

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**AFYON VE KÜTAHYA YÖRESİ VOLKANİTLERİNİN ÇİMENTO VE BETON
TEKNOLOJİSİNDE KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OĞUZHAN ATEŞ

TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. CENK KARAKURT

BİLECİK, 2022

10441883

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**AFYON VE KÜTAHYA YÖRESİ VOLKANİTLERİNİN ÇİMENTO VE BETON
TEKNOLOJİSİNDE KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OĞUZHAN ATEŞ

TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. CENK KARAKURT

BİLECİK, 2022

10441883

BEYAN

“Afyon ve Kütahya yöresindeki volkanitlerin çimento ve beton teknolojisinde kullanımı” adlı yüksek lisans tezinin hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİK KURUL onayı alınması durumunda ise ETİK KURUL tarih karar ve sayı bilgilerinin beyan edilmesi gerekmektedir.	
DESTEK ALINMIŞTIR	DESTEK ALINMAMIŞTIR
Destek alındı ise;	
Destekleyen kurum;	
Desteğin Türü	Proje Numarası
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)	
2- TÜBİTAK	
Diğer;.....	
ETİK KURUL onayı var ise;	
ETİK KURUL karar tarih/sayı:/.....

Oğuzhan ATEŞ

...../...../2022

İmza

ÖN SÖZ

Bu tez yeterlilik çalışmasının yazılmasında, çalışmamı sahiplenerek takip eden danışmanım Sayın Doç. Dr. Cenk KARAKURT'a değerli katkı ve emekleri için teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Laboratuvar çalışmalarım için malzeme tedarikinde desteklerini esirgemeyen DAĞ İŞ Madencilik ve Vedat ÇAKIR'a Yüksek Lisans eğitimim süresince her türlü soruma özverili şekilde cevap veren Lisansüstü Eğitim Enstitüsü çalışanlarına, Yüksek Lisans eğitimimi sürdürebilmem ve tamamlayabilmem için her türlü destek ve kolaylığı sağlayan çalıştığım firmam Girişim Telekom'a ve çok kıymetli müdürüm Ramazan KARAKUŞ'a Teşekkürü bir borç bilirim.

Deneyisel çalışmada maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen kıymetli arkadaşlarım Mak. Müh. Mehmet BİLGİN'e, Mak. Müh. Ozan AYDIN'a, İnş. Müh. Muharrem YILDIRIM'a ve Kimya Müh. Muhammet KAYIKÇI'ya, Beni bugünlere getiren başta Annem Aysun ATEŞ, Babam Hıfzı ATEŞ hayatıma arkadaş olan kıymetli kardeşim Kübra Nur ATEŞ olmak üzere eğitim hayatım boyunca değerlerime değer katan tüm hocalarıma, sonsuz sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Oğuzhan ATEŞ

2022

ÖZET

AFYON VE KÜTAHYA YÖRESİ VOLKANİTLERİNİN ÇİMENTO VE BETON TEKNOLOJİSİNDE KULLANIMI

Doğada granüler halde bulunan pomza hafif, sünger görünümlü bağlantısız boşluklu camsı dokuya sahip volkanik bir kayadır. Terra rosa ise kalker oranı yüksek arazilerde bulunan içeriğinde bol miktarda kireç ve kil barındıran bir toprak türüdür. Bu çalışmada Afyon ve Kütahya yöresinde bulunan volkanitlerin (Tüf, pomza) ve terra rosa beton karışımında çimento yerine belli oranlarda kullanılarak (%10, %20, %30) numuneler üretilmiş, aynı zamanda volkanit içermeyen kontrol numunesi de üretilmiştir. Yapı hammaddesi olarak kullanılacak volkanitlerden tüf (Volkanik kül) Afyon-Gecek kaplıcaları bölgesinden, terra rosa Kütahya-Çöğürler köyü ve pomza Kütahya Kumluyurt ve Göçeri köyleri arasındaki alandan saha çalışmalarıyla elde edilmiştir. Beton karışımında Eskişehir Çimsa üretimi olan CEM I 42,5 R çimento kullanılmıştır. Ayrıca taze beton deneylerinden çökme ve yayılma tablası deneyi de numune üretim aşamasında yapılmıştır. Üretilen numunelerin 2, 7, 28, ve 90 gün kür süreleri sonrası kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla Basınç dayanımı, aşınma, donma ve çözünme, eğilme, ASR direnci olarak sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır.

Terra rosa kullanımının betonda işlenebilirliği arttırdığı pomza kullanımının ise %15 oranında düşürdüğü belirlenmiştir. Beton basınç dayanımlarına bakıldığında tüf katkılı betonların dayanımlarında %40 kayıp olduğu pomza kullanılan betonların erken yaşta düşük ileri yaşlarda yüksek dayanım verdiği terra rosa kullanılan betonların ise erken yaşta daha iyi basınç dayanımı verdiği belirlenmiştir. Alkali silika reaksiyonu, donma çözülme ve aşınma deneyleri incelendiğinde %20 oranına kadar terra rosa, tüf ve pomza kullanımının beton kalıcılığına olumlu etkiler yaptığı görülmüştür. Yapılan çalışmada kullanılan doğal malzemelerin elde edilen olumlu sonuçlardan dolayı beton teknolojisinde kullanılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Volkanit, Çimento, Beton, Dayanım, Durabilite.

ABSTRACT

UTILIZATION OF THE AFYON AND KUTAHYA REGION VOLKANITES FOR THE CEMENT AND CONCRETE TECHNOLOGY

Pumice, which is found in granular form in nature, is a volcanic rock with a light, sponge-like disjointed hollow glassy texture. Terra rosa, on the other hand, is a soil type that contains plenty of lime and clay in its content, which is found in lands with high limestone content. In this study, samples were produced by using certain ratios (10%, 20%, 30%) instead of cement in the concrete mixture of volcanics (Tuff, pumice) and terra rosa in Afyon and Kütahya regions, and a control sample that did not contain volcanites was also produced. Tuff (volcanic ash) from the volcanics to be used as building raw material was obtained from the Afyon-Gecek thermal springs region, terra rosa was obtained from the area between Kütahya-Çöğürler village and pumice was obtained from the area between Kütahya Kumluyurt and Göçeri villages. CEM I 42.5 R cement produced by Eskişehir Çimsa was used in the concrete mix. In addition, the slump and spreading table test, which is one of the fresh concrete tests, was also carried out during the sample production phase. In order to determine the chemical, physical and mechanical properties of the produced samples after curing periods of 2, 7, 28, and 90 days, hardened concrete tests were carried out as compressive strength, abrasion, freezing and thawing, bending, ASR resistance.

It was determined that the use of terra rosa increased the workability of the concrete, and the use of pumice reduced it by 15%. When the concrete compressive strengths are examined, it has been determined that the concretes with tuff additives have a 40% loss in strength, and the concretes using pumice give high strength at early ages and high strength at early ages, while concretes using terra rosa give better compressive strength at an early age. When the alkali silica reaction, freeze-thaw and abrasion tests were examined, it was seen that the use of terra rosa, tuff and pumice up to 20% had positive effects on the durability of the concrete. It has been determined that the natural materials used in the study can be used in concrete technology due to the positive results obtained.

Keywords: Volcanite, Cement, Concrete, Strength, Durability.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖN SÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
KISALTMALAR VE SİMGELER.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. AMAÇ VE KAPSAM.....	3
2.1. Volkanitlerin Özellikleri ve Çalışma sahası.....	3
2.2. Afyon ve Kütahya Yöresi Jeolojisi.....	6
2.3. Tüf.....	8
2.4. Pomza.....	11
2.5. Terra Rosa.....	13
3. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI.....	16
3.1. Bağlayıcı Tarihi.....	16
3.2. Daha Önce Yapılan Çalışmalar.....	18
4. MALZEME VE YÖNTEM.....	23
4.1. Malzeme.....	23
4.2. Yöntem.....	27
4.2.1. Malzemelerin Karakterizasyonu.....	27
4.2.1.1. Karışım Hesabı.....	30
4.2.2. Taze Beton Deneyleri.....	34
4.2.2.1. Yayılma Tablası Deneyi.....	34
4.2.2.2. Çökme Deneyi.....	35
4.2.3. Sertleşmiş Harç ve Beton Deneyleri.....	37
4.2.4. Kalıcılık Deneyleri.....	39
4.2.4.1. Alkali Silika Reaksiyonu Direnci Deneyi.....	39
4.2.4.2. Beton Donma ve Çözülme Deneyi.....	40

4.2.4.3. Beton Aşınma Deneyi.....	41
5. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI	43
5.1. Elek Analizi Deney Sonuçları	43
5.2. Taze Beton Deney Sonuçları.....	44
5.2.1. Yayılma Tablası Deney Sonuçları.....	44
5.2.2. Çökme Deney Sonuçları.....	45
5.3. Sertleşmiş Harç ve Beton Sonuçları	46
5.3.1. Harç Birim Ağırlık Deneyi Sonuçları	46
5.3.2. Beton Birim Ağırlık Deneyi Sonuçları.....	47
5.3.3. Harç Basınç Deneyi Sonuçları.....	48
5.3.4. Beton Basınç Deneyi Sonuçları.....	50
5.4. Kalıcılık Deneyleri Sonuçları.....	51
5.4.1. ASR Deney Sonuçları.....	51
5.4.2. Beton Donma ve Çözülme Deney Sonuçları.....	52
5.4.3. Beton Aşınma Deneyi Sonuçları.....	55
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	57
KAYNAKÇA	59

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1. Tüf kimyasal özellikleri	10
Tablo 2.2. Pomza kimyasal özellikleri	12
Tablo 2.3. Terra rosa kimyasal özellikleri	14
Tablo 4.1. Çimsa cem ı 42,5 R kimyasal analiz sonuçları.....	24
Tablo 4.2. Volkanitlere ait fiziksel özellikler	25
Tablo 4.3. Süper-ton 278 S özellikleri	27
Tablo 4.4. Beton karışım oranları	31
Tablo 4.5. Yayılma tablası deneyi sınıfları.....	35
Tablo 4.6. Çökme deneyi sınıfları	36

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1. Volkanizma hareketi gösterimi.....	4
Şekil 2.2. Dünyada aktif ve sönmüş volkanların dağılımı	6
Şekil 2.3. Afyon ve kütahya yer bulduru haritası.	8
Şekil 2.4. Türkiye toprak dağılımı haritası.	15
Şekil 3.1. At arabasıyla taşınan ilk hazır beton.....	17
Şekil 4.1. Beton karışımında kullanılan agrega grubu.....	23
Şekil 4.2. Volkanitlerin araştırma bölgesindeki temin alanları.....	25
Şekil 4.3. Afyon-gecek bölgesinden alınan tüf numunesi.....	25
Şekil 4.4. Kütahya kumluyurt-göçeri bölgesinden alınan pomza numunesi.....	26
Şekil 4.5. Kütahya çöğürler köyü bölgesinden alınan terra rosa numunesi.....	26
Şekil 4.6. Malzeme öğütme işleminde kullanılan çeneli kırıcı ve bilyalı değirmen.....	28
Şekil 4.7. Terra rosa kalsinasyonunda kullanılan etüv.....	28
Şekil 4.8. Terra rosa malzemesinin kalsinasyon ve öğütme süreçleri.....	29
Şekil 4.9. Elek analizi deneyi yapılışı ve kullanılan elek serileri.....	30
Şekil 4.10. Çimento harç karışım ve sıkıştırma cihazları	32
Şekil 4.11. Düşey eksenli laboratuvar tipi beton karıştırıcısı.....	33
Şekil 4.12. Numune kalıpları ve kür havuzu.....	34
Şekil 4.13. Yayılma tablası deneyi yapılışı.....	34
Şekil 4.14. Çökme deneyi yapılışı	36
Şekil 4.15. Beton basınç eğilme test cihazları.....	37
Şekil 4.16. Beton basınç deneyi yapılışı	38
Şekil 4.17. Harç çubukları basınç deneyi.....	39
Şekil 4.18. Asr numunelerindeki deney süreçleri	40
Şekil 4.19. Donma ve çözülme deneyi yapılışı.....	41
Şekil 4.20. Aşınma deneyi yapılışı.....	42
Şekil 5.1. Kullanılan agregaya ait granülometri eğrisi.....	43
Şekil 5.2. Astm c 1260 granülometri eğrisi	44
Şekil 5.3. Yayılma tablası deneyi sonuçları	44

Şekil 5.4. Çökme deneyi sonuçları.....	45
Şekil 5.5. Harç karışımları birim ağırlık deneyi sonuçları	46
Şekil 5.6. Beton birim hacim ağırlıkları.....	48
Şekil 5.7. Sertleşmiş harç numuneleri ve basınç dayanımı deneyi sonrası numuneler.....	49
Şekil 5.8. Harç karışımları basınç deneyi sonuçları.....	49
Şekil 5.9. Beton basınç deneyi sonuçları	50
Şekil 5.10. Alkali silika reaksiyonu deneyi sonrası boy değişimleri	52
Şekil 5.11. Beton donma ve çözülme deneyi sonrası hacim kayıpları.....	53
Şekil 5.12. Beton donma ve çözülme deneyi sonrası ağırlık kayıpları	53
Şekil 5.13. Beton donma ve çözülme deneyi sonrası basınç dayanımları	54
Şekil 5.14. Beton aşınma deneyi sonrası hacim kayıpları.....	55
Şekil 5.15. Beton aşınma deneyi sonrası ağırlık kayıpları	56

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

ΔV : Toplam Hacim Kaybı

Δm : Toplam Ağırlık Kaybı

μm : Mikron

$^{\circ}C$: Santigrad

Al_2O_3 : Alüminyum Oksit

ASR : Alkali Silika Reaksiyonu

ASTM : Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri

CaO : Kalsiyum Oksit

CEN : Avrupa Standartları Komitesi

Cm : Santimetre

EN : Avrupa Standartı

ERMCO : Avrupa Hazır Beton Birliği

dk : Dakika

Fe_2O_3 : Demir Oksit

GD : Güneydoğu

HGM : Harita Genel Müdürlüğü

İMO : İnşaat Mühendisleri Odası

K_2O : Potasyum Oksit

KB : Kuzeybatı

kg : Kilogram

kg/m^3 : Kilogram / Metreküp

km^2 : Kilometrekare

KTB : Kültür Turizm Bakanlığı

M_1 : İlk Ağırlık

M_2 : Son Ağırlık

m : Metre

mm : Milimetre

m^3 : Metreküp

MPa : Megapaskal

MTA : Maden Tetkik Arama

N : Newton

N/mm² : Newton / milimetrekare

Na₂O : Sodyum Oksit

PMZ : Pomza

REF : Referans

SO₃ : Kükürt Trioksit

SiO₂ : Silisyum Oksit

TiO₂ : Titanyum Dioksit

THBB : Türkiye Hazır Beton Birliği

TRS : Terra Rosa

TS : Türk Standartı

USGS : Amerikan Jeoloji Araştırmaları Kurumu

V₁ : İlk Hacim

V₂ : Son Hacim

ZT : Zeolitik Tüf

1.GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizde sürekli artan nüfusa bağlı olarak gelişen yapı ve sanayi sektörlerinin temelini oluşturan inşaat sektörü günümüzün getirdiği hammadde ihtiyacının alternatifleri üzerinde bilim insanlarını çalışmalar yapmaya yönlendirmiştir. İnşaat Sektörünün temelini oluşturan beton sektörü imalat aşamasındaki giderlerinin en minimuma indirme ve enerji tüketimini düşürme çabasıdadır. Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO) 2019 yılı verilerine göre Avrupa Birliği bünyesinde bulunan tüm ülkelerin yıllık toplam beton üretimi 260 milyon metreküptür. Türkiye'nin yıllık beton üretimi tek başına 67 milyon metreküptür. Türkiye Avrupa Birliği üyesi ülkeler arasında yıllık beton üretiminde birinci sıradadır. İkinci ve üçüncü sırada yıllık 53,5 milyon metreküp ve 40,3 milyon metreküp beton üretimleri ile sırasıyla Almanya ve Fransa gelmektedir (THBB 2021). Beton, içerisinde bulunan bağlayıcı ana bileşen olan çimentonun karbon ayak izi yüksek olması sebebiyle üretimi esnasında çevreye büyük zarar vermektedir.

Aynı zamanda üretiminde çok fazla enerji harcanan çimento için alternatif mineral katkıların beton karışımında ve çimento üretiminde kullanımıyla ilgili çalışmalar her geçen gün büyüyen ve genişleyen çimento ve beton endüstrileri tarafından yapılmaktadır. Geçmişten günümüze dek yapı taşı olarak çeşitli zamanlarda kullanılan tüflerin kolay işlenebilir oluşu söylenebilir. Her alanda kullanılan temel yapı malzemesi olan beton, agrega, çimento, su ve gerekli durumlarda kimyasal, mineral katkıların katılarak karıştırılması sonucu hazırlanan kompozit bir malzemedir. İlk karışım sonrası plastik kıvamda akıcı olan beton içerisinde bulunan bağlayıcı madde çimentonun hidrasyon tepkimesi sonucu katılarak bulunduğu kalıba uygun şekil alan bir taşıyıcı yapı malzemesidir (Şimşek ve Yardımcı, 2021). Betonun popüler bir yapı malzemesi olmasının başlıca sebepleri; köprü, tünel, konut, yol, altyapı gibi birçok alanda püskürtme beton olarak, ön döküm veya yerinde döküm olarak kullanımı, istenilen şeklin verilerek uygulanabilirliği gösterilmektedir (İnce vd., 2015: 107). Artan nüfus sonucu oluşan yapı ve sanayi talepleri her geçen gün artmaktadır. Beton dayanımını ve dayanıklılığını arttırmak amacıyla beton karışımında kimyasal veya mineral katkıları kullanılmaktadır (Topcu vd., 2006: 59). Puzolanik özellikli mineral katkıları uzun vadede beton dayanımını olumlu yönde etkileyecek ve beton geçirimsizliğini azaltacak katkılarıdır (Güçlüer vd., 2018: 92). Minerolojik malzemeler cansız kristal yapıları olarak doğada toz veya katı halde bulunurlar. Beton, çimento ve harç içerisinde çimento hidrasyonu esnasında açığa çıkan $Ca(OH)_2$ ile birleşen mineral katkıları betona ve çimentoya olumlu etkiler yapmaktadır (Kırgız, 2016: 118).

Yapı ve sanayi inşasında en çok talep gören malzeme hazır beton ve çimentodur. Ülkemiz günümüz yapı ihtiyaçlarını karşılamakta şimdilik yeterli gözükse de ilerleyen zamanlarda oluşacak taleplerin doğuracağı hammadde sorunları için günümüzde alternatif hammadde arayışları bulunmaktadır. Beton karışımının temel parçası olan çimento gerek üretim maliyetleri gerekse çevreye verilen zararlar göz önünde bulundurulduğunda beton içerisinde en büyük maliyete sahip malzemedir. Ülkemiz Asya, Avrupa ve Afrika levhaları arasında kalan tektonik oluşumlu bir yarımada olduğundan volkanik kökenli kayaçlar bol miktarda bulunmaktadır (Dramis vd., 2005: 177). Dünyada çeşitli doğa olayları sonucu döngü halinde sürekli oluşumu devam eden magmatik kayaçların çeşitli kullanım alanları bulunmaktadır. Dünyada ve ülkemizde bolca bulunan volkanitler çimento ve beton endüstrisinde mineral katkı olarak kullanılmış ve kullanılmaktadır. Ülkemizde eskiden süregelen volkanizma hareketleri sonucu birçok bölgesinde magmatik oluşumlu kayaçlar bulunmaktadır. Afyon ve Kütahya dolaylarında volkanik oluşumlar sonucu oluşan tüf, pomza ve volkanik olmayan terra rosa gibi madenler bol miktarda bulunmaktadır. Volkanik kayaçların yapı taşı olarak kullanılabilme ve kolay kazılabilme özelliğine sahip olması nedeniyle puzolan katkılı çimento üretiminde kullanılması önerilmiştir. Temin bölgelerinden toplanan volkanit numuneleri beton ve çimento karışımında kullanılmak üzere çimento inceliğinde öğütülmüştür, bu öğütme işlemi sayesinde puzolanların yüzey alanı arttırılmış ve puzolanik aktivitesinin arttırılması amaçlanmıştır. Harç çubuk ve beton numunelerinde öğütülen volkanitler çimento yerine %10, %20 ve %30 oranlarında ika-me edilerek harç ve beton numuneler üretilmiştir. Üretilen beton numunelere taze beton deneylerinden Çökme ve yayılma tablası yapılmıştır. Sertleşmiş beton deneylerinden durabilite özelliklerini belirlemek amacıyla 10x10x10 cm kesitli üretilen numunelere donma çözülme 7x7x7 cm kesitli üretilen numunelere ise aşınma deneyi yapılmıştır. Sertleşmiş betonda durabilite deneyleri 28 ve 90 gün kür sürelerinde yapılarak betondaki ileri yaş etkileri incelenmiştir. Harç numunelerine durabilite ile ilgili ASR deneyi yapılmıştır. Üretilen harç ve beton numuneleri 2, 7, 28 ve 90 gün kür edildikten sonra basınç dayanımlarına bakılmıştır. Karşılaştırma amaçlı her bir deney için ayrıca kontrol numuneleri üretilmiştir. Puzolanik aktivitenin beton ve harç numuneleri üzerindeki etkileri gözlenmiş betonda istenilen işlenebilirlik, ekonomiklik ve güvenlik parametreleri için veriler toplanmıştır. Afyon ve Kütahya yöresi volkanik kayaçlarının beton ve çimento üzerindeki etkileri belirlenerek ülke ekonomisine kazandırılması amaçlanmıştır.

2. AMAÇ VE KAPSAM

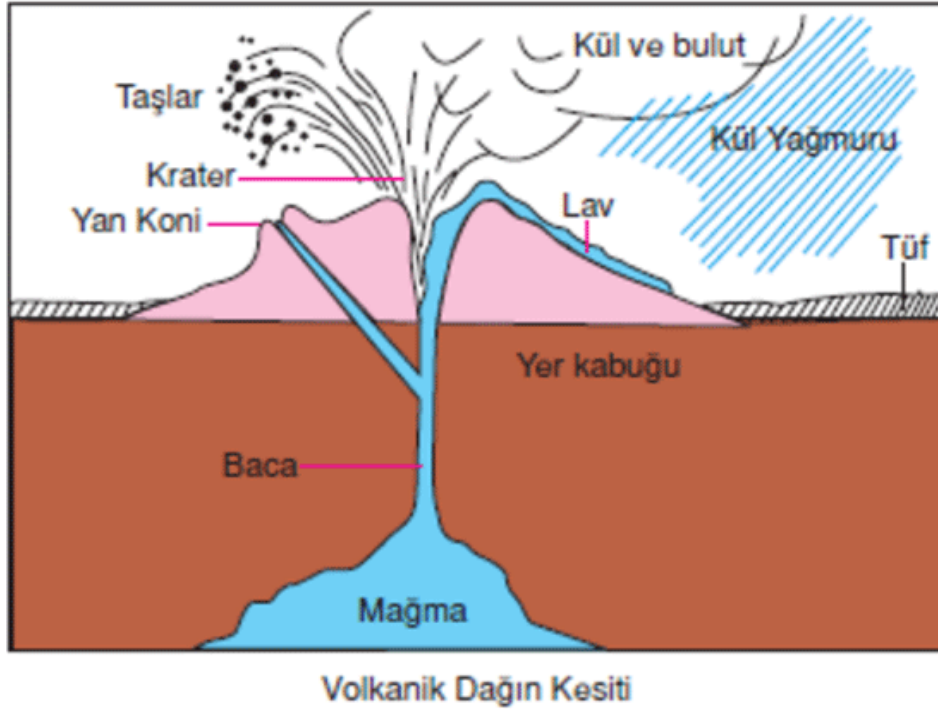
Bu çalışma, günümüz inşaat sektörünün artan hammadde ihtiyaçlarını daha ekonomik ve sürdürülebilir bir şekilde karşılamak ve ülkemizde bol miktarda bulunan alternatif hammaddeleri ekonomiye kazandırmak amacıyla yapılmıştır.

2.1. Volkanitlerin Özellikleri ve Çalışma Sahası

Yeraltında bulunan magmanın yerkabuğunun zayıf noktalarından yeryüzüne doğru çıkmasına volkanizma denir (Türkecan vd., 2004: 190). Yeraltında bulunan katı, sıvı ve gaz halde bulunan maddelerin yeryüzüne çıktığı yere ise volkan ya da yanardağ denir (Sun vs MCDonough, 1989: 313). Volkandan maddelerin çıkışına püskürtme ismi verilir. Günümüzde püskürdüğü bilinen volkanlara aktif volkan püskürmeyen volkanlara ise sönmüş volkan ismi verilir. Dünyada başlıca volkanlar Büyük okyanus, Hint okyanusu, Atlas okyanusu ve Akdeniz çevresinde bulunur. Günümüzde yaklaşık 450 adet aktif volkan bulunmaktadır. Bu volkanların yaklaşık 350'si Büyük okyanus etrafında bulunur. Bu sebeple buraya ateş çemberi ismi verilir. Volkanik alanlarda bulunan topraklar verimli olduğundan nüfus bu bölgelerde yoğunluk gösterir. Dünyada hala aktif volkanlar bulunmaktadır. Bunlardan İtalya'da bulunan Etna yanardağı, 3500 yıl önce oluşmuştur yapılan araştırmalara göre oluştuğu günden bu güne 200 kez patlamıştır. Büyük yanardağların kendisinden hariç çevrelerinde birçok krater bulunmaktadır, bu kraterlerden 2-3 ay aralıklarla lav fişkırmaları görülür. Dağın kendisinin patlaması ise 150 yılda bir olmaktadır (Cas vd., 1987: 23). Dünyada ki diğer aktif volkanlar, Kilevea-Amerika, Piton de la fournaise-Fransa, Santa maria-Guatemala, Mayon-Filipinler, Karakatau-Endonezya, Vezuv-İtalya, Chaiten-Şili olarak söylenebilir.

Yer kabuğunu oluşturan 3 grup kayaç türü vardır. Bunlar; Magmatik (Püskürük kayaçlar), Tortul (Sedimenter) kayaçlar, Metamorfik (Başkalaşım) kayaçlarıdır. Volkanizma hareketi sonrası oluşan magmatik kayaçlar (Bazalt, Andezit, Obsidyen vb.) yeraltında bulunan magmanın derinlerde veya yüzeye yakın noktalarda soğumasıyla oluşur. Yerkabuğundaki tektonik hareketler sonucu yeryüzüne ulaşan magmatik kayaçlar yüzeyde oluşacak tüm koşullardan etkilenebilecek haldedir. Rüzgar yağmur suyu, erozyon gibi doğa olayları sonucunda aşınma ve ayrışmaya uğrayan magmatik kayaçlar fiziksel ve kimyasal değişime uğrayarak havzalarda çökeler, farklı zamanlarda oluşan çökeller sıkışıp kaynaşarak taşlaşır. Bu şekilde sedimanter kayaçlar oluşur çökeltme sürekli devam ederek altta kalan malzemedeki sıcaklık ve basınç artışıyla birlikte kayacın fiziksel ve kimyasal yapısında çok farklı değişimler olur. Bu değişimler sonucunda metamorfik kayaçlar oluşur. Metamorfik kayaçlarda yüksek sıcaklık ve

basınç altında eriyerek magmatik kayaca dönüşür. Bu döngü hep böyle devam eder (Putirka, 2008: 61). Volkanizma hareketi Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Volkanizma hareketi gösterimi

Kaynak: (MTA, 2021)

Yer kabuğunun 16 km kalınlığındaki üst kısmının %95’ini magmatik kayalar meydana getirir. Magmatik kayalar yüzeyde çoğunlukla sedimenter ve metamorfik kayalardan oluşan örtü tabakasıyla kaplıdır. Magmatik kayalar oluşumlarına göre iç ve dış püskürük olarak iki gruba ayrılır. Magmanın volkanik faaliyetlerin etkisiyle yeryüzüne püskürmesiyle dış püskürük kayalar oluşur. Dış püskürük kayalar magmanın havayla teması sırasında hızlı soğuduğundan ince kristalli ve camsı yapıya sahiptirler. Magmanın yeraltında bulunan taşlar ve tabakalar arasına girerek yavaşça soğumasıyla iç püskürük kayalar oluşur. Soğuma yavaş olduğundan iç püskürük kayaların yapısı iri parçacıklı oluşur. Pomza ve tüf iç püskürük kayalarına örnek olarak verilebilir (Yaralı vd., 2008: 25).

Magmatik kayaların iç yapısı ve dokusu çok farklıdır. Burada kayacın büyük ölçekli özelliklerini yapısı, küçük ölçekli özelliklerini ise dokusu belirler. Kayacın dokusu dediğimizde kayacı oluşturan unsurlardan boyu, şekil, bulunuş oranı ve tertiplenme düzeni gibi mikroskopta ya da el numunesinde görülebilecek özellikler anlaşılır (Genç ve Kayacı, 2012: 141). Magmatik kayalar tabakalı bir yapıya sahip değildirler. Ancak soğumalarına göre yapısı sütun şeklini alabilir. Magmatik kayalar kristalli veya yarı kristalli iç yapıya sahip olabilirler

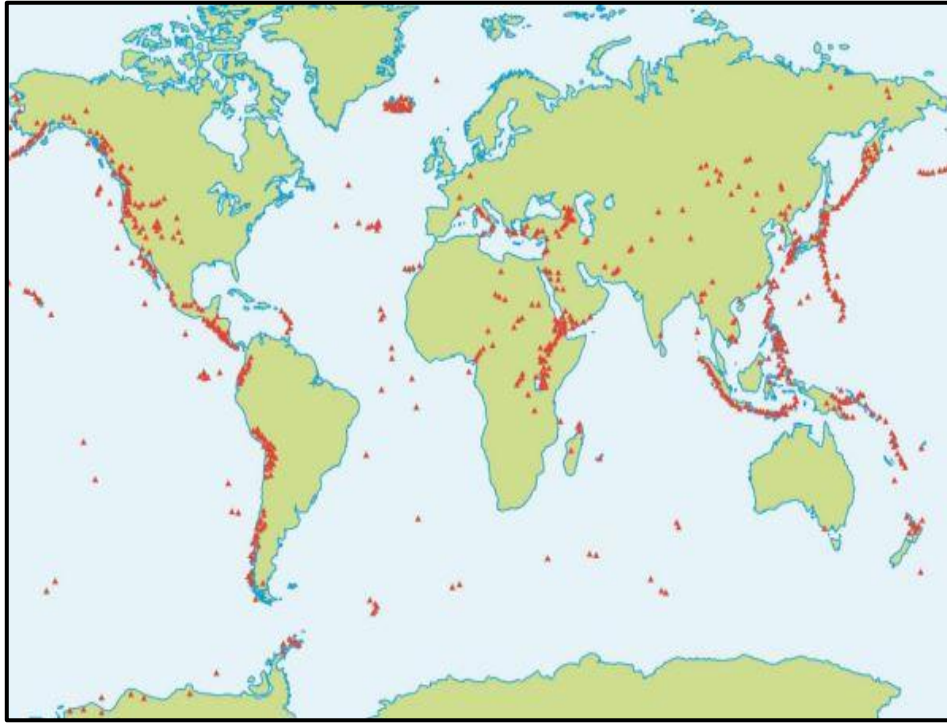
kütle halinde bulunurlar ve fosil özellik göstermezler. Bazı tiplerinde akıntı izleri gözlemlenir. Özellikle yüzey kayaçları soğan kabuğu benzeri soyulmalar yaparlar (Helvacı vd., 2007:117).

Günümüzde puzolan olarak adlandırılan kayaçlar, kendi başlarına bağlayıcılık özelliği yok denecek kadar az olan ancak çok ince öğütüldüklerinde sulu ortamda kalsiyum hidroksitle tepkimeye girerek hidrolik bağlayıcılık gösterebilmektedir (Mielenz, 1983: 34). Puzolanlar silikalı ve alüminalı malzemelerdir. Kendi içlerinde doğal ve yapay olarak iki gruba ayrılırlar. Doğal puzolanlar volkanizma sonucu oluşurlar; Volkanik küller, tüfler, pişmiş kil ve diatomlu topraklar doğal puzolanlardır. Yüksek fırın cürufu, pirinç kabuğu külü, silis dumanı ve uçucu kül ise yapay puzolan olarak bilinmektedir (Başçetin vd., 2020: 415).

Puzolanlar Portland çimentosunun icadına kadar binlerce yıl sönmüş kireç ve su ile karıştırılarak su altında sertleşen, suya dayanıklı harç yapımında kullanılmıştır. Günümüz portland çimentosu icat edildiğinde ise doğal ve yapay puzolanlar beton üretiminde portland çimentosu ile birlikte mineral katkı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Puzolanlar betonun birçok teknik özelliğini geliştirmeleri ve portland çimentosuna göre daha ekonomik olduklarından beton endüstrisinde çok önemli bir yere sahiptir (Bye, 1999: 225). Puzolan katkılı betonlarda portland çimentosu kullanımı düştüğünden hidrasyon ısı düşük betonun termal büzülme-lerden az etkilenmesini sağlamaktadır. Özellikle kütle betonlarında puzolan kullanımı oldukça önemlidir. Puzolan katkılı betonlarda erken yaş dayanımında çok etkili olmasada ileri yaş dayanımlarında oldukça etkilidir. Bunun en temel sebebi hidrasyonla beraber puzolanik aktivitenin devam etmesidir. Puzolan içerisinde bulunan amorf silis $Ca(OH)_2$ ile tepkimeye girerek kalsiyum silikat hidrat (CSH) oluşturur. Yani çimento hidrasyonu sonucu açığa çıkan faydasız bileşeni faydalı bileşene dönüştürerek dayanım artışına sebep olur (Chatterjee ve Lahiri, 1967: 65).

Betonda puzolan katkı portland çimento miktarında azaltma yapılarak kullanılır. Azaltılan miktar yerine çok daha ince taneli puzolan kullanılır kullanılan puzolanın özgül ağırlığı çimentodan daha düşüktür, bu sebeple çok daha büyük bağlayıcı hamur fazı elde edilir. Puzolanlı betonlarda ince agrega fazı arttığından beton işlenebilirliği artmaktadır. Azalan boşluk oranı sonucunda ise beton geçirgenliği olumlu yönde etkilenmektedir. Betonda çok ince taneli şekilde kullanılan puzolanlar karışım suyunu kendilerine daha iyi bağlarlar bu sebeple betondaki terlemenin ve dolayısıyla rötre riskinin azalmasına sebep olurlar. Ayrıca puzolan kullanılarak üretilen betonlarda çimento dozajı düşeceğinden betondaki sülfat direnci artmakta ve alkali agrega tepkimesi ile oluşacak genleşmeler azalmaktadır (Costa ve Massozza, 1981: 1).

Soğuk hava koşullarında beton üretiminde puzolan kullanımına dikkat edilmesi gerekir. Puzolan kullanımı soğuk havalarda priz üzerine olumsuz etki yapar. Puzolanik malzeme katkılı betonların kürlenmesinin daha uzun yapılması gerekir (Leckebush, 1984: 1). Dünyada bulunan aktif ve sönmüş volkanlara ait yerleşim planı aşağıda verilmiştir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Dünyada aktif ve sönmüş volkanların dağılımı

Kaynak: (TÜBİTAK, 2021: 10)

2.2. Afyon ve Kütahya Yöresi Jeolojisi

Dünyanın hareketi yüksek kuşağında yer alan Türkiye önce orojenik daha sonra ise epirojenik hareketlere maruz kalmıştır. Bu hareketler sonucunda Türkiye tektoniği ve volkanizması oluşmuştur. Volkanizma ile oluşan volkanik araziler zamanla aşınarak Türkiye'nin en yüksek dağlarını ve geniş lav platolarını oluşturmuşlardır. Batı Anadolu bölgesi volkanik arazisi incelendiğinde dış püskürük kayaların her türüne rastlanmaktadır, fakat kayaç dağılımında en fazla olan tüfler ve andezitlerdir. Afyon ve Kütahya Türkiye'nin iç batı Anadolu bölgesinde kalan illeridir. Afyon volkanizması kıta içi bir volkanizmadır. Arap levhasının geç tersiyerde Afrika levhası ile çarpışarak Anadolu levhası altına dalarak oluşan Akdeniz kıvrım kuşağının devamı olarak tanımlanmıştır (Keller, 1972: 342).

Deprem etkinliği en yüksek bölgelerden biri olan Batı Anadolu'dur. Burada bulunan aktif faylar sebebiyle oluşan birçok çöküntü alanı bulunmaktadır. Bu çöküntü alanlarından

olan Kütahya ve Afyon grabeni geçmişte maden yatakları, tektonik evrim, kömür ve jeotermal enerji ile ilgili çeşitli araştırmalara konu olmuştur (Akgün ve Özden, 2019: 671).

Geçmişteki plaka hareketlerinin belirlenmesinde rol alan volkanik oluşumlar üzerinde son zamanlarda birçok araştırmacı tarafından petrografik, jeokimyasal ve jeokronolojik çalışmalar yapılmıştır. Afyon yöresinde 1982'den beri yapılan araştırmalar neticesinde bol miktarda volkanit (Tüf, pomza, terra rosa) rezervi olduğu saptanmıştır (Kibici, 2012: 53).

Afyonkarahisar bölgesinin büyük kısmı volkanik tüflerle kaplıdır. Özellikle Frig vadisi olarak bilinen bölgede tüf kayalar oyularak yapılmış antik yerleşim yerleri bulunmaktadır. Frig vadisinde yapılan bu yapılar günümüze ulaşmıştır (Çelik ve Sel, 2008:39). Afyonkarahisar tüfleri antik çağlardan bu yana bölgede geleneksel yapı malzemesi olarak kullanılmıştır. Ayrıca Afyonkarahisar bölgesinde günümüzde çok sayıda aktif taş ocağı bulunmaktadır (Kuşcu ve Yıldız, 2001:85). Afyon'dan güneyde bulunan sandıklı ve haydarlıya kadar uzanan geniş sahada görsel birikimleri çevreleyen yanal geçişli volkanik kayalar bulunmaktadır. Bu durum afyon volkanizmasının geçmişte çok hareketli olduğunu göstermektedir. Afyon bölgesinde en çok bulunan kayaları trakitler ve andezitlerdir. Bu çevrede volkanik arazi üzerinde baca tikaçları görünümü tepecikler oluştururlar (Lahn, 2014: 37).

Afyon güneyine bakıldığında volkanik tüf ve aglomeralardan oluşan arazi gözlemlenir. Burada da volkanik tüfler görsel neojen tortullar ile yanal geçişlidir. Bu oluşumlar bölgedeki volkanik faaliyet hakkında bilgi verir (Çelik vd., 2001: 24).

Afyonun kuzeyi incelendiğinde Eskişehir'e kadar uzanan bölgede dasit, riolit ve azca miktarda bazalt bulunan arazi görülür. Volkanik arazinin kuzeyinde radial drenaj sonucu oluşan neojen çökelleri yer yer ara tabakalanma göstermektedir. Bolvadin ve Emirdağ arasında bulunan bölgede yine tüf ve aglomeralardan oluşan tepeler bulunmaktadır (Özpınar, 2008: 29).

Afyon ve Kütahya Türkiye'nin Ege bölgesinde bulunan illeridir Afyon ili 14.295 km² yüz ölçümüne sahip olup Türkiye'nin termal başkenti olarak bilinmektedir. Termal başkent denilmesinin başlıca sebebi bölgenin eski bir volkanik oluşum olmasıdır. Afyon Ege bölgesinde bulunsada iklim olarak İç Anadolu Bölgesi iklimine daha yakındır. Kışları soğuk ve kar yağışlı yazları sıcak ve kurak step iklimi görülür. Kütahya ise 12.043 km² yüz ölçümüne sahip olup Ege Bölgesinde ki ilimizdir. İlin temel geçim kaynaklarını, seramik fabrikaları ve termal tatil köyleri oluşturmaktadır (KTB, 2021). Her iki ilimizin ortak özelliği olan termal tesisler

kayaç (litik)'tir (Karaman ve Kibici, 2008: 335). Tüflerin bileşiminde kuvars, feldispat, biyotit ve hornblend gibi fenokristaller bulunur. Bunlar pomza parçacıkları ve çeşitli kayaç kırıntılılarıyla beraber bağlayıcı bir matris oluştururlar (Schmid, 1981: 1). Tüfler doğal ortamında iyi sıkışmadığında çokça gözenekli yapısının da etkisiyle diğer doğal taşlara göre kolayca ayrışırlar (Kadir ve Karakaş, 2000:95). Doğal bir yapı taşı olan tüfler dayanıklı ve sağlam olmalarından dolayı kullanıldıkları yerde yüzlerce yıl durabilitelerini koruyabilmektedir. Ancak çevresel etkilerin sebep olduğu ayrışmalarda olmaktadır (Çelik ve Tan, 2016: 399). Tüflerin dayanıklılığı, içerisinde yer alan minerallere, boşluk oranına, kimyasal yapısı ve cam miktarına bağlı olarak değişmektedir (Çelik ve Ergül, 2015: 3223). Gözenekli yapıya sahip tüflerde su emme ve tuz etkileri kayacın yapısal performansını etkilemektedir (Ünal vd., 2006: 431).

Volkanizma sonucu oluşan ürünlerin yeryüzünde katılaşmaları ortam koşulları ve malzemenin karakterine bağlı olarak değişiklik gösterir (Erguvanlı ve Sayar, 1955: 115). İçeriğindeki tüf oranı %50 ve üzeri olan malzemeler tüflü olarak isimlendirilirler. Tüfler, tortul veya magmatik kayaçlar sınıfında incelenir. Sedimantolojik terimler ile açıklanmasına rağmen magmatik petroloji bağlamında incelenmektedir. Tüfler kül gibi küçük unsurların üst üste birikmeleri ya da deniz, göl akarsular ile taşınarak dibe çökmesiyle volkanik tüfler oluşurlar. Volkanik tüfler volkanik bacalardan lavların volkanik gazların ve çeşitli büyüklükteki magmanın birleşmesiyle oluşmuşlardır. Literatürde bu tip malzemelere pirolastik malzeme denilmektedir. Değişik boyutlarda oluşan piroklastik malzemeler göl, deniz ve yamaçlarda volkanik küllerin birikmesi sonucu volkanik tüfleri oluşturur. Volkan bacasından ayrılan piroklastik malzemenin içinde bulunan parçaların büyüklüğü o anki sıcaklık ve soğuma hızına bağlıdır. Yüksek sıcaklıktan ani soğumaya geçen malzemeler ince tanecikler halinde çökerler. Volkanın patlaması sırasında basıncın ani düşmesi sıvı haldeki magmanın içinde çözülmüş olarak bulunan gazların açığa çıkmasına neden olur (Erdoğan vd., 2003: 66).

Tüfler tabakalı ve tabakasız olmak üzere iki şekilde bulunur. Genellikle detritik ya da kimyasal tortul oluşumlarda ara tabanlı olarak bulunan volkanik tüfler, kökenlerine göre içinde bulunan kayaç türü baz alınarak trakit tüfü, andezit tüfü, bazalt tüfü şeklinde isimlendirilmektedir (Bayırlı ve Pekin, 2013: 66).

Tüfler içeriğinde alüminyum ve silis bileşikleri bulundurduğundan gevşek ve kırılğan yapıdadır. Tüfler doğada çakıl ve kum ile karışık şekilde toz halde veya iri kaya büyüklüğünde gözenekli sıkışmış halde bulunurlar. Tüfler kolay aşınırlar düşük birim ağırlığı sayesinde su üstünde kalabilirler. Tüfün içinde bulunan ince tane miktarı ve kimyasal yapısı kaynaşma özelliğine etki eder (Arıcı, 1997: 17).

Volkanik tüflerin oluşturduğu geniş sahalar akarsuların yarıp parçalaması sonucu tüf platoları oluşur. Bu platolarda yine parçalanarak tepelik görünüme kavuşur. Tüflerin geçirirliliği fazla olduğundan bu tepeler derin ve dik yamaçlardır. Yamaçlarda fazlaca sel yarınması bulunur (Dinç, 2014:139). Tüflerin kimyasal yapıları kendi içinde benzer özellikler taşımaktadır. Tüf içerisinde TiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 , SO_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O ve H_2O bileşikleri bulunur. Farklı yörelere ait tüflerde bu bileşiklerin oranları değişmektedir. Tüf içerisinde en fazla bulunan bileşik SiO_2 'dir. Bulunma oranı %46-80 aralığındadır. Tüf içinde alkali miktarı bulunma alt sınırı %8'dir. MgO ve CaO Bileşikleri %10'dan az bulunur (Doruk, 1974: 9). Tüfe ait kimyasal özellikler Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Tüf kimyasal bileşimi (Afyon, Gecek)

Bileşen	Karışım %
SiO_2	70,36
Al_2O_3	13,53
Fe_2O_3	1,43
CaO	1,65
Na_2O	2,34
K_2O	6,85
TiO_2	0,05
MgO	0,15

Kaynak: (MTA, 2021)

Tüflerin içerisinde bulunan silis tipine bakarak volkandan çıkan maddelerin çıkış sıcaklıkları belirlenebilir. Eğer kayacın kristallenmesi tridimit ise çıkış sıcaklığı $900^{\circ}C$ üzerindedir. Kristallenme ikizli kuvars şeklinde olduğunda çıkış sıcaklığı $575^{\circ}C$ olmaktadır. Literatürde bu tip minerallere jeolojik termometre denilmektedir (Sağlam ve Zorer, 2017: 77).

Tüfler tek başlarına hidrolik bağlayıcılık özelliği göstermemektedir, fakat çok ince taneli olarak öğütüldüklerinde sulu ortamda $Ca(OH)_2$ ile normal sıcaklıkta reaksiyona girerek hidrolik bağlayıcılık kazanmaktadır. Bu özelliği sayesinde tüfler uygun koşulların sağlanması halinde çimento ve beton endüstrisinde mineral katkı olarak kullanılmaktadır. Bu kullanım çimento gibi yüksek üretim maliyetleri gerektirmediğinden ekonomik fayda sağlamaktadır (Erdoğan vd., 1999: 63). Günümüzde tüflerin dünyada ve ülkemizde başka alanlarda da kullanımını görmektedir. Dış cephe sıvalarında, süslemede, kemer ve sütun gibi sanat yapılarında uygun maliyet aşınma direnci ve görsel güzellik gibi özellikleri sayesinde kullanılmaktadır.

2.4. Pomza

Pomza dünyada çeşitli endüstrilerde uzun zamandır kullanılan ancak ülkemizde son 20 yıldır bilinen ve kullanılan volkanik kökenli bir kayac türüdür. Volkanın patlaması sonucu

uygun koşulların oluşmasıyla meydana gelen pomza volkanizmanın olduğu her yerde olmaktadır (Akyüncü, 2019: 149). Dünyada en fazla pomza üretimini İtalya yapmaktadır. İtalyadan sonra ikinci sırada Türkiye gelmektedir. Dünyada ve ülkemizde pomza gözenekli yapısı sayesinde ısı ve ses izolasyonunda kullanılır. Yapı taşı olarak inşaat ve mimaride kullanılan pomzanın aynı zamanda çimento ve beton endüstrisinde kullanılmakta ve kullanımıyla ilgili araştırmalar yapılmaktadır (Erkoyun, 2005: 4).

Türkiye’de üretilen pomzanın %90’ı inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Pomzanın kalan kullanımını ise aşındırıcı madde endüstrisi oluşturmaktadır. Çok hafif bir aşındırıcı olarak tanımlanan pomza doğal, yapay madeni eşyaları ve gümüş gibi yumuşak metalleri partlatmada kullanılır. Çok az miktarda tekstil endüstrisinde de kullanımı görülmektedir (Gündüz vd., 1998: 285). Beton üretiminde kaba halde agrega olarak kullanılan pomza çimento inceliğinde öğütüldüğünde ise mineral katkı olarak beton içerisinde çimento yerine belirli oranlarda kullanılmaktadır (Neumann ve Grotjohann, 1998: 235).

Pomza tamamen doğal olması kolayca elde edilebilmesi insan ve çevre sağlığına zarsız olması sebebiyle son yıllarda seramik, kozmetik, cila, boya gibi çok çeşitli sektörlerde kullanılmaya başlanmıştır. Pomzanın sahip olduğu kimyasal ve fiziksel yapısından dolayı geri dönüşümü ve yeniden kullanımı mümkün değildir (Orhan vd., 2017: 571).

Ülkemizde bulunan pomza yatakları yüzeye yakın olduklarından açık işletme metoduyla patlatma olmaksızın mekanik kazı ile kolayca çıkarılarak kırma, eleme ve öğütme gibi çeşitli fiziksel işlemlerden geçirildikten sonra inşaat sektöründe kullanılmak üzere ilgili endüstrilerce ürün haline getirilir (Varol, 2016: 27).

Dünyada pomza rezervi ile ilgili kesin bir bilgi yoktur, fakat ülkemizde pomza rezervi 2,2 milyar ton olarak belirlenmiştir. Pomza başka bir volkanik kökenli kayaç olan perlit ile karıştırılmaktadır. Pomzayı perlitten ayıran en önemli özellik rengi, kristal yapısı ve gözenekliliğidir. Perlitin endüstride kullanılabilmesi için enerji ve yatırım gerekir bu sebeple pomza perlite göre çok daha avantajlı bir malzemedir (Tuncer ve Özkan, 2001: 269).

Pomzanın geçmişte Roma, Bizans ve Osmanlı’ya ait yapılarda, tapınaklarda ve termal banyolarda ana malzeme olarak kullanıldığı görülmüştür. Bu dönemlerde pomza ile yapılan yapılardan bazıları günümüze ulaşmıştır. Pomza süngerimsi ve boşlukludur, volkanik olaylar sonucu oluşmuştur. Pomzanın kimyasal ve fiziksel etkilere karşı dayanıklılığı oldukça fazladır. Pomza gözenekli ve camsı bir kayaçtır, oluşumu esnasında bünyesinde bulunan gazların dışarı çıkması ve ani soğumasıyla makro ve mikro birçok gözenek içerir gözenekler arası bağ-

lantısız olduğu için düşük permeabilite, yüksek ısı ve ses yalıtımı sağlar. Pomzanın kendine has bazı özellikleri diğer volkanik camsı kayaçlardan (perlit, obsidyen, pekş-tayn) ayrılır. Bunlar kristal suyunun olmaması gözenekliliği ve rengi olarak pratik şekilde ayrılmaktadır (MTA, 2020).

Doğada kayaç halde bulunan pomza teknik literatürde ‘‘Doğal hafif agrega’’ olarak isimlendirilmektedir. Pomzanın birim hacim ağırlığı 10 kN/m³’ten düşüktür. Pomzanın sertliği mohs cetveline göre 5-6 değer almaktadır. Buradan anlayacağımız üzere çok sert olmayan yumuşak bir malzemedir. Pomzanın kimyevi yapısına bakacak olursak %75’e varan oranda silis içeriği bulunabilmektedir. Pomzanın genel kimyasal bileşimi aşığıda verilmiştir (Tablo 2.2.).

Tablo 2.2. Pomza kimyasal bileşimi (Kütahya, Kumluyurt)

Bileşen	Karışım %
SiO ₂	60-75
Al ₂ O ₃	13-17
Fe ₂ O ₃	1-3
CaO	1-2
Na ₂ O-K ₂ O	7-8
TiO ₂ -SO ₃	0-1

Kaynak: (MTA, 2021)

Kayacın içerdiği SiO₂ miktarı kayaca abraziflik özellik kazandırmaktadır. Bu özellik sayesinde çelik gibi sert malzemeleri kolaylıkla aşındıracak kimyasal davranış sergilemektedir. Al₂O₃ bileşimi sayesinde yüksek ısı ve ateşe karşı dayanım kazanmaktadır. Pomza oluşumu asidik ve bazik volkanik faaliyet sonucu iki şekilde oluşur. Bu oluşumlara asidik pomza, bazik pomza denilir. Bazik pomza kahverengi siyah koyu renklidir. Asidik pomza ise yeryüzünde ençok rezerve sahip ve en çok kullanılan pomza türüdür, grimsi veya kirli beyaz görünüme sahiptir. Asidik pomzalarda silis oranı daha yüksek olduğundan en yaygın kullanım alanı inşaat sektörüdür. Asidik magmanın vizkozitesi bazik magmaya göre daha yüksektir.

Asidik magma yüksek oranda silis içerir. Asidik magmanın katı olduğu sıcaklıkta, bazik magma sıvı halde bulunur. Bu sebeple volkanik aktivite durduğu zaman magma akışı durarak asidik kayaç kütlelerini oluşturur. Artan basınç ile asidik malzemeyle beraber magmadaki erimiş gazlar büyük patlamalar yaparak volkan bacasından püskürmeye başlar, patlama sonrası ani basınç azalması ve ani genleşmeler olur. Bu sırada bünyede bulunan uçucu bileşenler uzaklaşırlar. Bu aşamadan sonra geride kalan erimiş kütleler parçalar hızla soğuyarak pomzayı oluştururlar. Pomza oluşumuna, püskürme süresi, magma ısısı, magmadaki erimiş

gaz miktarı, ara süreler ve püsküren malzemenin soğuma süresi etki eder (Tatlıdil ve Sancak, 2013: 87).

Amerikan Jeoloji Araştırmaları Kurumu'nun (USGS) 2020 yılı raporuna göre dünyada pomza üretimi 18 milyon tondur. Bu rapora göre 7,8 milyon ton yıllık pomza üretimi ile Türkiye ilk sırada bulunmaktadır. Pomza ihracatında da dünyada lider konumda olan Türkiye 2019 verilerine göre yıllık 22,8 milyon dolar değerinde pomza ihraç etmiştir (MTA 2020).

2.5. Terra rosa

Toprak, dünya yüzeyinde bulunan uzun yıllardan beri çeşitli fiziksel ve kimyasal tepkimeler ile şekil değiştiren insanlık tarihi boyunca özelliklerine göre tarımda ve barınmada kullanılmış doğal bir malzemedir (Ünal, 2011: 12). Terra rosalar içeriğinde bulunan yüksek kil sebebiyle tuğla, kiremit üretiminde kullanılmaktadır (Cengiz ve Ünsal, 2004: 3). Terra rosalar içeriğinde %20 üzerinde ince taneli malzeme, %30'dan az miktarda Al_2O_3 bulundurlar. Az miktarda serisit montmorillonit, klorit, illit gibi kil mineralleri, silisyum bileşikleri ve hidro miko içerir (Kuşçu ve Tay, 2002: 174).

Terra rosa topraklarının mineralojik bileşimlerinde montmorillonit ve kaolinit türü killer çok az miktarda olmalıdır. Bunun sebebi montmorillonit grubu killer malzeme özelliğinde hacim küçülmesine yol açarak çatlamasına sebep olurlar. Kaolinit grubu killerin terra rosa içeriğinde artması malzemenin pişme sıcaklığını arttırmaktadır. Terra rosalarda $CaCO_3$ miktarının %25-35 aralığında bulunması gerekir. Malzeme içerisinde iri halde bulunan kireçtaşları çatlamaya sebep olur. Terra rosa içerisinde bulunan $CaCO_3$ fırınlanarak kirece daha sonra su ile etkileşimde sönmüş kirece dönüşür, bu tepkime hacim artışına sebep olduğundan istenmeyen bir durumdur (Cengiz vd., 2005: 152).

Fazla kireçli topraklarda su emme ve porozite değerleri artar dolaylı olarak malzemenin donma çözülmeye karşı direnci azalır, bu ileri yaşlarda mukavemet kayıplarına sebep olur. Böylece durabilite olumsuz etkilenir.

Yapı malzemesi olarak kullanılacak terra rosaların iç yapısında mikalar, kükürt, jips, pirit ve suda eriyen tuzları içermemesi veyahut çok az miktarda içermesi gerekir. Bu maddeler terra rosaların iç yapısında bulunduğu pişirme esnasında bozunma sonrası açığa çıkan gazların etkisiyle çiçeklenme, çatlama gibi etkileri oluştururlar, dolaylı olarak donma çözülme, basınç mukavemeti ve geçirimsizlik olumsuz etkilenir. Terra rosa içerisinde suda eriyen tuzlar gerektiğinden fazla miktarda bulunduğu çimento harcına olumsuz etkiler yapar.

Suda çözünmeyen tuzlar kabarma ve çatlamalara sebep olmaktadır (Benac ve Durn, 1997: 63).

Hammadde olarak kullanılacak terra rosaların öncelikle ana oksitlerinin bilinmesi gerekir. Terra rosaların 1000°C pişirildiklerinde sertlik derecesinin 2'nin üzerinde olması aranan bir özelliktir. Günümüzde terra rosalar ile ilgili mineralojik, jeolojik, kimyasal ve teknolojik araştırmalar yapılmaktadır. Son yıllarda dünya üzerinde bulunan birçok terra rosa yataklarının jeokimyası, mineralojisi, jeomorfolojik koşulları ve paleo-çevresel önemi incelenmiştir (Smith ve McAlister, 1995: 63).

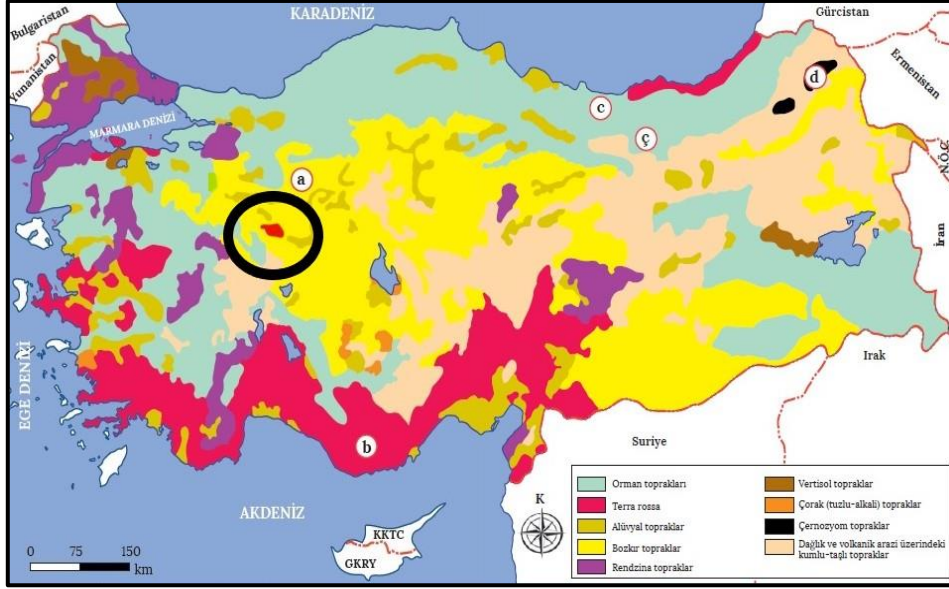
Terra rosaların kırmızı rengi içerisinde bulunan demir ile alakalıdır. FeO ve Fe₂O₃ arasındaki oran arttığında renk kahverengiye doğru kayar. Terra rosaya ait kimyasal özellikler Tablo 2.3'te verilmiştir.

Tablo 2.3. Terra rosa kimyasal özellikleri (Kütahya, Çöğürler)

Bileşen	Karışım (g/kg)
Silt	356
Kil	223
pH	7,1
CaCO ₃	4

Kaynak: (MTA, 2021)

Dünyada farklı topraklar bulunmaktadır. Toprak oluşumundaki en önemli etkenler; iklim, organizma, topoğrafya ve ana kayadır. Dünyanın farklı yerlerinde görülen farklı iklimler sonucunda çok çeşitli toprak oluşumları gözlemlenmiştir. Bu topraklar oluşum ve yapısına göre sınıflandırılmıştır. İklim toprak karakteri üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Terra rosa olarak bilinen toprak türü dünyada batı Atlantik, pasifik ve akdeniz kıyılarında birçok adada bol miktarda bulunmaktadır (Boero ve Schwertmann, 1989: 319). Ülkemizde ise en çok görüldüğü bölgeler; Akdeniz, Ege ve Marmara bölgeleridir. Türkiye toprak dağılımını gösterir harita Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.4. Türkiye toprak dağılım haritası

Kaynak: (MTA, 2021)

Terra rosa genellikle kalkerli arazilerde oluşan ve bünyesinde yüksek miktarda kireç bulunduran killi bir toprak türüdür. Yıllık ortalama sıcaklık değerinin 15°C ve üzerinde, ortalama yağış miktarının 500 mm'den fazla olduğu ortamlarda oluştuğu belirlenmiştir. Ana kayaya baktığımızda kalker, marn, gnays ve kil konglomeraları üzerinde oluşmuşlardır. Terra rosaların rengi genellikle buldukları bölgelere göre kırmızının farklı tonlarında olur. Terra rosa halk arasında kıvıll toprak olarak bilinir, kıvıll renginin sebebi ise içeriğinde bol miktarda bulunan demiroksittir (Bellanca vd., 1996: 57).

Terra rosalar düz arazilerde daha çok görülür. Dolin ve polye gibi karstik çukurların tabanlarında da oldukça yaygındır. Terra rosaların ayrışma süreleri uzadıkça içeriğindeki alümina miktarı artmaktadır. Bünyesinde bulunan silis miktarı gözeneklilik ve geçirimsizlik artarak malzemenin bağlayıcılık özelliklerini olumlu etkilemektedir (İskenderoğlu, 2020: 271). Terra rosalar karbonatlı kayalar üzerinde gözlenir. Günümüzde terra rosa oluşumu devam eden kayalar bulunmaktadır.

3. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Bu bölümde volkanitler ve terra rosanın beton teknolojisinde kullanımıyla daha önce yapılan çalışmalar hakkında bilgilere yer verilmiştir.

3.1. Bağlayıcı Tarihi

İnsanlığın varlığından itibaren boy gösteren temel ihtiyaçlardan barınma ihtiyacı geçmişten beri gelişimini sürdürerek ilkel mağaralardan günümüz modern yapılarına dönüşmüştür. Günümüz beton ve harç tanımına uygun bağlayıcı malzemeler ile Göbeklitepe, Mısır Piramitleri ve Çin Seddi gibi yapılarda alçı ve kireç esaslı harçlar kullanılarak inşa edilmiştir (THBB, 2019).

Çimento kelimesi Latince yontulmuş taş kırıntısı anlamına gelen “caementum” sözcüğünden gelmektedir. Tarihte ilk betonarme yapı 1852 yılında yapılmıştır fakat yapıların inşasında bağlayıcı malzeme kullanımı çok öncelere dayanır bilinen ilk bağlayıcı malzeme kireçtir. Kirecin bağlayıcı özelliği M.Ö 2000’li yıllarda keşfedilmiştir. Kıbrıs, Mezopotamya, Grit ve Eski Mısırdaki kirecin bir yapı malzemesi olarak kullanıldığı örnekler mevcuttur.

Beton günümüzde kullanıldığı gibi geçmişte de farklı malzemelerin karıştırılmasıyla kullanılmıştır. Puzolanik malzemelerin hidrolik bağlayıcı özelliği Roma döneminde keşfedilmiştir. Puzolan ve kireç karışımlarının hidrolik özelliklerinden mimar Marcus Vitruvius Pollio bahsetmiştir. Romalılar Vezuv yanardağı etrafında bulunan tozları (Volkanik kül içeren toprak) kireç ve su ile birleştirerek kompozit bir malzeme elde etmişlerdir. Romalılar bağlayıcı olarak kullandıkları bu volkanik küllü toprağa daha sonraları puzolan adını vermişlerdir. Puzolan adı Vezuv yanardağı eteğinde bulunan bir kasabadan gelmektedir. Roma döneminde İtalya’da bulunan volkanik küller ile roma çimentosu olarak bilinen bağlayıcı kullanılmıştır (Kap ve Sağlık, 2018: 88).

Türkler ve Persler tuğla tozlarını kireç içerisine atarak “ Horasan Harcı” adı verilen bağlayıcı kullanmışlardır. Horasan harcı Selçuklular, Bizanslılar ve Osmanlılar dönemlerinde birçok yapıda kullanılmıştır (Akman vd., 1986: 101).

Günümüzde mineral katkı olarak kullanılan puzolanların betona birçok fayda sağladığı bilinmektedir. Sadece kireç ve kil ile yapılan harçlar rutubete karşı dayanıksız olduğundan içerisine puzolan karıştırılarak mekanik ve kimyasal yapıları güçlendirilmiştir. Yunanlıların Girit ve Rodos adalarında yaptıkları mozaik işleri, su yapıları günümüze kadar bozulmadan ulaşmıştır, bunlarda puzolan, sönmüş kireç ve pişmiş kil karışımları kullanılmıştır.

Beton ile ilgili asıl gelişmeler 18. yy'da olmuştur. 1756 yılında John Smeaton tarafından kirecin kimyasal özellikleri belirlenmiştir. 1813 yılında Fransa'da Vicat kireçtaşı ve kili karıştırıp pişirerek bir bağlayıcı üretmiştir (Kocataşkın, 1965: 2). 1824'te İngiltere'nin Leeds şehrinde bir duvar ustası olan Joseph Aspdin ince taneli kil ve kalkerleri pişirmiş sonrasında öğütürerek bağlayıcı bir malzeme elde etmiştir, elde ettiği bu malzemeye kum ve su katarak nihai ürünün zamanla sertleştiğini belirlemiştir. Joseph Aspdin bulmuş olduğu ürüne Portland çimentosu adı altında patent almıştır. Yapılan tüm bu çalışmalar sonucu üretilen çimentolar priz süresinin kısa olması ve üretimi esnasında klinkerleşme için gerekli sıcaklık değerlerine ulaşamadığından günümüz portland çimentolarının yerini tutamamıştır.

Isaac Johnson 1845 yılında hammaddeleri yüksek sıcaklıklarda pişirip öğütürerek modern çimentoya ilk adımı atmıştır. Çimento üretiminde Dünya'da ilk dönel fırınlar 1886'da İngiltere'de kullanılmaya başladı. Çimentonun priz süresini ayarlamak amacıyla alçı taşı katılması 20 yy başlarında İlk olarak Amerika'da yapıldı (Mindes ve Young, 1981: 3).

1903 yılında Almanya'da betonun şantiyeye taşınma fikri ortaya atıldı. Böylece Hazır beton literatüre girmiş oldu, hazır beton üretildiği ilk yıllarda at arabalarıyla taşınıyordu (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. At arabasıyla taşınan ilk hazır beton

Kaynak : (İMO, 2017: 14)

Ülkemizde modern çimento ilk olarak 1912 yılında kullanılmaya başlandı. İlk hazır beton ise 1976'da Ankarada kullanılmaya başlanmıştır (THBB, 2003). Çimento ve beton üzerindeki araştırmalar günümüz yapı ihtiyaçları göz önünde bulundurulduğunda hız kesmeden devam etmektedir. Beton ve çimentodan istenilen fiziksel ve mekanik özelliklerin iyileştirilmesi amacıyla kimyasal ve mineral katkıları günümüzde kullanılmaktadır (Güner, 1999: 7).

3.2. Daha Önce Yapılan Çalışmalar

Dünyada ve ülkemizde çimento esaslı yapı malzemelerinin geliştirilmesi dolaylı olarak beton teknolojisinde yeniliklerin yapılması amacıyla çeşitli bölgelere ait volkanitler mineral katkı olarak kullanılmıştır. Bu bölümde volkanitlerin beton ve çimento teknolojisinde kullanımıyla alakalı benzer çalışmaların özeti verilmiştir.

Kibici vd. (2012) Afyon zonu içerisinde KB-GD (Kuzeybatı- Güneydoğu) Afyon karahisar il merkezi ve yakın çevresinde bulunan volkanik tüfler ve kayalar hakkında araştırmalarda bulunmuştur. Bu volkanik kayalar piroklastik kayaç ve lav akıntısı şeklinde olup Afyon lavları veya volkanik kül tüfleri şeklinde isimlendirilir. Kibici bu çalışmada güneyden kuzeye doğru akan lavların ve piroklastik malzemelerin petrografik ve mineralojik özelliklerini tanımlamıştır. Afyonda bulunan volkanitler petrografik olarak trakiandezit, trakit, porfiroidal trakit, tuf ve çok az oranda bazalt bileşimi olduğu, asidik nötr kayaların mineralojik bileşiminde başlıca; alkali feldspat (sanidin), amfibel (kahverengi hornblend), klinoprosken ve biyotit içerdiğini saptamıştır. (Kibici vd., 2012: 53)

Özen (2021) Volkanik tuf esaslı geopolimerlerin portland çimentosuna alternatif kullanım potansiyellerini araştırmıştır. Araştırma sonucunda volkanik tuf katkılı geopolimerlerin zeolit içermemesine rağmen yeterli basınç dayanım değerlerine ulaştığını ve bunun neticesinde inşaat sektöründe üretim potansiyelinin bulunduğunu tespit etmiştir. Ayrıca erken yaşta yüksek basınç dayanımı için yüksek sıcaklıkta termal kür işlemi, geç yaşta yüksek basınç dayanımı için ise düşük sıcaklıkta termal kür işlemi yapılmasını önermiştir. (Özen, 2021: 530)

Demir vd., (2016) Kütahya Seyitömer uçucu külü ve Afyon yöresindeki volkanik tufün puzolanik özelliklerini incelemiştir. Yaptığı çalışmada üretilen örnekleri üç gruba ayırarak birinci gruba 7 gün süreli su kürü, ikinci gruba 28 gün süreli su kürü, üçüncü gruba 8 saat süreli otoklav kürü uygulamış deney sonunda numunelerin basınç dayanımlarını fiziksel özelliklerini ve dayanım aktivite indekslerini belirlemiştir. Afyon yöresi volkanik tüflerinin yeterli dayanım indeksine sahip olduğunu çimento ve beton üretiminde puzolanik katkı olarak kullanılabileceğini söylemiştir. (Demir vd., 2016: 39)

Ceylan, (2020) Güneybatı Anadolu'da Isparta, Burdur şehir merkezleri arasında bulunan Gölcük volkanizmasının Gelincik köyündeki volkanik tüflerin puzolanik özelliklerini araştırmıştır. Yapmış olduğu araştırma neticesinde Gelincik köyünden elde edilen volkanik külün beton ve çimentoda mineral katkı olarak kullanılabilmesinin araştırılmasını önermiştir. Ayrıca kullanılması durumunda beton üretim maliyetlerinin önemli ölçüde azalacağını da belirtmiştir. (Ceylan, 2020: 1)

Kavas ve Çelik, (2001) Afyon Ayazini bölgesinde yüzeyleyen tüflerin çimento sanayinde tras olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Ayazini tüflerinin kimyasal mineralojik fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemiştir. TS-25 (Tras) Standartlarına uygunluğunu kontrol etmiştir. Üretilen tuf katkılı çimento örneklerine yapılan basınç dayanımlarında 5,7-10,6 N/mm² arasında değişen sonuçlar elde etmiş, eğilmede çekme dayanımları ise 1,4-2,5 N/mm² olarak saptamıştır. Kavas ve Çelik yaptığı bu çalışmada Ayazi bölgesinin tüflerinin çimento üretiminde tras olarak kullanılabilmesi sonucuna ulaşmıştır. (Kavas ve Çelik, 2001: 39)

Kozak ve Ünal, (2016) Tuf ve Pomzayı hafif blok üretiminde agrega olarak ayrı ayrı kullanmış, oluşturulan blok numunelerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin araştırılmasını amaçlamıştır. Yapmış olduğu çalışmada Isparta'dan pomza, Afyon'dan tuf kullanmıştır. Agrega numunelerine; aşınma miktarı, çamurlu madde miktarı, organik madde miktarı, birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, tane dağılımı ve su emme değerlerini belirlemiştir. Yapmış olduğu karışımda agrega granülometrisi ve su/çimento oranı sabit tutulmuş. Karışımdaki çimento oranını değiştirerek (120 kg/m³, 140 kg/m³, 160 kg/m³, 180 kg/m³) iki farklı agrega (tuf, pomza) dört farklı kalıpta en az 6'şar adet olacak şekilde toplam 232 numune üretmiştir. Üretilen numuneler üzerinde birim hacim ağırlık, basınç dayanımı ve ısı iletkenliği değerleri belirlenmiştir. Üretilen numunelerden elde edilen sonuçlara göre karışımda kullanılan dozaj artırıldığında numunelerin basınç dayanımlarında artış olduğu sonucuna varılmıştır. (Kozak ve Ünal, 2016: 17)

Gökçe vd., (2013) kireçtaşı perlit kayacı ve andezitten üretilen kırmataş agregalar ile harç karışımında çimento yerine farklı dozajlarda zeolitik tuf (ZT) katarak numunelerin alkali silika reaksiyonuna ait özelliklerini belirlemiştir. Numuneler üzerinde ASR'yi belirlemek için ASTM C 1260'a göre hızlandırılmış harç çubuk deneylerini yapmıştır. ZT katkısı CEM I 42,5 R tipi çimento yerine %10, %20, %30 ve %40 oranlarında katılmıştır. Agrega türleri üzerinde toplam 45 adet harç çubuğu üretmiştir. Ürettiği numunelerin 3, 7, 14, 28, 42 ve 56 gün süreli kür sonunda boy değişimi değerlerini belirlemiştir. Numuneler üzerindeki boy değişimi değerlerine bakılınca Tüm numunelerde zeolitik tuf miktarı arttıkça alkali silika reaksiyonunda

azalma olduğu gözlenmiş, ZT katkısının ASR önlemede etkili olduğu sonucuna varmıştır. (Gökçe vd., 2013: 4)

Korkmaz, (2019) Yozgat bölgesine ait tüfleri çimento katkısı olarak kullanılabilirliğini incelemiştir. Yozgat tüflerini puzolanik çimentolarda farklı oranlarda (%20, %40) klinkerin yerine kullanmıştır. Yozgat bölgesine ait 4 ayrı sahada topladığı tuf numuneleri ile ürettiği çimentolara; fiziksel, mekanik, kimyasal deneyler yapmıştır. Ayrıca çimentolara kızdırma kaybı ve hidratasyon ısı testi de uygulamıştır. Yapmış olduğu deneysel çalışma sonunda Yozgat tüflerinin 6,3-10,7 MPa arasında değişken basınç dayanımları verdiğini tespit etmiştir. Puzolanik çimentolarda tuf oranı %40'a çıktığında erken yaş dayanımında düşüş olduğunu ancak 28 gün dayanımının standart basınç dayanımını yakaladığını saptamıştır. Yozgat tüflerinin CEM IV/B tipi puzolanik çimentolarda %40'a kadar kullanılabileceğinin sonucuna varmıştır. (Korkmaz, 2019: 253)

Çelik, (2017) Afyonkarahisar bölgesi tüflerinin mekanik ve fiziksel özelliklerinin ultrases dalga hızı ile ilişkisini incelemiştir. Afyon bölgesinde Afyon ili Seydiler, Ayazini ve Seyitgazi bölgelerine ait tüflerinden 50x25x25 cm boyutlarında numuneler alarak aldığı numunelere XRF tayini yaparak analizler gerçekleştirmiştir. Ultrases geçiş hızı, Donma çözülme testleri yapmıştır. Yapmış olduğu testler sonunda yoğunluk, ağırlıkça su emme, hacimce su emme, porozite, basınç dayanımı, eğilme dayanımı değerlerinin ultrases geçiş hızı ile ilişkilerini irdelemiştir. Yapılan çalışmada ultrases dalga hızının tuf numuneleri üzerinde tek eksenli basınç dayanımı, eğilme dayanımı yoğunluk arasında doğru yönlü orantı olduğunu, kütlece su emme ve porozite değerlerinde ise ters yönlü orantı olduğunu belirlemiştir. Afyon bölgesindeki tüflerin yüksek poroziteye sahip olduğunu bunun tahribatsız bir şekilde ultrases deneyiyle bulunabileceğinin sonucuna varmıştır. (Çelik, 2017: 961)

Yıldız, (2012) Beton yol kaplamalarında kullanılması amacıyla pomza ve zeolit içeren yüksek dayanımlı betonların çevresel etkiler altında NaCl'ye karşı direncini araştırmıştır. %5, %10 ve %15 oranlarında pomza ve zeolit kullanarak hazırladığı beton numunelere 28 gün kür sonrası NaCl çevresel etksi uygulayarak basınç deneyi, aşınma direnci deneyi yapmıştır. Yapmış olduğu deneyler sonrası zeolit ve pomza katkılı tüm betonların kontrol numunesine göre çok daha iyi basınç dayanımı ve aşınma direnci gösterdiğini bularak pomza katkılı betonların rijit yol kaplamalarında kullanılabileceği sonucuna ulaşmıştır (Yıldız, 2012: 69).

Gönen ve Yazıcıoğlu, (2021) pomza, silis dumani, uçucu kül ve toz perlit mineral katkı olarak kullandığı pomza agregalı kendiliğinden yerleşen hafif beton üretmiştir. Kullandığı 4 farklı mineral katkıyı kendi başlarına ve ikili üçlü olarak farklı kombinasyonlarda dene-

miştir. Ürettiği numunelerin donma çözülme dirençlerini incelemiştir. 100 çevrim donma çözülme yaptığı numunelerde pomza katkılı betonlarda donma çözülme sonrası basınç dayanımlarında düşüş olduğunu pomzanın donma çözülme direncini düşürdüğü sonucuna ulaşmıştır (Gönen ve Yazıcıoğlu, 2021: 94).

Karakurt vd., (2020) Betonun dış ortam koşullarında dinamik etkiler altında meydana gelen aşınma sorununun önlenmesi amacıyla beton karışımında çimento yerine %5, %10 ve %15 oranında 90 dk süre ile 900°C'de kalsine edilmiş bentonit kullanarak beton numuneleri üretmiştir. Ürettiği beton numunelerine 7, 28, 56 ve 180 gün kür süreleri sonunda basınç ve aşınma direnci deneyleri yapmıştır. Yaptığı deneysel çalışma sonucunda bentonit kullanımı beton içeriğinde %10 oranında olduğunda kontrol numunesine göre %3,7 basınç dayanımı artışı, %10,6 Aşınma direnci sağladığını belirlemiştir. Bentonitin mineral katkı olarak %10 oranında kullanıldığında betonun kalıcılığı üzerinde olumlu etkiler yaptığını söylemiştir (Karakurt vd., 2020: 904).

Ekinci, (2017) Nevşehir yöresinden topladığı volkanik tüfü kullanarak ürettiği geopolimer betonların bazı mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemiştir. Betonları iki farklı grup halinde üretmiş her iki grup betonda üç farklı kür sıcaklığı ve iki farklı alkali oranı kullanmıştır. Ürettiği numunelere basınç, donma çözülme dayanıklılığı, mikro yapı ve yoğunluk özelliklerini incelemiştir. Deney sonucunda tüf kullanımının basınç dayanımına olumlu etkisi olduğunu ideal kür sıcaklığının 105°C ve 95°C olduğunu belirlemiştir. Donma çözülme dayanıklılığı deneyinde 300 çevrim yapmış deney sonrası basınç dayanımlarında en yüksek kayıpların katkısız betonlarda olduğunu, tür katkısının beton kalıcılığına olumlu etki yaptığını belirlemiştir (Ekinci, 2017: 96).

Antaki, (2020) Pomzayı betonda agrega olarak %50 ve %100 oranlarında kullanarak basınç dayanımı ve kimyasal durabilitesini incelemiştir. Pomza agregalı betonlara 28, 120 ve 150 gün kür süreleri sonunda basınç dayanımlarını ve %5 sülfürik asit etkisinde durabilite performanslarını incelemiştir. Elde ettiği sonuçlara bakıldığında pomzalı ve pomzasız betonların benzer durabilite performansı göstermiş olduklarını, basınç dayanımlarını incelediğinde ise %50 oranında pomza kullanımının en optimum sonucu verdiğini gözlemlemiştir (Antaki, 2020: 65).

Mohammed, (2019) Geopolimerizasyon adını verdiği yeni bir beton teknolojisi geliştirmiştir. Farklı parametreleri farklı oranlarda öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve pomza içeren harç numuneleri üretmiştir. Ürettiği harç numunelerinde bağlayıcı olarak yüksek fırın cürufu ve pomzayı, 100:0, 90:10, 80:20, 70:30 ve 60:40 (cüruf:pomza) oranlarında kullanmıştır. Üre-

tilen numuneleri 14 molar NaOH çözeltisinde 65°C sıcaklıkta 3 ve 7 gün süreyle kürlemiştir. Basınç dayanımı, eğilme dayanımı, donma çözülme direnci, yüksek sıcaklık ve radyasyon zırlama üzerine etkilerini incelemiştir. %100 cüruf ve %0 pomza içeren numunelerinde maksimum basınç dayanımı 100 MPa elde etmiştir. Pomza oranının %40'a yükseldiği numunelerde basınç dayanımı 34 MPa'a kadar düşmüştür. Cürufun basınç dayanımını ve donma çözülmeye karşı direnci iyileştirdiği, pomzanın ise yüksek sıcaklığa karşı etkili olduğunu belirlemiştir (Mohammed, 2019: 4).

Tuyan, (2020) kalsiyum alüminat çimentosunun ağırlıkça %10 ile %40 arasında oranlarda mineral katkı olarak uçucu kül ve yüksek fırın cürufu ikame ederek kalsiyum alüminat çimento esaslı harçlar üretmiştir. Üretmiş olduğu harç numunelerinin 3, 7, 28 ve 90 gün kür süreleri sonunda basınç ve eğilme dayanımları, sülfat ve asit direnci, yüksek sıcaklık direnci deneylerine tabi tutmuştur. %10 ve %20 oranında uçucu kül ikame edilen numunelerde basınç dayanımı, yüksek sıcaklık direnci ve dayanıklılık olumlu etkilenmiştir. Fakat kimyasal özelliklerinde önemli bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Deney sonuçlarına göre uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun kalsiyum alüminat çimentosu yerine mineral katkı olarak kısmen kullanılmasının daha ekolojik verimli ve uygun maliyetli bir bağlayıcı yapı malzemesi üretilebileceğinin sonucuna varmıştır (Tuyan vd., 2020: 311).

4. MALZEME VE YÖNTEM

Bu bölümde kullanılan malzemeler ve deney yöntemleri hakkında bilgilere yer verilmiştir.

4.1. Malzeme

Betonu oluşturan ana bileşenlerden biri olan agreganın beton karışımında en uygun oranda kullanılması dayanımı olumlu şekilde etkilemektedir (Yu vd., 2005: 1). Agregalar kendi içinde çeşitli özelliklerine göre gruplandırılırlar bu gruplama agreganın kaynağına göre doğal veya yapay, birim ağırlığına göre hafif veya ağır, tane büyüklüğüne göre iri veya ince, tane şekline göre köşeli yassı uzun veya yuvarlak, kimyasal özelliklerine göre reaktif olmayan veya reaktif olarak yapılır (Köken ve Çimşir, 2021: 1040).

Agregaların geometrik şekilleri betonun ve harcın işlenebilirliğini karışım içerisindeki çimento miktarını belirlediğinden dolayı olarak etkilemektedir. Kübik veya yuvarlak tanecikler içeren agregalar yüzey alanı daha düşük ve yassı uzun agregalara göre daha az miktarda çimento hamuru gerektirmektedir (Akman, 2003: 32).

Deneyisel çalışmada Bilecik ili merkez ilçesi Gülümbe köyünde faaliyet gösteren Dağ İş Madencilik Agregası kum eleme ocağından üç farklı dane boyut aralığında (0-4 mm, 4-12 mm, 12-24 mm) kalker kökenli kırmataş agregası kullanılmıştır. Agregalar Yüzey kuru suya doygun halde sahadan temin edilmiş ve laboratuvara getirilmiştir. (Şekil 4.1.)



Şekil 4.1. Beton karışımında kullanılan agregası grubu

Deneyisel çalışmada kullanılan çimento Eskişehir Çimsa Çimento fabrikası üretimi olan CEM I 42,5 R tipi Portland çimentosudur. CEM I 42,5 R genellikle hazır beton santralleri ve prefabrik endüstrisinde yaygın kullanılan çimento tipidir (Çimsa, 2021). Kullandığımız çimentodaki CEM I ibaresi çimentonun Portland çimentosu olduğunu, 42,5 değeri 28 günlük basınç dayanımının en az 42,5 MPa olacağını yani dayanımı. R ibaresi ise erken yaşta yüksek basınç dayanımı verdiğini göstermektedir. Kullanılan çimentoya ait kimyasal analiz aşağıda verilmiştir. (Tablo 4.1)

Tablo 4.1. Çimsa CEM I 42,5 R Kimyasal Analiz Sonuçları

Özellik (%)	Klinker Numunesi	CEM I 42,5 R
SiO ₂	20,90	18,90
Al ₂ O ₃	5,53	5,15
Fe ₂ O ₃	3,70	3,36
CaO	65,51	63,59
MgO	1,76	1,57
SO ₃	0,72	2,65
Na ₂ O	0,41	0,40
K ₂ O	0,73	0,77
Cl	0,0027	0,0238
Çözünmeyen Kalıntı	-	0,91
Kızdırma Kaybı	0,19	3,59

Kaynak: (ÇİMSA, 2021: 104)

Tabloda kızdırma kaybı olarak gösterilen parametre çimentonun rutubete maruz kalma derecesini gösterir. TS 197-1'e göre bu değer CEM I, CEM II ve CEM III çimentoları için %5'i geçmemelidir.

Çözünmeyen kalıntı olarak gözükten değer çimentonun fırın içerisinde tamamen pişip pişmediğini gösterir. Bu değer CEM I, CEM II ve CEM III çimentoları için %5'i geçmemesi gerekir çözünmeyen kalıntıya bakılarak çimento üretilirken fırın içerisindeki reaksiyonların tamamen gerçekleşip gerçekleşmediği öğrenilir (Korkmaz, 2021: 34).

Deneyisel çalışmada beton ve harç numunelerinde çimento yerine ikame edilerek mineral katkı olarak kullanılacak volkanik oluşumlu kayalar temin alanlarından büyük parçalar halinde alınarak Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Yapı malzemeleri laboratuvarına getirilmiştir (Şekil4.2.).



Şekil 4.2. Volkanitlerin araştırma bölgesindeki temin alanları

DeneySEL çalışmada beton karışımında çimento yerine ikame edilerek mineral katkı olarak kullanılacak tuf Afyon-Gecek kaplıcaları bölgesinden büyük parçalar halinde alınmıştır. (Şekil 4.3.)



Şekil 4.3. Afyon-Gecek bölgesinden alınan tuf numunesi

Alınan tuf laboratuvar ortamında mekanik işlemlerden geçirilerek çimento inceliğinde öğütülmüştür. Bu öğütmenin başlıca amacı, bir puzolan olan tufün ancak ince öğütüldüğünde faydalı bir malzemeye dönüşmesidir. Kullanılan malzemelere ait fiziksel özellikler

Tablo 4.2. Volkanitler ve Terra rosaya ait fiziksel özellikler

Malzeme	Özgöl Ağırlık	İncelik cm ² /gr
Tuf	2,76	4854
Pomza	2,50	3891
Terra rosa	2,65	3354

Kaynak : (MTA, 2021)

Deneyisel çalışmada beton karışımında çimento yerine ikame edilerek kullanılan pomza Kütahya-Kumluyurt ve Göçeri köyleri arasındaki bölgeden alınmıştır. (Şekil 4.4.)



Şekil 4.4. Kütahya Kumluyurt-Göçeri bölgesinden alınan pomza numunesi

Ufak tanecikler halinde alınan numuneler laboratuvar ortamında çeneli kırıcı ve bilyalı değirmende çimento inceliğinin de öğütülmüştür.

Deneyisel çalışmada beton karışımında çimento yerine mineral katkı olarak kullanılan halk arasında kıvılcık toprak olarak bilinen terra rosa Kütahya-Çöğürler köyünden alınmıştır. (Şekil 4.5.)



Şekil 4.5. Kütahya-Çöğürler köyü bölgesinden alınan terra rosa numunesi

Beton karışımında karışım suyu olarak Bilecik şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Bilecik şehir şebeke suyuna ait klor miktarını belirlemek amacıyla kimyasal analizler Bilecik Halk Sağlığı Laboratuvarından temin edilmiştir.

Beton işlenebilirliğini ayarlamak için beton karışımında karışım suyu ile birlikte Polisan Kimya üretimi olan sülfonat esaslı Süperton 278 S tip kimyasal katkı kullanılmıştır. Bu katkı betondan yüksek oranda su azaltıcı ve priz hızlandırıcı akışkanlaştırıcı katkıları grubunda yer almaktadır.

Tablo 4.3. Süperton 278 S Özellikler

Analiz	Değer
Renk	Kahverengi
Bağıl Yoğunluk	1,590
pH	8,44
Katı Madde Miktarı (%)	32,66
Suda Çözünebilen Klor (%)	0,04

Kaynak : (Polisan Kimya: 31)

4.2. Yöntem

Türkiye'deki yapı üretiminin %90'nını betonarme taşıyıcı sistemlerin oluşturduğu bilinmektedir. Bu sebeple betonarmeyi oluşturan beton malzemelerine ilişkin bilgiler önemli hale gelmektedir (Ünal ve Yurtcu, 2016: 51).

Beton karışımında mineral katkı olarak kullanılan çeşitli volkanitlerin beton üzerindeki fiziksel ve kimyasal etkilerini incelemek amacıyla çeşitli deneyler yapılmıştır. Bu bölümde malzemelerin fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan deney yöntemleri ve kullanılan laboratuvar malzemeleri hakkında detaylı bilgi verilmektedir.

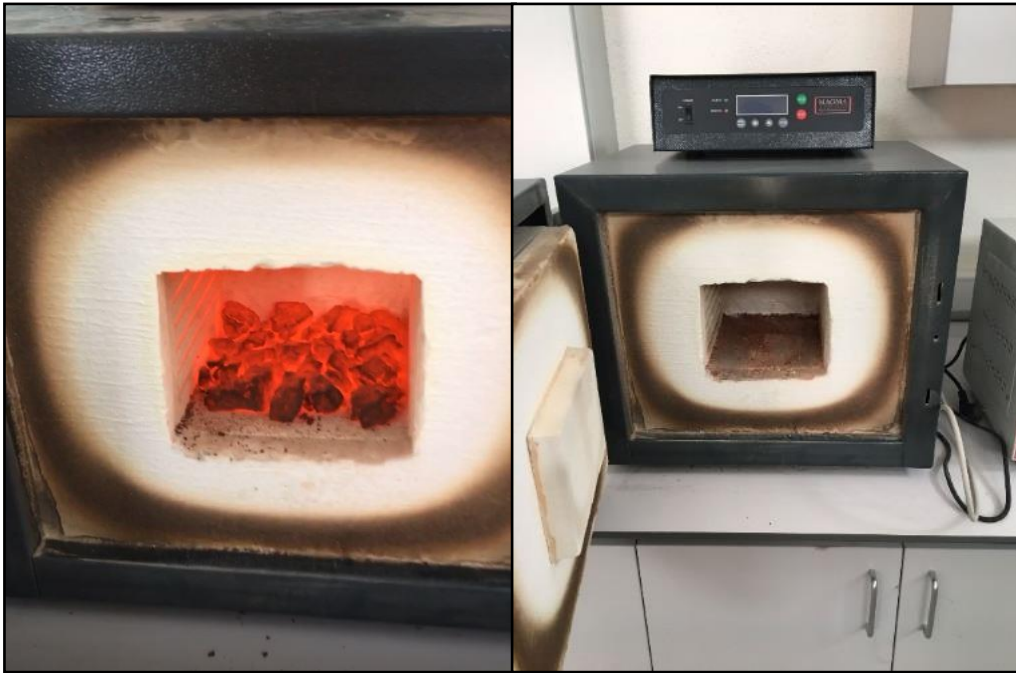
4.2.1. Malzemelerin Hazırlanması

Mineral katkıların temin sahalarından toplandıktan sonra ham olarak Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi yapı malzemeleri laboratuvarında bulunan çeneli kırıcı ve bilyalı değirmende çimento inceliğinde öğütülmüştür. (Şekil 4.6.)



Şekil 4.6. Malzeme öğütme işleminde kullanılan çeneli kırıcı ve bilyalı değirmen

Temin sahalarından iri parçalar halinde toplanan volkanitler ilk olarak çeneli kırıcıdan geçirilerek 4 mm tane çapına indirgenmiştir. Ardından bilyalı değirmende 30 dk süre ile çeşitli çaplarda bilyalar ile karıştırılarak 0.09 mm inceliğinde öğütülerek kullanıma hazır hale getirilmiştir.



Şekil 4.7. Terra rosa kalsinasyonunda kullanılan fırın

Terra rosa malzemesinin kalsine edilmesiyle amacıyla Yapı malzemeleri laboratuvarında bulunan Şekil 4.7’de gösterilen 1200°C kapasiteli Magma Therm marka yüksek sıcaklık fırını kullanılmıştır.

Kalsinasyon işlemi katı bir kimyasal bileşiğe yüksek sıcaklıklarda yapılan termal işlemdir. Yanma yoluyla sönmemiş kireç elde etmek için karbonu kireçtaşından ayırma mantığına dayanır. Endüstriyel kalsinasyonlar karbondioksit yaydığından iklim değişikliklerine sebep olurlar. Kalsinasyon işlemi genellikle 900 ile 1050°C arasında meydana gelir (Kılıç ve Anıl, 2005: 19).

Beton karışımında kullanılan terra rosa doğrudan öğütülmemiş öğütme öncesi kalsine olması amacıyla yüksek sıcaklık fırınında 950°C sıcaklıkta 40 dk süre bekletildikten sonra hızla hava ile soğutulup bilyalı değirmen ile çimento inceliğinde öğütülmüştür (Şekil 4.8.).



Şekil 4.8. Terra rosa malzemesinin kalsinasyon ve öğütme süreçleri

Bilecik ili Gülümbe köyünde faaliyet gösteren Dağ-İş Madencilik tesisinden alınan 3 farklı tane boyutuna sahip agrega numunesine beton tasarımı için granülometri dağılımını öğrenmek amacıyla ilk olarak elek analizi deneyi yapılmıştır. Taş ocağından alınan agregalar konkasörlerde 0-4 mm, 4-12 mm ve 12-24 mm olmak üzere 3 farklı tane boyutu aralıklarında üretilmektedir.

Bu agrega gruplarının her birine ayrı ayrı ve standartta belirlenen sayıda elek analizi yapıp belirli oranda karıştırılarak nihai gradasyon elde edilmiştir. Deney, malzeme grubunun seri bir eleme işleminden azalan büyüklüğe göre farklı tane boyutlarına bölünerek ayrılmasıyla yapılır (TS 3550 EN 933-1). İlk olarak deney yapılacak agrega numunesi yıkanarak etüvde $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta sabit kütleye kadar kurutulmuştur. Akabinde numune soğutulularak tartılmış değerler kayıt altına alınmıştır. Bu deneyde 32 mm, 16 mm, 8 mm, 4mm, 2 mm, 1 mm 0,50 mm ve 0,25 mm göz açıklığına sahip elek serisi kullanılmıştır (Şekil 4.9.).



Şekil 4.9. Elek analizi deneyi yapılışı ve kullanılan elek serileri

Eleme işlemi elek üstünde bulunan malzemeye sürekli düşey ve yatay doğrultuda titreşim hareketi uygulanarak yapılmıştır. Eleme işlemi tamamlandıktan sonra her bir elek tel fırça ile fırçalanarak her eleğin üstünde kalan miktarlar tartılır. (Denklem 4.1) nolu formülden faydalanılarak hesaplanır.

$$\% \text{ Kalan} = \frac{\text{Elekte Kalan}}{\text{Toplam Numune Ağırlığı}} \times 100 \quad (4.1)$$

4.2.2. Karışım Hesabı

Fiziksel ve kimyasal süreçleri tamamlanan malzemeler hazırlandıktan sonra Hesaplanan beton karışım oranlarına göre malzemeler beton ve harç karışımlarında çimento yerine ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında ikame edilerek kullanılmıştır.

Agrega yığınının tane dağılımı belirlendikten sonra ideal agreganın granülometrisinde TS 802 standardına uygun olarak beton karışım hesabı yapılmış olup 1m³ beton için karışım oranları Tablo 4.4’de sunulmuştur.

Tablo 4.4. Beton karışım oranları (1 m³)

Karışım	Çimento kg	Su kg	0-4 mm kg	4-12 mm kg	12-22 mm kg	K. katkı kg	Tüf kg	Pomza kg	T. rosa kg
Referans	330	170	1000	250	560	4.5	-	-	-
TÜF10	297	170	1000	250	560	4.5	33	-	-
TÜF 20	264	170	1000	250	560	4.5	66	-	-
TÜF 30	231	170	1000	250	560	4.5	99	-	-
PMZ 10	297	170	1000	250	560	4.5	-	33	-
PMZ 20	264	170	1000	250	560	4.5	-	66	-
PMZ 30	231	170	1000	250	560	4.5	-	99	-
TRS 10	297	170	1000	250	560	4.5	-	-	33
TRS 20	264	170	1000	250	560	4.5	-	-	66
TRS 30	231	170	1000	250	560	4.5	-	-	99

Beton karışımında kullanılacak agregaların granülometrisi belirlendikten sonra C30/37 Standartında beton tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan beton reçetesine göre gerekli malzemeler gerekli miktarlarda tartılarak Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Yapı malzemesi laboratuvarında bulunan 120 dm³ kapasiteli düşey eksenli dönel tip beton karıştırıcısında ilk olarak agrega çimento ve mineral katkı homojen kuru karışım yapılmıştır. Ardından gerekli karışım suyuna kimyasal katkı katılarak su ile 2 dk süre karıştırma yapılmıştır, bu karıştırma sonunda taze beton elde edilmiştir. Taze beton üretme süreçleri ve kullanılan düşey eksenli laboratuvar tipi beton karıştırıcısı Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

TS EN 196-1'e göre hazırlanan harca sertleşmiş harç çubuğu deneyleri yapılması için 40x40x160 mm kesitli prizmatik kalıplarda numuneler üretilmiştir. Bu numunelerin harcı Ankatest marka maksimum 285 devir/dk kapasiteli otomatik karıştırıcı mikser yardımıyla ile karıştırılarak üretilmiştir. Karıştırma işlemi 75 saniye sürmüştür, 75 saniye sonunda taze harç 60 sn dinlendirilmiş ardından ikinci karıştırma yapılarak homojen karışma sağlanmıştır. Homojen şekilde üretilen taze harç kalıplara yerleştirilmiştir. Sıkıştırma işlemi Utest marka otomatik serbest düşüm yapan sıkıştırma cihazı ile 2 kademede yapılmıştır.

ASTM C1260 ASR deneyi standartına göre 25x25x285 mm kesit çölü prizmatik numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler 80 °C sabit sıcaklıkta etüvde 24 saat bekletildikten sonra ilk boy ölçümleri yapılır. Daha sonra 900 ml saf su ve 40 gr NaOH ile hazırlanan çözeltilde 80 °C sıcaklıkta kür edildikten sonra 14 ve 28 gün süreleri sonunda boy ölçümleri yapılmıştır.

Harç ve betonların mukavemetini etkileyen en önemli parametre numune içeriğinin doluluk oranıdır. Sıkıştırma ve yerleştirme işlemi bu doluluk oranını arttırmak için içeride bulunan fazla havanın dışarı atılmasını sağlar bu şekilde malzeme içerisindeki katı madde oranı artar bu da malzemenin yoğunluğunu artırır artan yoğunluk sebebiyle geçirimsizlik azalır basınç dayanımı artar.

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı malzemeleri laboratuvarında bulunan harç karıştırma ve sıkıştırma cihazlarına ve işlemlerine ait görsel Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Çimento harç karışım ve sıkıştırma cihazları

Numuneler kalıplara yerleştirilmeden önce kolay kalıptan alınması amacıyla kalıpların harç ile temas eden yüzeyleri ayırıcı kalıp yağı ile yağlanmıştır. Sıkıştırma işleminde her kademede 1 dk süre ve 30 adet serbest düşüm şeklinde yapılmıştır. Sıkıştırma işlemi tamamlanan harç çubuğu numuneleri 16 saat kalıplarda bekletildikten sonra kalıplardan çıkarılmış ve kürlenme için kür havuzuna yerleştirilmiştir.



Şekil 4.11. Düşey eksenli laboratuvar tipi beton karıştırıcısı

Düşey karıştırıcıda homojen bir şekilde hazırlanan taze beton Şekil 4.11’de gösterilen Basınç dayanımı deneyi için 150x150x150 mm kalıplara, donma ve çözülme deneyi için 100x100x100 mm kalıplara, aşınma deneyi için 70x70x70 mm kesitli kalıplara gerekli hacimsel ve kütleli şekli alması amacıyla yerleştirilmiştir. Yerleştirme öncesi kalıplara priz alan betonun yapışmaması ve kolayca kalıptan alınabilmesi amacıyla kalıp yağı ile kalıpların beton ile temas eden yüzeyleri yağlanmıştır. Yağlandıktan sonra betonlar TS EN 12350-1 standartına göre sıkıştırma yapılarak kalıplara yerleştirilmiştir.

Taze betonun kalıba yerleştirilmesinde 16 mm çaplı standart şişleme çubuğu kullanılmıştır. Yerleştirme işlemi toplam iki kademede her kademe sonrası standart çubuk ile 25 adet şişleme yapılarak gerçekleştirilmiştir. Kalıplar doldurulduktan sonra dış yüzeyinden plastik tokmak yardımıyla ikinci bir sıkıştırma işlemi yapılmıştır, en son mala yardımıyla beton yüzeyi düzlenmiştir. 24 saat kalıpta bekletilen numuneler priz süreleri tamamlandıktan sonra kalıplarından çıkartılarak gerekli kür yaşlarına ulaşmaları için Şekil 4.12’de gösterilen $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta kirece doymun kür havuzuna konmuştur.



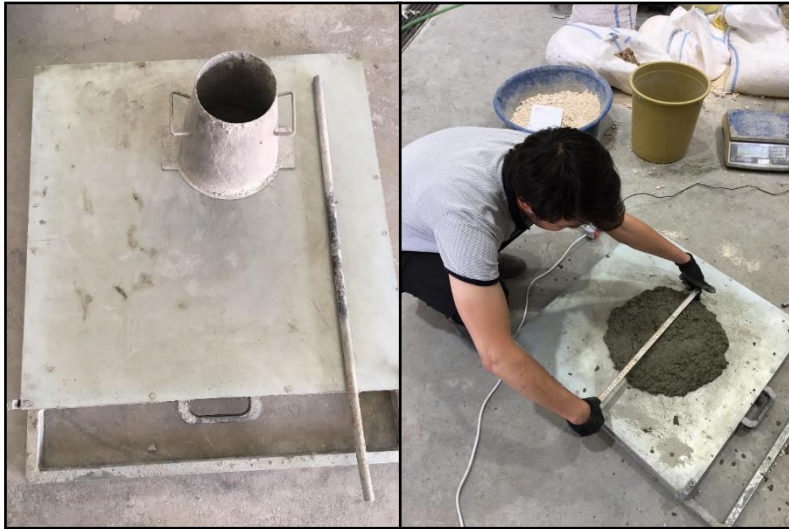
Şekil 4.12. Numune kalıpları ve kür havuzu

4.2.3. Taze Beton DeneYleri

Üretilen taze betona işlenebilirlik parametrelerini belirlemek amacıyla taze beton deneylerinden yayılma tablası deneyi ve çökme deneyi yapılmıştır.

4.2.3.1. Yayılma Tablası Deneyi

Yayılma tablası deneyi taze betonun yayılmasını belirlemek için yapılır. Bu deney agrega tane boyutu 63 mm ve üzeri olan betonlarda yapılmaz. Yayılma değeri 340 mm – 600 mm arasında olan taze betonlarda kıvamın belirlenebilmesi için uygundur. Bu değerler dışında yayılma değeri veren betonlarda kullanımı uygun değildir (TS EN 12350-5). Yayılma deneyine başlanmadan önce üretilen taze beton gözle kontrol edilmiş herhangi bir ayrışma olup olmamasına özen gösterilmiştir (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. Yayılma tablası deneyi yapılışı

Yayılma tablası deneyi düzgün hareketsiz bir yüzeyde yapılmıştır. Taze beton yarım koni kalıba 2 kademede yerleştirilmiştir. Her kademede 16 mm çaplı standart şişleme çubuğu ile 25 adet şişleme yapılmıştır. Koni yüzeyinde kalan beton mala yardımıyla masterlanmıştır ardından yarım konik kalıp çekilmiştir. Kalıp çekme işlemi 3-6 sn aralığında yapılmış ve deney standartı sağlanmıştır.

Kalıp çekildikten sonra serbest kalan beton numunesi menteşeli plaka üzerinde 2-5 sn aralıklarında 15 adet serbest düşürme yaptırılarak oluşan yayılmada en uzun dikey uzunluklar ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Ayrıca tabla üzerindeki taze betonda ayrışma gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilmiştir. Ayrışma gerçekleşmesi durumunda deney geçersiz olacaktır. Ölçülen yayılma değerleri d1 ve d2 olarak kayıt altına alınmıştır.

Yayılma tablası deney sonucu (Denklem 4.2) eşitliğinden faydalanılarak hesaplanmıştır.

$$y = (d1 + d2)/2 \quad (4.2)$$

y: Yayılma çapı

Yayılma tablası deneyi sonucunda üretilen taze betonun işlenebilirliği ile ilgili yorum yapılabilir. Yayılma değerine göre beton; katı, plastik, akıcı veya çok akıcı şeklinde yorumlanır. Yayılma tablasına ait deney sınıfları tablo 4.5'te gösterilmiştir.

Tablo 4.5. Yayılma tablası deneyi sınıfları

Sınıf	Yayılma Çapı (mm)	Kıvam
F1	≤ 340	Katı
F2	350-410	Plastik
F3	420-480	Yumuşak
F4	490-550	Çok Yumuşak
F5	560-620	Akıcı
F6	≥ 620	Çok Akıcı

Kaynak (TS EN 12350-5)

4.2.3.2. Çökme Deneyi

Çökme deneyi taze beton kıvamını belirlemek amacıyla yapılan deneylerden biridir. Bu deney 10 mm - 200 mm aralığında çökme değeri veren betonlar için uygundur. Bu sınır değerler dışındaki betonlarda kıvam tayini için uygun değildir. Agregata tane boyutunun 40 mm ve üzeri olması durumunda bu yöntem uygun değildir (TS EN 12350-2)

Kalıbın iç kısmı ve alt taban plakası betonun su oranını etkilemeyecek şekilde nemlendirilmiştir. Hazırlanan beton numunesi kalıba üç kademede sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. Bu sıkıştırma işleminde 16 mm çaplı standart şişleme çubuğu kullanılmıştır. Taze betonun

sıkıştırma işlemi her kademede 25 şişleme yapılarak tamamlanmıştır. Sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra kalıbın üst yüzeyi mala yardımıyla mastarlanmıştır. Beton numunelerinde olduğu gibi burada plastik tokmak kullanılmamıştır. Yerleştirme işlemi sadece şişleme çubuğu ile yapılmıştır. Ardından kalıp çekilmiştir, kalıp 5-10 sn süre aralığında çekilmiştir. Çökmenin düzgün olup olmaması görsel olarak kontrol edilmiştir. Kalıbın alınmasının ardından çöken beton en üst noktasından ölçüm yapılarak betondaki çökme değeri belirlenmiştir. Çökme deneyinin yapılışı ve kullanılan malzemeler Şekil 4.14’de gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Çökme deneyi yapılışı

Taze betonun işlenebilirliği en önemli parametrelerin başında gelir, santrallerde üretilip transmikserler ile taşınan betonların döküm esnasında pompalanabilir ve kolay yerleştirilebilir olması istenilen bir özelliktir. İşlenebilirliği düşük beton yerleştirme sırasında yüksek enerji ve işgücü gerektirdiğinden ekonomik olarak dezavantajlıdır. İşlenebilirlik betonun kullanılacağı sahaya uygun olup olmamasını belirlenmesine yardımcı olur (Yıldırım ve Kiraz, 2016: 9). Taze betonda işlenebilirliği belirlemek amacıyla yapılan çökme deneyine ait çökme sınıfları Tablo 4.6’da gösterilmiştir.

Tablo 4.6. Çökme deneyi sınıfları

Sınıf	Çökme (mm)
S1	10-40
S2	50-90
S3	100-150
S4	160-210
S5	≥ 220

Kaynak (TS EN 12350-2)

Yukarıdaki tablodan yola çıkarak çökme sınıfı S1 olan betonlar çok katı kıvamlı betonlardır çökmenin hiç istenmediği taze betonun herhangi bir kalıp olmadan kendini tutacak kıvamda olacağı ürünlerde istenir. Genellikle beton yollar ve prefabrik öngermeli boşluklu döşeme betonları bu şekilde üretilirler. S5 sınıfı betonlar ise çok akıcı olan herhangi bir titreşim olmaksızın kendini yayan betonlardır. Bu tip akışkanlık vibratör imkanının olmadığı dar alanlarda veya kendinden yerleşen beton olarak bilinen betonlarda tercih edilir.

S2, S3 ve S4 sınıfı çökme değerlerine sahip betonlar genel kullanım betonlarıdır. Bu tip betonlar konut otel hastane hayvan çiftliği köprü istinat perdesi gibi sıkça üretilen betonarme yapılarda tercih edilen beton kıvam sınıflarıdır. Şantiyelerin uygulama durumları göz önünde bulundurularak kıvam akışkan veya akışkan olmayan şekliyle santrallerde ayarlanarak gönderilir (Uyan vd., 1996: 3). Günümüzde beton kıvamını ayarlayabilmek ve aynı zamanda basınç dayanımında koruyabilmemizi sağlayan hiper akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları bulunmaktadır.

4.2.3. Sertleşmiş Harç ve Beton Deneyleri

Üretilen beton ve harç çubuğu numunelerine sertleşmiş beton ve harç deneylerinden basınç dayanımı, birim hacim ağırlık tayini deneyleri yapılmıştır. Basınç dayanımı yapılacak numuneler 2, 7, 28 ve 90 gün kür edildikten sonra yapı malzemesi laboratuvarında bulunan Şekil 4.15’de gösterilen beton ve harç çubuğu basınç presinde kırılarak dayanımlar kayıt altına alınmıştır.



Şekil 4.15. Beton basınç eğilme test cihazları

Beton karışım oranlarına göre ilk olarak her bir seri betondan 2 şer adet beton üretilmiştir. Her üretilen betonun 4 farklı kür süresinden kırılması için bu betonlar 8 er adete çıkarılmıştır. Toplamda 8 adet tuf içeren beton 8 adet pomza içeren beton 8 adet terra rosa içeren beton ve bunların kıyaslanması amacıyla 8 adet referans betonu üretilmiştir. Genel toplamda 32 adet 150x150x150 mm kesitli küp kalıplara yerleştirilmiş beton üretilmiştir. Üretilen betonlar priz sürelerini tamamladıktan sonra kür havuzunda 2, 7, 28 ve 90 gün yaşlarına ulaşmaya kadar bekletilmiş. Her kür süresi sonunda kırılan betonların ortalaması alınarak veriler kayıt altına alınmıştır.

Beton kırımalarında presin yükleme hızı 12 kN/sn olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu yükleme hızı tüm numunelerde standart uygulanmıştır. Kür havuzundan çıkarılan betonlar kırılmadan önce yüzey kuru suya doymuş şekilde ağırlıkları tartılmış ve kayıt altına alınmıştır.

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Yapı malzemeleri laboratuvarında bulunan Çevik makine üretimi olan 200 ton kapasiteli düşey eksenli basınç presinde kırılan betonların kırım sırasında görseli Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16. Beton basınç deneyi yapılışı

Basınç dayanımlarına bakılacak olan harç çubuğu numuneleri 2, 7, 28 ve 90 gün kirece doymuş kür havuzunda beton numuneleri ile aynı şekilde şartlandırılmıştır. Deney öncesi numuneler 1 gr hassasiyetli terazide tartılarak ağırlıklar kaydedilmiştir. Daha sonra kırılmaları

yapılarak veriler kayıt altına alınmıştır. Harç çubuğu numunelerinin kalıplanması ve deney esnasında çekilen görsel Şekil 4.17’de verilmiştir.



Şekil 4.17. Harç çubukları basınç deneyi

4.2.4. Kalıcılık Deneyleri

Üretilen harç ve beton numunelerine durabilite özelliklerini belirlemek amacıyla harç çubuklarına; alkali silika reaksiyonu ve beton numunelerine ise donma çözülme direnci ve aşınma direnci deneyleri yapılmıştır.

4.2.4.1. Alkali Silika Reaksiyonu Deneyi

Üretilen harç çubukları alkali silika reaksiyonunu belirlemek amacıyla 25x25x285 mm boyutlarında kalıplarda, üretilen harç çubukları kullanılmıştır.

Deneyel çalışma kapsamında agrega olarak ASTM C1260 standartına uygun gradasyona sahip kum kullanılmıştır. Hazırlanan harç çubukları 0.45 s/ç oranında ve standartında granülometride üretilmiştir. Harç çubukları ilk olarak neme doygun ortamda 24 saat süre ile kür edilmiş, ardından kalıplarından çıkartılarak 80 ± 2 °C sıcaklıkta hazırlanan su banyosuna yerleştirilerek 24 saat süre ikinci küre maruz bırakılmıştır.

Sıcak su banyosundan çıkarılan harç çubuklarının boyları 0.001 mm hassasiyetli komparatörde ilk okumaları yapılarak referans boyları belirlenmiştir. Sıfır okumaları yapılan harç çubukları daha sonra ağırlıkça %4 NaOH içeren 80 ± 2 °C sıcaklıktaki çözelti banyosu içerisine konularak 14 gün süreyle saklanmıştır. NaOH çözeltisi içerisinde kür edilen harç çubukları üzerinde sırasıyla 4, 8 ve 14. günde komparatör okumaları yapılarak toplam 16 günlük de-

ney periyodu tamamlanmıştır. Harç çubuklarının ortalama boy uzamaları yüzde cinsinden aşağıdaki ifadeyle hesaplanmıştır (Denklem 4.3).

$$\Delta l = \frac{L_x - L_i}{L_g} \times 100 \quad (4.3)$$

Burada; Δl = x yaşındaki % boy değişimi, L_x = x yaşındaki harç çubuğunun komparator okuması, L_i = harç çubuğunun sıfır okuması L_g = nominal ölçü boyu (285 mm) olarak tanımlanmıştır. Deney süreci sonundaki değerlendirmede %0.10 veya daha az genişleme zararsız davranış, %0.10-0.20 arası potansiyel hasara yol açabilecek genişleme ve % 0.20'nin üzerinde ASR açısından zararlı genişleme söz konusudur. Alkali silika reaksiyonu deney süreçleri Şekil 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.18. ASR numunelerindeki deney süreçleri

4.2.4.2. Beton Donma-Çözülme Deneyi

Donma çözülme etkisini incelemek için TS 3449'dan (1980) yararlanılmıştır. Laboratuvarında üretilen katkıli çimentoların donma-çözülme etkisinin belirlenmesi için 100x100x100 mm boyutlarında harç numuneleri üzerinde donma-çözülme deneyi yapılmıştır. Deney öncesi numuneler 28 ve 90 gün süreyle kirece doymun 20 °C sıcaklıktaki kür havuzunda saklanmıştır. Daha sonra suya doymun hale getirilen beton numuneleri -20° ile 20°C sıcaklıklar arasında donma çözülme deneylerine tabi tutulmuştur. Bir donma-çözülme çevrimini oluşturan bu süreç 100 defa tekrarlanarak farklı katkıli betonların donma-çözülme direnci üzerindeki etkiler belirlenmiştir. Donma-çözülme deneyi sonunda hacim ve ağırlıkta oluşan değişimler belirlenmiştir. Numunelerin deney öncesi ve sonrası kesit ve ağırlıkları ölçülmüştür. Donma ve çözülme deneyi aşamaları ve cihazı şekil 4.19'da gösterilmiştir. Donma çözülme deneyinde 100 çevrim tamamlandıktan sonra numuneler basınç presinde kırılarak donma çözülme sonrası basınç dayanımları incelenmiştir.



Şekil 4.19. Donma ve çözülme deneyi yapılışı

4.2.4.3. Beton Aşınma Deneyi

Bir yüzeyden parça kopması ya da ayrılması sonucunda toplam hacimden malzeme kaybının oluşmasına aşınma denir. Aşınma miktarı malzeme türüne, sürtünmeye maruz kalan yüzeylerin şekline, sürtünme koşullarına ve çevresel kimyasal etkilere bağlıdır. Yapı mühendisliğinde özellikle taş, kaya gibi içeriklere sahip elemanlar aşınmanın etkisinde kalırlar, bu sebeple hava meydanları taban plakaları, merdiven basamakları, döşemeler ve beton yol gibi üzerinde hareketli yükün fazla olduğu yüzey elemanlarının aşınmaya karşı dayanıklı olması gerekir. Yapı malzemesi olarak kullanılacak materyallerin aşınmaya karşı dirençlerini belirlemek için Aşınma deneyi yapılır.

Karışım oranlarına göre üretilen taze beton 70x70x70 mm kesitli küp kalıplara yerleştirilmiştir. Priz süresini tamamlayan numuneler kalıptan çıkarılmış kür havuzunda 28 ve 90 gün yaşlarına ulaşıncaya kadar bekletilmiştir. Gerekli kür yaşına ulaşan numunelere aşınma deneyi yapılmıştır (Şekil 4.20.).



Şekil 4.20. Aşınma deneyi yapılışı

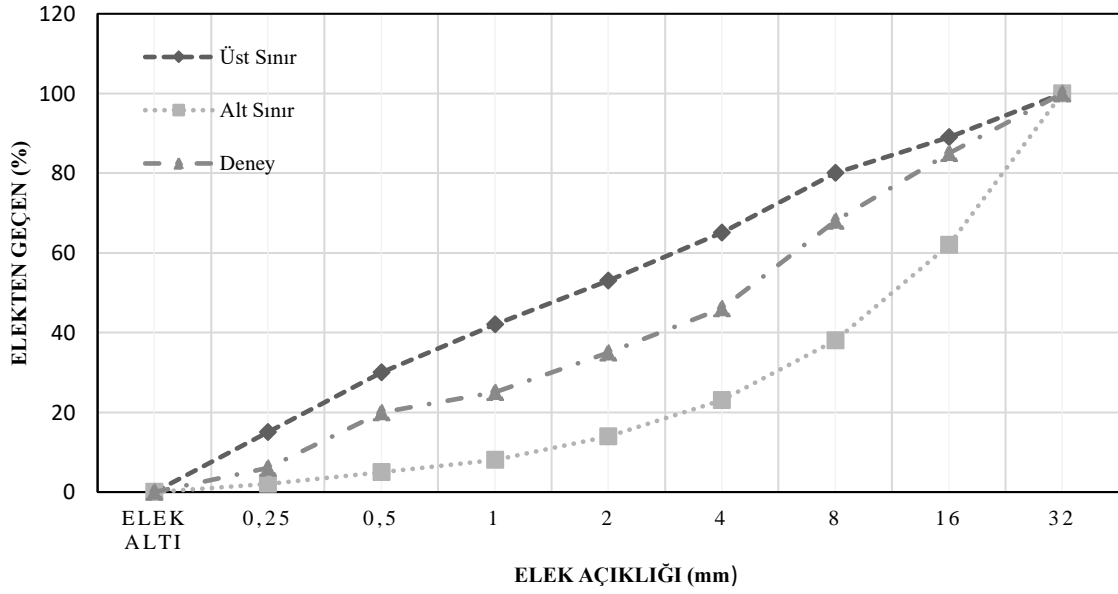
Bu deneyde Böhme aşınma cihazı kullanılmıştır. Böhme aşınma cihazı dakikada 30 devir dönen 750 mm çapında çelik diske sahip olan bir cihazdır. Disk üzerine yerleştirilen beton numuneye 294 ± 3 N kuvvet uygulanmıştır. Deney yapılacak numunelere 22 devirden oluşan 16 çevrim yapılmıştır. Her çevrim öncesi 20 ± 2 gr aşındırıcı toz cihazın çelik diskine dökülmüştür. Her çevrim sonrası beton numune düşey doğrultuda saat yönünde 90 derece çevrilerek her yüzeyin eşit şekilde aşındığından emin olunmuştur. Aşınma deneyi öncesinde ve sonrasında numunelerin kesit ölçüleri kumpas ile ölçülmüştür. Aradaki farklar kayıt altına alınmıştır. Numune ağırlıkları deney öncesi ve sonrası kayıt altına alınarak kütlece kayıplar hesaplanmıştır.

5. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

Üretilen harç ve beton numunelerinde elde edilen numuneler üzerinde yapılan deney sonuçları bu başlık altında sunulmuştur. Elde edilen veriler grafikler ile yorumlanmıştır.

5.1. Elek Analizi Deneyi Sonuçları

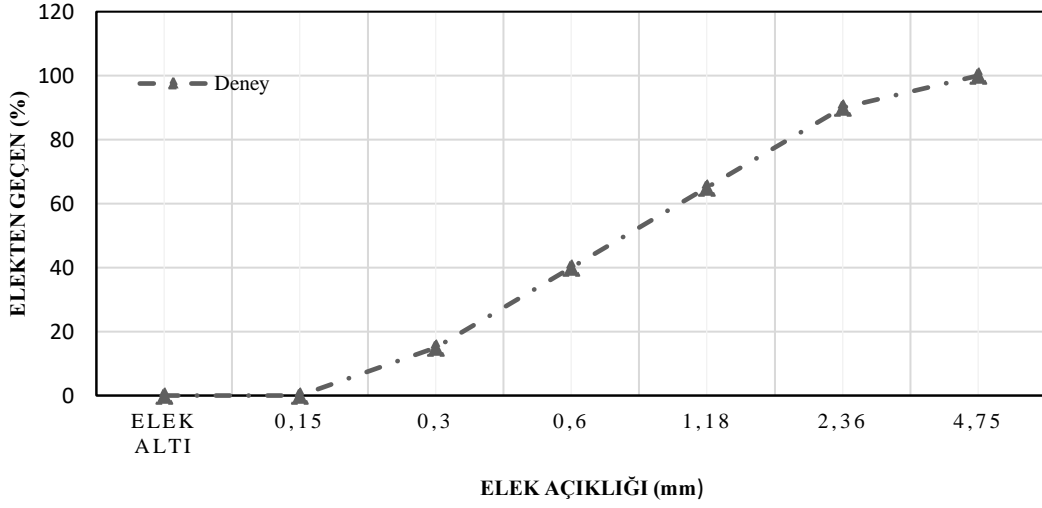
Beton karışımında kullanılacak agregaların elek analizleri yapılarak karışım agrega granülometrisi belirlenmiştir. Karışım oranlarına göre granülometri eğrisi Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Kullanılan agregaya ait granülometri eğrisi

Elek analizi farklı tane çaplarına sahip agregaların yığılım içindeki dağılımlarının saptanması amacıyla yapılır. Granülometri eğrisi artan bir eğridir, yatay çizgi var ise o bölgeye denk gelen elekler arasında tane yok anlamına gelir. Oluşan eğrinin %100 çizgisine yakınlığı malzemenin inceliğini, %0 çizgisine yakınlığı ise kalın bir malzeme olduğunu gösterir. İki elek arasındaki verilerin ordinat farkı bu iki elek arasında kalan malzemenin toplam malzemeye oranını verir. Minimum boşluklu ve toplam agrega yüzeyi minimum olan bir agrega karışımı elde etmek için granülometrinin mevcut malzeme ile optimum yapılması gerekir.

ASTM C1260 deney standartına göre yapılan harç numunelerinde kullanılan kumun granülometrisi Şekil 5.2’de verilmiştir.



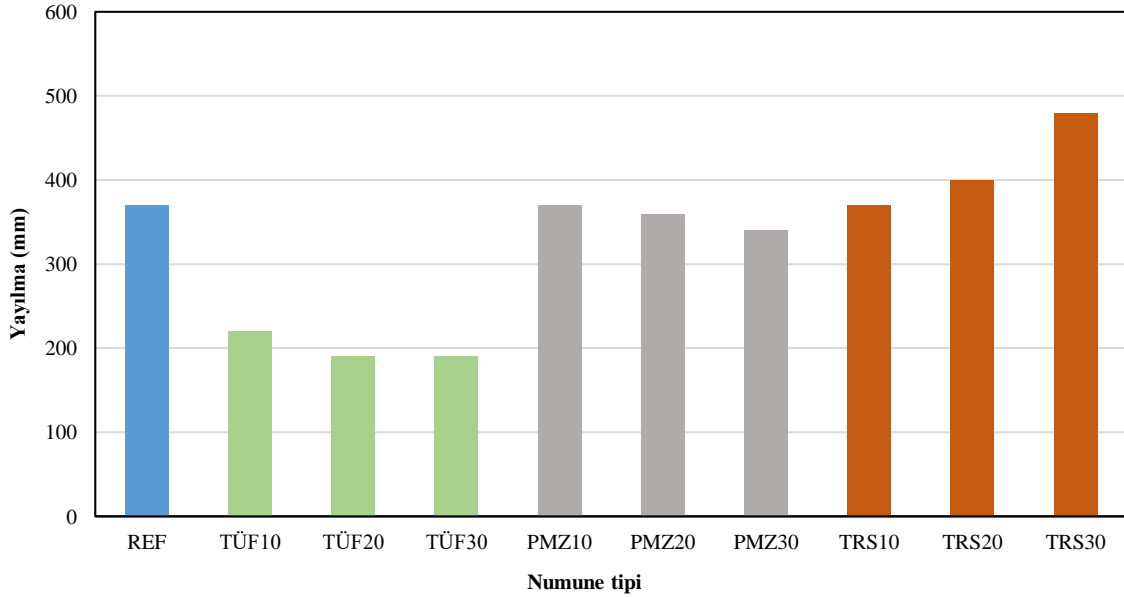
Şekil 5.2. ASTM C 1260 granülometri eğrisi

5.2. Taze Beton Deney Sonuçları

Bu bölümde taze beton üzerinde kıvam belirlemek amacıyla yapılan deneylere ait sonuçlara yer verilmiştir.

5.2.1. Yayılma Tablası Deney Sonuçları

Taze betonun işlenebilirliğini öğrenmek amacıyla yapılan yayılma tablası deneyine ait sonuçlar Şekil 5.3. de verilmiştir.



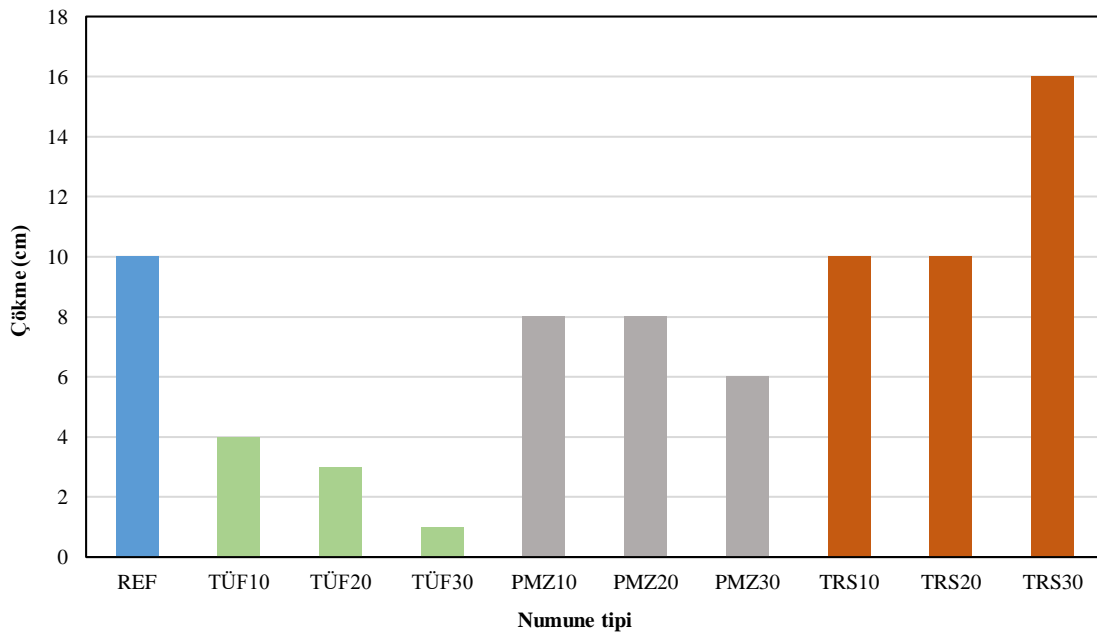
Şekil 5.3. Yayılma tablası deneyi sonuçları

Volkanitlerin mineral katkı olarak beton karışımında çimento yerine kullanıldığı taze beton deneylerine bakıldığında referans numuneye kıyasla olumlu karakteristik özellikler ol-

duğu gözlemlenmiştir. Yayılma sonuçlarına bakıldığında tuf malzemesi yüksek oranda su emdiğinden karışım suyunun büyük kısmını bünyesinde tutmuştur, bu sebeple beton işlenebilirliği olumsuz etkilenmiştir. Tuf kullanılan betonlarda akıcılık ve işlenebilirliğin düştüğü kıvamın azaldığı gözlemlenmiştir. Tuf kullanımının %10'dan %30'a çıkması beton işlenebilirliğini %14 oranında azaltmıştır. Pomza kullanımının %10 ve %20 oranda olduğunda işlenebilirlik referans numune değerlerini yakalamıştır ancak pomza kullanımı %30 olduğunda işlenebilirlik referans numuneye göre %8 azalmıştır. Terra rosa kullanımının artmasıyla betonda akıcılık artmıştır. Terra rosa kullanımı %10 iken referans numune ile aynı kıvam yakalanmıştır. Terra rosa kullanımı %20 olduğunda referans numuneye göre akıcılık %8 artmıştır. Terra rosa kullanımının %30 oranında olması referans numuneye göre kıvamı %23 arttırmıştır. Tuf kullanılan betonlarda işlenebilirlik olumsuz etkilendiğinden betonun sıkıştırılması ve yerleştirilmesi zor yapılacaktır. Pomza ve terra rosa kullanılan betonlarda daha az miktarda su kullanılarak aynı işlenebilirliğin elde edilebileceği ve bu durumun beton dayanımını olumlu etkileyeceği düşünülmektedir.

5.2.2. Çökme Deney Sonuçları

Taze betonda işlenebilirlik parametrelerini belirlemek amacıyla yapılan çökme deneyine ait elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir (Şekil 5.4.)



Şekil 5.4. Çökme deneyi sonuçları.

Çökme deneyi sonuçları incelendiğinde tuf malzemesinin inceliği nedeniyle su emme oranının oldukça yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Yüksek miktarda tuf kullanımının çökme

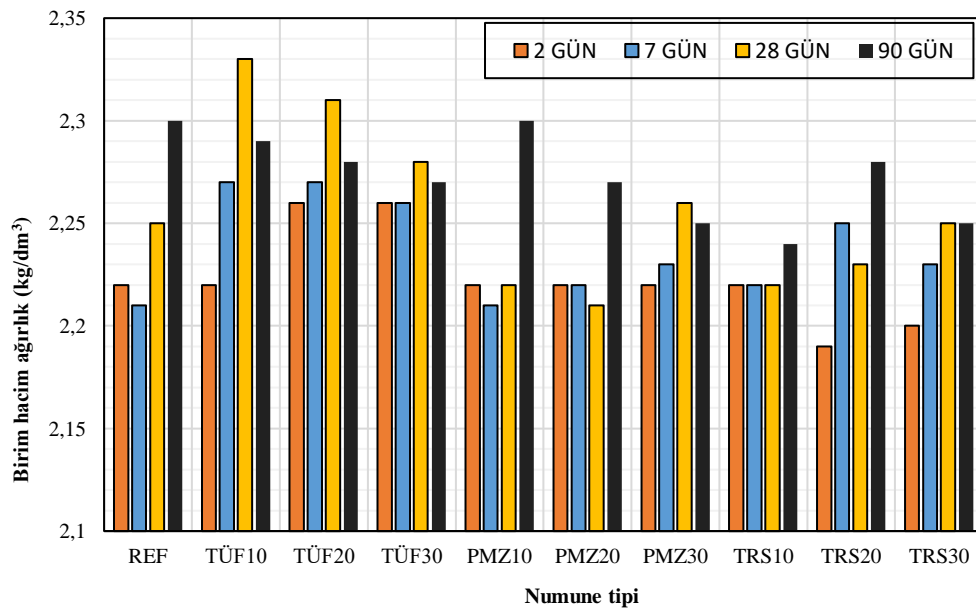
değerleri neredeyse sıfırı yakalamıştır. Tüf kullanımının beton işlenebilirliğini olumsuz etkilemesi tüflü betonların sıkıştırılması ve yerleştirilmesini zorlaştırmıştır. Tüf kullanımı %10 iken beton işlenebilirliği referans numuneye oranla %60 azalmıştır. Tüf kullanımının %30 olduğu taze betonlarda işlenebilirlik referans numuneye oranla %90 azalmıştır. Tüflü betonların düşük çökme değeri isteyen yüksek vibrasyon ile uygulama yapılan betonlarda kullanılması uygundur. Pomza malzemesinin beton içeriğinde %10 ve %20 oranlarında kullanılması kıvamı olumlu etkilemiştir. Pomza kullanımı %30 olduğunda beton işlenebilirliği referans numuneye oranla %40 azalmıştır. Terra rosa kullanımının %10 ve %20 oranlarında olması referans numuneye oranla işlenebilirliğe pek katkı yapmamıştır ancak %30 terra rosa kullanımında Referans numuneye oranla beton akıcılığında %60 artış olmuştur. Terra rosa kullanılan betonlarda karışım suyu miktarı kısılarak S/Ç oranı yukarı çekilebilir buda düşük geçirimsizlik ve yüksek mukavemet olarak betona katkı sağlar. Yayılma tablası deney sonuçları ile ilişkilendirildiğinden aynı davranışların sergilendiği görülmektedir.

5.3. Sertleşmiş Harç ve Beton Deney Sonuçları

Bu bölümde sertleşmiş harç ve beton numuneleri üzerinde yapılan deney sonuçlarına yer verilmiştir.

5.3.1. Harç Karışımları Birim Ağırlık Deneyi Sonuçları

Harç karışım deneyleri için 40x40x160 mm boyutlarında üretilen çimento harç çubuklarına ait sertleşmiş birim ağırlıklar aşağıda verilmiştir (Şekil 5.5.).



Şekil 5.5. Harç karışımları birim ağırlık deneyi sonuçları

Harç çubuklarına ait yoğunluklar incelendiğinde tuf kullanılan numunelerde ileri yaş yoğunluklarında artış olduğu, kendi içerisinde değerlendirildiğinde ise %10 tuf kullanımının 28 gün sonundaki yoğunluğunun en iyi sonucu verdiği gözlemlenmiştir. Pomza kullanılan numunelerde %10 ile %20 oranlarda ileri yaş yoğunluklarında artış olmuştur. Pomza kullanımının %30 oranına çıkmasıyla en yüksek yoğunluk 28 gün sonunda ölçülmüştür. Terra rosa kullanılan numunelere bakıldığında, %10 terra rosa kullanımında ileri yaş yoğunluğunda artış olduğu en iyi sonuçların %20 oranında 90 gün sonunda ölçüldüğü gözlemlenmiştir. Terra rosa kullanımını %30 olduğunda 28 gün sonunda en yüksek yoğunluğa ulaşılmış 90 gün yoğunluğunda fazla bir değişim olmamıştır. Çimento hidrasyonunun devam etmesi ve puzolonik aktivite sonucu yoğunluk ile yaş arasında doğru orantı olduğunu söyleyebiliriz. Numune yaşı arttıkça numune yoğunluğunun da arttığı gözlemlenmiştir.

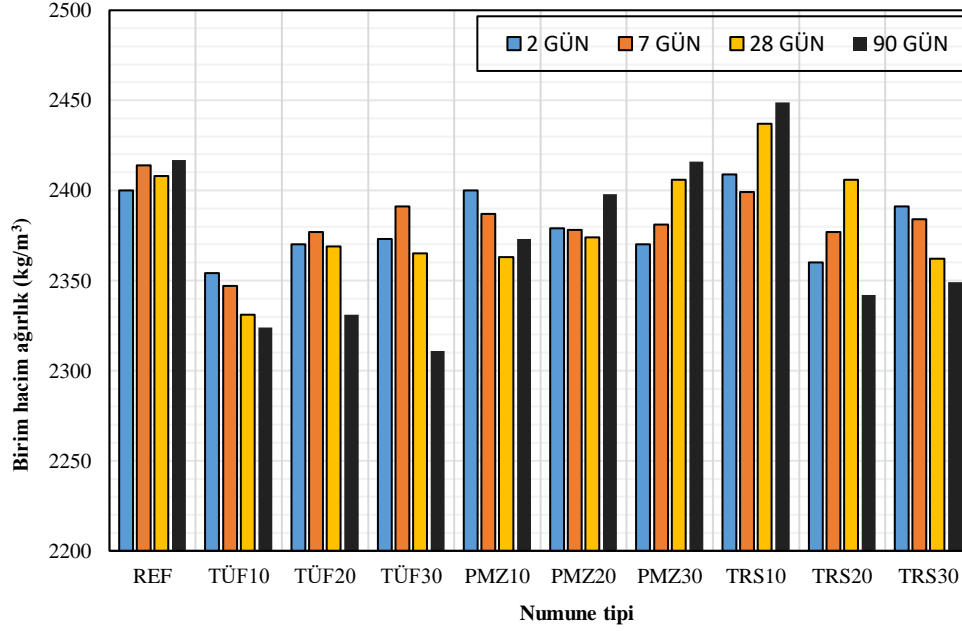
Harç çubukları yoğunlukları ile harç çubukları basınç dayanımlarını karşılaştıracak olursak tuf kullanımında sıkıştırılabilme faktörünün yoğunluğa ve basınç dayanıma olumlu etki ettiğini söyleyebiliriz. Pomza ve terra rosa kullanılan betonlarda yoğunluk ile basınç dayanımı arasında doğru orantı kurulabilir.

5.3.2. Beton Birim Ağırlık Deneyi Sonuçları

Beton birim hacim ağırlıkları incelendiğinde tuf kullanılan betonların referans numuneye göre daha hafif olduğu gözlemlenmiştir. Bunun başlıca sebebinin çökme ve yayılma deneylerinden yola çıkarak tuf kullanımında beton kıvamının olumsuz etkilendiği böylece iyi yerleşme yapılamaması kaynaklı boşlukların oluşmasıdır. PMZ10 ve PMZ20 numunelerinde referans numuneye göre birim ağırlıkta azalma olduğu belirlenmiştir. PMZ30 numunesi 90 gün sonunda referans numune birim ağırlığını yakalamıştır. Terra rossa kullanımının artmasıyla beraber beton birim ağırlığında azalma gözlemlenmiştir. TRS10 karışımında en yüksek birim hacim ağırlık 90 günlük numunelerde elde edilmiştir. Volkanit katkılı beton karışımlarının birim ağırlıklarının azalmasında hem gözeneklilik hem de bu katkı malzemelerinin özgül ağırlıklarının çimentoya oranla daha düşük olması rol oynamıştır.

Beton birim hacim ağırlıkları ile taze beton deneyleri karşılaştırıldığında tuf katkılı betonlarda çökme ve yayılma değerleri ile beton birim hacim ağırlık arasında ters orantı olduğu söylenebilir. Pomza kullanılan betonlarda işlenebilirlik ile birim hacim ağırlık arasında doğru orantı olduğunu söyleyebiliriz. Terra rosa kullanılan betonlarda ise yoğunluk ve işlenebilirlik arasında bir ilişki kurulamamıştır.

Üretilen beton numunelerine ait birim hacim ağırlıklar aşağıda verilmiştir (Şekil 5.6.).



Şekil 5.6. Beton birim hacim ağırlıkları

Beton basınç dayanımları ve yoğunluklar karşılaştırıldığında birim hacim ağırlığın azalması ile beton basınç dayanımlarında azalma olduğu birim hacim ağırlık ve beton basınç dayanımlarının doğru orantılı olduğu genellenmesi yapılabilir. Kendi içinde değerlendirdiğimizde ise en yüksek birim hacim ağırlığın yakalandığı TRS10 numunesinde en yüksek basınç dayanımını yakaladığı gözlemlenmiştir. Pomza kullanılan betonlarda daha az birim hacim ağırlık ile referans numunesi basınç dayanımları yakalanmıştır. PMZ20 numunesinde referans numuneye göre betonu hafiflettiğini ve aynı zamanda basınç dayanımına olumsuz etki yapmadığını söyleyebiliriz.

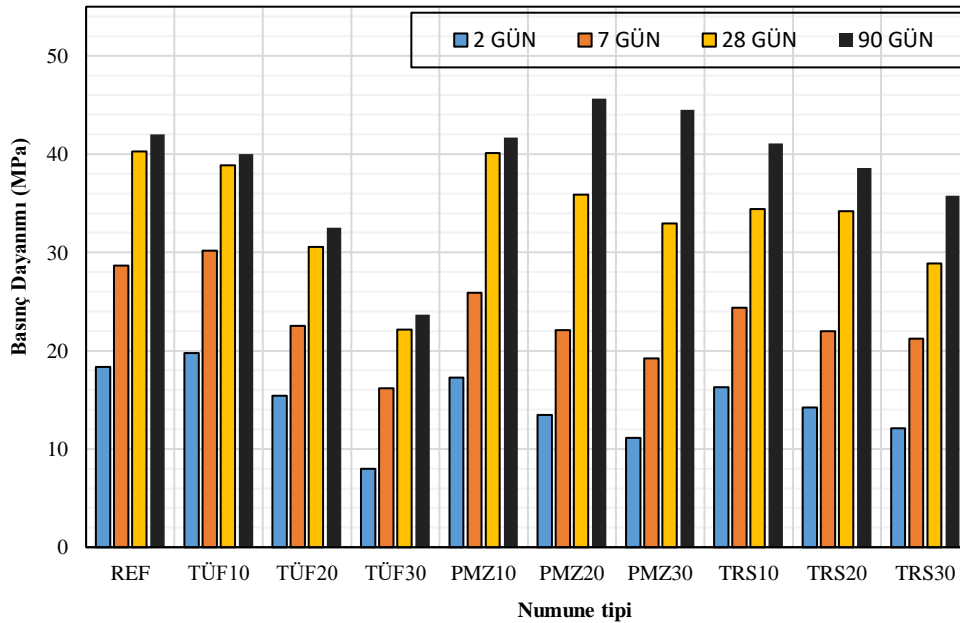
5.3.3. Harç Basınç Deney Sonuçları

Sertleşmiş harç numuneleri deney zamanı geldiğinde havuzdan çıkarılmış ve bu numunelerin yüzeyleri havlu ile kurulandıktan sonra ağırlıkları ölçülmüştür. Sonrasında numunelerin boyutlarına göre hesaplanmış olan hacimlerine bu kütleler bölünerek sertleşmiş birim hacim ağırlıklar belirlenmiştir. Ardından eğilme presinde iki ayrı parçaya ayrılan numunelere 40x40 mm'lik kesitler üzerinde aksel basınç dayanımı deneyi uygulanmıştır. Sertleşmiş harç numuneleri ve basınç deneyine tabi olmuş numunelerin görselleri Şekil 5.7'de sunulmuştur.



Şekil 5.7. Sertleşmiş harç numuneleri ve basınç dayanımı deneyi sonrası numuneler

Üretilen numunelerin 2, 7, 28 ve 90 günlük deney sonuçları Şekil 5.8’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlardan özellikle erken yaşlarda çimento yerine pomza, terra rosa ve tüf ile yer değiştirme yapıldığında mekanik özelliklerde yer değiştirme oranındaki artışla birlikte dayanımların azaldıkları gözlenmiştir. Erken yaşlarda puzolanik reaksiyonun yeterli olmaması ile harcın içindeki çimento miktarındaki azalmanın bu sonuçlar üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir. Karışımlarda tüf kullanımı nedeniyle kıvam kayıpları gözlenmiştir. Su emme miktarı fazla olan tüf harcın işlenebilirliğini olumsuz yönde etkilemiştir. Özellikle %30 oranında ikame yapılan TUF30 serisinde bu etkilenme daha fazla gelişmiştir.



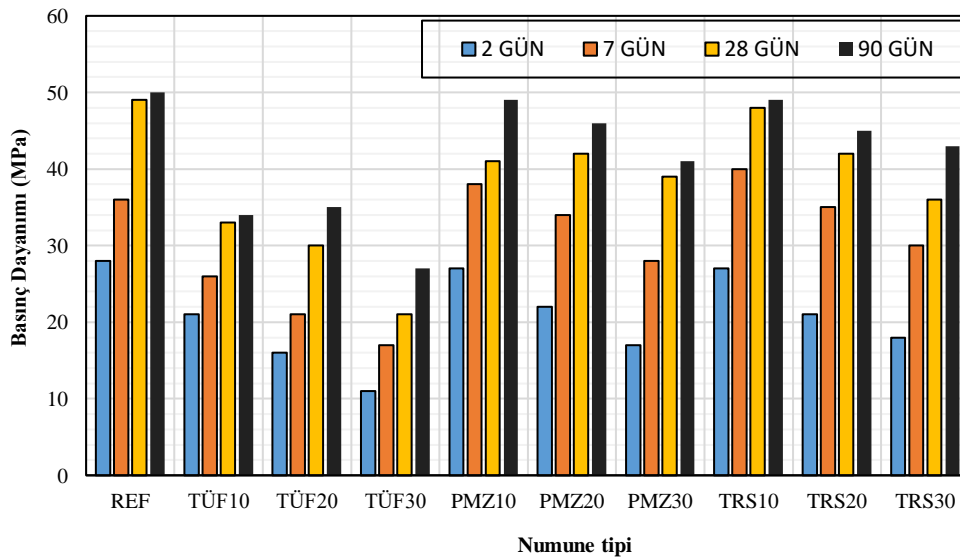
Şekil 5.8. Harç basınç dayanımı sonuçları

Deney sonuçları incelendiğinde pomza, terra rosa ve tüf katkı oranlarının artmasıyla birlikte iki günlük numunelerin basınç dayanımı değerlerinin referans numunesine göre azal-

dıkları görülmüştür. Bu dayanım azalmasının sebebinin puzolanik reaksiyonun henüz tamamlanmamış olması ve azalan çimento dozajları olduğu düşünülmektedir. TUF30 numunesindeki dayanım kaybı TUF10 serisi numuneden daha fazla olmuştur. Benzer davranış yedi günlük numunelerin dayanım sonuçlarından da görülmektedir. Yedi günlük numunelerde en iyi dayanım performansını TUF10 serisi numunede elde edildiği görülmüş olup bu değer referans numunesinin de üzerinde bir değere sahiptir. 28 günlük dayanımlarda ise %10 pomza ve %10 tuf katkılı numunelerin referans numunesine çok yakın değerler verdiği görülmüştür. Katı kullanım oranındaki artışla birlikte tuf katkılı numunelerde yerleşme sorunlarına bağlı olarak dayanım kayıpları artmıştır. Puzolanik aktivitenin etkili olduğu 90 günlük numunelerde PMZ20 ve PMZ30 serisi numunelerin referans numunesinin üzerinde diğer katkı bileşenlerinin de üzerinde bir dayanım değerine ulaştıkları görülmüştür. Harç numunelerinde Terra rosa ve tuf katkısının pomza numunesi kadar dayanıma katkısı olmadığı görülmüştür. Terra rosa kullanım oranındaki artışla dayanımların her kür yaşı için azaldığı belirlenmiştir.

5.3.4. Beton Basınç Dayanımı Sonuçları

Beton basınç dayanımlarını belirlemek amacıyla 150x150x150 mm boyutta üretilen beton numunelerine ait 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları aşağıda verilmiştir (Şekil 5.7.).



Şekil 5.9. Beton basınç deney sonuçları

Erken yaş dayanım performansı incelendiğinde tüm katkı türlerinde basınç dayanımlarının referans numunesine göre %3.5 ile %60 arasında azaldıkları gözlemlenmiştir. Buradaki en yüksek dayanım kaybı tuf katkılı TUF30 numunesinde görülmüştür. İlk bir haftalık beton

yaşı sonunda tuf katkılı numunelerin tümünde basınç dayanımları referans numunesinin altında kalırken pomza ve kalsine terra rosa katkılı numunelerde %10 ve %20 katkı oranlarında referans numunesinden daha yüksek dayanım değerleri elde edilmiştir.

Özellikle TRS10 numunesinde referans numunesine göre %14 oranında daha yüksek basınç dayanımı elde edilmiştir. Benzer davranış 28 günlük numunelerde de gözlenmiş olup bu yaşta en düşük dayanım performansını tuf katkılı numuneler göstermiştir. İleri yaş dayanım performansı açısından referans numunesine göre %10 katkılı PMZ10 ve TRS10 numuneleri referans numunesiyle neredeyse aynı dayanım değerini vermiştir. Pomza ve terra rosa katkılı betonlarda %30 oranına kadar katkı kullanımının ekonomik beton üretimine katkı ve-receği düşünülmektedir.

Yukarıdaki veriler incelendiğinde referans numuneye oranla volkanit ve terra rosa kullanılan betonlarda çok farklı basınç kayıpları oluşmamış olup olumlu konuşmak mümkündür. Özellikle terra rosa kullanılan betonlarda basınç dayanımlarının referans numuneden daha iyi sonuç verdiği açıkça görülmektedir. Pomza kullanılan betonların referans betona göre geç dayanım kazandığı belirlenmiş olup ileri yaşlarda referans numunesi dayanımına yaklaştığı görülmüştür. Çimento yerine kullanılacak olan bu katkıların beton üretiminde kullanımıyla çimento tüketiminin azalması, bölge ekonomisine katkı, çimento teknolojisinde kullanımında ise zaman ve işçilikten kazanç elde edilebileceği düşünülmektedir.

Taze beton deneyleri ile basınç dayanımları karşılaştırıldığında tuf katkılı betonların düşük dayanım vermesinin sebebinin düşük işlenebilirlik nedeniyle iyi sıkıştırılmamanın olduğunu söylenebilir. Terra rosa katkılı betonlarda terra rosa kullanımının artmasıyla beton işlenebilirliği artmıştır, kalsine edilmiş terra rosa katkılı betonlarda s/ç oranı düşürülerek referans numune akıcılığı yakalanabilir buda terra rosa katkılı betonların dayanımlarını olumlu etkileyeceği öngörülmektedir.

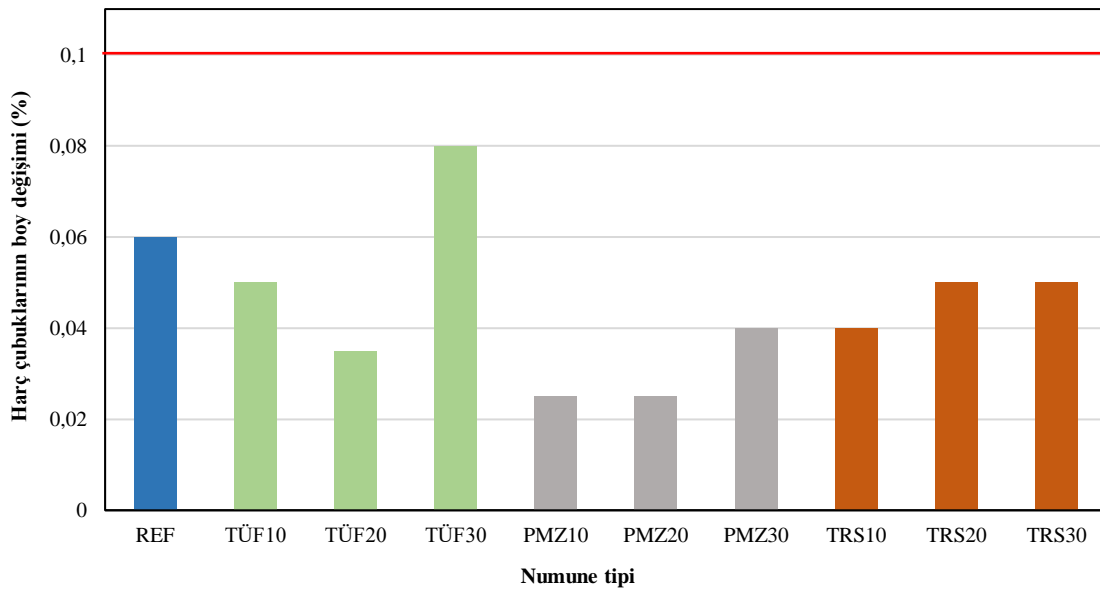
5.4. Kalıcılık Deneyi Sonuçları

Bu bölümde sertleşmiş harç ve beton numuneleri üzerinde kalıcılık etkilerinin belirlenmesi yapılan deney sonuçlarına yer verilmiştir.

5.4.1. ASR Deney Sonuçları

Alkali silika reaksiyonu deneyinden elde edilen sonuçlardan tüm numunelerin riskli bölgenin altında olduğu görülmüştür. Mineral katkı kullanımındaki artışa bağlı olarak volkanik tuf kullanılan numuneler dışındaki tüm serilerin genleşme değerlerinin sınır değerinin altın-

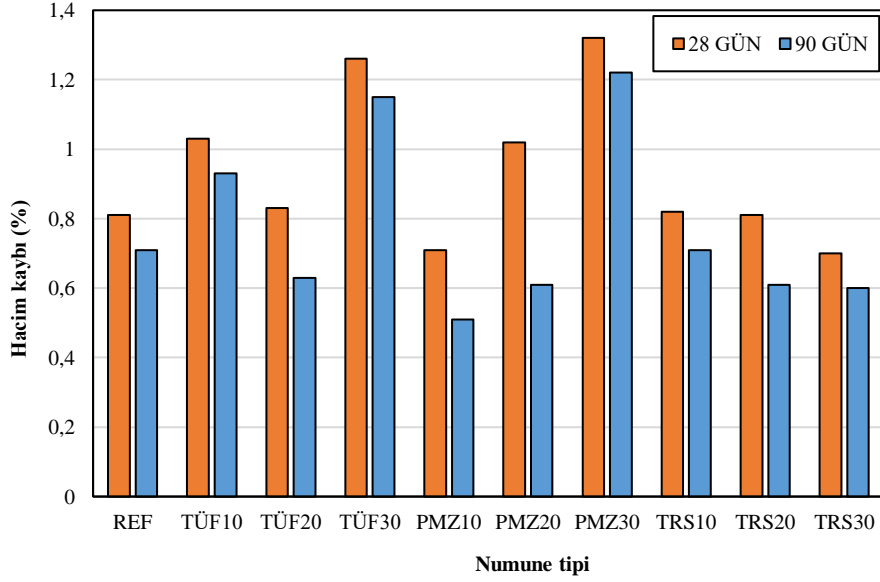
da kaldıkları görülmüştür. Bu çerçevede değerlendirildiğinde en iyi ASR performansını pomza katkılı numunelerin verdikleri görülmüştür. Terra rosa ve tuf serilerinde ise %30 oranında tuf kullanılan TUF30 karışımının %0.08 oranında genişleme göstererek en yüksek genişleme değerini gösterdiği görülmüştür. ASR deney sonuçları genel olarak değerlendirildiğinden en iyi performansı pomza katkısının gösterdiği belirlenmiştir. Özellikle %20 oranında pomza terra rosa ve tuf kullanımının ASR genişlemelerini azalttığı tespit edilmiştir. Bu nedenle beton üretiminde %20 oranına kadar bu katkıların kullanımının alkali silika genişmeleri üzerinde olumlu etki gösterebileceği düşünülmektedir. Alkali silika reaksiyonu deneyi sonuçları Şekil 5.10 da verilmiştir.



Şekil 5.10. Alkali silika reaksiyonu deneyi sonrası boy değişimleri

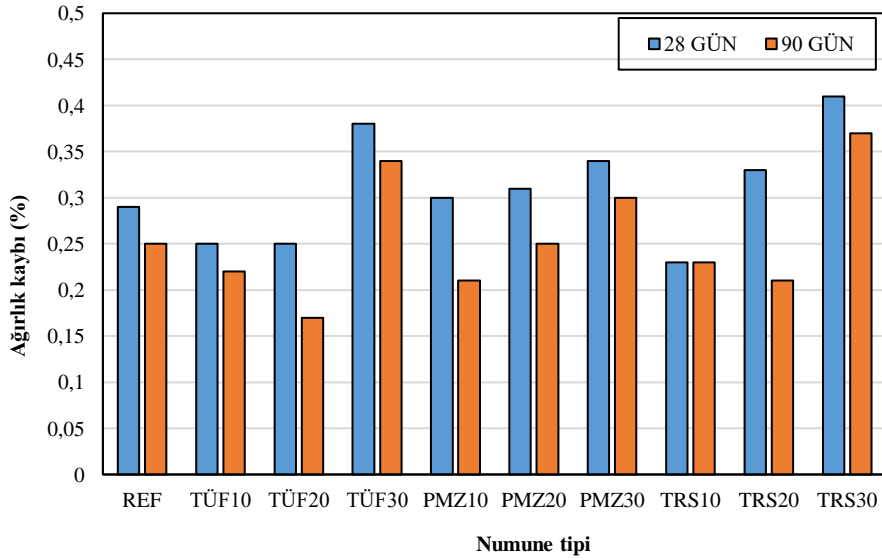
5.4.2. Beton Donma Çözülme Deneyi Sonuçları

Donma çözülme etkisini incelemek için ASTM C 672-84'den yararlanılmıştır. Laboratuvarında üretilen katkılı betonların donma-çözülme direncinin belirlenmesi için 100x100x100 mm boyutlarında harç numuneleri üzerinde donma-çözülme deneyi yapılmıştır. Deney öncesi numuneler 28 ve 90 gün süreyle kirece doymun 20 °C sıcaklıktaki kür havuzunda saklanmıştır. Daha sonra suya doymun hale getirilen beton numuneleri -20° ile 20°C sıcaklıklar arasında 4'er saat süreyle donma çözülme çevrimlerine tabi tutulmuştur. Bir donma-çözülme çevrimini oluşturan bu süreç 100 defa tekrarlanarak farklı katkılı betonların donma-çözülme direnci üzerindeki etkiler belirlenmiştir. Donma-çözülme deneyi sonunda hacim ve ağırlık kayıplarında oluşan değişimler belirlenmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 5.11'de verilmiştir.



Şekil 5.11. Beton donma ve çözülme deneyi sonrası hacim kayıpları

Donma çözülme deneyi sonrası oluşan hacim kayıpları incelendiğinde, en iyi sonucu PMZ10 numunesi vermiştir. TÜF20 numunesi referans numuneye göre olumlu sonuçlar vermiştir. Terra rosa kullanımının artmasıyla don etkisine karşı direncin arttığı söylenebilir.

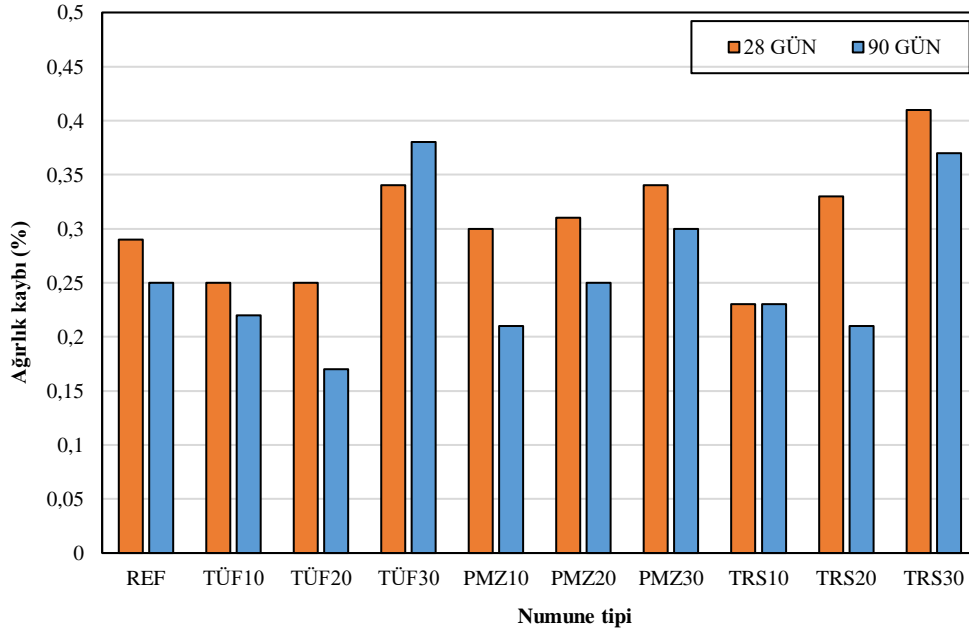


Şekil 5.12. Beton donma ve çözülme deneyi sonrası ağırlık kayıpları

DeneySEL çalışmalarından elde edilen sonuçlar incelendiğinde TRS20 ve TÜF20 numunelerinin referans numuneye göre en iyi sonucu verdiği gözlemlenmiştir. Kullanılan karışımlarda donma çözülme sonrası ağırlık kayıplarının azaldığı tespit edilmiştir. Bu davranışların üzerinde çimento esaslı kompozitin içerisinde bulunan boşluk dağılımının etkin rol oynadığı

düşünülmektedir. Pomza kullanımının artmasıyla referans numuneye göre hacim kayıplarında olumsuz davranış gözlenmiştir.

Beton donma çözülme deneyi sonrası 100 çevrim sıcaklık değişimine maruz bırakılan numunelere düşey eksenli basınç presinde basınç dayanımlarına tekrar bakılarak donma çözülmenin basınç dayanımına olan etkileri incelenmiştir. Donma ve çözülme deneyi sonrası basınç dayanımları Şekil 5.13’de verilmiştir.



Şekil 5.13. Beton donma ve çözülme deneyi sonrası basınç dayanımları

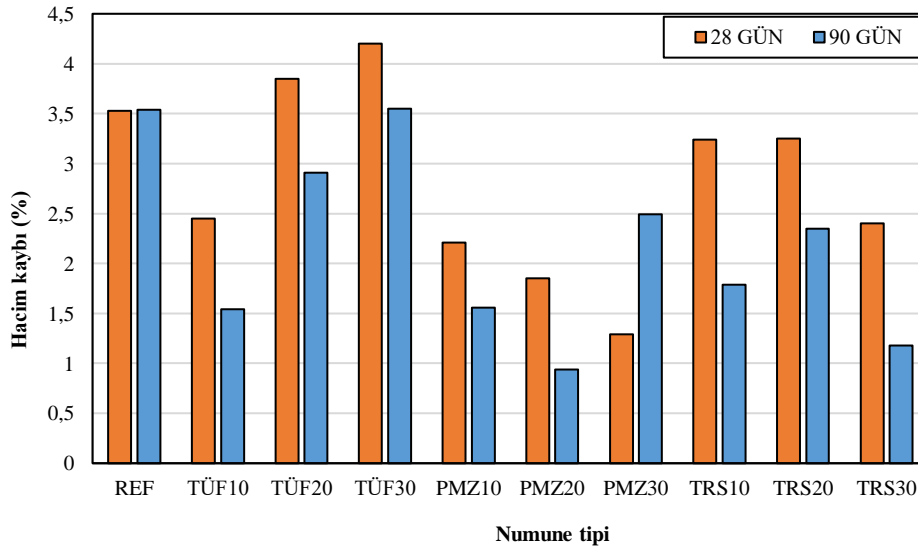
Donma-çözülme deneyi sonrası basınç dayanımları incelendiğinde tüf katkılı betonlarda kullanım oranının artması ve donma çözülme sonrası basınç dayanımları volkanit kullanım oranının artmasıyla azalmıştır. Pomza kullanılan betonlarda PMZ10 numunesi 90 günlük basınç dayanımları PMZ30 numunesine göre daha iyi donma çözülme direnci göstermiştir. Pomza kullanımının %10 kullanımının ileri yaşlarda donma çözülmeye karşı daha etkili olduğunu söylenebilir. Terra rosa kullanılan betonlarda referans numuneye en yakın özellikleri TRS10 numunesi göstermiştir. Kalsine edilmiş TRS10 numunesinde don etkisi olan bölgelerde referans numune betona göre daha ekonomik betonlar üretilebileceği önerilebilir.

Beton basınç dayanımları ile donma çözülme sonrası basınç dayanımlarını karşılaştıracak olursak 90 günlük referans numune donma çözülme deneyi sonrasında dayanım kaybına uğrarken PMZ20 numunesinin 90 günlük kür yaşına sahip olanında donma çözülme deneyi sonrası referans betona göre %10 dayanım artışı göstermişlerdir. Buradan puzolonik aktivitenin donma çözülmeye olumlu etki ettiğini söylenebilir.

5.4.3. Beton Aşınma Deneyi Sonuçları

Betonda fiziksel etkiler nedeniyle oluşan bozulmaya aşınma denir. Aşınma özellikle yollarda, hava alanlarında ve yapılardaki döşeme kaplamalarında ortaya çıkmaktadır. Aşınma konusunda yapılan birçok çalışmada betonun s/ç oranının aşınmaya karşı dayanıklılıkta önemli rol oynadığı belirlenmiştir (Çelik, 2003: 4).

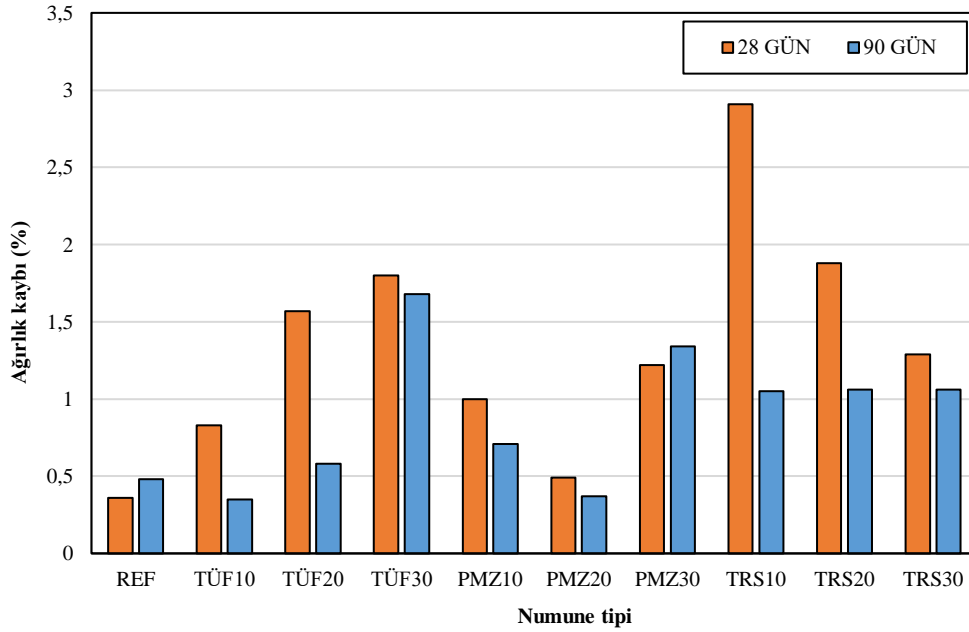
Beton basınç dayanımları ile aşınma deney sonuçları değerlendirildiğinde tuf katkıli betonlarda kullanım oranı artmasıyla düşen basınç kaybı ve hacimce aşınma doğru orantılıdır. Basınç dayanımı düşük olan numunelerde daha fazla aşınma oranına sahip olduğu söylenebilir. Aşınma deneyi sonrası kütle kayıpları ile basınç dayanımları arasındaki ilişkiye bakıldığında kütle kaybı ve basınç dayanımı arasında doğru orantı olduğu belirlenmiştir. Beton basıncının iyi sıkıştırma ve betonun doluluk oranı belirlediğinden bu özelliklerin geçirimsizliği ve aşınmayı olumlu etkilediği düşünülmektedir. Aşınma deneyi sonrası elde edilen hacimsel kayıpları gösteren grafik Şekil 5.14’de verilmiştir.



Şekil 5.14. Beton aşınma deneyi sonrası hacim kayıpları

Aşınma deneyi sonuçları grafiği incelendiğinde katkı oranındaki artışa bağlı olarak özellikle tuf ve pomzada %30 oranında aşınma kayıplarının hem 28 hem de 90 günlük numunelerde arttığı görülmüştür. Terra rosa kullanımının artmasıyla kendi içinde aşınma direnci artmıştır. Aşınma davranışı açısından pomza ve tuf katkısının olumlu sonuçlar verdiği görülmüş olup PMZ20 ve TÜF10 numunelerinde aşınma kayıplarında azalma kazanımı elde edilmiştir.

Aşınma deneyi sonrası kütleli kayıplar ile hacimsel kayıplar arasında doğru orantı olduğunu söyleyebiliriz. Aşınma deneyi sonrası kütleli kayıpları gösteren grafik Şekil 5.15’de verilmiştir.



Şekil 5.15. Beton aşınma deneyi sonrası ağırlık kayıpları.

Aşınma deneyi sonrası kütleli kayıplar incelendiğinde TRS10 numunesinin 90 günlük kür yaşı olduğu betonların kütle kaybının en az olduğu belirlenmiştir. PMZ20 numunesi 28 günlük kütle kaybı referans numuneye göre fazla ancak 90 günlük kütle kaybı referans numuneden daha iyi sonuç vermiştir. En az kütleli kaybın %10 tuf kullanımı ve %20 pomza kullanımında olduğu gözlemlenmiştir. Terra rossa kullanımının aşınma direncine referans numune ile karşılaştırdığımızda herhangi olumlu bir etki yaptığını söyleyemeyiz ancak ileri yaşlarda aşınma direncinde kendi içinde olumlu etkileri olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak bakıldığında 90 günlük aşınma kütleli kayıplarının 28 günlük numunelere göre daha az olduğunu söylenebilir bunun sebebinin puzolanik aktivite olduğu düşünülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Afyon ve Kütahya yöresi volkanitleri ve terra rosanın çimento ve beton teknolojisinde kullanımı ile ilgili yapılan bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Çökme deneyi ve sarsma tablası sonuçlarından tuf katkılı beton karışımlarında tuf oranının artmasıyla işlenebilirlik olumsuz etkilenmiştir. İşlenebilirliğin olumsuz etkilenmesinin sebebi tuf katkısının inceliğinin çimentoya göre fazla olup yüzey alanının artmasıdır. Tuf katkılı betonlarda işlenebilirlik referans numuneye göre %90 azalmıştır. Terra rosa katkılı betonlarda TRS30 numunesinin işlenebilirliğinin referans numunesine göre %60'a kadar arttığı saptanmıştır. Burada kalsine edilmiş terra rosa ile ilgili akışkanlaştırıcı etkileri üzerinde çalışmalar yapılabilir.
- Birim hacim ağırlık deneyi sonuçlarına göre pomza kullanılan betonlarda betonda %2 kadar hafifleme gözlemlenmiştir. Tuf kullanılan betonlarda bu hafifleme %4'e kadar ulaşmıştır.
- Basınç dayanımları incelendiğinde, TÜF30 katkılı beton karışımında referans numuneye oranla basınç dayanımlarının %40 düştüğü gözlemlenmiştir. Pomza kullanılan betonlarda erken yaşlarda dayanımların referans numuneyi yakalayamadığı ancak ileri yaş dayanımlarının puzolanik aktivite sonucu referans numuneye yakın çıktığı saptanmıştır. Terra rosa kullanılan betonlarda erken yaş dayanımlarının referans numuneye oranla daha çabuk dayanım kazandığı gözlemlenmiştir. Volkanit kullanılan betonlarda erken yaş dayanımları olumsuz etkilenmiştir.
- Alkali Silika reaksiyonu, donma çözülme ve aşınma davranışları değerlendirildiğinde %20 oranına kadar pomza, tuf ve terra rosa kullanımının beton kalıcılığı üzerinde olumlu etkilerinin olduğu belirlenmiştir.
- Kullanılan malzemelerin puzolanik aktivite sonucu referans numune dayanımlarının yakalandığı çimento yerine kullanılabileceği saptanmıştır. Dolayısıyla volkanitlerin kullanımının hem malzeme hem de işçilik maliyetleri yönünden kazanç sağlayacağı belirlenmiştir. Ayrıca doğal kaynakların kullanımı ile kalıcı ve sürdürülebilir bir beton üretiminin mümkün olacağı düşünülmektedir.
- Yapılan çalışmada kullanılan doğal malzemelerin beton teknolojisinde kullanılabileceği elde edilen olumlu sonuçlardan görülmektedir. Bu sebeple bu madenlerin işlenip

öğütölerek ülke ekonomisine kazandırılması önerilmektedir. Burada yapamadığım ancak yapılabilecek terra rosa katkılı betonlarında akışkanlaştırıcı etkileri üzerinde, tuf katkılı betonların yol betonu olarak kullanılabilirliği ile ilgili çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKÇA

- Akgün, E., Özden, S.,** (2019). Plio-Quaternary stress states along the Kütahya Fault and surroundings, NW Turkey. *Turkish Journal of Earth Science*, 7 (2), 97-110.
- Akman M.S., Güner A., Aksoy I.H.,** (1986). The History and Properties of Khorasan Mortar and Concrete. Turkish and Islamic Science and Technology in the 16th Century, V1, *ITÜ Research Center of History of Science and Technology Publ.*, 4 (1), 101-107.
- Akyüncü, V.** (2019). Pomza Agregalı Hafif Beton Blokların Mekanik Özelliklerinin ve Yangın Etkisi Altındaki Davranışının İncelenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8 (1), 147-157.
- Antaki, T.** (2020). *Pomza Katkılı Normal ve Hafif Betonların Kimyasal Durabilitesinin İncelenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi). Gelişim Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Arıcı, E.** (1997). *Van Yöresindeki Volkanik Tüflerin Beton Mukavemetine Etkisi ve Taşıyıcı Hafif Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ.
- ASTM** (2004). International, ASTM C 1260-14, “Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)”
- Bartos, P.J.M.,** (2005). Testing-Scc: Towards New European Standards For Fresh Scc, Eds. Yu,Z., Shi, C., Khayat, K.H., Xie, Y.”, First International Symposium on Design. Performance and Use of Self-Consolidating Concrete, Changsha, Hunan. China
- Başçetin, A. , Eker, H. , Adıgüzel, D. & Tüylü, S.** (2020). Çimentolu Macun Dolgu Yönteminin Uygulanmasında Bazı Katkı Malzemelerinin Puzolanik Özelliklerinin Araştırılması. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10 (2), 415-424.
- Bayırlı, M. & Pekin, A.** (2013). Volkanik Tüf Yüzeyi Gözeneklerinin Özelliklerinin Birikinti Geometrisi Kullanarak İncelenmesi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15 (2), 66-72.
- Bellanca, A., Hauser, S., Neri, R., & Palumbo, B.** (1996). Mineralogy and geochemistry of Terra Rossa soils, western Sicily: insights into heavy metal fractionation and mobility. *Science of the Total Environment*, 193(1), 57-67.
- Benac, C. & Durn, G.** (1997). Terra rossa in the Kvarner area-geomorphological conditions of formation, *Acta Geographica Croatica*, 2, 63-73.

Boero, V., & Schwertmann, U. (1989). Iron oxide mineralogy of Terra Rossa and its genetic implications. *Geoderma*, 44(4), 319-327.

Bye, G.C., Portland Cement composition, production and properties, Thomas Telford 2nd Edition, London, s.225, 1999.

Cas, R.A.F. & Wright, J.V. 1987. Volcanic Successions, Modern and Ancient. Allen & Unwin Publications.

Cengiz, O., Kuşcu, M., & Kadir, S. (2005) Karstik karbonatlıkayaçlar üzerinde gelişen terra rossa oluşumlarının mineralojik ve jeokimyasal özellikleri, Anamasdağları, Isparta, 58. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri, 11-17 Nisan, Ankara, 152-153.

Cengiz, O., & Ünsal, A. (2004) Pınarbaşı(Yenişarbademli-Isparta) terra rossa oluşumlarının tuğla-kiremit hammaddesi olarak kullanılabilme özelliklerinin araştırılması, 57. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri, 8-12 Mart, Ankara, 247.

Ceylan, H . (2020). Isparta Tüfünün Pozolanik Özelliklerinin Araştırılması. *Teknik Bilimler Dergisi*, 10(2), 1-6.

Chatterjee M.K., & Lahiri D., (1967) "Pozzolan Activity in Relation to Specific Surface of Some Artificial Pozzolanas", Trans. *Indian Ceramic Soc.*, 26(2), 65-74.

Costa J, Massozza F., (1981). *Natural Pozzolans and Fly Ashes: Analogies and Differences*, Proceedings of Symposium on Effects of Fly Ash Incorporation in Cement and Concrete, Materials Research Society, Boston.

Çelik, M. Y. (2003). Dekoratif Doğal Yapı Taşlarının Kullanım Alanları ve Çeşitleri. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 42 (1), 3-15.

Çelik, M.Y., Sel, H., (2008). Afyondaki Tarihi Çeşmelerde Doğal Taş Kullanımı ve Restorasyonu. MERSEM 2008 *Türkiye VI. Mermer Sempozyumu*, (Editör: M. Ersoy vd) Afyon, 39-58.

Çelik, M.Y., Tan, G., 2016. Döğer (İhsaniye-Afyon) Tüflerinin Doğal Yapı Taşı Olarak Teknolojik Özellikleri ve Mevlevi (Türbe) Cami Restorasyonu. *Gazi Üniversitesi Politeknik Dergisi*, 19 (4), 399-408.

Çelik, M. (2017). Afyonkarahisar Yöresi Tüflerinin Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Ultrases Dalga Hızı ile İlişkisinin İncelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 20 (4), 961-970.

Çelik, M. Y. & Kavas, T. (2001). Elvanpaşa (Afyon) Trakiandezitlerinin Jeolojisi Ve Yapı Taşı Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 14(2), 24-36.

Çelik, M.Y., & Ergül, A. (2015). The Influence of the Water Saturation on the Strength of Volcanic Tuffs Used As Building Stones. *Environ Earth Sci*, 74, 3223–3239.

Çubuk, E., (2017). *Kendiliğinden Yerleşen Betonda Kullanılan Farklı Agreg Boyutlarının ve Şekillerinin İşlenebilirlik Üzerine Etkisi*. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.

Demir, İ, Başpınar, M, Görhan, G, & Kahraman, E. (2016). Seyitömer Uçucu Külü Ve Afyonkarahisar Yöresi Volkanik Tüflerinin Puzolanik Özelliklerinin Belirlenmesi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(1), 39-46.

Dinç, D., (2014), *Afyon yöresi volkanik küllerinin mineralojik ve kimyasal özellikleri ve küllerin yapı sektöründe kullanılabilirliği*, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya.

Doruk, M. (1974). Volkanik tüflerin karayolu yapımında kullanılması ile ilgili bir çalışma. Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma Fen Heyeti Müdürlüğü.

Dramis, F., Blumetti, A. M., (2005). Some considerations concerning seismic geomorphology and paleoseismology. *Tectonophysics*, 40(8), 177-191.

Ekinci, E. (2017). *Volkanik Tüf Kullanılarak Üretilen Geopolimer Betonların Bazı Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması*, (Yüksek Lisans Tezi). İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.

Erdoğan, K., Tokyay, M., Türker, P., (1999). Traslar ve traslı çimentolar, *Türk Çimento Dergisi*, 16 (1) 63-74.

Erdoğan, K., Tokyay, M. ve Türker, P., (2003), Traslar ve traslı çimentolar, Araştırmaların Gözden Geçirilmesi ve Durum Değerlendirmesi, *Türk Çimento Dergisi*, 25 (2) 61-67.

Erguvanlı, K. & Sayar, M. (1955). Türkiye Mermerleri ve İnşaat Taşları. İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi, 115. İstanbul: Kurtulmuş Matbaası.

Erkoyun, H., (2005). Pomzanın Türkiye'deki Yeri ve Önemi, (Ed.) L. Gündüz ve V. Deniz, 2. *Pomza Sempozyumu*, s.1-8, Isparta.

Genç, Ş. C. & Kayacı, K. (2012). Bozüyük Civarının Adakit Benzeri Magmatik Kayaçları (KB Türkiye) . *Yerbilimleri*, 33 (1), 141-168.

Gökçe, H, Taban, S, & Şimşek, O. (2013). Zeolitik Tüf İkamesinin Farklı Agregalar Üzerinde Alkali-Silika Reaksiyonu Etkilerinin Belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25 (4), 85-98.

Gönen, T. & Yazıcıoğlu, S. (2021). Pomza Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonların Donma Çözülme Direncine Mineral Katkıların Etkisi. *El-Cezri*, 8(1) , 94-101.

Güçlüer, K., Günaydın, O., & Arın, A. (2018). Mineral Katkılı Betonlarda Basınçlı Buhar Kürü Etkisinin Araştırılması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21 (1) , 92-99.

Gündüz, L. (ed.), Saruşık, A., Tozaçan, B., Davraz, M., Uğur, İ. ve Çankıran, O., (1998). Pomza Teknolojisi *Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 2(1), 273-285.

Güner, M.S., (1999). Malzeme bilimi - yapı malzemesi ve beton teknolojisi, Aktif Yayınevi, İstanbul.

Helvacı, Y. E. & C. & Helvacı, C. (2007). Stratigraphy and Geochemical Features of the Early Miocene Bimodal (Ultrapotassic and Calc-alkaline) Volcanic Activity Within the NE-trending Selendi Basin, Western Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16 (2) , 117-139

Ürün ve Hizmetler Gri Çimento CEM I 42,5 R Portland Çimento [Erişim: 12.12.2021, <https://www.cimsa.com.tr/>].

Genel Bilgiler [Erişim: 06.09.2021, <https://afyon.ktb.gov.tr/>].

Volkanlar Hakkında Herşey [Erişim: 11.12.2021, <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/>].

Afyonkarahisar Fiziki İl Haritası [Erişim: 11.12.2021, <https://www.harita.gov.tr/>].

Betonarme Taşıyıcı Sistem [Erişim: 11.12.2021, <https://www.imo.org.tr/>].

Bilgi Merkezi Pomza [Erişim: 11.12.2021, <https://www.mta.gov.tr/>].

Hizmetler Jeoloji Haritaları [Erişim: 11.12.2021, <https://www.mta.gov.tr/>].

Beton Katkıları Süperton 278 [Erişim: 11.12.2021, <https://www.polisankimya.com.tr/>].

Hazır Beton Teknik Notlar Geçmişten Geleceğe Vazgeçilmez Yapı Malzemesi [Erişim: 11.12.2021, <https://www.thbb.org/>].

İnce, H., Öcal, C., Alkan Çakıroğlu, M., & Çelik, S . (2015). Püskürtme Beton Uygulamaları ve Kullanım Alanları. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6 (2) , 100-107.

İskenderoğlu, A. (2020). Terra Rossa oluşumlarının CBS uygulamaları ile değerlendirilmesi, Akseki (Antalya) örneği. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11 (1) , 271-282.

Kadir, S., Karakaş, Z., (2000). Konya Miyosen Yaşlı Volkanik Birimlerin Mineralojik-Petrografik ve Jeokimyasal İncelemesi ile Neoform Kil Mineral Oluşumlarının İrdelenmesi. *MTA Dergisi*.12 (2), 95-106.

Kap, T ., & Sağlık, M . (2018). Tarihi Eser Restorasyonunda Beton Teknolojisi Kullanımı. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 7 (2) , 88-99.

Karakurt, C. , Kaya, T. & Yazıcıoğlu, S. (2020). Kalsine Edilmiş Bentonitin Beton Aşınma Davranışı Üzerine Etkisi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9 (2), 904-912

Karaman, M.E., Kibici, Y., (2008). Temel Jeoloji Prensipleri. Belen Yayıncılık ve Matbaacılık, Ankara, 335 sf

Kavas, T., & Çelik, M. (2001). Ayazini (Afyon) Tüflerinin Çimento Sanayiinde Tras Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 40 (4) , 39-46.

Keller, J. Villari, L., (1972) Rhyolitic ignimbrites in The Region of Afyon (Central Anatolia), *Bulletin Volcanologique*, 36, 342-358.

Kılıç, Ö. & Anıl, M. (2005).Farklı Kalsinasyon Ortamlarının Üretimi Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 44 (4) , 19-28.

Kırgız, M. (2016). Mineralojik Katkıların Çeşitli Tanımlar, Sınıfları, Özellikleri ve Kullanım Alanları (Bölüm 1) . *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9 (2) , 118-127.

Kibici, Y., Dinç, D., & Uçar, A. (2012). Afyonkarahisar Yöresi Volkanik Kayaçlarının Mineralojik ve Petrografik Özellikleri. *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University* , 29, 53-70.

- Kocataşkın F.**, (1965). Çimento Özellikleri Hakkında Ne Biliyoruz?, *İTÜ Yayınları*, Sayı. 627.
- Korkmaz, A.** (2019). Yozgat Yöresi Tüflerinin Çimento Katkısı Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. *Yerbilimleri*, 40 (3) , 253-267.
- Korkmaz, A. V.** (2021). Hammadde Rutubetinin Çimento Üretim Prosesine Etkisinin Araştırılması. *MT Bilimsel*, (19), 33-49.
- Kozak, M., & Ünal, O .** (2016). Hafif Agregalı Blokların Özelliklerinin Araştırılması. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6 (2), 17-30.
- Köken, E. & Çimşir, K.** (2021). Agrega Kalitesi İyileştirmenin Kırma Döngüsü Değişimi İle Araştırılması: Dik Milli Kırıcı İçin Örnek Bir Çalışma. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9 (4), 1040-1050.
- Kuşcu, M. & Tay, Ş.** (2002) Kuzca-Yeniköy-Alakilise (Sütçüler-Isparta) dolayındaki terra rosaların “Tuğla-Kiremit Toprağı” olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, 55. Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri, Ankara, 174-175.
- Kuşcu, M., Yıldız, A.,** (2001). Ayazini Tüflerinin Yapı Taşı Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması., *Türkiye III. Mermer Sempozyumu*, Ed: Y. Kibici, İ.S. Büyüksağış, Afyon, 85-98.
- Lahn, E.** (2014). Anadolu'da Neojen ve Dördüncü Zaman volkanizması. *Türk Coğrafya Dergisi*, 0(7-8), 37-49.
- Leckebush, R.**, "*Türkiye'deki Doğal Puzolanların Çimento Katkı Maddesi Olarak Kullanımı Üzerine İncelemeler*", Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Yayını, 1984, Ankara.
- Mielenz, R. C.**, (1983,). Mineral Admixtures - History and Background. Concrete International, *ACI Journal*, 1 (1), 34-42.
- Mindes, S., Young, J.F.**, (1981). Concrete, Prentice Hall Inc., New Jersey, A.B.D.
- Mohamed. A.** (2019). *Geopolimer Betonda Pirinç Kabuğu Külü ve Atık Seramik Tozu Kullanımının Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu.
- Neumann, T., Grotjohann, P.**, 1998. Pumice Processing in The Neuwied Basin with Alljig Air Pulsed Jigs. *Aufbereitungs Technik*, 39(5), p.234-238.

Orhan, A. , Dinçer, İ. , Akın, M. & Çoban, S. (2017). Nevşehir Pomza Endüstrisi'nin Genel Değerlendirilmesi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6 (2) , 571-579.

Özen, S. (2021). Volkanik tüf esaslı geopolimerlerin basınç dayanımına kür süresi ve sıcaklığın etkileri . *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11 (2), 530-536

Özpınar, Y. (2008). The Mineralogic, Petrographic and Ion Exchange Capacity Features Of Tuffs Containing Chabazite and Phillipsite Minerals In Sandıklı (Afyon) Region and Their Usage In Agriculture (Southwest Anatolia, Turkey) . *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 137 (137) , 29-48.

Putirka, K. 2008. Thermometers and Barometers for Volcanic Systems, Minerals, Inclusions and Volcanic Processes, Reviews in Mineralogy and Geochemistry, (eds: Putirka, K., Tepley, F.), *Mineralogical Society of America*, 69, 61-120.

S. Akman, (2003). Yapı Malzemelerinin Tarihsel Gelişimi, *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, 426 (3), 30-36.

Sağlam Selçuk, A. & Zorer, H. (2017). Başkale Bölgesi'nin (Van) Jeolojik ve Jeomorfolojik Ögeleri . *Türkiye Jeoloji Bülteni* , 60 (1) , 77-92 .

Schmid, R., (1981). Descriptive Nomenclature and Classification of Pyroclastic Deposits and Fragments: Recommendations of the Lugs Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. *Geology Journal*, 9(3), 41-53.

Sınıksaran, M. (2012). *Volkanik Tüf Tozları İle Polimer Esaslı Kompozit Malzeme Üretimi*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 12-18. Konya.

Şimşek, O. & Yardımcı, A. (2021). Hazır Betonda Santral Çıkışı İle Şantiye Teslimindeki Beton Özelliklerinin Karşılaştırılmalı İncelenmesi . *Politeknik Dergisi* , 24 (3) , 973-981

Smith, B.J. & McAlister, J.J. (1995) Mineralogy, chemistry and palaeoenvironmental significance of an Early Tertiary Terra Rosa from Northern Ireland, A preliminary review, *Geomorphology*, 12(1), 63-73.

Sun, S.S. & McDonough, W.F. 1989. Chemical isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D. & Norry, M.J. (eds), *Magmatism in Ocean Basins*. Geological Society, London, Special Publications 42, 313–345.

Tatlıdil, H. & Sancak, E. (2013). Pomza Agregalı Hafif Betonların Panel Duvar Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 5 (2) , 87-94.

Topçu, İ., Canbaz, M., & Karakurt, C . (2006). Beton Üretiminde Kimyasal Katkı Kullanımı. *Politeknik Dergisi*, 9 (1) , 59-63.

TS EN 12390-3, “Sertleşmiş Beton Deneyleri – Deneç Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

TS 12390-9, “Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Donma Çözölme Direnci – Yüzeysel Kabuk Atma (Yüzeysel Yıpranma)”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

Tuncer, G. & Özkan, Ş. G. (2001). Pomza Madencilğine Genel Bir Bakış. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7 (2) , 269-276.

Tuyan, M., Soykan, K. S. , Namal, İ. & Andıç Çakır, Ö. (2020). Mineral katkı içeren kalsiyum alüminat çimento esaslı harçların mekanik, dayanıklılık, termal ve içyapı özelliklerinin araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 23 (2) , 311-320

Türkecan, A., Kuzucuoğlu, C., Mouralis, D., Pastre, J-F., Atıcı, Y., Guillou, H., Fontugne, M., (2004). Upper Pleistocene Volcanism and Paleogeography in Cappadocia, Turkey. MTA-CNRS-TUBITAK joint project report. 190 pages

Uyan M., Yıldırım H., & Süvari Y. (1996): “Akışkanlaştırıcı Katkıların Etkinliği”, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 4. Ulusal Beton Kongresi, 30-31 Ekim–1 Kasım.

Ünal, M., Özkan, İ., Kekeç, B., (2006). Yapıtaşlarında Tuz Kristalleşmesine Bağlı Bozunmanın Ultrasonik Hız Ölçümleri ile Kestirimi. Mersem 2006, *Türkiye V. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 431-437.

Ünal, M. (2011). Toprak Oluşumu ve Ülkemizde Çeşitleri, Bilim ve Aklın Aydınlığında Eğitim, S. 134, ss. 12-18.

Ünal, O., & Yurtcu, Ş . (2016). Betonarme Yapılarda Hazır Beton Kullanımı. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3 (1) , 51-64.

Varol, O. O. (2016). Bitlis ve Van İllerinde Pomza Madencilğine Genel Bir Bakış . *Bilimsel Madencilik Dergisi* , 55 (3) , 27-34 .

Yaralı, O. , Kandemir, A. & Eren, A. (2008). Bazı Magmatik Kayaçların Kayaç Dayanım Katsayısı ve Schmidt Sertliği Arasındaki İlişkiler. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 47 (2) , 25-36

Yıldırım, S. T. & Kiraz, E. (2016). Betonda Orta Akışkanlaştırıcı Katkıların Performanslarının Araştırılması. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6 (2) , 9-16.

Yıldız, K. (2012). Pomza ve Zeolit Katkılı Betonun Yol Kaplamalarında Kullanılabilirliği ve NaCl Etkisinin Araştırılması. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 1 (1) , 69-79