

**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇTA ÖĞÜTÜLMÜŞ
POMZA KULLANIMININ DONATI ADERANSINA ETKİSİ**

İnş. Müh. Muhammet Veysel ŞAŞTIM

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARATAŞ
OCAK-2016**

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇTA ÖĞÜTÜLMÜŞ POMZA KULLANIMININ
DONATI ADERANSINA ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammet Veysel ŞAŞTIM

131115105

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 Aralık 2015

Tezin Savunulduğu Tarih : 8 Ocak 2016

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARATAŞ (Fırat Üni.)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ragıp İNCE (Fırat Üni.)

Yrd. Doç. Dr. Ahmet BENLİ (Bingöl Üni.)

OCAK – 2016

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın başından sonuna kadar bilgi birikimiyle benden yardımlarını esirgemeyen ve tecrübeleriyle her konuda yol göstericim olan değerli danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARATAŞ' a desteği ve sonsuz anlayışı için gönülden teşekkür ederim.

Tecrübeleriyle ve yardımlarıyla bu çalışmaya katkıda bulunan laboratuvar teknisyeni Sayın Seyfettin ÇİÇEK'e;

Tez yazımı sürecinde yardımlarını esirgemeyen Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümde Araştırma Görevlisi olarak çalışan değerli arkadaşlarım Esra TUĞRUL, Musa YETKİN ve Özge ERDOĞAN YAMAÇ'a;

Tez süreci içerisinde sağladıkları kolaylık sebebiyle kurumum İller Bankası A.Ş. Elazığ Bölge Müdürlüğü bünyesinde çalışan değerli müdürlerime ve sevgili mesai arkadaşlarıma;

Ayrıca dualarını ve desteklerini hiçbir zaman üzerimden eksik etmeyen aileme ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Muhammet Veysel ŞAŞTIM
ELAZIĞ – 2016

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	IIV
SUMMARY	V
KISALTMALAR LİSTESİ	VI
SEMBOLLER LİSTESİ	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	IIX
1.GİRİŞ	1
2.KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇ	1
2.1.Kendiliğinden Yerleşen Beton Kavramı	1
2.2.Kendiliğinden Yerleşen Betonun Özellikleri.....	6
2.3.Kendiliğinden Yerleşen Betona Giren Malzemeler	7
2.3.1.Çimento	7
2.3.2.Agrega	7
2.3.3.Su	8
2.3.4.Kimyasal Katkılar	8
2.3.5.Mineral Katkılar	8
2.4.Kendiliğinden Yerleşen Harçta Deney Yöntemleri	9
2.4.1.Mini Çökme-Yayıma Deneyi.....	9
2.4.2.Mini V Hunisi Deneyi	10
2.4.3.Üç Noktalı Eğilmede Çekme ve Basınç Deneyi	12
3.MİNERAL KATKI MADDESİ OLARAK POMZA.....	14
3.1.Puzolanik Mineral Katkılar	14
3.2.Mineral Katkı Olarak Pomza	14
3.2.1.Dünya’da ve Türkiye’de Pomza Rezervlerinin Durumu	166
3.2.2.Pomzanın Betonda Kullanılış Şekli.....	166
4.KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇTA DONATI ADERANSI.....	18

4.1.Aderans Nedir?	118
4.2.Aderans Mekanizması	19
4.3.Aderansa Etki Eden Faktörler	20
4.4.Kendiliğinden Yerleşen Harçta Aderans	200
4.4.1.Çekip-Çıkarma Deneyi	211
5.DENEYSEL ÇALIŞMA.....	25
5.1.Deneylerde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri.....	25
5.1.1.Portland Çimentosu	26
5.1.2.Agrega	266
5.1.3.Su	27
5.1.4.Kimyasal Katkılar	27
5.1.5.Mineral Katkılar	28
5.2.Numunelerin Hazırlanması.....	30
5.3.KYH’de Karışım Hesabı	33
6.DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	35
6.1.Mini Çökme-Yayımla ve Mini V Hunisi Deneyi Sonuçları.....	35
6.2.Üç Noktalı Eğilmede Çekme ve Basınç Deneyi Sonuçları	38
6.3.Çekip-Çıkarma Deneyi.....	444
7.SONUÇLAR.....	500
KAYNAKLAR	54
EKLER	54
ÖZGEÇMİŞ	69

ÖZET

Gerçekleştirilen deneysel çalışmada mineral katkı olarak öğütülmüş pomza tozu (ÖPT) ile üretilen kendiliğinden yerleşen harçların (KYH) aderans dayanıma etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda %7, %12, %17, %22, %27 ÖPT ikameli karışımlar olmak üzere kontrol harcıyla birlikte 6 seri harç numuneleri üretilmiştir. Toplam 54 adet 40x40x160 mm ile 18 adet 150x150x150 mm harç numuneleri hazırlanmış ve farklı kür sürelerinde şehir şebeke suyunda bekletilmiştir. Tüm harç numunelerinin farklı kür sürelerinde eğilmede çekme dayanımları ve basınç dayanımları ölçülmüştür. Aderans dayanımı için 150x150x150 mm'lik numuneler çekip çıkarma deneyine tabii tutulmuşlardır. Çalışma sonucunda standart küre maruz harçlarda en yüksek aderans dayanımına %12 ÖPT içeren harç numunesinin sahip olduğu belirlenmiştir. 28 günlük basınç dayanım değerleri ile aderans dayanım değerlerinin sonuçları arasında paralellik olduğu görülmüştür.

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

SUMMARY

EFFECT ON BOND OF REINFORCING BARS MILLED PUMICE USES OF SELF COMPACTING MORTAR

In performed experimental study, performances of self compacting mortars (KYH) producted with milled pumice powder (ÖPT) used as mineral additives the bond strength were investigated. In this context, substituted with 7%, 12%, 17%, 22%, 27% ÖPT mixtures and control mortar, total of 6 series trout samples were produced. A total of 54 pieces of 40 x 40 x 160 mm and 18 pieces 150 x 150 x 150 mm mortar specimens prepared and with different curing periods allowed to stand in city water. For all cure specimens, flexural strength and compressive strength of mortar samples at different curing periods were measured. For the bond strength, 150 x 150 x 150 mm specimens were applied pull out test. As a result of study, substituted with %12 ÖPT samples determined as has highest the bond strength to standard curing procedures within all mortar samples. As a result of this study, 28 days compressive strength values and the bond strength values was as same as observed.

Keyword: Self Compacting Mortar, Milled Pumice Powder, Bond Strength, Flexural Strength and Compressive Strength.

KISALTMALAR LİSTESİ

AB	: Avrupa Birliği
C₃A	: Trikalsiyum Alüminat ($3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$)
EFNARC	: Özel Yapı Kimyasalları ve Beton Sistemleri Avrupa Federasyonu
İÖP	: İnce Öğütülmüş 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	: Öğütülmüş 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

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)
$\gamma_{\text{öpt}}$	: 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)
d_0	: Mini çökme yayılma konisinin alt çapı (mm)
d_1	: Deney sonucu elde edilen birinci çap (mm)
d_2	: Deney sonucu elde edilen ikinci çapı (mm)
R_m	: Bağlı huni hızı
t	: Deney sonucu belirlenen akma zamanı (sn)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Mini çökme-yayılma deneyi aparatı ve düzeneği	10
Şekil 2.2. Mini V hunisi deneyi aparatı	11
Şekil 2.3. Mini V hunisi deney düzeneği	12
Şekil 2.4. (a) Üç noktalı eğilme deneyi; (b) Deney sonucu numunelerin kırılması	13
Şekil 2.5. (a) Basınç deneyi; (b) Deney sonucu kırılmış numune	133
Şekil 4.1. Çelik çubuk boyunca oluşan gerilme değişimi	19
Şekil 4.2. (a) Aderans deneyinin yapılışı; (b) Kullanılan kalıp ve numunenin yerleştirilme şekli.....	23
Şekil 4.3. (a) ve (b) Aderans deneyi sonucu çıkan parçalar	24
Şekil 5.1. Kullanılan agreganın granülometrisi	27
Şekil 5.2. Kullanılan toz haline getirilmiş pomza.....	28
Şekil 5.3. (a) 10 µm Mag = 5.00 K X ve (b) 20 µm Mag = 1.00 K X boyutunda SEM fotoğrafları	29
Şekil 5.4. (a) 40x40x160 mm'lik kalıplar; (b) Dökülen numuneler.....	31
Şekil 5.5. (a) 150x150x150 mm'lik donatı bağlanmış kalıplar; (b) ve dökülen numuneler.....	31
Şekil 5.6. 40x40x160 mm'lik numunelerin kür ortamı	32
Şekil 5.7. 150x150x150 mm'lik numunelerin kür havuzu	32
Şekil 6.1. Bağlı çökme-yayılma grafiği	36
Şekil 6.2. Bağlı V hunisi hızı grafiği	37
Şekil 6.3. Üç noktalı eğilmede çekme dayanımı grafiği	39
Şekil 6.4. Basınç dayanımı grafiği.....	39
Şekil 6.5. Donatı aderans-basınç dayanımı grafiği.....	45

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1. Bazik ve Asidik Pomzaların Kimyasal İçeriği [43].	15
Tablo 5.1. CEM I 42.5 N tipi çimentonun kimyasal bileşenleri ve fiziksel özellikleri	26
Tablo 5.2. SA'nın kimyasal özellikleri [72].	27
Tablo 5.3. ÖPT'nin kimyasal bileşenleri ve fiziksel özellikleri	300
Tablo 5.4. KYH karışım oranları	34
Tablo 6.1. Mini çökme-yayılma deneyi değerleri	26
Tablo 6.2. Mini V hunisi deneyi değerleri	36
Tablo 6.3. Üç noktalı eğilmede çekme ve basınç deneyi sonuçları	3838
Tablo 6.4. Donatı aderans deneyi sonuçları	44

1. GİRİŞ

İnşaat projeleri hazırlanırken, yapılan statik tasarımlarda göz önüne alınan en önemli parametrelerden birisi betondur. Beton; agrega, çimento, su ve gerektiği durumlarda kullanılan değişik katkı maddelerinin belli bir oranda karıştırılması sonucunda oluşmaktadır [1]. Betonda genellikle %10 oranında çimento, %70 oranında agrega ve %20 oranında su kullanılmaktadır. Katkı maddesi kullanımında bu oranlar değişebilmektedir. Kullanılan bu katkı maddeleri ile betonun dayanımı, dayanıklılığı, priz süresi gibi özellikleri geliştirilmeye çalışılmaktadır.

Beton, kullanım yerine uygun olarak değişik özelliklerde elde edilebilir. Tabiatla, beton üretimini sağlayan ham maddeler, yeterli rezervde bulunmaktadır. Beton, kolay şekil alması, uygulanmasının pratik olması ve maliyetinin düşük olması yanında, dışarıdan gelen etkilere karşı dayanım göstermesi nedeniyle yaygın bir şekilde kullanılan ve değişik alanlarda faydalanılan bir yapı malzemesi haline gelmiştir [1]. Bina, havaalanı, okul, baraj, köprü, viyadük, istinat duvarları, arıtma tesisleri, kanalizasyon ve yağmursuyu hatları ile çeşitli su alma yapıları hatta yol projelerinde beton kullanılmaktadır. Görüldüğü gibi beton, günümüz koşullarında inşaat mühendisliği projelerinde en çok kullanılan yapı malzemesidir. Betonun bu kadar geniş bir yelpazede kullanılması, onun üretimi ve kullanılması üzerinde pek çok çalışmayı da beraberinde getirmiştir.

Son yıllarda yapılan dev yatırımlar, büyük ve maliyetli projeler inşaat sektörüne de önemli ölçüde yansımıştır. Ayrıca teknolojiye yaşanan büyük ilerlemeler, beton üretiminde de etkisini göstermiştir. Yaşanan bu gelişmeler beton üretiminde yenilikler meydana getirmiş olup bu durum beton teknolojisinde yerini özel betonlar ismi ile almıştır. Özel betonlar, normalin dışındaki beklentileri karşılamak ve farklı performansları sağlamak amacıyla üretilirler [2]. Özel betonlarla ilgili birçok çalışma yapılmıştır. “Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB)” olarak isimlendirilen betonun üretilmesi, yapılan bu çalışmalardan birisidir. Kendiliğinden Yerleşen Beton; 1980’lerin ikinci yarısında Japonya’da, geleneksel betonlarda oluşan dayanıklılık sorunlarını ortadan kaldırmak için üretilmiştir [3]. KYB, üzerine hiçbir şekilde vibrasyon uygulanmadan içindeki hava boşluklarını atabilen, kendi kütlesiyle donatı sıklığı fazla olan elemanların arasından kolaylıkla geçebilen, dar ve derin kesitlerden akma kabiliyeti fazla olan, bunları ortaya koyarken betonun bir arada kalma

özelliğini muhafaza ederek terleme ve ayrışma gibi sorunlar meydana getirmeyen, özel bir yüksek performanslı beton çeşididir [4].

21. yüzyılda gelişen teknolojiyle birlikte KYB üretimi ve kullanımı konusunda önemli gelişmeler yaşanmaktadır. KYB'nin hem üretiminin hem kullanımının kolaylaşmasının ortaya çıkaracağı pek çok olumlu sonuç vardır. KYB, kimyasal katkı kullanılarak üretilen yüksek akıcı kıvamlı özel bir beton türü olduğu için, bu tür betonların hem yerleştirilmesi daha kolay olur hem de işlenebilirlikten doğan hatalar azaltılmış olur. Kalitesi yüksek olan beton ve beton türevleri daha rahat bir şekilde üretilir [5]. KYB'nin klasik betonlara göre en önemli iki farkı: Şekil değiştirmesi ve yüksek akıcılığıdır [6]. Bu sayede KYB, döküm yapıldığında vibrasyona gerek olmadan donatının boşluklarını ve kalıbın köşelerini doldurur [7,8]. KYB'nin bu özellikleri, üretiminde kullanılan süper akışkanlaştırıcılar ve ince malzemeler yardımıyla sağlanır. Süper akışkanlaştırıcılar KYB'nin doldurma özelliğini arttırırken, ince malzemeler ise beton içindeki boşlukların dolmasını ve betonun daha iyi akmasını sağlar [9,10].

KYB üretiminde ince malzeme olarak mineral katkıları kullanılır. Mineral Katkı, çimento gibi öğütülmüş olarak toz halinde bulunan uçucu kül (UK), yüksek fırın cürufu (YFC), taş unu (TU), silis dumanı (SD) gibi maddelerdir. Mineral katkıları, beton üretiminde çimento haricinde ikinci bir bağlayıcı madde olarak çimentonun belli bir kısmı yerine kullanılabilirdiği gibi önceden çimentoya karıştırılmış olarak katkılı çimento biçiminde de kullanılabilirler. Tek başına iken mineral katkıları, çimento benzeri bağlayıcı özelliği göstermezler ama çimentoyla beraber kullanılırlarsa betonun çeşitli özelliklerini iyileştirilmesini sağlarlar. Ayrıca çimentodan tasarruf edilip daha ucuz malzemelerle beton üretildiği için fiyatlarda makul düzeyde indirimler olur. Bu nedenle mineral katkıları, beton üretiminde her zaman ilgi duyulan bir konu olmuştur. Ayrıca yüksek dayanımlı beton üretiminde de mineral katılardan faydalanılır [11-14].

KYB'de mineral katkı maddelerinin kullanılması, KYB'nin bazı dezavantajlarına çözümler getirmektedir. KYB üretirken yüksek miktarda kullanılan çimento ile kimyasal katkı malzemesi, üretim maliyetlerini oldukça artırmaktadır. KYB üretiminde kimyasal katkı kullanımı olmazsa olmaz bir durum olduğu için, çimento oranı azaltılarak yerine kullanılacak olan mineral katkıları ile bu yüksek maliyetler azaltılabilir. Çünkü KYB üretimi yapılırken maliyet makul seviyelere düşürülmezse, normal betona göre KYB'nin maliyeti yüksek olmakta, bu da KYB'nin öncelikli olarak tercih edilmesine engel olmaktadır. Bu nedenle KYB üretirken ekonomik parametreler de mutlaka dikkate

alınmalıdır. KYB’de mineral katkı kullanımı sadece maliyetlerin düşmesini sağlamakla kalmaz, bunun yanında bu malzemelerin avantajlarından da faydalanılmasını sağlar [15].

KYB üretiminde mineral katkı olarak öğütülmüş pomza kullanılması, betonun dayanımının artırılması kapsamında yapılan çalışmalardan biridir. KYB üretiminde pomza daha çok kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde, agrega olarak kullanılmıştır. Öğütülmüş haldeki pomzanın KYB üretiminde mineral katkı malzemesi olarak kullanılmasının, büyük yararlar sağlayacağı fikri gündeme gelmiştir. Bu sebeple bazı araştırmacılar, çalışmalarında öğütülmüş pomzanın KYB üretiminde ne gibi yararlar sağlayacağını araştırmışlardır [16]. Ülkemizde bol miktarda bulunan pomzanın, öğütülerek toz haline getirilip, KYB üretiminde kullanılmasının sağlanmasıyla, ülke ekonomisine kazandırılmaya çalışılması, bu tez konusunun en önemli amacıdır.

Pomza taşı, volkanik olaylar sırasında ani soğuma ve gazların bünyeden hızla uzaklaşması neticesinde meydana gelen, çok gözenekli bir şekle sahip olan, volkanik kökenli bir kayadır. Pomza, dünya üzerinde birçok alanda kullanılmakta olup ancak ülkemiz sanayisine yeni adım atmış ve değeri henüz anlaşılmaya başlanmıştır [17]. Ülkemiz, pek çok yer altı kaynağında olduğu gibi pomza konusunda da dünya üzerinde en zengin yataklarına sahiptir. Yakın tarihe kadar sadece briket üretiminde kullanılan pomza, günümüzde değişik sanayi sektörlerinde de kullanılmaya başlanmıştır [18,19].

Bir yapının tasarımında beton tek başına bir parametre değildir. Çünkü beton, basınç bölgesindeki gerilmeleri tek başına karşılayabilirken, çekme bölgesindeki gerilmelere karşı aynı dayanıklılığı gösteremez. Bu nedenle çekme kuvvetini karşılamak için bu bölgelere çelik donatı yerleştirilir. Betonun çelik ile takviye edilerek güçlendirildiği bu kompozit malzemeye “betonarme” adı verilir [20].

Donatı ve betondan meydana gelen bir yapının betonarme şeklinde davranış gösterebilmesi için, donatıların betona kenetlenmiş olması lazımdır. Beton ile donatı arasında kenetlenmeyi oluşturan kayma gerilmelerine aderans ismi verilir. Aderans, donatı ile beton arasındaki mekanik dış kuvvetlere, moleküler bağ kuvvetlerine ve oluşan sürtünme kuvvetlerine bağlıdır. Ayrıca aderansı birçok değişken etkiler. Örneğin; donatı çapı, çeliğin akma/betonun çekme dayanımı, donatının yüzey geometrisi, kenetlenme boyu, betonun içinde kullanılan malzemeler, pas payı vb. söylenebilir [21,22].

Donatı ile beton arasındaki aderans ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar içinde KYB ile donatı arasındaki aderans ilişkisini bulmaya yönelik araştırmalar da mevcuttur. Karataş, KYB’nin donatı üzerindeki etkisini, kirişler üzerinde yaptığı

alışmalarla incelemiştir [23]. Bu tez çalışmamızın ana konusu da KYB ile donatı aderans dayanımı arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmaktır.

KYB retim metotları çoğunlukla harçlar üzerinde n deneyler gerektirmektedir. KYB’de harç kullanılmasınn nedeni; harcın üretim ilk aşaması olması, harçta çalışmanın rahatlığı ve harcın özelliklerinin daha dominant olmasıdır [10]. Bu nedenlerle, yaptığımız çalışmada Kendiliğinden Yerleşen Harç (KYH) içinde kademeli olarak imento yerine mineral katkı malzemesi olarak ğtlmş Pomza Tozu (PT) kullanılmıştır. Başlangıçta karışım oranlarını belirlemek için beton taze harç deneylerinden yararlanılmıştır. Akabinde hazırlanan 40x40x160 mm’lik numuneler üzerinde eğilmede çekme ve basınç dayanım deneyleri gerçekleştirilmiştir. Son olarak 150x150x150 mm’lik kp numunelere 20’lik donatı yerleştirilerek, 28 günün sonunda çekip-çıkarma deneyi yapılmıştır. Elde edilen deney sonuçları karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve tartışılmıştır.

2. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇ

2.1. Kendiliğinden Yerleşen Beton Kavramı

Kendiliğinden yerleşen beton, vibrasyona ihtiyaç duymadan kendi kütlesi sayesinde dar bölmelere, kolon-kiriş birleşim yeri gibi donatı sıklığının fazla olduğu bölümlere dökülmesi ve yerleşmesi kolay olan, üretiminde kullanılan süper akışkanlaştırıcılar ve ince malzemeler sayesinde kolaylıkla akabilen, işlenebilirliği yüksek olan özel bir beton türüdür [4]. Viskozite Artırıcı Katkılar (VAK), yeni nesil süper akışkanlaştırıcılar ve çeşitli mineral katkı malzemelerden bazılarının veya tamamının birlikte kullanılmasıyla KYB'nin kendine has özellikleri elde edilebilir [24].

Betonun kendi kendine yerleşebilmesi fikri ilk olarak Japonya'da 1980'li yılların sonunda, kullanılma ömrü uzun, ergonomik betonarme yapılar yapmak maksadıyla ortaya çıkmıştır [4,25]. KYB'nin Avrupa'daki ilk uygulamasını İsveç 1990'da yapmış olup, kendi karayollarına ait çeşitli yapılarda bu yeni beton türünü kullanmıştır [5]. 1994 Bangkok ACI Çalıştayı ve 1996 New Orleans ACI Kongresinde KYB dikkatleri üzerine çekmeyi başarmış ve daha sonraki yıllarda araştırmacılar bu yeni ürün üzerinde birçok çalışma yapmıştır [25,26]. KYB kullanılmasını arttırmayı amaçlayan Avrupa Birliği (AB), 1997'den sonra çeşitli çalışmalara başlamıştır [27,28]. KYB ile alakalı bütün bilgileri içinde barındıran "Specification and Guidelines for SCC" 2002'de ve "The European Guidelines for SCC" 2005'te Özel Yapı Kimyasalları ve Beton Sistemleri Avrupa Federasyonu (EFNARC) tarafından hazırlanmıştır [29,30]. Halihazırda pek çok uluslar arası kuruluş KYB üzerinde araştırmalara devam etmekte ve çeşitli şartnameler yayınlamaktadır. KYB'nin Türkiye'de kullanılmaya başlanması ise 2000'leri bulmuştur [31].

Literatürde KYB farklı adlara sahiptir. Çoğunlukla, kendiliğinden yerleşen beton (self-compacting concrete-SSC) adı görülmektedir. Bunun dışında; kendiliğinden konsolide beton (self-consolidating concrete-SCC) ve kendiliğinden yayılan beton (self-levelling concrete-SLC)'dur [32,33]. Kendiliğinden yerleşen beton (KYB) ismi Türkiye'deki araştırmacılar tarafından tercih edilmektedir.

KYB üretiminde hem yüksek miktarda çimento kullanımından dolayı oluşan maliyetleri aşağı çekmek hem de akma özelliğini sağlayabilmek için ince malzeme

kullanımını gerektirmektedir. Bu tarz ince malzemeler genel olarak YFC, UK, SD vb. gibi öğütülmüş olan ince malzemelerdir [29]. Son zamanlarda bu malzemelerin dışında da KYB üretiminde başka hangi malzemelerin kullanılacağı üzerine araştırmalar devam etmektedir.

KYB üretirken yapılan pek çok farklı çalışma neticesinde, çok farklı ve ilginç sonuçlar bulunmuştur. Bu sonuçlardan bazıları beklentileri fazlasıyla karşılarsa da bazılarında istenilen sonuçlar alınamamıştır. KYB üretirken yapılan bu çalışmalarda farklı parametreler, farklı şekillerde değiştirilerek kullanılmıştır. Elde edilen her sonuç bize yeni ufuklar açmış ve farklı değişkenlerin bu sayede denenebileceğini göstermiştir.

KYB üretirken özellikle mineral ve kimyasal katkıları gibi değişkenlere dikkat edilmesi gerekir. Bu değişkenler KYB'ye esas özelliğini kazandıracak olan katkı malzemeleridir. Bu katkılar vasıtasıyla daha güçlü ürünler üretilip, piyasaya bu sayede yarar sağlanabilir. Ancak bu işlem yapılırken, piyasada iş yapan firmalar için en önemli kıstas olan maliyetler de göz önünde bulundurulmalıdır. Çünkü inşaat mühendislerinin bir yapıyı tasarlarırken göz önünde bulundurmaları gereken fonksiyonlar olan emniyet, ekonomi ve estetikten eğer ekonomi makul seviyelerde değilse yapılan çalışma piyasa koşullarında öncelikli olarak tercih edilmez. Bu sebeple, yapılan yeni ürün her ne kadar daha sağlam, dayanıklı, kullanışlı ve estetik olsa da, eğer üretim maliyeti düşürülmemişse çok kullanılmaz.

2.2. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Özellikleri

KYB'ler gösterdikleri yüksek akıcılık özelliği ile döküldükleri noktaya, özelliklerini yitirmeden rahat bir biçimde yerleşen betonlar olarak kabul edilebilirler. Bir betona KYB denilebilmesi için o betonun doldurma yeteneği, akabilme ve ayrışmaya karşı mukavemeti gibi özelliklerinin diğer betonlara oranla yüksek olması beklenir. Bu özellikler sağlanırken betonun istikrarının bozulmaması ve segregasyona uğramaması gerekir. Süper akışkanlaştırıcılar (SA), yüksek akıcılığı sağlarken; VAK ve ince malzeme kullanımı viskoziteyi artırır ve yüksek ayrışma direncine karşı katkıda bulunur. Bu sayede, bütün özellikleri her tarafa eşit şekilde yayılmış bir beton elde edilir. Ayrıca, su/çimento (w/c) oranı düşük olan betonlarda ince malzeme olarak bağlayıcılığı yüksek bir maddenin seçilmesi durumunda KYB'lerin gösterdikleri performans artmakta bu da kendilerini yüksek dayanımlı beton sınıfına sokmaktadır [5,9,34,35].

Yüksek işlenebilirlik özelliklerinden ötürü KYB'ler, vibrasyon işlemine uğramadan haiz oldukları kütle sebebiyle belirlenen bölgelere içinde hava kabarcığı olmayacak şekilde dolabilir, döküm sırasında su kuma ve segregasyon olayları göstermezler [34].

KYB'ler yüksek ayırma dirençleri sayesinde su altında da kullanılma imkanı vermektedir. Zaten KYB'nin ilk ilham kaynağı da bu olmuştur. KYB yardımıyla yüzeyi düz kesitler üretilmesi ve doldurma işlemi sırasında vibratör kullanılmasına lüzum olmaması sayesinde sanayi alanında prefabrike üretiminde ön plana çıkmaya başlamıştır [4,35]. Ayrıca KYB uzun bir müddet özelliğini muhafaza edebilmekte, bu sayede konvansiyonel betonlarda gözlemlenen çökme kaybı olayına 60 ile 90 dakika arasında uğramamaktadır [5].

KYB'de çimento yerine bağlayıcı madde olarak kullanılan bazı ince malzemeler, betonun üretim maliyetini önemli ölçüde düşürürken, KYB'nin bazı fiziksel özelliklerine de mühim sayılabilecek düzeyde katkı sağladığı gözlenmiştir [36,37].

KYB'lerin bütün bu özelliklerinin yanında inşaat sahasında vibratör kullanılmaması nedeniyle çevreyi rahatsız edici şekilde çıkan seslere sebep olmaması, yapılan imalatın zamanının düşmesini sağlaması, işçiliğin azalmasından kaynaklı fiyat ucuzlaması, kaliteli üretim vb. gibi sebepler de faydalarından bazıları olarak sıralanabilir [24].

2.3. Kendiliğinden Yerleşen Betona Giren Malzemeler

2.3.1. Çimento

Normal betonların üretiminde kullanılan çimento çeşitlerinin KYB üretiminde kullanılmasında herhangi bir sakınca yoktur. Yalnız bazı Portland Çimento (PÇ) çeşitleri KYB üretiminde daha verimli olabilmektedir [35]. Çimentonun çeşidi açısından da bazı şartlara uymasına dikkat edilmesi gerekir. %10'un üzerinde C_3A 'ya sahip çimentoların kullanılmaması gerekir [10,29].

2.3.2. Agregalar

Normal betonların üretiminde kullanılan agregalar, KYB üretiminde de kullanılabilirler. Fakat agregalar boyutu normal betonlara göre daha küçüktür ve çoğunlukla

20 mm'yi geçmez. Bunun dışında normal betona kıyasla iri agrega oranı azalmış, kum miktarı ise artmıştır [35,38].

2.3.3. Su

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

2.3.4. 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 değiştiren malzemelerdir [39].

Normal beton üretiminde geleneksel olarak kullanılan suyun yanında, viskozitesini ayarlamak için çeşitli kimyasal katkılar kullanılır. KYB üretiminde de aynı şekilde su oranının mümkün mertebe azaltılmasıyla, işlenebilirlikten doğan hataları ortadan kaldırmak için bu katkılara başvurulur. Çünkü KYB'nin en önemli özelliği olan yüksek akıcılık sadece su kullanımı ile sağlanamaz. Bu sebeple çeşitli SA'lar kimyasal katkı olarak, bu akıcılığı sağlayabilmek için kullanılır. KYB'nin kendiliğinden yerleşme özelliğini sağlayan en önemli parametrelerden birisi budur [9,24].

2.3.5. Mineral Katkılar

Mineral katkılar, betonun çeşitli zaafalarını güçlendirmek ya da betona kendine has özellikler sağlamak maksadıyla, beton üretimi sırasında karışımların içine belli oranlarda konulan ince veya toz haldeki malzemelerdir. Bu malzemeler TSE 206'da, inert mineral katkılar (Tip I) ve puzolanik mineral katkılar (Tip II) olarak ifade edilmiştir [39].

KYB üretiminde viskoziteyi sağlamak, ayrışmayı önlemek, betonun içindeki mikron seviyesindeki boşlukları doldurmak ve hidrasyon ısısından dolayı çimento miktarını düzenlemek için mineral katkılar kullanılır [10,29,40]. Mineral katkı malzemesi olarak pek çok ürün kullanılabilir. Bunlardan bazıları; SD, YFC, UK, TU, ÖPT, kireçtaşı tozu, mermer tozu, kırmataş tozudur [15,27,36,40]. Çimentoyla birlikte ikincil bağlayıcı madde

olarak kullanılan mineral katkıları sayesinde, betonun hem viskozite özelliği çok azalmamakta hem de dayanım ve dayanıklılığı artırılarak yüksek dayanımlı beton elde edilmektedir [35].

2.4. Kendiliğinden Yerleşen Harçta Deney Yöntemleri

KYH'ler üzerine yapılan deneyler taze harç deneyleri ve sertleşmiş harç deneyleri olmak üzere iki kısımda incelenebilir. Bu deneylerdeki amaç, KYH'lerin mekanik özelliklerini ve işlenebilirliklerini öğrenip en uygun karışım oranına sahip KYH'yi ortaya çıkarmaktır.

2.4.1. Mini Çökme-Yayılma Deneyi

KYH'nin işlenebilirliğini test etmek amacıyla EFNARC (2002) [29] tarafından önerilen mini çökme-yayılma deneyi, betonun doldurma kabiliyetini ve akıcılığını ölçmektedir. Bu deney vasıtasıyla karışım oranları belirlenmiştir. Elde edilen bu oranlar kullanılarak KYH'nin sertleşmiş haldeki beton deneyleri yapılmıştır. Çalışma kapsamında hedeflenen yayılma çapı 22-25 cm aralığındadır.

Boyutları Şekil 2.1.'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 [29].

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

Bu formülde;

Γ_m : Bağıl çökme yayılma değeri

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

d_0 : Mini ökme yayılma konisinin alt çapı (mm)

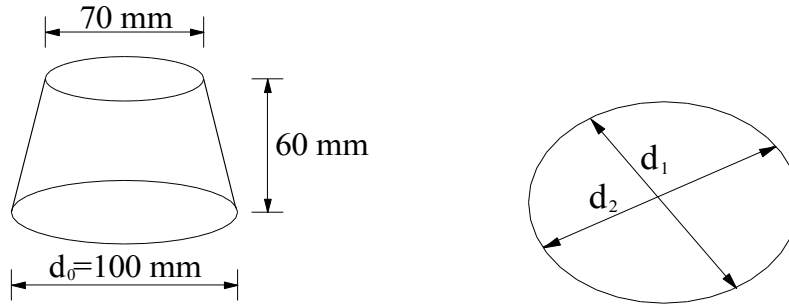
(d) nihai ortalama apı Denklem 2.2 ile bulunur.

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

Bu formölde;

d_1 : Deney sonucu elde edilen birinci çap (mm)

d_2 : Deney sonucu elde edilen ikinci çapı (mm)



Şekil 2.1. Mini ökme-yayılma deneyi aparatı ve düzeneği

2.4.2. Mini V Hunisi Deneyi

Mini V hunisi deneyi, KYH'ler hakkında işlenebilirlik ile alakalı olarak EFNARC [29] tarafından önerilen bir deneydir. Bu deney yardımıyla KYH karışımları hakkında ayırışma direnci, akma ve viskozite gibi özellikler ile alakalı bir fikre sahip olunur.

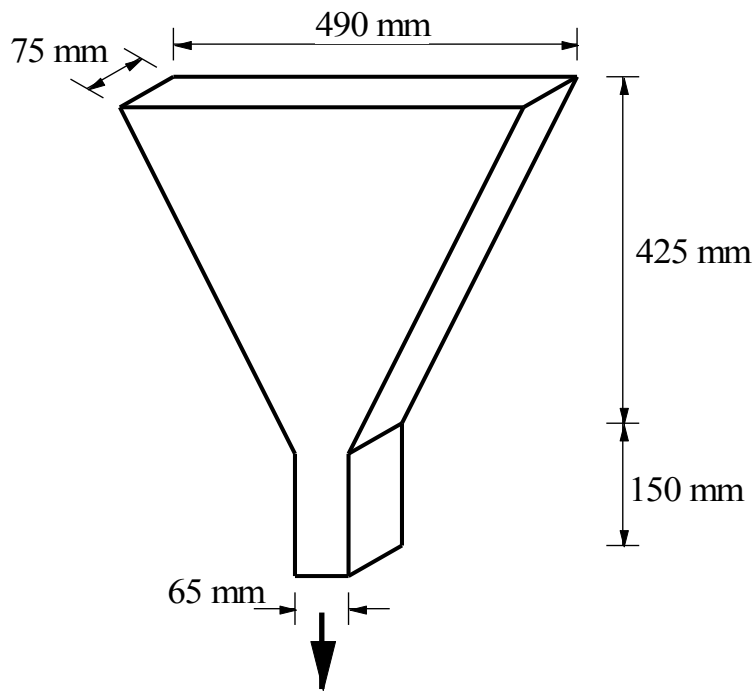
Şekil 2.2.'deki gibi bir V hunisi, ağız kısmına kadar bütünüyle harç ile doldurulur. Ardından alttaki kapağı çekilir ve harcın boşalmasına izin verilir. Huninin ağız kısmından bakıldığında, kapağın açıldığı andan itibaren ışık görölen ana kadar geçen bu zaman dilimi belirlenir. EFNARC tarafından önerilen bu değer 7 ile 11 saniye aralığındadır. Belirlenen bu değer kullanılarak Denklem 2.3'e göre bağıl huni hızı hesaplanır [29].

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

Bu formülde;

R_m : Bağıl huni hızı

t : Deney sonucu belirlenen akma zamanı (sn)



Şekil 2.2. Mini V hunisi deneyi aparatı



Şekil 2.3. Mini V hunisi deney düzeneği

2.4.3. Üç Noktalı Eğilmede Çekme ve Basınç Deneyi

Karışım oranları belli olan harçlar 40x40x160 mm'lik kalıplara dökülürler. Belirlenen 6 farklı karışım oranının her birinden 9'ar adet olmak üzere 54 adet numune dökülmüştür. Bu numuneler 3, 28 ve 90 gün boyunca 20 ± 2 °C sıcaklıktaki kirece doymun hale getirilmiş Elazığ şehir şebekesi suyunda bekletilmiştir. Her bir kür periyodu için 3'er adet numune belirlenmiş ve tüm numunelerin üzerine pomza oranlarını, uygulanacak kür gününü ve kırılma tarihlerini belirleyecek şekilde isimlendirilme yapılmıştır.

Kür süresi bittikten sonra UTEST UTCM 6420 makinesinde, kürden çıkarılan numuneler üzerinde 0.2 kN/sn yükleme hızında üç noktalı eğilmede çekme dayanımı testi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bu test sonucu ikiye ayrılan numunelere yükleme hızı 2.4 kN/sn olacak şekilde basınç testi uygulanmıştır. Her iki deney sonucunda elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır.



(a)



(b)

Şekil 2.4. (a) Üç noktalı eğilme deneyi; (b) Deney sonucu numunelerin kırılması



(a)



(b)

Şekil 2.5. (a) Basınç deneyi; (b) Deney sonucu kırılmış numune

3. MİNERAL KATKI MADDESİ OLARAK POMZA

3.1. Puzolanik Mineral Katkılar

Silisli+alüminyumlu veya sadece silisli yapıda olan, tek başına çimento gibi bağlayıcı özelliği bulunmayan, fakat öğütülmüş ya da toz halde, nemli bir ortam ve normal sıcaklık altında sönmüş kireçle tepkimeye girerek bağlayıcı özellik kazanan maddelere puzolanik mineral katkıları ve puzolanlar denilir [41]. Puzolanik mineral katkıları, yapay ve doğal olmak üzere ikiye ayrılır. Yapay puzolanlara, YFC, SD, UK; doğal puzolanlara, pomza taşı, volkanik kül örnek verilebilir [42].

KYB üretiminde puzolanik maddeler, mineral katkı malzemesi olarak kullanılabilirler. Konvansiyonel beton üretiminde kullanılan puzolanik katkıları, KYB'lerin çeşitli özelliklerinin iyileştirilmesine yardımcı olurlar. Özellikle çimento ile ikame edilerek kullanılan katkıları sayesinde, tıpkı geleneksel betonlarda olduğu gibi dayanımı yüksek olan KYB'ler üretilebilir. Ayrıca bu katkıları sayesinde, kendine özgün özelliklere sahip olan özel betonlar üretilebilir.

KYB üretiminde bazı puzolanik katkı maddeleri üzerinde çalışmalar yapılmaya devam etmektedir. Bu puzolanik katkılardan birisi de pomza taşıdır. Pomzanın KYB üretiminde mineral katkı olarak kullanılabilmesi fikri, araştırmacılar arasında merak uyandırmıştır. Ülkemizde de bol miktarda bulunan pomzanın bu şekilde sanayide değerlendirilerek hem ülkemiz ekonomisine katkı sağlanması hedeflenmekte hem de dayanımı yüksek olan ürünler üretilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca ülkemizin yer altı zenginlikleri de bu şekilde değerlendirilerek gerek ülke ekonomisine fayda sağlamakta gerekse yaratılacak istihdam ortamıyla işsizliğin azaltılmasına yardımcı olmaktadır.

3.2. Mineral Katkı Olarak Pomza

Pomza, dünya sanayi sektöründe tanınmakla birlikte, ülkemizde son yarım yüzyılda fark edilmeye başlanan kökeni volkanik olan değerli bir kayadır. İtalyanca kökenli bir kelime olan “Pomza (ponza)” ifadesinin değişik dillerde isimlendirilmesi mevcuttur: Almanca'da Bims veya Bimstein, Fransızca'da Ponce, İngilizce'de Pumice veya Pumicite.

Türkçemizde ise hışırtaşı, köpüktaşı, nasırtası, süngertaşı...vs. gibi değişik isimlerle söylenmektedir [43].

Pomza; süngerimsi, boşluklara sahip, volkanik faaliyetler sonucunda meydana gelmiş, gözenekli, dayanıklı, camsı, volkanik kökenli bir kayadır. Meydana geldiği süreç içinde, sahip olduğu gazların kendisinden hızlı bir biçimde ayrılması ve aşırı sıcaklık kaybı sebebiyle, büyük boyutlardan gözle görülemeyecek mini boyutlara kadar sayılamayacak ölçüde gözenekli yapı içerir ve bunlar camsı bir zarla yalıtılmıştır. Bu sayede suda uzun müddet yüzebilen ve ağırlığı fazla olmayan bir malzemedir. Boşlukları çoğunlukla birbirinden bağımsız olduğundan ses-ısı yalıtımı fazla ve ısı geçirgenliği az olan bir malzemedir. [43,44].

Pomza, silikat temelli, sünger tipinde, boşlukları birbirinden bağımsız, Mohs skalasında sertliği 6'ya yakın, çoğunlukla 1 gr/cm³'den küçük birim hacim ağırlığına sahip ve camsı özellikte olan volkanik bir madde olarak TS 3234'te belirtilmiştir [45]. Bunun dışında, çeşitli yöntemlerle pomzanın, agrega haline getirilerek beton üretiminde kullanımına imkân sağlayan biçimine "pomza agregası" denilmektedir [46].

Volkanik aktiviteler sonucunda 2 çeşit pomza oluşur: Bazik pomza ve asidik pomza. Bazik pomzalar daha çok siyahımsı ve koyu renklerde bulunmaktadır. Yoğunlukları genellikle 1 ile 2 gr/cm³ arasında değişmektedir. Asidik pomza ise dünya üzerinde en çok bulunan ve inşaat sanayisinde daha çok yer bulan bir çeşittir. Daha çok beyazımsı ve açık renklerde bulunmaktadır. Silisyum miktarı bazik pomzalara göre daha fazla olan bu türün yoğunluğu ise 0.5 ile 1 gr/cm³ arasında değişmektedir. Her iki pomza türü de içeriğindeki kimyasal maddeler nedeniyle değişik özellikleri ihtiva ederler [47,48].

Tablo 3.1. Bazik ve Asidik Pomzaların Kimyasal İçeriği [43].

Kimyasal Formül	Bazik Pomza	Asidik Pomza
SiO ₂	45	70
Al ₂ O ₃	21	14
CaO	11	0.9
MgO	7	0.6
Fe ₂ O ₃	7	2.5
Na ₂ O + K ₂ O	8	9
A.K.	1	3

21. yüzyılda esas olarak inşaat sektöründe öne çıkan pomzadan, endüstrinin diğer dallarında da faydalanılmaktadır. Bunlardan bazıları kimya, tarım, tekstil ve teknoloji endüstrisinin çeşitli kollarıdır [49].

3.2.1. Dünya’da ve Türkiye’de Pomza Rezervlerinin Durumu

Yeryüzünde bulunduğu düşünülen rezerv halindeki pomzaların miktarının 17.9 milyar ton olduğu ileri sürülmektedir. Bu rezervlerin en fazla bulunduğu ülke, yaklaşık %64’lük payla ABD’dedir. Bunun dışında Avrupa Kıtasında Türkiye, sahip olduğu yaklaşık 2.8 milyar tonluk rezervle zirvede bulunmaktadır. Ülkemizde, özellikle Doğu Anadolu’da Van Gölünün kuzeydoğu – güneybatı istikametinde yer alan sönmüş volkanik dağlar ile İç Anadolu Bölgesinde Kayseri – Nevşehir illerinin bulunduğu bölgede yine aynı şekilde kuzeydoğu – güneybatı doğrultusunda yer alan sönmüş volkanik dağların bulunduğu yörelerde bu malzemeye rastlanmaktadır. Kendisi de volkanik kökenli bir kayaç olan pomzanın, bu tarz sönmüş volkanik dağların bulunduğu arazilerden çıkarılması çok normaldir. Bu sebeple pomza rezervi en çok Doğu’da Bitlis, Van, Ağrı; İç Anadolu’da Kayseri ve Nevşehir illeri civarında bulunmaktadır [50,51].

3.2.2. Pomzanın Betonda Kullanılış Şekli

Pomza, beton üretilirken iki şekilde kullanılabilir. Bunlar:

1. Hafif beton üretmek için agrega olarak
2. Dayanıklılığı arttırması için ince öğütülmüş halde, mineral katkı malzemesi olarak.

Agrega olarak hafif beton üretiminde kullanılan pomzalar, boşluklu yapısı sayesinde binanın önemli ölçüde ağırlığının azalmasını sağlamaktadır. Böylece bina üzerindeki ölü yükler hafifler ve yanal kuvvetlerden (deprem gibi) daha az oranda etkilenirler [52].

Hafif agregalar ile yapılan betonların çeşitli özellikler bakımından daha iyi performans sergiledikleri, yapılan araştırmalar neticesinde belirlenmiştir. Özellikle izolasyonu iyi, yarmada çekme dayanımı yüksek, ısıl genleşme katsayısı düşük betonlar elde edilebilir [53,54]. Pomza, kaba agrega olarak taşıyıcı hafif betona katılabileceği gibi,

betonun hem kaba hem ince agregası olarak da kullanılabilir. Sadece kaba agregası olarak kullanıldığı durumda, ince agregası olarak kum, beton karışımına katılabilir [55].

Pomza, düşük birim ağırlığı sebebiyle hafif beton yapımında yararlanılmasının yanında, puzolanik özelliklerinden faydalanmak için toz haline getirilip, çimento katkı maddesi şeklinde de kullanılabilir [56].

Puzolanik malzemelerin, çimentoyla değişik oranlarda yer değiştirilerek elde edilen beton ürünlerindeki etkisi, uzun süre kürde kalan numunelerde daha net gözlenmiştir. Fakat çimentonun düşürülmesinden dolayı betonlarda bir dayanım kaybının olduğu belirlenmiştir [57,58].

Öğütülmüş pomzanın betonda kullanılmasıyla ilgili bugüne kadar çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Genel olarak bu çalışmalarda beton basınç dayanımına öğütülmüş pomzanın etkisi; öğütülmüş pomza kullanılarak üretilen betonda, kür süresinin uzamasıyla ortaya çıkacak olan sonuçlar vb. araştırılmıştır [56,59].

4. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇTA DONATI ADERANSI

4.1. Aderans Nedir?

Bir yapının betonarme davranış gösterebilmesi için o yapıdaki beton ve donatının birbirine iyi bir biçimde kenetlenmesi lazımdır. Betonun donatıyı sargılaması sonucu, beton ile donatı arasında bir kayma gerilmesi oluşur. Kenetlenme sonucu oluşan bu gerilmelere aderans adı verilir [21,60]. Genel olarak aderans ifadesi betonarmede; demir çubuk ile betonun yapışması sonucu birlikte hareket etme zorunluluğunun ortaya çıkması şeklinde ifade edilebilir.

Betonarmeyle birlikte beton ile donatı arasındaki aderans, pek çok üretici ve araştırmacı tarafından ilgi duyulan bir konu olmuştur. Çeşitli uygulamalar esnasında dayanımı yüksek olan çeliklere ait aderansın, klasik düz donatılardan çokta farklı olmadığı görülmüştür. Bu sebeple yeni tip çeliklerde, yüksek dayanım özelliğinden faydalanabilmenin yolları araştırılmaya başlanmıştır ve beton ile donatı arasındaki sürtünmenin artırılması gerektiği anlaşılmıştır. Yüzeyinde girinti-çıkıntı olan demirler ile nervürlü donatı adını verdiğimiz demirlerin, aderansa sağladığı katkı fark edilmiş; böylece günümüz betonarme donatı çeşitleri, inşaatlarda kullanılmaya başlanmıştır [61].

Nervürlü donatı, aderansın artmasına yardımcı olur. Aderans, nervürlü demir tercih edilmesi halinde oluşan mekanik kenetlenmeye, donatı ile beton arasında yaşanan sürtünmeye ve betonun donatıya yapışma mukavemetine bağlıdır [62,63]. Mekanik kenetlenme, sistemin hesaba katıldığı düzeye uygun biçiminde sürtünme olarak kabul edilebilir. Betonun donatıya yapışmasından dolayı oluşan aderans direnci düşüktür; beton ile donatı arasındaki ayrılma baş gösterdiği zaman da tesiri çabucak yok olur [64,65]. Fakat çelik çubuk çıkıntılarının taşıma tesirinden dolayı oluşturduğu eğik kuvvetler, beton ile çelik çubuk arasındaki kuvvet değişiminin sürekliliğine olanak vermektedir [66].

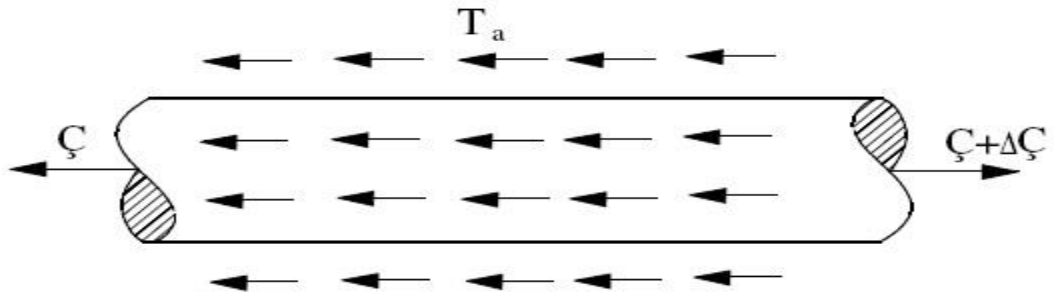
Çoğunlukla aderansın, çimento harcı ile donatının düz yüzü arasındaki adezyon nihayetinde olduğu tahmin edilse de küçük kuvvetler dahi bu yapışmayı sona erdirir ve donatı betondan sıyrılıp çıkar. Böyle bir sıyrılmanın oluşmasıyla kama ve sürtünme tesiri sonucunda aderans ortaya çıkar. Donatı yüzeyinin pürüzlülük durumu, sürtünmeden dolayı meydana gelen aderansı etkiler. Donatı ile beton arasındaki aderans çeliğin paslanmaya başlamasıyla pürüzlükle beraber artar. Fakat bu pas nedeniyle bir tabaka oluşması

durumunda, çelik çubuğun bu tabakadan çıkması daha rahat gerçekleşeceği için aderansın kaybolmasına sebep olur. Yani az miktardaki paslanma aderans üzerinde pozitif etki yaratırken, genel olarak çeliğin paslanması aderansın sona ermesine neden olur [66].

Aderansın istenilen seviyede olması için kenetlenme boyunun yeterli düzeyde bulunması lazımdır. Bu özelliği gösteren aderansa “kenetlenme aderansı” denir. Kenetlenmenin beklenen düzeyde olması için çelik çubuk akma dayanımına erişmeli veya şekil değiştirme durumu meydana gelmesi halinde betonu yarmamalı ve betondan sıyrılıp çıkmamalıdır [67].

4.2. Aderans Mekanizması

Beton ile donatı arasında birbirine paralel doğrultuda, göreceli olarak hareketlerine engel olan kuvvetlere “aderans gerilmeleri” denir. Bu gerilmelerin meydana gelmesi için beton ile demirin, birbirlerini karşılıklı olarak yer değiştirmeye zorlaması gerekir. Aderans kayması, ortaya çıkan bu kuvvet etkisi altında demir ile betonun göreceli olarak birbirleri üstünden kaymasıdır. Betonda meydana gelen çatlakların genişlemesi, aderans kaymalarının arttığına işaret eder. Eğer donatı betondan sıyrılmış ise kaymalar sınırsız bir duruma geçmiş, aderans tamamen sıfırlanmış demektir [23].



Şekil 4.1. Çelik çubuk boyunca oluşan gerilme değişimi

Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi, çelik çubuğun bir ucundan diğer ucuna doğru gerilme değişimi meydana geldiğinden, çeliğin dengede durmasını sağlayan donatı etrafında oluşan kayma gerilmeleridir. İşte bu kayma gerilmelerine “aderans gerilmeleri” ismi verilir [23].

Beton ve donatı arasındaki kuvvet transferi iki malzeme arasındaki yapışma özelliklerine bağlıdır. Aderans gerilmesi; çatlak genişliklerini, betonarme elemanların deplasmanlarını, aynı zamanda demir ve ek yeri uzunluklarını belirler [68].

4.3. Aderansa Etki Eden Faktörler

Aderansa etki eden pek çok değişken vardır. Hem kullanılan malzemeler hem bu malzemelerden dolayı oluşan çeşitli kuvvetler ve daha birçok sebep, aderans dayanımını gerek arttırıcı yönde gerekse azaltıcı yönde etkilemektedir. Bu nedenle bütün bu parametreler göz önüne alınarak betonarme elemanlarda aderans dayanımı ile ilgili hesapların yapılması gerekmektedir. Yapılan hesaplamalar doğrultusunda, istenilen tasarımın hayata geçirilmesi daha kolay olacaktır.

Aderans dayanımına etki eden parametrelerden bazıları şu şekilde sıralanabilir:

- Agregası,
- Betonun çekme dayanımı,
- Çimento ve katkı malzemeleri,
- Donatı akma dayanımı,
- Donatı çapı,
- Donatı yüzeyinin pürüzlü ya da düz olması,
- Kenetlenme boyunun uzunluğu,
- Pas payı,
- Donatının, beton dökümü sırasında konumu; bilhassa yüzeye yakın demirlerin dayanımlarında azalma olduğu tespit edilmiştir [69].

4.4. Kendiliğinden Yerleşen Harçta Aderans

Bu zamana kadar beton ile donatı arasındaki aderans konusunda pek çok çalışma yapılmıştır. Fakat yeni bir teknoloji olan KYB'nin yapılarda uygulanmaya başlanması, bu yeni beton türünün donatı ile ilişkilerinin nasıl olacağı konusunda soru işaretlerini de beraberinde getirmiştir. Bu sebeple donatı ile KYB arasındaki aderansın ne tür sonuçlar ortaya çıkaracağı araştırmacılar tarafından merak konusu olmuştur.

KYB kullanılmasının, donatı üzerindeki etkileri ile ilgili farklı araştırmacılar tarafından değişik çalışmalar yapılmıştır. Karataş (2007), yaptığı çalışmada, mineral katkı türlerinin ve dozajının, kendiliğinden sıkışan betondaki (KSB) donatı aderansına etkisini incelemiştir [23]. Benli (2007), yaptığı çalışmada, donatının KYB'deki aderansını sayısal ve deneysel olarak araştırmıştır [60]. Beycioğlu (2013), yaptığı çalışmada, KYB'de donatı ile beton arasındaki ilişkiyi incelemiştir [63]. Coşkun (2013), yaptığı çalışmada, KYB'nin mekanik özellikleri ile agrega türünün aderans dayanımı üzerindeki etkisini araştırmıştır [70].

KYB'de donatı aderansını belirlemek için çeşitli deney yöntemleri mevcuttur. Bunlardan bazıları şunlardır:

- Çekip-Çıkarma Deneyi
- İtip-Çıkarma Deneyi
- Kiriş Deneyleri
 - Kiriş Çatlama Deneyi
 - Standart Belçika Mafsallı Kiriş Deneyi
 - Standart Bürosu Deneyi
 - Teksas Deneyi

Bu tez çalışmamız kapsamında kendiliğinden yerleşen harçta öğütülmüş pomza tozu kullanılmasının donatı aderansına etkisi araştırılmıştır. Donatı aderans dayanımının belirlenebilmesi için hazırlanan numuneler üzerinde çekip-çıkarma deneyi gerçekleştirilmiştir.

4.4.1. Çekip-Çıkarma Deneyi

KYH'de donatı aderansının belirlenmesi, bu çalışmanın ana konusunu oluşturmaktadır. Çekip-çıkarma deneyi sırasında demirin betondan sıyrılıp çıkması amaçlandığından, donatıda herhangi bir akma olayının olmaması istenmektedir. Bu sebeple seçilen donatı çapı Ø20 mm olarak belirlenmiştir. Beton dökümü için 18 adet kalıp hazırlanmış; kalıpların her yönden tam orta noktasına gelecek şekilde donatıların yerleştirilmesine özen gösterilmiştir. Kalıba yerleştirilen donatının boyu 25 cm olarak belirlenmiş ve tüm demirler bu boyda kesilmiştir.

Belirlenen karışım oranlarına göre hazırlanan harçlar, donatısı yerleştirilmiş olan 150x150x150 mm'lik kalıplara dökülmüşlerdir. Kontrol numunesi dahil olmak üzere 6

farklı oranda belirlenen karışımların her birinden 3'er adet olmak üzere toplam 18 adet numune dökülmüştür. Bu numunelere, kirece doymuş hale getirilmiş Elazığ şehir şebeke suyunun bulunduğu havuzda 28 gün boyunca kür uygulanmıştır. Bütün numunelerin üzerine; pomza oranlarını, uygulanacak kür gününü ve kırılma tarihlerini gösterecek şekilde adlandırılma yapılmıştır.

Kür süresi bittikten sonra havuzdan çıkarılan numuneler, çekip-çıkarma deneyinin yapılması için Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarına götürülmüşlerdir. Burada bulunan çekme aleti vasıtasıyla deneylerimiz gerçekleştirilmiştir. Deneyimizde beton numunesini tutmak için çelikten yapılmış bir kap kullanılmıştır (Şekil 4.2.). Beton numunelerinin deney sırasında bu çelik kap yardımıyla sabit tutulması sağlanmıştır. Böylece donatının betondan sıyrılması amaçlanmıştır. Bu çelik kabın üst kısmında, donatının çıkacağı şekilde bir boşluk bırakılmıştır. Bu boşluğa denk getirilen donatının ucu, çekme işlemini gerçekleştirecek olan kancalara takılmıştır. Daha sonra sisteme yavaş yavaş yük verilmiştir. Verilen yük sayesinde, donatının betondan sıyrılarak çıkması sağlanmış ve bu sıyrılma anında sisteme verilmiş olan kuvvet kaydedilmiştir. Böylece donatının betondan çekilip çıkarılması için gereken kuvvet ton cinsinden belirlenmiştir.

Elde edilen aderans kuvveti sonuçları doğrultusunda, çekip-çıkarma deneyine ait aderans dayanım değerleri bulunmuştur. Aderans dayanımı bulunurken Denklem 4.1 [71] kullanılmıştır.

$$\tau = \frac{F}{\pi \cdot \phi \cdot l} \quad (4.1)$$

Bu formülde;

τ : Aderans Dayanımı

F : Aderans Kuvveti (ton)

π : Pi Sayısı

ϕ : Donatı Çapı (mm)

l : Betona gömülü donatı boyu (mm)

Çekip çıkarma deneyine ait aderans dayanım değerleri karşılaştırılarak, KYH'de ögütülmüş pomza kullanımının donatı aderansına etkisi yorumlanmıştır.

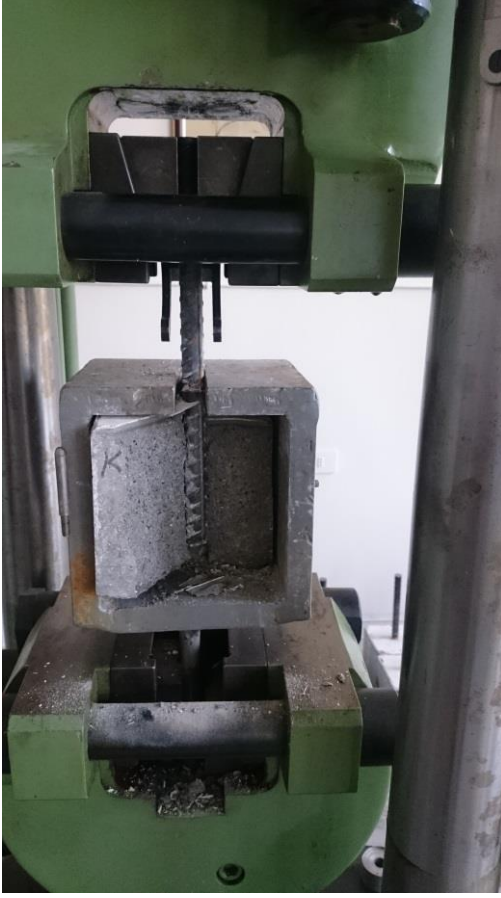


(a)



(b)

Şekil 4.2. (a) Aderans deneyinin yapılışı; (b) Kullanılan kalıp ve numunenin yerleştirilme şekli



(a)



(b)

Şekil 4.3. (a) ve (b) Aderans deneyi sonucu çıkan parçalar

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada, KYH’de öğütölmüş pomza kullanımının donatı aderansına etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmada kontrol numunesi dâhil 6 karışım hazırlanmıştır. Bu karışımlardan her deney için 3 numune dökölmüştür. KYH’lerde mineral katkı olarak çimentoyla yer değıştirmeli olarak sırasıyla; %7, %12, %17, %22, %27 oranlarında ÖPT kullanılmıştır. Bu pomza oranlarına göre KYH’lerin karışım oranlarını belirlemek amacıyla mini çökme-yayılma ve mini V-hunisi deneyleri yapılmıştır. Taze harç deneylerinde ÖPT oranı arttıkça işlenebilirliğin bozulduğı, yayılmanın engellendiğı, yapışkanlık arttığı görölmüştür. Bu nedenle karışım oranlarımız %27 mertebesinde sınırlandırılmıştır.

Karışım oranları belirlenen KYH’ler için 40x40x160 mm ebatlarında her bir kür süresi için üçer adet numune dökölmüştür. Dökölen bu numuneler 7, 28 ve 90 gün süre ile $20\pm2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki kürde bekletilmiştir. Kür sonunda numuneler üzerinde üç noktalı eğilme ve basınç deneyleri yapılmış ve KYH’lerin dayanımları belirlenmiştir.

Çalışmanın ana konusunu oluşturan KYH’de aderans dayanımının belirlenmesi için deneylerde kullanılmak üzere 150x150x150 mm ebatlarında küp numuneler hazırlanmıştır. Bu küplerin tam orta noktasına gelecek şekilde Ø20’lik demirler yerleştirilmiş, ardından hazırlanan bu kalıplara numuneler dökölerek 28 gün kür ortamında bekletilmiştir. 28. gün sonunda kürden çıkarılan numuneler üzerinde aderansı belirlemek için çekip-çıkarma deneyi yapılmıştır.

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

5.1. Deneylerde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

Bu tez çalışması kapsamında kullanılan malzemelerin özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

5.1.1. Portland Çimentosu

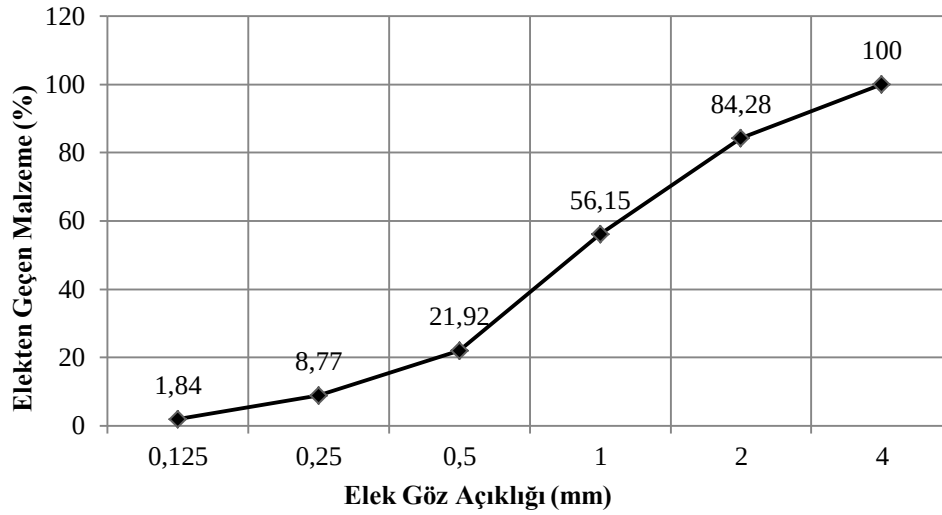
Bu tez çalışması kapsamında Elazığ Çimento A.Ş. Fabrikasından temin edilen CEM-I 42.5 N tipi çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun kimyasal bileşenleri ve fiziksel özellikleri Tablo 5.1.'de verilmiştir.

Tablo 5.1. CEM I 42.5 N tipi çimentonun kimyasal bileşenleri ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Özellik	Muhteva
SiO₂ (%)	21.12
Al₂O₃ (%)	5.62
Fe₂O₃ (%)	3.24
CaO (%)	62.94
MgO (%)	2.91
SO₃ (%)	2.48
Na₂O+ K₂O (%)	-
Cl (%)	-
Kızdırma Kaybı (%)	3.52
Özgöl ağırlık (gr/cm³)	3.03
Özgöl yüzey (cm²/gr)	3430

5.1.2. Agregası

Bu tez çalışması kapsamında Elazığ Yöresinden elde edilen en büyük dane boyutu 4 mm olan agregası kullanılmıştır. Elazığ Murat Nehri civarından elde edilen agreganın su emmesi % 1.94 ve doymuş kuru yüzey özgül ağırlığı 2.63 gr/cm³ olarak tespit edilmiştir. Bu agreganın elek analizi sonucunda belirlenen granülometri eğrisi Şekil 5.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Kullanılan agreganın granülometrisi

5.1.3. Su

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

5.1.4. Kimyasal Katkılar

Bu tez çalışması kapsamında 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 5.3'te [72] verilmiştir.

Tablo 5.2. SA'nın kimyasal özellikleri [72].

Kimyasal Yapı	Modifiye Polikarboksilat Esaslı Polimer
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)

5.1.5. Mineral Katkılar

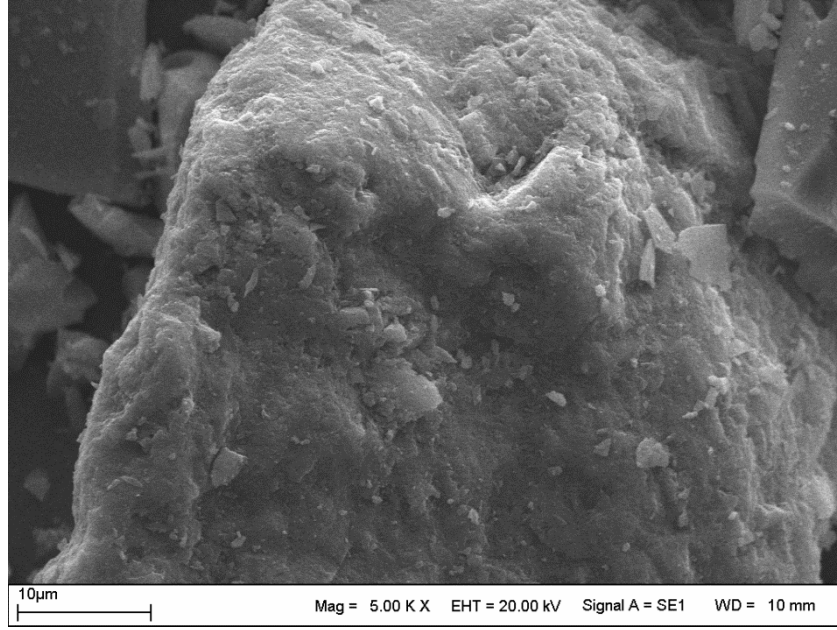
Bu tez çalışması kapsamında mineral katkı olarak “Öğütülmüş Pomza Tozu (ÖPT)” kullanılmıştır. Bu çalışmanın ana amaçlarından biri, toz haldeki pomzanın KYH’de kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır.

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

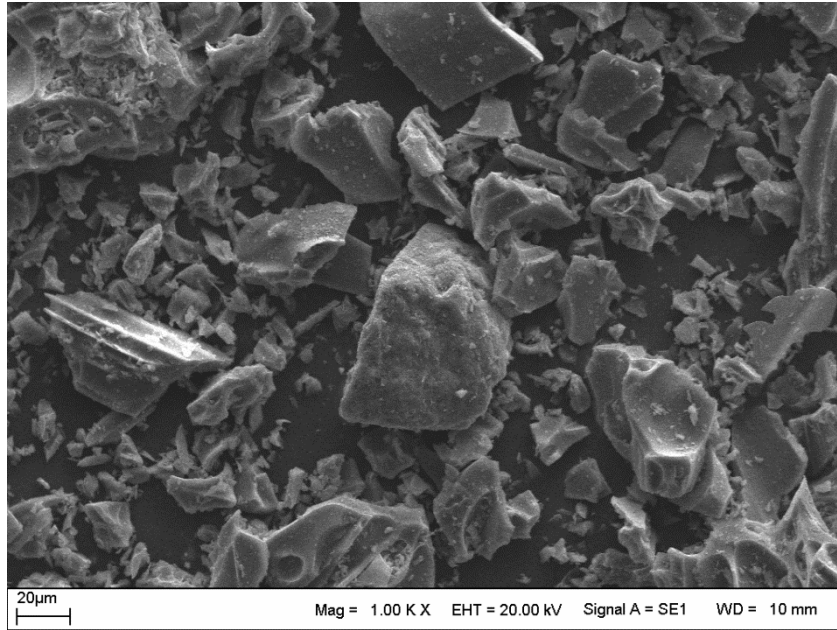


Şekil 5.2. Kullanılan toz haline getirilmiş pomza

Elde edilen ÖPT’nin Malatya İnönü Üniversitesinde ”Taramalı Elektronik Mikroskobu (SEM)” görüntülemesi yapılarak mikron boyuttaki fotoğrafları çekilmiş ve toz haldeki malzemenin görünüşü incelenmiştir. Şekil 5.3.’de ÖPT’nin SEM görüntüleri verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 5.3. (a) 10 μm Mag = 5.00 K X ve (b) 20 μm Mag = 1.00 K X boyutunda SEM fotoğrafları

Şekil 5.3.'te verilmiş olan kısaltmalar, şu büyüklükleri ifade etmektedir:

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

Mag : Magnification (İng.) = Büyütmek

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

Ayrıca ÖPT'nin, Elazığ Çimento A.Ş.'ye ait çimento fabrikasında fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. ÖPT'nin kimyasal bileşenleri ve fiziksel özellikleri Tablo 5.4'te verilmiştir:

Tablo 5.3. 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
Özgül ağırlık (gr/cm³)	2.47
Özgül yüzey (cm²/gr)	2871

5.2. Numunelerin Hazırlanması

Üç noktalı eğilme ve basınç deneyinde kullanılmak üzere 40x40x160 mm ebatlarındaki kalıplara dökülen KYH karışımları bir gün kalıpta bekletildikten sonra her bir kür süresi sonuna kadar kürde bekletilmiştir (Şekil 5.8.). Donatı aderans deneyi kapsamında ise, tam orta eksenlerinde Ø20'lik donatı olacak şekilde ayarlanan 150x150x150 mm'lik kalıplara harçlar dökülmüştür (Şekil 5.9.). Her iki deney düzeneği için 6 farklı oranda 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.

Bu çalışma kapsamında Elazığ şehir şebeke suyu kullanılarak kirece doymun hale getirilen 20±2°C sıcaklıktaki kür ortamı hazırlanmıştır. Bu kür ortamında, üç noktalı eğilme ve basınç deneyinde kullanılacak olan numuneler 3, 28 ve 90 gün; donatı aderans deneyinde kullanılacak olan numuneler 28 gün süre ile bekletilmiştir (Şekil 5.10. ve 5.11.).

Kür süreleri bitiminde sudan çıkarılan numuneler üzerlerinde gerekli deneyler yapılmış ve sonuçları kaydedilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 5.4. (a) 40x40x160 mm'lik kalıplar; (b) Hazırlanan numuneler



(a)



(b)

Şekil 5.5. (a) 150x150x150 mm'lik donatı bağlanmış kalıplar; (b) ve hazırlanan numuneler



Şekil 5.1. 40x40x160 mm'lik numunelerin kür ortamı



Şekil 5.7. 150x150x150 mm'lik numunelerin kür havuzu

5.3. KYH’de Karışım Hesabı

KYH numuneleri hazırlanırken çimento, agrega, öğütülmüş pomza, süper akışkanlaştırıcı ve su kullanılmıştır. Kontrol numunesi dâhil olmak üzere 6 karışım hazırlanmıştır.

KYH karışımlarında toplam bağlayıcı miktarı 650 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Bu bağlayıcı miktarı sabit tutularak, çimento miktarı belirli oranlarda azaltılıp yerine mineral katkı malzemesi olarak ÖPT ilave edilmiştir. Sırasıyla %7, %12, %17, %22, %27 oranlarında çimentoyla değiştirilerek ikame edilen ÖPT’lerin her biri için karışım oranları hesaplanmıştır. Karışım hesabı yapılırken bağlayıcı ve süper akışkanlaştırıcı miktarı sabit tutulmuş, su, agrega ve su/çimento (w/c) oranı her karışım için yeniden hesaplanmıştır. KYH karışım hesapları mutlak hacim metoduna göre belirlenmiştir. Her karışım için w/c oranı değiştirilerek EFNARC [29]’ın önerdiği taze harç deney sonuçlarını karşılayan karışım oranları tespit edilmiştir. Bu şekilde belirlenen malzeme miktarları doğrultusunda 1 m^3 harçtaki kum miktarı Denklem 5.1’e göre hesaplanmıştır:

$$V_{ag} = 1000 - \left[\frac{C}{\gamma_c} + \frac{\text{ÖPT}}{\gamma_{opt}} + \frac{SA}{\gamma_{sa}} + \frac{W}{\gamma_w} + A \right] \quad (5.1)$$

Bu formülde;

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

C : 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)

γ_c : Çimentonun özgül ağırlığı (kg/dm^3)

γ_{opt} : 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 5.2 ile belirlenmiştir.

$$M_{ag} = V_{ag} \times \gamma_{ag} \quad (5.2)$$

Bu formülde;

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

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

Bu çalışma kapsamında çimento+pomza tozu miktarı 650 kg/dm³, süper akışkanlaştırıcı 7 kg/dm³ olarak sabit tutulmuş olup; kum ve su miktarı ile w/c oranı değiştirilerek uygun karışım oranları belirlenmeye çalışılmıştır. Deneme – yanılma yoluyla belirlenen KYH oranları Tablo 5.6.'da gösterilmiştir.

Tablo 5.4. KYH karışım oranları

Harç İsmi	Muhteva						
	kg/dm ³					%	
	Çimento	ÖPT	Su	Agrega	SA	W/C (Ağırlıkça)	W/C (Hacimce)
KONTROL	650	0	247	1388	7	0.38	1.18
ÖPT07	604.5	45.5	247	1375	7	0.38	1.16
ÖPT12	572	78	251	1358	7	0.39	1.16
ÖPT17	539.5	110.5	255	1340	7	0.39	1.17
ÖPT22	507	143	262	1315	7	0.40	1.19
ÖPT27	474.5	175.5	263	1305	7	0.41	1.17

Karışım oranları belirlenen KYH'ler üzerinde üç noktalı eğilme ve basınç dayanımı ile donatı aderans deneylerini yapabilmek için numuneler hazırlanmıştır. Eğilme ve basınç deneyleri için her karışımdan 9'ar adet olmak üzere toplam 54 adet 40x40x160 mm boyutlarındaki numuneler, donatı aderans dayanımını belirlemek için ise her karışımdan 3'er adet olmak toplam 18 adet 150x150x150 mm küp numuneler dökülmüştür.

6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

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

KYB, geleneksel betonlardan birçok yönden ayrılır. KYB, içeriğinde bulunan kimyasal ve mineral katkıları ile çimento, agrega ve su oranındaki farklılık ile özel bir beton türünü oluşturur.

KYB'nin en önemli taze özellikleri akıcılık sağlaması ve segregasyon oluşturmamasıdır. Bunların dışında KYB'nin avantajları arasında, sahada uygulama esnasında kullanılırken beton pompalarından boşalabilmesi, dar ve derin kalıplardan geçebilmesi, sık donatıların kullanıldığı bölümlere yerleşebilmesi, taşıma işlemi sırasında herhangi bir olumsuz durumun yaşanmaması gösterilebilir.

Mini çökme-yayılma deneyi ve mini V hunisi deneyleri ile KYB'lerin işlenebilirlikleri ve kıvamları belirlenir. Bu deneyler sonucu elde edilen veriler yorumlanarak, üretilmiş olan KYB'ler ile ilgili fikir sahibi olunur.

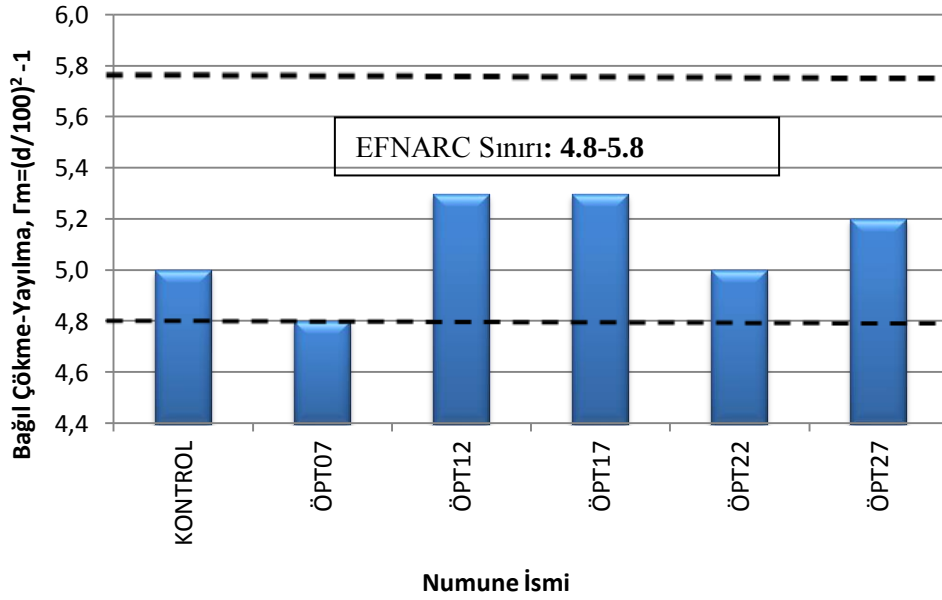
KYH karışımları hazırlanırken PC+ÖPT miktarı 650 kg/m^3 , SA oranı 7 kg/m^3 olarak sabit alınmıştır. Bunun dışında agrega ve çimento miktarı değiştirilerek karışım oranları belirlenmeye çalışılmıştır.

ÖPT'nin çimentoyla değiştirilerek ikincil bağlayıcı gibi kullanıldığı KYH karışımları üzerinde yapılan mini çökme-yayılma deneyleri ile ilgili bulunan değerler, kontrol numunesiyle karşılaştırılmış ve Tablo 6.1.'de verilmiştir. Yapılan deneylerde harcın yayılmasının, 22 ile 25 cm arasında kalacak şekilde olmasına dikkat edilmiştir. Yine bu tablo üzerinde bağıl çökme-yayılma değerleri ile ilgili sonuçlara da yer verilmiş ve bu sonuçlar EFNARC (2002) [29]'ta verilen çökme-yayılma sınırlarıyla karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Tablo 6.1. Mini çökme-yayılma deneyi değerleri

Harç İsmi	Mini Çökme-Yayılma Değeri (mm)	Bağıl Çökme-Yayılma Değeri
KONTROL	245	5.0
ÖPT07	241	4.8
ÖPT12	250	5.3
ÖPT17	250	5.3
ÖPT22	245	5.0
ÖPT27	248	5.2

Mini çökme-yayılma deneyi sonucu bulunan Tablo 6.1.'deki mini çökme-yayılma değerleri kullanılarak Denklem 2.1 ve 2.2'ye göre elde edilen bağıl çökme-yayılma sonuçları Tablo 6.1 ve Şekil 6.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Bağıl çökme-yayılma grafiği

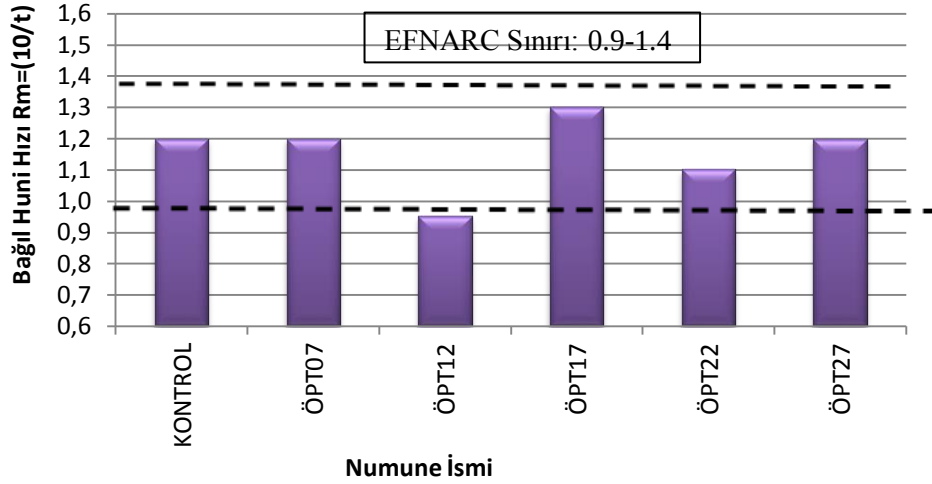
Bağıl çökme yayılma grafiği incelendiği zaman, tüm değerlerin EFNARC (2002) [29]'ta belirlenen sınır değerleri arasında olduğu görülecektir.

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 6.2.'de verilmiştir. Bu değerlerin EFNARC (2002) [29]'ta verilen V hunisi akma zamanı sınırları olan 7 ile 11 saniye arasında kaldığı görülmektedir.

Tablo 6.2. Mini V hunisi deneyi değerleri

Harç İsmi	V Hunisi Akma Zamanı (sn)	Bağıl Huni Zamanı
KONTROL	8.30	1.2
ÖPT07	8.60	1.2
ÖPT12	10.50	1.0
ÖPT17	7.80	1.3
ÖPT22	9.10	1.1
ÖPT27	8.20	1.2

Mini V hunisi deneyi sonucu bulunan Tablo 6.2.'deki V hunisi akma zamanı değerleri kullanılarak Denklem 2.3'e göre elde edilen bağıl V hunisi hızı sonuçları Tablo 6.2 ve Şekil 6.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Bağıl V hunisi hızı grafiği

Bağıl V hunisi hızı grafiği incelendiği zaman, tüm değerlerin EFNARC (2002) [29]'ta belirlenen sınır değerleri arasında olduğu görülecektir.

Açıkel ve Günaydın (2007), Nevşehir Bims Agregası ile üretilen KYB'lerde, mineral katkı olarak UK'yi, kimyasal katkı olarak SA'yı kullanmışlardır. Bu şekilde üretilen KYB'ler üzerinde; çökme-yayılma, L kutusu ve V hunisi deneyleri yapılmış, betonun taze haldeki özellikleri bulunmuş ve EFNARC sınırları dahilinde kalan KYB'lerin istenilen performansı sağladığı görülmüştür. [73].

Gönen (2009), kendiliğinden yerleşen hafif harç (KYHH) üretmek için geliştirilmiş perlit agregaları ve pomza kullanmıştır. Agregada olarak pomzanın kullanıldığı çalışmada bağlayıcı madde sabit tutularak, geliştirilmiş perlit ile pomza agregası %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında yer değiştirilmiştir. Dere agregası içeren KYH'ler ile kendi ürettiği KYHH'leri karşılaştırmıştır. Bütün numunelerde V hunisi ve slump yayılma çapı deneyleri yapılmış ve EFNARC sınırları dahilinde kalan KYHH'lerin istenilen performansı sağladığı görülmüştür [74].

Gönen ve Yazıcıoğlu (2010), yaptıkları çalışmada, KYHB elde etmek için agregada olarak değişik oranlarda geliştirilmiş perlit ile bazaltik pomzayı yer değiştirerek, bağlayıcı olarak ise CEM I 42.5 N tipi çimento ile C sınıfı UK kullanmışlardır. Bu yeni

KYHB numunelerini, normal agregayla üretilen KYB ve titreşimle sıkıştırılan hafif betonlar ile karşılaştırmışlardır. KYHB'lerin taze beton özelliklerinin EFNARC sınır değerleri arasında kalmasıyla üretilen betonların beklenen performansı sağladığı görülmüştür [75].

Emiroğlu vd. (2011), pomza agregası ile üretilen KYH'lerde mineral katkı cinsinin ve oranının, KYH'nin taze durumdaki özelliklerine etkisi üzerine bir çalışma yapmışlardır. KYHB elde etmek için kullanılan pomza agregasının, harçların slump yayılma çapına tesirinin araştırıldığı çalışmada; birim hacim ağırlığı 1700 – 1850 kg/m³ arasında olan KYH'ler dökülebileceği görülmüştür. YFC ile UK oranı yükseldikçe buna paralel olarak slump yayılma çapında da bir artma meydana geldiği, en küçük yayılma çapının %10 UK katkılı numunelerde, en büyük yayılma çapının ise %15 YFC + %15 UK katkılı numunelerde olduğu gözlenmiş, KYH numunelerinin viskozitesini YFC katkısının azalttığı sonucuna ulaşılmıştır [76].

KYB ile ilgili yapılan taze haldeki beton deneyleri ile ilgili çalışmalarda pomza genellikle agregası olarak kullanılmıştır. Pomzanın bu şekilde agregası halinde kullanılmasının amacı, KYB'lerin birim hacim ağırlıklarını düşürerek, kendiliğinden yerleşen hafif beton (KYHB) elde etmektir.

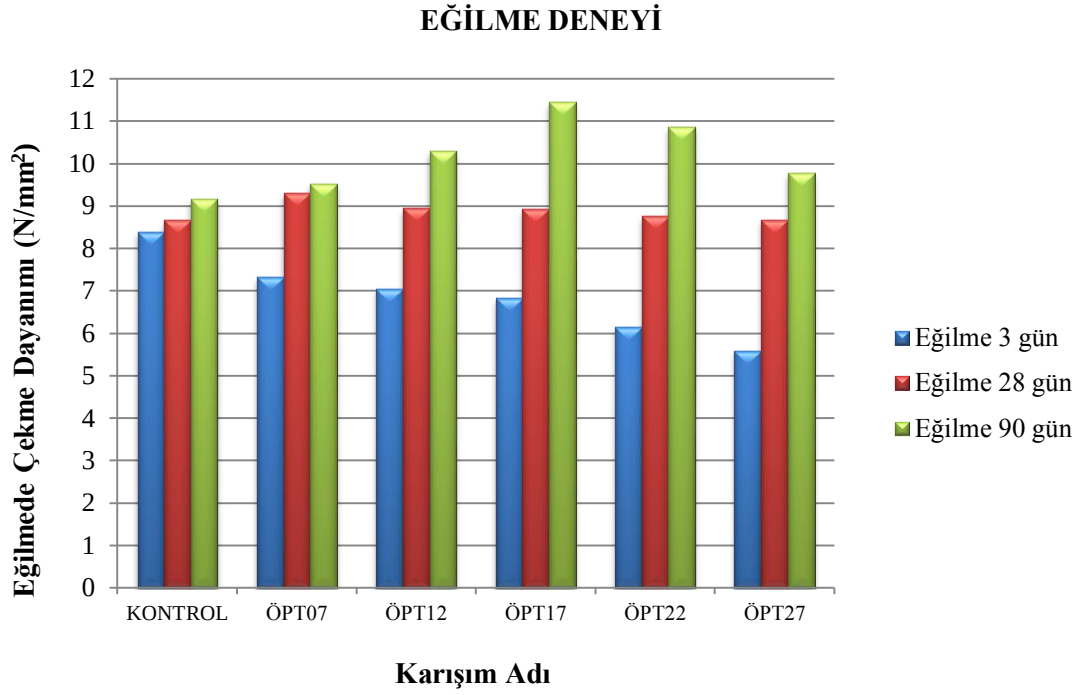
6.2. Üç Noktalı Eğilmede Çekme ve Basınç Deneyi Sonuçları

40x40x160 mm'lik kalıplara dökülüp; 3, 28 ve 90 gün kür uygulanan KYH'ler üzerinde yapılan üç noktalı eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı değerleri Tablo 6.3.'te verilmiştir.

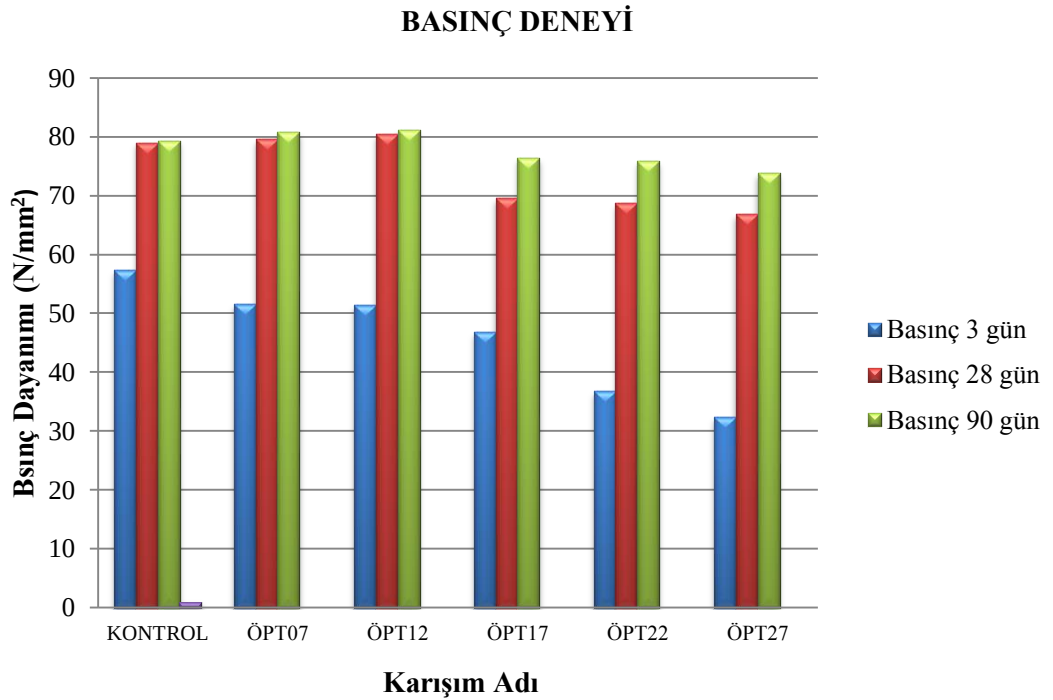
Tablo 6.3. Üç noktalı eğilmede çekme ve basınç deneyi sonuçları

KÜR DEĞERLERİ						
Karışım Adı	Eğilmede Çekme Dayanımı (N/mm ²)			Basınç Dayanımı (N/mm ²)		
	3 gün	28 gün	90 gün	3 gün	28 gün	90 gün
KONTROL	8.387	8.660	9.155	57.367	79.058	79.310
ÖPT07	7.325	9.295	9.524	51.616	79.580	80.832
ÖPT12	7.056	8.953	11.294	51.367	80.444	81.151
ÖPT17	6.819	8.917	11.459	46.842	69.548	76.426
ÖPT22	6.151	8.753	10.867	36.763	68.796	75.896
ÖPT27	5.578	8.677	9.770	32.382	66.849	73.776

Tablo 6.3.'te verilen değerlere göre eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı grafikleri çizilmiştir. Şekil 6.3. ve 6.4.'te bu grafikler verilmiştir.



Şekil 6.3. Üç noktalı eğilmede çekme dayanımı grafiği



Şekil 6.4. Basınç dayanımı 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 değerlerinde lineer olarak bir düşüş yaşandığı görülmüştür. 3 gün kürde kalan numuneler içerisinde %7 oranında ÖPT kullanılan KYH'lerin, diğer ÖPT kullanılan KYH'lere göre dayanım değerinin daha yüksek olduğu; ayrıca dayanımın %7'den %27'ye kadar sabit bir şekilde azalarak gittiği görülmüştür. Bu durumdan yola çıkarak, öğütülmüş pomzanın ilk dayanımda yeterli katkıyı sağlamadığı sonucuna ulaşılmıştır. 3 gün kür uygulanan numuneler içinde en yüksek dayanımın kontrol numunesinde, en düşük dayanımın ise %27 oranında ÖPT kullanılan numunede olduğu görülmüştür.

28 gün kürde kalan numunelerin eğilmede çekme dayanım değerleri incelendiğinde, sonuçların hafif dalgalı bir seyir izlemesine rağmen birbirine yakın olduğu görülmüştür. Çimento oranında azalma olmasına rağmen numunelerin benzer dayanım değerlerine sahip olması, ilerleyen kür yaşlarında pomzanın dayanıma katkısının yavaş yavaş başlamasıyla açıklanabilir. Çünkü çimento oranı düştükçe normal betonların dayanımlarında düşmeler yaşanır. Fakat burada çimento oranının düşmesine rağmen, mineral katkı olarak ÖPT kullanılan numunelerde aşırı bir kayıp yaşanmadığı görülmektedir. Tam tersine 28 gün kür uygulanan numunelerde, ÖPT kullanılan bütün karışımların dayanımı, kontrol numunesinden yüksek çıkmıştır. Bu da pomzanın etkisinin ilerleyen kür yaşlarında ortaya çıktığını göstermektedir. 28 gün kür ortamında kalan numunelerin üç noktalı eğilmede çekme dayanımı değerlerine bakıldığında en yüksek dayanımın %7 ÖPT içeren karışımlarda bulunduğu tespit edilmiştir. Kontrol numunesi haricindeki karışımların dayanımlarına bakınca ÖPT oranı arttıkça lineer bir azalmanın meydana geldiği gözlenmiştir.

90 gün kürde kalan numunelerin eğilmede çekme dayanım değerleri incelendiğinde, pomzanın etkisinin daha belirgin bir biçimde ortaya çıktığı görülmektedir. En yüksek dayanım değerine ulaşılan %12 ÖPT'li karışıma kadar lineer olarak artış gösteren sonuçlar, ardından pomza oranı artmasına rağmen düşüşe geçmiştir. Fakat bütün ÖPT'li numunelerin dayanım değerleri, kontrol numunesinin üzerinde çıkmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında puzolanik aktivitesi ilerleyen kür yaşlarında ortaya çıkan pomzanın etkisinin daha belirgin olarak görüldüğü gözlenmiştir.

KYH'lerin basınç dayanımları incelendiğinde 3 gün boyunca küre tabi tutulan numunelerin, ÖPT oranlarının artmasıyla ters orantılı olarak basınç dayanım değerlerinde

bir azalma meydana geldiği görülmektedir. En yüksek basınç dayanımı kontrol numunelerinde ortaya çıkarken, en düşük basınç dayanımı da %27 ÖPT içeren karışımlarda olduğu görülmüştür. 3 gün kür uygulanan numunelerin ÖPT oranı arttıkça dayanımlarında da çok hızlı bir düşüş yaşanırken, 28 ve 90 gün kürde kalan numunelerin dayanımı kontrol numunesinin dayanımına yaklaştığı hatta %7 ile %12 ÖPT'li numunelerin bir miktar geçtiği görülmüştür. Pomza, puzolanik aktivitesini ilerleyen kür yaşlarında ortaya çıkardığı için böyle bir sonuç ile karşılaşılmaktadır.

28 gün kür havuzunda kalan numunelerin basınç dayanımında ise sabit bir kararlılık olmamakla beraber dayanımın %12'in üzerinde pomza katkılı numunelerde, ÖPT oranıyla ters ilişkili olacak şekilde seyrettiği görülmektedir. %7 ve %12 ÖPT katkılı numunelerin, kontrol numunesinin biraz üzerinde bir dayanıma sahip oldukları görülmüştür. 28 gün kürde kalan numuneler içinde en yüksek dayanım %12 ÖPT içeren numunelerde meydana gelmiştir. Ardından ikinci en yüksek dayanım %7 katkılı ÖPT'li numunelerde olduğu gözlenmiştir. Kontrol numunesinin 28 günlük basınç dayanım değeri, %12'nin üzerinde ÖPT kullanılan bütün KYH numunelerinden yüksek çıkmıştır. Grafik incelendiğinde katkı miktarının artmasıyla dayanımlarda önce küçük bir artış ardından da büyük bir düşüş yaşandığı tespit edilmiştir. Bu sebeple grafiğimiz konkav olacak biçimde içe dönük olacak şekilde bir eğri oluşmuştur. Basınç dayanımlarında; %7 ve %12 ÖPT'li numunelerin birbirine, diğer ÖPT eklenmiş numunelerin de birbirine yakın olması, betonun prizini büyük oranda aldığı bu zaman diliminde daha kararlı KYH karışımlarına ulaşıldığını göstermektedir. %12 ÖPT katkılı numunelere kadar olan basınç dayanımında ki artış, pomzanın ilerleyen kür yaşlarında puzolanik aktivitesinin azda olsa başlamasının bir kanıtı olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak %12'in üzerinde katkı bulunan karışımlarda ÖPT kullanımının artmasına paralel olarak çimento kullanımının giderek azalması ve pomzanın istenen düzeyde puzolanik aktivitesini yerine getirmemiş olması, bu karışımlarda basınç dayanımını giderek düşürmüştür.

90 gün kürde kalan numunelerin basınç dayanımı incelendiğinde, 28 gün kürde kalan numuneler ile benzer bir tablonun karşımıza çıktığı görülmektedir. %12 ÖPT katkılı numunelere kadar dayanımda artış görülürken, ardından dayanımda bir düşüş yaşandığı gözlenmiştir. Ancak 90 günlük numunelerin basınç dayanımları dikkatli bir biçimde incelendiği zaman, tüm pomza katkılı numunelerin basınç dayanımlarının kontrol numunesine yaklaştığı görülecektir. Erken yaşlardaki dayanımlara göre daha yüksek çıkan 90 günlük bu dayanım değerleri, pomzanın ilerleyen kür yaşlarında dayanıma olan

katkısını bize daha net bir şekilde göstermektedir. Ancak pomza oranı arttıkça çimento azalmasından kaynaklı olarak yaşanacak dayanım kaybı sebebiyle, %12 üzerinde katkıya sahip numunelerin basınç dayanımlarının kontrol numunesinden düşük çıktığı görülmektedir.

Demirel ve Yazıcıoğlu (2006), yaptıkları çalışmada, Elazığ yöresi pomzasının puzolanik katkı maddesi olarak kullanılması durumunda, betonun dayanımını ilerleyen kür yaşlarında nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Çimento inceliğinde öğütülen pomzalar, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında çimentoyla ikame etmişlerdir. Basınç dayanımına SD'nin yaptığı etkiyi görebilmek için ikinci bir seri hazırlamışlar ve referans numunesi hariç ikinci serideki tüm karışımlara %10 oranında SD ilavesi yapmışlardır. Çalışmanın sonucunda, referans numunesinin basınç dayanımı, çimento ile %20'ye kadar ikame edilmiş olan pomza numunelerinin dayanımlarından yüksek çıktığını görmüşlerdir. Ancak ilerleyen kür yaşlarında dayanımın giderek artmaya başladığını tespit etmişlerdir. Bunun sebebi ise, pomzanın zaman geçtikçe daha çok puzolanik aktivite göstermeye başlamasıdır. Pomza takviyesiyle ilk zamanlarda meydana gelen bu dayanım düşüşü, SD'nin betona ilave edilmesiyle erken yaşlarda dayanıma sağladığı katkı ile bertaraf edilmiştir [59].

Dolgun (2010), yaptığı çalışmada, Nevşehir bölgesinde bulunan öğütülmüş pomzanın KYB'de kullanılması halinde ne gibi sonuçlar ortaya çıkaracağını araştırmıştır. Çalışmasında w/c oranını 0.4 ve çimento miktarını 500 kg/m³ olarak belirlemiştir. PÇ ile üretimi yapılan referans numunesine öğütülmüş pomzayı sırasıyla %10, %15, %20 ve %25 oranlarında eklemiştir. Elde edilen numuneleri normal, sıcak ve kaynar kür şartları altında bekletmiştir. Daha sonra bu numunelerin ultrasonik ses hızlarını ve basınç dayanımlarını ölçmüştür. Pomza eklenmesi sonucu kaynar kürde basınç dayanımı yükselmesine rağmen sıcak kürde dayanımın azaldığını, normal kür altında bekletilen pomza eklenmiş numunelerde ise erken yaşlara (3 ve 7 günlük) ait dayanımlarının düşük çıktığını belirlemiştir. Ancak 28 gün kür uygulanan numunelerin basınç dayanımlarının referans numunesine yaklaştığını, hatta bazılarında geçtiğini tespit etmiştir. Normal kürde 28 gün bekletilen pomza ilaveli numunelerde aşınma dayanımlarının yükseldiğini görmüş, her üç kür durumu için ultrasonik ses hızı değerlerinin basınç dayanımı değerleriyle paralel olduğu sonucuna varmıştır [16].

Demirel ve Keleştimur (2010), yaptıkları çalışmada, öğütülmüş pomzanın çimentoyla %5, %10, %15 ve %20 oranlarında ikame edilerek üretilecek betonların çeşitli özellikleri üzerinde yüksek sıcaklığın tesirini araştırmışlardır. Kür ortamında 28 gün kalan

numuneleri fırında, 1 saat boyunca 400, 600 ve 800 °C sıcaklıkta tutmuşlardır. Ardından numunelerin fırın içinde soğumasını beklemişlerdir. Bu haldeki numunelerin kütlelerinde ve basınç dayanımlarında meydana gelen azalma ile ultrases geçiş hızlarını belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçları referans numuneleriyle karşılaştırmışlardır. Bu deney sonucu üzerinde herhangi bir ısı işlemi yapılmayan numunelerde, pomza ikamesinin çimento oranını azaltması sebebiyle basınç dayanımını düşürdüğünü görmüşlerdir. Ayrıca pomza ikamesi, üretilen numunelerin birim hacim ağırlıklarını azalttığını tespit etmişlerdir. Isı işlemi arttıkça, bilhassa 400 °C’ den sonra, referans numunelerinin basınç dayanımlarının pomza ikameli numunelerin altında kaldığını gözlemlemişlerdir. Beton üretiminde çimento ile ikame edilecek pomzanın hem yüksek sıcaklığa hem de ekonomiye katkı sağlayacağı sonucuna ulaşmışlardır [77].

Demirel ve Keleştimur (2011), yaptıkları çalışmada, çimentonun ince öğütülmüş pomza (İÖP) ile %5, %10, %15 ve %20 oranlarında ikame edilmesi sonucu üretilen betonların yüksek sıcaklığa maruz kalmasının ardından çeşitli özellikleri üzerinde kür yaşının tesirini araştırmışlardır. Bunun dışında bu şekilde üretilen betonların çeşitli özelliklerine SD’nin tesirini öğrenebilmek amacıyla, referans numunesi haricindeki bütün numunelere, çimento ile %10 oranında ikame edilecek şekilde SD katmışlardır. 28 gün ve 365 gün boyunca kürde beklettikleri numuneleri, fırında 1 saat süreyle 400, 600 ve 800 °C’de ısıtmışlardır. Bu numuneler üzerinde ısıtma işleminden önce basınç dayanımı, birim ağırlık, kılcal su emme ve porozite deneylerini yapmışlardır. Bu deneyler sonucu elde edilen bulgular, ısı verildikten sonra elde edilen bilgilerle karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarını, SEM görüntülemesinden çıkan fotoğraflar ile desteklemişlerdir. Bu çalışma sonucunda, betona İÖP ilavesinin 28 gün kür uygulanan numunelerde dayanımı azalttığı fakat 365 gün kür uygulanan numunelerde tam tersine dayanımı yükselttiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca, 28 gün kürde kalan SD ilaveli numunelerin 400 °C’nin üstündeki sıcaklıklarda 365 gün kürde kalan numunelere göre daha az dayanım kaybına uğradıklarını görmüşlerdir [78].

Tapan vd. (2012), yaptıkları çalışmada, Ağrı ve Van yöresinde bulunan pomza çeşitlerinin (bazik skorya ve asidik pomza) betonda İÖP halinde ilave katkı olarak kullanılabilirliğini ve İÖP katkısının betonun çeşitli özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Araştırma sonucu elde ettikleri veriler ışığında İÖP’nin belli oranlar dahilinde çimento yerine ikame edilerek kullanılabileceğini tespit etmişlerdir. Asidik pomza türlerinin betona %30’a kadar katıldığı numunelerinin dayanımının referans

numunesinden daha fazla olduğunu görmüşlerdir. Bazik skoryalarda ise betona %10 oranında katılan ince malzemelere ait numunelerin erken yaşlardaki dayanımının referans numunelerinden %112, %20 katkılı numunelerin 28 gün küre tabii numunelerin %63 ve 91 gün küre tabii tutulan numunelerin %84 daha fazla dayanıma haiz olduklarını belirtmişlerdir. Skorya katkılı betonların erken kür yaşlarında daha yüksek dayanımlarının olduğunun görülmesi, puzolanların poroziteleri ve puzolan ilaveli betonların erken dayanımları arasında bir paralellik olduğu sonucuna ulaşmışlardır [79].

6.3. Çekip-Çıkarma Deneyi

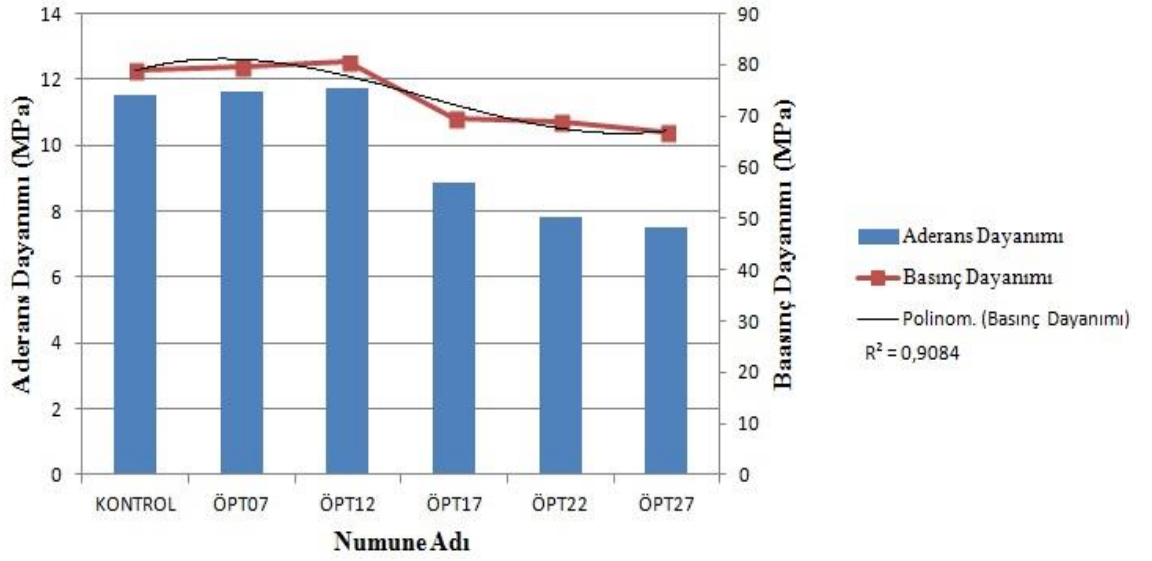
150x150x150 mm'lik kalıplara dökülüp, 28 gün boyunca kür havuzundan bekletilen KYH'ler üzerinde yapılan donatı çekme (aderans) deneyine ait sonuçlar Tablo 6.4.'te verilmiştir.

Tablo 6.4. Donatı aderans deneyi sonuçları

Numune Adı	Aderans Dayanımı (MPa)
KONTROL	11.54
ÖPT07	11.61
ÖPT12	11.71
ÖPT17	8.85
ÖPT22	7.82
ÖPT27	7.50

Tablo 6.3.'te verilen 28 günlük basınç dayanımı ile Tablo 6.4.'te verilen aderans dayanımı değerlerine göre donatı aderans dayanımı ile basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi gösteren grafik çizilmiştir. Şekil 6.5.'te bu grafik verilmiştir.

ADERANS-BASINÇ DAYANIMI ARASINDAKİ İLİŞKİ



Şekil 6.5. Donatı aderans-basınç dayanımı grafiği

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, KYH numunelerinin donatı aderans dayanımlarının ÖPT kullanım oranına göre değiştiği tespit edilmiştir. ÖPT kullanım oranı arttıkça, aderans dayanımında önce hafif bir yükselme ardından ciddi bir azalma olduğu görülmüştür. %12 ÖPT katkılı numuneler en yüksek dayanıma sahiptir. Ardından ikinci en yüksek dayanımın %7 ÖPT katkılı KYH’lerde olduğu görülmektedir. Üçüncü en yüksek dayanım ise, kontrol numunelerinde gerçekleşmiştir. Bundan sonra ÖPT oranı ardışık olarak artan numunelerde dayanım, ters orantılı olacak biçimde azalmıştır. En düşük aderans dayanımı ise en yüksek pomza oranına sahip olan %27 ÖPT katkılı numunelerde gerçekleşmiştir. Aderans dayanımı değerleri doğrultusunda ortaya çıkan grafik incelendiğinde tıpkı 28 günlük basınç dayanımında olduğu gibi içe dönük olacak biçimde bir konkav eğrisiyle karşı karşıya kalındığı tespit edilmiştir. Elde edilen veriler ışığında, %12’nin üzerinde ÖPT ilavesi bulunan KYH’lerin aderans dayanımında bir düşüş yaşandığı ve bu numunelerin aderans dayanımlarının, kontrol numunesinin de altında kaldığı görülmektedir. Bu düşüşün nedeni olarak ÖPT ile yer değiştirilerek kullanılan çimentonun azalması gösterilebilir. Çünkü çimento miktarı azaldıkça, betonun dayanımı da azalacaktır. Beton ile donatı arasındaki bağlayıcılık, çimento oranının azalmasına bağlı olarak zayıflayacaktır. Bunun sonucunda donatının betondan sıyrılması daha kolay hale gelecektir. Burada tek problem sadece çimento miktarının azalması değil, ilave katkı

olarak kullanılan pomzanın, 28 günlük kür süresinde puzolanik aktivitesini henüz istenilen biçimde göstermemiş olmasıdır. Çünkü pomza, zaman ilerledikçe daha fazla puzolanik faaliyet göstererek, dayanıma katkıda bulunmaya başlar. Ayrıca; kontrol numunesi, %7 ve %12 ÖPT katkılı numunelerin değerlerine bakıldığında birbirine yakın sonuçlar çıktığı görülmektedir. %12 ÖPT katkılı numunelerin aderans dayanımları az bir farkla hem %7 ÖPT'li KYH'lerin hem de kontrol numunelerinin dayanımını geçmiştir. Kontrol numunelerinin dayanımı %7 ve %12 katkılı ÖPT'lerin altında kalmıştır. Bu sonuçlardan yola çıkarak %12'ye kadar kullanılan ÖPT'nin mineral katkı olarak KYB'lerde kullanılmasının, donatı aderans dayanımını artırıcı yönde etki edeceği, daha yüksek oranlarda ÖPT kullanımının aynı katkıyı sağlamayacağı sonucuna varılabilir.

Zhu vd. (2004), KYB'de donatı aderansını ve arayüzey özelliklerini incelemişlerdir. Donatı ile beton arasındaki aderans dayanımını belirlemek amacıyla çekip-çıkarma deneylerini yapmışlardır. Ayrıca çelik donatının arayüzey geçiş bölgesindeki elastisite modülü ve mikro gerilme değerlerini bulmak için derinlik algılama nano girinti tekniğini kullanmışlardır. Gerilme dayanımları 35 MPa ve 60 MPa olan içinde çelik donatılar bulunan farklı KYB karışımlarının aderans ve arayüzey özellikleri, benzer dayanım sınıfında vibrasyonla sıkıştırılmış geleneksel betonlarla birlikte incelenmiştir. Donatı çapı Ø12'den Ø20'ye doğru arttıkça, maksimum aderans dayanımının azaldığını tespit etmişlerdir. KYB karışımlarının normal aderans dayanımları her iki donatı çubuğu (Ø12 ve Ø20) için de referans karışımlarından yaklaşık %10 ile %40 arasında daha yüksek çıkmıştır [80].

Wang (2005), KYB'de donatı çubuklarının aderansı davranışı ile ilgili deneysel bir çalışma yapmıştır. Çalışma kapsamında KYB ile NB aderans dayanımlarını karşılaştırmalı olarak analiz etmiştir. Dökülen 30 adet standart numune üzerinde çekip çıkarma deneyi uygulamıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda şu sonuca ulaşmıştır: KYB ile donatı arasındaki aderans gerilmesi, NB ile donatı arasındaki gerilmeden daha büyüktür [81].

Karataş (2007), yaptığı çalışmada, KSB'deki donatı aderansına mineral katkı cinsi ve miktarının tesirini incelemiştir. Çalışma kapsamında, normal betondan (NB) ve KYB'den üretilmiş 200x300x2000 mm boyutundaki kiriş numunelerini test etmiştir. Deneyler sırasında, w/c oranı, kiriş boyutları ile donatı çapı sabit; mineral katkı cinsi (SD ve UK) ile ikame değişken parametre olarak almıştır. 28 gün kür uygulanan numunelere, kür süresi bitiminde, kiriş numunelerde dört noktalı eğilme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen veriler ışığında, genel olarak KSB numunelerinin aderans

dayanımlarının referans betonundan daha fazla olduğu, ayrıca SD katkılı KSB'lerin aderans dayanımlarının hem referans betonundan hem UK katkılı KSB'lerden daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca kullanılan mineral katkı oranı arttıkça, çimento azalmasına bağlı olarak aderans dayanımlarında belli bir noktadan sonra düşüş yaşandığı görülmüştür [23].

Benli (2007), yaptığı çalışmada, KSB'deki donatı aderansını hem deneysel hem nümerik olarak incelemiştir. Çalışma kapsamında, NB ve KYB'den üretilmiş 200x300x2000 mm boyutundaki kiriş numunelerini dört noktalı eğilmeye maruz bırakmıştır. Test sonuçlarını sayısal olarak karşılaştırmak için kirişleri ANSYS programıyla çözmüştür. Deneyler sırasında, w/c oranı ile kiriş boyutlarını sabit; donatı çapını değişken parametre olarak almıştır. Donatı çapı olarak Ø16 ve Ø20 mm demir, mineral katkı olarak %10 oranında SD kullanmıştır. Çalışma sonucunda hem sayısal çözümlerde hem de deneysel verilerde donatı çapı arttıkça aderans dayanımında bir düşüş olduğunu tespit etmiştir. Sayısal çözüm sonuçlarının, deneysel verilere göre daha belirgin neticeler verdiğini görmüştür [60].

Filho vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada, çekip çıkarma deneyi ve kiriş testi yardımıyla KYB ile NB'nin aderans-kayma davranışlarını karşılaştırmışlardır. Esas analize konu ettikleri parametreler; beton basınç dayanımı, beton tipi, çelik çubuk çapı ve test yeterliliğini sağlayan aderans dayanımı için bir değerdir. Ayrıca, mevcut bazı kurallar ile ampirik denklemler arasında da bir karşılaştırma yapmışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda, KYB ile NB numunelerinin benzer davranışlar sergilediklerini tespit etmişlerdir. Denklem sonuçlarının deneysel olanlara göre tatmin edici bir yaklaşım gösterdiğini ancak beklediği gibi mevcut kuralların dışına çıkılmadığını görmüşlerdir. Elde edilen sonuçlara dayanarak, NB için benimsenen benzer parametrelerin KYB'yi de içine alarak genişletilebileceği sonucuna varmışlardır [82].

Desnerck vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada, KYB'de donatı çubuklarının aderans davranışlarını, kiriş testlerini kullanarak belirlemişlerdir. KYB'lerde NB'lere göre daha az miktarda iri agrega kullanımının donatı aderansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olup olmadığını araştırmak için bir dizi kiriş testleri gerçekleştirmişlerdir. Biri NB, ikisi farklı toz malzemeler kullanılarak KYB olmak üzere 3 farklı tipte betondan toplam 36 çeşit numune dökmüşlerdir. Ø12 ile Ø40 mm arasında değişen çaplara sahip donatı çubuklarının aderans gerilmesi kayma davranışlarını kaydetmişlerdir. Deney sonuçları incelendiğinde,

KYB'lere ait aderans gerilmesi, küçük donatı çapları için NB'lerden daha yüksek çıktığı, ancak bu farkın büyük donatı çaplarında azalmaya başladığını tespit etmişlerdir [68]

Benli ve Calayır (2012), yaptıkları çalışmada, dört-noktalı eğilmeye maruz kalan 200x300x2000 mm boyutlarındaki kirişlere ait çatlak oluşmasını ve ilerleme durumunu sayısal olarak araştırmışlardır. Bu kirişlerin, ANSYS programı yardımıyla sonlu eleman modellemesini yapmışlardır. Kirişleri, NB ve KYB olarak iki tip beton için ve iki değişik çekme donatısını (2Ø16 mm ve 2Ø20 mm) kullanarak tasarlamışlardır. Betonarme kirişlerde, aderans göçmesi oluşabilecek biçimde bindirmeli olarak çekme donatıları modellemişlerdir. Kirişlerde çekme ve kesme çatlaklarının durumunu incelemişler ve aralarında karşılaştırma yapmışlardır. Deneyler sonucunda aderans dayanımları ile ilgili sonuçlar doğrultusunda her iki beton çeşidinde de betonarme kirişlerde kullanılan boyuna donatı çapı arttıkça, donatı aderans dayanımının düştüğünü tespit etmişlerdir. Aderansın düşmesinin nedeni olarak da donatı çapının artmasıyla beraber, hem kesit alanı genişleyen donatıya gelen kuvvetin yükselmesi nedeniyle kenetlenmenin düşmesi hem de donatı dış kuvvetlerinin meydana getirdiği ve yarıma çatlaklarına neden olan radyal gerilmelerin yükselmesine bağlanabileceğini belirtmişlerdir. Son yükün deformasyonlarına dikkat edilince, NB'li kirişlerin rijitliğinin KYB'li kirişlere göre daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir [83].

Beycioğlu (2013), yaptığı çalışmada, Belçika Mafsallı Kiriş test metoduyla üretimi gerçekleştirilen KYB'li kirişlerin cam lifli, bazalt lifli ve çelik donatılar ile eğilmede aderans dayanımlarını karşılaştırmak üzere bir araştırma yapmıştır. İki devreli gerçekleştirdiği deneysel çalışmaların ilkinde; 1 adet referans, 6 adet değişik dozajlarda YFC-UK mineral katkı içeren ve 12 adet de mineral katkının yanında agreganın yerine kalsit bulunan toplam 19 değişik karışıma haiz KYB dökmüştür. Dökülen KYB numuneleri üzerinde taze beton deneyleri ile 7, 28 ve 90 gün kürde kalan numunelere sertleşmiş beton deneylerini uygulamıştır. İkinci devrede; bu 19 değişik karışım içinden belirlediği 3 adet değişik beton cinsi ile her biri içinde ayrı ayrı cam lifli, bazalt lifli ve çelik donatılar olacak biçimde tasarlanan 54 tane Belçika Mafsallı Kiriş hazırlamıştır. Hazırlanan kirişleri, 28 ve 90 gün boyunca kürde bekletmiştir. Kür bitiminde numuneler üzerinde yapılan eğilmede aderans deneyleri ile gerek mineral katkıların aderans üzerindeki tesirlerini incelemiş gerekse tek tek tüm beton türleri için bütün donatıların aderans dayanımlarını karşılaştırma imkânı bulmuştur. Kalsiti agreganın yerine ve mineral katkıyı çimentonun yerine kullanmanın, betonların çeşitli özelliklerine pozitif yönde tesiri

olduğu, çimento yerine yüksek miktarda mineral katkı ikamesinin NB'lere göre kabul edilebilir seviyede performans ortaya koyan betonlar üretilebileceğini belirtmişlerdir. Bunun dışında, ilerleyen kür yaşlarında mineral katkıların mekanik özelliklere katkı sağladığını tespit etmiştir. Eğilmede aderans deneylerinde cam lifli donatı numuneleri hem çekme dayanımı hem aderans dayanımı testlerinde en düşük değerleri verdiğini görmüştür. Bazalt lifli donatı numuneleri ise beklenen seviyede çekme dayanımı ve çalışmada dökülen KYB'lerin nervürlü donatıya yakın biçimde iyi derecede aderans dayanımı gösterdiklerini belirtmiştir. Cam ve bazalt lifli donatıların aderans dayanımlarında nervür oluşturma tekniğinin mühim bir parametre olduğu sonucuna varmıştır [63].

Coşkun (2013), yaptığı çalışmada, değişik agrega türleriyle hazırlanan KYB'nin mekanik özelliklerini ve aderans performansını incelemiştir. Bu doğrultuda, agrega türü olarak pomza, kırmataş ve dere agregası, mineral katkı olarak ise 4 değişik oranda UK ve SD kullanarak, 24 adet KYB üretmiştir. İnce malzemeler tek başlarına %10, %15, %20; karışık olarak %10+%10 (toplamı %20) oranlarında numunelerde kullanmıştır. İnce malzemelerin en uygun kullanım miktarlarını betonun gerek mekanik gerekse taze haldeki özellikleri için belirlemeye çalışmıştır. KYB numunelerini eğilmede ve yarmada çekme, basınç ve aderans dayanımı deneylerine tabii tutmuştur. Elde edilen sonuçlar ince malzeme kategorisinde karşılaştırılırsa SD ekli numuneler, bütün agregalar ve kür zamanları içinde en yüksek dayanımına sahip olduğunu belirlemiştir. Agrega türleri açısından bakıldığında kırmataşlı numuneler, bütün kür zamanları, ince malzeme türü ve oranları içinde en yüksek dayanımda olduğunu belirlemiştir. Ayrıca donatı çapı yükseldikçe, aderans dayanımının azaldığını tespit etmiştir [70].

Beycioğlu ve Aruntaş (2014), yaptıkları çalışmada, yüksek dayanımlı betonda kullanılan bazalt lifli donatı aderansını, çelik donatı aderansı ile karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Yüksek dayanımlı beton; 28 günlük kürde 75.06 MPa ve 90 günlük kürde 79.84 MPa basınç dayanımına ulaşmıştır. Bu basınç dayanımlarına sahip olan betonda çelik donatı ve bazalt lifli yapay donatı kullanılmıştır. Deneyler sonucu elde edilen veriler ışığında, Ø20 kenetlenme boyu kullanıldığında, bazalt lifli yapay donatının, çelik donatı gibi tüm kür zamanları bitiminde betondan çekip çıkmadığı tespit edilmiştir [84].

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada mineral katkı malzemesi olarak öğütölmüş pomza kullanılarak üretilen KYH'lerin işlenebilirlik ve kıvamını belirlemek için mini çökme-yayılma deneyi ve mini V hunisi deneyi; mekanik özelliklerini belirleyebilmek için üç noktalı eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Çalışmanın ana konusunu oluşturan KYB'de mineral katkı kullanımının donatı aderans dayanımına etkisini belirlemek için ise pull-out (çekip-çıkarma) deneyi gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucu elde edilen veriler ışığında şu sonuçlara varılmıştır:

- Karışım numunelerine ait bağıl çökme yayılma ve bağıl V hunisi değerlerinin hepsi EFNARC (2002)'ın tavsiye ettiğı aralıklar içinde kalmıştır.
- Numunelerdeki ÖPT oranı arttıkça karışımların su tutma özelliğinin yükseldiğı gözlenmiştir. Bunun sonucunda, EFNARC (2002)'ta belirtilen yayılma çapları sınırları içinde kalabilmek için, karışımların su miktarı arttırılmıştır.
- KYH numunelerinin eğilmede çekme, basınç ve aderans dayanım değerleri, kullanılan pomza tozu oranına göre değişiklik göstermiştir. Genel olarak önce ufak bir artış gösteren dayanım değerleri, pik noktaya ulaştıktan sonra düşüşe geçmişlerdir. Bu durumun meydana gelmesinde hem pomzanın puzolanik bir malzeme olması sebebiyle daha geç dayanım kazanması hem de ince malzeme oranının sabit tutulması amacıyla çimentonun azaltılması neticesinde yaşanan dayanım kaybı gösterilebilir.
- Kirece doymun hale getirilmiş Elazığ şehir şebeke suyu kür havuzunda bekletilen numuneler üzerinde yapılan eğilmede çekme dayanımı sonuçları incelendiğinde, 3 gün kürde kalan numunelerin dayanımında lineer olarak bir düşüş yaşandığı görölmektedir. Çünkü pomzanın henüz puzolanik aktivitesi başlamamıştır. Kontrol numunesi ile %7 ÖPT'li KYH'nin dayanımı karşılaştırıldığında %13 kayıp oluşurken, ÖPT oranı %27'ye çıktığında bu kaybın %34'e çıktığı görölmüştür. 28 gün kürde kalan numunelerin eğilmede çekme dayanımlarına bakıldığında, bütün ÖPT'li numunelerin dayanım değerleri, kontrol numunesini geçmiştir. Pomza tozunun dayanıma etkisinin yavaş yavaş ortaya çıktığı ancak henüz beklenen etkiyi tam olarak yerine getirmediğı görölmektedir. ÖPT oranı

%7 olan KYH'nin kontrol numunesi ile karşılaştırıldığında dayanımın %7, ÖPT oranı %27'ye çıktığında dayanımın %0.2 oranında arttığı belirlenmiştir. 90 gün kürde kalan numunelerin eğilmede çekme dayanımlarına bakıldığında ise, yine 28 gün kürde kalan numunelerde olduğu gibi bütün ÖPT'li numunelerin dayanım değerleri, kontrol numunesini geçmiştir. Fakat buradaki dayanım değerlerinin yüksekliğine bakıldığında, pomzanın daha fazla puzolanik aktivite gösterdiği, bu sayede dayanıma daha fazla katkıda bulunduğu görülmektedir. ÖPT oranı %17 olan KYH'nin kontrol numunesi ile karşılaştırıldığında dayanımın %30, ÖPT oranı %27'ye çıktığında dayanımın %7 oranında arttığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar, puzolanik bir malzeme olan ÖPT'nin dayanım kazanması için uzun bir zamana ihtiyacı olduğunu göstermektedir.

- Kirece doygun hale getirilmiş Elazığ şehir şebeke suyu kür havuzunda bekletilen numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde, 3 gün kürde kalan numunelerin dayanımında lineer olarak bir düşüş yaşandığı görülmektedir. Çünkü pomzanın henüz puzolanik aktivitesi başlamamıştır. Kontrol numunesi ile %7 ÖPT'li KYH'nin dayanımı karşılaştırıldığında %10 kayıp meydana gelirken, ÖPT oranı %27'ye çıktığında bu kaybın %44'e çıktığı belirlenmiştir. 28 gün kürde kalan numunelerin basınç dayanımlarına bakıldığında ise, %12 ÖPT katkılı numunelere kadar hafif bir artış olurken, bundan sonra ki KYH'lerde pomza oranı arttıkça basınç dayanımında bir düşüş yaşanmıştır. Çünkü çimento ile ikame edilerek kullanılan pomzanın dozajı artmış, dolayısıyla eksilen çimento miktarıyla beraber dayanımda da bir azalma meydana gelmiştir. Kontrol numunesiyle %12 ÖPT içeren KYB karşılaştırıldığında basınç dayanımında %2 oranında bir artış görülürken, %27 ÖPT içeren numunelerde ise dayanımda %15 oranında bir kayıp yaşanmıştır. 90 gün kürde kalan numunelerin basınç dayanımları incelendiğinde yine 28 gün kürde kalan numunelerdekine benzer bir tablo karşımıza çıkmıştır. %12 ÖPT içeren numunelere kadar artış gösteren değerler, ardından tekrar düşüşe geçmiştir. Ancak ilerleyen kür zamanlarında pomzanın puzolanik aktivitesini göstererek dayanıma katkı yapması sebebiyle, tüm numunelerin basınç dayanım değerleri kontrol numunesine yaklaşmıştır. Kontrol numunesiyle %12 ÖPT içeren KYB karşılaştırıldığında basınç dayanımında %2 oranında bir artış görülürken, %27 ÖPT içeren numunelerde ise dayanımda %7 oranında bir kayıp

meydana gelmiştir. Bu sonuçlar, puzolanik bir madde olan pomzanın, dayanım kazanma süresinin uzun olduğunu göstermektedir

- Kirece doymun hale getirilmiş Elazığ şehir şebeke suyunda kür havuzunda bekletilen numunelerin nihai basınç dayanımı değerlerine bakıldığında, en iyi sonuçların %12 ÖPT içeren KYH'lere ait olduğu tespit edilmiştir.
- Kirece doymun hale getirilmiş Elazığ şehir şebeke suyu kür havuzunda 28 gün boyunca bekletilen, Ø20 donatılı, 150x150x150 mm'lik küp numunelerin aderans dayanımları incelendiğinde, %12 ÖPT katkılı numunelere kadar ufak bir artış yaşanırken, bundan sonra ki artan ÖPT oranlarında, aderans dayanımında bir azalma olduğu tespit edilmiştir. Kontrol numunesiyle %12 ÖPT içeren KYB karşılaştırıldığında aderans dayanımında %2 oranında bir artış görülürken, %27 ÖPT içeren numunelerde ise aderans dayanımında %35 oranında bir kayıp yaşanmıştır. Pomza oranı %12'in üzerindeki KYH'lerde bu düşüşün yaşanmasının en önemli sebebi, çimento oranının giderek azalmasıdır. Çünkü beton ile donatı arasındaki aderansı esas olarak sağlayan malzeme, bağlayıcı özelliğe haiz olan çimentodur. Çimento azaldığı için beton ile donatı arasındaki yapışma gücü de azalacaktır. Bu da donatının, betondan sıyrılması için üzerine daha az miktarda yük uygulanmasının yeterli olacağı anlamına gelmektedir. Ayrıca çimento yerine ikame edilen pomzanın, henüz puzolanik aktivitesini tam olarak gösteremediği için, mineral katkı olarak eksilen çimentonun açığını kapatamamıştır. Bu da yüksek oranda pomza kullanılan KYH'lerde, aderans dayanımında yaşanan bu düşüşün ikinci sebebidir.
- Kirece doymun hale getirilmiş Elazığ şehir şebeke suyu kür havuzunda bekletilen numunelerin 28 günlük aderans dayanım değerlerine bakıldığında, en iyi sonuçların %12 ÖPT içeren KYH'lere ait olduğu tespit edilmiştir.
- Bütün numunelere ait eğilmede çekme, basınç ve aderans dayanımı değerleri incelendiğinde genel eğilim olarak öncelikle %12 oranına kadar az miktarda bir artış olduğu, ardından gelen numunelerde pomza oranı arttıkça dayanımda lineer olarak bir azalma olduğu belirlenmiştir. %12 oranında pik noktasına ulaşan dayanımlar, bu oranda en yüksek değerleri elde etmiştir. Bu sebeple ÖPT kullanılarak üretilen KYH'ler içinde en uygun pomza oranının %12 olduğu sonucuna varılmıştır.

- 28 gün küre kalan numunelerin basınç dayanımı ile aderans dayanımları incelendiğinde birbirine yakın eğriler ortaya çıktığı g r lm şt r. Bu iki değer arasında yapılan korelasyon sonucu R^2 belirsizlik katsayısı oranı %90.84 çıkmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Baradan, B., 1997. Yapı Malzemesi-II. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, s.174–176, İzmir.
- [2] Yazıcıoğlu, S., Bozkurt, N., 2006. Pomza ve Mineral Katkılı Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi Cilt 21, No 4, 675-680.
- [3] Ozawa, K., and Maekawa, K., 1989. “Development of high performance concrete based on durability design of concrete structure”, Proceeding of the Second East-Asia and Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-2), Vol.1,pp. 445-450.
- [4] Okamura, H. and Ouchi, M., 2003. Self compacting concrete. Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 1, No. 1, pp. 5-15.
- [5] Topçu, İ.B., Bilir, T. ve Baylavlı, H., 2008. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Özellikleri, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi C.XXI, S.1, Eskişehir.
- [6] Yaman, İ., Ö., Şahmaran, M., 2005. “Kimyasal ve Mineral Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Harçlar”, Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, Ankara, 24-25 Mart, s. 137-146.
- [7] Brouwers, H.J.H., Radix, H.J., 2005. Self Compacting Concrete, Teorical and experimental of self-levelling concrete, Cement and Concrete Research,35, 2, 2116-2136.
- [8] Aruntaş, H.Y., Dayı, M., Tekin, İ., Birgül, R., Şimşek, O., 2007. Kendiliğinden Yerleşen Beton Özelliklerine Atık Mermer Tozunun Etkisi, 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyum ve Sergisi, TMMOB, Ankara, 12-13 Nisan, s. 173-180.

[9] Özkul, M.H., 2002. Beton Teknolojisinde Bir Devrim: Kendiliğinden Sıkışan Beton, THBB Hazır Beton Dergisi, Sayı 50, ss. 64-71.

[10] Gürses, E., 2013. Deniz Suyunun Farklı Tip ve Dozajdaki Mineral Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Harçların Mekanik ve Durabilite Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

[11] <http://www.thbb.org/Content.aspx?ID=27>, 28 Eylül 2014.

[12] Ekinci, C.E., 1995. Antalya Etibank Elektrometalurji İşletmesi Silis Dumanlarının Çimento ve Betonda Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.

[13] Özturan, T., 1991. Beton Üretiminde Uçucu Kül Kullanımının İrdelenmesi. Türkiye İnşaat Mühendisliği XI. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, s: 149-158, İstanbul.

[14] Sevim, U.K., 2003. Afşin-Elbistan Uçucu Külünün Beton ve Çimento Katkısı Olarak Kullanılabilirliğinin Çimento Hamuru ve Harçların Üzerinde Yapılan Deneylerle Araştırılması. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.

[15] Açıkgenç, M., Karataş, M., Ulucan, Z.Ç., 2013. Elazığ Yöresine Ait Atık Tuğla ve Kireç Taşı Tozunun Kendiliğinden Yerleşen Harcın Mühendislik Özelliklerine Etkisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi, Cilt 19, Sayı 6, Sayfalar 249-255.

[16] Dolgun, O., 2010. Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Öğütülmüş Pomza Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.

[17] <https://www.ponzablok.com.tr>, 15 Ekim 2014.

- [18] Yaşar, E., Erdoğan, E., 2005. Asidik (Nevşehir) ve Bazik (Osmaniye) Pomzaların Yapı Sektöründe Değerlendirilmesi, Türkiye 19. Uluslar arası Madencilik Kongresi ve Fuarı-IMCET 2005, TMMOB Maden Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, 409-418.
- [19] Çankırı, O., Sancak, E., Serin, G., 1998. Pomzataşı Hammaddesinin Kullanıldığı Sektörler, SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 3 (1), 59-69, Isparta.
- [20] TS 500, 2003. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [21] Ersoy, U., 1985. Betonarme, Evrim Yayınevi.
- [22] Bingöl, A.F., Gül, R., 2009. Donatı-Beton Aderansı, Yüksek Sıcaklıkların Beton Dayanımına ve Aderansa Etkileri Konusunda Bir Derleme, TÜBAV Bilim Dergisi, 2 (2), 211-230, Ankara.
- [23] Karataş, M., 2007. Mineral Katkı Dozajının ve Türünün Kendiliğinden Sıkışan Betondaki Donatı Aderansına Etkisi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [24] Gesoğlu, M., Güneyisi, E., Özbay, E., 2007. Mineral Katkılar Kullanılarak Elde Edilen Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri, 7. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, 28-30 Kasım, s. 87-98.
- [25] Okamura, H., Ouchi, M., 1999. Self Compacting Concrete Development, Present and Future, Proceeding of 1st International Rilem Symposium on Self Compacting Concrete, pp. 3-14, Sweden.
- [26] Walraven, J., 2003. Structural Aspects of Self Compacting Concrete, Proceeding of 3rd International Rilem Symposium on Self Compacting Concrete, Iceland.

- [27] Ouchi, M., 1998. History of Development and Applications of Self-Compacting Concrete in Japan, Proceedings of the First International Workshop on Self-Compacting Concrete.
- [28] Bouzoubaa, N., and Lachemi, M., 2001. Self-Compacting Concrete Incorporating High Volumes of Class F Fly Ash Preliminary Results, Cement Concrete Research, Vol. 31, pp. 413-420
- [29] EFNARC, 2002. "Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete", Association House, 99 West Street, Farnham, Surrey GU9 7EN, UK.
- [30] EFNARC, 2005. "The European Guidelines for Self-Compacting Concrete", UK.
- [31] Özkul, M.H., 2014. Kendiliğinden Yerleşen Betonlar, Beton 2014 Ankara Fuarı, Ankara, 17-19 Nisan, s. 76-95.
- [32] Rols, S., Ambroise, J., Pera, J., 1999. Effect of Different Viscosity Agents on The Properties of Self-Leveling Concrete, Cement and Concrete Research, 29, 2, 261-266.
- [33] Yahia, A., Tanimura, M., Shimoyama, Y., 2005. Rheological Properties of Highly Flowable Mortar Containing Limestone Filler-Effect of Powder content and W/C Ratio, Cement and Concrete Research, 35, 2, 532-539.
- [34] Okamura, H., 1997. Self-Compacting High-Performance Concrete, Concrete International, Vol.19, No:7, pp. 50-54.
- [35] Sağlam, A.R., Parlak, N., Doğan Ü.A., Özkul M. H., 2004. Kendiliğinden Yerleşen Beton ve Katkı-Çimento Uyumu, Beton 2004 Kongre Bildiri, İstanbul.
- [36] Lachemi, M., Hossain, K.M.A., Lambors, V., and Bouzoubaa, N., 2003. Development of Cost Effective Self Consolidating Concrete Incorporating Fly Ash, Slag Cement, or Viscosity Modifying Admixtures, ACI Material Journal, Vol. 100, No:5, pp. 419-425.

- [37] Ghezal, A., and Khayat, K.H., 2002. Optimizing Self Consolidating Concrete with Limestone Filler by Using Statistical Factorial Design Methods, ACI Material Journal, Vol. 99, No:3, pp. 264-272.
- [38] TS 706 EN 12620, 2003. Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [39] TS EN 206-1, 2002. Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [40] Gürses, O., 2008. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri ve Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [41] ASTM C 618, 1991. “Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete”, ASTM, Philadelphia, USA.
- [42] Aruntaş, H.Y., 1996. Diatomitlerin Çimentolu Sistemlerde Puzolanik Malzeme Olarak Kullanılabilirliği, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 1-55.
- [43] Gündüz, L., Sarıışık, A., Davraz, M., Uğur, İ., Çankıran, O., 1998. Pomza Teknolojisi Cilt-1. SDÜ Yayını, S. 285-288, Isparta.
- [44] Devlet Planlama Teşkilatı, 2001. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri III (pomza-perlit-vermikülit-flogopit-genleşen killeri) Çalışma Grubu Raporu. Ankara.
- [45] TS 3234, 1978. Bimsbeton Yapım Kuralları, Karışım Hesabı ve Deney Metotları, Ankara.
- [46] Şengün, N., 2004. Pomzanın Hafif Harç Yapımında Endüstriyel Hammadde Olarak Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

- [47] Shehata, M.H., and Thomas, M.D.A., 2000. The Effect of Fly Ash Composition on the Expansion of Concrete due to Alkali-Silica Reaction, Cement and Concrete Research, Vol. 30, pp. 1063-1072.
- [48] Ceylan, H., 2005. Farklı Pomza Agregaları Türlerinden Elde Edilen Hafif Betonun Sıcaklık Etkisindeki Karakteristiği, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [49] Reyhanoğlu, M., 1988. Pomza ve Kullanım Alanları, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [50] Öz, E., 2007. Nevşehir Dolaylarında Yüzeyleyen Asidik Pomzanın Hafif Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [51] DPT, 1996. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri Çalışma Grubu Raporu: Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri, Cilt 2 (sf. 1-51), Ankara.
- [52] Çankıran, O., 1998. Pomza Agregalı Hafif Betonun Mekanik Özellikleri ve Kimyasal Katkılarla Dayanımının Arttırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [53] Topçu, İ.B., 1997. Semi-Lightweight Concretes Produced by Volcanic Slags, Cement and Concrete Research, Vol. 27, pp. 15-21.
- [54] Al-Khaiat, H., Haque, M.N., 1998. Effect of Initial Curing on Early Strength and Physical Properties of Lightweight Concrete, Cement and Concrete Research, Vol. 28, pp. 859-866.
- [55] Yazıcıoğlu, S., Bozkurt, N., 2005. Pomza Taşı ile Elde Edilen Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi 2005, s. 153-157, Isparta, Türkiye.

- [56] Demirel, B., Bektaş-Ekici, B., 2008. Öğütülmüş Pomzanın Beton Basınç Dayanımına Etkisinin Yapay Sinir Ağı ile Belirlenmesi, e-Journal of New World Sciences Academy Natural and Applied Sciences, Vol. 3 (1), pp. 20-29.
- [57] Mehta, P.K., 1981. Studies on Blended Portland Cements Containing Santorin Earth, Cement and Concrete Research, Vol. 4, pp. 507-518.
- [58] Khandaker, M., Hossain, M.A., 2004. Properties of Volcanic Pumice Based Cement and Lightweight Concrete, Cement and Concrete Research, Vol. 34 (2004), pp. 283-291.
- [59] Yazıcıoğlu, S., Demirel, B., 2006. Puzolanik Katkı Maddesi Olarak Kullanılan Elazığ Yöresi Pomzasının İlerleyen Kür Yaşlarında Betonun Basınç Dayanımına Etkisi, Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 18 (3), s. 367-374, Elazığ.
- [60] Benli, A., 2007, Kendiliğinden Sıkışan Betondaki Donatı Aderansının Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [61] Arda, T., 1968. Betonarmede Aderans Konusunda Bir Derleme, İTÜ Mimarlık Fakültesi Yayını, İstanbul.
- [62] Emiroğlu, M., 2012. Lastik Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [63] Beycioğlu, A., 2013. Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Beton ile Donatı Aderansı İlişkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [64] ACI 408.2R-92, State of the Art Report on Bond Under Cyclic Loads Reported by ACI Committee 408., ACI, Michigan, 1992.
- [65] Bond Action and Bond Behaviour of Reinforcement State of the Art Report. CEB Bulletin d'Information No. 151, December, 1981.

[66] İşsever, F., 2013. Birden Fazla Mineral Katkı İçeren, Kendiliğinden Yerleşen Harcın Dayanım, Dayanıklılık ve Viskozite Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

[67] Ersoy, U. ve Özcebe, G., 2001. Betonarme: Temel İlkeler TS 500 (2000) ve Türk Deprem Yönetmeliğine (1998) Göre Hesap, Genişletilmiş Yeni Baskı, Evrim Yayınevi, İstanbul.

[68] Desnerck, P., De Schutter, G., Taerwe, L., 2010. Bond Behaviour of Reinforced Bars in SCC: Experimental Determination by Using Beam Tests, Materials and Structures, Vol. 43, pp. 53-62.

[69] Bazant, Z.P. and Planas, J., 1998. Fracture and Size Effect in Concrete and Other Quassibrittle Materials, CRC, 616.

[70] Coşkun, A., 2013. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Mekanik Özellikleri ve Aderans Dayanımı Üzerinde Agrega Tipinin Etkisi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

[71] Karakoç, C., 1985. Aderans Mekanik Etkileşim Olayı, İTÜ Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi.

[72] http://tur.sika.com/tr_Sika%ViscoCrete%Hi-Tech_36, Yüksek Performanslı Hiper Akışkanlaştırıcı Beton Katkısı, Sika Yapı Kimyasalları A.Ş. Teknik Bilgi Föyü.

[73] Açıkel, H., Günaydın, M., 2007. Nevşehir Bims Agregasından Kendiliğinden Yerleşen Hafif Beton Üretilmesi, 7. Ulusal Beton Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, 28-30 Kasım, s. 145-154.

[74] Gönen, T., 2009. Kendiliğinden Yerleşen Pomza ve Perlit Agregalı Hafif Harçların Mekanik Özellikleri, E-Journal of New World Sciences Academy, 4 (2) 186-194.

[75] Gönen, T., Yazıcıoğlu, S., 2010. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt: 25, No: 3, 459-467, Ankara.

[76] Emiroğlu, M., Köstek, N., Ballı, E., Altok, A., 2011. Kendiliğinden Yerleşen Harçların Taze Haldeki Özelliklerine Mineral Katkıların Etkisi, E-Journal of New Sciences Academy, Vol: 6 (4), pp. 1344-1350.

[77] Demirel, B., Keleştemur, O., 2010. Doğal Pomza Kullanılarak Üretilen Betonun Yüksek Sıcaklık Altındaki Davranışı, International Sustainable Buildings Symposium-ISBS, Ankara, May 26-28, 117-120.

[78] Demirel, B., Keleştemur, O., 2011. Yüksek Sıcaklığa Maruz Pomza ve Silis Dumanı Katkılı Betonların Mekanik ve Fiziksel Özelliklerine Kür Yaşının Etkisi, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7(1), 1-13.

[79] Tapan, M., Özvan, A., Erik, O., 2012. Van Gölü Kuzeyindeki Asidik Pomza ve Skoryanın Betonda Katkı Olarak Kullanılabilirliği, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 17 (2), 108-117, Van.

[80] Zhu, W., Sonebi, M., Bartos, P.J.M., 2004. Bond and Interfacial Properties of Reinforcement in SCC, Materials and Structures, Vol. 37, Issue 7, pp. 442-448.

[81] Wang, G., 2005. Bond Behaviors of Self Compacting Concrete, SCC'2005-China: 1st International Symposium on Design, Performance and Use of Self Consolidating Concrete, pp. 465-471, Eds. Yu, Z., Shi, C., Khayat, K.M., Xie, Y., RILEM Publications SARL, France.

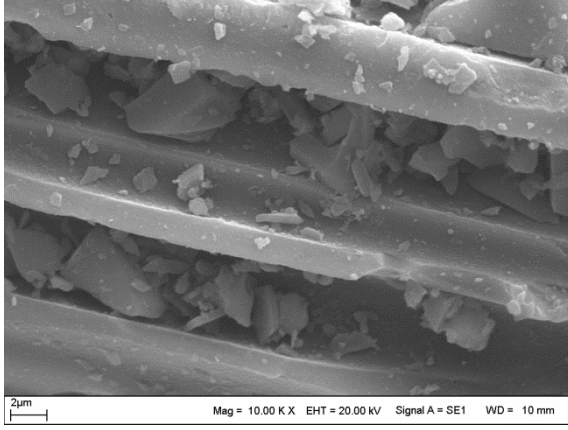
[82] Filho, F.M.A., El Debs, M.K., El Debs, A.L.H.C., 2008. Bond-Slip Behaviour of SCC and Vibrated Concrete Using Pull-Out and Beam Tests, Materials and Structures, Vol. 41, Issue 6, pp. 1073-1089.

[83] Benli, A., Calayır, Y., 2012. Betonarme Kirişlerde Çatlak İncelemesi-Nümerik Çalışma, Türk Doğa ve Fen Dergisi, 1 (2), 78-83, Bingöl.

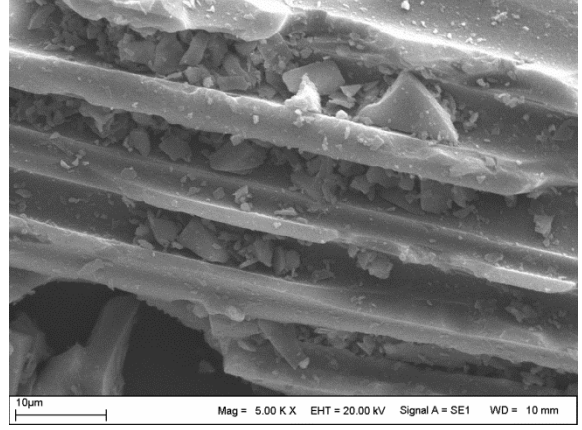
[84] Beycioğlu, A., Aruntaş, Y., 2014. Bond Performance of Basalt Fiber Reinforcing Bar Embedded in High Strength Concrete, *Journal of Engineering and Technological Sciences*, Vol. 2, No. 1, pp. 83-96.

EKLER

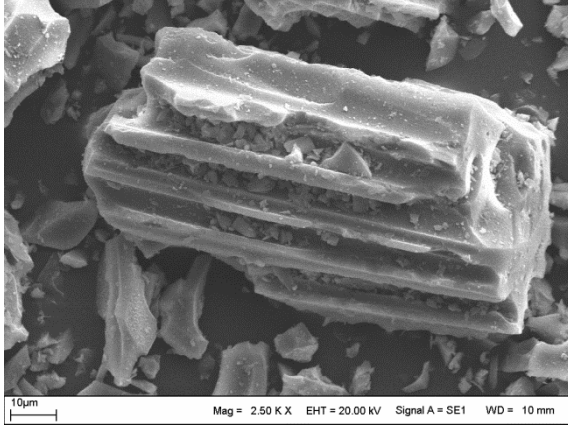
Ek Şekil 5.3. ÖPT'nin SEM Fotoğrafları



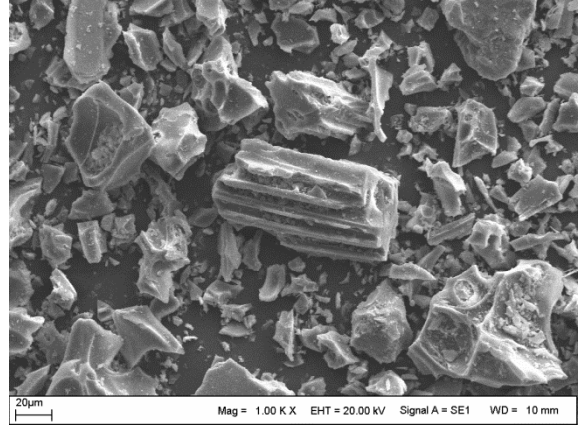
2 µm Mag = 10.00 K X



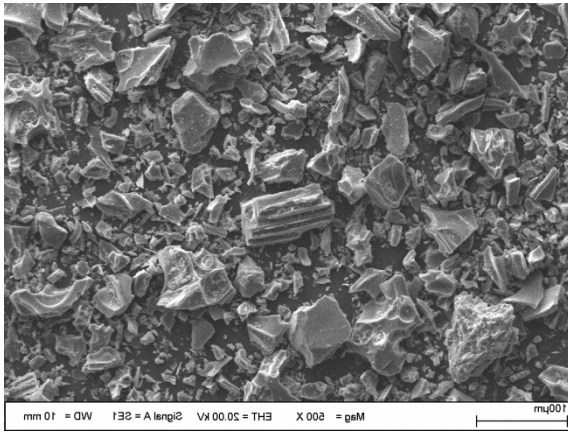
10 µm Mag = 5.00 K X



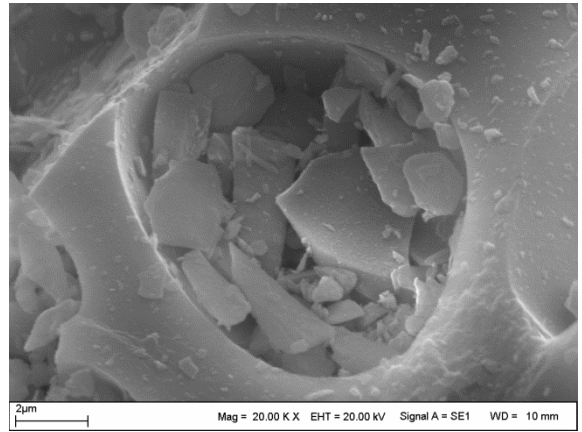
10 µm Mag = 2.50 K X



20 µm Mag = 1.00 K X

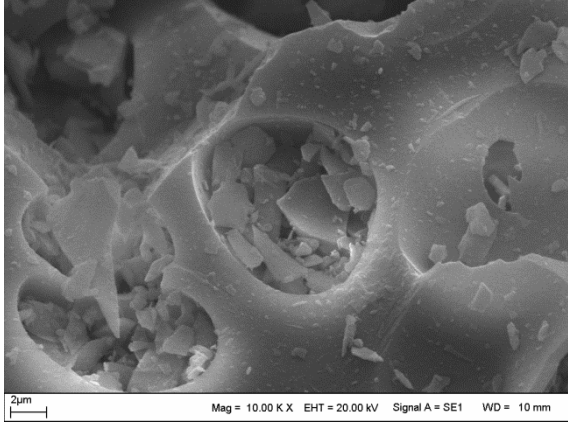


100 µm Mag = 500 X

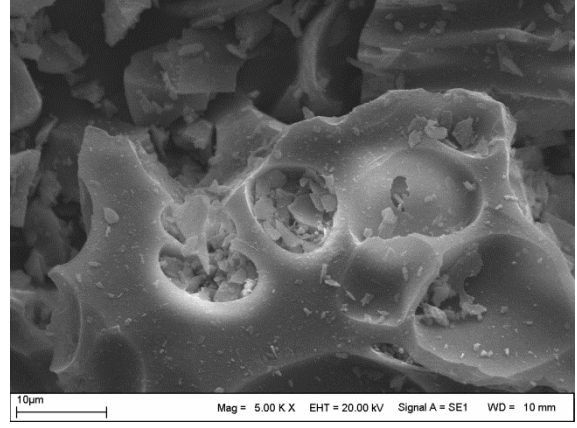


2 µm Mag = 20.00 K X

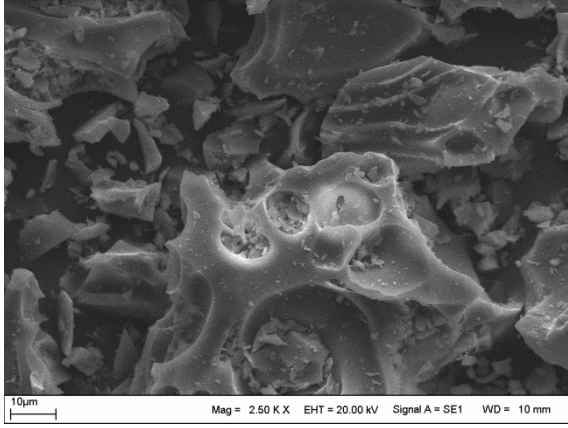
Ek Şekil 5.3. (Devam) ÖPT'nin SEM Fotoğrafları



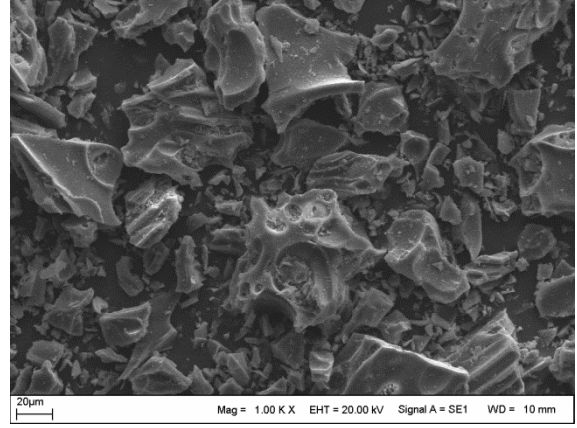
2 µm Mag = 10.00 K X



10 µm Mag = 5.00 K X



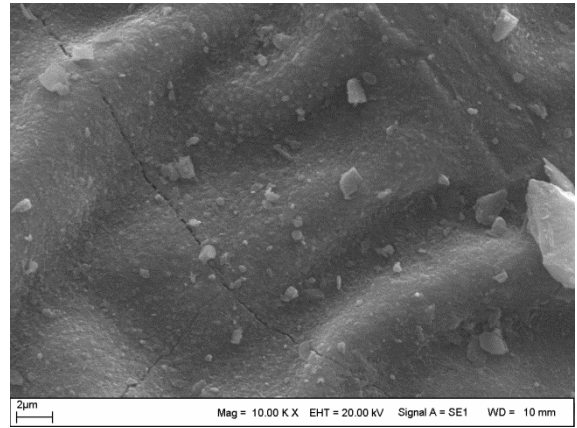
10 µm Mag = 2.50 K X



20 µm Mag = 1.00 K X

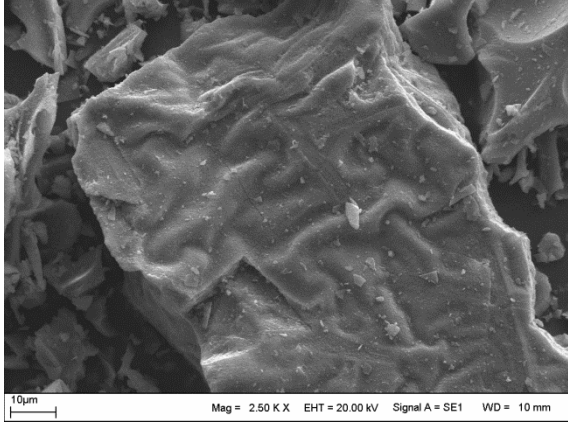


1 µm Mag = 30.00 K X

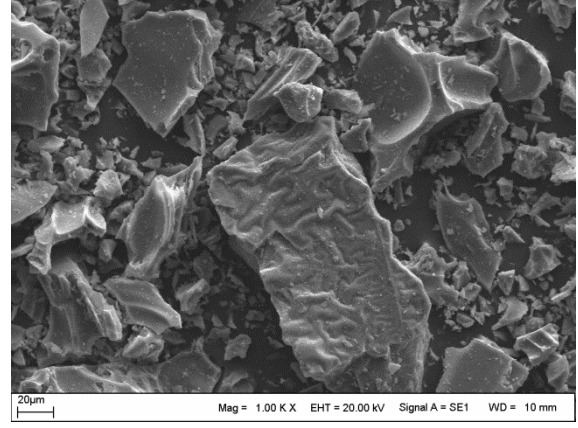


2 µm Mag = 10.00 K X

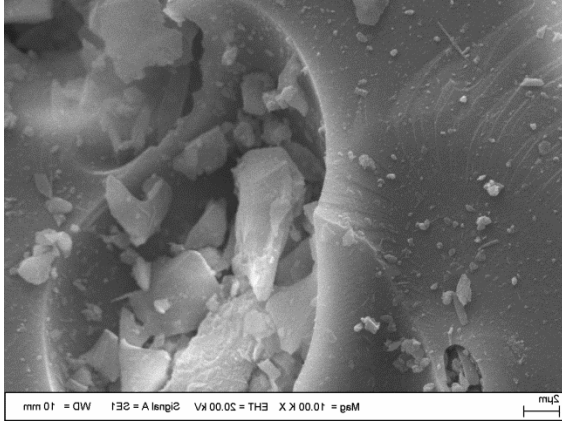
Ek Şekil 5.3. (Devam) ÖPT'nin SEM Fotoğrafları



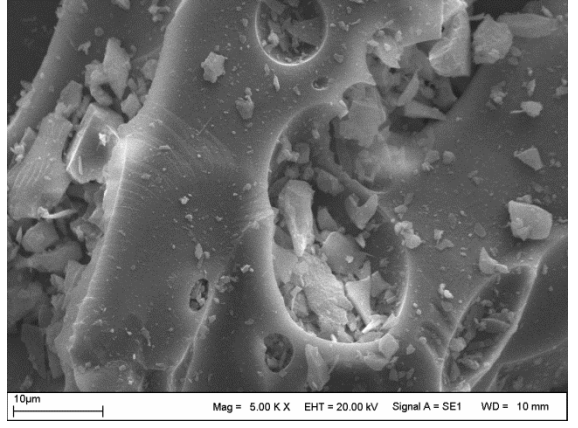
10 µm Mag = 2.50 K X



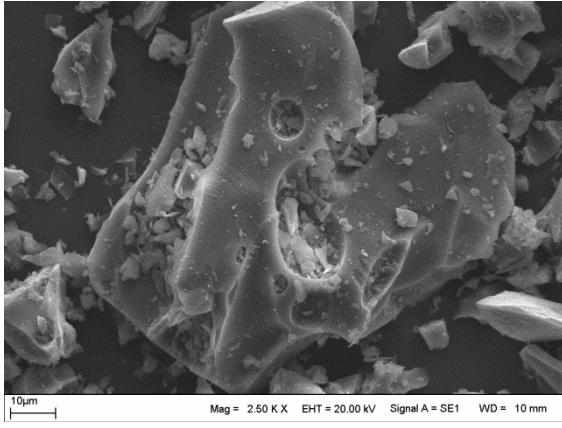
20 µm Mag = 1.00 K X



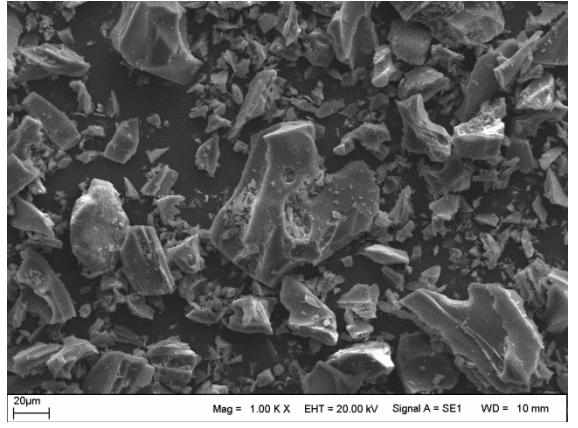
2 µm Mag = 10.00 K X



10 µm Mag = 5.00 K X

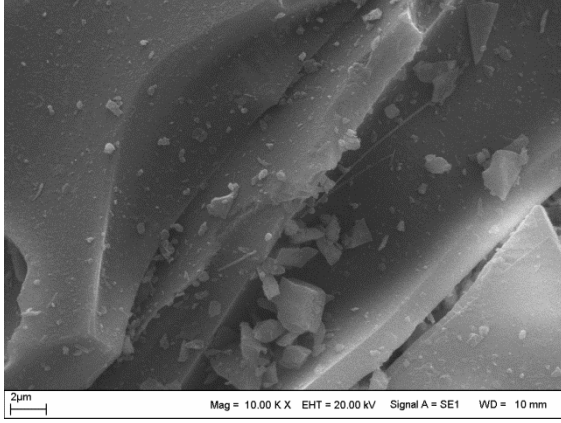


10 µm Mag = 2.50 K X

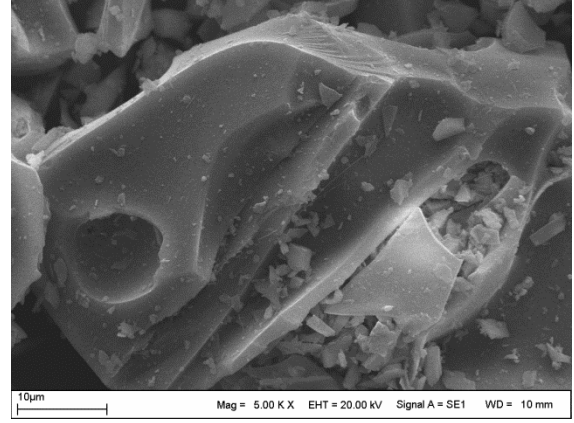


20 µm Mag = 1.00 K X

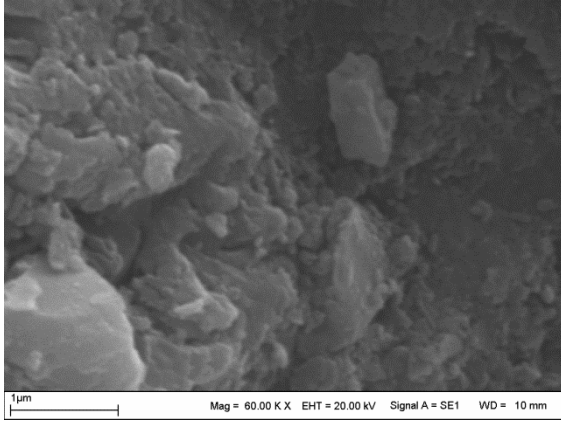
Ek Şekil 5.3. ÖPT'nin SEM Fotoğrafları



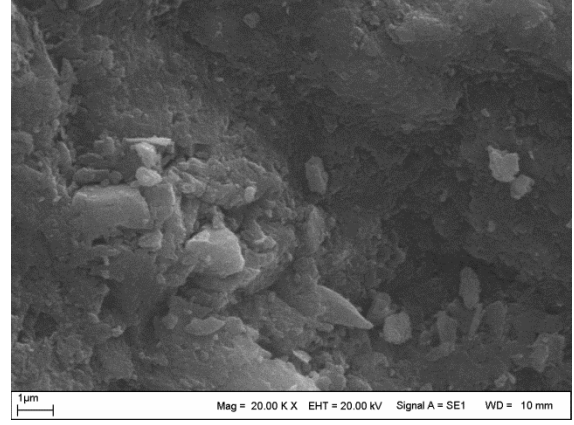
2 µm Mag = 10.00 K X



10 µm Mag = 5.00 K X



1 µm Mag = 60.00 K X



1 µm Mag = 20.00 K X

ÖZGEÇMİŞ

Muhammet Veysel ŞAŞTIM 1989 yılında Elazığ'da doğdu. İlköğrenimini Kovancılar İlköğretim Okulunda, orta öğrenimini Vali Lütfullah Bilgin İlköğretim Okulunda, lise öğrenimini Ahmet Kabaklı Anadolu Öğretmen Lisesinde tamamladı. 2007 yılında öğrenimine başladığı Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden 2012 yılında mezun oldu. 2012-2013 yılları arasında MRM Turz. İnş. Taah. San. Ve Tic. Ltd. Şti.'de çalıştı. 2013 yılı Güz Döneminde Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitime hak kazanmıştır. 2014 yılında girmiş olduğu KPSS neticesinde Elazığ 1.'si, sınava giren inşaat mühendisleri arasında Türkiye 1.'si ve genel sıralamada Türkiye 11.'si oldu. Kasım 2014'ten beri İller Bankası A.Ş. Elazığ Bölge Müdürlüğün bünyesinde kontrol mühendisi olarak görev yapmaktadır.