

Fat
ma
KOÇ



İSKENDERUN TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ

İN
ŞA
AT
M
ÜH
YÜKSEK
LİSANS
TEZİ
Dİ
SLİ
Ğİ
AN
A
BİL
İM
DALI

**İSKENDERUN
BÖLGESİNDEKİ DEMİR-
ÇELİK FABRİKA
ATIKLARININ BETONUN
DAYANIM VE
DAYANIKLILIĞINA ETKİSİ**

FATMA KOÇ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI

OCAK 2021

O
C
A
K
2
0
2
1



Fatma KOÇ

YÜKSEK LİSANS

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OCAK 2021

İSKENDERUN BÖLGESİNDEKİ DEMİR-ÇELİK FABRİKA ATIKLARININ BETONUN DAYANIM VE DAYANIKLILIĞINA ETKİSİ

(Yüksek Lisans Tezi)

FATMA KOÇ

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OCAK 2021

ÖZET

Günümüzde beton, çok fazla miktarda üretimi yapılan ve kullanılan yapı malzemesidir. Aynı şekilde çelik de üretimi ve kullanımı yaygın olan bir malzemedir. Çelik üretimi esnasında birçok yan ürün oluşmaktadır. Oluşan katma değerli bu yan ürünlerin malzeme olarak beton sektöründe kullanımı ekonomik ve çevresel sürdürülebilirlik açısından çok değerlidir. Bu çalışmada İskenderun bölgesinde faaliyet gösteren demir-çelik fabrikalarından elde edilen atık malzemelerin betonda agrega ve çimento yerine kullanılarak, beton üretimine ve teknolojisine geri dönüşümüne katkı sağlaması amaçlanmıştır. Betonda agrega yerine ince-kaba elektrik ark ocağı cürufu hacimce %25, %50, %100 oranlarında; siyah tufal ve kırmızı tufal ise %10, %20 oranlarında kullanılmıştır. Çimento yerine ise baca tozu ve yüksek fırın cürufu %10, %20, %30 oranlarında ağırlıkça değişim yapılmıştır. Belirlenen oranlarda 10×10×10 cm boyutlarında beton küp numuneler ve 10×20 cm boyutlarında silindir numuneler üretilmiştir. Toplam 19 farklı karışım tasarlanmıştır. Karışımlarda su/çimento oranı 0,5 ve bağlayıcı dozajı 400 kg/m³'te sabit tutulmuştur. Üretilen betonların ultrasonik ses geçiş hızı deneyi, 7 günlük ve 28 günlük basınç deneyleri yapılmıştır. Beton numuneler yüksek sıcaklığa (250 °C, 500°C, 750 °C) 2 saat boyunca maruz bırakılarak basınç dayanımları tespit edilmiştir. 28 günlük numuneler 30 gün boyunca asit atağı ve sülfat atağına maruz bırakılarak sonrasında basınç dayanımları tespit edilmiştir. Silindir numuneler içerisine 12 mm çapında donatılar yerleştirilmiş, bu numuneler üzerinde kurulan düzenekle hızlı korozyon testi yapılmıştır. 152 saat boyunca donatılara sabit 12V akım verilmiştir. 8 saat aralıklarla donatılardan geçen akım ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar, çalışmada kullanılan geri dönüşüm malzemelerinin beton ve agrega yerine belirli oranlarda kullanılabilirliğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler : Yüksek Fırın Cürufu, Baca Tozu, Elektrik Ark Ocağı Cürufu, Tufal

Sayfa Adedi : 76

Danışman : Prof. Dr. Umur Korkut SEVİM

THE EFFECT OF IRON-STEEL FACTORY WASTES IN THE ISKENDERUN REGION ON THE STRENGTH AND DURABILITY OF CONCRETE

(M. Sc. Thesis)

FATMA KOC

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY

ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

JANUARY 2021

ABSTRACT

Today, concrete is a building material that is produced and used in large quantities. Likewise, steel is a material that is widely produced and used. Many by-products are formed during steel production. The use of these value-added by-products in the concrete industry as a material is very valuable in terms of economic and environmental sustainability. In this study, it is aimed to contribute to the recycling of concrete production and technology by using waste materials obtained from iron and steel factories operating in Iskenderun region instead of aggregate and cement in concrete. In concrete, instead of aggregate, fine-coarse electric arc furnace slag is at 25%, 50% and 100% by volume; black scale and red scale were used at the rates of 10% and 20%. Instead of cement, flue dust and blast furnace slag 10%, 20% and 30% were changed by weight. Concrete cube samples of $10 \times 10 \times 10$ cm and cylindrical samples of 10×20 cm were produced at the specified proportions. A total of 19 different mixtures were designed. The water / cement ratio in the mixtures was kept constant at 0.5 and the binder dosage at $400 \text{ kg} / \text{m}^3$. Ultrasonic sound velocity test, 7-day and 28-day pressure tests of the produced concrete were performed. Concrete samples were exposed to high temperature (250 C, 500°C, 750 °C) for 2 hours and their compressive strength was determined. 28-day samples were exposed to acid and sulphate attack for 30 days and their compressive strength was determined afterwards. Reinforcements with a diameter of 12 mm were placed in the cylindrical samples, and rapid corrosion test was performed on these samples with the setup installed. Constant 12V current was supplied to the fittings for 152 hours. The current flowing through the reinforcement was measured at 8 hour intervals. The results obtained showed that the recycling materials used in the study can be used in certain proportions instead of concrete and aggregate.

Keywords: Blast Furnace Slag, Chimney Powder, Electric Arc Furnace Slag, Mill Scale,

Number of Pages: 76

Supervisor: Prof. Dr. Umur Korkut SEVİM

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez konusunun belirlenmesinde, araştırılmasında, deney uygulamaları ve tez yazımı sırasında sahip olduğu bilgi birikimi ve deneyimi ile çalışmaya yön veren ve her türlü yardımı esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Umur Korkut SEVİM'e sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım sırasında desteğini esirgemeyen, bilgi birikimini benimle paylaşan, her türlü sorumu cevaplayan Arş.Gör. Müzeyyen BALÇIKANLI BANKİR'e ve Arş.Gör. Murat ÖZTÜRK'e teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım sırasında yardım aldığım Dr.Öğr.Üyesi Murat FURAT ve Arş.Gör. Fatih Özkan ALKURT'a teşekkür ederim. Beton üretimi sırasında laboratuvarında benimle birlikte çalışıp yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Serkan YALVAÇ, İlker CANDAN, Akif BOYRAZ ve Kübra ÖZDÜLKAR'a teşekkürlerimi borç bilirim. Ayrıca eğitim ve sosyal hayatımda benden maddi manevi desteğini bir an olsun esirgemeyen babam Adil KOÇ'a, annem Nazmiye KOÇ'a, kardeşlerim Buket Ceren KOÇ ve Mehmet Hakan KOÇ'a en içten saygı ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	vi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
3. MATERYAL ve YÖNTEM	11
3.1. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	11
3.1.1. Çimento	11
3.1.2. Agregalar	11
3.1.3. Su azaltıcı katkı	13
3.1.4. Elektrik ark fırın cürufu	13
3.1.5. Yüksek fırın cürufu	15
3.1.6. Baca tozu	17
3.1.7. Tufal	19
3.2. Beton Karışım Tasarımı	21
3.2.1. Beton üretimi	23
3.3. Deney Yöntemleri	25
3.3.1. Çökme (slump) deneyi	25
3.3.2. Ultrason ses geçiş hızı deneyi	25
3.3.3. Basınç dayanımı deneyi	26
3.3.4. Yüksek sıcaklık etkisinde kalan betonun basınç dayanımı	27
3.3.5. Asit atağı	29
3.3.6. Sülfat atağı	30
3.3.7. Hızlı korozyon testi	32
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	33
4.1. Slump Deneyi	33

	Sayfa
4.2. Basınç Deneyi	34
4.3. Ultrasonik Ses Geçiş Hızı Deneyi	43
4.4. Asit Atağı Deneyi.....	45
4.5. Sülfat Atağı Deneyi.....	52
4.6.Hızlandırmış Korozyon Testi.....	60
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	70
KAYNAKLAR	72
DİZİN	74
ÖZGEÇMİŞ.....	75



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge Sayfa

Çizelge 3.1: Çimento'ya ait fiziksel özellikler	11
Çizelge 3.2:Çimento'ya ait kimyasal özellikler.....	11
Çizelge 3.3: Su azaltıcı katkı malzemesinin özellikleri	13
Çizelge 3.4: EAFC' nun kimyasal özellikleri.....	15
Çizelge 3.5: YFC' nun kimyasal özellikleri	17
Çizelge 3.6: BT'nun kimyasal özellikleri.....	19
Çizelge 3.7: Tufallerin kimyasal özellikleri	20
Çizelge 3.8:Karışım tasarım parametreleri.....	21
Çizelge 3.9:1 m ³ beton için gerekli malzeme miktarları	22
Çizelge 3.10: Beton sınıfı slump değerleri (TS-EN 12350-2).....	25
Çizelge 3.11: Sıcaklık artışının beton üzerinde oluşturduğu etkiler	28
Çizelge 3.12: Farklı asitlerin beton üzerindeki etkisi	29
Çizelge 3.13: Zemin suyu ve toprakta bulunan sülfat yoğunluğunun betona etkisi	31
Çizelge 3.14: TS 3440'a göre Sülfat iyonlarının zararlı etki dereceleri.....	31
Çizelge 4.1: Beton karışımlara eklenen su azaltıcı (SAK) miktarları (30 dm ³ için.....	33
Çizelge4.2: Betonların basınç dayanımları	35
Çizelge 4.3:Ultrasonik dalga hızı aralıkları (Whitehurst, 1951).....	42
Çizelge 4.4: Betonların ultrasonik dalga hızı deney sonuçları	42
Çizelge 4.5: Betonların ultrasonik dalga hızının değerlendirilmesi.....	43
Çizelge 4.6: Betonların ultrasonik dalga hızının değerlendirilmesi.....	44
Çizelge 4.7. Na ₂ SO ₄ 'ın (sodyum sülfat) kimyasal özellikleri	52
Çizelge 4.8: Betonların 7 günlük, 28 günlük ve sülfat atağı sonrası basınç dayanımları	52

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1: Beton üretiminde kullanılan DKA ve EAFC tane dağılımları.....	12
Şekil 3.2: EAF prosesinin genel akış şeması.....	14
Şekil 3.3: EAF prosesinin genel akış şeması.....	16
Şekil 3.4: EAF’da baca tozu oluşumunun genel akış şeması	18
Şekil 3.5: Beton üretiminde kullanılan siyah tufal ve kırmızı tufalin tane dağılımı.....	20
Şekil 3.6: Hızlı korozyon testi düzeneğinin şematik gösterimi	32
Şekil 4.1: Karışımların slump değerleri	34
Şekil 4.2: Kontrol betonu ile İEAFC içerikli karışımların basınç dayanımı karşılaştırmaları	36
Şekil 4.3: Kontrol betonu ile KEAFC içerikli karışımların basınç dayanımı karşılaştırmaları.....	37
Şekil 4.4: Kontrol betonu ile hem KEAFC hem İEAFC içerikli karışımların basınç dayanımı karşılaştırmaları.....	38
Şekil 4.5. Kontrol betonu ile Baca Tozu içerikli karışımların basınç dayanımı karşılaştırmaları	39
Şekil 4.6. Kontrol betonu ile Yüksek Fırın Cürufu içerikli karışımların basınç dayanımı karşılaştırmaları	40
Şekil 4.7. Kontrol betonu ile Kırmızı Tufal içerikli karışımların basınç dayanımı karşılaştırmaları	41
Şekil 4.8: Kontrol betonu ile Siyah Tufal içerikli karışımların basınç dayanımı karşılaştırmaları	42
Şekil 4.9: Kontrol betonu ile İEAFC içerikli karışımların 28 günlük ve asit atağı sonrası basınç dayanımı karşılaştırmaları.....	45
Şekil 4.10: Kontrol betonu ile KEAFC içerikli karışımların 28 günlük ve asit atağı sonrası basınç dayanımı karşılaştırmaları	46
Şekil 4.11: Kontrol betonu ile hem KEAFC hem İEAFC içerikli karışımların 28 günlük ve asit atağı sonrası basınç dayanımı karşılaştırmaları.....	47
Şekil 4.12: Kontrol betonu ile BT içerikli karışımların 28 günlük ve asit atağı sonrası basınç dayanımı karşılaştırmaları	48
Şekil 4.13: Kontrol betonu ile YFC içerikli karışımların 28 günlük ve asit atağı sonrası basınç dayanımı karşılaştırmaları	49
Şekil 4.14: Kontrol betonu ile KT içerikli karışımların 28 günlük ve asit atağı sonrası basınç dayanımı karşılaştırmaları	50

Şekil**Sayfa**

Şekil 4.15: Kontrol betonu ile ST içerikli karışımların 28 günlük ve asit atağı sonrası basınç dayanımı karşılaştırmaları	51
Şekil 4.16: Kontrol betonu ile İEAFc içerikli karışımların 28 günlük ve sülfat atağı sonrası basınç dayanımı karşılaştırmaları.	53
Şekil 4.17: Kontrol betonu ile KEAFc içerikli karışımların 28 günlük ve sülfat atağı sonrası basınç dayanımı karşılaştırmaları	54
Şekil 4.18: Kontrol betonu ile hem KEAFc hem İEAFc içerikli karışımların 28 günlük ve sülfat atağı sonrası basınç dayanımı karşılaştırmaları.....	55
Şekil 4.19: Kontrol betonu ile BT içerikli karışımların 28 günlük ve sülfat atağı sonrası basınç dayanımı karşılaştırmaları.....	56
Şekil 4.20: Kontrol betonu ile BT içerikli karışımların 28 günlük ve sülfat atağı sonrası basınç dayanımı karşılaştırmaları	57
Şekil 4.21: Kontrol betonu ile KT içerikli karışımların 28 günlük ve sülfat atağı sonrası basınç dayanımı karşılaştırmaları	58
Şekil 4.22: Kontrol betonu ile ST içerikli karışımların 28 günlük ve sülfat atağı sonrası basınç dayanımı karşılaştırmaları	59
Şekil 4.23. Kontrol betonu ve İEAFc içerikli karışımların geçirdiği akım ile maruz kalma süresi arasındaki ilişki	61
Şekil 4.24: Kontrol betonu ve KEAFc içerikli karışımların geçirdiği akım ile maruz kalma süresi arasındaki ilişki	62
Şekil 4.25: Kontrol betonu ile İEAFc ve KEAFc içerikli karışımların geçirdiği akım ile maruz kalma süresi arasındaki ilişki	63
Şekil 4.26: Kontrol betonu ve BT içerikli karışımların geçirdiği akım ile maruz kalma süresi arasındaki ilişki	64
Şekil 4.27: Kontrol betonu ve YFC içerikli karışımların geçirdiği akım ile maruz kalma süresi arasındaki ilişki	65
Şekil 4.28: Kontrol betonu ve KT içerikli karışımların geçirdiği akım ile maruz kalma süresi arasındaki ilişki	66
Şekil 4.29: Kontrol betonu ve ST içerikli karışımların geçirdiği akım ile maruz kalma süresi arasındaki ilişki	67

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1: Beton üretiminde kullanılan doğal kırmataş agrega a) 0-4 mm b) 4-12 mm	12
Resim 3.2: Beton üretiminde kullanılan EAFC a) 0-4 mm b) 4-11 mm	14
Resim 3.3: Beton üretiminde kullanılan YFC	16
Resim 3.4: Beton üretiminde kullanılan Baca Tozu (BT).....	18
Resim 3.5: Beton üretiminde kullanılan tufaller a) Siyah Tufal (ST) b) Kırmızı Tufal	20
Resim 3.6: Beton üretim aşamaları a) betonun kalıplara yerleşmesi b) vibrasyon aşaması c) numunelerin kürlenmesi	24
Resim 3.7: Ultrason ses geçiş hızı deneyi	26
Resim 3.8: Beton basınç deneyi	27
Resim 4.1: H ₂ SO ₄ (sülfirik asit) çözeltisi içinde bekletilen numuneler	45
Resim 4.2: Na ₂ SO ₄ (sodyum sülfat) çözeltisi içinde bekletilen numuneler	53
Resim 4.3: Hızlı korozyon testi düzeneği.....	61

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler **Açıklamalar**

°C Santigrat derece

cm³Santimetre küp

Gr Gram

cm²Santimetre kare

m² Metre kare

mmMilimetre

mAMiliamper

MPa Megapascal

V Volt

Kısaltmalar **Açıklamalar**

EAF Elektrik ark fırını

EAFÇ Elektrik ark fırıncürufu

YFC Yüksek fırıncürufu

KT Kırmızı Tufal

ST Siyah Tufal

BT Baca Tozu

PÇ Portland çimentosu

SAK Su azaltıcı katkı

DKA Doğal kırma taş agrega

1.GİRİŞ

Günümüzde beton en çok kullanılan yapı malzemesi konumundadır. Hızla artan nüfusun barınma ihtiyacına uygun karşılık vermesi, estetik yapılarda kullanım kolaylığı sağlaması, dayanıklı, ekonomik ve sürdürülebilir olması betonun tercih edilme sebeplerindedir. Kara yolları, deniz altı tünelleri, köprüler, gökdelenler gibi pek çok farklı alanda, çeşitli amaçlarla betondan yararlanılmaktadır. Bu nedenlerle çok geniş bir kullanım alanı olan beton, sudan sonra dünyada en fazla kullanılan malzeme hâline gelmiştir. Uygarlıkların tarihinde önemli bir yeri olan betonun gelişim yolculuğu hâlen sürmektedir. Üniversiteler, laboratuvarlar, sektörel kuruluş ve enstitülerde çimento ve hazır betonun niteliklerini geliştirmeye yönelik araştırmalar aralıksız devam etmektedir. Bu doğrultuda betonun performansı her geçen gün daha da yükselmektedir. Beton, yeni betona veya başka yapılara geri dönüştürülebilir. Bu “Döngüsel ekonomi” kavramında önemli yer tutmaktadır. Ham madde olarak sadece işlenmemiş malzemeler kullanılmaz, aynı zamanda geri dönüşümlü agregalar ve geri dönüşüm sonucu oluşmuş su da kullanılabilir.

Günümüz dünyasında artan nüfus dolayısıyla tüketimin bu denli artışı yaşanabilir dünya için tehlike arz etmektedir. Bu bağlamda birçok alanda geri dönüşüm çok büyük önem kazanmıştır. En çok kullanılan yapı malzemesi beton olduğundan betonda geri dönüşüm üzerine çalışmalar son yıllarda yoğunlaşmıştır.

Aynı zamanda ülkemizde, demir-çelik sektörü birçok sanayi koluna hammadde sağlaması açısından ülke ekonomisi ve sanayileşmede öncü sektörler arasında yer almaktadır. 26 milyon ton yıllık üretimi ile gelişmekte olan ülkeler arasında öncü role sahip olan Türk demir çelik sektörü, aynı zamanda, üretim faaliyetleri sonucu yüksek miktarlarda atık ürün (cüruf) oluşması nedeniyle ülkemizdeki en büyük atık üreticisi sektörler arasında yer almaktadır (Türkiye Sınai Kalkınma Bankası: Mayıs 2018). Demir-çelik sektöründe yan ürün olarak oluşan cürufun bir kısmı granüle cüruf olarak çimento sanayinde değerlendirilmektedir. Fakat geri dönüşümü gerçekleştirilemeyen cüruflar çevre sorunu oluşturmanın yanında, oluşturulması gereken depolama alanlarının büyüklüğü nedeniyle ortaya çıkan maliyetler, depolama seçeneğini ekonomik olmaktan çıkarmaktadır. Bu nedenle bu yan ürünlerin geri dönüşüme kazandırılması amacıyla birçok bilimsel araştırma yapılmaktadır. Bu araştırmalara göre yan ürünler; inşaat sektöründe, agrega, çimento

sanayi, briket ve tuğla yapımı, cüruf yünü, prefabrik eleman ve blok yapımı, dolgu malzemesi, yol-temel ve alt temel malzemesi olarak geniş bir alanda kullanılabilir.

Bu çalışmada doğal kaynak problemini çözmek, enerji tasarrufu sağlamak ve atık ürünlerin depolama sorununa çözüm üretebilmek amacıyla agrega yerine ince-kaba elektrik ark ocağı cürufu, %25, %50, %100 oranlarında; siyah tufal ve kırmızı tufal ise %10, %20 oranlarında hacimce değişim yapılarak; çimento yerine ise baca tozu ve yüksek fırın cürufu %10, %20, %30 oranlarında ağırlıkça değişim yapılarak farklı karışımlar tasarlanmıştır. Belirtilen oranlarda 100×100×100 mm boyutlarında beton küp numuneler, 100×200 mm boyutlarında silindir numuneler üretilmiştir. Her deney için her karışımdan 3'er adet numune deneye tabi tutulmuş ve sonuçların aritmetik ortalamaları sonuç olarak kaydedilmiştir. Üretilen betonların 7 günlük ve 28 günlük basınç deneyleri küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Basınç testleri yapılmadan önce numunelerin ultrasonik ses geçiş hızları belirlenmiştir. 28 günlük küp beton numuneler yüksek sıcaklığa (250°C, 500°C, 750°C) 2 saat boyunca maruz bırakılarak basınç dayanımları belirlenmiştir. 3'er adet küp numune 28 gün suda kürlendikten sonra 1 ay boyunca %5 derişiminde Sodyum Sülfat ve aynı derişimde Sülfirik Asit çözeltisinde bekletilmiştir. Sonrasında basınç dayanımları tespit edilmiş ve 28 günlük basınç dayanımlarıyla karşılaştırılmıştır. Silindir numuneler ise 28 gün suda kürlendikten sonra %5 tuzlu su çözeltisi içerisinde 1 hafta boyunca hızlı korozyon testine tabi tutulmuştur.

2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Geri dönüşüm malzemelerinin beton üretiminde katkı malzemesi olarak kullanılması ile ilgili tüm dünyada uzun yıllardır önemli araştırma ve çalışmalar yapılmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Rattanachu, Toolkasikorn, Tangchirapat, Chindaprasirtve Jaturapitakkul (2020), çalışmalarında, pirinç kabuğu külünü, geri dönüştürülmüş agregalı betonda (RAC) çimento yerine kullanmayı amaçlamışlardır. Pirinç kabuğu külü, beton dökmek amacıyla ağırlıkça %20 ila %50 oranlarında çimento ile değiştirilmiştir. Basınç dayanımı, çelik korozyon ve klorür penetrasyon derinliği, RAC'ın baskı voltajı yöntemi ile incelenmiştir. Sonuçlar, normal Portland çimentosunun (NPC) %20'sinin öğütülmüş pirinç kabuğu külü (GRHA) ile değiştirilmesinin, RAC'nin basınç mukavemetini 60 günde GRHA'sız RAC'den daha fazla artırdığını ortaya çıkarmıştır. Ağırlıkça % 20 ila % 50 oranında GRHA içeren beton, RAC'ın çelik korozyonunu ve klorür direncini önemli ölçüde iyileştirmiştir. NPC'nin yerine % 50 oranında GRHA kullanımı en yüksek klor penetrasyon direncini vermiş ve RAC'nin en düşük çelik korozyonunu sağlamıştır. GRHA'lı RAC, kontrol betona göre daha az basınç dayanımına sahip olmasına rağmen beton, klorür penetrasyon direncini artırma ve çelik korozyonu azaltma konusunda olumlu bir etki sağlamıştır.

Live, Zhao (2003), uçucu kül (FA) ve öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu (GGBS) kombinasyonunun yüksek dayanımlı betonun özellikleri üzerindeki etkisi üzerine bir laboratuvar çalışması yapmışlardır. FA ve GGBS içeren beton (GGFAC), portland çimento betonu ve yüksek hacimli FA yüksek dayanımlı betonu (HFAC) kontrol etmek için bir kontrast çalışması yapılmıştır. Beton karışımlarının değerlendirmeleri, betonun kısa ve uzun vadeli performansına dayandırılmıştır. 7 gün ve 360 günlük betonların mikro yapısı da taramalı elektron mikroskobu kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar, FA ve GGBS kombinasyonunun betonun hem kısa hem de uzun vadeli özelliklerini iyileştirebileceğini, HFAC'nin yararlı etkisini görmek için ise nispeten daha uzun bir süre gerektirdiğini göstermiştir.

Bilim (2009) çalışmasında, öğütülmüş yüksek fırın cürufu betonun basınç dayanımını tahmin etmek için yapay sinir ağları (YSA) çalışması yapmıştır. YSA çalışmasında toplam 45 beton üretilen bir laboratuvar çalışmasının veri setinden yararlanılmıştır. Beton karışım parametreleri, üç farklı su/çimento oranı (0.3, 0.4 ve 0.5), üç farklı çimento dozu (350, 400

ve 450 kg / m³) ve dört kısmi cüruf ikame oranıdır (%20, %40, 60 ve % 80). Nemli kurlenmiş numunelerin (22 ± 2 ° C) basınç dayanımları 3, 7, 28, 90 ve 360 günlerde ölçülmüştür. YSA modeli bu veriler kullanılarak oluşturulmuş ve test edilmiştir. YSA modelinde kullanılan veriler, çimento, öğütülmüş yüksek fırın cürufu, su, hiperplastikleştirici, agrega ve numunelerin yaşını kapsayan altı girdi parametresi ve betonun basınç dayanımı olan bir çıktı parametresi biçiminde düzenlenmiştir. Sonuçlar, YSA'nın, girdi parametreleri olarak beton bileşenleri kullanarak öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu betonun basınç dayanımını tahmin etmek için alternatif bir yaklaşım olabileceğini göstermiştir.

Binici, Görür ve Durgun (2010), çalışmalarında öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve bazaltik pomza farklı oranlarda içeren betonların mekanik aşınma ve geçirgenlik özelliklerinin araştırılmasını amaçlamışlardır. İnce agreganın yüksek fırın cürufu veya bazaltik pomza ile yer değiştirme yüzdeleri bu çalışmada değişik şekillerde araştırılmıştır. Üretilen karışımların aşınma dayanımları araştırılmıştır. Beton aşınmaları TS 2824 EN 1338'e göre belirlenmiştir. Test sonuçları betonda yüksek fırın cürufu ve bazaltik pomza varlığının aşınmazlık ve geçirgenliğine olumlu etkiler yaptığını göstermiştir. Sonuçlar beton aşınması ve geçirgenliğinin betonda kullanılan katkı tipi ve miktarına bağlı olduğunu göstermiştir. Katkılı karışımların aşınma dayanımı kontrol karışımından daha düşük bulunmuştur. Diğer yandan özellikle bazaltik pomza katkı örneklerinin permeabilite değerleri kontrol örneğinden daha düşük bulunmuştur.

Poon, Shui, Lam, Fok ve Kou (2004), doğal ve geri dönüştürülmüş agregaların nem durumlarının taze ve sertleşmiş betonların özelliklerine etkisini araştırmıştır. Doğal ve geri dönüşümlü agregalarla farklı oranlarda beton karışımları hazırlanmıştır. Agregaların nem durumları kullanımdan önce hava kuru (AD), fırın kuru (OD) ve doygun yüzey kuru (SSD) durumlarda kontrol edilmiştir. Su/çimento oranı tüm karışımlar için sabit tutulmuştur. Taze durumda, çeşitli beton karışımları için çökme kaybı belirlenirken, 3, 7 ve 28 günlük kurlmeden sonra basınç dayanımı belirlenmiştir. Test sonuçları, beton karışımlarının başlangıç çökme değerlerinin başlangıçtaki serbest su içeriklerine bağlı olduğunu ve karışımların çökme kaybı değerlerinin agregaların nem durumlarıyla ilişkili olduğunu göstermiştir. %100 AD veya OD geri dönüştürülmüş agrega kullanıldığında çökme kaybı önemli derecede artmıştır. Agregaların nem durumlarının OD ve SSD durum agregaları ile hazırlanan betonların dayanımına erken yaşta (yani 3 ve 7 gün) etkisi dikkat çekicidir. AD agregaları ile hazırlanan beton 3, 7 ve 28. günde en yüksek ortalama

dayanım değerlerine ulaşmıştır. Ancak 28 günde, farklı tip agregalarla hazırlanan beton dayanımları benzerdir. Sonuçlar,%50'den fazlageri dönüştürülmüş agrega içermeyen bir AD agregasının normal mukavemetli geri dönüştürülmüş agrega betonu üretmek için optimum olduğunu göstermiştir.

Katz(2003), 28 günlük basınç dayanımı 28 MPa olan bir betonun, 1, 3 ve 28. günlerde yeni betonlar için agrega kaynağı olarak kullanılmak üzere kırılması beton santrallerindeki durumu simüle etmiştir. Geri dönüştürülmüş agreganın ve ondan yapılan yeni betonun özellikleri, yaklaşık %100 agrega ikamesi ile test edilmiştir. Çeşitli partikül boyutu gruplarının geri dönüştürülmüş agregalarının özellikleri arasında önemli farklılıklar gözlenirken, kırma yaşının neredeyse hiçbir etkisi olmadığı gözlenmiştir. Geri dönüştürülmüş agregalarla yapılan betonun özellikleri, işlenmemiş agregalarla yapılan betona göre daha düşüktür. Kırma yaşının etkileri orta düzeydedir. 3 günlük yaşta kırılan agregalarla yapılan beton, güçlü bir çimento matrisi kullanıldığında diğer kırma çağındaki agregalarla yapılanlardan daha iyi özellikler sergilemiştir. Daha zayıf bir çimento matrisi kullanıldığında tam tersi bir eğilim görülmüştür. Erken yaşta kırılan geri dönüştürülmüş agregalarda bir miktar gizli çimentolama kapasitesi görülmüştür.

Chindaprasirt, Jaturapitakkul ve Rattanasak(2009), çalışmalarında bir biyokütle enerji tesisinden temin edilen pirinç kabuğu külünden (RHA) hafif agrega(LWA) hazırlanmasını incelemişlerdir. Alınan ve öğütülmüş RHA'lar sodyum hidroksit solüsyonu (NaOH) ile karıştırıldıktan sonra sertleştirilmiş sodyum silikat macunu elde etmek için kürlenmiştir. Örnekler daha sonra ezilerek LWA oluşturmak için ısıtılmıştır. LWA, asit ve baz çözünürlüğü ve kaynar suda parçalanma açısından test edilmiştir. Sonuçlar, zemin RHA – LWA'nın genişleme, çözünürlük ve parçalanma açısından biyokütle enerji tesisinden alınan RHA – LWA'dan daha iyi performanslar verdiğini göstermiştir. Bununla birlikte, LWA'nın kaynar suda parçalanması ana problemdir. RHA'nın ağırlıkça %2-7 borik asit eklenmesinin bu sorunu hafiflettiği ve herhangi bir parçalanma belirtisinin görülmediği bulunmuştur. Sonuç olarak 0,20–0,40 g/cm³'lük LWA yoğunluğu elde edilmiştir.

Chindaprasirt, Kanchanda,SathonsaowaphakveCao(2007) bu çalışmada, mevcut puzolan, yani uçucu kül ve öğütülmüş pirinç kabuğu külü (RHA) içeren normalPortland çimentosundan yapılan harçların sülfat direncini incelemiştir. F sınıfı linyit uçucu kül ve RHA, çimento ağırlığının%20'si ve%40'ı ikame dozajlarında kullanılmıştır. %5 sodyum sülfat çözeltisine daldırılan harçprizmalarının genişmesi ve çözeltinin pH değerlerindeki değişim izlenmiştir. Uçucu kül ve RHA'nındahil edilmesi, harç çubuklarının genişmesini

ve çözeltilerin pH değerlerini düşürmüştür. RHA'nın uçucu külden daha etkili olduğu bulunmuştur. Harç prizmalarının kırık yüzeyinin, bir daldırma süresinden sonra elektron mikroskobu taraması ile incelenmesi, karışımli çimento harçlarının sülfat saldırısının, kalsiyum hidroksit ve C-S-H jelinin C/S oranındaki azalmalar nedeniyle kısıtlandığını doğrulamıştır. RHA içeren harmanlanmış çimento harcıPortland çimento harcı ile karşılaştırıldığında, RHA içeren harmanlanmış çimentodan yapılan harçlarda daha az kalsiyum sülfat ve çok daha az etrenjit oluşumu bulunmuştur. Uçucu kül içeren harmanlanmış çimento harcında bulunan kalsiyum sülfat ve etrenjit miktarlarının küçük, ancak RHA harcından biraz daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. İyi sülfat direncine sahip harmanlanmış çimento yapımında Portland çimentosunun%40'a kadarlık kısmının bu puzolanlarla değiştirilebileceği belirtilmiştir.

Öztürk ve arkadaşları (2020), çalışmalarında demir çelik endüstrisi atık tufalleri(tufal-I, tufal-II) de dahil olmak üzere harçların elektromanyetik özelliklerinin atık problemlerinin çözümüne katkı sağlamaya etkisi hakkında ayrıntılı analiz ve bilgiler sunmuştur. Harç numuneleri, doğal ince agrega ile hacimce çeşitli oranlarda yer değiştirilmiştir tufaller (%5, 10, 15 ve 30) kullanılarak hazırlanmıştır. Harçların mekanik özellikleri (eğilme ve basınç dayanımı) ve elektromanyetik (EM)ekranlama özellikleri (serbest alan test yöntemi kullanılarak) birbirleriyle ve ayrıca bir kontrol harcı numunesi ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, %15 tufal bulunduran harçların kontrol harcı ile hemen hemen aynı mekanik özelliklere sahip olduğunu ve EM ekranlama için daha iyi çözüm sağladığını göstermiştir. Özellikle, tufal-II içeren harcın, tufal-II'nin kübik kristal yapısı ve ferromanyetik özellikleri nedeniyle tüm kablosuz iletişim bantlarında koruyucu özelliklere sahip yeni yapı malzemesi oluşturmak için kullanılabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Tufal-I kullanılarak hazırlanan harcın ise iletim açısından hava gibi davranan yeni yüksek mukavemetli radomları imal etmek için kullanılabilir olduğu saptanmıştır. Tüm deneysel sonuçlar, tufalin binalar için EM dalga koruyucu için uygun bir aday olduğunu ve demir-çelik endüstrisinin atık depolama sorununu çözümlen yanı sıra katma değer kazanacağını göstermektedir.

Atış,Karahan, Bilim, Özcan ve Sevim(2016), çalışmalarında çimentoya yüksek oranda kalsiyum içeren uçucu kül ve aktifleştiricisodyum sülfat (Na_2SO_4) eklemeleriyle üretilmiş harç numunelerinin basınç dayanımlarını incelemiştir. Uçucu kül, çimento ile ağırlıkça %10, %20, %30 ve %40 oranlarında değiştirilerek, sodyum sülfat toplam bağlayıcı miktarının %0, %2 ve %4 oranlarında değiştirilerek, kum/çimento oranı 2,75 ve su/çimento

oranı ise 0,485 olan harç numuneler üretilmiştir. Uçucu kül ile değişimi yapılmış harç numunelerine susuz sodyum sülfatın aktivatör olarak ilavesinin, harç numunelerinin boşluk oranlarına ve basınç ile eğilmede çekme dayanımlarına etkileri 3, 7, 28 ve 90 günlük kür süreleri sonunda tespit edilmiştir. Sonuçlar, uçucu külün %20 değişim oranına kadar kullanılabilceğini, erken yaş dayanım kayıplarının ise çimento miktarının en fazla %2'si kadar Na₂SO₄ kullanılarak telafi edilebileceğini göstermiştir.

Ozbay, Lachemi ve Sevim(2011) öğütülmüş granül yüksek fırın cürufu (GGBFS) içeren ve içermeyen lastik agregalı betonların basınç dayanımı, aşınma direnci ve enerji yutma kapasitesini belirlemek için deneysel bir program yürütmüştür. Bu amaçla, bir su/bağlayıcı oranı 0,4 belirlenmiş öğütülmüş lastik (CR) içeriği (ince agrega hacmine göre %0, %5, %15 ve %25) ve üç farklı GGBFS içeriği seviyesi (%0, %20 ve %40) deneysel parametreler olarak kabul edilmiştir. Toplamda, 12 beton karışımı dökülmüş ve basınç dayanımı, aşınma direnci ve enerji yutma kapasitesi açısından test edilmiştir. Deney sonuçları, CR agrega kullanımının betonların basınç dayanımını ve aşınma direncini azalttığını, ancak enerji yutma kapasitesini önemli ölçüde artırdığını göstermektedir.

Arsoy (2018), çalışmasında Elektrik Ark Fırını Cürufu'nu(EAFC) alkalilerle aktive edilerek beton özelliklerine (basınç ve yarmada çekme dayanımları, aşınma miktarı, ultrasonik dalga hızı, kılcal su emme, su emme, basınçlı su geçirimliliği, gaz ve hızlı klor geçirimliliği) etkisini incelemiştir. Bu amaçla su/bağlayıcı oranı 0,4 ve çimento dozajı 400 kg/m³olan karışımlar hazırlanmıştır. Elektrik Ark Fırını Cürufu, karışımlarda çimento yerine ağırlıkça %10, %20, %30 oranlarında ikame edilmiştir. Karışımlar üç farklı sodyum konsantrasyonu (%4, %6, %8) ile hazırlanmıştır. EAFC içermeyen kontrol numunesi hariç diğer karışımlarda silikat modülü 1 ve 2 olarak belirlenmiştir. Toplamda üretilen 18 farklı karışım 28 günlük standart kürün sonunda sudan çıkartılarak basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, ultrasonik dalga hızı, schmidt çekici, aşınma, kılcal su emme, su emme, basınçlı su geçirimlilik, gaz ve hızlı klor geçirimlilik deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde sodyum silikat-sodyum hidroksitkarışımının 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 oranında kullanılmasının betonun dayanım, aşınma, su emme, geçirimlilik gibi parametrelerini olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir.

Chindaprasirt ve Rukzon (2008), normal Portland çimentosu (OPC), öğütülmüş pirinç kabuğu külü (RHA) ve sınıflandırılmış uçucu kül (ince uçucu kül, FA) üçlü karışımları ile

yapılan harçların mukavemeti, gözenekliliği ve korozyon direncini incelemek adına bir çalışma yapmışlardır. Üretilen numuneler üzerinde basınç dayanımı, gözeneklilik ve sıkıştırılmış gerilim (ACTIV) ile hızlandırılmış korozyon test edilmiştir. Sonuçlar, OPC, RHA ve FA'nın üçlü karışımının kullanımının, RHA ve FA ile düşük ikame seviyesinde ve OPC harca kıyasla daha geç yaşta gelişmiş mukavemetli harçlar ürettiğini göstermektedir. Puzolan içeren harcın gözenekliliği, puzolanın %20'ye varan düşük değişim seviyesi ile azalırken, %40'luk değişim seviyesi ile artmıştır. Bununla birlikte, ACTIV ile ölçülen harcın klorür kaynaklı korozyon direnci, hem tekli puzolan hem de üçlü karışım OPC, RHA ve FA'nın kullanılmasıyla önemli ölçüde geliştirilmiştir. Üçlü karışım harcının korozyon direncinin, tek puzolanı içeren harca göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Üçlü karışım OPC, RHA ve FA kullanımının, harcın klorür kaynaklı korozyonunu önlemede çok etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Chindaprasirt, Rukzon ve Sirivivatnanon(2008), çalışmalarında öğütülmüş hurma yağı yakıt külü (POA), öğütülmüş pirinç kabuğu külü (RHA) ve ince uçucu kül (FA) içeren harmanlanmış Portland çimento harcının klorür penetrasyonuna karşı direncini araştırmışlardır. Sıradan Portland çimentosu (OPC), çimento esaslı malzemelerin ağırlıkça %20 ve %40'luk oranlarında kısmen puzolan ile değiştirilmiştir. Süperplastikleştirici (SP) yardımıyla su/bağlayıcı oranı 0,5'te sabit tutulmuş ve harcın akışı %110±5 oranında tutulmuştur. Harçların %3 NaCl çözeltisine daldırıldıktan sonra basınç dayanımı, hızlı klorür penetrasyon testi (RCPT), hızlı migrasyon testi (RMT) ve klorür penetrasyon derinliği belirlenmiştir. Deney sonuçları, harcın klorür penetrasyonuna karşı direncinin, OPC'nin POA, RHA ve FA ile kısmi değişimi ile önemli ölçüde arttığını ortaya koymuştur. RHA en etkili puzolan olarak tespit edilmiş ve bunu POA ve FA'nın izlediği gözlemlenmiştir. FA kullanımı, harç akışını sürdürmek için gereken SP miktarını azaltırken, POA ve RHA'nın birleşmesi daha fazla SP gerektirmiştir. POA ve FA'nın eşit ağırlık kısmından oluşan bir karışımın veya RHA ve FA'nın kullanılması, klorür penetrasyonuna karşı iyi mukavemetli ve dirençli karışımlar üretmiştir.

Olivia ve Nikraz (2010), hızlandırılmış bir korozyon testi düzeneği ile uçucu küllü jeopolimer betondaki gömülü çeliğin korozyon performansının bir çalışmasını yapmışlardır. Beton numuneler, 5V ve 30V'luk sabit bir baskı gerilimine maruz bırakılmıştır. Optimize edilmiş iki uçucu kül jeopolimer beton karışımı, eşdeğer bir mukavemet derecesinde bir kontrol karışımı (OPC beton) ile karşılaştırılmıştır. Fenolftalein spreyi ile alkalinite azalması, AgNO₃ spreyi ile klorür penetrasyonu ve yarı

hücre potansiyeli ölçümü de araştırılmıştır. Hızlandırılmış korozyon testi 28 gün boyunca gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, jeopolimer betonun, karşılık gelen kontrol karışımından daha küçük kaydedilen bir akım ve daha yüksek elektrik direnci gösterdiğini göstermektedir. Uçucu kül jeopolimer örneklerinde küçük çatlaklar görülmüştür. Uçucu küllü jeopolimer betonun iyi korozyon performansına sahip olduğu ve OPC betona göre daha uzun kırılma süresi sağladığı sonucuna varılmıştır.

Chindaprasirt, Chotetanorm ve Rukzon(2011), yüksek mukavemetli ve yüksek işlenebilirlikli beton üretiminde bir puzolanik malzeme olarak hurma yağı yakıt külünün kullanımı üzerine çalışma yapmışlardır. Portland çimentosu Tip I (CT) kısmen öğütülmüş hurma yağı yakıt külü (PA) ile değiştirilmiştir. 325 numaralı elek üzerinde ağırlıkça %2–5 tutulan PA kullanılmıştır. Beton karışımları, %10, %20 ve %30 PA içeren portland çimentosu Tip I ile yapılmıştır. Betonların basınç dayanımı, su emme katsayısı, hızlı klor penetrasyonu ve korozyon direnci belirlenmiştir. Deney sonuçları, yüksek mukavemetli, yüksek işlenebilirlikli betonun, %20'ye kadar portland çimentosu Tip I'in yerine PA kullanılarak elde edilebileceğini göstermiştir. Basıncılı gerilim ile hızlandırılmış korozyon testi ile ölçülen PA içeren betonun klorür kaynaklı korozyona direnci, CT betonunkine kıyasla önemli ölçüde iyileştirilmiştir.

Ha ve arkadaşları (2007), çalışmalarında mineral katkıların, yani uçucu külün (FA) çeliğin harç ve betondaki korozyon performansına etkisini araştırmış ve sodyum klorür çözeltilerinde bazı hızlandırılmış kısa vadeli teknikler ile değerlendirmiştir. Açık devre potansiyel ölçümleri ve anodik polarizasyon çalışmaları gibi elektrokimyasal teknikler gerçekleştirilmiştir. Uçucu külün daha iyi korozyon direnci özelliklerine sahip optimumdeğiştirme seviyesini belirlemek için bir etkileyici voltaj tekniği ve makro hücre korozyon çalışması da gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, geleneksel gravimetrik ağırlık kaybı ölçümleriyle karşılaştırılmıştır. Alkalilik ve serbest klorür içerikleri tahmin edilmektedir. Bu çalışma için sıradan Portland çimentosuna (OPC) göre %10, %20, %30 ve %40 FA değişim oranları seçilmiş ve sonuçlar FA içermeyen OPC numuneleri ile karşılaştırılmıştır.

Muhmood, Vitta ve Venkateswaran (2009), çalışmalarında elektrik ark ocağı çelik cürufunun işlem gören çimentolu ve puzolanik davranışı detaylı olarak incelemiştir. Alınan cüruf, tamamen kristal ve çok fazlıdır ve baskın faz olarak Fe ile ikame edilmiş montikelit vardır. Bu cürufun işlenmesi, yeniden eritme ve su ile söndürülmesi, alınan cürufa kıyasla onu daha hidrolik hale getiren bazlık indisindeki bir artışla birlikte Fe-oksit içeriğinin azalmasıyla sonuçlanır. Yeniden eritilen cürufun, baskın faz olarak merwinit

olduğu birkaç fazı vardır. Hidratlanmış cürufun termal analizi, cürufun alındığı gibi işlenmesinin, çimentolu davranış için gerekli bir özellik olan su emme kapasitesini arttırdığını göstermektedir. Bu çalışmada cüruf katkılı çimentoların basınç dayanımı incelenmiş ve %20 öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun elektrik ark ocağı çelik cürufu ile ikamesinin mukavemeti 28.Gündefazla azaltmadığı bulunmuştur. Kontrol çimentosu, %20 işlenmemiş cüruf içeren çimento için 58 MPa'a kıyasla 58.6 MPa'lık bir mukavemete sahiptir. Bu işlenmemiş cürufun işlenmiş cürufu ile ikame edilmesi en yüksek mukavemet olan 61 MPa'ı ve 28 gün sonra daha fazla mukavemet artışı potansiyeli sergiler. Yüksek fırın cürufu içermeyen çimento karışımında, %15 klinkerin çelik cürufu ile ikame edilmesinin mukavemeti önemli ölçüde azaltmadığı görülmüştür. Bu karışımda dayanım 64.4 MPa iken kontrol çimentosunun dayanımı 66.5 MPa'dır. Çimento karışımındaki %30 klinkerin elektrik ark ocağı cürufu ile ikame edilmesi, dayanımda 66.5 MPa'dan 53.4 MPa'agibi önemli bir düşüşe neden olur.

Arıcı ve Keleştemur (2018), çalışmalarında Taguchi metodu kullanarak tufal katkılı harçların basınç dayanımının analizini yapmışlardır. Taguchi metodu, hem deney tasarım aşamasında hem de verilerin istatistiksel analizinde kullanılmıştır. Deneysel tasarım aşamasında dört parametrelili $L_{16} (4^2 \times 2^2)$ ortogonal dizi seçilmiş ve seriler bu diziye göre hazırlanmıştır. Bu dört parametre; ince tufal (0-0.25 mm), iri tufal (0.2-1 mm), su/çimento (S/Ç) oranı ve çimento dozajı olarak alınmıştır. Taguchi metodu ile deney sonuçlarının analizi yapılarak ve optimum değer elde edilmiştir. Ayrıca, deney parametrelerinin basınç dayanımına etki oranları varyans analizi ile belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, harç numunelerinin basınç dayanımı üzerinde ince tufal, su/çimento oranı ve çimento dozajının önemli rol oynadığı görülmüştür.

Demircilioğlu ve Teomete (2017), çalışmalarında demir çelik sanayi artığı olan tufali (demir oksit) öğüterek nano boyutta toz elde etmişlerdir. Şahit (katkısız) bir karışım ve 5 farklı hacimsel oranda (%0,2-%0,5-%0,8-%1-%1,5) nano tufal içeren toplam 6 karışım tasarlamışlardır. Her karışımdan 3'er adet 75 mm boyutlarında küp numune üretilmiş sonrasında 28 gün 20°C sıcaklıkta su içerisinde bekletilmiştir. Numunelere basınç deneyi uygulanarak elektriksel direnç değişimi ve birim şekil değiştirmeler ölçülmüştür. Elektriksel direnç değişimi ile birim şekil değiştirme arasında güçlü doğrusal ilişki tespit edilmiştir. Bu çalışmada en yüksek duyarlılık (K), %0,2 hacimsel nano tufal katkılı numunelerde ortalama 19,12 olarak, en düşük doğrusallık (LE) ise %0,2 hacimsel nano

tufal katkılı numunelerde ortalama 7,97 olarak tespit edilmiştir. En büyük bağılılık katsayısı (R2), %0,8 hacimsel nano tufal katkılı örneklerde ortalama 0,99 olarak tespit edilmiştir.



3.MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

3.1.1 Çimento

Su ile karıştırıldığında ortaya çıkan hidrasyon olayı sonucu sertleşerek mukavemet kazanan bağlayıcı malzemeye çimento denir. En yaygın kullanılan yapı malzemesidir. Bu çalışmada Oyak Çimento tarafından üretilmiş normal Portland çimentosu (CEMI - 42,5 R) kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Çimentoya ait fiziksel özellikler

Özgül ağırlık (gr/cm ³)	3,14
Özgül yüzey (cm ² /gr)	3700

Çizelge 3.2. Çimentoya ait kimyasal özellikler

Kimyasal Bileşim	Yüzde
SiO ₂	19,53
B ₂ O ₃	-
Al ₂ O ₃	5,33
NaO	0,39
Fe ₂ O ₃	4,10
K ₂ O	0,85
SO ₃	2,53
CaO	62,35
MgO	0,8
Kızdırma Kaybı	2
Serbest CaO	0,3
Çözünmez Kalıntı	0,41

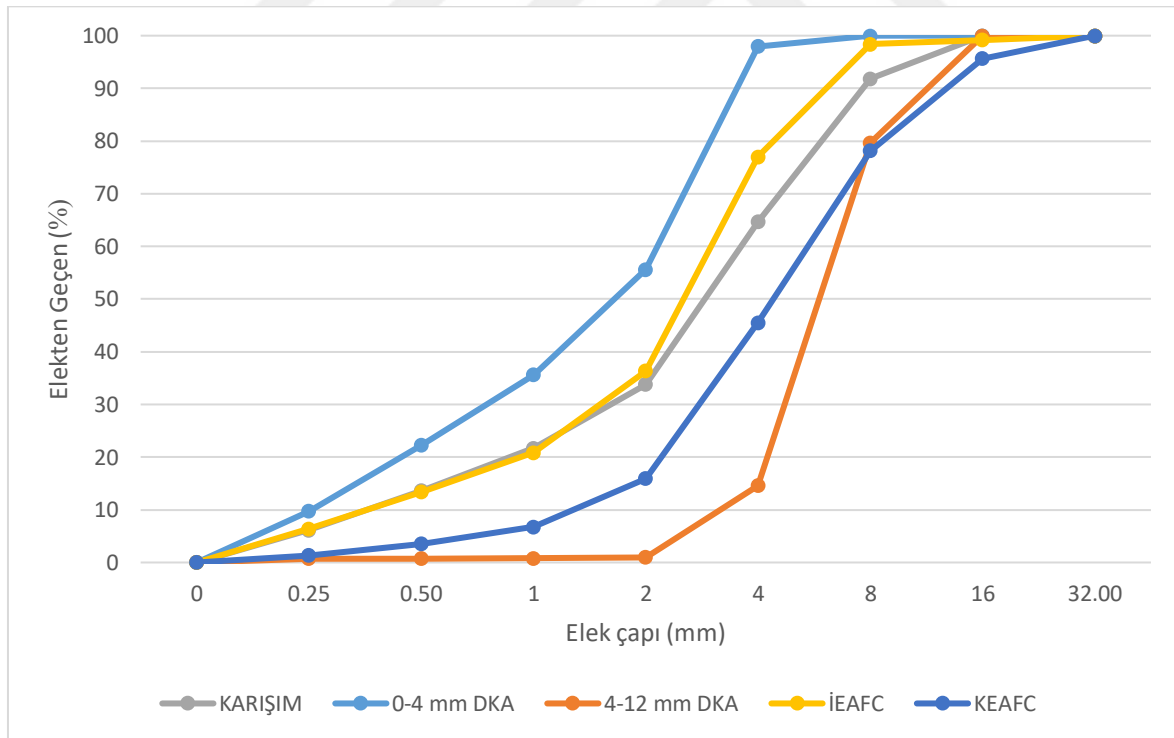
3.1.2. Agregaya

Agrega, çimento ve su ile birlikte betonu oluşturan ana elemanlardan biridir. Betonun hacim değişikliğine engel olmak, çevresel etkilere karşı betonun dayanıklılığını arttırmak ve kendi dayanım gücü etkisiyle betonda gerekli dayanımın sağlanmasına yardımcı olmak

amacıyla kullanılmaktadır. Bu çalışmada 0-4 mm ve 4-12 mm boyutlarında doğal kırma taş agrega kullanılmıştır.



Resim 3.1. Beton üretiminde kullanılan doğal kırma taş agrega a) 0-4 mm b) 4-12 mm



Şekil 3.1. Beton üretiminde kullanılan DKA ve EAFC tane dağılımları

3.1.3. Su azaltıcı katkı

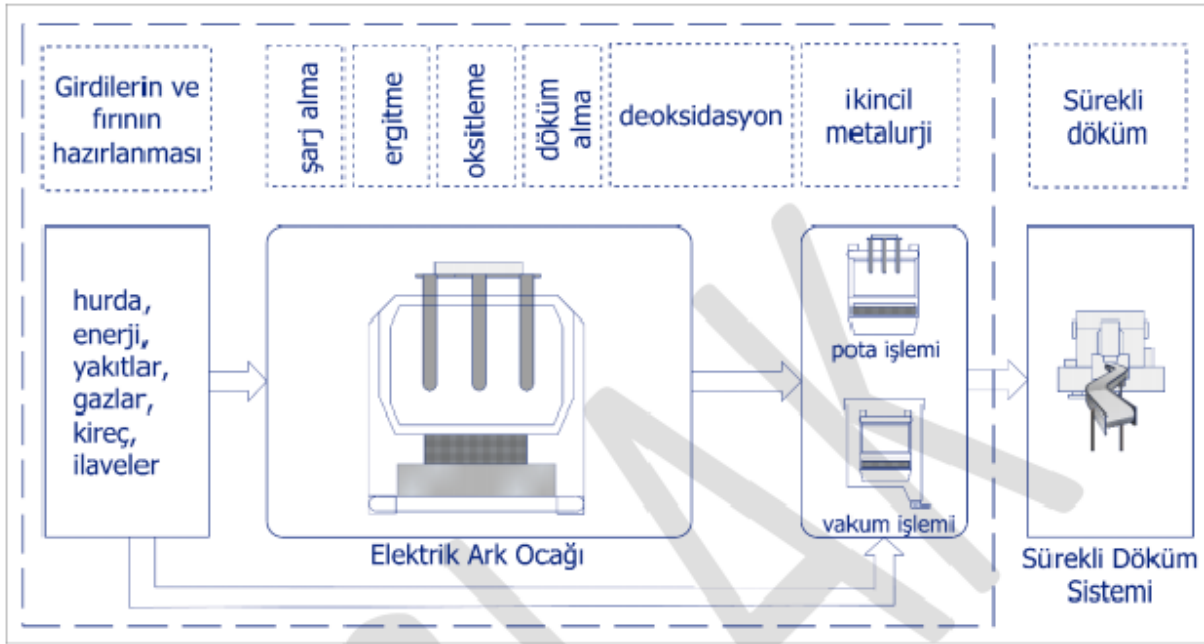
Üretilen betonların slumpdeğerlerini aynı seviyede (11 ± 2 cm) tutmak için kullanılan su azaltıcı katkı malzemesi BASF firması tarafından üretilen GleniumSky 608 yüksek oranda su azaltıcı sınıfındadır. Su azaltıcı katkı (SAK) malzemesinin özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Su azaltıcı katkı malzemesinin özellikleri

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

3.1.4. Elektrik ark fırın cürufu

Günümüzde dünya genelinde farklı ham çelik üretim yöntemleri mevcuttur. Bunlardan birisi de elektrik ark fırınlarıdır. Elektrik ark fırınları (EAF) ham çelik üretimi için hurdanın kullanıldığı bir yöntemdir ve ülkemizde yaygın olarak kullanılmaktadır. Hurdadan çelik üretiminde uygulanan proses genel hatları ile şöyledir: Hurdalar üstten vinçle EAF’na boşaltılır, ardından fırının kapağı kapatılır ve elektrotlar ocak içine daldırılır. Elektrotlardan geçen elektrik sayesinde bir ark oluşur ve ısı açığa çıkar. Oluşan ısı ile hurdalar erir. Eritme prosesinde gerekli kimyasal kompozisyonu sağlamak için bazı katkı maddeleri (kireç, karbon vd.) eklenir. Sıvı çelik içindeki safsızlıkları gidermek için ise fırına ayrıca oksijen de üflenir. Kimyasal kompozisyon ve sıcaklık kontrolü için numuneler alındıktan sonra dipten döküm alma sistemi (EBT) ile sıvı çelik potaya aktarıldıktan sonra EAF’da kalan cüruf diğer tarafa yatırılarak alınır. EAF prosesinin genel akış şeması Şekil 3.2’de verilmiştir (Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Sektörel Uygulama Klavuzu). EAF cürufunun (EAFC) beton üretiminde kullanımı hem ekonomik açıdan hem de ekolojik sürdürülebilirlik açısından önemlidir. Bu çalışmada İskenderun Kılıçlar A.Ş.’de üretilen ve özgül ağırlığı $3,5 \text{ gr/cm}^3$ olan 0-4 mm ve 4-12 mm boyutlarındaki EAFC kullanılmıştır. Şekil 3.1’de iri ve kaba EAFC’ye ait tane dağılımı verilmiştir.



Şekil 3.2.EAF prosesinin genel akış şeması (URL: <https://webdosya.csb.gov.tr>)



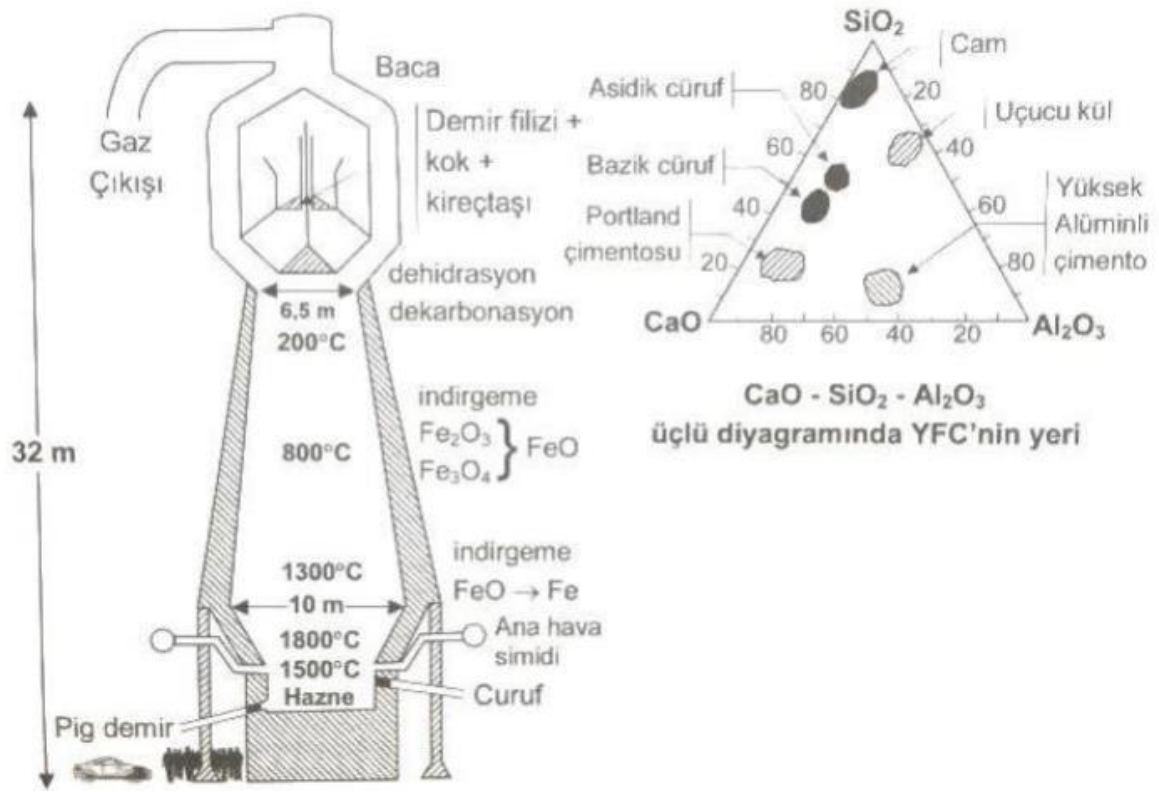
Resim 3.2.Beton üretiminde kullanılan EAFC a) 0-4 mm b) 4-11 mm

Çizelge 3.4. EAFC' nun kimyasal özellikleri

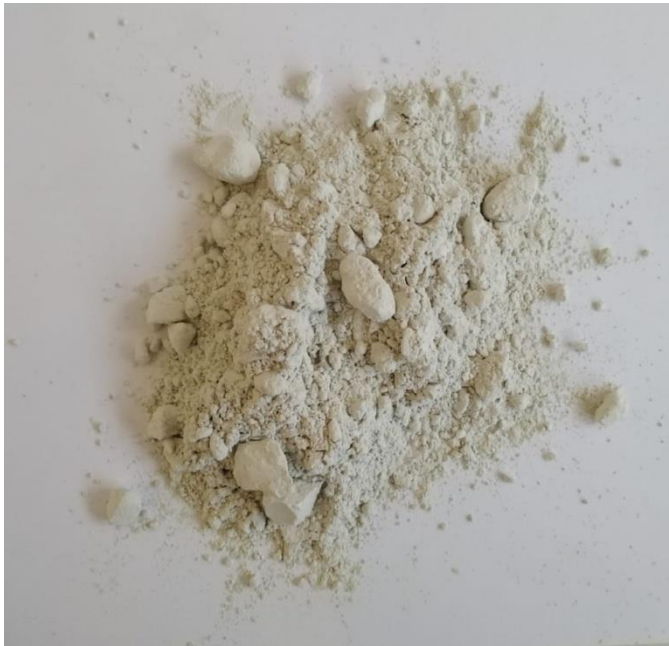
Kimyasal Bileşim	%
FeO	15,02
Fe ₂ O ₃	16,67
SiO ₂	18,73
CaO	34,88
Al ₂ O ₃	11,57
MgO	6,70
MnO	2,64
K ₂ O	0,02
TiO ₂	0,38
Na ₂ O	0,11
P ₂ O ₅	0,34
SO ₃	0,74
Cr ₂ O ₃	0,90

3.1.5. Yüksek fırın cürufu

Demir madenlerinin kok ve kireç taşıyla birlikte ergitilmesinde yüksek fırınlar kullanılır. Bu fırınlar 30-90 m yüksekliğinde bulunabilmektedir. Kok kömürü fırınlarda yakıt olarak kullanılır. Demir cevherinin yabancı maddelerden arındırılması için kalker taşı demirle birlikte yüksek fırına üstten eklenir. Karbon kok kömüründen, oksitler ise demir cevherinden oluşur. Reaksiyon sonucunda oluşan karbondioksit ve karbon monoksit birleşimi ise fırından çıkar. Geride cüruf ismi verilen atık malzemeler kalır. Bu malzemeler eriyik halde demir, kireç, kül, silis, alümin, karbon, fosfor, mangan ve sülfür içerir. Eriyik haldeki cüruf bir vibrasyon plakası üzerine dökülür ve su püskürtülerek soğutulur. Sonrasında yaklaşık 1 m çapında çıkıntıları bulunan dönen bir tambura aktarılır. Tambur vasıtasıyla havaya fırlatılan cürufun havadaki çok hızlı soğuması sayesinde granülasyon işlemi sağlanır. Cüruf oluşumu için ton başına yaklaşık 1 m³ su kullanılır. Bu yüzden cüruf yapısında yaklaşık %10 miktarda su bulunur. Yapısında bulunan suyu kurutmak için kurutucu değirmenler ya da filtreli havuzlar kullanılır. Demir metalinin ve oluşan cürufun yoğunlukları farklı olduğu için ayrı çıkışlarla dışarı alınır. Yüksek fırın cürufları değirmenlerde çimento inceliğinde öğütülerek bağlayıcılık özellik kazanırlar. Öğütülme işlemiyle sodyum silikat, sodyum hidroksit veya kalsiyum hidroksitle ile reaksiyona girdiğinde hidrolik özelliği kazanır. Bundan dolayı öğütülmüş yüksek fırın cürufu, cürufu çimentoların yapısında, mineral katkı maddesi olarak kullanılır veya bağlayıcı yerine ikame edilerek beton üretiminde kullanılabilir. Bu çalışmada Adana Çimento Sanayi T.A.Ş./İskenderun Tesisleri'nden temin edilen ve özgül ağırlığı 2,79 olan YFC kullanılmıştır.



Şekil 3.3.EAF prosesinin genel akış şeması (URL: <https://insapedia.com>)



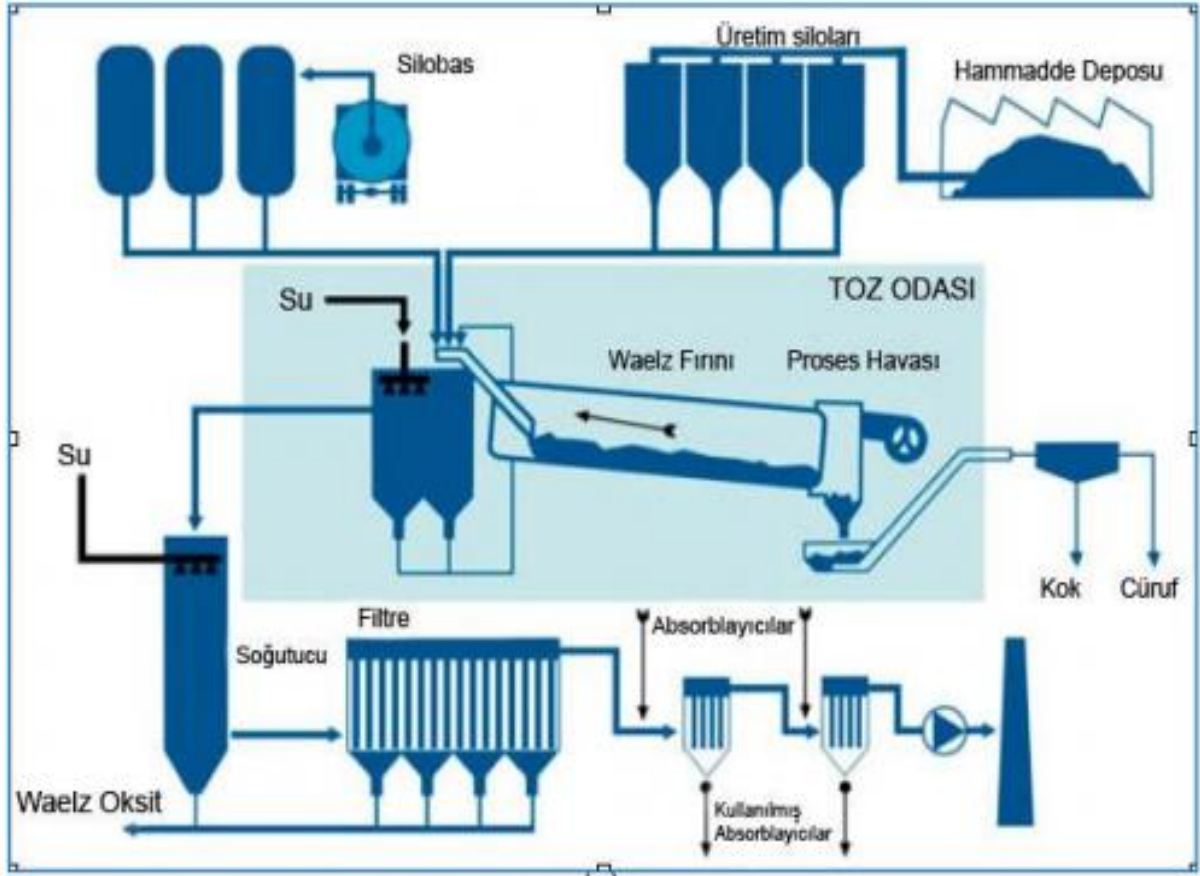
Resim 3.3.Beton üretiminde kullanılan YFC

Çizelge 3.5. YFC' nun kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşim	%
CaO	36,09
SiO ₂	37,55
Al ₂ O ₃	10,55
Fe ₂ O ₃	0,28
MgO	8,48
SO ₃	2,95
K ₂ O	1,07
Na ₂ O	0,29
Kızdırma Kaybı	2,79
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	48,38

3.1.6. Baca tozu

Demir-çelik üretiminde hurdanın kullanıldığı elektrik ark fırınlı tesislerde, hurdanın ergitilmesi esnasında baca tozu (BT) oluşmaktadır. Hurda içerisindeki galvanizli kısım, demir pası, hurdayla birlikte elektrikli ark fırınına giren minör anorganik atıklar baca tozunun kaynaklarını oluşturur. Genelde 1 ton çelik üretimi esnasında 14 kg baca gazı tozu ve 100 kg cüruf açığa çıkmaktadır. Baca tozu, hurda çeliğin elektrikli ark fırınlarında 1700 °C sıcaklıkta eritilmesi sırasında oluşmaktadır. Eritme işlemi sırasında galvaniz hurda içerisinde bulunan bazı elementler, demir ve diğer metal parçacıkları, baca gazı çıkışı ile gaz halinde sistemi terk ederken baca gazına karışır ve hava enjeksiyonu ile metaller oksitlenerek çökeltilir böylelikle elektrikli ark fırını tozu oluşmaktadır. Oluşan elektrikli ark fırını tozu bacagazı torba filtre sistemi ile toplanabilmektedir. Demir-çelik sanayinde bir yan ürün olarak açığa çıkan baca tozu için kullanılacak en iyi teknikler hurda metallerin kontrolü, briketleme ve geri dönüşümü olarak belirlenmiştir. Bu yöntemlerle atık ürün miktarının azaltılması ve atık stok sorununun giderilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada bağlayıcı olarak Ekinciler Demir ve Çelik Sanayi A.Ş.' den temin edilen, özgül ağırlığı 2,3 gr/cm³ olan baca tozu kullanılmıştır.



Şekil 3.4.EAF’da baca tozu oluşumunun genel akış şeması (URL: <https://mmo.org>.)



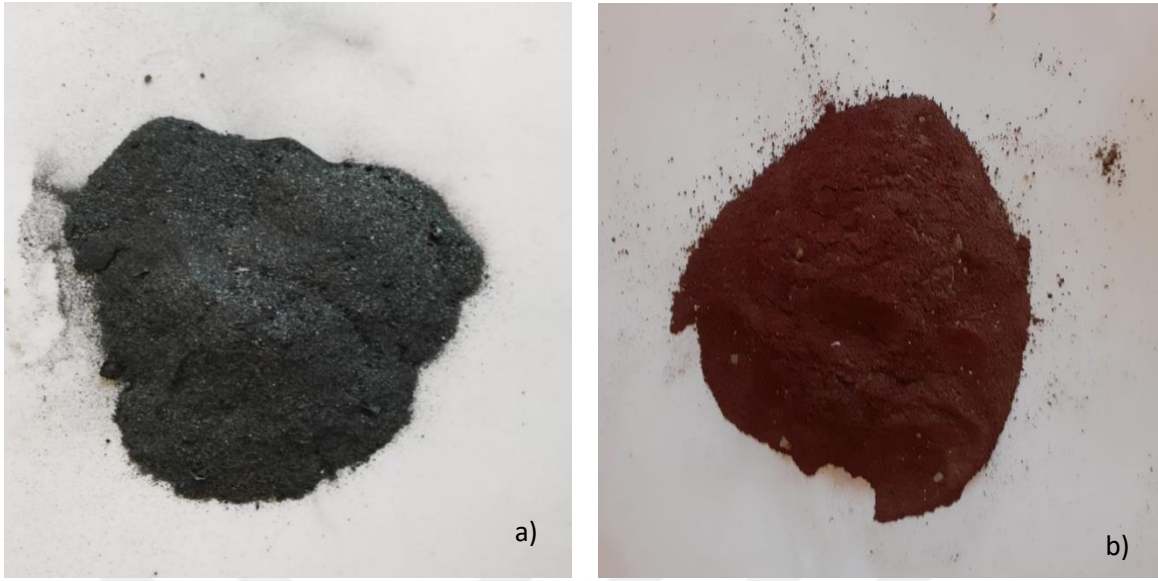
Resim 3.4.Beton üretiminde kullanılan Baca Tozu (BT)

Çizelge 3.6. BT'nun kimyasal özellikleri

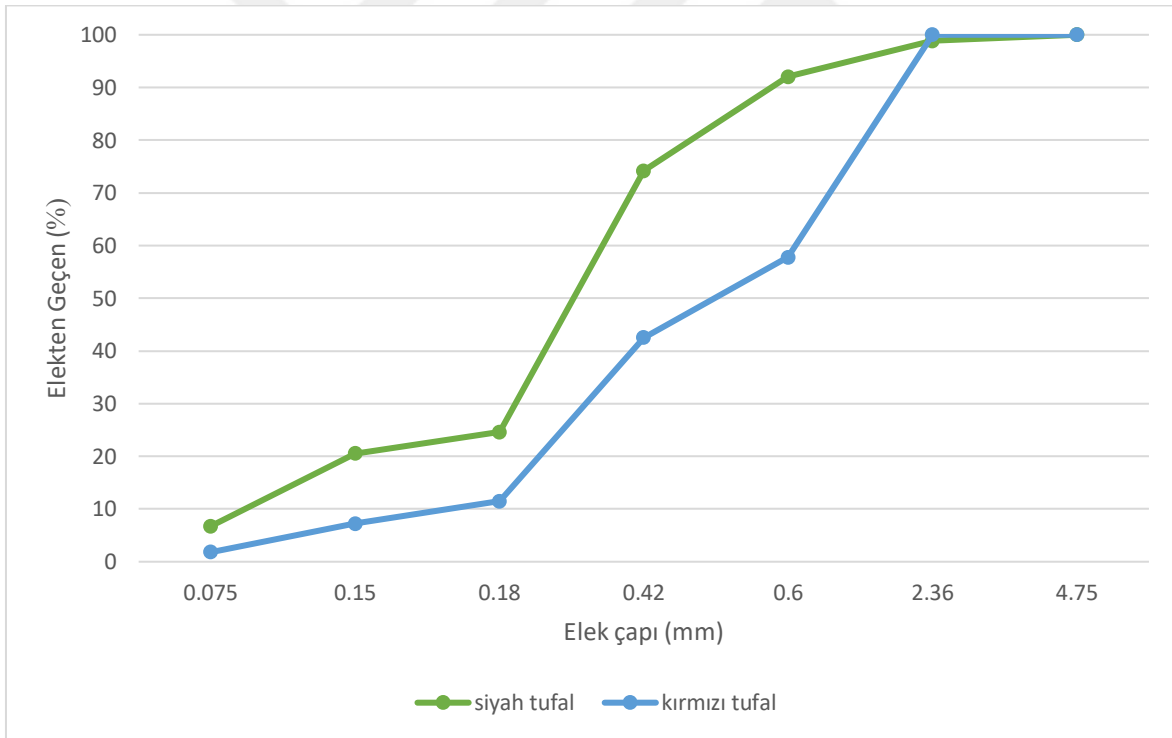
Kimyasal Bileşim	%
MgO	1,18
SiO ₂	6,96
Fe ₂ O ₃	21,58
CaO	13,56
Al ₂ O ₃	1,65
Cr ₂ O ₃	0
MnO	0
ZnO	23,97
PbO	2,96
Na ₂ O	0
CuO	0
K ₂ O	0
SO ₃	0
Mn ₂ O ₃	0,63

3.1.7. Tufal

Çelik üretiminde, haddehanelerde yüksek sıcaklıkta yapılan haddeleme işleminde metal yüzeyinde oksitlenme sonucu oluşan katmanlar tufal olarak adlandırılmaktadır. Metal yüzeyinde 1100-1300°C'lerdeki yüksek sıcaklık ve oksitleyici ortam sebebiyle tufal yüzeyden basınçlı su ile temizlenmektedir. Yan ürün olarak kabul edilen çelik tufali belirli bir alanda biriktirilerek hurda olarak satılmakta veya işlem maliyeti sebebiyle bedelsiz olarak üretim sahasından uzaklaştırılmaktadır. Demir-çelik fabrikalarının döküm, haddeleme bölümlerinde oluşan tufaller yüksek demir içerir ve bu nedenle önemli yan ürünler arasındadır. Günümüzde ekonomik ve ekolojik sürdürülebilirlik sebepleriyle beton üretiminde de kullanılmaktadır. Bu çalışmada özgül ağırlığı 5 olan Eryılmazlar Metal Sanayi ve Ticaret A.Ş.' den temin edilen siyah tufal ve özgül ağırlığı 1,2 olan MMK Metalurji' den temin edilen kırmızı tufal kullanılmıştır.



Resim 3.5. Beton üretiminde kullanılan tufaller a) siyah tufal (ST) b) kırmızı tufal (KT)



Şekil 3.5. Beton üretiminde kullanılan siyah tufal ve kırmızı tufalin tane dağılımı

Çizelge 3.7. Tufallerin kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşim	Siyah Tufal (%)	Kırmızı Tufal (%)
CaO	0,2	-
Cr ₂ O ₃	0,16	0,07

MnO	0,47	0,3
Fe ₂ O ₃	98,15	99,1
NiO	0,044	-
CuO	0,3	0,08
Rb ₂ O	0,007	-
OsO ₄	0,06	-
La ₂ O ₃	0,08	0,1
Eu ₂ O ₃	0,48	0,3
ZnO	0,04	-
Re ₂ O ₇	0,02	-

3.2. Beton karışım tasarımı

Bu çalışmada CEMI 42,5 normal Portland çimento (PÇ), ve doğal kırma taş agrega kullanılarak üretim yapılmıştır. Agrega ile hacimce %25, %50, %100 oranlarında değişim yapılarak ince ve iri Elektrik Ark Fırın Cürufu (EAFC), %10 ve %20 oranlarında değişim yapılarak siyah tufal ve kırmızı tufal eklenmiştir. Çimentoyla ise ağırlıkça %10, %20, %30 oranlarında Baca Tozu (BT) ve Yüksek Fırın Cürufu (YFC) değişimi yapılarak beton üretimi yapılmıştır. Bütün karışımlarda su/çimento oranı 0,5 ve bağlayıcı dozajı 400 kg/m³'tür.

Çizelge 3.8. Karışım tasarım parametreleri

Karışım No	DKA(%) 0-4mm	EAFC(%) 0-4mm	DKA (%) 4-12mm	EAFC (%) 4-12mm	Çimento (kg/m ³)	Baca Tozu (%)	YFC (%)	KT (%)	ST (%)	Su
Kontrol	100	-	100	-	400	-	-	-	-	200
İEAFC25	75	25	100	-	400	-	-	-	-	200
İEAFC50	50	50	100	-	400	-	-	-	-	200
İEAFC100	-	100	100	-	400	-	-	-	-	200
KEAFC25	100	-	75	25	400	-	-	-	-	200
KEAFC50	100	-	50	50	400	-	-	-	-	200
KEAFC100	100	-	0	100	400	-	-	-	-	200
İEAFC50 KEAFC50	50	50	50	50	400	-	-	-	-	200
İEAFC100 KEAFC100	-	100	-	100	400	-	-	-	-	200
BT10	100	-	100	-	360	10	-	-	-	200
BT20	100	-	100	-	320	20	-	-	-	200

BT30	100	-	100	-	280	30	-	-	-	200
YFC10	100	-	100	-	360	-	10	-	-	200
YFC20	100	-	100	-	320	-	20	-	-	200
YFC30	100	-	100	-	280	-	30	-	-	200
KT10	90	-	90	-	400	-	-	10	-	200
KT20	80	-	80	-	400	-	-	20	-	200
ST10	90	-	90	-	400	-	-	-	10	200
ST20	80	-	80	-	400	-	-	-	20	200

Çizelge 3.9. 1 m³ beton için gerekli malzeme miktarları

Karışım No	DKA (kg) 0-4mm	E AFC (kg) 0-4mm	DKA (kg) 4-12mm	E AFC (kg) 4-11mm	Çimento (kg)	Baca Tozu (kg)	YFC (kg)	KT (kg)	ST (kg)	Su (kg)
Kontrol	1016,6	-	700,6	-	400	-	-	-	-	200
İE AFC25	760	336,6	700,6	-	400	-	-	-	-	200
İE AFC50	508,3	676,6	700,6	-	400	-	-	-	-	200
İE AFC100	-	1353,3	700,6	-	400	-	-	-	-	200
KE AFC25	1016,6	-	525,3	223,3	400	-	-	-	-	200
KE AFC50	1016,6	-	350	449	400	-	-	-	-	200
KE AFC100	1016,6	-	0	898,33	400	-	-	-	-	200
İE AFC50 KE AFC50	508,3	676,6	350	449	400	-	-	-	-	200
İE AFC100 KE AFC100	-	1353,3	-	898,3	400	-	-	-	-	200
BT10	1016,6	-	700,6	-	360	40	-	-	-	200
BT20	1016,6	-	700,6	-	320	80	-	-	-	200
BT30	1016,6	-	700,6	-	280	120	-	-	-	200
YFC10	1016,6	-	700,6	-	360	-	40	-	-	200
YFC20	1016,6	-	700,6	-	320	-	80	-	-	200
YFC30	1016,6	-	700,6	-	280	-	120	-	-	200
KT10	913,33	-	630	-	400	-	-	58	-	200
KT20	812	-	562	-	400	-	-	115,6	-	200
ST10	913,33	-	30	-	400	-	-	-	340	200
ST20	812	-	562	-	400	-	-	-	681,6	200

3.2.1. Beton üretimi

Bu çalışmada 56 litre kova hacmine sahip betonier kullanılarak beton üretimi yapılmıştır. Her bir karışım için 30 dm³ 'lük hacimlerde üretim yapılmıştır. Beton üretiminde kullanılacak agrega, EAF Cürufu, Yüksek Fırın Cürufu, Baca Tozu, Kırmızı Tufal, Siyah

Tufal, çimento ve su hassas elektronik terazi kullanılarak tartılmıştır. Üretim yapılırken önce 0-4 mm ve 4-12 mm boyutundaki agregalar betonun içerisinde kuru olarak karıştırılmıştır. Bu karışımın üzerine eklenecek olan yan ürün ve PÇ 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. Üretilen beton 100x100x100 mm küp ve 100x200 mm (silindir) boyutlarına sahip kalıplara yerleştirilmiştir. Betonun iyi yerleşebilmesi için kalıplar sarsma tablosu üzerinde bir süre bekletilmiştir. Hazırlanan beton karışımı, basınç dayanımı, ultrasonik dalga hızı, yüksek sıcaklığa maruz bırakılan betonun basınç dayanımı, asit atağı ve sülfat deneyleri için 100x100x100 mm boyutlarındaki kalıplara, hızlı korozyon testi için 100x200 mm (silindir) boyutlarındaki kalıplara yerleştirilmiştir. Korozyon testi için hazırlanan silindir numuneler içerisinde 12 mm çapında 200 mm uzunluğunda donatılar saplanmıştır. Beton numuneler dökümlerinden 24 saat geçtikten sonra kalıplardan çıkartılmıştır ve su tankının içinde 28 gün süresince kür edilmiştir.



Resim 3.6. Beton üretim aşamaları a) betonun kalıplara yerleşmesi b) vibrasyon aşaması c) numunelerin kürlenmesi

3.3. Deney Yöntemleri

3.3.1. Çökme (kıvam) deneyi

Betonun taze haldeki kıvamını belirlemek için yapılan deneydir. Deneyde taban çapı 20 cm, üst çapı 10 cm ve yüksekliği 30 cm olan çökme konisi ve şişleme çubuğu kullanılır. Düz bir zeminde koniye taze beton üç aşamada ve her aşamada 25 kez şişlenerek doldurulur ve üzeri masterlandıktan sonra slump konisi yukarı kaldırılır, bu sırada taze beton kendi ağırlığıyla çöker. Şişleme çubuğu huninin üzerine yerleştirilir ve çöken betonun en üst noktasından çubuğun altına kadar olan aralık ölçülür. Bu uzunluk, taze

betonun slump (çökme) değeri olarak adlandırılır. Slump değeri bize betonun kıvamı hakkında bilgi verir.

TS-EN 12350-2' ye göre beton kıvamları ve çökme miktarları Çizelge 3.9'da verilmiştir. Bu çalışmada tüm karışımların slump değeri 11 ± 2 cm sabit tutulmuştur.

Çizelge 3.10. Beton sınıfı slump değerleri (TS-EN 12350-2)

Slump Değerleri	Beton Kıvamı
S1 (0 – 5cm)	Vibrasyonlu mastarlı pist, yol betonları
S2 (5-10cm)	Kalıpsız eğimli çatı, sömel vb. betonlar
S3 (10-16cm)	Bilinçli, bilgili, etkin vibrasyon uygulayabilen profesyonel şantiyeler
S4(16-22cm)	Vibratörlü şantiyede genel betonlar
S5 (≥ 22 cm)	Göstermelik vibratörlü veya vibratörsüz şantiyeler, kazık vb. elemanlar, vibratör sığmayan donatı sıklığı..

3.3.2. Ultrasonik ses geçiş hızı deneyi

Çalışmada betonun ultrasonik ses geçiş hızını belirlemek için 100x100x100mm boyutundaki küp numuneler kullanılmıştır. Numuneler 28 günlük kür süresinden sonra ASTM C 597-02 (1994)'ye uygun biçimde ultrasonik ses geçiş hızı deneyine tabi tutulmuştur. Bu deney hasarsız bir yöntemdir. Ultrasonik ses geçiş hızı deneyinde beton numunesinin bir yüzeyinden gönderilen ses dalgasının diğer yüzeye ulaşma süresi ölçülmektedir. Betonun içerisinden geçen ultrasonik sesin geçiş hızı ile betonun basınç dayanımı doğrudan ilişkilidir. Ultrasonik sesin geçiş hızı betonun yoğunluğu ile alakalıdır. Ultrasonik sesin, az yoğunluklu yani içerisindeki boşluk miktarı yüksek olan betonun bir yüzeyinden diğer yüzeyine ulaşma süresi daha uzundur. Başka bir deyişle betonun içerisindeki boşluk arttıkça, ultrasonik ses geçiş hızı yavaşlar; betonun içerisindeki boşluk azaldıkça, ultrasonik ses geçiş hızı da artar. Betonun yoğunluğu ile basınç dayanımı arasında doğru orantılı bir ilişki vardır. Su/çimento oranı yüksek olan betonlar daha çok kapiler boşluğa sahip olduğu için yoğunluğu ve basınç dayanımları da düşük olur. Bu durumda dolaylı yoldan ultrasonik ses geçiş hızı deneyiyle betonun basınç dayanımı belirlenebilir.



Resim 3.7.Ultrason ses geçiş hızı deneyi

3.3.3. Basınç dayanımı

Yapı denetiminde betonun mekanik özelliklerinin belirlenmesinde basınç dayanımının bilinmesi gereklidir. Beton kalitesinin belirlenmesinde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Basınç dayanım deneyinde ölçüleri belirli numuneye basınç pres cihazı yardımıyla darbesiz ve sabit değerlerde kuvvet uygulanır. Numune kırılana kadar bu işlem devam eder ve kırılma anında durdurulur. Kesit alanı belirli olan numunenin, kırılmasını sağlayan kuvvet değeri kesit alanına oranlanarak basınç mukavemeti belirlenir.



Resim 3.8. Beton basınç deneyi

3.3.4. Yüksek sıcaklık etkisinde kalan betonun basınç dayanımı

Yüksek sıcaklık ve yangın etkisine karşı dayanıklılık açısından, beton birçok malzemedenden daha yüksek dayanıma sahiptir. Yüksek sıcaklığa maruz kalan beton, bir süre için önemli bir zarar görmez ve zehirli gaz çıkarmaz. Ancak bu dayanıklılık süre ve sıcaklık derecesi ile sınırlıdır. Beton elemanlar ömürleri boyunca farklı sıcaklık koşullarına maruz kalırlar. Baca gibi bazı yapı elemanları işlevleri gereği devamlı bu etki altındadır. 250°C'nin altındaki sıcaklıklar beton dayanımı açısından çok etkili değildir. (Baradan, Yazıcı ve Ün), 2010: 67-71)

Su beton bünyesinde farklı şekillerde bulunur; jel boşluklarındaki jel suyu olarak, hidrate çimento jelinin bünyesinde hidrat suyu olarak ve büyük kapiler boşluklar ile agregaların boşluklarında bulunan serbest su olarak. Jel suyu ve CSH'ların içindeki hidrat suları zor buharlaşan sulardır. Buna karşın kılcal boşluklardaki serbest su ise 100 °C civarında buharlaşmaktadır. Betonun içerisinde bulunan serbest su çeşitli koşullara bağlı olarak çok büyük miktarlara ulaşabilmektedir. Sıcaklığın artışıyla birlikte meydana gelen serbest suyun kaybı ile meydana gelecek büzülme ve beton içinde oluşacak buhar basıncı, pas payı tabakasının çatlamasına ve parçalanmasına yol açar. Bu olayda sıcaklığın artış hızı da

önemli bir parametredir. 300 °C'yi aşan sıcaklıklarda normal şartlarda buharlaşmayan bağlı suların da buharlaşması ile hasarın boyutu artar. Böylelikle beton basınç dayanımında düşüşler görülür. 400 °C'yi aşan sıcaklıklarda CSH'lar tahrip olmaya başlar ve beton dayanımı hızla düşer. Sıcaklığın 900 °C'yi geçmesi ile birlikte CSH yapısı tamamen dağılır. ((Baradan, Yazıcı ve Ün), 2010: 67-71)

Çimentonun hidratasyonu sonucu oluşan bir diğer bileşen kalsiyum hidroksit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)'tir. 400 °C civarlarında $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sönmemiş kirece (CaO) dönüşür. Bu yaklaşık %33 oranında bir büzülme oluşmasına sebep olur. Yangını söndürmek için su sıkılması ile birlikte CaO tekrar $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'e dönüşür. Bu durumda %44 oranında bir hacim artışı meydana gelir. Betonun kısa süre içerisinde büzülüp genişmesi ile birlikte parçalanmalar oluşur ve bu da hasarı büyütür. Bu sırada beton içerisindeki boşluklardan dışarıya $\text{Ca}(\text{OH})_2$ süzülür. Yangına uğramış betonarme yapılarda kireç lekeleri gözlemlenmesi 550°C'nin aşıldığı anlamına gelir. ((Baradan, Yazıcı ve Ün), 2010: 67-71)

Çizelge 3.11. Sıcaklık artışının beton üzerinde oluşturduğu etkiler

Sıcaklık	Beton üzerindeki etkisi
100~150 °C	Kılcal boşluklardaki suyun buharlaşması, jel boşluklarındaki suyun buharlaşması
150~250 °C	Büzülme, kılcal çatlakların oluşumu, çekme dayanımında düşüş, pembemsi renk
250~300 °C	Alüminli ve demir oksitli bileşenlerde bünye suyunun kaybı, basınç dayanımında düşüş
~400 °C	$\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'den CaO 'e dönüşüm (%33 hacim kaybı)
400~650 °C	CSH yapısının tahribi, gri beyaz renk, dayanımda %80'lere varan azalma

Betonun maruz kaldığı sıcaklık derecesine göre aldığı renk değişir. Kalıcı olarak değişen betonun aldığı renkten, yangın sırasındaki sıcaklık derecesini ve geriye kalan dayanımı tahmin edebilmek mümkündür. Betonun aldığı renk, pembe tonlarında ise beton dikkatle incelenmelidir. Betonun kül rengini alması, betonun ufalanabilir ve gözenekli yapıda olduğunu gösterir. (Baradan, Yazıcı ve Ün), 2010: 67-71)

3.3.5. Asit atağı

Asitler iyon değişimi ile beton bileşenlerinden çözünebilen veya çözünmeyen kalsiyum tuzları oluştururlar. Açığa çıkan magnezyum tuzları çimento hamuru ile temasa girdiğinde magnezyum CSH jelindeki kalsiyumun yerini alır. Bunun sonucunda CSH jeli bağlayıcılık özelliğini kaybeder. Asitlerin beton üzerindeki zararlı etkisi, beton içerisindeki kalsiyum bileşenlerini ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), CSH ve CAH), etkisinde olduğu asidin kalsiyum tuzlarına dönüştürmesi şeklindedir. Kalsiyum tuzları suda çözündüklerinden, çimento hamuru belirli bir zaman sonucunda tahrip olur. ((Baradan, Yazıcı ve Ün), 2010: 84-87)

Portland Çimentoları bazik karakterdedir. Bu nedenle asite karşı dayanıksızdırlar. Asit etkisi farklı ortamlarda kendini gösterebilir. Örneğin endüstriyel bölgelerde atmosferde bulunan SO_2 ve CO_2 gazları aside dönüşerek beton elemanları etkileyebilir. ((Baradan, Yazıcı ve Ün), 2010: 84-87)

Asit etkisi birçok yerde görülmektedir. Örneğin bacalarda, döküm yapılan tesislerde, bataklık sularında, buharlı trenlerin geçtiği yerlerde, buz etkisinde olan dağlık bölgelerde, kanalizasyon suları gibi yerlerde. Asit etkisi sonucu oluşan reaksiyonlarının hızı ve şiddeti; asit tipine, maruz kalma süresine ve asitin yoğunluğuna göre değişmektedir. Ancak ortaya çıkan kalsiyum tuzunun çözünürlüğü en önemli etkendir. Kalsiyum tuzunun çözünürlüğü arttıkça, su ile taşınan maddelerin zararlı etkisi artmaktadır. Reaksiyonların gelişimine bağlı olarak betonun bünyesinde gözenekler ve yumuşama oluşur. Farklı asitlerin beton üzerindeki etkisi Çizelge 3.12’de verilmiştir. (Baradan, Yazıcı ve Ün), 2010: 84-87)

Çizelge 3.12. Farklı asitlerin beton üzerindeki etkisi (Baradan, Yazıcı ve Ün), 2010: 84-87)

Saldırı Hızı	İnorganik Asit	Organik Asit
Hızlı	Hidroflorik, Hidroklorik, Nitrik, Sülfirik	Asetik, Formik, Lastik
Orta	Fosforik	Tannik
Yavaş	Karbonik	-
İhmal edilebilir	-	Oksalik, Tartarik

Zararlı maddelerin yoğunluğu ve etki etme süresi asit etkisini arttırmaktadır. Yılda bir defa oluşan asit yağmuru muhtemelen betona zarar vermeyecektir. Buna karşılık su içinde çözülmüş yoğunluğuz olan zararlı maddelerin beton içerisindeki suyun buharlaşması ile

konsantrasyonu artar ve betona zarar verme riski artar.((Baradan, Yazıcı ve Ün), 2010: 84-87)

3.3.6.Sülfat atağı

Sülfat, çimento içerisindeki bazı bileşenlerle reaksiyona girerek betonun zamanla durabilitesini kaybetmesine sebep olur. Bu atak sülfat iyonlarının, sertleşmiş betondaki alüminli ve kalsiyumlu bileşenlerle reaksiyona girerek, alçı taşı ve etrenjit oluşturması sonucunu doğurur. Reaksiyon sonucu oluşan ürünler betonda hacminde artış yaratarak çatlamalara ve dağılmaya yol açar, agrega ile çimento arasındaki aderansın azalması ile betonun dayanımı düşer. Sülfat atağına uğramış betonda öncelikle köşe ve kenarlardan başlayarak her yere yayılan beyaz lekeler, çatlaklar ve dökülmeler görülür. Bu sayede beton kolayca ufalanıp yumuşayabilir.((Baradan, Yazıcı ve Ün), 2010: 89-9)

Sülfat iyonları yapının bulunduğu zeminden veya zemin suyundan beton içine girebilmektedir. Üstüdebitki yetişmeyen, yüzeyinde beyaz lekeler ve tuz birikintileri oluşan çorak topraklarda, sülfat etkisinden şüphe edilmelidir. Bu tip zeminlerde yapılacak yapılarda zemin etüdünün yanı sıra yer altı suyu ve zeminden numuneler alınarak betona olumsuz etkide bulunabilecek etkenlerin varlığı araştırılmalıdır.(Baradan, Yazıcı ve Ün), 2010: 89-9)

Özellikle deniz yapılarında deniz suyu içerisinde bulunan sülfatlar, ıslanma-kuruma bölgesinde buharlaşma ile betonun sülfat yoğunluğu sürekli artar. Bunun yanında çimento da önemli bir sülfat kaynağıdır. Çimentonun C₃A bileşenin ana prizini önlemek için üretim aşamasında çimentoya %3-6 oranında alçıtaşı eklenir. Zamanla genişlemenin ve betonun dayanımının etkilenmesine engel olmak için genelde çimento standartları eklenen alçıtaşının oluşturacağı SO₃ miktarını çimento ağırlığının %3'ü ile sınırlamıştır. (Baradan, Yazıcı ve Ün), 2010: 89-9)

Katı halde bulunan tuzlar betona zarar vermezler fakat ortamda su bulunması durumunda, sertleşmiş çimento hamuru ile reaksiyona girerler. Bazı killer alkali, magnezyum ve kalsiyum sülfatlar gibi kimyasal maddeler içerir. Bunlar yer altı suyu ile birleştiğinde zararlı etkide bulunurlar. Zemin yüzeyinde oluşan tuz birikintileri, genelde sodyum sülfattır (Na₂SO₄). Ancak çoğu ortamda magnezyum sülfata (MgSO₄) da rastlanır. Bu tür birikimlerin özellikle kuru iklimlerde fazla buharlaşma ile birlikte yeraltında bulunan tuz tabakalarındaki çözünebilir sülfatların yukarıya emilmesi sonucu oluştuğu düşünülmektedir.((Baradan, Yazıcı ve Ün), 2010: 89-9)

Doğal alçıtaşı ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) yüksek miktarda sülfat içermektedir. CaSO_4 'ların düşük çözünürlükleri olduğundan bıraktıkları etki bölgesel olarak kalır. Buna karşın uzun süre açıkta kalmaları halinde sodyum sülfat ve magnezyum sülfat gibi daha kolay çözünebilir tuzlara dönüşebilirler. (Baradan, Yazıcı ve Ün), 2010: 89-9)

Betonda sülfat saldırısının oluşturacağı etkinin şiddeti betonun bulunduğu ortamdaki sülfat konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir. Topraktaki SO_4^{-2} veya SO_3^{-2} yoğunlukları yüzde veya mg/kg olarak verilir. Yeraltı suyundaki sülfat derişimi ise ppm veya mg/lt olarak gösterilir. Çizelge 3.12'de ACI 201 standardında sülfat etkisi açısından yapılmış sınıflandırma gösterilmiştir. (Baradan, Yazıcı ve Ün), 2010: 89-9)

Çizelge 3.13. Zemin suyu ve toprakta bulunan sülfat yoğunluğunun betona etkisi

Etki derecesi	Zeminde Suda çözünen sülfat (SO_4^{-2})(%)	Suda SO_4^{-2} (mg/lt)
İhmal edilebilir	0,00-0,10	0-150
Orta	0,10-0,20	150-1500
Şiddetli	0,20-2,00	1500-10000
Çok şiddetli	2,00 ve üstü	10000 ve üstü

TS 3440 'Zararlı Kimyasal Etkileri Olan Su, Zemin ve Gazların Etkisinde Kalacak Betonlar için Yapım Kuralları' standardına göre ise Sülfat iyonlarının zararlı etki dereceleri Çizelge 3.13'te verilmiştir. Sülfat iyonu derişimi bazen SO_4^{-2} olarak, bazen ise SO_3^{-2} olarak ifade edilmektedir. SO_3^{-2} derişimini 1,2 ile çarparak SO_4^{-2} derişimine geçmek mümkündür. (Baradan, Yazıcı ve Ün), 2010: 89-9)

Çizelge 3.14. TS 3440'a göre Sülfat iyonlarının zararlı etki dereceleri

Etkinlik derecesi	Zeminde SO_4^{-2} (mg/kg)	Suda SO_4^{-2} (mg/lt)
Zayıf	2000~5000	200~600
Kuvvetli	5000'den büyük	600~3000
Çok kuvvetli	-	3000'den büyük

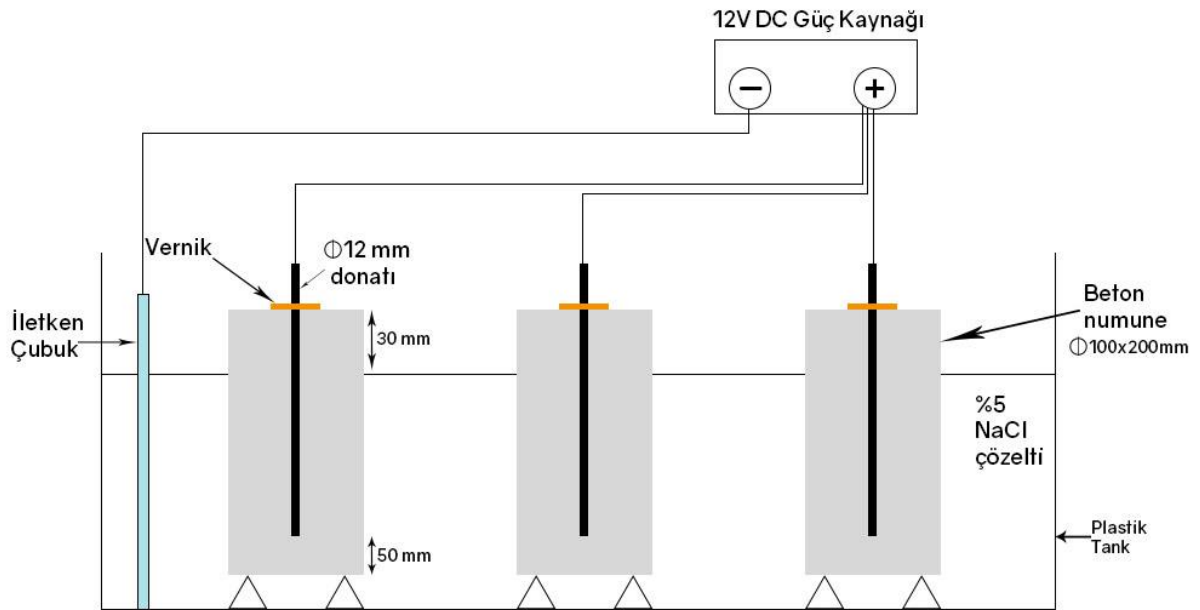
Standartlar beton ile sürekli temas halinde olan durgun sular için sınıflandırma yapmaktadır. Suyun basıncının ve sıcaklığının artması, çarpma, sürtünme, ıslanma-kuruma olayları gibi mekanik etmenler sülfat etkisini artırır. Doygun betonun kuruması ve bunun

sürekli olarak arz etmesi durumunda hasarın boyutu artar. ((Baradan, Yazıcı ve Ün), 2010: 89-9)

Sülfatın sebep olduğu etki betonda önce yüzeyde oluşan beyaz lekelerle kendini gösterir. Hasar daha çok köşelerde, birleşim noktalarında başlar. Sonrasında çatlaklar ilerler ve betonda dökülmeler ortaya çıkar. İleri düzeyde hasar durumunda ise betonun kırılma ve yumuşadığı, dayanımını kaybedip dağıldığı görülür. (Baradan, Yazıcı ve Ün), 2010: 89-9)

3.3.7. Hızlandırılmış korozyon testi

Bu deneyde beton numuneler derişimi %5 olan NaCl çözeltisine yerleştirildikten sonra içlerine yerleştirilmiş donatılara 1 hafta boyunca sabit elektrik akımı verilerek, belirli aralıklarla donatılardan geçen akım ölçülmüştür. Donatıların korozyona uğrama miktarı arttıkça geçirdikleri akım azalır. Ölçülen akım değeri ile korozyon arasında bağıntı kurulabilir. İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemeleri laboratuvarında hazırlanan deney düzeneği şematik olarak Şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.6. Hızlı korozyon testi düzeneğinin şematik gösterimi

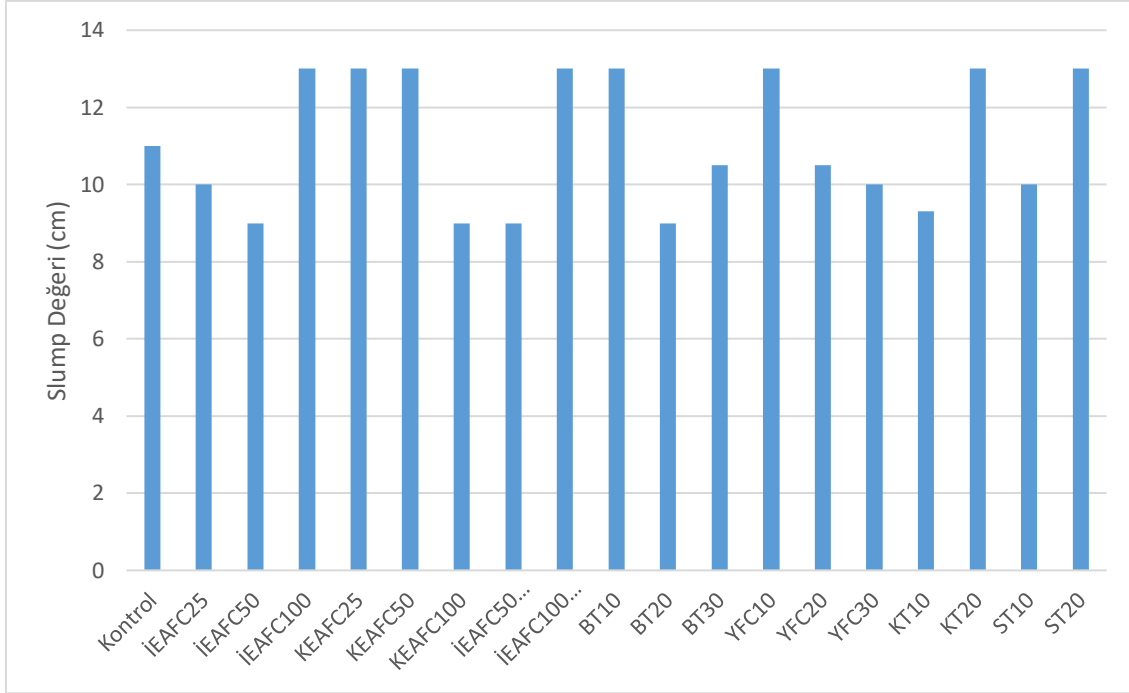
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1.Slump Deneyi

Beton üretiminde Su azaltıcı katkı (SAK) katkı kullanılarak slump değerleri sabit tutulmuştur. Kontrol betonunun slump değeri 11 cm çıkmıştır. Diğer tüm karışımların slump değerlerinin 11 ± 2 cm olması için kullanılan SAK miktarları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Kullanılan SAK miktarı her karışımın slump değerine bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Karışımların slump değerleri Şekil 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Beton karışımlara eklenen su azaltıcı (SAK) miktarları (30 dm³ için)

Karışım No	SAK (gr)
Kontrol	50
İEAFC25	100
İEAFC50	175
İEAFC100	180
KEAFC25	115
KEAFC50	115
KEAFC100	75
İEAFC50KEAFC100	150
İEAFC100KEAFC100	220
BT10	60
BT20	30
BT30	25
YFC10	75
YFC20	60
YFC30	75
KT10	85
KT20	115
ST10	130
ST20	240



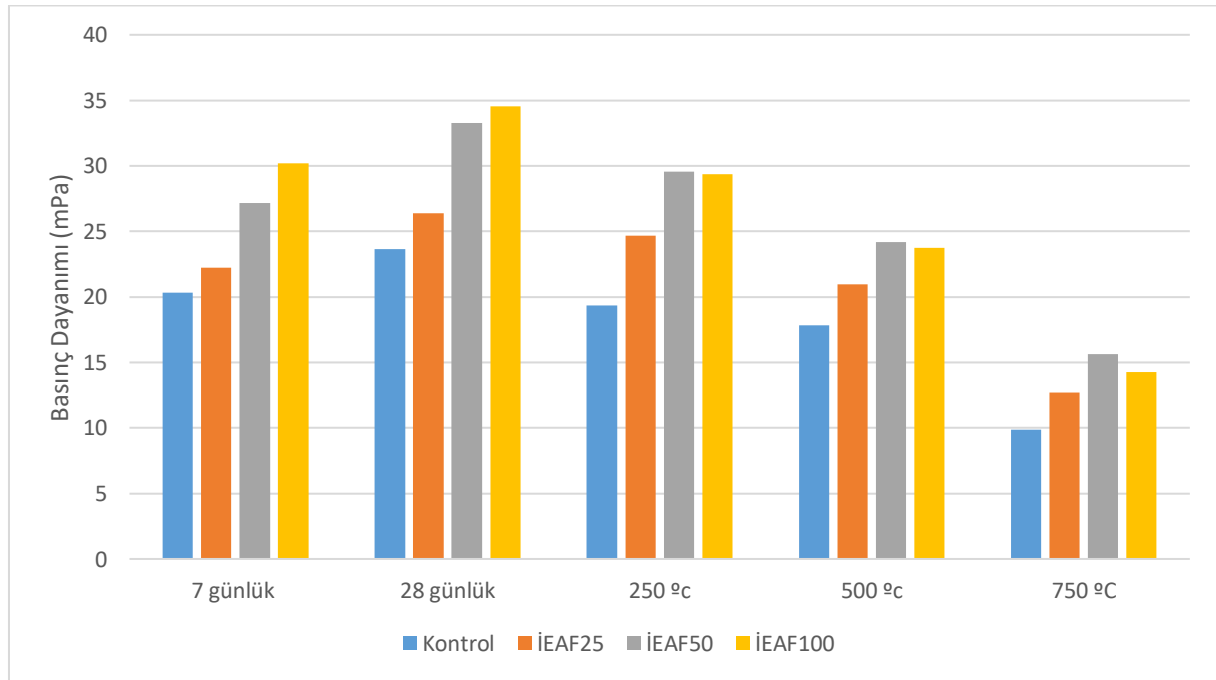
Şekil 4.1. Karışımların slump değerleri

4.2. Basınç Dayanım Deneyi

Bu çalışmada her karışım için 100×100×100 mm boyutlarında küp numuneler üretildi. Betonların 7 günlük, 28 günlük basınç dayanımları tespit edildi. Aynı zamanda yüksek sıcaklığa maruz kalan betonun basınç dayanımını gözlemlemek için numuneler 2'şer saat boyunca 250°C, 500°C ve 750 °C sıcaklığa maruz bırakıldı. Basınç dayanımı sonuçları Çizelge 4.2'de toplu olarak verilmiştir. Şekil 4.2'de kontrol betonu ile İEAF içelikli karışımların basınç dayanımı karşılaştırmaları, Şekil 4.3'te kontrol betonu ile KEAF içelikli karışımların basınç dayanımı karşılaştırmaları, Şekil 4.4'te kontrol betonu ile hem KEAF hem İEAF içelikli karışımların basınç dayanımı karşılaştırmaları, Şekil 4.5'te kontrol betonu ile Baca Tozu içelikli karışımların basınç dayanımı karşılaştırmaları, Şekil 4.6'da kontrol betonu ile Yüksek Fırın Cürufu içelikli karışımların basınç dayanımı karşılaştırmaları, Şekil 4.7'de kontrol betonu ile Kırmızı Tufal içelikli karışımların basınç dayanımı karşılaştırmaları ve Şekil 4.8'de kontrol betonu ile Siyah Tufal içelikli karışımların basınç dayanımı karşılaştırmaları verilmiştir.

Çizelge 4.2. Betonların basınç dayanımları

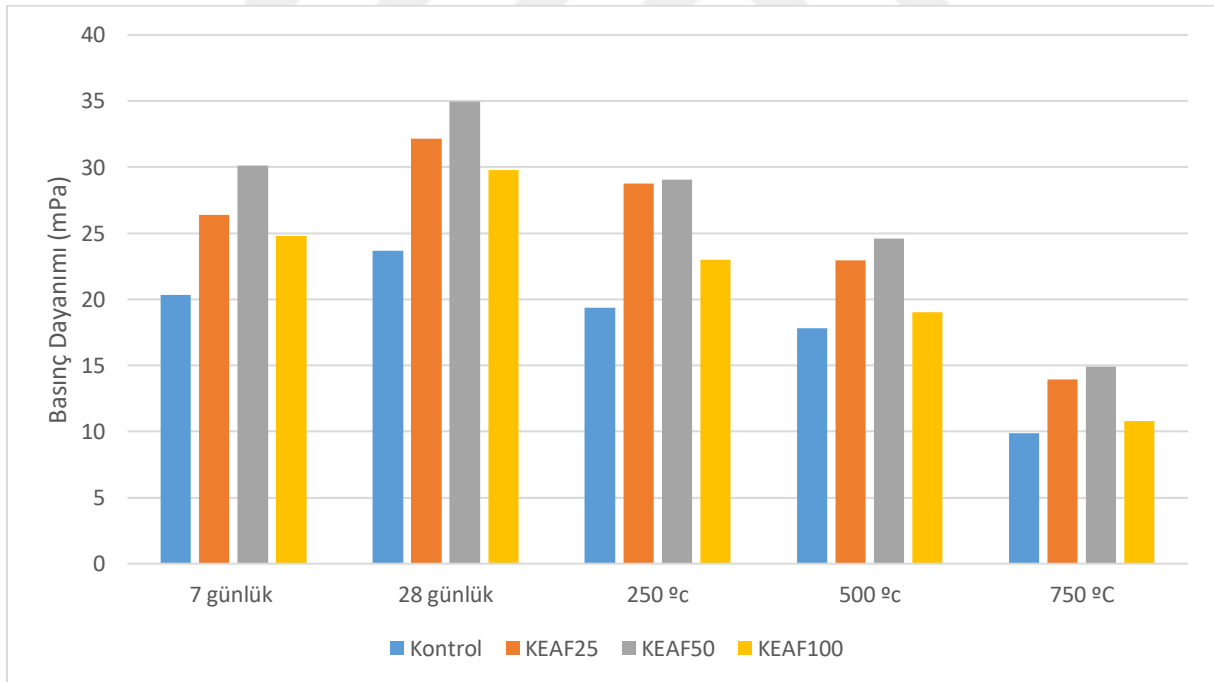
Karışım No	7 günlük dayanım (MPa)	28 günlük dayanım (MPa)	250 °C (MPa)	500 °C (MPa)	750 °C (MPa)
Kontrol	20,31	23,66	19,34	17,82	9,85
İEAF25	22,22	26,40	24,66	20,97	12,72
İEAF50	27,15	33,25	29,56	24,17	15,62
İEAF100	30,17	34,53	29,36	23,75	14,25
KEAF25	26,39	32,15	28,77	22,95	13,95
KEAF50	30,09	34,97	29,05	24,57	14,91
KEAF100	24,81	29,78	22,99	19	10,77
İEAF50KEAF50	25,82	33,60	24,76	21,69	12,91
İEAF100KEAF100	27,67	35,24	25,41	22,55	13,25
BT10	21,74	25,17	24,29	22,36	12,18
BT20	21,54	27,04	23,76	20,25	10,92
BT30	16,09	22,80	17,19	12,88	5,01
YFC10	29,16	35,14	31,13	24,20	17,10
YFC20	30,72	37,25	32,45	25,91	18,05
YFC30	31,79	39,29	34,80	26,28	18,51
KT10	29,04	32,35	26,90	18,54	15,73
KT20	29,56	35,47	27,57	20,21	15,28
ST10	23,79	29,64	23,13	19,08	17,40
ST20	32,25	39,33	29,42	21,15	18,82



Şekil 4.2. Kontrol betonu ile İEAF25, İEAF50 ve İEAF100 içeren karışımların basınç dayanımları karşılaştırmaları

Şekil 4.2’de 7 günlük basınç sonuçları incelendiğinde, %25, %50 ve %100 İEAF içeren betonların kontrol betonuna göre sırasıyla %9,4, %33,6 ve %48,5 daha fazla basınç

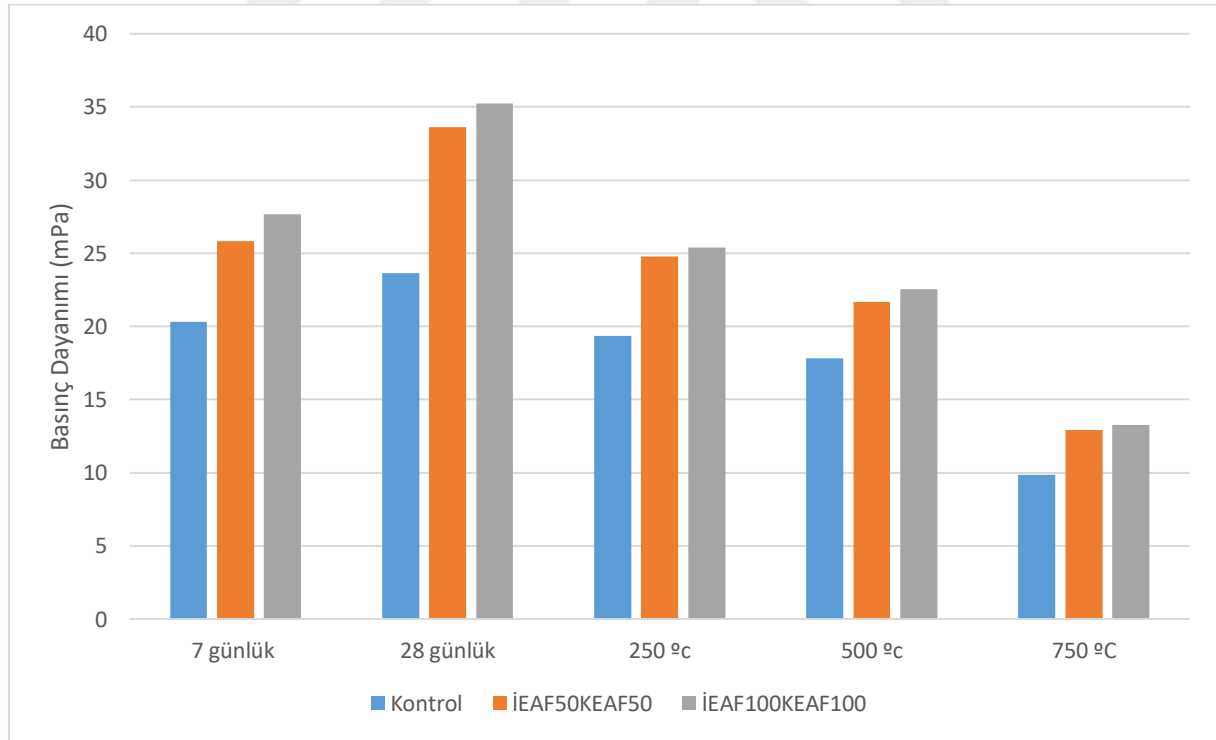
dayanımı değerine sahip olduğu görülmektedir. 28 günlük basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde de yine %25, %50 ve %100 İEAFc içeren betonların kontrol betonuna göre sırasıyla %11,6, %40,5 ve %65,9 daha fazla basınç dayanımı geliştirdiği görülmektedir. EAFc'nun kırma taş agregaya yerine kullanılması ile basınç dayanımındaki artışın EAFc'nun pürüzlü ve girintili-çıkıntılı yüzey dokusunun çimento hamuru ile daha iyi aderans göstermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca EAFc'nun yoğunluğu ve demir içeriği kırmataş agregaya göre oldukça yüksektir. Yüksek sıcaklık etkisi altında kalan numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde tüm İEAFc içeren numunelerin tüm sıcaklıklarda şahit numuneye göre çok daha yüksek basınç dayanımı değeri verdiği görülmektedir. Sıcaklığın artması ile birlikte betonda bölüm 3.3.4'te açıklanan olaylar gelişmekte ve dayanım kaybı gerçekleşmektedir. Şekil 4.2 incelendiğinde bu dayanım kaybının da İEAFc'li numunelerde kontrol betonuna göre daha az olduğu görülmektedir. Örneğin kontrol betonunda 250, 500 ve 750 °C'lere 2 saat maruz kalma sonucunda oluşan dayanım kayıpları sırası ile %18,25, %24,7 ve %58,4 iken %25 İEAFc içeren betonlarda bu değerler sırası ile %6,6, %20,5 ve %51,8'dir.



Şekil 4.3. Kontrol betonu ile KEAFc içerikli karışımların basınç dayanımı karşılaştırmaları

KEAFc içeren betonlara ait basınç dayanımı sonuçları Şekil 4.3'te verilmiştir. 7 günlük basınç sonuçları incelendiğinde, %25, %50 ve %100 KEAFc içeren betonların kontrol betonuna göre sırasıyla %29,93, %48,15 ve %22,15 daha fazla basınç dayanımı değerine sahip olduğu görülmektedir. 28 günlük basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde ise %25, %50 ve %100 KEAFc içeren betonların kontrol betonuna göre sırasıyla %35,88, %47,8 ve

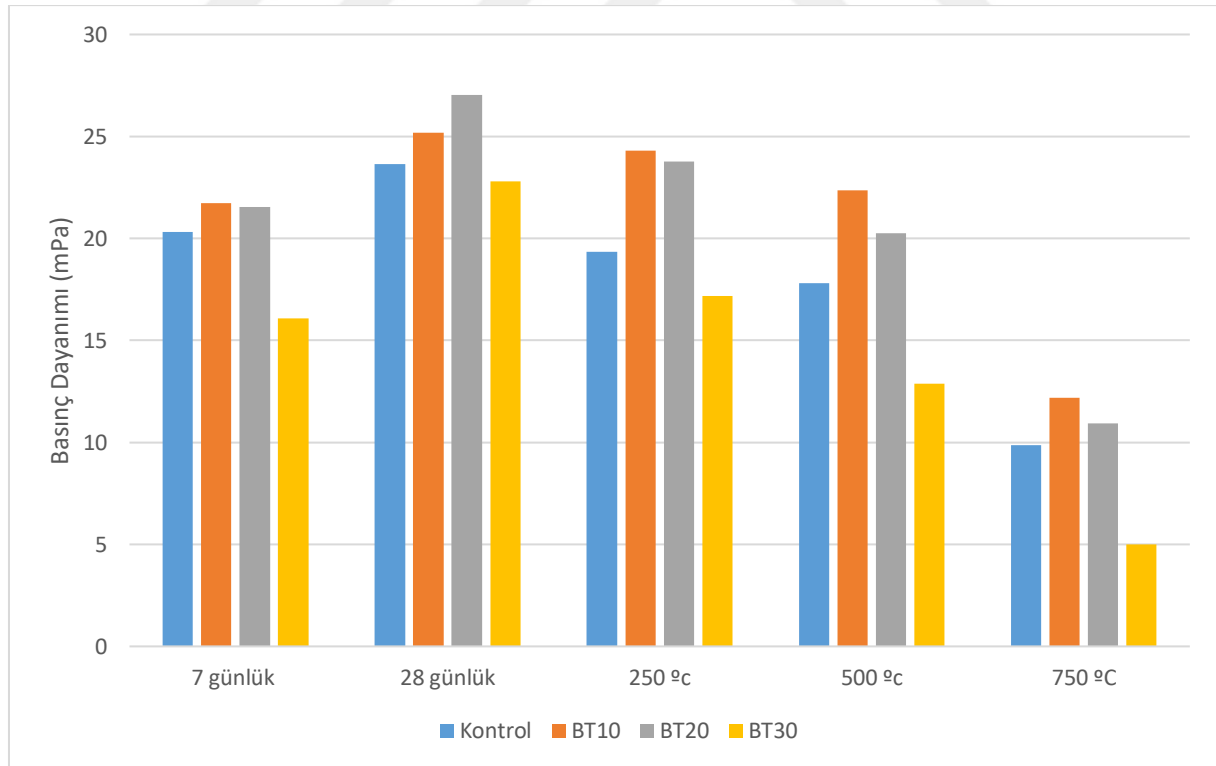
%25,86 daha fazla basınç dayanımı geliştirdiği görülmektedir. EAFC'nun kırma taş agrega yerine kullanılması ile basınç dayanımındaki artışın İEAFC'de olduğu gibi EAFC'nun pürüzlü ve girintili-çukurlu yüzey dokusunun çimento hamuru ile olan aderansı artırmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Beton basınç dayanımı üç bileşenden oluşur: agreganın dayanımı, çimento hamurun dayanımı ve agrega-çimento hamuru aderans bölgesinin dayanımı. Bu üç bileşen arasında en zayıf halka durumunda olan aderans bölgesinin güçlenmesi basınç dayanımında artışa neden olacaktır. Yüksek sıcaklık etkisi altında kalan numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde tüm KEAFC içeren numunelerin tüm sıcaklıklarda şahit numuneye göre çok daha yüksek basınç dayanımı değeri verdiği görülmektedir. Sıcaklığın artması ile birlikte betonda kademeli olarak çeşitli olaylar gelişmektedir. Bu olaylar bölüm 3.3.4'te anlatılmıştır. Şekil 4.3 incelendiğinde dayanım kaybının da KEAFC'li numunelerde kontrol betonuna göre daha az olduğu görülmektedir. Örneğin kontrol betonunda 250, 500 ve 750 °C'lere 2 saat maruz kalma sonucunda oluşan dayanım kayıpları sırası ile %18,25, %24,7 ve %58,4 iken %25 KEAFC içeren betonlarda bu değerler sırası ile %10,51, %28,61 ve %56,6'dır.



Şekil 4.4. Kontrol betonu ile KEAFC ve İEAFC'nun beraber kullanıldığı karışımların basınç dayanımı karşılaştırmaları

Hem İEAFC hem KEAFC içeren karışımlarda ise 7 günlük ve 28 günlük basınç dayanımları kontrol karışımdan yüksek çıkmıştır. 7 günlük basınç dayanımları

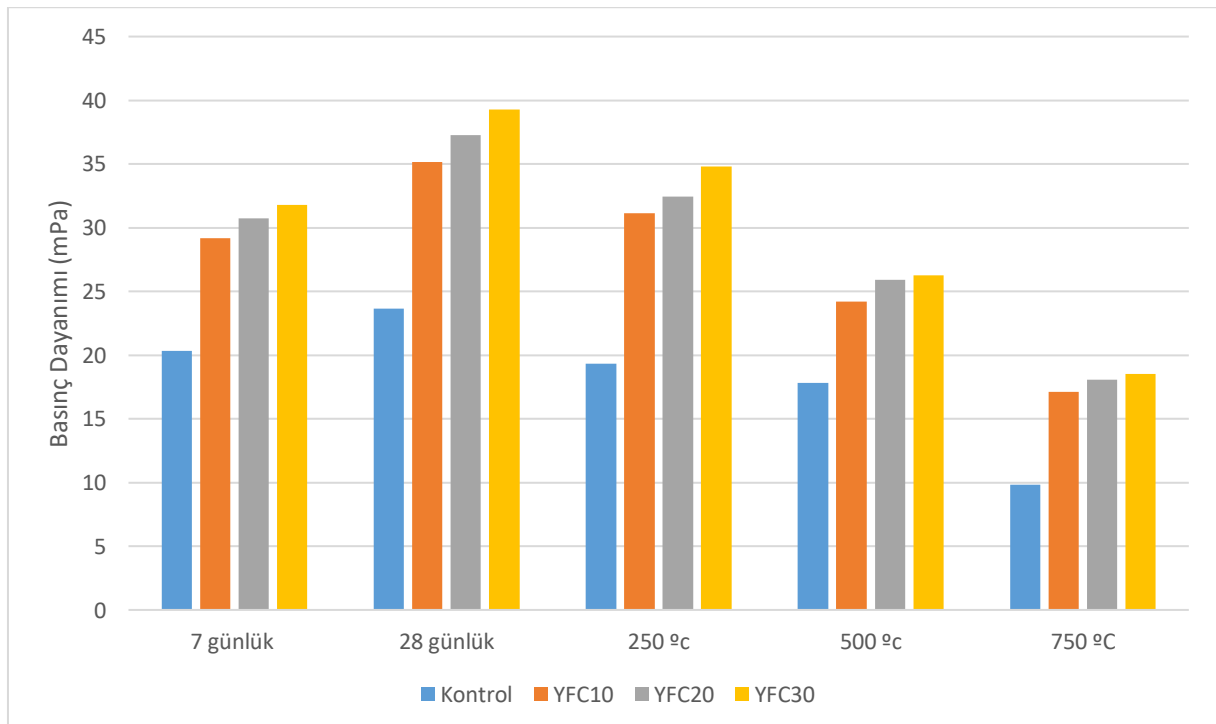
incelendiğinde kontrol betonunun basınç dayanımı 20,31 MPa iken %50 oranında İEAF ve %50 oranında KEAF içeren İEAF50KEAF50 karışımının basınç dayanımının 25,82 MPa, %100 oranında İEAF ve %100 oranında KEAF içeren İEAF100KEAF100 karışımının basınç dayanımının ise 27,67 MPa olduğu görülmektedir. 28 günlük basınçlar incelendiğinde ise kontrol betonunun basınç dayanımı 23,66 MPa iken İEAF50KEAF50 karışımının basınç dayanımının 33,60 MPa, İEAF100KEAF100 karışımının basınç dayanımının ise 35,24 MPa olduğu görülmektedir. İEAF ve KEAF'yi %100 oranında içeren İEAF100KEAF100 karışımı 35,24 MPa'lık 28 günlük basınç dayanımı değeri ile KEAF içeren tüm karışımlar arasında en yüksek 28 günlük basınç dayanımı değerine ulaşmıştır. Ayrıca kontrol betonundan yaklaşık %48,9 daha yüksek basınç dayanımı değerine ulaşmıştır. İnce ve kaba KEAF'nin beraber kullanılması ile birlikte aderans ve betonun yoğunluğu artmıştır. Yüksek sıcaklık etkisi altında kalan numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde tüm İEAF ve KEAF içeren numunelerin tüm sıcaklıklarda kontrol numuneye göre çok daha yüksek basınç dayanımı değeri verdiği görülmektedir.



Şekil 4.5. Kontrol betonu ile Baca Tozu içerikli karışımların basınç dayanımı karşılaştırmaları

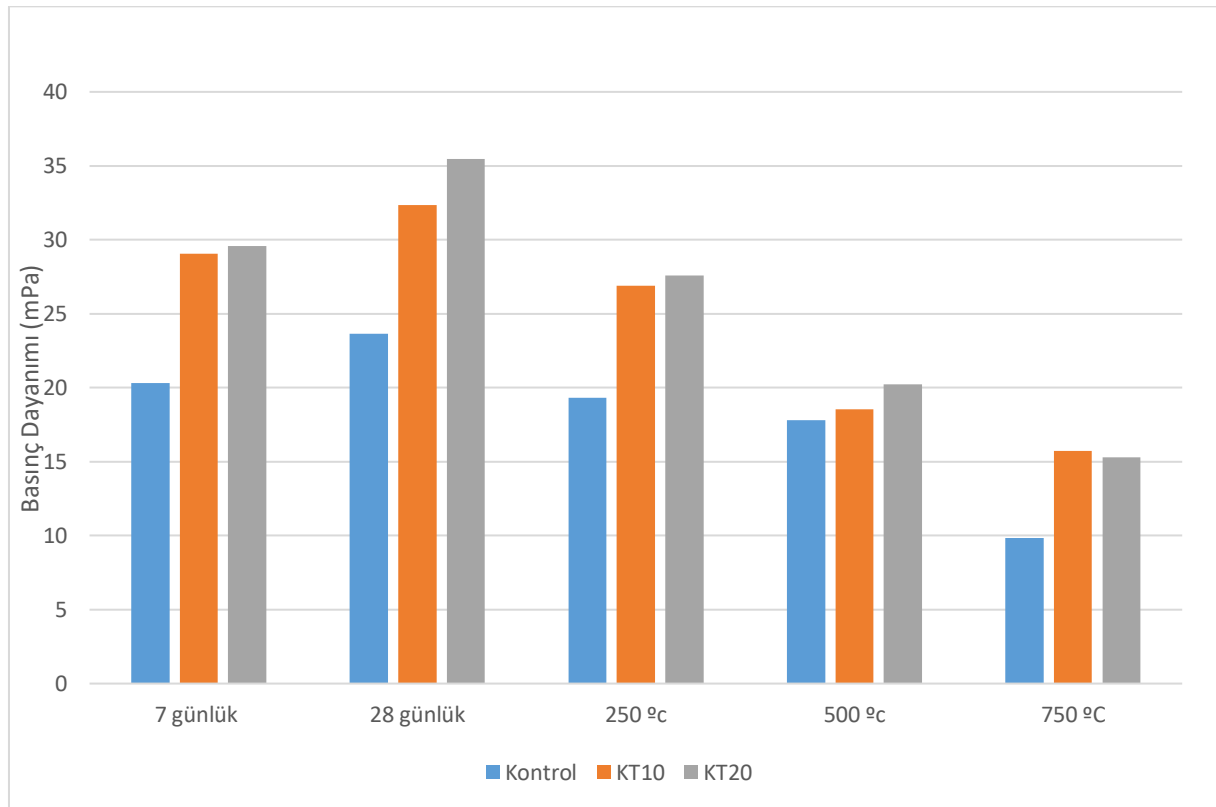
Şekil 4.5 incelendiğinde  imento ile ağırlıkça %10 ve %20 oranlarında yer değişimi yapılmış BT10 ve BT20 karışımlarının 7 günlük ve 28 günlük basınç dayanımlarının

kontrol karışımına göre artış gösterdiği, BT30 karışımının ise düşüş gösterdiği görülmektedir. Kontrol betonunun 7 günlük basınç dayanımı 20,31 MPa iken, BT10 karışımının basınç dayanımı 21,74 MPa, BT20 karışımının basınç dayanımı 21,54 MPa ve BT30 karışımının basınç dayanımının 16.09 MPa olduğu görülmektedir. Sırasıyla 28 günlük basınç dayanımı değerleri ise 23,66 MPa, 25,17 MPa, 27,04 MPa ve 22,80 MPa'dır. %10 ve %20 BT içeren karışımların 28. günde kontrol betonuna göre sırasıyla %6 ve %12,5 daha yüksek basınç dayanımı geliştirmiştir. %30 BT içeren karışımda ise 28. günde kontrol betonundan çok az düşük bir basınç dayanımı değerine sahiptir. Bu sonuçlar çalışmada kullanılan baca tozunun puzolanik özelliğe sahip olabileceğini göstermektedir. Basınç dayanımı sonuçları çimento yerine ağırlıkça %20 oranında baca tozu kullanılabilirliğini göstermektedir. Yüksek sıcaklık etkisi altında kalan numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde %10 ve %20 oranlarında baca tozu içeren BT10 ve BT20 karışım numunelerinin tüm sıcaklıklarda şahit numuneye göre daha yüksek, %30 oranında baca tozu içeren BT30 karışım numunelerinin ise şahit numuneye göre daha düşük basınç dayanımı değeri verdiği görülmektedir. Kontrol betonunda 250, 500 ve 750 °C'lere 2 saat maruz kalma sonucunda oluşan dayanım kayıpları sırası ile %18,25, %24,7 ve %58,4 iken %10 oranında BT içeren betonlarda bu değerler sırası ile %3,5, %11,16 ve %51,6; %20 oranında BT içeren betonlarda bu değerler sırası ile %12,13, %25,11 ve %58,61; %30 oranında BT içeren betonlarda bu değerler sırası ile %24,6, %43,5 ve %78.02'dir.



Şekil 4.6. Kontrol betonu ile Yüksek Fırın Cürufu içerikli karışımların basınç dayanımı karşılaştırmaları

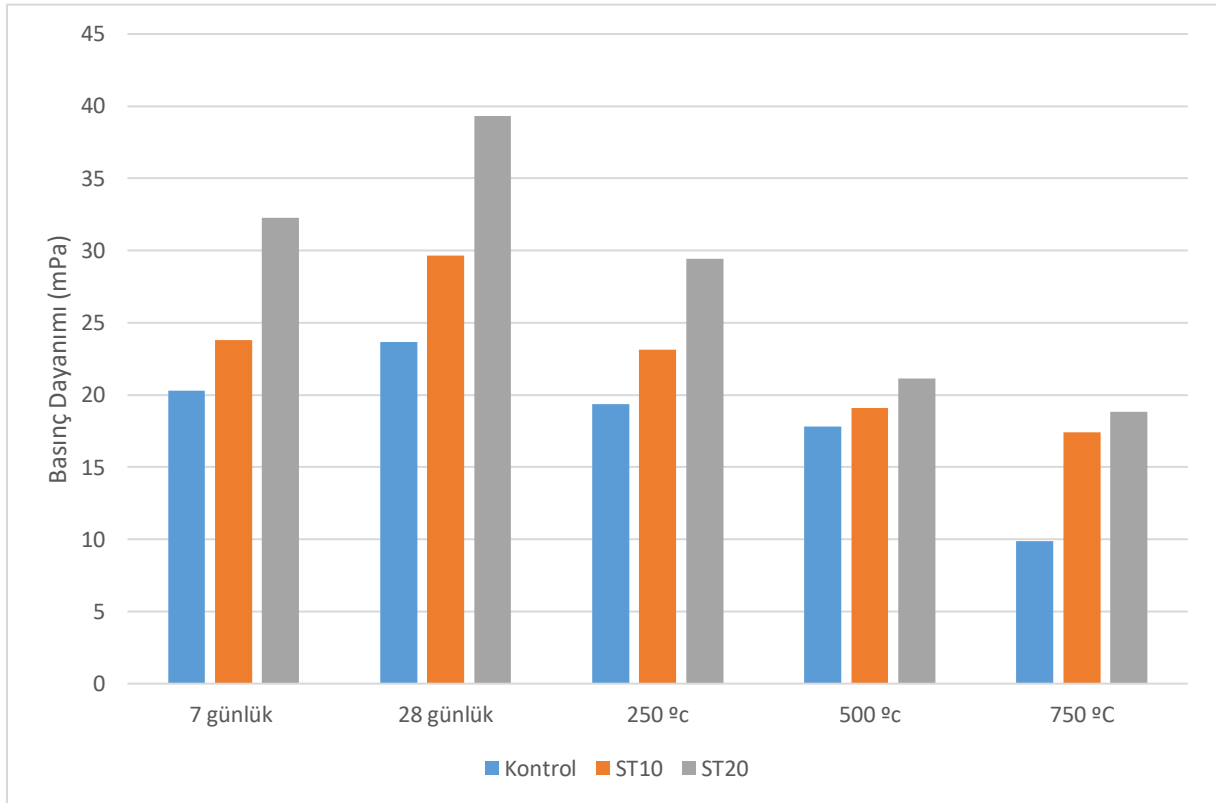
Şekil 4.6'da 7 günlük basınç sonuçları incelendiğinde, %10, %20 ve %30 YFC içeren YFC10, YFC20, YFC30 betonlarının kontrol betonuna göre sırasıyla %43,57, %51,25 ve %56,52 daha fazla basınç dayanımı değerine sahip olduğu görülmektedir. 28 günlük basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde de yine YFC10, YFC20 VE YFC30 betonların kontrol betonuna göre sırasıyla %48,5, %57,43 ve %66,06 daha fazla basınç dayanımı geliştirdiği görülmektedir. İskenderun Demir-Çelik Fabrikası'nda üretim esnasında yan ürün olarak ortaya çıkan YFC'nun puzolanik özelliğe sahip olduğu bilinmektedir. Dolayısı ile basınç dayanımlarındaki bu artış beklenen bir durumdur. Yüksek sıcaklık etkisi altında kalan numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde tüm YFC içeren numunelerin tüm sıcaklıklarda şahit numuneye göre çok daha yüksek basınç dayanımı değeri verdiği görülmektedir. Puzolanik özelliği olan malzemeler Ca(OH) ile reaksiyona girerek ilave C-S-H jeli oluştururlar. Bölüm 3.3.4'te açıklandığı gibi sıcaklık yükseldiğinde Ca(OH) yaklaşık 400 °C'de CaO'e dönüşür. C-S-H jelinin tahrip olması içinse sıcaklığın daha yüksek derecelere çıkması gerekir. Dolayısı ile YFC daha düşük derecelerde tahrip olan Ca(OH)'i C-S-H jeline dönüştürdüğü için yüksek sıcaklığa karşı dayanım artmaktadır. Ayrıca ilave C-S-H jeli kapiler boşlukları azaltmaktadır.



Şekil 4.7. Kontrol betonu ile Kırmızı Tufal içerikli karışımların basınç dayanımı

karşılaştırmaları

Şekil 4.7’de kontrol betonu ile toplam agrega ile hacimce %10 ve %20 oranında yer değişimi yapılmış KT10 ve KT20 karışımlarının 7 günlük, 28 günlük, 250°C, 500°C ve 750 °C basınç dayanımları görülmektedir. Sırası ile karışımların 7 günlük basınç dayanımı değerleri 20,31 MPa, 29,04 MPa ve 29,56MPa’dır. 28 günlük basınç dayanımı değerleri ile yine sırasıyla 23,66 MPa, 32,35MPa ve 35,47MPa’dır. Kırmızı Tufal içeren karışımları kendi içinde kıyasladığımızda ise KT20 karışımının en yüksek basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Yüksek sıcaklık etkisi altında kalan numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde tüm KT içeren numunelerin tüm sıcaklıklarda şahit numuneye göre çok daha yüksek basınç dayanımı değeri verdiği görülmektedir.



Şekil 4.8. Kontrol betonu ile Siyah Tufal içerikli karışımların basınç dayanımı karşılaştırmaları

Şekil 4.8’de kontrol betonu ile toplam agrega ile hacimce %10 ve %20 oranında yer değişimi yapılmış ST10 ve ST20 karışımlarının 7 günlük, 28 günlük, 250°C, 500°C ve 750 °C basınç dayanımları görülmektedir. Sırası ile karışımların 7 günlük basınç dayanımı değerleri 20,31 MPa, 23,79 MPa ve 32,25 MPa’dır. 28 günlük basınç dayanımı değerleri ile yine sırasıyla 23,66 MPa, 29,64 MPa ve 39,33 MPa’dır. Yüksek sıcaklık etkisi altında kalan numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde tüm ST içeren numunelerin tüm sıcaklıklarda şahit numuneye göre çok daha yüksek basınç dayanımı değeri verdiği

görülmektedir. Tufal miktarının artması basınç dayanımında artışa sebep olmuştur. Bunun sebebinin DKA'ya göre daha ince olan Tufal'in karışımın kompasitesini yükseltmesi ve bunun yanında tufallerin pürüzlü yüzeylerinin aderansı arttırması olduğu düşünülmektedir. Basınç dayanımlarının yükselmesi yüksek sıcaklığa karşı performansı da yükseltmiştir.

4.3. Ultrasonik Ses Geçiş Hızı Basınç Hızı Deneyi

Bu deneyde 100×100×100 mm boyutlarındaki küp numuneler kullanıldı. Her karışım için 7 günlük, 28 günlük ve 250°C, 500°C, 750 °C sıcaklığa maruz kalmış 3'er adet beton numunesi üzerinde deney yapıldı ve ortalamaları sonuç olarak kaydedildi. Çizelge 4.3'te ultrasonik dalga hızı aralıkları verilmiştir.

Çizelge 4.3. Ultrasonik dalga hızı aralıkları (Whitehurst, 1951)

Ses geçiş hızı (m/sn)	Beton kalitesi
<2000	Çok zayıf
2000-3000	Zayıf
3000-3500	Orta
3500-4500	İyi
>4500	Çok iyi

Çizelge 4.4. Betonların ultrasonik dalga hızı deney sonuçları

Karışım No	7 günlük Uvp (m/sn)	28 günlük Uvp (m/sn)	250 °C Uvp (m/sn)	500 °C Uvp (m/sn)	750 °C Uvp (m/sn)
Kontrol	2842,17	3202,3	2933,3	1805,2	668,87
İEAFC25	2936,3	3342,15	3075,3	2128,07	841,3
İEAFC50	3013,3	3498,2	3096,3	2197,95	975,3
İEAFC100	3116,4	3529,6	3166,6	2274	1015,2
KEAFC25	3013,4	3222,3	2969,73	2292	1116,5
KEAFC50	3463,5	4065,34	3312,3	2453,2	1184,2
KEAFC100	3161,6	3802,3	3081	1988,97	791,2
İEAFC50KEAFC50	3439,07	4375,3	3210,6	2226,6	897,3
İEAFC100KEAFC100	3584,3	4512,6	3275,4	2421,3	1218,6
BT10	3317,5	3743,48	3390,3	2468	1654
BT20	3235,3	3760,4	3350,3	2443,77	1592,3
BT30	3052,8	3388,3	2985,1	2353,4	911,6
YFC10	3694,3	4503,2	3382,43	2494,8	1875,07
YFC20	3710,2	4650,5	3401,25	2627,3	1911,5
YFC30	3820,1	4690,3	3511,22	2678,1	2072,5
KT10	3631,77	4055,61	3107	2265,63	1676,73
KT20	3719	4363,2	3394,6	2512,2	1791,99

ST10	3033,53	3801,2	2715	2316	1727,53
ST20	3581,6	4505,3	3266,67	2840,67	1769,2

Çizelge 4.4'te verilen ultrasonik ses hızı test sonuçları incelendiğinde genel olarak basınç dayanımı sonuçları ile uyumlu olduğu görülmektedir. Özellikle YFC ve Tufal içeren numuneler ile İEAFc ve KEAFc'nin beraber kullanıldığı numuneler 28. günde yüksek ultrases geçiş hızına sahip olmuştur. Yine basınç dayanımı sonuçlarına benzer şekilde çalışmada üretilen tüm katkılı karışımlar her iki test yaşında ve her üç sıcaklıkta kontrol numunesinden daha yüksek ultrasonik test hızına ulaşmışlardır.

Yüksek sıcaklığa maruz kalan betonlarda sıcaklığın yükselmesi ile birlikte bölüm 3.3.4'te açıklanan bozulmalar gerçekleşmiş ve bunun neticesinde betonun boşluk yapısı artmış ve ultrases hızı düşmüştür.

Çizelge 4.5. Betonların ultrasonik dalga hızının değerlendirilmesi

Karışım No	7 günlük Uvp	28 günlük Uvp	250 °C Uvp	500 °C Uvp	750 °C Uvp
Kontrol	Zayıf	Orta	Zayıf	Çok zayıf	Çok zayıf
İEAFc25	Zayıf	Orta	Orta	Zayıf	Çok zayıf
İEAFc50	Orta	Orta	Orta	Zayıf	Çok zayıf
İEAFc100	Orta	İyi	Orta	Zayıf	Çok zayıf
KEAFc25	Orta	Orta	Zayıf	Zayıf	Çok zayıf
KEAFc50	Orta	İyi	Orta	Zayıf	Çok zayıf
KEAFc100	Orta	İyi	Orta	Çok zayıf	Çok zayıf
İEAFc50KEAFc50	Orta	İyi	Orta	Zayıf	Çok zayıf
İEAFc100KEAFc100	İyi	Çok iyi	Orta	Zayıf	Çok zayıf
BT10	Orta	İyi	Orta	Zayıf	Çok zayıf
BT20	Orta	İyi	Orta	Zayıf	Çok zayıf
BT30	Orta	Orta	Zayıf	Zayıf	Çok zayıf
YFC10	İyi	Çok iyi	Orta	Zayıf	Çok zayıf
YFC20	İyi	Çok iyi	Orta	Zayıf	Çok zayıf
YFC30	İyi	Çok iyi	İyi	Zayıf	Zayıf
KT10	İyi	İyi	Orta	Zayıf	Çok zayıf
KT20	İyi	İyi	Orta	Zayıf	Çok zayıf
ST10	Orta	İyi	Zayıf	Zayıf	Çok zayıf
ST20	İyi	Çok iyi	Orta	Zayıf	Çok zayıf

Çizelge 4.5 Whitehurst (1951)'in verdiği tabloya göre hazırlanmıştır. Çizelge 4.5 incelendiğinde YFC içeren betonların 7 günde iyi, 28 günde çok iyi olarak nitelendirildiği görülmektedir. Benzer şekilde İEAF100KEAF100 karışımı ile ST20 karışımı da ultra ses hızına göre 7. günde iyi, 28. günde çok iyi kaliteye sahiptir.

4.4. Asit Atağı Deneyi

Beton küp numuneler derişimi %5 olan H_2SO_4 (sülfirikasit) çözeltisi içerisinde yerleştirilmiştir. Kısa vadedeki performansını değerlendirmek için 1 ay boyunca asit atağına maruz bırakılıp sonrasında basınç dayanımları tespit edilmiştir. Basınç dayanımları 28 günlük basınç dayanımlarıyla kıyaslanmıştır.

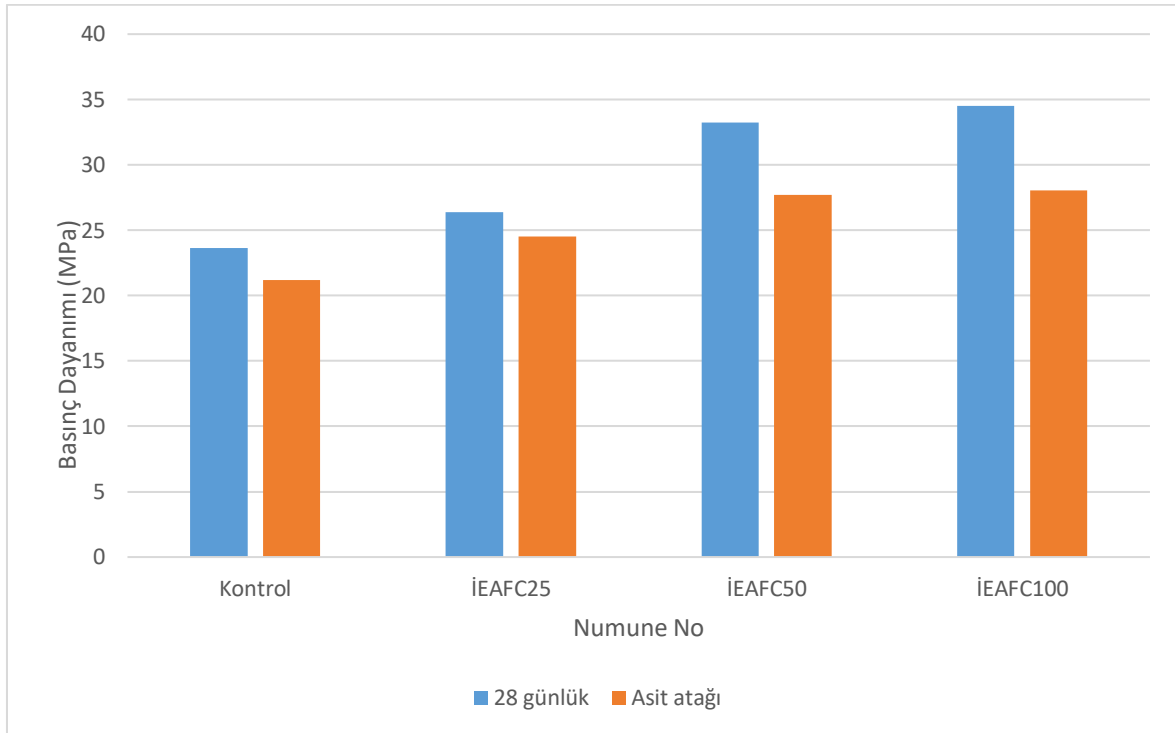


Resim 4.1. H_2SO_4 (sülfirik asit) çözeltisi içinde bekletilen numuneler

Çizelge 4.6. Betonların 7 günlük, 28 günlük ve asit atağı sonrası basınç dayanımları

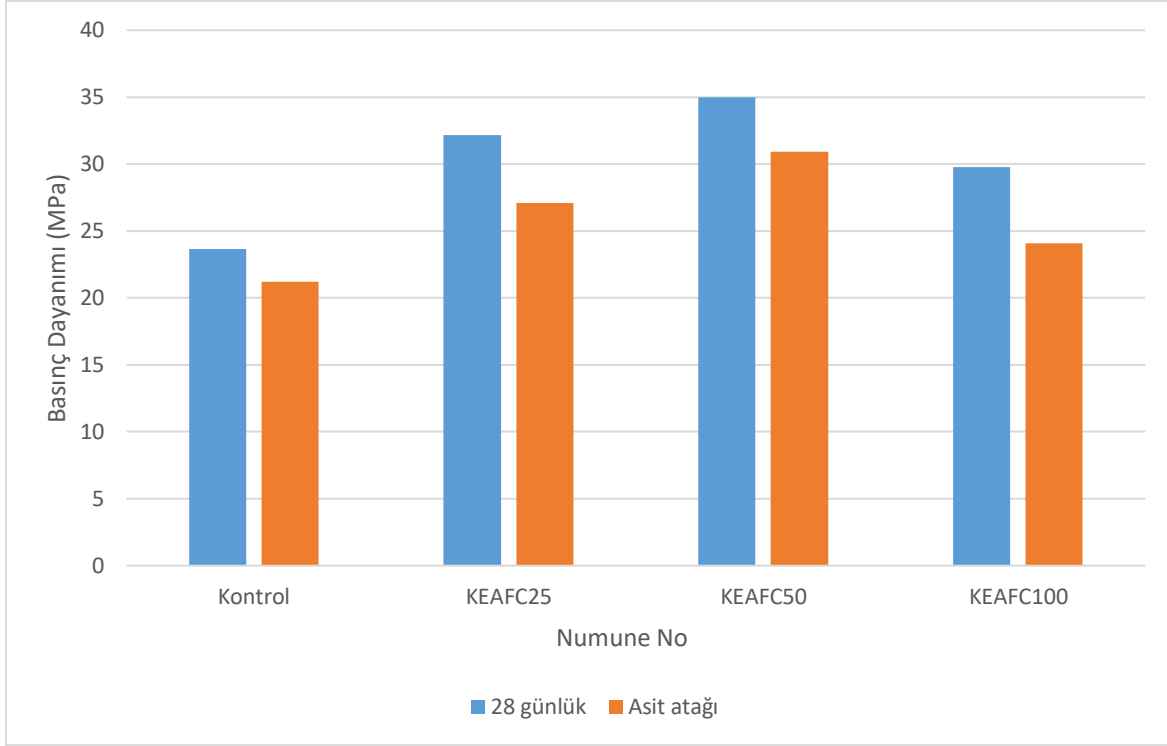
Karışım No	7 günlük dayanım (MPa)	28 günlük dayanım (MPa)	Asit atağı sonrası dayanım (MPa)
Kontrol	20,31	23,66	21,2
İEAFC25	22,22	26,40	24,5
İEAFC50	27,15	33,25	27,7
İEAFC100	30,17	34,53	28,06
KEAFC25	26,39	32,15	27,1
KEAFC50	30,09	34,97	30,9
KEAFC100	24,81	29,78	24,1
İEAFC50KEAFC50	25,82	33,60	26,1
İEAFC100KEAFC100	27,67	35,24	26,95
BT10	21,74	25,17	23,48
BT20	21,54	27,04	25,9
BT30	16,09	22,80	17,9

YFC10	29,16	35,14	30,17
YFC20	30,72	37,25	32,51
YFC30	31,79	39,29	32,82
KT10	29,04	32,35	22,86
KT20	29,56	35,47	27,7
ST10	23,79	29,64	24,55
ST20	32,25	39,33	29,93



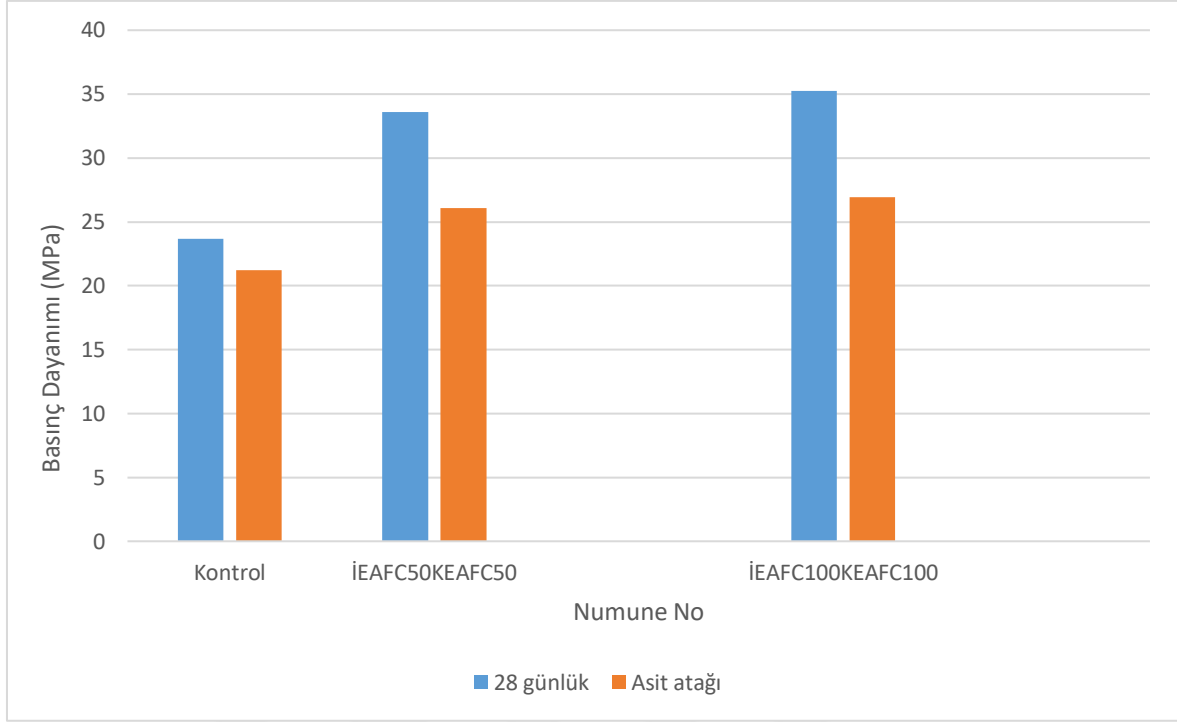
Şekil 4.9 Kontrol betonu ile İEAFC içerikli karışımların 28 günlük ve asit atağı sonrası basınç dayanımı karşılaştırmaları

Şekil 4.9’da kontrol betonu ve %25, %50, %100 oranında İEAFC içeren İEAFC25, İEAFC50, İEAFC100 betonlarının 28 günlük basınç dayanımı ve 1 ay boyunca asit atağına maruz kalmış basınç dayanımları verilmiştir. Tüm numunelerde 28 günlük basınç dayanımı değeri asit atağı sonrasındaki basınç dayanımından daha yüksektir. Asit atağına maruz kalan numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde tüm İEAFC içeren numunelerin şahit numuneye göre çok daha yüksek basınç dayanımı değeri verdiği görülmektedir. Örneğin İEAFC100 karışımı asit atağı sonrası 28,06 MPa ile kontrol numunesinden %32 daha fazla basınç dayanımı değerine sahiptir. Asit atağına maruz beton yüzeyinde yumuşama olmakta, gözenekler oluşmakta ve betonda dayanım kaybı meydana gelmektedir. Şekil 4.10 incelendiğinde bu dayanım kaybı şahit numunede %10,39 iken İEAFC’li numunelerde dayanım kaybı sırası ile %7,19, %16,7 ve %18,73’tür.



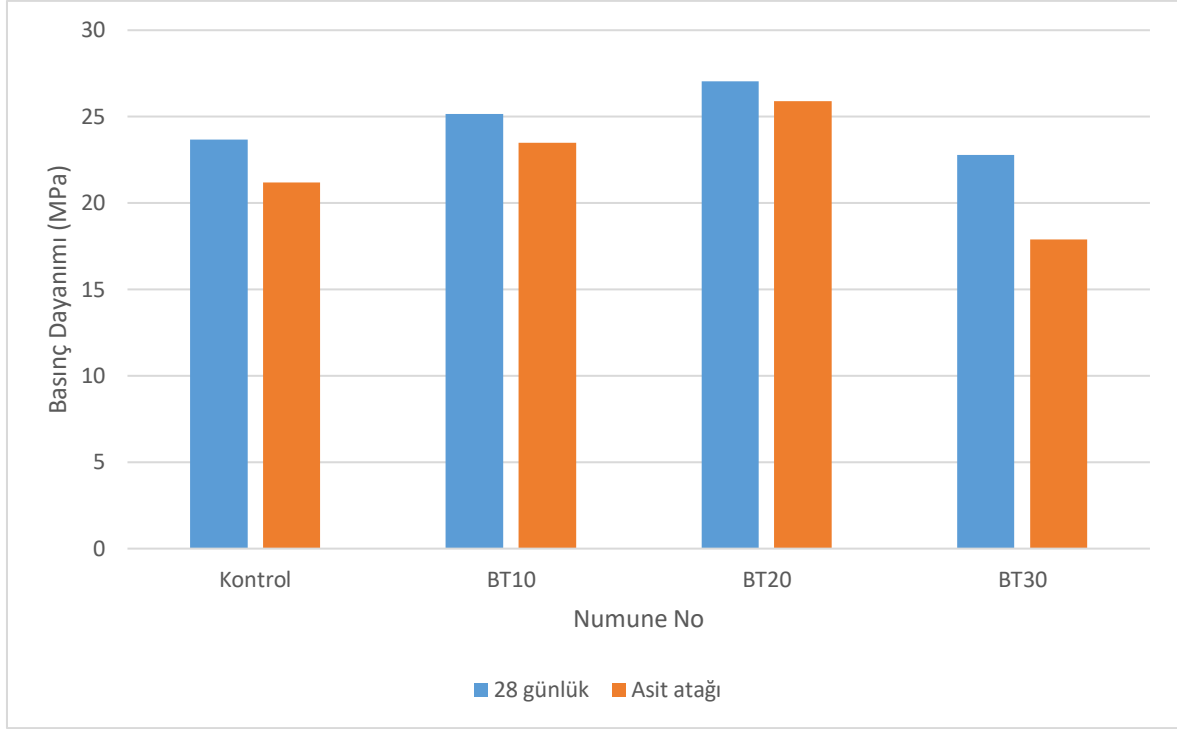
Şekil 4.10. Kontrol betonu ile KEAFC içerikli karışımların 28 günlük ve asit atağı sonrası basınç dayanımı karşılaştırmaları

Şekil 4.10'da kontrol betonu ve %25, %50, %100 oranında KEAFC içeren KEAFC25, KEAFC50, KEAFC100 betonlarının 28 günlük basınç dayanımı ve 1ay boyunca asit atağına maruz kalmış basınç dayanımları verilmiştir. Tüm numunelerde 28 günlük basınç dayanımı değeri asit atağı sonrasındaki basınç dayanımından daha yüksektir. Asit atağına maruz kalan numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde tüm KEAFC içeren numunelerin şahit numuneye göre çok daha yüksek basınç dayanımı değeri verdiği görülmektedir. Asit atağına maruz kalan betonda bölüm 3.3.5'te açıklanan olaylar gelişmekte ve dayanım kaybı gerçekleşmektedir. Şekil 4.10 incelendiğinde bu dayanım kaybı şahit numunede %10,39 iken KEAFC'li numunelerde dayanım kaybı sırası ile %15,7, %11,63 ve %19,07'dir.



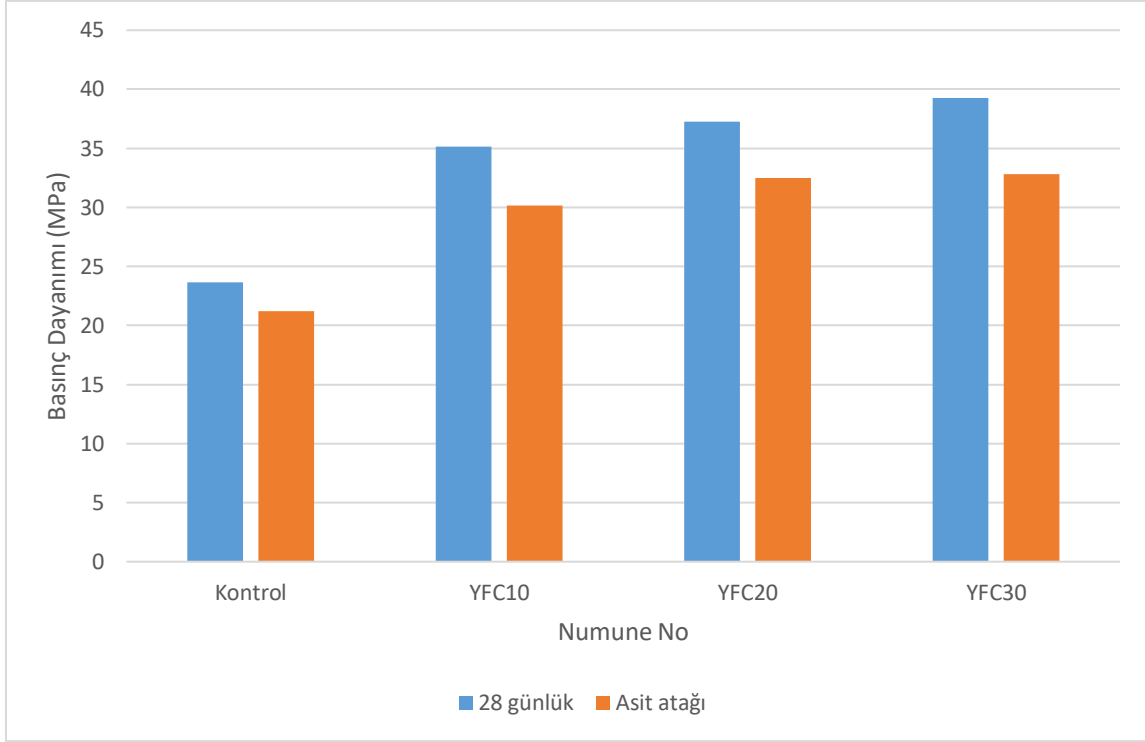
Şekil 4.11. Kontrol betonu ile hem KEAFC hem İEAFC içerikli karışımların 28 günlük ve asit atağı sonrası basınç dayanımı karşılaştırmaları

Şekil 4.11’de kontrol betonu ve %50 ve %100 oranında hem İEAFC hem KEAFC içeren İEAFC50KEAF50 ve İEAFC100KEAF100 betonlarının 28 günlük basınç dayanımı ile 1 ay boyunca asit atağına maruz kalmış basınç dayanımları verilmiştir. Tüm numunelerde 28 günlük basınç dayanımı değeri asit atağı sonrasındaki basınç dayanımından daha yüksektir. Asit atağına maruz kalan numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde tüm İEAFC ve KEAFC içeren numunelerin şahit numuneye göre çok daha yüksek basınç dayanımı değeri verdiği görülmektedir.



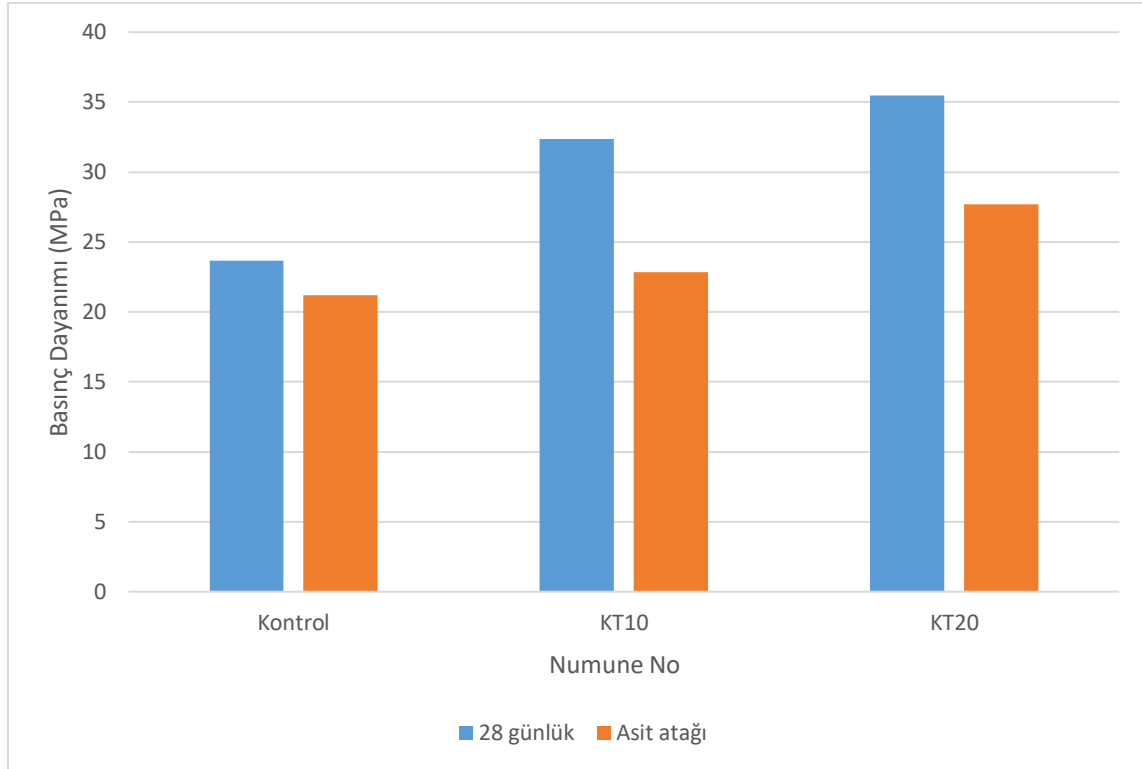
Şekil 4.12. Kontrol betonu ile BT içerikli karışımların 28 günlük ve asit atağı sonrası basınç dayanımı karşılaştırmaları

Şekil 4.12’de kontrol betonu ile çimento yerine %10, %20 ve %30 oranında değişimi yapılmış olan BT10, BT20 ve BT30 karışımlarının 28 günlük basınç dayanımı ile 1ay boyunca asit atağına maruz kalmış basınç dayanımları verilmiştir. Asit atağına maruz kalan numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde tüm BT içeren numunelerin şahit numuneye göre çok daha yüksek basınç dayanımı değeri verdiği görülmektedir. Asit atağında asitler $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile reaksiyona girerek $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'i CaCO_3 'e çevirmekte ve dayanım kaybı oluşmaktadır. Şekil 4.2 incelendiğinde %10 ve %20 BT içeren numunelerde dayanım kaybının sırasıyla %6,7 ve %4,21 olduğu görülmektedir. Bu kayıp kontrol betonunda %10,39’dur. Bu durum bize baca tozunun puzolanik özelliğe sahip olduğunu ve $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile reaksiyona girerek C-S-H jeli oluşturmuş olduğunu düşündürmektedir.



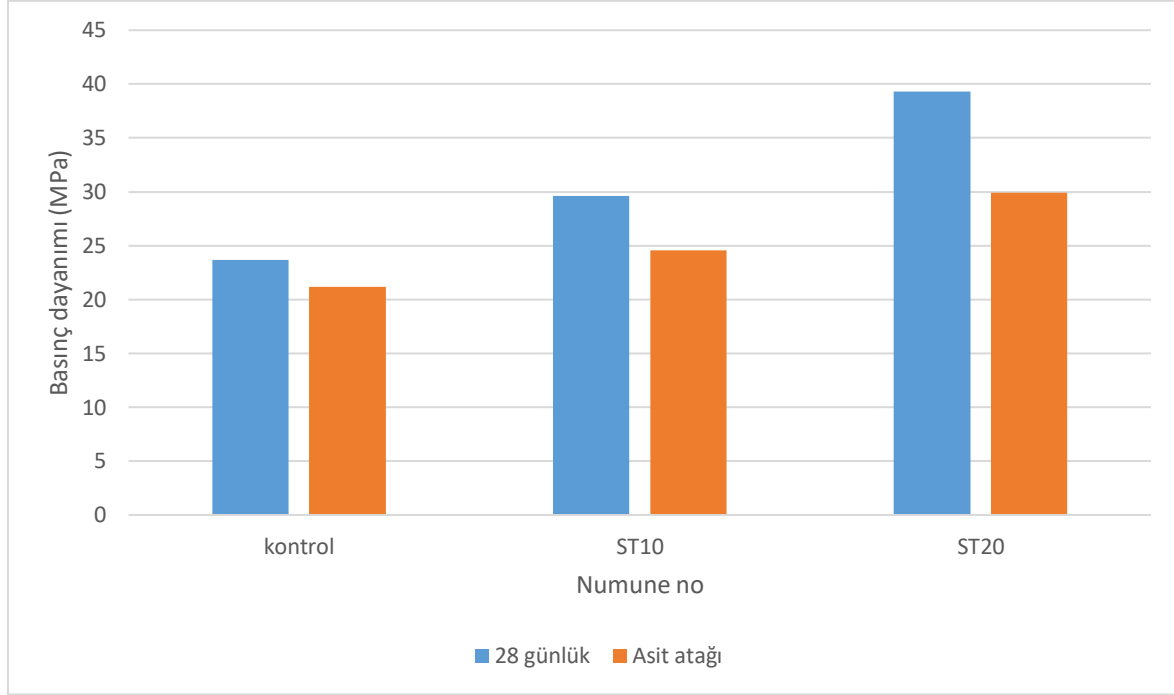
Şekil 4.13. Kontrol betonu ile YFC içerikli karışımların 28 günlük ve asit atağı sonrası basınç dayanımı karşılaştırmaları

Şekil 4.13'te kontrol betonu ile çimento yerine %10, %20 ve %30 oranında değişimi yapılmış olan YFC10, YFC20 ve YFC30 karışımlarının 28 günlük basınç dayanımı ile 1 ay boyunca asit atağına maruz kalmış basınç dayanımları verilmiştir. Tüm numunelerde 28 günlük basınç dayanımı değeri asit atağı sonrasındaki basınç dayanımından daha yüksektir. Asit atağına maruz kalan numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde tüm YFC içeren numunelerin şahit numuneye göre çok daha yüksek basınç dayanımı değeri verildiği görülmektedir. YFC10, YFC20 ve YFC30 karışımları kontrol betonundan sırası ile %42, %53 ve %55 daha fazla asit atağı sonrası basınç dayanımına sahip olmuştur. Genel olarak YFC'li betonlardaki dayanım kaybının kontrol betonu ile kıyaslanabilir derecede olduğu söylenebilir. Asit atağına maruz kalan betonda bölüm 3.3.5'te açıklanan olaylar gelişmekte ve dayanım kaybı gerçekleşmektedir. Şekil 4.13 incelendiğinde kontrol betonunun dayanım kaybının diğer tüm YFC içerikli betonların dayanım kayıplarından daha düşük olduğu görülmektedir. Kontrol betonunun dayanım kaybı %10,39 iken diğer YFC eklentili betonların dayanım kayıpları sırasıyla %14,14, %12,72 ve %16,46'dır.



Şekil 4.14. Kontrol betonu ile KT içerikli karışımların 28 günlük ve asit atağı sonrası basınç dayanımı karşılaştırmaları

Şekil 4.14'te kontrol betonu ile agregaya yerine hacimce %10 ve %20 oranında değişimi yapılmış olan KT10 ve KT20 karışımlarının 28 günlük basınç dayanımı ile 1 ay boyunca asit atağına maruz kalmış basınç dayanımları verilmiştir. Tüm numunelerde 28 günlük basınç dayanımı değeri asit atağı sonrasındaki basınç dayanımından daha yüksektir. Asit atağına maruz kalan numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde tüm KT içeren numunelerin şahit numuneye göre çok daha yüksek basınç dayanımı değeri verdiği görülmektedir.



Şekil 4.15. Kontrol betonu ile ST içerikli karışımların 28 günlük ve asit atağı sonrası basınç dayanımı karşılaştırmaları

Şekil 4.15'te kontrol betonu ile agrega yerine hacimce %10 ve %20 oranında değişimi yapılmış olan ST10 ve ST20 karışımlarının 28 günlük basınç dayanımı ile 2 saat boyunca asit atağına maruz kalmış basınç dayanımları verilmiştir. Tüm numunelerde 28 günlük basınç dayanımı değeri asit atağı sonrasındaki basınç dayanımından daha yüksektir. Asit atağına maruz kalan numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde tüm YFC içeren numunelerin şahit numuneye göre çok daha yüksek basınç dayanımı değeri verdiği görülmektedir. Asit atağına maruz kalan betonda bölüm 3.3.5'te açıklanan olaylar gelişmekte ve dayanım kaybı gerçekleşmektedir. Şekil 4.15 incelendiğinde kontrol betonunun dayanım kaybının ST içerikli betonların dayanım kayıplarından daha düşük olduğu görülmektedir. Kontrol betonunun dayanım kaybı %10,39 iken ST eklentili betonların dayanım kayıpları sırasıyla %17,17 ve %23,9'dur.

4.5.Sülfat Atağı Deneyi

Beton küp numuneler derişimi %5 olan Na_2SO_4 (sodyum sülfat) çözeltisi içerisine yerleştirilmiştir.Kısavadedeki performansını değerlendirmek için 30 gün boyunca sülfat atağına maruz bırakılıp sonrasında ağırlık değişimi ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Basınç dayanımları 28 günlük basınç dayanımlarıyla kıyaslanmıştır.Bu çalışmada kullanılan Na_2SO 'ın kimyasal analizi Çizelge 4.7'de verilmiştir.



Resim 4.2. Na₂SO₄ (sodyum sülfat) çözeltisi içinde bekletilen numuneler

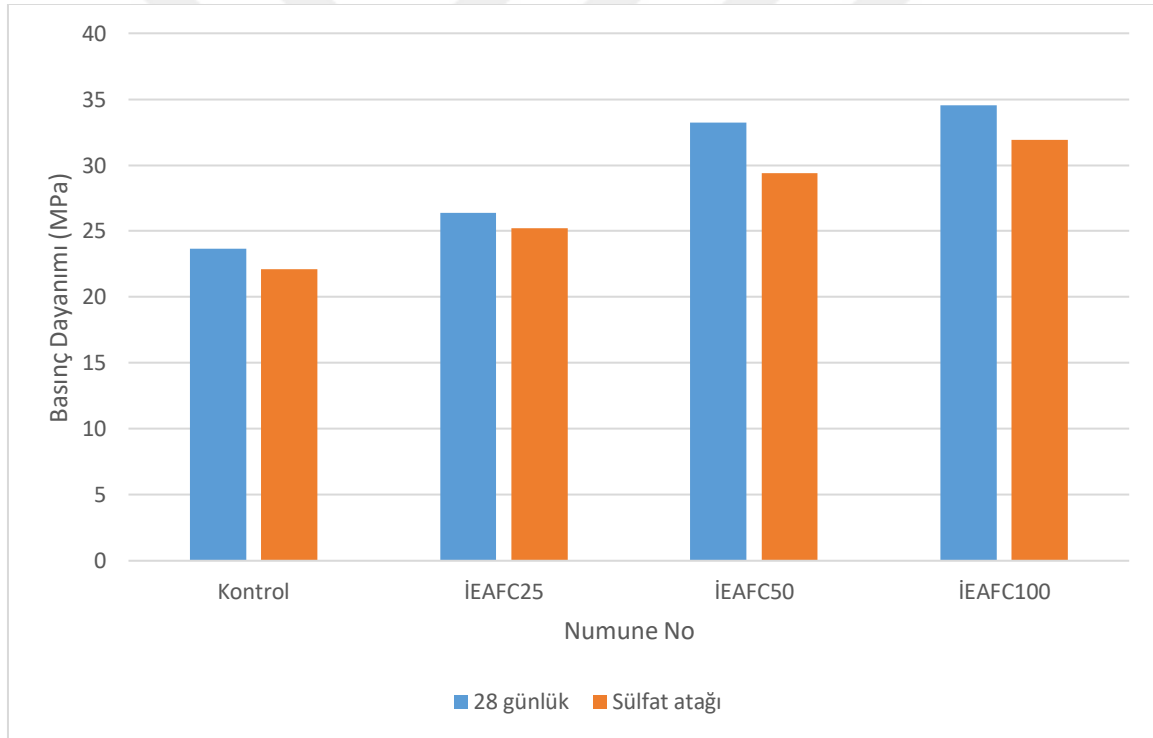
Çizelge 4.7. Na₂SO₄'ın (sodyum sülfat) kimyasal özellikleri

Madde	Limit
Sodyum Sülfat Safiyeti (Na ₂ SO ₄)	99,5% (min)
Renk (%1'lik solüsyonda)	<10 klett
Sodyum Klorit (NaCl)	0,20 % (max)
Rutubet (105oC'deki kayıp)	0,3 % (max)
pH (%1'lik solüsyonda)	6,5 – 8,0
Suda çözünmeyen madde	0,10 % (min)
Yığın yoğunluğu	1500 ± 200 g/l.
Ortalama tane iriliği (mikron - μ)	100 – 250 μ
Demir (Fe)	10 ppm. (max)
Krom (Cr)	1 ppm. (max)

Çizelge 4.8. Betonların 7 günlük, 28 günlük ve sülfat atağı sonrası basınç dayanımları

Karışım No	7 günlük dayanım (MPa)	28 günlük dayanım (MPa)	Sülfat atağı sonrası dayanım (MPa)
Kontrol	20,31	23,66	22,1
İEAFC25	22,22	26,40	25,2
İEAFC50	27,15	33,25	29,4
İEAFC100	30,17	34,53	31,9

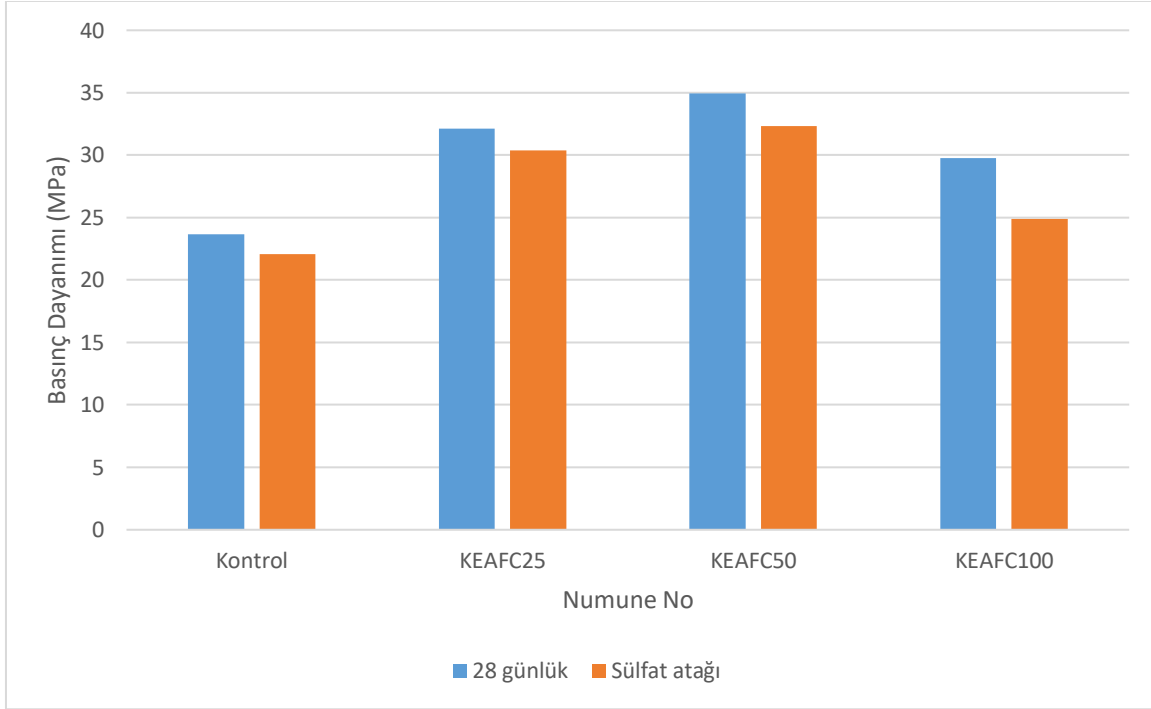
KEAFC25	26,39	32,15	30,4
KEAFC50	30,09	34,97	32,33
KEAFC100	24,81	29,78	24,9
İEAFC50KEAFC50	25,82	33,60	27,5
İEAFC100KEAFC100	27,67	35,24	28,19
BT10	21,74	25,17	24,5
BT20	21,54	27,04	26,32
BT30	16,09	22,80	19,51
YFC10	29,16	35,14	30,79
YFC20	30,72	37,25	33,28
YFC30	31,79	39,29	34,46
KT10	29,04	32,35	27,33
KT20	29,56	35,47	28,01
ST10	23,79	29,64	27,32
ST20	32,25	39,33	30,90



Şekil 4.16 Kontrol betonu ile İEAFC içerikli karışımların 28 günlük ve sülfat atağı sonrası basınç dayanımı karşılaştırmaları

Şekil 4.16'da kontrol betonu ve %25, %50, %100 oranında İEAFC içeren İEAFC25, İEAFC50, İEAFC100 betonlarının 28 günlük basınç dayanımı ve 1 ay boyunca sülfat atağına maruz kalmış basınç dayanımları verilmiştir. Tüm numunelerde 28 günlük basınç dayanımı değeri sülfat atağı sonrasındaki basınç dayanımından daha yüksektir. Sülfat atağına maruz kalan numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde tüm İEAFC içeren numunelerin şahit numuneye göre çok daha yüksek basınç dayanımı değeri verdiği

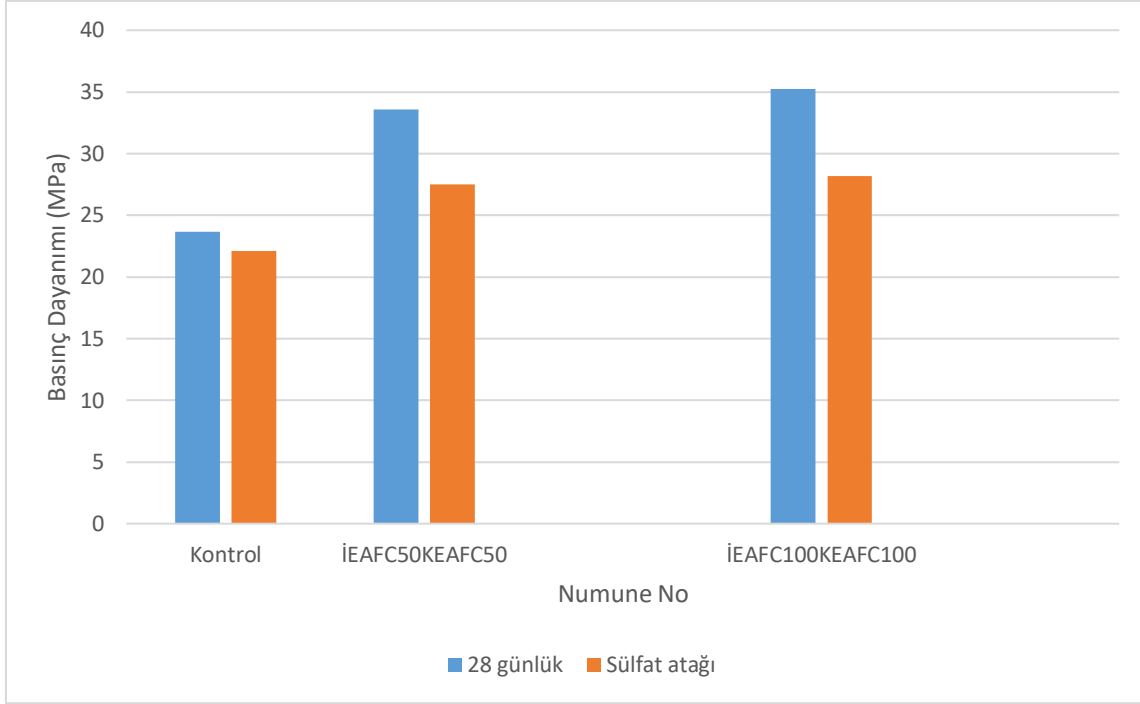
görülmektedir. Sülfat atağına maruz kalan betonda bölüm 3.3.6'da açıklanan olaylar gelişmekte ve dayanım kaybı gerçekleşmektedir. Şekil 4.16 incelendiğinde bu dayanım kaybı şahit numunede %6,6 iken İEAFC'li numunelerde dayanım kaybı sırası ile %4,54, %11,57 ve %7,61'dir.



Şekil 4.17. Kontrol betonu ile KEAFC içerikli karışımların 28 günlük ve sülfat atağı sonrası

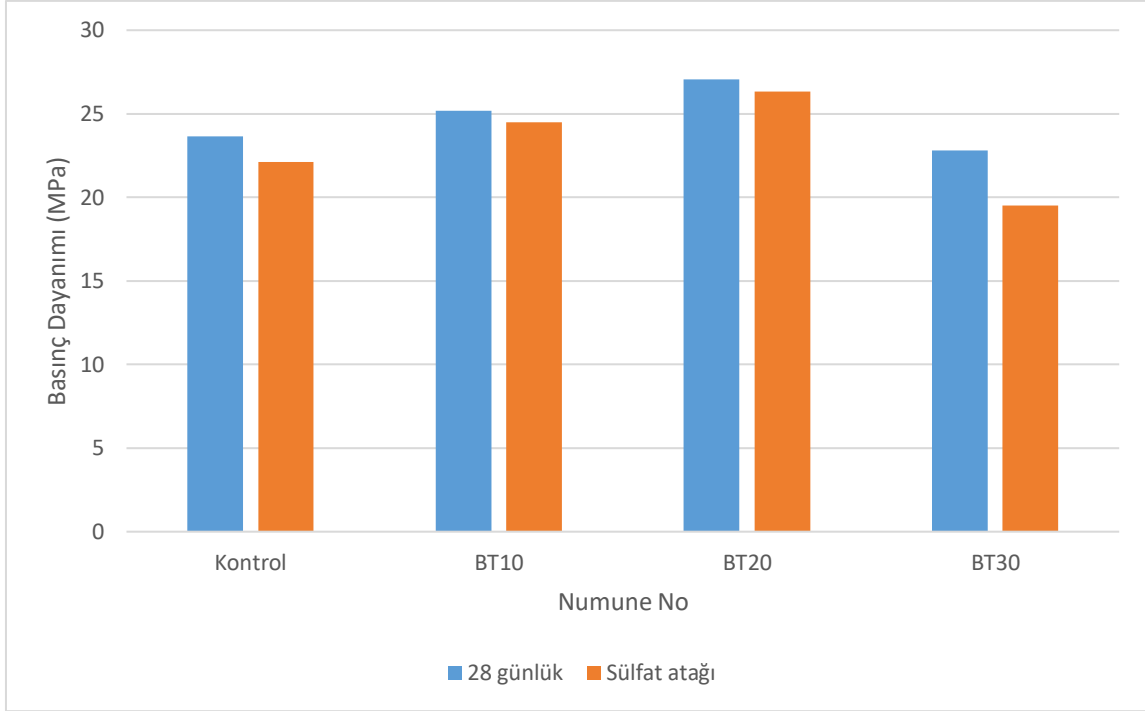
basınç dayanımı karşılaştırmaları

Şekil 4.17'de kontrol betonu ve agrega ile hacimce %25, %50 ve %100 oranında değişimi yapılmış KEAFC içeren KEAFC25, KEAFC50, KEAFC100 betonlarının 28 günlük basınç dayanımı ve 1 ay boyunca sülfat atağına maruz kalmış basınç dayanımları verilmiştir. Tüm numunelerde 28 günlük basınç dayanımı değeri asit atağı sonrasındaki basınç dayanımından daha yüksektir. KEAFC25, KEAFC50 ve KEAFC100 karışımları sülfat atağı sonrası kontrol numunesinde sırasıyla %37,5, %46 ve %13 daha fazla dayanıma sahiptirler. Sülfat atağına maruz kalan numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde tüm KEAFC içeren numunelerin şahit numuneye göre çok daha yüksek basınç dayanımı değeri verdiği görülmektedir. Şekil 4.17 incelendiğinde oluşan dayanım kaybı şahit numunede %6,6 iken KEAFC'li numunelerde dayanım kaybı sırası ile %5,44, %7,55 ve %16,38'dir. Beton içerisindeki KEAFC içeriği arttıkça dayanım kaybının arttığı görülmektedir.



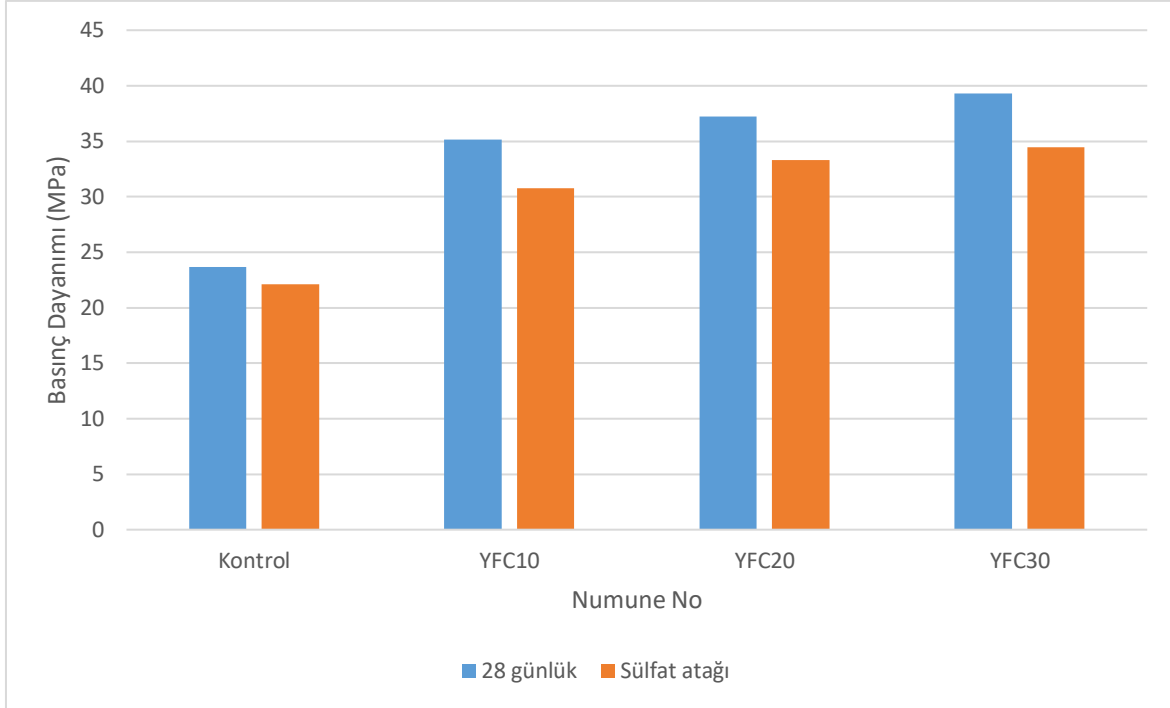
Şekil 4.18. Kontrol betonu ile hem KEAFC hem İEAFC içerikli karışımların 28 günlük ve sülfat atağı sonrası basınç dayanımı karşılaştırmaları

Şekil 4.18’de kontrol betonu ve %50 ve %100 oranında hem İEAFC hem KEAFC içeren İEAFC50KEAF50 ve İEAFC100KEAF100 betonlarının 28 günlük basınç dayanımı ile 1 ay boyunca sülfat atağına maruz kalmış basınç dayanımları verilmiştir. Tüm numunelerde 28 günlük basınç dayanımı değeri sülfat atağı sonrasındaki basınç dayanımından daha yüksektir. Sülfat atağına maruz kalan numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde tüm İEAFC ve KEAFC içeren numunelerin şahit numuneye göre çok daha yüksek basınç dayanımı değeri verdiği görülmektedir. Şekil 4.18 incelendiğinde kontrol betonunun dayanım kaybının İEAFC ve KEAFC eklentili betonlardan daha az olduğu görülmektedir. Kontrol betonunun dayanım kaybı %6,6 iken İEAFC50KEAF50 betonunun dayanım kaybı %18,15 İEAFC100KEAF100 betonunun dayanım kaybı ise %20,20’dir.



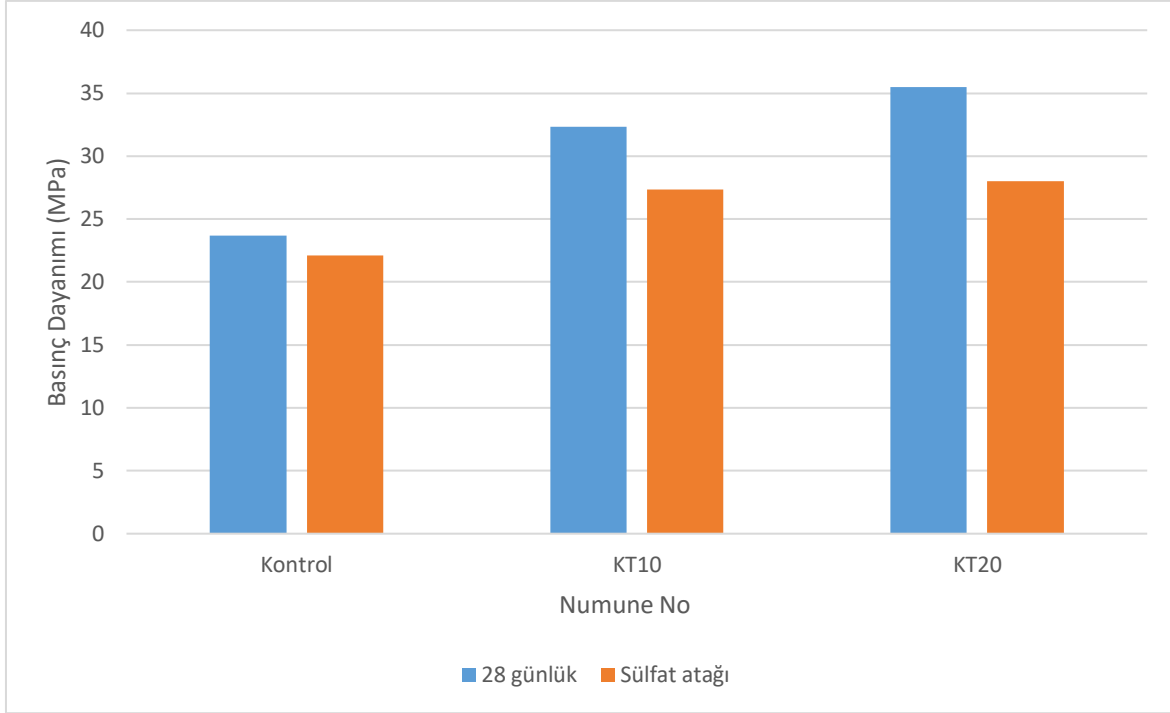
Şekil 4.19. Kontrol betonu ile BT içerikli karışımların 28 günlük ve sülfat atağı sonrası basınç dayanımı karşılaştırmaları

Şekil 4.19'da kontrol betonu ve çimento yerine %10,%20 ve %30 oranında baca tozu ile değişimi yapılmış olan BT10, BT20 ve BT30 karışımlarının 28 günlük basınç dayanımı ile 1 ay boyunca sülfat atağına maruz kalmış basınç dayanımları verilmiştir. Tüm numunelerde 28 günlük basınç dayanımı değeri sülfat atağı sonrasındaki basınç dayanımından daha yüksektir. Sülfat atağına maruz kalan numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde tüm BT içeren numunelerin şahit numuneye göre çok daha yüksek basınç dayanımı değeri verdiği görülmektedir. Sülfat atağına maruz kalan betonda bölüm 3.3.6'da açıklanan olaylar gelişmekte ve dayanım kaybı gerçekleşmektedir. Şekil 4.19 incelendiğinde kontrol betonunun dayanım kaybının BT10 ve BT20 betonlarından daha fazla, BT30 betonunun dayanım kaybından daha az olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar asit atağı sonuçları ile uyumludur. Kontrol betonunun dayanım kaybı %6,6 BT10 betonunun dayanım kaybı %2,66 BT20 betonunun dayanımın kaybı %2,66, BT30 betonunun dayanım kaybı ise %14,42'dir.



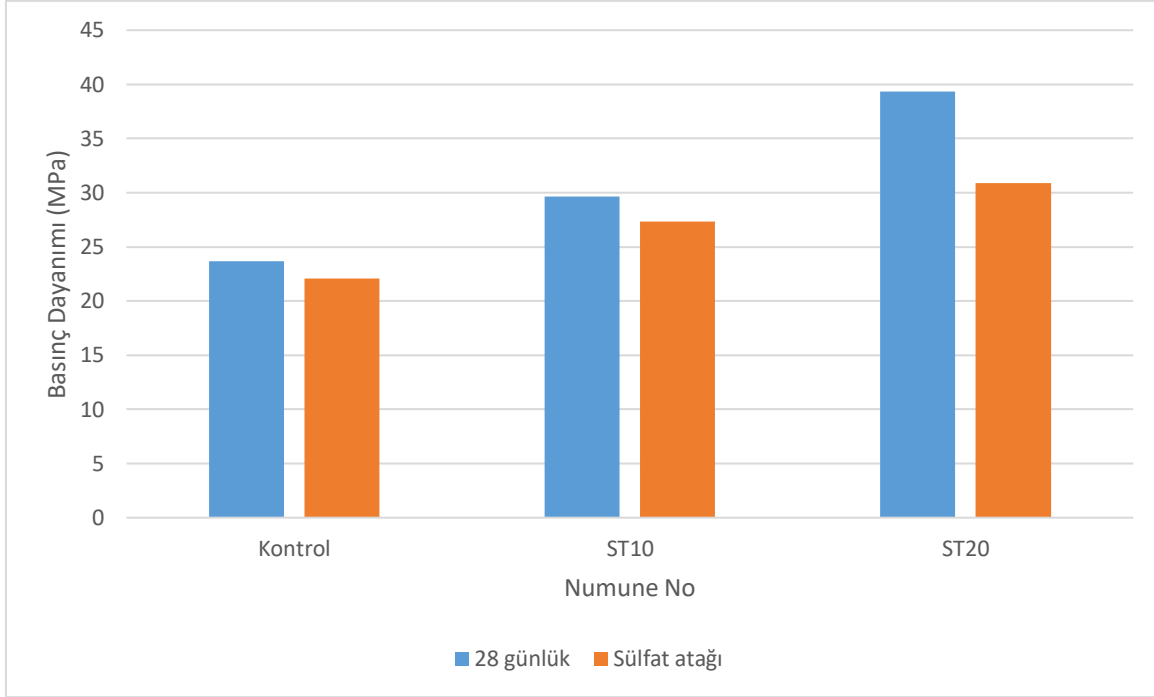
Şekil 4.20. Kontrol betonu ile YFC içerikli karışımların 28 günlük ve sülfat atağı sonrası basınç dayanımı karşılaştırmaları

Şekil 4.20’de kontrol betonu ve çimento yerine %10, %20 ve %30 oranında yüksek fırın cürufu ile değişimi yapılmış olan YFC10, YFC20 ve YFC30 karışımlarının 28 günlük basınç dayanımı ile 1 ay boyunca sülfat atağına maruz kalmış basınç dayanımları verilmiştir. Tüm numunelerde 28 günlük basınç dayanımı değeri sülfat atağı sonrasındaki basınç dayanımından daha yüksektir. Sülfat atağı sonrası kontrol betonu 22,1 MPa basınç dayanımı geliştirirken, YFC10, YFC20 ve YFC30 karışımları sırasıyla 30,79, 33,28 ve 34,46 MPa ile kontrol betonuna göre oldukça yüksek bir basınç dayanımı geliştirmişlerdir. Sülfat atağına maruz kalan betonlarda oluşan dayanım kayıpları Şekil 4.20’de görülmektedir. Şekil 4.20 incelendiğinde kontrol betonunun dayanım kaybının diğer tüm YFC içerikli betonların dayanım kaybından daha az olduğu görülmektedir. Kontrol betonunun dayanım kaybı %6,6 iken diğer YFC10, YFC20 ve YFC30 betonlarının basınç dayanım kayıpları sırasıyla %12,37, %10,65 ve %12,3’tür.



Şekil 4.21. Kontrol betonu ile KT içerikli karışımların 28 günlük ve sülfat atağı sonrası basınç dayanımı karşılaştırmaları

Şekil 4.21’de kontrol betonu vetoplam agregası ile hacimce %10 ve %20 oranında kırmızı tufaledeğişimi yapılmış olan KT10 ve KT20 karışımlarının 28 günlük basınç dayanımı ile 1 ay boyunca sülfat atağına maruz kalmış basınç dayanımları verilmiştir. Sülfat atağına maruz kalan numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde tüm KT içeren numunelerin şahit numuneye göre çok daha yüksek basınç dayanımı değeri verdiği görülmektedir.



Şekil 4.22. Kontrol betonu ile ST içerikli karışımların 28 günlük ve sülfat atağı sonrası basınç dayanımı karşılaştırmaları

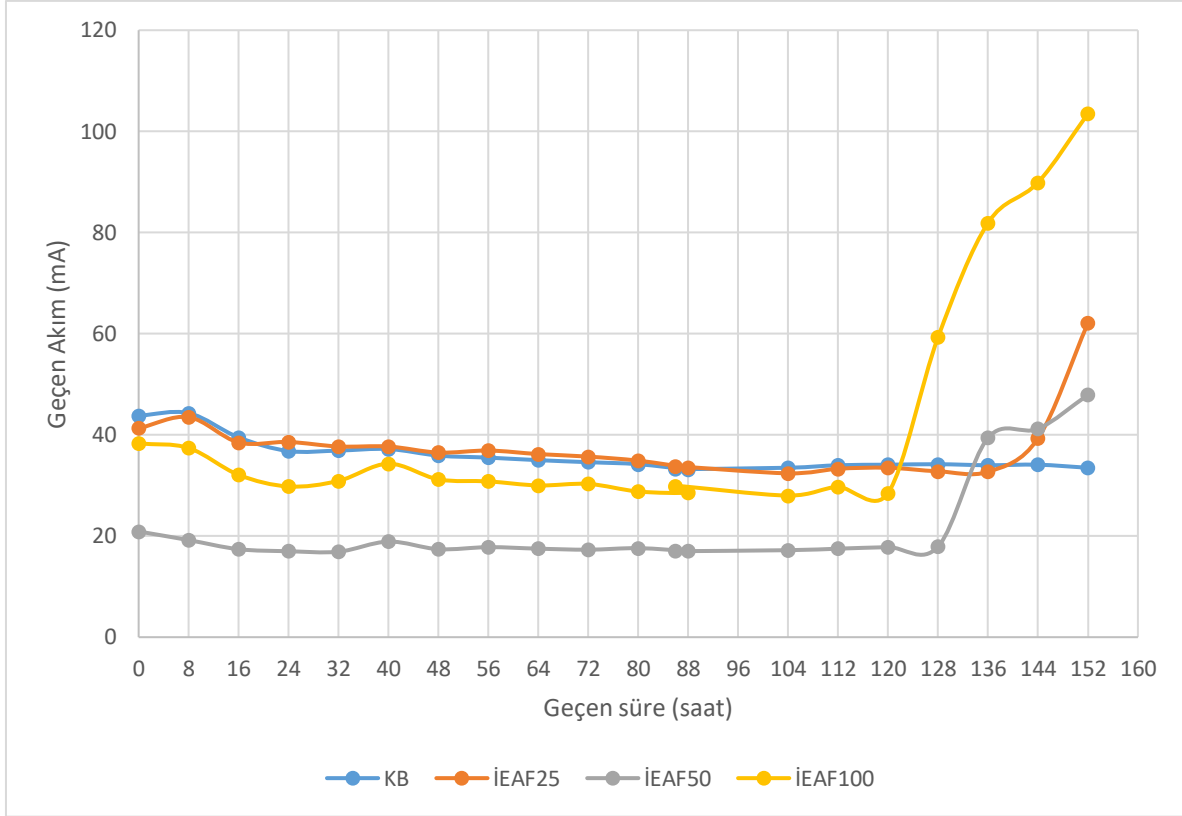
Şekil 4.22’de kontrol betonu ve toplam agrega ile hacimce %10 ve %20 oranında siyah tufalle değişimi yapılmış olan ST10 ve ST20 karışımlarının 28 günlük basınç dayanımı ile 1 ay boyunca sülfat atağına maruz kalmış basınç dayanımları verilmiştir. Tüm numunelerde 28 günlük basınç dayanımı değeri sülfat atağı sonrasındaki basınç dayanımından daha yüksektir. ST10 ve ST20 karışımlarının sülfat atağı sonrası kontrol numunesine göre sırasıyla %23,6 ve %39,8 daha fazla basınç dayanımına sahip olduğu görülmektedir.

4.6. Hızlandırılmış Korozyon Testi

Bu deneyde silindir beton numuneler derişimi %5 olan NaCl çözeltilisine yerleştirildikten sonra içlerine yerleştirilmiş donatılara 1 hafta boyunca 12 Volt sabit elektrik akımı verilerek, belirli aralıklarla donatılardan geçen akım ölçülmüştür. Resim 4.18’de hazırlanan deney düzeneği görülmektedir.

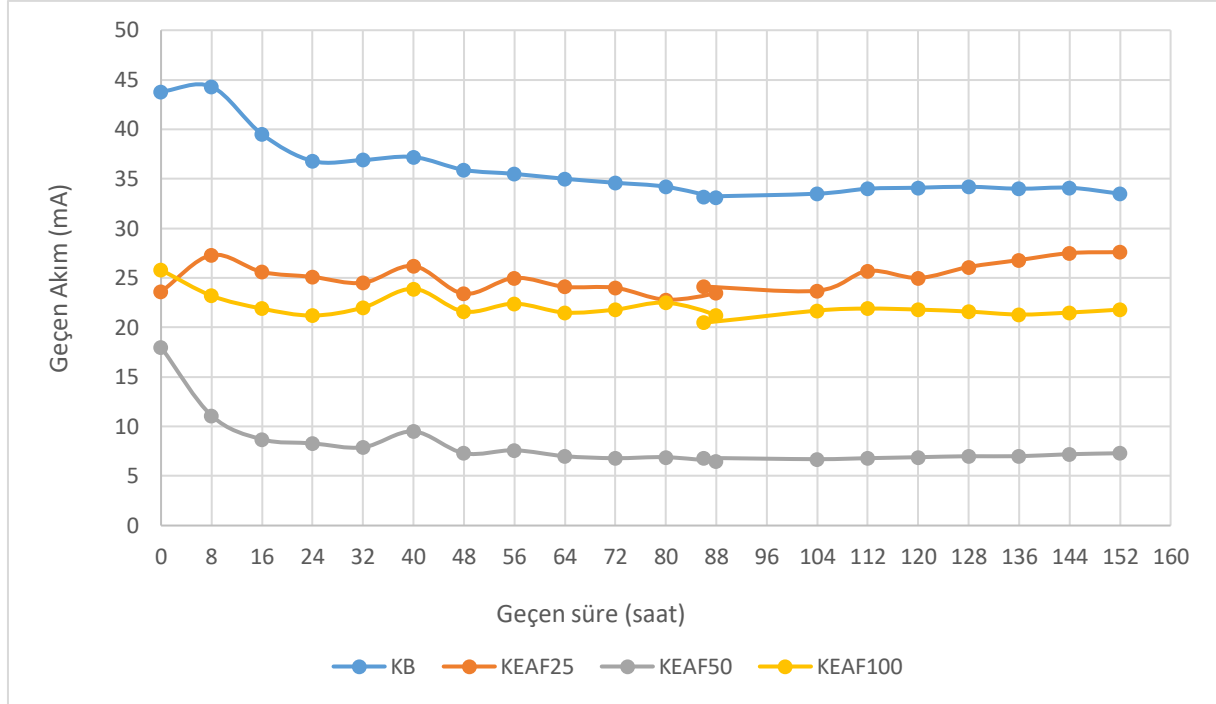


Resim 4.3. Hızlı korozyon testi düzeneği



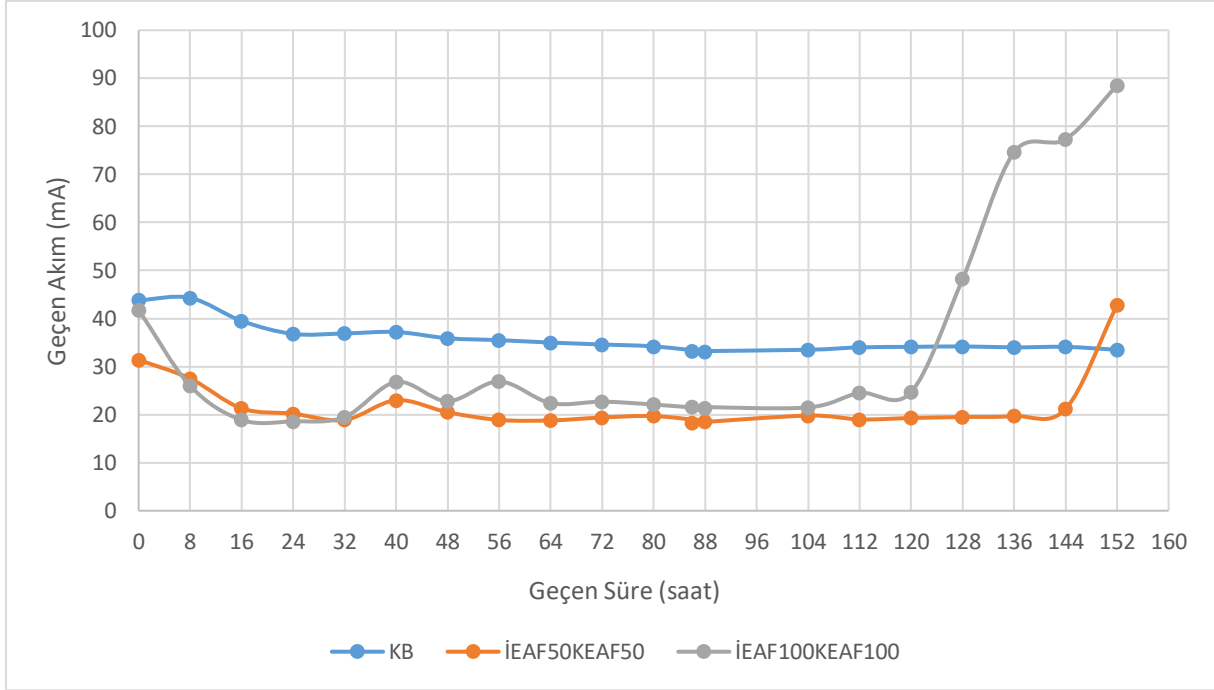
Şekil 4.23. Kontrol betonu ve İEAFc içerikli karışımların geçirdiği akım ile maruz kalma süresi arasındaki ilişki

Şekil 4.23'te sabit 12V altında farklı betonlardan zamanla geçen akım sonuçları görülmektedir. İnce elektrik ark fırın cürufu içeren betonların geçirilen akım ile korozyon deneyine maruz kalma süreleri arasındaki ilişkiler yukarıdaki şekilde gösterilmiştir. Betonlardan geçen akım 152 saat boyunca kaydedilmiştir. Yukarıdaki sonuçlar incelendiğinde ince EAF cürufu miktarının beton içerisindeki artışına bağlı olarak betondan geçen akımın da düştüğü söylenebilir. Kayıt süresince şahit numunede çatlama gözlemlenmezken 128. saatte İEAF100 betonunda, 136. saatte İEAF50 betonunda ve 152. saatte İEAF25 betonunda çatlama gözlenmiştir. Şekilde görünen akım sıçramaları betonda çatlak olduğunu göstermektedir. Çatlama ile birlikte betona sızan çözelti akım değerinde ani yükselmelere sebep olmuştur. Elektrik kuvvetiyle birlikte iletilen CI iyonları donatıya ulaşarak korozyon ürünlerinin oluşmasına neden olurlar. Betondan geçen akımın ince elektrik ark fırın cürufu kullanımı ile azalması betondaki boşlukların cüruf kullanımıyla azalmasıyla açıklanabilir. Ancak, betonlarda gözlenen cüruf miktarının artırılması ile çatlama zamanının kısılması cürufun kimyasal yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Cüruftaki demirden dolayı çözeltilerdeki CI iyonlarının kolay bir şekilde donatıya ulaştığı düşünülmektedir.



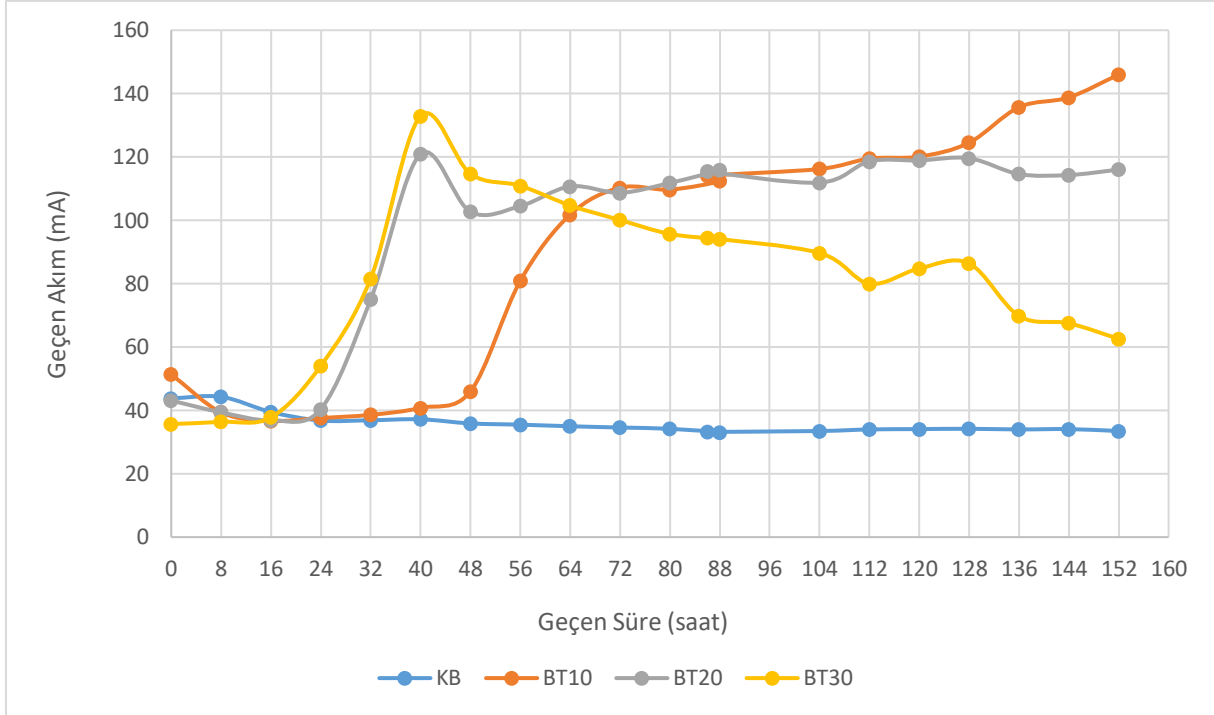
Şekil 4.24. Kontrol betonu ve KEAFC içerikli karışımların geçirdiği akım ile maruz kalma süresi arasındaki ilişki

Şekil 4.24'te sabit 12V altında farklı betonlardan zamanla geçen akım sonuçları görülmektedir. Agrega ile hacimce yer değişimi yapılmış olan kaba elektrik ark fırın cürufu içeren betonların geçirilen akım ile korozyon deneyine maruz kalma süreleri arasındaki ilişkiler yukarıdaki şekilde gösterilmiştir. Betonlardan geçen akım 152 saat boyunca kaydedilmiştir. Şekil 4.24 incelendiğinde KEAF cürufu miktarının beton içerisindeki artışına bağlı olarak betondan geçen akımın da düştüğü söylenebilir. Kayıt süresince şahit numune ve KEAF cürufu içerikli numunelerde çatlama gözlemlenmemiştir. Betondan geçen akımın kaba elektrik ark fırın cürufu kullanımı ile azalması betondaki boşlukların cüruf kullanımıyla azalmasıyla açıklanabilir. Deneylerin başlangıcında gözlemlenen yüksek akım başlangıçta agrega-çimento hamuru ara yüzeylerinde bulunan oksijenden kaynaklı olabilir. Yeterli oksijen beslemesi, başlangıçta yüksek korozyon akımı yoğunluğuna neden olabilir.



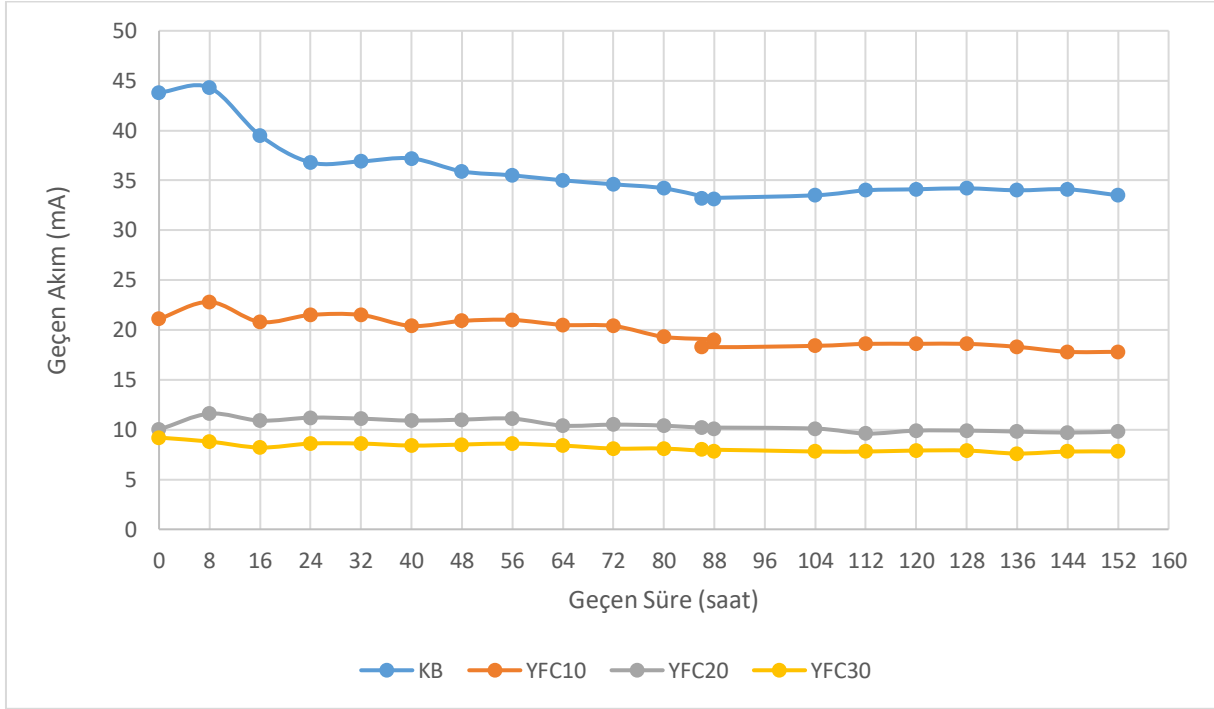
Şekil 4.25. Kontrol betonu ile İEAF ve KEAF içerikli karışımların geçirdiği akım ile maruz kalma süresi arasındaki ilişki

Şekil 4.25'te sabit 12V altında farklı betonlardan zamanla geçen akım sonuçları görülmektedir. Hem ince elektrik ark fırın cürufu hem de kaba elektrik ark fırın cürufu içeren betonların geçirilen akım ile korozyon deneyine maruz kalma süreleri arasındaki ilişkiler yukarıdaki şekilde gösterilmiştir. Betonlardan geçen akım 152 saat boyunca kaydedilmiştir. Kayıt süresince şahit numune çatlama gözlemlenmezken 128. saatte İEAF100KEAF100 betonunda, 152. saatte İEAF50KEAF50 çatlama gözlenmiştir. Şekilde görünen akım sıçramaları betonda çatlak olduğunu göstermektedir. Çatlama ile birlikte betona sızan çözelti, akım değerinde ani yükselmelere sebep olmuştur. Elektrik kuvvetiyle birlikte iletilen CI iyonları donatıya ulaşarak korozyon ürünlerinin oluşmasına neden olurlar. Betondan geçen akımın ince-kaba elektrik ark fırın cürufu kullanımı ile azalması betondaki boşlukların cüruf kullanımıyla azalmasıyla açıklanabilir. Ancak, betonlarda gözlenen cüruf miktarının artırılması ile çatlama zamanının kısalması cürufun kimyasal yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Cüruftaki demirden dolayı çözüldükteki CI iyonlarının kolay bir şekilde donatıya ulaştığı düşünülmektedir. Deneylerin başlangıcında gözlemlenen yüksek akım başlangıçta agrega-çimento hamuru ara yüzeylerinde bulunan oksijenden kaynaklı olabilir. Yeterli oksijen beslemesi, başlangıçta yüksek korozyon akımı yoğunluğuna neden olabilir.



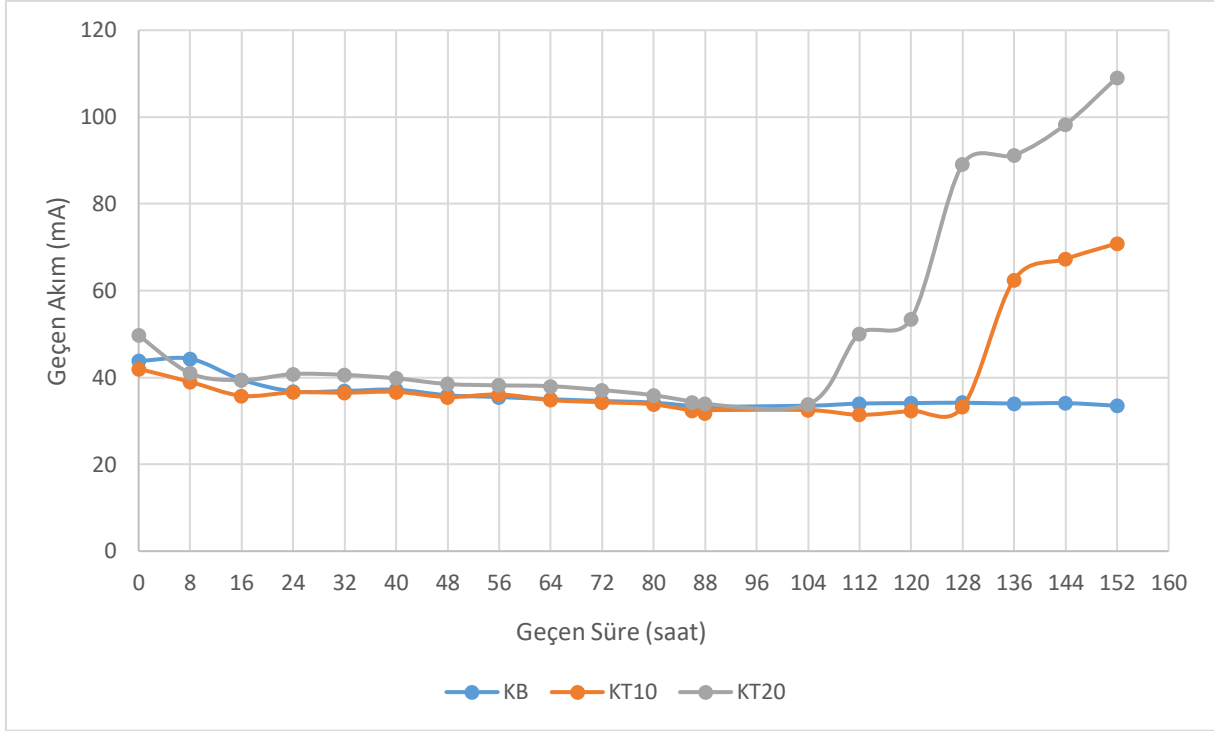
Şekil 4.26. Kontrol betonu ve BT içerikli karışımların geçirdiği akım ile maruz kalma süresi arasındaki ilişki

Şekil 4.26'da sabit 12V altında farklı betonlardan zamanla geçen akım sonuçları görülmektedir. Kontrol betonu ve çimento ile ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranında değişimi yapılmış baca tozu içerikli betonların geçirilen akım ile korozyon deneyine maruz kalma süreleri arasındaki ilişkiler yukarıdaki şekilde gösterilmiştir. Betonlardan geçen akım 152 saat boyunca kaydedilmiştir. Kayıt süresince şahit numunede çatlama gözlemlenmezken 24. saatte BT30 betonunda, 32. saatte BT20 betonunda ve 56. saatte BT10 betonunda çatlama gözlenmiştir. Şekilde görünen akım sıçramaları betonda çatlak olduğunu göstermektedir. Çatlama ile birlikte betona sızan çözelti, akım değerinde ani yükselmelere sebep olmuştur. Elektrik kuvvetiyle birlikte iletilen CI iyonları donatıya ulaşarak korozyon ürünlerinin oluşmasına neden olurlar. Betondan geçen akımın baca tozu kullanımı ile artması baca tozu içerisindeki demir oranının fazla olması ile açıklanabilir. Ancak, betonlarda gözlenen baca tozu miktarının arttırılması ile çatlama zamanının kısılması baca tozunun kimyasal yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Baca tozundaki demirden dolayı çözeltilerdeki CI iyonlarının kolay bir şekilde donatıya ulaştığı düşünülmektedir. Deneylerin başlangıcında gözlemlenen yüksek akım başlangıçta agrega-çimento hamuru ara yüzeylerinde bulunan oksijenden kaynaklı olabilir. Yeterli oksijen beslemesi, başlangıçta yüksek korozyon akımı yoğunluğuna neden olabilir.



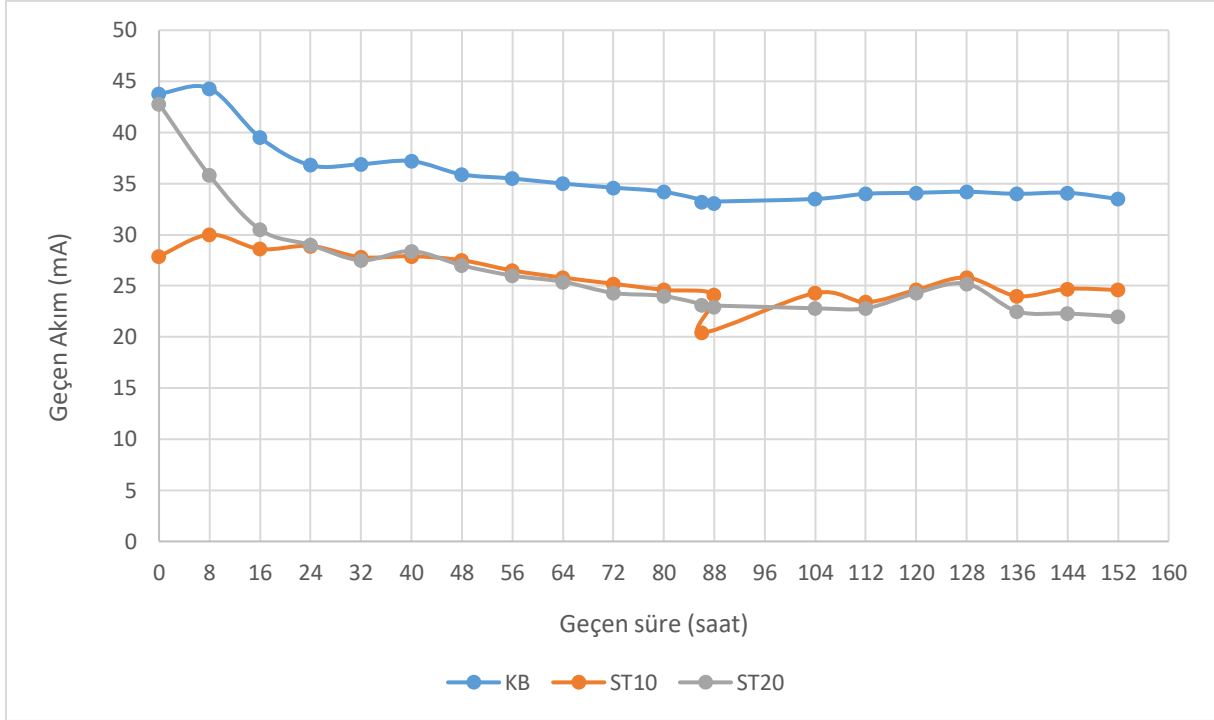
Şekil 4.27. Kontrol betonu ve YFC içerikli karışımların geçirdiği akım ile maruz kalma süresi arasındaki ilişki

Şekil 4.27’de sabit 12V altında farklı betonlardan zamanla geçen akım sonuçları görülmektedir. Kontrol betonu ve çimento ile ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranında yüksek fırın cürufu ile yer değişimi yapılmış olan YFC10, YFC20 ve YFC30 betonlarının geçirilen akım ile korozyon deneyine maruz kalma süreleri arasındaki ilişkiler yukarıdaki şekilde gösterilmiştir. Betonlardan geçen akım 152 saat boyunca kaydedilmiştir. Yukarıdaki sonuçlar incelendiğinde yüksek fırın cürufu miktarının beton içerisindeki artışına bağlı olarak betondan geçen akımın da düştüğü söylenebilir. Kayıt süresince şahit numune ve yüksek fırın cürufu içerikli numunelerde çatlama gözlemlenmemiştir. Betondan geçen akımın yüksek fırın cürufu kullanımı ile azalması betondaki boşlukların cüruf kullanımıyla azalmasıyla açıklanabilir.



Şekil 4.28. Kontrol betonu ve KT içerikli karışımların geçirdiği akım ile maruz kalma süresi arasındaki ilişki

Şekil 4.28'te sabit 12V altında farklı betonlardan zamanla geçen akım sonuçları görülmektedir. Kontrol betonu ve toplam agrega ile hacimce %10 ve %20 oranında değişimi yapılmış kırmızı tufal içerikli betonların geçirilen akım ile korozyon deneyine maruz kalma süreleri arasındaki ilişkiler yukarıdaki şekilde gösterilmiştir. Betonlardan geçen akım 152 saat boyunca kaydedilmiştir. Kayıt süresince şahit numunede çatlama gözlemlenmezken 112. saatte KT20 betonunda, 136. Saatten KT10 betonunda çatlama gözlenmiştir. Şekilde görünen akım sıçramaları betonda çatlak olduğunu göstermektedir. Çatlama ile birlikte betona sızan çözelti, akım değerinde ani yükselmelere sebep olmuştur. Elektrik kuvvetiyle birlikte iletilen CI iyonları donatıya ulaşarak korozyon ürünlerinin oluşmasına neden olurlar. Betondan geçen akımın kırmızı tufal kullanımı ile artması kırmızı tufal içerisindeki demir oranının fazla olması ile açıklanabilir. Ancak, betonlarda gözlenen kırmızı tufal miktarının artırılması ile çatlama zamanının kısalması kırmızı tufalin kimyasal yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kırmızı tufal bünyesindeki demirden dolayı çözeltideki CI iyonlarının kolay bir şekilde donatıya ulaştığı düşünülmektedir.



Şekil 4.29. Kontrol betonu ve ST içerikli karışımların geçirdiği akım ile maruz kalma süresi arasındaki ilişki

Şekil 4.29’da sabit 12V altında farklı betonlardan zamanla geçen akım sonuçları görülmektedir. Kontrol betonu ve toplam agrega ile hacimce %10 ve %20 oranında değişimi yapılmış kırmızı tufal içerikli betonların geçirilen akım ile korozyon deneyine maruz kalma süreleri arasındaki ilişkiler yukarıdaki şekilde gösterilmiştir. Betonlardan geçen akım 152 saat boyunca kaydedilmiştir. Kayıt süresince hiçbir numunede çatlama gözlemlenmemiştir. Betondan geçen akımsiyah tufal kullanımı ile azalmıştır. Betonlarda gözlenen siyah tufal miktarının arttırılması ile geçen akımın azalması siyah tufalin kimyasal yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Laboratuvarlarında gerçekleştirilen deneysel çalışmada İskenderun'da faaliyet gösteren demir-çelik fabrikalarında üretim esnasında ortaya çıkan atıkların betonun dayanım ve dayanıklılığına etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu çalışmada belirlenen farklı oranlarda agrega yerine ince ve kaba EAF Cürufu, Kırmızı Tufal, Siyah Tufal, çimento yerine ise Baca Tozu ve Yüksek Fırın Cürufu kullanılarak farklı karışımlar hazırlanmıştır. Hazırlanan betonların 7-28 günlük basınç deneyi, ultrasonik ses geçiş hızı deneyi, yüksek sıcaklığa maruz kalma sonrası basınç deneyi, asit ve sülfat atağı sonrası basınç deneyi ve hızlı korozyon testi yapılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar ve kullanılan malzemelerin betonda kullanımı ile ilgili öneriler aşağıda verilmiştir.

- Basınç dayanımı sonuçlarına göre EAFC içeren betonlar 7. ve 28. günlerde kontrol betonuna göre daha yüksek basınç dayanımı geliştirmişlerdir. EAFC'nun kırma taş agrega yerine kullanılması ile basınç dayanımındaki artışın EAFC'nun pürüzlü ve girintili-çukuntulu yüzey dokusunun çimento hamuru ile daha iyi aderans göstermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca EAFC'nun yoğunluğu ve demir içeriğinin kırma taş agregaya göre oldukça yüksek olması beton matrisini güçlendirmiştir.
- Çimento yerine ağırlıkça %10 ve %20 BT'nun yer değiştirildiği karışımlar 28. günde kontrol betonuna göre daha yüksek basınç dayanımı geliştirmiştir. %30 BT içeren karışım ise 28. günde kontrol betonu ile kıyaslanabilir bir basınç dayanımı değerine sahiptir. Bu sonuçlar çalışmada kullanılan baca tozunun puzolanik özelliğe sahip olabileceğini göstermektedir.
- %10, %20 ve %30 YFC içeren YFC10, YFC20, YFC30 karışımları kontrol betonuna göre her iki deney yaşında da yüksek basınç dayanımı değerine sahiptirler.
- Tufal içeren betonlar 7. ve 28. günlerde kontrol betonuna göre daha yüksek basınç dayanımı geliştirmişlerdir. Doğal kırmataş agregaya göre daha ince olan Tufal karışımın doluluk oranını yükseltmiş ve aynı zamanda tufallerin pürüzlü yüzeyleri aderansı arttırmıştır.
- Yüksek sıcaklığa maruz numunelerin basınç deneyi sonuçları incelendiğinde genel olarak oda sıcaklığında elde edilen basınç dayanımı sonuçları ile uyumlu olduğu

görülmektedir. Çalışmada çimento veya agrega yerine kullanılan malzemelerin betonun yüksek sıcaklığa karşı dayanımını geliştirme potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. Maruz kalınan tüm sıcaklarda BT30 betonu hariç diğer katkılı tüm betonların basınç dayanımının kontrol betonundan yüksek olduğu görülmektedir.

- Ultrasonik test hızı sonuçları genel olarak basınç dayanımı sonuçları ile uyumludur. 28. gün ultrases sonuçlarına göre YFC ve Tufal içeren numuneler ile İEAF ve KEAF'nin beraber kullanıldığı numuneler yüksek ultrases geçiş hızı değerine sahiptir. Ayrıca çalışmada üretilen tüm karışımlar 7. ve 28. günlerde ve her üç sıcaklıkta kontrol numunesinden daha yüksek ultrases değerine sahiptir. Whitehurst (1951)'in verdiği tabloya göre YFC içeren betonlar 7 günde iyi, 28 günde çok iyi olarak nitelendirilmektedir. Benzer şekilde İEAF100KEAF100 karışımı ile ST20 karışımı da ultra ses hızına göre 7. günde iyi, 28. günde çok iyi kaliteye sahiptir.
- Asit atağına maruz kalan numunelerin deney sonuçları incelendiğinde çalışmada kullanılan atık malzemelerin betonun asit atağına karşı dayanımını geliştirme potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. Asit atağına maruz kalan betonlarda BT30 betonu hariç diğer katkılı tüm betonların basınç dayanımının kontrol betonundan yüksek olduğu görülmektedir. 28 günlük ve asit atağı sonrası basınç dayanım kayıpları incelendiğinde İEAF25, BT10, BT20 karışımlarının dayanım kaybının kontrol betonunun dayanım kaybından daha düşük olduğu görülmektedir.
- Derişimi %5 olan Na₂SO₄ (sodyum sülfat) çözeltisi içerisinde 30 gün boyunca sülfat atağına maruz bırakılan numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde, çalışmada çimento veya agrega yerine kullanılan malzemelerin betonun sülfat atağına karşı dayanımını geliştirme potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. Sülfat atağına maruz kalan betonlarda BT30 betonu hariç diğer katkılı tüm betonların basınç dayanımının kontrol betonundan yüksek olduğu görülmektedir. 28 günlük ve sülfat atağı sonrası basınç dayanım kayıpları incelendiğinde İEAF25, KEAF25, BT10, BT20 karışımlarına ait numunelerin dayanım kaybının kontrol betonunun dayanım kaybından daha düşük olduğu görülmektedir.
- Betonlar hızlı korozyon testine tabi tutulmuştur. Sabit 12V akım altında numune içerisindeki donatıların geçirdikleri akım 152 saat boyunca kaydedilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde ise ince ve kaba EAF miktarının beton içerisindeki artışına bağlı olarak betondan geçen akımın düştüğü görülmektedir. Betondan geçen akımın ince-kaba elektrik ark fırın cürufu kullanımı ile azalması

betondakiboşlukların cüruf kullanımıyla azalmasıyla açıklanabilir. Ancak, betonlarda gözlenen cüruf miktarının artırılması ile çatlama zamanının kısalması cürufun kimyasal yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Baca Tozu içeren karışımlar incelendiğinde ise betondan geçen akımın baca tozu kullanımı ile artması baca tozu içerisindeki demir oranının fazla olması ile açıklanabilir. Ancak, betonlarda gözlenen baca tozu miktarının artırılması ile çatlama zamanının kısalması baca tozunun kimyasal yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yüksek fırın cürufu içerikli numunelerde çatlama gözlemlenmemiştir. Betondan geçen akımın yüksek fırın cürufu kullanımı ile azaldığı görülmüştür. Kırmızı Tufal ve Siyah Tufal içeren karışımlar incelendiğinde ise yine betondan geçen akımın kırmızı ve siyah tufal kullanımı ile artması tufallerin içerisindeki demir oranının fazla olması ile açıklanabilir. Ancak, betonlarda gözlenen tufal miktarının artırılması ile çatlama zamanının kısalması tufalin kimyasal yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tüm test sonuçları birlikte değerlendirildiğinde;

- EAFC'nin beton agregası olarak kullanılmasını uygun olduğu düşünülmektedir. Böylece daha çevreci, yeşil, ekonomik betonların üretilebilecektir.
- Beton teknolojisinde fazla kullanım alanı bulmayan Baca Tozunun betonda mineral katkı olarak kullanılabileceği düşünülmektedir. Bu amaçla sadece BT'nun kullanıldığı kapsamlı çalışmalar planlanarak BT ile ilgili ayrıntılı mikro yapı, minerolojik ve kimyasal analizlerin yapılması Baca Tozunu betonda mineral katkı olarak kullanılabilirliği ve optimum dozajın ne olabileceği konularında daha net bilgiye ulaşılmasını sağlayacaktır.
- Yine beton teknolojisinde fazla kullanımimkanı bulamayan Tufalin yer aldığı kapsamlı çalışmalar planlanabilir.

KAYNAKLAR

- ARICI, E., & KELEŞTEMUR, O. (2018). Tufal katkılı harçların basınç dayanımının taguchi metodu ile analizi. *Fırat üniversitesi mühendislik bilimleri dergisi*, 30(3), 145-151.
- Arsoy, A. (2018). Elektrik ark ocağı çürüme fonksiyonları ile aktivasyon üretilen betonların özelliklerinin incelenmesi (Master's thesis, İskenderun Teknik Üniversitesi/Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü/İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı).
- Atiş, C. D., Karahan, O., Bilim, C., Özcan, F., & Sevim, U. K. (2016). Sodyum sülfat ile aktifleştirilen uçucu kül katkılı harçların özellikleri.
- Baradan B., Yazıcı H., Ün H., (2010), Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite) (İstanbul: Türkiye Hazır Beton Birliği)
- Chindaprasirt, P., & Rukzon, S. (2008). Strength, porosity and corrosion resistance of ternary blend Portland cement, rice husk ash and fly ash mortar. *Construction and Building Materials*, 22(8), 1601-1606.
- Chindaprasirt, P., Chotetanorm, C., & Rukzon, S. (2011). Use of palm oil fuel ash to improve chloride and corrosion resistance of high-strength and high-workability concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23(4), 499-503.
- Chindaprasirt, P., Jaturapitakkul, C., & Rattanasak, U. (2009). Influence of fineness of rice husk ash and additives on the properties of lightweight aggregate. *Fuel*, 88(1), 158-162.
- Chindaprasirt, P., Kanchanda, P., Sathonsaowaphak, A., & Cao, H. T. (2007). Sulfate resistance of blended cements containing fly ash and rice husk ash. *Construction and Building Materials*, 21(6), 1356-1361.
- Chindaprasirt, P., Rukzon, S., & Sirivivatnanon, V. (2008). Resistance to chloride penetration of blended Portland cement mortar containing palm oil fuel ash, rice husk ash and fly ash. *Construction and Building Materials*, 22(5), 932-938.
- Demircilioğlu, E., & Teomete, E. Nano Boyutta Tufalin Betonun Elektriksel Direnç-Birim Şekil Değiştirme İlişkisine Etkisi.
- Ha, T. H., Muralidharan, S., Bae, J. H., Ha, Y. C., Lee, H. G., Park, K. W., & Kim, D. K. (2007). Accelerated short-term techniques to evaluate the corrosion performance of steel in fly ash blended concrete. *Building and Environment*, 42(1), 78-85.
- İnternet: insapedia, URL: <http://insapedia.com>, Son erişim tarihi: 16.12.2020
- İnternet: mmo.org, URL: <https://mmo.org.tr>, Son erişim tarihi: 18.12.2020

- Katz, A. (2003). Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete. *Cement and Concrete Research*, 33(5), 703-711.
- Li, G., & Zhao, X. (2003). Properties of concrete incorporating fly ash and ground granulated blast-furnace slag. *Cement and Concrete Composites*, 25(3), 293-299.
- Muhmood, L., Vitta, S., & Venkateswaran, D. (2009). Cementitious and pozzolanic behavior of electric arc furnace steel slags. *Cement and Concrete Research*, 39(2), 102-109.
- Ogirigbo, O. R., & Black, L. (2016). Influence of slag composition and temperature on the hydration and microstructure of slag blended cements. *Construction and Building Materials*, 126, 496-507.
- Olivia, M., & Nikraz, H. (2010). Corrosion performance of embedded steel in fly ash geopolymer concrete by impressed voltage method. In *Proceedings of the 21st Australian Conference on the Mechanics of Structures and Materials* (pp. 781-786). CRC Press/Baklema.
- Ozbay, E., Lachemi, M., & Sevim, U. K. (2011). Compressive strength, abrasion resistance and energy absorption capacity of rubberized concretes with and without slag. *Materials and Structures*, 44(7), 1297-1307.
- Ozturk, M., Depci, T., Bahceci, E., Karaaslan, M., Akgol, O., & Sevim, U. K. (2020). Production of new electromagnetic wave shielder mortar using waste mill scales. *Construction and Building Materials*, 242, 118028.
- Pasetto, M., & Baldo, N. (2011). Mix design and performance analysis of asphalt concretes with electric arc furnace slag. *Construction and Building Materials*, 25(8), 3458-3468.
- Poon, C. S., Shui, Z. H., Lam, L., Fok, H., & Kou, S. C. (2004). Influence of moisture states of natural and recycled aggregates on the slump and compressive strength of concrete. *Cement and Concrete Research*, 34(1), 31-36.
- Rattanachu, P., Toolkasikorn, P., Tangchirapat, W., Chindaprasirt, P., & Jaturapitakkul, C. (2020). Performance of recycled aggregate concrete with rice husk ash as cement binder. *Cement and Concrete Composites*, 108, 103533.
- Sandal, E. K. (2013). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Öğrencilerinin Profili, Beklentileri ve Sorunlarının Değerlendirilmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 10(2), 129-155.



DİZİN**A**

Agrega · 10
akım · 30
Asit · 44

B

baca tozu · 15
Baca Tozu · 20
basınç · 33

C

cüruf · 11
Cüruf · 37

Ç

çelik · 11
çimento · 10

D

dayanım · 10

E

ekonomik · 17
elektrik ark fırın · 15

G

geri dönüşüm · 1

K

Kontrol betonu · 35
korozyon · 30

P

puzolanik · 54

S

Sülfat · 44
sürdürülebilirlik · 11

T

tufal · *Bakın*
Tufal · 39

Y

yan ürün · 1
YFC · 15
yüksek sıcaklık · 24



TEKNOVERSİTE





teknoversite

İSTE

