T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI



KIRŞEHİR YÖRESİ ATIK MERMER TOZU KATKILI KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HAFİF BETONLARIN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

CELAL ÖZDEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DR. ÖĞRETİM ÜYESİ HAKAN ÇAĞLAR

HAZİRAN - 2021
KASTAMONU

TEZ ONAYI

CELAL ÖZDEMİR tarafından hazırlanan "**KIRŞEHİR YÖRESİ ATIK MERMER TOZU KATKILI KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HAFİF BETONLARIN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**" adlı tez çalışmasının savunma sınavı **08.06.2021** tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Dr.Öğr. Üyesi Hakan ÇAĞLAR Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Prof.Dr.Ahmet Celal APAY Düzce Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Dr.Öğr. Üyesi Adem AHISKALI Kastamonu Üniversitesi	.....

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Enstitü Müdürü Prof. Dr. İzzet ŞENER .....

TAAHHÜTNAME

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu; ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.

Celal ÖZDEMİR

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIRŞEHİR YÖRESİ ATIK MERMER TOZU KATKILI KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HAFİF BETONLARIN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

CELAL ÖZDEMİR

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
DANIŞMAN:DR. ÖĞRETİM ÜYESİ HAKAN ÇAĞLAR

Bu tez çalışmasında; doğal kaynaklarımızdan olan Nevşehir yöresine ait asidik pomza agrega olarak, endüstriyel atık olan ve Kırşehir yöresinden temin edilen atık mermer tozu farklı oranlarda (%0, %5, %10 ve %15) çimento ikame malzemesi olarak kullanılması sonucu kendiliğinden yerleşen hafif beton üretimi hedeflenmiştir. Çalışma sonucunda üretilen numuneler fiziksel ve mekanik açıdan kendiliğinden yerleşen hafif betona göre daha üstün özellikli bir yapı malzemesi elde edilmesi amaçlanmıştır.

Bu bağlamda, kendiliğinden yerleşen hafif betonların taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri incelenmiştir. Taze beton özelliklerini belirlemek için; taze beton birim hacim ağırlık, çökme-yayılma, V hunisi, L kutusu ve U kutusu deneyi ve taze beton birim hacim ağırlık deneyi yapılmıştır. Sertleşmiş beton özelliklerini belirlemek için ise, su emme, kuru birim ağırlık deneyi, basınç dayanımı deneyi, yarmada çekme dayanımı deneyleri uygulanmıştır.

Çalışmada sonuç olarak; %15 oranında mermer tozu kullanımının uygun olacağı kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde kullanılmasında herhangi bir sakınca olmadığı tespit edilmiştir. Mermer tozu gibi endüstriyel atıkların beton üretiminde kullanılması hem çevre kirliliği hem de sürdürülebilirlik açısından önem taşımaktadır.

ANAHTAR KELİMELER: Kendiliğinden yerleşen hafif beton, pomza, mermer tozu, Kırşehir

Haziran 2021, 61 Sayfa

ABSTRACT

MSC THESIS

INVESTIGATION OF THE ENGINEERING PROPERTIES OF SELF-COMPACTING LIGHTWEIGHT CONCRETE WITH WASTE MARBLE DUST ADDITIVE IN KIRŞEHIR REGION

CELAL ÖZDEMİR

KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING
SUPERVISOR:ASSİST. PROF. HAKAN ÇAĞLAR

In this thesis study; As acidic pumice, aggregate belonging to Nevşehir region, which is one of our natural resources, it is aimed to produce self-compacting lightweight concrete as a result of using waste marble powder, which is industrial waste and obtained from Kırşehir region, as cement replacement material in different ratios (0%, 5%, 10% and 15%). The samples produced as a result of the study were aimed to obtain a building material with a superior physical and mechanical properties compared to self-compacting lightweight concrete.
In this context, the properties of self-compacting lightweight concretes in fresh and hardened form were investigated. To determine the fresh concrete properties; fresh concrete unit weight, slump-spreading, V funnel, L box and U box test and fresh concrete weight per unit of volume test were performed. In order to determine the hardened concrete properties, water absorption, dry unit weight test, compressive strength test, tensile split strength tests were applied.
As a result of the study; It has been determined that the use of 15% marble powder is suitable for the production of self-compacting lightweight concrete. The use of industrial wastes such as marble dust in concrete production is important for both environmental pollution and sustainability.

KEYWORDS: Self-compacting lightweight concrete, pumice, marble powder, Kırşehir

June 2021, 61 Page

TEŞEKKÜR

Yapmış olduğum yüksek lisans tez çalışmamın konusu, deneysel çalışmaların yapılması ve yazım aşamalarında bilgi, tecrübe ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım Sayın Hocam Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÇAĞLAR'a en içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Tez çalışmasının her aşamasında emeği geçen bütün değerli hocalarıma ve yüksek lisans eğitimim sürecince bilgi ve tecrübelerini aktaran hocam Dr. Öğr. Üyesi Arzu ÇAĞLAR'a teşekkür ederim. Eğitim hayatım boyunca beni destekleyen ve yanımda olan kıymetli aileme sonsuz teşekkürlerimle…

CELAL ÖZDEMİR

Kastamonu, 2021

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ ONAYI ..... **ii**
TAAHHÜTNAME ..... **iii**
ÖZET ..... **iv**
ABSTRACT ..... **v**
TEŞEKKÜR ..... **vi**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **ix**
TABLOLAR DİZİNİ ..... **x**
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... **xi**
1. GİRİŞ **1**
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **5**
3. MATERYAL VE METOT **10**
3.1 Materyal 10
3.1.1 Pomzanın Tanımı ve Özellikleri 10
3.1.2 Pomzanın Dünya'da ve Türkiye'de Rezerv Durumu 13
3.1.3 Pomzanın Kullanım Alanları 16
3.1.3.1 İnşaat sektöründe kullanımı 17
3.1.3.2 Tekstil sektöründe kullanımı 17
3.1.3.3 Tarım sektöründe kullanımı 17
3.1.3.4 Kimya sektöründe kullanımı 18
3.1.3.5 Diğer sektörlerde kullanımı 18
3.1.4 Mermer ve Atık Mermer Tozu 19
3.1.4.1 Mermerlerin sınıflandırılması 21
3.1.4.1.1 Kristal tane boyutuna göre sınıflandırma 21
3.1.4.1.2 Jeolojik kökenlerine göre sınıflandırma 21
3.1.4.1.3 Bileşim oranına göre mermerler 22
3.1.4.1.4 Yapısına göre sınıflandırma 22
3.1.4.1.5 Ekonomik şartlarına göre sınıflandırma 23
3.1.4.1.6 Rengine göre sınıflandırma 23
3.1.4.2 Mermerlerin kullanım alanları 23
3.1.4.2.1 İnşaat sektöründe kullanımı 23
3.1.4.2.2 Mezarcılık 24
3.1.4.2.3 Heykeltraşlık 24
3.1.4.2.4 Süs eşyası yapımı ve dekorasyon 24
3.1.4.3 Mermer tozu 24
3.1.4.4 Mermer tozu atıklarının çevresel etkileri 25
3.1.4.5 Mermer tozu atıklarının kullanım alanları 26
3.1.4.5.1 İnşaat sanayinde kullanımı 26
3.1.4.5.2 Çimento imalat sanayinde kullanımı 27
3.1.4.5.3 Kâğıt sanayinde kullanımı 27
3.1.4.5.4 Plastik sanayinde kullanımı 27
3.1.4.5.5 Seramik sanayinde kullanımı 27
3.1.4.5.6 Cam sanayinde kullanımı 27
3.1.4.5.7 Tarım, gübre ve yem sanayinde kullanımı 28

3.1.4.5.8 Boya sanayinde kullanımı 28
3.1.4.5.9 Kimya sanayinde kullanımı 28
3.1.5 Çimento 29
3.1.6 Kimyasal Katkı Malzemesi 30
3.1.7 Karışım Suyu 30
3.2 Metot 30
3.2.1 Kendiliğinden Yerleşen Hafif Beton Numunelerinin Üretilmesi 30
3.2.2 Taze Beton Deneyleri 32
3.2.2.1 Çökme-yayılma deneyi 32
3.2.2.2 V-hunisi deneyi 34
3.2.2.3 U-kutusu deneyi 35
3.2.2.4 L-kutusu deneyi 35
3.2.3 Sertleşmiş Beton Deneyleri 36
3.2.3.1 Fiziksel deneyler 36
3.2.3.1.1 Su emme deneyi 36
3.2.3.1.2 Kuru birim ağırlık 37
3.2.3.2 Mekanik deneyler 37
3.2.3.2.1 Basınç dayanımı deneyi 37
3.2.3.2.2 Yarmada çekme deneyi 37
4. BULGULAR 39
4.1 Taze Beton Deney Sonuçları 39
4.1.1 Çökme-Yayılma Deney Sonuçları 39
4.1.2 V-Hunisi Deney Sonuçları 41
4.1.3 U-Kutusu Deney Sonuçları 42
4.1.4 L-Kutusu Deney Sonuçları 43
4.1.5 Taze Beton Birim Hacim Ağırlık Deney Sonuçları 44
4.2 Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları 45
4.2.1 Fiziksel Deney Sonuçları 45
4.2.1.1 Su emme deney sonuçları 45
4.2.1.2 Kuru birim hacim ağırlık deney sonuçları 46
4.2.2 Mekanik Deney Sonuçları 46
4.2.2.1 Basınç dayanımı deney sonuçları 46
4.2.2.2 Yarmada çekme dayanımı deney sonuçları 48
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 49
KAYNAKLAR 51
ÖZGEÇMİŞ 61

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1 Nevşehir pomzasının makro görünümü (örnek boyu 7 cm) 10
Şekil 3.2 a) Asidik pomza ve b) Bazik pomza örnekleri 12
Şekil 3.3 Pomza agregasının gözenekli yapısı 12
Şekil 3.4 Dünya pomza rezervi 14
Şekil 3.5 Mermer minerali 20
Şekil 3.6 KYHB numunelerinin üretiminde kullanılan mermer tozu 29
Şekil 3.7 Deneylerde kullanılan çimento 29
Şekil 3.8 Karışımın kalıplara dökülmesi 31
Şekil 3.9 Numunelerin kür havuzunda kürlenmesi 32
Şekil 3.10 Yayılma deneyin tipik tasarımı ve boyutları 33
Şekil 3.11 V- Kutusu Deney Aparatı 34
Şekil 3.12 U- Kutusu Deney Aparatı 35
Şekil 3.13 L- Kutusu Deney Aparatı 36
Şekil 3.14 KYHB'de yarmada çekme dayanımı deney düzeni 38
Şekil 4.1 KYHB numunelerinin çökme-yayılma deney sonuçları 40
Şekil 4.2 KYHB numunelerinin yayılma süresi (T500 süresi) deney sonuçları 41
Şekil 4.3 KYHB numunelerinin V- Hunisi deney sonuçları 42
Şekil 4.4 KYHB numunelerinin L- Kutusu deney sonuçları 43
Şekil 4.5 KYHB numunelerinin taze beton BHA deney sonuçları 44
Şekil 4.6 KYHB numunelerinin su emme deney sonuçları 45
Şekil 4.7 KYHB numunelerinin kuru birim hacim ağırlık deney sonuçları 46
Şekil 4.8 KYHB numunelerinin basınç dayanımı deney sonuçları 47
Şekil 4.9 KYHB numunelerinin yarmada çekme dayanımı deney sonuçları 48

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 3.1 Pomzanın kimyasal bileşeni 11
Tablo 3.2 Türkiye'de bulunan pomzaların fiziksel özellikleri..... 13
Tablo 3.3 Ülkemizdeki pomza kayaçlarının genel kimyasal özellikleri 13
Tablo 3.4 Farklı ülkelerde tahmini pomza üretimi..... 14
Tablo 3.5 Türkiye pomza rezervi 16
Tablo 3.6 Pomzanın kullanım alanlarına göre oransal dağılımı 16
Tablo 3.7 Pomza agregaların kimyasal analizi 19
Tablo 3.8 MT'ye ait kimyasal özellikler..... 28
Tablo 3.9 CEM I 42,5 R kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri..... 30
Tablo 3.10 KYHB Karışım reçetesi..... 31
Tablo 3.11 KYB'ler için çökme-yayılma sınıflandırılması 34
Tablo 3.12 KYB'ler için T500 sınıflandırılması..... 34
Tablo 3.13 KYHB'ler için V-hunisi sınıflandırılması 35
Tablo 4.1 KYHB numunelerinin taze beton deney sonuçları 39

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

CO_2	**:** Karbondioksit
$MgSO_2$	**:** Manyezit
H_2SO_4	**:** Sülfirük Asit
SiO_2	**:** Silisyum
Al_2O_3	**:** Alüminyum oksit
$CaCO_3$	**:** Kalsiyum karbonat

Kısaltmalar

KYB	**:** Kendiliğinden yerleşen beton
KYHB	**:** Kendiliğinden yerleşen hafif beton
AMT	**:** Atık mermer tozu
SD	**:** Silis dumanı
DPT	**:** Devlet planlama teşkilatı
MT	**:** Mermer tozu
AR-GE	**:** Araştırma geliştirme
SA	**:** Süperakışkanlaştırıcı
dk	**:** Dakika
mm	**:** Milimetre
TS	**:** Türk standartları
Kg	**:** Kilogram
EFNARC	**:** Avrupa Uzman Yapı Kimyasalları ve Beton Sistemleri Federasyonu

1. GİRİŞ

Günümüzde, betonun inşaat alanında kullanımı gün geçtikçe popülerlik kazanmaktadır. Belirli oranlarda çimento, agrega, su ve gerekli durumlarda katkı malzemeleri kullanılarak üretilen beton, Dünya'da açık ara en sık kullanılan, çok fazlı, son derece karmaşık, heterojen bir yapıya sahip, kendini oluşturan malzemelerin dünyanın her yerinde bulunan, sudan sonra en çok tüketilen insan yapımı bir malzemedir (Erdoğan, 2003; Hasar vd., 2010; Khodabakhshian vd., 2018; Choudhary vd., 2020). Dayanıklılığı, fonksiyonelliği, sürdürülebilir ve ekonomikliği sebebiyle barajlar, alt yapı tesisleri, köprüler, beton yollar, binalar, ticari yapılar gibi birçok farklı alanlarda aktif bir şekilde kullanılmaktadır (Çelik, 2021). Betonun tercih edilmesinin en belirgin nedenleri, üretiminde kullanılan malzemelerin kolay ve ucuz temin edilmesi, kıvamının plastik olması nedeniyle istenilen kalıba yerleştirilebilir olması, estetik amaçlı kullanılabilmesi, bakımının basit, maliyetinin düşük olması ve herhangi bir yüke hatasız dayanabilecek mukavemete sahip olması şeklinde sıralanmaktadır (Darwin vd., 2016; Ayrıca maliyeti düşürücü, estetik görünüme elverişli, çevreci yaklaşıma faydalı olması çoğu uygulamanın öznesi olmuştur (Abeysundara, 2009; Erden, 2021).

Betonun kullanımı zamanla yaygınlaşması nedeniyle, fiziksel ve mekanik özelliklerin detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. İnşaat sektörünün önemli bir parçası olan betonun, farklı özelliklerini geliştirmek için çeşitli çalışmalar ve deneyler yapılmaktadır (Aslan, 2020). Çalışmalar ve deneyler neticesinde normal betonun dayanım ve dayanıklılık gibi ihtiyaçları tam olarak karşılayamadığı tespit edilmiştir (Topçuoğlu, 2021).

Bu ihtiyaçları karşılamak için özel betonların üretilmesi yönünde çalışmalar yapılmaya başlanmıştır (Ağsu, 2019).

Beton ile alakalı araştırmalar ve bu konudaki gelişmeler neticesinde, kendiliğinden yerleşen beton (KYB), yüksek performanslı beton, hafif beton, kendiliğinden yerleşen hafif betonultra yüksek dayanımlı beton, mimari beton vb beton çeşitleri oraya çıkmıştır (Zarrog, 2020).

Son yıllarda beton sanayisinin önemli gelişmelerinden biri kendiliğinden yerleşen beton (KYB)dur (Topçu ve Uygunoğlu, 2010). 1990 yılında Japon bilim insanları tarafından geliştirilen KYB kendi ağırlığından dolayı herhangi bir dış titreşime ihtiyaç duymadan serbestçe akabilmesi nedeniyle genellikle inşaat sektöründe kullanılmaktadır (Danish ve Ganesh, 2021). KYB'nin iki amaca yanıt vermesi beklenmektedir. Birincisi kendi ağırlığı ile kalıp doldurmak, diğeri ise herhangi bir cihaz yardımı olmadan sıkıştırmaktır. (Topçu ve Uygunoğlu, 2010).

KYB'ler normal betona göre kıyaslandığında KYB'ler daha az işçilikle daha hızlı iş bitirmekte, estetik, daha dayanıklı, daha özgün yapılar inşa edilebilmektedir. Beton, ulaşılması zor ve donatı sıklığı oldukça fazla olan yerlere dışarıdan herhangi bir vibrasyona ihtiyaç duymadan içerisindeki hava boşluğunu dışarı atarak kolay bir şekilde yerleşebilmektedir. Betonarme yapıların bakım, onarım ve güçlendirme işlemlerinin yanı sıra prefabrike yapıların imalatında dikkate değer kolaylıklar sunmaktadır (Hita vd., 2018). En önemli dezavantajı, normal betona kıyasla daha maliyetli ve karışım hesaplarının daha tecrübeli kişiler tarafından hazırlanma ihtiyacıdır (Penteado vd., 2016). Normal beton ve KYB karışım reçetelerinde aynı malzemeler kullanılmasına rağmen hacimsel olarak değişiklik sergilemektedir. KYB üretilirken çimento ve ince agrega fazla, iri agrega ise az kullanılmaktadır (Alrshoudi vd., 2020).

Bir diğer özel beton ise hafif betondur (Aruntaş vd., 2007). Hafif betonlar, yüksek yalıtım özelliğine sahip, düşük ağırlıklı, yeterli dayanıma sahip, yanmaz bir malzemedir. Bunun yanı sıra geleceğin mimarisi açısından mimariye yeni bir pencereden baktıran, bu yönüyle büyük yankı uyandıran bir malzemedir. Hafif ve ses ve ısı yalıtımı sağlayan gözenekli bir yapıya sahip olması hafif betonu diğer beton türlerinden ayırmaktadır. Bünyesinde bulunan gözenekler, üç farklı şekilde oluşturulmaktadır. Bunlar;

- Gözenekli agrega kullanılarak (pomza taşı, cüruf, volkanik tüf, perlit vb.),
- Gözenekli içyapı oluşturarak

- İnce harç içerisinde gaz kabarcıklarının oluşturulması (bims) şeklinde sıralanmaktadır (Tezel, 2020).

Genellikle hafif beton üretiminde gözenekli agrega kullanım yöntemi uygulanmaktadır. Literatür değerlendirildiğinde; hafif beton üretiminde çoğunlukla pomza kullanıldığı tespit edilmiştir. Pomzanın gözenek oranının fazla olması, kimyasal ve fiziksel etkilere karşı dayanıklı olması pomzanın en önemli tercih sebebi olmaktadır (Aydın, 2008).

Son zamanlarda, düşük yoğunluğa sahip olması, ölü yükün az olması ve taşıma maliyetinin düşük olması hafif betonu popüler bir malzeme yapmıştır (Bala ve vd., 2014; Biçer ve Kar, 2017). Hafif betonun birim ağırlığının düşük olmasıyla yapının zati yükü de düşecek ve yapıya etki eden deprem yükününde az olmasını sağlayacaktır. Böylelikle deprem anında yapıda oluşacak zararlar minimize edilmiş olacaktır (Akkaş, 2011).

Son yıllarda, inşaat malzemesi olarak yeni bir beton türünün geliştirilmesi yeniden canlandı. Yeni bir araştırma alanı olan Kendiliğinden yerleşen hafif beton (KYHB), KYB kolay akışı ve stabilitesinin hafif betonun avantajı ile birleşiminden oluşmaktadır (Lo vd., 2007). Son yıllarda beton teknolojisi alanında pek çok gelişme kaydedilmiş ve kendiliğinden yerleşen hafif beton dayanıklılık, daha az kalıp basıncı, azaltılmış ölü yük ve kimyasal saldırı, yangına karşı yüksek direnç gibi üstün özellikleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmıştır. KYHB geleneksel betona kıyasla daha dayanıklı ve düşük birim ağırlıklı bir malzemedir (Altalabani, 2020).

Betonlar ihtiyaçları karşılamak için geliştirilirken bu gelişime atık maddelerde dahil edilmeye başlanmıştır. Atık maddelerin KYHB üretiminde kullanılması sürdürülebilirlik açısından önem taşımaktadır. Ayrıca endüstriyel atıkları kullanmak doğal kaynak tüketimini azaltmaktadır (Benjeddou vd., 2020).

Dünyanın dört bir yanındaki ülkelerin atıklarla ilgili büyük bir sorunu bulunmaktadır. Bu atıkların büyük bir kısmı hala yeniden kullanılmamaktadır (Ostrowski vd., 2020).

Atık malzemelerin uygulanması, inşaat malzemeleri üretiminde doğal kaynakların yerini alacak hammadde olarak endüstriyel atıkları kullanarak daha temiz üretim geliştirmenin etkili bir yoludur (Ashish, 2019; Mohammadhosseini vd., 2020).

Dünya çapında çok sayıda kentsel bölgede enerji tasarrufu, karbondioksit (CO_2) emisyonlarının azaltılması ve çeşitli tüketici ürünlerinin imalatından kaynaklanan atıkların bertaraf edilmesi büyük zorluklar olmaya devam etmektedir (Alrshoudi vd., 2020; Alyousef vd., 2020).

Bu tez çalışmasında; doğal kaynaklarımızdan olan Nevşehir yöresine ait asidik pomza agrega olarak ve endüstriyel atık olan ve Kırşehir yöresinden temin edilen atık mermer tozu farklı oranlarda (%0; %5; %10 ve %15) çimento ikame malzemesi olarak kullanılması sonucu kendiliğinden yerleşen hafif beton üretimi hedeflenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda üretilen numuneler fiziksel ve mekanik açıdan kendiliğinden yerleşen hafif betona göre daha üstün özellikli bir yapı malzemesi elde edilmesi amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bilgin vd. (2012), Atık mermer tozunun endüstriyel tuğlada katkı maddesi olarak kullanılabilirliği araştırılmışlardır. Çalışmada farklı oranlardaki atık malzemeyi endüstriyel tuğla harcı içerisine ağırlıkça %0 ila %80'e kadar ikame etmişlerdir. Üretilen numuneleri 900, 1000 ve 1100 ^{0}C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta sinterlemişlerdir. Sonuç olarak; üretilen endüstriyel tuğlanın fiziksel, kimyasal ve mekanik dayanımına mermer tozu katkı maddesi miktarının olumlu etkisi olduğunu görmüşlerdir.

Singh vd. (2017), çalışmada, normal betonun, çimento ve kumun kısmi ikamesi olarak mermer tozu kullanımıyla çevresel etki karşılaştırmasını, ReCipe orta nokta ve uç nokta yöntemleriyle UMBERTO NXT yaşam döngüsü analiz yazılımını kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca mukavemet ve kalite açısından cesaret verici sonuçlar ortaya koyan betonda mermer tozu kullanımını gerekçelendirmek için ayrıntılı bir maliyet analizi çalışması yapılmıştır. Sonuç olarak; betonda mermer bulamacının kullanımının çevresel etkisini azalttığı ve ekonomik olarak yararlı olduğunu bulmuşlardır.

Ashish (2018), çalışmasında atık mermer tozunun kum ve çimento amalgamının kısmi ikamesi olarak kullanılmasının fizibilitesini araştırmıştır. Kum yerine kısmen mermer tozu (%15'e kadar) değiştirerek yedi farklı beton karışımı elde etmiştir. Üretilen numunelere mekanik dayanım, ultrasonik hız (UPV), karbonatlaşma ve mikroyapı analizi deneyleri uygulamıştır. Sonuç olarak; mermer tozunun hidrasyon sürecinde hiçbir işlev göstermediği ve dolgu görevi gördüğü tespit edilmiştir. %10 kum ve %10 çimento amalgamı ile %20 mermer tozu ile optimum değişim elde edilebilineceğini bildirmiştir.

Alyamaç vd. (2017), çalışmasında, Tepki Yüzey Metodolojisini kullanarak maksimum miktarda mermer tozu ile eko-verimli, çevre dostu ve işlenebilir kendiliğinden yerleşen bir beton geliştirmeyi amaçlamışlardır. Çalışma sonunda 0,55'ten düşük su-çimento oranları ve 0,6'ya kadar mermer-toz-çimento-oranları ile eko-verimli bir kendiliğinden yerleşen beton elde etmişlerdir.

Büyüksagis vd., (2017), çalışmalarında, yalıtım levhası yapıştırma harçlarında hammadde olan dolomit yerine farklı oranlarda mermer tozu (MT) katkısının nemi, kimyasal yapısı ve tane boyutunu araştırmışlardır. Üretilen numunelere, basınç - çekme - eğilme dayanımları, su emme, ilk priz süresi ve akış yayma testlerini uygulamışlardır. Sonuç olarak; mermer atık tozunun nem oranının %1'den düşük olduğunu ve partikül boyutlarının +710 mm ve 125 mm ham dolomite göre daha fazla olduğunu bildirmişlerdir.

Zhang vd., (2020), çalışmalarında silis dumanı (%0; %2,5; %5 ve %10) ve atık mermer tozunun (%0; %5; %10; %15 ve %20) hücresel betonun mekanik ve dayanıklılık özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Numunelere çökme, yoğunluk, su emme ve mekanik deneyler uygulamışlardır. Ayrıca silis dumanı ve atık mermer tozu içeren hücresel betonun $MgSO_4$ ve H_2SO_4 saldırısına karşı direncini, basınç dayanımını, yarılma gerilme dayanımını, kütle ve mikro yapıda meydana gelen değişiklikler ile değerlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda %10 silis dumanı ve %5–20 atık mermer tozu içeren hücresel beton, optimum mekanik ve dayanıklılık özelliklerini sergilediğini tespit etmişlerdir. H_2SO_4 saldırısından sonra, bu beton, kontrol grubuna göre önemli ölçüde daha yüksek mekanik özellikler ve önemli ölçüde daha az beton bozulması ve kütlesi (%0,20 - 1,49), basınç dayanımı (%27,40-40,20) ve yarılma gerilme dayanımı (%37,26-46,04) kayıpları sergilemişlerdir.

Khodabakhshian vd., (2018a), çalışmalarında portland çimentosunun kısmi ikamesi olarak atık mermer tozu ve silis dumanı içeren beton karışımlarının dayanıklılık özelliklerini incelemişlerdir. Bu amaçla farklı oranlarda silis dumanı (%0; %2,5; %5; %10) ve atık mermer tozunu (%0; %5; %10; %20) çimento ikamesi olarak kullanmışlardır. Tüm beton karışımlarında 0,45 sabit su / bağlayıcı oranı ve S2 sınıfı hedef ilk çökme (50-90 mm) kullanmışlardır. Taze beton üzerinde işlenebilirlik ve yığın yoğunluk testleri yaparken, sertleşmiş durumda betonun basınç dayanımı, elektriksel direnç, su emme, sodyum sülfat dayanıklılığı, magnezyum sülfat ve sülfürik asit saldırı testleri gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, atık mermer tozu içeren betonun mukavemetinin ve dayanıklılığının, ikame oranlarının %10'un üzerinde düşme eğiliminde olduğu, ancak bu değiştirme seviyesinin altında tatmin edici sonuçlar elde edildiğini bulmuşlardır. Orijinal beton karışımıyla hemen hemen aynı

sonuçları elde etmenin yanı sıra, çimentonun kısmi ikamesi olarak %20 atık mermer tozu ve %10 silis dumanı kullanılması, %30 çimento azalması ile çimento endüstrisinin çevreye olan zararlı etkilerini azalttığını bildirmişlerdir.

Khodabakhshian vd., (2018b), çalışmalarında portland çimentosunun kısmi ikamesi olarak atık mermer tozu ve silis dumanı içeren beton karışımlarının dayanıklılık özelliklerini incelemişlerdir. Bu amaçla farklı oranlarda silis dumanı (%0; %2,5; %5; %10) ve atık mermer tozunu (%0; %5; %10; %20) çimento ikamesi olarak kullanmışlardır. Tüm beton karışımlarında 0,45 sabit su / bağlayıcı oranı ve S2 sınıfı hedef ilk çökme (50-90 mm) kullanmışlardır. Taze beton üzerinde işlene bilirlik ve yığın yoğunluk testleri yaparken, sertleşmiş durumda betonun basınç dayanımı, yarılma gerilme dayanımı ve elastikiyet modülü testleri gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, atık mermer tozu içeren betonun mekanik özelliklerinin %10'un üzerinde ikame oranları için düşme eğiliminde olduğu ancak bu seviyenin altında tatmin edici sonuçlar elde edildiğini bulmuşlardır. Beton karışımlarının farklı yaklaşımlar açısından karşılaştırılması, optimize edilmiş karışımın atık mermer tozu ve silis dumanı aynı anda kullanıldığında oluştuğunu bildirmişlerdir.

Aruntaş vd., (2010), çalışmalarında atık mermer tozunun (AMT) katkılı çimentoda katkı maddesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bu amaçla, AMT'nin Portland çimentosu klinkeri ile ağırlıkça %2,5; %5,0; %7,5 ve %10 olmak üzere farklı karışım oranlarında birlikte öğütülmesi ile atık mermer tozu katkılı çimentolar (AMTÇ'ler) elde etmişlerdir. Ürettikleri harç numunesi üzerinde 7, 28 ve 90. günlerde mukavemet testleri yapmışlardır. AMTÇ'leri fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri açısından birbirleriyle ve CEM I ve CEM II kontrol çimentolarıyla karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda, AMTÇ 'lerin EN 197-1 standardına uygun olduğunu ve böylece %10 AMT'nin çimento üretiminde katkı malzemesi olarak kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Gesoglu vd., (2012) çalışmalarında kendiliğinden yerleşen betonda, atık mermer tozunu %20 oranına kadar çimento ikame malzemesi olarak kullanmışlardır. Sonuç olarak; kendiliğinden yerleşen betonun işlene bilirliğini arttırdığını fakat basınç dayanımı düşürdüğünü tespit etmişlerdir.

Vardhan vd., (2015) çalışmalarında %50'ye varan değişken seviyelerde çimentonun kısmi ikamesi olarak mermer tozu kullanmışlar ve mekanik özellikleri açısından mermer tozunu analiz etmişlerdir. Sonuç olarak, %10 çimentonun değiştirildiği mermer tozu, numune karışımının işlene bilirliğini ve basınç dayanımını iyileştirerek kesin teknik sonuçlar verdiğini bildirmiştir.

Aliabdo vd., (2014) çalışmalarında beton üretiminde %15'e varan oranlarda kum veya çimentonun mermer tozu ile değiştirilmesini incelemişlerdir. Sonuç olarak, düşük su/çimento oranının, betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini geliştirdiğini bildirmişlerdir.

Arel, (2016) çalışmasında, beton üretiminde işlenmiş mermer atığının kullanılması, çevre kirliliğini azaltmanın yanı sıra ekonomiyle ilgili önemli faydalar sağladığını bildirmiştir. Ayrıca çimentonun %5-10 oranında mermer tozu ile değiştirilmesinin betonun mekanik davranışını iyileştirirken, çimento üretiminin CO_2 emisyonlarını %12 oranında azalttığını tespit etmiştir.

Shelke vd., (2012), çalışmalarında çimentonun mermer tozu (%0; %8; %12 ve %16) ve SF (%0; %8) ile kısmi ikamesinin 7 ve 28. günlerde normal betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak, mermer tozu eklenerek çimento içeriği azaldığında tüm karışımlarda basınç dayanımının azaldığını gözlemlemişlerdir. Bu nedenle, 28 günde, ilgili kontrol karışımlarına göre %8; %12 ve %16 mermer tozu içeren karışımlar, küp numuneler için yaklaşık %1; %25 ve %29, silindirik numuneler için sırasıyla %14; %32 ve %40 azalma göstermişlerdir. Ayrıca basınç dayanımı için optimal sonuçların %8 mermer tozu ve %8 SF'de bulunduğunu bildirmişlerdir.

Soliman (2013), çalışmasında betonun özelliklerine %0; %2,5; %5; %7,5; %10; %12,5; %15; %17,5 ve %20 oranlarında kısmi çimento ikamesi olarak mermer tozu kullanılmasının etkisini araştırmıştır. Sonuç olarak, kontrol karışımına kıyasla %7,5'in üzerindeki ikame oranlarında betonun basınç dayanımının yaklaşık %26 azalırken, mermer tozunu %7,5'e değiştirerek basınç dayanımının yaklaşık %25 arttığını bildirmiştir. Ayrıca, %5'e kadar mermer tozu kullanmanın, betonun dolaylı gerilme

mukavemetini ve elastisite modülünü kontrol karışımına göre artırdığını ve daha yüksek ikame oranları için azaldığını tespit etmiştir.

Gönen ve Yazıcıoğlu (2018), çalışmalarında genleşmiş perlit ve bazaltik pomza kullanılarak kendiliğinden yerleşen hafif beton üretmiş, üretilen numuneler e uygulanan kürlenme türünün karbonatlaşma ve kılcal su emme üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak, bazaltik pomza ve genleşmiş perlit kullanımının kendiliğinden yerleşen hafif beton üretilmesinin mümkün olduğu tespit edilmiştir. Gözenekli agrega kullanıldığından, kendiliğinden yerleşen hafif betonun karbonatlaşma ve kapiler su absorpsiyonu gibi geçirgenlik özellikleri kötüleştiğini bildirmişlerdir. Ayrıca, kendiliğinden yerleşen hafif betonun yoğunluk başına basınç dayanımı, kendiliğinden yerleşen betondan daha etkili olduğu sonucuna varmışlardır.

Kurt vd., (2016), çalışmalarında pomza tozu, farklı su / (çimento + mineral katkı) oranları ve pomza agregalarının kendiliğinden yerleşen hafif agregalı betonun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine etkilerini incelemişlerdir.

Mukhlif, (2013) çalışmasında pomza tozunun, silis dumanı (SD) içeren ve içermeyen kendiliğinden yerleşen betonların (KYB) taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkilerini incelemiştir. KYB'lerde pomza tozunun çimentoyla ağırlıkça %0, %5, %10 ve %20 oranlarında ikame edilmesiyle birinci gurup numuneler üretilmiştir. Daha sonra silis dumanının %8 oranında ikamesiyle ikinci grup numuneler üretilmiştir. Sonuç olarak, pomza tozu miktarının artması KYB'ların akışkanlığını artırmış, SD ilavesi ise viskoziteyi artırıcı etki göstermiştir. Ayrıca, silis dumanı ikamesinin, KYB'lerin sertleşmiş özelliklerinde pomza tozunun kullanımından kaynaklanan olumsuz etkiyi bertaraf ettiğini bildirmiştir.

Temiz ve Akçekale (2014) yaptıkları çalışmada pomza agregası kullanarak ürettikleri hafif beton numunelerinin yalıtım özelliklerini ve dayanımını incelemişlerdir. Çalışma içerisine ahşap talaşı, uçucu kül ve öğütülmüş portakal kabuğu kırıntısından katkı maddesi olarak kullanmışlardır. Sonuç olarak, ahşap talaşı, uçucu kül ve portakal kabuğu kırıntısının pomza ile kullanılmasıyla ses ve ısı yalıtım özellikleri iyi bir malzeme üretimi yapmışlardır.

3. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde tez çalışması kapsamında kullanılan materyaller ve tez çalışmasının yöntemi hakkında bilgiler verilmiştir.

3.1 Materyal

3.1.1 Pomzanın Tanımı ve Özellikleri

Pomza, volkanik püskürmeler sırasında meydana gelen, gözenekli, son derece hafif (ortalama yoğunluk 1,2 ila 1,4 g/cm^3), sertliği mohs sertlik skalasına göre 5- 6 arasında değişen, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı ve SiO_2 ve Al_2O_3'ün farklı oranlarda kombinasyonu ile oluşan volkanik bir hammaddedir (Uygunoğlu ve Ünal, 2007; Uygunoğlu, 2008; Abdullah ve Naaymi, 2013). Şekil 3.1'de makro görünümü verilen pomza, Türkçe'de sünger taşı, hışır taşı, topuk taşı şeklinde isimlendirilmektedir (Gündüz, 2005).



Şekil 3.1 Nevşehir pomzasının makro görünümü (örnek boyu 7 cm) (AKA, 2015)

Pomza içerisinde yaklaşık %75'e oranında silis bulunmaktadır. Pomzanın genel kimyasal bileşimi Tablo 3.1'de verilmiştir (Yılmaz, 2017).

Tablo 3.1 Pomzanın kimyasal bileşeni

Element	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Na_2O -K_2O	TiO_2	SO_3
%	60-75	13-17	1-3	1-2	7-8	Eser mikt.	Eser mikt.

Pomza kimyasal yapısı sayesinde çeliği kolay bir şekilde aşındıracak yapıya sahiptir. Bünyesinde bulunan Al_2O_3 bileşimi pomzanın ateşe ve yüksek ısıya dayanma kabiliyeti sağlamaktadır. Na_2O ve K_2O tekstil endüstrisinde reaksiyon özelliği sağlamaktadır (DPT, 2001).

Volkanik faaliyetler sonucunda pomza ikiye ayrılmaktadır. Bunlar (Şekil 2.4);

- Bazik pomza

- Asidik pomzadır.

1-2 g/cm^3 özgül ağırlığa sahip Mohs skalaına göre sertligi 5–6 olan bazik pomza diğer bir adıyla bazaltik pomza kahverengimsi ya da siyahımsı renktedir (Yazıcıoğlu vd., 2003). İçeriğinde bulunan alüminyum, demir gibi bileşenlerin yüksek olması nedeniyle gübre endüstrisi ve tarım alanında sık bir şekilde kullanılmaktadır.

Bazaltik pomza diğer ponza türlerine göre daha ağır ve serttir. Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde agrega olarak bazaltik pomzanın kullanılması, kolay işlenebilir, ekonomik, mukavemetli, hafif ve çevreci beton üretmek için iyi bir yaklaşım olabilir (Gönen ve Yazıcıoğlu, 2018).

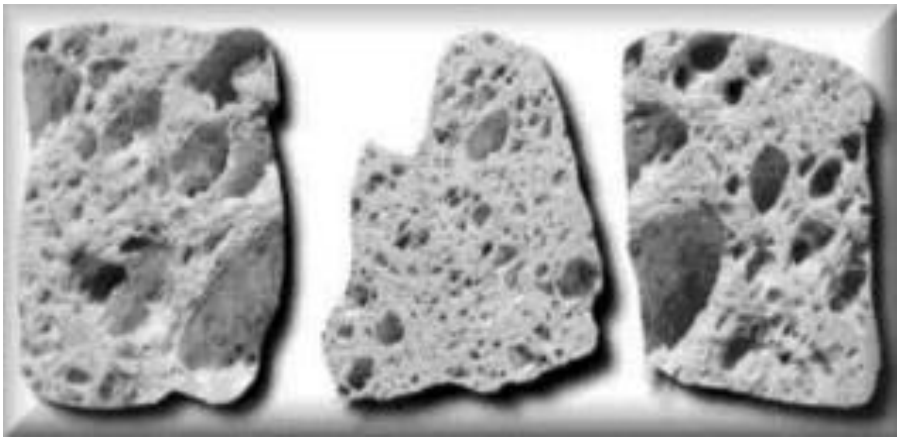
Asidik pomza Mohs skalaına göre sertligi 5–6 ve özgül ağırlığı 0,5-1g/cm^3'tür. Asidik pomza yeryüzünde yaygın olarak bulunan kirli beyaz ya da gri renkte bulunan asidik pomza içeriğindeki yüksek silis oranından dolayı inşaat endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (DPT, 2001)



a) b)

Şekil 3.2 a) Asidik pomza ve b) Bazik pomza örnekleri (Koçyiğit, 2016)

Pomza bünyesinde birbirleriyle bağlantısı olmayan, yarı açık veya kapalı, birbirlerinden camsı bir zarla ayrılan sayısız gözenek bulunmaktadır (Şekil 3.3) (Akkaş, 2011). Bu gözenekler pomzanın volkanik oluşumu esnasında bünyesinde bulunan gazların ani bir şekilde dışarı çıkarak hızlıca soğumasından kaynaklanmaktadır (Koçyiğit, 2016). Bu bağlantısız gözenekler pomzanın su geçirgenliği düşük, ısı ve ses yalıtımı yüksek bir malzeme olmasını sağlamaktadır (Çevikbaş ve İlgün, 1997; Ceylan, 2019).



Şekil 3.3 Pomza agregasının gözenekli yapısı (Koçyiğit, 2016)

Türkiye'de bulunan pomzanın fiziksel özellikleri Tablo 3.2'de, kimyasal özellikleri ise Tablo 3.3'de verilmiştir (Gündüz, 2005)

Tablo 3.2 Türkiye'de bulunan pomzaların fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler	Analiz Değerleri
Renk	Açık griden, kirli beyaza
Kristal Şekli	Amorf
Kristal Suyu	Yok
Sertlik (MOHS)	5,5-6,0
Kuru Birim Hacim Ağırlığı (g/cm^3)	0,37-0,97
Gerçek Özgül Ağırlığı (g/cm^3)	2,15-2,65
Porozite (%)	45-90
Rötre (mm/m)	<1
Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0,08-0,2
Isınma Isısı (cal/g.°C)	0,24-0,28
Ses Yalıtım (dB)	40-55
Su Emme (ağırlıkça)%	30-70
Buhar Difüzyon Katsayısı	5-10

Tablo 3.3 Ülkemizdeki pomza kayaçlarının genel kimyasal özellikleri

Kimyasal Özellikler	Analiz Değerleri
pH	7-7,3
Radyoaktivite	Yok
Suda Çözünen Madde Miktarı (ağırlıkça)%	≤ 0,15
Asitte Çözünen Madde Miktarı (ağırlıkça)%	≤ 2,9
Uçucu Madde (ağırlıkça)%	Yok
Asitlerle Etkileşim*	İnert
Alevlenme Derecesi (°C)	Yok
Ergime Derecesi (°C)	>900

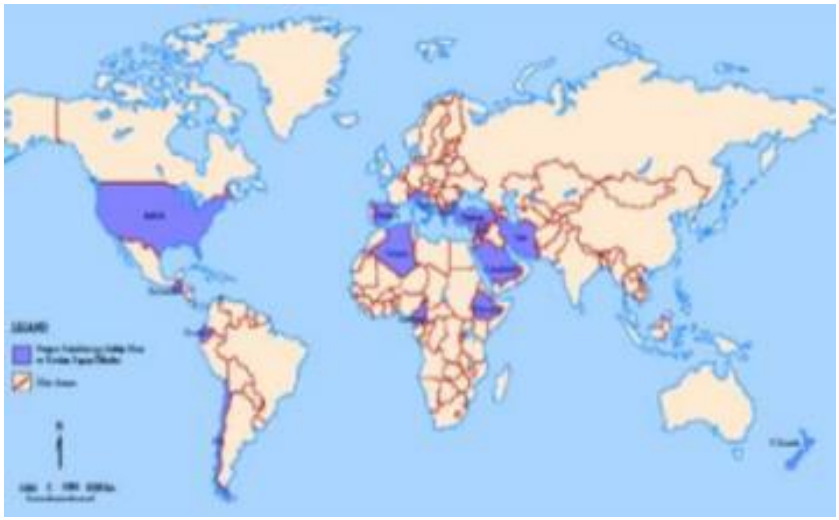
* Pomza sadece hidroflorik asit ile etkileşerek toksik silikon tetraflorit gazı çıkarır.

Pomzanın tane boyutu arttıkça gözenek oranı da artış göstermektedir. Gözenek oranının fazla olması birim hacim ağırlığının düşük olmasını sağlamaktadır. Pomza kayacı düşük yoğunluklu doğal agregalar içerisinde en çok tercih edilen malzemedir. Yoğunlukları 480-880 kg/cm^3 arasında değişmektedir (Bideci, 2013).

3.1.2 Pomzanın Dünya'da ve Türkiye'de Rezerv Durumu

Dünya'daki pomza yataklarının volkanik alanlarda yoğun bir şekilde bulunduğu görülmektedir (Şekil 3.4). Dünya genelinde yaklaşık 18 milyar ton rezervi bulunan

pomza, A.B.D., Türkiye ve İtalya'da geniş yataklara ve rezervlere sahiptir (Elmastaş, 2012).



Şekil 3.4 Dünya pomza rezervi (Elmastaş, 2012)

Türkiye'nin de içinde bulunduğu İtalya, Yunanistan, ABD, Almanya, Fransa ve İzlanda ham pomza üretimi açısından ilk sıralarda yer almaktadırlar. Son zamanlarda Çin, Kanada, Yeni Zelanda ve Endonezya bu listeye girmeyi başarmışlardır (Gündüz ve Uğur, 2000; Yolcu, 2018). Tablo 3.4'de farklı ülkelerde tahmini pomza üretimi verilmiştir (Crangle, 2013).

Tablo 3.4 Farklı ülkelerde tahmini pomza üretimi

Ülkeler	2008 (ton)	2009 (ton)	2010 (Ton)	2011(ton)	2012 (ton)
Cezayir	490,567	328	236,961	300	300
Arjantin	6,5	7,02	7,582	6,445	7
Burkina Faso	10	10	10	10	10
Kamerun	600	600	600	600	500
Şili	1.063.176	919.249	824.049	816.565	820
Hırvatistan	15	15	15	15	15
Dominik Cumh.	100	100	100	100	100
Ekvator	940.644	928.945	740.62	700	650
Eritre	60	60	60	60	60
Etopya	35	250	350	350	350
Fransa	276	276	276	276	276
Yunanistan	1.887.000	1.211.000	1.280.000	1.225.000	1.175.000

Tablo 3.4'ün devamı

Guadeloupe	210	200	200	210	200
Guatamala	393.779	394.955	340	150	150
İzlanda	101	101	101	101	101
İtalya	3.020.000	3.020.000	3.020.000	3.020.000	3.020.000
Jameika	124.304	132.47	125	125	125
Kosova	45.005	58.788	60	60	60
Makedonya	103.476	113.064	113.323	57.356	60
Martinik	130	130	130	130	130
Yeni Zellanda	174.729	159.357	118.249	4 229.268	200
Filipinler	19.633	60.894	61.44	64.903	65
Suudi Arabistan	810	802	915	1.000.000	1.000.000
Slovenya	40	40	40	40	35
İspanya	600	600	600	600	600
Suriye	901	957.639	950	900	300
Tanzanya	260.403	171.904	199.698	222.592	230
Türkiye	3.449.773	4.322.543	4.198.751	5.822.501	5.500.000
Uganda	140	140	140	140	125
ABD	744	384	296	398	397
Toplam	16.700.000	16.400.000	16.000.000	17.600.000	16.500.000

Türkiye'de volkanik faaliyetler geniş bir alana yayıldığı için ülkemiz zengin pomza yataklarına ev sahipliği yapmaktadır. Ülkemiz 2,8 milyar ton pomza rezervi ile dünya rezervlerinin yaklaşık %15,8 ini elinde bulundurmaktadır. Türkiye'den sonra en fazla pomza üretimi yapan ülke İtalya'dır (Yılmaz, 2017)

Doğu Anadolu Bölgesi ülkemizin pomza rezervlerinin en çok bulunduğu bölgedir. Bu değer yaklaşık %55,7'dir. Geriye kalan %44,3'lük kısmı İç Anadolu Bölgesinde yer almaktadır. Bitlis %44,8 ile en fazla paya sahipken onu sırasıyla Kayseri, Nevşehir ve Van illeri takip etmektedir. %94'lük bir kısmını elinde bulunduran bu dört il dışında Ağrı, Iğdır, Kars, Isparta ve Ankara illerinde de pomza rezervleri bulunmaktadır (Tablo 3.5) (Yılmaz, 2017).

Tablo 3.5 Türkiye pomza rezervi (Yolcu, 2018)

İller	Rezervin Yeri	Rezervin Miktarı (m^3)	İl Toplamı (m^3)	Oran (%)
Kayseri	Gömeç	13.250.000		
	Develi	58.500.000		
	Talas-Tomarza	241.000.000	596.750.000	24.3
	Talas-Tomarza	284.000.00		
Bitlis	Tatvan-Ahlat	1.100.000.000	1.100.000.000	44.8
Nevşehir	Avanos-Ürgüp	404.412.834	453.073.334	18.4
	Derinkuyu	48.660.500		
Van	Erciş-Kocapınar	154.625.000	160.575.000	6.5
	Mollakasım	5.950.000		
Ağrı	Patnos	27.812.000	54.687.000	2.2
	Doğubayazıt	26.875.000		
Iğdır	Kavaktepe	40.156.250	40.156.250	1.6
Isparta	Gölcük	30.983.250	30.983.250	1.3
Kars	Digor	11.718.750	13.593.750	0.6
	Sarıkamış	1.875.000		
Ankara	Güdül-Tekköy	8.070.000	8.070.000	0.3
TOPLAM		2.457.888.584	2.457.888.584	100

3.1.3 Pomzanın Kullanım Alanları

Ülkemizde farklı renk ve dokuda pomza çeşitlerinin bulunmasından dolayı dünya pazarında önemli bir yere sahiptir. Pomza 50'den fazla endüstriyel alanda ana hammadde ya da katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. İnşaat endüstrisi pomzanın en yaygın kullanım alanıdır. Ayrıca tekstil, ziraat ve kimya sektörü de pomzanın aktif bir şekilde kullanıldığı diğer alanlardır. Tablo 3.6'da pomzanın 2011 yılında kullanılan alanlarının dünya ve Türkiye pazarında karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 3.6 Pomzanın kullanım alanlarına göre oransal dağılımı (AKA, 2015)

Kullanım Alanı	Dünya'daki Kullanım (%)	Türkiye'deki Kullanım (%)
Hafif yapı elemanı blok üretiminde	48	80
Hafif beton üretiminde	12	2
Yalıtım malzemesi üretiminde	9	4
Ziraat sektöründe	12	6
Tekstil sektöründe	4	3
Kimya sektöründe	8	1
Diğer sektörlerde	7	4

Pomzanın kullanım alanlarını inşaat, tekstil, tarım ve diğer sektörler olmak üzere 4 gurupta inceleyebiliriz (Sezgin vd., 2005).

3.1.3.1 İnşaat sektöründe kullanımı

- Hafif yapı blokları üretiminde,
- Hafif prefabrik yapı elemanlarının üretiminde,
- Hafif beton üretiminde,
- İç sıva malzemesi üretiminde,
- Duvar kağıdı üretiminde,
- Hafif hazır sıva ve harç üretiminde,
- Çatı ve dekoratif kaplama elemanı üretiminde
- Dekoratif kaplama elemanı üretiminde,
- Karayollarında buzlanma olayını kontrol altında tutmada kullanılmaktadır (Rızaoğlu vd., 2015).

3.1.3.2 Tekstil sektöründe kullanımı

- Kot kumaşların taşlanması işleminde kullanılmakta,
- Kot kumaşların ağartılmasında ve yumuşatılmasında kullanılmaktadır.

3.1.3.3 Tarım sektöründe kullanımı

- Toprak ıslahında,
- Toprağın yeterli olmadığı ya da topraksız alanlarda bitki yetiştirilmede,

- Suyun kısıtlı olduğu alanlarda
- Yeşil çatı üretiminde
- Bitkilerin kök gelişimi amacıyla verimsiz olan kısımlarda kullanılmaktadır.

3.1.3.4 Kimya sektöründe kullanımı

- Kozmetik, sabun ve ilaç alanlarında
- Çimento üretiminde,
- İzolatif duvar boyası, pürüzlü kaplama ve vernik dolgusu üretiminde
- Aşınma olmayan trafik boya ve kaplamalarında,
- Plastik ve kağıt sanayinde dolgu malzemesi olarak,
- Tarım ilaçları ve kibrit sanayisinde taşıyıcı olarak kullanılmaktadır (Yılmaz, 2017; Ceylan, 2019)

3.1.3.5 Diğer sektörlerde kullanımı

- Gübre üretiminde katkı malzemesi olarak,
- Asfalt üretiminde katkı malzemesi olarak,
- Ağır ve kirli ortamlarda yağ vb. akışkanları absorbe edici malzeme olarak,
- Tavuk çiftliklerinde taban malzemesi olarak,
- Kaymaz özellikte otomobil lastiği üretiminde,
- Süs eşyalarının cilalanmasında parlatıcı olarak,

- Su, atık su arıtma ve hava temizleme teknolojisinde katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır (Miryan, 2016).

Bu tez çalışması kapsamında yapılan KYHB üretiminde, Nevşehir/Çardak bölgesinde alınan pomza kayacı kullanılmıştır. Agrega olarak kullanılan pomza 0-2, 2-4, 4-8 mm tane boyutlarındadır. Karışımda %30 oranında 0-2 mm ince hafif agrega, %40 oranında 0-4 mm ince hafif agrega, %30 oranında 4-16 mm kaba hafif agrega kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan pomzaya ait kimyasal özellikler Tablo 3.7'de verilmiştir (Anonim 1, 2017).

Tablo 3.7 Pomza agregaların kimyasal analizi

Kimyasal Özellikleri	
Bileşenler (%)	Oran (%)
SiO_2	74,10
Al_2O_3	13,45
Fe_2O_3	1,40
CaO	1,17
MgO	0,35
K_2O	4,10
Na_2O	3,70
SO_3	-
Kızdırma Kaybı	1,54

3.1.4 Mermer ve Atık Mermer Tozu

Mermerler bilimsel, ticari, jeolojik ve petnografik olmak üzere 4 farklı şekilde tanımlanmaktadır.

Bilimsel anlamda mermer; Kalker ve dolomitik kalkerlerin sıcaklık ve basınç altında metamorfizma süreci yaşayan, yaşadığı bu sürecin izlerini taşıyan metamorfik bir kayaçtır. (Bilgin, 2010). Hakiki mermer olarak isimlendirilen bu mermerler, yüksek oranda kalsiyum karbonat içermektedir (Şekil 3.5). Bunun yanı sıra kalsiyum karbonata göre daha az oranda magnezyum karbonat ve farklı metal oksitlerden meydana gelmektedirler. Saf halde bulunan mermerler yarı saydam ya da beyaz renkte

bulunmaktadırlar. Uğramış oldukları form farklılıkları ve kimyasal çözünme prosesleri değişik renk kazanmalarına neden olmaktadır. Mermerler sarı, kırmızı, mavimsi, pembe ya da siyah renkte bulunabilmektedirler. Zaman içerisinde yeryüzü hareketleri mermer kayacının kırılmasına neden olmakta ve bu kırık bölgeler kalsitle dolmaktadır. Bu dolum sonrasında mermer bünyesinde damarlar meydana gelmektedir. Bu damarlar estetik bir görünüm sağlamakta ve mermerin dekoratif amaçlı kullanılmasına olanak sağlamaktadır (Kişman ve Kan, 2011). Çoğunlukla sertliği mohs skalasına göre 3'tür. Ayrıca yoğunluğu 2,5-3,5 gr/cm^3'dür. (Bilgin, 2010)

Ticari anlamda mermer; 3213 sayılı Maden Kanunu'na göre, "ticari standartlara uygun boyutlarda blok verebilen, kesilip parlatılan veya yüzeyi islenebilen ve taş özellikleri kaplama taşı normlarına uygun olan her türden taş (tortul, magmatik ve metamorfik)" olarak tanımlama yapılmaktadır. Bu tanım doğrultusunda gerçek mermerin yanı sıra iyi parlatılabilen tortul (kalker, traverten, kumtaşı) metamorfik (gnays, kuvarsit) ve magmatik (granit, siyenit, serpantin, andezit, bazalt) taşlarda mermer tanımına girmektedir (Aydın, 2013; Bilgin, 2010). Maden kanuna göre mermerler, II. Gurup madenler sınıfına girmektedir (Resmi Gazete, 2004).

Jeolojik Tanım; Düşük ya da yüksek saflıklarda tekrardan kristalleşmiş kalkerli kaya parçasına denilmektedir (Ünlü, 1993)

Petrografik anlamda mermerler; Jeolojik oluşumları açısından masif, tekdüze büyüklükte kalsit kristallerinin aralarında boşluk olmaksızın dizildikleri mozaik bir yapı olarak ifade edilmiştir (Aydın, 2013; Nasuf, 2010).



Şekil 3.5 Mermer minerali (Bilgin, 2010)

Dünya'da hakiki mermerler çoğunlukla Alp Kuşağı, Ege Adaları, Anadolu Yarımadası, İran, Pakistan ve Hindistan'dan Çin'e kadar uzanan bölgede bulunmaktadır (Koçyiğit, 2016)

Mermerler sımsıkı bir şekilde dizilmiş kristal bir yapıda olmaları nedeniyle gözeneklilik oranları oldukça düşüktür. Bu oran % 0,0002 ila 0,5 arası değişmektedir. Mermerlerin bileşenleri bulundukları bölümden ayrılsa dahi suyu bünyelerine alma/tutma ya da donma çözülmeden dolayı ayrışmaya karşı eğilimli değildirler.

3.1.4.1 Mermerlerin sınıflandırılması

Mermerler, kristal tane boyutuna, jeolojik kökenlerine, bileşim oranına, yapısına, ekonomik şartlarına ve rengine göre sınıflandırılmaktadırlar.

3.1.4.1.1 Kristal tane boyutuna göre sınıflandırma

- İnce kristalli mermerler; Tane boyutu 0-1 mm arasında olan mermerlerdir.
- Orta kristalli mermerler; Tane boyutu 1-5 mm arasında olan mermerlerdir.
- İri kristalli mermerler; Tane boyutu 5 mm'den büyük olan mermerlerdir (Tosun, 2007).

3.1.4.1.2 Jeolojik kökenlerine göre sınıflandırma

- Sedimanter (tortul) mermerler; magmatik ve metamorfik kayaçlardan kopan parçaların sürüklenerek başka bir bölgede toplanması ve çimento ile karışması sonucu oluşan mermerlere denilmektedir. Bu mermerler tabaka halinde bulunur ve sürüklenip birikme sonucu içerisinde genellikle fosil bulundurmaktadırlar. Bu mermerlere konglomera, gre, arduvaz, traverten ve kireçtaşı örnek olarak verilebilmektedir (Uyanık, 2001).
- Metamorfik (başkalaşma) mermerler; Sedimanter ve magmatik mermerlerin basınç ve sıcaklık etkisi altında fiziksel ve kimyasal olarak değişmesinden meydana

gelmektedir. Bu mermerlere en iyi örnek beyaz ve gri renkte bulunan hakiki mermerlerdir (Şentürk vd., 1996).

- Magmatik mermerler; Magmanın hareketleri sonucu yeryüzüne çıkarak ya da yer kabuğuna sokularak oluşan mermerlerdir. Tortul kayaçlara göre çıkarılması ve işlenmesi oldukça zor mermerlerdir. Bu mermerlere granit, serpantin, bazalt ve andezit örnek olarak verilebilmektedir (Öztürk, 2006).

3.1.4.1.3 Bileşim oranına göre mermerler

- Mermer; Yaklaşık %95 oranında kalsit ($CaCO_3$) içermektedir. Katkısız saf bir yapıya sahip masif yapıdaki mermerler bünyelerinde kuvars ve mika gibi mineraller bulundurmaktadırlar (DPT, 1996; Yücetürk, 2010).

- Mermer Skarn; Yaklaşık %80-90 oranında kalsit ($CaCO_3$) içermektedir. Masif yapıdaki mermerler bünyelerinde diopsit, olivin, epidot grona gibi mineraller bulundurmaktadırlar (Onargan vd, 2005).

- Spolen; Yaklaşık % 80 oranında kalsit ($CaCO_3$) içermektedir. Şisti yapıdaki mermerler bünyelerinde diopsit, grona, flonapit ve tremotil gibi mineraller bulundurmaktadırlar (Kun, 2000).

- Kalsit; Yaklaşık %60-70 oranında kalsit ($CaCO_3$) içermektedir. Cilalama işlemi yapılabilen bu mermerler blok şeklinde bulundurmaktadırlar. Bu mermerler bünyelerinde Klorit, epidot ve mika gibi mineraller bulundurmaktadırlar (Mawlawizada, 2020).

3.1.4.1.4 Yapısına göre sınıflandırma

- Masif mermerler; Kompakt görünüme sahip, iri ve ince taneli mermerlerdir.

- Laminal mermerler; tabakalar halinde bulunan ince taneli şeritli yapıya sahip mermerlerdir (Tur, 2007).

- Şisti mermer; Yapraklı yapıya sahip yüksek ölçüde mika minerali içeren mermerlerdir.

- Breşik mermer; Fay şeklinde yanal minerallerle oluşan mermerlerdir (Köktürk, 2002).

3.1.4.1.5 Ekonomik şartlarına göre sınıflandırma

- Normal mermerler; Dolomit, konglomera gibi mermerlerdir

- Sert mermerler; Granit, serpantin, diyabaz gibi mermerlerdir.

- Oniks ve traverten mermerler (Sanayi ve Ticaret Bakanlığı, 1995);

3.1.4.1.6 Rengine göre sınıflandırma

- Genellikle beyaz ve gri renklere sahiptirler. Yapılarında bulunan farklı elementlerden dolayı çeşitli renklerde bulunmaktadırlar. Ticari piyasada pembe, gri, yeşil ve siyah gibi renkleri mevcuttur (Onargan vd. 2006).

3.1.4.2 Mermerlerin kullanım alanları

Mermerler tarih boyunca insanlar tarafından işlenerek kullanılmıştır. İlk olarak estetik ve dayanıklılık açısından kullanılsa da zamanla kullanım alanları genişlemiştir. Başlıca kullanım alanları; inşaat sektörü, mezarcılık, heykeltıraşlık ve süs eşyası yapımı ve dekorasyondur.

3.1.4.2.1 İnşaat sektöründe kullanımı

- Binaların iç ve dış kaplamalarında,

- Zemin döşemesinde, merdiven basamaklarında, mutfak tezgahlarında ve banyolarda,

- İç ve dış cephelerin süsleme işlerinde,

- Beton karışımında

- Şömine, süpürgelik, lavabo ve küvet yapımında mermer tercih edilmektedir (Beyccioğlu vd., 2008).

3.1.4.2.2 Mezarcılık

- Mezar taşı,

- Anıtlar,

- Mabetler ve çevrelerindeki büyük yapılarda kullanılmaktadır (Anon, 2008).

3.1.4.2.3 Heykeltraşlık

- Bu sektörde talebe bağlı olarak üretim yapılmaktadır (Bilgin, 2010).

3.1.4.2.4 Süs eşyası yapımı ve dekorasyon

- Vazo, satranç taşları, şekerlik, kalemlik, küllük, hediyelik eşya gibi süs eşyaları

- Abajur, isimlik, çakmak altlığı, avize gibi dekorasyon malzemeleri üretiminde kullanılmaktadır (Dhanapandian vd., 2009).

3.1.4.3 Mermer tozu

Mermer tozu (MT), en küçük ebatlı mermer malzemesini atığı olarak tanımlanmaktadır. Boyutu 300 mikron olan MT, farklı sanayi alanlarında katkı ve dolgu malzemesi görevinde kullanılmaktadır (Yıldız, 2012; Tatar, 2014).

MT ihtiyacı genellikle mermer ocaklarından patlatma usulü ile elde edilen moloz şeklindeki parçaların kırılıp öğütülmesiyle elde edilir. Ayrıca mermerlerin işlenmesi esnasında da mermer tozu açığa çıkmaktadır (Yamanel, 2015).

Mermerin prosesi sürecinde, mermer bloğu elmas kesiciler ile farklı kalınlıklarda levhalar halinde kesilmektedir. Kesici aletleri soğutmak ve işlem anında açığa çıkan tozun havaya karışmasını önlemek için kesici aletler üzerine su damlatılmaktadır. Bu işlem için kullanılan su miktarı oldukça fazladır. Bu su içerisinde alkali oranının fazla olması nedeniyle geri dönüşümü mümkün olamamaktadır. Mermer bloklarının levhalar halinde kesildiği fabrikada soğutma suyu mermer tozlarının çökelmesi için sedimantasyon tanklarında depolama yapılmaktadır (Doğan, 2019). Çamur halinde depolanan mermer tozları kamyonlara yüklenerek atık depolama alanlarına taşınmaktadır. Bu çamur %35–45 oranında su içermektedir. Bu alanda kurumaya bırakılan şlam halindeki atıklar güneşte kurutulur. Bu sırada mermer tozu havaya karışmaktadır. Bu durum hem çevre kirliliğine hem de hava kirliliğine neden olmaktadır (Yıldız, 2008; Aruntaş vd., 2010; Hamza vd., 2011; Yıldız, 2012; Malpani vd., 2014; Yamanel, 2015).

2014 yılı verilerine göre dünya çapında 155 milyon ton mermer ve granit üretimi yapılmıştır. Bunun ağırlıkça %20-%30'u mermer tozu olarak atık depolarına taşınmaktadır (Gussoni, 2016; Ashish, 2018).

İnce tane boyutuna sahip mermer tozu agrega ile homojen bir karışım sağlayarak kuvvetli bir bağ oluşturmaktadır. Basınç dayanımı normal betona göre daha yüksektir. Bunun sebebi beton içerisinde bulunan boşlukların mermer tozuyla dolması olarak açıklanmaktadır. İçerisinde bulunan kireç reaktiviteyi arttırması nedeniyle mermer tozunun beton üretiminde kullanılması iyi bir seçenek olarak görülmektedir (Wu vd., 2001; Corinaldesi vd., 2010; Dhoka 2013).

3.1.4.4 Mermer tozu atıklarının çevresel etkileri

MT atıkları gerek çevreye gerek havaya kısacası ekosisteme fiziksel, kimyasal ve biyolojik anlamda ciddi ölçüde zarar vermektedir. Bunlar;

- Toprağın gözenekli yapısını ve su emme miktarını düşürdüğü için topraktan alınacak verimi azaltmaktadır. MT yoğunlukta olduğu alanlarda bitkiler yok denecek kadar azdır.

- Çok ufak taneler halinde olduğu için havada uçuşmakta ve bu durum hava kirliliğine neden olmaktadır.

- Havada bulunan toz atıklar insan sağlığına nehirler, dereler gibi akarsularda su kalitesini düşürmektedir.

- Yer altı su havzalarını olumsuz yönde etkilemektedir.

- Depolama alanları çevrenin görsel güzelliğini bozmaktadır.

- Bulunduğu yörenin turizm potansiyelini olumsuz yönde etkilemektedir (Doğan, 2019).

3.1.4.5 Mermer tozu atıklarının kullanım alanları

MT, inşaat sanayi, çimento imalat sanayi, kâğıt sanayi, plastik sanayi, seramik endüstrisi, cam sanayi, tarım, gübre ve yem sanayi, boya sanayi ve kimya sanayi gibi birçok alanda kullanılabilmektedir (Demir 2008; Tatar, 2014).

3.1.4.5.1 İnşaat sanayinde kullanımı

- Mozaik, yapıtaşı, harç ve sıva olarak,

- Yer karosu üretiminde,

- Derz dolgu malzemesi üretiminde,

- Baraj ve inşaatlarda dolgu malzemesi olarak;

- Betonda ince agrega olarak,

- Döşeme plakası agregası olarak;

3.1.4.5.2 Çimento imalat sanayinde kullanımı

- Normal portland çimentosu bileşimindeki kalker yerine hammadde olarak,
- Kil yerine kaolen kullanarak beyaz çimento üretiminde,

3.1.4.5.3 Kâğıt sanayinde kullanımı

- Dolgu ve kaplama malzemesi olarak,
- Sigara kâğıdı üretiminde,
- Gazete kâğıdı üretiminde,
- Kaliteli dergi kâğıtları üretiminde,
- Matbaa mürekkebinin hızlı kurumasını sağlamada,

3.1.4.5.4 Plastik sanayinde kullanımı

- Malzemeye kalınlık ve tokluk vermek amacıyla dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır.

3.1.4.5.5 Seramik sanayinde kullanımı

- Seramik bünye ve sırlarında;
- Seramik üretiminde gözenekliliği azaltmak için kullanılmakta,

3.1.4.5.6 Cam sanayinde kullanımı

- Şişe ve pencere camı üretiminde,
- Özel cam üretiminde kullanılmakta,

3.1.4.5.7 Tarım, gübre ve yem sanayinde kullanımı

- Toprak ıslahında kullanılmakta,
- Tavuklarda yumurta verimini arttırmak için kullanılmakta,

3.1.4.5.8 Boya sanayinde kullanımı

- Boya imalatında katkı maddesi olarak
- Sulu boya üretiminde

3.1.4.5.9 Kimya sanayinde kullanımı

- Karpit üretiminde kullanılmaktadır.

Tez çalışması kapsamında üretilen KYHB'da kullanılan atık MT Kırşehir ili Kaman ilçesinde bulunan ARP granit ve mermer işletmesinden temin edilmiştir. Malzeme işletme bünyesinde bulunan çökelti şlam şeklinde alınmıştır. Alınan şlam etüvde 100+5ºC'de kurutularak bünyesindeki sudan ayrılmıştır. Atık mermer tozunun tane yoğunluğu 2,73 g/cm^3'tür. Son olarak, Tablo 3.8'de kimyasal özellikleri verilen, 0,125 mm'lik elekten geçen atık mermer tozu malzemesi numune üretiminde kullanılmıştır. Deneyde kullanılan mermer tozu Şekil 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.8 MT'ye ait kimyasal özellikler

Oksit	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO
MT (%)	39,40	15,20	7,65	34,20	0,65



Şekil 3.6 KYHB numunelerinin üretiminde kullanılan mermer tozu

3.1.5 Çimento

Tez çalışması kapsamında yapılan deneylerde CEM I 42.5 R sınıfı portland çimentosu kullanılmıştır (Şekil 3.7). Kullanılan çimento Baştaş Çimento San. A.Ş. tarafından üretilmiştir. Çimento üretimi Bu çimento, TS EN 197-1 "Çimento, Bileşim Özellikler ve Uygunluk Kriterleri" Standardı baz alınarak üretilmiştir.



Şekil 3.7 Deneylerde kullanılan çimento

Tablo 3.9'da CEM I 42,5 R ye ait kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.9 CEM I 42,5 R kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

Analiz	Oksit	Değer	Analiz	Deneyler	Değer
Kimyasal (%)	CaO	63,5	Fiziksel	Özgül Yüzey (cm^2/g)	3320
	Al_2O_3	5,35		Hacim Genleşme (mm)	1,2
	Fe_2O_3	3,30		Su ihtiyacı (g)	28,5
	SiO_2	20,41		Yoğunluk (g/cm^3)	3,12
	SO_3	2,93		Priz başlama süresi (dak.)	163
	MgO	1,65		Priz bitirme süresi (dak.)	240
	Na_2O	015	Mekanik	Gün	MPa
	Cl	0,011		2 gün	28,2
	K_2	0,71		7 gün	42,7
	HCl	0,28		28 gün	51,4

3.1.6 Kimyasal Katkı Malzemesi

Tez çalışması kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan katkı maddesi BASF firmasından tedarik edilmiştir. Polikarboksilik eter esaslı süperakışkanlaştırıcı Master Glenium SKY608 katkı malzemesi, kendiliğinden yerleşen hafif beton karışımlarında kütlece 100 kg bağlayıcı için 0,8 – 1,5 kg arasında kullanılması önerilmektedir.

3.1.7 Karışım Suyu

KYHB numunelerinin üretiminde karışım suyu olarak organik madde ve madensel tuz içermeyen Kastamonu şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

3.2 Metot

Taze ve sertleşmiş KYHB numunelerine uygulanan deneyler Karayolları 15. Bölge Müdürlüğü AR-GE laboratuvarında yapılmıştır.

3.2.1 Kendiliğinden Yerleşen Hafif Beton Numunelerinin Üretilmesi

Tez çalışması kapsamında üretilen KYHB numunelerinin karışım oranlarını gösteren reçete Tablo 3.10'da verilmiştir. Çalışmada %5, %10 ve %15 oranında mermer tozu çimento ikame malzemesi olarak kullanılmıştır.

Tablo 3.10 KYHB Karışım reçetesi

Reçete	Mermer tozu (MT) (%)	Pomza (%)	Su/çimento	Süperakışkanlaştırıcı (SA) (%)
REF	0	100	0,35	0,8-1,5
%5 MT	5	95	0,35	0,8-1,5
%10 MT	10	90	0,35	0,8-1,5
%15 MT	15	85	0,35	0,8-1,5

KYHB numunelerinin üretiminde beton karışımlarını hazırlamak amacıyla 40 dm^3 kapasiteye sahip beton mikseri kullanılmıştır. İlk olarak malzemeler mikser içerisine alınmadan önce, miksere nemlendirme işlemi yapılmıştır. Ardından bütün agregalar miksere alınarak kuru halde 2 dk karıştırılmıştır. Daha sonra reçetede belirtilen karışım suyunun 2/3'ü ilave edilip, tekrar 2 dk karıştırılmıştır. Son olarak da, suyun geri kalanı ve akışkanlaştırıcı ve hava sürükleyici katkı eklenmiş ve 2 dk daha karıştırılmıştır. Karıştırma işleminin ardından mikser içerisinden bir miktar beton karışımı alınarak karışıma taze beton deneyleri uygulanmıştır. Taze beton deneylerinin istenilen sonuçları vermesi ile hazırlanan KYHB harcı 15x15x15 cm ve 10x10x10 cm'lik küp kalıplara dökülmüştür (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Karışımın kalıplara dökülmesi

Doldurma işlemi sırasında beton içerisinde oluşan sıkışık hava boşluğunu asgariye indirmek için kalıp içerisine beton numunesi iki aşamada dökülmüştür. İlk aşama yapıldıktan sonra bir süre beklenmiş, ardından ikinci aşama yapılmıştır. Bütün numunelerde pürüzsüz yüzey elde etmek için yüzey tesviye işlemi uygulanmıştır. Tesviye işleminin ardından numuneler 24 saat boyunca kalıpta bekletilmiştir. 24 saatin

sonunda numuneler kalıptan çıkarılmış ve sıcaklığı 23±2ºC olan kür havuzuna konulmuştur (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Numunelerin kür havuzunda kürlenmesi

Son olarak numuneler kür havuzundan çıkarılarak fiziksel ve mekanik testlere tabi tutulmuştur. Tüm karışımlarda, toplam bağlayıcı (çimento+mineral katkı) miktarı ve su/çimento oranı sabit tutulmuştur.

3.2.2 Taze Beton Deneyleri

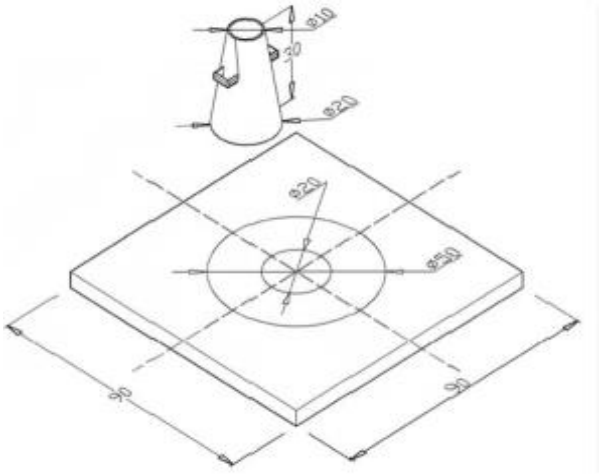
3.2.2.1 Çökme-yayılma deneyi

Çökme-yayılma deney yöntemi, taze haldeki KYHB'nin kendi ağırlığı ile yayılarak meydana getirdiği çapın ölçülmesini ve deformasyon hızının gözlemlenmesini sağlamaktadır.

Deneyde 80x80 cm ebatlarında tabla ve standart slump hunisi kullanılmaktadır (Aykan vd., 2004). Ayrıca akış zamanını ölçmek için kronometre, su düzeci, numunenin deney alanına getirilebilmesi için bir kap ve doldurma başlığına ihtiyaç duyulmaktadır (Taşkın, 2016).

Deneye başlamadan önce tabla ve huni nemlendirilir. Ardından Şekil 3.10'da görüldüğü gibi tabla üzerine çapı 200 mm ve 500 mm olan daireler çizilir. Huni 20 mm'lik daire içine yerleştirilerek KYHB karışımı huni içerisine doldurulur (Günaydın, 2006). Huni maksimum 30 sn bekledikten sonra yukarı doğru çekilir. Bu çekme işleme

1-3 sn arasında yapılmalıdır. Kendi ağırlığıyla dairesel bir şekilde yayılan KYHB'nun yayılma çapları iki farklı noktadan ölçülür. Eğer iki çap arasındaki far 5 cm den fazla ise deney tekrar yapılmalıdır (TS EN 12350-8, 2010). Ölçüm sonucu 650-800 mm olmalıdır. T50 değerini belirlemek için, huninin çekildikten sonra kronometre başlatılır ve 50 cm çapındaki daireye temas ettiği anda durdurulur (Palta, 2020). Geçen süre 2-5 sn olmalıdır. Yayılma işlemi bitinceye kadar beklenir. Ölçülen bu değer betonun akış hızını bildirmektedir (Efnarc, 2002).



Şekil 3.10 Yayılma deneyin tipik tasarımı ve boyutları (Schwartzentruber vd., 2006)

Çökme ve yayılma deneyi üç değişik yönü belirlemektedir. Bunlar;

- Doldurma kabiliyeti,
- Viskozite
- Direnç segregasyondur (Şeker, 2019).

TS EN 206-12 standardı KYB'lere sınıflandırma yapmaktadır. Yapılan sınıflandırmalar Tablo 3.11 ve Tablo 3.12'de verilmiştir.

Tablo 3.11 KYB'ler için çökme-yayılma sınıflandırılması

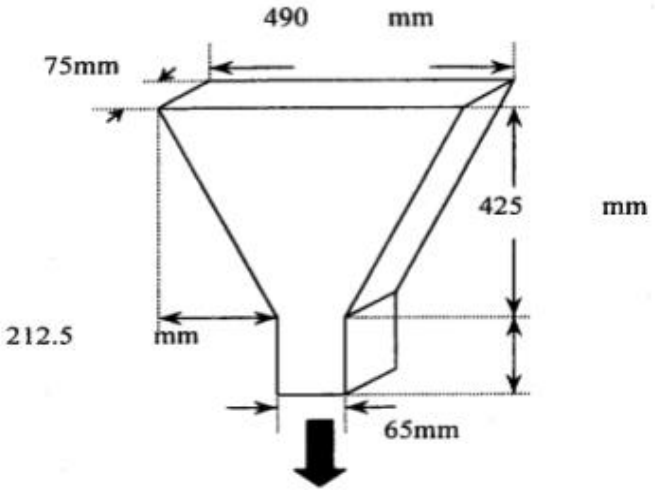
Sınıf	Çökme-Yayılma (mm)
SF1	550-650
SF2	660-750
SF3	760-850

Tablo 3.12 KYB'ler için T500 sınıflandırılması.

Sınıf	T500 (sn)
VS1	<2
VS2	≥2

3.2.2.2 V-hunisi deneyi

KYHB'nin viskozite ve geçiş yeteneğini belirlemek amacıyla V-hunisi deneyi yapılmaktadır. V-hunisi deneyi en büyük tane ebatı 22,4 mm'den fazla olan betonlar için kullanılmamaktadır (TS EN 12350-8, 2010). Deney, özel tasarlanmış dar ağızlı bir huni ile yapılmaktadır. KYHB'nin kendi ağırlığı ile bu huniden boşalma süresini tespit etmek için yapılmaktadır. KYHB huni içerisine doldurulduktan sonra huni altında bulunan sürgülü kapak açılmaktadır. Huniye KYB doldurulduktan sonra en altta bulunan sürgülü kapak açılır. Kronometre yardımıyla betonun huni içerisinden boşalma süresi belirlenir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11 V- Kutusu Deney Aparatı (Duyar, 2006)

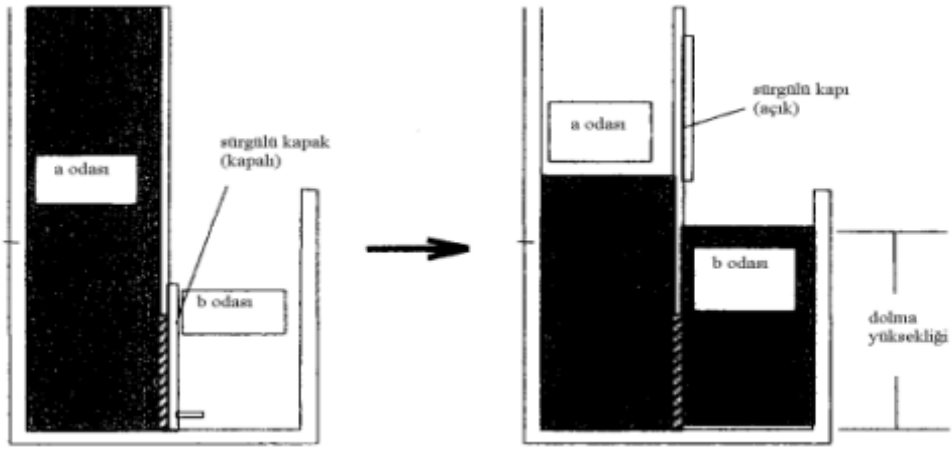
TS EN 206-12 standardında V hunisi için belirlenen sınıflandırma Tablo 3.13'de verilmiştir.

Tablo 3.13 KYHB'ler için V-hunisi sınıflandırılması (Taşkın, 2016)

Sınıf	V-hunisi akma süresi (s)
VF1	<9
VF2	9-25

3.2.2.3 U-kutusu deneyi

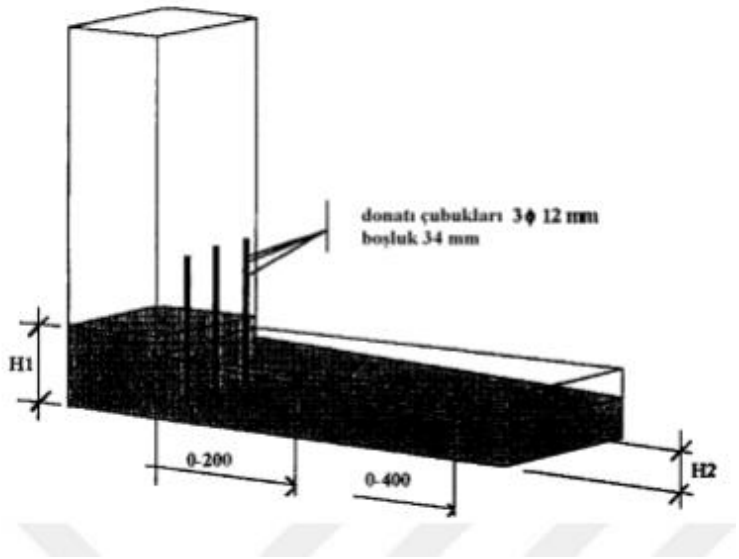
U kutusu deneyi, KYHB'nin akış kabiliyeti ve doldurma kapasitesini tespit etmek için yapılmaktadır. Deney aparatı, U harfine benzeyen deney düzeneğinin alt kısmında kapak bulunan bir kutudur. KYHB hiçbir sıkıştırma ya da vibrasyon yapılmaksızın deney düzeneğine doldurulmaktadır. Ardından 1 dakika beklenir. Bekleme süresi tamamlandıktan sonra düzeneğin alt kapağı açılmakta ve betonun diğer bölmede yükselmesi izlenmektedir. İki bölme arasındaki yükseklik farkı KYHB'nin geçme kabiliyeti konusunda fikir sunmaktadır. Bölmeler arası yükseklik farkı en fazla 30 cm olmalıdır (Okamura ve Ouchi, 2003). U kutusu deney düzeneği Şekil 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.12 U- Kutusu Deney Aparatı (Palta, 2020)

3.2.2.4 L-kutusu deneyi

L kutusu deneyi KYHB'nin geçiş kabiliyetini tespit etmek için yapılmaktadır. Kendiliğinden yerleşen taze betonun geçiş yeteneğinin belirlenmesi amacıyla L kutusu deneyi yapılmaktadır. KYHB deneylerinde kullanılan L kutusu Şekil 3.13'de gösterilmiştir.



Şekil 3.13 L- Kutusu Deney Aparatı (Skarendahl ve Petersson, 2000)

3.2.3 Sertleşmiş Beton Deneyleri

3.2.3.1 Fiziksel deneyler

3.2.3.1.1 Su emme deneyi

KYHB'nun kapiler su emme deneyi için 15×15×15 cm ebatında küp numuneler kullanılmıştır. TS EN 12390-2 standardı baz alınarak üretilen numuneler 7, 28 ve 90 gün kür havuzunda kür edilmiştir. Kürleme sonunda numuneler etüv fırınında 105 °C'de içerisindeki nem yok oluncaya kadar kurutulmuştur. Kurutma işlemi tamamlandıktan sonra küp numunelerin dört tarafı parafin ile suya karşı izole edilmiştir. Daha sonra numunelerin tabanı su içerisinde kalacak şekilde içerisinde su bulunan deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Suyun yüksekliği 5 cm olarak ayarlanmış ve bu seviye deney boyunca korunmuştur. KYHB numuneleri 0, 5, 10, 20, 30, 60, 180, 360 ve 1440. dakikalarda tartılmıştır. Numuneler belirlenen sürelerde deney düzeneğinden çıkarılıp yüzey kuru hale getirildikten sonra tartılmıştır. Numunelerin kapiler su emme katsayıları $\mathbf{Q/A=k\sqrt{t}}$ denkleme göre hesaplanmıştır. Denklemde bulunan "Q" absorbe olan su miktarı (cm^3), "A" suya temas eden yüzeyin alanı (cm^2), "k" kapiler su emme katsayısı($cm/s^{1/2}$) ve "t" zaman (s) terimlerini ifade etmektedir (Gönen vd., 2007).

3.2.3.1.2 Kuru birim ağırlık

KYHB numunelerinin birim ağırlıkları değerleri tüm numunelerin, 28, 90 ve 150. günde ölçülmüştür. Kür havuzundan alınan numuneler 105±5 °C de etüv fırınında sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulur. Ardından kuru birim ağırlıkları belirlenir. Numunelerin kuru birim ağırlığı **KB=WK/V** formülü ile hesaplanır. Formülde yer alan KB; kuru birim ağırlığı (kg/m^3), WK; 24 saat 105±5 0C'de kurutulmuş ağırlığı (kg), V; Numune hacmi (m^3)ni ifade etmektedir (Taşkın, 2016).

3.2.3.2 Mekanik deneyler

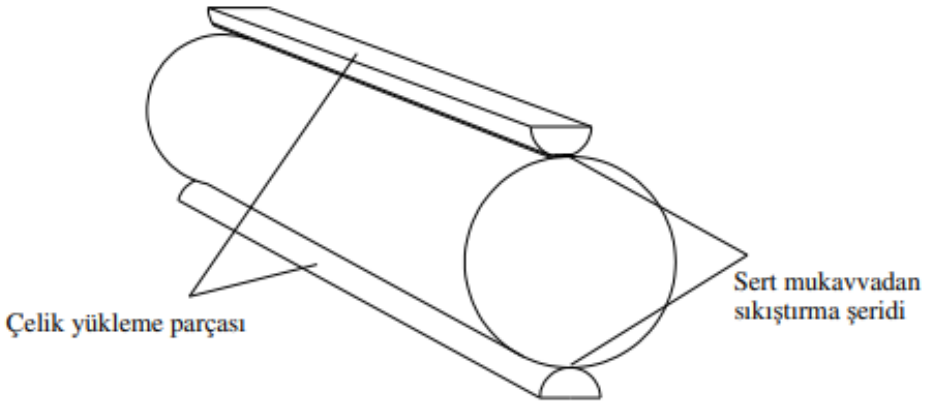
3.2.3.2.1 Basınç dayanımı deneyi

Basınç dayanım değeri belirlenmek istenen KYHB numunelerinin TS EN 12504-1, TS EN 12390-1, TS EN 12390-2 ya da TS EN 12350-1 standartlarında belirtildiği gibi, silindir, küp ya da karot şeklinde olmalıdır. KYHB numunelerine uygulanacak basınç dayanımı deneyinde yükleme hızı 0,2 ila 1,0 MPa /s (N/mm^2.s) arasında değişmez bir hız olması gerekmektedir. Basınç dayanımı deneyinde 15x15x15 cm ebatlarında küp numuneler kullanılmıştır.

KYHB numunelerinin basınç dayanım değeri bulunurken, ilk olarak numunelerin cihaza yerleştirileceği alanın temiz olması gerekmektedir. Alan temizlendikten sonra numuneler yerleştirilir. Cihazın yükleme hızı ayarlanır (0,8 MPa/s) ve deney başlanılır (Palta, 2020). Numuneler kırıldığındaki yük değeri kaydedilir. Kaydedilen yük numunenin alanına bölünerek basınç dayanımı hesaplanmış olur (Şeker, 2019).

3.2.3.2.2 Yarmada çekme deneyi

Yarmada çekme dayanımı deneyleri için 7 ve 28 günlük kür sürelerini tamamlayan KYHB numuneleri kullanılmıştır. Numuneler 15x15x15 cm boyutlarında küp numunelerdir. Yarmada çekme dayanım deney düzeneği Şekil 3.7 ve deney cihazı ise Şekil 3.14'de sunulmuştur.



Şekil 3.14 KYHB'de yarmada çekme dayanımı deney düzeni

4. BULGULAR

4.1 Taze Beton Deney Sonuçları

KYHB numunelerinin taze haldeki özelliklerini belirlemek için, çökme-yayılma çapı, yayılma süresi, V hunisi, L kutusu, U ktusu ve taze beton birim hacim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 4.1'de sunulmuştur.

Kendiliğinden yerleşen betonların kendiliğinden yerleşebilme kabiliyetine sahip olup olmadığı EFNARC (The European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems) tarafından yayınlanan raporla karşılaştırılarak karar verilmiştir. Bu rapora göre sınır değerler arasında kalan betonun kendiliğinden yerleşebilme kabiliyetine sahip olduğu söylenmektedir.

Tablo 3.14 KYHB numunelerinin taze beton deney sonuçları

	Yayılma Çapı (mm)	Yayılma süresi (sn)	V hunisi (sn)	L Kutusu ($h_2/h_{1)}$	U kutusu (cm)	Taze Beton BHA (kg/m^3)
REF	690	2,9	6,8	0,93	1	1375
%5 MT	680	3,1	7,3	0,89	2	1362
%10 MT	670	3,4	7,9	0,86	2	1355
%15 MT	650	3,8	9,2	0,85	2	1288

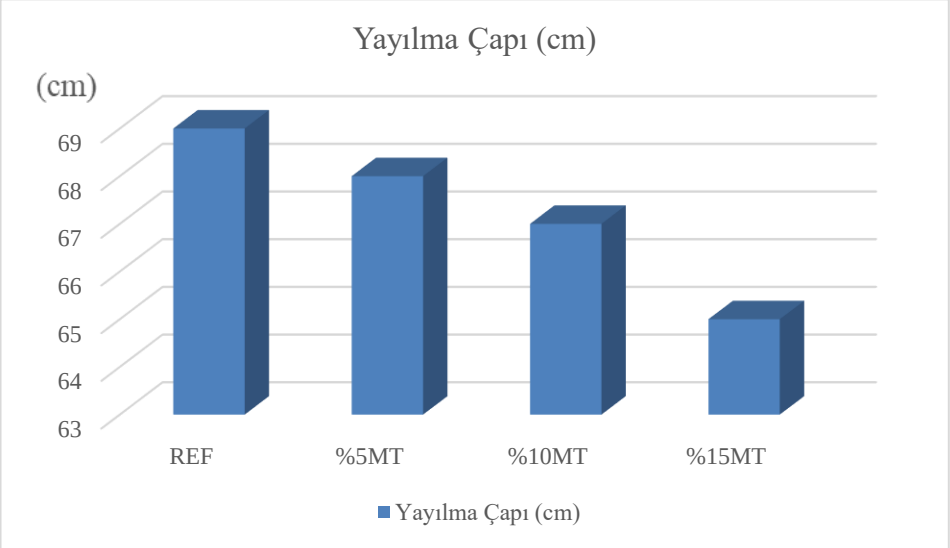
Bir betonun kendiliğinden yerleşebilme kabiliyetine sahip olduğunun anlaşılabilmesi için geçebilme kabiliyeti, doldurma kabiliyeti ve ayrışma direncinin istenilen düzeyde olması gerekmektedir.

4.1.1 Çökme-Yayılma Deney Sonuçları

KYHB numunelerinin doldurma kabiliyetine sahip olup olmadığını anlamak amacıyla çökelme-yayılma deneyi yapılmıştır. Çökme-yayılma deney sonucu Şekil 4.1'de verilmiştir.

EFNARC'ın kendiliğinden yerleşen betonlar için 2005 yılında yayınladığı rapora göre kendiliğinden yerleşen betonları üç guruba ayrılmıştır. Bunlar; SF1, SF2 ve SF3'dür.

SF1; yayılma çapı 550-650 mm olanlar, SF2; yayılma çapı 660-750 mm arasında olanlar ve SF3; yayılma çapı 760-850 mm arasında olanlardır.

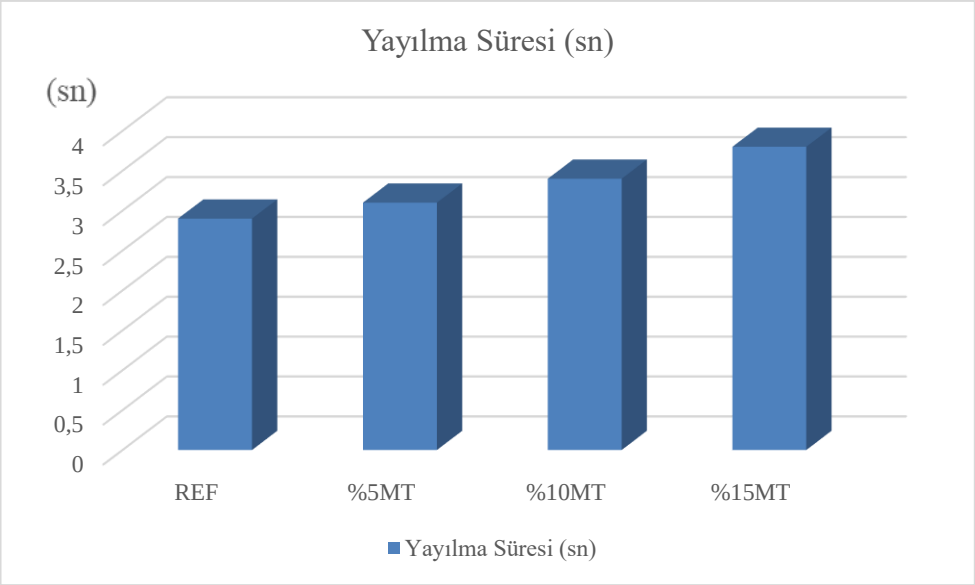


Şekil 3.15 KYHB numunelerinin çökme-yayılma deney sonuçları

Şekil 4.1 incelendiğinde; KYHB karışımlarının yayılma çapı değerlerinin 650 ile 690 mm arasında değiştiği görülmüştür. Referans (REF) numunenin yayılma çapı 690 mm ile en yüksek değer sahipken, %15 MT katkılı numune 650 mm ile en düşük yayılma çapına sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca mermer tozu katkısının taze betonun işlenebilirlik kabiliyetini azalttığı sonucuna varılmıştır. Literatür incelendiğinde mermer tozunun KYB'nin işlenebirilliği üzerine farklı görüşler bulunmaktadır. Bazı bilim insanları mermer tozunun işlenebilirliği arttırdığını (Şahmaran vd., 2006; Hallal vd., 2010; Uysal ve Sümer, 2011). Savunurken bazıları ise azalttığını bildirmiştir (Gesoğlu vd., 2012; Türkmenoğlu vd., 2015).

KYB karışımlarının viskozitesini belirlemek için T_{500} süresinin ölçülmüştür. Bulunan değerler Şekil 4.2'de verilmiştir.

EFNARC, (2005)'te yayınladığı rapora göre KYB karışımları yayılma süreleri (T_{500} süresi) VS1 ve VS2 olmak üzere ikiye ayrılmıştır. T_{500} süresi $\leq$ 2 sn olanlar VS1, >2 sn olanlar VS2 olarak ifade edilmiştir.



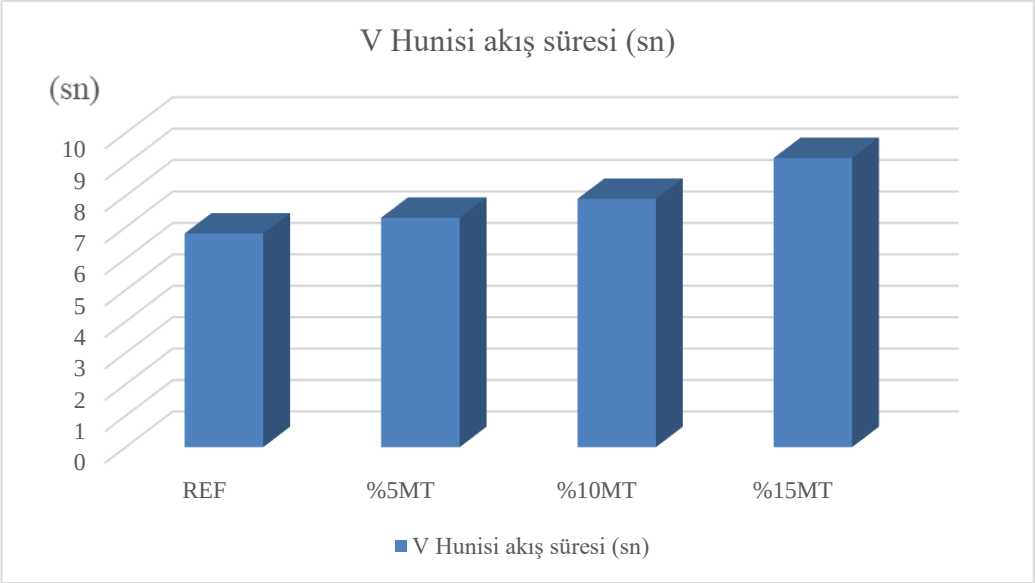
Şekil 3.16 KYHB numunelerinin yayılma süresi (T500 süresi) deney sonuçları

Şekil incelendiğinde; KYHB numunelerinin yayılma sürelerinin 2,9 sn ile 3,8 sn arasında değiştiği görülmektedir. Referans numune karışımının yayılma süresinin 2,9 sn olarak ölçülmüştür.

Atık mermer tozu katkılı KYHB karışımlarında, %5 MT karışımının 3,1 sn ile en düşük yayılma süresine sahipken, en yüksek yayılma süresi 3,8 sn ile %15 MT karışımına ait olduğu görülmüştür. Ayrıca mermer tozu ikamesinin artmasıyla KYHB karışımlarının yayılma süresinin uzadığı tespit edilmiştir. Literatür incelendiğinde bazı çalışmalarda yayılma süresinin uzadığı (Aruntaş vd, 2007; Uysal, 2010; Gesoğlu vd, 2012), bazı çalışmalarda ise kısaldığını bildirmişlerdir (Türkmenoğlu vd., 2015).

4.1.2 V-Hunisi Deney Sonuçları

Çalışma kapsamında üretilen KYHB karışımlarının viskozitesini belirlemek amacıyla V- Hunisi deneyi yapılmıştır. Bulunan değerler Şekil 4.3'de sunulmuştur.



Şekil 3.17 KYHB numunelerinin V- Hunisi deney sonuçları

EFNARC'ın 2005 yılında yayınladığı rapora göre; KYB'ler viskozite kabiliyetlerine göre VF1 ve VF2 olmak üzere iki guruba ayrılmıştır. Bu gruplamaya göre VF1; V-Hunisi akış süresi ≤ 8 sn olan KYB karışımlarını, VF2 ise V-Hunisi akış süresi 9-25 sn arasında olanları ifade etmektedir.

Şekil incelendiğinde, KYHB karışımlarının V hunisi akış sürelerinin 6,8 ile 9,2 sn arasında değiştiği görülmektedir. En kısa akış süresi referans numuneden ölçülürken en uzun akış süresi ise %15 MT katkılı karışımlardan elde edilmiştir. Çalışmada REF, %5 MT ve %10 MT VF1 sınıfına girerken, %15 MT 9,2 sn ile VF2 sınıfına girmektedir. Ayrıca mermer tozunun katkı miktarının artması ile akış sürelerinin uzadığı tespit edilmiştir. Literatürde mermer tozunun akış süresini uzattığına dair farklı çalışmalar bulunmaktadır (Gesoğlu vd; 2012; Türkmenoğlu vd., 2015; Türkmenoğlu, 2017).

4.1.3 U-Kutusu Deney Sonuçları

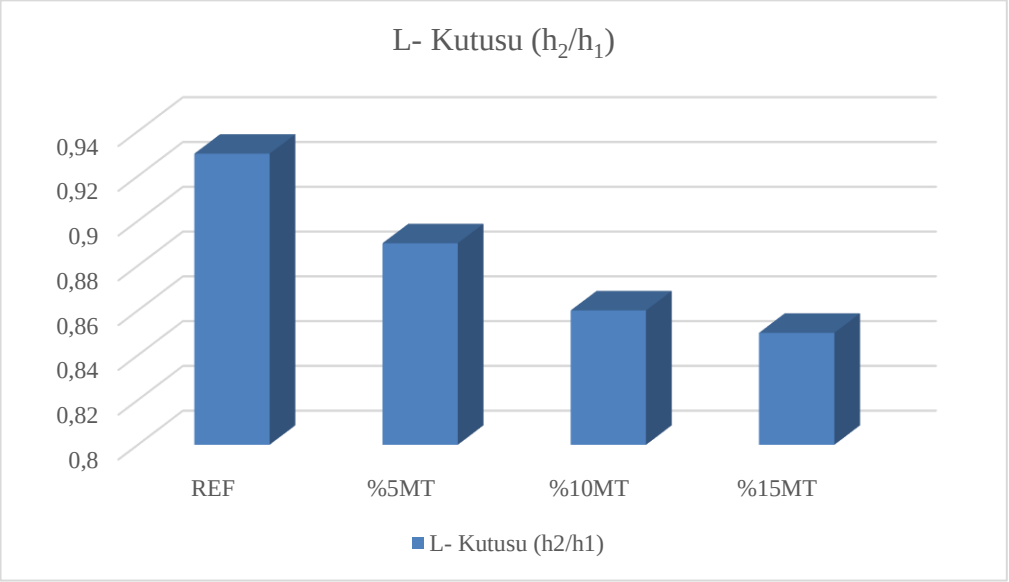
KYHB karışımlarının doldurma ve geçiş kabiliyetinin belirlenmesi için U- Kutusu deneyi yapılmıştır. KYB kriterleri EFNARC baz alınarak hazırlanan rapora göre; U kutusunun kolları arasındaki mesafenin en fazla 3 cm olması gerekmektedir. Eğer bulunan değer 3 cm'nin altında ise beton malzemesinin donatılar arasından geçiş kabiliyetinin yüksek olduğu, eğer 3 cm'nin üzerinde ise donatılar arasından geçiş

kabiliyetinin düşük olduğu anlamına gelmektedir. Tez çalışması kapsamında üretilen KYHB karışımlarının U kutusu deney sonuçlarında referans numune 1 cm, mermer tozu katkılı numunelerin ise 2 cm olduğu tespit edilmiştir.

4.1.4 L-Kutusu Deney Sonuçları

Kendiliğinden yerleşen hafif beton karışımlarının doldurma ve geçiş kabiliyetinin belirlenmesi için L-Kutusu deneyi yapılmıştır. KYHB numunelerinin L Kutusu deney sonuçları Şekil 4.4'de sunulmuştur.

EFNARC (2005)'e göre KYB'lerin geçebilme kabiliyeti PA1 ve PA2 olmak üzere iki guruba ayrılmıştır. KYB'nin iki çubuklu L kutusundan geçiş kabiliyeti ≥0,80 olduğunda PA1 gurubuna, KYB'nin üç çubuklu L kutusundan geçiş kabiliyeti <0,80 olduğunda PA2 grubuna girmektedir.



Şekil 3.18 KYHB numunelerinin L- Kutusu deney sonuçları

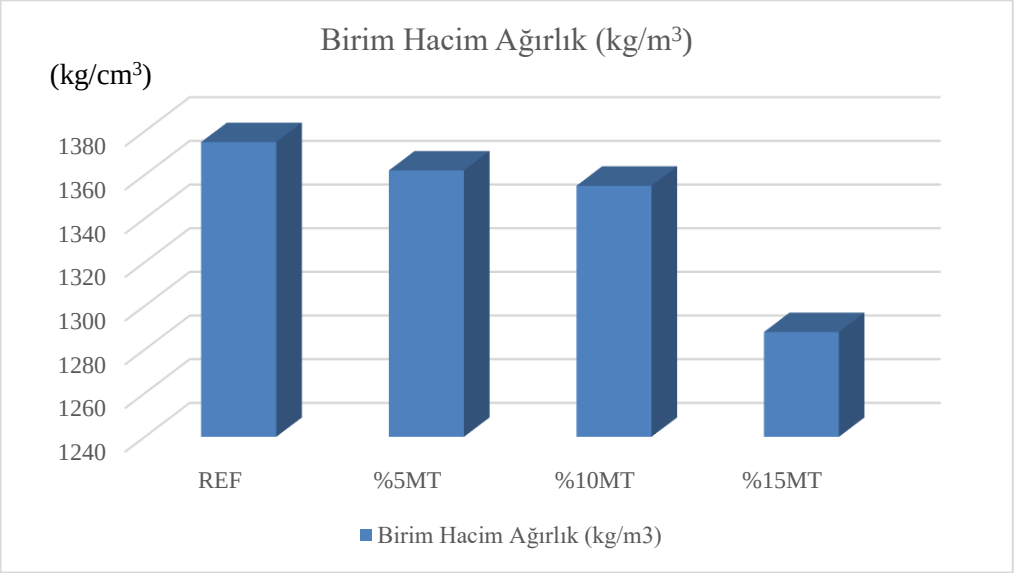
Şekil incelendiğinde; h_2/h_1 değerlerinin 0,85 ile 0,93 arasında değiştiği görülmüştür. Çalışmada üç çubuklu L kutusu kullanıldığı için tüm numunelerin PA2 gurubuna girdiği tespit edilmiştir. En yüksek değer 0,93 ile referans numunesinden elde edilirken, en düşük değer ise 0,85 ile %15 MT numunelerinden elde edilmiştir. Literatür incelendiğinde, bazı çalışmalarda mermer tozunun KYB'nin geçebilme

kabiliyetinin arttığı (Uysal ve Yılmaz, 2011), bazı çalışmalarda ise azaldığı görülmüştür (Gesoğlu vd., 2012).

4.1.5 Taze Beton Birim Hacim Ağırlık Deney Sonuçları

KYHB karışımlarının taze beton birim hacim ağırlık (BHA) değerleri TS EN 12530-6 standardı baz alınarak belirlenmiştir (TS EN 12530-6, 2010). Çalışma kapsamında yapılan deney sonuçları Şekil 4.5'de verilmiştir.

Şekil incelendiğinde; KYHB numunelerinin taze beton BHA değerlerinin 1288 kg/cm^3 ile 1375 kg/cm^3 arasında değiştiği görülmüştür. En yüksek BHA 1375 kg/cm^3 ile referans numuneden elde edilirken, en düşük BHA 1288 kg/cm^3 ile %15 MT katkılı numunelerden elde edilmiştir. Ayrıca mermer tozu katkı miktarı arttıkça taze beton BHA değerinde azalma olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 3.19 KYHB numunelerinin taze beton BHA deney sonuçları

Türkmenoğlu (2017) yaptığı çalışma ile mermer tozu katkısının taze beton BHA'nı azalttığını tespit etmiştir. Bu durum tez çalışmasını desteklemektedir.

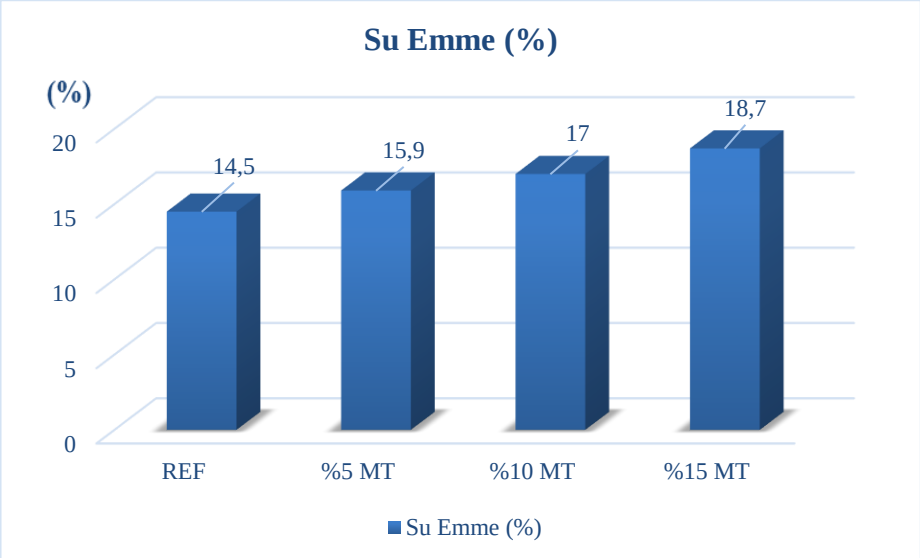
4.2 Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

4.2.1 Fiziksel Deney Sonuçları

KYHB'ın fiziksel özelliklerini belirmek için su emme ve kuru birim hacim ağırlık deneyler yapılmıştır.

4.2.1.1 Su emme deney sonuçları

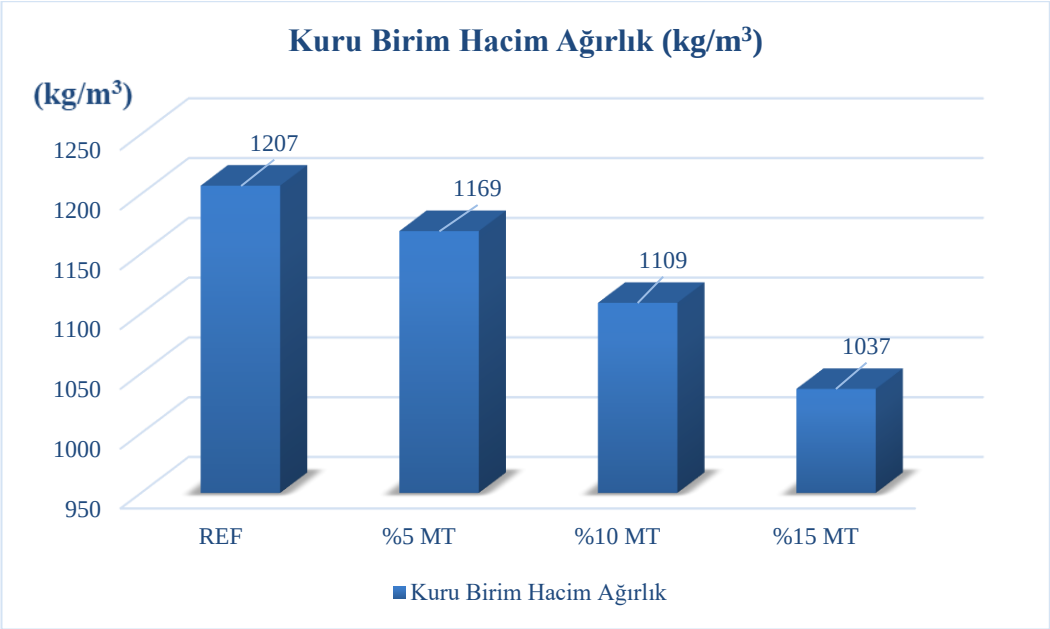
KYHB numunelerinin su emme oranlarına ait değerler Şekil 4.6'da verilmiştir. Şekil incelendiğinde; KYHB numunelerinin su emme oranlarının %14,5 ile %18,7 arasında değiştiği görülmektedir. Referans numunesi %14,5 ile en düşük su emme değerine sahipken, %15 MT'nin %18,7 ile en yüksek su emme oranına sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca KYHB üretiminde mermer tozu miktarının artmasıyla su emme oranında azalma meydana gelmiştir. Bu azalmaya betonda kullanılan agreganın gözenekli bir yapıya sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatürde de mermer tozunun su emme miktarını arttırdığına dair çalışmalar yer almaktadır (Chindaprasirt ve Rattanasak, 2011; Jitchaiyaphum vd, 2013; Türkmenoğlu vd., 2015; Türkmenoğlu, 2017).



Şekil 3.20 KYHB numunelerinin su emme deney sonuçları

4.2.1.2 Kuru birim hacim ağırlık deney sonuçları

KYHB numunelerinin kuru birim hacim ağırlık değerleri Şekil 4.7'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde; KYHB numunelerinin kuru birim hacim ağırlık değerlerinin 1210 kg/m^3 ile 1037 kg/m^3 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Referans numunesi 1207 kg/m^3 ile en yüksek kuru birim hacim ağırlığa sahipken, %15 MT numunelerinin 1037 kg/m^3 ile en düşük kuru birim hacim ağırlığına sahip olduğu görülmüştür.



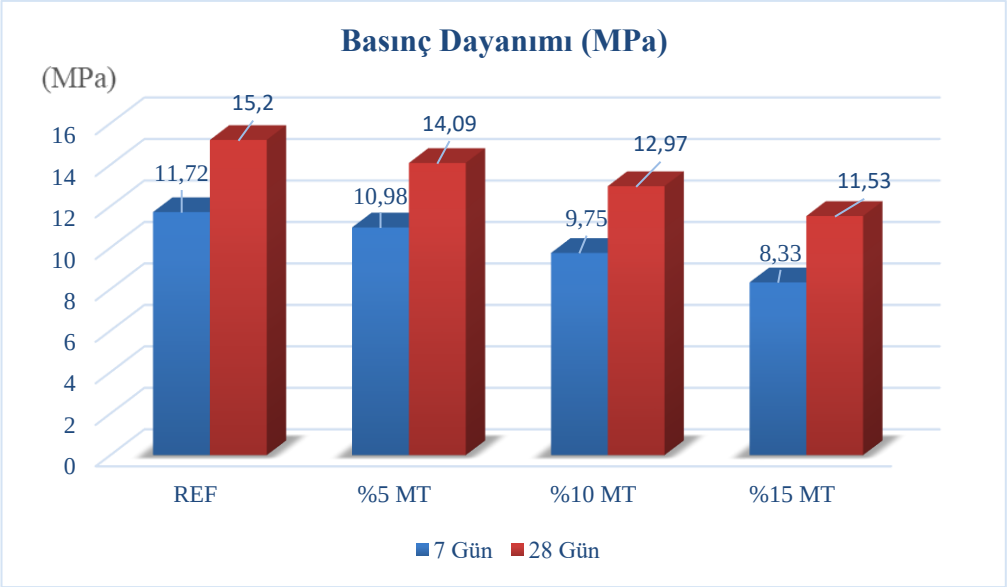
Şekil 3.21 KYHB numunelerinin kuru birim hacim ağırlık deney sonuçları

Bulunan değerler, TS EN 206-1 standardı baz alınarak irdelendiğinde; KYHB numunelerinin tamamının orta dayanımlı hafif beton sınıfında olduğu görülmektedir (TS EN 206-1, 2010).

4.2.2 Mekanik Deney Sonuçları

4.2.2.1 Basınç dayanımı deney sonuçları

7 ve 28 günlük KYHB numunelerinin basınç dayanımı deneyi, TS EN 12390–3 (2010) baz alınarak yapılmıştır. Numunelere ait basınç dayanımı değerleri Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 3.22 KYHB numunelerinin basınç dayanımı deney sonuçları

7 günlük numunelerin grafiği incelendiğinde; referans numunesi 11,72 MPa ile en yüksek basınç dayanımına sahipken, %15 MT katkılı numuneler 8,33 MPa ile en düşük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca mermer tozu miktarının artmasıyla 7 günlük basınç dayanımında azalma meydana gelmektedir.

28 günlük numunelerin grafiği incelendiğinde; basınç dayanımlarının sırasıyla 15,2 MPa; 14,09 MPa; 12,97 MPa ve 11,53 MPa olduğu görülmektedir. En yüksek değer 15,2 MPa ile referans numunelerinden sağlanırken en düşük değer 11,53 MPa ile %15 MT numunelerinden sağlanmıştır.

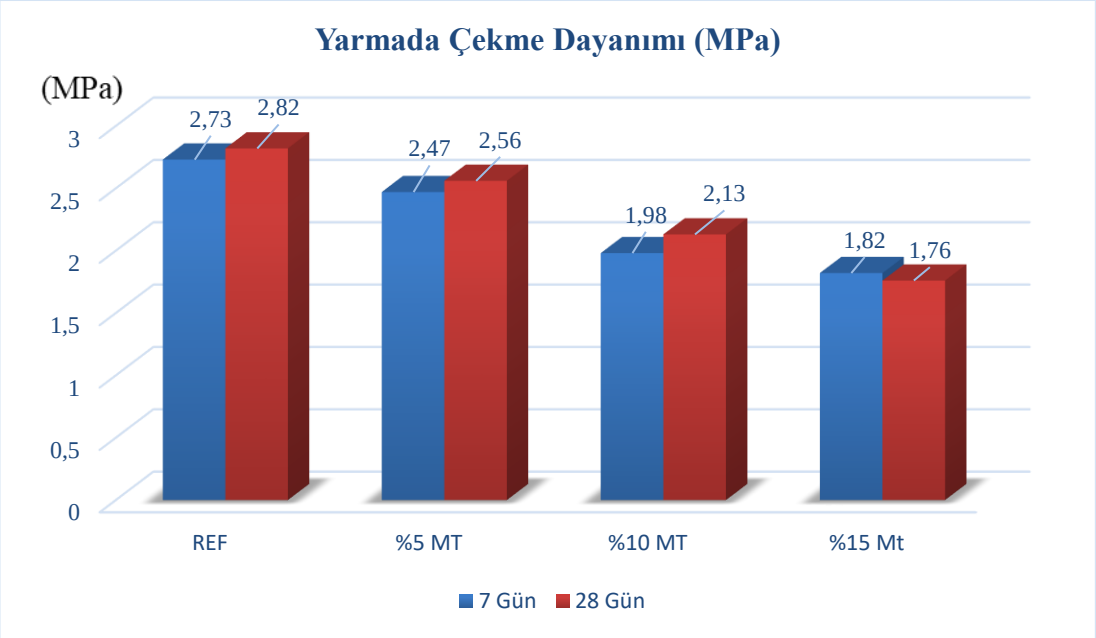
Literatür incelendiğinde; mermer tozu miktarının artmasıyla basınç dayanımında azalma meydana geldiği görülmüştür (Gesoğlu vd., 2012; Vijayalakshmi, 2013; Arshad ve ark, 2014). Rai vd., (2011) yaptıkları çalışmada bu azalmanın nedeninin çimento ve mermer tozu yüzeyinin aderansının düşük olmasından kaynaklandığını bildirmiştir. Ayrıca literatürde mermer tozu miktarının artmasıyla basınç dayanımında da artış meydana geldiğini bildiren çalışmalarda bulunmaktadır (Aruntaş vd.,2010; Shirule vd., 2012). Yapılan çalışmalarda basınç değerinin artmasının nedeni, mermer tozu içerisinde bulunan aktif Silis'in kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girerek ikincil C-S-H oluşturması olduğu düşünülmektedir (Omar vd., 2012).

4.2.2.2 Yarmada çekme dayanımı deney sonuçları

Kendiliğinden yerleşen hafif beton numunelerine uygulanan yarmada çekme dayanımı deneyi TS EN 12390–6 standardı baz alınarak yapılmıştır (TS EN 12390–6, 2010). Numuneleri 7 ve 28 günlük yarmada çekme dayanımı deney sonuçları Şekil 4.9'da verilmiştir.

7 günlük numunelerin yarmada çekme dayanım değerleri incelendiğinde; referans numunesinin 2,73 MP ile en yüksek değere sahipken, 1,76 ile %15 MT katkılı numunelerin 1,76 MPa ile en düşük değere sahip olduğu görülmüştür. Numunelerin yarmada çekme dayanımı değerleri sırasıyla; 2,82 MPa; 2,56 MPa; 2,13 MPa; 1,76 MPa olduğu görülmektedir. Ayrıca mermer tozu miktarının artmasıyla yarma da çekme dayanımında azalma meydana geldiği tespit edilmiştir.

Literatür incelendiğinde; bazı çalışmalarda mermer tozu miktarının artmasıyla basınç dayanımında azalma gösterirken (Rodrigues vd., 2015), bazı çalışmalarda ise artma meydana gelmiştir (Arshad vd., 2014).



Şekil 3.23 KYHB numunelerinin yarmada çekme dayanımı deney sonuçları

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında; doğal kaynaklarımızdan olan Nevşehir yöresine ait asidik pomza agrega olarak ve endüstriyel atık olan ve Kırşehir yöresinden temin edilen atık mermer tozu farklı oranlarda (%0, %5, %10 ve %15) çimento ikame malzemesi olarak kullanılması sonucu kendiliğinden yerleşen hafif beton üretimi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda KYHB numuneleri üretilmiş, numunelere fiziksel ve mekanik deneyler yapılmış ve sonuç maddeler halinde sunulmuştur.

- Çalışmada üretilen referans ve mermer tozu katkılı numunelerin EFNARC raporunda belirtilen KYB kriterlerine uygun olduğu tespit edilmiştir.

- KYHB'nun taze beton özellikleri irdelendiğinde; mermer tozu katkı oranının artmasıyla taze beton yayılma çapının azaldığı ve yayılma süresinin uzadığı tespit edilmiştir. KYHB üretiminde kullanılan mermer tozunun köşeli bir yapıya sahip olası nedeniyle betonun işlenebilirlik yeteneği azalmıştır.

- KYHB numunelerin viskozitesini belirlemek için yapılan V-hunisi deneyi incelendiğinde; mermer tozu miktarının artmasıyla akış süresinin uzadığı tespit edilmiştir.

- U- kutusu deney sonucuna göre; mermer tozu katkısının, taze betonun donatılar arası geçiş kabiliyetini yükselttiği görülmüştür.

- L–kutusu deney sonucuna göre; tüm numunelerin PA2 sınıfına girdiği görülmüştür.

- KYHB üretiminde, mermer tozu miktarının artmasıyla taze beton birim hacim ağırlık değerlerinde azalma meydana gelmiştir.

- KYHB numunelerinin fiziksel özelliklerinin tespiti için yapılan su emme deneyinde, mermer tozu miktarının artmasıyla su emme oranında da artış meydana geldiği tespit edilmiştir.

- Fiziksel özelliklerin tespiti için yapılan bir diğer deney olan kuru birim hacim ağırlık deneyinde, mermer tozu miktarının artmasıyla kuru birim hacim ağırlık değerinin azaldığı görülmüştür.

- Mekanik özelliklerinin tespiti için yapılan basınç dayanımı deney sonucuna göre; mermer tozu miktarının artması ile basınç dayanımında azalma meydana gelmiştir.

- Bir diğer mekanik deney olan yarmada çekme dayanımı deney sonuçları incelendiğinde; mermer tozu miktarının artmasıyla yarmada çekme dayanım değerlerinde azalma meydana geldiği görülmüştür.

- Sonuç olarak; %15 oranında mermer tozu kullanımının uygun olacağı kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde kullanılmasında herhangi bir sakınca olmadığı düşünülmektedir.

- Mermer tozu gibi endüstriyel atıkların beton üretiminde kullanılması hem çevre kirliliği hem de sürdürülebilirlik açısından önem taşımaktadır.

- Her yıl açığa çıkan tonlarca mermer tozunun beton endüstrisinde kullanımı ile atık depolama maliyetleri düşecek bu durum ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır.

- Dünya çapında önemli ölçüde pomza yataklarının bulunduğu ülkemizde pomza hafif beton agregası olarak kullanılması konusunda çalışmalar yapılmalıdır.

- Mermer tozu gibi endüstriyel atıklar veya pomza gibi yerel hammaddeler üzerine yapılan bilimsel çalışmalar sadece literatürde kalmamalı sanayi ile iş birliği içerisinde olarak geliştirilmelidir.

KAYNAKLAR

Abdullah, T., & Naaymi. A., (2013). Assessment of pumice and scoria deposits in dhamar rada' volcanic field SW- Yemen, as a pozzolanic materials and lightweight aggregates. *International Journal of Innovative Science, Engineering and Technology*, 2(9), 2348-7968.

Abeysundara, U. Y., Babel, S., & Gheewala, S. (2009). A matrix in life cycle perspective for selecting sustainable materials for buildings in Sri Lanka. *Building and Environment*, 44(5), 997-1004.

Ağsu, A. S. (2019). Kendiliğinden Yerleşen Betonun Dayanm ve Hızlı Klor İyon Geçirimliliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Erzurum.

Ahiler Kalkınma Ajansı (AKA), (2015). Pomza Araştırmaları ve Uygulama Merkezi Fizibilite Raporu, Ahiler Kalkınma Ajansı, Türkiye, 2015.

Akkaş, A. (2011). Pomza Agregalı Taşıyıcı Hafif Betonun Taşıyıcılık Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Isparta.

Aliabdo, A.A., Abd Elmoaty, A.E.M., & Auda, E.M. (2014). Re-use of waste marble dust in the production of cement and concrete. *Construction and Building Materials*, 50 (2014) 28–41.

Alrshoudi, F., Mohammadhosseini, M., Alyousef, R., Alghamdi, H., Alharbi, Y.R., & Alsaif, A., (2020). Sustainable use of waste polypropylene fibers and palm oil fuel ash in the production of novel prepacked aggregate fiber-reinforced concrete. *Sustainability*, 12 (12), 4871.

Altalabani, D., Bzeni, D.K.H., & Linsel, S. (2020). Mechanical properties and load deflection relationship of polypropylene fiber reinforced self-compacting lightweight concrete. *Construction and Building Materials* 252(2020), 119084.

Alyamac, K. E., Ghafari, E., & İnce, R. (2017). Development of eco-efficient self-compacting concrete with wastemarble powder using the response surface method. *Journal of Cleaner Production*, 144 (2017), 192-202.

Alyousef, R., Alabduljabbar, H., Mohammadhosseini, H., Mohamed, A.M., Siddika, A., Alrshoudi, F., & Alaskar, A. (2020). Utilization of sheep wool as potential fibrous materials in the production of concrete composites. *Journal of Building Engineering*, 30 (2020), 101216.

Anon A, (2008), Makine Teknolojisi, Mermer Blok Üretimi, Milli Eğitim Bakanlığı, Mesleki Teknik Eğitim ve Öğretim Sisteminin Geliştirilmesi Projesi, Ankara, 50.

Arel, H.S. (2016). Recyclability of waste marble in concrete production. *Journal of Cleaner Production*, 131, 179-188.

Arshad, A., Shahid, I., Anwar, U.H.C., Baig, M.N., Khan, S., & Shakir, K., (2014). The wastes utility in concrete. *International Journal of Environment Research*, 8(4), 1323-1328.

Aruntaş, H.Y., Gürü, M., Dayı, M., & Tekin, İ. (2010). Utilization of waste marble dust as an additive in cement production. *Materials and Design*, 31 (2010), 4039–4042.

Aruntaş, Y.H., Dayı, M.,Tekin, İ., Birgül, R., & Şimşek, O., (2007). Kendiliğinden yerleşen beton özelliklerine atık mermer tozunun etkisi, *2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, 173-180.

Ashish, D. K. (2018). Feasibility of waste marble powder in concrete as partial substitution of cement and sand amalgam for sustainable growth. *Journal of Building Engineering*, 15 (2018), 236-242.

Ashish, D.K. (2019). Concrete made with waste marble powder and supplementary cementitious material for sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 211 (2019) 716–729.

Aslan, S. (2020). Cam Lif Takviyesinin Beton Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Avrasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon.

Aydın, AB. (2013). İnce Agregasında Farklı Oranlarda Mermer Tozu Kullanılmış Betonların Dayanım ve Dayanıklılık Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Elazığ.

Aydın, S. (2008). Development of a high-temperature-resistant mortar by using slag and pumice. *Fire Safety Journal*, (43), 610–617.

Aykan, G., Gürol, G., Tezel, O. O., & Yüceer, Z. (2004). Kendiliğinden yerleşen beton deney metodları ve uygulama örnekleri. *Hazır Beton Kongresi*, 266-276, İstanbul.

Bala, A., Sehgal, V.K., & Saini, B., (2014). Effect of fly ash and waste rubber on properties of concrete composite. *Concrete Research Letters*, 5(3), 842-857.

Benjeddou, O., Alyousef, R., Mohammadhosseini, H., Soussi, C., Khadimallah, M.A., Alabduljabbar, H., & Tahir, M. (2020). Utilisation of waste marble powder as low-cost cementing materials in the production of mortar. *Journal of Building Engineering*, 32(2020), 101642.

Beycioğlu, A., Başyiğit C. & Subaşı, S., (2008), Endüstriyel atıkların inşaat sektöründe kullanımı ile geri kazanılması ve çevresel etkilerinin azaltılması, *Çevre Sorunları Sempozyumu*, 1387-1394, Kocaeli.

Biçer, A., & Kar, F., (2017). The effects of apricot resin addition to the light weight concrete with expanded polystyrene. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 31(21), 2335–2348.

Bideci, Ö., (2013). Bor Katkılı Hafif Agregalı Betonların Fiziksel Ve Kimyasal Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne.

Bilgin, N. (2010). Mermer Tozu Atıklarının Yapı Malzemesi Üretiminde Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Bilgin, N., Yeprem, HA., Arslan, S., Bilgin A., Günay, E., & Marsoglu, B. (2012). Use of waste marble powder in brick industry. *Construction and Building Materials,* 29(2012), 449-457.

Büyüksagis, İ. S., Uygunoğlu, S., & Tatar, E. (2017). Investigation on the usage of waste marble powder in cement-based adhesive mortar. *Construction and Building Materials,* 154(2017), 734-742.

Ceylan, B.T., (2019). Erzurum Yöresinde Çıkartılan Pomza ve Perlitin Seramik Sanayisinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Erzurum.

Chindaprasirt, P., & Rattanasak, U., (2011). Shrinkage behavior of structural foam lightweight concrete containing glycol compounds and fly ash. *Materials & Design*, 32, 723-727.

Choudhary, R., Gupta, R., Nagar, R., & Jain, A. (2020). Sorptivity characteristics of high strength self-consolidating concrete produced by marble waste powder, fly ash, and micro silica. *Materials Today: Proceedings*, 32(2020), 531-535.

Corinaldesi V., Moriconi, G. & Naik T.R. (2007). Characterization of Marble Dust for its use in Mortar and Concrete. *CANMET/ACI Three day International Symposium on Sustainable development of Cement and Concrete*, 5-7, Toronto, Canada.

Çelik, Y. (2021). Early Age Performance and Mechanical Characteristics Of Concrete Which is Used in Service Buildings. M.Sc. Thesis, *Gaziantep University Graduate School Of Natural & Applied Sciences*, Gaziantep.

Çevikbaş, A. & İlgün, İ., (1997). Türkiye pomza yataklarının jeolojisi ve ekonomisi. *I. Isparta Pomza Sempozyumu*, 13-19, Isparta.

Danish, P., & Ganesh, G.M. (2021). Study on influence of metakaolin and waste marble powder on self-compacting concrete – A state of the art review. *Materials Today: Proceedings*, 44(2021), 1428-1436.

Demir, İ., (2008). Mermer Tozu ve Atıklarının Kullanım Alanlarının Araştırılması, *6 Mermer ve Doğal Taş Sempozyumu,* 327, Afyonkarahisar.

Dhanapandian S., Gnanavel, B. & Ramkumar T., (2009), Utiliation of granite and marble sawing powder wastes as brick metarials. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences,* 4(2), 47-160.

Dhoka, M.C. (2013). Green concrete: Using industrial waste of marble powder, quarry dust and paper pulp. *International Journal of Engineering and Science Invention*, 2, 67-70.

Doğan, C. (2019). Mermer Tozu Ve Endüstriyel Atık İçeren Harçların Mekanik Özelliklerinin Deneysel Yöntemlerle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Afyonkarahisar.

DPT, (1996), Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Çimento Hammaddeleri Çalışma Grubu Raporu, Cilt-III (Mermer), Yayın No: DPT: 2434-:491, Ankara.

DPT, (2001). Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, "Madencilik ÖİK Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri III (Pomza-Perlit-Vermikülit Flogopit Genleşen Killer) Çalışma Grubu Raporu," Türkiye, Rap. DPT:2617.

Duyar, O. (2006). Avrupa Kendiliğinden Yerleşen Beton Şartnamesi Işığında Tanımlar, Dizayn Yöntemi, Deney Metotları ve Mühendislik Özellikleri. *THBB Hazır Beton Dergisi*, 75, 46-52.

EFNARC, (2002). Specifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete.

Elmastaş, N. (2012). Türkiye Ekonomisi İçin Önemi Giderek Artan Bir Maden: Pomza (Sünger Taşı), *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5 (23), 197-206.

Erden, M. (2021). Nano Malzemeli Farklı Dayanımlara Sahip Betonlarda Mekanik Ve Durabilite Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Van.

Erdoğan, T. (2003). Beton, *ODTÜ Yayıncılık*, Ankara.

Gesoglu, M., Guneyisi, E., Altan, I., & Oz, H.O. (2015). Utilization of cold bonded fly ash lightweight fine aggregates as a partial substitution of natural fine aggregate in self-compacting mortars. *Construction and Building Materials*, 74, 9–16.

Gesoğlu, M., Güneyisi, E., Kocabağ, M.E., Bayram, V. & Mermerdaş¸ K., (2012). Fresh and hardened characteristics of self compacting concretes made with combined use of marble powder, limestone filler and fly ash. *Construction and Building Materials,* 37,160-170.

Gönen, T. (2015). Mechanical and fresh properties of fiber reinforced self compacting lightweight concrete. *Scientia Iranica A*, 22(2), 313–318.

Gönen, T., & Yazıcıoğlu, S. (2018). The effect of curing conditions on permeation of self-compacting lightweight concrete with basaltic pumice aggregate. *Arabian Journal for Science and Engineering,* (2018) 43, 5157–5164.

Gönen, T., Yazıcıoğlu, S. & Demirel, B. (2007). Mineral katkıların donma-çözünme sonrası betonun bazı özelliklerine etkisi. *TÇMB 3. Uluslararası Sempozyumu,* İstanbul, 757-767.

Gussoni, M. (2016). Stone sector 2016—Annual report and prospects for the international stone trade: Marina di Carrara, Italy. *Internazionale Marmi e Macchine Carrara S.p.A.,* 104 p.

Günaydın, M. (2006). Nevşehir Bims Agregasından Kendiliğinden Yerleşen Hafif Beton Üretilmesi. *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Gündüz, L. & Uğur, İ. (2000). Pomzadan Mamul Blok Elemanlarında Kayaç Parametreleri – Ses Akustiği İlişkisi Üzerine Teknik Bir Analiz, *V. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu,* 205-215, Isparta.

Gündüz, L., (2005). İnşaat Sektöründe Bimsblok, *Süleyman Demirel Üniversitesi Pomza Araştırma Merkezi*, Isparta.

Hallal, A., Kadri, E.H., Ezziane, K., Kadri, A. & Khelafi, H., (2010). Combined effect of mineral admixtures with superplasticizers on the fluidity of the blended cement paste, *Construction and Building Materials*, 24(8), 1418–1423.

Hamza, R., Haggar, S. & Khedr, S. (2011). Utilization of Marble and Granite Waste in Concrete Bricks. *International Conference on Environment and BioScience (IPCBEE)*, 21, 115-119.

Hasar, U.C., Şimsek, O., & Aydın, A.C. (2010). Application of varying-frequency amplitude only technique for electrical characterization of hardened cement-based materials, *Microwave and Optical Technology Letters*, 52 (4) (2010) 801–805.

Hita, P., Gálvez, F.P., Morales-Conde, M.J., & Pedreño-Rojas, M.A. (2018). Reuse ofplastic waste of mixed polypropylene as aggregate in mortars for themanufacture of pieces for restoring jack arch floors with timber beams, *Journal of Cleaner Production*, 198(2018), 1515–1525.

Jitchaiyaphum, K., Sinsiri, T., Jaturapitakkul, C., & Chindaprasirt, P., (2013). Cellular lightweight concrete containing high-calcium fly ash and natural zeolite. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 20 (5), 462-471.

Khodabakhshian, A., Ghalehnovi, M., Brito, J., & Shamsabadi, E.A. (2018a). Durability performance of structural concrete containing silica füme and marble industry waste powder. *Journal of Cleaner Production*, 170 (2018), 42-60.

Khodabakhshian, A., Ghalehnovi, M., Brito, J., & Shamsabadi, E.A. (2018b). Mechanical, environmental and economic performance of structuralconcrete

containing silica fume and marble industry waste powder. *Construction and Building Materials,* 169(2018), 237-251.

Kişman Z. A., & Kan Ö. D., (2011). Elazığ Mermeri Sektörel Araştırması, *Fırat Kalkınma Ajansı Raporu*, Elazığ, Türkiye.

Koçyiğit, Ş. (2016). Pomza Agregası, Atık Mermer Tozu ve Kitre Katkılı Çimento Esaslı Kompozit Malzemenin Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.

Kotan, T., & Gül, R. (2010). Effect of atmospheric pressure steam curing to mechanical properties of lightweight concrete produced with Erzurum–Pasinler pumice. *Journal of Materials Research and Technology*, 4–5, 66–69.

Köktürk, U., (2002), Endüstriyel Hammaddeler, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayını*, İzmir.

Kun N., (2000), Mermer Jeolojisi ve Teknolojisi, *İzmir Mermerciler Odası*, İzmir.

Kurt, M., Gül, M.S., Gül, R., Aydın, A.C., & Kotan, T. (2016). The effect of pumice powder on the self-compactability of pumice aggregate lightweight concrete. *Construction and Building Materials,* 103(2016), 36-46.

Lo, T.Y., Tang, P.W.C., Cui, H.Z., & Nadeem, A. (2007). Comparison of workability andmechanical properties of self-compacting lightweight concrete and normalself-compacting concrete. *Materials Research Innovations,* 11 (1), 45–50.

Malpani, R., Jegarkal, S.C., Shepur, R., Kiran, R. & Adi, V.K. (2014). Effect of Marble Sludge Powder and Quarry Rock Dust as Partial Replacement for Fine Aggregates on Properties of Concrete. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering,* 4, 39-42.

Mawlawizada, N.A, (2020), Atık Mermer Tozu Kullanılarak Üretilmiş Çevre Dostu Betonların Dayanım ve Dayanıklılık Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.

Miryan, J. (2016). Industrial usage areas, geochemical and engineering characteristics of the acidic pumice from Kaymaklı- Nevşehir, Master Thesis, *Kahramanmaraş Sütçü Imam Unversity Graduate School of Natural and Applied Sciences,* Kahramanmaraş.

Mohammadhosseini, H., Lim, N.H.A.S., Tahir, M.M., Alyousef, R., Samadi, M., Alabduljabbar, H., & Mohamed, A.M. (2020). Effects of waste ceramic as cement and fine aggregate on durability performance of sustainable mortar, *Arabian Journal for Science and Engineering,* 45 (2020), 3623–3634.

Nasuf, E., (2010). Mermer Nedir. http://www.insaatci.com/content/mermer-nedir. Erişim Tarihi: 01.12.2020.

Okamura, H., & Ouchi, M. (2003). Self-Compacting Concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology,* 1(1), 5-15.

Omar, M.O., Elhameed, G.D., Sherıf, M.A., & Mohamadıen, H.A., (2012). Influence of Limestone Waste as Partial Material For Sand And Marble Powder In Concrete Properties. *Housing an Building National Research Center*, 8, 193-203.

Onargan, T., Köse, H., & Deliormanlı, A.H., (2005), Mermer, *TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını*, İzmir.

Ostrowski, K., Stefaniuk, D., Sadowski, L., Krzywinski, K., Gicala, M., & Rózanska, M. (2020). Potential use of granite waste sourced from rock processing for theapplication as coarse aggregate in high-performance self-compacting concrete. *Construction and Building Materials,* 238(2020), 117794.

Öztürk B., (2006), Mermer Sanayisindeki İşletmelerin Üretim ve Pazarlama Sorunlarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Muğla Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Muğla.

Palta, E. (2020). Borik Asidin Kendiliğinden Yerleşen Betonun Mekanik Özellikleri Ve Yapısal Karakterizasyonuna Etkisi. *Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kastamonu.

Penteado, C.S.G., Carvalho, E.V.D., & Lintz, R.C.C. (2016). Reusing ceramic tilepolishing waste in paving block manufacturing, *Journal of Cleaner Production,* 112 (2016), 514–520.

Rızaoğlu,T., Demirkama, B., Bahşi, E., & Karataş, M. Z., (2015). Ev dekorasyonunda inovasyon doğal mineralli duvar kağıdı. *Uluslararası Katılımlı Doğu Anadolu Jeoloji Sempozyumu (DAJEO2015)*, 226-227, Van.

Sar, M. (2013). Volkanik Pomza Tozunun Yalın ve Silis Dumanı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Gaziantep.

Schwartzentruber, L.D, Roy, R.L, & Cordin, J. (2006). Rheological Behaviour of Fresh Cement Pastes Formulated From a Self-compacting Concrete (SCC). *Cement and Concrete Research,* 36, 1203-1213.

Sezgin, M., Davraz, M. & Gündüz, L., (2005). Pomza endüstrisine sektörel bakış, *Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi*, 9-22, Isparta.

Shelke, V., Pawde, P., & Shrivastava, R. (2012). Effect of marble powder with and without silica fume on mechanical properties of concrete. *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 1 (1), 40-45.

Shirule, P.A., Rahman, A., & Gupta, R.D., (2012). Partial replacement of cement with marble dust powder. *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*, 1(3), 175-177.

Singh, M., Choudhary, K., Srivastava, A., Sangwan, KS., & Bhunia, D. (2017). A study on environmental and economic impacts of using waste marblepowder in concrete, *Journal of Building Engineering*, 13(2017), 87-95.

Skarendahl, A., & Petersson, Ö. (2000). Self Compacting Concrete. State of the Art Report of RILEM Technical Comittee 174-SCC, RILEM Publication.

Soliman, N.M. (2013). Effect of using marble powder in concrete mixes on the behavior and strength of RC slabs, *International Journal of Current Engineering and Technology*, 3 (2013), 1863–1870.

Şahmaran, M., Christiano, H.A., & Yaman, İ.Ö., (2006). The effect of chemical admixtures and mineral additives on the properties of self-compacting mortars. *Cement and Concrete Composites* 28, 432-440.

Şeker, O. (2019). Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Kendiliğinden Yerleşen Beton Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bartın.

Şentürk, A., Gündüz, L., Tosun, İ.T., & Sarıışık, A., (1996). Mermer Teknolojisi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Ders Notları*, 242.

T.C. Resmi Gazete, Maden Kanunu, 05.06.2004, 25483.

T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı, (1995). Mermer ve Granit Sektör Araştırması, 7, Ankara.

Taşkın, V. (2016). Bitlis Pomzası İle Kendiliğinden Yerleşen Hafif Beton Tasarımı Ve Özelliklerinin Araştırılması. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bitlis.

Tatar, E. (2014). Mermer Tozu Katkılı Yalıtım Levhası Yapıştırma Harçlarının Performanslarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Afyonkarahisar.

Temiz, H., Akçekale, & A.H, (2014). Hafif agregalı betonun mühendislik özelliklerinin araştırılması. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4 (2), 7-20.

Tezel, H. (2020). Pomza Agregası Kullanılarak Üretilen Hafif Beton Özelliklerinin Borik Asit Katkısıyla İyileştirilmesi Üzerine Deneysel Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, *Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kastamonu.

Topçu, I.B., & Uygunoğlu, T. (2010), Effect of aggregate type on properties of hardened self-consolidating lightweight concrete. *Construction and Building Materials* 24(7), 1286–1295.

Topçuoğlu, Z. (2021). Barit Agregası Kullanılarak Kendiliğinden Yerleşen Ağır Beton Üretilebilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.

Tosun, A., & Tatar, Ç. (2007). Türkiye'nin mermer ihracatını arttırma olanaklarının araştırılması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi,* 9(3), 13-20.

TS EN 12350-8, 2010. Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm 8: Kendiliğinden Yerleşen Beton-Çökme Yayılma Deneyi, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

TS EN 12390-6, (2010). Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri, Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

Tur Ş., (2007), Afyonkarahisar' da Mermer Artıklarının Depolanması. Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, Afyonkarahisar.

Türkmenoğlu, F.Z., (2017). Endüstriyel Atık Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Hafif Beton Üretilebilirliğinin Araştırılması. Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana.

Türkmenoğlu, Z.F., Kılıç, A.M. & Depci, T. (2015). Van pomzası ve mermer tozu atıkları ile üretilmiş kendiliğinden yerleşen hafif betonların mekanik özelliklerinin incelenmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,* 30(1), 105-116.

Uyanık, T., (2001). Doğal taşlar Dış Pazar Araştırması, T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı, *İhracatı Geliştirme Etüt Merkezi Yayını*, Ankara.

Uygunoğlu, T. & Ünal, O., (2007). Buhar Kürü Uygulanmış Pomzalı Hafif Betonun Özellikleri, *Politeknik Dergisi,* (10), 111-116.

Uygunoğlu, T., (2008). Hafif Agregalı Kendiliğinden YerleÇen Betonların Özellikleri. Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta.

Uysal, M. & Sümer, M.,(2011). Performance of self-compacting concrete containing different mineral admixtures. *Construction and Building Materials,* 25, 4112–4120.

Uysal, M., (2010). Mineral Katkılar Kullanılarak Üretilen Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekanik Özelliklerinin ve Dayanıklılığının İncelenmesi. Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.

Ünlü, N., (1993). Mermer ihracat imkânları ve Dış Pazar Araştırması, *İGEME,* Ankara.

Vardhan, K., Goyal, S., Siddique, R., & Singh, M. (2015). Mechanical properties and microstructural analysis of cement mortar incorporating marble powder as partial replacement of cement. *Construction and Building Materials*, 96 (2015) 615–621.

Vijayalakshmi, M., Sekar, ASS., & Prabhu, G.G., (2013). Strength And Durability Properties Of Concrete Made With Granite Industry Waste. *Construction and Building Materials,* 46, 1-7.

Wu, Z.S., Yuan, H., Yoshizawa, H. & Kanakubo, T. (2001). Experimental/analytical study on interfacial fracture energy and fracture propagation along FRP-concrete interface. *American Concrete Institute,* 201, 133–152.

Yamanel, K. (2015). Kayseri Yöresi Atık Mermer Tozu Katkılı Harçların Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri.

Yazıcıoğlu, S., Arıcı, E., & Gönen, T., (2003). Elazığ Ferrokrom Cürufunun Betonda Karbonatlaşmaya Etkisi. *5. Ulusal Beton Kongresi Betonun Dayanıklılığı (Durabilite)*, İstanbul.

Yıldız, A. H., (2008). Mermer Toz Atıklarının Yol İnşaatında Değerlendirilmesi. Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Isparta.

Yıldız, T. (2012). Atık Mermer Tozu ve Cam Elyaf Katkısının Birlikte Kullanımının Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.

Yılmaz, H. (2017). Çimento Türü ve Pomza Agregasının Beton Karakteristiklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Düzce.

Yolcu, C. (2018). Yüksek Performanslı Taşıyıcı Hafif Beton Üretiminde Pomza Agregaların Kullanılabilirliği, Mekanik Büyüklükleri ve Uygulama Kriterleri. Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Yücetürk G., (2010), Göller Yöresindeki Kayaçların Minerolojik ve Petrografik Özelliklerinin Yapay Mermer Kalitesine Etkileri. Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta.

Zarrog, M.H.T. (2020). Kendiliğinden Yerleşen Beton Üretiminde Uçucu Kül ve Mermer Tozu Kullanımının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kastamonu.

Zhang, S., Cao, K., Wang, C., Wang, X., Wang, J., & Sun, B. (2020). Effect of silica fume and waste marble powder on the mechanical and durability properties of cellular concrete. *Construction and Building Materials*, 241 (2020), 117980.