

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**ALKALİ AKTİVE EDİLMİŞ HARÇ ÜRETİMİNDE KROM
CÜRUFU VE ATIK MERMER TOZUNUN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MERVE KOÇ KESKİNKİLİNÇ

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği Teknolojileri
Programı: Yapı Malzemeleri

Danışman: Prof. Dr. Servet YILDIZ

ELAZIĞ-2019

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALKALİ AKTİVE EDİLMİŞ HARÇ ÜRETİMİNDE KROM
CÜRUFU VE ATIK MERMER TOZUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MERVE KOÇ KESKİNKILINÇ

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği Teknolojileri
Programı: Yapı Malzemeleri

Danışman: Prof. Dr. Servet YILDIZ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 5 Temmuz 2019

TEMMUZ-2019

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALKALİ AKTİVE EDİLMİŞ HARÇ ÜRETİMİNDE KROM
CÜRUFU VE ATIK MERMER TOZUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MERVE KOÇ KESKİNKİLİNÇ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 5 Temmuz 2019

Tezin Savunulduğu Tarih: 5 Ağustos 2019

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Servet YILDIZ
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Bahar DEMİREL
Doç. Dr. Mehmet EMİROĞLU

TEMMUZ - 2019

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimimde bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, her konuda benden desteğini ve ilgisini esirgemeyen saygı değer danışman hocam Prof. Dr. Servet YILDIZ'a sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Tezimin hazırlanmasında bana yol gösteren saygı değer hocam Doç. Dr. Mehmet EMİROĞLU'na teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Tez çalışmamı TEKF.18.30 nolu proje ile destekleyen Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarına cüruf temininde yardımcı olan Eti Krom A.Ş. yetkililerine teşekkür ederim.

Biricik aileme ve sevgili eşime teşekkür ederim.

Merve KOÇ KESKİNKİLİNÇ

ELAĞIĞ-2019

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	X
SEMBOLLER LİSTESİ.....	XI
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Geopolimerler	1
1.2. Puzolanlar	1
1.2.1. Puzolanların Tarihçesi	2
1.2.2. Puzolan Çeşitleri.....	2
1.2.2.1. Elazığ Ferrokrom Cürufu.....	3
1.3. Mermer Tozu	4
1.4. Literatür Özeti.....	5
2. MATERYAL VE METOD	8
2.1. Materyal.....	8
2.1.1. Elazığ Ferrokrom Cürufu.....	8
2.1.2. Atık Mermer Tozu	9
2.1.3. Alkali Aktivatör	9
2.1.4. Agrega	11
2.2. Metod.....	12
2.2.1. Elek Analizi	12
2.2.2. XRF Analizi.....	14
2.2.3. Beton Karışım Oranlarının Belirlenmesi	14
2.2.4. Numunelerin Hazırlanması	15

2.2.5.	Geopolimer Hamuru Üzerinde Yapılan Deneyler	19
2.2.5.1.	Kıvam Tayini	19
2.2.5.2.	Hamur Numunelerinin Priz Süresi Tayini	19
2.2.5.3.	SEM Analizi	21
2.2.5.4.	XRD Analizi	23
2.2.6.	Sertleşmiş Beton Numunelerine Uygulanan Deneyler	25
2.2.6.1.	Basınç Dayanımı.....	25
2.2.6.2.	Ultras ses Geçiş Hızı Deneyi.....	26
2.2.6.3.	Kapilarite Deneyi.....	27
2.2.6.4.	Birim Ağırlık (Yoğunluk) Deneyi	28
3.	ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	29
3.1.	Elek Analizi Sonuçları.....	29
3.2.	XRF Analizi Sonuçları	29
3.3.	SEM Analizi Sonuçları.....	31
3.4.	XRD Analizi Sonuçları.....	32
3.5.	Kıvam Tayini Sonuçları.....	34
3.6.	Priz Süresinin Tayini Sonuçları	35
3.7.	Basınç Dayanımı Sonuçları	36
3.8.	Ultras ses Geçiş Hızı Deneyi Sonuçları	38
3.9.	Kapilerite Deneyi sonuçları	40
3.10.	Birim Ağırlık (Yoğunluk) Deneyi	41
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	44
	ÖZGEÇMİŞ	50

ÖZET

Bu çalışmada, beton üretiminde çimento kullanmak yerine çimento ile aynı incelikte öğütülmüş krom cürufu ve atık mermer tozu tercih edilerek 25, 60 ve 90°C sıcaklıklarında, alkalilerle aktive edilmiş beton üretimi hedeflenmiştir. Alkali aktivatör olarak sodyum hidroksit (NaOH) (16, 18 ve 20 molarite değerlerinde) ve sodyum silikat (Na_2SiO_3) çözeltileri kullanılmıştır. Karışımlarda NaOH / Na_2SiO_3 oranı ön deneyler sonucunda 2/3 olarak belirlenerek, en yüksek basınç dayanımını veren oranlar çalışmanın geri kalan bölümünde tercih edilmiştir. Alkali aktivasyon için 25 °C, 60 °C ve 90 °C sıcaklıkları uygulanmıştır. 60 °C ve 90 °C aktivasyon sıcaklıkları 24 saat süreyle sürdürülmüştür. Çalışmada likit alkali (NaOH+ Na_2SiO_3) / bağlayıcı (cüruf+mermer tozu) oranı 0.40 olarak belirlenmiştir. Bu amaçla öğütülmüş krom cürufu ile %10, %20 ve %30 oranlarında atık mermer tozu ikame edilerek farklı harç numuneleri hazırlanmıştır. Harç numuneleri için kıvam tayini ile priz başlama ve bitiş süreleri tayini deneyleri uygulanmıştır. Beton numuneler üzerinde ise her bir sıcaklık için basınç dayanımı, ultrases, kapilarite ve birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Çalışmada mikroyapı incelemeleri için XRD ve SEM analizleri gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alkali Aktive Edilmiş Harç, Ferrokrom Cürufu, Atık Mermer Tozu

SUMMARY

Evaluation of Ferrochrome Slag and Waste Marble Powder in Alkali Activated Mortar Production

In this study, it is aimed to investigate the production of alkaline activated concrete at activation temperatures of 25, 60 and 90 ° C by preferring chrome slag and waste marble powder ground with the same fineness as cement instead of using cement in concrete production. Sodium hydroxide (NaOH) (16, 18 and 20 molarity values) and sodium silicate (Na_2SiO_3) solutions were used as alkali activator. The ratio of NaOH / Na_2SiO_3 in the mixtures was determined 2/3 as a result of preliminary experiments and the ratios giving the highest compressive strength were preferred in the rest of the study. For alkali activation, temperatures of 25 °C, 60 °C and 90 °C were applied. The activation temperatures of 60 °C and 90 °C were maintained for 24 hours. In the study, the ratio of the liquid alkaline (NaOH+ Na_2SiO_3)/ binder (slag + marble powder) was determined as 0.40. For this purpose, different mortar samples were prepared by substituting waste marble powder in ratios of 10%, 20% and 30% with ground chrome slag. For mortar samples, consistency determination and socket start and end time determination tests were performed. Concrete samples, compressive strength, ultrasound, capillarity and unit weight tests XRD and SEM analysis were performed for each temperature.

Keywords: Alkali Activated Mortar, Ferrochrome Slag, Waste Marble Powder

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1.	Fabrika sahasında depolanan ferrokrom cürufu3
Şekil 2.1.	Los Angeles cihazı8
Şekil 2.2.	Elazığ ferrokrom cürufunun eleme işlemi.....9
Şekil 2.3.	Atık mermer tozu9
Şekil 2.4.	Sodyum Hidroksit (NaOH)10
Şekil 2.5.	Sodyum Hidroksit (NaOH) sulu çözeltisinin hazırlanışı10
Şekil 2.6.	Alkali Aktivatörler11
Şekil 2.7.	İnce ve iri agregalar12
Şekil 2.8.	Yıkanmış ve kurutulmuş malzeme13
Şekil 2.9.	Elek Analizi13
Şekil 2.10.	Deney malzemeleri16
Şekil 2.11.	Şişleme işlemi17
Şekil 2.12.	Kalıplara yerleştirilmiş numuneler17
Şekil 2.13.	Etüvde 60°C sıcaklıkta bekletilen numuneler18
Şekil 2.14.	Numunelerin hazırlanma aşamaları18
Şekil 2.15.	Priz başlangıcı ve bitiş tespiti deneyi (Vicat aleti)20
Şekil 2.16.	SEM'in şematik görünüşü22
Şekil 2.17.	SEM analizi için hazırlanan numuneler23
Şekil 2.18.	XRD cihazı24
Şekil 2.19.	XRD analizi için toz haline getirilen numuneler24
Şekil 2.20.	Basınç dayanımı deneyi25

Şekil 2.21.	Ultras ses geçiş hızı deneyi.....	26
Şekil 2.22.	Kapilarite deneyi	28
Şekil 2.23.	Birim ağırlık deneyi	28
Şekil 3.1.	Agrega en büyük tane büyüklüğü 12 mm olan agreg a tane büyüklüğü dağılımı eğrisi ve sınır değerler.....	29
Şekil 3.2.	Elazığ ferrokrom cürufunun kimyasal birleşimi	30
Şekil 3.3.	Mermer tozunun kimyasal birleşimi	30
Şekil 3.4.	60°C aktivasyon sıcaklığında kürlenmiş 16 mol NaOH içeren numunelere ait SEM görüntüleri.....	31
Şekil 3.5.	60°C aktivasyon sıcaklığında kürlenmiş 18 mol NaOH içeren numunelere ait SEM görüntüleri.....	31
Şekil 3.6.	60°C aktivasyon sıcaklığında kürlenmiş 20 mol NaOH içeren numunelere ait SEM görüntüleri.....	32
Şekil 3.7.	16 mol, 18 mol ve 20 mol NaOH içeren numunelerin XRD difraktogramları.....	33
Şekil 3.8.	20 mol %10, %20 ve %30 AMT içeren numunelerin XRD difraktogramları.....	33
Şekil 3.9.	Her bir mol ve yüzde için hazırlanan numunelerde yayılma çapı değerleri.....	34
Şekil 3.10.	Her bir mol ve yüzde için hazırlanan numunelerde priz başlangıç süreleri.....	35
Şekil 3.11.	Her bir mol ve yüzde için hazırlanan numunelerde priz bitiş süreleri.....	35
Şekil 3.12.	Her bir mol ve yüzde için hazırlanan numunelerde 60 °C için alınan basınç dayanım değerleri.....	37
Şekil 3.13.	Her bir mol ve yüzde için hazırlanan numunelerde 90 °C için alınan basınç dayanım değerleri.....	37

Şekil 3.14.	Her bir mol ve yüzde için hazırlanan numunelerde 25 °C için alınan ultrases geçiş hızı değerleri	38
Şekil 3.15.	Her bir mol ve yüzde için hazırlanan numunelerde 60 °C için alınan ultrases geçiş hızı değerleri	39
Şekil 3.16.	Her bir mol ve yüzde için hazırlanan numunelerde 90 °C için alınan ultrases geçiş hızı değerleri	39
Şekil 3.17.	Her bir mol ve yüzde için hazırlanan numunelerde 25 °C için kapilarite deney sonuçları.....	40
Şekil 3.18.	Her bir mol ve yüzde için hazırlanan numunelerde 60 °C için kapilarite deney sonuçları.....	40
Şekil 3.19.	Her bir mol ve yüzde için hazırlanan numunelerde 90 °C için kapilarite deney sonuçları.....	41
Şekil 3.20.	Her bir mol ve yüzde için hazırlanan numunelerde 25 °C için birim ağırlık deney sonuçları	42
Şekil 3.21.	Her bir mol ve yüzde için hazırlanan numunelerde 60°C için birim ağırlık deney sonuçları	42
Şekil 3.22.	Her bir mol ve yüzde için hazırlanan numunelerde 90°C için birim ağırlık deney sonuçları	43

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Elazığ ferrokrom cürufunun kimyasal analizi.....	4
Tablo 1.2. Mermer Tozunun kimyasal analizi.....	4
Tablo 2.1. Alkali Aktivatörlerin kimyasal analizi	11
Tablo 2.2. Geopolimer Harç Karışım Oranları.....	15
Tablo 2.3. Betonun Kalitesinin Tahmin Edilmesi	27
Tablo 3.1. Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları	36

SEMBOLLER LİSTESİ

Al_2O_3	: Alüminyum Oksit
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	: Kalsiyum Hidroksit
SiO_2	: Silisyum Dioksit
Fe_2O_3	: Demir Oksit
MgO	: Magnezyum Oksit
CaO	: Kalsiyum Oksit
CO_2	: Karbondioksit
$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	: Dolomitik Kalker
CaCO_3	: Kalker
NaOH	: Sodyum Hidroksit
Na_2SiO_3	: Sodyum Silikat
Fe	: Demir Elementi
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat
Δw	: Ağırlıklar ortalaması
cm	: Santimetre
g	: Gram
kg	: Kilogram
km	: Kilometre
mm	: Milimetre
nm	: Nanometre
sn	: Saniye
W	: Ağırlık

N	: Kırılma Yüğü
MPa	: Megapascal
%	: Yüzde İşareti
TS EN	: Türk Standartları Enstitüsü
M.Ö.	: Milattan Önce
EFC	: Elazığ Ferrokrom Cürufu
AMT	: Atık Mermer Tozu
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
TEM	: Geçirmeli Elektron Mikroskobu
XRF	: X-Işını Floresans
XRD	: X-Ray Diffractometer

1. GİRİŞ

1.1. Geopolimerler

Geopolimerler kimyasal aktivatörler ve su ile tepkimeye girerek çözünen toz bağlayıcılardan elde edilen inorganik polimerlerdir. Toz bağlayıcılar ekseriyetle öğütölmüş yüksek fırın cürufu, uçucu kül, metakaolin gibi alümino silikatlardır. Kimyasal aktivatörler ise yaygın olarak sodyum hidroksit veya sodyum silikat gibi alkali çözeltileridir ve bu nedenle bu malzemelere “alkali aktive” ismi de verilmektedir [1].

Geopolimerler çevre dostu ve yenilikçi ürünler olduklarından araştırmacılar bu malzemeleri betonda bağlayıcı olarak kullanmaya yönelmişlerdir [2].

Davidovits 1982 yılında, alkalileri kaolinit, kireç taşı v.b. ile karıştırmış ve “Geopolymer”, “Pyrament”, “Geopolycem”, “Geopolymite” adları verilen geopolimerler üretmiştir [3].

Beton üretiminde kullanılan portland çimentosunun %5-8 oranında CO₂ salınımına sebep olmasından dolayı çevrede dengenin olumsuz yönde etkilenmesinde ve birtakım sorunların ortaya çıkmasında payı büyüktür. Yapı malzemelerinin sebep olduğu çevresel problemlerin azaltılması ve sürdürülebilirlik açısından alternatif yapı malzemelerinin üretilmesi için çok sayıda araştırma yapılmaktadır. Bu nedenle geopolimerler en uygun alternatif malzemeler olarak ön plana çıkmaktadır [4].

1.2. Puzolanlar

Puzolanlar, tek başına bağlayıcılık özelliği olmayan ya da bağlayıcılık özelliği oldukça az olan, fakat ince öğütülmesi durumunda, nemli ortamda ve normal sıcaklıkta kalsiyum hidroksit ile birleşip bağlayıcı özellik kazanan silisli ya da silisli - alüminli malzemeler olarak açıklanmaktadır [5].

Puzolan malzemelerin ana yapısını oluşturan oksitler silisyum dioksit (SiO₂), alüminyum oksit (Al₂O₃) ve demir oksit (Fe₂O₃)’tir. Bunlardan başka kalsiyum oksit (CaO), alkaliler ve diğer oksitleri içerirler [6].

1.2.1. Puzolanların Tarihçesi

Yüzyıllardır volkanik külün ve volkanik küllü toprakların ya da pişirilmiş kilin söndürülen kireç ve kumla birleştirilmesi ve sonucunda suya dayanımlı harç elde edilmesi işlemi uygulanmaktadır. Konya-Çatalhöyük'te yapılan araştırmalar Neolitik çağa ait evlerde kullanılan harçların 8000 yıl öncesine ait olduğunu göstermiştir. Yalnızca kil, kireç ya da alçıdan oluşan harçların suya dayanıklı olmadıkları bilindiğinden, bu harçların yüksek ihtimalle volkanik kül içeren topraklardan yapıldığı tahmin edilmektedir. Bahsedilen bölge Çatalhöyük, Erciyes ve Hasandağı gibi dağlara yakın konumdadır. Üç dört bin yıl önce Girit'te, Rodos'ta ve birçok yerde yapılmış bulunan su yapıları ve mozaik işleri de günümüzde halen varlığını korumaktadır. Bu yapılarda yine bağlayıcı olarak puzolan ve söndürülmüş kireç kullanılmıştır. Fakat puzolanların beton yapımında aktif olarak kullanılmaları ve 'puzolan' isminin verilmesi MÖ 300 yılı dolaylarında Romalılar tarafından gerçekleştirilmiştir. Romalılar puzolan malzemelerin bağlayıcı olduklarını tespit etmişlerdir ve Romalı ünlü mimar Marcus Vitruvius Pollio MÖ 300 – MÖ 200 yılları arasında bitirdiği "Mimarlık Üzerine On Kitap" (De Architectura Libri Decem) isimli eserinin ikinci kitabında bu malzemelere pozzolana (puzolan) olarak isimlendirmiştir. Vitruvius kitabında, Romalılar'ın pişirilmiş kil veya öğütülmüş tuğla ya da kiremidin puzolanik özellik gösterdiğinin bilincinde olduklarını belirtmiştir [7].

Selçuklu ve Osmanlı yapılarında yaygın olarak kilden yapılan ve pişirilen tuğla, kiremit, çömlek gibi malzemelerin öğütülmesi ve sönmüş kireç ile karıştırılması sonucunda oluşturulan "Horasan Harcı" kullanılmıştır [8].

1.2.2. Puzolan Çeşitleri

Puzolanik malzemeler, doğal puzolanlar ve yapay puzolanlar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Doğada bulunan volkanik küller ve tüfler, ponza taşı gibi volkanik kökenli ve diatomlu topraklar doğal puzolanlar olarak adlandırılır. Yapay puzolanlar ise genellikle bir ısıtım işlemi neticesinde elde edilen endüstriyel yan ürünlerdir. Silis dumanı, uçucu kül, granüle yüksek fırın cürufu (YFC) v.b. atık malzemeler yapay puzolanlardır [9]. Doğal puzolanlara örnek olarak genellikle genç volkanik kayalar verilebilir. Yapay puzolanlara ise kömürlü güç santralleri tarafından üretilen küller verilebilir [10].

1.2.2.1. Elazığ Ferrokrom Cürufu

Türkiye’de iki ilimizden ferrokrom cürufu elde edilmektedir. Antalya Ferrokrom İşletmesi ve Elazığ Ferrokrom İşletmesi cürufun çıkarıldığı iki kurumdur. Çıkan cürufların yaklaşık olarak hepsi stok alanlarında depolanmaktadır (Şekil1.1). Günümüzde bu cüruflar ciddi anlamda değerlendirilmemektedir [11].



Şekil 1.1. Fabrika sahasında depolanan ferrokrom cürufu

Elazığ ferrokrom cürufu; Elazığ Maden ilçesinde mevcut Eti Krom işletmesinde krom cevheri üretimi sonrasında meydana çıkan yan üründür. Madenden getirilen krom içeren kayaların 1500 ve 1700 °C sıcaklıklarda eritilmeleri, madenin ve cürufun ayrılması sonucunda ferrokrom cürufu ortaya çıkmaktadır [12].

Elazığ yöresinde gerçekleştirilen önceki üretimlerden kalan cüruflarla birlikte şu anda ferrokrom üretim sürecinden çıkan cüruflar fabrikada bulunan sahalarda muhafaza edilmektedir [13]. Bu nedenle ferrokrom cürufunun beton içerisinde çimento yerine kullanılmasının çevresel problemlerin azaltılması ve enerji tasarrufu gibi birçok fayda sağlayacağı düşünülmektedir [14].

Elazığ ferrokrom cürufunun özgül ağırlığı 2,62’ dir.

Yapılan deneyler neticesinde belirlenen Elazığ ferrokrom cürufunun kimyasal analiz sonuçları Tablo 1.1’de verilmiştir.

Tablo 1.1. Elazığ ferrokrom cürufunun kimyasal analizi

Analiz (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Cr ₂ O ₃
EFC (%)	30,95	20,13	2,72	2,58	34,83	6,22

1.3. Mermer Tozu

Bilimsel tanımıyla mermer, kalker (CaCO₃) ve dolomitik kalkerlerin (CaMg(CO₃)₂) sıcaklık ve basınç altında değişime uğrayarak kristalleşmesi sonucu oluşan metamorfik kayadır. Gerçek mermerler kimyasal bileşimlerinde çokça kalsiyum karbonat ve daha düşük miktarlarda magnezyum karbonat bulunduran kalsit kristallerinden oluşmuşlardır. Kalsiyum karbonat billurlardan oluşarlarda genellikle % 95 kalsit bulunur. Fazla olarak az miktarda silis, silikat, feldspat, demir oksit, mangan oksit, pirit, mika, flüorin ve organik maddeler de bulunabilir [15].

Mermer tozu, en küçük nitelikteki mermer atığıdır. Mermer işleme tesislerinde blokların ve plâkaların kesilmesi sonucunda ortaya çıkar. Büyük çoğunluğu ise 1mm’nin altında olan tanelerdir. Kesme işlemi suyla yapılır. Bundan dolayı atıklar suya karışır ve çöktürme havuzlarında arıtma tesislerinden alınırlar [16].

Elazığ yöresi Uluğağ Antalya Karo’dan temin edilen mermer malzemenin özgül ağırlığı XRF analizinde 2,62 olarak raporlanmıştır.

Elazığ yöresinden elde edilen mermer malzemenin kimyasal özellikleri Tablo 1.2.’de verilmiştir.

Tablo 1.2. Mermer Tozunun kimyasal analizi

Analiz (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
Mermer Tozu (%)	0,18	0,32	0,01	56,05	0,47

1.4. Literatür Özeti

Yazıcıoğlu vd. (2005), Elazığ ferrokrom cürufu kullanımının betonun basınç dayanımı ve çarpma enerjisi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada betonda en büyük agrega çapı 4 mm, 8 mm, 16 mm ve 32 mm olarak belirlenmiştir. Cüruf çimentoyla aynı incelikte öğütülerek normal portland çimentosuyla ağırlıkça %1, %3, %5, %7 ve %10 oranlarında yer değiştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda dane çapı arttıkça basınç dayanımı ve çekme enerjisinin arttığı gözlemlenmiştir. Cüruf katkısı %3 oranındayken cürufli betonun mukavemetinin kontrol betonundan yüksek olduğu ancak cüruf oranı %5'e çıkınca kontrol betonuna denk mukavemet elde edildiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla cürufun %5 oranında katkı malzemesi olarak kullanılabileceği kanaatine varılmıştır [17].

Çakır (2006), yüksek fırın cürufu katılmasıyla üretilen farklı özellikteki betonu farklı ortam koşullarına maruz bırakarak yapılacak deneyler sonrası elemanın korozyon durumunun tahmin edilmesini amaçlamıştır. Araştırmacı sonuç olarak beton üretiminde yüksek fırın cürufu kullanılmasının beton performansına olumlu etki yaptığını ve üretilen betonda toplam korozyon ve donatı korozyonunun azalmış olduğunu tespit etmiştir [18].

Canbaz (2007), çalışma kapsamında Türkiye'de bulunan üç demir çelik fabrikasından temin ettiği yüksek fırın cürufunu betonda çimento yerine %0, %25, %50, %75, %85, %90, %95, %100 kullanmıştır. Aktivatör olarak da sodyum karbonat, sodyum silikat ve sodyum hidroksit kullanmıştır. Deney numunelerini 28, 56 ve 90 gün olmak üzere kür koşullarında bekletmiştir. Yaptığı deneyler neticesinde en uygun aktivatörlerin sodyum hidroksit ve sodyum karbonat olduğunu tespit etmiş ayrıca çimento yerine %75-100 oranında alkalilerle aktive edilmiş yüksek fırın cürufu kullanımının dayanımı arttıracağını belirtmiştir [19].

Aydın (2010), yapmış olduğu çalışma kapsamında amorf karakterli yüksek fırın cürufunun aktivatörler ile aktive edilerek iyi özellikte bağlayıcı elde edilmesi amaçlanmıştır. İlk olarak kullanılabilecek en iyi aktivatör belirlenmiş sonrasında yüksek performanslı lifli kompozit malzeme üretilmiştir. Üretilen kompozitin reolojik, mekanik ve mikroyapı özellikleri yapılan deneylerle belirlenmiş ve klasik portland çimentolu betonun özellikleriyle karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları genel olarak alkali aktive

edilmiş betonun normal betona göre dış etkilere dayanıklılığının fazla olduğunu göstermiştir [20].

Yakupoğlu (2010), yaptığı tez çalışmasında CEN referans kumu, hazır içme suyu, yüksek fırın cürufu ve alkali aktivatörler kullanarak çimentosuz beton üretiminin dayanıma etkisini araştırmıştır. Harç numunelerinin kum / bağlayıcı oranını 3,00, su / bağlayıcı oranını ise 0,50 olarak seçmiştir. Harç numunelerinin kıvam, birim ağırlık, su emme, boşluk oranı, eğilme ve basınç dayanımları, asınma direnci ve yangın direnci özelliklerini incelemiştir. Deneyler neticesinde en yüksek aşınma direnci sodyum silikat ve sodyum metasilikat kullanılan harç numunelerinde gözlemlenmiştir. Sodyum hidroksit kullanılan numunelerin ise normal portland çimentolu kontrol numunelerine göre yangına daha büyük direnç gösterdiklerini tespit etmiştir [21].

Maraş (2013), Elazığ ferrokrom cürufunun alkali ile aktivasyonu sonucu bağlayıcı özellikli geopolimer ürün oluşturulması amaçlanmıştır. Çalışmada farklı oranlarda silis ve sodyum oksit içeren geopolimer hamur numuneleri üretilmiştir. Üretilen bu numunelerin farklı magnezyum sülfat çözeltileri içerisinde basınç dayanımı, ağırlık değişimi, boy değişimi, pH değişimi ve görsel görünüşleri incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda beton numunelerinin magnezyum sülfata karşı direnç gösterdiği ve numunelerin görünümünde değişim olmadığı gözlemlenmiştir [22].

Kantarcı (2013), yapmış olduğu çalışmada Elazığ ferrokrom cürufu, aktivatörler ve dere agregası ile kumun bir araya getirilmesi sonucu geopolimer beton numuneler üretilmiştir. Geopolimer beton numunelerin basınç dayanımları (3, 7 ve 28 gün), bazı fiziksel özellikleri, çeşitli sıcaklıklardaki yangın dayanımları ve mikro yapıları incelenmiş ve normal portland çimentolu beton numunelerle karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre EFC ve aktivatörler kullanılarak üretilen beton numunelerin basınç dayanımlarının aynı kür şartları altında üretilen normal portland çimentolu numunelerden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. 100 ve 300 °C sıcaklıklar sonrası kontrol numunelerine göre yine basınç dayanımının fazla olduğu görülmüştür [23].

İlkentapar (2013), alakali aktivatörlerle aktive edilmiş cürufu numunelerin erken priz alma ve yüksek kuruma rötresinin çözümlerine yönelik olarak kullanılabilecek kimyasal katkıları ve kür şartlarını araştırmıştır. Bu nedenle normal portland çimentolu numunelerde kullanılan kimyasal katkıları cürufu numunelerde de ikame ederek

mekanik özellikler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Aldığı sonuçlara göre bu katkı malzemelerinin taze haldeki cürufu harç numunelerinde portland çimentolu numunelere göre daha az olmakla birlikte bir miktar iyileşme sağladıkları ancak rötreden kaynaklı deformasyonları azaltmakta etkili olduklarını tespit etmiştir. Ayrıca cürufu numunelerinin sıcak olarak kürlenmelerinin erken mukavemet gelişimi göstermelerinde büyük önemi olduğunu belirtmiştir [24].

Vapur vd. (2013), Elazığ ilinde demir-çelik üretimi sonrası açığa çıkan ferrokrom atıklarının agrega olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Cürufun kimyasal ve fiziksel özellikleri belirlendikten sonra Los Angeles, Schmidt test çekici, noktasal yük dayanımı, alkali agrega reaktivasyonu, donma ve çözünme deneyleri, ve asitle çözünen sülfat gibi deneyler uygulanmıştır. Sonuçta ferrokrom cürufunun agrega olarak kullanılabilceği tespit edilmiştir [25].

Bingöl (2018), öğütülmüş yüksek fırın cürufunu alkalilerle aktive ederek mekanik ve durabilite özelliklerini araştırmıştır. Deneylerin uygulanmasında farklı sodyum oranları deneyerek optimum sodyum miktarlarını belirlemiştir. Çalışma kapsamında, rötire, aşınma, asit etkisi, baz etkisi, karbonatlaşma, hızlı klor geçirimsizliği, yüksek sıcaklık, ıslanma-kuruma, birim hacim ağırlık, kılcal su emme ve işlenebilirlik deneylerini yapmıştır. Sonuçları mukayese etmek amaçlı portland çimentolu betonlar üretmiştir. Deney sonucunda yüksek fırın cürufu geopolymer harçların normal portland çimentolarına oranla performansının çok daha iyi olduğunu tespit etmiştir [26].

Literatür taramaları sonucunda krom cürufu ile alkali aktive edilmiş beton ve harç numunesi üretimi hakkında son on yılda yapılmış çalışmalara rastlanmaktadır. Ancak krom cürufu ve mermer tozunun birlikte kullanımının beton üzerindeki etkileri ile ilgili yeterince çalışma yapılmadığı görülmüştür. Yapılan literatür taramaları sonucunda benzer bir çalışmaya rastlanılmamış ve konunun araştırmaya açık, özgün bir konu olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, beton üretiminde çimento kullanmak yerine çimento ile aynı incelikte öğütülmüş krom cürufu ve atık mermer tozu tercih edilerek alkalilerle aktive edilmiş beton üretimi hedeflenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Materyal

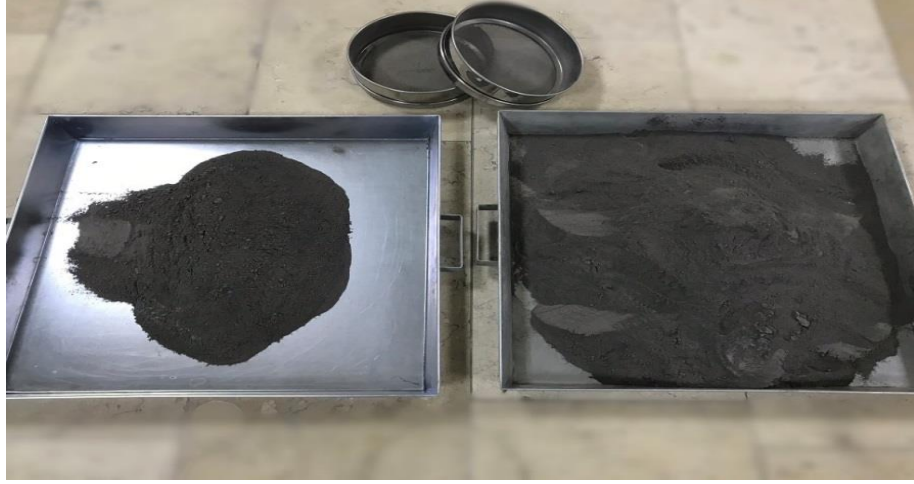
2.1.1. Elazığ Ferrokrom Cürufu

Deneyde Elazığ Ferrokrom İşletmesinden alınan ve deneysel çalışmalarda kullanılan cüruf TS EN 1097-2'ye uygun olarak Los Angeles aleti ile öğütülmüştür. Los Angeles aletinin tamburu standartta uygun olarak 31-33 devir/dakika hızda döndürülmüştür. Ferrokrom cürufu Los Angeles aletinde 120 dakika boyunca tambur ortalama 3840 tur dönecek şekilde ayarlanarak öğütülmüştür (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Los Angeles cihazı

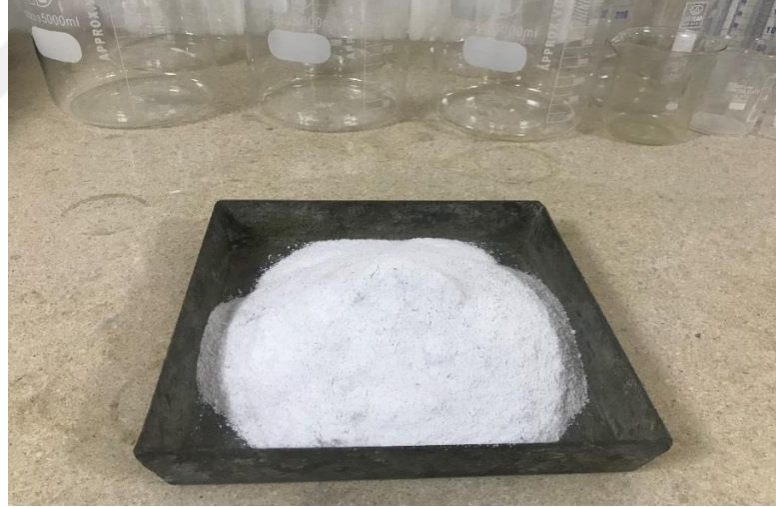
Öğütme işlemi sonunda elde edilen malzeme ayrıca 0.125 mm'lik elekten elenmiştir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Elazığ ferrokrom cürufunun eleme işlemi

2.1.2. Atık Mermer Tozu

Bu çalışmada harç üretimi amacıyla deneysel çalışmalarda Elazığ Uluağaç Antalya Karo'dan temin edilen Elazığ yöresine ait mermer tozu kullanılmıştır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Atık mermer tozu

2.1.3. Alkali Aktivatör

Aktivasyon amacıyla sodyum silikat (Na_2SiO_3) ve sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. Sodyum silikat (Na_2SiO_3) cam suyu olarak bilinir ve sıvı haldedir. Sodyum hidroksit (NaOH) ise beyaz renkte ve nem çekebilen katı haldedir (Şekil 2.4). Suda ısı açığa çıkararak çözünür. Kaygan, yumuşak, sabunumsu bir çözelti meydana getirir. Ucuz ve temini kolay bir malzemedir.



Şekil 2.4. Sodyum Hidroksit (NaOH)

Katı haldeki sodyum hidroksit (NaOH) sulu çözeltisi hazırlanırken TS EN 1008'e uygun olan Elazığ ili şebeke suyu kullanılmıştır. (Şekil 2.5)



Şekil 2.5. Sodyum Hidroksit (NaOH) sulu çözeltisinin hazırlanışı

Alkali aktivatörlerin kimyasal analizi Tablo 2.1.'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Alkali Aktivatörlerin kimyasal analizi (%)

Alkali Aktivatörler	Sodyum Silikat (Na_2SiO_3)	Sodyum Hidroksit (NaOH)
Özgöl Ağırlık	1,4	2,1

Deney için hazırlanmış sodyum silikat ve sodyum hidroksit sulu çözeltileri Şekil 2.6.'da verilmiştir.



Şekil 2.6. Alkali Aktivatörler

2.1.4. Agrega

Elazığ Vessam Prefabrik'ten temin edilen agregalar kırmataş olup agregaların özgül ağırlığı 2,8'dir.

Karışımlarda kullanılan ince ve iri agregalar Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.7. İnce ve iri agregalar

2.2. Metod

2.2.1. Elek Analizi

Numune öncelikle kaba yerleştirilmiş, üzerini örtecek miktarda su eklenmiş, ıslatılan numune 2-1-0,5 ve 63 mikrometrelik göz açıklıklı elekten geçen su durulaşincaya kadar yıkanmıştır.

Yıkanan malzeme değişmez ağırlığa gelinceye kadar etüvde kurutulmuştur (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Yıkanmış ve kurutulmuş malzeme

Yıkanmış, kurutulmuş malzeme elek setine dökülmüştür. Elek seti, yukarıdan aşağıya elek göz açıklıkları azalacak şekilde birbirine geçirilmiş elekler, tava ve kapaktan oluşmaktadır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Elek Analizi

En büyük açıklıklı elek üzerinde kalan malzeme tartılmış ve kaydedilmiştir. Altındaki eleklerde kalan malzemeler için de aynı işlem tekrarlanmıştır.

Beton karışımlarında maksimum agregâ boyutu 12 mm olarak seçilmiştir. Agregânın tane büyüklüğü dağılımı, TS 802 (2009)’da verilen sınır değerler içinde kalacak şekilde ayarlanmıştır.

Her elek için üzerinde kalan agregâ, toplam kalan agregâ miktarına bölünüp 100 ile çarpılmış ve her elek üzerinde kalan malzeme yüzde cinsinden bulunmuştur.

Her elekten geçen malzeme yüzdeleri grafiğe işlenmiş, öngörülen elek analizi grafiği sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak incelik modülü aşağıdaki bağıntılarla hesaplanmıştır.

$$\text{Elek Serisi} = \frac{\text{Elek üzerinde kalan malzeme miktarı}}{\text{Toplam numune miktarı}} \times 100 \quad (2.1)$$

$$\text{İncelik Modülü} = \frac{\text{Kümülatif kalan toplam}}{100} \quad (2.2)$$

2.2.2. XRF Analizi

XRF’nin açılımı "X-Işını Floresans" şeklindedir. XRF malzeme analiz tekniğidir. Bu teknikle birçok malzemenin birleşimleri analiz edilebilmektedir. Bu yöntemin hızlı yapılabilir olması, çok sayıda elementin birkaç dakikada analiz edilebilmesi avantajlarından bazılarıdır. Analiz sırasında numuneye herhangi bir şekilde zarar vermemesi dolayısıyla tekrarlanabilir bir analiz türüdür. Doğruluk ve hassasiyeti, diğer yöntemlere göre oldukça iyidir. Ayrıca diğer tekniklere göre maliyeti düşüktür [27].

Çalışmada kullanılan Elazığ ferrokrom cürufu ve atık mermer tozunun kimyasal birleşimleri Elazığ Seza Çimento tarafından XRF cihazıyla analiz edilmiştir.

2.2.3. Beton Karışım Oranlarının Belirlenmesi

Çalışmada Tablo 2.2.’de detayları verilen alkali aktivatör (NaOH+Na₂SiO₃)/bağlayıcı (cüruf+mermer tozu) oranı 0.30, 0.35 ve 0.40 şeklinde değişiklik gösteren karışımlar sırasıyla dökülmüş olup, bu karışımlardan basınç dayanım değeri en yüksek çıkan 0,40’lık karışım referans kabul edilmiştir. Çalışma doğrultusunda yapılan bütün deneylerde bu karışım oranları esas alınmıştır.

Tablo 2.2. Geopolimer Harç Karışım Oranları

Alkali Aktivatör (NaOH+Na ₂ SiO ₃) / bağlayıcı (cüruf+mermer tozu)	NaOH molariteleri	Atık Mermer Tozu oranı (%)	EFC (g)	Atık Mermer Tozu (g)	İnce Agrega (g)	İri Agrega (g)	NaOH (g)	Na ₂ SiO ₃ (g)
0,30	16 mol, 18 mol, 20 mol	%10	253,6	28,2	225,4	338,1	33,8	50,7
		%20	225,4	56,4	225,4	338,1	33,8	50,7
		%30	197,23	84,53	225,4	338,1	33,8	50,7
0,35	16 mol, 18 mol, 20 mol	%20	225,4	56,4	225,4	338,1	39,43	59,14
		%10	253,6	28,2	225,4	338,1	39,43	59,14
		%30	197,23	84,53	225,4	338,1	39,43	59,14
0,40	16 mol, 18 mol, 20 mol	%10	253,6	28,2	225,4	338,1	45,1	67,6
		%20	225,4	56,4	225,4	338,1	45,1	67,6
		%30	197,23	84,53	225,4	338,1	45,1	67,6

2.2.4. Numunelerin Hazırlanması

Bu tez çalışmasında kullanılacak deney malzemeleri; ince agrega, iri agrega, bağlayıcı olarak 0,125 mm'den daha küçük boyutta öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve atık mermer tozu, katkı maddesi olarak ise sodyum hidroksit ve sodyum silikat olarak sıralanabilir. (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Deney malzemeleri

Çalışmada alkali aktivatör / bağlayıcı oranı 0,40 olarak tüm karışımlarda sabit alınmıştır. Numuneler karışım oranlarına göre ince agregat, iri agregat, yüksek fırın cürufu ve atık mermer tozu şeklinde ikame edilerek karıştırıldıktan sonra alkali aktivatörler birbiriyle karıştırılarak hızlı bir şekilde bağlayıcı malzeme karışımına eklenmiştir. Numunelerin kalıplardan rahatlıkla çıkabilmesi için kalıplar 10 numara motor yağı ile yağlanmıştır. Numune kalıplara üç tabaka halinde ve her bir tabaka 25 defa şişlenmek suretiyle yerleştirilmiştir (Şekil 2.11). Son olarak numune yüzeyleri mala yardımıyla düzleştirilmiştir ve döküm işlemi tamamlanmıştır (Şekil 2.12).



Şekil 2.11. Şişleme işlemi



Şekil 2.12. Kalıplara yerleştirilmiş numuneler

16, 18 ve 20 molarite değerlerinde numuneler 24'er saat etüvde 25, 60 ve 90°C aktivasyon sıcaklıklarında bekletilmiştir (Şekil 2.13).



Şekil 2.13. Etüvde 60°C sıcaklıkta bekletilen numuneler

Etüvden alınan numuneler kalıp içerisinde toplamda 3 gün oluncaya dek laboratuvar koşullarında bekletilmiştir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. Numunelerin hazırlanma aşamaları

2.2.5. Geopolimer Hamuru Üzerinde Yapılan Deneyler

2.2.5.1. Kıvam Tayini

Kıvam tayini deneyi TS EN 196-3/2017'ye uygun olarak gerçekleştirilmiştir. 500 gram numune için gerekli olan Elazığ ferrokrom cürufu ve atık mermer tozu hesaplanarak 1 g duyarlılıktaki terazide tartılmıştır. Karışımda kullanılacak alkali aktivatör miktarı ise toplam ağırlığın %25, %30, %35 ve %40'ı olarak hesaplanmış dereceli kaplarda ölçülmüştür.

Hazırlanan numunenin karıştırma işlemi biter bitmez en çok bir dakika içerisinde yağlanmış vicat halkası içerisine yerleştirilmiştir. Kalıbın üstüne taşan Elazığ ferrokrom cürufu ve atık mermer tozu pastası fazlalığı düzgün kenarlı bir spatula ile yavaş testere hareketi uygulanıp sıyrılarak düzgün bir yüzey elde edilmiştir. Elde edilen düzgün yüzey halkanın üst kenarı seviyesinde bırakılmıştır. Sondanın ucu, hazırlanmış olan vicat halkasının ortasında Elazığ ferrokrom cürufu ve atık mermer tozu pastasının üst yüzeyine dokunacak kadar indirilmiş ve serbest bırakılmıştır. Sonda, 30 saniye içerisinde kendi ağırlığı ile cüruf pastasının içine girmiştir. Sondanın batma işlemi tamamlandığında sonda ucu ile taban plakası arasında kalan mesafe mm cinsinden okunmuştur. Sondanın tabanda bulunan cam levhaya 5 – 7 mm kalıncaya kadar inmesi hali yakalanıncaya dek deney farklı oranlarda tekrarlanmıştır. Belirtilen aralık yakalandığı anda ilave edilen alkali aktivatör miktarı toplam ağırlığın %35'i şeklinde kıvam için gerekli alkali aktivatör miktarı olarak belirlenmiştir.

Yine kıvam tespiti için yayılma tablası deneyi yapılmıştır. Yayılma tablası deneyi TS EN 1015-3 (2000)'e uygun yapılmıştır. Alkali aktive edilmiş harç karışımları taban çapı 100 mm olan koni kalıbına yerleştirilmiş yayılma tablası 15 saniyede 15 defa düşürülerek hesaplanmıştır. Yayılan taze harcın çapı iki ayrı noktadan ölçülmüş ve ortalaması alınmıştır.

2.2.5.2. Hamur Numunelerinin Priz Süresi Tayini

Priz başlangıcı ve bitiş süresi deneyi TS EN 196-3/2017'ye uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Hazırlanacak numune için gerekli olan Elazığ ferrokrom cürufu ve atık mermer tozu 500 gram olarak tartılmıştır. Karışım suyu ölçekli cam mezür ile toz malzemenin yaklaşık %35 i kadar yani 175 gr ölçülerek hazırlanmıştır. Vicat aletine iğne takılmış ve iğne cam levha üzerine indirilerek sıfırlama işlemi yapılmıştır. Karıştırma kabına karışım için hazırlanan alkali aktivatör katılmış ve ardından tartılan 500 gr malzeme 5-10 sn içinde alkali aktivatörün içine boşaltılmıştır. Hazırlanan karışım daha önce hazırlanan cam levha üzerindeki vicat halkasına 30-40 sn içerisinde doldurulmuştur. Vicat aletine göre iğne vicat halkasının kenarından 1 cm içeride olacak şekilde yerleştirilmiştir. Priz başlangıç süresi için 20-30 dk beklendikten sonra iğne serbest bırakılarak hamur içine girmesi sağlanmıştır. İğne her batırılıştan sonra nemli bir bez ile silinmiştir. Saat yönünün tersine doğru sürekli daire çizilerek her 10 dk da bir batırma işlemi tekrar edilmiştir. Batma derinliği 3-5 mm olduğunda priz başlama süresi belirlenmiş olup dakika cinsinden kaydedilmiştir. (Şekil 2.15)



Şekil 2.15. Priz başlangıcı ve bitiş tespiti deneyi (Vicat aleti)

Priz sona erme süresinin tayini için priz başlama deneyi uygulanan Elazığ ferrokrom cürufu ve atık mermer tozu hamuru dolu vicat halkası ters çevrilmiştir ve priz sona erme süresinin tayininde kullanılan iğne vicat aletine takılmıştır. Batma derinliği 0,05 mm olduğunda priz sona erme süresi belirlenmiş olup dakika olarak kaydedilmiştir.

2.2.5.3. SEM Analizi

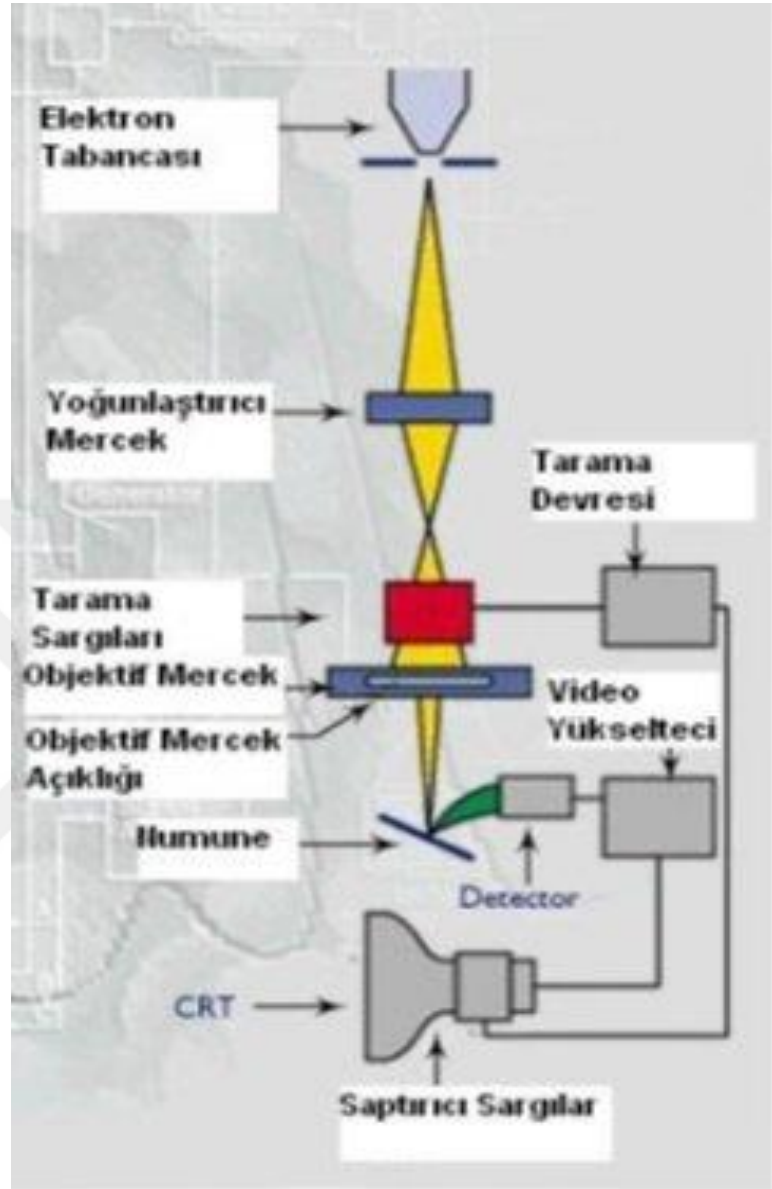
Elektron mikroskopunun keşif süreci, 20. yüzyılın başlarında ilk elektromanyetik lensi Hans Busch'ın 1926'da icat etmesiyle başlamıştır. Hans Busch 1928'de lensin patentini almışsa da elektron mikroskopunu kendisi icat edememiştir.

Elektron mikroskobu ise 1931'de Berlin Üniversitesi'nden Alman Bilim adamları fizikçi Ernst Ruska ve elektrik mühendisi Max Knoll'un ortak çalışmaları sonucunda doğdu. Bu prototip 400 kat büyütme gücüne sahipti ve elektron mikroskobu ile neler başarılabileceğini gösteren ilk icattı.

1933'te Ernst Ruska orjinal modelin daha üst seviyesi olan ve optik mikroskopa göre daha fazla çözünürlüğe sahip bir elektron mikroskop üretti. 1937'de Bodo von Borries ve Helmet Ruska, kendisine katılıp biyolojik örneklerin incelenmesi gibi uygulamalar yapabilmek için yardımcı oldular. Aynı yıl içerisinde Manfred von Ardenne ilk scanning taramalı elektron mikroskobu (scanning electron microscope, SEM) geliştirdi.

Siemens-Schuckertwerke 1938'de halka ilk ticari elektron mikroskobu sundu. Bu andan sonra transmisyon elektron mikroskopları (transmission electron microscope, TEM) dünyanın birçok bilim merkezinde daha ulaşılabilir hale geldi [28].

Elektron mikroskopları, optik mikroskoplardan farklıdır. Standart mikroskopların ortak noktaları temel olarak merceklerden ve ışıktan yararlanmalarıdır. Elektron mikroskoplarının çalışma prensibi ise bir elektron kaynağından salınan elektronların numune ile etkileşimi sonucunda elde edilen verilerin işlenerek görüntü oluşumunu sağlamak şeklindedir. Elektron mikroskopları iki çeşittir; geçirimli elektron mikroskobu (TEM) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM). TEM mikroskobu ile ince örnekler incelenebilirken, bu analizde kullanılan SEM adı verilen mikroskop ile kalın örnekler incelenebilir. Elektron ışını numunenin yüzeyine odaklanır ve yüzeyi taramaya başlar. Bu taramayla elektron ve numune atomları arasında oluşan etkileşimlerin uygun alıcılarla toplanması sonucu numunenin oldukça büyütülmüş görüntüsü alınır. SEM'in ayırma gücü 10 nm mertebesinde. SEM'in şematik görünüşü Şekil 2.16'da, SEM analizi için hazırlanan numuneler Şekil 2.17'de verilmiştir.



Şekil 2.16. SEM'in şematik görünüşü



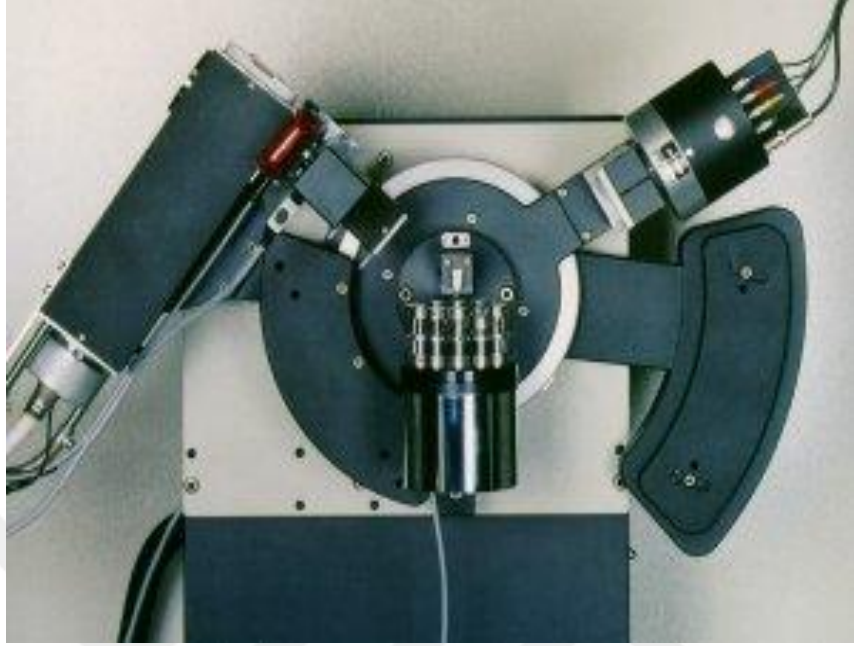
Şekil 2.17. SEM analizi için hazırlanan numuneler

Numunelerin mikroyapı özelliklerinin incelenmesi amacıyla SEM görüntülerinden faydalanılmıştır. SEM analizleri İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi'nde yapılmıştır. Numuneler 9 adet olup üretilen karışımlardan alınan parçalar üzerinden SEM ile görüntü alınmıştır.

2.2.5.4. XRD Analizi

Mikroyapı özelliklerinin belirlenmesinde, X-ışını floresans spektrometresi kullanılmıştır. X-Ray Diffractometer adı verilen aletler ile yapılan bu deney bir maddenin, malzemenin veya kayacın kristal yapısını inceleyerek mineralojik bileşimini bulurken X ışınlarından yararlanır. Bu yöntemin esası; çok kısa dalga boyuna sahip elektromanyetik dalgalardan meydana gelen X ışınları demetinin analiz edilecek numunenin üzerine gönderilip, kristallerin atomlarına çarpıtılarak yansıtılmasıdır. Analizi yapılacak numuneler öğütücülerde veya havanda iyice öğütülerek hazırlanır. Toz haline getirilen numuneler preslenerek analize uygun hale getirilir. Analizi yapılacak

numuneler XRD cihazının örnek tutucusuna yerleştirilir ve analiz edilir [29]. XRD cihazı örneği Şekil 2.18’de, XRD analizi için hazırlanan numuneler ise Şekil 2.19’da verilmiştir.



Şekil 2.18. XRD cihazı



Şekil 2.19. XRD analizi için toz haline getirilen numuneler

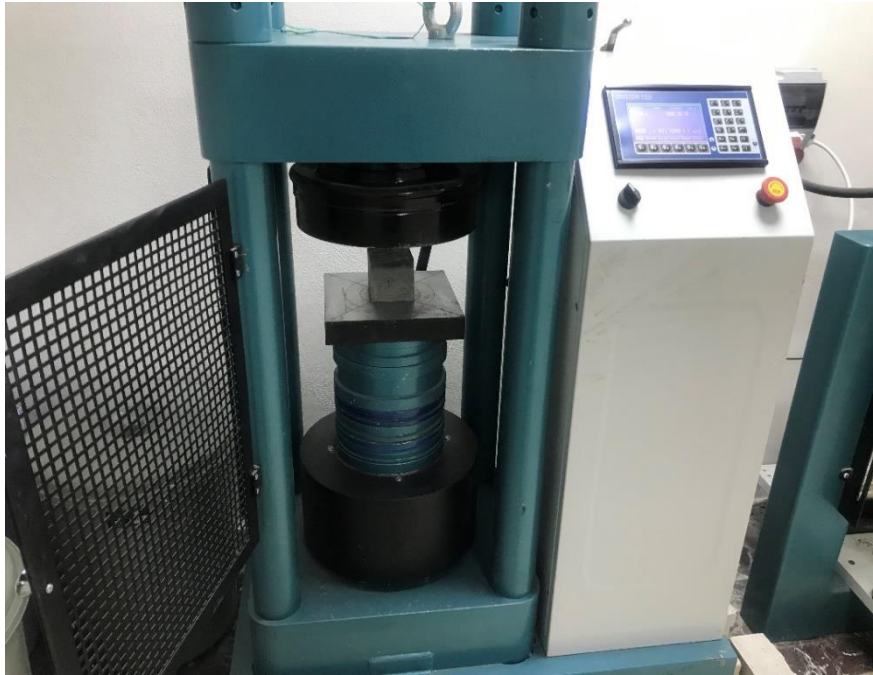
Numunelerin mikroyapı özelliklerinin incelenmesi amacıyla üretilen karışımlardan alınan parçalar XRD cihazı ile analiz edilmiştir. Numuneler 5 adet olup XRD analizleri Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvar'ında yapılmıştır.

2.2.6. Sertleşmiş Beton Numunelerine Uygulanan Deneyler

2.2.6.1. Basınç Dayanımı

Basınç dayanımı deneyi her sıcaklık ve mol için 3'er adet 70x70x70 mm ölçekli küp numuneler üzerinde TS EN 12390-3/2010'a uygun olarak yapılmıştır.

Hazırlanan numuneler basınç makinasına yerleştirilmeden önce makinanın yükleme başlıklarının yüzeyleri temizlenmiştir. Numune ve makine başlığı arasında aralık ayarlama blokları ve ilave plakaların haricinde ek parça kullanılmamıştır. Küp numuneler beton döküm yönüne dik olacak şekilde yerleştirilmiştir. Numuneler başlığı merkeze alacak şekilde konumlanmıştır. Uygulanacak basınç için 0,2 MPa/s sabit bir yükleme hızı seçilmiştir. Yük numuneye darbe tesiri olmaksızın en büyük yüke ulaşıncaya kadar sabit hızda uygulanmıştır. Göstergeden okunan en büyük okuma kaydedilmiştir. (Şekil 2.20)



Şekil 2.20. Basınç dayanımı deneyi

Sonuç olarak her sıcaklık ve mol için üçer adet numune üretilmiş ve elde edilen sonuçlar bu üç numunenin ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

2.2.6.2. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi

Ultrases geçiş hızı deneyi her sıcaklık ve mol için 3'er adet 70x70x70 mm ölçekli küp numuneler üzerinde TS EN 12504-4/2004'e uygun olarak yapılmıştır.

Ölçümler küp numunelerin düzgün olan yüzeylerinden karşılıklı alınmıştır. Ölçüm esnasında sensörlerin karşılıklı gelmeleri için mermer tezgah üzerinde ölçüm yapılmıştır. Sensörler ile numune arasında boşluk oranını sıfıra indirmek için vazelin kullanılmıştır. Ultrases test cihazı ile beton içerisine gönderilen ses dalgalarının betonun iki yüzeyi arasından geçmesi ölçülmüştür. Böylelikle betonda oluşan dalga hızı hesaplanmıştır (Şekil 2.21).



Şekil 2.21. Ultrases geçiş hızı deneyi

Elde edilen sonuçlar ile beton basınç testi ve diğer özellikler arasındaki ilişki incelenmiştir.

Ses geçiş hızı ölçüldükten sonra dalga hızı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$V = \frac{sx1000}{t} \quad (2.3)$$

Burada; V= Ses üstü dalga hızı (km/sn)

S (L) = Numunenin iki yüzeyi arasındaki mesafe, ölçüm yapılan mesafe (metre)

t = Numunenin iki yüzeyi arasında ses üstü dalganın geçiş süresi (mikron saniye)

Bulunan ses hızı değerleri ile betonun kalitesi Tablo 2.3 yardımıyla tahmin edilebilir [30].

Tablo 2.3. Betonun Kalitesinin Tahmin Edilmesi [30].

SES HIZI İLE BETONUN KALİTESİNİN TAHMİN EDİLMESİ	
Ses Hızı (V) Km/Sn	Beton Kalitesi
> 4,5	Mükemmel
3,5-4,5	İyi
3,0-3,5	Şüpheli
2,0-3,0	Zayıf
< 2,0	Çok Zayıf

2.2.6.3. Kapilarite Deneyi

Kapilarite deneyi her sıcaklık ve mol için 3'er adet 70x70x70 mm ölçekli küp numuneler üzerinde TS EN 3526'ya uygun olarak yapılmıştır.

Numuneler 25, 60 ve 90 °C sıcaklıktaki etüvde 24 saat bekletilmişler ve 2 gün de havada kürlenmişlerdir. Numunelerin deneye başlamadan önce kuru ağırlıkları tartılarak alınmıştır. Daha sonra numuneler suyun yüzüne degecek şekilde kaba yerleştirilmiştir. 1., 4., 9., 16., 36., 49., ve 64. dakikalardaki ağırlıkları hassas terazide ölçülmüş ve betonda bu süreler içerisinde kılcal olarak emilen su miktarları tespit edilmiştir. Son olarak aşağıdaki bağıntılar yardımıyla k kılcallık katsayıları bulunmuştur.

$$q^2 = k.t \quad (2.4)$$

$$q^2 = (Q/A)^2 \quad (2.5)$$

Burada Q; Numunenin emdiği su miktarını (gr), A; Suyu emen yüzeyin alanını (cm²), q; Birim alandan emilen su miktarını (gr/cm²) ve k da kılcallık katsayısını ifade etmektedir. (Şekil 2.22)



Şekil 2.22. Kapilarite deneyi

2.2.6.4. Birim Ağırlık (Yoğunluk) Deneyi

Birim ağırlık deneyi her sıcaklık ve mol için 3'er adet 70x70x70 mm ölçekli sert küp numuneler üzerinde TS 706 EN 12620'ye uygun olarak yapılmıştır (Şekil 2.23).



Şekil 2.23. Birim ağırlık deneyi

Birim ağırlık deneyi için numunelerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki bağıntıya yerleştirilerek birim ağırlık deneyi sonuçları hesaplanmıştır.

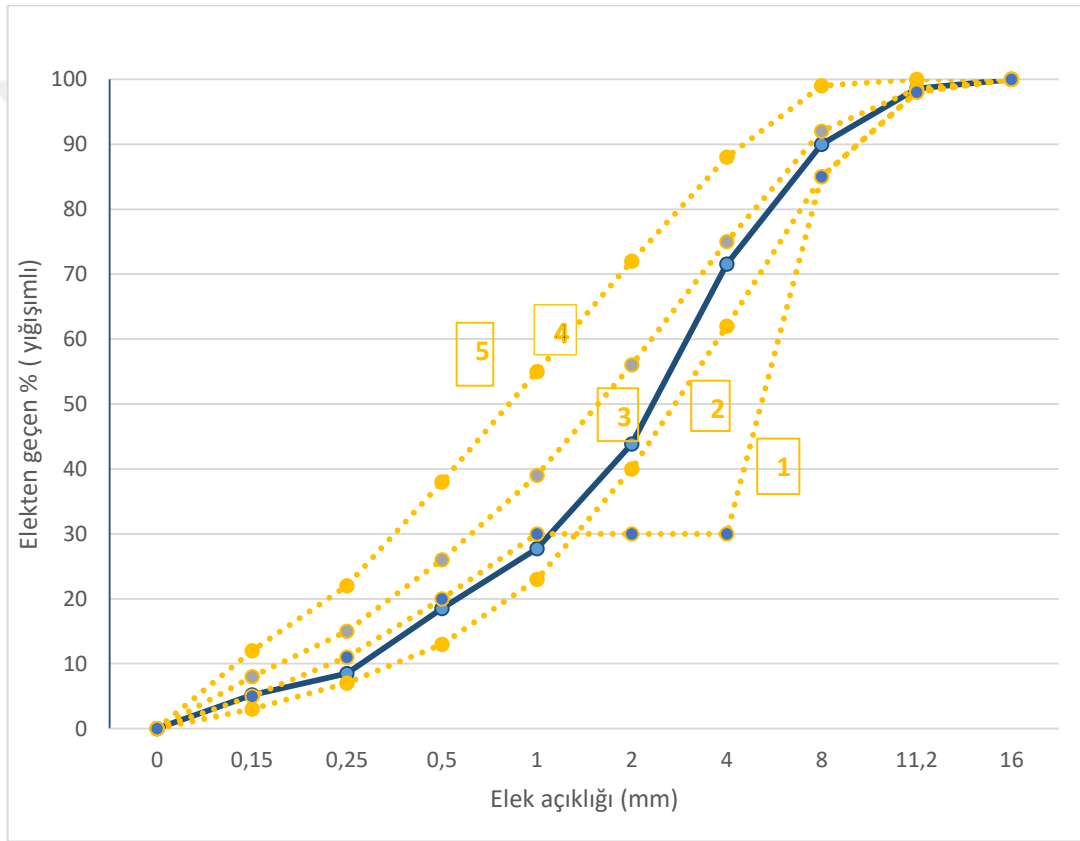
$$P_{(\text{Yoğunluk})} = \frac{W_{\text{kuru}}}{W_{\text{doygün}} - W_{\text{suda}}} \quad (2.6)$$

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

3.1. Elek Analizi Sonuçları

Beton karışımlarında maksimum agregâ boyutu en dar kesitteki kalıp genişliğinin 1/5'ini aşmayacak şekilde 12 mm olarak seçilmiştir. Agregânın tane büyüklüğü dağılımı, TS 802 (2009)'da verilen sınır değeri olan 3 numaralı bölge içinde kalacak şekilde ayarlanmıştır.

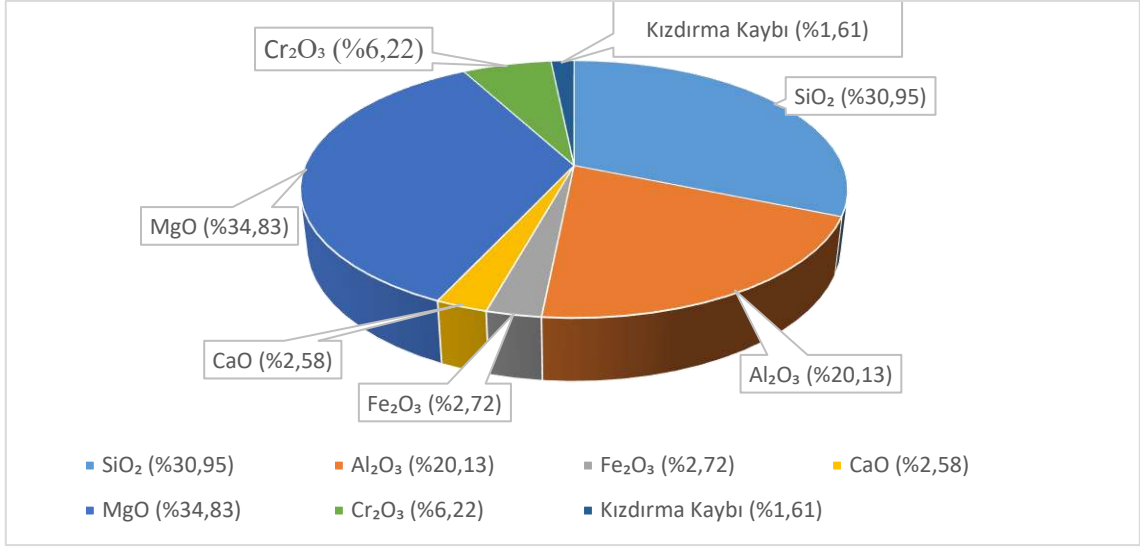
Yapılan elek analizi sonuçları Şekil 3.1'de verilmiştir.



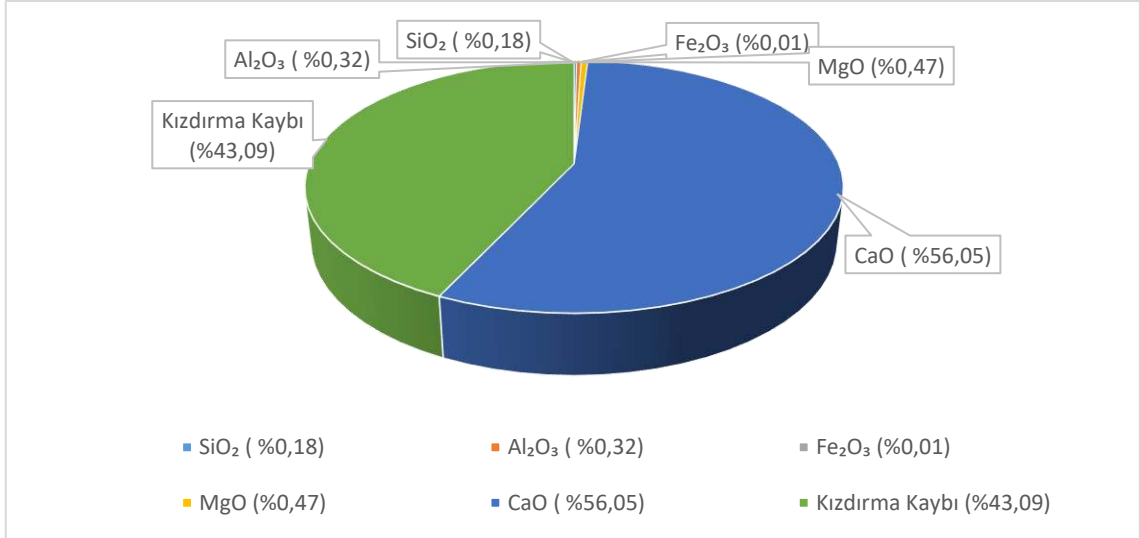
Şekil 3.1. Agregâ en büyük tane büyüklüğü 12 mm olan agregâ tane büyüklüğü dağılımı eğrisi ve sınır değerler

3.2. XRF Analizi Sonuçları

Elazığ ferrokrom cürufu ve atık mermer tozunun kimyasal analizleri Elazığ Seza Çimento tarafından yapılmıştır. Elde edilen değerler Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Elazığ ferrokrom cürufunun kimyasal birleşimi



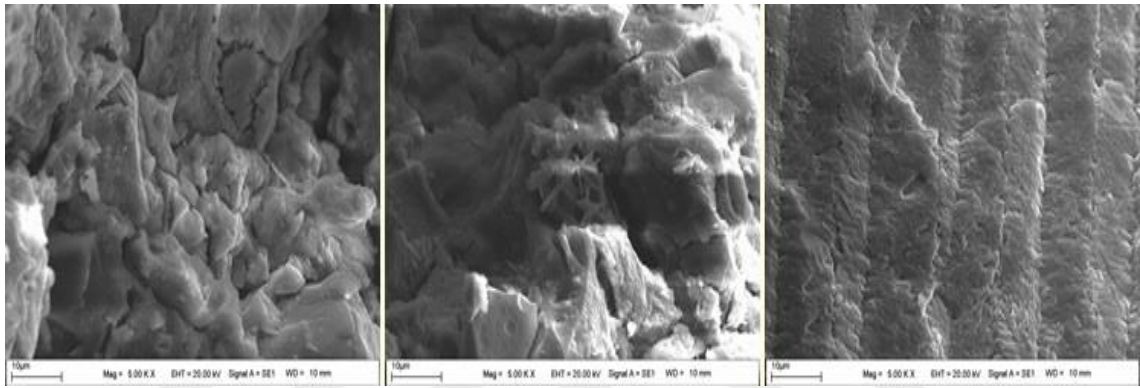
Şekil 3.3. Mermer tozunun kimyasal birleşimi

Yılmaz ve Süttaş (2008), yapmış oldukları çalışma sonucunda ferrokrom cürufunun kimyasal içeriğinde silisyum, magnezyum, alüminyum ve kalsiyum elementlerinin hâkim olduğunu gözlemlemişlerdir. Oksitler halinde bulunan elementlerin cürufun ortalama %95'ini oluşturdukları belirtilmiştir. Az miktarda demir ve krom bulunduğu da gözlemlenmiştir [31].

Ünal ve Uygunoğlu (2003), yaptıkları çalışmada mermer tozunun kimyasal yapısını inceleyerek hâkim elementin %52 oranıyla CaO olduğunu tespit etmişlerdir. Ek olarak çalışmada az miktarda silisyum, magnezyum ve demir elementlerinin de oksitler halinde bulunduğu belirtilmiştir [32].

3.3. SEM Analizi Sonuçları

Alkali aktivatörlerle aktive edilmiş betonlar içerisinde %10, %20 ve %30 oranlarında atık mermer tozu ilave edilerek hazırlanmış ve 60°C aktivasyon sıcaklığında kürlenmiş numunelere ait SEM görüntüleri Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da verilmiştir. Şekillerde görüldüğü üzere oldukça yoğun ve pürüzsüz bir yapı gözlenmektedir. SEM görüntüleri incelendiğinde numunelerde çatlak oluşumları da gözlemlenmektedir ancak bu çatlaklı yapının numunelerin analiz için küçültülmesi esnasında oluştuğu tahmin edilmektedir.

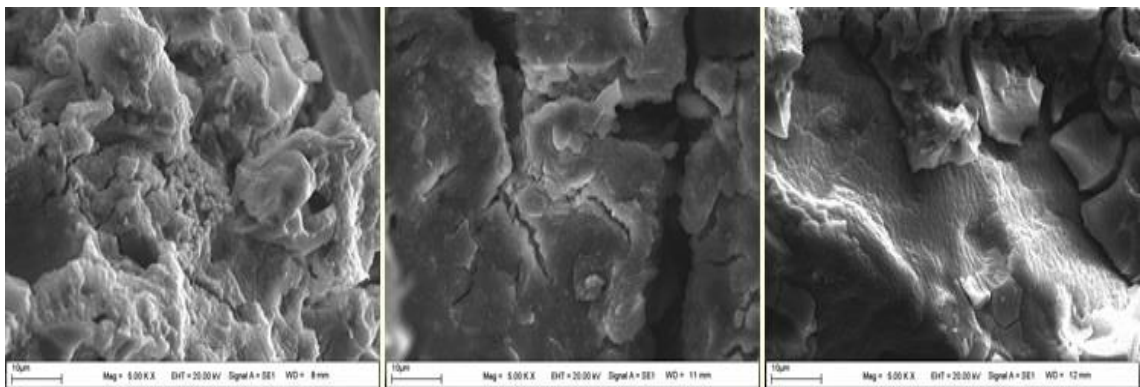


a) 16 mol %10 AMT

b) 16 mol %20 AMT

c) 16 mol %30 AMT

Şekil 3.4. 60°C aktivasyon sıcaklığında kürlenmiş 16 mol NaOH içeren numunelere ait SEM görüntüleri

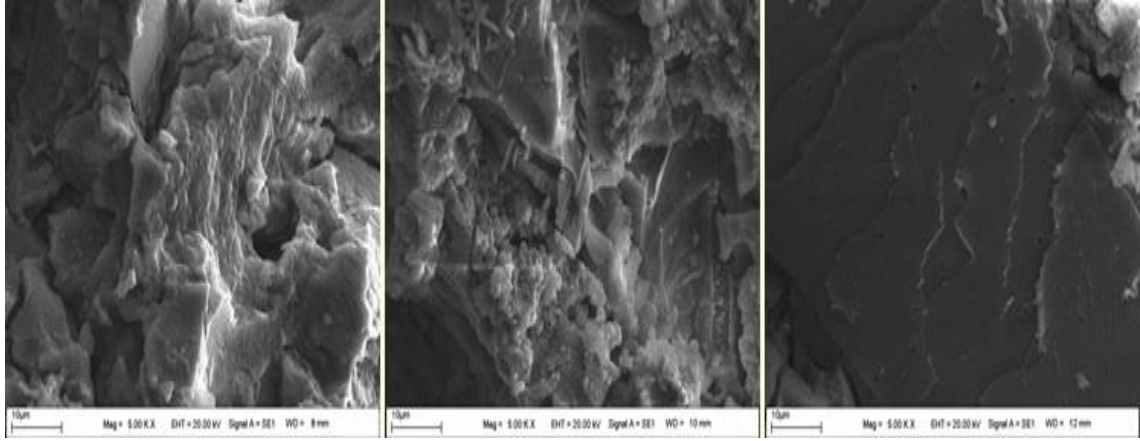


a) 18 mol %10 AMT

b) 18 mol %20 AMT

c) 18 mol %30 AMT

Şekil 3.5. 60°C aktivasyon sıcaklığında kürlenmiş 18 mol NaOH içeren numunelere ait SEM görüntüleri



a) 20 mol %10 AMT

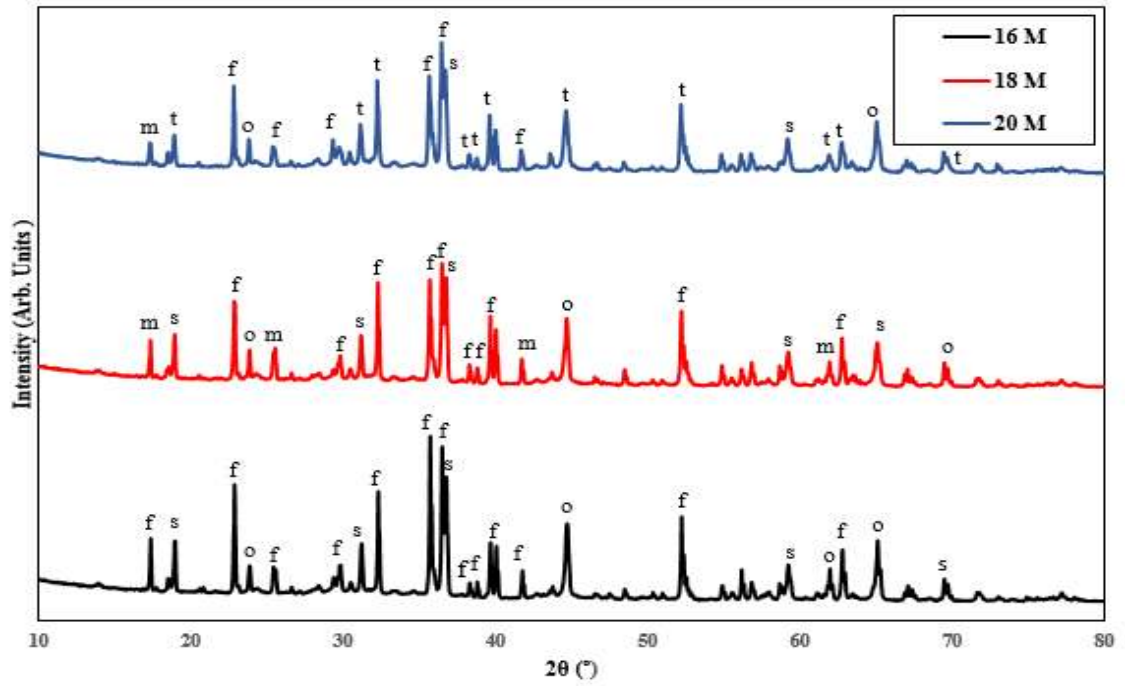
b) 20 mol %20 AMT

c) 20 mol %30 AMT

Şekil 3.6. 60°C aktivasyon sıcaklığında kürlenmiş 20 mol NaOH içeren numunelere ait SEM görüntüleri

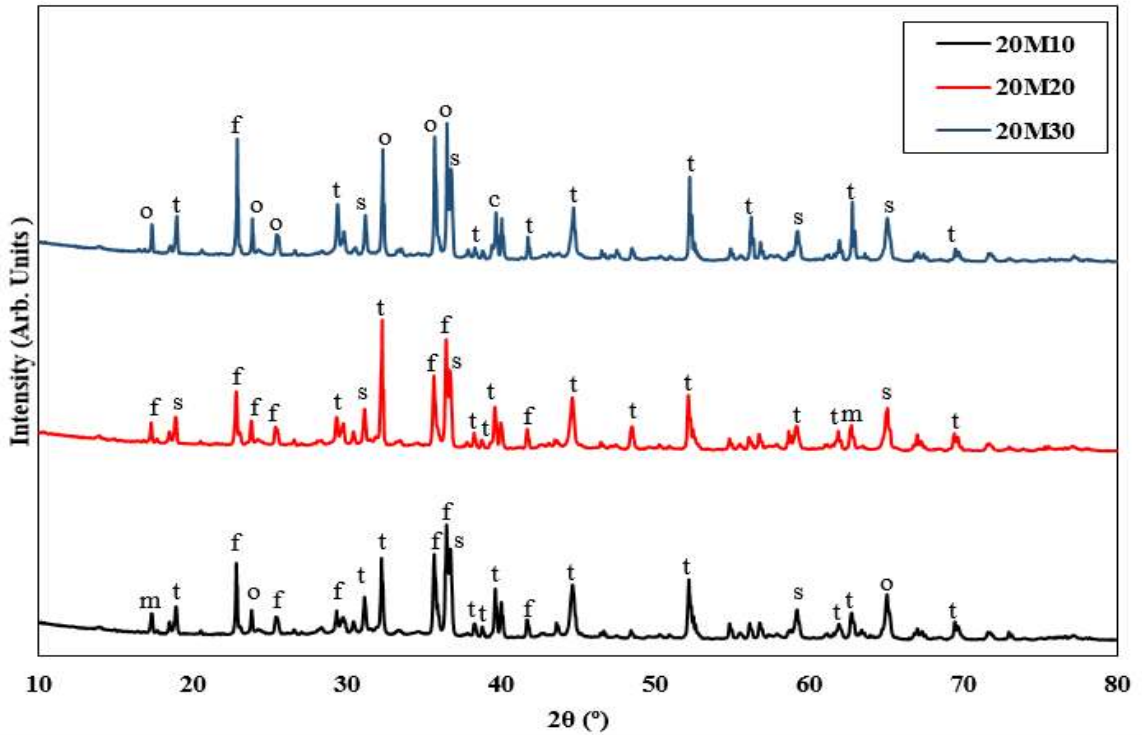
3.4. XRD Analizi Sonuçları

Toz haline getirilen alkali aktivasyonlu hamur numuneler üzerinde XRD deneyleri yapılmıştır. Numunelere ait XRD difraktogramları Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’ de verilmiştir. Alkali aktivasyonlu hamur numunelere ilişkin piklerin bulunduğu difraktogramlar incelendiğinde, belirgin şekilde forsterit (Mg_2SiO_4), spinel ($MgAl_2O_4$), olivine ($(Mg,Fe)_2SiO_4$ ve magnesium iron silicate ($Fe_{0,2}Mg_{1,8}SiO_4$) kristal fazları ortaya çıkmıştır. Ayrıca 20 mol aktivatörle hazırlanan numunelerde tobermorite (C-S-H) oluşumları gözlemlenmiştir.



f : forsterit, s : spinel, o : olivine, m : magnesium iron silicate, t : tobermorite

Şekil 3.7. 16 mol, 18 mol ve 20 mol NaOH içeren numunelerin XRD difraktogramları



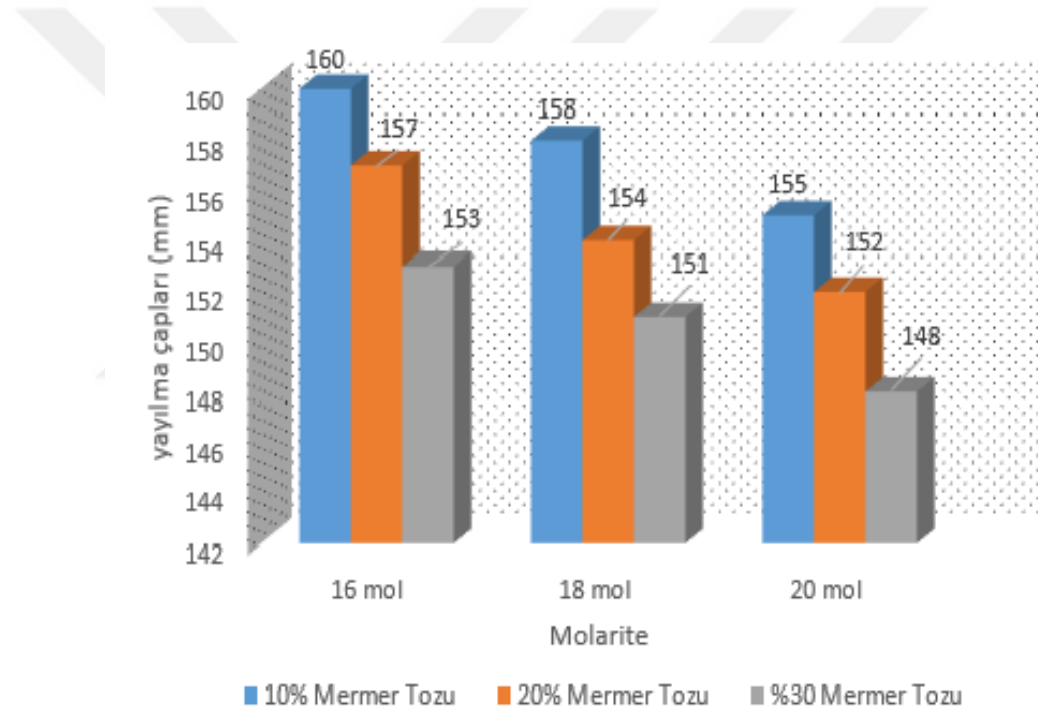
f : forsterit, s : spinel, o : olivine, m : magnesium iron silicate, t : tobermorite

Şekil 3.8. 20 mol %10, %20 ve %30 AMT içeren numunelerin XRD difraktogramları

Yazıcı ve Kaya (2003), çalışmalarında ferrokrom cürufundan alınan örnek numunelerin XRD analizlerini incelemiş ve fraksiyonlardaki elementel analiz sonuçlarının birbirine yakın olması nedeniyle krom elementini içeren fazları difraktogramlarda görememişlerdir. Forsterit (Mg_2SiO_4) ağırlıklı olmak üzere ek olarak spinel (MgAl_2O_4) kristal fazları yoğun olarak gözlemlemişlerdir [33].

3.5. Kıvam Tayini Sonuçları

Harç numuneleri üzerinde her bir mol ve yüzde oranı için yapılan yayılma ölçümleri sonrasında elde edilen sonuçlar Şekil 3.9’ da verilmiştir.

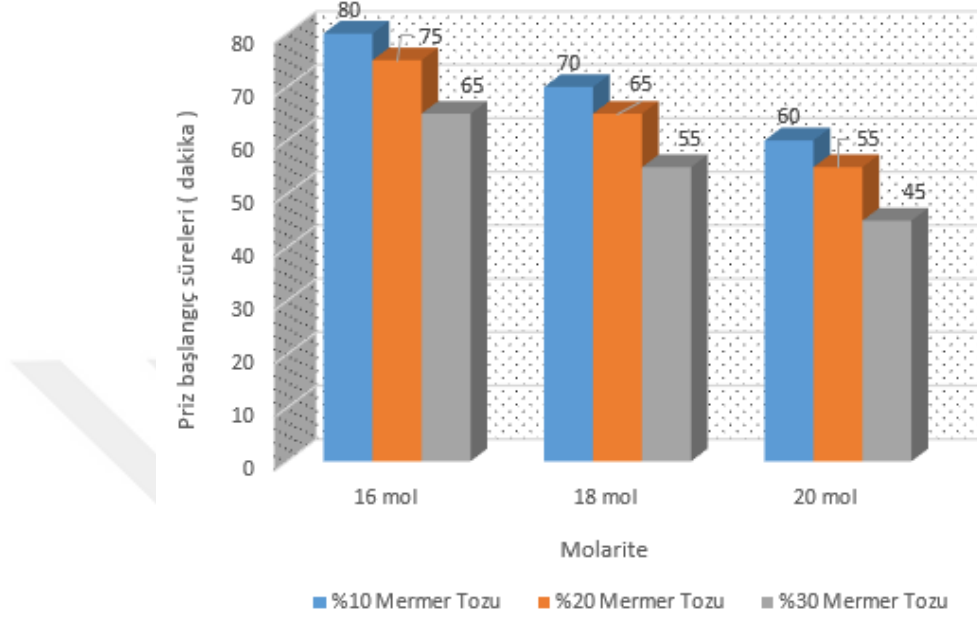


Şekil 3.9. Her bir mol ve yüzde için hazırlanan numunelerde yayılma çapı değerleri (mm)

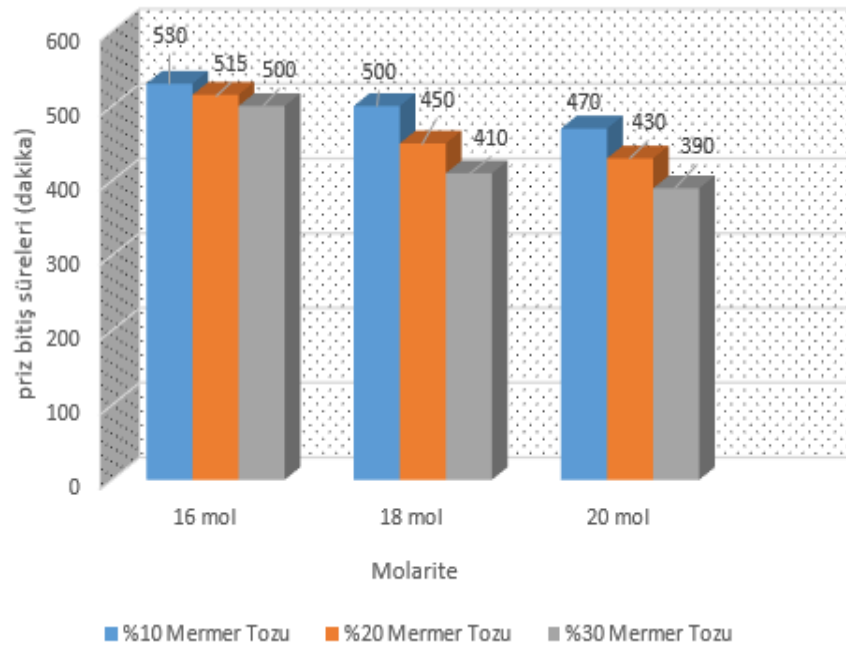
Yayılma ölçümleri sonuçlarında molarite değerindeki artışa bağlı olarak yayılma çaplarında ortalama %2’lik bir azalma gözlemlenirken, atık mermer tozu oranlarındaki artışa bağlı olarak ise ortalama %2,5 oranında azalma olduğu gözlenmiştir.

3.6. Priz Süresinin Tayini Sonuçları

Vicat aletiyle yapılan priz başlangıcı ve bitiş deneyleri sonucu elde edilen değerler Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.10. Her bir mol ve yüzde için hazırlanan numunelerde priz başlangıç süreleri (dk)



Şekil 3.11. Her bir mol ve yüzde için hazırlanan numunelerde priz bitiş süreleri (dk)

Priz başlangıç sürelerinin 45-80 dakika arasında olup oldukça kısa olduğu gözlemlenmiştir. Beton üretiminde harç numunelerinin kısa sürede katılaşması ve şekil verilemez hale gelmesi istenmediği için priz başlangıç sürelerinin kısa olması dezavantaj olarak yorumlanabilir. Priz bitiş sürelerinin ise 390-530 dakika arasında olduğu gözlenmiştir. En kısa priz süresi 345 dakika olarak 20 mol %30 mermer tozu ihtiva eden numunelerden elde edilmiştir. Karışımlarda molarite değeri arttıkça genel olarak priz süresinin azaldığı gözlenmiştir.

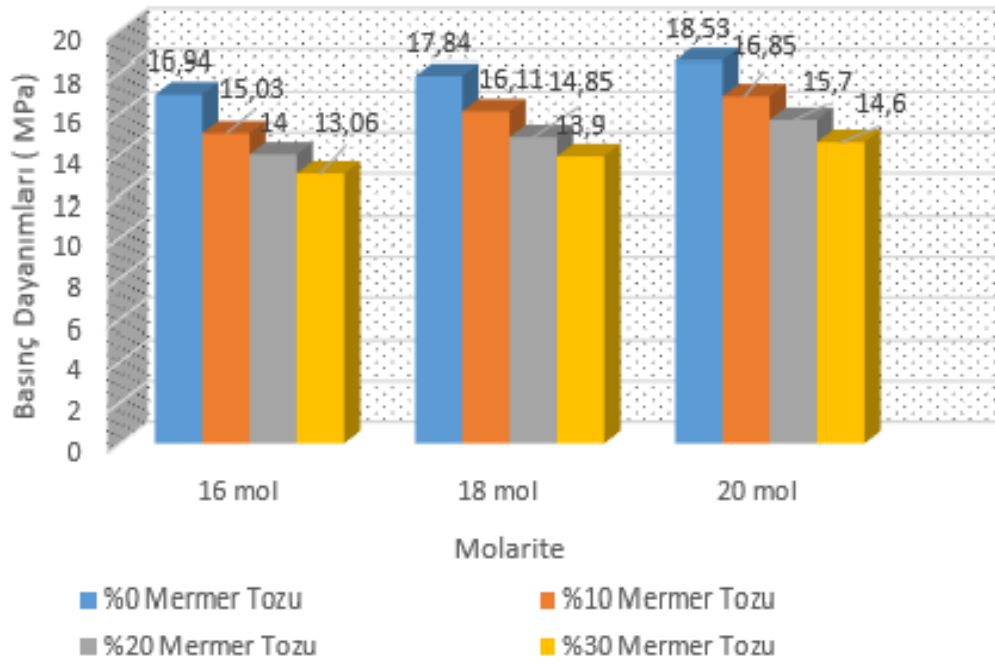
3.7. Basınç Dayanımı Sonuçları

Basınç dayanımı deneyleri her sıcaklık ve mol için 3'er adet 70x70x70 mm ölçekli küp numuneler üzerinde yapılmış olup ortalamasının alınması sonucunda elde edilen veriler Tablo 3.1, Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'de gösterilmiştir.

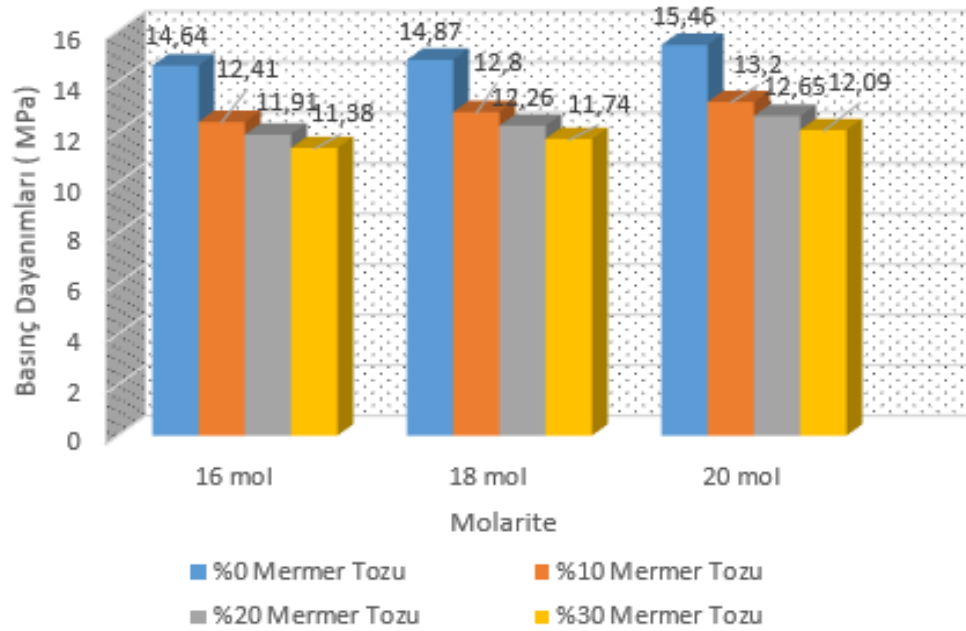
Tablo 3.1. Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları

NaOH	Mermer tozu	60 °C	90 °C
16 Mol	%0	16,94	14,64
	%10	15,03	12,41
	%20	14,00	11,91
	%30	13,06	11,38
18 Mol	%0	17,84	14,87
	%10	16,11	12,80
	%20	14,85	12,26
	%30	13,90	11,74
20 Mol	%0	18,53	15,46
	%10	16,85	13,20
	%20	15,70	12,65
	%30	14,60	12,09

*25°C (havada) kürlen numunelerden dayanım alınamamıştır.



Şekil 3.12. Her bir mol ve yüzde için hazırlanan numunelerde 60 °C için alınan basınç dayanım değerleri (MPa)



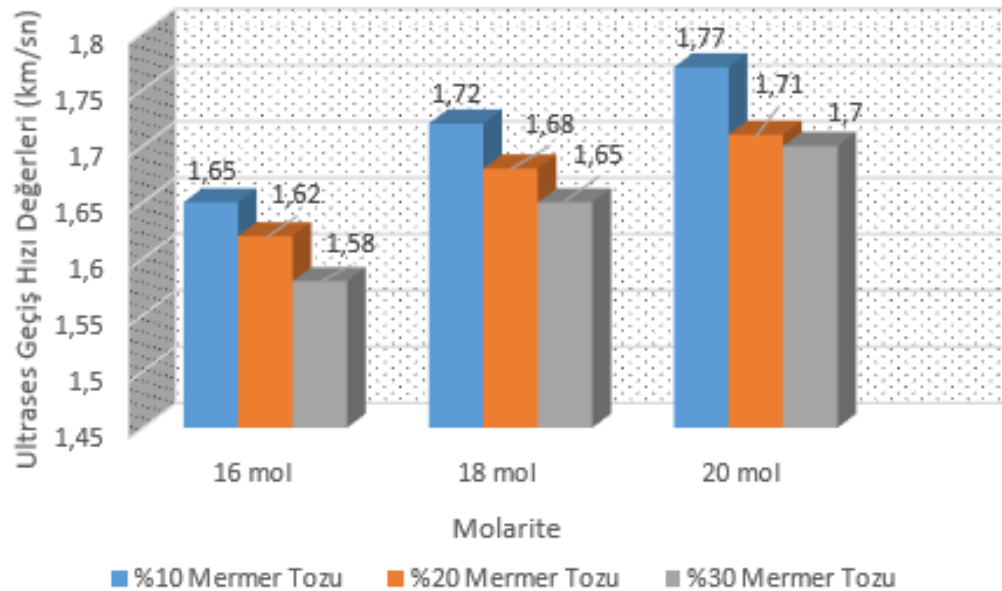
Şekil 3.13. Her bir mol ve yüzde için hazırlanan numunelerde 90 °C için alınan basınç dayanım değerleri (MPa)

Her karışım oranı için 3'er grupluk partiler halinde dökülen ve ayrı ayrı 25°C, 60°C, 90°C aktivasyon sıcaklıklarında kürlenerek elde edilen deney

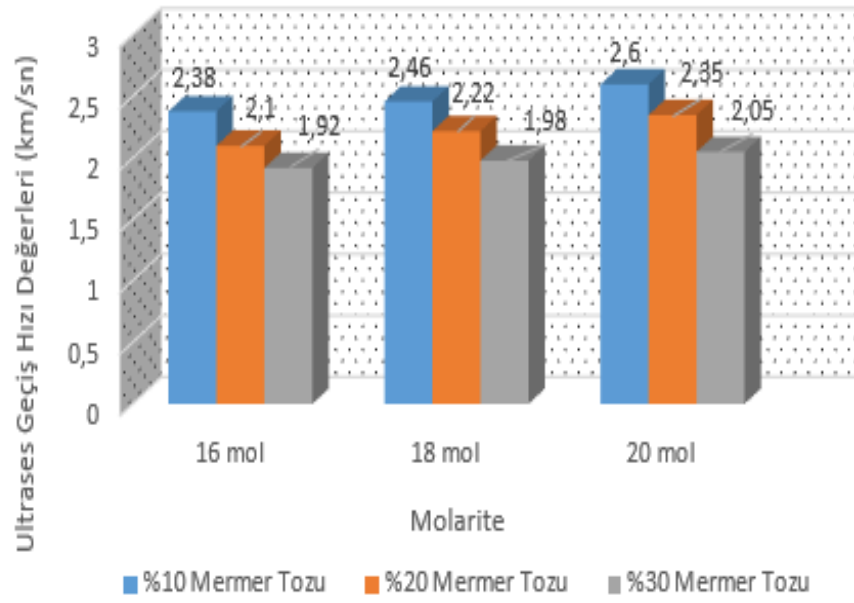
sonuçları incelendiğinde 25°C (havada) kürlenene numunelerden dayanım alınamamışken, 60°C aktivasyon sıcaklığında kürlenene numunelerden en yüksek dayanımlar elde edilmiştir. Sonuçlara göre en yüksek dayanım 60°C lik sıcaklıkta, 20 mol aktivatörle hazırlanan ve %10 oranında mermer tozu kullanılan karışımdan 16,85 MPa olarak elde edilmiştir. Aktivasyon sıcaklığındaki artışa bağlı olarak 90°C aktivasyon sıcaklığındaki numunelerde ise bir miktar düşüş gözlenmiştir. Molarite değerlerindeki artışla doğru orantılı bir şekilde basınç dayanımları da artış göstermiştir. Kontrol amaçlı dökülen % 100 ferrokrom cürufu ihtiva eden numuneler göz önünde bulundurulduğunda atık mermer tozu ikame miktarlarının artmasıyla basınç dayanımlarının düşüş gösterdiği gözlemlenmiştir. Mermer tozu oranlarının artması iç yapıdaki boşluk oranını arttırmasına bağlı olarak basınç değerlerinin düşmesine neden olmuştur. Bu durum literatür ile de uyumludur. Mahmut; (2015), tarafından yapılan deney sonuçları da benzer niteliktedir [34].

3.8. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi Sonuçları

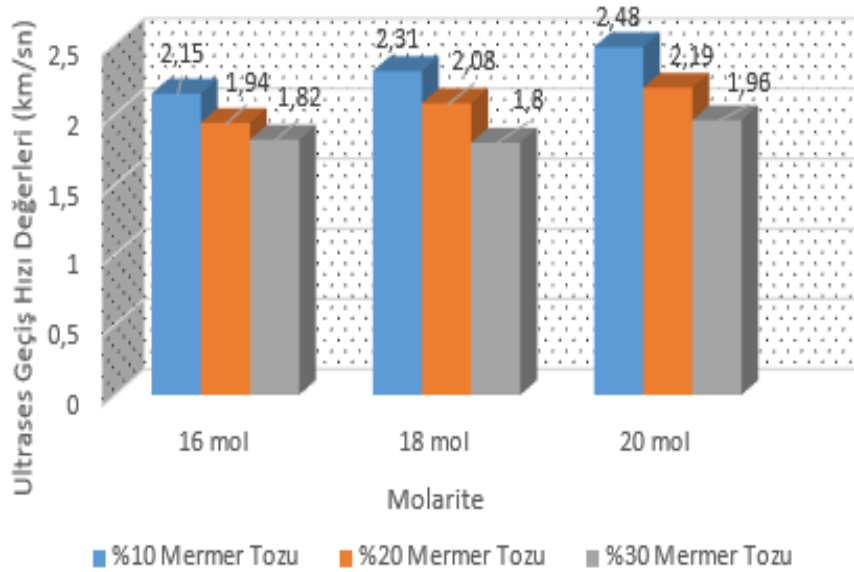
Ultrases deneyleri her sıcaklık ve mol için 3'er adet 70x70x70 mm ölçekli küp numuneler üzerinde yapılmış olup ortalamasının alınması neticesinde elde edilen değerler Şekil 3.14, Şekil 3.15 ve Şekil 3.16'da gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Her bir mol ve yüzde için hazırlanan numunelerde 25 °C için alınan ultrases geçiş hızı değerleri (km/sn)



Şekil 3.15. Her bir mol ve yüzde için hazırlanan numunelerde 60 °C için alınan ultrases geçiş hızı değerleri (km/sn)



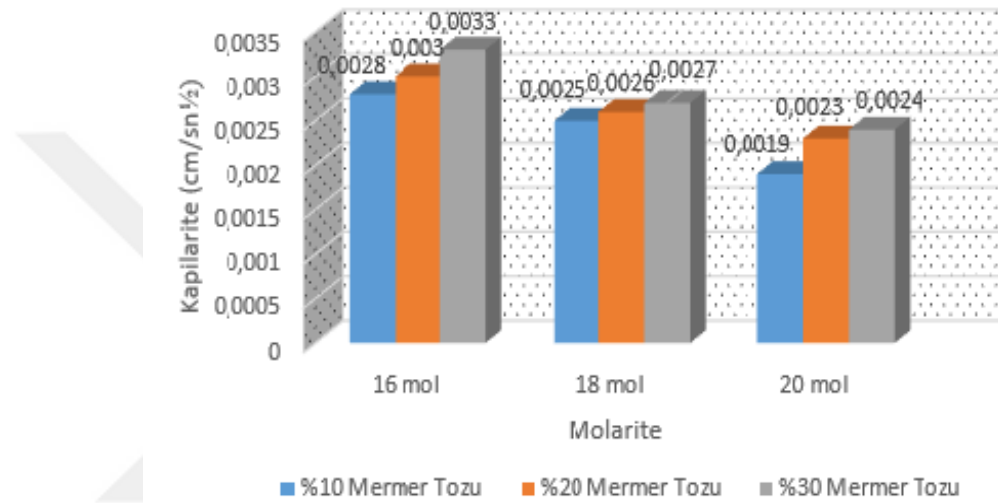
Şekil 3.16. Her bir mol ve yüzde için hazırlanan numunelerde 90 °C için alınan ultrases geçiş hızı değerleri (km/sn)

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, numunelerin ultrases geçiş hızları, atık mermer tozu miktarının artmasıyla azalmıştır; molarite oranının artması da numunelerin ultra ses geçiş hızlarını arttırmıştır. Sonuç olarak ultrases deneyi sonuçları basınç dayanım

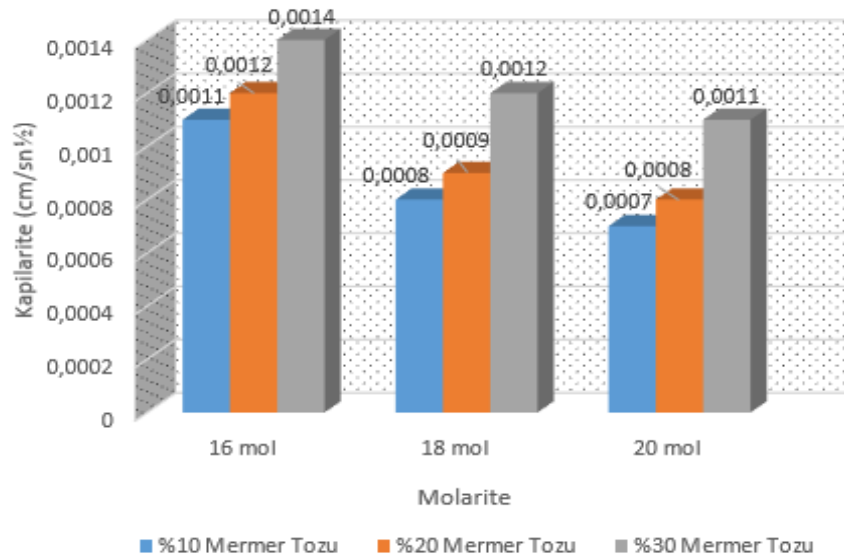
değerleri ile benzer şekilde değişim göstermiştir. Elde edilen sonuçlar literatürle benzerlik göstermektedir.

3.9. Kapilarite Deneyi sonuçları

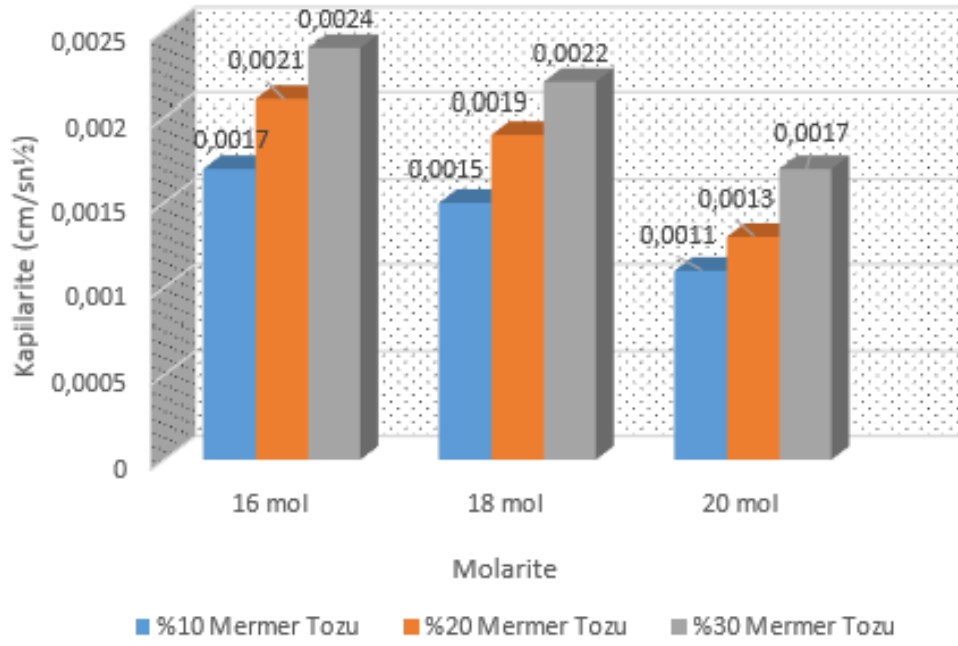
Kapilarite deneyleri her sıcaklık ve mol için 3'er adet 70x70x70 mm ölçekli küp numuneler üzerinde yapılmış olup ortalamasının alınması neticesinde elde edilen veriler Şekil 3.17, Şekil 3.18 ve Şekil 3.19'da verilmiştir.



Şekil 3.17. Her bir mol ve yüzde için hazırlanan numunelerde 25 °C için kapilarite deney sonuçları (cm/sn^{1/2})



Şekil 3.18. Her bir mol ve yüzde için hazırlanan numunelerde 60 °C için kapilarite deney sonuçları (cm/sn^{1/2})

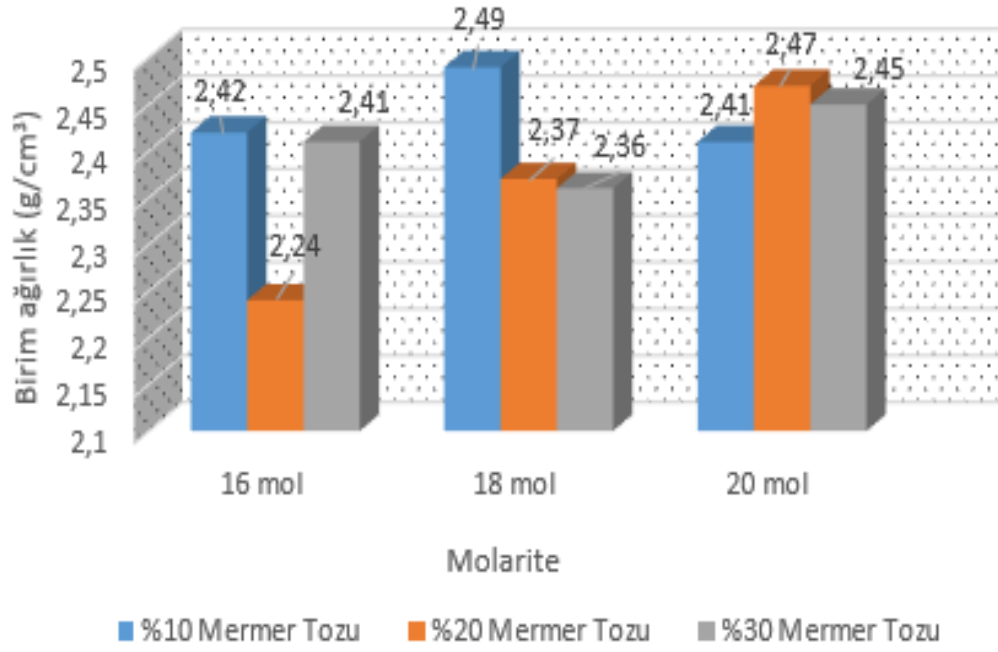


Şekil 3.19. Her bir mol ve yüzde için hazırlanan numunelerde 90 °C için kapilarite deney sonuçları (cm/sn^{1/2})

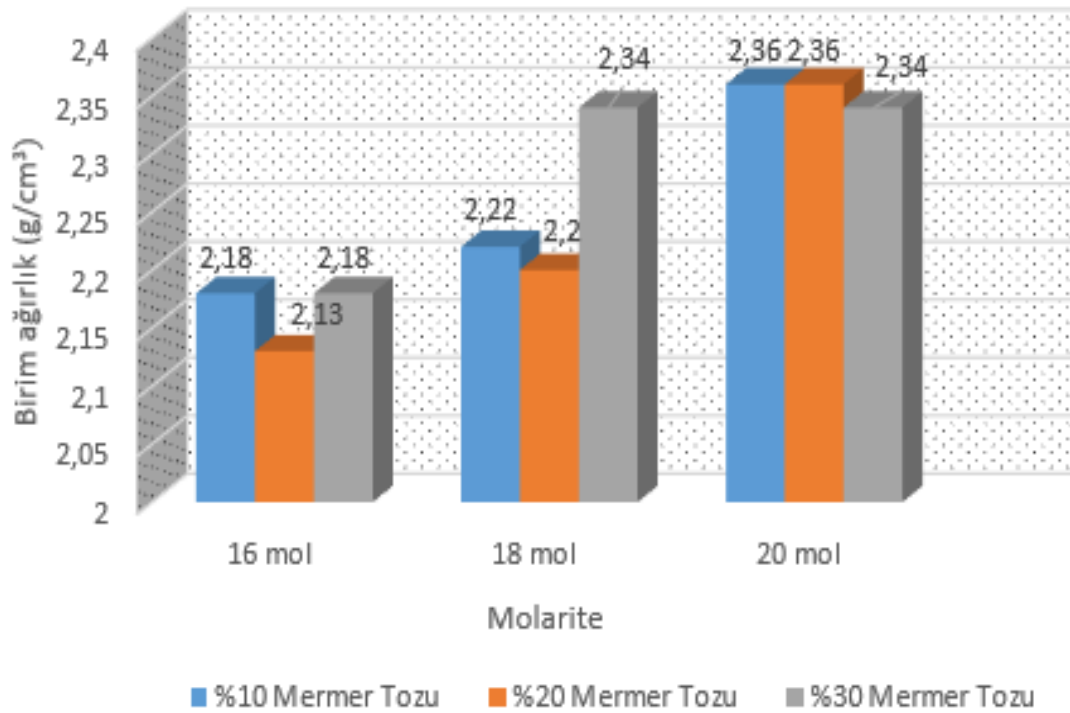
Kapilarite deney sonuçları incelendiğinde, molaritedeki artışa bağlı olarak kapilarite katsayılarında azalmalar meydana gelmiştir. Bunun aksine mermer tozundaki artışla kapilaritenin arttığı belirlenmiştir. En yüksek kapilarite katsayısı değeri 16 mol değerindeki numunelerden elde edilmişken en düşük kılcallık katsayısı sonuçları 20 mol değerindeki numunelerden alınmıştır.

3.10. Birim Ağırlık (Yoğunluk) Deneyi

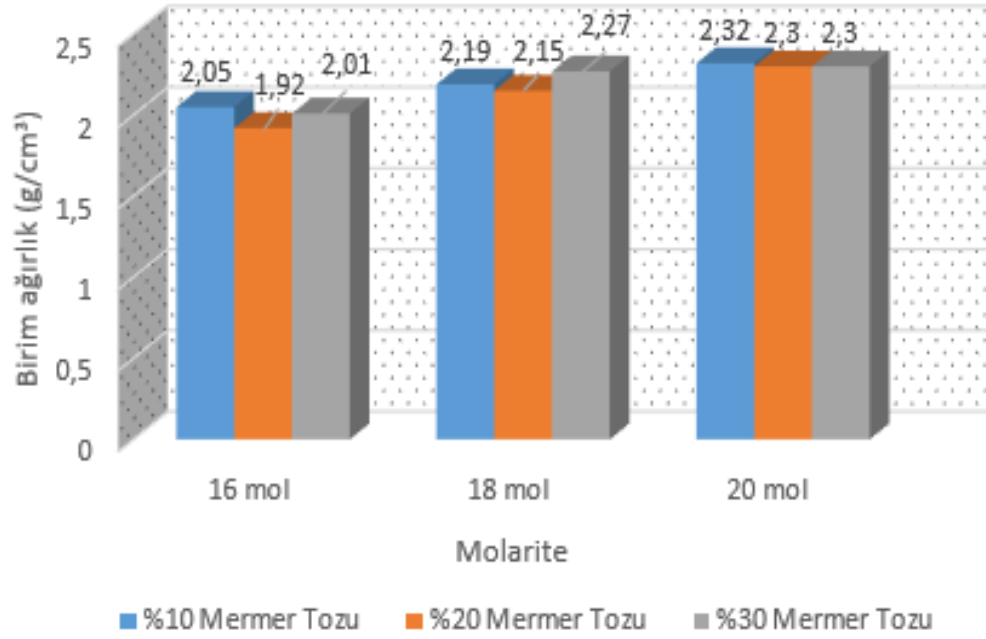
Birim ağırlık deneyleri her sıcaklık ve mol için 3'er adet 70x70x70 mm ölçekli küp numuneler üzerinde yapılmış olup ortalamasının alınması neticesinde elde edilen veriler Şekil 3.20, Şekil 3.21 ve Şekil 3.22'de verilmişlerdir.



Şekil 3.20. Her bir mol ve yüzde için hazırlanan numunelerde 25 °C için birim ağırlık deney sonuçları (g/cm³)



Şekil 3.21. Her bir mol ve yüzde için hazırlanan numunelerde 60°C için birim ağırlık deney sonuçları (g/cm³)



Şekil 3.22. Her bir mol ve yüzde için hazırlanan numunelerde 90°C için birim ağırlık deney sonuçları (g/cm³)

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen birim ağırlık değerleri genel olarak, 18 mol numunelerinde en çok %10 atık mermer tozu ihtiva eden ve 25°C de kürlenmiş numunelerde 2,49 g/cm³ olarak elde edilmiştir. Birim ağırlık değerlerinde sıcaklık artışına bağlı bir düşüş gözlenmiştir. Numune bünyesinde bulunan su sıcaklıktaki artışla beraber azaldığı için birim ağırlık değerlerindeki azalma makul görülmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma sonucunda elde edilen deney ve analizlere ait sonuçlar genel olarak şu şekilde özetlenebilir:

- ✓ Alkali aktivatör olarak kullanılan sodyum silikat (Na_2SiO_3) ve sodyum hidroksit (NaOH)'in beraber kullanılmaları sonucunda bağlayıcı özellik kazandıkları ve alkali aktivasyonlu beton oluşumunu sağladıkları tespit edilmiştir.
- ✓ SEM analizleri sonucunda oldukça yoğun ve pürüzsüz bir yapı gözlenmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde numunelerde çatlak oluşumları da gözlemlenmiştir ancak bu çatlaklı yapının numunelerin analiz için küçültülmesi esnasında oluştuğu tahmin edilmiştir.
- ✓ Alkali aktivasyonlu hamur numunelere ilişkin piklerin bulunduğu difraktogramlar incelendiğinde, belirgin şekilde forsterit (Mg_2SiO_4), spinel (MgAl_2O_4), olivine ($\text{Mg,Fe}_2\text{SiO}_4$) ve magnesium iron silicate ($\text{Fe}_{0,2}\text{Mg}_{1,8}\text{SiO}_4$) kristal fazları ortaya çıkmıştır. Ayrıca 20 mol aktivatörle hazırlanan numunelerde tobermorite (C-S-H) oluşumları gözlemlenmiştir.
- ✓ Alkali aktivatörlerin molarite değeri ve atık mermer tozu oranlarındaki artışa bağlı olarak numunelerin yayılma çaplarında azalma olduğu gözlenmiştir.
- ✓ Karışımlarda atık mermer tozu içeriği ve molarite değeri arttıkça genel olarak priz süresinin azaldığı gözlenmiştir.
- ✓ Priz başlangıç sürelerinin oldukça kısa olduğu gözlemlenmiştir. Beton üretiminde harç numunelerinin kısa sürede katılaşması ve şekil verilemez hale gelmesi istenmediği için priz başlangıç sürelerinin kısa olması dezavantaj olarak yorumlanabilir.
- ✓ Birim ağırlık değerlerinde sıcaklık artışına bağlı bir düşüş gözlenmiştir.
- ✓ Kapilarite deney sonuçları incelendiğinde, molaritedeki artışa bağlı su emme değerlerinde azalmalar oluşmuştur.
- ✓ En yüksek kapilarite katsayısı değeri 16 mol aktivatörle hazırlanan numunelerden, en düşük kılcallık katsayısı ise 20 mol aktivatörle hazırlanan numunelerden alınmıştır.

- ✓ Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, numunelerin ultrases geçiş hızları, atık mermer tozu miktarının artmasıyla azalmıştır; molarite oranının artması da numunelerin ultrases geçiş hızlarını arttırmıştır.
- ✓ Ultrases deneyi sonuçları basınç dayanım değerleri ile benzer şekilde değişim göstermiştir.
- ✓ Kapilarite deneylerine tabi tutulan numunelerin yüzeylerinde sodyum hidroksit (NaOH) birikmesine bağlı olarak lekelenmeler oluşmuştur.
- ✓ Çimento kullanılmaksızın, Elazığ ferrokrom cürufu ve atık mermer tozu kullanılarak 16 MPa üzerinde alkali aktivasyonlu karışımlar elde edilebildiği gözlenmiştir.
- ✓ Molarite değerlerindeki artışla doğru orantılı bir şekilde basınç dayanımları artış göstermiştir. Atık mermer tozu ikame miktarlarının artmasıyla basınç dayanımlarının düşüş göstermesi mermer tozunun iç yapıdaki boşluk oranını arttırmasına bağlanabilir.

Tüm bu deneysel çalışmalar ve bulgular sonucunda ferrokrom cürufu ve atık mermer tozunun birlikte kullanımıyla alkali aktivasyonlu harç üretilebileceği söylenebilir. Ferrokrom cürufunun farklı öğütme sürelerine tabi tutulmasıyla veya daha ince öğütülmesiyle elde edilen numuneler üzerinde yapılan araştırmaların çeşitlendirilebileceği söylenebilir. Alkali aktivasyonlu harç karışım oranları değiştirilerek ve yeni malzemeler eklenerek ilave araştırmalar yapılabileceği söylenebilir. Dünya çapında alkali aktivasyonlu harçlara olan ilginin artması alkali aktivasyonlu betonların alternatif yapı malzemeleri olarak kullanımı konusundaki araştırmaları da arttırmıştır. Alkali aktivasyonlu harçların farklı özelliklere sahip olmaları ve kullanılan malzemelere uygulanan şartname ve standartların yetersiz olmasından dolayı da bu malzemeler üzerinde yapılan çalışmaların çeşitlendirilmesinin faydalı olabileceği söylenebilir.

KAYNAKLAR

- [1]. Erdoğan, S.T. Jeopolimerler Çevre Dostu mudur? Çimento ve Beton Dünyası, 107: 50-55. (2014).
- [2]. Embong R., Kusbiantoro A., Shafiq N., Nuruddin M. F., Strength and microstructural properties of flyash based geopolymer concrete containing high-calcium and water-absorptive aggregate, Journal of Cleaner Production, 112 816-822, (2016).
- [3]. Shi C. ,Roy D. , Krivenko P. , Alkali-Activated Cements and Concretes, CRC Press, 392, ISBN 0203390679, 9780203390672, (2006).
- [4]. Castaldelli N.V., Akasaki J.L., Melges J.L.P., Tashima M.M., Soriano L., Borrachero M.V., Monzó J., Payá J., Use of Slag/Sugar Cane Bagasse Ash (SCBA) Blends in the Production of Alkali-Activated Materials, Materials, 6, 3108-3127 (2013).
- [5]. Mehta, P.K., Concrete: Structure, Properties and Materials, Prentice-Hall, New Jersey, 1986.
- [6]. Erdoğan T.Y., Doğal Puzolanların Kimyasal Kompozisyonu, Beton Kitabı, Ankara, (2007).
- [7]. Erdoğan T.S., Erdoğan T.Y., Puzolanik Mineral Katkılar Ve Tarihi Geçmişleri II. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Ankara, (2010).
- [8]. Erdoğan T.Y., ‘‘Puzolan’’ İsmiinin Nereden Geldiği ve Puzolanik Malzemelerin Eski Yıllardan Bu Yana Kullanımı, Beton Kitabı, Ankara, (2007).
- [9]. Aruntaş H. Y., 1996. Diatomitlerin Çimentolu Sistemlerde Puzolanik Malzeme Olarak Kullanılabilirliği. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 1-55.
- [10]. Rudolf, D., ‘‘Türkiye’deki Doğal Puzolanların Çimento Katkı Maddesi Olarak Kullanımı Üzerine İncelemeler’’, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara (1984).

- [11]. Yılmaz, A., Antalya Ferrokrom İşletmesinin Elektrik-Ark Fırını Cüruflarının ve Baca Tozu Atıklarının Asfalt Betonunda Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 2002.
- [12]. Yazıcıoğlu S., Gönen T. ve Çobanoğlu Ö. C., Elazığ Ferrokrom Cürufunun Betonun Basınç Dayanımı ve Çarpma Enerjisi Üzerine Etkisi, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Der. 17 (4), 681-685, (2005).
- [13]. http://tr.etikrom.com/uploads/pdf/etikrom_cevre_durum_raporu_2012.pdf, etikromcevre durum raporu, 16 Aralık 2018.
- [14]. Yadollahi M.M., Varolüneş S., İşsever F., Tr. Doğa ve Fen Der. 6(2), (2007)
- [15]. Şentürk, A., Gündüz, L., Tosun, Y.İ. ve Sarıışık, A., 1995. Mermer Teknolojisi, SDÜ Yayını, Isparta, **5-57**.
- [16]. Çelik, M. Y., 1996. Mermer Atıklarının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- [17]. Yazıcıoğlu S., Gönen T. ve Çobanoğlu Ö. C., Elazığ Ferrokrom Cürufunun Betonun Basınç Dayanımı ve Çarpma Enerjisi Üzerine Etkisi, Fırat Üniversitesi, Fen ve Müh. Bil. Der., 17 (4) (2005) 681-685.
- [18]. Çakır, Ö., 2006. Yüksek fırın cürufunun betonun ve betonarmenin kalıcılığına (dürabilitesine) etkisi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [19]. Canbaz, M., 2007. Alkalilerle aktive edilmiş yüksek fırın cürufu harçların özellikleri, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [20]. Aydın, S., 2010. Alkalilerle aktive edilmiş yüksek fırın cürufu bağlayıcı lifli kompozit geliştirilmesi, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [21]. Yakupoğlu, A., 2010. Alkalilerle aktive edilmiş cürufu harçların özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

- [22]. Maraş, M.M., 2013. Elazığ Ferrookrom cürufundan üretilen geopolimer çimentolu betonların sülfat direncinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- [23]. Kantarcı, F., 2013. Elazığ Ferrookrom cürufundan alkali aktivasyon metoduyla üretilen geopolimer çimentolu betonların yangın dayanımının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- [24]. İlkentapar, S., 2013. Kimyasal katkı içeren alkali ile aktive edilmiş cüruf harçlarının farklı kür koşulları altındaki özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [25]. Vapur H., Top S., Teymen A., Türkmenoğlu M., Elazığ Ferrookrom Tesisi Cüruflarının Agrega Özelliklerinin Araştırılması, Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Haziran, 28(1) (2013) 77-88.
- [26]. Bingöl, Ş., 2018. Alkali aktive edilmiş yüksek fırın cürufu geopolimer harçların mekanik ve durabilite özelliklerinin araştırılması, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [27]. .Küçük İ., X-Işını Floresans Spektroskopisi (Xrf) Deney Föyü, Bursa Teknik Üniversitesi (2017).
- [28]. <https://www.drozdogan.com/elektron-mikroskobu-nedir-kisaca-tarihcesi-2017-nobel-kimya-odulu/>, 3 Temmuz 2019.
- [29]. Turgut E.,X Işınları Difraktometresi, https://www.academia.edu/37779063/X_Işınları_Difraktometresi_XRD_,3 Temmuz 2019.
- [30]. Mahmut O., Emiroğlu M., 2015. Geopolimer Harç Üretiminde Elazığ Ferrookrom Cürufu Kullanımının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- [31]. Yılmaz, A., Sütaş İ., (2008), Ferrookrom Cürufunun Yol Temel Malzemesi Olarak Kullanımı, İMO Teknik Dergi, 294, 4455-4470.

[32]. Ünal O., Uygunoğlu T., 2003. Atık Mermer Tozu Katkılı Betonların Donma Çözülme Etkisinde Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı.

[33]. Yazıcı A., Kaya M. 2003. “Ferrokrom Curufunun Karakterizasyonu”, F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15(4), 539-548.

[34]. Mahmut O., Emiroğlu M., 2015. Geopolimer Harç Üretiminde Elazığ Ferrokrom Cürufu Kullanımının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.

ÖZGEÇMİŞ

Merve Koç Keskinlınç 1992 yılında Malatya’da doğdu. İlköğrenimini Malatya’da, orta öğrenimini Elazığ’da tamamladı. 2010 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümüne girmeye hak kazandı. Lisans eğitimini tamamladıktan sonra 2016 yılında Fırat Üniversitesi’nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2018 yılında evlendi.

