



**BAYBURT İLİ SARI VE YEŞİL TÜFLERİ İLE
ÜRETİLMİŞ KOMPOZE ÇİMENTOLARIN
AKIŞKANLAŞTIRICI KİMYASAL KATKI
UYUMLARININ ARAŞTIRILMASI**

Hatice ALGAN

**Yüksek Lisans Tezi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
2020
(Her hakkı saklıdır.)**

T.C.
BAYBURT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**BAYBURT İLİ SARI VE YEŞİL TÜFLERİ İLE ÜRETİLMİŞ KOMPOZE
ÇİMENTOLARIN AKIŞKANLAŞTIRICI KİMYASAL KATKI UYUMLARININ
ARAŞTIRILMASI**

(Investigation of Plasticizer Chemical Additive Compatibility of Composite Cements
Produced with Yellow and Green Tuffs of Bayburt Province)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hatice ALGAN

Danışman: Doç. Dr. İlker TEKİN

Bayburt
Eylül, 2020

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Doç. Dr. İlker TEKİN danışmanlığında, 172004015 numaralı Hatice ALGAN tarafından hazırlanan “BAYBURT İLİ YEŞİL VE SARI TÜFLERİ İLE ÜRETİLMİŞ KOMPOZE ÇİMENTOLARIN AKIŞKANLAŞTIRICI KİMYASAL KATKI UYUMLARININ ARAŞTIRILMASI” adlı bu çalışma 02.10.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programında Programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Serkan SUBAŞI

İmza:

Jüri Üyesi : Doç. Dr. İlker TEKİN

İmza:

Jüri Üyesi : Doç. Dr. H. Süleyman GÖKÇE

İmza:

Bu tezin Bayburt Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

...../...../.....

Doç. Dr. Fatih GÜRBÜZ

Enstitü Müdürü

ETİK VE BİLDİRİM SAYFASI

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Bayburt ili sarı ve yeşil tüfleri ile üretilmiş kompoze çimentoların akışkanlaştırıcı kimyasal katkı uyumlarının araştırılması” başlıklı çalışmanın tarafımdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını ve yararlandığım eserleri kaynakçada gösterdiğimi beyan ederim.

... / ... / 2020

İmza

Hatice ALGAN

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımın yürütülmesi sırasında bana ilgi ve desteğini eksik etmeyen, bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren saygı değer danışman hocam Doç. Dr. İlker TEKİN'e sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Tezimin nihai sonuca ulaşmasında büyük katkı sağlayan ve tezimde daha doğru ilerlemem yönünde fikir ve önerileriyle çalışmama ışık tutan, değerli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan, her türlü motivasyon desteği ile samimiyetini benden esirgemeyen saygı değer kıymetli hocam Doç. Dr. H. Süleyman GÖKÇE'ye sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunar minnet duyarım.

Çalışma kapsamında kullanılan çimento temininde bana olan desteğini esirgemeyen saygı değer abim Orhan ALGAN'a ve malzeme temininde sağlamış oldukları kolaylık dolayısıyla Bayburt Tekinler Beton'a çok teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince bana her türlü motivasyon desteği veren aileme, manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen arkadaşlarım, Tuğçe HIRCA'ya, H.Betül UMARUSMAN'a, Musa ATAŞBAK'a çok teşekkür ederim.

Hatice ALGAN

Eylül/2020

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BAYBURT İLİ SARI VE YEŞİL TÜFLERİ İLE ÜRETİLMİŞ KOMPOZE ÇİMENTOLARIN AKIŞKANLAŞTIRICI KİMYASAL KATKI UYUMLARININ ARAŞTIRILMASI

Hatice ALGAN

Ekim 2020, 68 sayfa

Günümüzde sanayileşme ile birlikte atmosfere yayılan CO₂ miktarı her geçen gün artmaktadır. Bu salınımda önemli paya sahip olan çimento sektörü, sürdürülebilirlik hedefleri dikkate alındığında alternatif bağlayıcılara ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle, son zamanlarda alternatif bağlayıcıların sektörde kullanımı için akışkanlaştırıcı katkı uyumları önemli araştırma konularından biri olmuştur.

Bu çalışmada, Bayburt yöresinde bulunan yeşil ve sarı renkli tüflerle üretilmiş çimentoların farklı iki akışkanlaştırıcı katkı (polikarboksilat (PK) ve melamino formaldehit esaslı (MF)) ile olan uyumu araştırılmıştır. Bu kimyasal katkılarla hazırlanan çimento hamurları üzerinde standart kıvam suyu ve priz süreleri belirlenmiştir. Ayrıca bu çimentolarla üretilen kimyasal katkılı çimento harçlarının yayılma, basınç dayanımı ve porozite özellikleri araştırılmıştır.

Sonuç olarak, PK ve MF esaslı katkılar Kompoze çimentoların kıvam suyunu azaltıcı etkisinin olduğu görülmüştür. PK esaslı katkılarının iki kompoze çimentoda daha yüksek oranda su azalttığı, ancak %0,5'ten daha yüksek oranlarda PK'nın kullanımının uygun olmadığı belirlenmiştir. Kimyasal katkılar kompoze çimento harçlarının fiziksel ve mekanik özelliklerini önemli oranda değiştirmiştir. %40 oranında yeşil Bayburt tüfü ile üretilmiş bağlayıcıda %0,5 melamino formaldehit katkı kullanımı, 28 gün yaşındaki basınç dayanımını %20 artırmış ve 46,3 MPa olarak ölçülmüştür.

Anahtar kelimeler: Çimento, süper akışkanlaştırıcı, katkı uyumu, Bayburt tüfü.

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF PLASTICIZER CHEMICAL ADMIXTURE COMPATIBILITY OF COMPOSITE CEMENTS PRODUCED WITH YELLOW AND GREEN TUFFS OF BAYBURT PROVINCE

Hatice ALGAN

October 2020, 68 pages

Recently, the amount of CO₂ emitted to the atmosphere with industrialization is increasing every day. The cement sector, which has a significant share in CO₂ emissions, needs alternative binders when sustainability targets are taken into account. For this reason, compability of plasticizers have recently been one of the important research topics, especially on the use of alternative binders in the industry.

In this study, the compatibility of cements produced with green and yellow tuffs from Bayburt region with two different plasticisers based polycarboxylate (PK) and melamino formaldehyde (MF) was investigated. Standard consistency and setting times were determined on cement pastes prepared with these chemical additives. In addition to these, workability by flow table method, compressive strengths at 2nd, 28th and 90th day and apparent porosity of mortars produced with blended cements were investigated.

As a result, it has been observed that PK and MF based additives have the effect of reducing consistency water of blended cements. It has been determined that PK-based additives reduce water at a higher rate in two blended cements, but the use of PK at rates higher than 0.5% is not appropriate. Chemical additives have significantly changed the physical and mechanical properties of blended cement mortars. The use of 0.5% melamino formaldehyde additive in the binder produced with 40% green Bayburt tuff increased the compressive strength at the age of 28 days by 20% and was measured as 46.3 MPa.

Keywords: Cement, superplasticizer, admixture compatibility, Bayburt tuffs.

İÇİNDEKİLER

ETİK VE BİLDİRİM SAYFASI	i
TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZ.....	iii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER TABLOSU.....	ix
SİMGELER DİZİNİ	xi
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
BİRİNCİ BÖLÜM.....	1
Giriş	1
Literatür.....	4
İKİNCİ BÖLÜM	9
Kuramsal Temeller.....	9
Çimento.....	9
Çimentonun Tanımı.....	9
Çimentonun Tarihçesi.	9
Çimento Çeşitleri.....	9
CEM I: Portland Çimentosu (PÇ).....	10
CEM II: Portland-Kompoze Çimentosu.	11
CEM III: Portland Yüksek Fırın Cürufllu Çimento.....	11
CEM IV: Puzolanik Çimento.....	12
CEM V: Kompoze Çimento.	12
Çimentonun Üretimi.....	12

Mineral Katkılar.....	14
Puzolanlar.....	15
Türkiye'nin puzolanik madde kaynakları ve durumu.....	15
Puzolanların sınıflandırılması.....	15
Doğal puzolanlar.....	15
Volkanik tüfler.....	16
Volkanik tuf çeşitleri ve gruplandırılması.....	18
Türkiye'de volkanik tüflerin dağılımı.....	18
Yapay puzolanlar.....	19
Puzolanik aktivite.....	19
Kimyasal Katkılar.....	20
Akışkanlaştırıcılar.....	21
Normal akışkanlaştırıcılar (Su Azaltıcı).....	21
Süper Akışkanlaştırıcılar (Yüksek Oranda Su Azaltıcı).....	22
Hiper Akışkanlaştırıcılar.....	23
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM.....	25
Malzeme ve Yöntem	25
Malzemeler.....	25
Çimento.....	25
Mineral katkıları.....	25
Bayburt sarı tüfü (BST).....	25
Bayburt yeşil tüfü (BYT).....	28
Kimyasal Katkılar.....	30
Polikarboksilat esaslı hiper akışkanlaştırıcı-toz.....	31
Melamin esaslı süperakışkanlaştırıcı-toz.....	31
Standart CEN kumu.....	32
Su.....	32
DeneySEL Yöntemler.....	32

Kompoze imentoların hazırlanması.....	33
Taze imento hamur deneyleri.	34
Kıvam tayini deneyi.	35
Priz başlangıç ve bitiş süreleri tayini deneyi.	36
Taze imento harç deneyleri.....	36
Harç numunelerinin hazırlanması.....	36
Yayılma tablası deneyi.	37
Sertleşmiş harç deneyleri.....	38
Harç numunelerinin hazırlanması.....	38
Basınç dayanımı tayini deneyi.....	38
Su emme deneyi.	38
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM.....	40
Araştırma Bulguları	40
Standart Kıvam Suyu Tayini ve Değerlendirilmesi	40
Priz Başlangıç ve Bitiş Süresi Sonuçları ve Değerlendirilmesi	44
Çimento Harçları Üzerinde Yapılan Deney Sonuçları.....	47
Yayılma-akış testi deney sonuçları.....	47
Basınç dayanımı deney sonuçları.	49
Su emme deney sonuçları.....	52
Sonuçlar.....	55
Kaynakça.....	57
Ekler.....	62

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Çimentonun ana bileşenleri	10
Tablo 2. PÇ ana bileşenlerin özellikleri	11
Tablo 3. PÇ'yi oluşturan oksitler ve miktarları	13
Tablo 4. Bazı yörelerdeki volkanik tüflerin kimyasal analizi	17
Tablo 5. Kimyasal katkı tipinin beklenen performans şartları	24
Tablo 6. CEM I (42,5 R) çimentosunun özellikleri	25
Tablo 7. Bayburt tüfit yapılı taşların fiziksel ve teknolojik özellikleri	28
Tablo 8. Bayburt taşlarının kimyasal analizleri	29
Tablo 9. Deneylerde kullanılan suyun kimyasal özellikleri	32
Tablo 10. Öğütülmüş toz haldeki BST ve BYT'nin fiziksel özellikleri	33
Tablo 11. Numune hazırlığında kullanılan karışım tasarımında mineral katkıların oranları	34
Tablo 12. Hamur numunelerde malzeme miktarları	35
Tablo 13. Harç numunelerde malzeme miktarları	37
Tablo 14. Taze çimento harçları deney sonuçları	41

ŞEKİLLER TABLOSU

Şekil 1. Çimento hamurunun ana bileşenlerinin dayanım artışı.	13
Şekil 2. Hidratasyon aşamasında Ca(OH)_2 oluşumu.	14
Şekil 3. Portland- puzolan etkileşimi.	14
Şekil 4. Puzolanların sınıflandırılması.	16
Şekil 5. Kimyasal katkıların çimento tanecikleri üzerindeki etkisi.	22
Şekil 6. Bazı kimyasal katkıların geometrik açılımı.	22
Şekil 7. (a) Çimento-su süspansiyonunda topaklanmış çimento tanecikleri, (b) Çimento-su süspansiyonuna eklenmiş kimyasal katkının çimento partikülleri üzerindeki etkisi.....	23
Şekil 8. Bayburt Sarı Taşı (BST) görselleri.	26
Şekil 9. BST'nin mineralojik yapısı.....	27
Şekil 10. BST'nin mikroskopik görüntüsü (Taramalı elektron Mikroskobu ile çekilmiş görüntüler).	27
Şekil 11. BST'nin element (nokta/bölge element spektrumu) analizi.	27
Şekil 12. Bayburt yeşil taşı (BYT) görselleri.....	28
Şekil 13. BYT'nin minerolojik (XRD) analizi.	29
Şekil 14. BYT'ninelektron mikroskobu (SEM) görüntüleri.	30
Şekil 15. BYT'nin element (nokta/bölge element spektrumu) analizi.....	30
Şekil 16. Bazı katkı görselleri.	31
Şekil 17. Öğütülmüş toz haldeki tüflerin elek analizi.	33
Şekil 18. Kıvam deneyi toplu sonuçlarının grafiksel gösterimi (yeşil renkli sütunlar BYT'yi, sarı renkli sütunlar BST'yi sembolize etmektedir).	40
Şekil 19. Priz başlangıcı deney sonuçları grafiksel gösterimi.	44
Şekil 20. Priz sonlanma süreleri deney sonuçları grafiksel gösterimi.	45

<i>Şekil 21.</i> Karışım harçları yayılma tablası deney sonuçları.....	48
<i>Şekil 22.</i> Basınç dayanım deney sonuçları.....	50
<i>Şekil 23.</i> Karışım harç numunelerinin su emme deneyi ve porozite değerleri.	52

SİMGELER DİZİNİ

Al_2O_3	Alümin
$\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10} = \text{C}_4\text{AF}$	Tetrakalsiyum alüminoferrit
$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.3\text{CaSO}_4.31\text{H}_2\text{O}$	Etrenjit
$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6 = \text{C}_3\text{A}$	Trikalsiyum alüminat
CaCO_3	Kalsiyum Karbonat
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	Kalsiyum Hidroksit (Portlandit)
$\text{Ca}_2\text{SiO}_4 = \text{C}_2\text{S}$	Dikalsiyum silikat
$\text{Ca}_3\text{SiO}_5 = \text{C}_3\text{S}$	Trikalsiyum silikat
$\text{CaSO}_4.2\text{H}_2\text{O}$	Alçıtaşı
CaO	Sönmemiş kireç
cm	Santimetre
cm^2	Santimetrekare
cm^3	Santimetreküp
C-S-H	Kalsiyum-Silikat-Hidrat (Tobermorit)
CO_2	Karbondioksit
dk	Dakika
Fe_2O_3	Demir oksit
g	Gram
K_2O	Potasyum oksit
kg	Kilogram

km^2	Kilometrekare
m	Metre
mm	Milimetre
mm^2	Milimetrekare
mm^3	Milimetreküp
μ	Mikron
σ	Standart sapma
$\bar{x}$	Aritmetik ortalama (İstatistik analiz)
mm	Mikrometre
MPa	Mega Paskal
MgO	Magnezyum oksit
N	Newton
Na_2O	Sodyum oksit
OH^-	Hidroksil
s	Saniye
SiO_2	Silis
SO_3	Kükürt Trioksit
TiO_2	Titanyum dioksit
σ	Standart sapma
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
%	Yüzde

KISALTMALAR DİZİNİ

ACI	Amerikan Beton Enstitüsü
ASTM	American Society for Testing and Materials
BST	Bayburt Sarı Tüfü
BYT	Bayburt Yeşil Tüfü
PK	Polikarboksilat
MF	Melamino formaldehit
EN	Avrupa Standardı
MTA	Maden Tetkik ve Arama
PÇ	Portland Çimentosu
SEM	Tarayıcı Elektron Mikroskobu
TS	Türk Standardı
vd	ve diğerleri

BİRİNCİ BÖLÜM

Giriş

Zamanla artmakta olan nüfusla birlikte yeni yapılara duyulan ihtiyaçta artmaktadır. Yapılaşma ihtiyacının artması, betona ve özellikle betonun ana bileşeni olan çimentoya duyulan gereksinimde artırmaktadır. Çimento dolgu malzemelerini birbirine bağlayan en önemli bileşendir. Dünya CO₂ emisyonunun yaklaşık %8'inden sorumlu olan çimentonun kullanımının azaltılmaya çalışılması sürecinde bilim insanları öncelikli olarak mineral ve kimyasal katkıların çimentoda kullanılabilirliği üzerinde yoğunlaşmışlardır. Bu çalışmalardan birinde mineral katkıların belli oranlarda Portland klinkerinin yerine kullanılmasıyla daha çevreci ve ekonomik “Kompoze Çimento” üretimi gerçekleştirilmiştir (Massazza,1993).

Bilindiği gibi PÇ klinkeri, kalker ve kilin belli oranlarda karıştırıldıktan sonra öğütülüp yüksek sıcaklıkta (1455-1650 °C) pişirilmesiyle elde edilir. Bu sebeple klinker, çimento üretiminde en maliyetli ve en yüksek CO₂ emisyonuna sebep olan üründür (Karakurt, 2008). Bundan dolayı mineral katkı ikamesiyle klinker kullanımının azaltılması çimentonun performansını azaltmadan önemli avantajlar sağlamaktadır. Son yıllarda özellikle Avrupa ve Asya’da mineral katkılı PÇ üretimi artmış ve uzun yıllar yaygın olarak kullanılan PÇ’yi geride bırakmıştır (Mehta, & Monteiro, 2006).

Çimento suyla birleştiğinde başta hidrasyon olmak üzere katılaşmaya kadar bir dizi kimyasal reaksiyon meydana getirir. Gerçekleşen bu reaksiyonlar sırasında çimento partikülleri üzerinde jel tabakası oluşur. Bu jel tabakası çimentoya bağlayıcılık kazandıran C-S-H bağlarını oluşturur ve bu bağlar sayesinde çimento hamuru hızlı bir şekilde dayanım kazanır. Çimentoda kalsiyum silikatların hidrasyon ürünü olan C-S-H miktarı ne kadar fazlaysa dayanım da o kadar yüksek olmaktadır. Hidrasyon süreci sonunda çimento partikülleri üzerinde oluşan jelleşme sebebiyle çimento partikülleri hacimce büyür ve 2,1 katına çıkar. Çimento partiküllerinin hacimce büyümesi çimento ve agrega karışımından oluşan harç içindeki kapiler boşlukları kapatır ve bunun sonucunda dayanım artmış olur. Puzolanlar bu boşlukların kapanmasında oldukça etkilidir. Buna ilaveten puzolanlar kalsiyum silikat hidrasyonun yan ürünü olan Ca(OH)₂ ile reaksiyona girerek (puzolanik reaksiyon) yeni CSH yapıları oluşturur ki; bu da bağlayıcının kohezif yapısını iyileştirerek dayanım ve dayanıklılığı artırmaktadır. Çimento harcı 28 gün sonunda en az %90 dayanım kazanırken, aynı durum çimento yerine

puzolan kullanıldığında yani puzolanlı çimento (CEM II – V) ile üretilen harçlarda farklılık gösterir. Puzolanlı çimentolarda erken dayanımlar azalırken daha uzun süre hidrasyon süreci aktif olarak devam eder. Böylece puzolanlı çimento harçlarının 90 günlük dayanımları PC’li harçların dayanımını aşar. Bunun nedeni puzolanik reaksiyonların hidrasyon reaksiyonlarına eklenmesi ve yeni C-S-H bağlarının oluşmasıdır. Normal çimentolarda dayanımın büyük bir bölümü 28 günde gerçekleşirken, puzolanlı çimentolarda 28 günden sonra da C-S-H oluşumu devam etmekte ve dayanım artışı sürmektedir. Katılaşmayı sağlayan C-S-H jellerinin oluşumunun uzun süre devam etmesi boşluk oranını azaltarak dayanımı artırmaktadır (Erdoğan, 2003; Tekin, 2005).

Kompoze çimento üretiminde kullanılan mineral katkılar genelde üretim endüstrinin yan ürünlerindendir. Bunlardan en yaygın olanları öğütülmüş kireçtaşı, termik santral atıkları olan uçucu kül, demir-çelik fabrika atığı olan yüksek fırın cürufu ve volkanizma sonucu oluşan tuf ve traslardır. Bu malzemelerden bazıları puzolanik ve/veya hidrolik özellik gösterirken bazıları da her iki özelliğe birden sahiptir (Erdoğan, 1997). Silisli veya alüminli yapıda olup kendi başlarına bağlayıcılık özelliği olmayan, ancak öğütülüp nemli ortamda kireçle birleşimi sonucunda bağlayıcılık kazanan yapay ya da doğal malzemeler puzolan olarak adlandırılmaktadır (Yıldız, 2006). Doğal puzolanlar, volkanik kökenli tortul kayalardan oluşan volkanik tuf, tras ve diatomit gibi alümina silikatlı yapıların çökmesi sonucu oluşan malzemelerdir. Yapay puzolanlar endüstriyel bir üretimin atık ürünü olarak açığa çıkan ısıtma işlem sonucunda oluşmuş silis dumanı, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, pirinç kabuğu külü gibi atıklardır (Douglas, 1985; Ulusu, 2006). Puzolanların yeterince bağlayıcılık özelliği gösterebilmesi için amorf alümina-silika miktarının yüksek olması gerekmektedir (Erdoğan, 2003).

Ülkemiz volkanik aktivitenin yoğun olduğu ve birçok bölgede yarı aktif volkan dağlarının bulunduğu bir bölgede bulunmaktadır. Bu sebeple volkanik tuf rezervleri bakımından oldukça zengindir. Ülkemizde bulunan rezerv miktarlarının tamamı belirlenmemiş olmakla birlikte ülkemizin farklı bölgelerinde önemli doğal puzolan kaynaklarımız bulunmaktadır (Taşkın, 1999). Ancak ülkemizdeki bu kaynaklar bir bütün olarak ele alındığında endüstriye dönüşümünün yeterli olmadığı düşünülmektedir. Çimentoda yaygın olarak kullanılan katkılar granüle edilmiş yüksek fırın cürufu, uçucu kül, toz hale getirilmiş kireç taşı ve bazı volkanik kökenli doğal malzemelerden oluşmaktadır (Fragoulis, 1997). Doğal puzolan olarak en fazla kullanılan madde volkanik tuf olarak bilinen traslardır (DPT, 2001; Tekin, 2005). Günümüzde kullanılan katkı malzemelerinin çoğu puzolanik özelliğe sahiptir.

Beton teknolojisinin gelişimiyle birlikte betonda bulunan bileşen sayısı her geçen gün artmaktadır. Modern beton üretiminin vazgeçilmez malzemesi olan kimyasal katkı kimya sanayinin beton teknolojisine en önemli katkılarından birisidir. Taze veya sertleşmiş betonun bazı özelliklerini değiştirmek ve geliştirmek için karıştırma işlemi sırasında betona çimento kütesine oranla az miktarda ilave edilen malzemeler kimyasal katkı olarak isimlendirilmektedir. Bunlar genelde inorganik olup, kimyasal katkılar priz sürelerinin düzenlenmesinde, işlenebilirliği artırmada ve su miktarının düşürülmesinde etkilidirler. Kimyasal katkı olumsuz hava koşullarında betonun kalitesini koruyarak dayanıklılığı artırır. Günümüzde betonda en yaygın kullanılan kimyasal katkı türü akışkanlaştırıcılardır. Su kesme özelliğine sahip olan akışkanlaştırıcılar 1970’li yıllardan itibaren yoğun olarak betonda kullanılmaktadır. Bu katkı sayesinde su/çimento (s/ç) oranı düşük betonların üretimi mümkün hale gelmiştir (Pekmezci, & Atahan, 2014).

Taş üretimi yapılan atölye ve işletmelerde günümüzde modern yöntemlerin kullanılmaması sebebiyle büyük oranlarda atık oluşmaktadır. Özellikle volkanik tüf rezervinin yoğun olduğu Bayburt ilinde her geçen gün artmakta olan imalat, atık üretiminin de artmasına sebep olmuştur. Günümüzde bu endüstrinin açığa çıkardığı atık miktarı, teknoloji kullanımına bağlı olarak değişmekle birlikte, %60’ın üzerinde olduğu söylenmektedir. Atıkları değerlendirme adına yapılmış çalışmalardan birinde Şahin’e (2017) göre, Bayburt ili tüfleri çimento yerine belli oranlarda kullanmış ve olumlu sonuçlar elde etmiştir. Yapılan çalışma sonucunda üretilen yeni tip çimentolarla tüflerin %40’a kadar kullanılması sonucunda çevreye verilen zarar da önlenabilmektedir. Ancak üretilen çimentoların katkı oranı arttıkça su ihtiyacı da artmaktadır. Buna ilaveten üretilen yeni çimentoların kohezyonlarındaki artışı kontrol etmek gerekmekte olduğu ayrıca belirtilmiştir. Bu kapsamda öneri çerçevesindeki problemlerin giderilmesi amacıyla planlanan bu çalışmada, Bayburt ilinde bulunan yeşil ve sarı renkli tüflerle üretilmiş CEM II ve CEM IV tipi çimentoların iki farklı kimyasal katkı uyumları incelenmiştir. Bilindiği gibi çimentolarla mevcut kimyasal katkıların uyum davranışları üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. İlaveten günümüzde akışkanlaştırıcı kullanılmadan üretilen beton yoktur. Bu sebeple bu çalışmada daha önce üretilmiş *“tüf katkılı çimentoların farklı akışkanlaştırıcılar ile uyumlarının hangi derecede”* olduğu araştırma sorusu olarak oluşturulmuştur. Bu kapsamda çalışmada kimyasal katkı olarak ham halde toz yapılı melaminformaldehit ve polikarboksilat esaslı akışkanlaştırıcılar kullanılmıştır. Çalışmanın hipotezi **“farklı tür akışkanlaştırıcılar tüf katkılı çimentoların fiziksel ve mekanik özelliklerini önemli derecede etkiler”** olarak oluşturulmuştur.

Araştırma sorusu ve hipotez çerçevesinde tez çalışmasının ikinci bölümünde çimentolar, puzolanlar, puzolanlı çimentolar ve kimyasal katkı konularında literatür bilgilerine yer verilmiştir. Üçüncü bölümde deneysel çalışmaların nasıl gerçekleştirildiği anlatılmıştır. Bu kapsamda üretilen yeni tip CEM II ve CEM IV çimentolarla akışkanlaştırıcı katkı uyumlarının test edilmesi için çimento hamurları ve harçları üzerinde deneyler yapılmıştır. Çimento hamurlarının kimyasal katkı etkisinde oluşan yeni fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla TS EN 196-3'e göre standart kıvam tayini, priz süresi deneyleri yapılmıştır. Mekanik mukavemetlerini belirlemek amacıyla ASTM C109'a göre standart 5x5x5 cm boyutlu harç numuneleri üzerinde 2, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Dördüncü bölümde deney sonuçları tablolar ve şekiller halinde verilmiş ve bu sonuçlar tartışılmıştır. Son olarak tez çalışması sonuçlar ve öneriler şeklinde tamamlanmıştır.

Literatür

Bu bölümde, tezle benzer konuların işlendiği önceki yıllarda yapılmış olan akademik çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

Duda (1977), yaptığı çalışmada Portland çimentosunun dayanımındaki en önemli etkenlerden olan çimento tanelerinin inceliği olduğunu söylemiş, 3 µm - 30 µm değerler aralığında çimento dayanımını etkilediğini, 3 µm değerinden daha az incelikte olunca erken dayanım kazandığını ve hidrasyonu numunelerin üretildiği günden başladığını söylemiştir. Çimento tanelerinin 3 µm - 30 µm arasında olmasıyla da yaklaşık olarak % 40-50 aralığında dayanım artışı gösterebileceğini belirtmiştir (Delibaş, 2012 ; Tekin, 2014).

Tokyay, Erdoğan ve Türker (1999), katkılı çimento, çimento ara ürünü olan klinker yerine bir miktar mineral katkı ilave edildiğini ve sonuç olarak da katkılı çimentonun işlenebilirliği artırdığı ve dolgu malzemesi olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Kavas ve Çelik (2001), yaptıkları çalışmalarında Ayazini (Afyon) dolaylarında yüzeylenmiş tüflerin çimento endüstrisinde tras olarak kullanımı araştırmışlardır. Bu tüflerin mekanik ve fiziksel özelliklerini belirlemişler ayrıca TS 25 standartlarına da uygunluğunu kontrol etmişlerdir. Üretmiş oldukları tüf katkılı çimento örneklerinde elde edilen basınç dayanım değerleri 5,7-10,6 N/mm² arasında, eğilmede çekme dayanımları 1,4-2,5 N/mm² olduğunu bulmuşlardır. Yapmış oldukları testlerden Ayazini dolaylarındaki bu tüflerin katkılı çimentoda kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Hossain (2003), çalışmasında Papua Yeni Gine'de Tavurvur isimindeki volkanik kökenli dağda yer alan volkanik kül ve tüf tozunun çimentoda kullanılmasıyla elde edilen mineral katkılı

çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde çalışmıştır. Çimento ağırlığınca, % 2 - 50 oranlarında ikame edilmiştir. Daha sonra bu tüflerle üretilen çimento hamur ve harcında meydana gelen değişiklikler gözlemlenmiştir. Böylece kıvam, priz ve basınç dayanımını nasıl etkilediği incelenmiştir. Yapılan analizlerin sonucuna göre bu tüflerin priz süresini ileri attığı, 1, 3, 7 ve 28 gün yaşındaki numunelerin basınç dayanımlarını azalttığı ve çimento yerine ilave edilen kül ve tuf tozunun oranı arttıkça da kıvamda azalma olduğunu gözlemlemiştir. Aynı zamanda % 20 ikame oranlarının hidratasyon ısını düşürdüğünü gözlemlemiştir (Tekin, 2014).

Pan, Tseng ve Lee (2003), çalışmalarında doğal puzolanların öğütülmesiyle küçük tanecikli yapıya dönüşerek özgül yüzey alanlarında artış gözlenir ve buna paralel olarak da suya olan gereksinim de artmaktadır. Aynı zamanda ince öğütülen puzolanın küçük boşlukları kapatmasıyla da durabiliteyi arttırabileceğini belirtmişlerdir.

Alp, Deveci, Yılmaz A. O, Kesimal ve Yılmaz E. (2004), çalışmalarında Taşhane andezitik tüflerin çimentoda kullanılabilir bir katkı malzemesi olup olmadığı hakkında araştırma yapmışlardır. Bu çalışmada üretilen numunelerin mineral yapısı, petrografisi ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Yapılan analiz sonuçları malzemenin $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ toplam içeriği % 79,86 olan ve volkanik esaslı porfirik traki andezit tüfler olduğunu göstermişlerdir. Elde edilen sonuçlar bu tüflerin kireçle yaptığı puzolanik aktivitesinin TS 25' e göre istenilen tras özelliklerine sahip olduğu belirlenmiştir. Üretmiş oldukları katkılı Portland çimentoları üzerinde yapılan testlerde, bu tüflerin TS 26 da traslı çimento için verilen maddelere bakıldığında Portland çimentosu klinkerine en fazla %27 oranına kadar ilave edilerek katkılı çimentoda kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Tekin (2005), volkanik tuf kullanarak çimento harcıyla elde edilen numunelerin porozitesini bilgisayarlı tomografi yardımıyla belirlemeye çalışmıştır. Çimento harcı üretim aşamasında PÇ 42,5 çimento miktarı azaltılarak yerine ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında volkanik tufü (VT) ikame etmiştir. Hazırlamış olduğu harçları 100 günlük laboratuvar kürleme aşamasında 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 14, 21, 28, 42, 70 ve 100. günlerde bilgisayarlı tomografi ile görüntülemiştir. Porozitelerini belirlemiş olduğu çimento harçlarının, 28 ve 100 günlük basınç dayanımlarına bakmıştır. Araştırmasının sonucunda, VT ikamesini arttırdıkça basınç dayanımının ve porozitesinin azaldığını gözlemlemiştir.

Çavdar ve Yetkin (2005), çalışmalarında doğal puzolanların katkı oranlarının çimento dayanımına, işlenebilirliğine, priz süresi ve hacim genleşmesi üzerindeki etkisini

irdelemişlerdir. Deneylerde kullanmış oldukları volkanik malzeme Alaçam çevresinden (Maçka-Trabzon) temin edilmiştir. Bu ürünün kimyasal ve mekanik özelliklerini belirlemişler ve malzemenin ilgili standart için (TS 25) uygunluğunu görmüşlerdir. Doğal puzolan türü ve inceliğini sabit tutarak, ağırlıkça %0, %10, %20, %25, %30, %35 oranlarında tras bulunduran mineral katkılı çimento üretmişlerdir. Bu çalışmadan elde ettikleri bilgiler dahilinde, doğal puzolanlı çimentolar kısa süreli basınç dayanımı portland çimentosuna göre daha düşük olduğu sonucuna varmışlardır. Ancak uzun süreli dayanımlara bakıldığında ise fark giderek azalma göstermiştir. Aynı zamanda tras oranını artırmanın işlenebilirliğe katkısının olduğunu, eşit kıvamları yakalayabilmek için suya olan ihtiyacın artmakta olduğunu görmüşlerdir. Bu duruma ek olarak tras oranındaki artış priz başlama ve bitiş sürelerinin uzamasına neden olmaktadır. Buna ilaveten tras oranını artırmak çimento hamurunun hacim genişlemesini üçte iki kadar düşürdüğü sonuçlarını elde etmişlerdir (Çavdar, & Yetkin, 2005).

Yazıcıoğlu ve Demirel (2006), yaptıkları çalışmada Elazığ yöresine ait pomza türünü, çimento tanecikleriyle aynı büyüklükte olacak şekilde öğütüp ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 oranlarında beton numunelerinde çimento yerine kullanmışlardır. Bu yörede bulunan pomza ile üretilen numunelerin 3, 7, 28 ve 90 gün yaşlarındaki basınç dayanımlarını ölçmüşlerdir. Bunun yanında 28 gün yaşındaki beton numunelerine görüntü analizi yaparak poroziteyi belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlar ise pomzanın %20 oranında çimento yerine kullanılmasıyla, çimento miktarı azalır ve bu azalma nedeniyle numunelerin basınç dayanım değerlerinin düşürdüğünü gözlemlemişlerdir. Bu duruma karşın numunelerin kütleme süreleri artınca basınç dayanım değerlerindeki düşme oranının azaldığını gözlemlemişlerdir.

Yıldırım (2007), çalışmasında, Manisa-Gördes yöresine ait doğal zeolitin çimentoda katkı malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Manisa-Gördes çevresinde bulunan doğal zeoliti %0, %15 , %30 oranlarında ve doğal zeolit+süper plastikleştirici karışımını çimentoya ilave ederek katkılı çimento numuneleri üretmiştir. Üretilen iki farklı çimento hamurları fiziksel ve kimyasal özellikler açısından aralarında ve PÇ 42,5 çimentosu ile karşılaştırmıştır. Ayrıca zeolitli çimento hamurlarına X-ray difraksiyon ve SEM görüntülemesi yapmıştır. Ağırlıkça %15 oranında doğal zeolit içeren numunelerin katkılı çimentoda kullanılabilir olduğunu gözlemlemiştir.

Taban ve Şimşek (2008), bir tuf çeşiti olan zeolitik tufün çimentodaki miktarı ve deniz suyunun çimentoda oluşturmuş olduğu etkileri araştırmışlardır. ZT örneğinin kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemişlerdir. Çalışmada ZT % 0, % 10, % 20, % 30 ve %40 oranlarında CEM I çimentosu yerine ikame edilerek kullanmışlardır. Üretilen çimento

hamurlarının fiziksel özelliklerini belirlemek için priz süresi, hacim genişmesi deneylerini yapmış ve çimento harçları üzerinde 7, 28, 90 gün yaşlarındaki numunelerin eğilme ve basınç dayanımlarına olan etkilerini test etmişlerdir. Çimentodaki zeolitik tuf oranı arttıkça istenilen kıvamı elde etmek için gerekli olan su miktarının da arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca % 30 zeolitik tuf oranından sonra suya olan gereksinim büyük ölçüde artmamıştır. Çimento hamurundaki zeolitik tuf oranı %20 ve üstünde olduğunda hacim genişmesi değerinde artış gözlemlemişlerdir. Buna ilaveten %20 oranında zeolitik tuf içeren çimento hamurunda priz başlama ve bitiş süreleri daha kısa zamanda gerçekleşmiştir. 7, 28 ve 90 gün yaşlarındaki en yüksek eğilme ve basınç dayanım değerlerini kontrol numunelerinde, en düşük dayanımları ise %40 zeolitik tuf içeren karışım numunelerinden elde etmişlerdir. Zeolitik tuf eğilme dayanımına olumlu yönde etkisi ancak 90 gün ve üzeri yaşlarda olduğunu görmüşlerdir. Elde edilen numunelerin mukavemet değerini en yüksek kontrol numuneleri daha sonra %10 zeolitik tuf içeren çimento harçları vermiştir.

Tekin (2014), çalışmasında farklı inceliklerdeki mineral katkı ve iki ayrı firmadan alınan aynı tip kimyasal katkılarla elde edilen kompoze çimentoların fiziksel yapısı ve mekanik mukavemetleri açısından incelemiştir. 63 ve 125 µm incelikte puzolanik özelliğe sahip, öğütülmüş olan Bayburt Taşı ve Yatağan Termik santralinden temin edilen Taban külünü çimentoya belli oranlarda ikame ederek kullanmıştır. CEM I çimentosuna % 0, 10, 20 ve %30 oranlarında ikamesiyle elde edilen çimento hamur ve harçları üzerinde kıvam, priz, genişleme ve yayılma deneylerini yaparak basınç mukavemet değerlerini belirlemiştir. Bu çalışma sonucunda mineral katkıların inceliklerinin farklı olması özgül yüzey alanını etkilediği, çimento harçlarında bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini de büyük ölçüde değiştirdiğini gözlemlemiştir. Çimento hamurunda kullanılan mineral katkı ikame oranı arttıkça standart kıvam su ihtiyacı artar ve priz sonu için geçen süreyi de uzatmıştır. %10-%20 oranları arasında Bayburt taşı ve taban külü ile elde edilen katkılı çimentolar 28 gün boyunca kürlenme işlemi yapıldığında kıyaslanabilir sonuçlar vermiştir. Çimentoda farklı inceliklere sahip mineral katkı kullanımı yüzey alanını artırdığından basınç dayanım değerlerinin de yükselmesine neden olmuştur. Ayrıca Portland çimentosu yerine Bayburt taşı ve taban külü ikame edilmesiyle çimento hamurunun hacim genişmesinde büyük ölçüde değiştirmedeği sonucuna varmıştır.

Tuncer (2014), çalışmasında Gümüşhane yöresine ait volkanik kayaların puzolanik özelliklerini araştırmıştır. Gümüşhane çevresinde bulunan volkanik kayaların mineral yapısı, petrografisi ve kimyasal özelliklerini incelemiştir. Çimento harçlarında kullanmak üzere andezit, dasit ve volkanik tüflerden elde edilen puzolanları Gümüşhane civarındaki Aysima, Süleymaniye, Tekke, Refene bölgeleri ile Bayburt ilinden almıştır. Bu bölgelerden temin edilen

volkanik tüfler 90  m büyüklüğünde    t lerek deney numunelerinde kullanmıştır. Çimento a ırlı ınca %0, %10, %20, %30, %40, %50 oranlarında ikame katılarak harçlar üretmiştir. Çimento harçları ile elde edilen numunelerin 7, 28 ve 90 gün yaşındaki mukavemetleri ve ultrases geçiş hızı değerleri saptanmıştır. Bu  alışma sonucunda, volkanik tüflerin puzolanik akvitesinin iyi olması, kolay    t lebilmesi ve basınc dayanamının istenilen düzeyde olması katkılı çimentoda kullanılabilir malzemeler olduğunu göstermiştir. Ayrıca  imento yerine kullanılan tras oranını artırmak erken dayanımları düşürdüğünü gözlemiştir. Sonuç olarak puzolanların %10 değerinde kullanımı en uygundur sonucuna varmıştır.

Atan (2015),  alışmasında Kapadokya Bölgesi doğal tüfünün, mekanik ve fiziksel yapılarını incelemiş, katkılı  imento üretiminde kullanılabilirliğini araştırmıştır. Deneysel çalışmalarda %0, %25 ve %50 oranlarında puzolan kullanarak elde edilen katkılı çimentoya gerekli testler uygulanmıştır. Bu yapılan test sonuçlarına göre bu tüflerin %50 oranına kadar çimentoda katkı malzemesi olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Puzolanik özelliğe sahip bu malzemeler belirli inceli e ulaştığında alkali agrega riskini azaltmıştır. Ayrıca hidratasyon ısısı da artan puzolan miktarıyla azaldığını gözlemlemiştir. Buna ek olarak artan puzolan miktarıyla beraber, su ihtiyacının da arttığını, ilk ve son priz sürelerinin de uzadı ı sonuçlarını elde etmiştir. Kapadokya bölgesine ait t f katkılı çimentolarda, erken dayanımının azaldığını ancak 90 ve 180 gün sonrasında basınc dayanam artışının devam ettiğini gözlemlemiştir.

şahin (2018), çalışmasında CEM II ve CEM IV  imento çeşitlerini  retilibilmesi, portland çimentosunun maliyetlerinin düşürülmesi ve çimentonun bazı özelliklerinin geliştirilebilmesi için Bayburt taşı olarak bilinen sarı, yeşil ve beyaz t flerini kullanmıştır. Bu bağlamda malzemenin %90'ı 45  m    tm şt r. Üç farklı renkte bululunan bu tüfler çimentoya %0, %5, %10, %15, %20, %30 ve %40 oranlarında ikame etmiştir. Üretmiş olduğu  imento hamurlarına kıvam, priz ve genleşme deneylerini yapmıştır. 2, 28, 90 ve 270 günlük eğilme ve basınc dayanımları ile 2, 28 ve 90 günlük su emme, kapiler su emme ve yüksek sıcaklık deneyleri yapmıştır. Çalışma sonucunda düşük su emme oranına sahip Bayburt taşı olarak bilinen bu tüflerin katkılı çimentoda kullanımının uygun olduğunu belirlemiştir.

İKİNCİ BÖLÜM

Kuramsal Temeller

Çimento

Çimentonun tanımı.

Betonun en önemli bileşeni olan çimento, içerisinde sitekiometrik oranlarda SiO_2 , Al_2O_3 , CaO ve Fe_2O_3 bulunan hammaddelerin sinterleşme sıcaklığına kadar pişirilmesi sonucunda üretilen klinkerin alçıtaşı eklenerek öğütülmesiyle elde edilen bir hidrolik bağlayıcıdır. Suyla karıştırıldığında hava ve suda katılaşabilen çimento, katılaştıktan sonra suya ve olumsuz hava şartlarına dayanıklı bir malzemedir. TS EN 197-1'e göre çimentolar CEM I, CEM II, CEM III, CEM IV ve CEM V şeklinde isimlendirilmiştir. Çimentolar agrega ve suyla uygun koşullarda karıştırıldığında belli bir süre işlenebilirlik gösterirken uzun süre hacim sabitliğini korumaktadır. Çimentolar beton ya da harç üretiminde kullanılarak zamanla artan dayanımlar kazanır (Ünsal, & Şen, 2008; Tekin, 2014).

Çimentonun tarihçesi.

Çimento kelimesi Latince'de bağlayıcı anlamına gelen "caementum" kelimesinden türetilmiştir. İnsanlık tarihinde bağlayıcı olarak kullanılan ilk malzemeler kireç ve alçıdır. Eski Yunanlılar ve Romalılar kireç ve puzolanı bağlayıcı olarak kullanan ilk toplumlardır. 1824'te İngiltere'nin Leeds şehrinde, duvarcı ustası olan Joseph Aspdin hazırlamış olduğu ince taneli kil ve kalker karışımını pişirdikten sonra öğüterek bağlayıcı bir malzeme elde etmiştir. Aspdin çimento üretiminin patentini 1824'te almıştır. İngiltere'nin Portland adasından elde edilen yapı taşlarına benzemesinden dolayı "Portland Çimentosu" adını almıştır. 1845'te İngiliz Isaac Johnson hammaddeleri daha yüksek sıcaklıklarda pişirmiş ve çimentonun esas üretim işlemini belirlemiştir (Bilge, 2008; Nas, 2012; Şafak, 2014). İngiltere'de 1848'de ilk defa çimento fabrikası kurulmuş, 1860'da ilk Alman çimento standardı oluşturulmuştur. Ancak modern PÇ üretimi 1950'lerden sonra başlamıştır (Bilge, 2008).

Çimento çeşitleri.

TS EN 197-1'e göre çimentolar aşağıda verildiği gibi beş ayrı sınıfa ayrılmıştır.

- ✓ CEM I - Portland Çimentosu
- ✓ CEM II – Portland Kompoze Çimento
- ✓ CEM III - Yüksek Fırın Cürufu Çimento
- ✓ CEM IV - Puzolanlı Çimento

- ✓ CEM V - Kompoze Çimento
Çimentoların kimyasal özelliklerindeki limitler ise aşağıdaki gibi olmalıdır:
- ✓ CEM I ve CEM III sınıfına ait bütün çimento tiplerinin, kızdırma kaybı $\leq \%5,0$ olmalıdır.
- ✓ CEM I ve CEM III sınıfına dahil bütün çimento tiplerinde, çözünmeyen kalıntı $\leq \%3,5$ olmalıdır.
- ✓ CEM I sınıfına dahil çimentoların SO_3 miktarı $\leq \%3,5$ olmalıdır.
- ✓ CEM IV ve CEM V sınıfına dahil çimentoların SO_3 miktarı $\leq \%4,3$ olmalıdır.
- ✓ Bütün çimento tipleri için klor muhtevası $\leq \%0,1$ olmalıdır (Erdoğan, 2003).

CEM I: Portland çimentosu (PÇ).

Ülkemizde en yaygın kullanılan CEM I çimentosu, PÇ klinkerinin %3-6 oranında alçıtaşı ile öğütülmesi sonucunda elde edilir (Neville, 1995). CEM I çimentolar arasında önemli bir yere sahiptir. Çünkü dünyada üretilen çimentoların %90'ını oluşturur. Her türlü beton imalatı için uygundur (Mindess, & Young, 1981; Dayı, 2006). PÇ klinkeri içinde 4 ana bileşen bulunmaktadır ve bu bileşenler çimentonun fiziksel ve mekanik özelliklerini kontrol etmektedir. Bu bileşenlerle ilgili bazı bilgiler aşağıda verilmiştir.

Tablo 1. Çimentonun ana bileşenleri

Ana Bileşenler	Kimyasal Formülü	Çimentodaki formülü
Dikalsiyum silikat	$2CaO.SiO_2$	C_2S
Trikalsiyum silikat	$3CaO.SiO_2$	C_3S
Trikalsiyum alüminat	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A
Tetrakalsiyum alüminoferrit	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF

Trikalsiyum silikat, ($3CaO.SiO_2:C_3S:Alit$) klinkerin en önemli minerali olan Alit çimentonun mukavemet değerlerini belirleyen en önemli yapıdır. Bu bileşen bağlayıcılık özelliğinde oldukça etkin ve çimentoya erken dayanım kazandırmaktadır (Demirer, 2009; Tekin, 2014).

Dikalsiyum silikat, ($2CaO.SiO_2:C_2S:Belit$) çimentonun nihai dayanım kazanımında etkindir. Su ile etkileşimi yavaşır düşük oranda da ısı çıkarır. Yüksek bağlayıcılık özelliği ileriki yaşlarda kendisini gösterir (Demirer, 2009; Tekin, 2014).

Trikalsiyum alüminat, ($3CaO.Al_2O_3:C_3A$) %15'i nadiren aşar genellikle %9-12 miktarlarda bulunmaktadır, çimento karakteristiği üstünde önemli rolü vardır. Klinker içinde

bulunun alüminatların en belirginidir. Amorf ve açık gri dikdörtgen prizmatik kristaller halindedir. Akışkanlık üzerinde etkilidir, nihai dayanım üzerinde etkin değildir. Su ile çok hızlı reaksiyona girip çok fazla ısı açığa çıkarır, çimentonun erken priz almasını sağlar, bu etkiyi azaltmak için klinkere bir miktar alçıtaşı katılır (Demirer, 2009; Tekin, 2014).

Kalsiyum alüminoferrit, ($4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3:\text{C}_4\text{AF}$) çimentonun rengini etkileyen bileşendir. Çimentonun renk koyuluğunu da belirleyen C_4AF değeri ile doğru orantılıdır. Erken dayanım üzerinde yüksek oranda etkilidir. Su ile reaksiyonu fazla olmayıp bağlayıcılık değeri azdır (Demirer, 2009; Tekin, 2014).

PÇ ana bileşenlerinin çimentonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkileri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. PÇ ana bileşenlerin özellikleri

Etki mekanizmaları	Çimento Özellikleri			
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
Reaksiyon Hızı	Orta	Yavaş	Hızlı	Orta
Hidratasyon Isısı	Orta	Az	Çok	Orta
Bağlayıcılık Değeri				
İlk Zamanlar	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük
Sonunda	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük

CEM II: Portland-kompoze çimentosu.

CEM II/A ve CEM II/B tipi olmak üzere 2 farklı tipte üretimi yapılır. CEM II/A en fazla %20, CEM II/B en fazla %35 oranında mineral katkı maddesi içerir. Klinker yerine kullanılan katkı miktarlarının artışına bağlı olarak dayanımları azalmaktadır. İlk dayanımlarının düşük olmasına rağmen ilerleyen zamanlarda puzolanik aktivite sebebiyle dayanımlarında artış meydana gelir. Erken kalıp gereken yerlerde ve soğuk havalarda kullanıma uygun değildir (Gürü, & Yalçın, 2006).

CEM III: Portland yüksek fırın cürufu çimento.

İçerisindeki değişik cüruf miktarına bağlı olarak 3 farklı tiptedirler. %35- 65 oranında yüksek fırın cürufu içerenler CEM-III/A, %66-80 oranında yüksek fırın cürufu içerenler CEM-III/B ve %81-95 oranında yüksek fırın cürufu içerenler CEMIII/C olarak adlandırılır. Hidratasyon ısısının düşük ve dayanıklılığının yüksek olması nedeniyle CEM-III/A ve CEM-III/B tipi çimentoları, kimyasal etkilere dayanıklı beton üretimi için uygundur.

CEM IV: Puzolanik çimento.

CEM IV çimentosunda kullanılan puzolanik katkı oranı %11-55 arasındadır. Cüruf eklentisi belli oranlarda bulunmaktadır. Bu çimentolar hidrasyon ısısını düşürdüğü için daha çok kütle betonlarında kullanılmaktadır. Ayrıca betonun geçirimsizliğini azaltarak betonda oluşacak kimyasal etkilere karşı betonu koruyucu etkiye sahip çimentolardır. (Gürü, & Yalçın, 2006).

CEM V: Kompoze çimento.

En az iki veya daha fazla puzolanın bir araya gelmesiyle oluşan ve yüksek puzolanik etkiye sahip çimentolardır. Puzolanik katkı oranı %18-50 olan bu çimentolar su etkisine karşı dayanıklı olup deniz içi yapıların inşasında ve kütle betonlarında kullanımı uygundur (Gürü, & Yalçın, 2006).

Çimentonun üretimi.

Kil ve kalker belirli oranlarda harmanlandıktan sonra yaklaşık 1650 °C sıcaklıklarda pişirilmesiyle PÇ klinkeri üretilir. Kalker yüksek sıcaklığa maruz kaldığında ayrışması sonucu CaO, aynı şekilde kil ayrıştığında ise SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ bileşenlerini oluşturmaktadır. Ancak kil içerisinde bulunan SiO₂ ve Fe₂O₃ bileşikleri yeterli miktarda olmadığında ise kil malzemesine demir cevheri ile kuvars kumu ilavesi yapılmaktadır (Ramachandran, 1995). Belli sıcaklıklarda oluşan yeni yapılar sıcaklığın daha da artmasıyla birleşerek silikatları ve alüminatları meydana getirir ve sonrasında fırından çıkan gri renkli küçük tanelere dönüşür. Bu taneler klinker olarak adlandırılmaktadır. Çimento ana maddesi olan klinker soğutma işlemi sonrasında öğütülmektedir. Klinker öğütme işlemi sırasında çimento priz sürelerini ayarlamak amacıyla klinkere %3~5 oranında alçıtaşı ilavesi yapılmaktadır. Öğütülen bu malzemeler 90 µ'un altında olduğunda ise bağlayıcılığı olan çimento haline gelir (Postacıoğlu, 1986; Özkul, Taşdemir, & Topyay, 1999; Tekin, 2005). Üretilen çimentoların kimyasal yapısı Tablo 3'te verildiği gibi oluşmaktadır. Ancak bu oksidal yapı klinker bileşenlerinin oranlarının hesaplanmasında anlamlıdır. Bu hesaplama Bogue formülleri kullanılarak yapılabilir (Postacıoğlu, 1986).

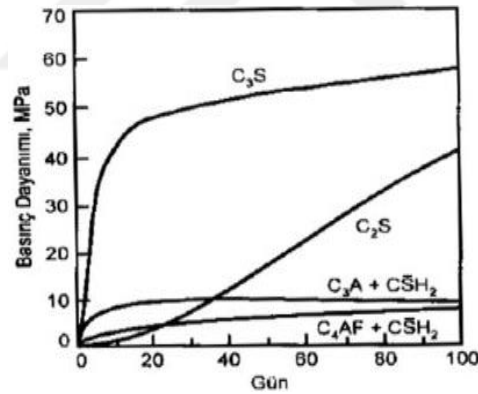
Çimento üretimi sırasında en fazla enerji klinker oluşum aşamasında harcanır. Klinker oluşumu için en az 1350°C sıcaklığa ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kadar yüksek sıcaklığa ulaşmak için ortalama 800°C'ye kadar ön ısıtma işlemi yapılmaktadır (Hewlett, 2004). Çimento üretimi, klinker oluştuktan sonra malzemelerin öğütülmesiyle biter. Böylece çimentonun birçok fiziksel özelliklerinin de belirlenmesini sağlar (su ihtiyacı, başlangıç ve son basınç dayanımları, priz

alma vb.). PÇ'nin öğütme aşamasında klinker sadece bir miktar (%3-6) alçıtaşı ile öğütülür. Ancak katkılı çimentolarda birlikte öğütme ve ayrı ayrı öğütme olmak üzere iki şekilde öğütme işlemi gerçekleşir. Birlikte öğütmede PÇ klinkeri+mineral katkı+alçıtaşı öğütülür, ayrı öğütme işleminde ise PÇ ile alçı taşı beraber öğütülür, daha sonra mineral katkı ilave edilir (Tokyay, Erdoğan, & Türker, 1999).

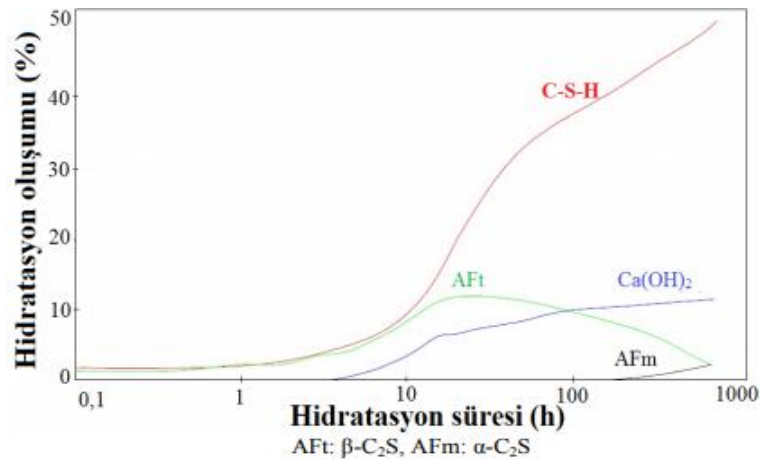
Tablo 3. PÇ'yi oluşturan oksitler ve miktarları (Mehta, & Monteiro, 2006)

Oksit	Kısaltma	Miktarı (%)	Bileşik	Kısaltma
CaO	C	60-67	3CaO.SiO ₂	C ₃ S
SiO ₂	S	17-25	2CaO.SiO ₂	C ₂ S
Al ₂ O ₃	A	3-8	3CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A
Fe ₂ O ₃	F	0.5-6	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C ₄ AF
MgO	M	0,1-4	4CaO.2Al ₂ O ₃ .SO ₃	C ₄ A ₃ $\bar{S}$
SO ₃	$\bar{S}$	1-3	3CaO.2SiO ₂ .3H ₂ O	C ₃ S ₂ H ₃
H ₂ O	H		CaSO ₄ .2H ₂ O	CH ₂ $\bar{S}$

Şekil 2'de görüldüğü gibi hem C₃S hem de β -C₂S'nin hidratasyonu devam etmesi sebebiyle C-S-H fazının oluşumu sürer. Belli bir süreden sonra β -C₂S'nin azalmasıyla, Ca(OH)₂ oluşum hızında azalır (Rassem B et al, 1986).



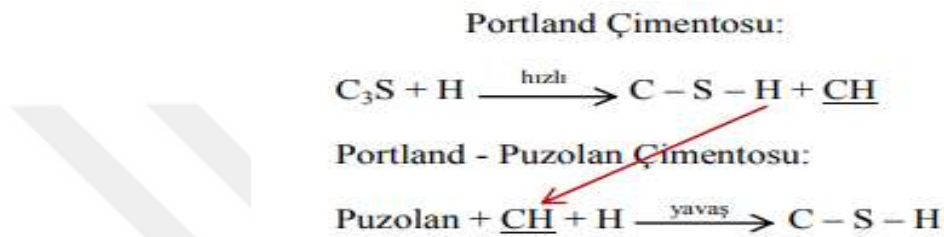
Şekil 1. Çimento hamurunun ana bileşenlerinin dayanım artışı (Erdoğan, 2003).



Şekil 2. Hidratasyon aşamasında Ca(OH)_2 oluşumu (Odler, 2004).

Mineral Katkılar

Betonun birtakım özelliklerini geliştirerek uzun süreli dayanım kazanmasını sağlayan ince öğütülmüş halde kullanılan doğal ya da yapay malzemelerdir. Mineral katkıların büyük bir bölümü puzolanik aktiviteye sahiptir. Puzolanlar öğütülmüş halde uygun ortam koşullarında kireç ile karıştırıldıktan sonra bağlayıcılık kazanırlar (Neville, 1995). Mineral katkıları kimyasal reaksiyona girerek hidratasyon ürünü olan C-S-H bağlarını oluşturması sonucu puzolanik davranış gösterirler. PÇ ile Portland-puzolan çimentoları mukayese edilerek (C-S-H oluşumu) aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3. Portland- puzolan etkileşimi (Mehta, & Monteiro, 2006).

PÇ'nin suyla hidratasyonu sonucu oluşan Ca(OH)_2 ile toz hale getirilmiş puzolan nemli ortam şartlarında reaksiyona girerek C-S-H bağlarını oluşturur. Kimyasal reaksiyon sonucu oluşan C-S-H bağları sayesinde dayanım artar (Türkmenoğlu, & Tankut, 2001).

Puzolan katkılı ve yüksek fırın cürufllu çimentoların kullanılma nedenlerini üç özellikte sıralayabiliriz.

1. Puzolanik reaksiyonun yavaş bir şekilde olduğundan dolayı, hidratasyon sonucu ortaya çıkan ısı ve dayanımın aşamalı olarak artış göstermesi.
2. Puzolanik reaksiyonda oluşan Ca(OH)_2 tüketimi üretiminden daha fazla olmaktadır. Bu sebeple asidik ortamda suyun etkisiyle hidrate olan çimento hamurunun dayanıklılığını etkilemektedir.
3. Puzolanların ince öğütüldükleri için ortaya çıkan reaksiyon ürünleri sayesinde kapanan kapiler boşluklar geçirimsizliği olumlu yönde etkilemektedir. Ayrıca mineral katkılı çimentoların özgül yüzey alanları PÇ özgül yüzey alanından daha büyüktür. Bu sebeple puzolanlı çimentoların su ihtiyaçları PÇ'ye göre daha fazladır (Shannag, 2000; Mehta, & Monteiro, 2006).

Puzolanlar.

Puzolanlar, kendi başlarına bağlayıcılık özelliği olmayan ancak ince öğütüldüğünde kireçle nemli ortamlarda reaksiyona girerek bağlayıcı bileşenler oluşturan alümina silikatlı yapılara puzolan denir. Kaynakları ne olursa olsun puzolanların esasını, silis oluşturur. Puzolanik özelliklere sahip olan malzemeler %40-90 SiO₂ içerebilir. Ancak puzolan içeriğindeki SiO₂ oranı en az %25 olması gerekmektedir. Doğada bulunan bu mineraller toz hale getirildikten sonra kireç ve su ikamesi sonucunda hidrolik bağlayıcılık kazanmaktadır (Akman, 1990; Tuncer, 2014).

Türkiye'nin puzolanik madde kaynakları ve durumu.

Türkiye'nin her bir coğrafi bölgesinde tras kaynakları geniş bir alana sahiptir. Ülkemizin yüzölçümünün yaklaşık 1/5'i volkanik kayaçlı oluşumlardır. Bu da ülkemizin, tras hammaddesi bakımından oldukça zengin olduğunu göstermektedir. Ülkemizde tras içerikli çimento üretimi belli yıllar aralığında artmıştır. 1985 – 1990 yıllarında üretilen çimentoların %14,6 kadarı tras içerirken, 1992 – 1994 yıllarında ise %36,31 olmuştur (Okucu, 1998; Tuncer, 2014). Doğal oluşumlu puzolanik malzemelerin yapısı volkanizmanın oluşum şekli ve zamanı ile yakından ilgilidir. Türkiye'de puzolanlar geniş yer kaplamasının yanında günümüzde kalite ve potansiyelleri hakkında yeterli bilgiye ulaşılamamıştır (Tokyay, & Erdoğan, 1997; Tuncer, 2014).

Puzolanların sınıflandırılması.

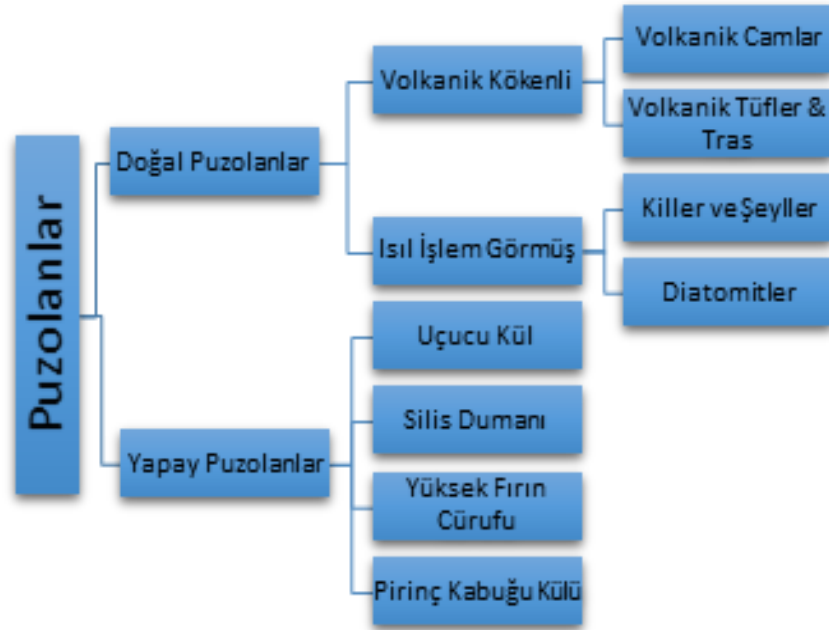
Puzolanlar farklı şekil ve yöntemlerle sınıflandırılmaktadır. Genellikle doğal ve yapay puzolan olmak üzere iki grup halinde sınıflandırılır. Puzolanların sınıflandırılması Şekil 4'te gösterilmiştir. Puzolanların sınıflandırılması sanıldığı kadar kolay değildir. Farklı oluşumlarla meydana geldikleri için kimyasal yapıları da farklılık gösterir. Mineral yapısı ve jeolojik geçmişleri de ayrı ayrı incelenerek sınıflandırılır (Massazza, 1998; Ulusu, 2006). Tüm puzolanlar, puzolanik aktivitelerine göre üç bileşenden meydana gelmektedir. (Leckebush, 1984)

1. Aktif tertip maddeleri: Az ya da çok değişmiş cam fazları, opal, silisli toprak, zeolitler.
2. Atıl bileşenler: Zeolitlerden farklılık gösteren kristal fazları (augit, piroksen ve saf çini).
3. Zararlı (istenmeyen) bileşenler: Organik maddeler, kalay ve karbon maddeleri.

Doğal puzolanlar.

Ülkemizde tras olarak da bilinen puzolanlar volkanik kökenli tortul kayaçlardan meydana gelmektedirler. Doğal puzolan sınıfında olan volkanik kül ve tüfler dışında moleküler

yapıda olan diyatome toprak da bu sınıfta yer almaktadır. Bu topraklarda silisli alglerin izleri bulunmaktadır. Bunun yanında yüksek sıcaklıklara maruz kalmış killeri de doğal puzolan olarak adlandırılmaktadır. Kil bileşenleri arasında silika ve alümina olmasına rağmen doğal haldeyken puzolanlık özellikleri yoktur. Bu durum killerin kristal yapıda olmasıyla açıklanabilir. Bu kristal yapının ortadan kalkması için kilin yüksek sıcaklıklara maruz kalması gerekmektedir. Yüksek sıcaklığa maruz kalmış killerdeki bu kristal yapı yerini amorf yapıya bırakıp puzolanik özellik kazanırlar (Erdoğan, 2007).



Şekil 4. Pozolanların sınıflandırılması.

Puzolanlarda zeolit ve volkanik cam oranının fazla kil oranının düşük olması kaliteyi artırır. Kil mineralleri ancak yüksek sıcaklığa maruz kaldıklarında puzolanik davranış gösterirler (Tuncer, 2014). Doğal puzolanlar toz hale getirildikten sonra bağlayıcı olarak farklı amaçlarla kullanılmaktadır (TS 25, 1975; Tuncer, 2014).

Volkanik tüfler.

Volkanik tüfler, yanar dağların patlaması sonucu püsküren magmanın atmosfere atılmasıyla meydana gelen zamanla tabakalaşan çökelti kayalardır. Yer kabuğu derinliklerinde oluşan magma basınç ve sıcaklık altında sıkışarak çeşitli gaz ve çözeltiler içermektedir. Magmadaki farklı silikatlar kimyasal ve fiziksel değişikliğe uğrayarak kristalleşir. Tamamen kristalleşmeyen magma fay hatlarında oluşan kırıklar yardımıyla atmosfere ulaşır bir anda oluşan basınç ve sıcaklık farkı etkisiyle de hızlıca soğur. Yeryüzüne ulaşan bu yapılar katılaşarak camsı ya da yarı camsı hale gelirler. Volkanik malzemelerin yeryüzünde katılaşması

volkanizmanın yapısı ve ortam şartlarına göre farklılık gösterebilmektedir. Volkanik tüfler hava etkisine maruz kaldıklarında camsı yapıları değişerek zeolitleşmekte ve böylece tüflerin puzolanik özelliğinde artış olmaktadır (Liebig, 1998; Sınıksaran, 2012).

Ülkemizdeki bütün volkanik arazilerde tüfit kayaçlara rastlamak mümkündür. Bu kayaçlar andezit, dasit ve trakitler arasında veya genelde birlikte bulunurlar. Ocakta iken yumuşak olan bu kayaçların işlenmeleri kolaydır. Ancak, bunlar açık havada kaldıkça su içeriğinin bir kısmını kaybettiğinden dolayı daha dayanıklı bir durumda olabilmektedirler. (Sınıksaran, 2012).

Ülkemizdeki tüflerin kimyasal yapısı yöresel olarak farklılık gösterse de yakın kimyasal içeriklere sahiptirler. Türkiye'nin çeşitli yerlerinde bulunan volkanik tüflerin kimyasal bileşimi aşağıdaki Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Bazı yörelerdeki volkanik tüflerin kimyasal analizi (Sınıksaran, 2012)

Oksitler	Gölcük Yöresi	Nevşehir Yöresi	Van-Bitlis Yöresi	Dünyanın 80 farklı yöre ortalaması
SiO ₂	61.55	68.50	69.00	70.38
Al ₂ O ₃	15.50	14.00	14.65	15.82
Fe ₂ O ₃	6.05	3.00	2.50	1.50
CaO	2.24	1.50	1.10	1.56
MgO	2.40	1.40	0.53	0.48
Na ₂ O	3.30	3.25	3.50	3.70
K ₂ O	3.43	3.50	3.50	4.10
TiO ₂	0.40	0.25	0.38	-
SO ₃	0.94	0.002	0.40	-
Kızdırma Kaybı	1.40	3.90	4.63	3.62

Doğal puzolanların çimento üretiminde katkı malzemesi olarak kullanılması bazı avantajlar sağlamaktadır. Öncelikle hidrasyon ısını düşürmesi uzun süreli dayanımları artırması, ince malzemeler olması sebebiyle geçirimsizliği azaltması, sülfat etkisine karşı dirençli ve alkali-silika reaksiyon riskini azaltan avantajları bulunmaktadır (Mather, 1994). Çimento üretiminde mineral katkı olarak kullanılan volkanik tüflerin çimentodaki oranı arttıkça erken dayanım düşer ancak ilerleyen zamanlarda ise puzolanik aktivite artarak devam eder bu durum çimento nihai dayanımının artmasına neden olmaktadır (Hossain, 2003). Doğal puzolanların sağladığı avantajlar yanında dezavantajları da bulunmaktadır. Mineral katkılı çimentolarda suya olan ihtiyaç normal çimentolara göre daha fazla olmakta ve bu durum erken dayanımı düşürmektedir. Puzolanların bu özelliğinden dolayı katkılı çimento üretiminde kullanılan puzolan oranı %30 ile sınırlandırılmıştır (Uzal, & Turanlı, 2003).

TS-25'e göre volkanik tüflerin mineral katkı olarak betonda kullanılma şartı içeriğinde bulunan $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ bileşenler toplamının minimum oranı %70 olması gerekmektedir.

Volkanik tüf çeşitleri ve gruplandırılması.

Volkanik tüfler doğada her zaman taneler halinde bulunmazlar. Volkanizma sonrası kül, kum ve lav gibi malzemeler koni şeklinde, fazla akışkan olmayan lavlar tabakalar halinde bazik karakterli lavlar ise kalkana benzer şekilde birikirler. Tüfler yeryüzünde biriken malzeme özelliklerine göre isimlendirilerek ayırt edilmiştir. Çimento, kireç veya alçı gibi hidrolik bağlayıcılarla birlikte kullanıldığında her bir bağlayıcının özelliklerini iyileştiren tüfler “tras” olarak isimlendirilmektedir. Bu tüfler parçalar halinde yüksek sıcaklıkta iken su buharı etkisiyle hızlıca soğuyarak piroklastik malzeme haline gelir. Bu çeşit tüflerde ani soğumadan dolayı camsı kısımlar diğerlerinden fazladır. Aktivitelerinin artımı ince olarak öğütölmelerine bağlıdır. Genellikle yeraltı su seviyesinin altındaki kısımlarda bulunan traslı tüfler taneli ve ince bloklaşmış hallerde bulunurlar. Piroklastik malzeme çökmesiyle araya volkanik olmayan diğer parçalar karışır ve tüfit adı verilen yeni kayaçlar ortaya çıkar. Tüfitler farklı miktarlarda kil, karbonat gibi malzemeleri içermektedir. Bir başka tüf türü olan ponza taşı volkanizma sonucu oluşmuş aynı zamanda inşaat sektörü dışında tarımsal faaliyetlerde yaygın olarak kullanılan tüflerdir (Doruk, 1974; Arıcı, 1997; Ertek, 2008; Sınıksaran, 2012).

Türkiye’de volkanik tüflerin dağılımı.

Türkiye’nin birçok yerinde görülebilen volkanik tüfler en çok İç Anadolu Bölgesinde karşımıza çıkmaktadırlar. Özellikle Ankara, Eskişehir, Kayseri ve Adana illerinde farklı mineraller içeren volkanik tüflere rastlamak mümkündür. Bu volkanik malzemeler genelde bazaltik ya da andezitik lavlardan meydana gelmişlerdir. Batıdan başlayıp doğuya doğru ilerleyen volkanizma sonucu oluşan tabakalaşmalar Malatya civarında ikiye ayrılır. İki kısma ayrılan tabakalardan biri Bitlis-Hakkari istikametinde yer alırken diğeri de Tunceli-Ağrı doğrultusunda yer almaktadır. Bu alanlardaki tabakaların güneydoğu ve kuzeye bakan kısımlarında yer yer yıkıma uğramış büyük volkan konileri bulunmaktadır. Nemrut, Süphan ve Ağrı yanardağları bu alanlardaki dağlardan bazılarıdır. Buradaki volkan konileri dışında fayları takip eden lav oluşumları yüksek dağlar boyunca devam etmektedir. Yeni oluşumlu volkan arazilerinin bazı bölgelerinde yerel olarak bazılarında ise daha sınırlı ölçülerde farklı kalınlıklarda ara tabakalar halinde tüfler bulunur. Malatya-Bitlis-Hakkari yönünde uzanan Doğu Toros bölgesinin güney kısmında bazaltik lavlar bulunmaktadır. Güneydoğuda miktarca az kütleyle sahip tüfler dışında volkanik alanlar çoğunlukla bazalt türünden volkanik kayaçlar olarak gösterilir. Toroslardan eski masif alanlara doğru özellikle geçiş yerlerinde volkanik

kayaçlara rastlanmaktadır. Küçük volkanik koniler çoğunlukla tuf ve cüruftan meydana gelmiştir. Tüflerin yoğun olarak bulunduğu, yörelerimiz ise Göreme, Kayseri, Ihlara ve Afyon'dur. Kula ve Aşağı Gediz çevresinde ise volkanik alanlar bulunmaktadır. Bu yörede sekiz küçük koni ile elli üç volkan bölgesi belirlenmiştir. Ayrıca Aşağı Gediz çevresi ile İzmir-Bergama Akhisar arasında kalan Dumanlı Dağ yanardağı içinde dışa eğimli lav, tuf ve cüruflar katmanlar halinde bulunmaktadır. İzmir-Foça çevresinde yer alan Şaphane Dağı dışa eğimli lav ve tuf tabakalarından meydana gelmiştir. Marmara bölgesi volkanik alan bakımından önemli bir yere sahiptir. Kütahya, Balıkesir, Çanakkale yöresi özellikle volkanik sahaların yoğun olduğu yerlerdir. Bu bölgelerde andezit tüfler yaygındır. Ayrıca Trakya'da Enez çevresinde volkanik tuf alanları yer almaktadır (Doruk, 1974 ; Arıcı, 1997 ; Sınıksaran, 2012).

Yapay puzolanlar.

Doğal oluşumlu olmayan puzolanlar endüstriyel atıklardan elde edilmektedir. Doğal puzolanlarda olduğu gibi oksitli bileşenlere sahiptirler. Kalsiyum oksit, magnezyum oksit, silisyum dioksit, alüminyum oksit ve demir oksit gibi bileşenlere sahip olduğundan puzolan olarak adlandırılmıştır. Bazı imalatların ısıtma işlem görmüş atık ürünleri olmasından dolayı da yapay olarak nitelendirilmiştir. Bu atıklardaki aktif silis oranı puzolan aktifliğini de aynı oranda etkilemektedir. Yapay oluşumlu puzolanlar, YFC, UK, PK külü ve silis dumanıdır. Bu atıklar genellikle sanayi atıkları olarak bilinmektedir (Okucu, 1998; Dayı, 2006; Tuncer, 2014).

Puzolanik aktivite.

Puzolanik malzemelerin Ca(OH)_2 ve H_2O ile tepkimeye girme isteği puzolan aktivitesini belirler. Kireç ve su karışımının puzolanla oluşturduğu kimyasal tepkime sonucu meydana gelen birtakım değişiklikler görülmüştür. Puzolanik aktivite puzolanın kimyasal reaksiyon sonrasında bağlayıcılık sağlayabilme ölçütü şeklinde ifade edilebilir. Bu sistem karmaşık olup reaksiyona giren bileşenlerin mineral yapısının bozulmasıyla meydana gelen bir dizi kimyasal değişim ve dönüşüm sürecinden geçmektedir. Puzolanik tepkime sırasında oluşan değişimlerin tespiti için bazı testler geliştirilmiştir. Bu tespitlerde fiziksel, kimyasal ve mekanik testler uygulanmaktadır. Puzolanların karakteristik özelliklerini belirlemek için birçok çalışmalar yapılmıştır. Karakteristik özelliklerin belirlenmesi için yöntemlerin bütünü ya da bazılarının birlikte değerlendirildiği çalışmalar yeterli düzeyde değildir. Yapılan çalışmalarda yöntemler arasında fiziksel metot üzerinde durulmuştur. Bu yöntemler genel olarak da değerlendirilmektedir.

Puzolanik malzemelerin aktivitesini puzolanın ince öğütülmüş, amorf yapılı ve yeterince silis, alümin ve demir oksit bileşenlerini bulundurmalıdır (Erdoğan, 2003; Tuncer,

2014). Yüksek aktiviteye sahip puzolan özellikleri yapılan araştırmalar sonucu belirlenmiştir. Silisyum oksit, alüminyum oksit, demir-III-oksit bileşiklerini fazlaca içermesi istenir. Ayrıca özgül yüzeyinin büyük olması, alkali ve camsı faz miktarının yüksek oranda olması gerekmektedir.

Puzolanik aktivite deneyi yapılarak ve deney sonucuna göre bir malzemenin puzolan olduğu belirlenebilir. Bu deneyler mekanik ve kimyasal olmak üzere iki farklı şekilde yapılmaktadır. Puzolanın kireçle olan karışımı ve çimento ile yaptığı harçların mukavemetlerinin belirlenmesi için mekanik deneyler yapılmaktadır. Kimyasal deneyler ise mineral katkılı çimentoların suyla yapmış olduğu hidrasyon sonucu oluşan çözeltideki kirecin tespit edilmesinde kullanılmaktadır. Bunların yanında spektrofotometrik ve kalorimetrik yöntemler de aktiviteyi belirlemektedir (Dayı, 2006). Puzolanik malzemelerin aktifliğini değerlendirmemizi sağlayan başka bir yöntem ise puzolanlı çimento hamurlarının özgül yüzeyindeki artış hızına dikkat edilmesi gerekir. Farklı $\text{Ca}(\text{OH})_2$ emme hızı ne kadar iyi olursa özgül yüzey artış hızı da benzer şekilde artış gösterir (Massazza, 1989; Dayı, 2006).

Kimyasal Katkılar

Organik ve inorganik olan kimyasal katkıları betonun birtakım özelliklerini geliştirmek amacıyla kullanılan maddelerdir. Katkı oranı veya miktarı çimento oranıyla belirlenir. Kimyasal katkıları betonun su ihtiyacını azaltarak daha dayanıklı beton üretilmesini sağlar (Baradan, Yazıcı, & Aydın, 2012). Beton yapım maliyetini düşürmek, daha etkili bir şekilde betonun belirli özelliklerini elde etmek, karıştırma, taşıma, kütleme aşamalarında ve olumsuz hava koşullarında beton kalitesini korumak gibi amaçlarla kimyasal katkıları kullanılmaktadır.

TS EN 934-2 standardına göre kimyasal katkıları 11 başlıkta toplayabiliriz.

1. Su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkıları
2. Yüksek oranda su azaltıcı/süperakışkanlaştırıcı katkıları
3. Su tutucu katkıları
4. Hava sürükleyici katkıları
5. Priz hızlandırıcı katkıları
6. Sertleşmeyi hızlandırıcı katkıları
7. Priz geciktirici katkıları
8. Su geçirimsizlik katkısı
9. Priz geciktirici/su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkıları
10. Priz geciktirici/yüksek oranda su azaltıcı/süperakışkanlaştırıcı katkıları
11. Priz hızlandırıcı/su azaltıcı/ akışkanlaştırıcı katkıları

Bu maddelerden hariç mid-range, hiperakışkanlaştırıcı redoza katkısı vb. katkı türleride vardır.

Akışkanlaştırıcılar.

Betonda kullanılan kimyasal katkıları, üretim aşamasında katılan diğer malzemelerin dışında betonun özelliklerini belli amaçlar doğrultusunda değiştiren ve küçük oranlarda ilave edilen organik ya da inorganik ürünlerdir (Erdoğan, 1997; Uyan &, Özkul, 1985). Kimyasal katkıların dozajının artması, etkisinin de aynı oranda artacağını göstermemektedir. Beton üretiminde kullanılan kimyasal katkıları ile, donma çözülme dayanımı, sertleşmiş betonun geçirimsizliği, priz süresi ve betonun akışkanlığı ayarlanmaktadır (Topçu, 1996). Akışkanlaştırıcıları kimyasal özellikleri göz ardı edilerek, su kesme kabiliyetlerine göre normal, süper ve hiper olarak gruplandırılabilir (Ramachandran, 1995).

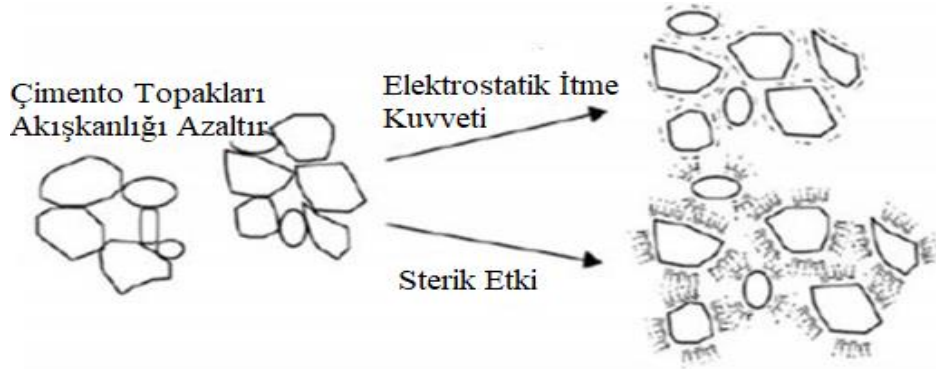
Normal akışkanlaştırıcıları (Su azaltıcıları).

Normal akışkanlaştırıcıları kullanılmasıyla beton istenen kıvamda olabilmekte ya da işlenebilirliği nispeten daha az su ile artırılabilir. Bu sayede taze betonda azaltılan su miktarı ile orantılı olarak beton dayanımında da artma meydana gelmektedir. Azaltılan su oranına göre normal ve süper olarak ikiye ayrılır.

Normal akışkanlaştırıcıları, karışım suyuna karıştırıldıkları zaman su oranını %5-11 civarında kesintiye uğratan katkı maddeleridir. Normal miktarda su azaltan akışkanlaştırıcı diye de bilinmektedir. Genellikle lignosülfonat bazlı katılardan oluşmaktadır (Ulaş, 2009).

Su azaltıcıları betonda kullanılan çimento oranında azaltma yapmadan veya dayanımından ödün vermeden üretilen betonun akıcı kıvamda olmasını sağlamaktadır. Su/çimento oranı düşük ve dayanımı yüksek beton üretiminde işlenebilirliği kolaylaştırmak için kullanılır. Betondaki su/çimento oranını sabit tutarak azaltılan çimento ve su miktarıyla tasarruf yapma imkanı sağlar ve ilk seviyedeki kıvamda, kolay işlenebilen beton elde etmek amacıyla kullanılır. Çimento taneleri kendi aralarında birleşip küçük topaklar haline gelme eğilimindedir. Akışkanlaştırıcı katılary suyla birleşip betondaki suyun yüzey gerilimini azaltmaktadır. Akışkanlaştırıcıları negatif yüklü olup su yüzeyinde hareket etmeye meyilli yapıdadır. Bu akışkanlaştırıcı kimyasallar topaklaşmayı önleyerek çimento partiküllerinin birbirleri üzerinden kayarak yağlama etkisi yapmaktadır. Sonuç olarak beton karışımında oluşan iç sürtünmeler azalıp işlenebilirlik ise artmış olmaktadır. Şekil 5'te de görüldüğü gibi beton karışımında akışkanlaştırıcı kullanılmadığı zaman çimento partikülleri birbirlerine daha

çok yaklaşarak topaklaşma yapmaktadır. Aynı durumda akışkanlaştırıcı kullanıldığında ise çimento partiküllerinin homojenize bir şekilde dağıldığı görülmüştür (Hewlett, 1998).



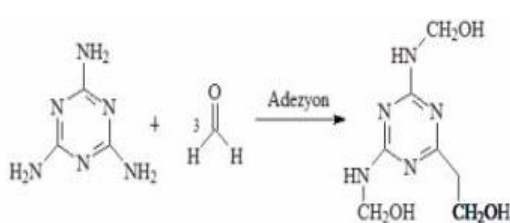
Şekil 5. Kimyasal katkıların çimento tanecikleri üzerindeki etkisi.

Akışkanlaştırıcılar yaygın olarak kütle ve pompa betonları ile düzgün yüzeye sahip olması istenen yerlerde çelik donatının fazla olduğu alanlarda dökülecek betonlarda kullanılmaktadır. Akışkanlar çok az miktarlarda beton karışım suyuna ilave edilir ve çimento ağırlığının % 0.2 ile % 0.5'i kadar kullanılmaktadır.

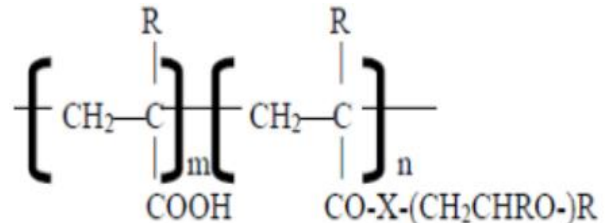
Süper akışkanlaştırıcılar (Yüksek oranda su azaltıcı).

Süper akışkanlaştırıcılar minimum %12 su kesme özelliğine sahip II. Nesil kimyasal katkılardır. Bu katkı çeşitleri, süfonatlaştırılmış melamin ve naftalin formaldehit asıllı ya da bazı organik bileşenlerden oluşmaktadır. Su kesme oranları normal akışkanlaştırıcılara göre daha yüksektir. Başka bir süper akışkanlaştırıcı olarak bilinen katkı türü modifiye edilmiş lignosülfonat da bu sınıfta yer almaktadır. Ancak lignosülfonatların kullanımı çok yaygın değildir. Genelde yaygın olarak kullanılan süper akışkanlaştırıcılar melamin ve naftalin esaslı katkılardır (Erdoğan, S., & Erdoğan, T., 2007; Çil, 2000).

Su kesme oranları oldukça yüksek olan süper akışkanlaştırıcılar iki sınıfa ayrılır. Bu katkıların sülfonat ve karboksilat esaslı grupları bulunmaktadır. Sülfonat esaslı katılardan olan polinaftalin sülfonat ve polimelamin sülfonat sıvı ve toz halde bulunmaktadır (Ulaş, 2009).



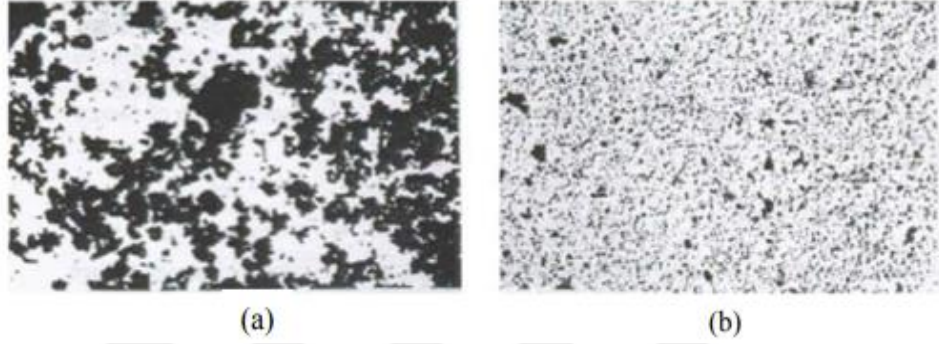
A) Melamino Formaldehit



B) Polikarboksilat

Şekil 6. Bazı kimyasal katkıların geometrik açılımı.

Süper akışkanlaştırıcılar karışım suyunu azaltarak istenilen kıvamda yüksek dayanımlı beton elde etmemizi sağlamaktadır. Süper akışkanlaştırıcı katkıların çimentoya yapmış olduğu etki Şekil 7’de verilmiştir. Su azaltıcı özelliği olan bu kimyasal katkılar beton karışım suyuna ilave edildikten sonra çimento partiküllerinin yerleşimi “elektrostatik” ve “sterik” olarak hareket etmektedir (Ramyar, 2007). Çimento hamuruna ilave edilen melamin ve polinaftalinsülfonat bazlı kimyasal katkılardaki sülfonatlar negatif yük oluşturmaktadır. Bu negatif yükler birbirlerini itme kuvveti oluşturarak çimento partikülleri arasında oluşabilecek topaklanmayı önlemektedir (Türkel, & Felekoğlu, 2004).



Şekil 7. (a) Çimento-su süspansiyonunda topaklanmış çimento tanecikleri, (b) Çimento-su süspansiyonuna eklenmiş kimyasal katkının çimento partikülleri üzerindeki etkisi (Mehta, & Monteiro, 1997).

Hiper Akışkanlaştırıcılar.

Su tutma özellikleri yüksek olan hiper akışkanlaştırıcılar hazır betonlarda ve yüksek performanslı betonlarda kullanılmaktadır. Karışım suyunu %30 azaltan bu katkılar polikarboksilat esaslıdır. Betona plastik kıvam veren bu katkılar su/çimento oranını düşürerek erken dayanımı artırır. Ayrıca yüksek işlenebilirliğe sahip hiper akışkanlaştırıcılar betona mükemmel bir yüzey görünümü sağlar (Çil, 2000).

Tablo 5. Kimyasal katkı tipinin beklenen performans şartları

Kimyasal Katkı Tipi	Performans Şartı	TS EN 934-2'deki değeri
Su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkıları	Eşit kıvamda su azalması	azalma $\geq$ % 5
Yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı katkıları	Eşit kıvamda su azalması Eşit su/çimento oranında kıvam artışı	azalma $\geq$ % 12 çökme artışı $\geq$ 120 mm
Su tutucu katkı	Kusmada azalma	azalma $\geq$ % 50
Su geçirimsizlik katkısı	Kapiler emmede azalma	Kütlece azalma $\geq$ % 50
Hava sürükleyici katkı	Sertleşmiş betonda hava boşluğu özellikleri	Açıklık faktörü $\leq 0.200_{\mu m}$
Priz hızlandırıcı katkı	İlk priz süresinde azalma	Azalma $\geq$ % 40 5°C'de
Sertleşmeyi hızlandırıcı katkı	1.gündeki basınç dayanımı 2.gündeki basınç dayanımı	Artış $\geq$ % 20, 20 °C'de Artış $\geq$ % 30, 5 °C'de
Priz geciktirici katkı	İlk priz alma ve priz bitiş sürelerinde artış	priz alma artış $\geq$ 90 dakika priz bitiş artış $\leq$ 360 dakika
Priz geciktirici/su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkıları	Eşit kıvamda su azalması İlk priz alma ve priz bitiş sürelerinde artış	azalma $\geq$ % 5 priz alma artış $\geq$ 90 dakika priz bitiş artış $\leq$ 360 dakika
Priz geciktirici/yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı katkıları	Eşit kıvamda su azalması Eşit su/çimento oranında kıvam artışı İlk priz alma ve priz bitiş sürelerinde artış	azalma $\geq$ % 12 çökme artışı $\geq$ 120mm priz alma artış $\geq$ 90 dakika priz bitiş artış $\leq$ 360 dakika
Priz hızlandırıcı/su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkıları	Eşit kıvamda su azalması İlk priz alması süresinde azalma	azalma $\geq$ % 5 azalma $\geq$ 30 dakika 20 °C 'de ve $\geq$ % 40 5 °C 'de

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

Malzeme ve Yöntem

Malzemeler

Çalışmada kullanılan malzemeler sırasıyla çimento, mineral katkıları, kimyasal katkıları, standart CEN kumu ve su ile ilgili bilgiler ve bu malzemelerin mühendislik özellikleri aşağıda verilmiştir.

Çimento.

Çalışmada kullanılan TS EN 197-1'e uygun CEM I (42,5 R) çimentosu Aşkale Çimento Fabrikasından temin edilmiştir. CEM I çimentosunun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. CEM I (42,5 R) çimentosunun özellikleri

Kimyasal Bileşimi	(%)	Fiziksel Özellikler	
SiO ₂	18,21	İncelik (45 µm elek üstü %)	7,17
AlO ₃	4,54	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3,12
Fe ₂ O ₃	3,1	Özgül Yüzey (cm ² /g)	3616
CaO	63,5	Priz Başlangıcı (dakika)	146
MgO	2,57	Priz Sonu (dakika)	189
SO ₃	2,82	Hacim Genleşmesi (mm)	1
Kızdırma Kaybı	3,87	Su İhtiyacı %	29,5
Na ₂ O	0,22	Mekanik Özellikler	
K ₂ O	0,65		
Cl ⁻	0,0144		
Ölçülemeyen	0,51		
Toplam	100	Basınç Dayanımı	N/mm ²
Serbest CaO	0,49	2 günlük	27,72
		28 günlük	58,81

* Veriler Aşkale çimento fabrikası kalite kontrol laboratuvarları tarafından üretilmiştir.

Mineral katkıları.

Bayburt sarı tüfü (BST).

Volkanik yapılı Bayburt Sarı Tüfünde altere matriks içerisinde yoğun olarak kuvars ve plajiolklaz bulunmaktadır. Bunun yanı sıra karbonat, serisit, demiroksit ve diğer kaya parçaları bulunmaktadır (URL-1, 2014; Yılmaz, 2015). BST tarihi yapılarda, dekorasyonda ve benzer

mimari tasarımlarda kullanılmaktadır. BST'nin en önemli özelliği diğerlerine göre daha yumuşak ve dayanımı daha düşük olması sebebiyle işlenebilirliğinin kolay olmasıdır. Bundan dolayı süs eşyası üretiminde daha fazla tercih edilmektedir. Bayburt ilinde süsleme taşı üretiminde kullanılan ve genelde kırıcı ile çıkarılan bloklar üzerinde küçük atölye işletmeleri tarafından şekillendirilen süs taşları üretiminde kullanılmaktadır. Bundan dolayı yüksek oranda atık taş ortaya çıkmaktadır. Bu atık taşların bir kısmı doğaya atılmakta, diğer kısmı ise epoksi bileşenlerle yeni kaplama malzemesi üretimine dönüşmektedir. BST'nin fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikleri Tablo 7 ve kimyasal özellikleri Tablo 8'de verilmiştir. Şahin'e (2018) göre verilen MTA analizlerine göre, makroskobik olarak BST sarımsı turuncu renk, masif küçük taneli kırıntılı kireçtaşı olarak tanımlanmıştır. Mikroskobik olarak, kırıntılı kalsit, kuvars, feldspat, opal grubu mineral yapılar ile fosil taneleri gözlenmiştir. Şekil 9'daki XRD analizine göre BST az miktarda amorf, yapısında kalsit, kuvars, feldspat grubu mineraller, kil grubu mineraller ve piroksen grubu mineralleri bulundurmaktadır. Şekil 10'daki SEM görüntülerinde kil, kalsit ve kuvars grubu mineral yapılar gösterilmiştir (Şahin, 2018). Şekil 11'de EDS (energy dispersive spectrum analize) analizi sonuçları verilmiştir. Buna göre tüf yoğun karbonatlı yapıda, bunun haricinde yapısında silis, alümin, demir ve kalsiyum bulundurmaktadır.

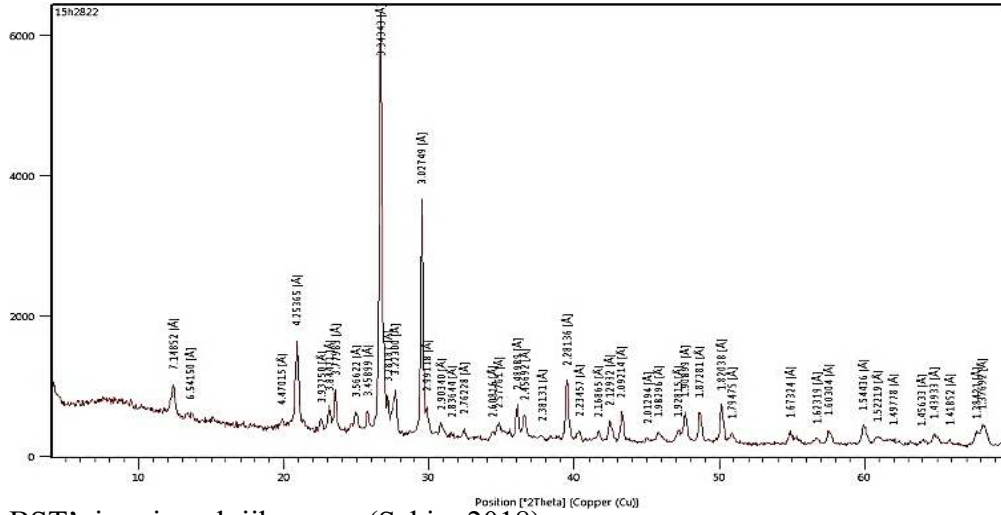


a)BST

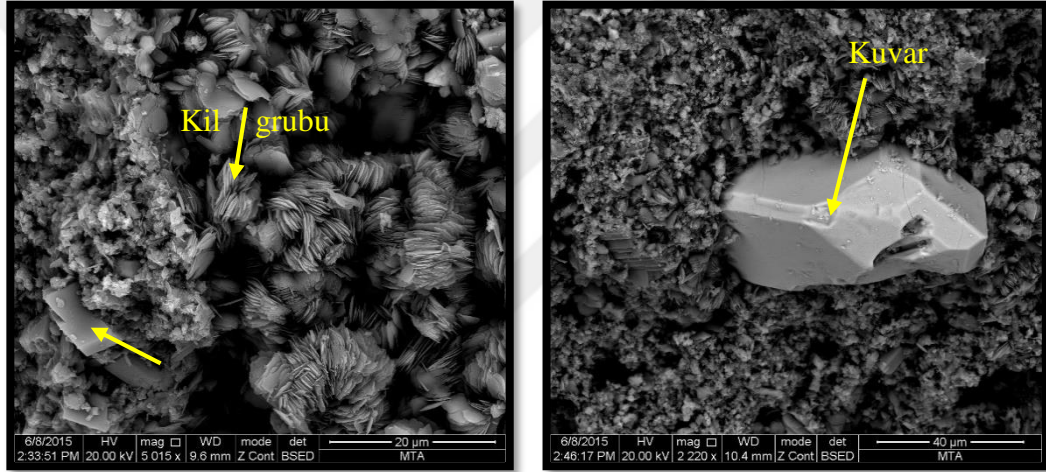


b) BST'nin öğütülmüş hali

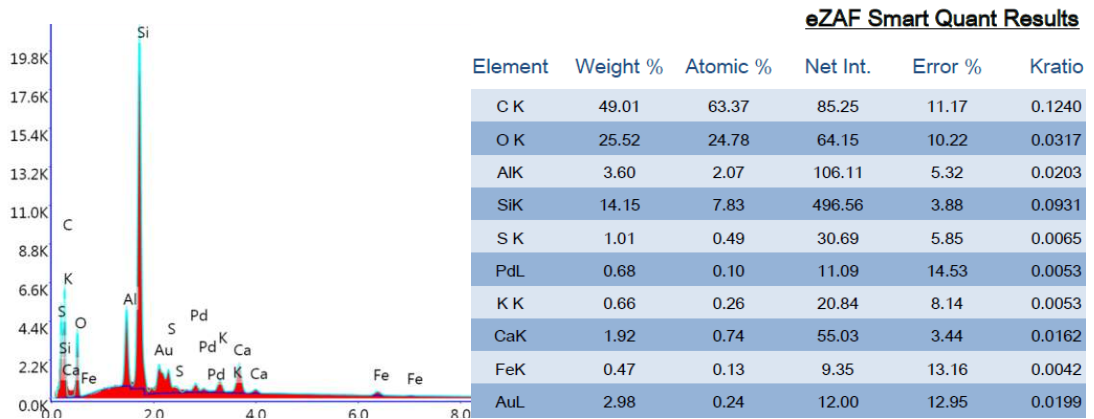
Şekil 8. Bayburt Sarı Taşı (BST) görselleri.



Şekil 9. BST'nin mineralojik yapısı (Şahin, 2018).



Şekil 10. BST'nin mikroskopik görüntüsü (Taramalı elektron Mikroskobu ile çekilmiş görüntüler) (Şahin, 2018).



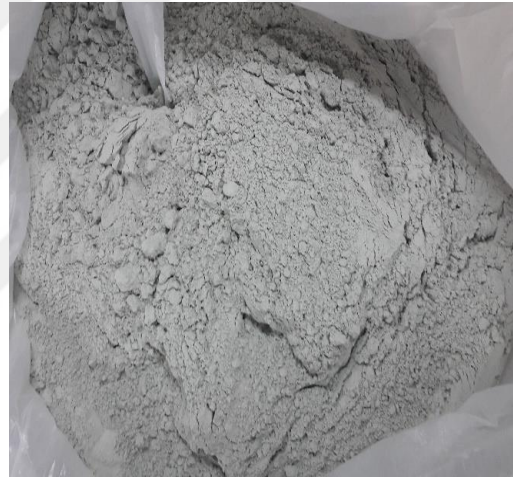
Şekil 11. BST'nin element (nokta/bölge element spektrumu) analizi.

Bayburt yeşil tüfü (BYT).

Bayburt Yeşil tüfünün (BYT) fiziksel ve mekanik özellikleri diğer Bayburt tüflerinden oldukça farklıdır. BYT diğer Bayburt tüflerine göre daha sert ve daha yüksek dayanıma sahiptir. BYT su emme oranı yüksek ve düşük yoğunluğa sahip tüfit bir malzemedir. Bu özelliklere sahip olmasına rağmen basınç ve eğilmede iyi bir davranış sergileyerek aşınmaya karşı dirençlidir. Kimyasal içerik olarak diğerlerine yakın olsa da puzolanik özelliği diğerlerinden daha yüksektir. Bu sebeple Aşkale Çimento Fabrikası bu malzemeyi CEM II ve CEM IV tipi çimento üretiminde doğrudan kullanmaktadır. BYT volkanik yapılı riyolitik bir tüf olup, matris içinde kuvars, plajiyoklaz ve kloritleşmiş olan biyotit mineralleri bulunmaktadır (Şahin, 2018). Volkanik matris ise kuvars, feldspat mikrolitleri, karbonat, serisit, klorit mineral gruplarını bulundurmaktadır (URL-1, 2014; Yılmaz, 2015). BYT'nin fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikleri Tablo 7'de ve kimyasal özellikleri Tablo 8'de verilmiştir.



a) BYT



b) BYT'nin öğütülmüş hali

Şekil 12. Bayburt yeşil taşı (BYT) görselleri.

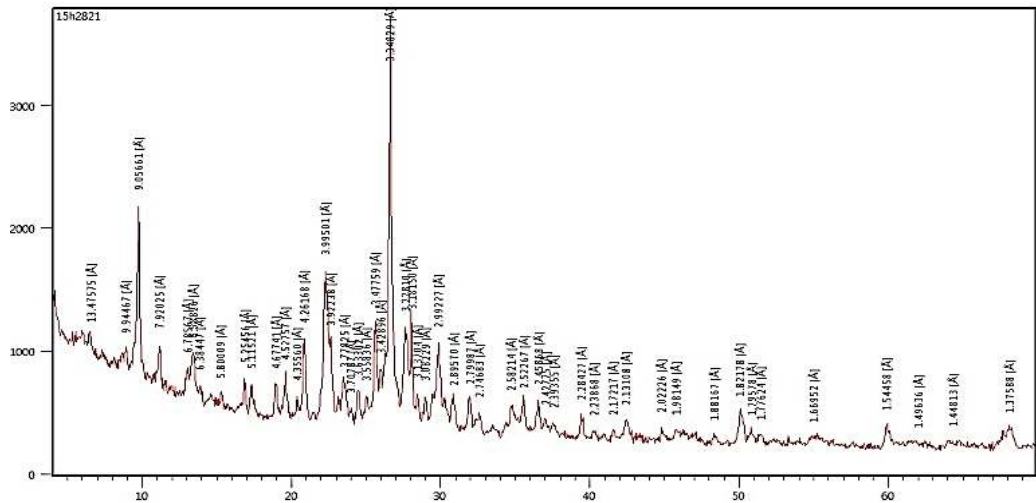
Tablo 7. Bayburt tüfit yapılı taşların fiziksel ve teknolojik özellikleri (MTA, 2005)

	BST	BYT
Özgül ağırlık (Taş blok halde)	2,71	2,74
Sertlik (Mohs)	2-3	3-4
Birim hacim ağırlık (kN/ m ³)	1,84	22,6
Görünür porozite (%)	24	13,3
Basınç dayanımı (MPa)	27,7	60,8
Darbe dayanımı (MPa)	0,4	3,7
Eğilme dayanımı (MPa)	5,9	22,9
Ortalama Aşınma dayanımı (cm ³ /50 cm ²)	63,6	26,4

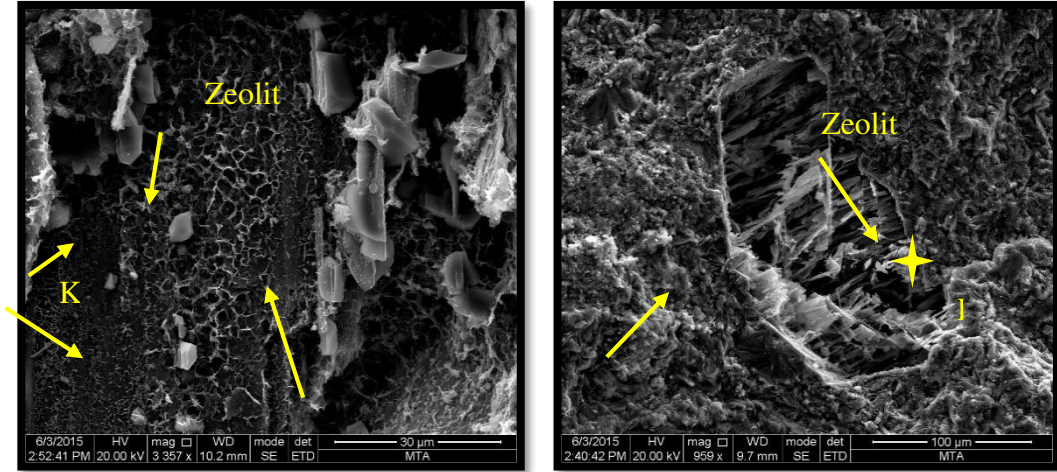
Tablo 8. Bayburt taşlarının kimyasal analizleri (Şahin, 2018)

Oksitler	BST	BYT
SiO ₂	70,37	49,92
Al ₂ O ₃	11,01	10,25
Fe ₂ O ₃	0,83	6,00
CaO	2,87	13,10
MgO	0,87	2,57
SO ₃	0,15	0,26
Na ₂ O	1,36	1,45
K ₂ O	1,79	1,82
Toplam Alkali	2,54	2,65
Toplam	99,33	99,41
Kızdırma Kaybı	10,08	14,04

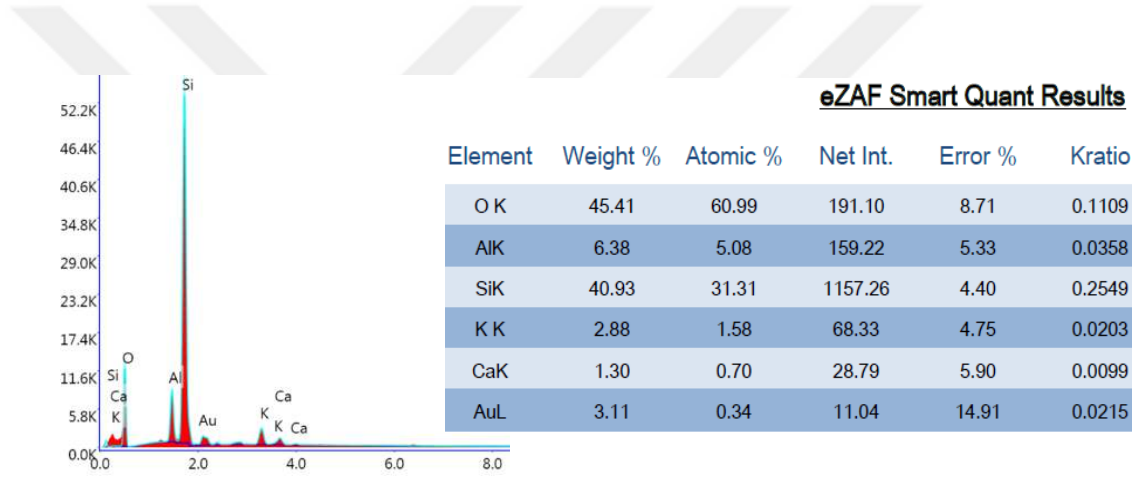
Şahin'e (2018) göre verilen BYT üzerinde MTA tarafından gerçekleştirilen mineralojik ve mikroskobik analizlere göre BYT griye dönük yeşil renk, masif yapılu makroskobik tüftür. Ayrıca tüfit yapılu bu kayaçta hamur içerisinde dağınık halde fenokristallere rastlanmıştır. Hamurun tümüne yakın kısmı zeolit minerallerinden meydana gelmektedir. Bazı kısımlarında ise akma dokuları sırasınca biyotit mineralleri gözlenmiştir. Bu mineraller üzerinde kayaç yapıcı mineral grubundan olan yer yer klorit dönüşümleri bulunmaktadır. Şekil 13'de BYT'nin mineralojik analizinde, çimentoda olduğu gibi amorf yapı, yoğunluklu olarak kuvars, zeolit, feldspat ve mika mineralleri görülmüştür. Şekil 14'de verilen SEM analizinde mineraller netlik kazanmıştır. Şekil 15'te BYT'nin element analizi (EDS) verilmiştir.



Şekil 13. BYT'nin mineralojik (XRD) analizi (Şahin, 2018).



Şekil 14. BYT'ninelektron mikroskobu (SEM) görüntüleri (Şahin, 2018).



Şekil 15. BYT'nin element (nokta/bölge element spektrumu) analizi.

BST ve BYT'nin ana bileşeni Tablo 8'de görüldüğü gibi SiO_2 'dir. Deneyisel çalışmada numunelerde kullanılan BST ve BYT Bayburt ilindeki Sanayi Bölgesinden alınmıştır. BST'nin Aydıntepe ilçesinde bulunan Erikdibi ve Akbulut köylerinden, BYT ise yine aynı ilçeye bağlı Gümüşdamla köyünden çıkarılmıştır.

Kimyasal katkılar.

Mineral katkılı çimentoların kimyasal katkılarla olan uyumunu araştırmak amacıyla üretilen çimento hamur ve harç numunelerinde iki farklı yapıda akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Katkılardan biri melamino formaldehit esaslı katı toz halde, diğeri polikarboksilat esaslı yine toz halde ham katkılardır. Katkılar Dost Kimya Ltd. Şti.'den 25'er kg'lık silindirik kaplar içinde iki katman poşetli olarak temin edilmiştir. Katkılardan alınan görüntüler Şekil 16'da verilmiştir.



a) Melamino formaldehit esaslı katkı



b) Polikarboksilat esaslı katkı

Şekil 16. Bazı katkı görselleri.

Polikarboksilat esaslı hiper akışkanlaştırıcı-toz.

Çimento esaslı malzemelerde çok yüksek oranda karışım suyunu azaltan ve yüksek akışkanlık özelliği kazandıran, süper akışkanlaştırıcılara göre çok daha düşük oranlarda kullanılan, toz formunda, polikarboksilat (PK) esaslı bir hiper akışkanlaştırıcıdır. PK'nın uygulama alanları kendiliğinden yayılan şap ürünleri, kendinden yerleşen betonlar, fugalar, hazır harç ve sıvalar, yüksek performanslı hazır beton uygulamaları, prekast elemanların imalatı, deniz yapıları, uçucu kül ve silis dumanı katkılı betonlardır. PK'nın avantajları şunlardır: akışkanlığı çok yüksek oranda artırır, ürünlerin işlenebilirliğini artırır, erken ve nihai mekanik mukavemetleri artırır, su geçirimsizliğini artırır, segregasyonu ve çatlamları azaltır, istenen kıvam için gerekli su miktarını azaltır.

Deneylerde kullanılan PK esaslı katkının teknik özellikleri şunlardır: toz halde suda çözülebilen yapıda, açık pembe renkli, klor iyonu içermeyen, $0,45 - 0,6 \text{ g/cm}^3$ özgül ağırlığa sahiptir ve önerilen doz % 0,2 - % 0,5 olarak belirtilmektedir.

Melamin esaslı süperakışkanlaştırıcı-toz.

Melamino formaldehit (MF) esaslı süper akışkanlaştırıcı, çimento ve alçı esaslı malzemelerde karışım suyunu azaltan ve yüksek akışkanlık özelliği kazandıran, düşük sıcaklıklarda bile kullanıma uygun, toz formunda, melamin esaslı bir süper akışkanlaştırıcıdır. Uygulama alanları kendiliğinden yayılan şap ürünleri, fugalar, hazır harç ve sıvalar, alçı plaka, alçı blok ve kalıp alçıları, hazır beton uygulamaları, prekast elemanların imalatıdır. Avantajları: ürünlerin işlenebilirliğini artırır, erken ve nihai mekanik mukavemetleri artırır, su geçirimsizliğini artırır, segregasyonu ve çatlamları azaltır, istenen kıvam için gerekli su miktarını azaltır.

Deneyselerde kullanılan MF esaslı süper akışkanlaştırıcıların teknik özellikleri şöyledir: ASTM C 494 Type G'ye uygun, klor iyonu içermeyen ve suda çözünebilen süper akışkanlaştırıcı toz'un pH değeri (%30'luk çözelti) 8,5-9,5, özgül ağırlığı 0,5-0,6 g/cm³ ve tüketim uygulamaya göre çimento ağırlığının %0,2-%1,5 oranındadır.

Standart CEN kumu.

Deneysel çalışmalarda kullanılan standart kum Set Italcementi Trakya Çimento A.Ş.'den alınmıştır. TS EN 196-1'e uygun ve SiO₂ oranı %98 olan standart CEN kumu çimento harç numunelerinin üretimlerinde kullanılmıştır. CEN kumu maksimum 2,3 mm dane boyutlu, 1350±50 g kütleli poşetler halinde temin edilmiştir.

Su.

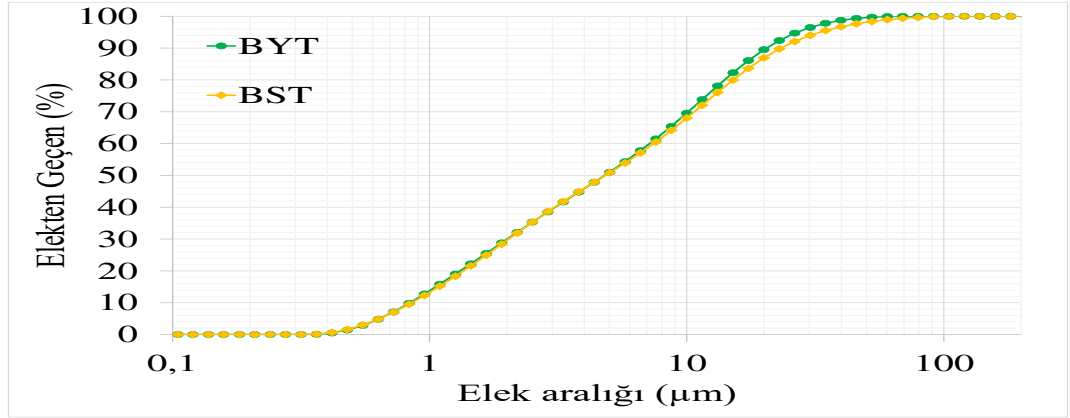
Deneysel çalışmalarda hamur ve harç numune üretimlerinde ve kür işlemlerinde Bayburt ilinin şebeke suyu kullanılmıştır. Deney suyunun kimyasal analizi Tablo 9'da ayrıntılı olarak verilmiştir. Veriler Sağlık Bakanlığı Bayburt Halk Sağlığı Müdürlüğü tarafından alınmıştır

Deneysel Yöntemler

Deneysel çalışma toplamda 4 aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada çimento yerine ikame edilecek mineral katkıların (BST ve BYT) öğütülmesi, ikinci aşamada çimento hamurlarının üretilmesi ve taze hamur üzerinde kıvam, priz deneyleri, üçüncü aşamada çimento harç numunelerinin üretilmesi ve taze harçlar üzerinde yayılma ve çökme deneyleri ve dördüncü aşamada ise üretilen sertleşmiş harç numuneleri üzerinde basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda öncelikle BST ve BYT D_{max}:45 µm olacak şekilde öğütülmüştür. Öğütülen malzemelerin elek analizleri Mastersizer 3000 model lazer tane dağılım yöntemi ile gerçekleştirilmiş ve Şekil 15'te verilmiştir. BST ve BYT'lerin fiziksel özellikleri Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 9. *Deneyselerde kullanılan suyun kimyasal özellikleri*

Kimyasal İçerik	Kür Suyu	Kimyasal İçerik	Kür Suyu
pH	6,65	Siyanür	< 0,010
İletkenlik (g/L)	727	Nikel	0,46
Nitrat	6,5	Mangan	0,09
Alüminyum (g/L)	< 0,1	Klorür	0,23
Demir (g/L)	< 0,05	Flor	0,8
Kadmiyum (g/L)	0,143	Sülfat	22



Şekil 17. Öğütülmüş toz haldeki tüflerin elek analizi.

Tablo 10. Öğütülmüş toz haldeki BST ve BYT'nin fiziksel özellikleri

Özellik	BST	BYT
Özgül Yüzey (cm ² /gr)	24220	20450
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2,610	2,693
D ₁₀ (µm)	0,853	0,839
D ₅₀ (µm)	4,824	4,798
D ₉₀ (µm)	23,210	20,400

Kompoze çimentoların hazırlanması.

Öğütülen BST ve BYT'ler CEM I 42,5 R tipi çimentoya %20 ve %40 oranlarında ikame edilmiştir. Bunların sonuçlarını kontrol etmek amacıyla CEM I 42,5R tipi çimento katkısız (referans) olarak ayrıca denemelerde kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda hem çimento hamuru hem de çimento harçları üretilmiştir. Böylece çalışmada CEM I, CEM II ve CEM IV çimentolarını üretecek sırasıyla %0, %20 ve %40 ikame oranlarında BST ve BYT mineral katkıları ile 1'i kontrol olmak üzere 4 çeşit çimento üretilmiştir. Bunlar üzerinde 2 tip akışkanlaştırıcı %0,5 ve %1 olmak üzere 2 farklı oranda bu üretilen 5 çimento ile uyumluluk denemelerine tabi tutulmuştur. Kimyasal katkı ile çimento arasındaki uyum denemeleri TS EN 196-3'e göre taze çimento hamurları üzerinde kıvam ve priz süreleri tayini ile, TS EN 196-1'e göre sertleşmiş çimento harç numuneleri üzerinde basınç dayanımı deneyi ile ve kaynatmasız su emme deneyi ile gerçekleştirilmiştir. Üretilen çimentolarla yapılacak deneylerde kullanılacak numune serilerinin kodlama yöntemiyle isimlendirilmesi ve çimento hamurunda kullanılan katkı yüzdeleri Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. Numune hazırlığında kullanılan karışım tasarımı mineral katkıların oranları

No	Çimento	Kimyasal Katkı (%)		Mineral Katkı (%)	
		MF	PK	BST	BYT
1	R	-	-	-	-
2	RM _{0.5}	0,5	-	-	-
3	RM ₁	1,0	-	-	-
4	RP _{0.5}	-	0,5	-	-
5	RP ₁	-	1,0	-	-
6	S ₂₀	-	-	20	-
7	S ₄₀	-	-	40	-
8	S ₂₀ M _{0.5}	0,5	-	20	-
9	S ₂₀ M ₁	1,0	-	20	-
10	S ₄₀ M _{0.5}	0,5	-	40	-
11	S ₄₀ M ₁	1,0	-	40	-
12	S ₂₀ P _{0.5}	-	0,5	20	-
13	S ₂₀ P ₁	-	1,0	20	-
14	S ₄₀ P _{0.5}	-	0,5	40	-
15	S ₄₀ P ₁	-	1,0	40	-
16	Y ₂₀	-	-	-	20
17	Y ₄₀	-	-	-	40
18	Y ₂₀ M _{0.5}	0,5	-	-	20
19	Y ₂₀ M ₁	1,0	-	-	20
20	Y ₄₀ M _{0.5}	0,5	-	-	40
21	Y ₄₀ M ₁	1,0	-	-	40
22	Y ₂₀ P _{0.5}	-	0,5	-	20
23	Y ₂₀ P ₁	-	1,0	-	20
24	Y ₄₀ P _{0.5}	-	0,5	-	40
25	Y ₄₀ P ₁	-	1,0	-	40

Taze çimento hamur deneyleri.

Çalışmanın ilk aşamasında çimentolar üzerinde taze hal hamur deneyleri yapılmıştır. Üretilen taze hamurlar üzerinde TS EN 196-3 standardına göre standart kıvam ve priz süresi

deneyleri yapılarak çimentonun fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Bu kapsamda yapılan deneysel çalışmada hamur numuneleri hazırlanmadan önce karışım suyuna kimyasal katkı ilavesi yapılarak manyetik karıştırıcı yardımıyla katkı çözünür hale getirilmiştir. Katkı eklenmiş ve çözülmüş karışım suyu TS EN 196-3'te belirtildiği gibi mikser konulduktan sonra çimento hamuru üretiminde gerekli olan diğer malzemelerde mikser kovasına 10 saniye içerisinde ilave edildikten sonra cihaz çalıştırılmıştır. Çalıştırılan otomatik mikser öncelikle 90 saniye düşük hız ayarında (140 rpm) çalıştırılıp durdurulmuştur. Bu arada mikser kovası etrafına yapışan çimento hamuru bir kaşık yardımıyla ortaya toplanmıştır. Elde edilen çimento hamuru, otomatik mikserde yüksek hızda (280 rpm) 90 saniye süreyle tekrar karıştırılmıştır. Böylece toplam 180 saniye karışmış olan çimento hamuru $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki ortam koşullarında, öncesinde kullanıma hazırlanmış cam levha üzerindeki Vicat kalıbına hava boşluğu kalmayacak şekilde yerleştirilmiştir. Tablo 12'de standart kıvam ve priz süresi deneylerinde kullanılan çimento hamuru üretimine ilişkin malzeme miktarları verilmiştir. Tablodaki her bir çimento üzerinde 2 tip katkı 2 farklı oranda denenmiş ve hazırlanan her bir tip çimento ile 4 ayrı karışım yapılmıştır.

Tablo 12. Hamur numunelerde malzeme miktarları

No	Çimento	Tüf (%)	Toplam bağlayıcı (g)	Çimento (g)	Tüf (g)
1	R	0	500	500	0
2	S ₂₀	20	500	450	50
3	S ₄₀	40	500	400	100
4	Y ₂₀	20	500	450	50
5	Y ₄₀	40	500	400	100

Kıvam tayini deneyi.

Standard kıvamdaki bir çimento hamuru standart bir sondanın içine belli bir kuvvetle girmesine karşı bir direnç gösterir. Standard kıvamda bir hamur hazırlamak için gerekli olan su miktarı, farklı miktarlarda su kullanılarak hazırlanan çimento hamurlarının içine sondanın deneme amaçlı olarak batırılması ile tayin edilir. Kıvam tayini deneyi çimentonun priz süresinin başlangıcı ve sonu deneylerinde çimento hamuru hazırlanması için gerekli olan suyun tayin edilip kullanılması amacıyla yapılmaktadır. Fakat su miktarının kesin tayin edilebilmesi için birçok tekrarlı deneme yapılması gerekmektedir.

Çalışmada çimentoların kıvam tayini deneyleri, TS EN 196-3'e göre yapılmıştır. Farklı tip çimentolar ile hazırlanan hamur numuneler üzerinde Vicat sondası ile kıvam tayini yapılmıştır. Bunun için Vicat sondasına 1 cm çapındaki Vicat sondası takılmıştır. Hamur halkaya yerleştirilmeden önce Vicat halkası ve taban camı, ince yağ ile hafifçe yağlanmıştır. Hamur Vicat halkasına yerleştirildikten sonra Vicat halkası sonda altına konulmuştur. Sonda numuneyle teğet olacak şekilde hamurun üstüne getirilmiştir. Çimento hamurunun hazırlanmaya başladıktan sonra 240 ± 10 saniyeyi geçmeyecek şekilde numune sonda altına yerleştirilmiştir ve sonra Vicat sondası serbest şekilde bırakılmıştır. Sonda ile numunenin tabanı arasındaki mesafe 30 saniye içinde 6 ± 2 mm mesafede olduğunda kıvam (su miktarı) belirlenmiştir.

Priz başlangıç ve bitiş süreleri tayini deneyi.

TS EN 196-3'e göre priz süresi tayini deneyi yapılmıştır. Priz başlangıcı ve bitiş süresi, standart bir iğnenin standart kıvamdaki çimento hamuru içerisinde belirlenmiş bir derinliğe kadar girmesini gözlemek suretiyle tayin edilir. Priz süresi tayini içinde Vicat aletinin sonda olan ucu yerine uzunluğu en az 45 mm ve çapı $1,13 \pm 0,05$ mm olan iğne takılmıştır. Hazırlanan çimento hamuru numuneleri Vicat halkası içinde yüzeyi düzlenmiş bir biçimde Vicat aletinin altına konulmuştur. Numunelerin karışıma başladığı andan itibaren her 10 dakikada bir Vicat iğnesinin serbest düşmeyle (300 g ağırlık ile) hamurun içine batması sağlanmıştır. İğnenin hamur içine batma miktarı 5 ± 3 mm oluncaya kadar bu işlem tekrarlanmıştır. Bu mesafe sağlandığında priz başlama süresi olarak kaydedilmiştir. Daha sonra 30 dakika arayla iğnenin hamur içine batması sağlanmış ve okumalara devam edilmiştir. Bu sırada iğne her batırılma sırasında aynı yere gelmeyecek şekilde yeni okumalar gerçekleştirilmiştir. Priz sonu süresi iğne numunenin üstünde ilk 0,05 mm'ye kadar batabildiği an olarak belirlenmiştir.

Taze çimento harç deneyleri.

Fiziksel özellikleri belirlenen çimentoların reolojik davranışını belirleyebilmek amacıyla TS EN 196-1'e göre harç numuneleri üretilmiştir.

Harç numunelerinin hazırlanması.

Çimento harçları TS EN 196-1'e göre hazırlanmıştır. Hazırlanacak harç numunelerinin malzeme karışım miktarları Tablo 13'te verilmiştir. Her bir grup harç numunesi için Tablo 13'te belirtilen çimento ve mineral katkı miktarları 0,01 gr hassasiyetindeki tartı ile tartıldıktan sonra temiz bir kaba konulmuştur. Kaptaki malzeme homojen bir dağılım sağlayabilmek için 1 dk süreyle karıştırılmıştır. Çimento ve mineral katkı karışımı mikserin kovasında bulunan (s/b

oranı 0,5 olan) 225 ml su içine 10 s içinde döküldükten sonra otomatik karıştırıcı çalıştırılmıştır. 30 s düşük devirde çalışan karıştırıcıya 30 s sonunda kum eklenmeye başlanmıştır. Karıştırma sürerken 30 s içinde harca kum ilave edilmiştir. Kum ilavesinden hemen sonra 30 s süreyle yüksek hızda karıştırma işlemi sürdürülmüştür. Toplam 135 dk sonra mikser 15 s süreyle dinlenmeye alınmış ve bu sırada mikser kovasının kenarlarına yapışan harçlar spatula ile harcın içine sürüklenmiştir. Harç bu süre içinde kovada harmanlanarak homojen bir karışım sağlanmaya çalışılmıştır. Bu işlemden sonra (105 s sonra) karıştırıcı 60 s süreyle yüksek hızda çalıştırılmıştır.

Tablo 13. Harç numunelerde malzeme miktarları

No	Çimento Tipi	Tüf (%)	Toplam bağlayıcı (g)	CEM I (g)	Tüf (g)	Su (g)	Kum (g)
1	R	0	450	450	0	225	1350
2	S ₂₀	20	450	360	90	225	1350
3	S ₄₀	40	450	270	180	225	1350
4	Y ₂₀	20	450	360	90	225	1350
5	Y ₄₀	40	450	270	180	225	1350

Yayılma tablası deneyi.

Bu deney ASTM C240'a göre yapılmıştır. Bu deneyde amaç mineral bağlayıcı ve agrega ihtiva eden çimento harcının taze haldeki kıvamının yayılma değeri ile belirlenmesidir. Öncelikle yağlanmış kalıp yayılma tablasının ortasına yerleştirilmiştir. Çimento harç makinesinde hazırlanan harçtan 20 cm³'lük deney numunesi alınmıştır. Yayılma çapını belirlemek için harç, kesik koni şeklindeki kalıba iki tabaka halinde doldurulup her bir tabaka sıkıştırma çubuğu ile 16 defa çarpma işlemi uygulanarak sıkıştırılmıştır. Kalıbın üstünden taşan harç bir spatula yardımıyla alınıp üst yüzey düzeltildikten sonra kalıp yavaşça ve tam düşey olacak şekilde yukarıya doğru çekilmiştir. Tablanın yan tarafında bulunan kol sayesinde numuneye 5 s bir vuruş olmak üzere toplam 25 vuruş yapılarak harcın yayılması sağlanmıştır. Düşürme işlemi bittikten sonra tablaya yayılan harç tabakasının çapı cetvelle birbirine dik iki doğrultuda 1 mm hassasiyetinde ölçülüp ortalaması alınarak yayılma değeri bulunmuştur.

Sertleşmiş harç deneyleri.

Fiziksel özellikleri belirlenen çimentoların mekanik mukavemetlerini, birim hacim ağırlıklarını, su emme ve porozite değerlerini belirleyebilmek amacıyla TS EN 196-1'e göre harç numuneleri üretilmiştir. Deneysel çalışmalar aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

Harç numunelerinin hazırlanması.

Harç hazırlığı yukarıda anlatıldığı gibi mikserde tamamlandıktan sonra çimento harcı daha önceden sarsma cihazına yerleştirilmiş olan 40x40x160 mm boyutlu çelik kalıba %75'i dolacak şekilde yerleştirilmiştir. Kalıpta bulunan harç dakikada 60 düşey darbe hareketi yapan sarsma makinesinde 60 s. süreyle sıkıştırılmıştır. Sıkışan ilk kademe harç üzerine mikserin kovanında bulunan harç konulmuş ve tekrar 60 s süreyle sıkıştırılmıştır. İki kademe halinde sıkışan harç numuneler sarsma cihazından alınarak harcın fazlası bir master yardımıyla sıyırılmıştır ve prizmaların yüzeyi masterın yavaş yavaş hareket ettirilmesi sonucu düzleştirilmiştir. Prizmaları tanımlamak amacıyla kalıplar etiketlenmiştir ve 20±2 °C sıcaklıktaki laboratuvar ortamında 24 saat dinlendirilmişlerdir. 24 saat sonunda kalıplar sökülerek, her numune deneylerde kullanılmak üzere kirece doymun suyun bulunduğu kür havuzuna konulmuştur

Basınç dayanımı tayini deneyi.

Hazırlanan sertleşmiş harç numuneleri 90 gün küre bırakılmıştır. Kür süresinin 28 günlük kısmı standart kirece doymun kür havuzunda, geri kalan 90 güne kadarki süreç laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Kür sürelerini tamamlayan 2, 28 ve 90 gün yaşlarındaki 50x50x50 mm boyutlarındaki harç numuneler üzerinde öncelikli olarak eğilmede-çekme dayanımı deneyine tabi tutularak 2 eşit parçaya ayrılmıştır. Ardından herbir parça üzerinde 20 ton kapasiteli hidrolik çimento pres ile basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde yükleme hızı 2,4 MPa/s olarak seçilmiştir. Farklı kür günlerine tabi tutulan 25 farklı numunenin her birini temsil eden basınç dayanımı değeri her bir seride üretilen 2 adet numunenin kırılması sonucu elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak sunulmuştur. Basınç dayanımı eşitlik 3.1'e göre belirlenmiştir.

$$\text{Basınç dayanımı} \quad \sigma = (P/A) \text{ N/mm}^2 \quad (3.1.)$$

Su emme deneyi.

Sertleşmiş çimento harçlarının birim hacim ağırlıklarını, su emme oranlarını ve porozitelerini belirleyebilmek amacıyla su emme deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda

kaynatma yapılmadan numuneler öncelikle 24 saat süreyle suda bekletilmiş ve ardından havada (P1) ve suda (P2) tartılmıştır. Bu işlemlerden sonra etüvde 105 °C sıcaklıkta yine 24 saat bekletildikten sonra tartılmış (P3) ve aşağıdaki formüller kullanılarak birim hacim ağırlık, su emme oranı ve porozite verileri elde edilmiştir.

Birim hacim ağırlık (kuru)	$B.H.A = P3/V \text{ g/dm}^3$	(3.2.)
----------------------------	-------------------------------	---------

Su emme oranı	$S = 100 \times (P1 - P3) / P3 (\%)$	(3.3.)
---------------	--------------------------------------	---------

Porozite	$P = 100 \times S \times P3 / (P1 - P2) (\%)$	(3.4.)
----------	---	---------



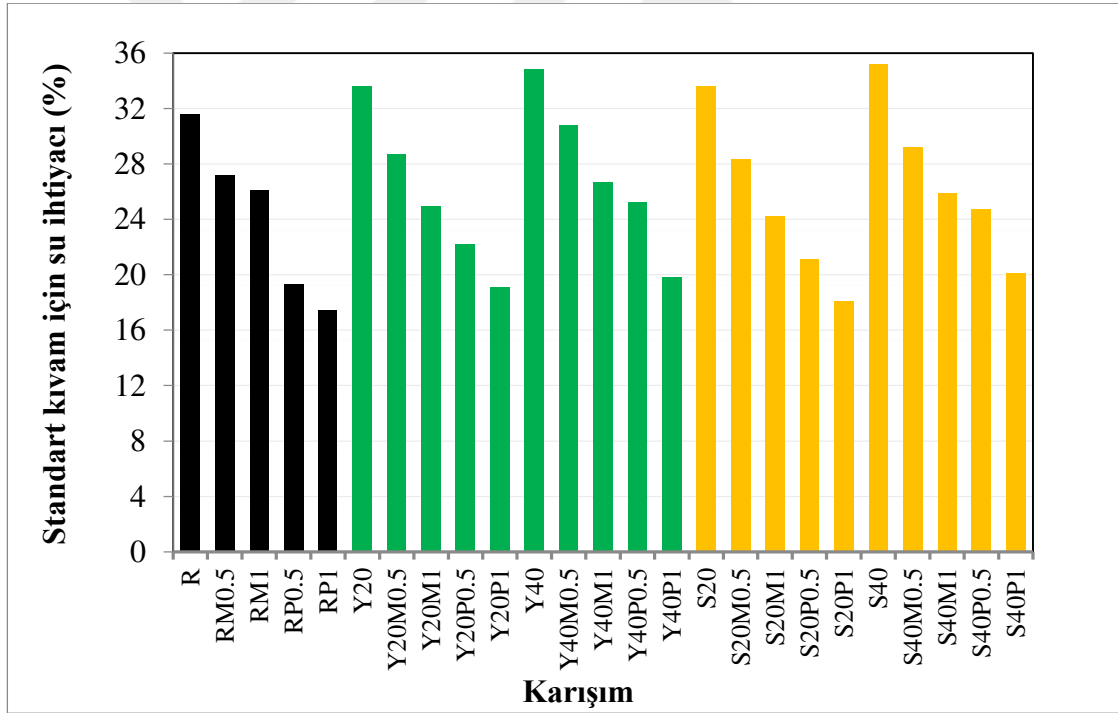
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

Araştırma Bulguları

Deneysel çalışmalarda kullanılan farklı oranlarda ve farklı yapıda tuf ikameli çimentolar üzerinde gerçekleştirilen deney sonuçları alt başlıklar halinde incelenmiştir.

Standart Kıvam Suyu Tayini ve Değerlendirilmesi

Referans ve BT ikameli çimento hamur numunelerinden elde edilen standart kıvam suyu ihtiyacına ilişkin deney sonuçlarından elde edilen veriler Tablo 14’de, grafiksel olarak gösterimi ise Şekil 18’de verilmiştir. Buna göre deneylerde referans çimentosunun kıvam suyu ihtiyacı %31,6 olurken, su ihtiyaçları %20 ve %40 BYT’li çimentoda sırasıyla %2 ve %3,2; %20 ve %40 BST’li çimentoda sırasıyla %2 ve %3,6 oranında artmıştır. Her iki tuf ikamesinde BT arttıkça, kıvam suyu ihtiyacı artmıştır. Büyük özgül yüzey sebebiyle BST’li çimento BYT’li çimentodan daha fazla su istemiştir.



Şekil 18. Kıvam deneyi toplu sonuçlarının grafiksel gösterimi (yeşil renkli sütunlar BYT’yi, sarı renkli sütunlar BST’yi sembolize etmektedir).

Tablo 14. Taze çimento harçları deney sonuçları (TS EN 196-3)

Kod	Çimento (%)	BYT katkısı %	BST katkısı %	MP katkısı %	PK katkısı %	Kıvam suyu %	Priz Başlangıcı (dk)	Priz Bitişi (dk)
R	100	0	0	0	0	31,6	170	230
RM _{0,5}	100	0	0	0,5	0	27,2	190	445
RM ₁	100	0	0	1,0	0	26,1	210	515
RP _{0,5}	100	0	0	0	0,5	19,3	240	490
RP ₁	100	0	0	0	1,0	17,4	275	500
Y ₂₀	100	20,0	0	0	0	33,6	165	285
Y ₂₀ M _{0,5}	80	20,0	0	0,5	0	28,7	150	500
Y ₂₀ M ₁	80	20,0	0	1,0	0	24,9	200	465
Y ₂₀ P _{0,5}	80	20,0	0	0	0,5	22,2	230	485
Y ₂₀ P ₁	80	20,0	0	0	1,0	19,1	310	935
Y ₄₀	100	40,0	0	0	0	34,8	160	295
Y ₄₀ M _{0,5}	60	40,0	0	0,5	0	30,8	175	540
Y ₄₀ M ₁	60	40,0	0	1,0	0	26,7	260	590
Y ₄₀ P _{0,5}	60	40,0	0	0	0,5	25,2	190	450
Y ₄₀ P ₁	60	40,0	0	0	1,0	19,8	230	770
S ₂₀	100	0	20,0	0	0	33,6	140	240
S ₂₀ M _{0,5}	80	0	20,0	0,5	0	28,3	115	415
S ₂₀ M ₁	80	0	20,0	1,0	0	24,2	170	430
S ₂₀ P _{0,5}	80	0	20,0	0	0,5	21,1	200	520
S ₂₀ P ₁	80	0	20,0	0	1,0	18,1	210	800
S ₄₀	100	0	40,0	0	0	35,2	135	230
S ₄₀ M _{0,5}	60	0	40,0	0,5	0	29,2	140	470
S ₄₀ M ₁	60	0	40,0	1,0	0	25,9	170	475
S ₄₀ P _{0,5}	60	0	40,0	0	0,5	24,7	170	1220
S ₄₀ P ₁	60	0	40,0	0	1,0	20,1	245	1400

Çimento hamurlarında suya duyulan ihtiyaç bazı parametrelere bağlı olarak değişmektedir. Kullanılan malzemenin incelik oranı, porozitesi, özgül yüzeyi ve kimyasal özellikleri çimento hamurunun su ihtiyacını önemli ölçüde etkileyen faktörlerdir. Özgül yüzeydeki artış hamura ikame edilen puzolanın ince yapılı olmasından kaynaklanmaktadır. İnce yapılı doğal puzolanlar, çimento yerine kullanıldığında toplam kohezyonu azaltarak taze betondaki işlenebilirliği artırmaktadır. Puzolan oranının %30 ve daha fazla olduğu durumlarda normal kıvam için gereken su miktarında önemli ölçüde artma ya da azalma görülmemektedir. Bu oranın altındaki değerlerde ise suya olan ihtiyaç, puzolan oranıyla orantılı olarak artmaktadır. (Erdoğan, 1996; Erdoğan, Tokyay, & Türker, 2009)

Deneylerde referans çimentolara ve mineral katkılı çimentolara %0,5 ve %1 oranlarında melamino formaldehit sülfonat (MF) ile polikarboksilat (PK) katkılarının etkileri oldukça belirgin olduğu gözlenmiştir. Buna göre referans mineral ve kimyasal katkısız çimentonun normal kıvam suyu ihtiyacı %31,6 olurken, %0,5 MF katkısı ile kıvam suyu %4,4, %1 MF katkısı ile kıvam suyu %5,5; %0,5 PK katkısı ile kıvam suyu %12,3, %1 MF katkısı ile kıvam suyu %14,2 oranında azalmıştır. Her iki kimyasal katkı, çimento ağırlığınca oran artışına bağlı olarak kıvam suyunda yüksek oranlarda azalma olmuştur. Bu kapsamda TS EN 934-2'ye göre MF için 1. Nesil, PK için 2. Nesil tanımı yapılabilir. Kıvam suyundaki azalma davranışı Şekil 16'da daha açık bir şekilde görülebilir. Buna göre referans çimentoda PK katkısının, MF katkısına göre su kesme oranında çok daha etkin olduğu söylenebilir.

PK ve MF akışkanlaştırıcı katkıların, BYT ve BST'li çimento hamurlarının standart kıvam suyu ihtiyacına olan etkilerine ilişkin bulgular aşağıda ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

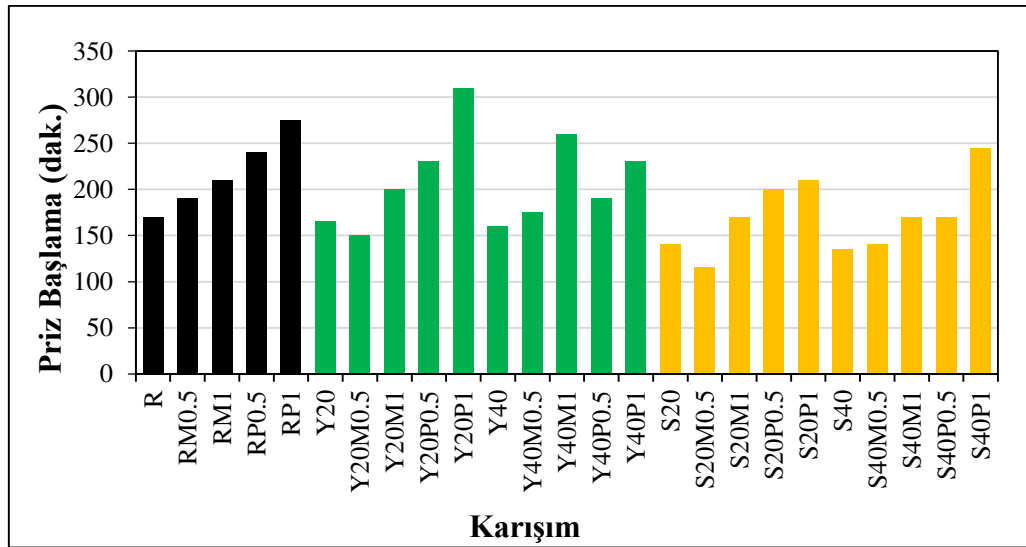
- Referans çimentoda her iki tuf ikamesinin %20 kullanılması durumunda %0,5 MF katkısı ile su ihtiyacı yaklaşık %2 oranında azaltılabilmektedir. MF katkısı sarı ve yeşil tuf ikameli çimentolarda benzer etki göstermiştir. Ancak MF'nin ve PK'nın sarı tüflü çimentolarda yeşil tüflü çimentolara göre daha fazla su kestiği söylenebilir. Bu durum MF ve PK katkıları sarı tüflü çimentolarla daha uyumlu olduğunun göstergesidir.
- Referans çimentosuna göre, her iki tuf ikamesinin %40 ve %0,5 MF ile yeşil tüflü çimentoların su ihtiyacını yaklaşık olarak %0,8 oranında azaltılabilmektedir. Sarı tüflü çimentolarda bu oran daha fazla olup %2,4 değerini almıştır. Yeşil tüflü çimentolarda MF katkısının su kesme oranı üzerinde büyük bir etkisinin olmadığı görülürken aynı durum sarı tüflü çimentolarda söz konusu değildir. Bu durum sarı tüflü çimentoların MF katkısı ile daha uyumlu çalıştığını göstermektedir.

- Referans çimentosuna göre %20 yeşil tuf ikameli çimentolarda, %1,0 MF katkısı ile su ihtiyacı yaklaşık %6,7 oranında azaltılabilmektedir. Aynı MF katkı oranıyla sarı tuf ikameli çimentolarda bu oran artarak %7,4 değerini almıştır. Bu durum sarı tüflü çimentoların yeşil tüflü çimentolara göre %0,7 oranında daha fazla su kestiği görülmektedir.
- Referans çimentosuna göre her iki tuf ikamesinin %40 olduğu ve %1,0 MF katkısı ile sarı tuf ikameli çimentonun su ihtiyacını %4,9 oranında, yeşil tuf ikameli çimentonun ise %5,7 oranında azaltmıştır.
- RM_{0,5} referans çimentosuna göre, %20 yeşil ve sarı tuf ikameli çimentolar %0,5 MF katkısı ile su ihtiyacını sırasıyla %1,5 ve %1,1 oranında artırmıştır.
- RM_{0,5} referans çimentosuna göre, %40 yeşil ve sarı tuf ikameli çimentolarda %0,5 MF katkısı su ihtiyacını sırasıyla %3,6 ve %2,0 oranında artırmıştır.
- RM₁ referans çimentosuna göre, %20 yeşil ve sarı tuf ikameli çimentolarda %1,0 MF katkısı su ihtiyacını sırasıyla %1,2 ve %1,9 oranında azaltmıştır.
- RM₁ referans çimentosuna göre, %40 yeşil ve sarı tuf ikameli çimentolarda %1,0 MF katkısı su ihtiyacını sırasıyla %0,6 oranında artırmış ve %0,2 oranında azaltmıştır.
- Referans çimentosuna göre, %20 yeşil ve sarı tuf ikameli çimentolarda %0,5 PK katkısı su ihtiyacını sırasıyla %9,4 ve %10,5 oranında azaltmıştır.
- Referans çimentosuna göre, %40 yeşil ve sarı tuf ikameli çimentolarda %0,5 PK katkısı su ihtiyacını sırasıyla %6,4 ve %6,9 oranında azaltabilmektedir. PK katkısı sarı ve yeşil tuf ikameli çimentolarda benzer etki oluşturduğu gözlenmiştir. Ancak PK'nın sarı tüflü çimentolar yeşil tüflü çimentolara göre daha fazla su kestiği söylenebilir. Bu durum PK'nın sarı tuf ile daha uyumlu olduğunun bir göstergesidir.
- Referans çimentosu dikkate alındığında, %20 yeşil ve sarı tuf ikameli çimentolarda %1,0 PK katkısı su ihtiyacını sırasıyla yaklaşık olarak %12,5 ve %13,5 oranında azaltabilmektedir. PK katkısı sarı ve yeşil tuf ikameli çimentolarda benzer etki oluşturduğu gözlenmiştir. Ancak PK katkısı sarı tüflü çimentoların yeşil tüflü çimentolara göre %1,0 daha fazla su kestiği söylenebilir. Bu durum PK'nın sarı tuf ile daha uyumlu olduğunun bir göstergesidir.
- Referans çimentosu dikkate alındığında, %40 yeşil ve sarı tuf ikameli çimentolarda %1,0 PK katkısı su ihtiyacını yaklaşık olarak sırasıyla %11,8 ve %11,5 oranında azaltabilmektedir. PK katkısı sarı ve yeşil tuf ikameli çimentolarda benzer etki oluşturduğu görülmüştür. Ancak sarı tuf ikameli çimentolar %0,3 oranında daha fazla su kestiği söylenebilir.
- RP_{0,5} referans çimentosuna göre, %20 yeşil ve sarı tuf ikameli çimentolarda %0,5 PK katkısı su ihtiyacını sırasıyla %2,9 ve %1,8 oranında artırmıştır.

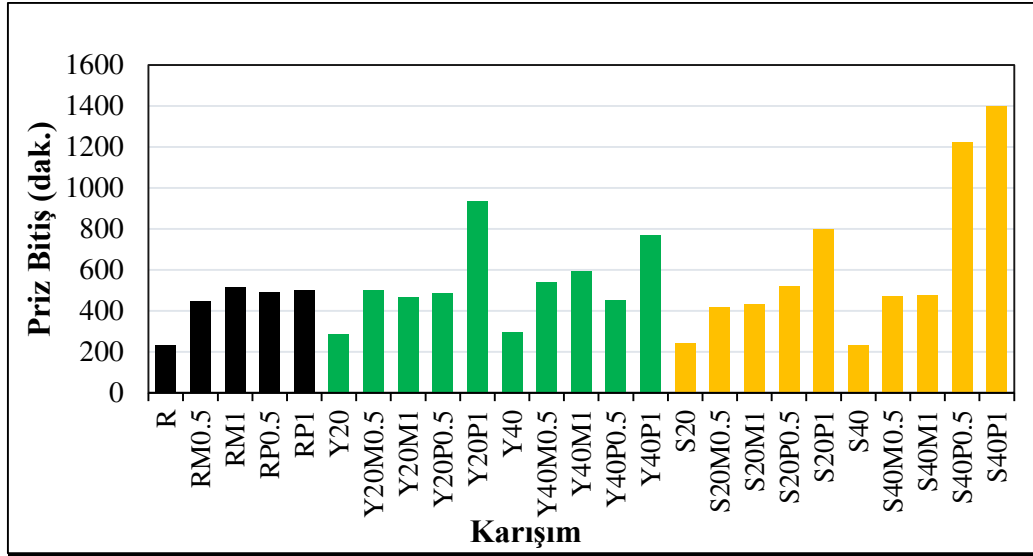
- RP_{0.5} referans çimentosuna göre, %40 yeşil ve sarı tüf ikameli çimentolarda %0,5 PK katkısı su ihtiyacını sırasıyla yaklaşık olarak %5,9 ve %5,4 oranında artırmıştır.
- RP₁ referans çimentosuna göre, %20 yeşil ve sarı tüf ikameli çimentolarda %1,0 PK katkısı su ihtiyacını sırasıyla yaklaşık olarak %1,7 ve %0,7 oranında artırmıştır.
- RP₁ referans çimentosuna göre, %40 yeşil ve sarı tüf ikameli çimentolarda %1,0 PK katkısı su ihtiyacını %2,4 ve %2,7 oranında artırmıştır.
- MF ve PK katkıları, %0,5 oranında Portland çimentosunda kullanımı ile su ihtiyacı sırasıyla %27,2 ve %19,3 oranında olmaktadır. Aynı oranlı PK katkısı, MF katkısından yaklaşık olarak %7,9 daha fazla su kestiği söylenebilir. Bu durum Portland çimentosunun PK katkısıyla daha uyumlu çalıştığının göstergesidir.
- MF ve PK kimyasal katkıları %1,0 oranında kullanıldığı Portland çimentolarda su ihtiyacı yaklaşık olarak sırasıyla %26,1 ve %17,4 oranındadır. Aynı oranlı PK katkısı, MF katkısından yaklaşık olarak %8,7 daha fazla su kestiği söylenebilir. Bu durum Portland çimentosunun PK katkısıyla daha uyumlu çalıştığının göstergesidir.

Priz Başlangıç ve Bitiş Süresi Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Her iki tüf ikameli çimento hamurlarında, polikarboksilat (PK) ve melamino formaldehit (MF) esaslı akışkanlaştırıcı katkıların priz başlama ve sonu sürelerine olan etkileri Şekil 19 ve Şekil 20'de grafiksel olarak gösterilmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi BYT ikameli çimento hamurlarında PK ve MF katkıları ile priz başlama süreleri genelde artmıştır. Ancak %20 BYT ikameli çimento hamurunda %0,5 oranında MF katkısı ile azalma göstermiştir. Her iki tüf ikame oranının artışıyla priz başlangıç süresi belli bir orana kadar artarken daha sonrası için azalış göstermiş, priz bitiş süresi sürekli artmıştır.



Şekil 19. Priz başlangıcı deney sonuçları grafiksel gösterimi.



Şekil 20. Priz sonlanma süreleri deney sonuçları grafiksel gösterimi.

Her iki tuf ikameli çimento hamurlarında farklı oranlarda MF ve PK katkı kullanımı ile priz başlangıç ve bitiş sürelerinin kontrol çimento hamuru dikkate alınarak yapılan değerlendirmeler sırasıyla aşağıda verilmiştir:

- Referans çimentosunda her iki tuf ikamesinin %40 kullanılması durumunda, düşük oranda (%0,5) MF katkısı ile priz başlama ve sonlanma süreleri yeşil tuf ikameli çimento hamurunda sırasıyla 5 dk ve 310 dk uzamış; sarı tuf ikameli çimentolarda ise priz süreleri sırasıyla 30 dk kısalmış ve 240 dk uzamıştır.
- Referans çimentosunda her iki tuf ikamesinin %20 kullanılması durumunda, yüksek oranda (%1,0) MF katkısı ile priz başlama ve sonlanma süreleri, yeşil tuf ikameli çimento hamurunda sırasıyla, 30 dk ve 235 dk uzamıştır. Sarı tuf ikameli çimento hamurunda ise priz başlama süresinde değişikliğin olmadığı ancak priz sonlanma süresinin 200 dk uzadığı görülmüştür.
- Referans çimentosunda her iki tuf ikamesinin %40 kullanılması durumunda, yüksek oranda (%1,0) MF katkısı ile priz başlama ve sonlanma süreleri yeşil tuf ikameli çimento hamurunda sırasıyla 90 dk ve 360 dk uzamıştır. Sarı tuf ikameli çimento hamurunda ise priz başlama süresinde değişikliğin olmadığı ancak priz sonlanma süresinin 245 dk uzadığı görülmüştür.
- RM_{0,5} referans çimentosunda her iki tuf ikamesinin %20 kullanılması durumunda, düşük oranda (%0,5) MF katkısı ile priz başlama ve sonlanma süreleri yeşil tuf ikameli

çimento hamurunda sırasıyla 40 dk kısalmış ve 5 dk uzamıştır. Sarı tuf ikameli çimento hamurunda ise priz süreleri sırasıyla 75 dk ve 30 dk kısalmıştır.

- RM_{0,5} referans çimentosunda her iki tuf ikamesinin %40 kullanılması durumunda, düşük oranda (%0,5) MF katkısı ile priz başlama ve sonlanma süreleri yeşil tuf ikameli çimento hamurunda sırasıyla, 15 dk kısalmış ve 95 dk uzadığı görülmüştür. Sarı tuf ikameli çimento hamurunda ise priz süreleri 50 dk kısalmış ve 25 dk uzamıştır.
- RM₁ referans çimentosunda her iki tuf ikamesinin %20 kullanılması durumunda, yüksek oranda (%1,0) MF katkısı ile priz başlama ve sonlanma süreleri yeşil tuf ikameli çimento hamurunda sırasıyla, 10 dk ve 50 dk; sarı tuf ikameli çimento hamurunda ise 40 dk ve 85 dk kısalmıştır.
- RM₁ referans çimentosunda her iki tuf ikamesinin %40 kullanılması durumunda, yüksek oranda (%1,0) MF katkısı ile priz başlama ve sonlanma süreleri yeşil tuf ikameli çimento hamurunda sırasıyla, 50 dk ve 75 dk uzamış; sarı tuf ikameli çimento hamurunda ise priz sürelerinin her biri 40 dk kısalmıştır.
- Referans çimentosunda her iki tuf ikamesinin %20 kullanılması durumunda, düşük oranda (%0,5) PK katkısı ile priz başlama ve sonlanma süreleri, yeşil tuf ikameli çimento hamurunda sırasıyla 60 dk ve 255 dk; sarı tuf ikameli çimento hamurunda ise 30 dk ve 290 dk uzamıştır.
- Referans çimentosunda her iki tuf ikamesinin %40 kullanılması durumunda, düşük oranda (%0,5) PK katkısı ile priz başlama ve sonlanma süreleri yeşil tuf ikameli çimento hamurunda sırasıyla 20 dk ve 220 dk uzamıştır. Sarı tuf ikameli çimento hamurunda ise priz başlama süresinde değişikliğin olmadığı ancak priz sonlanma süresinin 990 dk uzadığı görülmüştür.
- Referans çimentosunda her iki tuf ikamesinin %20 kullanılması durumunda, yüksek oranda (%1,0) PK katkısı ile priz başlama ve sonlanma süreleri, yeşil tuf ikameli çimento hamurunda sırasıyla 140 dk ve 705 dk; sarı tuf ikameli çimento hamurunda ise 40 dk ve 570 dk uzadığı görülmüştür.
- Referans çimentosunda her iki tuf ikamesinin %40 kullanılması durumunda, yüksek oranda (%1,0) PK katkısı ile priz başlama ve sonlanma süreleri yeşil tuf ikameli çimento hamurunda sırasıyla 60 dk ve 540 dk; sarı tuf ikameli çimento hamurunda ise 75 dk ve 1170 dk uzamıştır.
- RP_{0,5} referans çimentosunda her iki tuf ikamesinin %20 kullanılması durumunda, düşük oranda (%0,5) PK katkısı ile priz başlama ve sonlanma süreleri yeşil tuf ikameli çimentolarda sırasıyla 10 dk ve 5 dk kısalmıştır. Sarı tuf ikameli çimento hamurunda ise priz süreleri sırasıyla 40 dk kısalmış ve 30 dk uzamıştır.

- RP_{0,5} referans çimentosunda her iki tuf ikamesinin %40 kullanılması durumunda, düşük oranda (%0,5) PK katkısı ile priz başlama ve sonlanma süreleri yeşil tuf ikameli çimento hamurunda sırasıyla 50 dk ve 40 dk kısalmıştır. Sarı tuf ikameli çimento hamurunda ise priz süreleri 70 dk kısalmış ve 730 dk uzamıştır.
- RP₁ referans çimentosunda her iki tuf ikamesinin %20 kullanılması durumunda, yüksek oranda (%1,0) PK katkısı ile priz başlama ve sonlanma süreleri yeşil tuf ikameli çimentolarda sırasıyla 35 dk ve 435 dk uzamıştır. Sarı tuf ikameli çimento hamurunda ise priz süreleri 65 dk kısalmış ve 300 dk uzamıştır.
- RP₁ referans çimentosunda her iki tuf ikamesinin %40 kullanılması durumunda yüksek oranda (%1,0) PK katkısı ile priz başlama ve sonlanma süreleri yeşil tuf ikameli çimento hamurunda sırasıyla 45 dk kısalmış ve 270 dk uzamıştır. Sarı tuf ikameli çimento hamurunda ise priz süreleri 30 dk kısalmış ve 900 dk uzamıştır.
- RM_{0,5} çimentosunda kullanılan düşük oranda (%0,5) MF katkısı ile priz başlama ve sonlanma süreleri sırasıyla 190 dk ve 445 dk sonra gerçekleşmiştir. RP_{0,5} çimentosunda ise düşük oranda (%0,5) PK katkısı ile priz süreleri 240 dk ve 490 dk sonra gerçekleşmiştir. PK katkısı MF katkısına göre priz başlama süresini yaklaşık olarak 50 dk, priz sonlanma süresini ise 45 dk uzatmıştır.
- RM₁ çimentosunda kullanılan yüksek oranda (%1,0) MF katkısı ile priz başlama ve sonlanma süreleri sırasıyla 210 dk ve 515 dk sonra gerçekleşmiştir. RP₁ çimentosunda yüksek oranda (%1,0) PK katkısı ile priz başlama ve sonlanma süreleri sırasıyla 275 dk ve 500 dk sonra gerçekleşmiştir. PK katkısı MF katkısına göre priz başlama süresini yaklaşık olarak 65 dk uzatmış, priz sonlanma süresini ise 15 dk kısaltmıştır.

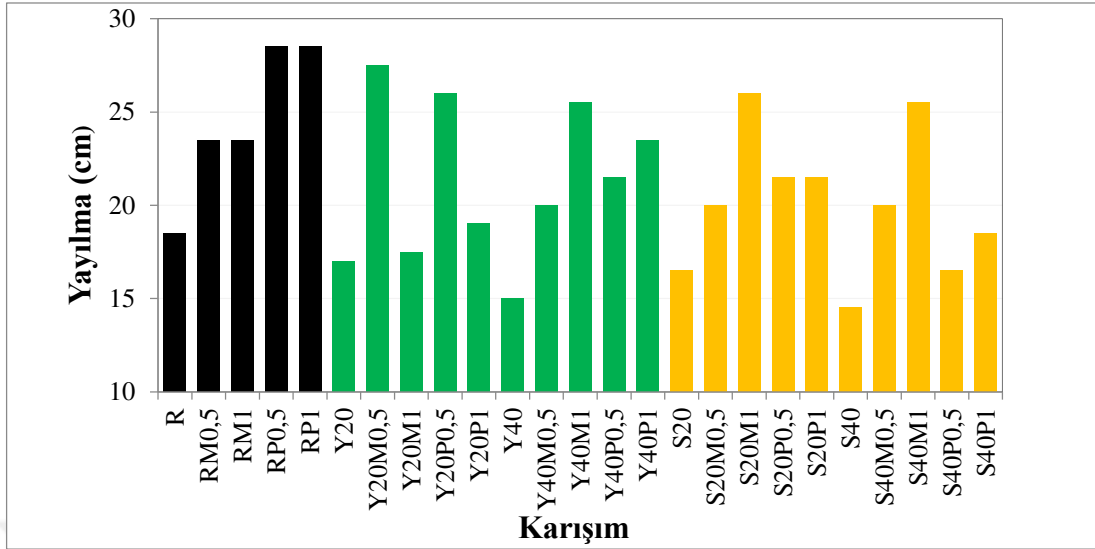
Çimento Harçları Üzerinde Yapılan Deney Sonuçları

BST ve BYT ikameli harçlar üzerinde gerçekleştirilen taze harç deney sonuçları (akış testi-yayılma) ile sertleşmiş harç deney sonuçları (basınç dayanımı) Tablo 15'te verilmiştir.

Yayılma-akış testi deney sonuçları.

Şekil 21'e göre BT ikamesiyle birlikte taze çimento harçlarının yayılma çaplarında azalma olmuştur. Böylece üretilen çimentoların BT ikameleri arttıkça işlenebilirliğe olumsuz etki oluşturacağı belirlenmiştir. Bunun sebebi ikame yapılan BT'lerin yüksek özgül yüzeye sahip olmaları ve bu sebeple aşırı adsorbe su ihtiyaçlarının olmasıdır. Aynı miktarda su ile üretilen ancak ikame oranı artan çimento harçlarında işlenebilirlik olumsuz etkilenmiştir. Bu davranış kıvam deneylerinde elde edilen su ihtiyacı oranlarında da benzer sonuçlar üretmiştir. Ancak BST ve BYT ile üretilen çimentolarda PK ve MF katkılarının kullanımı işlenebilirliği

olumlu yönde etkilemiştir. Toplamda 5 çimento tipi dikkate alındığında PK ve MF katkılarının işlenebilirliği farklı oranlarda artırdığı görülmüştür.



Şekil 21. Karışım harçları yayılma tablası deney sonuçları.

Tablo 15. BT ikameli harçların basınç dayanımı ve yayılma tablası deney sonuçları

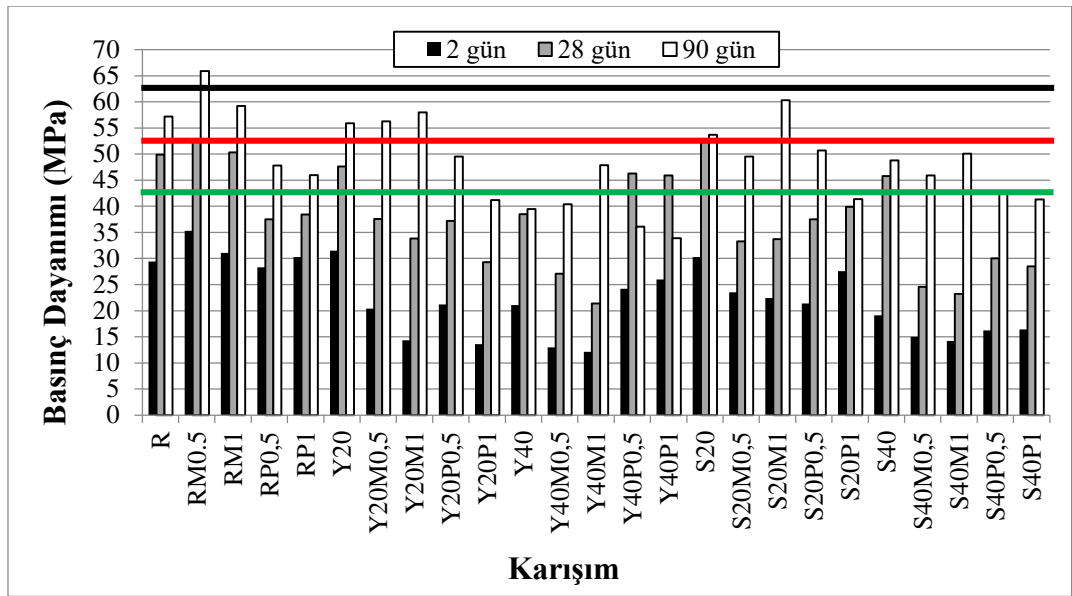
Kod	BHA (kg/dm ³)			Basınç Dayanımı (N/mm ²)			Yayılma (cm)
	2 gün	28 gün	90 gün	2 gün	28 gün	90 gün	
R	2,16	2,19	2,11	29,4(100)	49,9(100)	57,2(100)	18,5(100)
RM _{0,5}	2,19	2,24	2,19	35,3(120)	52,4(105)	65,9(115)	23,5(127)
RM ₁	2,39	2,30	2,23	31,1(106)	50,3(101)	59,2(103)	23,5(127)
RP _{0,5}	2,18	2,26	2,19	28,3(96)	37,5(75)	47,8(84)	28,5(154)
RP ₁	2,24	2,24	2,18	30,3(103)	38,4(77)	46,0(80)	28,5(154)
Y ₂₀	2,32	2,36	2,27	31,5(100)	47,6(100)	55,9(100)	17,0(100)
Y ₂₀ M _{0,5}	2,14	2,22	2,10	20,4(65)	37,6(79)	56,3(101)	27,5(162)
Y ₂₀ M ₁	2,12	2,16	2,17	14,3(45)	33,8(71)	58,0(104)	17,5(103)
Y ₂₀ P _{0,5}	2,10	2,18	2,07	21,2(67)	37,2(78)	49,5(89)	26,0(153)
Y ₂₀ P ₁	2,12	2,17	2,13	13,6(43)	29,3(62)	41,2(74)	19,0(112)
Y ₄₀	2,30	2,35	2,28	21,1(100)	38,5(100)	39,5(100)	15,0(100)
Y ₄₀ M _{0,5}	2,04	2,13	2,09	13,0(61)	27,1(70)	40,4(102)	20,0(133)
Y ₄₀ M ₁	2,07	2,13	2,11	12,1(57)	21,4(56)	47,9(121)	25,5(170)
Y ₄₀ P _{0,5}	2,18	2,21	2,01	24,2(115)	46,3(120)	36,1(91)	21,5(143)
Y ₄₀ P ₁	2,22	2,20	2,05	26,0(123)	45,9(119)	33,9(86)	23,5(157)
S ₂₀	2,25	2,32	2,26	30,3(100)	52,3(100)	53,7(100)	16,5(100)
S ₂₀ M _{0,5}	2,07	2,16	2,09	23,5(78)	33,3(64)	49,5(92)	20,0(121)
S ₂₀ M ₁	2,15	2,19	2,10	22,4(74)	33,7(64)	60,3(112)	26,0(158)
S ₂₀ P _{0,5}	2,11	2,18	2,00	21,4(71)	37,5(72)	50,7(94)	21,5(130)
S ₂₀ P ₁	2,21	2,20	2,15	27,6(91)	39,9(76)	41,4(77)	21,5(130)
S ₄₀	2,22	2,29	2,20	19,1(100)	45,8(100)	48,8(100)	14,5(100)
S ₄₀ M _{0,5}	2,08	2,15	2,04	15,0(79)	24,6(54)	45,9(94)	20,0(138)
S ₄₀ M ₁	2,04	2,16	2,08	14,2(74)	23,2(51)	50,1(103)	25,5(176)
S ₄₀ P _{0,5}	2,11	2,16	2,00	16,2(85)	30,0(66)	42,4(87)	16,5(114)
S ₄₀ P ₁	2,12	2,17	2,03	16,4(86)	28,5(62)	41,3(85)	18,5(128)

PK ve MF esaslı akışkanlaştırıcı katkıların, yeşil ve sarı tuf ikameli çimento karışım harçları üzerindeki yayılma oranları değerlendirildiğinde:

- Portland çimentosuyla hazırlanan harçlarda %0,5 MF ve PK katkıları sırasıyla %27 ve %54 oranında işlenebilirliği artırdığı görülmüştür. MF ve PK katkılarının yüksek oranda kullanımının (%1,0) yayılma üzerinde etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.
- %20 yeşil tuf ikameli çimento kullanımı ile hazırlanan harçlarda, %0,5 MF katkısı yayılma oranını %62 artırarak en fazla değerine ulaştırmıştır. Ancak %1,0 MF katkısının yayılma üzerinde büyük bir etkisinin olmadığı görülmüştür.
- %40 yeşil tuf ikameli çimento kullanımı ile hazırlanan harçlarda, düşük (%0,5) ve yüksek (%1,0) oranlı PK katkıları yayılmayı sırasıyla %43 ve %57 oranında, MF katkısı ise %33 ve %70 oranında artırmıştır.
- %20 sarı tüflü çimentolar ile hazırlanan harçlarda, düşük (%0,5) ve yüksek oranda (%1,0) PK katkı kullanımı yayılma değerini aynı oranda (%30) artırmıştır. Bu çimentoda aynı oranlarda MF katkısı yayılmayı sırasıyla %21 ve %58 oranında artırmıştır.
- %40 sarı tuf ikameli çimento ile hazırlanan harçlarda, düşük (%0,5) ve yüksek (%1,0) oranlı PK katkı kullanımı yayılmayı sırasıyla %14 ve %28 oranında, MF katkısı ise %38 ve %76 oranında artırmıştır.

Basınç dayanımı deney sonuçları.

CEM I tipi çimentonun yerine %0, %20 ve %40 oranlarında BST ve BYT'lerin kullanılması ile üretilen yeni kompoze çimentolarla hazırlanan harç örneklerde 2, 28, 90 gün yaşlarda gerçekleştirilen basınç dayanım deneylerinin sonuçları Tablo 15'te verilmiştir. Bu tabloda harç numuneleri üzerinde yapılan deneylerden elde edilen bulgular, her iki numunenin aritmetik ortalama ($\bar{x}$) değerleri hesaplanmış şekilde gösterilmiştir. Üretilen çimentoların basınç dayanımlarındaki zamana dayalı gelişimleri ise Şekil 22'de verilmiştir. TS EN 197-1'e göre, 28 günlük basınç dayanım sınır değerlerinin 42,5 ile 62,5 MPa aralığında olması gerektiği grafik üzerinde çizgisel olarak belirtilmiştir.



Şekil 22. Basınç dayanım deney sonuçları.

Bayburt yeşil ve sarı tüf ikameli çimentolarda, PK ve MF akışkanlaştırıcı katkı kullanımı ile elde edilen harç numunelerinin 2, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları değerlendirildiğinde:

- Erken yaş dayanımları dikkate alındığında (2 günlük) Portland çimentosuyla hazırlanan harçlarda düşük oranda MF (%0,5) katkısı ile dayanımların arttığı görülmüştür. PK katkısı ve yüksek oranda (%1,0) MF katkısının kullanımı bu dayanımlar üzerinde büyük bir etki göstermemiştir.
- 28 günlük dayanımlar dikkate alındığında, Portland çimentosuyla hazırlanan harçlarda MF katkısının kullanımı dayanımlar üzerinde büyük bir etki göstermemiştir. PK katkısı ise yaklaşık olarak %26 oranında dayanım kaybına yol açtığı tespit edilmiştir.
- Uzun süreli dayanımlar dikkate alındığında (90 günlük), Portland çimentosuyla hazırlanan harçlarda düşük oranda MF (%0,5) katkısı ile dayanımların arttığı görülmüştür. Yüksek oranda MF katkısının kullanımı dayanımlar üzerinde büyük bir etki göstermemiştir. PK katkısının kullanımı yaklaşık olarak %22 oranında dayanım kaybına yol açtığı tespit edilmiştir.
- Erken yaş dayanımları dikkate alındığında (2 günlük), %20 sarı tüf ikameli çimento harçlarında MF ve PK katkıları düşük oranda (%0,5) kullanımı ile %66, yüksek oranda (%1,0) kullanımı ise %44 oranında dayanım kaybına yol açtığı tespit edilmiştir.
- 28 günlük dayanımlar dikkate alındığında, %20 yeşil tüf ikameli çimento harçlarında MF ve PK katkıları dayanım kaybına neden olduğu görülmüştür. Maksimum dayanım

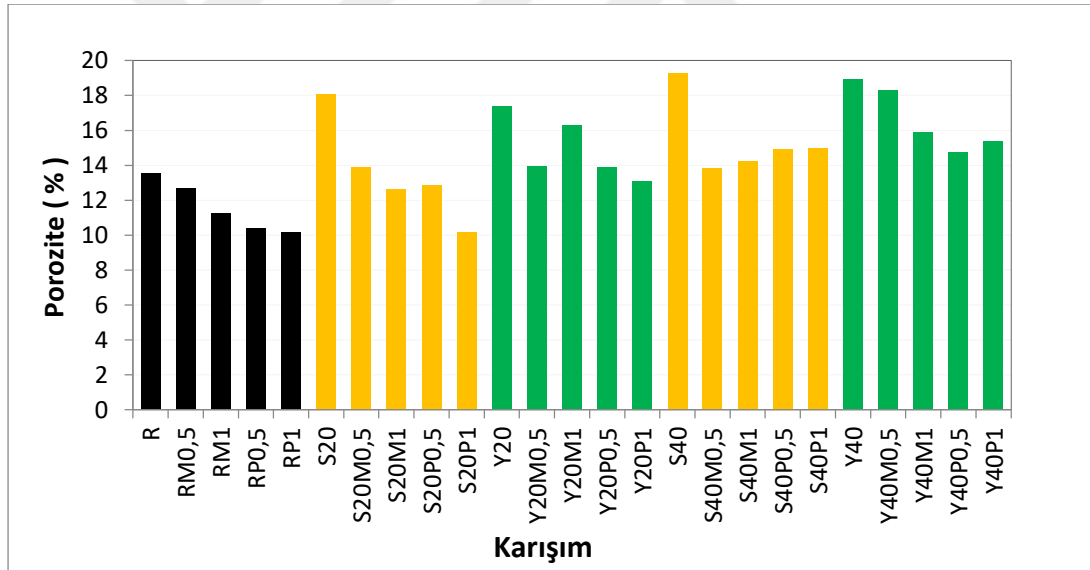
kaybı yüksek oranlı (%1,0) PK katkısı ile %38, minimum dayanım kaybı ise düşük oranlı (%0,5) MF katkısı ile %21 oranındadır.

- Uzun süreli dayanımlar dikkate alındığında (90 günlük), %20 yeşil tuf ikameli çimento harçlarında, MF katkısının basınç dayanımları üzerinde büyük bir etkisinin olmadığı ancak PK katkısının ise dayanım kaybına yol açtığı tespit edilmiştir. Maksimum dayanım kaybı yüksek oranda (%1,0) PK katkısı ile %26 oranında olduğu görülmüştür.
- Erken yaş dayanımları dikkate alındığında (2 günlük), %40 yeşil tuf ikameli çimento harçlarında düşük (%0,5) ve yüksek (%1,0) oranda MF katkı kullanımı sırasıyla %39 ve %43 dayanım kaybına yol açtığı tespit edilmiştir. Bu çimentolarda yüksek oranda (1,0) PK katkı kullanımı %23 oranında dayanım kazandırmış ancak düşük oranda (%0,5) PK katkısı dayanım üzerinde büyük bir etki göstermediği belirlenmiştir.
- 28 günlük dayanımlar dikkate alındığında, %40 yeşil tuf ikameli çimento harçlarında, düşük (%0,5) ve yüksek (%1,0) oranda MF katkısı sırasıyla %30 ve %44 oranında dayanım kaybına neden olmuştur. Ancak aynı oranlardaki PK katkısı ise %20 ve %19 oranında dayanım kazandırdığı görülmüştür.
- Uzun süreli dayanımlar dikkate alındığında (90 günlük), %40 yeşil tuf ikameli çimento harçlarında, yüksek (%1,0) oranda MF katkı kullanımı dayanımı %21 oranında artırdığı görülmüştür. Her iki orandaki PK katkıları ve düşük (%0,5) oranda MF katkısı dayanımlar üzerinde büyük bir etki göstermemiştir.
- Erken yaş dayanımları dikkate alındığında (2 günlük), %20 sarı tuf ikameli çimento harçlarında, her iki orandaki MF ve düşük oranlı (0,5) PK katkıları dayanım kaybına yol açtığı tespit edilmiştir. Yüksek oranda (%1,0) PK katkısı dayanım üzerinde büyük bir etki göstermemiştir.
- 28 günlük dayanımlar dikkate alındığında, %20 yeşil tuf ikameli çimento harçlarında, MF ve PK katkıları dayanım kaybına yol açtığı tespit edilmiştir. MF katkısı PK katkısına göre daha fazla dayanım kaybına neden olmuştur. MF katkısının düşük ve yüksek oranda kullanımı aynı dayanım kaybına neden olduğu görülmüştür.
- Uzun süreli dayanımlar dikkate alındığında (90 günlük); %20 yeşil tuf ikameli çimento harçlarında, yüksek oranda (1,0) PK katkısı dayanım kaybına yol açarken, yüksek oranda (%1,0) MF katkısı dayanımı artırdığı görülmüştür. Düşük oranda (%0,5) MF ve PK katkıları bu dayanımlar üzerinde büyük bir etki göstermemiştir. Yüksek oranda (1,0) PK katkısı dayanım kaybına yol açarken, aynı orandaki MF katkısı dayanımı artırdığı görülmüştür.
- Erken yaş dayanımları dikkate alındığında (2 günlük), %40 sarı tuf ikameli çimento harçlarında, MF ve PK katkıları dayanım üzerinde büyük bir etki göstermemiştir.

- 28 günlük dayanımlar dikkate alındığında, %40 yeşil tuf ikameli çimento harçlarında, MF ve PK katkıları dayanım kaybına yol açtığı tespit edilmiştir. MF katkısı PK katkısına göre daha fazla dayanım kaybına neden olmuştur.
- Uzun süreli dayanımlar dikkate alındığında (90 günlük), %40 yeşil tuf ikameli çimento harçlarında, PK katkısının dayanım kaybına yol açtığı tespit edilmiştir. Ancak MF katkısı bu dayanımlar üzerinde büyük bir etki göstermemiştir.

Su emme deney sonuçları.

Melamino formaldehit ve polikarboksilat esaslı akışkanlaştırıcı katkıların Bayburt yeşil ve sarı tuf ikameli çimento harç numunelerinde kullanımı ile 28 günlük su emme deney sonucu elde edilen porozite yüzde oranları Şekil 23'de grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekil 23'de görüldüğü gibi yeşil ve sarı tuf ikameli çimento karışım harçlarında her iki akışkanlaştırıcı katkı tipi de kullanım oranına bağlı olarak porozite değerlerini yüzdece azalttığı görülmektedir. Bu katkıların karışım harçlarının işlenebilirliğini artırması nedeniyle numunelerde oluşan görünür boşluk oranını da azaltmıştır.



Şekil 23. Karışım harç numunelerinin su emme deneyi ve porozite değerleri.

Karışım harç numunelerinin 28 günlük su emme deney sonuçları elde edilen bulgulara göre değerlendirildiğinde:

- Referans çimentosuna göre, düşük (%0,5) ve yüksek (%1,0) oranda MF katkısı ağırlıkça su emme oranını sırasıyla %0,5 ve %1,5 oranında azaltmıştır.
- Referans çimentosuna göre, düşük (%0,5) ve yüksek (%1,0) oranda PK katkısı ağırlıkça su emme oranını sırasıyla %1,9 ve %2,0 oranında azaltmıştır.

- %20 sarı tuf ikameli çimentolar dikkate alındığında, düşük (%0,5) ve yüksek (%1,0) oranda MF katkısı, ağırlıkça su emme oranını sırasıyla %0,3 ve %1,0 oranında azaltmıştır.
- %20 sarı tuf ikameli çimentolar dikkate alındığında, düşük (%0,5) ve yüksek (%1,0) oranda PK katkısı ağırlıkça su emme oranını sırasıyla %0,7 ve %2,3 oranında azaltmıştır.
- %40 sarı tuf ikameli çimentolar dikkate alındığında, düşük (%0,5) ve yüksek (%1,0) oranda MF katkısı ağırlıkça su emme oranını sırasıyla %0,2 ve %0,1 oranında azaltmıştır.
- %40 sarı tuf ikameli çimentolar dikkate alındığında, düşük (%0,5) ve yüksek (%1,0) oranda PK katkısı ağırlıkça su emme oranını sırasıyla %0,6 ve %0,5 oranında artırmıştır.
- %20 yeşil tuf ikameli çimentolar dikkate alındığında, düşük (%0,5) oranda MF katkısı ağırlıkça su emme oranı üzerinde büyük bir etki göstermemiştir. Ancak, yüksek oranda (%1,0) MF katkısı ağırlıkça su emme oranını %1,0 oranında artırmıştır.
- %20 yeşil tuf ikameli çimentolar dikkate alındığında, ağırlıkça su emme oranını düşük (%0,5) oranlı PK katkısı %0,1 artırmış ve yüksek (%1,0) oranlı PK katkısı %0,7 oranında azaltmıştır.
- %40 yeşil tuf ikameli çimentolar dikkate alındığında, düşük (%0,5) ve yüksek (%1,0) oranda MF katkısı ağırlıkça su emme oranını sırasıyla %2,1 ve %0,8 oranında, PK katkısı ise %0,3 ve %0,6 oranında artırmıştır.

Çimento çeşitlerine göre, MF ve PK katkılarının porozite üzerindeki etkisini değerlendirdiğimizde;

- Referans çimentosuna göre, düşük (%0,5) ve yüksek (%0,5) orandaki MF katkıları, ağırlıkça porozite oranını sırasıyla %0,9 ve %2,3 oranında azaltmıştır. Bu çimentolarda aynı oranlı PK katkıları ise porozite oranını %3,2 ve %3,4 oranında azaltmıştır.
- %20 sarı tuf ikameli çimentolar dikkate alındığında, düşük (%0,5) ve yüksek (%1,0) oranda MF katkıları porozite oranını sırasıyla %4,2 ve %5,4 oranında azaltmıştır. Bu çimentolarda aynı oranlı PK katkıları ise porozite oranını %5,2 ve %7,9 oranında azaltmıştır.
- %40 sarı tuf ikameli çimentolar dikkate alındığında, düşük (%0,5) ve yüksek (%1,0) oranda MF katkıları porozite oranını sırasıyla %5,4 ve %5,0 oranında azaltmıştır. Bu çimentolarda aynı oranlı PK katkıları ise porozite oranını %4,4 ve %4,3 oranında azaltmıştır.

- %20 yeşil tuf ikameli çimentolar dikkate alındığında, düşük (%0,5) ve yüksek (%1,0) oranda MF katkıları porozite oranını sırasıyla %3,4 ve %1,1 oranında azaltmıştır. Bu çimentolarda aynı oranlı PK katkıları ise porozite oranını %3,5 ve %4,3 oranında azaltmıştır.
- %40 yeşil tuf ikameli çimentolar dikkate alındığında, düşük (%0,5) ve yüksek (%1,0) oranda MF katkıları porozite oranını sırasıyla %0,6 ve %2,3 oranında azaltmıştır. Bu çimentolarda aynı oranlı PK katkıları ise porozite oranını %4,2 ve %3,6 oranında azaltmıştır.



Sonuçlar

Günümüzde sürdürülebilirlik hedefleri dikkate alındığında pozolanik özellik gösteren doğal kaynakların çimento içerisinde kullanımı ve ayrıca bu alternatif bağlayıcıların akışkanlaştırıcı katkılarla uyumu önemli araştırma konularından birisi olmuştur. Bu çalışmada Bayburt bölgesinde bulunan yeşil ve sarı tüflerin Portland çimentosu içerisinde kullanımıyla üretilen çimentoların fiziksel ve mekanik özellik deneylerinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- %20 oranında sarı tuf ikameli çimento hamurunun standart kıvam için su ihtiyacı %1 PK esaslı akışkanlaştırıcı ile en düşük değere (%15,5) ulaşmıştır. Mineral katkı oranına bakılmaksızın PK esaslı akışkanlaştırıcı, MF esaslı akışkanlaştırıcıya göre daha fazla su kestiği tespit edilmiştir.
- Sarı ve yeşil tuf ikameli çimentolarda, polikarboksilat ve melamino formaldehit esaslı akışkanlaştırıcı katkılarının kullanımı priz sonu süresini geciktirmiştir. %40 oranında sarı tuf kullanımı ile hazırlanan çimento hamurlarında %1,0 polikarboksilat katkısı priz sonunu aşırı derecede (1170 dk) ötelediği görülmüştür.
- Portland çimento hamurlarında priz sonlanma süresi %1,0 oranında melamino formaldehit akışkanlaştırıcı katkısı ile en fazla 515 dk ve priz başlama süresi ise aynı oranında polikarboksilat esaslı akışkanlaştırıcı katkı ile en fazla 275 dk geciktiği tespit edilmiştir.
- PK esaslı akışkanlaştırıcı referans çimentosunun erken ve geç basınç dayanımlarını azaltırken, MF esaslı akışkanlaştırıcı referans çimentosunun erken ve geç basınç dayanımlarını artırmıştır. Ancak, her iki kimyasal katkı %40 BYT+PK'lı çimentolar hariç tüm kimyasal katkılı kompoze çimentolarda erken basınç dayanımını azaltmıştır. Kompoze çimentoların geç basınç dayanımlarında MF esaslı akışkanlaştırıcılar dayanım artışına sebep olurken, PK esaslı akışkanlaştırıcılar dayanım azalmasına sebep olmuştur. Burda PK esaslı katkıların miktarı belirlenirken çimento ya da bağlayıcı miktarına bağlı oran tespitinin çok hassas yapılması gerektiği düşünülmektedir. Ayrıca aşırı su kullanımının da negatif etki oluşturabileceği unutulmamalıdır.
- %20, %40 yeşil ve sarı tuf ikameli çimento harçlarında kullanılan polikarboksilat ve melamino formaldehit esaslı akışkanlaştırıcı katkıları zaman zaman dayanım kaybına neden olurken zaman zaman da dayanım kazandırdığı tespit edilmiştir. %40 yeşil tuf ikameli çimentolarda, düşük oranda (%0,5) melamino formaldehit esaslı akışkanlaştırıcı

katkısı 28 gün yaşındaki basınç dayanımını %20 oranında artırarak 46,3 MPa değerine ulaştırdığı görülmüştür.

- %20, %40 yeşil ve sarı tuf ikameli çimento harçlarında kullanılan polikarboksilat ve melamino formaldehit esaslı akışkanlaştırıcı katkıların yayılma oranı ile birlikte işlenebilirliği artırdığı tespit edilmiştir. %40 sarı tuf ikameli çimento harcında yüksek oranda (%1,0) melamino formaldehit esaslı akışkanlaştırıcı katkı kullanımı işlenebilirliği %76 oranında artırarak maksimum değere ulaştığı görülmüştür.
- 28 günlük numunelerin su emme deney sonuçlarına göre görünür porozite değerleri Portland çimentosu dikkate alındığında, melamino formaldehit ve polikarboksilat esaslı akışkanlaştırıcı katkıların işlenebilirliği artırdığı ve porozite oranlarını düşürdüğü belirlenmiştir. Porozite oranının yüksek oranlı (%1,0) polikarboksilat esaslı akışkanlaştırıcı katkı kullanımıyla en fazla %3,4 oranında azaldığı görülmüştür. Çalışmada yer alan toplamda 5 tip çimento dikkate alındığında ise 28 günlük numunelerde, %20 sarı tuf ikameli çimentolarda yüksek oranda (%1,0) polikarboksilat esaslı akışkanlaştırıcı katkı kullanımı porozite değerini %7,9 oranında maksimum miktarda azalttığı tespit edilmiştir.

Kaynakça

- Akman, M. S. (1990). *Yapı Malzemeleri*. T.C. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası (1408).
- Alp, I., Deveci, H., Yılmaz, A. O., Kesimal, A., & Yılmaz, E. (2004). Taşhane (Terme) Andezitik Tüflerinin Çimentoda Üretiminde Katkı Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Karadeniz Teknik Üniversitesi*. Trabzon.
- 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. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 65901).
- ASTM C 1585-04. (2007). Standart Test Method For Measurement Of Rate Of Absorption Of Water By Hydraulic Cement Concretes, *American Society of Testing Methods*, USA.
- ASTM C 618. (1991). *Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete*. Philadelphia: ASTM.
- ASTM C 642-06. (2006). Standart Test Method For Density, Absorption and Voids In Hardened Concrete, *American Society of Testing Methods*, USA.
- Atan, M. C. (2015). Using Cappadocia Tuff as a Natural Pozzolan in the Cement Production. *A Thesis Submitted to the Graduate School of Natural Applied Sciences of Middle East Technical University*. Ankara.
- Baradan, B., Yazıcı, H., & Aydın, S. (2012). *Beton*. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No:334.
- Bilge, B. (2008). *Portland Çimentosu Farinine İlave Edilen Katkıların Çimentonun Sinterleşme Davranışına Etkisi*, (Yüksek Lisans Tezi), Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 179976).
- Çavdar, A., & Yetkin, Ş. (2005). Doğal Puzolan Katkı Oranının Çimentonun Dayanım, İşlenebilirlik, Katılma ve Hacim Genleşmesi Özelliklerine Etkisi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilim Dergisi*, 17(4), 687-692.
- Çil, İ. (2000). Yeni Kuşak Hiperakışkanlaştırıcı Beton Katkıları. *YKS Vizyon Dergisi*, SKW-MBT Sayı: 2, s: 32-35.
- Dayı, M. (2006). *Doğal ve Yapay Puzolanların Kompoze Çimento Üretimindeki Kullanılabilirliğinin Araştırılması*, (Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 12-15, 17, 19-20. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 196653)
- Delibaş, T. (2012). *Effects of Granulated Blast Furnace Slag, Trass and Limestone Fineness on The Properties of Blended Cements*, (MS Thesis), ODTÜ Graduate School of Natural and Applied Sciences. Ankara.
- Demirer, A. (2009). *Çimento Katkısı Olarak Kullanılan Farklı Doğal Puzolanların (Tras) Elektrokinetik ve Yüzey Özelliklerinin Belirlenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 237924)
- Doruk, M. (1974). *Volkanik Tüflerin Karayolu Yapımında Kullanılması ile İlgili Bir Çalışma*. Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma Fen Heyeti Müdürlüğü.

- Douglas, E., & Mainwaring P. R. (1985). Hydration and Pozzolan Activity of Non Ferrous Slag. *American Ceramic Society Bulletin*, 64(5), 700-711.
- DPT. (2001). Yapı Malzemeleri III (Pomza- Perlit- Vermikülit- Flogopit Genleşen Killer). *Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Çalışma Grubu Raporu*, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu. Ankara.
- Erdoğan, S. T., & Erdoğan T. Y. (2007). *Bağlayıcı malzemelerin ve betonun onbin yıllık tarihi*, Odtü Yayıncılık, 219 s, Ankara.
- Erdoğan, T. Y. (2003). *Beton*. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., 15,18,29-35,171-184,190,204. Ankara.
- Erdoğan, T. Y. (2003). *Portland Çimentoları ve Diğer Çimento Türleri*, Beton, 11-61, 634-639. Ankara: METU Press.
- Erdoğan, T. Y. (1997). *Admixtures of Concrete*. Metu Press, Ankara.
- Erdoğan, T. Y. (2003). *Beton*, METU Press, Ankara, 11-61
- Erdoğan, T. Y. (2007). *Portland çimentoları ve diğer çimento türleri*. Beton. Metu Press, 11-61, 634-639, Ankara.
- Erdoğan, K. (1996). *Effects of Pozzolan Additions on Grindability and Some Mechanical Properties of Pozzolan Cements of Different Fineness Values*, (Yüksek Lisans Tezi), Orta Doğu Teknik Üniversitesi. Ankara. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 56510)
- Erdoğan, K., Tokyay, M., & Türker, P. (2009). *Traslar ve Traslı Çimentolar, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (Araştırmaların Gözden Geçirilmesi ve Durum Değerlendirmesi Raporu)*, 8. Baskı(24-48). Ankara: TÇMB / AR-GE / Y99-2.
- Ertek, N. (2008). *Kapadokya (Nevşehir-Kayseri) bölgesi kaolinitik tüflerin oluşumu ve hammadde potansiyeli*, (Yüksek Lisans Tezi), Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 76-78,81-84. Mersin. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 234140)
- Fragoulis, D. (1997). Zeolitic Tuffs of Kimolos Island, Aegan Sea, Greece and Their Industrial Potential. 27, 889-995. Fume. *Cement and Concrete Research*, 22,399-406.
- Gürü, M., & Yalçın, H. (2006). *Çimento üretimi*. Çimento ve Beton, Bölüm 2. Palme Yayıncılık, 15-19.
- Hewlett, P. (2004). Portland cement. Classification and Manufacture Lea's Chemistry of Cement and Concrete-, Part 2, Ed: Peter C. Hewlett. *Elsevier Science & Technology Books*, 24-33.
- Hewlett, P. C. (1998). Lea's Chemistry of Cement and Concrete. John Wiley and Sons Inc. *New York: Fourth Edition*.
- Hossain, K. M. A. (2003). Blended cement using volcanic ash and pumice. *Cement and Concrete Research*, 33, 1601-1605.
- Karakurt, C. (2008). *Çimento Üretiminde Doğal Zeolit ve Volkanik Tüflerin Endüstriyel Atıklarla Birlikte Kullanılmasının Beton Performansı Üzerine Etkileri*, (Doktora Tezi), Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Bilim Dalı, 6. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 177223)
- Kavas, T., & Çelik, M. Y. (2001). *Ayazini (Afyon) Tüflerinin Çimento Sanayinde Tras Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi*.

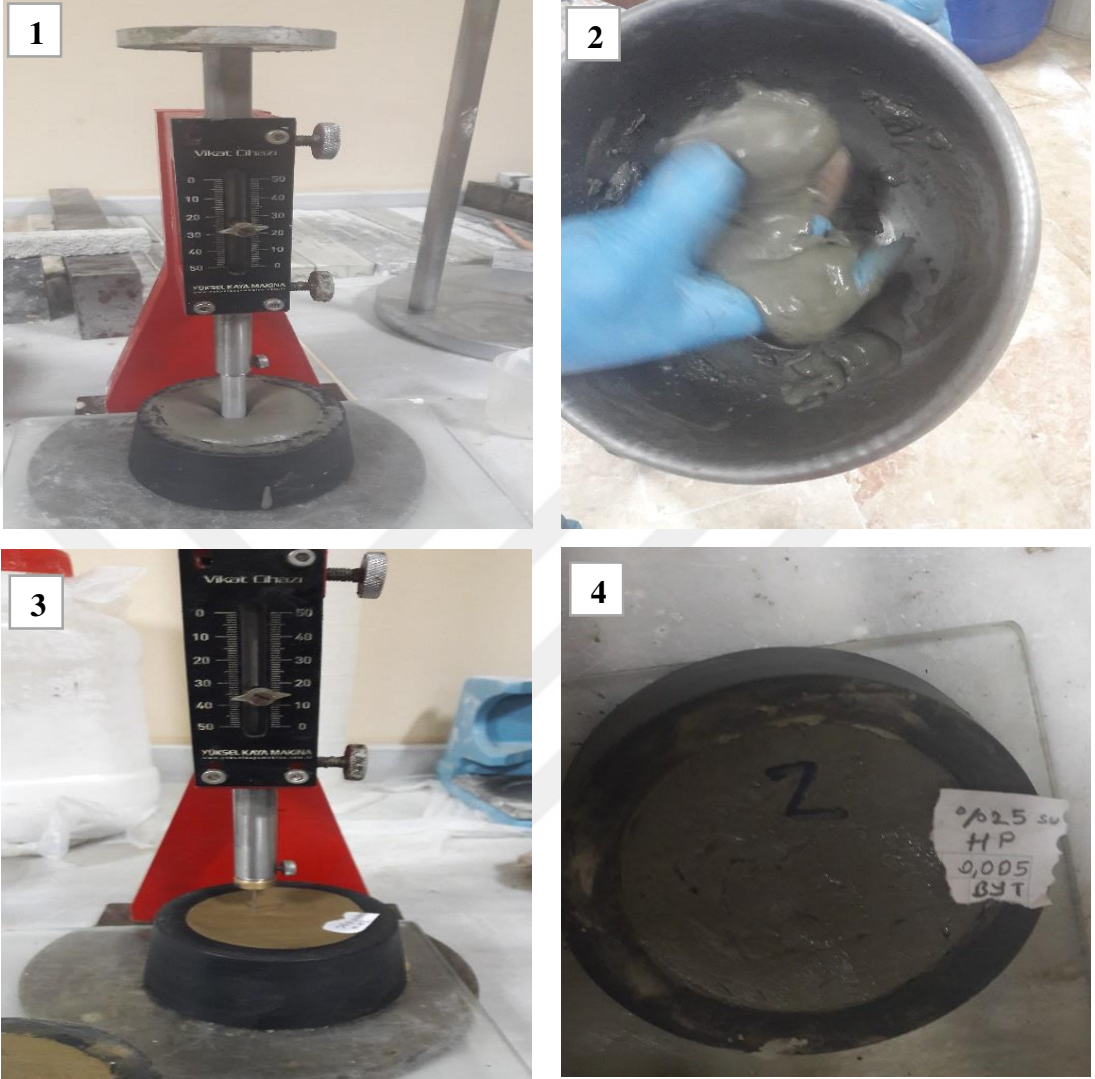
- Leckebush, R. (1984). Türkiye'deki Doğal Puzolanların Çimento Katkı Maddesi Olarak Kullanımı. *Çimento Araştırma ve Geliştirme Merkezi*, 1-27. Ankara.
- Liebig, E., & Althaus, E. (1998). Pozzolan activity of volcanic tuff and suevite, effects of calcination. *Cement and Concrete Research*, 28,567-575.
- Massazza, F. (1989). *Puzolanlar, Puzolanlı Çimentolar ve Kullanım Alanları Semineri*. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, 41-79. Ankara.
- Massazza, F. (1993). Pozzolan Cement. *Cement and Concrete Composites*, 15,185-214.
- Massazza, F. (1998). Pozzolan and Pozzolan Cements. *Lea's Chemistry of Cement and Concrete 4*, John Wiley and Sons Inc. 471-617. London, New York.
- Mather, B. (1994). Use of Concrete with Low PC Content in Combinations with Pozzolans and Other Admixturesin, *Construction of Concrete Dams*. 71, 589-599. ACI.
- Mehta, P. K., & Monteiro P. J. M . (2006). Concrete Microstructure, Properties and Materials, *Chapter 6 . Indian Concrete Institute, Chennai*, 203- 210.
- Mindess, S., & Young, J. (1981). Concrete. Prentice- Hall Inc. 41-94. New Jersey.
- Nas, S. (2012). *Portland Çimento ve Uçucu Kül İkameli Çimentoların Hidratasyon Gelişimleri ile Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması*, (Yüksek Lisans Tezi), Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 309254)
- Neville, A. M. (1995). Properties of the concrete. *Longman Group Limited*, 844 p, England.
- Odler, I. (2004). Hydration, setting and hardening of portland cement. *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*, fourth edition s267.
- Okucu, A. (1998). *Bigadiç ve Turnatepe (Balıkesir) Yörelerindeki Zeolitik ve Perlitik Tüflerin Puzolanik Özellikleri*, (Doktora Tezi), Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-54. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 68999)
- Özkul, H., Taşdemir, M., & Topyay, M. (1999). "Çimento" Beton. *Türkiye Hazır Beton Birliği*, 18.
- Pan, S., Tseng, D., & Lee, C. (2003). Influence of the Fineness of Sewage Sludge Ash on the Mortar Properties. *Cement and Concrete Research*, 33,1749-1754.
- Pekmezci, B. Y., & Atahan, H. N. (2014). *Kimyasal ve Nano Katkılar: Betonda Kullanımı ve Beton Performansına Etkileri*. Hazır Beton, Mayıs-Haziran, 69-75.
- Postacıoğlu, B. (1986). Beton-Bağlayıcı Maddeler. 39-175. İstanbul: Teknik Kitaplar Yayınevi.
- Ramachandran, V. S. (1995). *Concrete Admixtures Handbook*. 114-159. New Jersey, ABD.
- Ramyar, K. (2007), *Portland Çimentosu –Süperakışkanlaştırıcı Katkı Uyumunu Etkileyen Faktörler*. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumuna Sunulmuş Bildiri (pp: 197-208).
- Rassem, B. et al. (1986). Proceedings of the 8th International congress on the chemistry of cement rio de janerio, 3; 234.
- Shannag, M. (2000). High Strenght Concrete Containing Natural Pozzolan and Silica
- Sınıksaran, M. (2012). *Volkanik Tüf Tozları İle Polimer Esaslı Kompozit Malzeme Üretimi*, (Yüksek Lisans Tezi), Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 12-18. Konya. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 327084)

- Şafak, A. (2014). *Çimento Mineralojisinin ve Petrografisinin Çimento Teknolojisine Katkısı*, (Yüksek Lisans Tezi), Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 372586)
- Şahin, H. (2018). *Bayburt Taşı Olarak Bilinen Tüflerin Çimento Üretiminde Mineral Katkı Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması*, Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (Yüksek Lisans Tezi), Aralık 2018 Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 534524)
- Taban, S., & Şimşek, O. (2008). Zeolitik Tüf Katkı Oranı ve Deniz Suyunun Çimentonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24(1), 145-153. Ankara.
- Taşkın, C. (1999). Türkiye Çimento Hammadde Kaynakları. *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği*, 1-43.
- Tekin, D. (2014). *Farklı İnceliklerdeki Mineral Katkılı Çimentoların Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 371991)
- Tekin, İ. (2005). *Çimento Harçlarının Porozitesinin Bilgisayarlı Tomografi İle Belirlenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 165913)
- Tekin, İ. (2016). Properties of NaOH Activated Geopolymer with Marble, Travertine and Volcanic Tuff Wastes. *Construction and Building Materials* (127), 607-617.
- Tokay, M., & Erdoğan, K. (1997). *Cürufur ve Cürufur Çimentolar*. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği T.Ç.M.B / AR-GE/Y97.2, 1-2.
- Tokay, M., Erdoğan, K., & Türker, P. (1999). Comparison of intergrinding and separate grinding for the production of natural pozzolan and GBFS-incorporated blended cements. *Cement and Concrete Research* ,29 , 743-748.
- Topçu, İ. B. (1996). "Akışkanlaştırıcı ve Donatı Dayanım Katkılarının Beton Özelliklerine Etkisi" *İMO, 4.Ulusal Beton Kongresi*, 1996, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 45-54s.
- TS 25. (1975). *Tras. Türk Standartları Enstitüsü*. Ankara.
- TS 25. (2008). *Doğal Pozolan (Tras)-Çimento ve Betonda Kullanılan-Tarifler, Gereklere ve Uygunluk Kriterleri*, Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.
- TS EN 196-1, (2002). *Çimento Deney Metotları-Bölüm 1:Dayanım Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.
- TS EN 196-3. (2010). *Çimento Deney Yöntemleri-Bölüm 3: Priz Süreleri ve Genleşme Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.
- Tuncer, E. (2014). *Gümüşhane Yöresi Volkanik Kayaçların Pozolanik Aktivitesinin Araştırılması*, (Yüksek Lisans Tezi), Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 13-14,16-20,24. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 365474)
- Türkel, S., & Felekoğlu, B. (2004). Aşırı Dozda Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı Kullanımının Taze ve Sertleşmiş Betonun Bazı Özellikleri Üzerine Etkileri. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6 (1) , 77-89 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/deumffmd/issue/40877/493539> adresinden edinilmiştir.

- Türkmenoğlu, A. G., & Tankut A. (2001). Use of tuffs from central turkey as admixture in pozzolanic cements assessment of their petrographical properties. *Cement and Concrete Research*, 32, 629-637.
- Ulaş, A. (2009). *Uçucu küllü harçlarda yeni nesil akışkanlaştırıcıların kullanılması*, (Yüksek Lisans Tezi), Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 252853)
- Ulus, H. (2006). *Erzincan ve Nevşehir Yöresi Pomzalarının Çimentolu Sistemlerde Kullanılabilirliği*, (Doktora Tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 21-22,41-42. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 196648)
- URL-1. (2014). <http://www.bayburttasi.com> adresinden edinilmiştir.
- Uyan, M., & Özkul, H. (1985). "Beton Katkı Maddeleri ve Türkiye'de Durumu", *Akdeniz Üniversitesi Isparta Müh. Fak., III. Mühendislik Haftası Bildirileri*.
- Uzal, B., & Turanlı, L. (2003). Studies on blended cements containing a high volume of natural pozzolans. *Cement and Concrete Research*, 33, 1777-1781.
- Ünsal, A., & Şen, H. (2008). *Beton ve Beton Malzemeleri Laboratuvar Deneyleri*, Bölüm 3, Çimentolar (TS EN 197-1). Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Malzeme Laboratuvar Şube Müdürlüğü, 237.
- Yalçın, H., & Gürü, M. (2006). *Çimento ve Beton*. 17-22,44,59,73,242. Ankara: Palme Yayıncılık.
- Yazıcıoğlu, S., & Demirel, B. (2006). Puzolanik Katkı Maddesi Olarak Kullanılan Elazığ Yöresi Pomzasının İlerleyen Kür Yaşlarında Betonun Basınç Dayanımına Etkisi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilim Dergisi*, 18(3), 367-374. Elazığ.
- Yıldırım, S. F. (2007). *Puzolanik Zeolitin Çimentoda Katkı Uygunluğunun Araştırılması*, (Yüksek Lisans Tezi), Mustafa Kemal Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü. Hatay. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 202766)
- Yıldız, E. (2006). *Farklı Tipteki Puzolanların Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi*, (Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 79. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 196712)
- Yılmaz, F. (2015). *Tüfit Taşların Zemin Stabilizasyonunda Kireçle Birlikte Kullanılabilirliğinin Standart Deneyler ve Bilgisayarlı Tomografi Tekniği İle Araştırılması*, (Doktora Tezi), Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 397321)

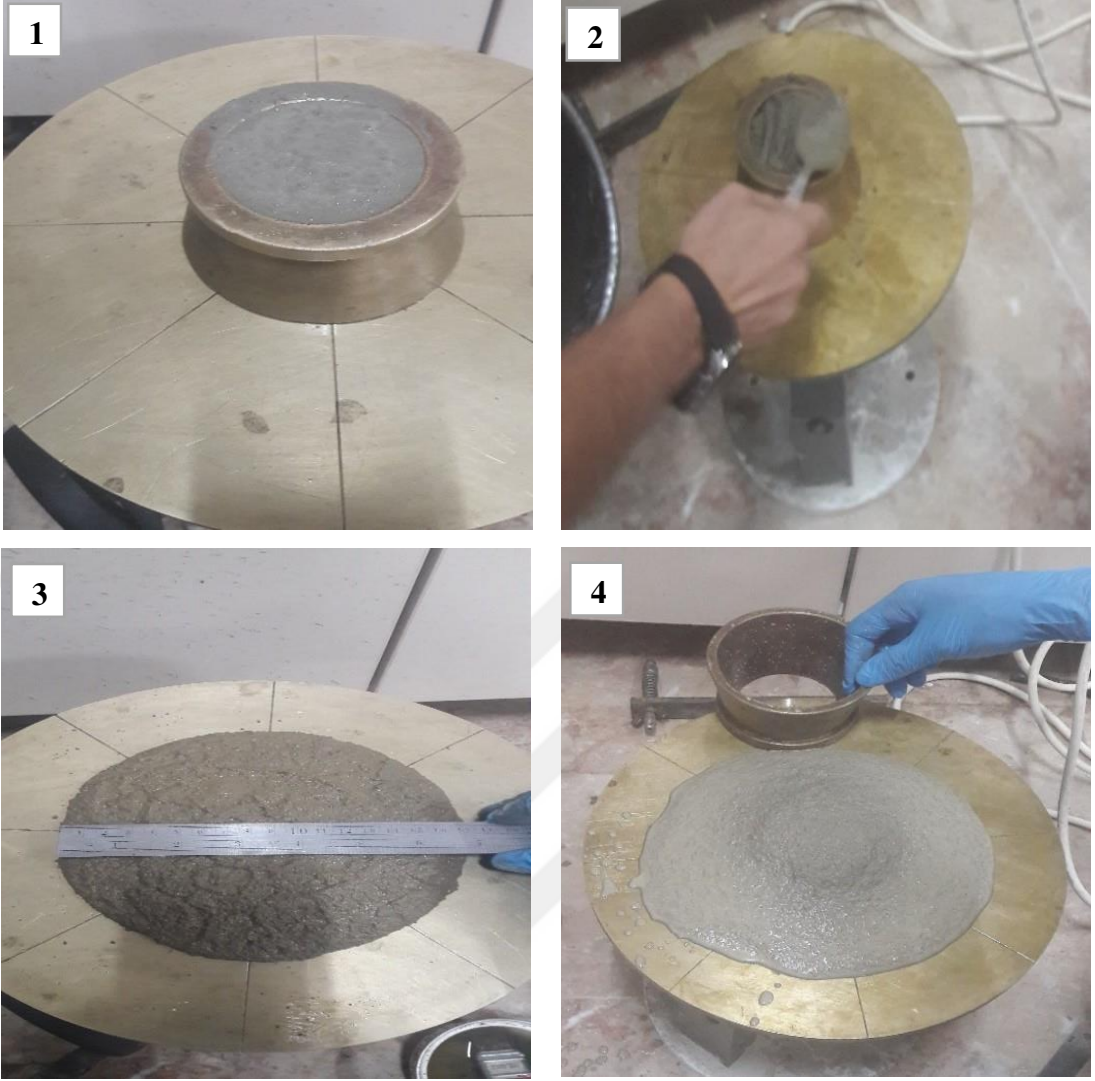
Ekler

EK-1



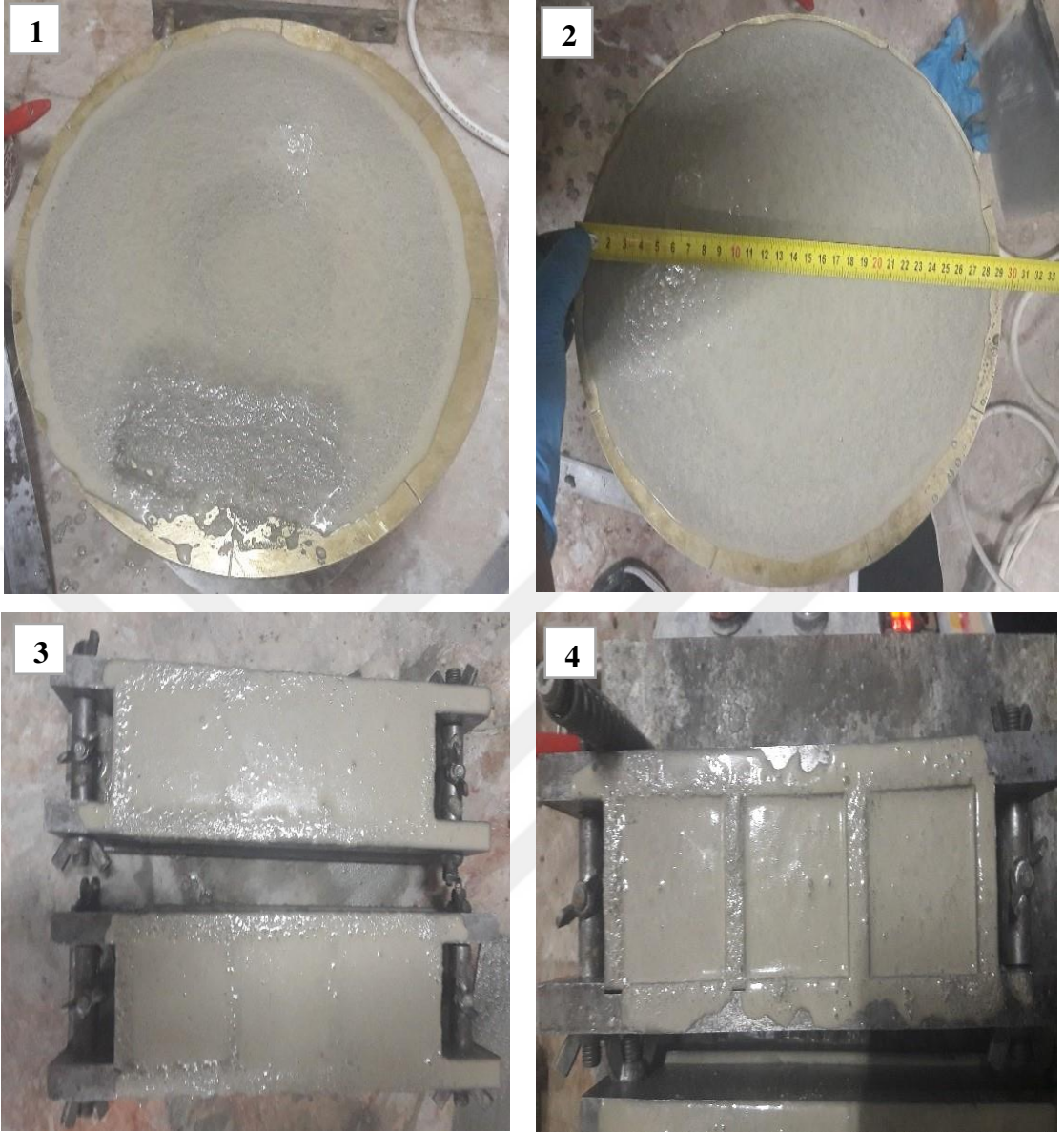
Şekill. 1-2: Çimento hamur kıvam deneyi, 3-4: Priz başlama ve sonu süreleri deneyi

EK-2



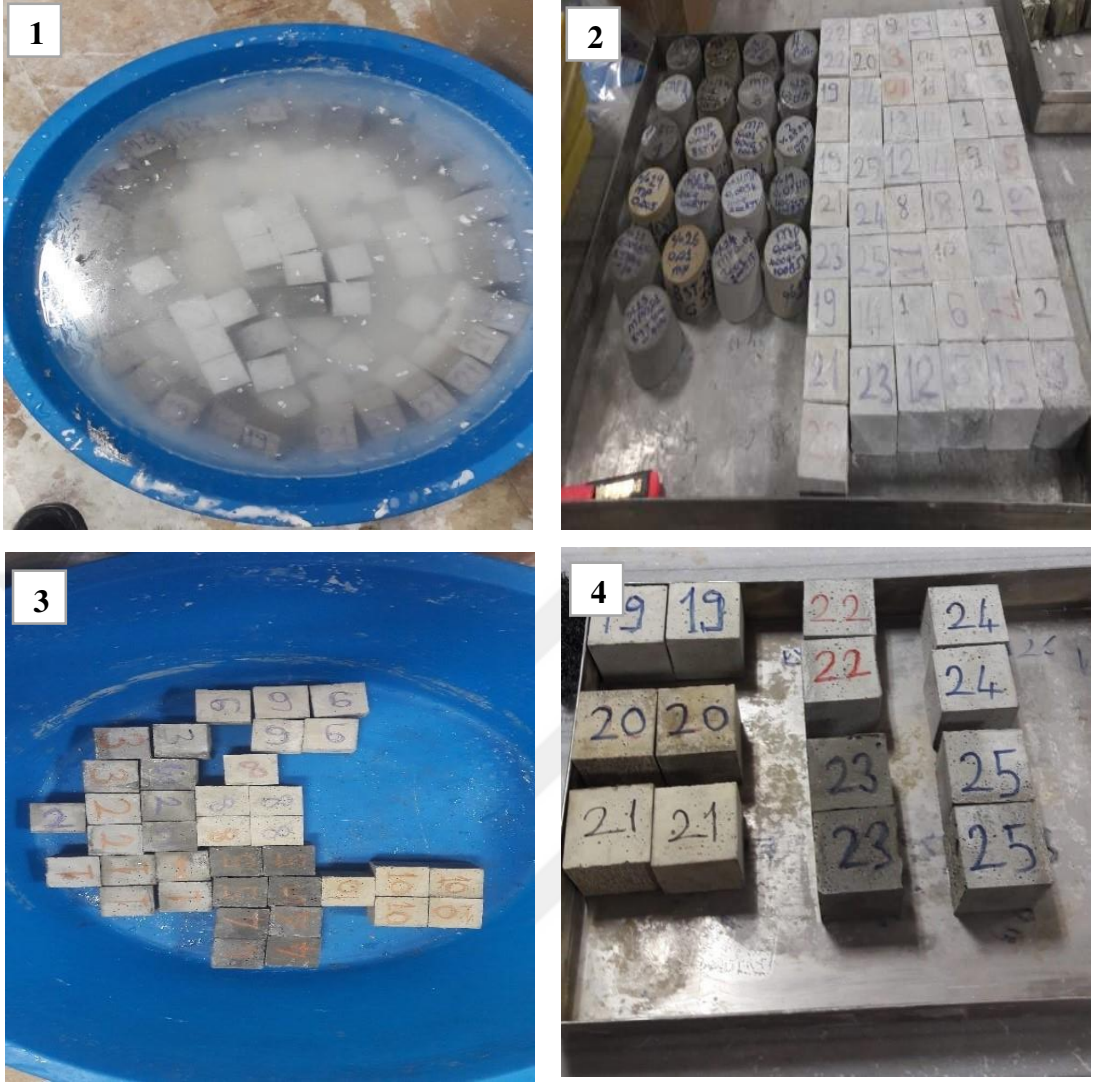
Şekil 2. 1-2 ve 3-4: Çimento harcı yayılma tablası çökme deneyleri

EK-3



Şekil 3. 1-2:Çimento harcı yayılma tablası ölçüm deneyi, 3-4: Harç numunelerinin döküm aşaması ve sıkıştırma deneyleri

EK-4



Şekil 4. 1-3: Harç numunelerinin kürleme deney aşamaları, 2-4: Deney numuneleri numaralandırma aşaması

EK-5

Tablo 1. Çalışmada üretilen tüm numunelerin basınç dayanımları

Karışım Kodları	Deney No	Birim Hacim Ağırlık (kg/dm ³)			Basınç Dayanımları (MPa)		
		2 günlük	28 günlük	90 günlük	2 günlük	28 günlük	90 günlük
R	1	2,41	2,19	2,06	29,2	50,3	55,7
	2	2,15	2,18	2,16	29,5	49,4	58,6
RM _{0.5}	1	2,23	2,27	2,18	34,2	52,4	66,5
	2	2,16	2,22	2,20	36,4	65,3	65,3
RM ₁	1	2,50	2,32	2,28	30,9	49,7	61,8
	2	2,28	2,28	2,19	31,2	50,9	56,6
RP _{0.5}	1	2,16	2,27	2,25	29,6	36,5	51,0
	2	2,20	2,25	2,13	26,9	38,6	44,6
RP ₁	1	2,19	2,25	2,21	29,9	40,2	46,0
	2	2,29	2,23	2,15	30,7	36,6	46,0
Y ₂₀	1	2,14	2,22	2,18	31,7	47,6	56,5
	2	2,12	2,20	2,13	31,3	47,5	55,2
Y ₄₀	1	2,18	2,29	2,24	21,2	38,7	40,2
	2	2,16	2,25	2,19	21,0	38,3	38,8
Y ₂₀ M _{0.5}	1	2,13	2,23	2,06	20,6	40,3	50,8
	2	2,15	2,21	2,13	20,2	34,9	61,8
Y ₂₀ M ₁	1	2,13	2,16	2,26	14,0	31,6	59,9
	2	2,12	2,15	2,09	14,6	36,0	56,1
Y ₄₀ M _{0.5}	1	2,01	2,13	2,12	13,1	26,4	41,5
	2	2,07	2,14	2,05	12,9	27,9	39,2
Y ₄₀ M ₁	1	2,06	2,13	2,12	11,8	20,3	46,6
	2	2,09	2,14	2,11	12,4	22,5	49,2
Y ₂₀ P _{0.5}	1	2,10	2,18	2,05	21,0	36,7	48,2
	2	2,10	2,19	2,10	21,5	37,6	50,8
Y ₂₀ P ₁	1	2,13	2,17	2,17	13,7	29,5	39,1
	2	2,11	2,17	2,08	13,6	29,0	43,3
Y ₄₀ P _{0.5}	1	2,18	2,21	2,05	23,5	46,2	33,7
	2	2,18	2,22	1,97	24,8	46,4	38,4
Y ₄₀ P ₁	1	2,23	2,24	2,10	26,1	48,3	34,3
	2	2,21	2,16	2,01	25,9	43,4	33,5
S ₂₀	1	2,16	2,23	2,09	30,7	52,4	54,1
	2	2,13	2,21	2,04	30,0	52,2	53,3
S ₄₀	1	2,19	2,18	2,10	19,2	46,4	49,2
	2	2,15	2,15	2,05	19,0	45,2	48,4
S ₂₀ M _{0.5}	1	2,08	2,16	2,16	23,0	32,7	53,7
	2	2,06	2,15	2,02	24,0	33,9	45,4
S ₂₀ M ₁	1	2,18	2,18	2,14	21,9	33,4	63,3
	2	2,12	2,20	2,07	22,8	34,0	57,3
S ₄₀ M _{0.5}	1	2,08	2,15	2,07	16,2	21,7	46,0
	2	2,08	2,14	2,02	13,8	27,6	45,8
S ₄₀ M ₁	1	2,06	2,17	2,08	14,4	23,4	50,6
	2	2,02	2,15	2,09	13,9	23,1	49,5
S ₂₀ P _{0.5}	1	2,11	2,17	2,02	21,1	37,6	54,4
	2	2,10	2,19	1,98	21,6	37,3	46,9
S ₂₀ P ₁	1	2,20	2,19	2,18	27,4	38,4	48,8
	2	2,21	2,21	2,12	27,7	41,5	34,1
S ₄₀ P _{0.5}	1	2,13	2,15	1,97	16,5	29,9	42,1
	2	2,09	2,16	2,03	15,9	30,2	42,7
S ₄₀ P ₁	1	2,13	2,16	2,08	16,1	28,2	44,4
	2	2,11	2,18	1,98	16,7	28,8	38,2

EK-6Tablo 1. *Su emme deney sonuçları ve porozite.*

Karışım Kodları	KBH	Su Emme (%)	Porozite (%)
R	1,933	7,02	13,56
RM _{0.5}	1,936	6,56	12,71
RM ₁	2,049	5,48	11,24
RP _{0.5}	2,035	5,11	10,41
RP ₁	2,006	5,06	10,14
S ₂₀	2,435	7,42	18,07
S ₂₀ M _{0.5}	1,942	7,16	13,90
S ₂₀ M ₁	1,970	6,42	12,64
S ₂₀ P _{0.5}	1,915	6,71	12,84
S ₂₀ P ₁	1,988	5,13	10,20
Y ₂₀	2,341	7,43	17,39
Y ₂₀ M _{0.5}	1,887	7,41	13,98
Y ₂₀ M ₁	1,928	8,45	16,28
Y ₂₀ P _{0.5}	1,838	7,56	13,90
Y ₂₀ P ₁	1,958	6,69	13,10
S ₄₀	2,563	7,51	19,25
S ₄₀ M _{0.5}	1,899	7,27	13,81
S ₄₀ M ₁	1,910	7,44	14,21
S ₄₀ P _{0.5}	1,833	8,13	14,90
S ₄₀ P ₁	1,876	7,99	14,99
Y ₄₀	2,440	7,75	18,91
Y ₄₀ M _{0.5}	1,861	9,82	18,29
Y ₄₀ M ₁	1,856	8,58	15,92
Y ₄₀ P _{0.5}	1,831	8,05	14,74
Y ₄₀ P ₁	1,850	8,30	15,36

ÖZGEÇMİŞ

Hatice ALGAN, ilköğretim ve lise eğitimini Bayburt'ta tamamladı. 2011 yılında kazanmış olduğu Bayburt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2015 yılında mezun oldu. Lisansüstü eğitimini Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda tamamladı. 2018 yılında Bayburt'ta özel bir yapı denetim firmasında kontrol mühendisi olarak çalışmaya başladı ve halen bu görevi devam ettirmektedir.

