



T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİK ARK OCAĞI CÜRUFUNUN ALKALİLERLE
AKTİVASYONU ile ÜRETİLEN BETONLARIN ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

Ahmet ARSOY

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY
OCAK-2018

T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİK ARK OCAĞI CÜRUFUNUN ALKALİLERLE
AKTİVASYONU ile ÜRETİLEN BETONLARIN ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

Ahmet ARSOY

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY
OCAK-2018

T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tezin Adı: ELEKTRİK ARK OCAĞI CÜRUFUNUN ALKALİLERLE
AKTİVASYONU ile ÜRETİLEN BETONLARIN ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

Öğrencinin, Adı Soyadı: Ahmet ARSOY

Tez Savunma Tarihi: 17.01.2018

Kod No: 89

Doç. Dr. Mustafa DEMİRCİ
Enstitü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylıyorum.

Doç. Dr. Murat ÖRNEK
Enstitü ABD Başkanı

Bu tez tarafımda okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Umur Korkut SEVİM
Tez Danışmanı

Bu tez tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Ünvanı, ADI ve SOYADI):

İmzası

Doç. Dr. Umur Korkut SEVİM

.....

Doç. Dr. Cahit BİLİM

.....

Yrd. Doç. Dr. Selçuk KAÇIN

.....

Not : Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

17.01.2018

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

Ahmet ARSOY

ÖZET

ELEKTRİK ARK OCAĞI CÜRUFUNUN ALKALİLERLE AKTİVASYONU ile ÜRETİLEN BETONLARIN ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Bu çalışmada, TOSÇELİK A.Ş.' ye ait Osmaniye demir çelik tesislerinde yan ürün olarak ortaya çıkan Elektrik Ark Fırını Cürufu (EAFC) alkalilerle aktive edilerek beton özelliklerine (basınç ve yarmada çekme dayanımları, aşınma miktarı, ultrasonik dalga hızı, kılcal su emme, su emme, basınçlı su geçirimsizliği, gaz ve hızlı klor geçirimsizliği) etkisi incelenmiştir. Bu amaçla hazırlanan karışımlarda su/bağlayıcı oranı 0,4 ve çimento dozajı 400 kg/m^3 olarak sabit tutulmuştur. Elektrik Ark Fırını Cürufu çimento yerine ağırlıkça %10, %20, %30 oranlarında yer değiştirilmiştir. Karışımlar üç farklı sodyum konsantrasyonu (%4, %6, %8) ile hazırlanmıştır. EAFC içermeyen şahit numune hariç diğer karışımlarda silikat modülü 1 ve 2'dir. Toplamda üretilen 18 farklı karışım 28 günlük standart kürün sonunda sudan çıkartılarak basınç, yarmada çekme, ultrasonik dalga, schmidt çekici, aşınma, kılcal su emme, su emme, basınçlı su geçirimsizlik, gaz ve hızlı klor geçirimsizlik deneylerine tabi tutulmuştur. Deney sonuçları incelendiğinde sodyum silikat-sodyum hidroksit karışımının EAFC'nu aktive etmede başarılı olduğu ve %4 sodyum konsantrasyonunun yeterli olduğu görülmüştür. Özellikle %4 sodyum konsantrasyonuna sahip aktivatör ile aktive edilen EAFC'nun çimento yerine ağırlıkça %20 mertebelerinde kullanılmasının betonun dayanım, aşınma, su emme, geçirimsizlik gibi parametrelerini olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir.

2018, 80 sayfa

Anahtar Kelimeler: EAF cürufu, alkali aktivasyon, dayanım, geçirimsizlik, su emme

ABSTRACT

INVESTIGATION OF ALKALI ACTIVATED ELECTRICAL ARC FURNACE SLAG CONCRETE PROPERTIES

In this study, Electric Arc Furnace Slag (EAFS), which gathered as a by-product in Osmaniye iron and steel mills belonging to TOSCELIK INC., is activated by alkalis and its effects on concrete properties (compressive and tensile splitting strengths, abrasion resistance, ultrasonic pulse velocity, capillary water absorption, water absorption, water permeability depth under pressure, gas and chloride ion permeability) are investigated. For this purpose, water/binder and cement dosage were kept constant at 0.4 and 400 kg/m³, respectively. EAFS has been replaced by 10%, 20%, 30% by weight instead of cement. The mixtures were prepared with three different concentrations of sodium (4%, 6%, 8%). In all mixtures except the control sample which does not contain EAFS, the silicate modulus are 1 and 2. The 18 different mixtures produced in total are subjected to 28 days of standard cure at the end of which they were removed from water and subjected to compressive strength, tensile splitting strength, ultrasonic pulse velocity, schimidt hammer, abrasion resistance, capillary water absorption, water absorption, water permeability depth under pressure, gas and chloride ion permeability tests. When the test results are examined, it is seen that Sodium Silicate-Sodium Hydroxide mixture is effective in activating EAFS and 4% sodium concentration is enough for that purpose. It has been determined that EAFS activated with an activator with a concentration of 4% sodium, especially when used in 20% by weight rather than cement, affects positively the parameters such as strength, abrasion resistance, water absorption and permeability of the concrete.

2018, 80 pages

Key Words: Electric arc furnace slag, alkali activation, strength, permeability, water absorption

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez konusunun belirlenmesinde, araştırılması ve yazımı sırasında sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmayı yönlendiren ve her türlü yardımı esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Umur Korkut SEVİM'e sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tezin yazımında ve laboratuvar çalışmalarında yardımını esirgemeyen Arş. Gör. Müzeyyen BALÇIKANLI BANKİR, Arş. Gör. Murat ÖZTÜRK, Yrd. Doç. Dr. Ömer Saltuk BÖLÜKBAŞI, İnşaat Müh. bölümü Laboratuvar Teknikeri Selahattin KEVGİR'e ve isimlerini burada zikredemediğim fakat yardımlarını esirgememiş olan herkese içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmada kullanılan Elektrik Ark Fırını Cürufunu temin ettiğimiz TOSÇELİK A.Ő. 'ye teşekkür ederim.

Beni bugüne kadar yetiştiren, desteklerini bir an olsun eksik etmeyen rahmetli dedeme, nineme, anneme, babama, kardeşlerime ve tüm akrabalarımaya en içten saygı ve şükranlarımı sunarım. Ayrıca bu yüksek lisans tez çalışmasını rahmetli dedem ve ninem anısına ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	IX
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Beton.....	1
1.2. Beton ve Çimento	2
1.3. Çimento ve Puzolanlar.....	3
1.4. Cüruflar.....	5
1.5. Elektrik Ark Ocağı Cürufu ve Üretimi	6
1.6. Geopolimer Beton ve Alkali Aktivasyon	9
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	13
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	19
3.1. Giriş	19
3.2. Çalışmada Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri.....	19
3.2.1. EAF Cürufu ve Özellikleri.....	19
3.2.2. Portland Çimento ve Özellikleri.....	19
3.2.3. Agregası ve Özellikleri	20
3.2.4. Su ve Özellikleri	21
3.2.5. Akışkanlaştırıcı ve Özellikleri	21
3.2.6. Sodyum Silikat (Na_2SiO_3) ve Özellikleri.....	21
3.2.7. Sodyum Hidroksit (NaOH) ve Özellikleri	22
3.3. Beton Tasarım Parametreleri ve Üretimi	23
3.3.1. Beton Tasarım Parametreleri	23
3.3.2. Beton Üretimi.....	25
3.4. Deneysel Yöntemler	27
3.4.1. Giriş.....	27
3.4.2. Basınç Dayanım Deneyi	28
3.4.3. Yarmada Çekme Dayanım Deneyi	29
3.4.4. Basıncılı Su Geçirimsizlik Deneyi	31
3.4.5. Aşınma Direnç Deneyi.....	31
3.4.6. Kapiler (Kılcal) Su Emme Deneyi	33
3.4.7. Su Emme Deneyi	35
3.4.8. Gaz Geçirimsizlik Deneyi	36

3.4.9. Hızlı Klor Geçirimsizlik Deneyi	37
3.4.10. Ultrasonik Dalga (Ses) Hızı Deneyi.....	39
3.4.11. Test Çekici Deneyi	41
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	42
4.1. Giriş	42
4.2. Basınç Dayanımı.....	42
4.3. Yarmada Çekme Dayanımı.....	46
4.4. Basınçlı Su Geçirimsizliği	48
4.5. Aşınma Direnci	51
4.6. Kapiler (Kılcal) Su Emme	54
4.7. Su Emme Oranı.....	56
4.8. Gaz Geçirimsizliği	59
4.9. Hızlı Klor Geçirimsizliği	61
4.10. Ultrasonik Dalga (Ses) Hızı.....	64
4.11. Test Çekici	67
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	71
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	80

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Beton üretim şeması (Anonim, 2017a).....	1
Şekil 1.2.	Çimento üretim şeması (Anonim, 2017b).....	2
Şekil 1.3.	Puzolanların sınıflandırılması (Gündeşli, 2008).....	4
Şekil 1.4.	EAF içerisindeki grafit elektrotlar (European Commission, 2001).....	6
Şekil 1.5.	Elektrik ark fırını işlemi (European Commission, 2001)	6
Şekil 1.6.	EAF üretim prosesi (Anonim, 2015)	7
Şekil 3.1.	Betoniyer ve bazı deney karışım malzemeleri	26
Şekil 3.2.	Basınç dayanım deney düzeneği	28
Şekil 3.3.	Küp numune için yarmada çekme deneyi.....	30
Şekil 3.4.	Yarmada çekme deney düzeneği	30
Şekil 3.5.	Basınçlı su geçirimsizlik deney düzeneği	31
Şekil 3.6.	Aşınma direnç deney düzeneği.....	32
Şekil 3.7.	Aşınma direnç deneyine tabi tutulan beton numuneler	33
Şekil 3.8.	Kapiler su emme deney düzeneği	34
Şekil 3.9.	Gaz geçirimsizlik deney düzeneği	36
Şekil 3.10.	Vakum haznesi deney düzeneği.....	38
Şekil 3.11.	Hızlı klor geçirimsizlik deney düzeneği	38
Şekil 3.12.	Ultrasonik dalga(ses) hızı deney düzeneği	40
Şekil 3.13.	Test çekici deney düzeneği	41
Şekil 4.1.	Silikat modülü-1 olan numunelerin basınç dayanım değerleri (MPa).....	44
Şekil 4.2.	Silikat modülü-2 olan numunelerin basınç dayanım değerleri (MPa).....	45
Şekil 4.3.	Silikat modülü-1 olan numunelerin yarmada çekme dayanım değerleri (MPa).....	47
Şekil 4.4.	Silikat modülü-2 olan numunelerin yarmada çekme dayanım değerleri (MPa).....	48
Şekil 4.5.	Silikat modülü-1 olan numunelerin basınçlı su geçirimsizliği(mm).....	50
Şekil 4.6.	Silikat modülü-2 olan numunelerin basınçlı su geçirimsizliği(mm).....	50
Şekil 4.7.	Silikat modülü-1 olan numunelerin aşınma direnci (oyuk genişliği) (mm).....	51
Şekil 4.8.	Silikat modülü-2 olan numunelerin aşınma direnci (oyuk genişliği) (mm).....	52
Şekil 4.9.	Silikat modülü-1 olan numunelere ait kapilarite katsayıları (mm/dk ^{0.5})	55
Şekil 4.10.	Silikat modülü-2 olan numunelere ait kapilarite katsayıları (mm/dk ^{0.5})	56
Şekil 4.11.	Silikat modülü-1 olan numunelerin su emme oranı (%).....	56
Şekil 4.12.	Silikat modülü-2 olan numunelerin su emme oranı (%).....	57
Şekil 4.13.	Silikat modülü-1 olan numunelerin gaz geçirimsizliği (x10 ⁻¹⁶ m ²)	59
Şekil 4.14.	Silikat modülü-2 olan numunelerin gaz geçirimsizliği (x10 ⁻¹⁶ m ²)	61

- Şekil 4.15. Silikat modülü-1 olan numunelerin hızlı klor geçirimsiliği (coulomb) 63
- Şekil 4.16. Silikat modülü-2 olan numunelerin hızlı klor geçirimsiliği (coulomb) 63
- Şekil 4.17. Silikat modülü-1 olan numunelerin ultrasonik dalga (ses) hızı (m/sn)..... 66
- Şekil 4.18. Silikat modülü-2 olan numunelerin ultrasonik dalga (ses) hızı (m/sn)..... 66
- Şekil 4.19. Silikat modülü-1 olan numunelerin beton test çekici değeri(MPa) 69
- Şekil 4.20. Silikat modülü-2 olan numunelerin beton test çekici değeri (MPa) 69



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1.	Elektrik Ark Fırınının girdi ve çıktıları (Mutlugeldi, 2015).....	7
Çizelge 1.2.	EAF Cürufunun ülkelere göre kullanım alanı (%)	8
Çizelge 1.3.	Alkali aktivasyonun önemli gelişim aşamaları.....	12
Çizelge 3.1.	EAF Cürufuna ait kimyasal analiz sonuçları.....	19
Çizelge 3.2.	Karışımındaki agrega granülometrisi ve TS 706 standart sınırı	20
Çizelge 3.3.	Akışkanlaştırıcı malzeme özellikleri	21
Çizelge 3.4.	Sodyum silikat özellikleri	22
Çizelge 3.5.	Sodyum hidroksit kimyasal özellikleri	23
Çizelge 3.6.	Tasarım parametleri.....	24
Çizelge 3.7.	1 m ³ beton üretimi için gerekli olan malzeme miktarları (kg).....	25
Çizelge 3.8.	Sertleşmiş beton deneyleri ne numune boyutları.....	27
Çizelge 3.9.	Klor iyon geçirimsizlik değerlerinin sınıflandırılması.....	39
Çizelge 3.10.	Ultrasonik dalga (ses) hızı aralıkları (Whitehurst, 1951)	40
Çizelge 4.1.	Numunelerin 28 günlük basınç dayanımı deney sonuçları (MPa)	43
Çizelge 4.2.	Numunelerin 28 günlük yarmada çekme dayanımı sonuçları (MPa).....	46
Çizelge 4.3.	Numunelerin 28 günlük basınçlı su geçirimsizlik deney sonuçları (mm)	49
Çizelge 4.4.	28 günlük numunelerin aşınma direnci deney sonuçları (mm)	53
Çizelge 4.5.	28 günlük numunelere ait kapilarite katsayıları (mm/dk ^{0.5}).....	54
Çizelge 4.6.	28 günlük numunelerin su emme deney sonuçları (%)	58
Çizelge 4.7.	28 günlük numunelerin gaz geçirimsizlik deney sonuçları (x10 ⁻¹⁶ m ²).....	60
Çizelge 4.8.	28 günlük numunelerin hızlı klor geçirimsizlik deney sonuçları (coulomb)	62
Çizelge 4.9.	Klor iyonu geçirimsizlik değerlerinin sınıflandırılması	64
Çizelge 4.10.	28 günlük numunelerin ultrasonik dalga (ses) hızı deney sonuçları (m/sn).....	65
Çizelge 4.11.	Ultrasonik dalga hızı aralıkları (Whitehurst, 1951).....	67
Çizelge 4.12.	28 günlük numunelerin beton test çekici deney sonuçları (MPa)	68

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

°C	: Santigrat derece
μ	: Oksijen gazının viskozite katsayısı (N.s/m ²)
σ	: Numune basınç dayanımı (MPa)
f_{ct}	: Yarmada çekme dayanımı (MPa)
K	: Kapilarite katsayısı (cm ² /sn)
t	: zaman
P	: uygulanan yük
NaOH	: Sodyum hidroksit
Na₂SiO₃	: Sodyum silikat
NaCl	: Sodyum klorür
CO₂	: Karbondioksit gazı
kWh	: Kilowatt saat

KISALTMALAR

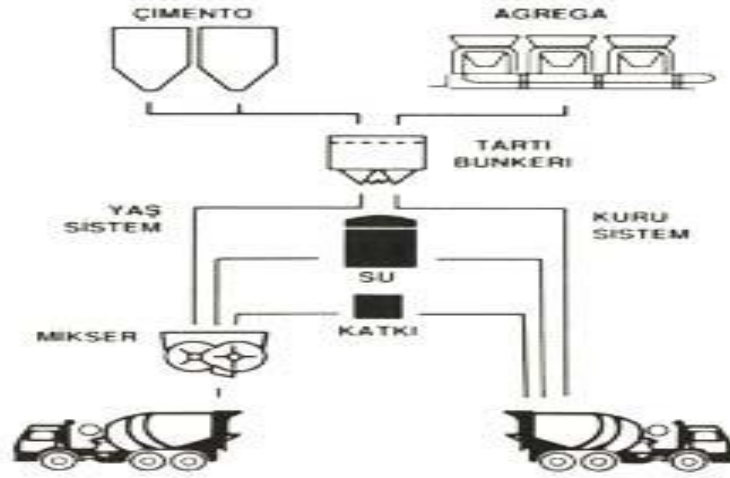
EAF	: Elektrik ark fırını
E AFC	: Elektrik ark fırını cürufu
TS	: Türk standartı
ASTM	: American standardization of testing methods
PÇ	: Portland çimentosu
P_{atm}	: Atmosferik basınç
W_k	: Etüv kuru ağırlık
W_{dky}	: Doygun yüzey kuru ağırlık
SM	: Silikat modülü

1. GİRİŞ

1.1. Beton

Beton, son yüzyılda inşaat endüstrisinde kendisine çok geniş kullanım alanı bulmuş ve hala da en çok tercih edilen yapı malzemesidir. Gün geçtikçe üretilen betonların dayanım, dayanıklılık ve geçirimsizlik özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar neticesinde daha yüksek performanslı betonlar üretilmektedir.

Beton; çimento, su, agrega ve gerekli olması durumunda kimyasal ile mineral katkıların (uçucu kül, silis dumanı, cüruf, ... gibi) homojen bir şekilde karıştırılmasıyla elde edilen, önceleri plastik kıvamda olup zaman geçtikçe sertleşerek mukavemet kazanan bir yapı malzemesi olarak tanımlanabilir. Şekil 1.1.'de beton üretim şeması gösterilmektedir.

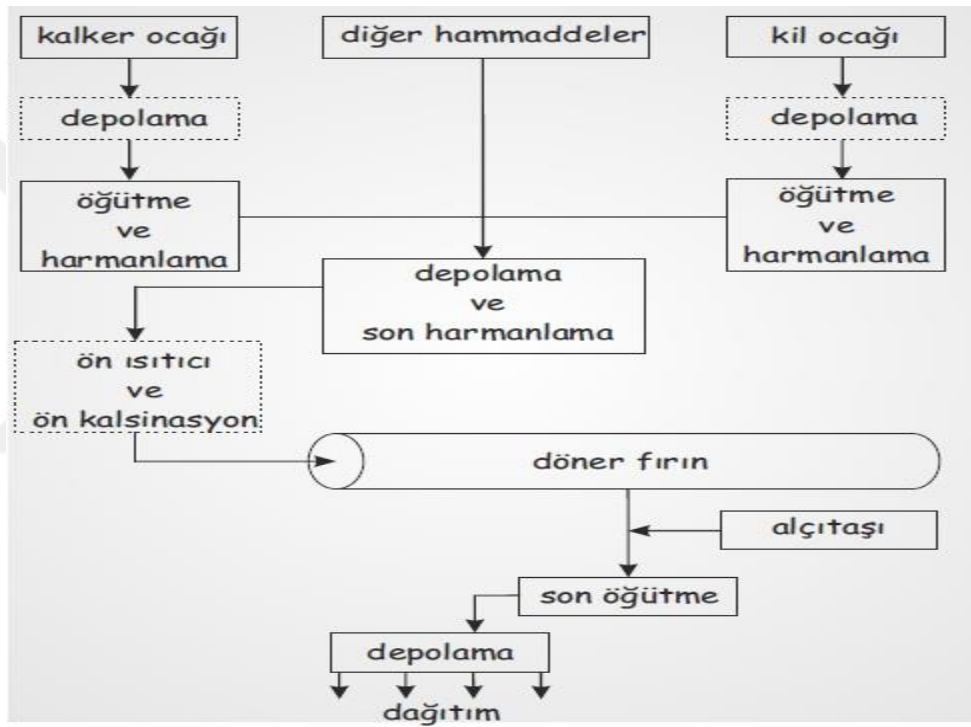


Şekil 1.1. Beton üretim şeması (Anonim, 2017a)

Dayanım, dayanıklılık ve geçirimsizlik özelliklerinin istenen şartlarda olması durumunda beton; köprü, baraj, kanal, tünel, yol, konut gibi birçok yapının inşaatında kullanılabilir. Bu yapılarda hem taşıyıcı hem de dekoratif olarak kullanılabilir. Betonun önceleri plastik kıvamda olması betona şekil verip dekoratif bir malzeme olarak kullanılmasına imkan verir.

1.2. Beton ve Çimento

Beton üretiminde çimentonun çok önemli bir yeri vardır. Beton üretiminde çimento, karışımdaki agrega tanelerinin yüzeylerini kaplar ve bu taneler arasındaki boşlukları doldurarak bağlayıcı görevini üstlenir. Çimento; öğütülmüş kalker ve diğer hammaddelerin farklı oranlarda karıştırılıp döner fırınlarda pişirilmesiyle oluşan klinkerin, alçı taşı ve diğer katkılarla karıştırılıp öğütülmesi sonucu elde edilen malzeme olarak tarif edilebilir. Şekil 1.2.'de çimento üretim şeması gösterilmektedir.



Şekil 1.2. Çimento üretim şeması (Anonim, 2017b)

Portland çimento klinkerinin üretim aşamasında, kireç taşı yaklaşık olarak 900°C sıcaklığa maruz kalır. Bu sıcaklıkta kireçtaşı bozulmaya uğrar ve atmosfere CO₂ salınımı olmaktadır. 2015 yılında insanların neden olduğu CO₂ emisyon verileri incelendiğinde çimento klinkeri üretimi esnasında atmosfere %4.0 oranında CO₂ salınımı olduğu görülmektedir. Aynı zamanda klinker üretimi için kullanılan yakıt sonucunda da aynı miktarda CO₂ salınımının olduğu görülmektedir. Bu durumda da klinker üretimi için yaklaşık olarak %8.0 oranında atmosfere CO₂ salınımı olmaktadır (Trends in Global CO₂ Emissions, 2015).

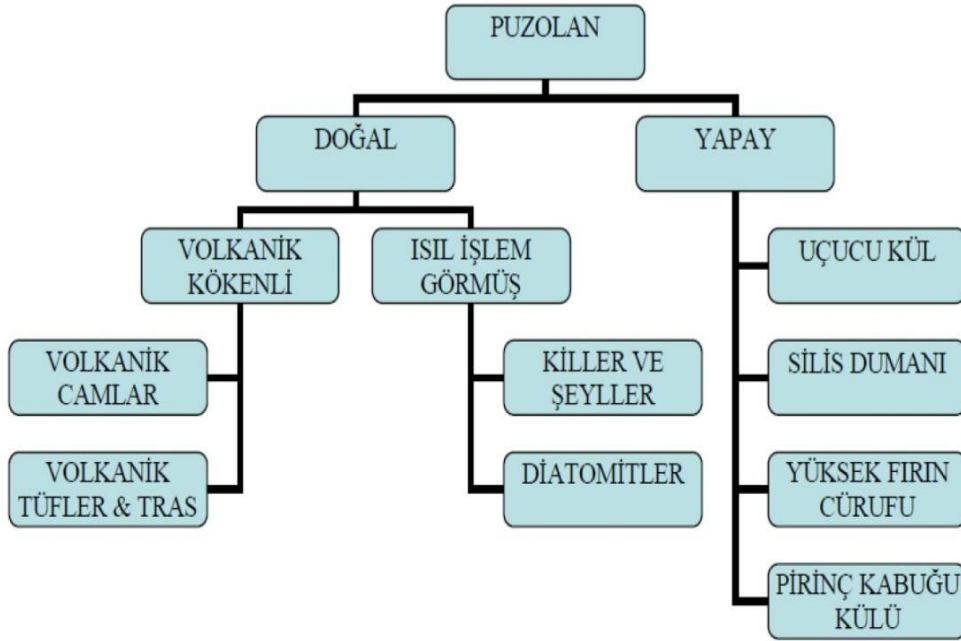
Beton üretiminde çok önemli bir yer tutan portland çimentosunun diğer bir dezavantajı da maliyet sorunudur. Beton üretiminde kullanılan malzemelere bakıldığında portland çimentosunun maliyetinin diğer malzemelere göre çok fazla olduğu söylenebilir. Yine portland çimentosu üretilirken enerji tüketimi de çok fazla olmakta ve dolayısıyla yüksek maliyetler ortaya çıkmaktadır. Portland çimentonun üretimi sonucunda yüksek oranda enerji, ekonomik ve çevresel sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden üreticiler portland çimentosuna alternatif daha ucuz çimentolu beton ya da çimentosuz beton üretmeye yönelmişlerdir. Bunun en kolay yolu da endüstriyel üretim esnasında ortaya çıkan yan ürün veya atıl durumda bulunan malzemeleri değerlendirmektir.

1.3. Çimento ve Puzolanlar

Çimentoların teknik özellikleri ve miktarı, betonun özelliklerine ve maliyetine direkt etki etmektedir. Bu yüzden üretilecek betonun çeşitli özelliklerine katkı sağlamak ve maliyetini azaltmak için puzolanik malzemeler doğrudan katkı olarak veya çimentonun bir kısmının yerine belli oranda katılabilirler (Aruntaş, 1996).

Puzolanlar yaklaşık olarak 2000 yıl önce eski Romalılar zamanında kullanılmaya başlanmıştır. İtalya'da bulunan Pozzuoli kasabasında volkanik küllerin su ve söndürülmüş kireçle karıştırılması sonucunda bağlayıcı bir malzeme olduğu fark edilmiştir (Erdoğan, 1995a). Puzolan sözcüğü bundan dolayı kullanılmaktadır. Puzolan kelimesi genel bir ifade olmakla beraber ülkeden ülkeye farklı özel adlar almıştır. Almanya'da, "Tras" ismi ile anılırken, Yunanistanda ise "Santorin toprağı" olarak anılmaktadır. Ülkemizde ise bu tip volkanik tüf karakterli malzemeler "Tras" olarak anılmaktadır. Fakat son yıllarda traslı ve katkılı çimentoların artmasıyla Puzolan gerçek anlamda kullanılmaya başlanmıştır (Güneşli, 2008).

ASTM C 618 standartlarına puzolanlar; silis ve alümin içeren, kendi başlarına bağlayıcılık özelliği olmayan ya da çok az olan fakat ince öğütüldüklerinde ve nemli ortamlarda kalsiyum hidroksit ile kimyasal reaksiyona girerek bağlayıcılık özelliği kazanan malzemeler olarak tarif edilebilir. Puzolanlar genel olarak doğal ve yapay olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Şekil 1.3.'te puzolanların sınıflandırılması gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Pozolanların sınıflandırılması (Gündeşli, 2008)

Birinci grupta yer alan doğal olarak ortaya çıkan pozolanlar, genellikle kırma, öğütme ve eleme ile sınırlı bir şekilde elde edilmektedirler (Soroka, 1993). İkinci grupta yer alan yapay pozolanlar ise genellikle bazı endüstri kollarında yan ürün olarak elde edilmektedirler. Silis dumanı, yüksek fırın cürufu ve uçucu kül en fazla kullanılan yapay pozolanlardandır.

Pozolanlar, harç ve beton üretiminde portland çimentosunun ağırlıkça belli bir kısmının yerine karışım esnasında ya da portland çimentosuna ilave olarak önceden karıştırılarak kullanılmaktadır. Bazen de pozolanlar agreganın bir kısmının yerine beton karışımına ilave edilerek kullanılmaktadır. Pozolan ve benzeri mineral katkıların %5'ten daha fazla çimentoya katılması durumunda elde edilen yeni katkılı portland çimentosu katkı türüne ve kullanım oranına göre çeşitlilik oluşturmaktadır (Masasza, 1997).

Pozolanların eklenmesiyle oluşan katkılı çimentolar şu anki toplumun ihtiyaçlarına hitap edebilen temel bir malzeme olarak tanımlanabilmektedir. Katkılı çimentolar Portland çimentosunda bulunmayan bazı performans özelliklerine sahip olmakta hem de endüstrinin kollarında yan ürün olarak elde edilen malzemelerin faydalı bir şekilde kullanılmasına katkı sağlamaktadır (Çelik ve ark., 2005).

1.4. Cüruflar

Dünyada demir çelik üretiminin %70'inin entegre demir çelik tesislerinde yapılmasına karşın, Türkiye'deki üretimin %70'i EAO'lu tesislerde yapılmaktadır. Ülkemizde demir çelik sektörünün çok önemli bir yeri vardır. Bu sektörde 24 adet Elektrik Ark Ocaklı (EAO), 3 adet Entegre ve 4 adet İndüksiyon Ocaklı (IO) olarak toplamda 31 adet tesis faaliyetini sürdürmektedir (TÇÜD, 2015). 2016 yılı verilerine göre ülkemizde yılda 33,19 milyon ton demir çelik üretimi yapıldığı kayda geçmiştir (Anonim, 2016). Bu üretim ile Türkiye dünyada 8. basamakta ve Avrupa'da ise 2. basamakta kendine yer bulmuştur.

Demir çelik üretimi esnasında yan ürün veya atıl durumda bulunan bazı malzemeler ortaya çıkmaktadır. Bu malzemelerden birisi de cüruftur. Cürufların özellikleri üretilen malzemenin tipine ve üretim şekline bağlı olarak farklılık göstermektedir (Tokyay, 2003). Cürufların sınıflandırılması, demir (demir/çelik) ve demir dışı (bakır, kurşun/çinko) olmak üzere iki şekilde olmaktadır (Karpuzcu, 2010).

Entegre demir çeliğin üretiminde cüruf iki farklı şekilde oluşmaktadır. Bunlar yüksek fırın cürufu ve çelikhane cürufu (bazik oksijen fırını cürufu) olarak adlandırılır. Yüksek Fırın Cürufu, yüksek fırınlarda demir cevherlerinin ergitilmesi sonucu fırının içinde açığa çıkan sıvı cüruftur. Soğutulma yöntemlerine göre farklı özelliklerde yüksek fırın cürufu açığa çıkmaktadır. İlk olarak normal hava koşullarda, sonra ise su ile soğutulan cüruflara 'havada soğutulmuş yüksek fırın cürufu', su, basınçlı hava ve buharla soğutulan cüruflara ise 'granüle yüksek fırın cürufu' denilmektedir (Önkibar, 2006; Erdoğan, 1995b).

Entegre demir çelik tesislerde 1000 kg sıvı ham demir üretimi ile yaklaşık olarak 300-400 kg cüruf açığa çıkmaktadır (Doğantepe, 2014). Çelikhane Cürufu, oksijen üfleme ile çelik üretimi sırasında empüritelere yakılmasıyla ve istenilen kimyasal kaliteye getirilmesiyle, çelik üzerinde oluşmaktadır. (Önkibar, 2006). Çelikhane cürufları ocak (fırın) tiplerine göre bazik oksijen ocağı, elektrik ark ocağı ve pota ocağı olarak adlandırılırlar. Bu cürufların fiziksel ve kimyasal özellikleri farklılık gösterir (Yıldırım ve ark., 2011).

1.5. Elektrik Ark Ocağı Cürufu ve Üretimi

Demir çelik üretiminde elektrik ark fırını ile üretim yapmak seçeneklerden biridir. Bu yöntemde elektrik ark fırınına soğuk metal (hurda çelik) üstten boşaltıldıktan sonra fırın kapağı kapatılır. Fırın kapağında ark fırınına indirilen üç adet elektrot bulunmaktadır. Elektrik bu elektrotlardan geçerek bir ark oluşmasını sağlar. Bunun sonucunda çıkan ısı hurdayı eritmeye başlar. Ayrıca çeliğin saf hale getirilmesi için oksijen üflenir. Şekil 1.4.'te elektrik ark fırını elektrotu ve Şekil 1.5.'te elektrik ark fırını işlemi gösterilmektedir.



Şekil 1.4. EAF içerisindeki grafit elektrotları (European Commission, 2001)



Şekil 1.5. EAF işlemi (European Commission, 2001)

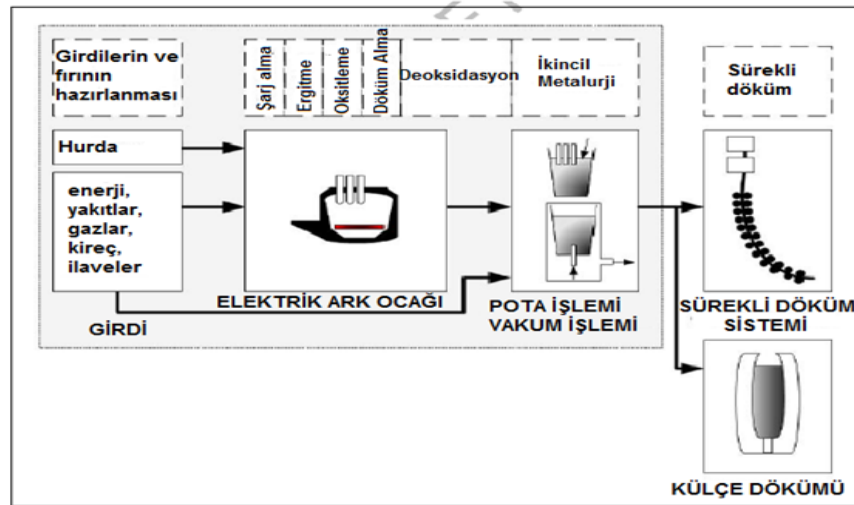
Demir çelik üretimi yapan tesislerde 1000 kg sıvı çelik üretimi amacıyla elektrik ark fırını düzeneğindeki girdiler ve çıktılar Çizelge 1.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. Elektrik ark fırınının girdi ve çıktıları (Mutlugeldi, 2015)

Girdiler		Çıktılar	
Hurda (kg/t)	1080-1130	Sıvı Metal (kg/t)	1000
Top. Enerji (kWh/t)	650-750	Cüruf(kg/t)	100-150
Elektrik (kWh/t)	345-490	Partiküler (kg/t)	10-20
Oksijen (m ³ /t)	24-47	Birincil Tozlaşma (mg/m ³)	3400-33900
Kireç (kg/t)	30-80	İkincil Tozlaşma (mg/m ³)	150-275
Gafit Elek. (kg/t)	1,50-4,50	Atık Refrakter (kg/t)	10
Astar (kg/t) ort.	8,10	İşl. Hurdası (kg/t)	125-139
Su	Kısa Devre Döngü	Gürültü dB(A)	(<70)

EAF Cürufu; çeliğin elektrik ark ocağı tekniği ile elde edilmesi sonucunda, metal eriyiğinin rafinasyonu ve oksitlenmesi sırasında, yoğunluğunun çelikten daha az olması nedeniyle, çeliğin üstünde açığa çıkar ve 1300°C veya daha fazla sıcaklıklarda ocaktan alınır (TÇÜD, 2015).

Entegre çelik üretim tesislerinin dışında kalan tesislerde elektrik ark fırını cürufunun da içinde olduğu çelikhane cürufları büyük çoğunlukla eriyik şekilde fırından yere dökülür ve soğuyup katılaşması beklenir, katılaştıktan sonra da iş makinaları aracılığıyla ocağın altından alınıp, stok alanlarına taşınır. Şekil 1.6.'da elektrik ark fırını üretim proses akım şeması gösterilmektedir.



Şekil 1.6. EAF üretim prosesi (Anonim, 2015)

EAF Cürufu esas olarak silis, kalsiyum, alümina silis ve bazik esaslı bileşikler ihtiva eden ve elektrik ark fırınlarında hurdaların işlenmesi esnasında ergimiş halde ortaya çıkan bir yan üründür (Erdoğan ve ark., 2003).

Çeliğin genel üretim prosesi farklılığı, kullanılan hammadde, hammaddelerin kimyasal bileşimleri ve açığa çıkan cürufa uygulanan fiziksel işlemler cürufun fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemektedir. Cüruflara uygulanan soğutma işlemlerindeki farklılıklar, cürufların gözenek ve boşluk yapısını etkilemektedir. Ayrıca hızlı soğutmadaki camsı özellik ve bundan dolayı camsı geçiş sıcaklığı ile serbest kalsiyum veya serbest magnezyum oksit miktarları da farklı olmaktadır. Soğutma işlemlerinden sonra elde edilen cüruf, kırıcı ve öğütücüden geçirilerek istenilen boyutlara getirilebilmektedir (Yıldırım ve ark., 2011).

Türkiye'deki tesislerde yaklaşık olarak yılda 3,50 milyon ton EAF Cürufu açığa çıkmaktadır. EAF Cürufunun büyük bir kısmı yeterli alanı bulunmayan tesisler içerisinde geçici olarak depolanmakta (%87), diğer bir kısmı yeterli alanı olmayan tesislerde bertaraf edilirken (%12) sadece çok az bir kısmı (%1) geri kazanılmaktadır (Recycling Industry Dergisi, 2011).

Dünyadaki bazı büyük ülkelerin elektrik ark fırını cürufunu kullandığı alanlar (%) olarak Çizelge 1.2.'de gösterilmektedir.

Çizelge 1.2. EAF Cürufunun ülkelere göre kullanım alanı (%) (Dikbaş ve ark., 2013)

Kullanım Alanı	ABD	Avustralya	Almanya	Japonya
Karayolu İnşaatı	60	66	54	61
Çimento/Beton	16	22	-	5
İçsel Geri Dönüşüm	-	-	12	14
İçsel Depolama	-	-	4	-
Gübre Toprak	-	-	5	11
Dolgu/Hidrolik Yapılar	11	12	-	-
Nihai Depolama	-	-	17	2
Diğer	13	-	8	7

1.6. Geopolimer Beton ve Alkali Aktivasyon

Beton üretiminde kullanılan mineral katkı maddelerinin minerolojik ve kimyasal bileşimleri ile fiziksel özellikleri portland çimentosu ile hemen hemen benzer olmasına rağmen bu ürünlerin büyük bir kısmı genellikle kendi başına bağlayıcılık özelliği göstermezler ya da bağlayıcılık özellikleri yeterli düzeyde değildir (Özturan ve ark., 1989). Alkalilerle aktive edilen geopolimer malzemelerin hem ekonomik hem de çevre dostu olması yapı malzemesi olarak tercih edilme sebeplerindedir.

Geopolimer; doğal minerallerin kimyasal bileşiminin ve kristal yapısının farklı yöntemler ile değiştirilmesiyle elde edilen malzemeler olarak tanımlanabilmektedir. Uçucu kül ve öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu gibi alümina silikat bazlı malzemelerin hidroksit ve silikat bileşenlerinin yüksek alkali ortamda kimyasal olarak birleşmesi de geopolimerleşme olarak adlandırılmaktadır.

Geopolimer malzemelerin organik kimya, mineroloji, jeoloji ve mühendislik teknolojisinde kullanılması ile ilgili bilimsel ve endüstriyel çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle yangına karşı dayanıklılık, dekoratif taşlı malzemeler, çimento ve betonun üretiminde atık malzemeleri değerlendirme gibi birden fazla alanda kullanılmaktadırlar (Davidovits, 2008).

Davidovits (1994), geopolimer çimentoları, yüksek alkali ihtiva eden malzemelerin polimerizasyonu ile oluşturulan, üç boyutlu zeolitik yapılar olarak tanımlamıştır. 20°C sıcaklık ve 4 saatlik sürede geopolimer çimentoların basınç dayanımının 20 MPa olarak bulunduğu ve oda sıcaklığında hızlı bir şekilde sertleştiği belirtilmiştir. Ayrıca 28 günlük kür süresinden sonra basınç dayanımının 70-100 MPa aralığında değişen değerlerde bulunduğunu belirtmiştir. Geopolimer malzemelerin, erken yaşlarda yüksek dayanım, düşük değerlerde büzülme, sülfat etkisi ve korozyona karşı dayanıklı olmaları gibi özellikleri istenilen özellikler olarak belirtilmiştir. Ayrıca bu malzemeler ile hava kirliliğinin çok büyük miktarda azalma gösterdiğinin söylemişlerdir. Geopolimer malzemelerin, portland çimentosunun üretiminden kaynaklanan CO₂ emisyonunu %80 oranında azaltacağını ve önümüzdeki dönemlerde küresel ısınmayı önlemeye katkı sağlayacağını da belirtmişlerdir.

Geopolimer malzemelerin gelişimleri ve portland çimentosunun çevreye verdiği etkiler üzerine Avustralya'da incelemeler yapılmıştır. Çalışmada geopolimer

malzemelerin portland çimentosuna göre maliyet ve çevreye verdiği etkiler hesaplanmıştır. Taşıma ve enerji kaynağı olarak portland çimentosundan daha avantajlı oldukları belirlenmiştir. Ayrıca çalışma sonunda normal portland çimentosuna göre geopolimer çimentolarda sera gaz emisyonunda %44-64 arasında azalma olduğu gözlemlenmiştir. Bundan dolayı geopolimer çimentoların normal portland çimentosuna alternatif olarak kullanılacağını belirtmişlerdir (McClellan ve ark., 2011).

Portland çimento üretiminde atmosfere senede 13,5 milyar ton CO₂ salınmaktadır. Bu miktar atmosfere bırakılan toplam CO₂ gazının %5'lik kısmını oluşturmaktadır ki bu çok önemli bir miktardır ve büyük bir problemdir. Portland çimentonun üretiminde çok büyük ısıya ihtiyaç duyulmaktadır. Geopolimer çimento üretiminde ise alkali aktivatörlerin kullanılması ile ihtiyaç duyulan bu büyük ısının düşmesi sağlanmaktadır. Bu da büyük bir problemin önemli ölçüde azalmasına katkıda bulunmaktadır (Diaz ve ark., 2010).

Cürufun sodyum silikat ile aktive edilmesi sonucunda cüruf içeren harçlarda düşük poroziteye sahip agrega ara yüzeyi oluşmaktadır. Aktivasyonun sodyum silikat ile yapılmasından sonra amorf ve üniform yapıda hidratasyon ürünü oluşmaktadır. Eğer aktivasyon işleminde cam suyu (sodyum silikat) yerine KOH (alkali oksit) kullanılırsa oluşacak hidratasyon ürünü heterojen yapıda, mukavemet gelişiminde düşük değerler ve daha fazla boşluk içeren ara yüzey bölgesine sahip olmaktadır (Brough ve ark., 2002).

Shi ve Day (2001), çalışmalarında doğal puzolanın puzolanik aktivasyonu üzerindeki araştırmalarında üç farklı yol izlemişlerdir. Bu yöntemleri; doğal puzolanların öğütülmesi (mekanik yöntem), puzolan ihtiva eden çimento hamurunun kür işleminin yüksek sıcaklıklarda yapılması (termal yöntem) ile Na₂SO₄ ve CaCl₂ gibi kimyasal aktivatör kullanılması (kimyasal metot) şeklinde sıralamışlardır. Doğal puzolanın reaktivitesinin değerlendirilmesi, %20 hidrate olmuş kireç karışımı ve %80 doğal puzolanın üzerinden yapılmıştır. Burada maliyet parametresi, dayanım gelişimi, Ca(OH)₂'nin tüketim oranıyla nihai basınç dayanımının karşılaştırılması yapılmıştır. Bu üç yöntemde de kireç-puzolan hamurunun puzolanik reaksiyonu ve dayanım gelişimi üzerinde olumlu etkilerinin olduğunu belirtmişlerdir.

Fernandez ve Palamo (2005), yaptıkları çalışmada sodyum silikati ve sodyum hidroksiti alkali aktivatör amacıyla kullanmışlardır. Çalışmada 24 saatlik kür işleminden sonra basınç dayanımını 90 MPa olarak bulunduğunu belirtmişlerdir.

Buchuald ve ark. (2009) ise geopolimerik bağlayıcıları, alkali aktivasyonunda reaktif alümina silikat içeren malzemelerin kullanılması sonucunda alümina silikat bağlardan oluşan bağlayıcılar olarak tarif etmişlerdir. Killer, termal aktivasyon işlemi ile reaktif malzemelere dönüşebilirler. Termal aktivasyon işlemiyle yüksek enerjili kararsız ve amorf olan katı malzemeler kil minerallerinin dehidratasyonu ile oluşmaktadır. Thakur ve Ghosh (2009), geopolimer malzemeleri alümina silikat bağlayıcı malzeme sınıfında değerlendirmişlerdir. Geopolimer bağlayıcıların yüksek performanslı olarak kullanılması, çevre dostu olmaları, portland çimentolarına alternatif olmaları gibi çekici özelliklerinin olduğunu söylemişlerdir.

Hanzlıcek ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada önemli tarihi yapıların restorasyonlarında geopolimer malzemelerin, bağlayıcı ve onarıcı malzemeler olarak kullanılmasını araştırmışlardır.

De Vargas ve ark. (2011) geopolimerizasyon şeklinde isimlendirilen alkali aktivasyonunu, iyi yoğunlaştırılan ve çimento içeren kompozitlerde camsı yapıda değişiklik oluşturan kimyasal bir süreç şeklinde isimlendirmişlerdir.

Lie ve ark. (2004), geopolimerlerin bazı avantajlarını şöyle sıralamışlardır:

1-Hammadde kaynağının fazla olması; endüstride yan ürün olarak ortaya çıkan malzemelerden elde edilebilmeleri,

2-Enerjide tasarruf ve çevrenin korunması; geopolimerlerin üretiminde normal portland çimentosuna göre daha az enerji kullanılmasında dolayı daha az CO₂ salınımının olması,

3-Hacimde kararlılık; geopolimerlerin portland çimentolarına göre yaklaşık olarak %80 daha az rötre yapmaları,

4-Dayanımın kısa zamanda kazanılması; priz süresinin ik 4 saatinde nihai basınç dayanımlarının yaklaşık %70'ini kazanabilmektedirler.

Alkali aktivasyonu ile ilgili önemli gelişim aşamaları Çizelge 1.3.'te gösterilmiştir.

Çizelge 1.3. Alkali aktivasyonun önemli gelişim aşamaları (Sağlık, 2009)

Gelişmenin Yazarı	Gelişmenin İsmi	Gelişme Tarihi
Feret	Cürufun çimentoda kullanılması	1939
Purdon	Alkali-cüruf kullanım kombinasyonları	1940
Glukhovsky	Alkali çimentonun gelişimi	1959
Glukhovsky	“Alkali çimento” isminin kullanımı	1965
Davidovits	“Geopolimer” isminin kullanımı	1979
Talling ve Brandsstetr	Cürufun alkali aktive edilmesi	1989
Wu ve diğer.	Cüruf içeren çimentonun aktivasyon	1990
Roy ve diğer.	Alkali aktive edilen çimentonun hızlı kür edilmesi	1991
Roy ve Malek	Cüruf içeren çimentolar	1993
Wang ve Scrivener	Alkali aktive edilen cürufun mikroyasının araştırılması	1995
Shi	Alkali aktive edilen cürufun geçirimsizlik ve dayanımın incelenmesi	1996
Katz	Alkali aktive edilen uçucu külün mikroyasının araştırılması	1998
Bakharev	Alkali aktive edilen cürufllu betonlar	2001-2002
Grutzeck	Zeolit yapının oluşumu	2004
Provis ve Van Deventer	Geoplimerin üretimi ve uygulama alanı	2009

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Pasetto ve Baldo (2011) tarafından İtalya'da asfalt beton uygulamasında elektrik ark fırını cürufunun kullanılıp kullanılmayacağı ile ilgili araştırmalar yapılmıştır. Araştırma sonucunda elektrik ark fırını cürufu ile doğal agregaya karşılaştırılmış ve EAF Cürufunun dönel sıkıştırma testi, kalıcı deformasyon testi, çeşitli sıcaklıklarda modül testleri ile yorulma ve çekme mukavemet testlerinin istenilen seviyede olduğu belirtilmiştir. Ayrıca EAF Cürufunun çevre ile uyumlu olduğu belirtilmiştir. Yine başka bir çalışmada, asfalt kaplamalı yol uygulamalarında EAF Cürufu malzemesinin agregaya formunda kullanılması ile ilgili birçok ülkede çalışmalar yapılmıştır. Örneğin Tayland'ta Siam Steel Mill Service Ltd. 2000 yılından beri asfalt kaplamalı yol çalışmalarını başarılı bir şekilde uygulamaktadır (Wittayangkoon, 2007).

Manso ve ark. 2006 yılında İspanya'da betonda EAF Cürufundan üretilen agregaya ve doğal agregayı karıştırarak kullanmışlardır. Karışım sonucunda beton çok iyi fiziksel ve mekanik özellikler göstermiştir. Bu çalışmada betondan alınan numunelere birçok test uygulanmıştır. Karışımında kullanılan çimento bileşenleri ile EAF Cürufu agregasının etkileşimi ve betonun maruz kaldığı çevresel etkiler sonucu gösterdiği davranışı araştıran birçok testler yapılmıştır. Bu testlerin sonucunda doğal agregaya ile üretilen karışımların hem çevresel etkilere karşı dayanımı hem de mekanik özellikleri kabul edilebilir seviyede bulunmuştur. Ayrıca test sonucuna göre EAF Cürufundan üretilen agregaların mekanik özelliklerinin kullanılabilir seviyede olduğu belirtilmiştir. Fakat üretilen betonda porozitenin olmasına neden olmaktadır. Bunun yanında yaşlandırma testleri ile toksinlik testlerinde de olumlu sonuçların olduğu belirtilmiştir.

Pellegrino ve ark. 2009 yılında İtalya'da beton karışımında doğal agreganın yerine EAF Cürufunun kullanımı ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Burada EAF Cürufunun agregaya şeklinde kullanılması sonucunda üretilen çimento beton numunesinin basınç ve çekme dayanımı ile elastiklik özelliği üzerinde çalışma yapılmıştır. Çalışma sonucunda EAF Cürufu kullanarak üretilen çimento beton numuneleri, doğal agregaya kullanarak üretilen çimento beton numunelerine göre hemen hemen aynı veya bazı durumlarda daha iyi dayanım gösterdiğini belirtmişlerdir.

Iacobescu ve ark. 2011 yılında Sovel S.A.'dan EAF Cürufunu ve Titan Çimento S.A.'dan kireçtaşı ve kil ile Belit (yeşil) çimentonun üretilmesi ve bu üretimin

karakterizasyonunu incelemişlerdir. Karışımlarda referans olarak saf Belite çimento ve %5, %10 oranlarında EAF Cürufunun eklenmesiyle oluşturulan çimento test edilmiştir. Belite çimentosu aynı zamanda yeşil çimento olarak da isimlendirilir. Bu çimento normal portland çimentosuna göre daha az enerji tüketimi yaptığı için CO₂ emisyonunda da azalma olmasını sağlar. Çalışma sonucunda da normal portland çimentosuna oranla daha düşük sıcaklıklarda (1380°C) EAF Cürufu içeren Belite çimento başarılı bir şekilde üretilmiştir. Bu çimento ile üretilen betonda ilk günler için EAF Cürufu miktarının artmasıyla basınç dayanımı sonuçlarında azalmanın olduğu belirlenmiştir. Saf Belite çimentosuna göre %5 ve %10 EAF Cürufu içeren çimentoların düşük erken basınç dayanımları olduğu için EAF Cürufu içeren çimentoların yüksek erken dayanımı istemeyen yerlerde kullanılabileceği belirtilmiştir.

EAF Cürufu ve Pota Cürufunun dolgu malzemesi şeklinde kullanılması ile ilgili çok fazla çalışma bulunmaktadır. Andreas ve ark. 2005 yılında İsveç'in Hagfors kentinde bulunan ve yaklaşık olarak 5000 m²'lik dolgu yapılacak bir yer için ayrıntılı bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada EAF ve Pota Cürufunun doğal kaynakların yerine kullanımı incelenmiştir. Tüm EAF Cürufu türlerini içeren EAF Cürufu malzeme ve EAF Cürufu ile Pota Ocağı Cürufunu karıştırarak farklı şekillerde çalışmalarını yapmışlardır. Tüm bu çalışmaların sonuçlarında cürufu malzemenin en üstte olan bitki örtüsü katmanını dışında kullanılması uygun bulunmuştur.

Ducman ve Mladenovin yaptıkları çalışmada EAF Cürufundaki wüstit yapısının 700-800°C aralıkta magnetite dönüştüğünü ve bu dönüşüm olayının tek yönde olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmaya göre dönüşüm olayından sonra cürufun refrakter malzemesi olarak 1000°C sıcaklığa kadar kullanılmasında bir sakınca olmadığını belirtmişlerdir (Okochi ve ark., 2011).

Atığın düzenli olarak depolanacağı sahaların üst örtü katmanında, çelik üretim sonucunda açığa çıkan cürufun kullanılması ile ilgili birçok çalışma yapılmaktadır. Bununla ilgili olarak İsveç'te bulunan bir tesiste, atığın düzenli olarak depolanma sahasının kapatılması için çok yüksek miktarda mineral malzemelere ihtiyaç duyulmuştur. Bu malzemenin doğal kaynaklardan kullanılması durumunda maliyet açısından olumsuz bir durum oluşturacağından, EAF ve Pota cürufunun bu işlem için uygun olup olmadığı araştırılmıştır. Çalışmada 4 değişik EAF Cürufu kaynağı ile Pota Cürufunun kullanılma imkanı araştırılmıştır. Cürufuların tane boyutunun farklı olduğu

belirtilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda 16-32 mm aralıktaki cürufun drenaj katmanında kullanıma uygun olduğu ve 16-32 mm'den daha ince olan cürufun geçirimsiz katmanlarda kullanıma uygun olduğu belirtilmiştir (Andreas ve ark., 2005).

Bakharev ve ark. (1999) Avusturya granüle yüksek fırın cüruf çimentosuna sodyum hidroksit, sodyum karbonat ve sodyum silikat solüsyonunu aktivatör olarak kullanımı üzerinde çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda sodyum silikat solüsyonuyla en iyi dayanım değerleri alınmıştır. Ancak büzülme özelliği göz önüne alındığında sodyum karbonatın kullanılmasını önermişlerdir. Ayrıca ısı işlem olayının dayanımı hızlandırdığı ifade edilmiştir. Ancak daha sonraki zamanlarda oda sıcaklığında kür edilen betonların basınç dayanımı değerlerinin daha fazla olduğu belirtilmiştir.

Collins ve Sanjayan (1999) yılında yaptıkları çalışmada normal kür sıcaklığında, normal portland çimentosu kullanarak hazırladıkları betonun 24 saatlik dayanım değeriyle aynı değerde olacak şekilde ve bağlayıcı malzeme olarak alkalilerle aktive edilen yüksek fırın cürufu ihtiva eden betonu incelemişlerdir. İki aktivatör tipini (sodyum hidroksit, sodyum karbonat) ve sönmüş kireçle beraber sodyum silikatu kullanmışlardır. Yapılan karışım taze halde iken çökme, hava muhtevası, akma değeri gibi özellikler ile alkalilerle aktive edilen betonların mekanik özelliğini incelemişlerdir ve normal portland çimentosu ile üretilen betonlarla karşılaştırılmıştır. Alkali aktive edilen cürufu betonların düşük erken dayanım problemine katkı sağlayacağı belirlenmiştir. Alkali aktive edilen cürufu betonun basınç dayanımı değeri, tüm kür sürelerinde portland çimentosuyla üretilen betonların basınç dayanım değerinden daha iyi sonuca sahip olduğu belirlenmiştir.

J.J. Change ve ark. (2006) yaptıkları çalışmada EAF Cürufunun geçirimli betonda agrega formunda kullanımını konusunda araştırmalar yapmışlardır. Alkali aktive edilen yüksek fırın cürufuyla birlikte iki tip havada soğutulan EAF Cürufalarını kaba agreganın yerine kullanmışlardır. Bu şekilde üretilen geçirimli betonun basınç dayanımının 35 MPa değerlerine ulaştığı belirtilmiştir.

Sakulich ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada granüle yüksek fırın cürufu ve kireçtaşını geopolimerin hammaddesi görevinde, NaOH ve Na₂CO₃'ü ise aktivatör görevinde kullanmışlar. Çalışma sonucunda oda sıcaklığında kür edilen ince agrega içeren beton numunelerinin basınç dayanımının 45 MPa olduğunu ve 24 saatlik kür

sonucunda 2,5 MPa, 28 gün kür süresinden sonra ise eğilme mukavemetinin 4 MPa olduğunu belirtmişlerdir. 25 dakikalık kür süresinde ve %20 NaCl kullanılması sonucunda en iyi basınç dayanım değerini tespit etmişlerdir.

Fernandez ve Palomo (2005) alkali aktivatör olarak sodyum hidroksit ve sodyum silikatu kullandıkları çalışmalarında uçucu külü aktive ederek 90 MPa civarında basınç dayanımı elde etmişlerdir.

Arribas ve ark. (2015) çalışmalarında beton karışımında doğal agrega yerine EAF Cürufunu kullanmışlar. EAF Cürufunun kullanılmasıyla betonun yoğunluğunda %5 ile %20 aralığında artış gösterdiğini belirtmişlerdir. Çalışma sonunda EAF Cürufunun kullanılmasıyla üretilen betonun cüruf-çimento hamurunun ara yüzey bölgesinin, doğal agrega kullanılmasıyla üretilen çimento hamuru-doğal agrega ara yüzey bölgesinden daha iyi durumda olduğu belirtilmiştir. Ayrıca bu durumun betonun mekanik özellikleri üzerinde pozitif bir yansımalarının olduğunu belirtmişlerdir.

Sumaya ve ark. (2016) çalışmalarında beton agregası olarak EAF Cürufunun kullanılıp kullanılmayacağını araştırmışlardır. Çalışma sonunda EAF Cürufunun fiziksel özelliklerinin doğal agregadan daha iyi bir değerde olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca betonda doğal agrega yerine EAF Cürufunun kullanılmasında betonun özelliklerinde bir gelişme olduğunu ve çevrenin korunmasında katkı sağlayacağını belirtmişlerdir.

Krizan ve Zivanovic (2002) yılında yaptıkları çalışmada sodyum silikat kullanılarak alkali aktive edilen ve 0,6 ile 1,5 aralığında bir n modülünde, portland çimentosuna göre yüksek fırın cürufu ihtiva eden çimento son mukavemetinde daha iyi değerlerin elde edildiğini belirtmişlerdir.

Jimenez ve ark. (1999) alkali aktivatörün granüle yüksek fırın cürufunun aktivasyonu için çok önemli bir yapı olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda tespit ettikleri mukavemet değerlerine göre karışımda kullandıkları aktivatör malzemesinin sıralamasını $Na_2SiO_3+NaOH > Na_2CO_3 > NaOH$ olarak bildirmişlerdir.

Wang ve ark. (1995) çalışmalarında alkalilerle aktive edilen öğütülmüş yüksek fırın cürufu içeren çimento ve beton karışımları üzerinde inceleme yapmışlardır. Aktivasyon işleminin cam suyu (sodyum silikat) ile yapılması sonucunda çok hızlı sertleşmenin olduğunu ve basınç mukavemetlerinde yüksek değerlerin elde edildiğini bildirmişlerdir.

Bakharev ve ark. (2001) alkali aktive edilmiş granüle yüksek fırın cürufu içeren betonların karbonatlaşma olayına gösterdiği dayanıklılığı belirleyebilmek için çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda alkali aktive edilen cürufllu betonların karbonatlaşma olayına karşı gösterdikleri dayanıklılığın, normal portland çimento içeren betonlara oranla daha az bir değerde olduğu belirtilmiştir. Yine aynı çalışmaya göre alkali aktive edilmiş cürufllu betonların mukavemet kayıpları ve karbonatlaşma derinliklerinin de daha az bir değerde olduğunu bildirmişlerdir.

Bakharev ve ark. (2003) çalışmalarında alkalilerle aktive edilen granüle yüksek fırın cüruf katkılı betonun asit ortamında durabilitelerini incelemişlerdir. Çalışma sonunda alkalilerle aktive edilen cüruf katkılı betonlar normal portland çimentosu betonuna göre daha yüksek durabilitesinin olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca asit atağının sonucunda oluşan bozulma mekanizması da C-S-H jelinin ayrışması ve çözülebilen kalsiyum asetat tuzunun gelişmesi biçiminde ortaya çıkmaktadır.

Alkali aktive edilen cüruf katkılı beton özelliklerinin, normal portland çimentolu beton özelliklerine göre çok sayıda üstün yanlarının olmasına rağmen, alkali aktive edilen cüruf katkılı betonların işlenebilirliğinin az olması ve rötre değerinin fazla olması bazı uygulamaların yapılmasını engellemektedir. Bakharev ve ark. (2000) buna benzer problemleri çözebilmek amacıyla normal portland çimentolarında kullanılan bazı kimyasal katkıları, alkali aktive edilen granüle yüksek fırın cürufllu betonlarda kullanmışlardır. Çalışmalarında kullanılan cürufun ağırlığının %6'sı miktarında alçı, hava sürükleyici ve rötre azaltıcı kimyasal katkı maddelerinin rötreyi azalttığını ve işlenebilirliği de daha fazla arttırdıklarını belirtmişlerdir.

Bakharev ve ark. (2002) alkali aktive edilen granüle yüksek fırın cüruf katkılı betonun sülfata karşı dayanıklılığını belirlemek amacıyla çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında cüruf katkılı ve normal portland çimentolu numuneleri %5 magnezyum sülfat ve %5 sodyum sülfat çözeltilerinin içerisinde bir yıl boyunca bırakmışlardır. Bir yıl sonunda numunelerin mikro yapısal değişikliği ve basınç mukavemet değerlerinin değişimini incelemişlerdir. Çalışma sonucuna göre sodyum sülfat çözeltisinde bekletilen alkali aktive edilen cüruf katkılı numunelerde yaklaşık olarak %17 oranında mukavemet kaybı olurken, normal portland çimentolu numunelerde yaklaşık olarak %25 oranında mukavemet kaybının olduğu belirtilmiştir. Ayrıca magnezyum sülfat çözeltisinde bekletilen alkali aktive edilen cüruf katkılı numunelerde yaklaşık olarak %23 oranında

mukavemet kaybı olurken normal portland çimentolu numunelerde %37 oranında mukavemet kaybının olduğu belirtilmiştir. Sülfat atağı olayında normal portland çimentolu betonda etenjit ve alçı üründen dolayı, alkali aktive edilen cüruf katkılı betonda ise sadece alçı üründen dolayı bozulmanın olduğu belirtilmiştir.

Bougara ve ark. (2009) çalışmalarında düşük reaktivite gösteren yüksek fırın cürufunu (Cezayir cürufu) incelemişlerdir. Cezayir cürufu; mekanik yöntemle 250, 360 ve 420 m²/kg blaine yüzey alanı olacak biçimde öğütülmüştür. Cüruf 20, 40 ve 60°C sıcaklıklarda kür edilmesiyle termal olarak ve NaOH ile KOH alkalilerinin farklı konsantrasyonlarıyla karıştırılması ile kimyasal yöntem olmak üzere üç farklı yöntemle aktivasyon işlemini yapmışlardır. Beton numunelerin 1, 3, 7, 28 ve 90 gün sonraki basınç dayanımları ölçülmüştür. Numunelere uygulanan üç yöntemde de cürufun reaktivitesinde iyileşme olduğu gözlemlenmiştir. Cürufun inceliğinin artmasına bağlı olarak dayanımda da artış olduğu belirtilmiştir. Alkali aktive edilen cürufun dayanımının arttığı ancak kontrol numunesine göre daha düşük değerde olduğu belirtilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Giriş

Bu kısımda EAF Cürufunun alkalilerle aktive edilmesi sonucu üretilen beton karışımında kullanılan malzemeler ve özellikleri anlatılmıştır. Ayrıca üretilen numunelerin mekanik ve geçirimsizlik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan deney yöntemleri anlatılmıştır. Numunelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için aşınma dirençleri, yarmada çekme dayanımları ile basınç dayanımları üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Geçirimsizlik özelliklerinin belirlenmesi için basınçlı su geçirimsizlik değeri, kılcal su emme değerleri, su emme oranları, gaz geçirimsizlikleri ve hızlı klor geçirimsizlikleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

3.2. Çalışmada Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

3.2.1. EAF Cürufu ve Özellikleri

Bu çalışmadaki TOSÇELİK A.Ş.'ye ait Osmaniye demir çelik tesislerinde yan ürün olarak ortaya çıkan elektrik ark fırın cürufu; çelik milli öğütücülerden geçirilerek öğütülmüş ve öğütüldükten sonra manyetik seperatörler kullanılarak metaller ürün içerisinden ayrıştırıldıktan sonra kullanılmıştır. EAF Cürufuna ait yoğunluk $3,57 \text{ gr/cm}^3$ olarak bulunmuştur. EAF Cürufunun kimyasal özellikleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. EAF Cürufuna ait kimyasal analiz sonuçları

Oksitler(%)	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	K ₂ O	TiO ₂	Na ₂ O
Cüruf	13,72	16,52	16,54	31,33	11,57	7,62	2,45	0,03	0,04	0,18

3.2.2. Portland Çimento ve Özellikleri

Bu çalışmada Kipas Holdinge bağlı KÇS Çimento tarafından üretilen TS EN 197-1:2000 standartları ile uyumlu Normal (CEM I 42,5 R) Portland Çimentosu bağlayıcı

malzeme olarak kullanılmıştır. Çimentonun başlangıç priz süresi 200 dk. iken priz bitiş süresi 240 dakikadır. Çimentonun özgül ağırlığı 3.15 gr/cm^3 ve blaine yüzeyi ise $3880 \text{ cm}^2/\text{gr}$ 'dir.

3.2.3. Agregada ve Özellikleri

Çalışmada İskenderun ilçesinde bulunan taş ocaklarından elde edilen kireçtaş orijinli ve maksimum tane çapı 22 mm olan agregada kullanılmıştır. Karışımda, 0-4 mm tane çapına sahip agregadan ağırlıkça %45 oranında, 4-12 mm tane çapına sahip agregadan ağırlıkça %20 oranında ve 12-22 mm tane çapına sahip agregadan da ağırlıkça %35 oranında agregada kullanılmıştır. Aynı zamanda karışımda kullanılan 0-4 mm tane çapına sahip agreganın yoğunluğu $2,65 \text{ gr/cm}^3$, 4-12 mm tane çapına sahip agreganın yoğunluğu $2,67 \text{ gr/cm}^3$ ve 12-22 mm tane çapına sahip agreganın yoğunluğu ise $2,71 \text{ gr/cm}^3$ 'tür.

Çizelge 3.2.'de karışımda kullanılan agreganın ve TS 706 standartının sınır değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.2. Karışımdaki agregada granülometrisi ve TS 706 standart sınırı

Elek boyutu (mm)	Elekten geçen (%)				
	İnce agr.	Orta agr.	İri agr.	TS 706 (Üst sınır)	TS 706 (Alt sınır)
31,5	100	100	100	100	100
16	100	100	44,32	86	73
8	100	81,83	1,38	71	54
4	93,95	27,19	0,49	57	38
2	38,74	4,05	0,22	42	24
1	26,33	2,81	0,20	32	17
0,5	19,52	1,82	0,20	22	10
0,25	11,28	0,98	0,20	15	6

3.2.4. Su ve Özellikleri

Bu çalışmada üretilen beton karışımında ve kür edilmesinde İskenderun ilçesinin şebeke suyu kullanılmıştır. Yapılan araştırmalarda içilebilen su karışım suyu olarak ifade edilebilmektedir.

3.2.5. Akışkanlaştırıcı ve Özellikleri

Karışımlarda kullanılan katkı TS-EN 934-2'ye uygun olup katkı BASF firmasına ait Glenium 51 yüksek oranda su azaltıcı-hiper akışkanlaştırıcıdır. Üretilen karışımlarda 18 ± 2 çökme (slump) değeri alınmıştır. Akışkanlaştırıcı malzemenin özellikleri Çizelge 3.3.'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Akışkanlaştırıcı malzeme özellikleri

Malzemenin Yapısı	Polikarboksilik Eter Esası
Renk	Opak
Yoğunluk	1,063-1,103 kg/lt
Klor İçeriği	<0,1
Alkali İçeriği	<3

3.2.6. Sodyum Silikat (Na_2SiO_3) ve Özellikleri

Sodyum silikat aynı zamanda cam suyu olarak da isimlendirilmektedir. Sodyum silikatın molekül formülü Na_2SiO_3 şeklindedir. Sodyum silikatın çözeltisi kuvvetli alkalilerdendir. Sodyum silikat genellikle endüstri alanında; temizlik malzemelerinin üretiminde, tekstil sanayisinde, kağıt üretiminde, seramik sanayisinde, mürekkep üretiminde, otomotiv sektörü gibi yerlerde kendine kullanım alanı bulmaktadır.

Bu çalışmada EAF Cürufunu aktive edebilmek için cam suyu olarak da adlandırılan sodyum silikat (cam suyu) kullanılmıştır. Bereket Kimya firmasından alınan sodyum silikatın içerisinde %9,25 Na_2O , %27,97 SiO_2 ve %62,78 su olduğu belirtilmiştir. Ayrıca sodyum silikatın yoğunluğu $1,38 \text{ gr/cm}^3$ 'tür.

Beton üretiminde kullanılan sodyum silikat malzemesinin diğer özellikleri Çizelge 3.4.'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Sodyum silikat özellikleri

Kimyasal Özellikler	Analiz Sonuçları (%)
Görünüş	Renksiz ve kıvamlı sıvı
Ağırlıkça modül ($\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$)	3,19
Moleküler modül ($\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$)	3,30
Be (20°C'de)	39,40
Yoğunluk (20°C'de)	1,38
Na_2O (%)	9,25
SiO_2 (%)	27,97
Viskozite (20°C'de)	20

3.2.7. Sodyum Hidroksit (NaOH) ve Özellikleri

Sodyum hidroksit aynı zamanda kostik soda olarak da adlandırılmaktadır. Sodyum hidroksit (kostik soda) çok kuvvetli bazlar arasında yer almaktadır. Sodyum hidroksitin molekül formülü NaOH şeklindedir. Sodyum hidroksitin katı ve beyaz renkli bir malzemedir. Sodyum hidroksit suda çok iyi çözünen bir malzemedir. Sodyum hidroksit suda çözünürken çok yüksek miktarda ısı açığa çıkarmaktadır. Çözünme esnasında açığa çıkan ısının artması ile birlikte NaOH konsantrasyonunda da artış olmaktadır.

Bu çalışmada EAF Cürufunu aktive edebilmek ve karışımdaki sodyum konsantrasyonunu düzenlemek amacı ile sodyum hidroksit kullanılmıştır. Sodyum hidroksitin kimyasal özellikleri Çizelge 3.5.'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Sodyum hidroksit özellikleri

Kimyasal Özellikler	Birim	Analiz Sonuçları (%)
Toplam Baziklik (NaOH)	g/kg	≥ 990
Sodyum Karbonat (Na ₂ CO ₃)	g/kg	≤ 4
Sodyum Sülfat (Na ₂ SO ₄)	mg/kg	≤ 80
Sodyum Klorür (NaCl)	mg/kg	≤ 200
Demir (Fe)	mg/kg	≤ 10
Civa (Hg)	mg/kg	≤ 0,1
Arsenik (As)	mg/kg	≤ 1
Kadmiyum (Cd)	mg/kg	≤ 1
Krom (Cr)	mg/kg	≤ 1
Kurşun (Pb)	mg/kg	≤ 0,5
Antimon (Sb)	mg/kg	≤ 5
Selenyum (Se)	mg/kg	≤ 5
Nikel (Ni)	mg/kg	≤ 2

3.3. Beton Tasarım Parametreleri ve Üretimi

3.3.1. Beton Tasarım Parametreleri

Bu çalışmada hazırlanan karışımlarda su/bağlayıcı oranı 0,4 ve çimento dozajı 400 kg/m³ olarak sabit tutulmuştur. Elektrik Ark Fırını Cürufu çimento yerine ağırlıkça %10, %20, %30 oranlarında yer değiştirilmiştir. Karışımlarda üç farklı sodyum konsantrasyonu (%4, %6, %8) ile karışım hazırlanmıştır. EAFC içermeyen şahit numune hariç diğer karışımlarda silikat modülü 1 ve 2'dir. Silikat modülü (K1-K9) karışımları için 1 olarak alınırken, (K10-K18) karışımları için de 2 olarak alınmıştır.

Ayrıca çalışmada K19 olarak adlandırılan şahit numune için silikat modülü, sodyum konsantrasyonu ve ikame oranı 0 olarak alınmıştır.

Üretilen beton karışımların tasarım parametreleri Çizelge 3.6.'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Tasarım Parametreleri

Karışım Adı	Dozaj (kg)	Silikat Modülü	Sodyum Konsantrasyonu	İkame Oranı (%)	Su/Bağlayıcı Oranı (%)
K1	400	1	4	10	0,40
K2	400	1	4	20	0,40
K3	400	1	4	30	0,40
K4	400	1	6	10	0,40
K5	400	1	6	20	0,40
K6	400	1	6	30	0,40
K7	400	1	8	10	0,40
K8	400	1	8	20	0,40
K9	400	1	8	30	0,40
K10	400	2	4	10	0,40
K11	400	2	4	20	0,40
K12	400	2	4	30	0,40
K13	400	2	6	10	0,40
K14	400	2	6	20	0,40
K15	400	2	6	30	0,40
K16	400	2	8	10	0,40
K17	400	2	8	20	0,40
K18	400	2	8	30	0,40
K19	400	0	0	0	0,40

K1 ile adlandırılan karışım silikat modülü değerinin 1, sodyum konsantrasyon değerinin 4, normal portland çimentosu yerine ağırlıkça %10 EAF Cürufu temsil etmektedir. Allaki aktive edilen EAF Cürufu numuneleri (K1-K18) çalışmada normal portland çimentolu şahit numune (K19) ile karşılaştırılmıştır.

1 m³ beton üretimi için gerekli olan malzeme miktarları Çizelge 3.7.'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. 1 m³ beton üretimi için gerekli olan malzeme miktarları (kg)

Karışım Adı	P.Ç (kg)	EAFÇ (kg)	Su (kg)	Sodyum Silikat(kg)	Sodyum Hidroksit(kg)	0-4 mm Agrega(kg)	4-12 mm Agrega(kg)	12-22 mm Agrega(kg)
K1	360	40	155,16	7,71	2,53	816,28	365,53	649,26
K2	320	80	150,32	15,42	5,05	818,06	366,33	650,67
K3	280	120	145,48	23,13	7,57	819,84	367,12	652,09
K4	360	40	152,74	11,57	3,79	816,28	365,53	649,26
K5	320	80	145,48	23,13	7,58	818,06	366,33	650,67
K6	280	120	138,22	34,70	11,36	819,84	367,12	652,09
K7	360	40	150,32	15,420	5,05	816,28	365,53	649,26
K8	320	80	140,64	30,84	10,10	818,06	366,33	650,67
K9	280	120	130,96	46,26	15,15	819,84	367,12	652,09
K10	360	40	150,32	15,42	2,27	816,28	365,53	649,26
K11	320	80	140,64	30,84	4,54	818,06	366,33	650,67
K12	280	120	130,96	46,26	6,80	819,84	367,12	652,09
K13	360	40	145,48	23,13	3,40	816,28	365,53	649,26
K14	320	80	130,96	46,26	6,80	818,06	366,33	650,67
K15	280	120	116,44	69,39	10,21	819,84	367,12	652,09
K16	360	40	140,64	30,84	4,54	816,28	365,53	649,26
K17	320	80	121,28	61,68	9,07	818,06	366,33	650,67
K18	280	120	101,91	92,52	13,61	819,84	367,12	652,09
K19	400	0	160,00	0	0	814,50	364,73	647,84

3.3.2. Beton Üretimi

Bu çalışmadaki beton üretimi düşey paletli ve 56 litre kova hacmine sahip betonyer (Şekil 3.1.) kullanılarak yapılmıştır. Her bir beton üretimi 35 dm³'lük

hacimlerde yapılmıştır. Beton üretiminde kullanılacak agrega, EAF Cürufu, P.Ç., sodyum silikat, sodyum hidroksit ve su hassas elektronik terazi kullanılarak tartılmıştır. Beton üretimine başlanmadan önce betonun içi nemlendirilmiştir. Beton üretimi yapılırken önce 0-4 mm, 4-12 mm ve 12-22 mm tane çapına sahip agregalar betonun içerisinde kuru olarak karıştırılmıştır. Bu karışımın üzerine E.A.F. Cürufu ve P.Ç. eklenerek aynı şekilde kuru karışım yapılmıştır. Kuru karışım işlemi tamamlandıktan sonra karışım suyu betonun içerisindeki malzemelerin üzerine ilave edilip bir miktar daha karıştırma işlemi yapılmıştır ve beton üretimi tamamlanmıştır. Beton üretim aşamasında K18 olarak adlandırılan karışım kalıplara yerleştirilmeden çok hızlı bir şekilde sertleşmeye ve işlenebilirlik kaybına başlamıştır. Üretim birkaç defa denenmesine rağmen yine aynı şekilde sertleşme olmuştur. Deney için belirlenen parametrelerin değiştirilmemesi ve diğer karışımların hepsinin üretimi tamamlandığı için K18 karışımı üretilmemiştir.



Şekil 3.1. 56 litre kapasiteli betonyer ve bazı deney karışım malzemeleri

Üretilen beton 150x150x150 mm küp, 100x100x100 mm küp, 100x200 mm (silindir) ve 150x300 mm (silindir) ebatlara sahip kalıplara yerleştirilmiştir. Yerleştirme işleminin iyi olabilmesi için kalıplar elektrikli vibrasyon üzerinde bir süre bekletilmiştir.

Hazırlanan beton karışımı yarmada çekme dayanımı, basınçlı su geçirimsizlik ve test çekici deneyleri için 150x150x150 mm ebatlarındaki kalıplara, basınç dayanımı, aşınma direnci, ultrasonik dalga hızı, kapiler su emme ve su emme deneyleri için 100x100x100 mm ebatlarındaki kalıplara, hızlı klor geçirimsizliği deneyi için 100x200

mm. (silindir) ebatlarındaki kalıplara ve gaz geçirimsizlik deneyi için de 150x300 mm (silindir) ebatlarındaki kalıplara yerleştirilmiştir. Beton numuneler döküm işleminden 24 saat geçtikten sonra kalıplardan çıkartılmıştır ve su tankının içinde 28 gün süresince kür edilmiştir.

3.4. Deneysel Yöntemler

3.4.1. Giriş

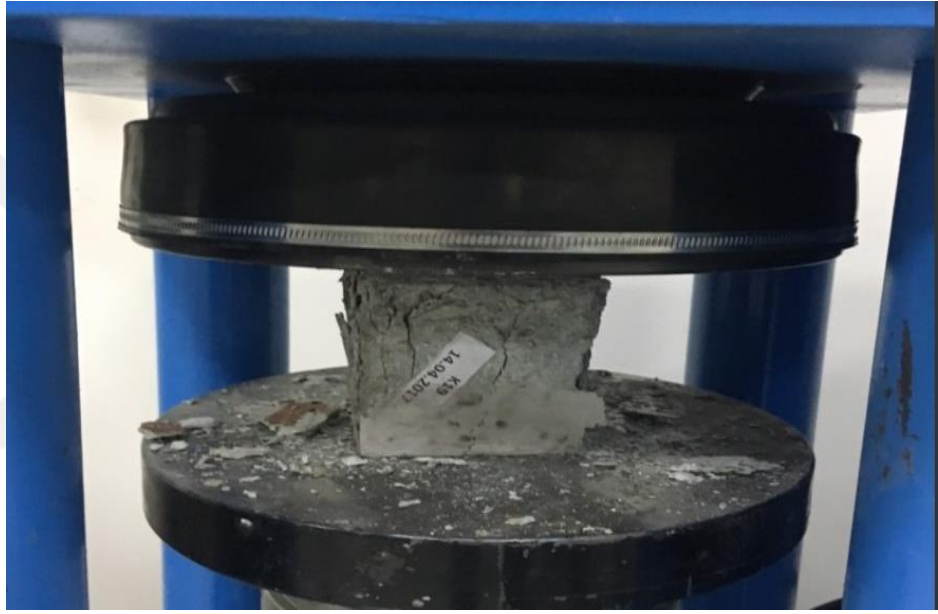
Üretilen beton numunelerin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla sertleşmiş beton numuneler üzerinde bazı deneyler yapılmıştır. Sertleşmiş beton deneyleri ve numunelerin boyutları Çizelge 3.8.'de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Sertleşmiş beton deneyleri ve numune boyutları

Deneyler	Numune Boyutları
Yarmada Çekme Dayanımı	150x150x150 mm
Basıncılı Su Geçirimsizliği	150x150x150 mm
Test Çekici	150x150x150 mm
Basınç Dayanımı	100x100x100 mm
Aşınma Direnci	100x100x100 mm
Ultrasonik Dalga Hızı	100x100x100 mm
Kapiler Su Emme	100x100x100 mm
Su Emme	100x100x100 mm
Hızlı Klor Geçirimsizliği	50x100 mm (silindir)
Gaz Geçirimsizliği	50x150 mm (silindir)

3.4.2. Basınç Dayanım Deneyi

Çalışmadaki beton numunesinin basınç dayanım değerinin elde edilmesinde ASTM C39 standartından yararlanılmıştır. Beton basınç değerinin belirlenebilmesi için 100x100x100 mm boyutundaki küp numuneler kullanılmıştır. Beton numunelerinin basınç dayanım değeri bulunurken 3 kN/s sabit yükleme hızı kullanılmıştır. Beton numune kırıldıktan sonra ekrandan okunan en büyük yük değeri alınmıştır. Beton basınç dayanımı değerinin bulunmasında Şekil 3.2.'deki düzenek kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Beton basınç dayanım deney düzeneği

Beton numunenin basınç dayanımı, Denklem 3.1.'e göre hesaplanmıştır.

$$\sigma = P/A \quad (3.1)$$

Denklemde,

σ : Beton basınç dayanımı (MPa),

P: Betonun kırılması sonrası okunan en büyük değer,

A: Beton numunesinin en kesit alanı (mm²), ifade etmektedir.

Beton basınç dayanım değerinin bulunmasında hazırlanan üç adet numune üzerinde kırım işlemi yapılmıştır. Kırılma sonrasında elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak beton numunenin basınç dayanım değeri belirlenmiştir.

Yükün aksenal bir şekilde uygulanması sonucunda beton numunesinin taşıyabileceği en büyük gerilme değeri beton basınç dayanım değeri olarak tarif edilebilir. Betondaki bu dayanım değeri zamana bağlı olarak artış gösterebilen bir fonksiyondur. Bu dayanım değerinin artması uzun bir zaman devam edebilmektedir. Betondaki dayanım değerindeki artış ilk zamanlarda hızlı bir şekilde olurken ilerleyen zamanlarda daha yavaş olmaktadır. Beton basınç dayanımında standart olarak 28 günlük süre esas alınmaktadır.

Betonda kendi dışındaki mekanik özelliklere direkt etki eden en önemli parametre betonun basınç dayanım değeridir. Bu yüzden betonların sınıflandırılmasında ve isimlendirilmesinde beton basınç dayanım değeri esas alınmaktadır (Yıldırım, 2008).

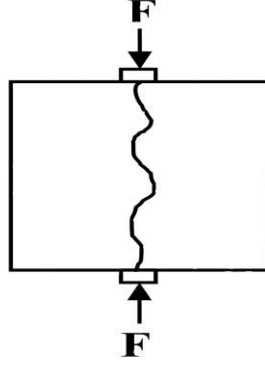
Betonda basınç dayanım mekanik özellikler içinde en önemli olanıdır. Buna bağlı olarak betonda basınç dayanımının artmasıyla betonun diğer özelliklerinde de olumlu bir gelişme olmaktadır. Bu yüzden betonun basınç dayanım değerinin belirlenmesi sonucunda beton hakkında kapsamlı fikir sahibi olunabilir. Beton basınç dayanım değerine etki eden bazı etmenler şöyle sıralanabilir:

- 1-Beton numunesinin yaşı,
- 2-Beton numunesinin saklanma şekli,
- 3- Beton numunesinin boyutları,
- 4- Beton numunesinin yerleştirilme şekli,
- 5- Beton numunesine uygulanan yükleme hızı (Özkul ve ark., 1999).

3.4.3. Yarmada Çekme Dayanım Deneyi

Çalışmada betonda yarmada çekme dayanımı 150x150x150 mm boyutundaki numuneler kullanılarak elde edilmiştir. Numuneler 28 günlük kür süresi bittikten sonra yarmada çekme dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Çalışmadaki beton numunesinin yarmada çekme dayanım değerinin elde edilmesinde ASTM C 496 standardından yararlanılmıştır.

Beton numunesine uygulanacak yayılı yük numunenin üst ve alt yüzeyine esnemeyen ince bir malzeme yerleştirilerek çizgisel yük şekline dönüştürülerek betonun yarmada çekme dayanım değeri belirlenmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Küp numune için yarmada çekme deneyi

$$f_{ct} = \frac{2F}{\pi \cdot a^2} \quad (3.2)$$

Burada, f_{ct} =Yarmada çekme dayanım değeri, a =Küp numunenin bir kenar uzunluğu, F =Uygulanan yük, ifade etmektedir.

Beton yarmada çekme dayanımı değerinin bulunmasında Şekil 3.4.'teki düzenek kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Beton yarmada çekme dayanım deney düzeneği

3.4.4. Basınçlı Su Geçirirlik Deneyi

Çalışmada betonun basınçlı su geçirirliği 150x150x150 mm boyutundaki küp numuneler kullanılarak elde edilmiştir. Numuneler 28 günlük kür süresi bittikten sonra basınçlı su geçirirlik deneyine tabi tutulmuştur. Çalışmadaki beton numunesinin basınçlı su geçirirlik değerinin elde edilmesinde TS EN 12390-8 standartından yararlanılmıştır. Uygulanacak basınçlı suyun dışarı sızmasını engellemek için beton numunelerin alt tarafına lastik conta yerleştirilirken, üst taraftan ise düzenekteki kol yardımıyla iyice sıkıştırılmıştır. Deneyde beton numuneler 5 bar basınç altında 72 ± 2 saat boyunca basınçlı su etkisine maruz bırakılmıştır. 72 saat sonra beton numuneler düzenekten çıkartılıp beton presinde yarılmıştır. Yarılan numunelerde suyun işleme derinlikleri dijital kumpas ile ölçülmüştür. Basınçlı su geçirirlik deney düzeneği Şekil 3.5.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Beton basınçlı su geçirirlik deney düzeneği

3.4.5. Aşınma Direnç Deneyi

Çalışmada betonun aşınma direnci 100x100x100 mm boyutundaki küp numuneler kullanılarak elde edilmiştir. Deneyde kullanılan numunelerin 28 günlük kür süreleri bittikten sonra TS 2824 EN 1338 standartına uygun geniş diskli aşınma deneyi

yapılmıştır. Deney sonucunda numunelerdeki aşınma değerinin hassas bir şekilde elde edilebilmesi için aşınma olan yüzeyde 3 adet okuma yapılmıştır. Aşınma direnç deney düzeneği Şekil 3.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Beton aşınma direnç deney düzeneği

Deney düzeneğindeki üst huniye aşındırma tozu doldurulmuştur. Numunede oluşabilecek aşınma miktarının hassas bir şekilde ölçülebilmesi için numunenin aşındırılacak yüzeyi boyanmıştır. Böylece aşınma miktarı daha net bir şekilde görülmüştür. Daha sonra numune, düzeneğe görülen disk ile temas edecek bir şekilde yerleştirilmiştir. Deney esnasında numunenin geriye kaymaması için numune arkadan düzenekteki kol ile sabitlenmiştir. Diskin dönme hızı saniyede 75 devir olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu işlemden sonra makine çalıştırılıp aşındırma işlemi başlatılmıştır. Disk saniyede 75 devir yaptıktan sonra makine durdurulmuştur ve numune düzenekten çıkartılmıştır.

Deney sonucunda numunede oluşan aşınma miktarı diskin döndüğü yöne dik doğrultuda (kısa kenar) ve 3 farklı noktadan dijital kumpas ile ölçülmüştür. Ölçülen bu değerlerin aritmetik ortalaması ile numunenin aşınma direnç değeri belirlenmiştir. Aşınma miktarı Denklem 3.3. bağıntısı ile belirlenmiştir.

$$l = \frac{l_1 + l_2 + l_3}{3} \quad (3.3)$$

Burada,

l =Aşınma direnç değeri, mm,

l_1 =en baştaki aşınma direnç değeri, mm,

l_2 = ortadaki aşınma direnç değeri, mm,

l_3 =sondaki aşınma direnç değeri, mm ifade etmektedir.

Aşınma direnç deneyine tabi tutulan beton numuneler Şekil 3.7.'de gösterilmektedir.



Şekli 3.7. Aşınma direnç deneyine tabi tutulan beton numuneler

3.4.6. Kapiler Su Emme Deneyi

Beton numunelerde mikron seviyelerinde de olsa kılcal boşlukların olması durumunda ve beton numunenin su ile temas etmesi sonucunda numune zamanla su emmeye başlar. Bu olaya çözüm bulunmadığında betonda rutubet olayı gibi istenmeyen olaylar olabilir. Beton kullanıldığı yere göre çeşitli su ve zarar veren kimyasal sıvılara temas edebilir. Betonun kapiler su emme değerinin bulunmasında Şekil 3.8.'daki düzenek kullanılmıştır.



Şekil 3.8. Beton kapiler su emme deney düzeneği

Çalışmada betonun kapiler su emme miktarı 100x100x100 mm boyutlarındaki numuneler kullanılarak belirlenmiştir. Numuneler 28 günlük kür süresi bittikten sonra kapiler su emme deneyine tabi tutulmuştur.

100x100x100 mm boyutundaki küp numuneler ilk önce 105°C'de ve 24 saat boyunca etüvde bırakılıp etüv kurusu haline getirilmiştir. 24 saat sonra numuneler etüvden çıkartılıp ortam sıcaklığına gelmeleri beklenmiştir. Ortam sıcaklığına gelen numunelerin deney esnasında yan yüzeylerinden de su almaması için yan yüzeyler parafinlenmiştir. Parafinlenen beton numunelerin ağırlıkları hassas elektronik terazi ile ölçülmüştür.

Şekil 3.8.'deki kap parafin seviyesinin altında kalacak şekilde su ile doldurulmuştur. Numunenin alt yüzeyinden su girişini engellemek için numuneler kap içerisinde bilyeler üzerine konulmuştur. Su içerisine bırakılan numunelerin 1., 4., 9.,... 361. dakikalar sonundaki su emme miktarları ölçülmüştür. Ölçüm işleminde numune 1. dakika sonunda sudan çıkartılıp etrafı kurulanmıştır. Kurulanan numunenin ağırlığı ölçülmüştür. Daha sonra 4. dakika sonundan 361. dakika sonuna kadar aynı işlemler uygulanmıştır. Belirtilen zamanlar için su emme miktarları (Q) hesap edilmiştir. Bu su miktarının, numunenin su ile temas eden kesit alanına bölünmesi ile elde edilen oran (Q/A) ile geçen sürelerin saniye (t) cinsinden değerlerinin karekökü arasında lineer bir ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Kurulan bu lineer ilişkideki eğim ile numunenin kılcal su emme katsayısı bulunmuştur.

Kılcal su emme katsayısı Denklem 3.4. ile hesaplanmıştır.

$$Q/A = K \cdot t \quad (3.4)$$

Burada,

Q=Numunenin emdiği su miktarı (cm³),

A=Numunenin suya temas eden kesit alanı (cm²),

t=Geçen süre (sn),

K=Numunenin kapilarite katsayıları (cm²/sn), ifade etmektedir.

3.4.7. Su Emme Deneyi

Çalışmada betonun su emme oranı 100x100x100 mm boyularındaki küp numuneler kullanılarak belirlenmiştir. Numunelerin 28 günlük kür süresi bittikten sonra su emme deneyine tabi tutulmuştur. Çalışmadaki beton numunesinin su emme oranı değerinin elde edilmesinde ASTM C 642 standardından yararlanılmıştır. ASTM C 642'ye göre numuneler kurutulmuştur ve bu numunelerin ağırlıkları ölçülmüştür. Ölçüm işlemi tamamlandıktan sonra numuneler 24 saat boyunca su tankında bırakılmıştır. 24 saat dolduktan sonra numunelerin doymun yüzey kuru ağırlıkları ölçülmüştür.

Beton numunelerin su emme değerleri (%) olarak gösterilmektedir. Su emme deneyinde de beton numune zarar görmeden deney yapılmaktadır. Betonun su emme değerinin bulunmasında Denklem 3.5.'daki bağıntı kullanılmıştır.

$$\text{Su Emme Oranı (\%)} = [(W_{dyk} - W_k) / (W_k)] \cdot 100 \quad (3.5)$$

Burada,

W_{dyk}=Numunenin doymun yüzey kuru ağırlığı, gr,

W_k = Numunenin Etüv kurusu ağırlığı, gr ifade etmektedir.

3.4.8. Gaz Geçirimsizlik Deneyi

Gaz geçirimsizlik deneyinde 150x300 mm boyutundaki silindir numuneler, 28 günlük kür süresi bittikten sonra 50 mm kalınlığında parçalar şeklinde kesilerek kullanılmıştır. Kesilen numunenin yeni boyutu 50x150 mm şeklinde olmuştur. Bu numuneler etüv kurusu haline gelen kadar etüvde bırakılmıştır. 50x150 mm boyutundaki numune Şekil 3.9.'da görülen kazanın içerisine yerleştirilmiştir ve kazanın kapağı kapatılıp vidalarla sabitlenmiştir. Kazanın içerisinden dışarıya hava kaçağını önlemek için kazan içerisindeki lastik yaklaşık olarak 6 bar kadar şişirilmiştir. Gaz miktarının ölçülebilmesi için kazana bağlı tüpün balonuna sabun köpüğü konulmuştur. Oksijen tüpünün basınç ayarı yaklaşık olarak 10 bar ayarlanıp tüp açılmıştır. Tüpün açılmasıyla numunelere gaz akışı olmaya başlamıştır. Gaz akışının başlamasıyla numunenin altından geçen gaz numunenin üstünden çıkıp tüpe doğru hareket etmiştir. Gazın etkisiyle tüpteki sabun köpüğü hareketinin sabitlenip önceden belirlenen mesafeyi geçiş süresi belirlenmiştir.



Şekil 3.9. Gaz geçirimsizlik deney düzeneği

Buradaki düzenekte tüpe gelen gazın debisi (Q) hesaplanmıştır. Hagen-Poiseuille bağıntısı ile beton numunenin gaz geçirimsizlik katsayısı (Ka), denklem (3.6), (3.7) ve (3.8) ile belirlenmiştir.

$$K_a = [(2 * Q * P_{atm} * L_f * \mu) / (A * (P^2 - P_{atm}^2))] * 100 \quad (3.6)$$

$$Q = (V_f) / (T_{son} - T_{ilk}) \quad (3.7)$$

$$V_f = S_f * L_f \quad (3.8)$$

Burada,

K_a = gaz geçirimsizlik katsayısı (m^2)

Q = tüpe gelen gazın debisi (m^3/sn)

P = numunelere uygulanan gazın basıncı (N/m^2)

P_{atm} = atmosferik basınç (N/m^2)

L_f = önceden belirlenen geçiş mesafesi (m)

μ = oksijen gazının viskozite katsayısı ($N * sn/m^2$)

A = numunenin kesit alanı (m^2)

V_f = tüpteki önceden belirlenen geçiş mesafesinin hacmi (m^3)

$T_{son} - T_{ilk}$ = sabun köpüğünün önceden belirlenen geçiş mesafesini geçme süresi (sn)

S_f = ölçme tüpünün en kesit alanını (m^2), ifade etmektedir.

3.4.9. Hızlı Klor Geçirimsizlik Deneyi

Hızlı klor geçirimsizlik deneyinde beton numunenin elektriksel iletkenliği ölçülmektedir. Çalışmada hızlı klor geçirimsizlik değerinin bulunmasında ASTM C 1202-97 standardından yararlanılmıştır. Hızlı klor geçirimsizlik deneyinde 100x200 mm boyutundaki silindir numuneler 28 günlük kür süresinden sonra 50 ± 2 mm kalınlığında parçalar şeklinde kesilerek kullanılmıştır. Kesilen numunelerin yeni boyutları 50x100 mm şeklinde olmuştur. 50x100 mm boyutundaki numuneler Şekil 3.10.'daki haznenin içerisine yerleştirilmiştir. Düzenek çalıştırılarak numuneler 3 saat süresince hava vakumuna maruz bırakılmıştır. Hava vakum işlemi bittikten sonra haznenin içerisine saf su doldurulmuştur. Düzenek yine çalıştırılarak 1 saat boyunca vakum işlemi uygulanmıştır. Vakum işleminden sonra düzenek kapatılıp numuneler su içerisinde

bekletilmiştir. Toplamda 18 saat su içerisinde bekletilen beton numunelerin hızlı klor geçirirmliliğinin ölçülmesi için numuneler Şekil 3.11.'deki düzeneğe bağlanmıştır. Düzenekte 2 tane hücre bulunmaktadır. Hücrelerden bir tanesine %3 oranında (30 gr NaCl + 970 gr saf su) saf suyla hazırlanan NaCl çözeltisi doldurulurken, diğer hücreye ise 0,3M (12 gr NaOH + 988 gr saf su) NaOH çözeltisi doldurulmuştur. Deney düzeneğinde potansiyel fark sabit 60 V olarak uygulanmıştır. Potansiyel farkın uygulanması sonucu 50x100 mm boyutundaki beton numuneden geçen elektrik akımın şiddetinin miktarı her yarım saatte bir düzenek tarafından ölçülmüştür. Ölçme işlemi 6 saat süresince yapılarak elektrik akımının miktarı Coulomb olarak alınmıştır.



Şekil 3.10. Vakum haznesi deney düzeneği



Şekil 3.11. Hızlı klor geçirirmlilik deney düzeneği

ASTM C 1202-97 standardına göre hızlı klor geçirimsizlik sınıfları belirlenmiştir. Bu sınıflar Çizelge 3.9.'da gösterilmiştir.

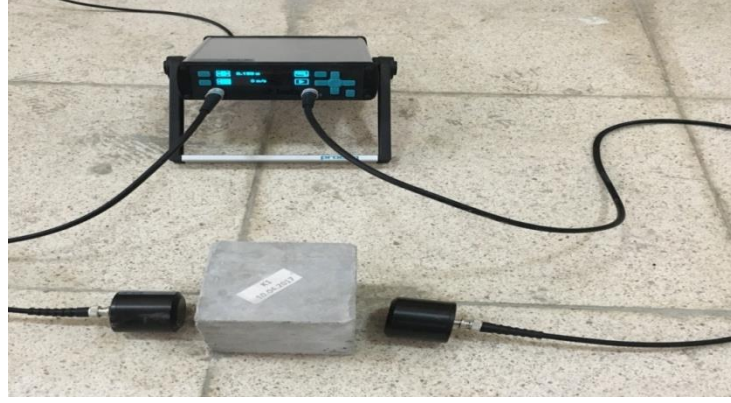
Çizelge 3.9. Klor iyon geçirimsizlik değerlerinin sınıflandırılması

Elektriksel Yük (coulomb)	Değerlendirildiği Sınıf
>4000	Yüksek
2000-4000	Orta
1000-2000	Düşük
100-1000	Çok Düşük
<100	İhmal Edilebilir

3.4.10. Ultrasonik Dalga (Ses) Hızı Deneyi

Çalışmada betonun ultrasonik dalga (ses) hızı 100x100x100 mm boyutundaki küp numuneler kullanılarak elde edilmiştir. Numuneler 28 günlük kür süresi bittikten sonra ultrasonik dalga (ses) hızı deneyine tabi tutulmuştur. Çalışmadaki beton numunesinin ultrasonik dalga (ses) hızı değerinin elde edilmesinde ASTM C 597-02 standartından yararlanılmıştır. Ultrasonik dalga (ses) hızı deneyi de beton numunelere zarar vermeyen bir yöntemdir. Ultrasonik dalga (ses) hızı deneyinde beton numunenin bir yüzünden gönderilen ses dalgasının diğer yüzeye ulaşma süresi ölçülmektedir.

Ses dalgasının hızı ile beton numunenin içerisindeki çatlak ve boşluklar ile ilgili bir bağıntı kurulabilir. Yine aynı şekilde betona gönderilen ultrasonik ses dalgası hızıyla betonun basınç dayanımı arasında bağıntı kurulabilir (Erdoğan, 2003). Ultrasonik dalga (ses) deney düzeneği Şekil 3.12.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Ultrasonik dalga (ses) deney düzeneği

Betonun kalitesinin belirlenmesi amacıyla Whitehurst (1951) tarafından ultrasonik dalga (ses) hızı aralıklarına göre sınıflandırma yapılmıştır. Bu sınıflandırma Çizelge 3.10.'da verilmiştir.

Çizelge 3.10. Ultrasonik dalga (ses) hızı aralıkları (Whitehurst, 1951)

Ses hızı (m/sn)	Beton Kalitesi
>4500	Mükemmel
3500-4500	İyi
3000-3500	Orta
2000-3000	Kötü
<2000	Çok Kötü

Ultrasonik ses dalga hızı Denklem 3.9. bağıntısından hesaplanabilir.

$$V = \left(\frac{S}{t}\right) * (10^6) \quad (3.9)$$

Burada;

V: Ultrasonik ses dalga hızı, m/s,

S: Beton numunenin yüzeyleri arasındaki mesafe, m,

t: Ultrasonik ses dalgasının gönderilmesi ile alınması arasında geçen süre, mikrosaniye, ifade etmektedir.

3.4.11. Test Çekici Deneyi

Beton test çekici deneyinde 150x150x150 mm boyutlarındaki numuneler kullanılmıştır. Numunelerin 28 günlük kür süresi bittikten sonra beton test çekici deneyine tabi tutulmuştur. Beton test çekici deneyi sertleşmiş betonun kalitesini betona zarar vermeden ölçme yöntemidir. Beton test çekici ile ölçüm yapılırken doğru sonucu alabilmek için vuruş anında alet, ölçüm yapılacak yüzeye 90° açı yapacak şekilde tutulmalıdır. Deneyde daha hassas sonuçlar elde edebilmek için her numunede 12 geri sıçrama okuması yapılmıştır. Bu okumaların en büyük ile en küçük değeri alınmamıştır. Geri kalan 10 adet değerlerin ortalaması alınarak basınç dayanımı değeri belirlenmiştir. Beton test çekici deney düzeneği Şekil 3.13.'te gösterilmektedir. Beton test çekici ile belirlenen basınç dayanım değeri Denklem 3.10 ile gösterilmiştir.

$$F=(a_1+\dots+a_{10})/10 \quad (3.10)$$

Burada,

F=Numunenin basınç dayanım değeri,

a_1 =1. Geri sıçrama okuması, ...

a_{10} =10. Geri sıçrama okuması, ifade etmektedir.



Şekil 3.13. Beton test çekici deney düzeneği

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Giriş

Bu bölümde, %4, %6 ve %8 olmak üzere üç farklı sodyum konsantrasyonu, 1 ile 2 silikat modülü ve %10, %20 ve %30 cüruf ikame oranına sahip numuneler ile EAF Cürufu içermeyen şahit beton numunesine ait deney sonuçları verilmektedir. Çalışmada, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, aşınma direnci, basınçlı su geçirimsizliği, ultrasonik dalga hızı, test çekici, kapiler su emme, su emme, hızlı klor geçirimsizliği ve gaz geçirimsizliği deneyleri yapılarak sonuçları yorumlanmıştır.

4.2. Basınç Dayanımı

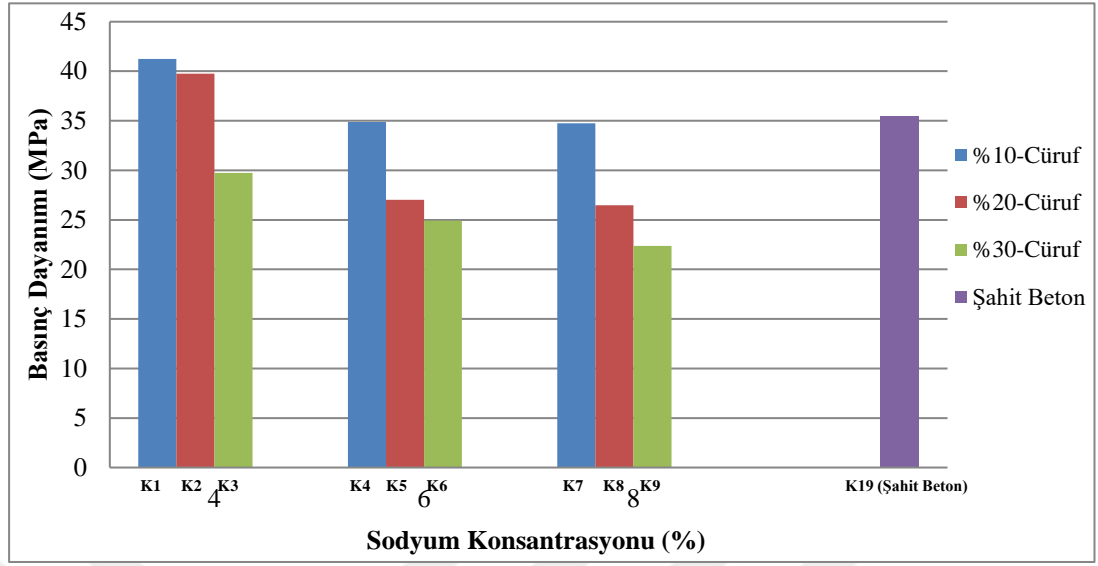
Betondaki basınç dayanım değeri zamana bağlı olarak artış gösterebilen bir fonksiyondur. Bu dayanım değerinin artması uzun bir zaman devam edebilmektedir. Betondaki dayanım değerindeki artış ilk zamanlarda hızlı bir şekilde olurken ilerleyen zamanlarda daha yavaş olmaktadır. Beton basınç dayanımında standart olarak 28 günlük süre esas alınmaktadır.

Çalışma kapsamında üretilen alkalilerle aktive edilen cüruf katkılı 100x100x100 mm boyutlarındaki küp numuneler ile cüruf ihtiva etmeyen normal portland çimentolu 100x100x100 mm boyutlarındaki küp numunelerin basınç dayanım deney sonuçları değerlendirilmiştir.

Beton basınç dayanımı deney sonuçları Çizelge 4.1.'de verilmiştir. Beton basınç dayanımı deney sonuçları silikat modülü-1 olan numuneler için Şekil 4.1.'de gösterilirken, silikat modülü-2 olan numuneler için Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Numunelerin 28 günlük basınç dayanımı deney sonuçları (MPa)

Karışım Adı	Basınç Dayanımı(MPa)	Silikat Modülü
K1	41,24	
K2	39,75	
K3	29,74	
K4	34,88	
K5	27,03	1
K6	24,93	
K7	34,76	
K8	26,46	
K9	22,36	
K10	31,32	
K11	30,13	
K12	26,82	
K13	29,80	
K14	24,58	2
K15	22,99	
K16	22,67	
K17	21,89	
K19 (Şahit Numune)	35,45	0



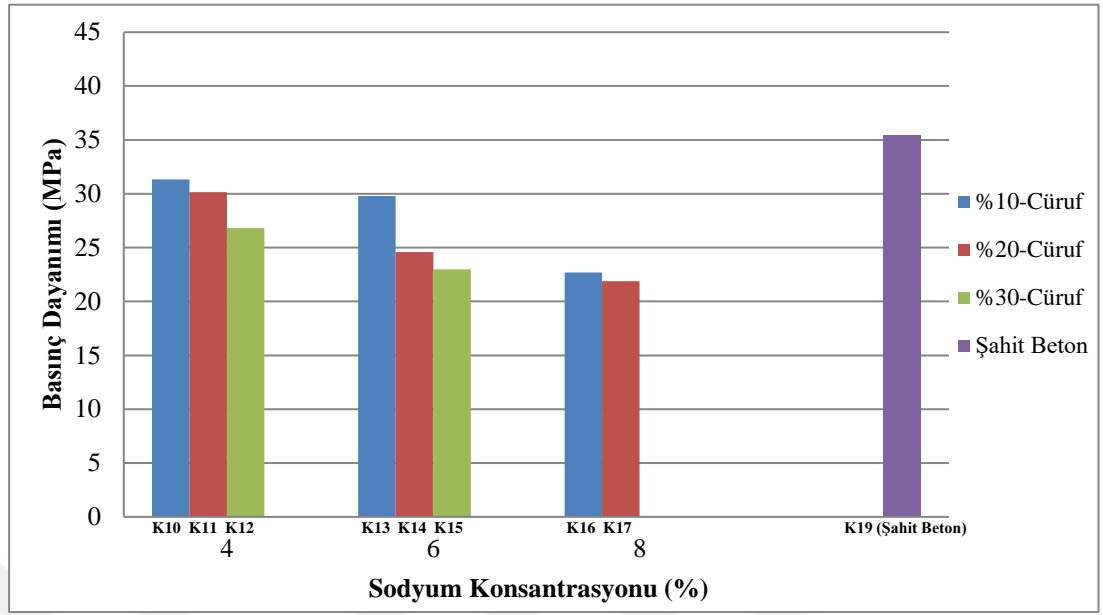
Şekil 4.1. Silikat modülü-1 olan numunelerin basınç dayanım değerleri (MPa)

Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1. incelendiğinde %10 EAF Cürufu ve %4 Sodyum (Na) konsantrasyonuna sahip K1 karışımının şahit numuneye göre yaklaşık olarak %16 daha fazla bir basınç dayanımı değeri verdiği görülmektedir. Yine %4 Sodyum (Na) konsantrasyonu sahip %20 EAF Cürufu içeren K2 numunesi şahit numuneye göre %12 daha fazla basınç dayanımı değerine ulaşmıştır.

Şekil 4.1. incelendiğinde sodyum konsantrasyonundaki artışın (%4-%8) dayanım üzerinde olumlu bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Sabit ikame oranı için numunelerin sodyum konsantrasyonundaki artış ile birlikte basınç dayanım değerlerinin düştüğü görülmektedir. Sabit sodyum konsantrasyonu için numunelerdeki EAF ikame oranındaki artış ile birlikte aynı şekilde basınç dayanım değerlerinde düşüş olduğu görülmektedir.

Basınç dayanımı deney sonuçlarına göre %4 Sodyum konsantrasyonu EAF Cürufunu aktive etmede yeterli olmuştur. %4 Sodyum konsantrasyonuna sahip numuneler (K1, K2) şahit betondan yüksek ya da yakın dayanım değerlerine ulaşmışlardır.

EAF Cürufu içeren numunelerin basınç dayanım değerleri 41,24-21,89 MPa arasında değerler almaktadır. En büyük dayanım değeri K1 karışımı ile elde edilmiştir, en düşük dayanım değeri ise K17 karışımı ile elde edilmiştir.



Şekil 4.2. Silikat modülü-2 olan numunelerin basınç dayanım değerleri (MPa)

Öztürk ve arkadaşları EAF Cürufu katkılı harçlar üzerine yaptıkları deneysel çalışmada %10 EAF Cüruf katkısı içeren harçların 28. günde kontrol numunesinin %92'si, %20 EAF içeren harçların ise kontrol numunesinin %82'si kadar bir basınç dayanımı geliştirdiklerini belirtmişlerdir. Bu çalışmada ise herhangi bir ısı kürüne tabi tutulmayan %4 sodyum konsantrasyonu ve 1 silika modülüne sahip %10 ve %20 EAF içeren numuneler şahit numunenin üstünde bir dayanım göstermiştir. Bu sonuçlar Öztürk ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışma ile birlikte değerlendirildiğinde EAF Cürufunun aktive edilebileceği görülmektedir (Öztürk ve ark. 2017).

Şekil 4.1. ile Şekil 4.2. incelendiğinde sabit bir sodyum konsantrasyonu ile sabit ikame oranında silikat modülünün artmasına bağlı olarak beton basınç dayanım değerlerinde azalmanın olduğu görülmektedir. Silikat modülünün 1'den 2'ye çıkmasının basınç dayanımı üzerinde olumsuz bir etki yaptığı görülmektedir.

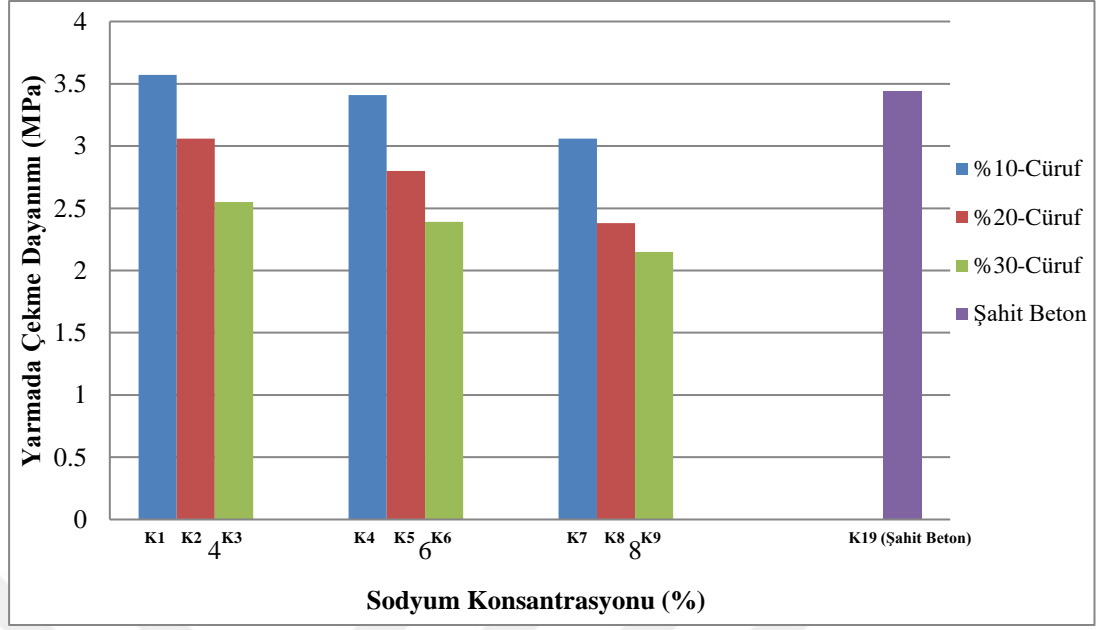
Krizan ve Zivanovic (2002) yılında yaptıkları çalışmada sodyum silikat kullanılarak alkali aktive edilen ve 0,6 ile 1,5 aralığında bir n modülünde, portland çimentosuna göre cüruf ihtiva eden çimento son mukavemetinde daha iyi değerlerin elde edildiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmadaki gibi farklı silika modülüne sahip (0,50, 0,75, 1.25, 1.5) aktivatörler kullanarak dayanım değerlerinde iyileştirme yapılabilir.

4.3. Yarmada Çekme Dayanımı

Çalışma kapsamında üretilen 150x150x150 mm boyutlarındaki küp numunelere ait yarmada çekme deneyinin sonuçları Çizelge 4.2.'de verilmektedir. Beton yarmada çekme deney sonuçlarını silikat modülü-1 olan numuneler için Şekil 4.3.'te gösterilirken, silikat modülü-2 olan numuneler için Şekil 4.4.'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Numunelerin 28 günlük yarmada çekme dayanımı sonuçları (MPa)

Karışım Adı	Yarmada Çekme D. (MPa)	Silikat Modülü
K1	3,57	
K2	3,06	
K3	2,55	
K4	3,41	
K5	2,80	1
K6	2,39	
K7	3,06	
K8	2,38	
K9	2,15	
K10	3,19	
K11	2,70	
K12	2,44	
K13	2,97	
K14	2,48	2
K15	2,24	
K16	2,69	
K17	2,35	
K19 (Şahit Numune)	3,44	0



Şekil 4.3. Silikat modülü-1 olan numunelerin yarmada çekme dayanım değerleri (MPa)

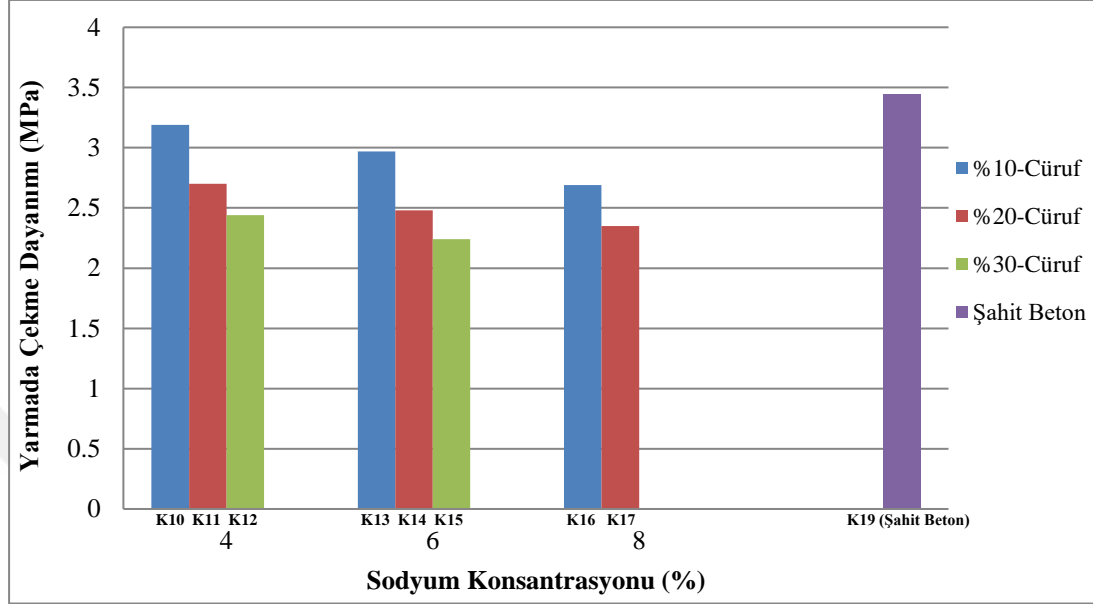
Çizelge 4.2 ve Şekil 4.3. incelendiğinde basınç dayanımına benzer olarak yine en yüksek yarmada çekme dayanım değerine K1 karışımı ulaşmıştır. %6 Sodyum konsantrasyonu ve %10 EAF Cürufu içeren K4 numuneleri şahit numune ile hemen hemen aynı yarmada çekme dayanımı değerini vermiştir.

Şekil 4.3. incelendiğinde basınç dayanım değerlerine benzer olarak sodyum konsantrasyonundaki artışın (%4-%8) yarmada çekme dayanımı üzerinde olumlu bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Sabit ikame oranı için numunelerin sodyum konsantrasyonundaki artış ile birlikte yarmada çekme dayanım değerlerinin düştüğü görülmektedir. Sabit sodyum konsantrasyonu için numunelerin ikame oranındaki artış ile birlikte aynı şekilde yarmada çekme dayanım değerlerinde düşüş olduğu görülmektedir. %4 Sodyum konsantrasyonu EAF Cürufunu aktive etmede yeterli olmuştur.

%4 Sodyum konsantrasyonuna sahip numuneler (K1, K2), %6 sodyum konsantrasyonuna ve %10 EAF Cürufu içeren numuneler (K4) ile %8 sodyum konsantrasyonuna ve %10 EAF Cürufu içeren numuneler (K7) şahit betondan yüksek ya da yakın yarmada çekme dayanım değerlerine ulaşmışlardır.

Şekil 4.4. incelendiğinde silikat modülü 2 olan numunelerde de silikat modülü 1 olan numunelere benzer olarak sodyum konsantrasyonundaki artışın yarma

dayanımında düşüşe neden olduğu ve %4 sodyum konsantrasyonunun EAF Cürufunu aktive etmede yeterli olduğu görülmektedir.



Şekil 4.4. Silikat modülü-2 olan numunelerin yarmada çekme dayanım değerleri (MPa)

Şekil 4.3. ile Şekil 4.4. incelendiğinde basınç dayanımı değerlerine benzer olarak silikat modülünün artması beton yarmada çekme dayanım değerlerinde azalmaya yol açmıştır. Basınç dayanımında olduğu gibi farklı silika modülüne sahip (0,5, 0,75, 1,25, 1.5) aktivatörler kullanarak dayanım değerlerinde artış sağlanabilir.

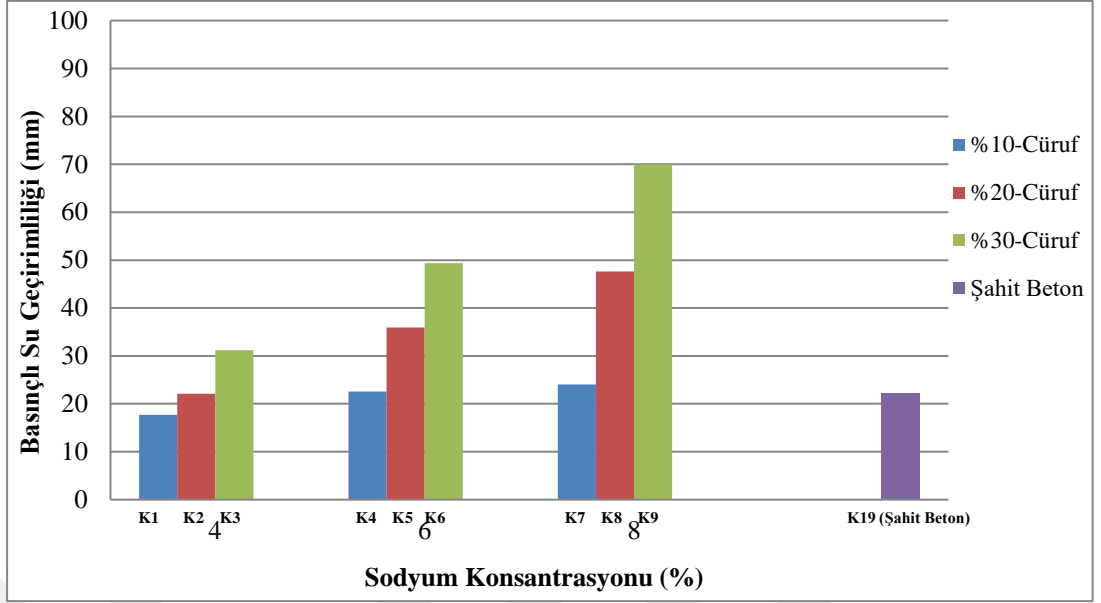
4.4. Basınçlı Su Geçirirliği

Çalışma kapsamında üretilen alkalilerle aktive edilen cüruf katkılı 150x150x150 mm boyutlarındaki küp numuneler ile cüruf ihtiva etmeyen normal portland çimentolu 150x150x150 mm boyutlarındaki küp numunelerin basınçlı su geçirirlik deneyinin sonuçları değerlendirilmiştir.

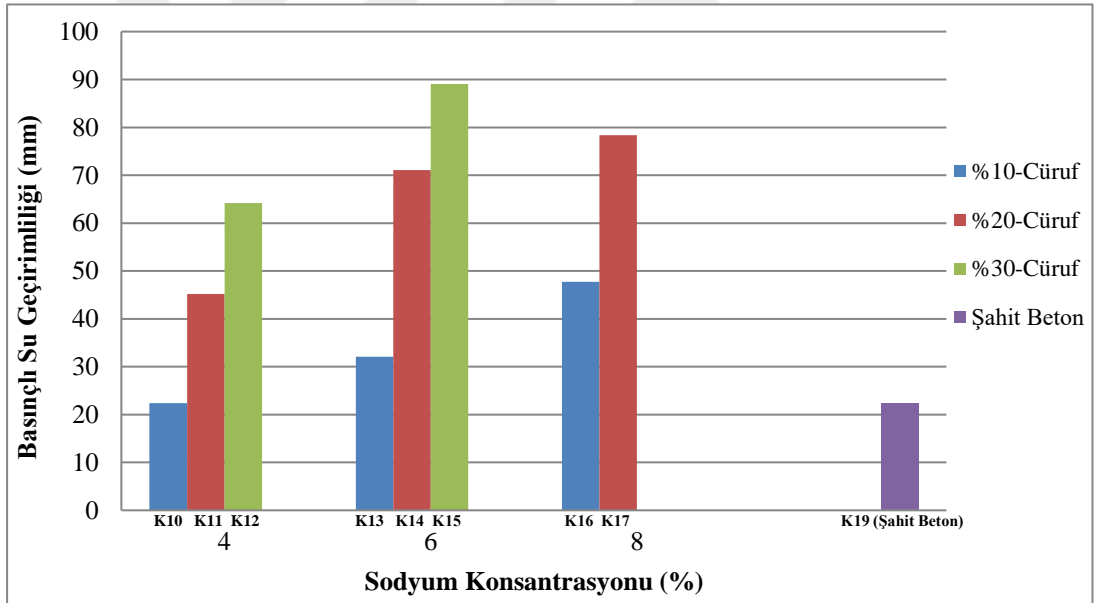
5 atm. basınç altında 72 saat teste tabi tutulan numunelere ait su işleme derinlikleri Çizelge 4.3.'te verilmiştir. Beton basınçlı su geçirirlik deney sonuçlarının silikat modülü-1 olan numuneler için Şekil 4.5.'te gösterilirken, silikat modülü-2 olan numuneler için Şekil 4.6.'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Numunelerin 28 günlük basınçlı su geçirimsizlik deney sonuçları (mm)

Karışım Adı	Basınçlı Su Geçirimsizliği(mm)	Silikat Modülü
K1	17,69	
K2	22,12	
K3	31,17	
K4	22,57	
K5	35,93	1
K6	49,37	
K7	24,03	
K8	47,62	
K9	69,94	
K10	22,39	
K11	45,18	
K12	64,18	
K13	32,07	
K14	71,05	2
K15	89,06	
K16	47,72	
K17	78,33	
K19 (Şahit Numune)	22,12	0



Şekil 4.5. Silikat modülü-1 olan numunelerin basınçlı su geçirimsizliği (mm)



Şekil 4.6. Silikat modülü-2 olan numunelerin basınçlı su geçirimsizliği (mm)

Çizelge 4.3. ve Şekil 4.5. incelendiğinde EAF Cürufunun %4 sodyum konsantrasyonu ve 1 silika modülü ile aktive edilmesi neticesinde boşluk yapısının iyileştiği ve basınçlı su geçirimsizliğinin azaldığı görülmektedir. Özellikle %10 EAF Cürufu içeren K1 karışımı şahit numuneye göre daha düşük bir basınçlı su geçirimsizlik değerine sahip iken %20 EAF Cürufu içeren K2 karışımı şahit numune ile aynı %10

EAF Cürufu içeren K4 ve K7 karışımları ise şahit numunenin biraz altında bir basınçlı su geçirimsizlik değerine sahip olduğu görülmektedir.

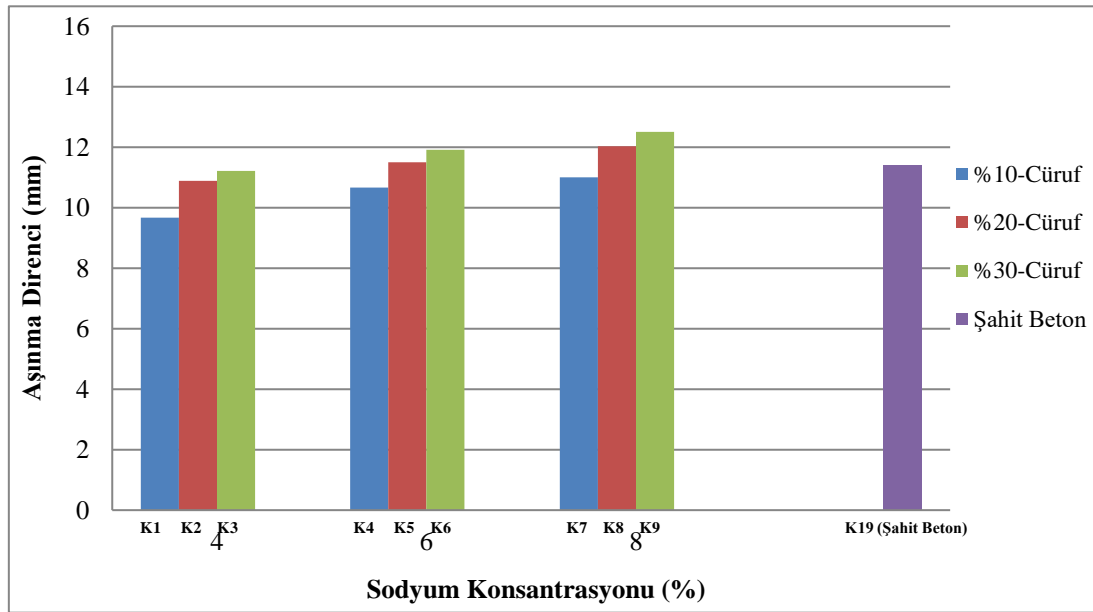
Sabit sodyum konsantrasyonunda artan cüruf miktarı ile birlikte basınçlı su geçirimsizlik değerinde artış eğilimi ve aynı cüruf oranına sahip numunelerde artan sodyum konsantrasyonu ile birlikte basınçlı su geçirimsizlik değerlerinin arttığı görülmektedir.

Şekil 4.5. ile Şekil 4.6. incelendiğinde sabit bir sodyum konsantrasyonu ile sabit ikame oranında silikat modülünün artmasına bağlı olarak betonda basınçlı su geçirimsizlik değerlerinde artış olduğu görülmektedir.

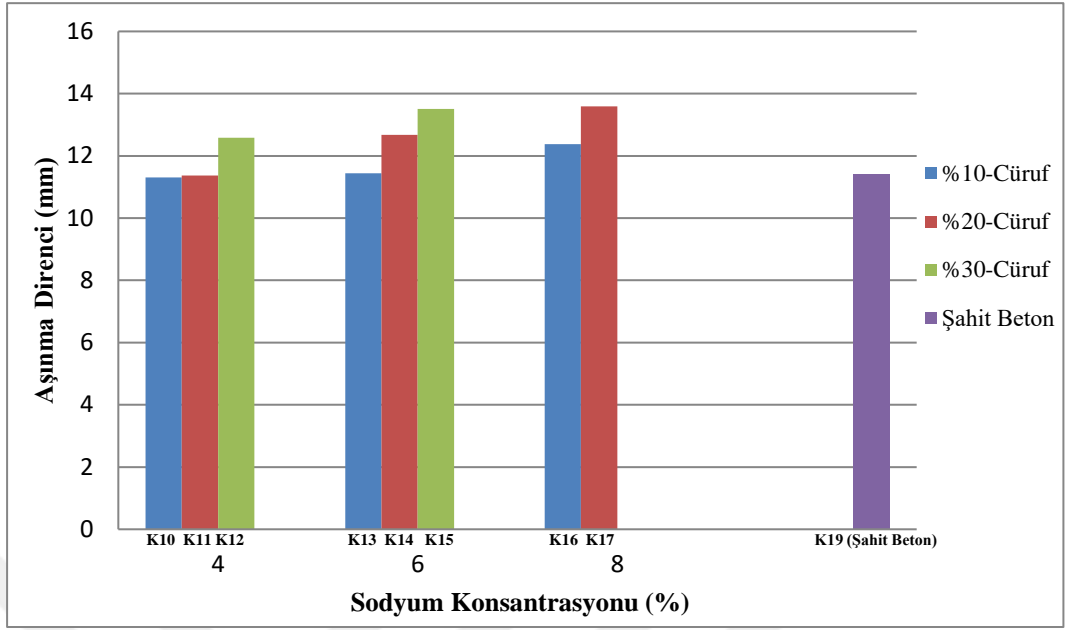
4.5. Aşınma Direnci

Çalışma kapsamında üretilen 100x100x100 mm boyutlarındaki küp numunelerin aşınma dayanımı geniş diskli aşınma cihazı ile belirlenmiştir. Aşınma direnci deney sonuçları ortalama oyuk genişliği olarak belirlenmiştir.

Beton aşınma direnci deney sonuçlarının silikat modülü-1 olan numuneler için Şekil 4.7.'de gösterilirken, silikat modülü-2 olan numuneler için Şekil 4.8.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Silikat modülü-1 olan numunelerin aşınma direnci (oyuk genişliği) (mm)



Şekil 4.8. Silikat modülü-2 olan numunelerin aşınma direnci (oyuk genişliği) (mm)

Sodyum silikat (Na_2SO_3) ve sodyum hidroksit (NaOH) ile aktive edilen EAF Cürufu betonun aşınması üzerinde azaltıcı yönde bir etkisinin olduğu Şekil 4.7.'de görülmektedir. %4 sodyum konsantrasyonunun EAF Cürufunu aktive etmede yeterli olduğu aşınma değerlerinden de anlaşılmaktadır. %4 sodyum konsantrasyonuna sahip numunelerin tamamı (K1, K2, K3) şahit numuneden daha düşük ortalama oyuk genişliği değeri vermiştir. Şekil 4.7. incelendiğinde en düşük oyuk genişliği değeri K1 karışımı ile elde edilmiştir.

Silikat modülünün 1'den 2'ye çıkması ile oyuk genişliği değerlerinde artış olmakla birlikte Şekil 4.8. incelendiğinde K10, K11 karışımlarında şahit numuneden daha az aşındığı görülmektedir.

Alyamaç ve Aydın (2015), betonların basınç dayanımları ile aşınma dirençleri arasında lineer bağıntının olduğunu ve genellikle basınç dayanım değerinin yüksek olması durumunda betonların aşınma dirençlerinin de yüksek bir değerde olacağını bildirmiştir.

Çizelge 4.4. 28 günlük numunelerin aşınma direnci deney sonuçları (mm)

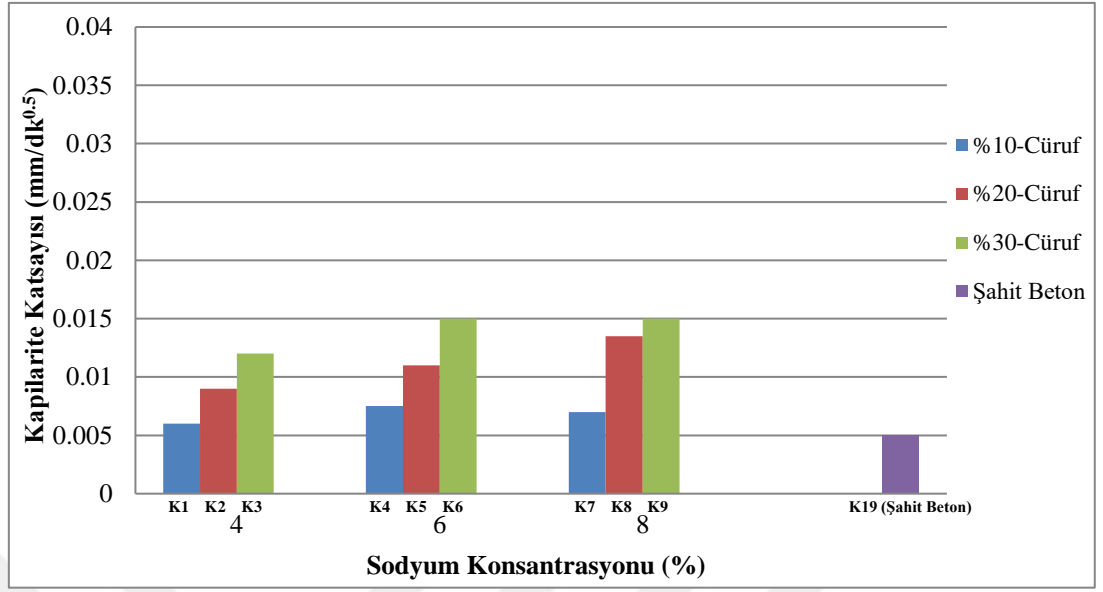
Karışım Adı	Oyuk Genişliği (mm)	Silikat Modülü
K1	9,67	
K2	10,89	
K3	11,22	
K4	10,66	
K5	11,50	1
K6	11,91	
K7	11,00	
K8	12,03	
K9	12,51	
K10	11,31	
K11	11,37	
K12	12,58	
K13	11,44	
K14	12,68	2
K15	13,51	
K16	12,38	
K17	13,59	
K19 (şahit Numune)	11,40	0

4.6. Kapiler (Kılcal) Su Emme

Çalışma kapsamında üretilen 100x100x100 mm boyutlarındaki küp numuneler kapiler su emme katsayılarının tespiti amacı ile kapilarite testine tabi tutulmuştur. Kapiler su emme deney sonuçları Çizelge 4.5.'te verilmiştir. Beton kapiler su emme deney sonuçlarının silikat modülü-1 olan numuneler için Şekil 4.9.'de gösterilirken, silikat modülü-2 olan numuneler için Şekil 4.10.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. 28 günlük numunelere ait kapilarite katsayıları (mm/dk^{0.5})

Karışım Adı	Kapilarite Katsayıları (mm/dk ^{0.5})	Silikat Modülü
K1	0,0060	
K2	0,0090	
K3	0,0120	
K4	0,0075	
K5	0,0110	1
K6	0,0150	
K7	0,0070	
K8	0,0135	
K9	0,0150	
K10	0,0080	
K11	0,0140	
K12	0,0180	
K13	0,0100	
K14	0,0185	2
K15	0,0315	
K16	0,0150	
K17	0,0220	
K19 (Şahit Numune)	0,0050	0

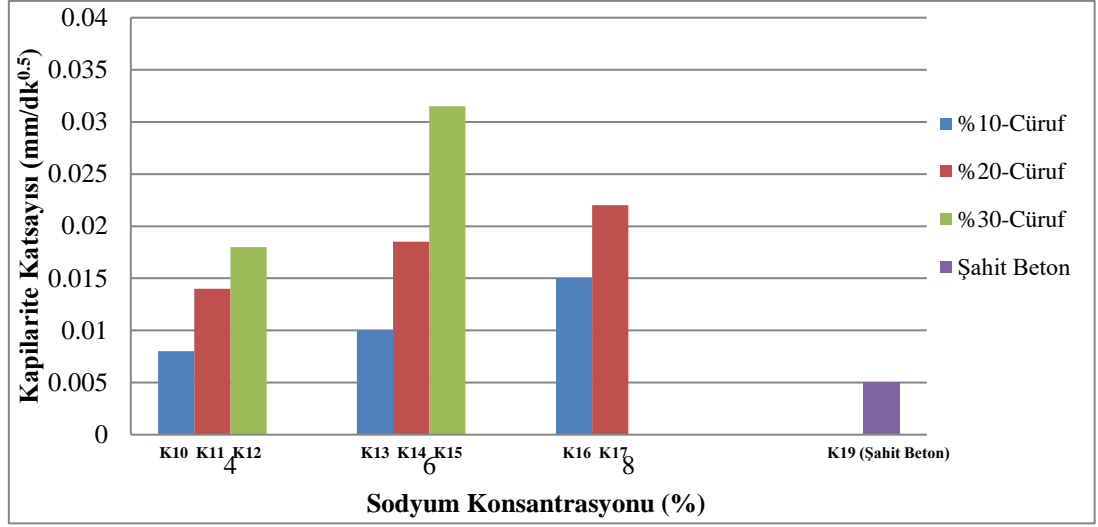


Şekil 4.9. Silikat modülü-1 olan numunelere ait kapilarite katsayıları (mm/dk^{0.5})

Çizelge 4.5. ve Şekil 4.9. incelendiğinde Sodyum konsantrasyonu %4 ve silikat modülü 1 olan %10 EAFC içeren numuneler şahit numuneye yakın bir kapilarite katsayısına sahiptirler. Yine %10 EAF Cürufu içeren K4 ve K7 karışımlarının şahit numuneden biraz fazla bir kılcal su emme katsayısı değerine sahip olduğu görülmektedir. Artan cüruf miktarı ile birlikte kılcal su emme değerinde artış eğilimi ve büyük çoğunlukla aynı cüruf oranına sahip numunelerde artan sodyum konsantrasyonu ile birlikte kılcal su emme değerlerinin arttığı görülmektedir.

Çizelge 4.5.'te yer alan sonuçların hepsi birlikte değerlendirildiğinde EAF Cürufunun aktivasyonu ile meydana gelen geopolimer oluşumunun kapiler boşlukları azaltmada yetersiz kaldığı görülmektedir.

Şekil 4.9. ile Şekil 4.10. incelendiğinde sabit bir sodyum konsantrasyonu ile sabit ikame oranında silikat modülünün artmasına bağlı olarak betonda kılcal su emme değerlerinde artış olduğu görülmektedir.

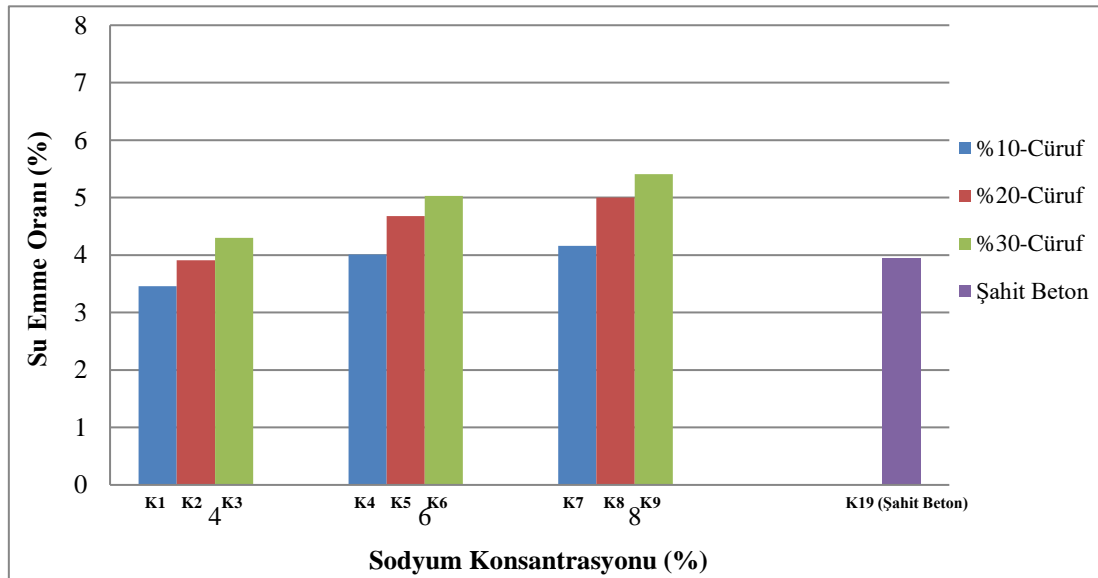


Şekil 4.10. Silikat modülü-2 olan numunelere ait kapilarite katsayıları (mm/dk^{0.5})

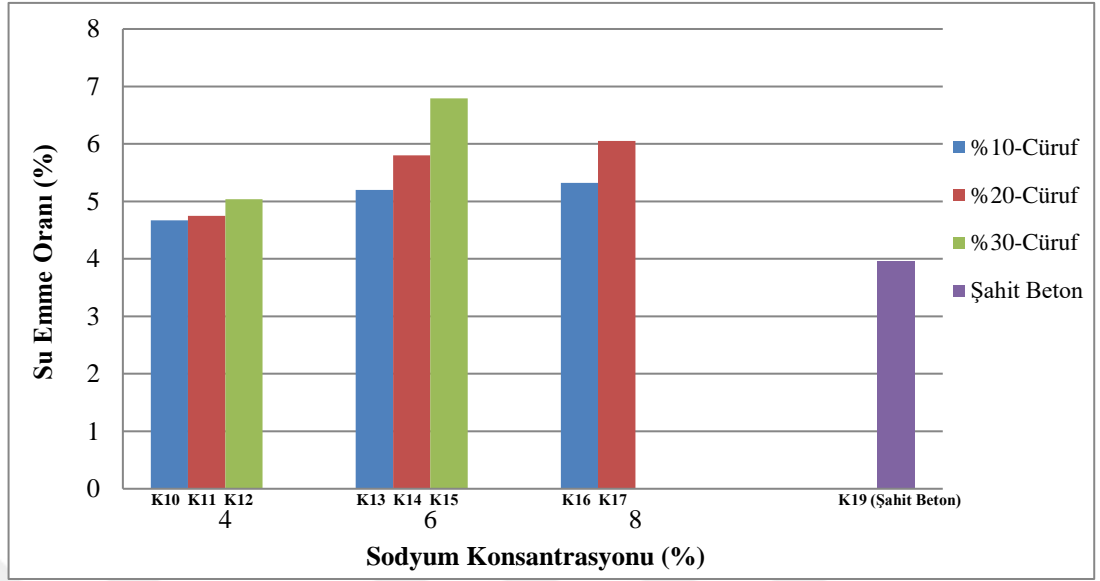
4.7. Su Emme Oranı

Çalışma kapsamında üretilen numunelere ait ağırlıkça su emme değerleri 100x100x100 mm boyutlarındaki küp numuneler kullanılarak saptanmıştır.

Su emme deney sonuçları Çizelge 4.6.'da verilmiştir. Beton su emme deney sonuçlarının silikat modülü-1 olan numuneler için Şekil 4.11.'de gösterilirken, silikat modülü-2 olan numuneler için Şekil 4.12.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Silikat modülü-1 olan numunelerin su emme oranı (%)



Şekil 4.12. Silikat modülü-2 olan numunelerin su emme oranı (%)

Çizelge 4.6. ve Şekil 4.11. incelendiğinde EAF Cürufunun %4 Sodyum konsantrasyonu ve 1 silika modülü ile aktive edilmesi neticesinde dışa açık boşluk miktarında düşüş olduğu ve su emmesinin azaldığı görülmektedir. Özellikle %10 EAF Cürufu içeren K1 karışımının şahit numuneye göre daha düşük bir su emme değerine sahip olduğu görülmektedir. %20 EAF Cürufu içeren K2 karışımının ise şahit numunenin biraz altında bir su emme değeri verdiği, %30 EAF Cürufu içeren K3 karışımının ise şahit numunenin biraz üstünde bir su emme değerine sahip olduğu görülmektedir.

Artan cüruf miktarı ile birlikte su emme değerinde artış eğilimi ve aynı cüruf oranına sahip numunelerde artan sodyum konsantrasyonu ile birlikte su emme değerlerinin arttığı görülmektedir.

Şekil 4.11. ile Şekil 4.12. incelendiğinde silikat modülünün 1'den 2'ye çıkması ile betonda su emme değerlerinde artış olduğu görülmektedir.

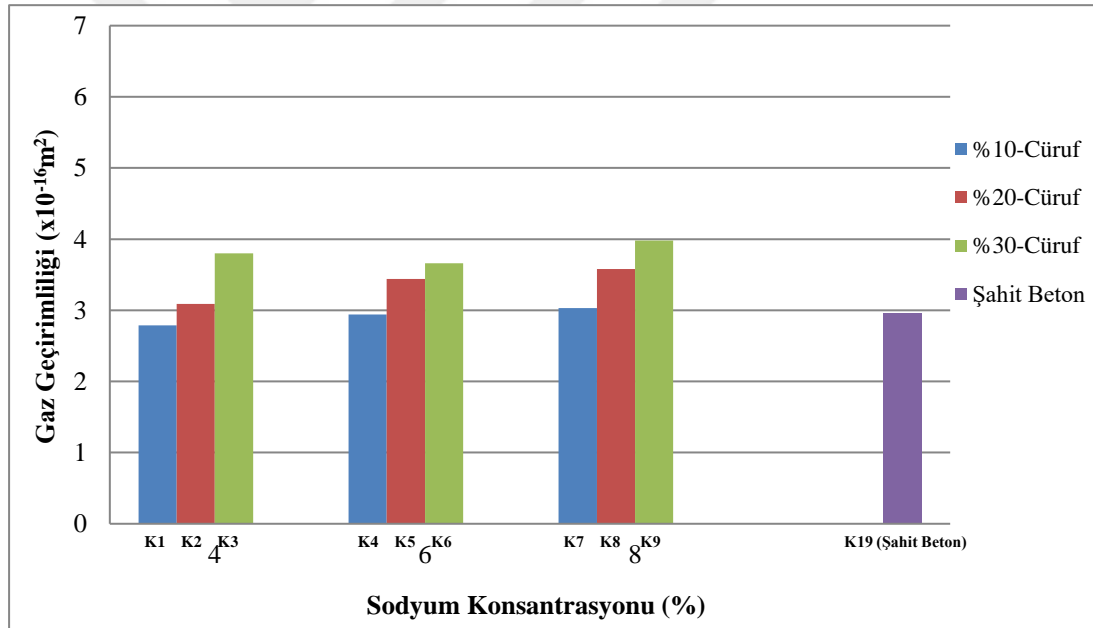
Çizelge 4.6. 28 günlük numunelerin su emme deney sonuçları (%)

Karışım Adı	Su Emme Oranı (%)	Silikat Modülü
K1	3,46	
K2	3,91	
K3	4,30	
K4	4,01	
K5	4,68	1
K6	5,03	
K7	4,16	
K8	5,00	
K9	5,41	
K10	4,67	
K11	4,75	
K12	5,04	
K13	5,20	
K14	5,80	2
K15	6,79	
K16	5,32	
K17	6,05	
K19 (Şahit Numune)	3,95	0

4.8. Gaz Geçirirnililiği

Gaz geçirirnililik deneyinde 150x300 mm boyutundaki silindir numuneler, 28 günlük kür süresi bittikten sonra 50 mm kalınlığında paręalar Şeklinde kesilerek kullanılmıştır. Kesilen numunenin yeni boyutu 50x150 mm Şeklinde olmuştur. Çalışma kapsamında üretilen alkalilerle aktive edilen cüruf katkılı 50x150 mm boyutlarındaki silindir numuneler ile cüruf ihtiva etmeyen normal portland çimentolu 50x150 mm boyutlarındaki küp numunelerin gaz geçirirnililik deneyinin sonuçları değerlendirilmiştir.

Gaz geçirirnililik deney sonuçları izelge 4.7.'da verilmiştir. Beton gaz geçirirnililik deney sonuçları silikat modülü-1 olan numuneler için Şekil 4.13.'te gösterilirken, silikat modülü-2 olan numuneler için Şekil 4.14.'da gösterilmiştir.

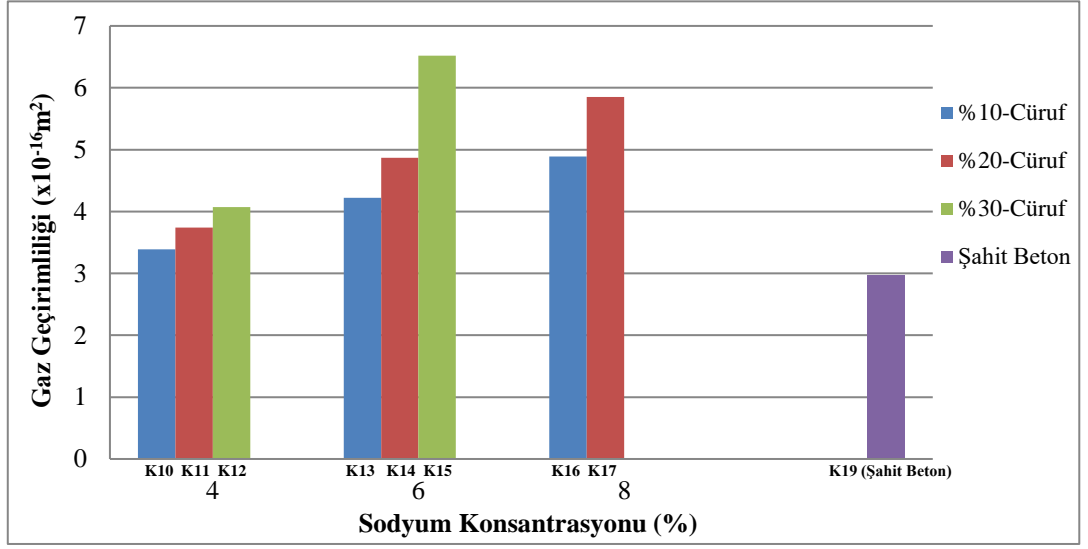


Şekil 4.13. Silikat modülü-1 olan numunelerin gaz geğirirnililiği ($\times 10^{-16} \text{m}^2$)

Şekil 4.13. ile Şekil 4.14. incelendiğinde sabit bir sodyum konsantrasyonu ile sabit ikame oranında silikat modülünün artmasına bağlı olarak betonda gaz geçirirnililik değerlerinde artışın olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.7. 28 günlük numunelerin gaz geçirimsizlik deney sonuçları ($\times 10^{-16} \text{ m}^2$)

Karışım Adı	Gaz Geçirimsizliği ($\times 10^{-16} \text{ m}^2$)	Silikat Modülü
K1	2,79	
K2	3,09	
K3	3,80	
K4	2,94	
K5	3,44	1
K6	3,66	
K7	3,03	
K8	3,58	
K9	3,98	
K10	3,39	
K11	3,74	
K12	4,07	
K13	4,22	
K14	4,87	2
K15	6,52	
K16	4,89	
K17	5,85	
K19 (Şahit Numune)	2,96	0



Şekil 4.14. Silikat modülü-2 olan numunelerin gaz geçirimsizliği ($\times 10^{-16} \text{m}^2$)

Gaz geçirgenliği deney sonuçları incelendiğinde %4 sodyum konsantrasyonu, 1 silika modülü ve %10 EAFC içeren numunelerin (K1, K4, K7) gaz geçirimsizlik katsayılarının şahit numune ile kıyaslandığında ya daha düşük ya da oldukça yakın olduğu görülmektedir. Basınçlı su geçirgenliği deney sonuçlarına paralel olarak sodyum konsantrasyonundaki ve silika modülündeki artış ile birlikte bu deneyde de gaz geçirimsizlik katsayıları artmıştır.

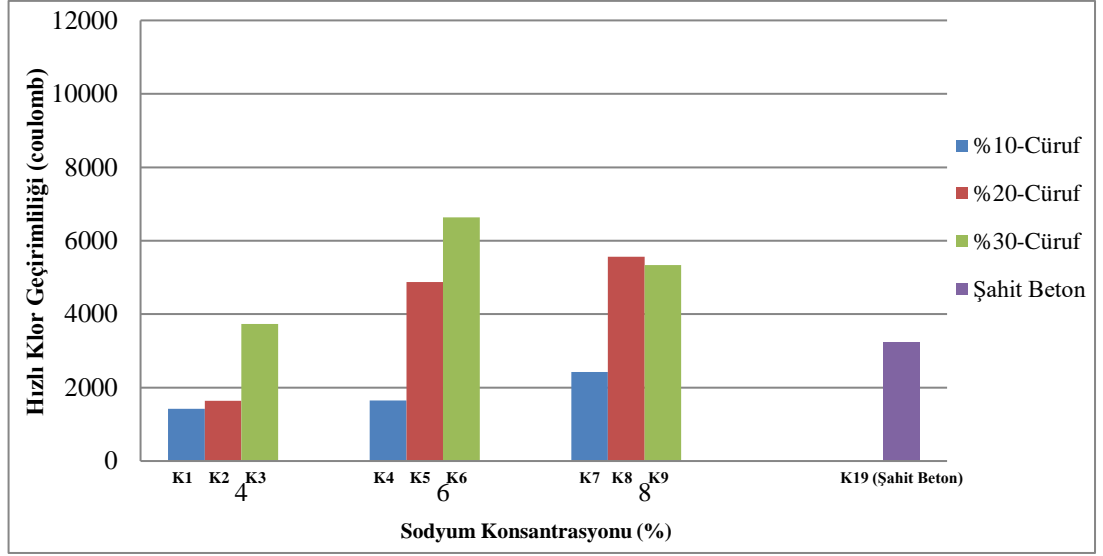
4.9. Hızlı Klor Geçirimsizliği

Hızlı klor geçirimsizlik deneyinde 100x200 mm boyutundaki silindir numuneler, 28 günlük kür süresi bittikten sonra 50 mm kalınlığında parçalar şeklinde kesilerek kullanılmıştır. Kesilen numunenin yeni boyutu 100x50 mm şeklinde olmuştur. Çalışma kapsamında üretilen alkalilerle aktive edilen cüruf katkılı 50x100 mm boyutlarındaki silindir numuneler ile cüruf ihtiva etmeyen normal portland çimentolu 100x50 mm boyutlarındaki silindir numunelerin hızlı klor geçirimsizlik deneyinin sonuçları değerlendirilmiştir.

Hızlı klor geçirimsizlik deney sonuçları Çizelge 4.8.'de verilmiştir. Beton hızlı klor geçirimsizlik deney sonuçlarının silikat modülü-1 olan numuneler için Şekil 4.15.'te gösterilirken, silikat modülü-2 olan numuneler için Şekil 4.16.'te gösterilmiştir.

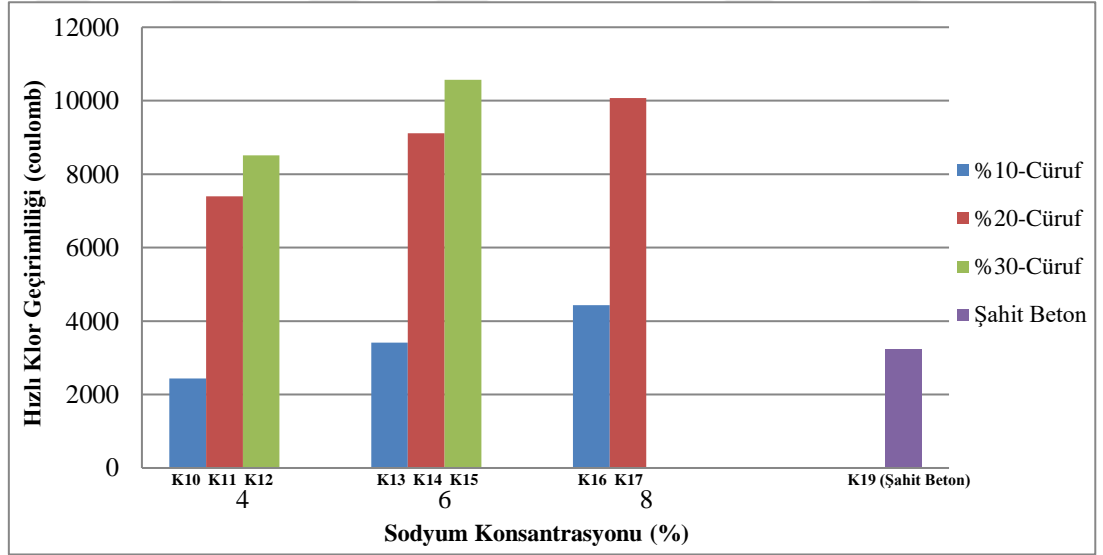
Çizelge 4.8. Numunelerin 28 günlük hızlı klor geçirimsizlik deney sonuçları (coulomb)

Karışım Adı	Hızlı Klor Geçirimsizliği (coulomb)	Silikat Modülü
K1	1422,00	
K2	1640,50	
K3	3733,00	
K4	1646,00	
K5	4872,00	1
K6	6637,00	
K7	2429,00	
K8	5567,00	
K9	5334,00	
K10	2434,50	
K11	7393,50	
K12	8515,00	
K13	3416,00	
K14	9110,00	2
K15	10572,00	
K16	4430,50	
K17	10073,50	
K19 (Şahit Numune)	3222,00	0



Şekil 4.15. Silikat modülü-1 olan numunelerin hızlı klor geçirirnililiği (coulomb)

Al-Qtaibi (2008), betonda hidrasyonun ilerleyen zamanlarda da devam etmesiyle betonda bulunan alkalilerin bağlanması sonucunda geçirirnililiğin düştüğünü bildirmiştir.



Şekil 4.16. Silikat modülü-2 olan numunelerin hızlı klor geçirirnililiği (coulomb)

Şekil 4.15. ile Şekil 4.16. incelendiğinde sabit bir sodyum konsantrasyonu ile sabit ikame oranında silikat modülünün artmasına bağlı olarak betonda klor geçirirnililik değerlerinde artışın olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.9. Klor iyon geçirimlilik değerlerinin sınıflandırılması

Elektriksel Yük (coulomb)	Değerlendirildiği Sınıf
>4000	Yüksek
2000-4000	Orta
1000-2000	Düşük
100-1000	Çok Düşük
<100	İhmal Edilebilir

Numunelerin hızlı klor geçirimlilik değerleri ASTM C1202 standardına göre Çizelge 4.9.'daki gibi sınıflara ayrılmıştır. Çizelge 4.9.'a göre elektriksel yük miktarı 4000 Coulomb değerinden fazla olması durumunda klor iyonu geçirimliliği bakımından yüksek sınıflandırma grubunda yer almaktadır.

Çizelge 4.9.'daki değerlendirme sonuçları incelendiğinde K1, K2 ve K3 karışımları klor iyonu geçirimliliğinde düşük sınıfta değerlendirilirken, klor iyonu geçirimliliğinde orta sınıfta ise K3, K7, K10, K13 ve K19 kontrol numune karışımları değerlendirilmektedir. Kalan diğer karışımlar ise klor iyonu geçirimliliğinde yüksek sınıflandırmada değerlendirilmektedir.

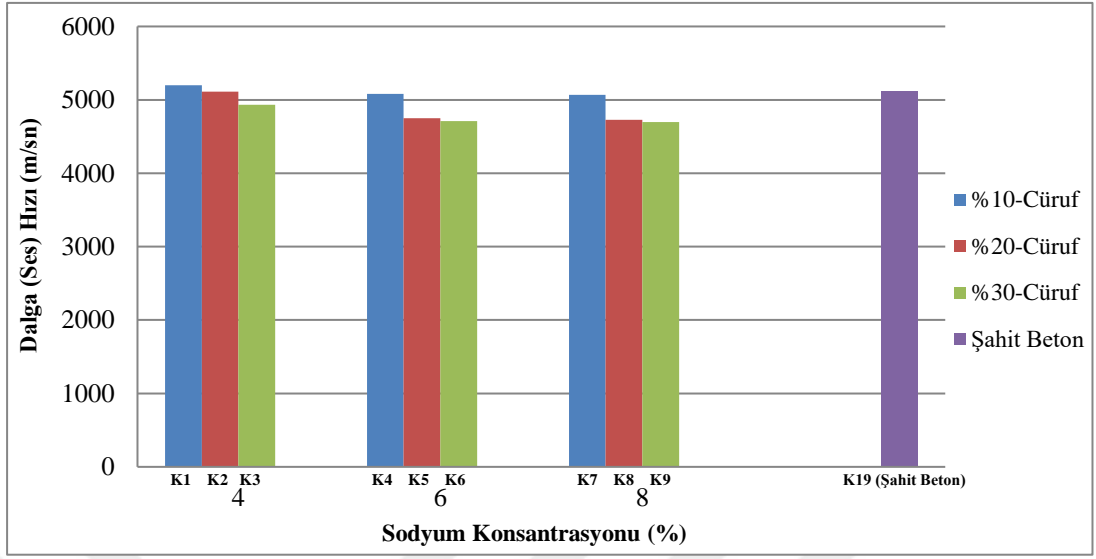
4.10. Ultrasonik Dalga (Ses) Hızı

Çalışma kapsamında üretilen 100x100x100 mm boyutlarındaki küp numunelerin ultrasonik dalga (ses) hızları ölçülerek, sonuçları değerlendirilmiştir.

Ultrasonik dalga hızı deney sonuçları Çizelge 4.10.'da verilmiştir. Beton ultrasonik dalga (ses) hızı deney sonuçlarının silikat modülü-1 olan numuneler için Şekil 4.17.'de gösterilirken, silikat modülü-2 olan numuneler için Şekil 4.18.'de gösterilmiştir.

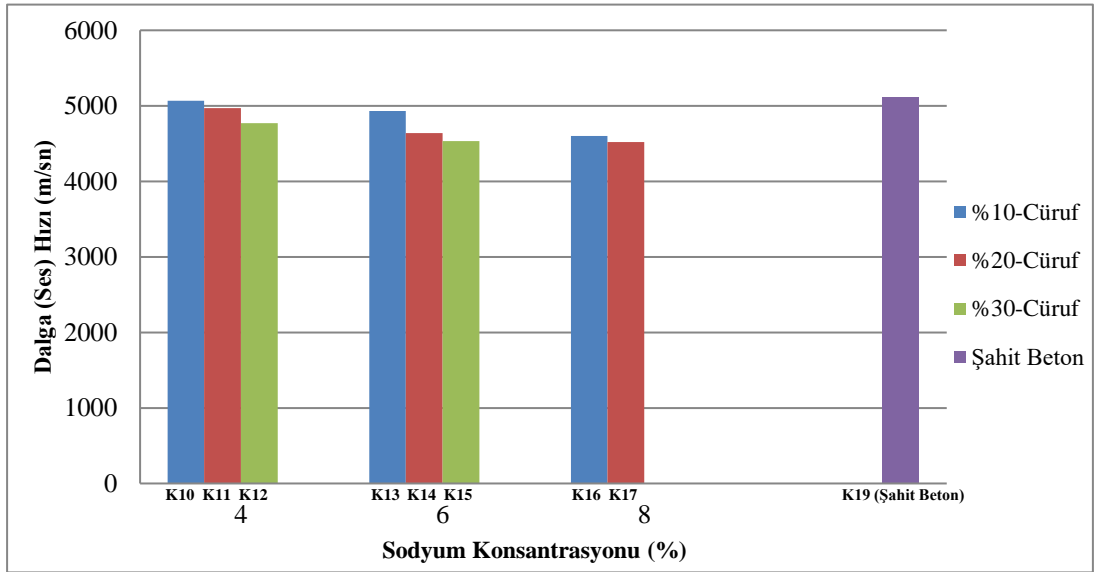
Çizelge 4.10. Numunelerin 28 günlük ultrasonik dalga (ses) hızı deney sonuçları (m/sn)

Karışım Adı	Dalga Hızı (m/sn)	Silikat Modülü
K1	5200,33	
K2	5111,67	
K3	4931,44	
K4	5082,78	
K5	4747,67	1
K6	4710,33	
K7	5069,11	
K8	4729,00	
K9	4697,89	
K10	5068,33	
K11	4971,11	
K12	4772,56	
K13	4930,00	
K14	4637,33	2
K15	4532,56	
K16	4602,22	
K17	4520,67	
K19 (Şahit Numune)	5113,78	0



Şekil 4.17. Silikat modülü-1 olan numunelerin ultrasonik dalga (ses) hızı (m/sn)

Çizelge 4.10. ve Şekil 4.17. incelendiğinde sabit ikame oranı için numunelerin sodyum konsantrasyonundaki artış ile birlikte ultrasonik dalga (ses) hızı değerlerinin düştüğü görülmektedir. Sabit sodyum konsantrasyonu için numunelerin ikame oranındaki artış ile birlikte aynı şekilde ultrasonik dalga (ses) hızı değerlerinde de düşüş olduğu görülmektedir. Ultrasonik dalga (ses) hızının en yüksek olduğu değer K1 karışımına sahip numunelerden elde edilmiştir.



Şekil 4.18. Silikat modülü-2 olan numunelerin ultrasonik dalga (ses) hızı (m/sn)

Şekil 4.17. ile Şekil 4.18. incelendiğinde sabit bir sodyum konsantrasyonu ile sabit ikame oranında silikat modülünün artmasına bağlı olarak betonda ultrasonik dalga (ses) hızı değerlerinde düşüş olduğu görülmektedir. Ultrasonik ses hızı sonuçlarının basınç dayanımı sonuçları ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.11. Ultrasonik Dalga Hızı Aralıkları (Whitehurst, 1951)

Ses hızı (m/s)	Beton Kalitesi
>4500	Mükemmel
3500-4500	İyi
3000-3500	Orta
2000-3000	Kötü
<2000	Çok Kötü

Numunelerin ultrasonik dalga hızları Whitehurst tarafından 1951’de verilen tabloya göre değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonuçları Çizelge 4.11.’de verilmiştir. Çizelge 4.11. incelendiğinde dalga (ses) hızının 4500 m/s'nin üzerinde olduğu değerlerde beton kalitesi mükemmel olarak değerlendirilmektedir.

Ultrasonik dalga hızı deneyi betonun doluluğu ve kalitesi ile ilgili fikir veren hasarsız bir test yöntemidir. Ultrasonik dalga hızı sonuçları incelendiğinde üretilen bütün karışımların Whitehurst (1951) tarafından verilen sınıflandırmaya göre mükemmel olarak değerlendirildiği görülmektedir.

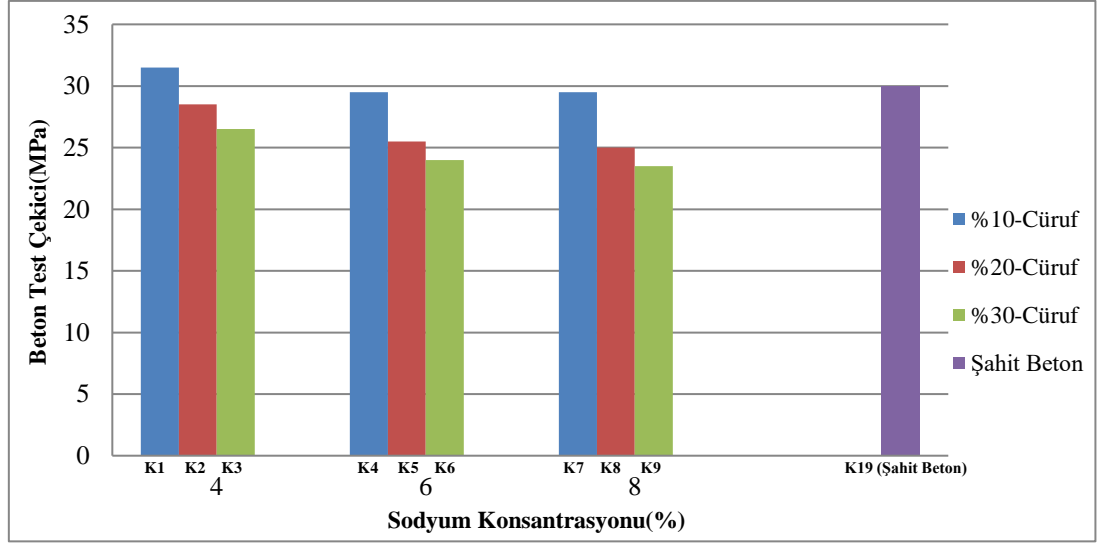
4.11. Test Çekici

Çalışma kapsamında üretilen alkalilerle aktive edilen cüruf katkılı 100x100x100 mm boyutlarındaki küp numuneler ile cüruf ihtiva etmeyen normal portland çimentolu 100x100x100 mm boyutlarındaki küp numunelerin beton test çekici deneyinin sonuçları değerlendirilmiştir.

Test çekici deney sonuçları Çizelge 4.12.'de verilmiştir. Beton test çekici deney sonuçlarının silikat modülü-1 olan numuneler için Şekil 4.19.'da gösterilirken, silikat modülü-2 olan numuneler için Şekil 4.20.'de gösterilmiştir.

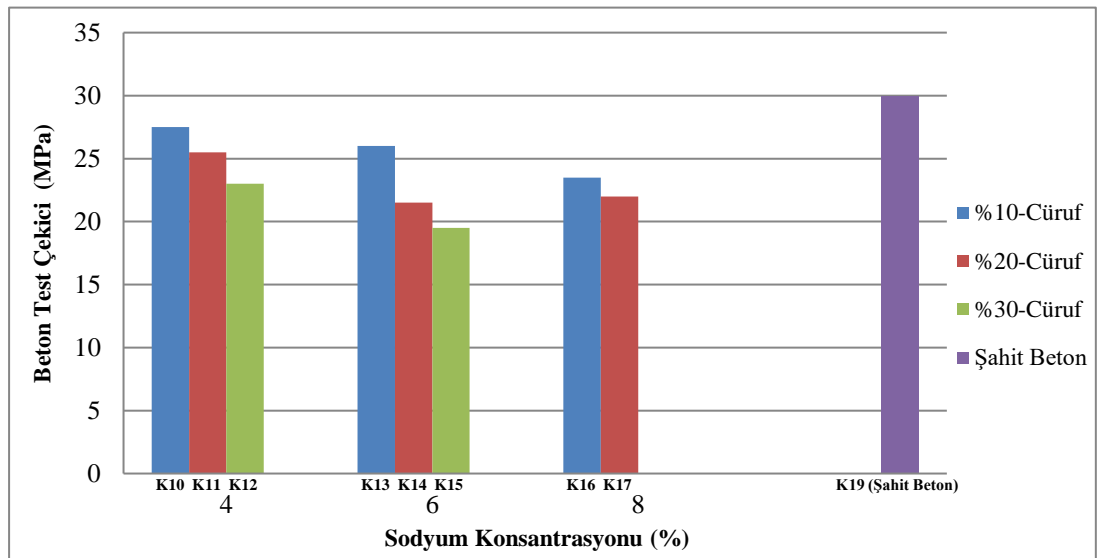
Çizelge 4.12. 28 günlük numunelerin beton test çekici deney sonuçları (MPa)

Karışım Adı	Beton Test Çekici (MPa)	Silikat Modülü
K1	31,50	
K2	28,50	
K3	26,50	
K4	29,50	
K5	25,50	1
K6	24,00	
K7	29,50	
K8	25,00	
K9	23,50	
K10	27,50	
K11	25,50	
K12	23,00	
K13	26,00	
K14	21,50	2
K15	19,50	
K16	23,50	
K17	22,00	
K19 (Şahit Numune)	30,00	0



Şekil 4.19. Silikat modülü-1 olan numunelerin beton test çekici değeri (MPa)

Çizelge 4.11. ve Şekil 4.19. incelendiğinde %4 sodyum konsantrasyonu ve %10 EAF Cürufa sahip K1 karışımının şahit numuneye göre dayanım değerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Yine aynı tabloda %10 EAF Cürufu ve %6 sodyum konsantrasyonuna sahip K4 ile %10 EAF Cürufu ve %8 sodyum konsantrasyonuna sahip K7 karışımlarının da şahit numuneye çok yakın bir dayanım değerinin olduğu görülmektedir. Şekil 4.19. ise sodyum konsantrasyonundaki artışın test çekicinden elde edilen dayanımlarda artış yerine azalmaya yol açtığını göstermektedir.



Şekil 4.20. Silikat modülü-2 olan numunelerin beton test çekici değeri (MPa)

Şekil 4.19. ile Şekil 4.20. incelendiğinde sabit bir sodyum konsantrasyonu ile sabit ikame oranında silikat modülünün artmasına bağlı olarak beton test çekici değerlerinde düşüşün olduğu görülmektedir.



5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, TOSÇELİK A.Ş.'ye ait Osmaniye demir çelik tesislerinde yan ürün olarak ortaya çıkan, çimento ve beton sektöründe çok fazla kullanım alanı bulamayan Elektrik Ark Fırın Cürufunun alkalilerle aktive edilip edilemeyeceği ve beton özelliklerine etkisi araştırılmıştır. 18 farklı karışıma sahip 28 günlük numuneler üzerinde basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, ultrasonik dalga hızı, su emme, aşınma, kılcal su emme, basınçlı su geçirgenliği, beton test çekici, gaz geçirgenliği ve hızlı klor geçirgenlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda verilmiştir.

1. Basınç dayanımı sonuçlarına göre, %4 sodyum konsantrasyonu ve 1 silika modülüne sahip %10 ve %20 EAFÇ içeren, K1 ve K2 karışımları şahit numuneden daha yüksek basınç dayanımına ulaşmışlardır. Genel olarak basınç dayanımı değerlerinin artan sodyum konsantrasyonu ve artan silika modülü değerleri ile birlikte azaldığı görülmektedir.
2. Basınç dayanımına benzer olarak yine en yüksek yarmada çekme dayanım değerine K1 karışımı ulaşmıştır. %6 Sodyum konsantrasyonu ve %10 EAF Cürufu içeren K4 numuneleri şahit numune ile hemen hemen aynı yarmada çekme dayanımı değerini vermiştir. Genel olarak %10 EAFÇ içeren numunelerin (K1, K4, K7, K10) yüksek yarmada çekme dayanımına sahip olduğu söylenebilir. Artan EAFÇ katkısı yarmada çekme dayanımında düşüslere sebep olmuştur.
3. EAF Cürufunun %4 sodyum konsantrasyonu ve 1 silika modülü ile aktive edilmesi neticesinde boşluk yapısının iyileştiği ve basınçlı su geçirimliliğinin azaldığı görülmektedir. Özellikle %10 ve %20 EAFÇ içeren K1 ve K2 karışımlarının su işleme derinliklerinin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Sodyum konsantrasyonundaki ve silika modülündeki artışın oluşturduğu olumsuz durum bu deneyde daha net görülmektedir.
4. Sodyum silikat(Na_2SO_3) ve sodyum hidroksitin(NaOH) EAF Cürufunu aktivasyonu

sonucu beton numunelerin aşınma dayanımlarının genel olarak iyileştiği görülmektedir. %30 EAFC içeren bazı numuneler dahi (K3, K6) şahit numuneye eşit oyuk genişliği değerleri vermişlerdir.

5. Kapilarite katsayısı sonuçlarına göre aktive edilmiş EAFC betonlarının kapiler boşluklarının şahit numuneden daha yüksek olduğu, bunun sonucunda kapiler olarak daha fazla su emdikleri görülmektedir.

6. Ağırlıkça su emme deneyi sonuçlarına göre EAF Cürufunun %4 Sodyum konsantrasyonu ve 1 silika modülü ile aktive edilen numunelerde dışa açık boşluk sayısında azalma olmuş ve böylece numuneler daha az su emmişlerdir. Özellikle %10 EAF Cürufu içeren K1 karışımının şahit numuneye göre daha düşük bir su emme değerine sahip olduğu, %20 EAF Cürufu içeren K2 karışımının ise şahit numunenin biraz altında bir su emme değeri verdiği, %30 EAF Cürufu içeren K3 karışımının ise şahit numunenin biraz üstünde bir su emme değerine sahip olduğu görülmektedir. Artan cüruf miktarı ile birlikte su emme değerinde artış eğilimi ve aynı cüruf oranına sahip numunelerde artan sodyum konsantrasyonu ile birlikte su emme değerlerinin arttığı görülmektedir.

7. Gaz geçirgenliği deney sonuçları incelendiğinde %4 sodyum konsantrasyonu, 1 silika modülü ve %10 EAFC içeren numunelerin (K1, K4, K7) gaz geçirimlilik katsayılarının şahit numune ile kıyaslandığında ya daha düşük ya da oldukça yakın olduğu görülmektedir. Basıncılı su geçirgenliği deney sonuçlarına paralel olarak sodyum konsantrasyonundaki ve silika modülündeki artış ile birlikte bu deneyde de gaz geçirimlilik katsayıları artmıştır.

8. %4 sodyum konsantrasyonu ve 1 silika modülünün klor geçirgenliğini azaltmada oldukça etkili olduğu görülmektedir. %10 ve %20 EAFC içeren K1 ve K2 numuneleri şahit numunenin oldukça altında klor geçirgenliği değerine sahipken %30 EAFC içeren K3 karışımı dahil şahit numuneye yakın bir klor geçirimliliği değerine sahiptir. K1, K2 ve K3 karışımları ASTM C1202 standartında yer alan sınıflandırmaya göre düşük sınıfına girmektedir.

9. Ultrasonik ses hızı deney sonuçlarına göre çalışmada yer alan bütün karışımlar Whitehurst tarafından verilen değerlendirmeye göre mükemmel olarak değerlendirilmekle beraber K1, K2, K4, K7 ve K10 karışımlarının şahit numuneden yüksek ya da şahit numuneye yakın ses hızına sahip olduğu belirlenmiştir. Yine diğer parametrelere benzer olarak sabit bir sodyum konsantrasyonu ile sabit ikame oranında silikat modülünün artmasına bağlı olarak betonda ultrasonik dalga (ses) hızı değerlerinde düşüşün olduğu görülmektedir. Ultrasonik ses hızı sonuçlarının basınç dayanımı sonuçları ile uyumlu olduğu görülmektedir.

10. Test çekici deney sonuçları %4 sodyum konsantrasyonu ve %10 EAF Cürufa sahip K1 karışımının şahit numuneye göre daha yüksek dayanım değerine sahip olduğunu göstermektedir. %10 EAF Cürufu ve %6 sodyum konsantrasyonuna sahip K4 ile %10 EAF Cürufu ve %8 sodyum konsantrasyonuna sahip K7 karışımlarının da şahit numuneye çok yakın bir dayanım değerinin olduğu görülmektedir. Sodyum konsantrasyonundaki artışın test çekicinden elde edilen dayanımlarda da azalmaya yol açtığı görülmektedir.

11. Deney sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, %10 EAFC içeren, %4 sodyum konsantrasyonuna sahip numunelerin kontrol numunesine göre daha yüksek basınç ve yarma dayanımına, daha düşük su emme ve aşınma değerine, daha yüksek test çekici ve ultrasonik ses hızı değerine sahip olduğunu göstermektedir. Yine %20 EAFC içeriğine ve %4 sodyum konsantrasyonuna sahip numuneler gerçekleştirilen bütün testlerde şahit numuneden ya daha iyi ya da şahit numuneye yakın değerler vermişlerdir. Çalışmada kullanılan EAF Cürufunu aktive etmek için %4 sodyum konsantrasyonu yeterli olmuştur. Sodyum konsantrasyonundaki artışın olumlu yönde fazla bir etkisinin olmadığı söylenebilir. %4 sodyum konsantrasyonu ve 1 silikat modülüne sahip aktivatör ile aktive edilen EAFC çimentosunun çimento hamurunun boşluk yapısını iyileştirerek daha yüksek dayanıma sahip ve daha az boşluklu bir beton elde edilmesini sağladığı söylenebilir.

12. %4 sodyum konsantrasyonu ve 1 silikat modülüne sahip aktivatör ile aktive edilmiş, çimento yerine ağırlıkça yaklaşık %20 oranında kullanılan EAFC'nin beton katkısı

olarak kullanılabilceği ve böylece atıl durumdaki bu malzemenin ülke ekonomisine kazandırılabilceği düşünülmektedir.

13. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre imento ve beton sektöründe çok fazla kullanılmayan EAF Cürufunun aktive edilerek kullanılabilceği görülmüştür. Farklı aktivatörler EAF Cürufunu aktive etmede daha başarılı olabilir. Na₂CO₃ gibi farklı aktivatörler kullanılarak kapsamlı çalışmalar yapılabilir.

14. Çalışmadan elde edilen veriler silika modülünün 1'den 2'ye çıkması ile beton özelliklerinin kötüleştiğini göstermektedir. Silika modülünün daha dar aralıklarla (0,50, 0,75, 1,00, 1.25, 1.5, 1,75, 2,00) değiştiği bir çalışma planlanarak silika modülünün etkisi daha net grlebilir.

KAYNAKLAR

- Alyamaç, K.E., Aydın, A.B., 2015. Concrete Properties Containing Fine Aggregate Marble Powder. **Korean Society of Civil Engineers**, 19(7):2208-2216.
- Al-Otaibi, S., 2008. Durability of concrete incorporating GGBS activated by water-glass, **Construction and Building Materials**, Vol. 22, No. 10, pp. 2059–2067.
- Andreas, L., Herrmann, I., Lidström, M., Lagerkvist, A., 2005. “Physical Properties of Steel Slag to be Reused in a Landfill Cover”. Tenth International Waste Management and Landfill Symposium. Sardinia / Italy: **Environmental Sanitary Engineering Centre**.
- Anonim, 2015.Cells.<https://karabukmetalurji.wordpress.com/2015/11/02/elektrik-ark-ocagi/> Erişim tarihi: 23.11.2017
- Anonim, 2016.Cells. <http://www.matil.org/tr/haberler/celik-sektoru/2016-yilinda-unya-ham-celik-uretimi-08oraninda-artti-793.html>. Erişim tarihi:23.11.2017
- Anonim, 2017a. Cells. <http://www.sitasbeton.com.tr/hazir-beton-nedir-nasil-uretilir>. Erişim tarihi: 23.11.2017
- Anonim, 2017b. Cells. <http://eng.harran.edu.tr/~pturgut/cemprodkinds>. Erişim tarihi: 23.11.2017
- Aruntaş, H. Y., 1996. Diatomitlerin Çimentolu Sistemlerde Puzolanik Malzeme Olarak Kullanabilirliği. **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi**, Ankara, 1-55.
- Arribas, I., Santamaria, A., Ruiz, E., Ortega-Lopez, V., Manso, J.M., 2015. Electric arc furnace slag and its use in hydraulic concrete, **Construction and Building Materials**, 90, 68-79.
- ASTM C 1202–97, 1997. Standart test method for electrical indication of concrete’s ability to resist chloride ion peneration. **Annual Books of ASTM Standarts**
- ASTM C 39, 1994. Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens. **Annual Books of ASTM Standarts**.
- ASTM C 496, 2004. Standard test method for splitting tensile strenght of cylindrical concrete specimens. **Annual Books of ASTM Standarts**.
- ASTM C 597-02, 1994. Standart test method for pulse vecolity through concrete. **Annual Books of ASTM Standarts**.
- ASTM C 618, 1994. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete. **Annual Book of ASTM Standards**.
- ASTM C 642, 2013. Standart test method for density, absorption and voids in hardened concrete. **ASTM International, West Conshohocken, PA**.
- Bakharev, T., Sanjayan, J. G., Cheng, Y., 1999. Alkali activation of Australian slag cements. **Cement and Concrete Research**, 29, 113-120
- Bakharev, T., Sanjayan, J. G., Cheng, Y. B.,2000. Effect of Admixtures on Properties

- of Alkali-Activated Slag Concrete. **Cement and Concrete Research**, Vol. 30, pp. 1367–1374.
- Bakharev, T., Sanjayan, J. G., Cheng, Y. B., 2001. Resistance of Alkali-Activated Slag Concrete to Carbonation. **Cement and Concrete Research**, Vol. 31, pp. 1277–1283.
- Bakharev, T., Sanjayan, J. G., Cheng, Y. B., 2002. Sulfate Attack on Alkali Activated Slag Concrete. **Cement and Concrete Research**, Vol. 32, pp. 211–216
- Bakharev, T., Sanjayan, J. G., ;Cheng, Y. B., 2003. Resistance of Alkali-Activated Slag Concrete to Acid Attack. **Cement and Concrete Research**, Vol. 33, pp. 1607–1611.
- Brough, A. R., Atkinson, A., 2002. Sodium Silicate-Based, Alkali-Activated Slag Mortars Part I. Strength, Hydration and Microstructure. **Cement and Concrete Research**, Vol. 32, pp. 865–879.
- Bougara A., Lynsdale C., Ezziane K., 2009. Activation of Algerian Slag in Mortars, **Construction and Building Materials**, 23, 542–547.
- Collins, F.G., Sanjayan, J.G., 1999. Workability and Mechanical Properties of Alkali Activated Slag Concrete, **Cement and Concrete Research**, 29, 455–458.
- Chang, J.J., Yeih, W., Chung, T.J., Huang, T., 2016. Properties of pervious concrete made with electric arc furnace slag and alkali activated slag cement, **Construction and Building Materials**, 109, 34-40.
- Çelik K., Kılınçkale F. M., 2005. Katkı Miktarı, Türünün ve Öğütmenin ÇimentonunDayanım Performansına Etkisi, **II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar kongresi MBGAK**, İstanbul.
- Davidovits J., 1994. Properties of Geopolymer Cements, Published in Proceedings, First International Conference on Alkaline Cements and Concretes, Scientific Research Institute on Binders and Materials, **Kiev State Technical University**, Kiev, Ukraine, 131-149.
- Davidovits, J., 2008. Geopolymer Chemistry and applications, Saint Quentin, France.
- Demir çelik cüruf raporu, 2015. Türkiye Çelik Üreticileri Derneği (TÇÜD).
16 Kasım 2015
- De Vargas, A.S., Dal Molin, D.C.C., Vilela, A.C.F., Da Silva, F.J., Pavao, B. Veit,H., 2011. The effects of Na₂O/SiO₂ molar ratio, curing temperature and age on compressive strength, morphology and microstructure of alkali-activated fly ash-based geopolymers. **Cement and Concrete Composites**, 33: 653-660.
- Diaz E.I., Loya P.D., Candidate Erez N. Allouche Ph.D., P.E., 2010. Engineering Fly Ash - Based Geopolymer Concrete, **International Concrete Sustainability Conference**, Dubai, UAE.
- Dikbaş, A., Yonar F., 2013. EAF Çelik İzabe Cürufunun Karayolu İnşaatında Dolgu, Temel ve Alttemel Malzemesi Olarak Kullanımı, İstanbul.
- Doğantepe, G., 2014. “Hematit karakterli demir cevherinden ve yüksek fırın baca tozundan sünger demir üretilebilirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 34-35.

- Erdoğan, T.Y., 1995a. Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufu ve Kullanımı. Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildiriler Kitabı, **TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası**, Ankara, s. 1–13.
- Erdoğan, T.Y., 1995b. “Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufu ve Kullanımı”, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildiriler Kitabı, **TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası**, Ankara, 1-11
- Erdoğdu, Ş., Kurbetçi, Ş. 2003. Betonun Performansına Sağladıkları Etkinlik Açısından Kimyasal ve Mineral Katkı Maddeleri, **Türkiye Mühendislik Haberleri**, 426 (4):115-120, 2003.
- Erdoğan, T.Y., 2003. Beton. **ODTÜ Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık A.Ş.** Ankara, European Commission, 2001. Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel. Sevilla, Spain: **Expo-WTC**.
- Fernandez A., Palomo J., 2005. Composition and Microstructure of Alkali Activated Fly Ash Binder Effect of The Activator, **Cement and Concrete Research**, 35, 1984–992.
- Gündeşli, U., 2008. Uçucu Kül, Silis Dumanı ve Yüksek Fırın Cürufunun Beton ve Çimento Katkısı Olarak Kullanımı Üzerine Bir Kaynak Taraması, Yüksek Lisans Tezi, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Adana.
- Hanzlicek, T., Steinerová, M., Straka, P., Perná, I., Siegl, P., Švarcová, T., 2009. Reinforcement of the Terracotta Sculpture by Geopolymer Composite, *Materials and Design*, 30, 3229-3234.
- Iacobescu, R.I., Koumpouri, D., Pontikes, Y., Şaban, R., Angelopoulos, G., 2011. “Utilization of EAF Metallurgical Slag in “Green” Belite Cement”. **U.P.B. Sci. Bull.**, Seri B, 73, 187-194.
- İTÜ TechnoBee., 2012. “Elektrikli Ark Fırınlı Çelik Tesislerinde Üretilen Çelik Cürufunun Dolgu, Temel ve Alt Temel Olarak Kullanımına İlişkin Teknik Rapor Ek-A”
- Jimenez, A. F., Palomo, J. G., Puertas, F., 1999. Alkali-Activated Slag Mortars Mechanical Strength Behaviour. **Cement and Concrete Research**, Vol. 29, No. 8, pp. 1313–1321.
- Karpuzcu, M., 2010. “Demir-demir dışı metal üretiminde çıkan cürufuların Dünya’da ve Türkiye’de kullanımları ve yapılan çalışmalar”, **Demir Çelik Atıkları Toplantısı**, İstanbul, 2-31, 2010
- Krizan, D., Zivanovic, B., 2002. Effects of Dosage and Modulus of Water Glass on Early Hydration of Alkali-Slag Cements. **Cement and Concrete Research**, Vol. 32, pp. 1181–1188.
- Li, Z., Ding Z., Zhang Y., 2004. Development of Sustainable Cementitious Materials, *Proceedings of International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology*, Beijing, China, 55-76.
- Manso, J. M., Polanco, J. A., Losanez, M., Gonzalez, J. J., 2006. “Cement & Concrete Components”. TÇÜD. Demir çelik cüruf raporu, 2015. Syf. 19.

- Masasza, F., 1997. Pozzolans and Durability of Concrete, 1. International Symposium on Mineral Admixtures in Cement, **Turkish Cement Manufactures' Association**, İstanbul, 1-22
- Mclellan B.C., Williams R.P., Lay J., Riessen A.V., Corder G. D., 2011. Costs And Carbon Emissions For Geopolymer Pastes in Comparison to Ordinary Portland Cement, **Journal of Cleaner Production**, 19, 1080-1090.
- Mutlugeldi, O., 2015. Elektrik Ark Fırını Cürufunun Karayolu Esnek Üstyapı Bitümlü Temel Tabakasında Agregası Olarak Değerlendirilmesi
- Okochi, N. C., Mcmartin, D. W., 2011. Journal of Hazardous Materials, 250-257. TÇÜD. Demir çelik cüruf raporu, 2015. Syf. 27.
- Önkibar, G., 2006. "Entegre demir çelik tesisi tufalinden doğrudan redüklenme yöntemi ile ham demir üretimi", Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, 20-120, 2006
- Özkul, H., Taşdemir, M.A., Tokyay, M., Uyan, M., Aralık 1999, Her yönüyle Beton, **THBB Dergisi**, İstanbul.
- Özturan, T., Kocataşkin, F., 1989. Abrasion Resistance of Concrete as a Two Phase Composite Material, **The International Journal Cement Composites and Lightweight Concrete Volume 9**. No.3 pp.169-176.
- Öztürk, M., Balçıkanlı, M., Sevim, U.K., Bölükbaşı, Ö.S., 2017. "Elektrik Ark Ocağı Cüruf Katkılı Harçların İncelenmesi" 2nd International Mediterranean Science and Engineering Congress Proceeding Book. p: 1864-1870. Adana
- Pasetto, M., Baldo. N., 2011. Mix design and performance analysis of asphalt concretes with electric arc furnace slag. "**Construction and Building Materials**". 25, 3458-3468.
- Pellegrino, C., Gaddo, V. 2009. "Cement & Composite Concretes". 663-671. TÇÜD. Demir çelik cüruf raporu, 2015. Syf. 19.
- Recycling Industry Dergisi, 2011. Cüruf dağları nasıl eritilecek, Ocak 2011, Sayı-52, sf 20-32, <http://www.recyclingdergisi.com/HaberlerDetay.aspx?ID=34>.
- Sağlık A. Ü., 2009. Alkali - Silica Reactivity And Activation of Ground Perlite - Containing Cementitious Mixtures, PhD thesis, Middle East Technical University, Ankara.
- Sakulich, A. R., Anderson, E., Schauer, C., Barsoum, M.W., 2009. Mechanical and Microstructural Characterization of An Alkali-Activated Slag/Limestone Fine Aggregate Concrete, **Construction and Building Materials**, 23, 2951-2957.
- Shi C., Day R.L., 2001. Comparison of Different Methods for Enhancing Reactivity of Puzolans, **Cement and Concrete Research**, 31, 813-818.
- Soroka, I., 1993. Concrete in Hot Environments. National Building Research Institute, Faculty of Civil Engineering, **Technion-Israel Institute of Technology**, Haifa, 247s.
- Sumaya, M., Romaela, M., Prakash, K., 2016. Characterisation of electric arc furnace

- slags as concrete aggregate in a small island developing state: A preliminary study, **Construction and Building Materials**, 105, 459-464.
- Thakur, R.N., Ghosh, S. 2009. Effect of Mix Composition on Compressive Strength and Microstructure of Fly Ash Based Geopolymer Composites, **ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences**, Vol:4, ISSN 1819-6608, 68-74.
- Tokyay, M., 2003. Cürüflar ve Cürüflü Çimentolar. Araştırmaların Gözden Geçirilmesi ve Durum Değerlendirmesi Raporu, **TCMB**, Ankara, 47s.
- Trends in global CO2 emissions report, 2015. **PBL Netherlands Environmental Assessment Agency**.
- TS-EN 12390-8, 2002. Basınç altında su işleme derinliğinin tayini. **Türk Standartları Enstitüsü**, ANKARA
- TS EN 197-1, 2002. “Genel Çimentolar-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri” **Türk Standartları Enstitüsü**, ANKARA.
- TS-EN 934-2 Kimyasal Katkılar – Beton Harç ve Şerbet İçin- Bölüm 2 Beton Katkıları Tarif ve Özellikleri, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara
- TS 2824 EN 1338, 2005. Zemin döşemesi için beton kaplama blokları - gerekli şartlar ve deney metotları. **Türk Standartları Enstitüsü**, ANKARA
- TS 706 EN 12620, 2009. Beton Agregaları. **Türk Standartları Enstitüsü**, ANKARA.
- Türkiye Çelik Üreticileri Derneği (TÇÜD), (2015). “**Demir çelik cüruf raporu**”. 16 Kasım 2015.
- Wang, S. D., Pu, X. C., Scrivener, K. L., Pratt, P. L., 1995. Alkali Activated Slag Cement and Concrete: A Review of Properties and Problems. **Advances in Cement Research**, Vol. 7, No. 27, pp. 93–102.
- Whitehurst, E.A., 1951. Soniscope Test Concrete Structures Journal of American Concrete Institute, Proceeding, 47, 443-444
- Wittayangkoon, S., 2007. “Siam Steel Mill Services Ltd”. Global Slag Magazine. TÇÜD. Demir çelik cüruf raporu, 2015. Syf. 16.
- Yıldırım, M. Ş., 2008. Tras Katkılı Betonlarda Karışım Oranları ve Kür Sürelerinin Basınç Dayanımına Etkisinin İncelenmesi, **Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi**, 20, 517-525.
- Yıldırım, I. Z., 2011. Monica Prezzi, “Chemical, Mineralogical, and Morphological Properties of Steel Slag”, **Advances in Civil Engineering**, Volume 2011,

ÖZGEÇMİŞ

Yazar, 1989 yılında İskenderun'da doğdu. İlkokul, Ortaokul ve Lise öğrenimini İskenderun'da tamamladı. 2010 yılında Bayburt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2011 yılında yatay geçiş ile Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne geçiş yaptıktan sonra 2014 yılında "İnşaat Mühendisi" unvanı ile mezun oldu. 2016 yılında İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Fakültesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimine başlayıp 2018 yılında Yüksek Lisans derecesiyle mezun oldu.

