produced by the Ground Pumice Powder (GPP) as mineral additives, were prepared; and eight series of mortar samples with the SCM additive mixtures at rates of 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% together with control mortar were prepared. In total, 72 mortar samples with $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ dimensions were prepared and they were left in the city's tap water at curing periods of 3 days, 28 days and 90 days, respectively; soon after their flexural strengths and compressive strengths were measured separately. The nearest strengths to the control sample were found in the SCM additive mixtures at rate of 15%. In addition, 24 mortar cube samples at rates of the SCM additive mixtures with $50 \times 50 \times 50 \text{ mm}^3$ dimensions were prepared, they were left in the city's tap water at curing periods of 28 days, and water absorption test was conducted.

At the end of the study, the mortar samples including the SCM at rate of 10% seemed to have the lowest water absorption rate, among the mortars, which were left in the city's tap water at curing periods of 28 days.

It was seen that there were parallels in the results between flexural strengths at different curing periods and compressive strength values and the water absorption rate values.

Keywords: Self-Compacting Mortar (SCM), Ground Pumice Powder (GPP), Water Absorption Resistance, Flexural Strength and Compressive Strength

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2. 1. Kendiliğinden Yerleşen Beton.....	9
Şekil 2. 2. Mini Çökme-Yayılma Deney Aleti Ve Düzeneği.....	11
Şekil 2. 3. Mini V-Hunisi Deney Aparatı.....	12
Şekil 2. 4. Mini V-Hunisi Deney Düzeneği.....	13
Şekil 2. 5. Üç Noktalı Eğilme Deneyi Ve Deney Sonucu.....	13
Şekil 2.6. Basınç Deneyi Ve Sonucu.....	14
Şekil 2.7. Kapiler Su Emme Deney Düzeneği.....	15
Şekil 2.8. Etüvde Bekletilmiş Ve Kalıplara Dökülmüş Numuneler.....	16
Şekil 2.9. İzole Edilmiş Numunelerin Su Emmesi Ve Su emmiş Numunelerin Görünümü...	16
Şekil 3.1. Puzolanların Sınıflandırılması.....	18
Şekil 3.2. Pomza.....	19
Şekil 4.1. Kullanılan Agreganın Granülometrisi.....	26
Şekil 4.2. Toz Haline Getirilmiş Ve Deneylerde Kullanılan Pomza.....	28
Şekil 4.3. Öğütülmüş Pomza Tozunun SEM Fotoğrafları.....	28
Şekil 4.4. Numune Kalıpları Ve Dökülen Numuneler.....	30
Şekil 4.5. Numunelerin Kür Ortamı.....	31
Şekil 4.6. Kürden Çıkarılan Numuneler.....	31
Şekil 5.1. Bağlı Çökme-Yayılma Grafiği.....	36
Şekil 5.2. Bağlı V Hunisi Hız Grafiği.....	37
Şekil 5.3. Üç Noktalı Eğilmede Çekme Dayanım Grafiği.....	40
Şekil 5.4. Basınç Dayanım Grafiği.....	40
Şekil 5.5. Kapiler Su Emme Katsayıları Grafiği.....	44
Şekil 5.6. Boşluk Oranları Değişimi.....	47
Şekil 5.7. Toplam Su Emme Kapasitesi Değişimleri.....	47

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3. 1. Asidik ve bazik pomza türlerinin kimyasal bileşimi.....	21
Tablo 3. 2. Türkiye'deki pomza rezervleri.....	22
Tablo 3. 3. Dünya'nın en önemli pomza üretici ülkeleri ve üretim miktarlar.....	23
Tablo 3. 4. Farklı illerde pomza oluşumlarının kimyasal analiz değerleri.....	23
Tablo 4. 1. CEM I 42,5 N tipi çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	26
Tablo 4. 2. SA'nın kimyasal özellikleri.....	27
Tablo 4. 3. ÖPT'nin kimyasal bileşenleri ve fiziksel özellikleri.....	29
Tablo 4. 4. KYH Karışım Oranları.....	34
Tablo 5. 1. Mini çökme-yayılma deneyi değerleri.....	35
Tablo 5. 2. Mini V hunisi deneyi değerleri.....	36
Tablo 5. 3. Üç noktalı eğilmede çekme ve basınç deneyi sonuçları.....	39
Tablo 5. 4. Numunelerin Etüv kuru su, doymuş kuru yüzey ve su içindeki ağırlıkları.....	45
Tablo 5. 5. 50 mm'lik küp numunelerin yoğunlukları.....	46
Tablo 5. 6. 50 mm'lik küp numunelerin toplam su emmesi ve porozite değerleri.....	46

SEMBOLLER LİSTESİ

μm	: Mikrometre ($1\text{ m} = 1 \times 10^6\ \mu\text{m}$)
Mag	: Magnification (İng.) = Büyütmek
KX	: Büyütme oranı ($1\text{ KX} = [100\mu]^2$)
V_{ag}	: 1 m ³ betonda kum hacmi (dm ³)
Ç	: 1 m ³ betonda çimento kütlesi (kg)
ÖPT	: 1 m ³ betonda pomza tozu kütlesi (kg)
SA	: 1 m ³ betonda süper akışkanlaştırıcı kütlesi (kg)
W	: 1 m ³ betonda su kütlesi (kg)
$\gamma_{\text{ç}}$	: Çimentonun özgül ağırlığı (kg/dm ³)
γ_{opt}	: Pomza tozunun özgül ağırlığı (kg/dm ³)
γ_{sa}	: Süper akışkanlaştırıcının özgül ağırlığı (kg/dm ³)
γ_{w}	: Suyun özgül ağırlığı (kg/dm ³)
A	: 1 m ³ betonda hava hacmi (dm ³)
M_{ag}	: 1 m ³ betonda kum kütlesi (kg)
γ_{ag}	: Kumun özgül ağırlığı (kg/dm ³)
Γ_{m}	: Bağlı çökme yayılma değeri
d	: Deney sonucu elde edilen nihai ortalama çap (mm)
do	: Mini çökme yayılma konisinin alt çapı (mm)
d1	: Deney sonucu elde edilen birinci çap (mm)
d2	: Deney sonucu elde edilen ikinci çapı (mm)
R_{m}	: Bağlı huni hızı
t	: Deney sonucu belirlenen akma zamanı (sn)

KISALTMALAR LİSTESİ

AB	:	Avrupa Birliği
C₃A	:	Trikalsiyum Alüminat (3CaOAl ₂ O ₃)
EFNARC	:	Özel Yapı Kimyasalları ve Beton Sistemleri Avrupa Federasyonu
İÖP	:	İnce Öğütölmüş Pomza
KSB	:	Kendiliğinden Sıkışan Beton
KYB	:	Kendiliğinden Yerleşen Beton
KYH	:	Kendiliğinden Yerleşen Harç
KYHB	:	Kendiliğinden Yerleşen Hafif Beton
KYHH	:	Kendiliğinden Yerleşen Hafif Harç
NB	:	Normal Beton
ÖPT	:	Öğütölmüş Pomza Tozu
PÇ	:	Portland Çimento
SA	:	Süper Akışkanlaştırıcı
SCC	:	Self Compacting Concrete
SD	:	Silis Dumanı
TU	:	Taş Unu
UK	:	Uçucu Kül
VAK	:	Viskozite Artırıcı Katkı
w/c	:	Su/Çimento
YFC	:	Yüksek Fırın Cürufu

1. GİRİŞ

Son yıllarda beton üretimi ve kullanım alanlarında birçok yeni gelişmeler ortaya çıkmıştır. Bunlar arasında yüksek dayanımlı betonun üretilmesi ve kullanılması en önemli gelişmelerden birisidir. Bu sayede beton basınç mukavemeti 1000 kgf/cm^2 'yi geçen değerlere ulaşmıştır. Bu seviyede üretilen betonların tasarımında vazgeçilmez unsurlardan birisi de puzolanik malzemelerdir. Puzolanik özelliklere sahip birçok doğal ve yapay malzeme çok eski zamanlardan günümüze kadar yapım alanında ve beton üretiminde çeşitli amaçlarla kullanılmışlardır. Betonun temel bileşimlerinden olmayan bu maddeler gelişen beton teknolojisinde betonun çeşitli fiziksel, mekanik ve durabilite özelliklerini değiştirmek ve üretimde ekonomi sağlamak amacıyla kullanılan katkı maddeleri olarak adlandırılmaktadır [1].

Ülkemizde puzolanik malzemeler, mineral katkı malzemesi olarak bilinirler ve beton üretiminde genellikle ikincil bağlayıcı madde olarak, portland çimentosunun ağırlık yüzdesi oranında, çimentonun bir kısmı yerine veya ilave olarak bazen de çimentoya önceden karıştırılarak katkılı çimento olarak kullanılmıştır. Betonda kullanılan mineral katkı maddeleri, portland çimentosuna benzer kimyasal bileşimler ile fiziksel özelliklere sahip olmalarına rağmen büyük çoğunluğunun kendi başlarına bağlayıcılık yetenekleri yoktur. Bu maddeler puzolanik aktiviteleri nedeniyle hidratasyon ürünlerinin oluşumunda etkinlik göstererek bağlayıcı hamur yapısını değiştirirler. Böylece betonun çeşitli özellikleri iyileştirilirken, puzolanik aktivitesi yüksek olan mineral katkı maddeleri, boşluk yapısını iyileştirerek daha yoğun bir bağlayıcı hamurun oluşmasını, agrega-hamur ara yüzeyindeki aderansın artmasını sağlamakta ve yüksek mukavemetlere erişilmesi mümkün olabilmektedir. Puzolanik malzemeler, kalsiyum hidroksitle sulu ortamda birleştiği takdirde, hidrolik bağlayıcılık göstermektedir. Puzolanlar ince tanelerden oluşmaları sebebiyle, taze beton kıvamını ve işlenebilirliğini azaltmakta, su ihtiyacını artırmaktadır [1].

Yüzyılımızda beton teknolojisini yepyeni boyutlara taşıyan farklı tipteki süperakışkanlaştırıcı katkıları sayesinde beton, performansı açısından yüksek dayanımı, dayanıklılığı ve taze haldeki işlenebilirliği ile “yüksek performanslı beton” olarak anılmaya başlanmıştır. Yüksek performanslı beton sınıfında yer alan bir beton türü de kendiliğinden yerleşen betondur (KYB) [2].

Kimyasal katkı maddeleri pahalı olmaları sebebiyle kullanımları maliyeti arttırmaktadır. Ancak elde edilmesi ucuz ve kolay olan uçucu kül, yüksek fırın cürufu, silis dumanı veya kireçtaşı tozu gibi mineral katkı maddelerinin kullanımı beton maliyetini arttırmadan karışım akıcılığını arttırabilir. Ayrıca, işçi maliyetindeki tasarruf artan maliyeti dengeleyebilir. Yapılan araştırmalarda mineral katkı maddelerinin kullanıldığı KYB’nin, sadece Portland çimentosunun kullanıldığı KYB’ye göre daha akıcı olduğu görülmektedir. Burada dikkatlerden kaçmaması gereken bir husus da; mineral katkılı KYB’lerde ihtiyaç duyulan süperakışkanlaştırıcı dozajının daha düşük olmasıdır [3]. Aynı zamanda, mineral katkıların kullanımı betonun kıvam ve işlenebilirlik özelliklerini iyileştirir ve açığa çıkacak hidrasyon ısısının azalmasını sağlayarak betonda oluşacak çatlamayı azaltır [3].

Doğal puzonalik malzemelerden birisi olan ve ülkemizde büyük bir rezervi bulunan pomza taşı, geniş kullanım alanına sahiptir. Dünyadaki pomza taşı rezervlerinin 1/7’si ülkemizdedir. Türkiye’deki pomza rezervinin %55’i, Doğu Anadolu bölgesinde bulunmasına rağmen üretime katkısı %18’dir. Üretime katkı payının düşük olmasının birçok sebebi vardır. Bu olumsuzluklar ortadan kaldırıldığı zaman ekonomide, ihracata yönelik yeni bir kapı açılmasının yanında geniş bir istihdam da sağlayacaktır [4].

Ülkemizde üretilen pomzanın %80’i iç piyasada inşaat endüstrisinde kendiliğinden yerleşen betonda kullanılmaktadır. Pomza normal kum ve çakılın 1/3 – 2/3 ’ü kadar yoğunluğa sahiptir. Aynı durum pomza ile yapılan betonlarda da görülür. Pomza betonu normal betondan hafif olması sebebiyle zaman ve işçilikten tasarruf sağlamaktadır. Ayrıca zemin mekaniği açısından, temele iletilen yükler dikkate alındığında % 17 civarında inşaat demirinden tasarruf sağlar. Pomzanın ısı iletkenlik katsayısı dikkate alındığında, normal betondan 6 kat daha fazla izolasyon sağladığı tespit edilmiştir. Bu özelliğinden dolayı yaşam ve iş mekânlarında

kullanımı ile büyük çapta enerji tasarrufu sağlamaktadır [5]. Pomza, her geçen gün yeni kullanım alanlarına giren bir hammaddedir. Pümisit adı verilen ve bazen de volkan külü, volkan tozu olarak adlandırılan ince taneli olanları çimentoda katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Pomzaya bu alanda kullanım imkânı veren özelliği, onun yüksek pozolanik aktivitesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca pomzanın, yangına dayanıklılık açısından da normal betona kıyasla %20' ye varan oranda daha emniyetli olduğu kabul edilir. Bunun yanında hafif yapı elemanının nakliyesi daha kolaydır. Pomzalı betonun normal betona kıyasla önemli bir avantajı, deprem yüklerine karşı daha elastik davranış gösterebilmesidir. Ayrıca pomzalı beton ve yapı elemanları dondan daha az etkilenmektedirler [5].

Günaydın tarafından yapılan çalışmada, Nevşehir bims agregası kendiliğinden yerleşen betonda kullanılmış ve beton yoğunluğunun artmasıyla akış süresinin de arttığını, beton ayrışma direncinin de ince malzeme miktarının çok yüksek tutularak gerçekleştirilebileceğini tespit etmiştir. Ayrıca ince madde olarak kullanılan uçucu külün bağlayıcı özellikte seçilmesi durumunda ise dayanımın arttığını tespit etmiştir [6].

Pozolanik katkı maddesi olarak kullanılan Elazığ yöresi pomzasının ilerleyen kür yaşlarında betonun basınç dayanımına etkisi üzerine yapılan çalışmada ise, betona çimento ile yer değiştirilerek belirli oranlarda, doğal pozolan özelliğine sahip öğütülmüş pomzanın ilave edilmesinin, dayanımı düşürdüğü tespit edilmiştir. Kür yaşı arttıkça, pomzanın pozolanik aktivite göstermesi ile düşüşteki farkın büyük ölçüde kapandığı ifade edilmektedir [3].

Çimentonun yerine öğütülmüş pomza kullanımı ve hafif beton agregası olarak pomzanın kullanılmasının uygunluğu incelenen çalışmada, Testlerde çimento yerine %0–25 oranında öğütülmüş pomza kullanmış ve % 0–100 arasında değişen oranlarda hafif beton agregası olarak pomza kullanmıştır. Deneyler sonucunda %15 oranında çimento yerine öğütülmüş pomzanın ve %50 oranında hafif beton agregası olarak pomza kullanımının uygun olacağını ifade etmiştir [33, 34].

Nevşehir asidik pomzasının hafif beton agregası olarak kullanımına yönelik yapılan çalışmada, kendiliğinden yerleşen hafif betonda yüksek akıcılığın, akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları yardımı ile sağlanırken betonun ayrışma direncinin, ince malzeme miktarını yüksek tutarak gerçekleştirilebileceği tespit etmiştir. Pomzanın çimentoya katılması, çimentonun sülfattan kaynaklanan bozulmayı ve çimentonun rötresini, pomza katkı oranındaki artışa bağlı olarak azalttığı, pomza miktarı arttıkça, pomzanın hacim genişlemesine olan olumlu katkısının da belirginleştiği tespit edilmiştir [8].

Kendiliğinden yerleşen normal dayanımlı hafif beton üzerine yapılan çalışmada, yoğunluğu 1400, 1500, 1600 ve 1700 kg/m³ olan kendiliğinden yerleşen hafif betonlarda elde edilen basınç dayanım değerlerinin, TS EN 206-1'de öngörülen normal dayanım sınıfındaki betonların dayanım değerlerini sağladığı ve bağlayıcı miktarları bütün karışımlarda sabit tutularak, yoğunluk arttıkça dayanım değerlerinin de yükseldiği ifade edilmiştir. Basınç dayanımları arttıkça çekme dayanımları ve elastisite modüllerinin de arttığı, yarmada çekme ve eğilme dayanım sonuçlarının da tatmin edici olduğu, ancak elastisite modüllerinin, aynı basınç dayanımına sahip normal ağırlıklı betonlara göre düşük olduğunu belirtmiştir [6].

Altun ve Haktanır tarafından yapılan çalışmada, Kayseri yöresi hafif agregaları ile hafif beton üretilmiş ve geleneksel betonla karşılaştırılmıştır. Pomza ile üretilen hafif betonun dayanım olarak C16 taşıyıcı hafif beton sınıfında üretilebileceği sonucuna varmışlardır [9].

Türkmen tarafından, Van Erciş yöresinden temin edilen pomza agregasının değişik oranlarda karıştırılması ile üretilen hafif betonların donma çözünme dayanıklılıkları incelenmiş ve hafif agreganın kullanılmasıyla elde edilen betonların, normal betonlara göre donma-çözünmeye karşı daha dayanıklı olduğu bildirilmiştir [10].

Gündüz tarafından pomza agregası/çimento oranları üzerine yapılan çalışmada, bu oranın 25:1 olması durumunda uygun sonuçların elde edildiği ve bu oranın 30:1 olması durumunda da sonuçların uygun olduğu belirtilmektedir. Pomza agregası /çimento oranındaki artış ve azalmanın beton dayanımı, ısı yalıtımı, elastisite modülü gibi özellikleri üzerinde etkili olduğu belirtilmektedir [11].

Aydın ve Baradan'ın, pomza ve uçucu kül karışimli çimentonun mekanik özellikleri üzerinde yüksek sıcaklığın etkilerini inceledikleri çalışmada, %60 uçucu kül ile karıştırılan pomzanın 900°C sıcaklıkta en iyi performansı sergilediği sonucuna varmışlardır. Betonun hava ile soğutulması durumunda dayanım kaybına maruz kalmadığı ifade edilmiştir [12].

Binici yaptığı çalışmada, agregası olarak öğütülmüş endüstriyel atık seramik ve bazaltik pomza kullanmış ve bu malzemelerin yüksek dayanımlı betonlarda kullanılabileceğini tespit etmiştir [13].

2. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇ

2.1. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Tanımı

Yüksek akıcılıkları sayesinde yerine, işlenebilirliğini kaybetmeden kolay bir şekilde yerleştirilebilen betonlara kendiliğinden yerleşen beton (KYB) denir. KYB’ de yüksek akıcılık sağlanırken ayrışmanın ve su kusmanın (terleme) gerçekleşmemesine dikkat edilir. Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), kendi ağırlığıyla, herhangi bir vibrasyon gerektirmeden ve ayrışmaya uğramadan kalıbı doldurabilir. KYB’ nin en yaygın kullanım alanı olarak, donatıların çok yoğun olduğu ve vibratörlerin ulaşamadığı elemanların üretimi sayılabilir. Yüksek perdelerin üretiminde ve betonarme yapıların onarım ve güçlendirme işlerinde KYB kullanılmasına başlanmıştır. Son yıllarda ise KYB’ nin yeni bir kullanım alanı olarak prefabrik sektörü öne çıkmıştır. Bu son kullanım alanında vibratör gereksinimini ortadan kaldırdığı için gürültünün zararlı etkilerinden korunmak olanağını da doğurmuştur. Aynı nedenle yerleşim bölgelerinde, gece üretim yapılması gereken durumlarda KYB kullanılabilir. KYB’ nin diğer bir faydası ise işçiliği azaltırken yapım hızını artırmasıdır [14]. Bir yapıda döşeme ve düşey elemanların üretiminin, geleneksel betonla üretime göre KYB kullanılması durumunda 1/5 oranında daha kısa sürede gerçekleştirilebileceği belirtilmiştir. Ancak KYB’ nin tüm inşaatlarda yaygın olarak kullanılmasına henüz geçilememiştir. Bu durumun en önemli nedeni olarak söz konusu betonların maliyetlerinin henüz istenilen düzeylere indirilememiş olması sayılabilir. Ancak durabiliteye verilecek önemle birlikte, KYB kullanımının yapının ömrüne getireceği katkılar, bakım ve onarım harcamalarındaki azalmalar, yapım süresinin kısalması ve işçiliğin azalması, gürültü faktörünün düşürülmesi gibi avantajlar göz önüne alındığında, zaman içinde yaygınlaşması beklenir [15].

KYB, deprem bölgelerindeki çok sık donatı aralıklarının olduğu yapılarda kullanılmak amacıyla 1980’li yılların sonlarında Japonya’da geliştirilmiş olup, yüksek dayanım ve dayanıklılık elde etmek açısından beton teknolojisinin önemli buluşlarından.

Harçlar, KYB' nin işlenebilirlik özelliklerinin temelini oluşturmakta ve bu özellikler kendiliğinden yerleşen harçların (KYH) incelenmesi ile değerlendirilmektedir. KYH' ların özelliklerinin değerlendirilmesi, KYB tasarımında önemli bir etkisinin olduğu belirtilmektedir.

2.2. Kendiliğinden Yerleşen Betona Giren Malzemeler

2.2.1. Su

Normal beton üretiminde kullanılan sular, KYB üretiminde de kullanılabilir. Karışım suyu olarak kullanılacak olan suyun içilebilecek düzeyde temiz olması yeterlidir.

2.2.2. Agrega

Geleneksel betonda kullanılan ince ve iri agregalar KYB' da da kullanılabilir, ancak maksimum agrega boyutu geleneksel betondakinden daha küçüktür ve genellikle 20 mm' nin altında kalır. Buna karşılık betondaki kum oranı daha fazladır [16].

2.2.3 Çimento

Geleneksel betonda kullanılan Normal Portland Çimentoları, KYB üretiminde de kullanılabilir. Ancak bazı çimentolarla KYB üretimi daha başarılı olabilmektedir. Bu konuda yapılan bir çalışmada TÇ 32.5 ve PZÇ 32.5 çimentolarının kendiliğinden yerleşen beton katkılarının ilk kuşak türleri ile uyumsuzluk gösterdiği görülmüştür.

Ayrıca % 10'un üzerinde C_3A 'ya sahip çimentoların kullanılmamasında fayda vardır [17].

2.2.4 Mineral Katkılar

Mineral katkıları, betonun birtakım eksikliklerini gidermek ya da betona kendine has özellikler sağlamak amacıyla, beton üretimi sırasında karışımların içine belli oranlarda konulan ince veya toz haldeki malzemelerdir. Bu malzemeler TSE 206'da, inert mineral katkıları (Tip I) ve puzolanik mineral katkıları (Tip II) olarak ifade edilmiştir. KYB üretiminde mineral katkıları şu amaçlarla kullanılır; betonun içindeki mikron seviyesindeki boşlukları doldurmak viskoziteyi sağlamak, ayrışmayı önlemek ve hidrasyon ısısından dolayı çimento miktarını düzenlemek. Mineral katkı malzemesi olarak pek çok ürün kullanılabilir. Bunlardan

bazıları; silis dumanı, yüksek fırın curufu, uçucu kül, taş unu, öğütölmüş pomza tozu, kireçtaşı tozu, mermer tozu, kırmataş tozu, tuğla tozu, taş tozudur. Çimentoyla birlikte ek bağlayıcı madde olarak kullanılan mineral katkılar aracılığıyla betonun; viskozite özelliğı, dayanım ve dayanıklılığı arttırılarak yüksek dayanımlı beton elde edilmektedir [18].

2.2.5 Kimyasal Katkılar

Kimyasal katkılar, sertleşmiş ya da taze halde bulunan betonların, üretimleri esnasında betona konulmak üzere çimento ağırlığına göre daha az bir kütlede eklenen ve betonun çeşitli özelliklerini etkileyip değıştiren malzemelerdir [18].

Süper akışkanlaştırıcı olarak yüksek oranda su kesici özelliğı sahip ve molekül ağırlığı optimize edilmiş kimyasal katkı kullanılabilir. Bu amaçla polikarboksilat veya naftalin esaslı polimerler yaygın kullanılan katılardır. KYB' ların ayrışma direnci, viskozite artırıcı katkılar (VAK) ile de artırılabilir. Bu maddeler taze betonun vizkozitesini artırarak ayrışmayı (terleme dahil) azaltan, betonun kararlılığının bozulmasını engelleyen ve agreganın çimento hamuru içinde askıda kalmasını gerçekleştiren maddelerdir. VAK' lar nişasta ve doğal zambk (sakız) gibi doğal, ayrışmış nişasta, selüloz eter türevleri (hidroksipropil metil selüloz gibi) yarı sentetik, ve etilen kökenli (polietilen oksit gibi) ve vinil kökenli (polivinil alkol gibi) sentetik polimerler olabilirler [19].

TS EN 934-2'ye göre kimyasal katkı tipleri aşağıda sıralanmıştır;

- Su Azaltıcı / Akışkanlaştırıcı
- Yüksek Oranda Su Azaltıcı / Süper Akışkanlaştırıcı
- Hava Sürükleyici
- Priz Hızlandırıcı
- Priz Geciktirici
- Su Geçirimsizlik Katkısı
- Su Tutucu Katkılar
- Sertleşme Hızlandırıcı
- Priz Geciktirici, Su Azaltıcı / Akışkanlaştırıcı
- Priz Geciktirici, Yüksek Oranda Su Azaltıcı / Süper Akışkanlaştırıcı
- Priz Hızlandırıcı, Su Azaltıcı / Akışkanlaştırıcı

Diğer Katkılar:

- Yüzey Geciktiriciler
- ASR Azaltıcılar
- Püskürtme Beton Katkıları
- Korozyon Azaltıcılar
- Renkli Beton Pigmentleri
- Rötire Dengeleme Katkıları
- Ayırışma Azaltıcılar

2.3 KYB' nin Tarihsel Gelişimi

Betonda kendiliğinden yerleşebilirlik kavramı ilk olarak Tokyo Üniversitesinde, 1986 yılında Prof. Dr. Hajime Okamura tarafından ortaya atılmıştır. Su altında beton döküm uygulamalarında vibrasyonsuz beton dökümlerinden edinilen tecrübe ile KYB üretilmesi amaçlanmıştır. 1988 yılında aynı üniversitede yüksek performanslı KYB prototipi üretimi ve mekanik özellikleri incelenmiştir [15].

Yüksek performanslı betonun aşağıda sıralanan 3 aşamada belirli şartları yerine getirmesi öngörülmüştür;

1. Taze halde iken kendiliğinden sıkışabilme
2. İlk olumsuz etkilere direnebilecek derecede yüksek erken dayanım.
3. Sertleşmiş halde tüm dış etkilere karşı bozulmadan kalabilme.

2. 4. KYB' nin Kullanım Alanları

Günümüzde KYB, özel tip betonlar sınıfında sayılabilir. Genellikle büyük boyutlu inşaatlarda, sık donatılı dar kesit özelliklerinin bir arada olduğu perde tipi elemanlarda, tamir, bakım ve yenileme işlerinde, tünel gibi özel kalıp gerektiren işlerde kullanılan KYB henüz normal beton kadar geniş kullanım alanına sahip değildir. Bunun en önemli nedeni maliyetinin yanı sıra, tasarım ve uygulama alanlarında yeni yöntemler gerektirmesidir [20].

KYB ile betonarme yapılarda geleneksel betona kıyasla mimari ve estetik açıdan çok daha kaliteli dış görüntü elde edilebilmektedir. KYB Aynı zamanda boşluksuz yüzey betonarme elemanlar için geçirimsiz ve dolayısıyla durabil bir yapı anlamına gelir. (Şekil 2.1)



Şekil 2.1. Kendiliğinden Yerleşen Beton

2.5. Kendiliğinden Yerleşen Harçta Deney Yöntemleri

KYH'ler üzerine yapılan deneyler, taze harç deneyleri ve sertleşmiş harç deneyleri olmak üzere iki kısma ayrılır. Bu deneyler, KYH'lerin mekanik özelliklerini ve işlenebilirliklerini öğrenip en uygun karışım oranına sahip KYH'yi ortaya çıkarmak amacıyla yapılmaktadır.

2.5.1. Mini Çökme-Yayılma Deneyi

KYH'nin işlenebilirliği hakkında öngöründe bulunabilmek amacıyla EFNARC (2002) tarafından önerilen mini çökme-yayılma deneyi ile betonun akıcılığı ölçülmektedir. Bu deney vasıtasıyla karışım oranları belirlenmiştir. Elde edilen bu karışım oranları kullanılarak KYH'nin sertleşmiş haldeki beton deneyleri yapılmıştır. Bu deneyde bulunmak istenen yayılma çapı 22-25 cm aralığındadır.

Boyutları Şekil 2.2.'de verilen bir kesik koni kalıbı, mini çökme-yayılma deneyinde kullanılır. Bu kalıp geniş ağzı yere yapışık, dar ağzı yukarıda kalacak şekilde; düz, pürüzsüz ve harcın akabileceği temiz bir yüzeye yerleştirilir. Daha sonra üst kısımda kalan dar ağzı

vasıtasıyla kalıp, tamamen harçla doldurulur. Doldurulan kalıp yukarı yönde havaya kaldırılır ve harcın yayılması beklenir. Yayılan harç birbirine 90° açı yaptığı iki doğrultuda ölçülerek bunların ortalaması alınır ve bulunan bu değer, yayılma çapını verir. Bulunan bu ortalama çaplardan faydalanılarak Denklem 2.1. vasıtasıyla bağıl çökme- yayılma değeri bulunabilir [17].

$$\Gamma_m = \left[\frac{d}{d_0} \right]^2 - 1 \quad (2.1)$$

Bu formülde;

Γ_m : Bağıl çökme yayılma değeri

d : Deney sonucu elde edilen nihai ortalama çap (mm)

d_0 : Mini çökme yayılma konisinin alt çapı (mm)

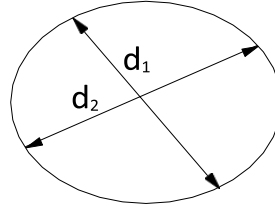
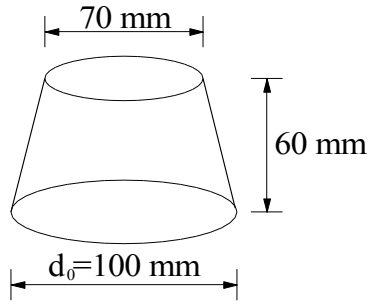
Nihai ortalama çapı (d), Denklem 2.2 ile bulunur

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (2.2)$$

Bu formülde;

d_1 : Deney sonucu elde edilen birinci çap (mm)

d_2 : Deney sonucu elde edilen ikinci çapı (mm)



Şekil 2.2. Mini çökme-yayıllma deneyi düzeneği ve aparatı

2.5.2. Mini V-Huni Akış Deneyi

Mini V hunisi deneyi, EFNARC tarafından önerilen KYH'ler hakkında işlenebilirlik ile ilgili bir deneydir. Bu deney yardımıyla KYH karışımları hakkında ayrışma direnci, akma ve viskozite gibi özellikler ile ilgili bir fikir sahibi olunur.

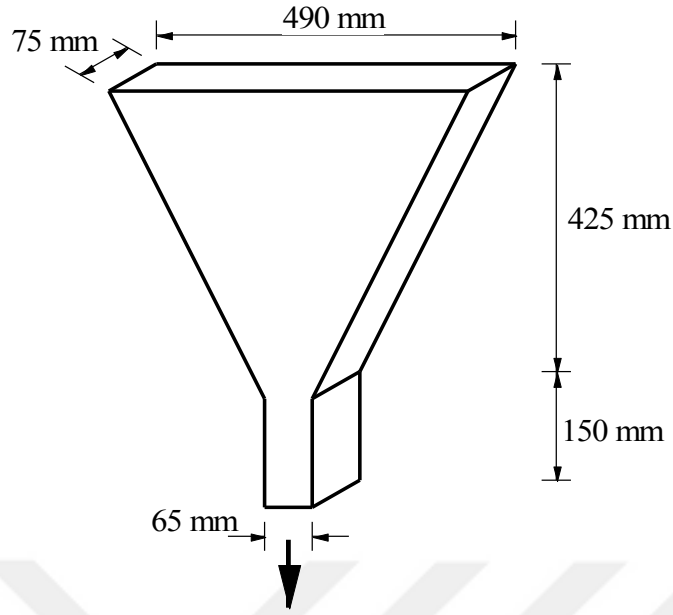
Şekil 2.4.'deki gibi bir V hunisi, ağız kısmına kadar bütünüyle harç ile doldurulur. Ardından alttaki kapağı çekilir ve harcın boşalmasına izin verilir. Huninin ağız kısmından bakıldığında, kapağın açıldığı andan itibaren ışık görülen ana kadar geçen bu zaman dilimi belirlenir. EFNARC tarafından önerilen bu değer 7 ile 11 saniye aralığındadır. Belirlenen bu değer kullanılarak Denklem 2.3'e göre bağıl huni hızı hesaplanır [17].

$$R_m = \frac{10}{t} \quad (2.3)$$

Bu formülde;

R_m : Bağıl huni hızı

t : Deney sonucu belirlenen akma zamanı (sn)



Şekil 2.3. Mini V hunisi deney aparatı



Şekil 2.4. Mini V hunisi deney düzeneği

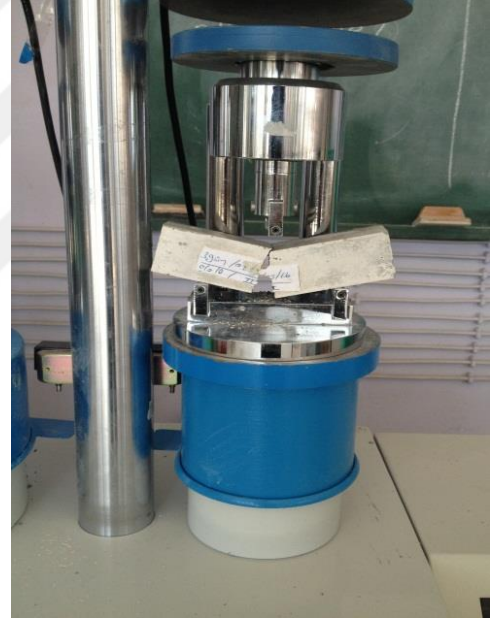
2.5.3. Üç Noktalı Eğilmede Çekme ve Basınç Deneyi

Karışım oranları belli olan harçlar 40x40x160 mm'lik kalıplara dökülür. Bu numuneler 3, 28 ve 90 gün boyunca 20 ± 2 °C sıcaklıktaki kirece doymun hale getirilmiş suda bekletilir. Kür süresi bittikten sonra UTEST UTCM 6420 makinesindeki yükleme tablasındaki mesnet

silindirleri, deney uygulanacak numunenin boyuna uygun gelen yataklara oturtulur. Daha sonra beton deney numunesi yükleme tablası üzerindeki mesnetlere mesnetlerden en az 2.5 cm taşacak şekilde uygun olarak yerleştirilir. Numunenin kalıp içinde iken üste gelen yüzünün, deney sırasında uygulanacak yüklemenin yönüne paralel olarak konmuş olmasına dikkat edilmelidir. Numunenin yatay olması sağlanmalı, yükleme yönü numunenin yükleme uygulanan yüzeyine dik olmalıdır. Daha sonra bu test sonucu ikiye ayrılan numunelere yükleme hızı 2.4 kN/sn olacak şekilde basınç testi uygulanır. Her iki deney sonuçlarında da elde edilen değerlerin ortalaması alınır [17].

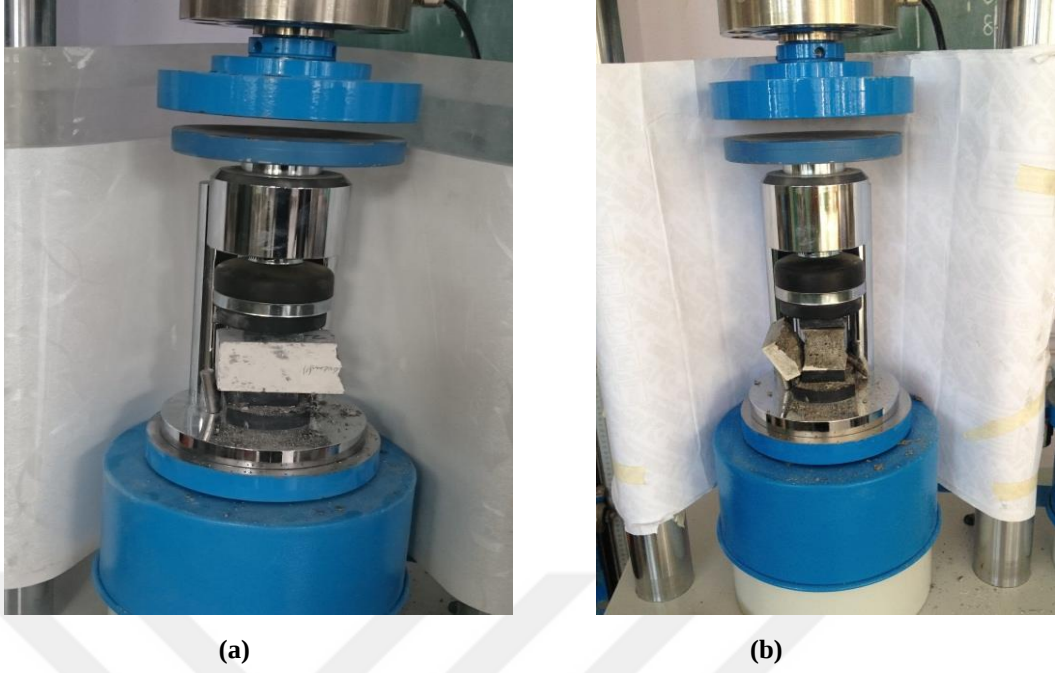


(a)



(b)

Şekil 2.5. (a) Üç noktalı eğilme deneyi; (b) Deney sonucu



Şekil 2.6. (a) Basınç deneyi; (b) Deney sonucu

2.5.4. Kapiler (Kılcal) Su Emme Deneyi

Kapiler (kılcal) su emme tayini, cismin alt yüzünden (tabanından) suya değdirilmesi ve kılcallık yoluyla suyun zamana bağlı olarak yükselmesi ile saptanan bir büyüklüktür. Sonuçta malzemenin ağırlık artışı ile kılcal su emme (kılcallık) katsayısı belirlenir. Birimi $\text{cm}^3 / \text{cm}^2$ dak veya $\text{cm}^3 / \text{cm}^2$ sn' dir. Betonun kılcal su emmesinin tayini için $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}$ ' lik kalıplara yerleştirilen beton numuneler kullanılır. 28 gün olarak belirlenen kür süresinin sonuna gelindiğinde, $105 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5'$ lik etüvde 24 saat bekletilerek tamamen kuruması sağlanır. Numunelerin su yüzüne değen yüzeyi haricindeki yüzeylerinden su emmesi önlenmek için izole edilir ve kuru ağırlığı belirlenir. Daha sonra numunenin bir yüzü su ile temas edecek şekilde tepsiye yerleştirilir ve belirli aralıklarla ağırlıkları 0,1 gr hassasiyetinde elektronik terazi ile ölçülür. Bu deney yönteminde numunenin sadece bir yüzü su ile temas ettirildiğinden betonun ağırlık artışından su emme oranının zamana bağlı verileri elde edilmektedir. Çok küçük çaplı boşluklar içerisinde emilen su kılcallık etkisi ile yükselir. Betonarme yapılarda olması istenmeyen bu durumun kontrolü için, betonda Kpiller (kılcal) su emme deneyi yapılır. Kapiler su emme deneyi, TS 4045 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir [21].

Kapilarite katsayısı hesaplamasında denklem (2.4)'teki formül kullanılmıştır.

$$K = \frac{Q^2}{A^2 \cdot t} \quad (2.4)$$

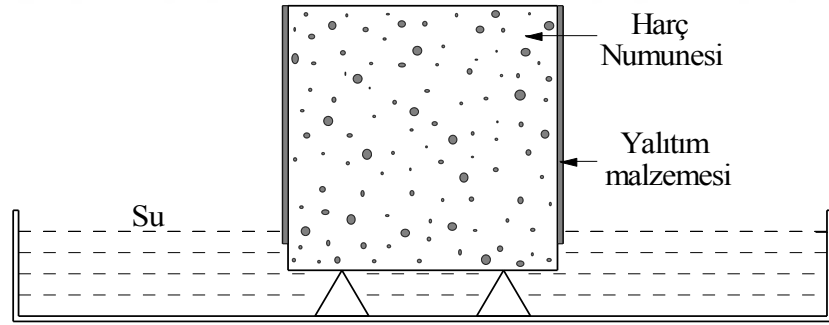
Burada;

K : Kapilarite katsayısı (cm²/s),

A : Su ile temas eden alan (cm²),

t : Geçen zaman (s),

Q : Emilen su miktarı (cm³)'dır.



Şekil 2.7. Kapiler su emme deney düzeneği



(a)



(b)

Şekil 2.8. (a) Etüvde bekletilmiş numuneler; (b) Kaplara dökülmüş numuneler



(a)



(b)

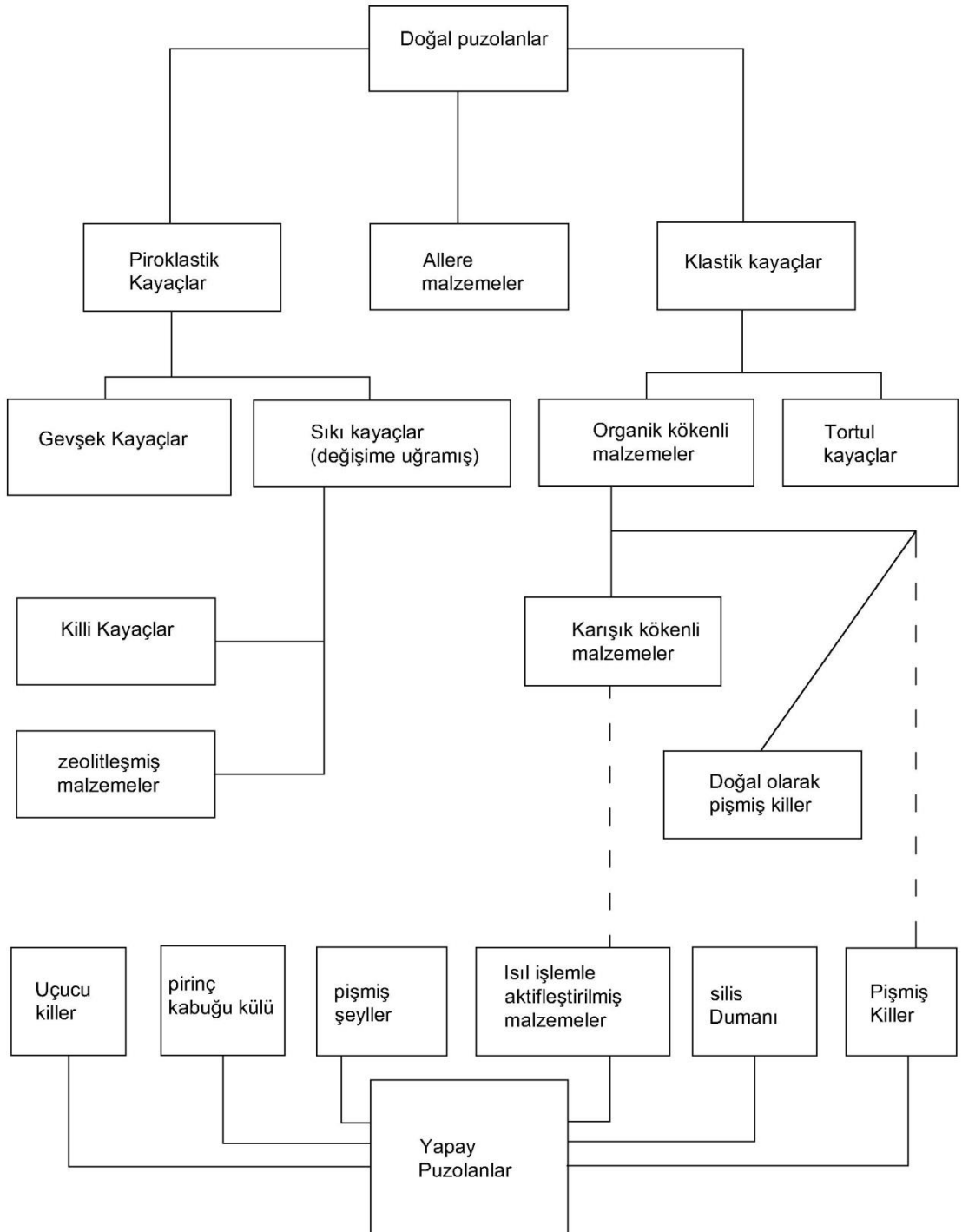
Şekil 2.9. (a) İzole edilmiş numunelerin su emmesi; (b) 24 saat sonunda su emmiş numunelerin görünümü

3. MİNERAL KATKI MADDESİ OLARAK POMZA

3.1 Puzolanlar

Puzolanlar kendi başlarına bağlayıcılık özelliği olmayan, ancak ince öğütülmüş halde ve rutubetli ortamda kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek bağlayıcı özelliğe sahip bileşenler oluşturan, silisli veya silisli alüminli malzemeler olarak tanımlanmaktadır [11].

Şekil 3.1’de gösterildiği gibi Massozza tarafından yapılan sınıflandırmaya göre puzolanlar 3 ana gruba ayrılırlar, ilk grup olan proklastik kayalar (püskürük volkanik asıllı) eriyik haldeki magmanın şiddetle dışarı atılması sonucu biçimlenir ve sonra hızla soğuması ile içerisinde gaz kabarcıkları bulunan cam gibi bir malzeme meydana gelir. Bu nedenle, bu malzemelerin kimyasal kompozisyonu yeryüzüne çıkan magmanın kompozisyonuna bağlıdır [24]. İkinci grubu, değişime uğramış yüksek miktarda silis içeren malzemelerden oluşur. Bu puzolanlar, su içinde eriyen oksitlerin ayrılması ile kimyasal değişime uğrayan genellikle açık renkli kayaların, durgun sularda farklı orjinli malzemelerle birlikte çökmesiyle şekillenir. Bu malzemeler genellikle puzolanik özelliği azaltan kil ile karışık olarak bulunurlar [24]. Doğal puzolanların son grubu, diatomit ve kil toprağını da içine alan klastik (parçalardan oluşmuş) kayalardır. Bunlar yüksek silika içeriğine sahip olmakla birlikte, içlerinde önemli miktarda kil ihtiva ederler. Kilin puzolanik davranışı yetersiz olduğundan, çimento ikame malzemesi olarak kullanılması mümkün olmamaktadır. Ancak, ısıtma işlemi tabi tutulması killerin puzolanik özelliğini önemli ölçüde artırmaktadır [22].



Şekil 3.1. Puzolanların sınıflandırılması

3.2 Pomza

3.2.1 Pomza' nın Tanımı

Kullanılan en eski yapı malzemelerinden biri olan pomza, lavların katılaşması sırasında gaz salınımı ile oluşan volkanik kökenli, oldukça gözenekli ve camsı bir yapıya sahip doğal bir malzemedir. Pomza TS 3234'te, birbirine bağlantısız, gözenekli, sünger görünümlü, silikat esaslı, birim hacim kütlesi 1 gr/ cm³ 'ten küçük, sertliği Mohs sertlik çizelgesine göre yaklaşık 6 olan ve camsı volkanik bir madde olarak tanımlanmıştır. Gözenekler arası genelde (özellikle mikro gözenekler) bağlantısız boşluklu olduğundan permeabilitesi düşük, ısı ve ses yalıtımı oldukça yüksektir. Pomza (ponza) terimi İtalyanca bir sözcüktür. Almanca Bimsstein, İngilizce Pumice adı da verilmektedir. Dilimizde süngertaşı, köpük taşı, topuk taşı, hışır taşı olarak da adlandırıldığı gibi bilimsel terminolojide dünyaca kabul görmüş pümis (pumice), pümisit (pumicite) olarak da adlandırılabilir [23].



Şekil 3.2. Pomza

Pomza taşı ilk olarak antik Yunanlılar tarafından kullanıldığı bilinmekte, bu ve bu dönemden sonra pomza taşı kullanılarak yapılan yapıların birçoğu uzun yıllar geçmesine rağmen hala ayakta kalmayı başarabilmektedir. Osmanlılar zamanında yaygın olarak kullanılan horasan harcı, pomza ve kireç karışımından imal edilmiş bir nevi hafif betondur.

Mevcut kaynaklardan elde edilen bilgilere göre Türkiye’de 1972 yılından itibaren pomza üretimi yapıldığı tespit edilmiştir.

Pomzanın oluşumu genel olarak şöyle açıklanmaktadır. Asidik magma bazik magmaya nazaran daha viskozdur ve yüksek silis içerir. Bazik magmanın sıvı olduğu sıcaklıklarda asidik magma katı halde bulunur. Volkanik aktivitenin durduğu zamanlarda magma akışı da durarak asidik kayaç ve kütleler oluşur. Volkanik bacanın tıkanmasıyla doğal basınç birikimleri oluşur. Basıncın artmasıyla asidik malzemeyle birlikte magmadaki erimiş gazlar büyük patlamalarla bacadan püskürmeye başlar. Ani basınç sertleşmesi ani genişlemeleri oluşturur. Bu sırada bünyedeki uçucu bileşenlerin ani olarak kaçmasına neden olur. Uçucuları takiben, arkada kalan erimiş küresel parçalar, atmosferle temas eder etmez hızla soğurlar. Böylelikle pomza oluşur [23]. Püskürme süresi, ara süreler, magmanın ısısı, magmadaki erimiş gaz miktarı, püsküren malzemenin soğuma zamanı pomza oluşumunu kontrol eden faktörlerdir.

Asidik ve bazik volkanik faaliyetler neticesinde iki tür pomza oluşur. Bunlar; asidik pomza ve bazik pomza olmakla beraber en yaygın olanı asidik pomzadır. Asidik pomza; beyaz ve kirli beyaz renkli, Mohs skalasına göre sertliği 5-6 olup, yoğunluğu $0,5-1\text{gr/cm}^3$ ’tür. Bazik pomza ise kahverengi veya siyah olup daha ağırdır. Sertliği 5-6, yoğunluğu ise $1-2\text{gr/cm}^3$ ’tür. Genel olarak sertliği 5-6 arasında değişen pomzanın iyi bir aşındırıcı malzeme yapısı sergilediği şeklinde değerlendirilebilmektedir. Her iki pomza da oluşum esnasında gazların bünyeyi ani olarak terk etmesi ve ani soğuması sonucunda oluşmuş oldukça gözenekli bir malzemedir. Pomzanın su emme özelliği %50’den fazladır ve pomzanın porozitesi %75-80 civarındadır. Pomzanın boşluklu yapıya sahip oluşu, ısı iletkenliğinin düşük olmasını sağlar. Isı iletkenliği $0,10-0,60\text{ kcal/m}^2\text{h}^0\text{C}$ ’dir [24]. Yüksek gözeneklilik derecesiyle pomza tanelerinin büyük dayanıklılıkları yoktur. Ancak bu dayanıklılık, taşıyıcı duvar yapımında kullanılan taş dayanıklılıklarına uygundur [25].

Pomza gibi düşük yoğunluklu agregalarla yapılan hafif betonlar yapının zati ağırlığını azaltmakta, temel boyutlarını küçültmekte ve yapıya ısı yalıtım özelliği kazandırmaktadır [26].

Pomzalar bünyelerinde silisyum, alüminyum, potasyum, sodyum, demir ve magnezyum gibi kimyasal bileşimler ihtiva ederler. Asidik ve bazik pomzanın kimyasal bileşimlerinde birtakım farklılıklar olduğu görülmektedir. Asidik ve bazik özellikler taşıyan pomzaların tipik kimyasal bileşimleri Tablo 3.1’de verilmiştir [23].

Tablo 3.1. Asidik ve bazik pomza türlerinin kimyasal bileşimi

Bileşim(%)	Asidik Pomza	Bazik Pomza
SiO ₂	70	45
Al ₂ O ₃	14	21
Fe ₂ O ₃	2.5	7
CaO	0.9	11
MgO	0.6	7
Na ₂ O+K ₂ O	9	8

Pomza taşı dünya ekonomisinde yeni olmamakla beraber, Türkiye endüstrisine son yıllarda girmeye başlamıştır. Kullanım alanı çok geniş olan pomza taşının dünyadaki rezervlerinin yaklaşık 1/7’si Türkiye’de olmasına karşın bu potansiyel yeterince değerlendirilememektedir. Doğu Anadolu Bölgesi Türkiye’deki pomza taşı rezervlerinin yaklaşık % 56’sına sahiptir (Tablo 3.2.), fakat ihracattaki payı hemen hemen hiç yoktur. Gerekli tedbirler alınarak Doğu Anadolu Bölgesi için yeni gelir kaynakları sağlanabilir [27]. Dünya pomza rezervleri konusunda sağlıklı veriler bulunmamaktadır. Ama dünyanın en önemli pomza üreticileri (ortalama üretim miktarları) Tablo 3.3.’ te sırası ile verilmiştir [28].

Tablo 3.2. Türkiye’deki pomza rezervleri

YERİ	REZERV MİKTARI	İLİ	İŞLETME SAYISI	İLİ	İŞLETME SAYISI
Isparta-Gölcük	30.983.250	Adana	7	Manisa	9
Ankara-Güdül-Tekköy	8.070.000	Isparta	9	Muğla	2
Nevşehir-Avanos-Ürgüp	404.412.834	Burdur	1	Ağrı	3
Nevşehir-Derin kuyu	48.660.500	Hatay	2	Bitlis	6
Kayseri-Gömeç	13.250.000	Kayseri	17	Erzurum	1
Kayseri-Develi	58.500.000	Konya	4	Erzincan	1
Kayseri-Talas-Tomarza	241.000.000	Nevşehir	23	Kars	2
Kayseri-Talas-Tomarza	284.000.000	Niğde	4	Van	2
Bitlis-Tatvan	1.100.000.000	Aksaray	2	Urfa	1
Van-Erciş-Kocapınar	154.625.000	İzmir	2	Mardin	2
Van-Mollakasım	5.950.000	BÖLGELER	REZERV MİK.		İŞLETME SAYISI
Ağrı-Patnos	27.812.000				
Ağrı-Doğubeyazıt	26.875.000				
Kars-Iğdır-Kavaktepe	40.156.250				
Kars-Digor	11.718.750	Doğu Anadolu	1.369.012.000	56	18
Kars-Sarıkamış	1.875.000	İç Anadolu	1.057.893.334	43	50
		Diğer	30.983.250	1	32

Tablo 3. 3. Dünya'nın en önemli pomza üretici ülkeleri ve üretim miktarları

Ülkeler	Üretim miktarları (ton/yıl)
A.B.D	12.250.000,00
İtalya	4.600.000,00
Yunanistan	1.600.000,00
Türkiye	800.000,00
İspanya	600.000,00
Almanya	550.000,00
Guadalup	210.000,00
İran	150.000,00
Martinik	130.000,00

Türkiye’de farklı yörelerde bulunan pomza oluşumlarına ait kimyasal analiz değerleri Tablo 3.4’te verilmiştir [23].

Tablo 3. 4. Farklı illerde pomza oluşumlarının kimyasal analiz değerleri

Bileşim	Nevşehir	Van	Hatay	Kayseri	Adana	İstanbul	İzmir
SiO ₂	71	58.5	61.5	68	59.9	55	71
Al ₂ O ₃	13.2	14.3	11.2	15.1	12.1	3.6	1.3
Fe ₂ O ₃	1.1	4	2.3	3	2.5	0.9	0.5
CaO	1.2	1.5	8.5	3	8.9	29	8
MgO	0.6	0.3	1.2	1	1.5	0.5	3
Na ₂ O	2	4.7	4.6	4	4.7	0.7	12
K ₂ O	4.3	5.3	1.3	2.6	3.3	0.9	0.2
Diğer Min.	6.6	11.4	7.6	3.3	7.1	9.4	4

3.2.2 Pomzanın Kullanım Alanları

Birçok kullanım alanı olan pomzanın dünyada ve ülkemizde en büyük tüketim alanı inşaat sektörüdür. İnşaat sektörünün dışında; tarımda, tekstilde, kimya endüstrisinde elektronik devre çiplerinin üretiminde, kuyumculuk, metal, cam ve plastik sanayisinde kullanılmaktadır. Pomza agregası inşaat sektöründe,

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

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada, Bitlis yöresine ait pomzanın KYH'da mineral katkı olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yapılan çalışmada kontrol numunesi dâhil 8 karışım hazırlanmıştır. Bu karışımlardan her deney için 3 adet numune dökülmüştür. KYH' lerde mineral katkı olarak çimento oranını azaltmak suretiyle; %5, %10, %15, %20, %25, %30 ve %35 oranlarında ÖPT kullanılmıştır. Bu pomza oranları baz alınarak KYH'lerin karışım oranlarını belirlemek amacıyla mini çökme-yayılma ve mini V-hunisi deneyleri yapılmıştır. Taze harç deneylerinde ÖPT oranı arttıkça işlenebilirlikte zorluk yaşandığı, yayılmanın azaldığı, yapışkanlığın arttığı görülmüştür. Bu nedenle karışım oranlarımız %35'e kadar belirlenmiştir.

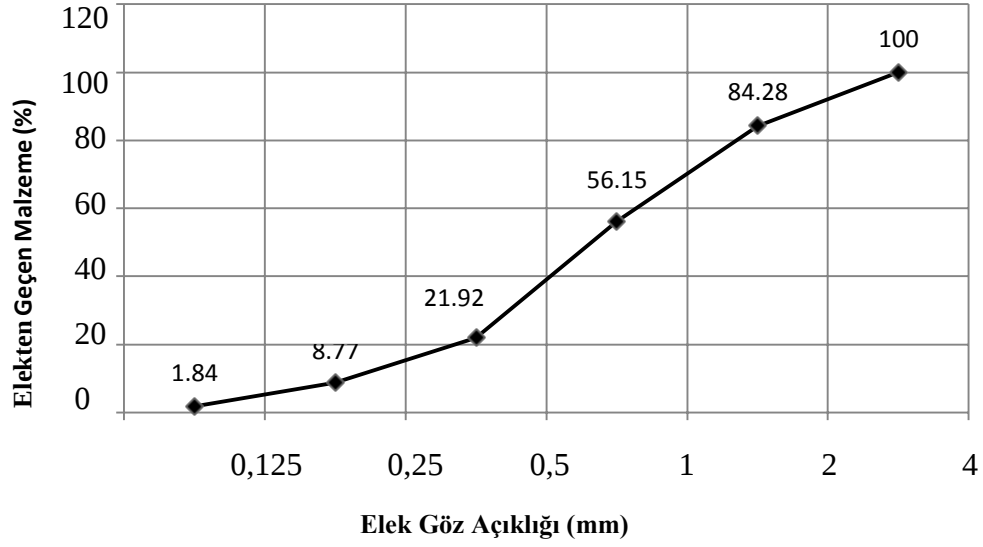
Karışım oranları belirlendikten sonra KYH'ler için 40x40x160 mm ebatlarında 7, 28 ve 90 günlük kür süreleri için üçer adet dikdörtgen numuneler ve 50x50x50 mm ebatlarında ise sadece 28 günlük kür süresi için birer adet olmak üzere küp numuneler dökülmüştür. Dökülen bu numuneler 20±2°C sıcaklıktaki kürde bekletilmiştir. Kür sonunda dikdörtgen numunelere üç noktalı eğilme ve basınç deneyleri yapılmış ve KYH numunelerinin dayanımları tespit edilmiştir. Küp numunelere ise su emme deneyi yapılarak, kapiler su emme değerleri tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında yapılan bütün deneyler Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarı ile Makine Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

4.1. Deneylerde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

4.1.1. Agrega

Bu tez çalışması bünyesinde Elazığ Yöresinden elde edilen en büyük dane boyutu 4 mm olan agregâ kullanılmıştır. Elazığ Murat Nehri civarından elde edilen agregânın su emme oranı % 1.94 ve doygun kuru yüzey özgül ağırlığı 2.63 gr/cm³ olarak belirlenmiştir. Bu agregânın elek analizi sonucunda belirlenen granülometri eğrisi Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Kullanılan agreganın granülometrisi

4.1.2. Portland Çimentosu

Bu tez çalışması bünyesinde Elazığ Çimento A.Ş. Fabrikasından temin edilen CEM-I 42.5 N tipi çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun kimyasal bileşenleri ve fiziksel özellikleri Tablo 4.2.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. CEM I 42.5 N tipi çimentonun kimyasal bileşenleri ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Özellik	Muhteva
SiO ₃ (%)	21.12
Al ₂ O ₃ (%)	5.62
Fe ₂ O ₃ (%)	3.24
CaO (%)	62.94
MgO (%)	2.91
SO ₃ (%)	2.48
Na ₂ O+ K ₂ O (%)	-
Cl (%)	-
Kızdırma Kaybı (%)	3.52
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	3.03
Özgül yüzey (cm ² /gr)	3430

4.1.3. Su

Bu tez çalışması bünyesinde Elazığ (Merkez) şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

4.1.4. Kimyasal Katkılar

Bu tez çalışması bünyesinde Sika Yapı Kimyasalları A.Ş. firmasından temin edilen, yoğunluğu 1.06 gr/cm^3 olan, modifiye polikarboksilat esaslı polimer yapılı ViscoCrete Hi-Tech Süper Akışkanlaştırıcı (SA) kullanılmıştır. Kullanılan SA tüm karışımlarda, sabit tutulmuş ve 7 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Kullanılan SA'nın özellikleri Tablo 4.2'te verilmiştir [29, 72].

Tablo 4.2. SA'nın kimyasal özellikleri

Kimyasal Yapı	Modifiye Polimer Polikarboksilat Esaslı
Yoğunluk (gr/cm^3)	1.06
Ph Değeri	3 – 7
Donma Noktası ($^{\circ}\text{C}$)	-4
Suda Çözünebilir Klorür (%)	En Fazla % 0.1 (TS EN 934-2)
Alkali Miktarı (% Na_2O Eşdeğeri Olarak)	En Fazla % 3 (TS EN 934-2)

4.1.5. Mineral Katkılar

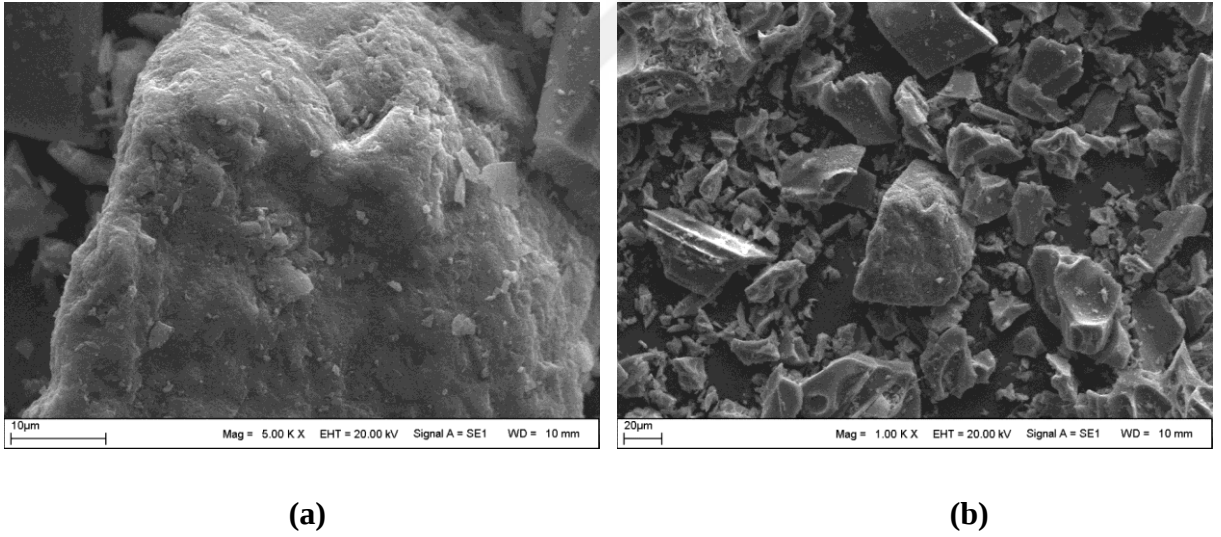
Bu tez çalışması bünyesinde mineral katkı olarak “Öğütülmüş Pomza Tozu (ÖPT)” kullanılmıştır. Bu çalışmanın ana amacını, toz haldeki pomzanın KYH’de kullanılabilirliğinin araştırılması teşkil etmektedir.

Çalışma için kullanılan pomza, Bitlis’in Ahlat yöresinden temin edilmiştir. Öğütülerek kullanılan pomzanın 0.125 mm boyutundaki elekten geçen miktarı %85 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.2. Toz haline getirilmiş ve deneylerde kullanılan pomza

Elde edilen ÖPT, Malatya İnönü Üniversitesinde "Taramalı Elektronik Mikroskobu (SEM)"de görüntülenmiş, mikron boyuttaki fotoğrafları çekilmiş ve toz haldeki malzemenin görünüşü incelenmiştir. Şekil 4.3.'de ÖPT'nin SEM'de görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.3. (a) 10 µm Mag = 5.00 K X ve (b) 20 µm Mag = 1.00 K X boyutunda ÖPT'nin SEM fotoğrafları

Şekil 4.3.'te verilmiş olan kısaltmalar, şu büyüklükleri ifade etmektedir:

µm : Mikrometre ($1 \text{ m} = 1 \times 10^6 \text{ µm}$)

Mag : Magnification (İng.) = Büyütmek

KX : Büyütme oranı ($1 \text{ KX} = [100 \text{ µ}]^2$)

Pomza örneklerinin ince kesitlerinden çekilen SEM fotoğraflarına bakıldığında, malzeme iç yapısında birbirinden çok farklı geometrik şekiller gösteren boşluk dağılımlarının varlığı açıkça görülebilmektedir. Pomza bu yapısı incelendiğinde, hacimsel dağılım olarak bir kısmı açık boşluklardan, bir kısmı kapalı boşluklardan ve geri kalan kısmı ise katı olarak bulunan matriks yapısından oluşmaktadır. Pomza oluşumları boşluk durumlarına göre irdelendiğinde, riyolitik kayaç yapısına sahip olan malzeme oluşumlarında, açık boşluk oluşumlarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Malzemede boşluk oranı arttıkça, malzemenin mukavemetinde düşme, ısı yutuculuk değerlerinde ise artma görülmektedir. Malzeme boşluklarının devamlılığı halinde su ve buhar geçirimsizlik değerleri de artmaktadır. Bu sebeple, malzemenin donmaya karşı mukavemeti de azalmaktadır [58].

Ayrıca ÖPT'nin, Elazığ Çimento A.Ş.'ye ait çimento fabrikasında fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. ÖPT'nin kimyasal bileşenleri ve fiziksel özellikleri Tablo 4.3'te verilmiştir:

Tablo 4.3. ÖPT'nin kimyasal bileşenleri ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Özellik	Muhteva
SiO₂ (%)	63.57
Al₂O₃ (%)	14.81
Fe₂O₃ (%)	6.75
CaO (%)	2.66
MgO (%)	1.02
SO₃ (%)	0.02
Na₂O (%)	4.36
K₂O (%)	4.36
Kızdırma Kaybı	4.59
Özgöl ağırlık (gr/cm³)	2.47
Özgöl yüzey (cm²/gr)	2871

4.1.6. Numunelerin Hazırlanması

Üç noktalı eğilme ve basınç deneyinde kullanılmak üzere 40x40x160 mm ebatlarındaki kalıplar yağlanarak hazırlanmış olup daha önceden tespit edilen karışım oranlarına göre KYH karışımları dökülmüştür. (Şekil 4.4) Daha sonra her bir karışımdan üçer adet olmak üzere numuneler 7, 28 ve 90 gün kürde bekletilmiştir. Su emme deneyi için ise, 50x50x50 mm³'lük kalıplar her bir karışım oranı için üçer adet hazırlanmış, KYH karışımları dökülmüş ve sadece 28 gün kürde bekletilmiştir. Her iki deney çalışması için 8 farklı oranda ve üçer adet olacak şekilde hazırlanan harçlar kalıplara dökülürken, herhangi bir sıkıştırma işlemine tabi tutulmadan kendiliğinden yerleşmişlerdir. Bütün numuneler, kalıplarında 1 gün bekletildikten sonra sökülmüş ve kür işleminin uygulanacağı havuzlara alınmışlardır. (Şekil 4.5)

Bu çalışma bünyesinde Elazığ şehir şebeke suyu kullanılarak kirece doymun hale getirilen 20±2°C sıcaklıktaki kür ortamı hazırlanmış olup kür süreleri bitiminde sudan çıkarılan numuneler (Şekil 4.6.) üzerinde gerekli deneyler yapılmış ve sonuçları kaydedilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.4. (a) 40x40x160 mm'lik ve 50x50x50 mm'lik kalıplar; (b) Dökülen numuneler



Şekil 4.5. Numunelerin kür ortamı



(a)



(b)

Şekil 4.6. (a) Kürden çıkarılan dikdörtgen numuneler; (b) Kürden çıkarılan küp numuneler

4.1.7. KYH'de Karışım Hesabı

KYH numunelerinin içeriğinde çimento, agrega, öğütülmüş pomza, süper akışkanlaştırıcı ve su kullanılmıştır. Kontrol numunesi dâhil olmak üzere 8 ayrı karışım hazırlanmıştır.

KYH karışımlarında toplam bağlayıcı miktarı 650 kg/m^3 olarak sabit tutulmuştur. Çimento miktarı, belirlenen oranlarda azaltılıp yerine mineral katkı malzemesi olarak ÖPT ilave edilmiştir. Sırasıyla %5, %10, %15, %20, %25, %30, %35 oranlarında çimento azaltılıp yerine ÖPT eklenmiştir ve her bir yüzdelik için ayrı ayrı karışım oranları hesaplanmıştır. Karışım hesabı yapılırken toplam bağlayıcı ve süper akışkanlaştırıcı miktarı sabit tutulmuş, su, agrega ve su/çimento (w/c) oranı her bir karışım için yeniden hesaplanmıştır. KYH karışım hesapları mutlak hacim metoduna göre yapılmıştır. Bu şekilde belirlenen malzeme miktarları doğrultusunda 1 m^3 harçtaki kum miktarı Denklem 4.1'e göre hesaplanmıştır:

$$V_{ag} = 1000 - \left[\frac{Ç}{\gamma_{\text{ç}}} + \frac{\text{ÖPT}}{\gamma_{\text{öpt}}} + \frac{SA}{\gamma_{sa}} + \frac{W}{\gamma_w} + A \right] \quad (4.1)$$

Bu formülde;

V_{ag} : 1 m^3 betonda kum hacmi (dm^3)

$Ç$: 1 m^3 betonda çimento kütlesi (kg)

ÖPT : 1 m^3 betonda pomza tozu kütlesi (kg)

SA : 1 m^3 betonda süper akışkanlaştırıcı kütlesi (kg)

W : 1 m^3 betonda su kütlesi (kg)

$\gamma_{\text{ç}}$: Çimentonun özgül ağırlığı (kg/dm^3)

$\gamma_{\text{öpt}}$: Pomza tozunun ağırlığı (kg/dm^3)

γ_{sa} : Süper akışkanlaştırıcının ağırlığı (kg/dm^3)

γ_w : Suyun özgül ağırlığı (kg/dm^3)

A : 1 m^3 betonda hava hacmi (dm^3)

Karışımında kullanılan kumun ağırlığı Denklem 4.2 ile belirlenmiştir.

$$M_{ag} = V_{ag} \times \gamma_{ag} \quad (4.2.)$$

Bu formülde;

M_{ag} : 1 m³ betonda kum kütlesi (kg)

γ_{ag} : Kumun özgül ağırlığı (kg/dm³)

Bu hesaplamada çimento + pomza tozu miktarı 650 kg/dm³, süper akışkanlaştırıcı 7 kg/dm³ olarak sabit tutulmuş olup; kum miktarı, su miktarı ve w/c oranı değiştirilerek uygun karışım oranları belirlenmeye çalışılmıştır. Deneme – yanılma yoluyla belirlenen KYH oranları Tablo 4.4.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.4. KYH karışım oranları

Karışım Kodu	MUHTEVA (kg/m ³)						
	Çimento (CEM I 42.5N)	ÖPT	Kum	Su	SA (Hi-Tech 36)	Su/Bağlayıcı	Yayılma (mm)
KONTROL	650	0	1388	247	7	0.38	245
PT5	617.5	32.5	1378.24	247	7	0.38	240
PT10	585	65	1371	247	7	0.38	240
PT15	552.5	97.5	1329	260	7	0.40	244
PT20	520	130	1289	273	7	0.42	246
PT25	487.5	162.5	1282	273	7	0.42	245
PT30	455	195	1275	273	7	0.42	243
PT35	422.5	227.5	1268	273	7	0.42	241

Karışım oranları belirlendikten sonra eğilme ve basınç deneyleri için her karışımdan 9'ar adet olmak üzere toplam 72 adet 40x40x160 mm³ boyutlarındaki dikdörtgen numuneler ile su emme oranını belirlemek için ise her karışımdan 3'er adet olmak toplam 24 adet 50x50x50 mm³ boyutlarındaki küp numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan bu KYH numuneleri, üç noktalı eğilme ve basınç dayanımı ile su emme deneylerine tabi tutulmuşlardır.



5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1. Mini Çökme-Yayılma ve Mini V Hunisi Deneyi Sonuçları

Mini çökme-yayılma deneyi ve mini V hunisi deneyleri ile KYB' lerin işlenebilirlikleri ve kıvamları belirlenmiştir. Bu deneyler sonucu elde edilen veriler değerlendirilerek, hazırlanan KYB' ler ile ilgili öngörude bulunulmuştur.

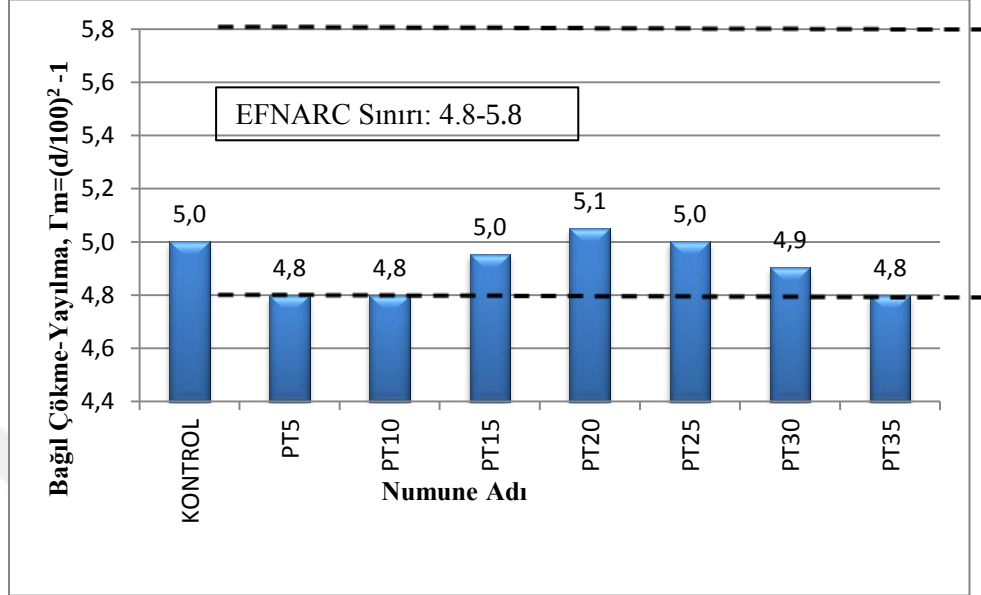
KYH karışımları hazırlanırken PÇ + ÖPT miktarı 650 kg/m^3 , SA oranı 7 kg/m^3 olarak sabit alınmıştır. Bunun dışında agrega ve su miktarı değiştirilerek karışım oranları belirlenmeye çalışılmıştır.

Toplam bağlayıcı miktarı sabit tutulmak kaydıyla çimento miktarı azaltılıp yerine ÖPT'nin ek bağlayıcı gibi kullanıldığı KYH karışımları üzerinde yapılan mini çökme-yayılma deneyleri ile ilgili bulunan değerler, Tablo 5.1.'de verilmiştir. Yapılan deneylerde harç yayılmasının, 22 ile 25 cm arasında olacak şekilde kalmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca bu tabloya bağlı çökme-yayılma değerleri de eklenmiş olup tüm veriler kontrol numunesiyle karşılaştırılmıştır. Tüm sonuçlar EFNARC (2002) [17]'de verilen çökme-yayılma sınırlarına göre yorumlanmıştır.

Tablo 5.1. Mini çökme-yayılma deneyi değerleri

Karışım Kodu	Mini Çökme-Yayılma Değeri (mm)	Bağlı Çökme-Yayılma Değeri (mm)
KONTROL	245	5.0
PT5	240	4.8
PT10	240	4.8
PT15	244	5.0
PT20	246	5.1
PT25	245	5.0
PT30	243	4.9
PT35	241	4.8

Mini çökme-yayılma deneyi sonucu bulunan Tablo 5.1.'deki mini çökme-yayılma değerleri kullanılarak Denklem 2.1 ve 2.2'ye göre elde edilen bağıl çökme-yayılma sonuçları Tablo 5.1 ve Şekil 5.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Bağıl çökme-yayılma grafiği

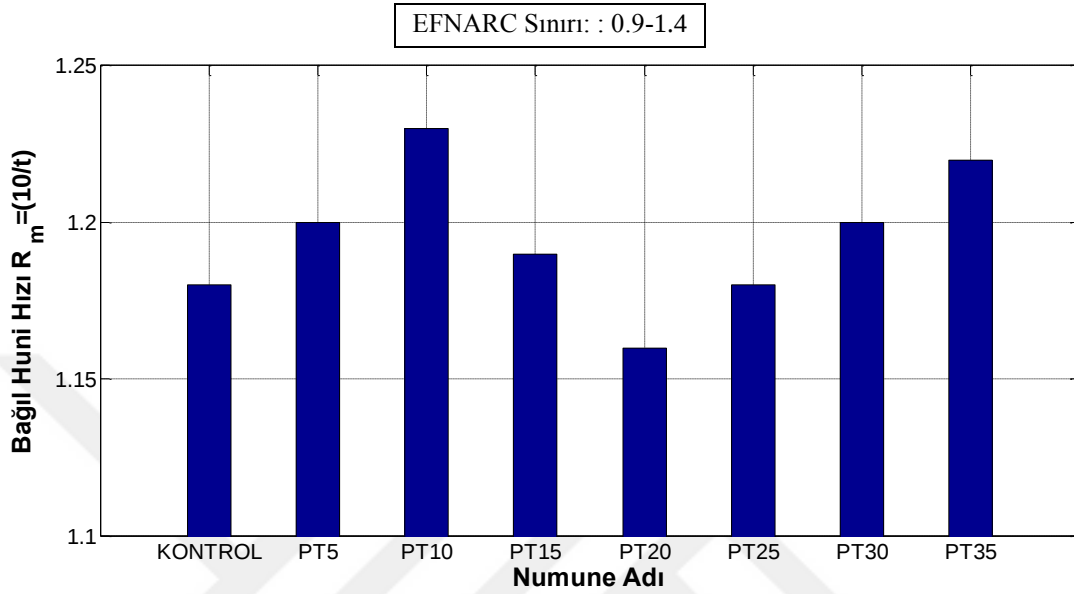
Bağıl çökme yayılma grafiği incelendiği zaman, tüm değerlerin EFNARC (2002) [17]'de belirtilen sınır değerleri arasında olduğu görülecektir.

KYH'nin kontrol numunesi ve ÖPT kullanılarak hazırlanan numuneleri üzerinde yapılan mini V hunisi deneyi akma zamanlarına ait değerleri ile bağıl huni hızına ait değerleri Tablo 5.2.'de verilmiştir. Bu değerlerin EFNARC (2002) [17]'de verilen V hunisi akma zamanı sınırları olan 8 ile 9 saniye arasında kaldığı görülmektedir.

Tablo 5.2. Mini V hunisi deneyi değerleri

Harç İsmi	V Hunisi Akma Zamanı (sn)	Bağıl Huni Zamanı (sn)
KONTROL	8.5	1.2
PT5	8.3	1.2
PT10	8.1	1.2
PT15	8.4	1.2
PT20	8.6	1.2
PT25	8.5	1.2
PT30	8.3	1.2
PT35	8.2	1.2

Mini V hunisi deneyi sonucu bulunan Tablo 5.2.'deki V hunisi akma zamanı değerleri kullanılarak Denklem 2.3'e göre elde edilen bağıl V hunisi hızı sonuçları Tablo 5.2 ve Şekil 5.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Bağıl V hunisi hız grafiği

Bağıl V hunisi hızı grafiği incelendiği zaman, tüm değerlerin EFNARC (2002) [17]'de belirlenen sınır değerleri arasında olduğu görülecektir.

Öztürk (2012), pomza ve perlit içerikli hafif betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiş, beton karışımında hafif agrega kullanarak betonun birim kütleini düşürmüştür, fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiş ve ısı yalıtım özelliği vermek istemiştir. Bu nedenle, çeşitli oranlarda hafif agregalar ve ekspande polistren kullanarak ürettiği hafif beton numunelerini (15X15X15) cm³ ebatlarında küp şeklindeki kalıplara yerleştirmiştir. Bu şekilde üretilen KYB'ler üzerinde; çökme-yayılma, L kutusu ve V hunisi deneylerini yapmış, betonun taze haldeki özelliklerini bulmuş ve EFNARC sınırları içerisinde kalan KYB'lerin istenilen performansı sağladığını görmüştür [30].

Yazıcıoğlu ve Bozkurt (2006), pomza ve mineral katkılı taşıyıcı hafif betonun performansını incelemiş ve elde edilen sonuçlara göre pomzanın taşıyıcı hafif beton

üretiminde kullanılabileceğini, aynı zamanda silis dumanı ve uçucu kül katkıları beton karışımına ilave edilerek daha ekonomik taşıyıcı hafif beton üretilebileceğini belirtmiştir. Bu katkıların beton karışımında kullanılmasıyla çevre kirliliğinin azaltılmasına da katkıda bulunulacağını ortaya koymuştur. Pomza ve mineral katkılarla LC25/28 sınıfında beton dayanımlarını elde etmiştir. Bu sınıfta üretilecek olan taşıyıcı hafif betonların deprem dayanımı açısından uygun sınırlar içinde olmalarıyla birlikte hafiflik avantajıyla da depremin yıkıcı etkilerine karşı faydalı olacağını belirtmiştir [31].

Altan (2012), Kendiliğinden yerleşen hafif harçların bazı mühendislik özelliklerini incelemiş, doğal agregalar ile hafif uçucu kül agregaları yer değiştirerek kendiliğinden yerleşen hafif harçlar üretmiş ve üretilen harçların taze ve sertleşmiş özelliklerini araştırmıştır. Araştırmada taze harç özellikleri için mini çökme, mini V-hunisi akış süresi, viskozite testleri ve sertleşmiş özellikler için de basınç dayanımı, ultrasonik ses hızı, gaz geçirimsizliği ve su emme kapasitesi testlerini uygulamıştır. Kendiliğinden yerleşen harçların sertleşmiş özelliklerini, 56 güne kadar farklı yaşlar için belirlemiştir. Harçlarda uçucu kül agregası kullanım oranı arttıkça akışkanlık ve işlenebilirlik özelliklerinde iyileşmeler olduğu sonucunu elde etmiştir. Öte yandan özellikle yüksek değerlerdeki uçucu kül agregası ile doğal agrega yer değişiminde, harçların dayanım ve geçirgenlik gibi bazı mühendislik özelliklerinin olumsuz yönde etkilendiğini görmüştür [32].

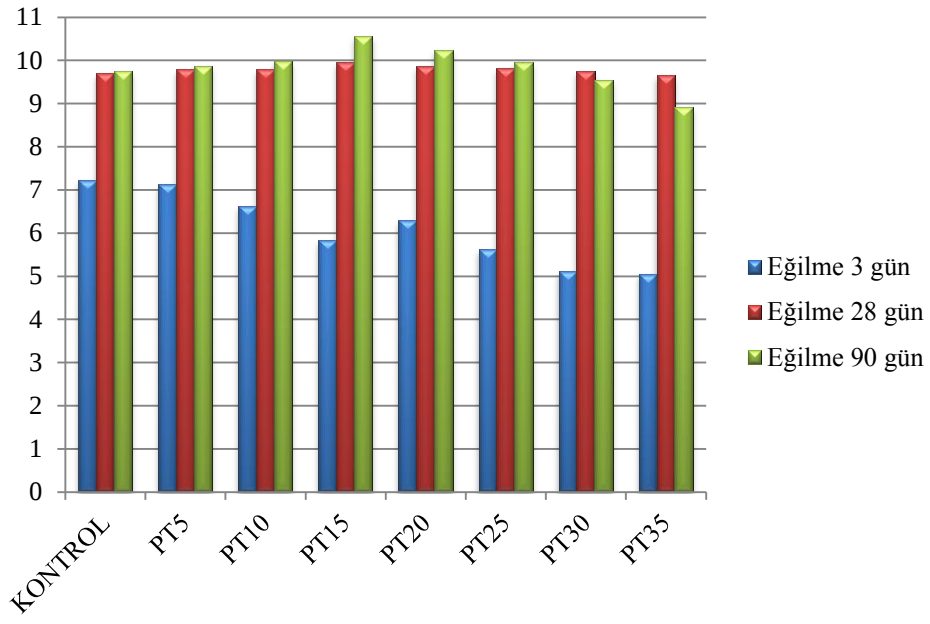
5.2. Üç Noktalı Eğilmede Çekme ve Basınç Deneyi Sonuçları

40x40x160 mm³'lük kalıplara dökülen ve 3, 28 ve 90 günlük kürde bekletilen KYH numuneleri üzerinde yapılan üç noktalı eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı değerleri Tablo 5.3.'te verilmiştir.

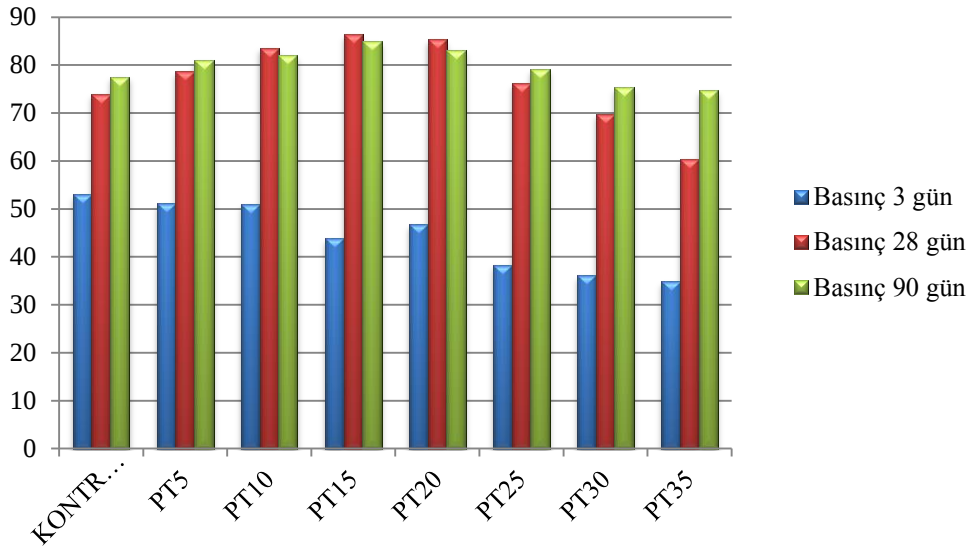
Tablo 5.3. Üç noktalı eğilmede çekme ve basınç deneyi sonuçları

KÜR DEĞERLERİ						
Karışım Adı	Eğilmede Çekme Dayanımı (N/mm²)			Basınç Dayanımı (N/mm²)		
	3 gün	28 gün	90 gün	3 gün	28 gün	90 gün
KONTROL	7.232	9.692	9.754	52.899	73.931	77.498
PT5	7.132	9.783	9.867	51.155	78.672	80.961
PT10	6.632	9.792	9.986	50.996	83.588	81.993
PT15	5.836	9.948	10.562	43.88	86.376	84.876
PT20	6.29	9.863	10.237	46.76	85.278	83.121
PT25	5.614	9.81	9.964	38.226	76.192	79.02
PT30	5.099	9.741	9.548	36.109	69.8	75.32
PT35	5.046	9.647	8.926	34.849	60.365	74.751

Tablo 5.3.'te verilen değerlere göre eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı grafikleri çizilmiştir. Şekil 5.3. ve 5.4.'te bu grafikler verilmiştir.



Şekil 5.3. Üç noktalı eğilmede çekme dayanımı grafiği



Şekil 5.4. Basınç dayanım grafiği

Yapılan deney çalışmaları sonucunda, KYH numunelerinin üç noktalı eğilmede çekme ve basınç dayanımlarının ÖPT kullanım oranına göre değiştiği görülmektedir. ÖPT kullanım oranı arttıkça, 3 gün kür uygulanan numunelerde eğilmede çekme dayanımı değerlerinin ise düştüğü görülmüştür. 3 gün kürde kalan numuneler içerisinde %5 oranında ÖPT kullanılan KYH numunelerinin, diğer ÖPT kullanılan KYH numunelerine göre dayanım değerinin

daha yüksek olduğu; ayrıca dayanımın %5 ÖPT oranından %35 ÖPT oranına gidildikçe azaldığı görülmüştür. Bu sonuç göz önünde bulundurulduğunda, öğütölmüş pomzanın ilk kür zamanlarında yeterli dayanımı sağlamadığı sonucuna ulaşılmıştır. 3 gün kür uygulanan numuneler içinde en yüksek dayanımın kontrol numunesinde, en düşük dayanımın ise %35 oranında ÖPT kullanılan numunede olduğu tespit edilmiştir.

28 gün kürde kalan numunelerin eğilmede çekme dayanım değeri incelendiğinde, sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür. Çimento oranında azalma olmasına rağmen numunelerin benzer dayanım değeri sağıp olması, pomzanın dayanıma katkısının ilerleyen kür sürelerinde olumlu olabileceğı yorumu yapılabilir. Çünkü çimento oranı düştükçe normal betonların dayanımlarında düşüş yaşandığı bilinen bir gerçektir. Fakat burada çimento oranının düşmesine rağmen, mineral katkı olarak ÖPT kullanılan numunelerde aşırı bir dayanım kaybı yaşanmadığı bilakis %15 ÖPT’li numunelere kadar hafif bir artış olduğu, %15 ÖPT’li numuneden sonra ise azalışa geçtiğı görölmektedir. Buradan yola çıkarak pomzanın, uzun kür sürelerinde ve belli bir oranda olmak kaydıyla etkisini gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. 28 gün kür ortamında kalan numunelerin üç noktalı eğilmede çekme dayanım değeri bakıldığında ÖPT kullanılan numuneler içerisinde en yüksek dayanımın %15 oranındaki karışımda olduğu görülmüştür. En düşük dayanımın ise %35 oranındaki karışımda olduğu görülmüştür.

90 gün kürde kalan numunelerin eğilmede çekme dayanım değeri incelendiğinde, pomzanın etkisini daha belirgin olarak gösterdiği görölmektedir. En yüksek dayanım değeri, %15 ÖPT’li karışımda ulaşıldığı tespit edilmiştir.. Bununla birlikte ÖPT’li numunelerin dayanım değeri, burada da %15 oranındaki karışıma kadar arttığı ve sonrasında ise azalışa geçtiğı görölmüştür. Elde edilen sonuçlara bakıldığında puzolanik malzemelerin aktivitesi, uzun süreli kür zamanlarında daha iyi olduğu ve ortaya çıkan pomzanın etkisinin daha belirgin olduğu gözlenmiştir. Burada tespit ettiğimiz en önemli sonuç KYH’lerde çimentonun yerine %15 oranında ÖPT kullanılabileceğidir. Böylece, Türkiye rezervi çok yüksek olan ve doğada hazır halde bulunan maliyeti de çimentoya göre çok daha uygun olan pomzanın kullanılmasıyla, ülke ekonomisine olumlu anlamda katkı sunabileceğı ifade edilebilir.

KYH numunelerinin basınç dayanımları incelendiğinde 3 günlük kür numunelerinin ÖPT oranları arttıkça basınç dayanım değeri azaldığı görölmüştür. ÖPT’li numuneler içerisinde en yüksek basınç dayanımının %5 ÖPT’li karışım numunelerinde ortaya

çıkarken, en düşük basınç dayanımı da %35 ÖPT içeren karışımlarda olduğu görülmüştür. Bu durum da göz önünde bulundurulduğunda ÖPT numunelerinin kısa süredeki kürlerde yeterli basınç değerlerini vermediği sonucuna ulaşılmıştır.

28 gün kür havuzunda kalan numunelerin ise basınç dayanımlarının %15 ÖPT'li numunelere kadar arttığı, sonrasında ise azalışa geçtiği görülmektedir. Bununla birlikte yine %15 ÖPT'li numunelerdeki basınç dayanım değerinin kontrol numunesinin de üstünde olup en yüksek basınç dayanımını sağladığı tespit edilmiştir. En düşük basınç dayanım değerinin ise %35 ÖPT'li numunede olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar da betonun, prizini büyük oranda aldığı zaman diliminde daha kararlı KYH karışımlarına ulaşıldığını göstermektedir. ÖPT'li numunelerin dayanımındaki artış, pomzanın ilerleyen kür zamanlarında puzolanik aktivitesin azda olsa gösterdiğinin bir kanıtı olarak karşımıza çıkmaktadır. Fakat çimentonun yüksek oranda azaltılıp yerine ÖPT ikame edilmesi halinde ise istenen düzeyde puzolanik aktivitenin gerçekleşmediği ve giderek basınç dayanımının düştüğü de göz önünde bulundurulmalıdır.

90 gün kürde kalan numunelerin basınç dayanımı incelendiğinde pomzanın etkisini daha net gösterdiği söylenebilir. %15 ÖPT katkılı numunelerin basınç dayanım değerlerinin kontrol numunesinden çok daha yüksek olduğu tespit edilmekle beraber 90 günlük numunelerin basınç dayanımları dikkatli bir biçimde incelendiği zaman, tüm pomza katkılı numunelerin basınç dayanımlarının kontrol numunesinden yüksek olduğu görülecektir. Erken süreli dayanımlara göre daha yüksek çıkan 90 günlük bu dayanım değerleri de pomzanın ilerleyen kür zamanlarında dayanıma olan katkısını daha net bir şekilde gösterdiğini ispatlamaktadır. ÖPT ilaveli karışım oranları %15'e kadar arttıkça basınç dayanımının da arttığı sonraki numunelerde ise ÖPT oranı arttıkça basınç dayanımının düşüşe geçtiği görülmüştür. Böylece diğer tüm numunelerde olduğu gibi pomza, belli bir oranda kaldığı zaman ve uzun süreli olması durumunda dayanıma gereken katkıyı sağladığı, pomza oranının çok arttığı ve çimento oranının da aynı oranda çok azaldığı durumlarda istenen dayanımı sağlanmadığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla %15 oranında çimento yerine ÖPT kullanılması halinde daha yüksek basınç dayanımı elde edilmektedir. Böylece Dünya rezervi bakımında 4. Olan Ülkemizde çimento yerine maliyeti de uygun olan ve çimento gibi çok fazla bir işlenme de gerektirmeyen, doğada hazır halde bulunan pomza, KYB'de %15 oranında kullanılabilir.

Dolgun (2010), Nevşehir bölgesinden temin ettiği, öğütülmüş pomzanın kendiliğinden yerleşen beton özelliklerine olan etkilerini araştırmıştır. Karışımlarda bağlayıcı miktarını 500

kg/m³, su/bağlayıcı oranını ise 0,4 olarak belirlemiştir. Normal portland çimentosu ile ürettiği kontrol betonuna % 10, 15, 20 ve 25 oranlarında öğütölmüş pomza ilave etmiştir. Ürettiği betonlar sıcak kür, kaynar kür, standart kür şartlarında deneye tabi tutarak basınç dayanımlarını ve ultrasonik ses hız değerlerini ölçmüştür. Sıcak kür şartlarında pomza ilavesinin basınç dayanımlarında düşüşe neden olduğunu, kaynar kür şartlarında ise basınç dayanımlarının pomza ilavesi ile artış gösterdiğini tespit etmiştir. Standart kür şartlarında ise 3 ve 7 günlük basınç dayanımlarının pomza ilavesi ile birlikte azaldığını, 28 günde ise pomza ilavesinin kontrol betonlarının basınç dayanımlarına yaklaştığını hatta bir miktar artış sergilediğini tespit etmiştir. Standart kür edilen 28 günlük numunelerde aşınma dayanımlarının pomza ilavesi ile arttığını ve üç farklı kür durumunda da ultrasonik ses hız değerlerinin basınç dayanımları ile uyum içinde olduğunu görmüştür [7].

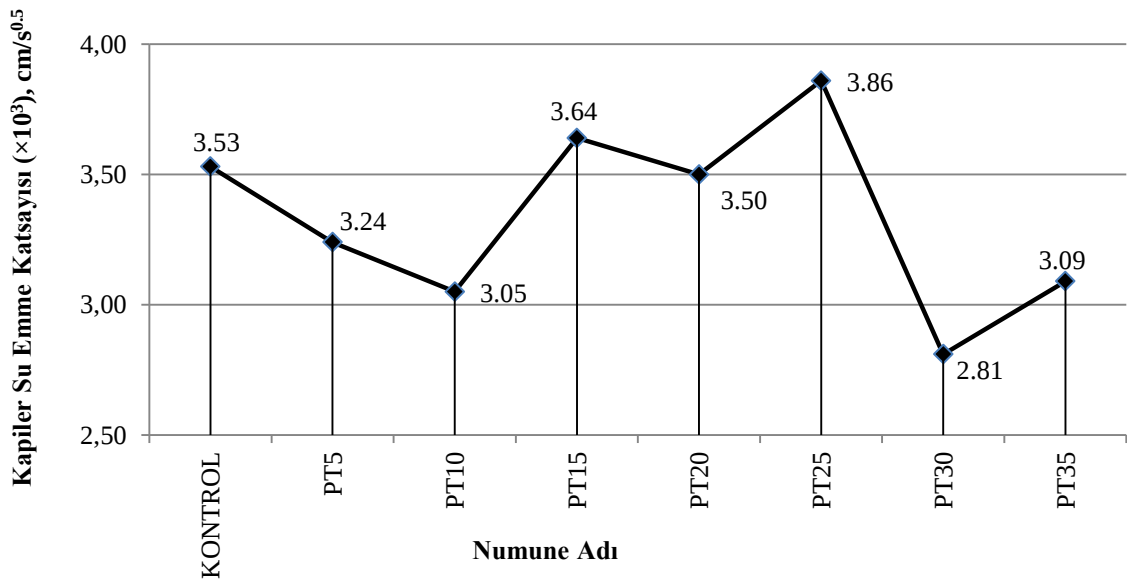
Türkel ve Kadiroğlu (2007), pomza agregalı taşıyıcı hafif betonların mekanik özelliklerini incelemiş ve uygun serilerde 28 günlük basınç dayanımını 28,5 MPa olarak bulmuştur. Elde edilen bu değer, ACI 213R-87’de, hava kurusu birim hacim ağırlığı 1440 ile 1850 kg/m³ arasında olan taşıyıcı hafif betonlar için belirtilen 17.2 MPa dayanım değerinin oldukça üzerinde olduğunu gözlemlemiştir. Ayrıca, TS EN 206’da yer alan hafif beton sınıflarından LC 20/22 ve LC 25/28 dayanım sınıflarını da sağladığını ortaya çıkarmıştır. Silindir yarma ve eğilme deneylerinde hafif agregalı betonların normal betonlara kıyasla daha düşük dayanım değerlerinde kırılmalarının yanı sıra daha tok bir sesle ve daha gevrek bir şekilde kırıldıklarını gözlemlemiştir. Ayrıca kırılma yüzeylerini incelemiş ve pomza agregaların kırılması sonucu hafif betonların normal betonlardan daha pürüzsüz bir yüzeye sahip olduğunu görmüştür. 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 kaynaklandığını belirttiği bu durum nedeniyle, hafif betonların taşıyıcı amaçlarla kullanımında enerji yutabilme kapasitelerinin (tokluklarının) önemli bir unsur olduğu sonucuna varmıştır [33].

Balun (2013), Hafif agregalı kendiliğinden yerleşen harçların mekanik ve durabilite özelliklerini incelemiş ve KYH üretiminde, normal agregata olarak 0-2 mm ve 2-4 mm

boyutunda dere agregası, hafif agrega olarak 0-2 mm boyutunda genleştirilmiş perlit ve 2-4 mm boyutunda pomza kullanmıştır. Mineral malzeme olarak silis dumanı ve uçucu kül kullanmıştır. Numune serilerini, ince malzeme miktarı 650 kg/m³ ve süper akışkanlaştırıcı miktarı 8 kg/m³ olacak şekilde toplam 13 farklı şekilde tasarlamıştır. Taze haldeki KYH'lerin mini çökme yayılma, mini V-hunisi ve viskozimetre deneylerini gerçekleştirmiştir. KYH'lerin sertleşmiş haldeki özelliklerinin belirlenebilmesi için de yoğunluk, porozite, toplam su emme, kılcal su emme, eğilmede çekme dayanımı, basınç dayanımı ve yüksek sıcaklık deneylerini yapmıştır. Deney sonuçlarına göre hafif agrega kullanılan harçların taze haldeki özellikleri kendiliğinden yerleşebilirlik kriterlerine uyduğunu belirtmiştir. Hafif agrega kullanımının su emme değerlerini arttırdığını gözlemlemiştir. Hafif agrega oranlarının artması ile harçların mekanik özelliklerinin azalmış olduğunu, ancak bütün numune serilerinin kendiliğinden yerleşen taşıyıcı hafif harç özelliklerini taşıdığını belirlemiştir [34].

5.3. Kapiler Su Emme Deneyi Sonuçları

Daha önce belirtilmiş olan karışım hesabı değerlerine göre hazırlanan 50 mm'lik küp numuneler 28 günlük kür süresi tamamlandıktan sonra etüvde kurutulup yan yüzeyleri yalıtım malzemesiyle kaplanmış ve su emme deneyi için hazırlanan düzeneklere yerleştirilmiştir. Bu numuneler belirli aralıklarla tartılıp su emme miktarları belirlenmiştir. Yapılan tartım sonuçlarında denklem (2.4) kullanılarak hazırlanan kapiler su emme katsayısı grafiği Şekil 5.5.'de verilmiştir.



Şekil 5.5. Kapiler su emme katsayıları grafiği

Numunelerin etüv kurusu ağırlıkları, doymun kuru yüzey ağırlıkları ve su içindeki ağırlıkları Tablo 5.4.'da verilmiştir.

Tablo 5.4. Numunelerin etüv kurusu, doymun kuru yüzey ve su içindeki ağırlıkları

Numune Adı	Etüv Kurusu Ağırlık (W_1 , gr)	Su İçindeki Ağırlık (W_2 , gr)	Doymun Kuru Yüzey Yüzey Ağırlık (W_3 , gr)
KONTROL	280.03	175.40	299.49
PT5	278.49	174.15	297.77
PT10	284.49	177.11	299.66
PT15	280.08	174.29	295.27
PT20	274.14	169.74	292.05
PT25	270.36	166.73	287.92
PT30	269.82	166.13	289.16
PT35	263.60	162.01	286.66

Tablo 5.4.'daki değerler doğrultusunda denklem (5.1), (5.2), (5.3) ve (5.4) kullanılarak toplam su emme kapasitesi (%), porozite (%) ve numunelerin yoğunlukları bulunmuş ve bu değerler Tablo 5.5. ve Tablo 5.6.'de verilmiştir.

$$\text{Porozite (\%)} = \frac{W_3 - W_1}{W_3 - W_2} \times 100 \quad (5.1)$$

$$\text{Toplam su emme kapasitesi (\%)} = \frac{W_3 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (5.2)$$

$$\text{Doymun kuru yüzey yoğunluk } \delta_{dyk} = \frac{W_3}{W_3 - W_2} \quad (5.3)$$

$$\text{Görünür yoğunluk } \delta_g = \frac{W_1}{W_1 - W_2} \quad (5.4)$$

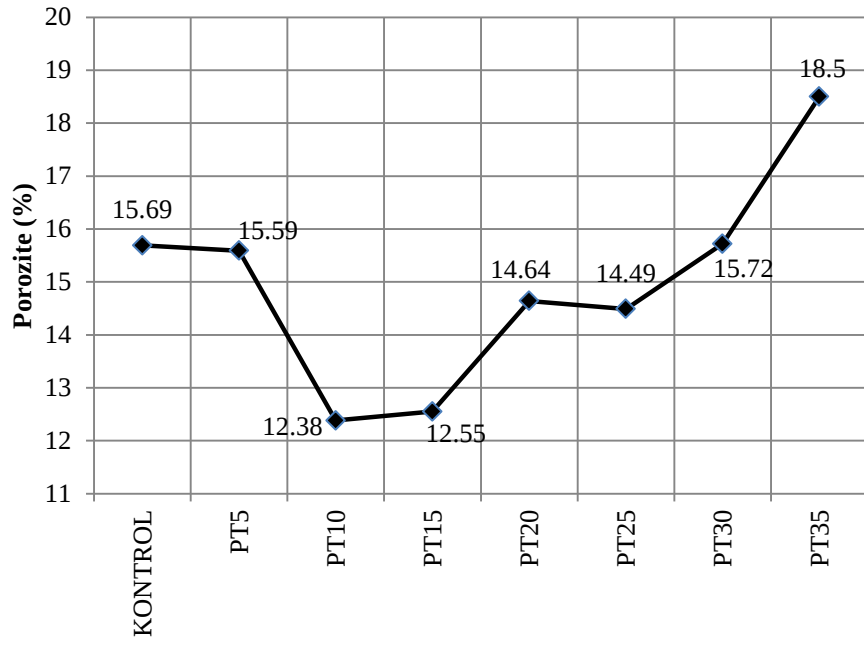
Tablo 5.5. 50 mm'lik küp numunelerin yoğunlukları

Numune Adı	Doygun Kuru Yüzey Yoğunluk (gr/cm ³)	Görünür Yoğunluk (gr/cm ³)
KONTROL	2.41	2.68
PT5	2.41	2.67
PT10	2.45	2.65
PT15	2.44	2.65
PT20	2.39	2.63
PT25	2.38	2.61
PT30	2.35	2.60
PT35	2.30	2.59

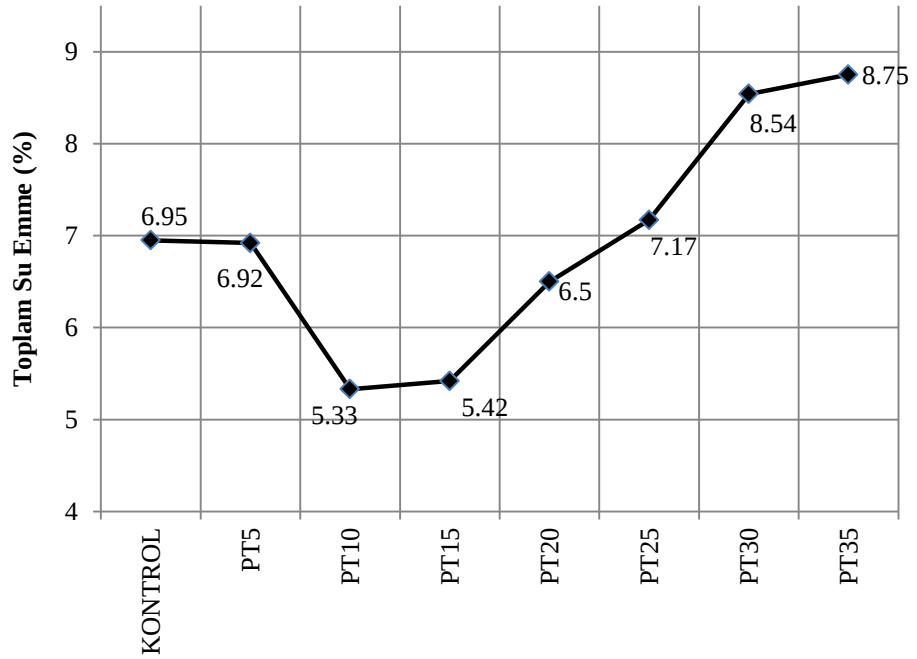
Tablo 5.6. 50 mm'lik küp numunelerin toplam su emme kapasitesi ve porozite değerleri

Numune Adı	Toplam Su Emme Kapasitesi (%)	Porozite (%)
KONTROL	6.95	15.69
PT5	6.92	15.59
PT10	5.33	12.38
PT15	5.42	12.55
PT20	6.53	14.64
PT25	6.50	14.49
PT30	7.17	15.72
PT35	8.75	18.50

Tablo 5.6'daki değerlere ait grafikler Şekil 5.6. ve Şekil 5.7.'de verilmiştir.



Şekil 5.6. Boşluk oranlarının değişimi



Şekil 5.7. Toplam su emme kapasitesi değişimleri

Şekil 5.6. ve Şekil 5.7. incelendiğinde en yüksek su emmenin %25 pomza ilaveli karışımlarda en düşük su emmenin ise %10 pomza ilaveli karışımlarda olduğu gözlenmiştir. Su emmenin genel itibari ile dalgalı bir seyir izlediği söylenebilir. Öğütülmüş Pomza oranı arttıkça su emmenin de arttığı söylenebilir. Çünkü % 25 pomza ilaveli numunelerden sonra su oranı da arttırıldığı için beklenen su emme miktarı gerçekleşmemiştir.

Polat (2007), Genleştirilmiş perlit ve pomza ile hava sürükleyici katkının betonda kılcal geçirimlilik ve don hasarına etkisini incelemiş, beton karışımına (0-2) ince agregaya yerine %10, %20 ve %30 oranlarında geliştirilmiş perlit agregası, pomza agregası ve %0.1 oranında da hava sürükleyici katkı maddesi ekleyerek ürettiği beton numuneleri sonucunda, geliştirilmiş perlit agregası ve pomza agregası oranlarının arttırılmasıyla basınç dayanımının ve birim ağırlığın azalmakta olduğunu, kılcal geçirimlilik katsayısının ise artmakta olduğunu ve 100 donma-çözülme çevrimi sonucunda betonun, basınç dayanımı ve birim ağırlığı değerlerinin azalmakta olduğunu; kılcal geçirimlilik katsayısının ise artmakta olduğunu tesbit etmiştir. % 0.1 hava sürükleyici katkı içeren numunelerin donma-çözülme çevrimleri sonucu basınç dayanımlarının düştüğünü ve kılcal geçirimlilik katsayısında çok önemli düşüşler meydana gelmediğini belirlemiştir [35].

Şengün (2004), pomzanın hafif harç yapımında endüstriyel hammadde olarak kullanılmasını incelemiş ve Kayseri ve Nevşehir pomzaları ve perlitik pomza agregalarının TS 2717’de verilen standart eğriler aralığında olduğunu tespit etmiştir. Bu agregaların incelik modülleri ise, Kayseri pomzası için 2.26, Nevşehir pomzası için 2.80 ve perlitik pomza için 2.87 olarak bulmuştur. Ayrıca ince malzeme miktarları Kayseri pomzası için 4.84, Nevşehir pomzası için 3.62 ve perlitik pomza için 4.73 olarak belirlemiştir. Bu agregaların organik madde içermediği ve hava etkilerine karşı dayanımlarının yüksek olduğunu tespit etmiştir. Bu hafif agregaları kullanarak oluşturduğu karışımlardan elde ettiği hafif örgü harçların TS 4916’da verilen minimum basınç dayanım değerinden çok daha fazla basınç dayanım değerlerine ulaştığını gözlemlemiştir. TS 4916’ya göre hafif örgü harcı yapılacaksa, Kayseri pomza agregası kullanılması halinde 65 kg/m^3 bir çimento dozajının yeterli olacağı sonucuna

varmış ve böylece hem daha az çimento kullanılacağını, hem de iyi bir yalıtım sağlanacağını belirtmiştir [36].

Çelik (2013), Farklı su emme kapasitesine sahip agregaların, kendiliğinden yerleşen betonun (KYB) taze ve sertleşmiş özelliklerine etkisini irdelenmiştir. Deney karışımlarının tümünde doğal nehir kumu ve çakıl olarak da bazalt, kalker (kireçtaşı) ve nehir çakılı kullanmıştır. Her bir çakıl tipi için fırın kurusu ve ıslak nem durumunda olmak üzere toplamda 6 farklı karışım hazırlamıştır. Tüm karışımları, taze özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, çökme-yayılma, T50 ve L kutusu testlerine tabi tutmuştur. KYB karışımlarının sertleşmiş özelliklerini (basınç, yarmada çekme ve rölatif ultrases hızı) belirlemek için 75x150 mm silindir numuneleri 3, 28 ve 56. günlük kür sürelerine maruz bırakmıştır. Ayrıca her iki nem durumu için ürettiği KYB karışımlarının kılcal su emme testlerini 56 günlük numuneler üzerinde gerçekleştirmiştir. Sonuçta, KYB karışımlarına ait işlenebilirlik değerlerinin genelde EFNARC sınır değerlerini sağladığını görmüştür. Ayrıca, nehir çakıllı KYB karışımları dışında FK nem durumuna sahip agregalarla ürettiği numunelerin basınç dayanımlarının, 28 ve 56 günlük kür süreleri için ISL nem durumuna sahip agregalarla ürettiği numunelerinkinden daha büyük olduğunu tespit etmiştir. Diğer taraftan, her iki nem durumu için nehir çakıllı KYB karışımlarının genelde en düşük kılcal su emme katsayısına sahip olduğunu, K-ISL numunelerine ait kılcal su emme katsayısının en yüksek olduğunu bulmuştur [37].

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada mineral katkı maddesi olarak öğütülmüş pomza kullanılmış olup yapılan KYH'lerin kıvamlarını ve işlenebilirliklerini belirlemek için mini V hunisi deneyi ve mini çökme-yayılma deneyi yapılmıştır. Akabinde yapılan mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla üç noktalı eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Daha sonra ise KYH'lerin su emme miktarlarını belirlemek için ise kapiler su emme deneyi yapılmıştır. Yapılan deneyler nihayetinde elde edilen veriler değerlendirildiğinde şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Karışım numunelerinin mini V hunisi ve bağıl çökme yayılma değerlerinin tamamı EFNARC (2002)'ın tavsiye ettiği aralıklarda kalmıştır.
- Numunelerin ÖPT miktarının arttırılmasıyla karışımların su emme oranlarının da arttığı tespit edilmiştir. Bunun neticesinde numunelerin, EFNARC (2002)'ta belirlenen yayılma miktarı sınırları çerçevesinde olabilmesi için, karışımların su oranları da arttırılmıştır.
- Kirece doygun hale getirilmiş Elazığ şehir şebeke suyu kür havuzunda bekletilen KYH numunelerinin eğilmede çekme, basınç ve su emme değerleri, ilave edilen pomza tozu miktarına göre farklılık göstermiştir. Dayanım değerleri, genellikle pomza oranı arttıkça başlarda artış göstermiş lakin belli bir değerden sonra azalmaya başlamıştır. Bunun sebebi olarak, pomza oranının artması ile birlikte aynı zamanda çimento oranının azalması gösterilebilir. Ayrıca pomzanın bağlayıcılık etkisini, zamanla gösterdiği bilgisi de sebepler arasında gösterilebilir.
- KYH numunelerinde yapılan eğilmede çekme dayanımı sonuçları bakıldığında, 3 gün kürde kalan numunelerin ÖPT oranı arttıkça dayanımının azaldığı tespit edilmiştir. Bunun sebebi olarak, pomzanın puzolanik aktivitesini göstermesi için gerekli zamanın üç gün için yeterli olmadığı söylenebilir. Kontrol numunesi ile %15 ÖPT'li KYH'nin dayanım sonuçları karşılaştırıldığında %19 civarında dayanım kaybı oluşurken, ÖPT oranı %35'ye çıktığında bu kaybın %30'a çıktığı tespit edilmiştir. 28 gün kürde kalan numunelerin eğilmede çekme dayanımları içerisinde, en çok dayanımın %15 oranında ÖPT'nin bulunduğu karışım numunesinde olduğu tespit edilmiş ve bu değer de kontrol numunesine göre %3

civarında dayanım artışına tekabül ettiği görülmüştür. Pomza tozunun dayanıma olumlu anlamda etkisini zaman geçtikçe gösterdiği buradan da anlaşılmaktadır. ÖPT oranı %35 olan KYH numunesine bakıldığında ise kontrol numunesine göre dayanımın %1 oranında düştüğü görülmüştür. 90 gün kürde kalan numunelerin eğilmede çekme dayanımlarına bakıldığında ise, yine 28 gün kürde kalan numunelere benzer bir seyir izlediği görülmektedir. Bununla birlikte en çok dayanımın %15 oranında ÖPT kullanılan numunelerde olduğu görülmüştür ve bu değer de kontrol numunesine göre %8 civarında fazla olduğu görülmüştür. Bu sonuçtan da anlaşıldığı üzere, pomzanın zamanla daha fazla puzolanik aktivite göstererek böylece dayanıma daha fazla katkıda bulunduğu söylenebilir. Tüm bu sonuçlara bakıldığında, ÖPT'nin puzolanik bir malzeme olması ile birlikte yeterli dayanıma ulaşabilmesi için uzun bir zamanın geçmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

- KYH numunelerinde yapılan basınç dayanımı sonuçları bakıldığında, 3 gün kürde kalan numunelerin ÖPT oranı arttıkça dayanımının azaldığı tespit edilmiştir. Bunun sebebi olarak, pomzanın puzolanik aktivitesini göstermesi için gerekli zamanın üç gün için yeterli olmadığı söylenebilir. Kontrol numunesi ile %15 ÖPT'li KYH'nin dayanım sonuçları karşılaştırıldığında %17 civarında dayanım kaybı oluşurken, ÖPT oranı %35'ye çıktığında bu kaybın %34'e çıktığı tespit edilmiştir. 28 gün kürde kalan numunelerin basınç dayanımları içerisinde, en çok dayanımın %15 oranında ÖPT'nin bulunduğu karışım numunesinde olduğu tespit edilmiş ve bu değer de kontrol numunesine göre %16 oranında arttığı görülmüştür. Pomza tozunun dayanıma olumlu anlamda etkisini zaman geçtikçe gösterdiği buradan da anlaşılmaktadır. ÖPT oranı %35'e çıktığı takdirde KYH numunesi kontrol numunesi ile karşılaştırıldığında dayanımın %18 oranında düştüğü görülmüştür. 90 gün kürde kalan numunelerin basınç dayanımlarına bakıldığında ise, yine 28 gün kürde kalan numunelere benzer bir seyir izlediği görülmektedir. Bununla birlikte en çok dayanımın %15 oranında ÖPT kullanılan numunelerde olduğu görülmüştür. ÖPT oranı %15 olan KYH numunesinin kontrol numunesi ile karşılaştırıldığında dayanımın %10 oranında arttığı görülmüş olup, ÖPT oranı %35'ye çıktığında dayanımın %4 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Bunun sebebi olarak da ÖPT oranı %15'ten sonra arttıkça çimento oranının azalmasına istinaden bağlayıcılık özelliğinin de azalması

gösterilebilir. Tüm bu sonuçlara bakıldığında, ÖPT'nin puzolanik bir malzeme olması ile birlikte yeterli dayanıma ulaşabilmesi için uzun bir zamanın geçmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

- Kirece doygun hale getirilmiş Elazığ şehir şebeke suyunda kür havuzunda bekletilen numunelerin genel basınç dayanımı değerleri karşılaştırıldığında, en iyi sonuçların %15 ÖPT içeren KYH numunelerinde olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla KYH'ta pomzanın bu oranda kullanılabilir olduğu söylenebilir. Bununla birlikte çimentoya göre pomzanın çok daha hazır ve ulaşılabilir bir malzeme olması sebebi ile daha düşük maliyette KYH elde edilebilir. Ayrıca Dünya rezervi bakımından 4. Sırada Ülkemizde bulunan bir malzemenin, ülke ekonomisini önemli ölçüde etkileyen inşaat sektöründe bu yönüyle de kullanılması büyük fayda sağlayabileceği söylenebilir.
- Kirece doygun hale getirilmiş Elazığ şehir şebeke suyu kür havuzunda 28 gün boyunca bekletilen, 50x50x50 mm³'lük numunelerin porozite değerlerine bakıldığında %10 ÖPT ilaveli karışımın, kontrol numunesi ile karşılaştırıldığında %21 oranında porozitesinin azaldığı görülmüş olup, %25 ÖPT ilaveli karışımın ise %7.6 oranında porozitesinin azaldığı görülmüştür. Böylece öğütülmüş Pomza oranı arttıkça porozite ve su emmenin dalgalı bir seyir izlediği söylenebilir. %20 ÖPT ilaveli karışımdan sonra porozitenin düşmemesinin sebebi olarak ise, % 20 pomza ilaveli numunelerden sonra karışıma su ilavesi yapılması gösterilebilir.
- Kirece doygun hale getirilmiş Elazığ şehir şebeke suyu kür havuzunda bekletilen numunelerin 28 günlük su emme değerlerine ve porpzitesine bakıldığında, en iyi sonuçların %10 ÖPT içeren KYH numunelerinde olduğu görülmüştür. Çünkü su emme miktarının fazla olması KYH'nın boşluk oranının da fazla olduğu anlamına gelir ki bu da KYH'da istenmeyen bir durumdur.
- Tüm eğilmede çekme ve basınç dayanım değerleri incelendiğinde en yüksek dayanımın ortalama %15 oranında ÖPT kullanılan KYH'lerde olduğu görülmüş olup su emme oranının da en düşük %10 oranında ÖPT kullanılan KYH'lerde olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Özger, O.B.**, 2011. Farklı türde mineral katkı kullanımının kendiliğinden yerleşen betonun geçirimsizlik ve durabilite özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] **Dinç, Ç.**, 2014. Mineral katkılı normal ve yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen betonlar, Yüksek Lisans, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- [3] **Yazıcıoğlu, S., Demirel, B.**, Pozolanik katkı maddesi olarak kullanılan Elazığ yöresi pomzasının ilerleyen kür yaşlarında betonun basınç dayanımına etkisi, Fırat Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18 (3), 367-374, 2006.
- [4] **Gündüz, L.** 1998. Pomza Teknolojisi, Cilt 1, 285 s, Isparta.
- [5] **Semioli, W. J.**, Self-Placing Concrete, Concrete International, Vol. 23, No. 12, 69-72, 2002.
- [6] **Günaydın, M.**, 2006, Nevşehir BİMS agregasından kendiliğinden yerleşen hafif beton üretilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [7] **Dolgun, O.**, 2010, Kendiliğinden yerleşen betonlarda öğütülmüş pomza kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- [8] **Öz, E.**, 2007, Nevşehir Dolaylarında Yüzeyleyen Asidik Pomzanın Hafif Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [9] **Altun, F., Haktanır, T.**, Kayseri Yöresi Hafif Agregaları ile Üretilen Hafif Beton Özelliklerinin Geleneksel Bir Betonla Karşılaştırılması www.ekutuphane.imo.org.tr/pdf/12908.pdf, 2003.
- [10] **Türkmen, İ.**, 1997, Van Erciş pomzasından üretilen hafif betonun donma çözülme dayanıklılığının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

- [11] **Gündüz, L.**, The effects of pumice aggregate/cement ratios on the low-strength concrete properties, *Construction and Building Materials*, 21, 1191-1197, 2007.
- [12] **Aydin, S., Baradan B.**, Effect of pumice and fly ash incorporation on high temperature resistance of cement based mortars, *Cement and Concrete Research*, 37, 988-995, 2007.
- [13] **Binici, H.**, Effect of crushed ceramic and basaltic pumice as fine aggregates on concrete mortars properties, *Construction and Building Materials*, 22, 721-728, 2008.
- [14] **Okamura, H.**, and Ouchi, M., 2003. Self compacting concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*, Vol. 1, No. 1, pp. 5-15.
- [15] **Kendiliğinden Yerleşen Beton Kılavuzu**, Türkiye Hazır Beton Birliği, Ankara, Nisan 2007.
- [16] **TS 706 EN 12620**, 2003. Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [17] **EFNARC**, 2002. “Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete”, Association House, 99 West Street, Farnham, Surrey GU9 7EN, UK.
- [18] **TS EN 206-1**, 2002. Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [19] **Özkul, M.H.**, 2002. Beton Teknolojisinde Bir Devrim: Kendiliğinden Sıkışan Beton, THBB Hazır Beton Dergisi, Sayı 50, ss. 64-71.
- [20] **Okazawa, S., Umezawa, K., Tanaka, Y.**, A New Polycarboxylate Based Polymer: Physical Properties of Concrete, *Concrete 2000*, Ed. By R. K. Dhir, M. R. Jones, 1813-1824, 2000.
- [21] **TS 4045**, 1984, Yapı malzemelerinde kapiler su emme tayini, TSE, Ankara.
- [22] **Cook, D. J.**, 1986. Naturel Pozzolanlar, Calcined Clay, Shale and Other Soils, Rice Husk Ash – Cement Replacement Materials, Swamy, R. N. (Edit.) Surrey University Press, 1-70.
- [23] **Gündüz L. ve Arkadaşları.**, 1998, Pomza Teknolojisi Cilt I, S: 6-13-15-33, Isparta.
- [24] **Massozza, F.**, 1989, Puzolanlar, Puzolanlı Çimentolar ve Kullanım Alanları Semineri, TÇMB, Ankara.

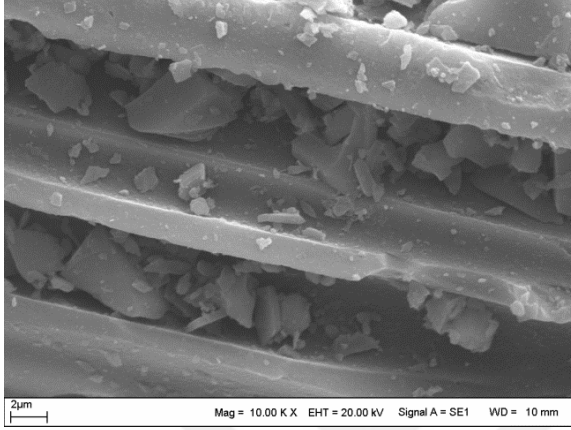
- [25] **Davraz, M., Gündüz, L.,** 1997, Isparta Yöresi Pomza Taşının Hafif Yapı Elemanı Olarak Değerlendirilmesi Üzerine Bir Analiz. I. Isparta Pomza Sempozyumu. 61-70, Isparta.
- [26] **Chandra, S., & Berntsson L.,** (2002), Lightweight Aggregate Concrete. New York, USA : Noyes Publications.
- [27] **Yazıcıoğlu, S., Arıcı, E., Gönen, T.,** 2003, Pomza Taşının Kullanım Alanları ve Ekonomiye Etkisi, F.Ü. DAUM Dergisi , S:118-123
- [28] **Founie, A.,** 2005, Pumice and Pumicite, U.S. Geology Survey, Mineral Commodity Summaries, USA.
- [29] http://tur.sika.com/tr_Sika%ViscoCrete%Hi-Tech_36, Yüksek Performanslı Hiper Akışkanlaştırıcı Beton Katkısı, Sika Yapı Kimyasalları A.Ş. Teknik Bilgi Föyü.
- [30] **Öztürk, M.,** 2012, Pomza ve perlit içerikli hafif betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.
- [31] **Yazıcıoğlu, S., Bozkurt, N.,** 2006, Pomza ve Mineral Katkılı Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 21, No 4, 675-680.
- [32] **Altan, İ.,** 2014, Kendiliğinden yerleşen hafif harçların bazı mühendislik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.
- [33] **Türkel, S., Kadiroğlu, B.,** 2007, Pomza Agregalı Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 3, S:353-35
- [34] **Balun, B.,** 2013, Hafif agregalı kendiliğinden yerleşen harçların mekanik ve durabilite özelliklerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [35] **Polat, R.,** 2007, Genleştirilmiş perlit ve pomza ile hava sürükleyici katkının betonda kılcal geçirimsizlik ve don hasarına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [36] **Şengün, N.,** 2004, Pomzanın hafif harç yapımında endüstriyel hammadde olarak kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- [37] **Çelik, B.,** 2013, Farklı su emme kapasitesine sahip agregaların kendiliğinden yerleşen betonun taze ve sertleşmiş özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.

- [38] **Özkul, M. H., Sağlam, A. R., Parlak, N., Doğan, A., Mutlu, M., Manzak, O.,** 2002, The Usage of Self-Compacting Concrete in Precast Industry, 17Int. congress of the Precast Concrete Industry,BIBM, Istanbul. Th
- [39] **Ghezal, A., Khayat, H.,** 2002, Optimizing Self-Consolidating Concrete with Limestone Filler by Using Statistical Factorial Design Method, ACI Materials J., Vol. 99, No.3, 264-272.
- [40] **Demirtaş, M.,** 2001, Yüksek Akışkanlığa Sahip Betonlarda (Kendiliğinden Yerleşen Betonlar) Bileşimin Taze ve Sertleşmiş Beton Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [41] **Sağlam, A. R.,** 2004, Kendiliğinden Yerleşen Taze Betonun Reolojisi, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [42] **Neville, A. M.,** 1996, Properties of Concrete, John Wiley&Sons Inc, New York.
- [43] **Sancak, E., Dursun Sari, Y., Şimşek, O.,** 2008, Effects of Elevated Temperature on Compressive Strength and Weight Loss of The Light-Weight Concrete With Silica Fume and Superplasticizer, Cement & Concrete Composites 30 , 715–721
- [44] **Subaşı, S.,** 2009, Genleştirilmiş Kıl Agregalı Hafif Betonun Yapı Davranışı ve Kaba Yapı Maliyetine Etkisi, e-Journal of New World Sciences Academy, Volume: 4, Number: 1.
- [45] **Taşdemir, M. A.,** 1982, Taşıyıcı Hafif Agregalı Betonların Elastik ve Elastik Olmayan Davranışları, Doktora Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [46] **Topçu, İ. B.,** 2006, Beton Teknolojisi. Uğur Ofset, 570 s., Eskişehir.
- [47] **Topçu, İ.B.,** 1997, Semi Lightweight Concretes Produced By Volcanic Slags. Cement and Concrete Research, Vol. 27, No. 1, USA, pp. 15- 21.
- [48] **TS 2511,** 1977, Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesap Esasları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [49] **Uygunoğlu, T.,** 2008, Hafif agregalı kendiliğinden yerleşen betonların özellikleri Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta
- [50] **Khandaker, M. A. H.,** 2004, Properties of volcanic pumice based cement and lightweight concrete, Cement and Concrete Research, 34, 283-291.

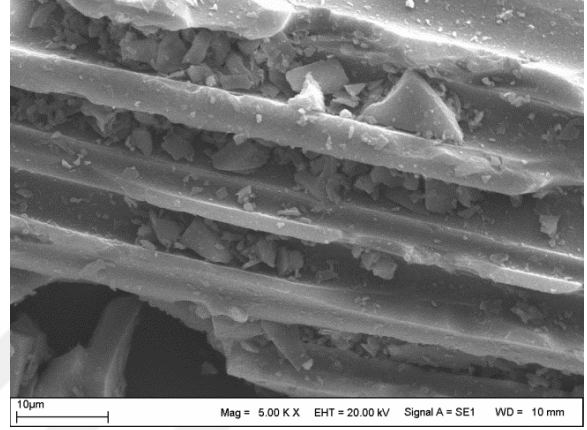
- [51] **Kadiroğlu, İ.**, 2005, Kendiliğinden Yerleşen Normal Dayanımlı Hafif Beton Üzerine Deneysel Bir Çalışma, www.dogateknik.com.tr/Teknik-Belgeler/Kendiliğindenyerlesen-normal-dayanımlı-hafif-beton-üzerine-deneysel-bir-çalışma.pdf.
- [52] **Shideler, J. J.**, 1957, Lightweight Aggregate Concrete for Structural Use, ACI Journal Proceedings, 299-328.
- [53] **Smadi, M. ve Migdady, E.**, 1990, Properties of High Strength Tuff Lightweight Aggergate Concrete. Science and Direct-Cement and Concrete Composites, 13,2, 129-135.
- [54] **Mindess, S., Young, J. F.**, 1987, Concrete, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- [55] **ESCSI**, 1971, Lightweight Concrete (History, Application, Economics), Washington D.C.
- [56] **Özkul, M. H., Doğan, Ü. A., Çavdar, Z., Sağlam, A. R., Parlak, N.**, Properties of Fresh and Hardened Concretes Prepared by New Generation Superplasticizers, Creating with Concrete, Ed. By R. K. Dhir, Proc. Int. Conf., Dundee, 467-474, 1999.
- [57] **Kawai, T.**, Non-Dispersible Underwater Concrete Using
- [58] **L. Gündüz, A. Rota, A. Hüseyin**, 2001, Türkiye ve Dünyadaki Pomza Oluşumlarının Malzeme Karakteristiği Analizi, 4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir.

EKLER

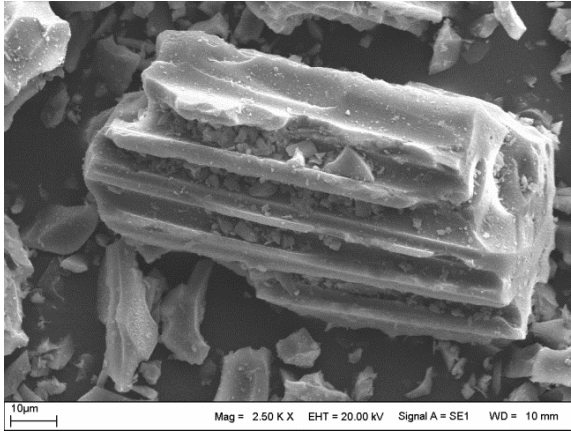
Ek Şekil 5.3. ÖPT'nin SEM Fotoğrafları



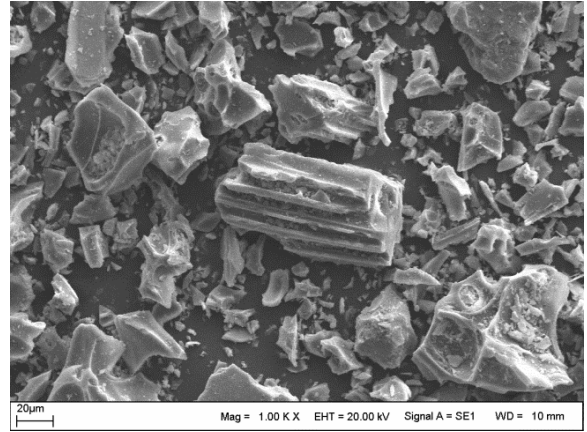
2 µm Mag = 10.00 K X



10 µm Mag = 5.00 K X

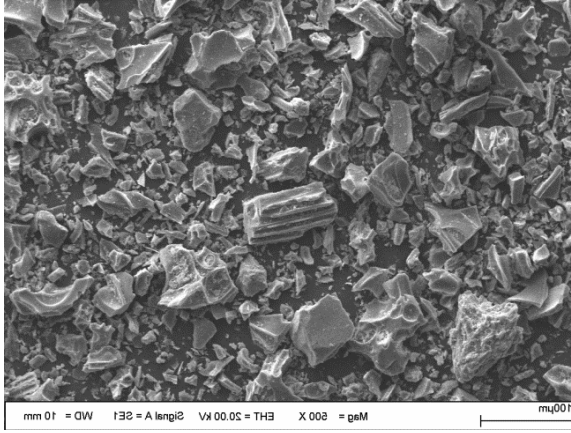


10 µm Mag = 2.50 K X

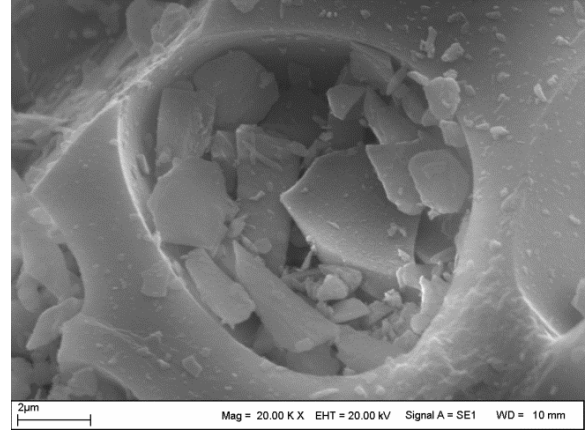


20 µm Mag = 1.00 K X

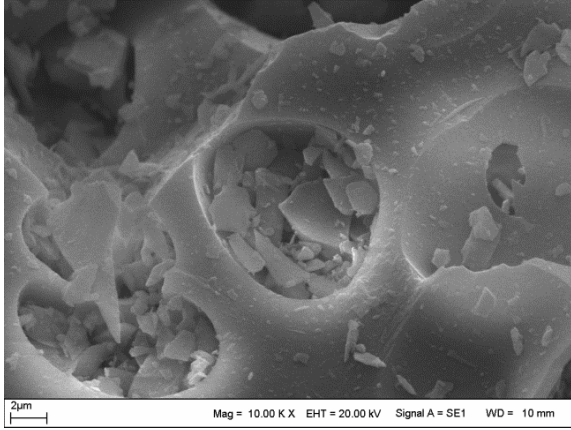
Ek Şekil 5.3. (Devam) ÖPT'nin SEM Fotoğrafları



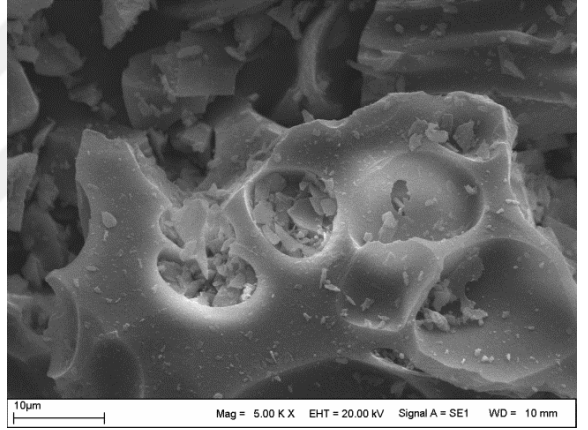
100 μm Mag = 500 X



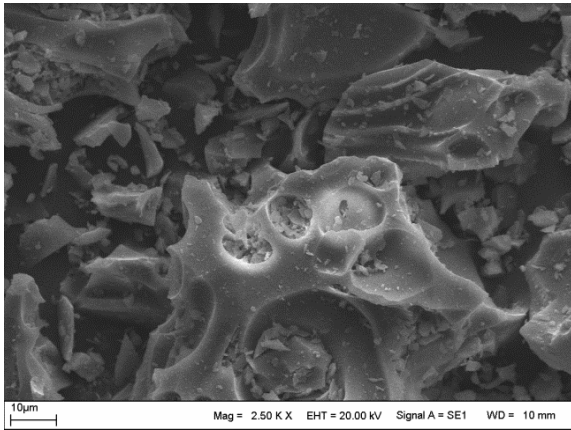
2 μm Mag = 20.00 K X



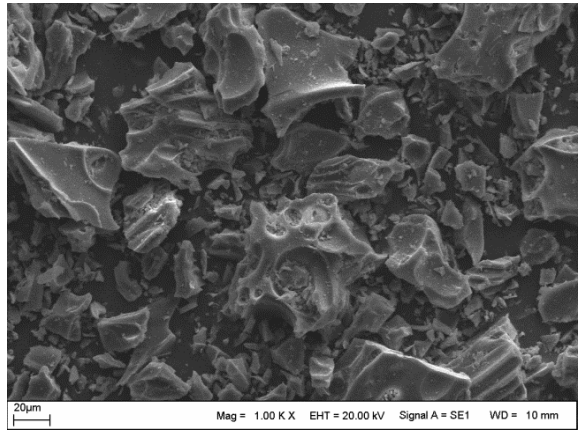
2 μm Mag = 10.00 K X



10 μm Mag = 5.00 K X



10 μm Mag = 2.50 K X

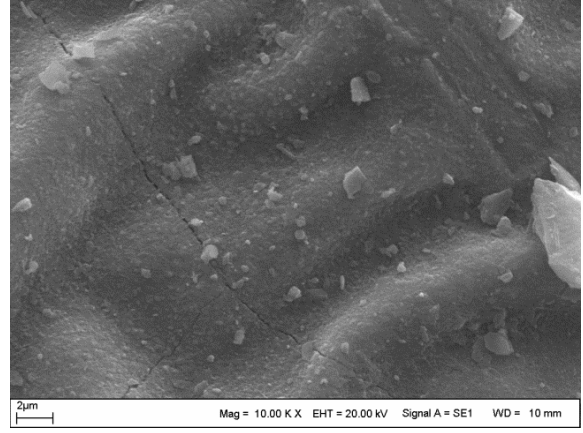


20 μm Mag = 1.00 K X

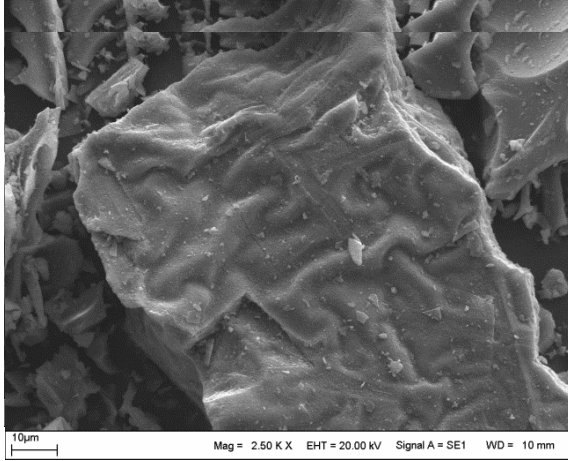
Ek Şekil 5.3. (Devam) ÖPT'nin SEM Fotoğrafları



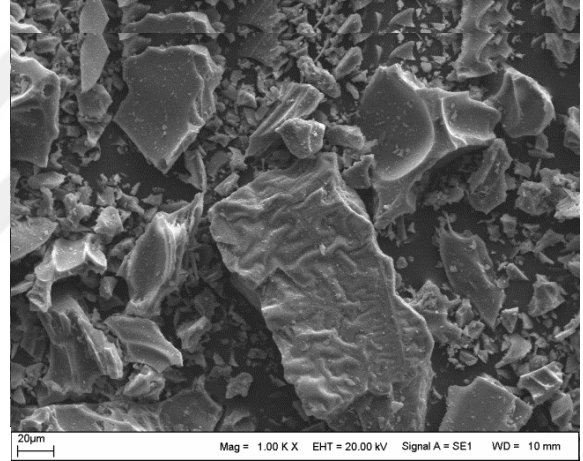
1 µm Mag = 30.00 K X



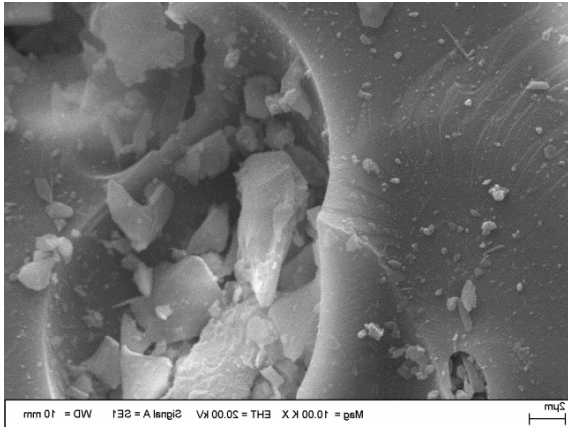
2 µm Mag = 10.00 K X



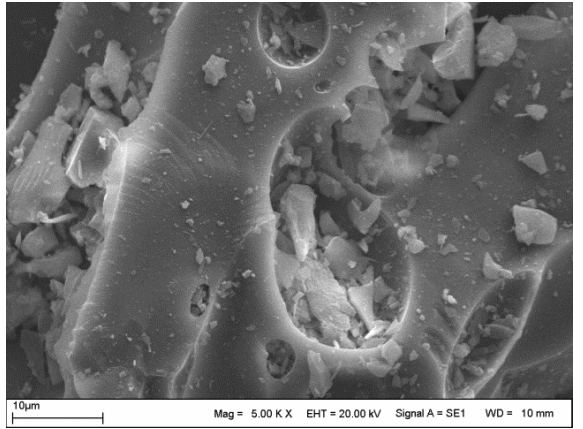
10 µm Mag = 2.50 K X



20 µm Mag = 1.00 K X

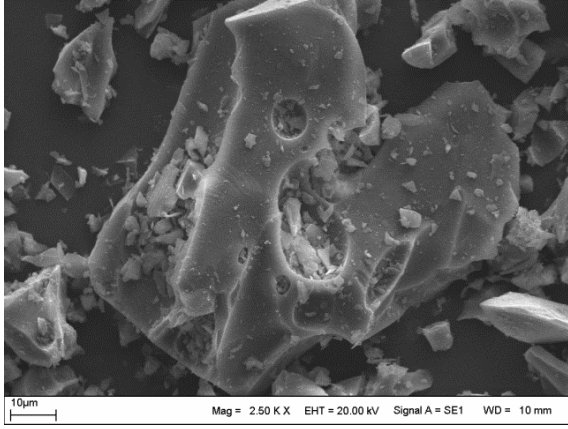


2 µm Mag = 10.00 K X

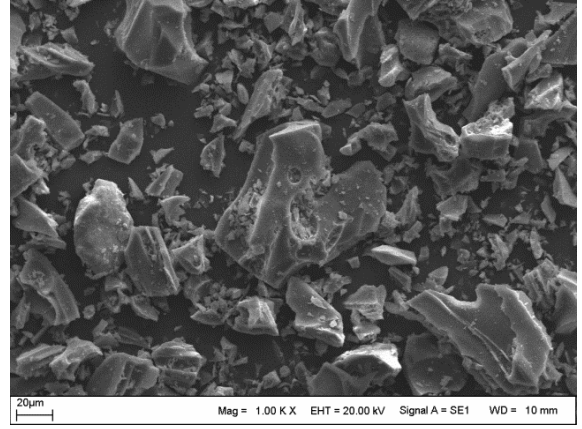


10 µm Mag = 5.00 K X

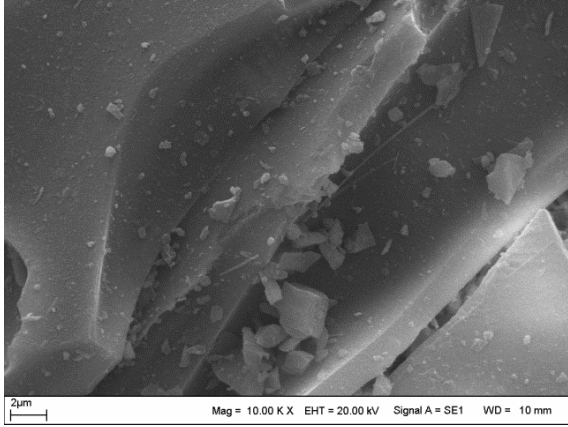
Ek Şekil 5.3. (Devam) ÖPT'nin SEM Fotoğrafları



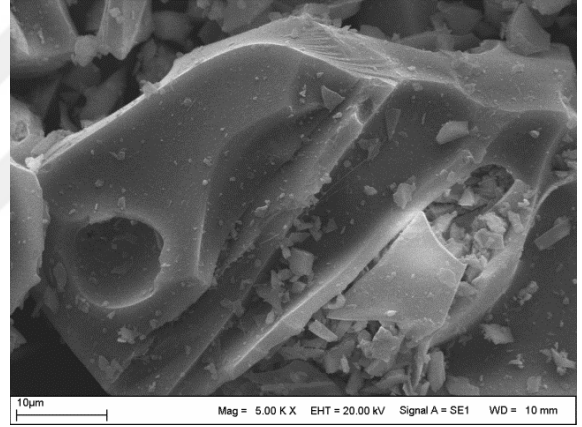
10 µm Mag = 2.50 K X



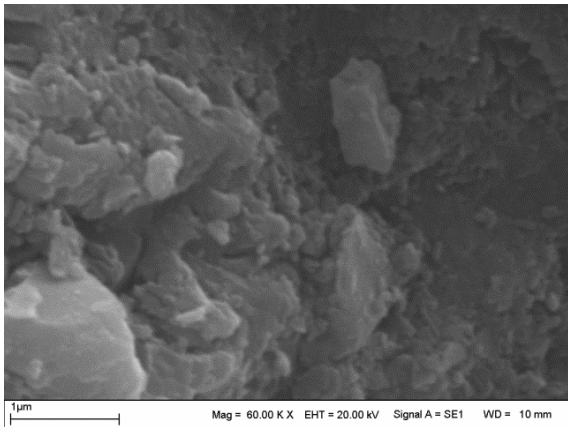
20 µm Mag = 1.00 K X



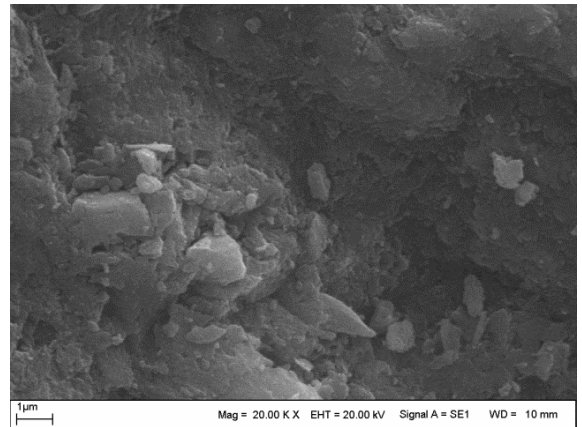
2 µm Mag = 10.00 K X



10 µm Mag = 5.00 K X



1 µm Mag = 60.00 K X



1 µm Mag = 20.00 K X

ÖZGEÇMİŞ

Abdurrahman ERGİN, 1988 yılında Diyarbakır’da doğdu. İlköğrenimini Mehmet İçkale ve Şair Sırrı Hanım İlköğretim Okulunda, lise öğrenimini 80. Yıl Cumhuriyet Lisesinde tamamladı. 2005 yılında öğrenimine başladığı Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden 2009 yılında mezun oldu. 2009-2010 yılları arasında “Hayat İnş. Gıda Temz. Taah. İth. İhr. Ltd. Şti.” adlı firmanın yapmış olduğu iş merkezi inşaatında şantiye şefi oldu. 2011 yılında “Paş-Ha Yapı Denetim Ltd. Şti.” adlı firmada kontrol elemanı olarak çalıştı. 2012 yılı Güz Döneminde Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitime başladı. 2012-2015 yılları arasında “Hayat İnş. Gıda Temz. Taah. İth. İhr. Ltd. Şti.” adlı firmanın yapmış olduğu 9 bloktan oluşan konut inşaatında şantiye şefi oldu. 2016 yılı itibariyle de Başakkent Diyarbakır Konut Ve Yapı Kooperatifinde Başkan Yardımcısı olarak görev yapmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.