T.C
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SİLİS DUMANLI-UÇUCU KÜL İÇEREN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇ KARIŞIMLARININ BASINÇLI SU GEÇİRGENLİĞİ VE İYON SALINIMININ İNCELENMESİ

Nuray ÇEKİLMEZ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2018

Prof. Dr. Paki TURĞUT danışmanlığında, Nuray ÇEKİLMEZ'in hazırladığı **"Silis Dumanlı-Uçucu Kül İçeren Kendiliğinden Yerleşen Harç Karışımlarının Basınçlı Su Geçirgenliği ve İyon Salınımlarının İncelenmesi"** konulu bu çalışma 28/02/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman: Prof. Dr. Paki TURĞUT ……..

Üye: Prof. Dr. M. Arif GÜREL ..……..

Üye: Doç. Dr. Kazım TÜRK ……

Bu Tezin İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Prof. Dr. H. Murat ALĞIN
Enstitü Müdürü

Bu çalışma HÜBAK Tarıfından Desteklenmiştir.
Proje No : 16197

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

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ v
SİMGELER DİZİNİ vi
1. GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 5
2.1. Basınçlı Su Geçirgenliği 5
2.2. İyon Salınımı 6
3. MATERYAL ve YÖNTEM 12
3.1. Numunelerin Hazırlanması 12
3.2. Basınçlı Su Geçirgenliği Testi 14
3.3. İyon Salınımı Testleri 16
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 18
4.1. Basınçlı Su Geçirgenliği Test Sonuçları 18
4.2. İyon Salınımı Test Sonuçları 20
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 55
KAYNAKLAR 56
ÖZGEÇMİŞ 59

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SİLİS DUMANLI-UÇUCU KÜL İÇEREN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇ KARIŞIMLARININ BASINÇLI SU GEÇİRGENLİĞİ VE İYON SALINIMININ İNCELENMESİ

Nuray ÇEKİLMEZ

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Paki TURĞUT
Yıl: 2018, Sayfa: 59

Su depoları, baraj yapıları ve bazı sanayi tesislerinde kullanılan betonun, dayanıklılık bakımından basınçlı su geçirgenliği ve iyon salınımı büyük öneme sahiptir. Bu tez çalışmasında, Portland çimentosu, silis dumanı ve uçucu kül içeren ikili ve üçlü kendiliğinden yerleşen harçların basınçlı su geçirgenliği ve iyon salınımları incelenmiştir. Bu numunelerin basınçlı su işleme derinliklerinin yanında asidik, nötr ve bazik ortamlardaki Ca^{+2}, Si^{+4}, Al^{+2}, Fe^{+3} ve Mg^{+2} iyonlarının salınım değerleri bulunmuştur. İkili karışımlardan % 10 silis dumanı ve üçlü karışımlarda da % 10 silis dumanı ile % 35 uçucu kül karışımlarında basınçlı su işleme derinliği azalmıştır. Asidik ortamda ikili karışım olan % 20 silis dumanlı numunede Ca^{+2} iyonu salınımı azalırken, nötr ve bazik ortamda da ise % 30 uçucu küllü numuneninki azalmıştır. İkili uçucu küllü numunelerde Si^{+4} iyon salınımları, diğer ikili ve üçlü karışımlara kıyasla azalmıştır. Asidik, nötr ve bazik ortamlarda, tüm numunelerin Al^{+2}, Fe^{+3} ve Mg^{+2} iyon salınımları önemsenmeyecek düzeyde olmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: KYH, Uçucu Kül, Silis Dumanı, Basınçlı Su İşleme, İyon Salınımı

ABSTRACT

MSc Thesis

THE INVESTIGATION OF THE WATER PENETRATION AND LEACHING OF SELF CONSOLIDATED MORTARS CONTAINING SILICA FUME AND FLY ASH

Nuray ÇEKİLMEZ

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Paki TURGUT
Year: 2018, Page: 59

Water permeability under pressure and leaching of ions in concretes used in water tanks, dam structures and some industry buildings have great importance with respect to durability. In this thesis work, water permeability under pressure and leaching of ions were investigated in binary and ternary self-compacting mortars with Portland cement, silica fume and fly ash. Leaching values of Ca^{+2}, Si^{+4}, Al^{+2}, Fe^{+3} ve Mg^{+2}ions in acid, neutral and alkali environments as well as water penetration depths were determined in these samples. The water penetration depths were decreased in binary sample with 10% silica fume and ternary sample with 10% silica fume-35% fly ash. While leaching of Ca^{+2} ion in sample with 20% silica fume was decreasing in acidic environment, the leaching of Ca^{+2} ion in the sample with 30% fly ash in neutral and alkali environments. The leaching of Si^{+4} ions in the binary and ternary samples with fly ash was decreased as compared with those of the other binary and ternary samples. The leaching of Al^{+2}, Fe^{+3} ve Mg^{+2} ions in all samples was negligible levels.

KEY WORDS: SCM, Fly Ash, Silica Fume, Water Penetration Depth, Ion Leaching

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda, her anlamda beni yönlendiren, tezin konusunun seçiminde, uygulamasında ve çalışmamda yardımlarını esirgemeyen danışmanım sayın Prof. Dr. Paki TURĞUT'a ve bu çalışmada kullanılan numuneleri hazırlayan sayın Doç. Dr. Kazım TÜRK'e teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Deneylerin yapıldığı ŞUSKİ Arıtma Tesisleri Dairesi Başkanlığı Laboratuvar Şube Müdürlüğü'ne de teşekkürlerimi sunarım.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Basınçlı su geçirgenlik test düzeneği…….15
Şekil 3.2. Numunelere basınçlı su iletme kafaları……..15
Şekil 3.3. Basınçlı su geçirgenlik test aşamaları……....15
Şekil 3.4. İyon salınım testleri için numunelerin hazırlanması……..16
Şekil 3.5. Çözeltilerin pH ayarlaması yapılması……16
Şekil 3.6. Deney tüplerine alınan numuneler……17
Şekil 3.7. 24 saat sonra işlemin tekrarlanması……...17
Şekil 4.1. Kontrol, uçucu kül ve silis dumanlı numunelerin basınçlı su geçirimliliği…….....20
Şekil 4.2. Kontrol ve uçucu kül-silis dumanı kombinezonu numunelerin basınçlı su geçirimliliği…..20
Şekil 4.3. Kontrol, SF5, SF10, SF15 ve SF20 numunelerinde Ca^{+2} iyonu salınımı……24
Şekil 4.4. Kontrol, SF5, SF10, SF15 ve SF20 numunelerinde Si^{+4} iyonu salınımı……....25
Şekil 4.5. Kontrol, FA25, FA30 ve FA35 numunelerinde Ca^{+2} iyonu salınımı…….29
Şekil 4.6. Kontrol, FA25, FA30 ve FA35 numunelerinde Si^{+4} iyonu salınımı……...30
Şekil 4.7. Kontrol, SF5, SF5FA25, SF5FA30 ve SF5FA35 numunelerinde Ca^{+2} iyonu salınımı……..34
Şekil 4.8. Kontrol, SF5,SF5FA25, SF5FA30 ve SF5FA35 numunelerinde Si^{+4} iyonu salınımı……....35
Şekil 4.9. Kontrol, SF10,SF10FA25, SF10FA30 ve SF10FA35 numunelerinde Ca^{+2} iyonu salınımı...39
Şekil 4.10. Kontrol, SF10,SF10FA25, SF10FA30 ve SF10FA35 numunelerinde Si^{+4} iyonu salınımı..40
Şekil 4.11. Kontrol, SF15,SF15FA25, SF15FA30 ve SF15FA35 numunelerinde Ca^{+2} iyonu salınımı.44
Şekil 4.12. Kontrol, SF15,SF15FA25, SF15FA30 ve SF15FA35 numunelerinde Si^{+4} iyonu salınımı..45
Şekil 4.13. Kontrol, SF20,SF20FA25, SF20FA30 ve SF20FA35 numunelerinde Ca^{+2} iyonu salınımı.49
Şekil 4.14. Kontrol, SF20,SF20FA25, SF20FA30 ve SF20FA35 numunelerinde Si^{+4} iyonu salınımı.50
Şekil 4.15. Tüm numunelerdeki Ca^{+2} iyonları salınımı miktarları…….54
Şekil 4.16. Tüm numunelerdeki Si^{+4} iyonları salınımı miktarları……..54

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri……...12
Çizelge 3.2. Numunelerdeki malzemelerin karışım miktarları…….....13
Çizelge 4.1. Kontrol, SF5, SF10, SF15 ve SF20'nin Al^{+2} iyon salınımı (mg/L)…….....26
Çizelge 4.2. Kontrol, SF5, SF10, SF15 ve SF20'nin Fe^{+3} iyon salınımı (mg/L)……...27
Çizelge 4.3. Kontrol, SF5, SF10, SF15 ve SF20'nin Mg^{+2} iyon salınımı (mg/L)…….....28
Çizelge 4.4. Kontrol, FA25, FA30'un Al^{+2} iyon salınımı (mg/L)…….....31
Çizelge 4.5. Kontrol, FA25, FA30'un Fe^{+3} iyon salınımı (mg/L)…….....32
Çizelge 4.6. Kontrol, FA25, FA30'un Mg^{+2} iyon salınımı (mg/L)…….....33
Çizelge 4.7. Kontrol, SF5, SF5FA25, SF5FA30 ve SF5FA35'in Al^{+2} iyon salınımı (mg/L)……...36
Çizelge 4.8. Kontrol, SF5, SF5FA25, SF5FA30 ve SF5FA35'in Fe^{+3} iyon salınımı (mg/L)……...37
Çizelge 4.9. Kontrol, SF5, SF5FA25, SF5FA30 ve SF5FA35'in Mg^{+2} iyon salınımı (mg/L)….....38
Çizelge 4.10. Kontrol, SF10, SF10FA25, SF10FA30 ve SF10FA35'in Al^{+2} iyon salınımı (mg/L)….41
Çizelge 4.11. Kontrol, SF10, SF10FA25, SF10FA30 ve SF10FA35'in Fe^{+3} iyon salınımı (mg/L)….42
Çizelge 4.12. Kontrol, SF10, SF10FA25, SF10FA30 ve SF10FA35'in Mg^{+2} iyon salınımı (mg/L)…43
Çizelge 4.13. Kontrol, SF15, SF15FA25, SF15FA30 ve SF15FA35'in Al^{+2} iyon salınımı (mg/L)….46
Çizelge 4.14. Kontrol, SF15, SF15FA25, SF15FA30 ve SF15FA35'in Fe^{+3} iyon salınımı (mg/L)….47
Çizelge 4.15. Kontrol, SF15, SF15FA25, SF15FA30 ve SF15FA35'in Mg^{+2} iyon salınımı (mg/L)...48
Çizelge 4.16. Kontrol, SF20, SF20FA25, SF20FA30 ve SF20FA35'in Al^{+2} iyon salınımı (mg/L)….51
Çizelge 4.17. Kontrol, SF20, SF20FA25, SF20FA30 ve SF20FA35'in Fe^{+3} iyon salınımı (mg/L)….52
Çizelge 4.18. Kontrol, SF20, SF20FA25, SF20FA30 ve SF20FA35'in Mg^{+2} iyon salınımı (mg/L)....53

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

CH	Kalsiyum - Hidroksit
C-S-H	Kalsiyum – Silikat - Hidrat
C-A-S-H	Etrenjit
EFNARC	European Federation of National Associations Representing for Concrete
HRWR	High-Range Water Reducers
PC	Portland Çimentosu
FA	Uçucu Kül
SF	Silis Dumanı
TS EN	Türk Standartları Europe Norm
FA25	Ağırlıkça %25 Uçucu Kül İçeren Numune
FA30	Ağırlıkça %30 Uçucu Kül İçeren Numune
FA35	Ağırlıkça %35 Uçucu Kül İçeren Numune
SF5	Ağırlıkça %5 Silis Dumanı İçeren Numune
SF10	Ağırlıkça %10 Silis Dumanı İçeren Numune
SF15	Ağırlıkça %15 Silis Dumanı İçeren Numune
SF20	Ağırlıkça %20 Silis Dumanı İçeren Numune
SF5FA25	Ağırlıkça %5 Silis Dumanı %25 Uçucu Kül İçeren Numune
SF5FA30	Ağırlıkça %5 Silis Dumanı %30 Uçucu Kül İçeren Numune
SF5FA35	Ağırlıkça %5 Silis Dumanı %35 Uçucu Kül İçeren Numune
SF10FA25	Ağırlıkça %10 Silis Dumanı %25 Uçucu Kül İçeren Numune
SF10FA30	Ağırlıkça %10 Silis Dumanı %30 Uçucu Kül İçeren Numune
SF10FA35	Ağırlıkça %10 Silis Dumanı %35 Uçucu Kül İçeren Numune
SF15FA25	Ağırlıkça %15 Silis Dumanı %25 Uçucu Kül İçeren Numune
SF15FA30	Ağırlıkça %15 Silis Dumanı %30 Uçucu Kül İçeren Numune
SF15FA35	Ağırlıkça %15 Silis Dumanı %35 Uçucu Kül İçeren Numune
SF20FA25	Ağırlıkça %20 Silis Dumanı %25 Uçucu Kül İçeren Numune
SF20FA30	Ağırlıkça %20 Silis Dumanı %30 Uçucu Kül İçeren Numune
SF20FA35	Ağırlıkça %5 Silis Dumanı %25 Uçucu Kül İçeren Numune

1. GİRİŞ

Bir yapının dayanıklılığı, o yapının hizmet ömrüyle aynı anlama gelmekte ve çevresel faktörlerden etkilenmektedir. Yapının herhangi bir çevre koşulundaki dayanıklılığı, başka bir çevre koşulundaki dayanıklılığını ifade etmemektedir. Bağlayıcı olarak Portland çimentosu kullanılmış betonun dayanıklılığı, betonun ufalanmaya, kimyasal saldırıya, aşınmaya ve diğer bozulma etkilerine karşı direnci olarak tanımlanmaktadır (Hill ve ark., 2008). Bir başka deyişle, bulunduğu zararlı çevrenin etkilerine maruz kaldığında, gerçek yapısını ve kalitesini hizmet süresince kaybetmeyen beton olarak isimlendirilmektedir. Gerçekte malzemelerin hiçbiri kalıtsal olarak dayanıklı olmamaktadır. Çevreyle etkileşimlerin bir sonucu olarak, mikro-yapı ve bazı özellikler zamanla değişmektedir. Kullanım koşulları önceden belirlenerek tasarlanmış bir malzemenin tahrip olması, güvensizlik veya masraf gibi sorunlar oluşturuyorsa, o malzemenin hizmet ömrünü tamamladığı kabul edilmektedir (Mehta ve Monteiro, 1993). Bu nedenle, yapı malzemelerinin mekanik özellikleri ve maliyetlerinin yanında, dayanıklılığı da mutlaka dikkate alınmalıdır. Malzemede meydana gelen hasarlardan dolayı, yapıların onarımı ve buna bağlı olarak onarım maliyetleri toplam yapı maliyetini etkilemektedir. Geçmiş yıllarda, gelişmiş ülkelerdeki yapı imalatlarına harcanan paranın % 40'ı bakım ve onarıma, % 60'ı ise yeni yapım işlerine harcanmıştır. Malzemelerin dayanıklılığı ile doğal kaynakların korunması arasında direkt bir ilişki de bulunmaktadır. Deniz yapılarında çelik kullanılmasının bazı sakıncalarından dolayı, kötü çevre koşullarına maruz yapılarda beton kullanılması son yıllarda artmaktadır.

Yaşam için zorunlu olan su, aynı zamanda birçok doğal malzemenin bozulmasında da önemli rol oynamaktadır. Betonun dayanıklılığında da birçok problemler ortaya çıkarmaktadır. Boşluklu katılara etki eden su, hem fiziksel hem de kimyasal bozulmanın birçok aşamasında yer almaktadır. Boşluklu katılar içerisinde suyun dolaşımıyla oluşan fiziko-kimyasal olaylar, katılarda suyun geçirgenliğinin artmasıyla ortaya çıkmaktadır. Betondaki kimyasal bozulma, kimyasal etkiye maruz kalan betonun ya yüzeyiyle sınırlı kalır ya da betonun içerisinde meydana.

gelmektedir. Oluşan tahribatın hızı, betonun bileşenlerinin özellikleri yanında su içerisindeki iyonların yoğunluğuna ve tipine de bağlı kalmaktadır. Doğal kayaçların aksine, Portland çimentosu hidratasyon ürünleri kalsiyum bileşiği içerdiğinden, beton alkali bir malzemedir. Dolayısıyla, asidik sular beton için zararlıdır. Betonda hasara sebep olan fiziko-kimyasal olaylarla ilgili bilginin çoğunluğu, mevcut yapıların sahadaki durum incelemelerinden elde edilmektedir. Söz konusu hasar durumlarının laboratuvar ortamında, gerçek yaşamdakine benzer olarak uzun süreli taklit edilmesi oldukça zordur. Ancak, laboratuvar ortamında dayanıklılık testlerinin yapılması da yine faydalı bilgiler vermektedir.

Yeryüzünde bulunan en bol sular, deniz, yeraltı, nehir, göl, buz ve buhar sularıdır. Su moleküllerinin boyutları çok küçük olduğundan, küçük boşluklara ve çatlaklara kolayca girebilmektedir. Suyun çözme özelliği diğer sıvılardan oldukça yüksektir. Bazı durumlarda, suyun içerisinde birçok iyonlar ve gazlar bulunduğundan, katı malzemelerin kimyasal çözünmesine neden olmaktadır. Mehta ve Gerwick (1982), betondaki kimyasal bozulmayı üç gruba ayırmıştır; Birincisi, çimento hamuru bileşenlerinin yumuşak suyla hidrolizidir. İkincisi, zararlı kimyasal sıvılar ile çimento hamuru arasında katyon değişimidir. Sonuncusu ise, betonda genleşme ürünleri oluşturan yani sülfat saldırısı, alkali-agrega reaksiyonu ve donatının paslanmasıdır. Fiziksel veya kimyasal tahribatlardan herhangi birinin başlaması, diğerinin işini kolaylaştırmaktadır. Örneğin, betonun yüzeyine yakın kısmının fiziksel olarak hasar görmesi, eğer söz konusu beton kimyasal olarak zararlı bir ortamdaysa kimyasal tahribatı hızlandırmaktadır. Kimyasal etkinin bozucu etkisi de, fiziksel olarak karşımıza çıkmaktadır. Örneğin, sertleşmiş çimento hamurundaki bileşenlerin yumuşak suyla ya da asidik sıvılarla salınımı, betonun içindeki boşluk miktarını artırmaktadır. Böylece, beton aşınma etkilerine karşı dayanıksız olmaktadır.

Betondaki kimyasal etki, çevredeki zararlı kimyasallar ile çimento hamurunun bileşenlerinin arasındaki kimyasal etkileşimlerden kaynaklanmaktadır. İyi hidrate olmuş Portland çimentosu hamurunda, çözünmez durumda olan kalsiyum hidratlar (C-S-H, CH ve C-A-S-H) ile pH'ı yüksek olan boşluk sıvısı sabit denge konumundadır. Sertleşmiş Portland çimentosunun pH değeri, Na^+, K^+ ve OH^- değerlerine bağlı olarak,

12.5 ile 13.5 arasında değişmektedir. Asidik bir çevreyle temasa geçen Portland çimentosu hamurundaki kimyasal denge bu durumda bozulmaktadır

.

Teorik olarak, pH değerinin 12.5'den küçük olduğu bir çevre zararlı olarak isimlendirilmektedir. Çünkü boşluk sıvısının alkaliliğindeki azalmayla, bağlayıcı hidratasyon ürünlerindeki denge bozulmaktadır. Bu durumda, endüstriyel ve doğal suların büyük çoğunluğu Portland çimentosu betonu için zararlı olmaktadır. Bununla birlikte, kimyasal saldırı hızını belirleyen unsurlar, zararlı sıvının pH değeri ile betonun geçirgenliğidir. Betonun geçirgenliği düşük ve zararlı sıvının pH derecesi 6'dan büyükse, kimyasal saldırı hızı çok düşük olmaktadır ve dikkate alınmasına gerek yoktur. Yumuşak su içerisindeki karbondioksit veya durgun sular, denizlerdeki ve yeraltı sularındaki sülfat ve klor iyonları, bazı endüstriyel sulardaki hidrojen iyonları, suyun pH değerini 6'dan daha küçük bir seviyeye düşürmekte ve beton için oldukça zararlı olmaktadır (Mehta ve Gerwick, 1982).

Kimyasal saldırı oluşan betonlarda, betonda boşluk ve geçirgenliği artıran ve çatlama, dökülme ve dayanımda azalma meydana getiren hasar verici fiziksel etkiler oluşmaktadır. Pratikte, tahribatın kimyasal ve fiziksel etkileri aynı anda meydana gelmekte ve birbirlerini güçlendirmektedirler.

Yeraltından, göllerden ve nehirlerden kaynaklanan sular, az miktarda klor, sülfat, kalsiyum ve magnezyum bikarbonatlar içermektedir. Bunlar sert sulardır ve Portland çimentosu hamurunun bileşenlerine saldırıda bulunmamaktadırlar. Sis ya da buharın yoğuşması ile meydana gelen saf su veya buz ile karın erimesinden ya da yağmurlardan gelen yumuşak sular, çok az veya hiç kalsiyum iyonları içermemektedirler. Bu tür suların, Portland çimentosu hamuruyla temas etmesi durumunda, kalsiyum çözmeye veya ayrışmaya başlamaktadır. Portland çimentosuyla temas eden sıvı kimyasal dengeye ulaştığında ise, çimento hamurunun hidroliz olayı durmaktadır. Bununla birlikte, basınç etkisindeki su akışında temas eden çözeltinin seyrelme olayı meydana gelmektedir ve bu durumda ayrışma olayı da devam etmektedir. Hidrate olmuş Portland çimentosu hamurunun ana ürünlerinden birisi de kalsiyum hidroksittir. Saf su içerisinde yüksek çözünürlüğe (1230 mg/L) sahip olan bu

ürün, ayrışmaya oldukça meyilli olmaktadır. Teorik olarak, çimento hamurunun ayrışma olayı, kalsiyum hidroksitin çoğu kusuluncaya kadar devam etmektedir. Bu durumda, sertleşmiş çimento hamurunun bağlayıcı bileşenleri kimyasal ayrışmaya maruz kalmaktadır. Sonuç olarak, bu olay sonucunda Portland çimentosu ürünleri içerisinden kalsiyum iyonlarının uzaklaşmasıyla, geride sadece silikat ve alüminat kalmakta olup, bu ürünlerin yük taşıma durumu da ortadan kalkmaktadır. Biczok (1967) tarafından yapılan bir çalışmada, Portland çimentosu hamuru içerisindeki kalsiyum iyonlarının salınımıyla dayanımda azalmalar olduğu belirtilmiştir. Portland çimentosu hamurundaki orijinal kalsiyum iyonlarının dörtte birinin salıverilmesi durumunda, orijinal dayanımının yarıya düştüğü Terzaghi (1964) tarafından ileri sürülmüştür. Kalsiyum hidroksitin beton içerisinden salıverilmesi durumunda, beton yüzeyinde estetik bozukluklar oluşturduğu da belirtilmiştir. Sıklıkla, beton içerisinden salıverilen kalsiyum hidroksit, havadaki karbondioksit ile temasa geçerek beyaz kalsiyum karbonatı oluşturmaktadır. Bu olaya çiçeklenme ismi verilmektedir.

Betonun dayanıklılığının ana faktörlerinden birisi geçirgenliktir. Geçirgenliği az olan betonlar kimyasal saldırılara karşı daha dirençli olmaktadır. Betonun içerisine basınç etkisi veya normal olarak su geçtiğinde, klor iyonları içeren bazı çözünebilir tuzlar da beton içerisine taşınmakta olup, donatıda korozyona ve hidratasyon ürünlerinde değişimlere neden olmaktadır. Genellikle, düşük geçirgenliğe sahip betonların dayanıklılığı yüksek olmaktadır (Ramezanianpour ve ark., 2011).

Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı, betonun basınç etkisindeki su geçirgenliği ve iyon salınımlarının incelenmesi önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, Portland çimentosu, uçucu kül ve silis dumanıyla veya bunların kombinezonlarından oluşan kendiliğinden yerleşen harçların, basınçlı su geçirgenliği ve iyon salınımı davranışları incelenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Basınçlı Su Geçirgenliği

Betonda dayanıklılığı etkileyen önemli faktörlerin en başında, sıvıların geçirgenliği gelmektedir. Geçirgenliği az olan betonların, kimyasal saldırılara karşı daha fazla dirençli olduğu tartışılmaz bir gerçektir. Beton içerisinden su akışı meydana geldiğinde, bazı zararlı maddeler ve iyonlar su vasıtasıyla beton içerisine taşınmaktadır. Beton içerisine su yardımıyla taşınan zararlı kimyasallar, betonun hidratasyon ürünlerinde veya donatılarda bozunmalara neden olmaktadır. Düşük su geçirgenliğine sahip betonların, yüksek dayanım ve dayanıklılık sağladığı bilinmektedir. Betonda basınçlı su geçirgenliğinin bir diğer zararı ise, sıvı basıncı etkisiyle oluşan ilave gerilmelerle kılcal çatlakların ilerlemesine neden olmasıdır. Uçucu kül ve silis dumanı mineral katkılarının, betonun basınçlı su geçirgenliği üzerine etkileri aşağıda verilen literatür çalışmalarda belirtilmiştir.

Ramezanianpour ve ark. (2011), kendiliğinden yerleşen 56 günlük betonlardaki basınçlı su işleme derinliğinin, Portland çimentosu ile uçucu külün ağırlıkça % 50'ye kadar olan yer değiştirmesinde önemli olmadığını belirtmişlerdir. Ancak % 70'lik bir yer değiştirmede ise, su işleme derinliğinin arttığını rapor etmişlerdir.

Falaschini ve ark. (2015), Portland çimentosu ile uçucu külün ağırlıkça % 20 yer değiştirdiği normal betonlarda, su işleme derinliğinin salt Portland çimentosuyla üretilmiş kontrol numunesine kıyasla daha büyük olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Elrahman ve Hillemeier (2014), yüksek performanslı betonlarda, silis dumanı ve uçucu külün basınçlı su işleme derinliğine etkisini araştırmışlardır. Portland çimentosu ile uçucu külün ağırlıkça % 30 yer değiştirmesi durumunda, su işleme derinliğinin kontrol numunesiyle (Portland çimentosu) aynı olduğunu bulmuşlardır. Portland çimentosu ile silis dumanının % 10 yer değiştirmesi durumunda ise, basınçlı su işleme derinliğinin azaldığını ileri sürmüşlerdir.

Borosnyoi (2016), Portland çimentosu ile silis dumanının ağırlıkça % 3, 5, 10 ve 15 yer değiştirmelerinin su geçirgenliğine etkisini incelemiştir. % 5 silis dumanı kullanıldığında, su işleme derinliğinin azaldığını ancak % 3,10 ve 15 yer değiştirme durumlarında arttığını ileri sürmüşlerdir.

Ziari ve ark. (2014), Portland çimentosu ile silis dumanın % 8 yer değiştirdiği kendiliğinden yerleşen betonlarda su işleme derinliğinin kontrol numunesine kıyasla azaldığını belirtmişlerdir. % 20 uçucu kül içeren betonlarda da, su işleme derinliğinin azaldığı belirtilmiştir.

Rostami ve Behfarnia (2017), alkali aktiviteli granüle cüruf betonlarında, Portland çimentosu ile silis dumanının % 5, 10 ve 15 yer değiştirmelerini incelemiş ve silis dumanı miktarı arttıkça, su işleme derinliğinin kontrol betonuna kıyasla azaldığını iddia etmişlerdir.

Yukarıda görüldüğü gibi, uçucu kül ve silis dumanının birlikte kullanıldığı betonla ilgili olarak, su işleme derinliği üzerine literatürde bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ayrıca, mineral katkı olarak uçucu kül veya silis dumanı kullanılan betonlarda, uçucu kül veya silis dumanının basınçlı su işleme derinliğine etkileriyle ilgili olarak literatürde farklı sonuçlar karşımıza çıkmaktadır.

2.2. İyon Salınımı

Mikroorganizmaların değişik tipteki aktiviteleriyle üretilen sülfürik asit, kanalizasyon sistemlerindeki betona ciddi saldırılarda bulunmaktadır. Bazı normal kanalizasyon betonlarında bu durum oluşmamaktadır. Fakat bazı durumlarda oldukça fazla hidrojen sülfit oluşumu endirekt olarak asit saldırısını oluşturabilmektedir. Hidrojen sülfitin kendisi beton üzerine kayda değer bir etki yapmamaktadır. Ancak kanalizasyonda hava boşluğunda oluştuğunda, maruz kalan betonun yüzeyi üzerindeki nem filmi içinde çözünmekte ve aerobik bakterinin oksitlenmesiyle sülfürik aside dönüşmektedir. Saldırı sadece kanalizasyonun üst kısmında meydana gelmekte ve sıvıyla dolu olan alt kısmı etkilememektedir. Tam dolu akan kanalizasyonlarda saldırı

olmamaktadır. Bozulmanın ilk aşamalarında, yüzeyde beyaz birikinti oluşmakta ve daha sonra da çimento hamurunda yumuşama meydana gelmektedir. Saldırının derinliği yıllık olarak 6 ile 12 mm arasında olmaktadır (Hewlett, 2003)

Bitkilerin çürümesi sonucunda humik asit oluşmaktadır. Su içerisindeki humik asidin doygun çözeltisinin pH değerleri 3.6 ile 4.1 arasında olmaktadır. Çözünürlüğünün düşük olması nedeniyle, su içinde taşınan miktarı oldukça az bulunmaktadır. Ancak betona yapmış olduğu etki, saf sulardan ya da karbondioksit içeren sularınkinden daha azdır. Humik asidin kalsiyum tuzlarıyla reaksiyonu sonucunda oluşan kalsiyum humat genellikle su içerisinde az çözünmektedir. Fakat laboratuvar testlerinde, durgun durumdaki asitlerin kalsiyum tuzlarının çözünürlüğü ile beton numunelerin tahribat derecesi arasında açık bir ilişki olduğu görülmüştür. Çözünmeyen kalsiyum tuzları, betonun yüzeyindeki boşlukları tıkamakta ve çimento içerisindeki kirecin kaybını önlemektedir. Akışkan durumdaki zararlı çözeltiler daha fazla hasar verici olmaktadır. Bu olayda, reaksiyon ürünleri beton yüzeyinden uzağa taşınmakta ve böylece yüzeydeki koruyucu tabaka ortadan kalkmaktadır. Araştırmalarda, asitlerin saf çözeltileri kullanıldığından, durum doğal şartlarda oluşanlardan daha fazla karmaşıklaşmaktadır. Bununla birlikte, en önemlisi su içerisindeki serbest karbondioksitin etkisi olmaktadır. Karbondioksit, inorganik bir bileşen olarak sınıflandırılmaktadır. Organik malzemelerin çürümesinden oluşan bir üründür ve organik asitli doğal sularda ortaya çıkmaktadır. Karbondioksitin havadaki hacimce miktarı % 0.03'tür. Atmosfer basıncı etkisinde, sudaki çözünürlüğü 0.00054 g/L'dir. Meydana gelen karbonik asidin pH değeri 5.7'dir. Derin yeraltı sularındaki basıncın fazla olması nedeniyle, su içerisindeki karbondioksitin çözünürlüğü daha fazla olmakta ve pH değeri 3.8'e kadar düşmektedir. Nehir sularında ise, çözünmüş karbondioksit pH değerini 5.5 yapmaktadır (Hewlett, 2003).

Saf su yalnız başına da betonda çözücü bir etki yapmaktadır ve kalsiyum hidroksiti 1.2 g/L'ye kadar çözmektedir. Bu olay neticesinde, sertleşmiş çimento içerisinden kirecin salıverilmesine neden olmaktadır. Bu durumda, içerisinden uzun süre su geçişleri olan Portland çimentolu betonların tedrici olarak tahribatına neden olmaktadır. Çimento hamuru içerisindeki kalsiyum hidroksit salıverildiğinde, boşluk

suyundaki doygunluğu sağlamak için çimentonun kalsiyum silikatlı ana bileşenleri daha fazla kalsiyum hidroksit üretmektedir. Kalsiyum hidroksit salıverilmesinin aşırı durumlarında, sertleşmiş çimento hamurunun yapısı değişmekte ve betonun dayanımında azalmalar meydana gelmektedir (Hewlett, 2003).

Beton borular gibi, beton yapıların ince kesitli kısımları asitli sulardan çok fazla zarar görmektedir. Ayrıca, bir tarafı basınçlı suya maruz diğer tarafı atmosfere açık beton yapılarda da asitli sular çok daha zararlı olmaktadır çünkü asitli su betonun içerisinden hareket etmektedir. Saf suya maruz baraj yapılarında da benzer sorunlar oluşmaktadır. Baraj yapılarındaki betonlarda boşluk olması durumunda, kalsiyum hidroksitin salıverilmesi durumu oluşmaktadır. Çimento hamuru içerisindeki bu salıverilme miktarının toplam kireç miktarının % 50'sine kadar ulaştığı rapor edilmiştir (Hewlett, 2003).

Endüstri tesislerindeki üretimler sonucunda, birçok türde asit oluşmaktadır. Laktik ve butirik asitler, çimento hamurunda yıkıcı tahribatlar oluşturmaktadır. Bunlar ekşimiş süt ve tereyağında meydana gelmektedir. Genellikle süt ürünleri ve peynir fabrikalarındaki sıvıların pH değeri 4.0'a kadar düşmektedir. Sirke fabrikalarındaki sıvıların da pH değeri 3.5 civarındadır ve sertleşmiş çimento hamurunda tahribatlar oluşturmaktadır. Meyve suyu üretim tesislerindeki sıvıların pH değeri ise, 2.6 ile 3.6 arasında olmaktadır. Tartarik asitler, üzüm suyu yapma tesislerindeki sıvılarda oluşmakta ve çimento hamuru üzerinde tahrip edici etkisi bulunmaktadır.

Asidik ortamlardaki sertleşmiş çimentolar, termodinamik bakımdan istikrarlı değildir. Portland ve kalsiyum alüminat çimentolarda da durum böyle olmaktadır. Dolayısıyla, malzemenin servis ömrü boyunca bulunduğu ortam ve malzemenin yapısı önemlidir. Asit saldırısının hızını belirleyen iki faktör bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, sertleşmiş çimentoya zarar verecek asidin miktarı yani nötrleştirme kapasitesidir. İkincisi ise, asidin tüketim hızı, yani korozyon kinetiğidir.

Portland çimentosu hamurları ana olarak kalsiyum silikat hidratlar (C-S-H) ve kalsiyum hidroksitlerden (CH) oluşmaktadır. pH değerinin 7'nin altına düşmesi

sonucunda, bu iki üründe hızlı bir şekilde zarar görür ve aşağıdaki reaksiyonlar oluşmaktadır (Montey ve ark., 2000).

$$Ca(OH)_2 + H_2SO_4 = CaSO_4.2H_2O \quad (2.1)$$

$$CaSiO_2.2H_2O + H_2SO_4 = CaSO_4 + Si(OH)_4 + H_2O \quad (2.2)$$

$$3CaO.\ Al_2O_3.\ 12H_2O + 3(CaSO_4.2H_2O) + 14H_2O = 3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.32H_2O \quad (2.3)$$

Asitlerin etkisi ile suların yapmış olduğu etki birbirine benzer olmakla birlikte, sulara kıyasla daha yoğun olmaktadır. Ca^+ iyonunun salıverilmesiyle, CH ürünü çözülmekte ve hidrate olmuş silikat ve alüminat fazları bozulmaktadır. H_2SO_4'ün çimento hamuru üzerine etkisinin detaylı bir incelemesi, Fattuhi ve Hughes (1988) tarafından detaylı bir şekilde verilmiştir. Herhangi bir ortamdaki asidin varlığı, hidrate olmuş çimentonun temel ürünlerine zarar vermektedir. Bu ürünler, alkali hidroksitler, kalsiyum hidroksit, kalsiyum silikat hidrat, kalsiyum alüminat hidratlar, monosülfat ve etrenjittir. Bunların yanında, kalker türü mineral katkılara da saldırıda bulunmaktadır.

Çimento hamuru matrisi içerisinden kalsiyum iyonlarının salıverilmesi, radyoaktif atık depolama yapılarındaki betona ve düşük pH değerine sahip yeraltı suyuna maruz yapılarda problemler oluşturmaktadır (Jain ve Neithalath, 2009).

Alkali ortamın etkisi rölatif olarak önemsizdir. Ancak hidroksitlerin yoğun çözeltileri de (5 mol/L) betona saldırıda bulunmaktadır ve muhtemelen alüminyum hidroksit fazlarını çözmektedir. Aside dayanıklı çimentodan daha ziyade, betonun kalitesi daha önemli olmaktadır. İyi kür edilmiş ve sıkıştırılmış düşük su/çimento oranına sahip betonlarda geçirgenlik düşüktür ve böyle sıvı girişi zorlaşmaktadır.

Betonda kullanılan yüksek fırın cürufu ve puzolanlar kalsiyum hidroksiti azaltarak ve geçirgenliği düşürerek asit saldırısı hızını yavaşlatabilmektedir (Hobbs ve Matthews, 1998).

Silis dumanının betonda kullanılmasının, organik (asetik asit ve laktik asit) ve mineral asitlere (H_2SO_4 ve HCl) karşı direnci biraz artırdığı gözlenmiştir (Mehta, 1985).

Siad ve ark. (2010) , hidrolik ve sülfürik aside maruz kalan kendiliğinden yerleşen betonlarda, puzolanların pozitif etkisinin olduğunu belirtmişlerdir.

Portland çimentosu ile uçucu kül veya silis dumanı yer değiştirmiş harç karışımlarının uzun süreli testlerinde, sülfürik asit ve sülfat saldırısına karşı direncin arttığı gözlenmiştir. Bununla birlikte, sülfürik asit ve sülfat direncine karşı direnci artırmak için gerekli olan, uçucu kül ve silis dumanının Portland çimentosuyla yer değiştirme miktarı sülfürik asit ve sülfat çözeltilerinin tipine bağlı olarak önemli derecede değişmiştir (Torii ve Kawamura, 1994).

Roy ve ark. (2001), silis dumanı, metakolin ve uçucu küllü harçlarda, Portland çimentosu içeren kontrol karışımına kıyasla kimyasal direncin arttığını bulmuşlardır.

Monteny ve ark. (2003) ise, beton numunelerde silis dumanın kullanılmasının asit direncine karşı negatif etki yaptığını ileri sürmüştür. Bunun nedenini, hamur matrisi içerisinde çok küçük boşluk yapılarının oluşmasına, böylece de kılcal geçirgenliğin artmasına bağlı olarak aside maruz kalan temas yüzeyinin artmasına bağlamışlardır. Böyle bir durumda, beton içerisine asidik çözeltilerin daha derinlemesine nüfuz edeceğini ileri sürmüşlerdir.

Durning ve Hicks (1991), yüksek yoğunluklu sülfürik asit çözeltilerinde mineral katkıların betonun direncini artırmadığını belirtmişlerdir.

Yamato ve Emoto (1989), Portland çimentosu ile silis dumanının % 30 yer değiştirmesi durumunda % 25 kütle kaybı için gerekli zaman aralığının silis dumansız betona kıyasla iki kat arttığını belirtmişlerdir.

Portland çimentosu ile granüle yüksek fırın cürufunun ağırlıkça % 60 yer değiştirmesi ve ağırlıkça %56 yüksek fırın cürufu ve % 7 silis dumanın birlikte kullanılmasının, Portland çimentolu kontrol betonuna kıyasla asit direncini iyi bir şekilde artırdığı Chang ve ark. (2005) tarafından ileri sürülmüştür.

Portland çimentosu, uçucu kül ve silis dumanlı üçlü karışımların aside karşı direncinin çok daha iyi olduğu, Chang ve ark.; (2005) ve Tamimi (1997) tarafından belirtilmiştir.

Saf ve deiyonize olmuş sular, sertleşmiş çimento esaslı malzemelerdeki kuvvetli kireç çözücülerdir (Adenot ve Buil, 1992; Faucon ve ark., 1996; Mainguy ve ark., 2000). Salıverilme, difüzyon-çözünme ve çökelme olayının bir kombinezonudur. Boşluk suyu ve saf su arasındaki konsantrasyon farklılığı, boşluk çözeltisinden gelen kalsiyum iyonlarının onu çevreleyen iyonsuz veya iyonları az suya difüzyonuna sebep olmaktadır. Boşluk çözeltisindeki kalsiyum iyonlarının konsantrasyonunda meydana gelen azalma, kalsiyum hidroksit ve kalsiyum-silikat hidrat çözünmesine yol açmaktadır (Mainguy ve ark., 2000;Kamali ve ark., 2008; Wee ve ark., 2001; Buil ve ark., 1992). Bu durumda, malzemenin boşluk oranı ve geçirgenliği artmakta ve aynı zamanda dayanımı da azalmaktadır (Kamali ve ark., 2003; Marchand ve ark., 2001; Carde ve ark., 1996).

Uçucu kül ve silis dumanı mineral katkılarının, kalsiyum salıverilmesini azalttığı rapor edilmiştir (Matte ve Moranville, 1999; Van Eijk ve Brouwers, 1998).

Yukarıdaki literatür araştırmasında görüldüğü gibi, silis dumanı ile uçucu külün birlikte kullanıldığı Portland çimentolu harç ya da betonlarda ne gibi bir durum oluştuğu araştırılmamıştır

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Numunelerin Hazırlanması

Bu çalışmada, Turk (2012) tarafından hazırlanan numuneler kullanılmış ve bu numunelerin özellikleri Turk (2012)'de detaylı bir şekilde verilmiştir. Harç numune karışımlarında, Portland çimentosu (PC), uçucu kül (FA) ve silis dumanı (SF) kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin kimyasal özellikleri Çizelge 3.1'de ağırlık yüzdesi olarak verilmiştir. Çizelge 3.1'de, bahsedilen bu malzemelerin bazı fiziksel özellikleri de verilmiştir. Çizelge 3.1'de, FA içerisinde ağırlıkça yüzdesi en büyük olan oksit SiO_2'dir ve bu durum FA'nın puzolanik özelliğe sahip olduğunu göstermiştir.

Numunelerin karışım oranları Çizelge 3.2'de verilmiştir. Kontrol karışımında bağlayıcı olarak sadece Portland çimentosu kullanılmıştır. Diğer karışımlarda ise, ikili (PC+FA, PC+SF) ve üçlü (PC+FA+SF) bağlayıcılar kullanılmıştır. Karışımlardaki Portland çimentosu ile mineral katkıların ağırlıkça yerleri değiştirilmiştir. Kontrol karışımındaki Portland çimentosunun toplam ağırlığı 640 kg/m^3'tür. FA'nın Portland çimentosuyla yer değiştirmeleri ağırlıkça % 25, 30 ve 35 olurken, SF'nin % 5, 10, 15 ve 20 olmuştur (Turk, 1012). Çizelge 3.2'de, SF5FA25 numunesindeki Portland çimentosu ile uçucu kül ve silis dumanın toplam yer değiştirmesi ağırlıkça % 30'dur. Yani, ağırlıkça % 5 SF ve % 25 FA ile Portland çimentosunun toplam ağırlığı ile yer değiştirmiştir.

Çizelge 3.1. Malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri

Bileşenler	PC	FA	SF
SiO_2	20.2	58.82	91
Al_2O_3	5.8	19.65	0.58
Fe_2O_3	3.23	10.67	0.24
CaO	64.1	2.18	0.71
MgO	-	3.92	0.33
SO_3	2.66	0.48	-
Klor (Cl^-)	0.006	-	-
LOI	2.58	0.91	1.84
Yoğunluk	3.1	2.08	2.2
Özgül yüzey (cm^2/g)	3484	3812	96.5%<45μm

Çizelge 3.2. Numunelerdeki malzemelerin karışım miktarları

Karışımlar	W/CM (%)	PC (%)	FA (%)	SF (%)	Binder (kg/m^3)	Kum 0-2 mm (kg/m^3)	HRWR (kg/m^3)
Kontrol	0.45	100	0	0	640	1227	6.75
FA25	0.43	75	25	0	640	1194	6.75
FA30	0.43	70	30	0	640	1181	6.75
FA35	0.43	65	35	0	640	1168	6.75
SF5	0.44	95	0	5	640	1230	8
SF10	0.45	90	0	10	640	1203	8
SF15	0.47	85	0	15	640	1159	8
SF20	0.50	80	0	20	640	1106	8
SF5FA25	0.43	70	25	5	640	1174	8
SF5FA30	0.41	65	30	5	640	1193	8
SF5FA35	0.41	60	35	5	640	1185	8
SF10FA25	0.43	65	25	10	640	1169	8
SF10FA30	0.42	60	30	10	640	1174	8
SF10FA35	0.41	55	35	10	640	1166	8
SF15FA25	0.44	60	25	15	640	1148	8
SF15FA30	0.43	55	30	15	640	1143	8
SF15FA35	0.43	50	35	15	640	1140	8
SF20FA25	0.48	55	25	20	640	1072	8
SF20FA30	0.47	50	30	20	640	1069	8
SF20FA35	0.47	45	35	20	640	1061	8

Kendiliğinden yerleşen numunelerin karışımlarının yapılmasında ASTM C 109 standardı takip edilmiş ve taze karışım testleri ise, EFNARC (2002)'a göre yapılmıştır. EFNARC (2002)'de istenilen taze karışım özellikleri, karışımların su/bağlayıcı oranı (W/CM) ya da süper akışkanlaştırıcı (HRWR) miktarları değiştirilerek deneme-yanılma yöntemiyle sağlanmıştır. Karışımlarda dere kumu kullanılmış olup, en büyük tane çapı 2 mm'dir (Turk 2012).

EFNARC (2002)'ı belirttiği özellikleri sağlayan esas taze karışımlar, 50 mm'lik küp kalıplar içerisine kendiliğinden yerleşmiştir. 24 saat sonra kalıplardan çıkarılmış ve 90 gün boyunca su içerisinde kür edilmiştir. Bu süre sonunda, numuneler 105 ^{o}C sıcaklıktaki etüv içerisinde değişmez ağırlığa gelinceye kadar 24 saat boyunca

kurutulmuştur. 50 mm'lik küp numunelerde basınçlı su geçirgenliği testi yapıldıktan sonra, yarılmış numuneler üzerinde iyon salınımı testleri yapılmıştır. İyon salınımı testinde kullanılan numune boyutları 50×50×25 mm'dir.

3.2. Basınçlı Su Geçirgenliği Testi

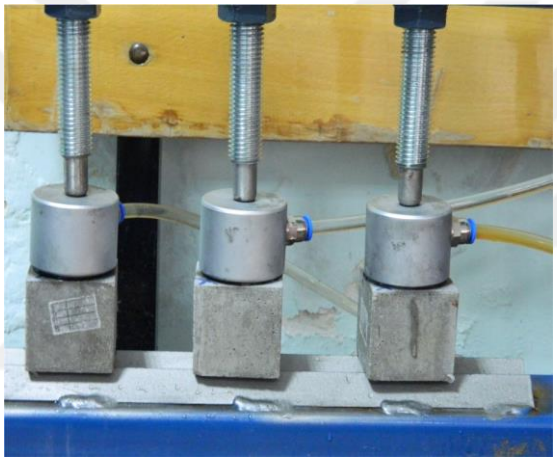
Sertleşmiş harç numunelerde basınçlı su geçirgenliği testi, TS EN 12390-8 standardı temel alınarak yapılmıştır.

TS EN 12390-8 standardı beton numunelerin testinde kullanılmaktadır ve numune 150 mm'lik küp numunedir. Ancak bu çalışmada sertleşmiş harç numuneler kullanıldığından, numunelerin boyutu 50 mm seçilmiştir. Böylece, TS EN 12390-8'de tarif edilen numune boyutları ve basınçlı suyun temas edeceği yüzey 1/3 oranında küçültülmüştür. 90 günlük deney numuneleri, 105 ^{o}C sıcaklığa sahip etüvde 24 saat kurutulduktan sonra kullanılmıştır. 50 mm'lik sertleşmiş harç numunelerde, basınçlı su testi yapmak için Şekil 3.1'de gösterilen düzenek yapılmıştır. Basınçlı su testi düzeneği 4 kısımdan oluşmuştur. Bu kısımlar; 1-Hava kompresörü, 2-Basınç ayarlayıcı, 3-Su deposu ve Şekil 3.2'deki basınçlı su iletme kafalarıdır. Su iletme kafalarının numune ile temas eden kısımlarında su sızdırmazlığı sağlamak için lastik contalar kullanılmıştır. Numunenin su ile temas eden yüzeyinin çapı 25 mm'dir.

Numuneler üzerine 90 dakika süreyle basınçlı su uygulanmıştır. Bu sürenin sonunda, numuneler cihazdan çıkarılmış ve Şekil 3.3a'da gösterilen aparat yardımıyla yarılmıştır. Şekil 3.3b'de gösterilen numunede, basınçlı su işleme derinliği 0.5 mm hassasiyetinde ölçülmüştür.



Şekil 3.1. Basınçlı su geçirgenlik test düzeneği



Şekil 3.2. Numunelere basınçlı su iletme kafaları





a) Numune yarma aparatı b) Yarılmış numune
Şekil 3.3. Basınçlı su geçirgenlik testi aşamaları

3.3. İyon Salınımı Testleri

İyon salınımı testi için Şekil 3.4a'da gösterilen 50 mm'lik sertleşmiş harç numuneler kullanılmıştır. Numuneler, saf suyla yıkanıp temizlenerek Şekil 3.4b'de gösterilen 60 ^{o}C sıcaklıktaki etüvde 24 saat süreyle bekletilmiştir. Etüvden çıkarılan numuneler, oda sıcaklığına kadar soğuduktan sonra hassas terazide tartılarak ağırlıkları bulunmuş ve Şekil 3.4c'de gösterilen eşit boyuttaki kavanozlar içerisindeki pH değeri 3.5, 7.0 ve 10.5 olan çözeltiler içerisine konularak bekletilmeye bırakılmıştır.



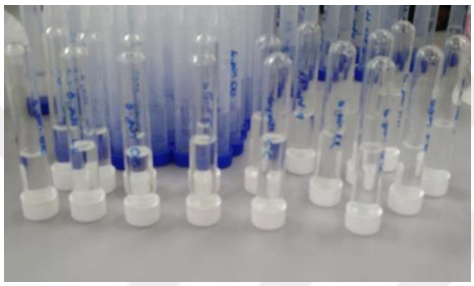
a) Temizlenmiş numuneler b) Etüvde kurutma c) pH ortamında bekletme
Şekil 3.4. İyon salınım testleri için numunelerin hazırlanması

pH değeri 3.5 olan çözelti hazırlamak için sülfrik asit H_2SO_4 birleşiminden yararlanarak asidik çözelti elde edilmiştir. pH değeri 10,5 olan çözeltiyi hazırlamak için de sodyum hidroksit NaOH birleşiminden yararlanarak bazik çözelti elde edilmiştir. Asidik ve bazik çözeltiler elde edilirken ısıtmalı manyetik karıştırıcıdan yararlanılmıştır. Şekil 3.5a'da gösterildiği gibi, pipetler yardımıyla kavanozlara eklenen asit baz çözeltilerinin , kavanozlardaki suyu istenen pH değerine ulaştırdığını ölçmek için Şekil 3.5b'de gösterilen cihaz kullanılmıştır.



a)Asidik ve bazik çözelti elde etme b) pH metre
Şekil 3.5 Çözeltilerin pH ayarlaması yapılması

2 saatlik süre sonrasında, pH metre cihazıyla numunelerin içine bırakıldığı çözeltilerin pH değerleri ölçülmüştür. Ardından pipetle çözeltilerden 5'er mL lik numuneler alınıp Şekil 3.6'da gösterilen deney tüplerine bırakılmıştır. Çözeltilerden alınan 5'er mL lik numuneler yerine de 5'er mL lik saf su eklenerek önceki seviyeye getirilmiştir. Son durumda çözeltilerdeki pH değeri değişeceğinden tekrardan pH ayarlaması yapılmıştır. pH değeri 3.5 olan grup tekrardan 3.5, pH değeri 7.0 olan grup tekrardan 7.0, pH değeri 10.5 olan grupta yine 10.5 olacak şekilde ayarlanıp beklemeye bırakılmıştır.



Şekil 3.6. Deney tüplerine alınan numuneler

24 saat sonra Şekil 3.7'de gösterildiği gibi tekrardan çözeltilerin pH değerleri ölçülmüştür. Yine 5'er mL lik numuneler deney tüplerine alınarak çözeltilerin içine 5'er mL lik saf su eklenmiştir Son durumda çözeltilerin pH değeri değişeceğinden yine pH ayarlaması yapılmıştır. Bu işlem 24 saatte bir olmak şartıyla her gün aynı saatte 6 gün boyunca tekrarlanarak numuneler toplanmıştır. Toplanan numuneler indüktif olarak eşleştirilmiş plazma (ICP) cihazında, ağır metal analizleri yapılmıştır.



Şekil 3.7. 24 saat sonra işlemin tekrarlanması

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Basınçlı Su Geçirgenliği Test Sonuçları

Şekil 4.1'de, normal, uçucu küllü ve silis dumanlı harç numunelerin basınçlı su geçirgenlik değerleri verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, Portland çimentosu ile ağırlıkça % 10 silis dumanı yer değiştirmiş SF10 numunesinde, geçirgenlik değeri en az olmuştur.

Elrahman ve Hillemeier (2014)'de Portland çimentosu ile silis dumanının ağırlıkça % 10 yer değiştirmesi durumunda, basınçlı su işleme derinliğinin azaldığını belirtmişlerdir. Ziari ve ark. (2014) 'da, Portland çimentosu ile silis dumanın % 8 yer değiştirdiği kendiliğinden yerleşen betonlarda su işleme derinliğinin kontrol numunesine kıyasla azaldığını ileri sürmüşlerdir. Borosnyoi (2016) tarafından yapılan bir çalışmada ise, Portland çimentosu ile silis dumanının ağırlıkça % 5 yer değiştirmesi durumunda su işleme derinliğinin azaldığını ancak % 3, %10 ve %15 yer değiştirme durumlarında da arttığı bulunmuştur. Bu çalışmada, % 5 silis dumanı kullanılması durumunda oluşan geçirgenlik değeri, yaklaşık olarak kontrol numunesine eşit olmuştur.

Şekil 4.1'de gösterildiği gibi, % 15 ve % 20 silis dumanı yer değiştirmelerinde, silis dumanı miktarındaki artışlara bağlı olarak su geçirgenlik değerleri de artmıştır. Rostami ve Behfarnia (2017), Portland çimentosu ile silis dumanının % 5, 10 ve 15 yer değiştirmelerini incelemiş ve silis dumanı miktarı arttıkça, su işleme derinliğinin kontrol betonuna kıyasla azaldığını iddia etmişlerdir.

Yukarıdaki çalışmalar dikkate alındığında, kullanılan silis dumanı miktarlarına bağlı olarak, geçirgenlik değerleri de değişmektedir. Fakat bu çalışmada % 10 silis dumanı miktarındaki geçirgenlik değerinin azaldığı sonucu, diğer çalışmaların büyük çoğunluğu tarafından desteklenmektedir. % 5 silis dumanı miktarının çimento hamurunun mikro yapısını değiştirmede etkisiz kaldığı görülmüştür. % 10'dan daha

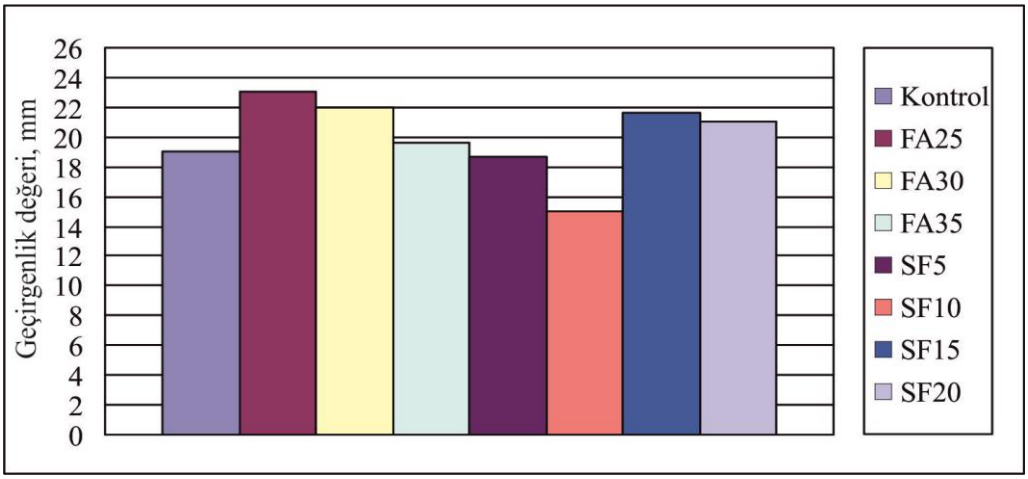
fazla silis kullanımının ise, çimento hamuru içerisindeki ürün yoğunluğunu artırdığı fakat çimento hamuru içerisindeki mikro boşlukların sayısını artırarak geçirgenliği de artırdığı söylenebilir (Monteny ve ark., 2003).

Şekil 4.1'de, Portland çimentosu ile uçucu külün ağırlıkça % 25, % 30 ve % 35 yer değiştirdiği durumlardaki geçirgenlik değerleri de verilmiştir. Kontrol numunesine kıyasla, uçucu külün geçirgenliği artırdığı bulunmuştur. Ancak, uçucu küllü numuneler kendi içlerinde karşılaştırıldığında, artan uçucu kül miktarına bağlı olarak geçirgenliğin bir miktar azaldığı görülmüştür.

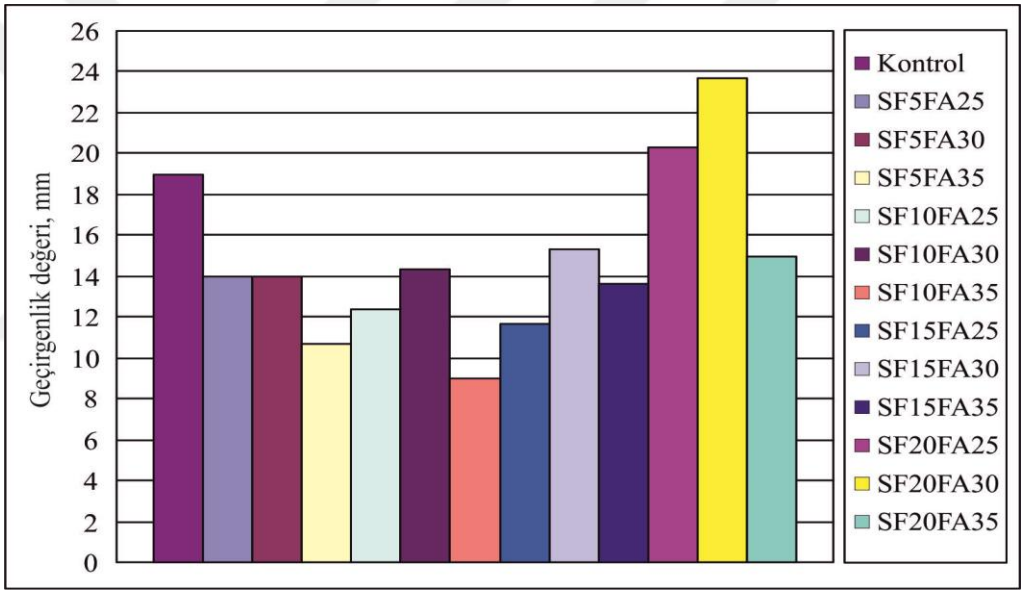
Şekil 4.2'de, uçucu kül ile silis dumanının, Portland çimentosuyla birlikte yer değiştirdiği kombinasyonlarla oluşturulan numunelerin geçirgenlik değerleri verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, SF10FA35 numunesinin geçirgenliği en az olmuştur. Bulunan bu sonuç oldukça ilginçtir. Çünkü tekli olarak kullanılan mineral katkılarda, silis dumanının ağırlıkça % 10 olması durumunda geçirgenlik miktarı azalmıştı. Ayrıca, uçucu kül miktarı arttıkça da, sadece uçucu küllü numuneler kıyaslandığında geçirgenlik değerinde azalma meydana gelmişti. Bu numunenin geçirgenlik değeri, kontrol numunesinin geçirgenlik değerinden yaklaşık iki kat daha az olmuştur.

En büyük geçirgenlik, SF20FA30 numunesinde meydana gelmiştir. Ancak SF20FA35 numunesinin geçirgenlik değeri, kontrol numunesine kıyasla daha az olmuştur. Şekil 4.2'de, Portland çimentosu ile uçucu külün % 35 yer değiştirmesinin, silis dumanın birçok kombinasyonunda geçirgenlik değeri azalmıştır.

Şekil 4.2'de görüldüğü gibi, SF5FA35, SF10FA35 ve SF15FA25 numunelerinin geçirimlilikleri diğer numunelere kıyasla daha küçük olmuştur. Dolayısıyla, beton içerisinde uçucu kül ve silis dumanı birlikte kullanılacaksa, yukarıda belirtilen uçucu kül ve silis dumanı kombinezonlarının dikkate alınması geçirimlilik bakımından önemli olacaktır. Söz konusu SF5FA35, SF10FA35 ve SF15FA25 numunelerin 91 günlük basınç dayanımları ise, sırasıyla 54, 51.9 ve 50 MPa olarak Turk (2012) tarafından verilmiştir.



Şekil 4.1. Kontrol, uçucu kül ve silis dumanlı numunelerin basınçlı su geçirimliliği



Şekil 4.2. Kontrol ve uçucu kül-silis dumanı kombinezonu numunelerin basınçlı su geçirimliliği

4.2. İyon Salınımı Test Sonuçları

Bu kısımda, pH=3.5, 7.0 ve 10.5 ortamlarındaki numunelerin Ca^{+2} ve Si^{+4} Al^{+2}, Fe^{+3} ve Mg^{+2} iyonlarının zamana bağlı olarak kümülatif salınım miktarları verilmiştir.

Belirtilen pH ortamlarında, Ca^{+2} ve Si^{+4} iyonlarının kümülatif salınım miktarları genellikle büyük olduğundan Şekil 4.3 ile 4.14 arasında gösterilmiştir. Ancak Al^{+2},

Fe^{+3} ve Mg^{+2} iyonlarının salınımları bazı numunelerde az ve hiç olmadığından, bunlar da Çizelge 4.1 ile 4.18 arasında kümülatif olmayan miktarlar olarak verilmiştir. Çizelgelerde görüldüğü gibi, sadece Al^{+2} iyonları pH=10.5 (alkali ortam) çok az miktarda salıverilmiştir.

Şekiller 4.3-4.14'ten görüleceği gibi, pH=3.5 (asit) ortamındaki tüm numunelerde, genel olarak Ca^{+2} iyonlarının salınım miktarları en fazla olmuştur. Bu ortamdaki Si^{+4} iyonlarındaki salınım miktarları da büyüktür, ancak Ca^{+2} iyonlarındaki salınım miktarlarından daha az olmuştur.

Şekil 4.15'te, tüm numunelerin farklı pH ortamlarındaki Ca^{+2} iyonlarının ve Şekil 4.16'da ise, Si^{+4} iyonlarının salınım miktarlarının karşılaştırması yapılmıştır.

Şekil 4.15'te görüldüğü gibi, Portland çimentolu kontrol karışımının Ca^{+2} iyonu salınımı miktarı, pH değeri arttıkça azalmıştır. Yani, pH=3.5 olduğu asidik ortamda salıverilen Ca^{+2} iyonları miktarı en fazla olmuştur. pH değerinin 7.0 olduğu nötr durumda (yani saf su) ve yine, pH değerinin 10.5 (alkali) ortamda da Ca^{+2} iyonlarında salıverilme meydana gelmiştir.

Şekil 4.15'te gösterildiği gibi, uçucu kül içeren FA25, FA30 ve FA35 numunelerinde, alkali ortamda (pH=10.5) hemen hemen hiç Ca^{+2} iyonu salınmamıştır. Ancak saf su ortamında (pH=7.0), FA25 ve FA35 numunelerindeki Ca^{+2} iyonları salınım miktarları aynı olmuştur. FA30 numunesinde ise, Ca^{+2} iyonları salınımı FA25 ve FA35 numunelerine kıyasla azalmıştır. Asidik ortamda (pH=3.5), FA25, FA30 ve FA35 numunelerindeki Ca^{+2} iyonları salınımı çok fazla olmuştur. Ancak asidik ortamdaki Ca^{+2} iyonlarındaki salınım miktarları, diğer ortamlardaki salınım miktarlarına kıyasla çok daha fazla olmuştur. Genel olarak, uçucu kül içeren harçlardaki Ca^{+2} iyonlarının salınım miktarları, sadece Portland çimentosu içeren kontrol harcına kıyasla çok azalmıştır.

Şekil 4.15'te, silis dumanlı SF5, SF10, SF15 ve SF 20 numunelerinin, pH=3.5, 7.0 ve 10.5 ortamlarındaki Ca^{+2} iyon salınımları verilmiştir. Alkali ortamda, silis

dumanlı numunelerde, kontrol numunesine kıyasla Ca^{+2} iyon salınımlarında kayda değer bir azalma meydana gelmiştir. Nötr (saf su) ve asidik ortamlarda, SF5, SF10 ve SF15 numunelerindeki Ca^{+2} iyonları salınım miktarları, silis dumanı miktarıyla doğru orantılı olarak artmıştır. Ancak aynı ortamda, SF20 numunesindeki Ca^{+2} iyonları salınım miktarları keskin bir şekilde azalmıştır. Asidik ortamda, SF5, SF10 ve SF20 numunelerinin Ca^{+2} iyonları salınım miktarları, kontrol numunesine kıyasla daha az olmuş, SF15 numunesinde ise, biraz daha fazla olmuştur. Saf su ortamında, silis dumanlı tüm numunelerdeki Ca^{+2} iyonları salınım miktarları, kontrol numunesine kıyasla daha az olmuştur. Hem asidik hem de saf su ortamında, SF20 numunesindeki Ca^{+2} iyonları salınımı oldukça fazla miktarda azalmıştır.

Şekil 4.15'te, uçucu kül ve silis dumanı mineral katkılarının kombinezonlarından üretilen numunelerin Ca^{+2} iyonları salınımı miktarları verilmiştir. Alkali ortamda (pH=10.5), SF15FA35 numunesi hariç, diğer tüm numunelerdeki Ca^{+2} iyonları salınımı miktarları, kontrol numunesine kıyasla azalmıştır. SF15FA35 numunesinin Ca^{+2} iyonları salınımı miktarı ile kontrol numunesininki aynı olmuştur. Saf su ortamında ise, SF5FA25, SF5FA35, SF10FA25, SF10FA35, SF15FA35 ve SF20FA30 numunelerindeki Ca^{+2} iyonları salınımı miktarları, kontrol numunesine kıyasla daha az olmasına rağmen, diğer numunelerde yaklaşık olarak (SF20FA35 hariç) kontrol numunesine yakın olmuştur. Asidik ortamda, kontrol numunesine kıyasla SF15FA35 numunesinin Ca^{+2} iyonları salınımı miktarı en fazla olurken, SF10FA25 numunesinde en az olmuştur.

Alkali sular (sert sular) içerisinde değişik iyonlar bulunduğundan, pH değerinin 10.5 olması bu ortamı temsil etmiş ve Ca^{+2} iyonları salınımını azaltmıştır.

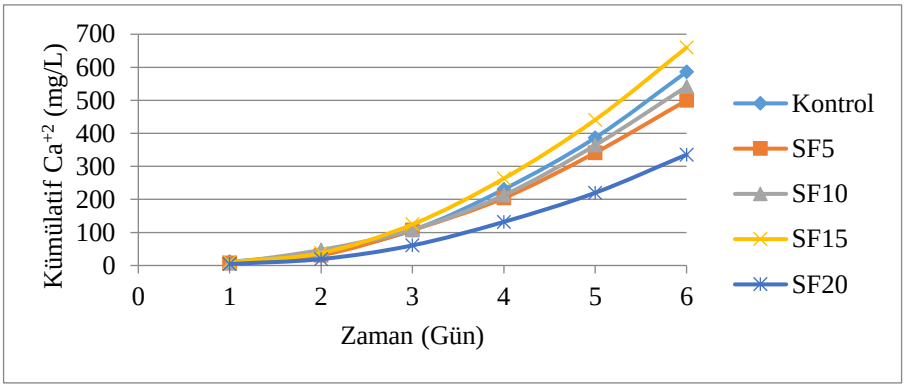
Şekil 4.16'da, Si^{+4} iyonlarının değişik pH ortamlarındaki salınım değerleri gösterilmiştir. Kontrol ve uçucu küllü numunelerin tüm pH ortamlarında Si^{+4} iyonları salınımı değerleri yaklaşık olarak birbirine eşit olmuştur. Söz konusu iyonun salınımı, diğer numunelere kıyasla daha azalmıştır. Ancak silis dumanlı olan SF5, SF10, SF15 ve SF20 numunelerinde durum değişmiştir. Asidik ortamda (pH=3.5), SF5, SF10 ve SF15 numunelerindeki Si^{+4} iyonları salınımı değerleri, silis dumanı miktarındaki artışa

bağlı olarak artmıştır. Ancak SF20 numunesinde tekrar azalmış ve SF10 numunesine eşit olmuştur. Saf su ortamında (pH=7.0), SF5 numunesinde, kontrol numunesine kıyasla çok fazla Si^{+4} iyonları salınımı meydana gelmemiş, ancak SF10, SF15 ve SF20 numunelerinde artmıştır. En büyük iyon salınımı artışı, SF10 numunesinde meydana gelmiştir. Alkali ortamında ise, kontrol numunesine kıyasla SF5 ve SF10 numunelerindeki Si^{+4} iyonları salınımı miktarları artmıştır. Bu iki numunede iyon salınımı değerleri eşit olurken, SF15 numunesinde en büyük olmuştur. SF20 numunesindeki iyon salınımı miktarı, kontrol numunesinden fazla ancak SF15 numunesine kıyasla azalmıştır.

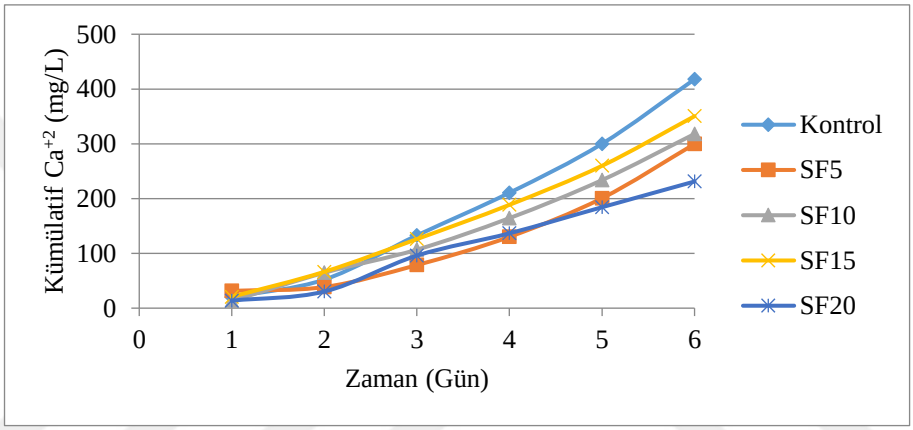
Şekil 4.16'da, uçucu kül ve silis dumanı mineral katkılarının kombinezonlarından üretilen numunelerin Si^{+4} iyonları salınımı miktarları verilmiştir. Şekil 4.16'da asidik ortamda görüldüğü gibi, SF5FA25 numunesinden başlayarak artan silis dumanı ve uçucu kül miktarına bağlı olarak Si^{+4} iyon salınımı değerleri SF20FA35 numunesine kadar artmıştır. Bu numunelerdeki Si^{+4} iyon salınımı değerleri, kontrol numunesine kıyasla daha büyük olmuştur. Asidik ortamdaki en büyük Si^{+4} iyon salınımı değeri, SF15FA35 numunesinde oluşurken, en küçüğü de SF5FA25 numunesinde meydana gelmiştir.

Alkali ortamda (pH=10.5) ise, SF5FA25 numunesinden itibaren artan silis dumanı ve uçucu kül miktarlarına bağlı olarak, kontrol numunesine kıyasla, Si^{+4} iyon salınımı değerlerinde sürekli artışlar meydana gelmiştir.

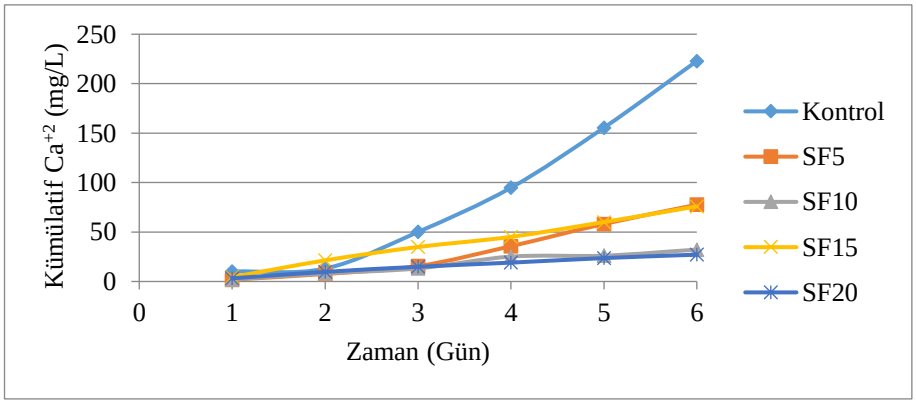
pH=7.0'de ise, iyon salınımı durumu değişken olmuştur. SF5FA25, SF5FA35, SF10FA35 ve SF15FA35 numunelerinde azalırken, diğerlerinde artışlar meydana gelmiştir. Ancak kontrol numunesine kıyasla tüm numunelerde artmıştır.



a) pH=3.5

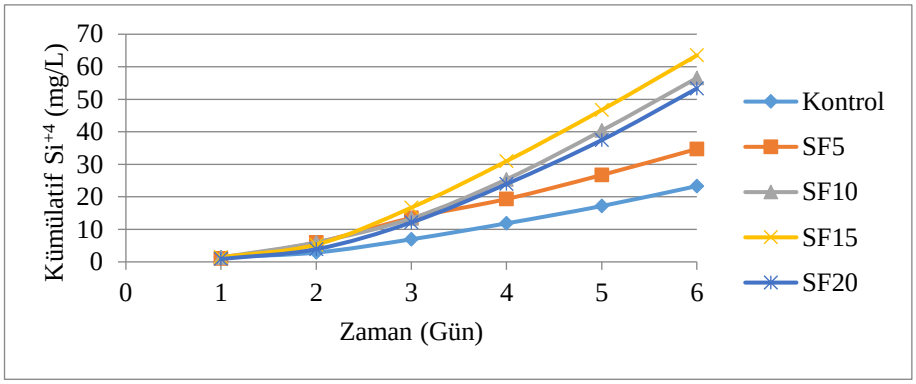


b) pH=7.0

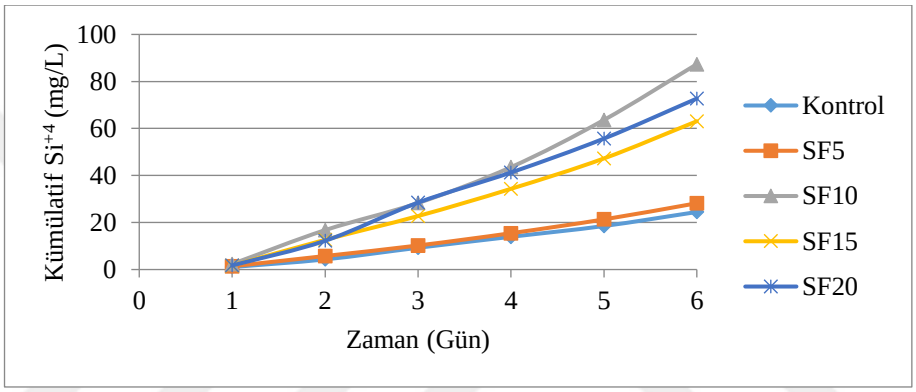


c) pH=10.5

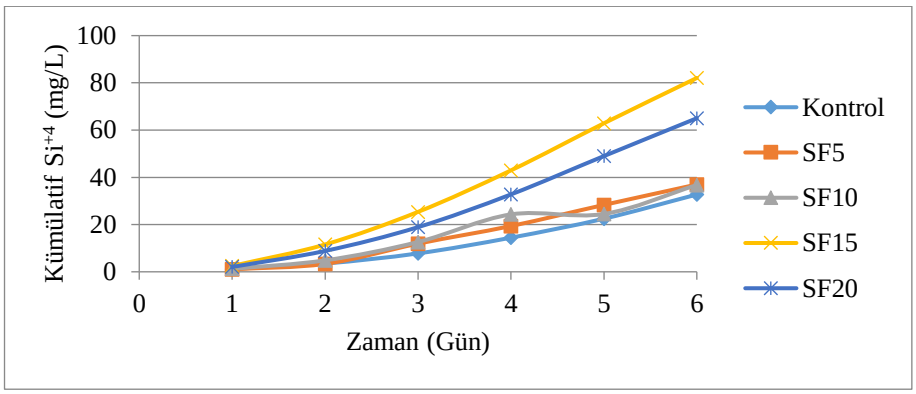
Şekil 4.3. Kontrol, SF5, SF10, SF15 ve SF20 numunelerinde Ca^{+2} iyonu salınımı



a) pH=3.5



b) pH=7.0



c) pH=10.5

Şekil 4.4. Kontrol, SF5, SF10, SF15 ve SF20 numunelerinde Si^{+4} iyonu salınımı

Çizelge 4.1. Kontrol, SF5, SF10, SF15 ve SF20'nin Al^{+2} iyon salınımı (mg/L)

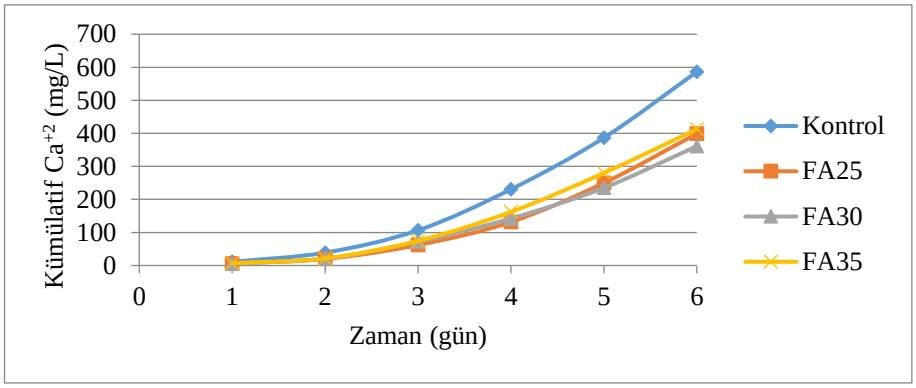
Zaman (Gün)	Kontrol	SF5	SF10	SF15	SF20
		pH=3.5			
1	0.112	0.055	0.050	0.050	0.050
2	0.066	0.483	0.058	0.062	0.050
3	0.545	0.741	0.065	0.187	0.050
4	0.541	0.314	0.194	0.114	0.050
5	0.075	0.052	0.067	0.074	0.105
6	0.054	0.616	0.436	0.351	0.150
		pH=7.5			
1	0.091	0.050	0.050	0.05	0.050
2	0.392	0.513	0.050	0.09	0.094
3	1.426	0.453	0.050	0.67	0.050
4	0.829	0.416	0.050	0.05	0.050
5	0.050	0.306	0.050	0.05	0.050
6	0.050	0.050	0.050	0.05	0.050
		pH=10.5			
1	0.16	0.10	0.16	0.10	0.11
2	0.30	0.37	0.72	0.31	0.19
3	0.56	0.46	0.72	0.26	0.21
4	0.61	0.32	0.70	0.25	0.20
5	0.34	0.86	0.05	0.15	0.17
6	0.82	0.47	0.42	0.12	0.12

Çizelge 4.2. Kontrol, SF5, SF10, SF15 ve SF20'nin Fe^{+3} iyon salınımı (mg/L)

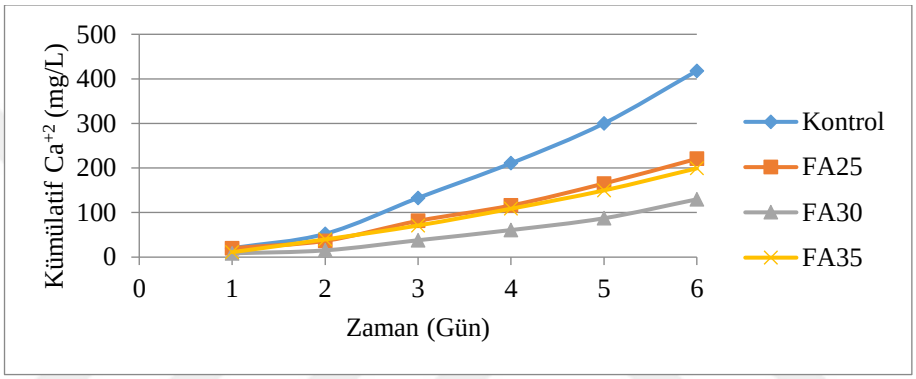
Zaman (Gün)	Kontrol	SF5	SF10	SF15	SF20
		pH=3.5			
1	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
2	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
3	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
4	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
5	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
6	0.050	0.050	0.075	0.053	0.050
		pH=7.0			
1	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
2	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
4	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
5	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
6	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
		pH=10.5			
1	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
2	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
4	0.05	0.05	0.07	0.05	0.05
5	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
6	0.09	0.05	0.05	0.05	0.05

Çizelge 4.3. Kontrol, SF5, SF10, SF15 ve SF20'nin Mg^{+2} iyon salınımı (mg/L)

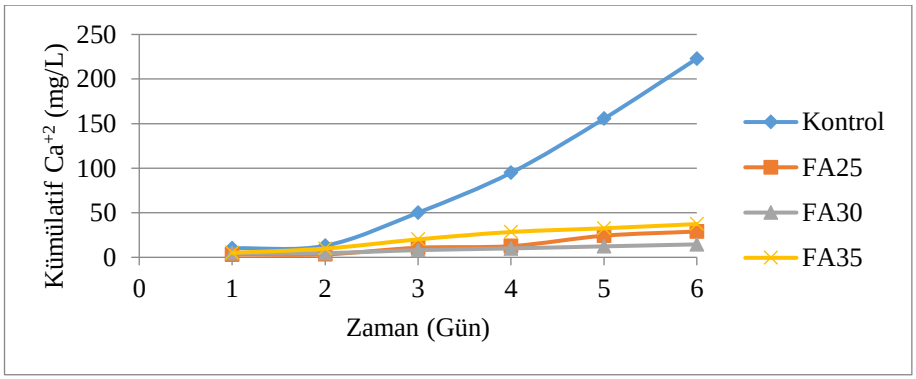
Zaman (Gün)	Kontrol	SF5	SF10	SF15	SF20
			pH=3.5		
1	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
2	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
3	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
4	0.300	0.300	0.300	0.510	0.300
5	0.300	0.300	1.016	1.033	0.469
6	0.300	0.300	1.409	1.503	1.072
			pH=7.0		
1	0.050	0.490	0.190	0.050	0.110
2	0.05	0.05	1.34	0.05	0.05
3	0.05	0.05	1.13	0.05	0.05
4	0.05	0.05	1.79	0.05	0.05
5	0.05	0.05	2.37	0.05	0.05
6	0.05	0.05	3.09	0.05	0.05
			pH=10.5		
1	0.720	0.300	0.510	1.070	0.620
2	0.30	0.88	0.88	0.90	1.09
3	1.11	0.30	0.85	1.51	2.00
4	2.90	0.30	1.69	1.24	0.70
5	1.44	0.30	0.01	1.60	1.02
6	2.46	1.21	1.26	1.69	0.97



a) pH=3.5

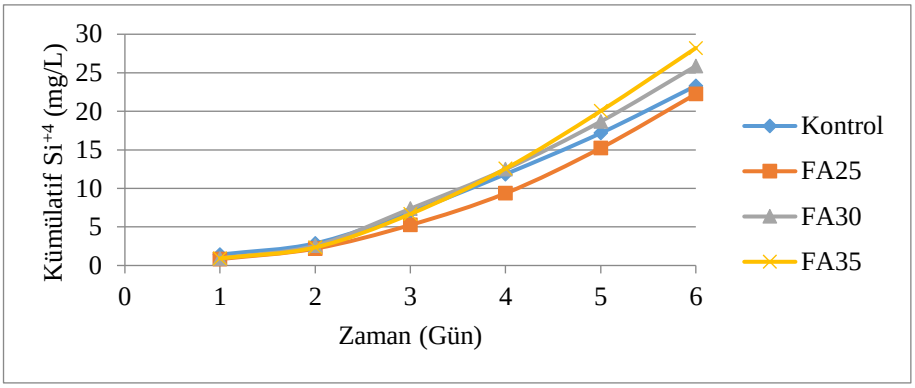


b) pH=7.0

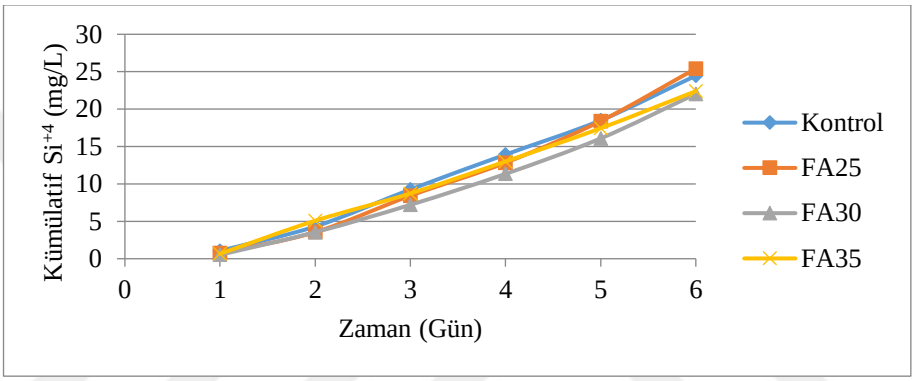


c) pH=10.5

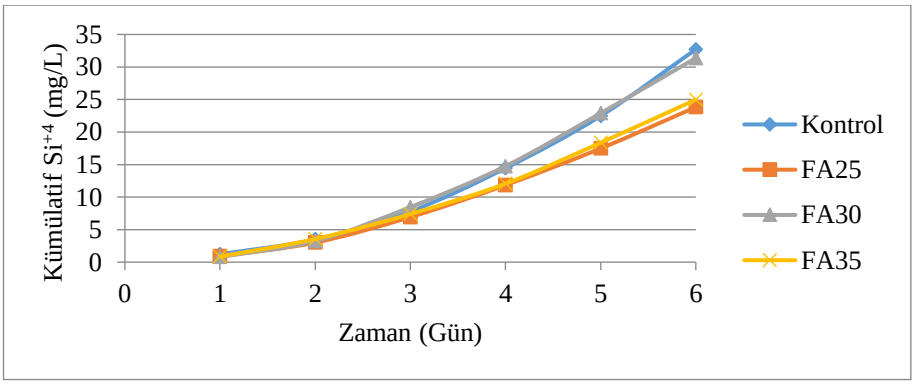
Şekil 4.5. Kontrol, FA25, FA30 ve FA35 numunelerinde Ca^{+2} iyonu salınımı



a) pH=3.5



b) pH=7.0



c) pH=10.5

Şekil 4.6. Kontrol, FA25, FA30 ve FA35 numunelerinde Si^{+4} iyonu salınımı

Çizelge 4.4. Kontrol, FA25, FA30'un Al^{+2} iyon salınımı (mg/L)

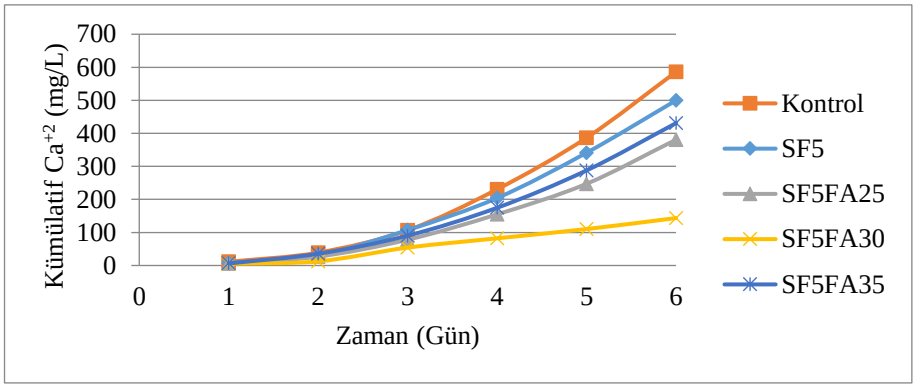
Zaman (Gün)	Kontrol	FA25	FA30	FA35
		pH=3.5		
1	0.112	0.051	0.050	0.044
2	0.066	0.050	0.063	0.053
3	0.545	0.166	0.546	0.073
4	0.541	0.090	0.050	0.057
5	0.075	0.050	0.054	0.059
6	0.054	0.553	0.077	0.719
		pH=7.0		
1	0.091	0.05	0.05	0.05
2	0.392	0.39	0.61	0.57
3	1.426	0.05	0.05	0.05
4	0.829	0.05	0.05	0.05
5	0.050	0.05	0.05	0.05
6	0.050	0.05	0.05	0.05
		pH=10.5		
1	0.16	0.23	0.24	0.49
2	0.30	0.41	0.44	1.20
3	0.56	0.92	0.90	1.34
4	0.61	0.93	1.05	1.32
5	0.34	0.65	1.01	1.80
6	0.82	1.09	1.01	1.58

Çizelge 4.5. Kontrol, FA25, FA30'un Fe^{+3} iyon salınımı (mg/L)

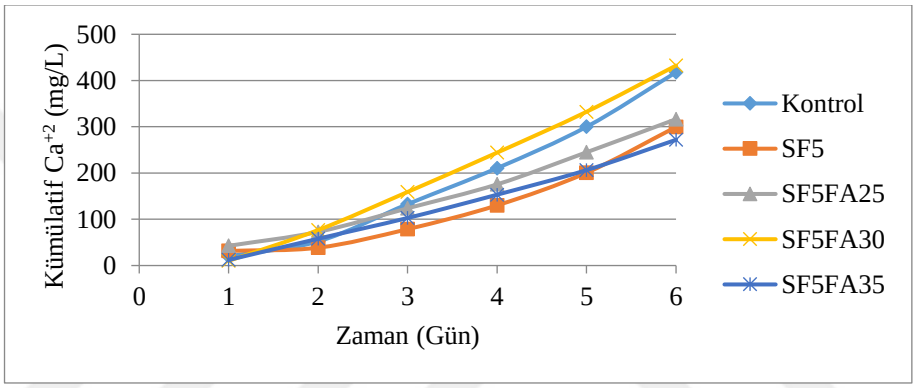
Zaman (Gün)	Kontrol	FA25	FA30	FA35
		pH=3.5		
1	0.050	0.050	0.050	0.050
2	0.050	0.050	0.050	0.050
3	0.050	0.050	0.050	0.050
4	0.050	0.050	0.050	0.050
5	0.050	0.050	0.050	0.050
6	0.050	0.054	0.050	0.050
		pH=7.0		
1	0.05	0.05	0.05	0.05
2	0.05	0.05	0.05	0.05
3	0.05	0.05	0.05	0.05
4	0.05	0.05	0.05	0.05
5	0.05	0.05	0.05	0.05
6	0.05	0.05	0.05	0.05
		pH=10.5		
1	0.05	0.05	0.05	0.05
2	0.05	0.05	0.05	0.05
3	0.05	0.05	0.05	0.05
4	0.05	0.05	0.05	0.05
5	0.05	0.05	0.05	0.05
6	0.09	0.05	0.05	0.05

Çizelge 4.6. Kontrol, FA25, FA30'un Mg^{+2} iyon salınımı (mg/L)

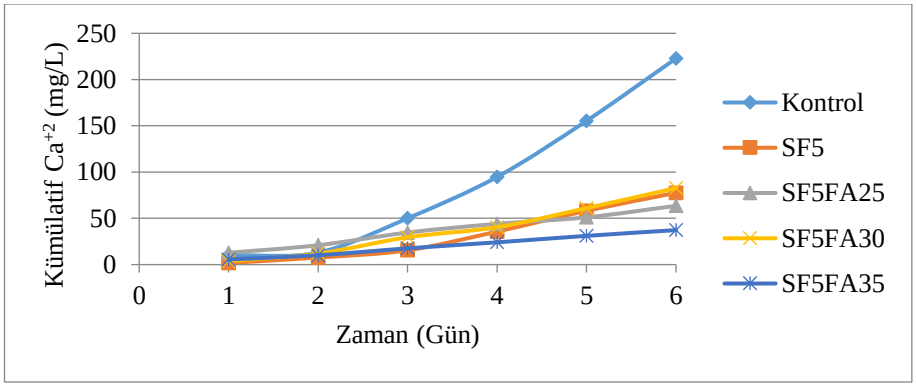
Zaman (Gün)	Kontrol	FA25	FA30	FA35
		pH=3.5		
1	0.300	0.300	0.149	0.300
2	0.300	0.300	0.300	0.300
3	0.300	0.300	0.300	0.296
4	0.300	0.385	0.336	0.848
5	0.300	1.331	0.424	1.548
6	0.300	1.882	1.105	1.899
		pH=7.0		
1	0.05	0.09	0.05	0.05
2	0.05	0.05	0.05	0.05
3	0.05	0.05	0.05	0.05
4	0.05	0.05	0.05	0.05
5	0.05	0.05	0.05	0.05
6	0.05	0.05	0.05	0.05
		pH=10.5		
1	0.72	1.07	0.62	0.71
2	0.30	0.30	0.30	0.66
3	1.11	1.41	1.13	1.36
4	2.90	0.33	1.11	2.45
5	1.44	0.92	0.81	0.75
6	2.46	0.59	1.58	0.72



a) pH=3.5

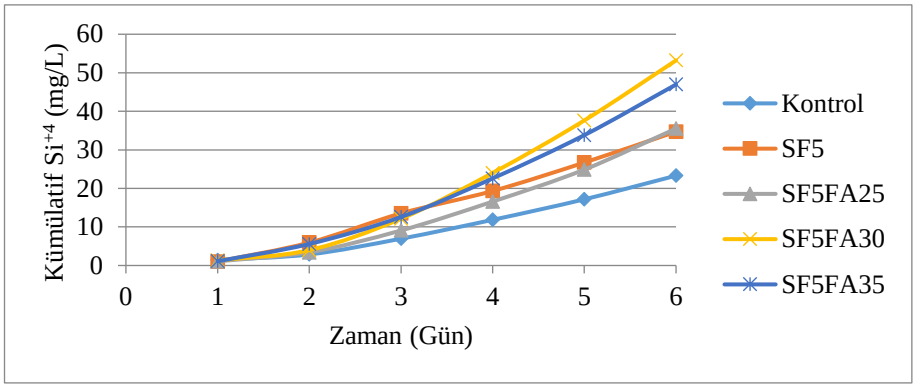


b) pH=7.0

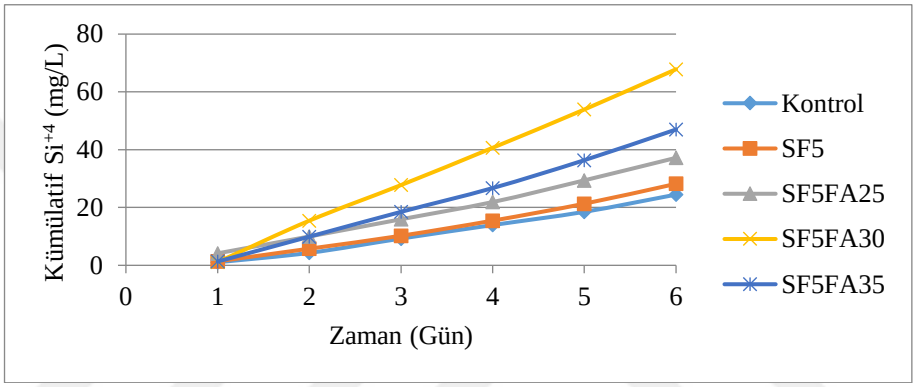


c) pH=10.5

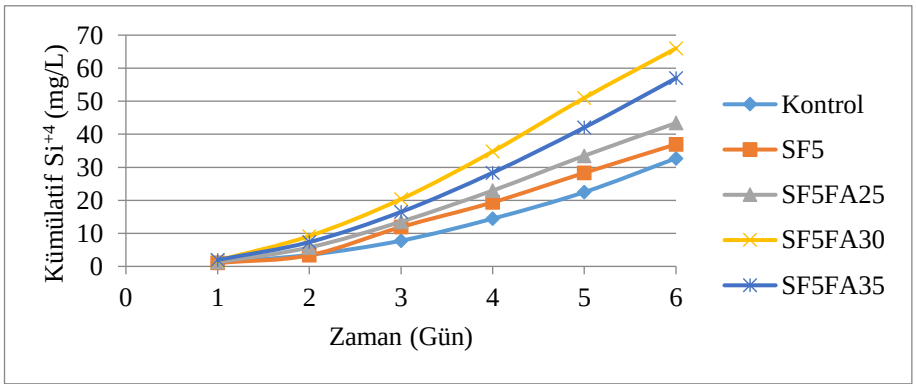
Şekil 4.7. Kontrol, SF5, SF5FA25, SF5FA30 ve SF5FA35 numunelerinde Ca^{+2} iyonu salınımı



a) pH=3.5



b) pH=7.0



c) pH=10.5

Şekil 4.8. Kontrol, SF5,SF5FA25, SF5FA30 ve SF5FA35 numunelerinde Si^{+4} iyonu salınımı

Çizelge 4.7. Kontrol, SF5, SF5FA25, SF5FA30 ve SF5FA35'in Al^{+2} iyon salınımı (mg/L)

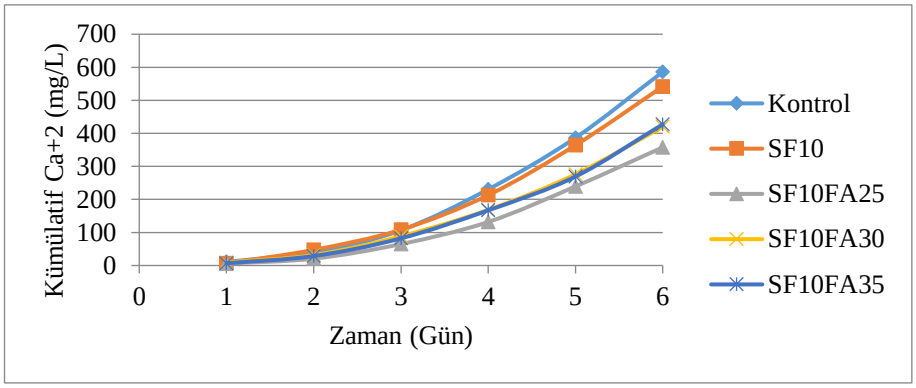
Zaman (Gün)	Kontrol	SF5	SF5FA25	SF5FA30	SF5FA35
			pH=3.5		
1	0.112	0.055	0.050	0.000	0.050
2	0.066	0.483	0.050	0.000	0.050
3	0.545	0.741	0.050	0.000	0.050
4	0.541	0.314	0.070	0.000	0.050
5	0.075	0.052	0.050	0.000	0.050
6	0.054	0.616	0.050	0.000	0.050
			pH=7.0		
1	0.091	0.050	0.050	0.050	0.050
2	0.392	0.513	0.594	0.217	0.045
3	1.426	0.453	0.048	0.050	0.050
4	0.829	0.416	0.050	0.000	0.050
5	0.050	0.306	0.050	0.050	0.050
6	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
			pH=10.5		
1	0.16	0.10	0.30	0.21	0.14
2	0.30	0.37	0.62	0.72	0.43
3	0.56	0.46	0.85	0.59	0.36
4	0.61	0.32	0.77	0.52	0.44
5	0.34	0.86	0.74	0.41	0.36
6	0.82	0.47	0.71	0.23	0.37

Çizelge 4.8. Kontrol, SF5, SF5FA25, SF5FA30 ve SF5FA35'in Fe^{+} iyon salınımı (mg/L)

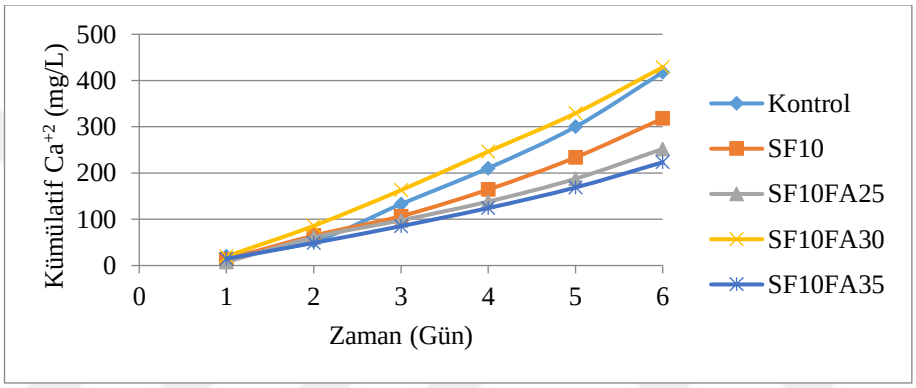
Zaman (Gün)	Kontrol	SF5	SF5FA25	SF5FA30	SF5FA35
			pH=3.5		
1	0.050	0.050	0.050	0.000	0.050
2	0.050	0.050	0.050	0.000	0.050
3	0.050	0.050	0.050	0.000	0.050
4	0.050	0.050	0.050	0.000	0.050
5	0.050	0.050	0.050	0.000	0.050
6	0.050	0.050	0.050	0.000	0.050
			pH=7.0		
1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
2	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
4	0.05	0.05	0.05	0.00	0.05
5	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
6	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
			pH=10.5		
1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
2	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
4	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
5	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
6	0.09	0.05	0.05	0.05	0.05

Çizelge 4.9. Kontrol, SF5, SF5FA25, SF5FA30 ve SF5FA35'in Mg^{+2} iyon salınımı (mg/L)

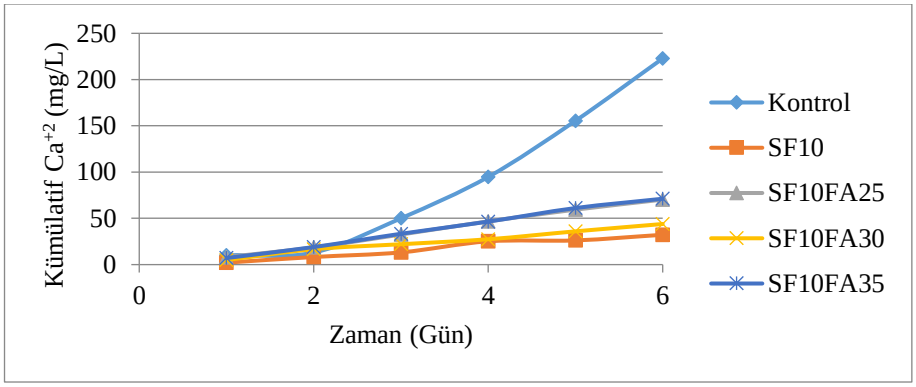
Zaman (Gün)	Kontrol	SF5	SF5FA25	SF5FA30	SF5FA35
			pH=3.5		
1	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
2	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
3	0.300	0.300	0.300	0.577	0.300
4	0.300	0.300	0.300	1.254	0.603
5	0.300	0.300	0.300	2.026	1.142
6	0.300	0.300	0.627	2.938	1.776
			pH=7.0		
1	0.05	0.49	0.05	0.05	0.31
2	0.05	0.05	0.05	0.19	0.54
3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.27
4	0.05	0.05	0.05	0.00	0.67
5	0.05	0.05	0.05	0.05	0.41
6	0.05	0.05	0.05	0.21	0.63
			pH=10.5		
1	0.72	0.30	0.74	0.69	0.94
2	0.30	0.88	0.30	0.40	0.68
3	1.11	0.30	1.96	2.54	1.24
4	2.90	0.30	0.73	0.84	1.69
5	1.44	0.30	0.63	1.24	1.72
6	2.46	1.21	0.81	0.85	1.84



a) pH=3.5

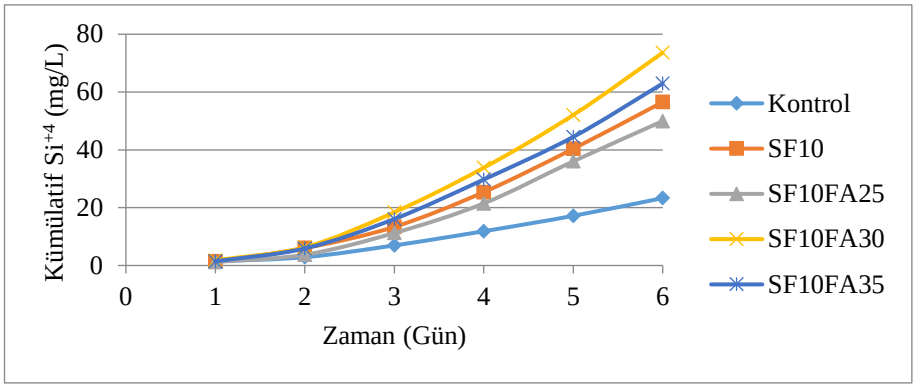


b) pH=7.0

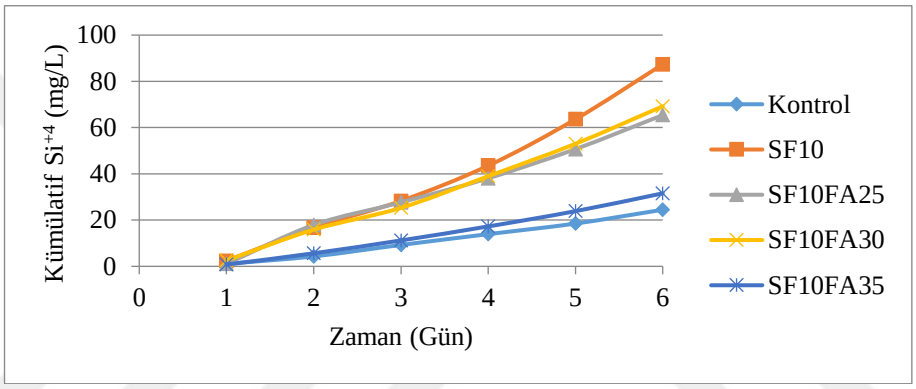


c) pH=10.5

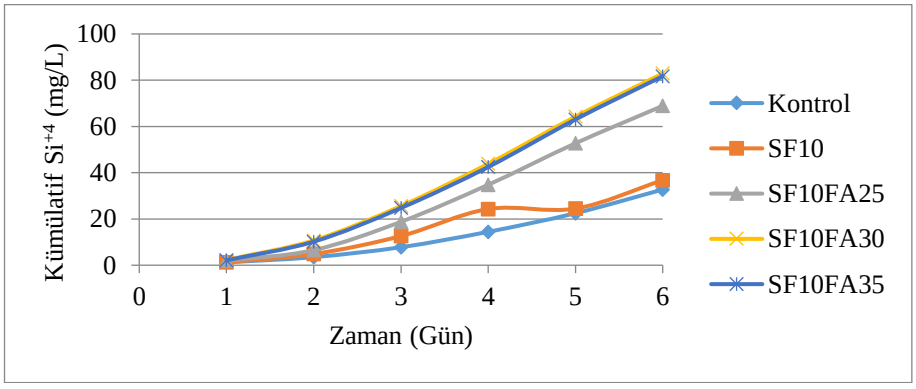
Şekil 4.9. Kontrol, SF10,SF10FA25, SF10FA30 ve SF10FA35 numunelerinde Ca^{+2} iyonu salınımı



a) pH=3.5



b) pH=7.0



c) pH=10.5

Şekil 4.10. Kontrol, SF10,SF10FA25, SF10FA30 ve SF10FA35 numunelerinde Si^{+4} iyonu salınımı

Çizelge 4.10. Kontrol, SF10, SF10FA25, SF10FA30 ve SF10FA35'in Al^{+2} iyon salınımı (mg/L)

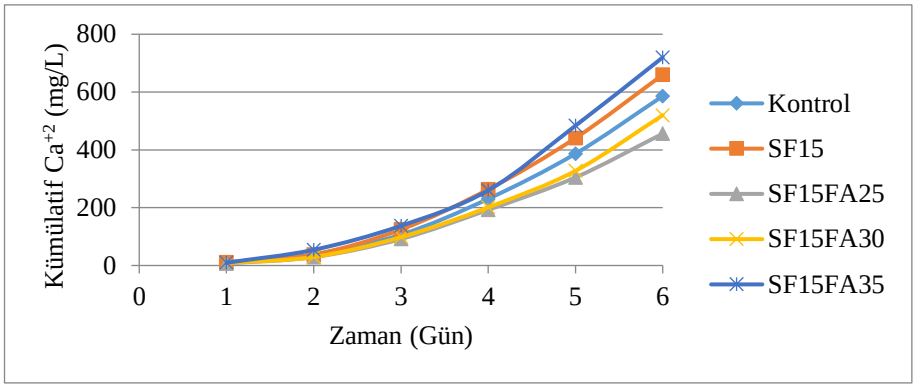
Zaman (Gün)	Kontrol	SF10	SF10FA25	SF10FA30	SF10FA35
			pH=3.5		
1	0.112	0.050	0.050	0.050	0.050
2	0.066	0.058	0.050	0.050	0.050
3	0.545	0.065	0.059	0.049	0.050
4	0.541	0.194	0.071	0.061	0.071
5	0.075	0.067	0.075	0.062	0.111
6	0.054	0.436	0.143	0.064	0.063
			pH=7.0		
1	0.091	0.050	0.050	0.050	0.050
2	0.392	0.050	0.179	0.050	0.050
3	1.426	0.050	0.050	0.050	0.050
4	0.829	0.050	0.050	0.050	0.050
5	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
6	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
			pH=10.5		
1	0.16	0.16	0.16	0.04	0.19
2	0.30	0.72	0.30	0.10	0.33
3	0.56	0.72	0.24	0.23	0.29
4	0.61	0.70	0.19	0.22	0.18
5	0.34	0.05	0.14	0.06	0.17
6	0.82	0.42	0.13	0.12	0.09

Çizelge 4.11. Kontrol, SF10, SF10FA25, SF10FA30 ve SF10FA35'in Fe^{+} iyon salınımı (mg/L)

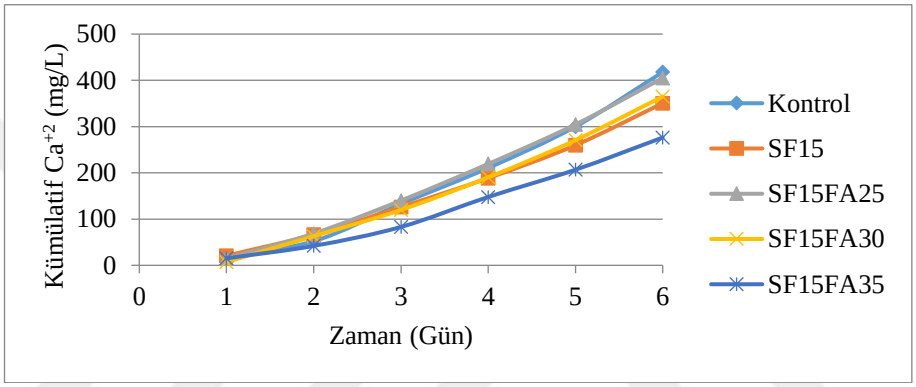
Zaman (Gün)	Kontrol	SF10	SF10FA25	SF10FA30	SF10FA35
			pH=3.5		
1	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
2	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
3	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
4	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
5	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
6	0.050	0.075	0.050	0.050	0.050
			pH=7.0		
1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
2	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
4	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
5	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
6	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
			pH=10.5		
1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
2	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
4	0.05	0.07	0.05	0.05	0.05
5	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
6	0.09	0.05	0.05	0.05	0.05

Çizelge 4.12. Kontrol, SF10, SF10FA25, SF10FA30 ve SF10FA35'in Mg^{+2} iyon salınımı (mg/L)

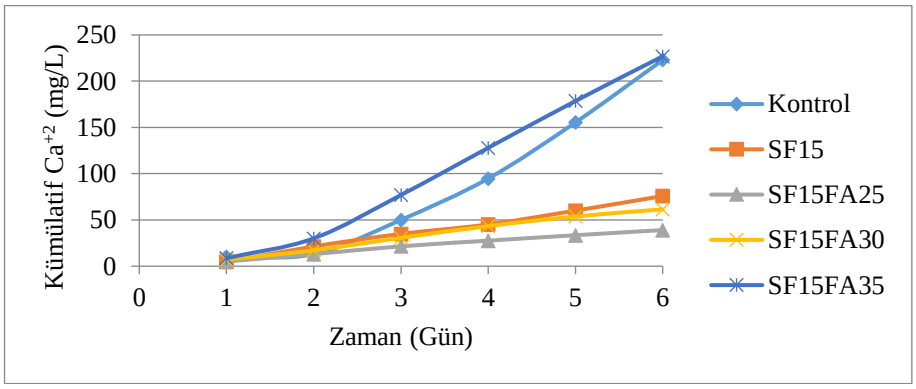
Zaman (Gün)	Kontrol	SF10	SF10FA25	SF10FA30	SF10FA35
			pH=3.5		
1	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
2	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
3	0.300	0.300	0.334	1.150	0.300
4	0.300	0.300	0.646	1.552	0.585
5	0.300	1.016	1.493	2.194	0.857
6	0.300	1.409	1.731	3.204	2.056
			pH=7.0		
1	0.05	0.19	0.05	0.71	0.05
2	0.05	1.34	0.02	1.12	0.69
3	0.05	1.13	0.36	0.40	0.80
4	0.05	1.79	0.49	1.22	1.08
5	0.05	2.37	0.69	1.09	1.24
6	0.05	3.09	1.23	1.52	1.61
			pH=10.5		
1	0.72	0.51	0.92	0.30	0.89
2	0.30	0.88	1.12	0.34	1.01
3	1.11	0.85	1.72	0.86	1.66
4	2.90	1.69	2.39	0.41	1.94
5	1.44	0.01	0.37	1.13	1.14
6	2.46	1.26	1.64	0.17	2.31



a) pH=3.5

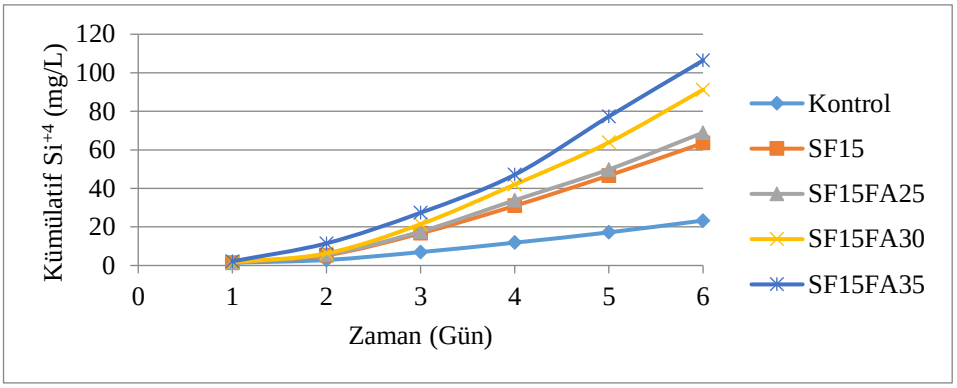


b) pH=7.0

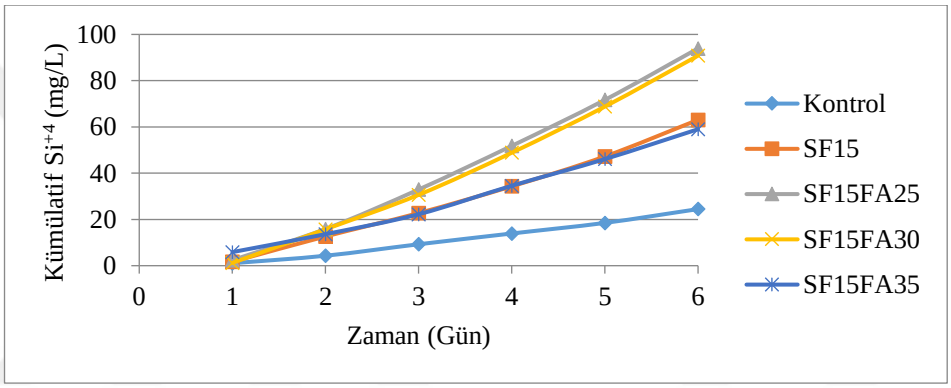


c) pH=10.5

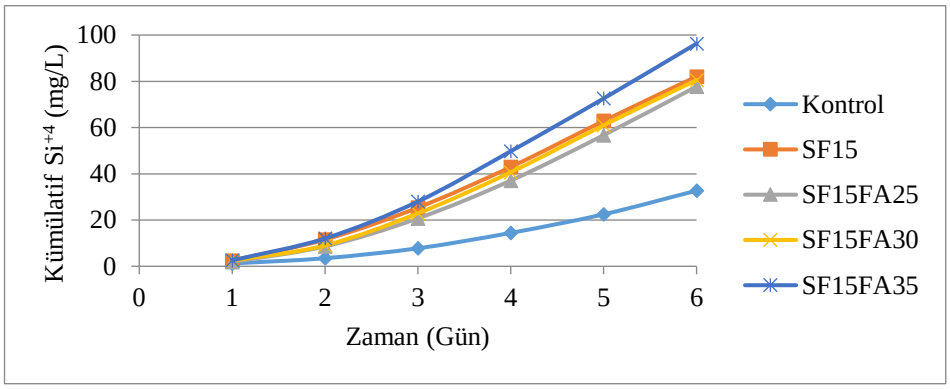
Şekil 4.11. Kontrol, SF15,SF15FA25, SF15FA30 ve SF15FA35 numunelerinde Ca^{+2} iyonu salınımı



a) pH=3.5



b) pH=7.0



c) pH=10.5

Şekil 4.12. Kontrol, SF15,SF15FA25, SF15FA30 ve SF15FA35 numunelerinde Si^{+4} iyonu salınımı

Çizelge 4.13. Kontrol, SF15, SF15FA25, SF15FA30 ve SF15FA35'in Al^{+2} iyon salınımı (mg/L)

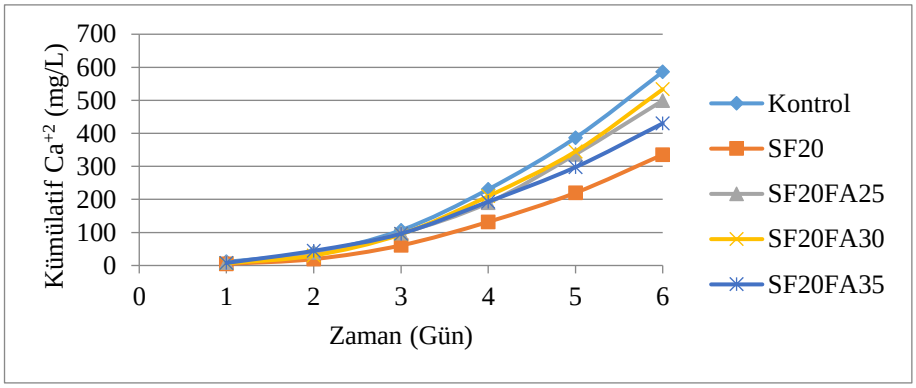
Zaman (Gün)	Kontrol	SF15	SF15FA25	SF15FA30	SF15FA35
			pH=3.5		
1	0.112	0.050	0.050	0.050	0.039
2	0.066	0.062	0.050	0.050	0.050
3	0.545	0.187	0.050	0.049	0.048
4	0.541	0.114	0.053	0.054	0.065
5	0.075	0.074	0.124	0.074	0.075
6	0.054	0.351	0.071	0.064	0.107
			pH=7.0		
1	0.091	0.050	0.050	0.050	0.050
2	0.392	0.09	0.05	0.05	0.12
3	1.426	0.67	0.05	0.05	0.05
4	0.829	0.05	0.05	0.05	0.70
5	0.050	0.05	0.05	0.05	0.05
6	0.050	0.05	0.05	0.05	0.05
			pH=10.5		
1	0.16	0.10	0.06	0.05	0.07
2	0.30	0.31	0.19	0.11	0.06
3	0.56	0.26	0.13	0.07	0.05
4	0.61	0.25	0.19	0.05	0.20
5	0.34	0.15	0.10	0.05	0.05
6	0.82	0.12	0.13	0.05	0.05

Çizelge 4.14. Kontrol, SF15, SF15FA25, SF15FA30 ve SF15FA35'in Fe^{+3} iyon salınımı (mg/L)

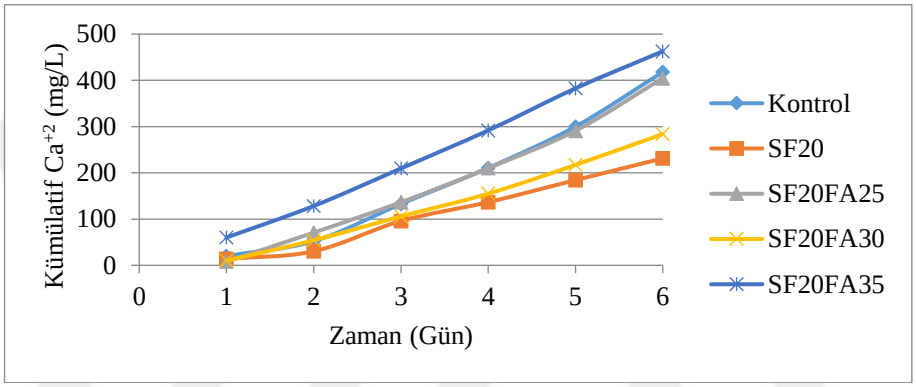
Zaman (Gün)	Kontrol	SF15	SF15FA25	SF15FA30	SF15FA35
			pH=3.5		
1	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
2	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
3	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
4	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
5	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
6	0.050	0.053	0.050	0.050	0.050
			pH=7.0		
1	0.05	0.050	0.05	0.05	0.05
2	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
4	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
5	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
6	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
			pH=10.5		
1	0.05	0.050	0.05	0.05	0.05
2	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
4	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
5	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
6	0.09	0.05	0.05	0.05	0.05

Çizelge 4.15. Kontrol, SF15, SF15FA25, SF15FA30 ve SF15FA35'in Mg^{+2} iyon salınımı (mg/L)

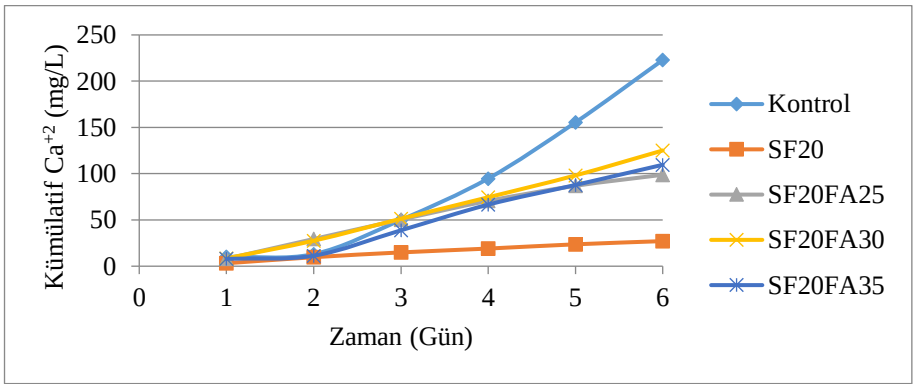
Zaman (Gün)	Kontrol	SF15	SF15FA25	SF15FA30	SF15FA35
			pH=3.5		
1	0.300	0.300	0.143	0.300	0.300
2	0.300	0.300	0.290	0.563	1.007
3	0.300	0.300	1.109	2.192	2.018
4	0.300	0.510	1.915	3.366	3.212
5	0.300	1.033	2.214	4.080	6.344
6	0.300	1.503	3.417	6.461	6.598
			pH=7.0		
1	0.05	0.050	0.05	0.05	0.05
2	0.05	0.05	0.02	1.29	0.05
3	0.05	0.05	0.36	1.16	0.05
4	0.05	0.05	0.49	1.70	0.05
5	0.05	0.05	0.69	1.96	0.05
6	0.05	0.05	1.23	2.46	0.05
			pH=10.5		
1	0.72	1.070	0.89	1.10	1.07
2	0.30	0.90	0.91	1.47	1.96
3	1.11	1.51	1.16	2.19	3.40
4	2.90	1.24	1.46	2.05	4.10
5	1.44	1.60	1.98	2.56	3.81
6	2.46	1.69	1.80	1.91	3.19



a) pH=3.5

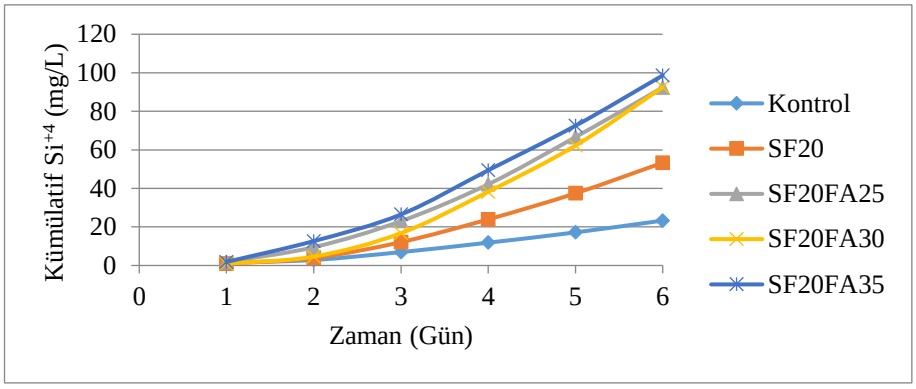


b) pH=7.0

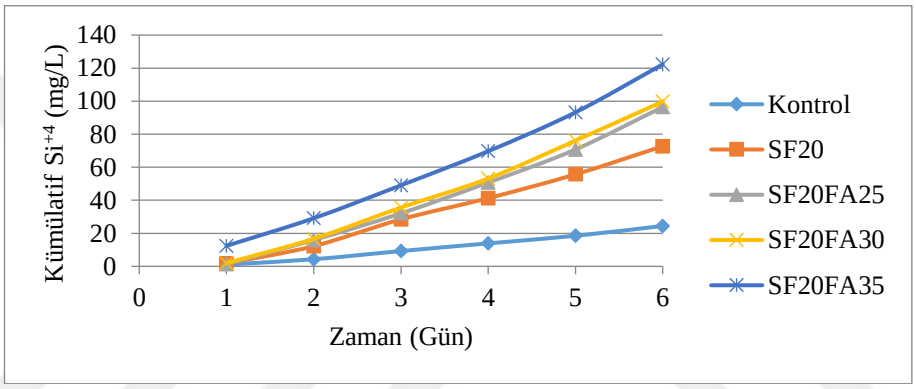


c) pH=10.5

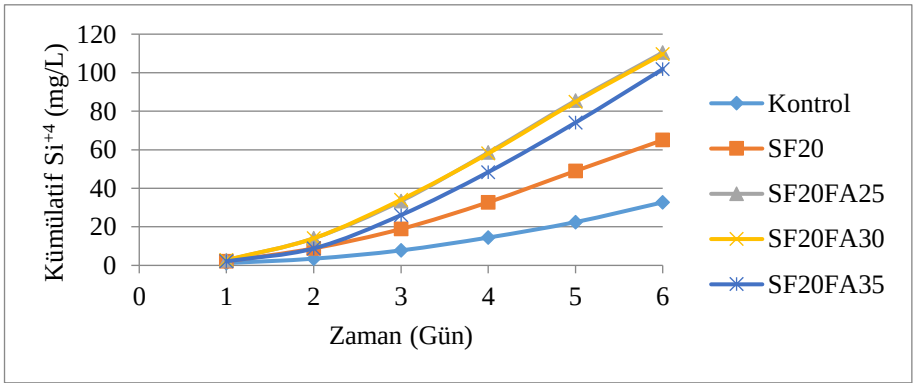
Şekil 4.13. Kontrol, SF20,SF20FA25, SF20FA30 ve SF20FA35 numunelerinde Ca^{+2} iyonu salınımı



a) pH=3.5



b) pH=7.0



c) pH=10.5

Şekil 4.14 Kontrol, SF20,SF20FA25, SF20FA30 ve SF20FA35 numunelerinde Si^{+4} iyonu salınımı

Çizelge 4.16. Kontrol, SF20, SF20FA25, SF20FA30 ve SF20FA35'in Al^{+2} iyon salınımı (mg/L)

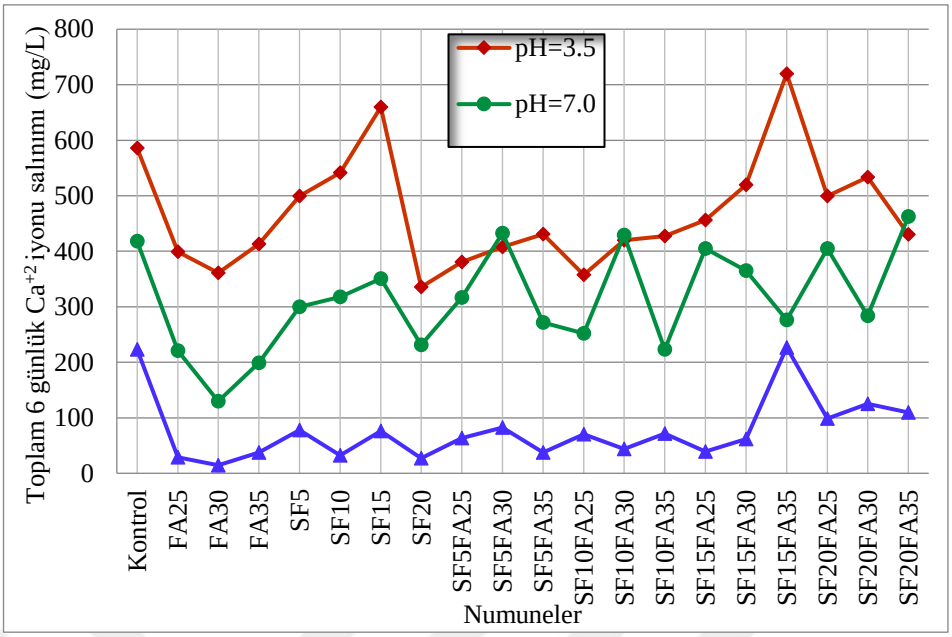
Zaman (Gün)	Kontrol	SF20	SF20FA25	SF20FA30	SF20FA35
			pH=3.5		
1	0.112	0.050	0.050	0.050	0.050
2	0.066	0.050	0.050	0.050	0.049
3	0.545	0.050	0.050	0.050	0.050
4	0.541	0.050	0.055	0.050	0.051
5	0.075	0.105	0.068	0.090	0.143
6	0.054	0.150	0.194	0.050	0.158
			pH=7.0		
1	0.091	0.050	0.05	0.05	0.05
2	0.392	0.094	0.05	0.05	0.05
3	1.426	0.050	0.05	0.05	0.05
4	0.829	0.050	0.05	0.47	0.05
5	0.050	0.050	0.05	0.05	0.05
6	0.050	0.050	0.05	0.05	0.05
			pH=10.5		
1	0.160	0.110	0.05	0.05	0.05
2	0.30	0.19	0.05	0.10	0.12
3	0.56	0.21	0.05	0.05	0.05
4	0.61	0.20	0.05	0.05	0.05
5	0.34	0.17	0.05	0.05	0.05
6	0.82	0.12	0.05	0.05	0.05

Çizelge 4.17. Kontrol, SF20, SF20FA25, SF20FA30 ve SF20FA35'in Fe^{+3} iyon salınımı (mg/L)

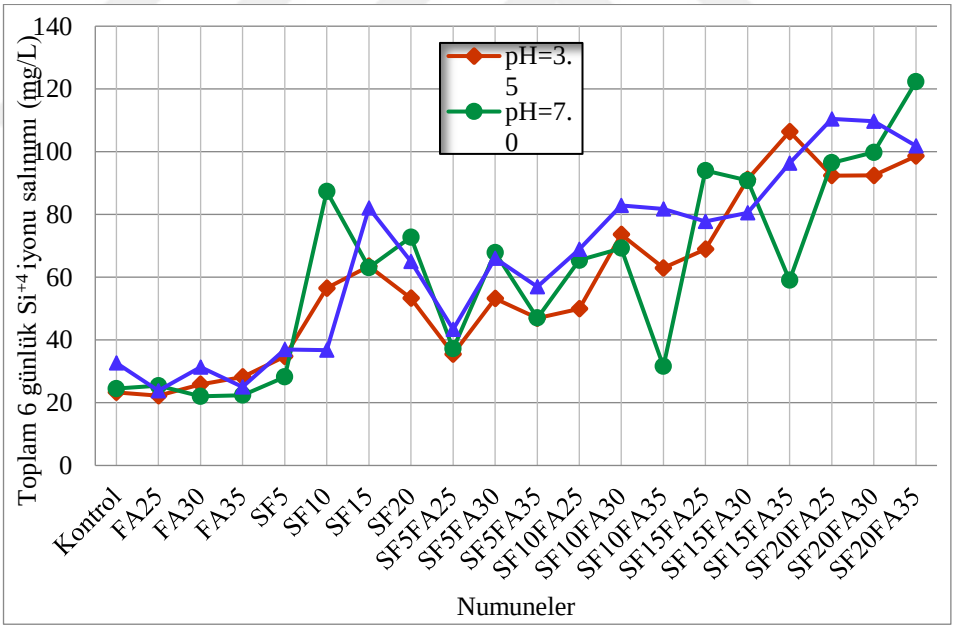
Zaman (Gün)	Kontrol	SF20	SF20FA25	SF20FA30	SF20FA35
			pH=3.5		
1	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
2	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
3	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
4	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
5	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
6	0.050	0.050	0.047	0.050	0.050
			pH=7.0		
1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
2	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
4	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
5	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
6	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
			pH=10.5		
1	0.05	0.050	0.05	0.05	0.05
2	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
4	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
5	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
6	0.09	0.05	0.05	0.05	0.05

Çizelge 4.18. Kontrol, SF20, SF20FA25, SF20FA30 ve SF20FA35'in Mg^{+2} iyon salınımı (mg/L)

Zaman (Gün)	Kontrol	SF20	SF20FA25	SF20FA30	SF20FA35
			pH=3.5		
1	0.300	0.300	0.300	0.300	0.498
2	0.300	0.300	0.739	0.300	0.711
3	0.300	0.300	1.586	1.717	1.148
4	0.300	0.300	2.525	3.721	2.101
5	0.300	0.469	4.184	4.536	2.400
6	0.300	1.072	4.705	6.756	3.358
			pH=7.0		
1	0.05	0.11	0.05	0.05	0.18
2	0.05	0.05	0.05	0.34	0.26
3	0.05	0.05	0.05	0.65	0.39
4	0.05	0.05	0.05	0.63	0.54
5	0.05	0.05	0.05	1.17	0.82
6	0.05	0.05	0.05	1.24	1.33
			pH=10.5		
1	0.72	0.620	1.17	0.93	1.07
2	0.30	1.09	1.65	1.62	0.91
3	1.11	2.00	2.26	3.41	2.71
4	2.90	0.70	3.97	3.25	1.28
5	1.44	1.02	2.01	4.05	2.51
6	2.46	0.97	2.13	3.15	1.49



Şekil 4.15. Tüm numunelerdeki Ca^{+2} iyonları salınımı miktarları



Şekil 4.16. Tüm numunelerdeki Si^{+4} iyonları salınımı miktarları

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasından aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur;

Portland çimentosu ile silis dumanın kullanıldığı ikili karışımlardan oluşan numunelerde, Portland çimentosunun ağırlıkça % 10 silis dumanı yer değiştirmesi durumunda basınçlı su geçirgenliği değeri en az olmuştur. Portland çimentosu, silis dumanı ve uçucu külün oluşturduğu üçlü karışım numunelerinden, Portland çimentosunun ağırlıkça % 10 silis dumanı ve % 35 uçucu külle yer değiştirdiği numunede basınçlı su geçirgenliği daha fazla azalmıştır.

Asidik ortama maruz bırakılan, Portland çimentosunun % 20 silis dumanıyla yer değiştirdiği ikili karışım numunesinde Ca^{+2} iyonu salınımı azalmıştır. Nötr ve bazik ortamlarda ise, Portland çimentosunun % 30 uçucu külle yer değiştirdiği numunenin Ca^{+2} iyonu salınımı düşmüştür. Portland çimentosu ile uçucu külün yer değiştirdiği ikili karşım numunelerinin asidik, nötr ve bazik ortamlarda Si^{+4} iyon salınımları, diğer ikili ve üçlü karışımlara kıyasla azalmıştır. Asidik, nötr ve bazik ortamlarda, tüm numunelerin Al^{+2}, Fe^{+3} ve Mg^{+2} iyon salınımları önemsenmeyecek düzeyde olmuştur.

KAYNAKLAR

ADENOT, F. and BUIL, M., 1992. Modelling of the corrosion of the cement paste by deionized water. Cement and Concrete research, 22:2-3,489-496.

BICZOK, I., 1967. Concrete Corrosion and Concrete Protection, Chemical Publishing Company, New York, p. 291.

BOROSNYÓI, A., 2016. Long term durability performance and mechanical properties of high performance concretes with combined use of supplementary cementing materials. Construction and Building Materials, 112:307-324.

BUIL, M., REVERTEGAT, E. and OLIVER, J., 1992. A model of the attack of pure water or undersaturated lime solutions on cement. In: Stabilization and Solidification of Hazardous, Radioactive, and Mixed Wastes: 2nd Volume. ASTM International, 1123:227-241.

CARDE, C., FRANÇOIS, R. and TORRENTI, J.M., 1992. Leaching of both calcium hydroxide and CSH from cement paste: Modeling the mechanical behavior. Cement and concrete research, 26(8):1257-1268.

CHANG, Z. T., 2005. Using limestone aggregates and different cements for enhancing resistance of concrete to sulphuric acid attack. Cement and Concrete Research, 35:1486-1494.

DURNING, T. A., 1991. Using microsilica to increase concrete's resistance to aggressive chemicals. Concrete international, 13(3):42-48.

ELRAHMAN, M. A. and HILLEMEIER, B., 2014. Combined effect of fine fly ash and packing density on the properties of high performance concrete: An experimental approach. Construction and Building Materials. 58:225-233.

FALESCHINI, F,. 2015. Valorization of co-combustion fly ash in concrete production. Materials and Design, 85:687-694.

FATTUHI, N. I. and HUGHES, B. P., 1988. The performance of cement paste and concrete subjected to sulphuric acid attack. Cement and Concrete Research, 18(4):545-553.

FAUCON, P., 1996. Leaching of cement: study of the surface layer. Cement and Concrete Research, 26(11):1707-1715.

HEWLETT, P., 2003. Lea's chemistry of cement and concrete. Butterworth-Heinemann, 1:1-2.

HİLL, R. L., BOYD, A. J., DONGELL, J. E., HİCHBORN, G., NEAL, R. E., NMAİ, C. K. and LEMİNG, M. L., 2008. Guide to Durable Concrete Reported by ACI Committee, 8:201-202.

HOBBS D. and MATTHEWS. J., 1998, Minimum requirements for concrete to resist chemical attack', in Hobbs D W (ed.), Minimum Requirements for Durable Concrete,Crowthorne, British Cement Association, s.131-162.

JAIN, J. and NEITHALATH, N., 2009. Analysis of calcium leaching behavior of plain and modified cement pastes in pure water. Cement and Concrete Composites, 31(3):176-185.

KAMALI, S., GÉRARD, B. and MORANVILLE, M., 2003. Modelling the leaching kinetics of cement-based materials-influence of materials and environment. Cement and Concrete Composites, 25(4):451-458.

KAMALI, S., MORANVILLE, M. and LECLERCQ, S., 2008. Material and environmental parameter effects on the leaching of cement pastes: experiments and modelling. Cement and Concrete Research, 38(4): 575-585.

MAINGUY, M., 2000. Modelling of leaching in pure cement paste and mortar. Cement and Concrete Research, 30(1):83-90.

MARCHAND, J., 2001. Influence of calcium hydroxide dissolution on the transport properties of hydrated cement systems. Reactions of calcium hydroxide in concrete. Westerville, OH: American Ceramic Society, s.113-129.

MATTE, V. and MORANVILLE, M., 1999. Durability of reactive powder composites: influence of silica fume on the leaching properties of very low water/binder pastes. Cement and Concrete Composites, 21(1):1-9.

MEHTA, P. K. and MONTEIRO, P.J.M., 1993. Concrete: structure, properties, and materials. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, p.548.

MEHTA, P.K. and GERWICK, B.C., 1982. Cracking-Corrosion Interaction in Concrete Exposed to Marine Environment. Concrete International, 4(10):45-51.

MEHTA, P. K., 1985.`Studies on chemical resistance of low water/cement ratio concretes', Cement and Concrete Research, 15:969-978.

MONTENY, J., 2000. Chemical, microbiological, and in situ test methods for biogenic sulfuric acid corrosion of concrete. Cement and Concrete Research, 30(4): 623-634.

MONTENY, J., DE BELIE, N., TAERWE, L., 2003. Resistance of different types of concrete mixtures to sulfuric acid. Materials and Structures, 36(4):242-249.

RAMEZANIANPOUR, A. A., 2011. Practical evaluation of relationship between concrete resistivity, water penetration, rapid chloride penetration and compressive strength. Construction and Building Materials, 25(5):2472-2479.

ROSTAMI, M. and BEHFARNIA, K., 2017. The effect of silica fume on durability of alkali activated slag concrete. Construction and Building Materials, 134:262-268.

ROY, D. M., ARJUNAN, P. and SILSBEE, M. R., 2001. Effect of silica fume, metakaolin, and low-calcium fly ash on chemical resistance of concrete. Cement and Concrete Research, 31(12):1809-1813.

SIAD, H., 2010. Effect of mineral admixture on resistance to sulphuric and hydrochloric acid attacks in self-compacting concrete. Canadian journal of civil engineering, 37(3):441-449.

TAMIMI, A. K., 1997. High-performance concrete mix for an optimum protection in acidic conditions. Materials and Structures, 30(3):188-191.

TORII, K., and KAWAMURA, M., 1994. Effects of fly ash and silica fume on the resistance of mortar to sulfuric acid and sulfate attack. Cement and Concrete Research, 24(2):361-370.

TURK, K., 2012. Viscosity and hardened properties of self-compacting mortars with binary and ternary cementitious blends of fly ash and silica fume. Construction and Building Materials, 37:326-334.

VAN EIJK, R. J. and BROUWERS, H. J. H., 1998. Study of the relation between hydrated Portland cement composition and leaching resistance. Cement and concrete research, 28(6):815-828.

WEE, T. H., 2001. Resistance of blended cement pastes to leaching in distilled water at ambient and higher temperatures. Materials Journal, 98(2):184-193.

YAMATO, T. and EMOTO, Y., 1989. Chemical resistance of concrete containing condensed silica fume. Special Publication, 114:897-914.

ZIARI, H., HAYATI, P. and SOBHANI, J., 2014. Airfield self-consolidating concrete pavements (ASCCP): Mechanical and durability properties. Construction and Building Materials, 72:174-181.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Nuray ÇEKİLMEZ

Uyruğu : T.C.

Doğum Yeri ve Tarihi : Merkez / ŞANLIURFA - 1989

Telefon : (0542) 203-11-23

Faks : -

e-mail : nuraycekilmez63@gmail.com

EĞİTİM

DERECE	Adı,İlçe,İl	Bitirme Yılı
İlköğretim	:İbrahim Tatlıses İlköğretim Okulu	2003
Lise	:Şanlıurfa Anadolu Lisesi	2007
Üniversite	:Harran Üniversitesi Merkez/ŞANLIURFA	2014

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2014	Elit Uzman Yapı Denetim	Kontrol Mühendisi
2016	ŞUSKİ (Şanlıurfa Su ve Kanalizasyon İdaresi)	İnşaat Mühendisi

UZMANLIK ALANI : Yapı Malzemesi

YABANCI DİLLER

İngilizce