



**T.C.
RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**PİRİTLİ İNCE AGREGANIN SAHA BETONLARININ YÜZEY
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Muhammet Emin AYDIN

**Danışman
Prof. Dr. İlker USTABAŞ**

**RİZE
2023**

KABUL VE ONAY

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında, Prof. Dr. İlker USTABAŞ danışmanlığında, Muhammet Emin AYDIN tarafından hazırlanan *Piritli İnce Agreganın Saha Betonlarının Yüzey Özelliklerine Etkisi* adlı bu tez çalışması, 23/11/2023 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliğiyle/~~oy çokluğuyla~~ başarılı bulunarak jürimiz tarafından **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı, Adı SOYADI	İmza
Başkan	: Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU	
Üye	: Prof. Dr. İlker USTABAŞ	
Üye	: Prof. Dr. Ayberk KAYA	

ETİK BEYAN

İnşaat Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programından mezun olmak üzere teslim ettiğim “Piritli İnce Agreganın Saha Betonlarının Yüzey Özelliklerine Etkisi” adlı tezim, bilim ve araştırma etiği prensiplerine riayet edilerek tarafımdan yazılmıştır.

Tez çalışmamda, başka kaynaklardan aktarılan bütün bilgi ve alıntılar, Enstitünüz Tez Yazım Kılavuzuna uygun olarak açıkça gösterilmiştir. Kaynağı gösterilenler dışında kalan bütün bilgiler uygun araştırma yöntemi kullanılarak tarafımdan edinilmiş ve esere bu şekilde yansıtılmıştır. Şahsıma ait olmayan hiçbir bilgi, kasıt veya kusurlar, şahsıma aitmiş gibi gösterilmemiştir. İnternet kaynakları dâhil, sahibine/kaynağına atıf yapılmaksızın hiçbir bilgi kullanılmamıştır. Aksinin ortaya çıkması halinde doğacak bütün hukuki, idari, akademik ve etik sorumluluk tarafıma ait olacaktır. Eserin tesliminden sonra herhangi bir zamanda, bilim etiğine aykırılık tespit edilmesi ve / veya eserimle ilgili intihal veya intihal şeklinde anlaşılabilecek bir durumun ortaya çıkması halinde; Üniversiteniz ve eğitim kadronuzun hiçbir şekilde sorumlu tutulmayacağını hür irademle kabul, beyan ve taahhüt ederim.

23/11/2023

Muhammet Emin AYDIN

ÖN SÖZ

Piritli ince agreganın beton yüzey özelliklerini nasıl etkilediğinin tespit edildiği bu çalışma, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda "Yüksek Lisans Tezi" olarak hazırlandı.

İnsanlarda düşme veya araçlarda kayma riski oluşturan ve görüntü kirliliğine sebebiyet veren yosunların önüne geçme amacıyla bu çalışmayı yapma imkânı sağlayan, yüksek lisans eğitimim sürecinde ve tez aşaması boyunca numune temini, bilgi paylaşımı ve önerilerde bulunarak her daim destek olan çok değerli danışmanım Prof. Dr. İlker USTABAŞ'ı teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Hayatımın her anında yanımda olan, verdiğim kararlarda desteklerini her zaman arkamda hissettiğim maddi ve manevi yanımda olan canım eşim; Duygu AYDIN'a tüm kalbimle teşekkür ederim.

Muhammet Emin AYDIN
2023-RİZE

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	I
ETİK BEYAN.....	II
ÖN SÖZ	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÖZET	VI
ABSTRACT.....	VII
KISALTMALAR.....	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	IX
ŞEKİLLER LİSTESİ	X
GİRİŞ	1
1.GENEL BİLGİLER	4
1.1.Betonda Bozulma Mekanizmaları	4
1.2. Betonda Biyolojik Bozulma.....	8
1.2.1. Biyolojik Bozulma Mekanizmaları.....	10
1.2.1.1. Dolaylı Biyolojik Bozulma Mekanizmaları.....	12
1.2.1.2. Doğrudan Biyolojik Bozulma Mekanizmaları.....	12
1.3. Beton Yüzey İyileştirmeleri.....	16
1.4. Betonda Kullanılan Yüzey Sertleştiriciler ve Yüze Etkisi.....	17
1.5. Betonda Yosunlaşma	20
1.6. Yosun Önleyici Yapı Malzemesi Katkıları ve Yosunlaşmayı Önlemek İçin Alınan Tedbirler.....	26
1.7. Pirit Minerali ve Üretim Yerleri	31
1.8. Literatür Özeti.....	33
2.YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	37
2.1. Betonda Kullanılan Malzeme Özellikleri ve Beton Tasarımı.....	37
2.2. Beton Numunelere Uygulanan deneyler.....	40
2.2.1. Su Emme Miktarının Belirlenmesi	40
2.2.2. Basınç Dayanımı Deneyi	41
2.2.3. Eğilme Dayanımı Deneyi.....	42
2.2.4. Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi	43

2.2.5. Kayma Direnci ve Sürtünme Deneyi	44
2.2.6. Aşınma Direnci Deneyi	45
2.2.7. Mikro Yapısal Analizler	46
2.2.8. Yosunlaşmadan Kaynaklı Renk Değişiminin Belirlenmesi.....	46
3. BULGULAR.....	48
4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	57
KAYNAKÇA.....	64



Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Tez Türü : Yüksek Lisans

Danışman : Prof. Dr. İlker USTABAŞ

Hazırlayan : Muhammet Emin AYDIN

Yıl : 2023

Sayfa Sayısı : 69

ÖZET

PİRİTLİ İNCE AGREGANIN SAHA BETONLARININ YÜZEY ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Bakır Madeninden temin edilen Pirit mineralli kayaçların ince agregası olarak beton ile çeşitli varyasyonlarda kullanmak amacıyla çalışmamızın birinci aşamasında, Piritli ince agreganın beton içerisinde ince agregası olarak kullanıldığında betonun özelliklerine etkisini belirlemek için yapılan beton dizaynındaki kum ve kırma kum toplam kütlelerinin %0, %2,5 ve %7,5'lik kısmı yerine öğütülmüş piritli ince agregası kullanılarak PB0, PB2,5 ve PB7,5 olmak üzere 3 farklı beton dizaynı elde edilmiştir. PB0, PB2,5 ve PB7,5 dizaynlarına sahip betonlardan 3'er adet olmak üzere toplamda 9 Adet 10x10x10 mm ebatlarında üretilen numunelerde su emme ve basınç dayanımı ölçümleri 28 Gün kür uygulanmış numunelerin ortalama değerleri baz alınarak PB0 Referans numunesine oranla PB2,5 numunesinde su emme miktarı %0,02 artarken basınç dayanımı %12,00 azalmıştır ve PB7,5 numunesinde ise su emme miktarı %0,41 artarken basınç dayanımı %21,32 azalmıştır. Daha sonrasında PB0, PB2,5 ve PB7,5 dizaynlarına sahip betonlardan 2'şer adet olmak üzere toplamda 6 Adet 80x100x200 mm ebatlarında üretilen numunelerde eğilme ve yarmada çekme dayanımı deneyleri sonucunda 28 Gün kür uygulanmış numunelerin ortalama değerleri baz alınarak değerlendirme yapıldığında PB0 Referans numunesine oranla PB2,5 numunesinde Eğilme dayanımında %18,44 ve Yarmada Çekme Dayanımında %17,61 artış gösterirken PB7,5 numunesinde ise Eğilme Dayanımında %38,08 ve Yarmada Çekme Dayanımı %38,03 artış ölçülmüştür. Çalışmamızın ikinci aşamasında ise piritli ince agregası beton yüzeyinde kullanıldığında beton yüzey özelliklerine etkisini belirleme amacıyla 3 Adet 50x240x500 ebatlarında beton numunelerin yüzeyine 0 kg/m², 1 kg/m² ve 3 kg/m² oranlarında piritli ince agregası uygulanmıştır. Piritli ince agregalı numunelerin farklı çevresel etkiler altındaki yüzey davranışlarını belirlemek amacıyla kapalı bir ortam içerisinde numunelerin üzerine sabit debide 2 ay boyunca temiz su damlatılarak gözlemlenmiştir. Sonrasında ise 3 Adet numuneden 50x80x200 ebatların 6 Adet numune kesilerek her numunenin 3'er adeti üzerinde sürtünme, aşınma ve kütle kaybı deneyleri yapılmıştır. Diğer kalan numunelerde ise açık ortam koşullarında kirli suya maruz bir kanal içerisinde 2 ay boyunca gözlemlenerek süreç sonunda Sem, Eds ve Xrd İncelemeleri yapılmıştır. Sürtünme, aşınma ve kütle kaybı deneylerinde yapılan ölçümlerde 0 kg/m² Referans numunesine oranla 1 kg/m² numunesinde Sürtünmede %18,44 artış, Aşınma uzunluğunda 3 mm azalma ve %0,07 daha az kütle kaybı olurken 3 kg/m² numunesinde Sürtünmede %33,86 artış, Aşınma uzunluğunda 4 mm azalma ve %1,30 daha az kütle kaybı ölçülmüştür.

Bu çalışma sonucunda piritli ince agreganın beton karışımında veya yüzeyinde kullanılabileceği görülmüştür. Piritli ince agreganın beton karışımında kullanıldığında eğilme ve yarmada çekme dayanımlarına olumlu yönde etki ederken su emme miktarını artırarak basınç dayanımının azalmasına neden olduğu, Yüzeyde kullanıldığı durumda ise mekanik olarak sürtünmeyi artırdığı, aşınma ve kütle kaybını azalttığı biyolojik olarak yosunlaşmayı geciktirdiği yapılan incelemelerle tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yosunlar, Pirit, Beton, Mekanik Özellikler, Yüzey Özellikleri

Recep Tayyip Erdogan University Graduate Education Institute

Department : Civil Engineering
Thesis Type : Master's Thesis
Supervisor : Prof. Dr. İlker USTABAŞ
Author : Muhammet Emin AYDIN
Year : 2023
Pages : 69

ABSTRACT

THE EFFECT OF PYRITHIC FINE AGGREGATE ON THE SURFACE PROPERTIES OF FIELD CONCRETE

In the first stage of our study in order to use Pyrite mineral rocks obtained from the Copper Mine as fine aggregate with concrete in various variations, we used 0%, 2.5% of the total mass of sand and crushed sand in the concrete design to determine the effect of Pyrite fine aggregate on the properties of concrete when used as fine aggregate in concrete. Three different concrete designs, PB0, PB2.5 and PB7.5, were obtained by using fine aggregate with ground pyrite instead of 7.5% of the concrete. Water absorption and compressive strength measurements were made on a total of 9 samples produced in 10x10x10 mm dimensions, 3 of which were concretes with PB0, PB2.5 and PB7.5 designs. Based on the average values of the samples with 28-day cure, water absorption was observed in the PB2.5 sample compared to the PB0 Reference sample. While the absorption amount increased by 0.02%, the compressive strength decreased by 12.00%, and in the PB7.5 sample, while the water absorption amount increased by 0.41%, the compressive strength decreased by 21.32%. Later, when an evaluation was made based on the average values of the samples with 28-day curing as a result of bending and splitting tensile strength tests on a total of 6 samples produced with dimensions of 80x100x200 mm, 2 of which were concretes with PB0, PB2.5 and PB7.5 designs, PB0 was compared to the Reference sample. In the PB2.5 sample, an increase of 18.44% in bending strength and 17.61% in splitting tensile strength was measured, while in the PB7.5 sample, an increase of 38.08% in bending strength and 38.03% in splitting tensile strength was measured. In the second stage of our study, pyrite was applied to the surface of 3 concrete samples with dimensions of 50x240x500 at the rates of 0 kg/m², 1 kg/m² and 3 kg/m² in order to determine the effect of pyrite on the concrete surface properties when used on the concrete surface. In order to determine the surface behavior of pyritic samples under different environmental effects, they were observed by dropping clean water at a constant flow rate on the samples in a closed environment for 2 months. Afterwards, 6 samples of 50x80x200 dimensions were cut from 3 samples and friction, wear and mass loss tests were carried out on 3 of each sample. The remaining samples were observed for 2 months in a channel exposed to dirty water in open environmental conditions and Sem, Eds and Xrd Examinations were performed at the end of the process. In the measurements made in friction, wear and mass loss tests, there was an 18.44% increase in friction, a 3 mm decrease in wear length and 0.07% less mass loss in the 1 kg/m² sample compared to the 0 kg/m² reference sample, while there was a %18.44 increase in friction in the 3 kg/m² sample. 33.86% increase, 4 mm decrease in wear length and 1.30% less mass loss were measured.

As a result of this study, it was seen that pyrite fine aggregate can be used in the concrete mixture or on its surface. It has been determined through investigations that when used in the concrete mixture, pyrite fine aggregate has a positive effect on bending and splitting tensile strength, while increasing the amount of water absorption and causing a decrease in compressive strength. When used on the surface, it increases mechanical friction, reduces wear and mass loss, and biologically delays algae formation.

Keywords: Algae, Pyrite, Concrete, Mechanical Properties, Surface Properties

KISALTMALAR

PUA	:	Poliüre su geçirmez yapıştırıcı
PUR	:	Poliüretan su geçirmez kaplama
IS	:	Demir sac
SEM	:	Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	:	X-Işınları difraktometrisi
C.N.R.S.	:	Centre national de la recherche scientifique
TDA	:	Termal diferansiyel analizi
DCE	:	İkili kristalizasyonu su geçirmezlik işlemi
UV	:	Ultraviyole
TiO ₂	:	Titanyum dioksit
DMSO	:	Dimetil sülfoksit
DYK	:	Doygun Kuru Yüzey
GD	:	Geniş Disk
MTA	:	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
HCW-P	:	Ağır ve Pirit Kullanılmış Beton
MPa	:	Megapascal
MDF	:	Orta yoğunluklu lifli levha
PB0	:	Kum ve Kırma kum toplam kütlelerinin Yüzde Sıfırı Piritli ince agrega olan numune
PB2,5	:	Kum ve Kırma kum toplam kütlelerinin Yüzde iki buçuğı Piritli ince agrega olan numune
PB7,5	:	Kum ve Kırma kum toplam kütlelerinin Yüzde yedi buçuğı Piritli ince agrega olan numune
RGB	:	Kırmızı, Yeşil ve Mavi

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Betonun Bozulma Mekanizması	5
Tablo 2. Biyolojik Bozulma Mekanizma Şeması	11
Tablo 3. Yaşam Süreçleri Işığında Yeşil Alglerin Biyolojik Olarak Bozulma Potansiyeli	14
Tablo 4. Yapı Malzemeleri Türleri Üzerinde Bulunan Hava Yeşil Alg Türleri	22
Tablo 5. Yüzeylerin Alglerden Korunması veya Kaldırılması İçin Kullanılan Yöntemler.....	31
Tablo 6. Önemli Ölçüde Pirit Üretilen Bölgeler	32
Tablo 7. Pirit Malzemesinin Özellikleri.....	32
Tablo 8. Piritli Agrega Elekten Geçen (%) Değerleri	37
Tablo 9. Agrega Özellikleri.....	38
Tablo 10. 1 m ³ için Beton Birleşime Giren Malzeme Miktarları (Kilogram).....	39
Tablo 11. PB0, PB2,5 ve PB7,5 100x100x100mm Numunelerde Betonlarının Basınç Dayanım ve Su Emme Değerleri.....	48
Tablo 12. PB0, PB2,5 ve PB7,5 80x100x200mm Numunelerde Betonlarının Eğilme ve Yarmada Çekme Dayanımları	48
Tablo 13. 80x100x200mm Numunelerinde Sürtünme, Aşınma ve Kütle Kaybı Değerleri.....	49
Tablo 14. 50x240x500 mm Ebatlarındaki Numuneden Kesilerek Elde Edilen 50x80x200 mm Numunelerine Ait Sürtünme Kütle Kaybı ve Eğilme Dayanımı	49

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Aşınma, Erozyon ve Kavitasyon Hasarları Betonun Fiziksel Etkenlerle Bozulması.....	6
Şekil 2. Asit Çözeltisi Etkisi Altında Sertleşmiş Beton Yüzeyindeki Deformasyon Mekanizması	7
Şekil 3. Asit Etkisiyle Bozulmuş Bir Kanalizasyon Tüneli Betonun Kimyasal Etkenlerle Bozulması	7
Şekil 4. SEM Fotoğrafları (a) CS; (b) Algler; (c) Imp-Alg-kütlece %25 CS; ve (d) Imp-Alg-ağ %25 CS yüklü Cd(II)	9
Şekil 5. a) Weberfloor YS-1 b) Weberfloor YS-4 c) Weberfloor YS-6 25 Kg Paketler	18
Şekil 6. a) Master Top 200 b) Master Top 430 Ürünleri.....	19
Şekil 7. Fox Bau Professional 25 Kg Paketler.....	19
Şekil 8. Yeşil Hava Algleri Evreleri.....	21
Şekil 9. Yeşil Alg Soyları Arasındaki Evrimsel İlişkiler.....	26
Şekil 10. Pirit Minerali Görseli.....	32
Şekil 11. Çeneli Kırıcıda Piritli Kayaç'ın Öğütülmesi	37
Şekil 12. Tasarlanan Betonun Granülometri Eğrisi.....	38
Şekil 13. Beton Karıştırıcı ve Numune Kalıplarına Yerleştirilen Beton	39
Şekil 14. Kür Uygulanan Numuneler	40
Şekil 15 (a) Hava Kuru Tartım (b) Etüv Kuru Tartım	41
Şekil 16. Basınç Dayanımı Ölçüm Cihazı	42
Şekil 17. Eğilme Deneyi.....	43
Şekil 18. Yarmada Çekme Deneyi	44
Şekil 19. Sürtünme Katsayısı Deneyi	45
Şekil 20. (a) Dikey Aşınma Cihazı (b) Deney Uygulanmış Numune	45
Şekil 21. a) X- Işını Difraktometrisi (XRD) cihazı b) Taramalı Elektron mikroskopu	46
Şekil 22. 50x240x500 mm numuneler a) Brüt Beton b) 1kg/m ² Piritli İnce Agrega Uygulanmış Numune c) 3kg/m ² Piritli İnce Agrega Uygulanmış Numune d) Deney Düzeneği	47

Şekil 23. 50x240x500 mm Numune 2 Aylık Sürecin Sonunda Betondaki Renk Değişimi	50
Şekil 24. 50x240x500 mm Numunelerden Kesilerek Elde Edilen 50x80x200 Ebatlarındaki Numunelerin Kirli Su Kanaldaki a) İlk Gün Görüntüsü b) 2 Ay Sonraki Görüntüsü.....	51
Şekil 25. Sem Analizi Yapılmış Numunelere Ait x1,000 Kez Yaklaştırılmış Görüntüler	52
Şekil 26. EDS Spektroskopileri a) PB0 b) PB 2,5 c) PB 7,5.....	54
Şekil 27. PB0 (1), PB2,50 (2) ve PB7,50 (3) Numunelerine Ait XRD Sonuçları.....	55
Şekil 28. PB0, PB2,5 ve PB7,5 80x100x200 mm Numuneleri ve 0 kg/m ² , 1kg/m ² ve 3 kg/m ² 50x80x200 Numunelerine Ait Dikey Aşınma Uzunlukları	57
Şekil 29. 80x100x200 mm Ebatlarındaki Numunelerin Eğilme ve Yarmada Çekme Grafikleri	58
Şekil 30. PB0, PB2,5 ve PB7,5 80x100x200 mm Numuneleri ve 0 Kg/m ² , 1Kg/m ² ve 3 Kg/m ² 50x80x200 Numunelerine Ait Aşınma Deneyi Sonucu Ağırlık Kayıpları.....	59
Şekil 31. 100x100x100 Ebatlarındaki Numunelerin Basınç Dayanımı ve Su Emme Grafikleri	59
Şekil 32. PB0, PB2,5 ve PB7,5 80x100x200 mm Numuneleri ve 0 Kg/m ² , 1Kg/m ² ve 3 Kg/m ² 50x80x200 Numunelerine Ait Sürtünme Katsayıları	60
Şekil 33. PB0, PB2,5 ve PB7,5 80x100x200 mm Numuneleri ve 0 Kg/m ² , 1Kg/m ² ve 3 Kg/m ² 50x80x200 Numunelerine Ait Eğilme Dayanımları	60
Şekil 34. PB0, PB2,5 ve PB7,5 80x100x200 mm Numuneleri Ait EDS Grafiği	61
Şekil 35. 0 Kg/m ² , 1Kg/m ² ve 3 Kg/m ² 50x80x200 mm Numunelerin a) 2 Ay Boyunca Temiz Suya Maruz Kalmış Numuneler b) 2 Ay Boyunca Kirli Suya Maruz Kalmış Numune.....	62

GİRİŞ

İnsanlarda düşme; önemli oranda can kaybına veya bedensel uzuvların fonksiyonlarında azalmaya neden olan bir kaza türüdür. Aynı zamanda düşme önemli bir kamu güvenliği sorunudur. Kuzey Kutbundaki İskandinav Bölgesinde yaralanmalara sebebiyet veren kaymalar ve düşmelerin başlıca nedenleri yüzeylerin genellikle buzlu ve karlı oluşundandır (Laurence Z. Rubenstein MD, MPH,2006). İnsanlar fizyolojik, biyolojik ve psikolojik faktörler nedeniyle daima kayma ve düşme riskleriyle karşı karşıyadırlar. İnsanların bu riskler karşısında güvenliğini artırmak ve kayma, düşme risklerini azaltmak için sebebiyet veren faktörler oluşmadan engellenmelidir (Gao ve Abeysekera, 2004).

Yayaların ve Araçların ulaşımında kullanılan yollarda, endüstri üzerine çalışmalar gösteren gıda, kimya, ilaç gibi işletmelerin üretim tesislerinde, insanların boş vakitlerinde zamanlarını geçirdikleri mesire alanlarında, eğitim ve öğretim için kullanılan yapıların çevresindeki dinlenme alanlarında yaygın olarak beton kullanılmaktadır. Beton diğer yapı malzemelerine kıyasla düşük maliyetli ve dayanıklı bir yapı malzemesi olması nedeniyle kullanımı sürekli artmaktadır. Bu sebeple beton ürünüyle inşa edilen yollar, sahalar, otoparklar ve alanlarda kullanım gördüğü sürece daima bozulma mekanizmalarının etkisindedir (Ustabas, 2012).

İnsan yapımı tüm yapı malzemelerinin zaman geçtikçe fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörlerin etkisine sürekli maruz oluşundan bozulması kaçınılmazdır (Nowicka-Krawczyk et al, 2019). Biyolojik canlılar betonun bozulmasına yol açan faktörlerden biridir. Özellikle nemli ortamlarda beton yüzeylerinde yosun ve mantarlar oluşabilmektedir (R.P. George,2013). Yosunlar (Yeşil Algler) bulundukları yüzeylerde oyulmalara sebebiyet verebilirler, etkilenen yüzeylerde nem tutarlar. Bazı yosun türlerin de ıslanma ve kurumadan dolayı genişip büzüşebilir buda taş veya beton bir yüzeyin pullanmasına veya parçalanmasına neden olabilecek fazla miktarda balçık üretir. Bu çamur tabakaları kaldırım taşları ile saha betonları üzerinde kaygan bir zemin oluşturarak güvenlik tehlikesi yol açar (A Eklund, 2013).

Bu çalışmada beton yüzey özelliklerini iyileştirmek amacıyla öğütülerek ince agrega boyutuna getirilmiş piritli agrega kullanılmıştır. Piritli agreganın beton yüzeyinde ve beton karışımında kullanılmasının beton özelliklerindeki etkisi

araştırılmıştır. Pirit minerali içeren kayaçların çeneli kırıcılarda kırılıp bilyeli değirmenlerde öğütülerek istenilen inceliğe getirildikten sonra betonda ince agrega olarak ikame edilmesi ve beton yüzeyine serpilerek betona tatbik edilmiştir. Pirit mineralinde demir sülfür (FeS) bileşiği mevcuttur. Demir sülfür zaman içerisinde hidrojen sülfüre ya da sülfatlara dönüşebilen malzemelerdir ve betonda piritin kullanımı hassas olarak incelenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada ince agrega olarak beton yüzeyine serpilerek ve beton içerisinde kullanılan piritli kayacın, beton yüzey ve mekanik özelliklerini nasıl etkilediği araştırılmıştır.

Piritli ince agreganın beton yüzeyinde kullanıldığı birinci kısım çalışmada deneysel olarak saha betonlarında bozulmaya neden olan ortam koşullarını oluşturmak amacıyla içi su dolu bir su tankından beton yüzeyine serpilerek piritli ince agrega miktarları 0 kg/m² 1 kg/m² 3 kg/m² olmak üzere 3 Adet 50x240x500 mm ebatlarında Beton numune üzerine 2 Ay boyunca eşit ve sabit debide temiz su damlatılarak ve daha sonrasında bu numunelerden kesilerek her numuneden 3'er tane olmak üzere toplamda 9 Adet 50x80x200 mm ebatlarındaki numunelerde 2 Ay boyunca kirli su kanalında bekletilerek zaman içerisinde beton üzerindeki bozulmadan kaynaklı renk değişimleri gözlemlenerek detaylı incelemeleri (taramalı elektronik mikroskopu) SEM ve (X-Işınları difraktometresi) XRD yöntemleri ile ölçülecek ve Sürtünme katsayısı ile Aşınma direnci ölçümü yapılacaktır. Piritli ince agreganın beton karışımında kullanıldığı ikinci kısım çalışmada kum ve kırma kum toplam ağırlığının %0, %2,5 ve %7,5 oranlarındaki kısmının yerine pirit ince agregası kullanılarak üretilen betondan her orandan 3 adet 100x100x100 mm ebatlarında numuneler olmak üzere toplamda 9 Adet numune ile betonun su emme ve basınç dayanımı ölçümleri yapılacaktır ve aynı oranlarda üretilen her orandan 2 adet 80x100x200 mm numuneler olmak üzere toplamda 6 Adet numune ile betonun Sürtünme katsayısı, Aşınma direnci, Eğilme Dayanımı ve Yarmada çekme Dayanımı ölçülerek Piritli ince agreganın Yosunlaşmayı önlemede kullanılabilirliğini araştırırken aynı zamanda betonun özelliklerine karşı olumlu veya olumsuz nasıl bir etki gösterileceği araştırılacaktır.

Bu amaçla çalışmanın birinci bölümde betonda bozulma mekanizmalarından biri olan biyolojik bozulmalar hakkında bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde beton yüzey iyileştirmeleriyle kullanılan katkıları araştırılmıştır ve Beton ile Yapı Malzemelerinde yosunlaşmayı önlemede alınan tedbirlere değinilmiştir. Üçüncü ve

son bölümde pirit minerali ve beton üzerindeki etkileri değerlendirilmiş ve öneriler sunulmuştur.



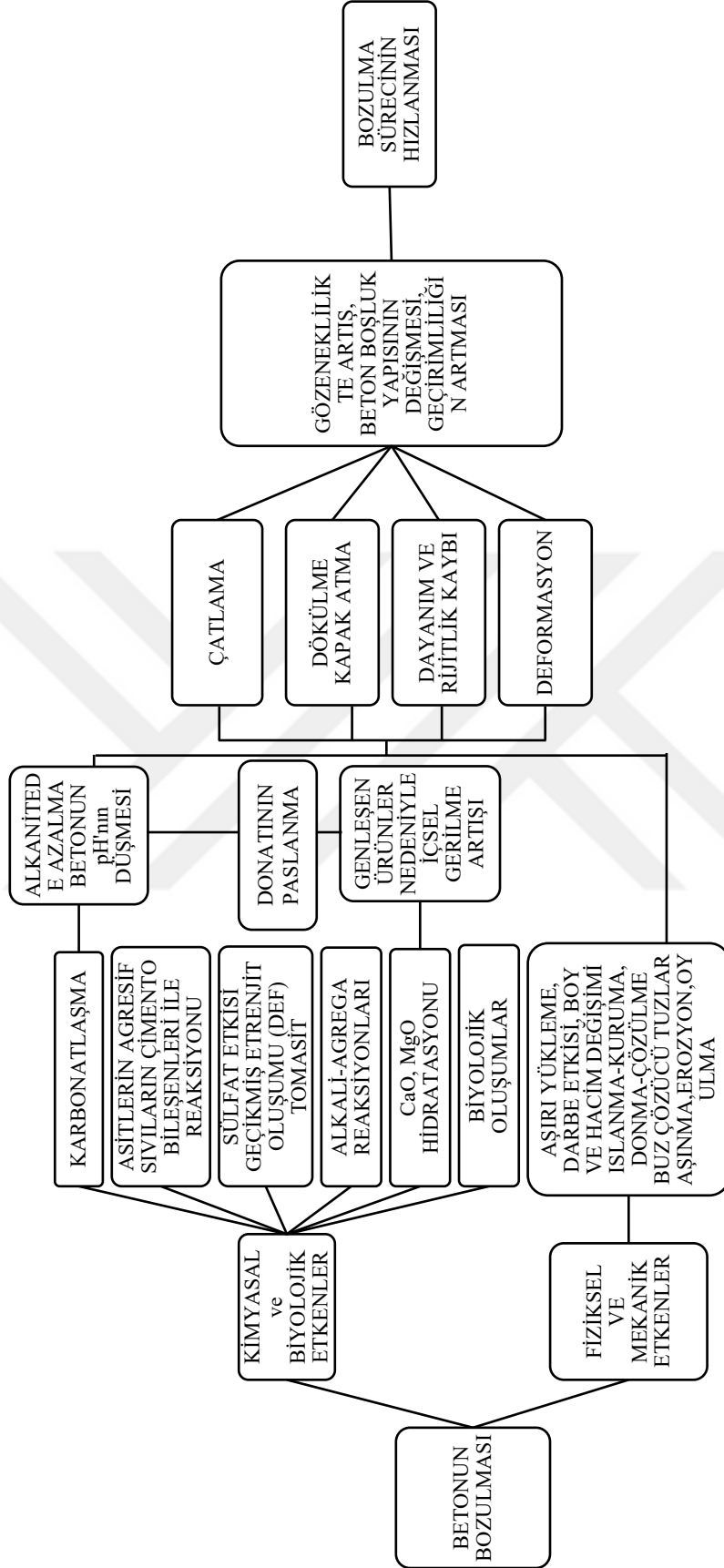
1.GENEL BİLGİLER

1.1.Betonda Bozulma Mekanizmaları

Betonun bozulmasına yol açan faktörler de mekanik, fiziksel, kimyasal ve biyolojik etmenler rol oynamaktadır. Avrupa’da II. Dünya Savaşı sonrası yapılan önemli sayıda sanat yapısında ve ABD’de çok sayıda köprülerde durabilite sorunları yaşanmıştır. Türkiye’de ise özellikle depremlerden sonra yapılan saha incelemelerinde göçen birçok binada donatıların korozyon nedeniyle neredeyse sadece izlerinin kaldığı gözlemlenmiştir. Eski zamanlara göre son yıllarda betonda oluşan birçok kalıcılık problemlerinin çözümlenmesinde ciddi oranda ilerlemeler kaydedilmesine rağmen yapılardaki kalıcılık sorunları yine de önemli bir problem olarak araştırmacıların önünde durmaktadır.

Betonda bozulmaya yol açan mekanik ve fiziksel faktörler arasında erozyon, kavitasyon, darbe etkisi, aşınma etkileri, yüksek sıcaklıklar ve donma-çözülme sayılabilir. Kimyasal ve biyolojik faktörler arasında tuz etkileri, alkali-agrega reaksiyonları, sülfat etkisi, korozyon etkileri sayılabilir (Baradan,2010).

Tablo 1. Betonun Bozulma Mekanizması



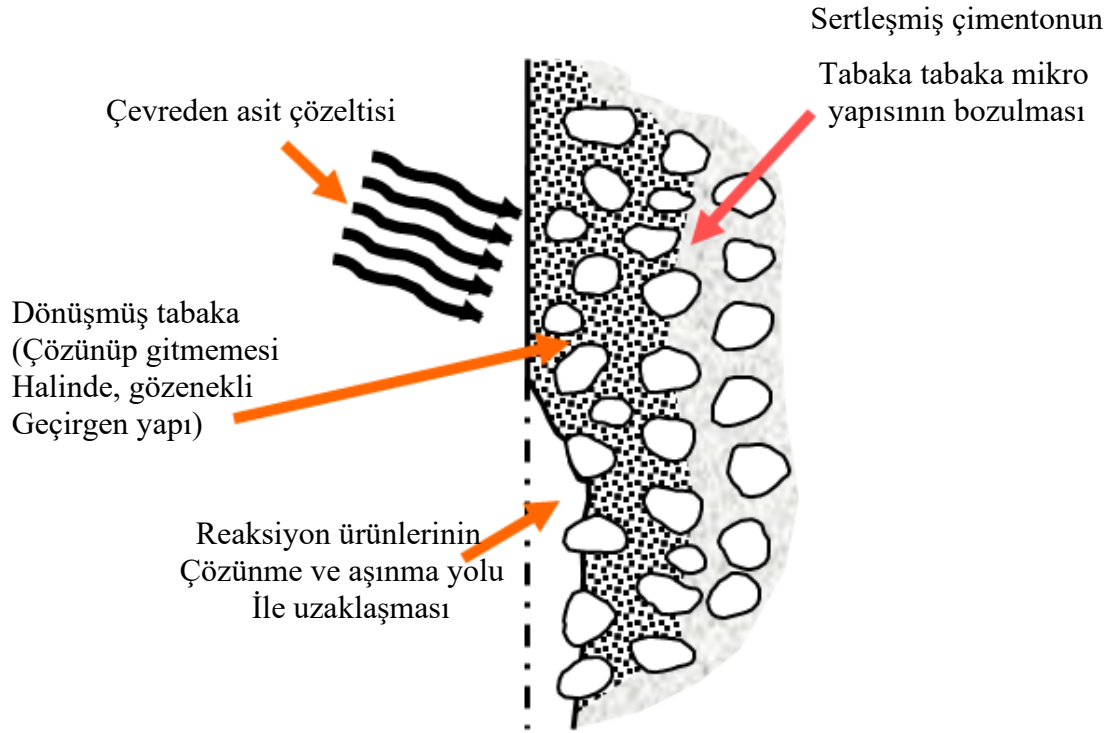
Kaynak : Baradan, 2010

Tablo 1’de beton ya da betonarmede meydana gelen bozulma mekanizmaları ve bu mekanizmaların betondaki etkileri şematik olarak gösterilmektedir. Betona içten ve/veya dış ortamdan kaynaklanan fiziksel, kimyasal ve biyolojik etmenler zaman içerisinde bozulmalar yol açarak, çatlama, kapak atma, dayanım kaybı ve deformasyonlara yol açarak betonun servis ömrünü kısaltmaktadır.



Şekil 1. Aşınma, Erozyon ve Kaviteasyon Hasarları Betonun Fiziksel Etkenlerle Bozulması

Şekil 1 (a) Rize’de bir beton Köy yolu rampasının aşınmaya uğramış hali. Şekil 1 (b)’de erozyona uğramış bir su kanalı üzerine kaplama uygulanarak tamir işlemi yapılmaktadır. Şekil 1 (c)’de Kerkük-Ceylan petrol boru hattı dolfen ayaklarında kaviteasyon etkisi görülmektedir.



Şekil 2. Asit Çözeltisi Etkisi Altında Sertleşmiş Beton Yüzeyindeki Deformasyon Mekanizması

Kaynak: Baradan,2010



Şekil 3. Asit Etkisiyle ozulmuş Bir Kanalizasyon Tüneli Betonun Kimyasal Etkenlerle Bozulması

Kaynak: Baradan,2010

Yüksek derecede alkali olan Portland çimentosu güçlü asitlerin saldırısına dayanıksızdır. Şekil 3'te kanalizasyonda oluşan sülfirik asitin kimyasal saldırı ile çimento hidratasyon ürünlerinin ayrışması ve oluşan yeni ürünlerden erimez olanların betonu parçalaması, eriyebilir olanların betondan ayrılması ile oluşan bozulma görülmektedir (Baradan,2010).

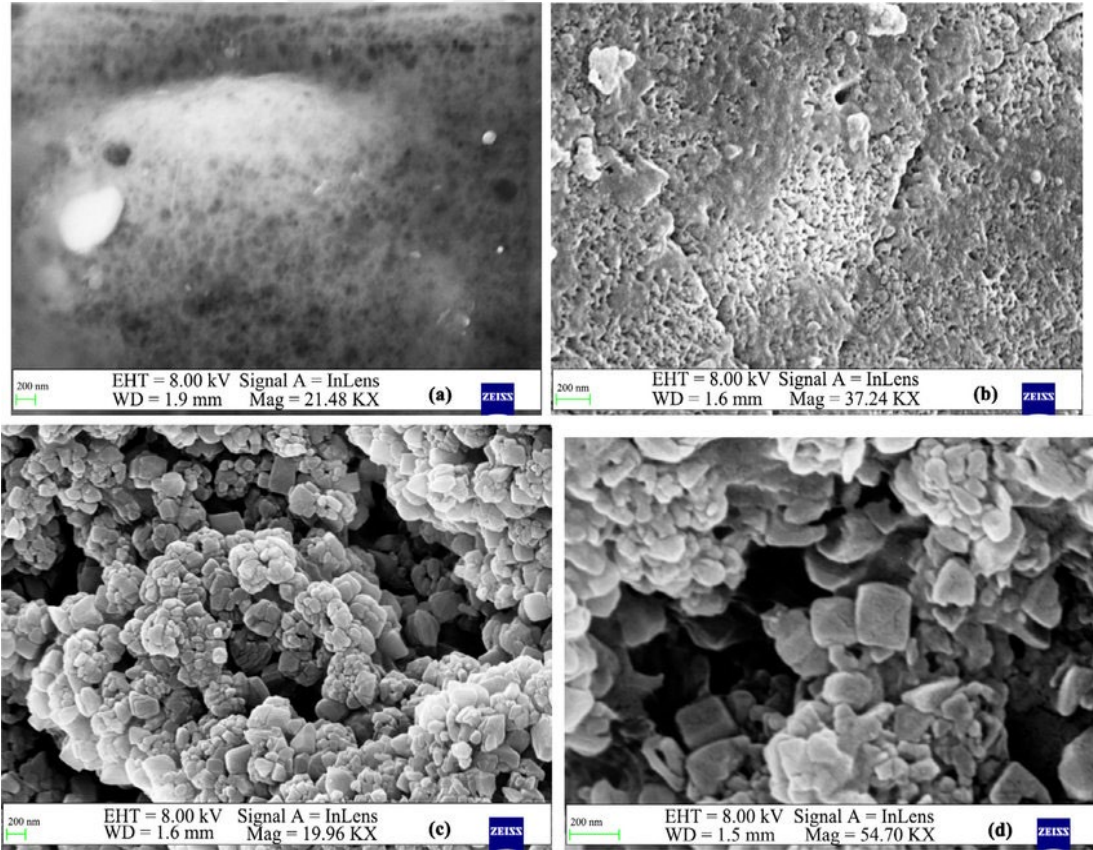
1.2. Betonda biyolojik bozulma

Beton yapı bozulmaması için hizmet süresi boyunca tüm özelliklerini ve performansını korumalıdır. Biyolojik ajanlar beton bozulmasından sorumlu olabilmektedirler. Beton, farklı bozulma maddelerine karşı farklı dayanıklılık derecelerine sahip farklı bileşikler içeren heterojen bir malzeme olduğundan, beton bileşiklerine saldırabilecek birçok mikroorganizma türü vardır. Ayrıca, betonun bozulmasından sorumlu olabilecek maddeleri üretebilen, farklı metabolizmalara sahip büyük miktarda mikrop vardır. Ek olarak, belirli mikroorganizmaların büyük uyum sağlama yeteneği, görünüşte olmayan koşullar altında bile bunların büyümesini teşvik eder (Ribas Silva,1995). Biyobozunma tek bir süreç değil, son derece karmaşık bir döngüdür ve mekanizmalarının tam önemini anlamak için, öncelikle belirli organizmaların belirli substrat tipi, çevresel koşullar, mikro çevre ve biyolojik aktivitesi arasındaki etkileşimleri dikkate almak gerekir. Tedavi stratejilerini seçmek, devam eden biyolojik bozulma süreçlerini azaltmak, gelecekteki hasarı azaltmak veya nihayetinde tamamen önlemek için mikroplar ve biyotik koşullar arasındaki ilişkilerin tam ve net bir şekilde anlaşılması gerekmektedir (Gaylarda et al. 2003; Cutler and Viles, 2010).

Betonun bozulmasının incelenmesinde üç ana madde en önemlidir: Toprak mineralleri, tarihi anıtların doğal taşları ve betonun kendisi. Toprak minerallerinin biyolojik olarak bozulmasına ilişkin çalışma, esas olarak Institut de Pédologie Biologique du Centre national de la recherche scientifique (C.N.R.S.) tarafından geliştirilmiştir. Bu çalışmalar, mikroorganizmaların metabolizmaları ve metabolitlerin üretimi ile ilgili olup, bu tür bozulmaları durdurmanın veya önlemenin yolunu belirlemede çok önemlidir (Berthelin, 1983; Robert, 1983 ve Berthelin, 1988). Almanya'da (University of Oldenburg) ve Fransa'da (Monuments Historiques de France), özelliklerini korumak ve herhangi bir bozulmayı önlemek için tarihi anıtların

doğal taşların biyolojik bozulması üzerine çeşitli çalışmalar geliştirilmiştir (Pochon, 1975; Krumbein,1988 ve Bock,1990). Mikroorganizmalar tarafından üretilen asit maddelerin ağırlık kaybından, gözenekliliğin artmasından, kalsik ürünlerin (karbonatlar, portlandit vb.) çözünmesinden ve dolayısıyla mukavemet düşüşünden sorumlu olduğu sonucuna varmıştır. Bu faktörler, betonun bozulmasına neden olabilecek maddelerin penetrasyonunu kolaylaştırır (Ribas Silva,1995).

Betonun biyolojik bozulması hakkında araştırma yapmak için, mikroyapı incelemeleri yapılmaktadır. Biyolojik bozulmaların yol açtığı maddelerin tayin ve analizlerinde SEM, XRD ve termal diferansiyel analizi (TDA) gibi yöntemler kullanılmaktadır. Şekil 4'te Kitosan (kabuklu deniz hayvanlarında çok miktarda bulunan biyopolimer) ile *Ulva lactuca* yosunu (alg) ayrı ve birlikte kullanımlarının SEM altındaki görüntüleri verilmiştir (Eman,2021).



Şekil 4. SEM Fotoğrafları (a) CS; (b) Algler; (c) Imp-Alg-Küttelece %25 CS; ve (d) Imp-Alg-Ağ %25 CS Yüklü Cd(II)

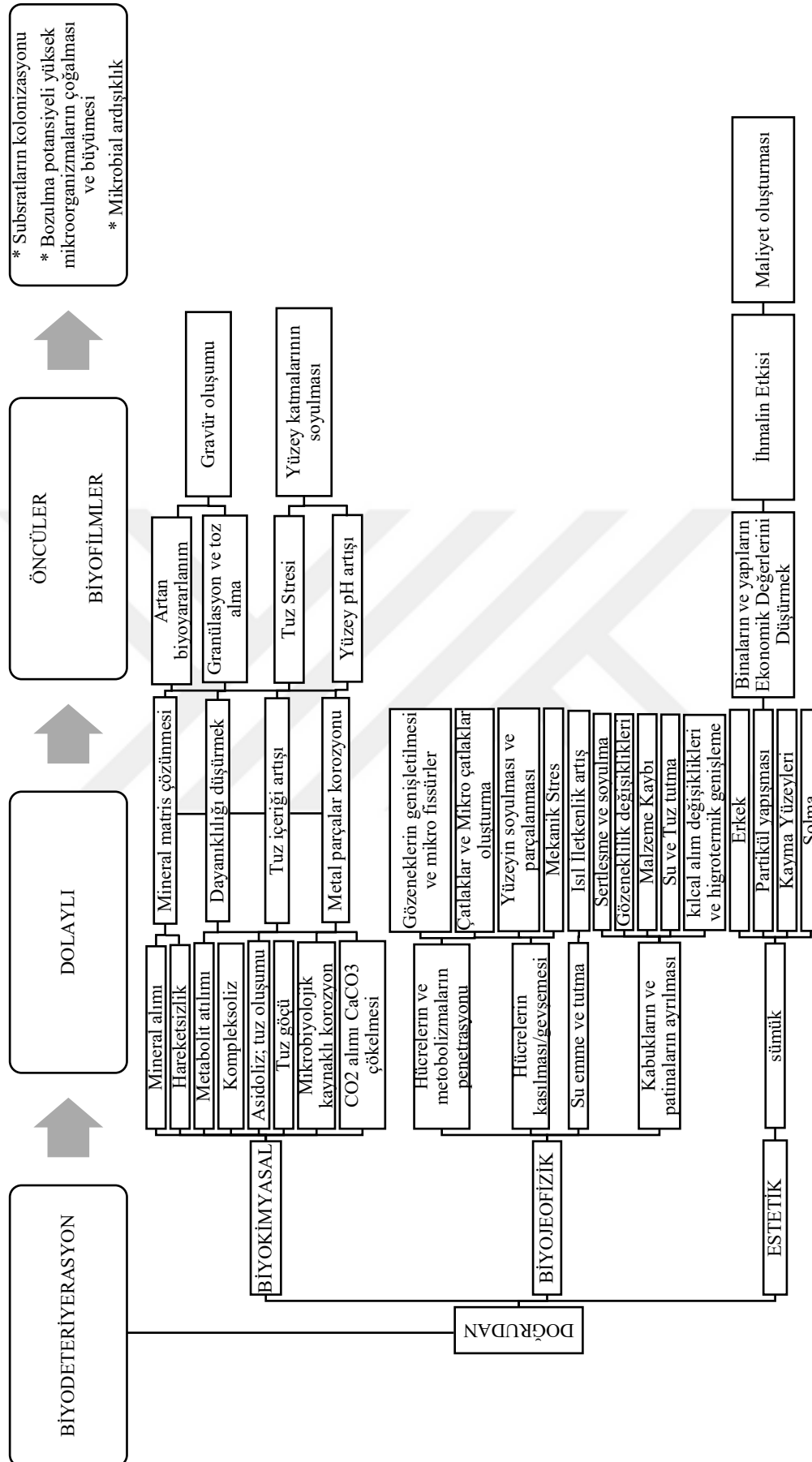
Kaynak: Eman,2021

1.2.1. Biyolojik bozulma mekanizmaları

Biyolojik bozulma mekanizmaları dolaylı ve doğrudan tiplere ayrılabilir. Dolaylı mekanizmalar çoğunlukla, bir organizma türü daha yüksek biyolojik bozulma potansiyeli gösteren diğer türlerin büyümesini teşvik ettiğinde ortaya çıkarken, doğrudan mekanizmalar bir organizmanın veya bir grubun kolonileştirilmiş malzeme üzerindeki doğrudan eylemiyle ilgilidir. Doğrudan biyobozunma mekanizmaları ayrıca biyokimyasal, biyojeofizik ve estetik değişiklikler olarak gruplandırılır Tablo 2’de Doğrudan ve Dolaylı biyolojik bozulma mekanizmaları şematik olarak görülmektedir (Sanchez-Silva ve Rosowsky, 2008).



Tablo 2. Biyolojik Bozulma Mekanizma Şeması



Kaynak: Paulina Nowicka-Krawczyk vd., 2022

1.2.1.1. Dolaylı Biyolojik Bozulma Mekanizmaları

Enzimlerin tepkimelerinde işlenen maddelerinde meydana gelen ve mikrobiyal ardışıklığa izin veren değişiklikleri gerektirir, böylece daha yüksek biyobozunma potansiyeline sahip diğer mikroorganizmaların büyümesini ve gelişimini destekler. Yeşil alglerin genellikle biyofilmler oluşturarak ve heterotrofik mikrobiyal ardışıklığa izin vererek dolaylı biyolojik bozulmayı desteklediği yaygın olarak kabul edilmektedir. (Mayıs, 2010). Algler ayrıca uygun nem seviyeleri gerektirse de gereksinimleri yine de heterotrofik mikroorganizmaların gereksinimlerinden daha düşüktür (Rajkowska et al., 2013).

1.2.1.2. Doğrudan Biyolojik Bozulma Mekanizmaları

Üç grup doğrudan biyolojik bozulma mekanizması tanımlanmıştır: (1) Biyokimyasal, (2) Biyojeofizik ve (3) Estetik biyolojik bozulma. Yeşil algler için en iyi bilinen doğrudan bozulma türü, estetik biyolojik bozulmadır. (Mayıs, 2010) Yeşil Alglerin Biyokimyasal ve biyojeofiziksel bozulma mekanizmalarında da görülebileceklerini öne sürüyorlar ancak bunlar hakkında nispeten az şey bilinmektedir (Cutler ve Viles, 2010; Mayıs, 2010).

Estetik biyolojik bozulma, yüzeydeki organizmalar tarafından uygulanan en temel doğrudan biyolojik bozulma türüdür. Salgıların, metabolitlerin, ölü hücrelerin ve organizmaların gözle görülür varlığı biyodeteriyojenik olarak kabul edilebileceği gibi, canlı organizmaların aktivitesinden kaynaklanan materyalin özelliklerinde meydana gelen her türlü istenmeyen olumsuz değişiklik de biyobozunma olarak değerlendirilebilir. (Allsopp et al. 2004; Macedo et al., 2009; Pueschel, 2019). Bu tür estetik etkiler, aynı zamanda, algler tarafından kolonizasyondan hemen sonra ortaya çıkan, biyolojik bozulmanın ilk görünür sonucudur. Bu değişiklikler, yalnızca etkilenen binanın dayanımını azaltmakla kalmaz ve onarımla ilgili maliyetleri de beraberinde getirir (Paulina Nowicka-Krawczyk et al.2022).

Doğrudan bozulma mekanizmalarını, yani biyokimyasal ve biyojeofiziksel süreçleri teşvik eden biyofilmlerin ve kabukların oluşumu ile (Gaylarda ve diğerleri, 2003; Cutler ve diğerleri, 2013'a, 2013b) Yeşil alg aktivitesinin neden olduğu bu bozulma, çoğunlukla biyofilmlerin, çeşitli renkli patinaların ve yüzey renk bozulmasının oluşumuna neden olur (Allsopp ve diğerleri, 2004). İlk gözle görülür

değişiklikler, yeşil, kahverengi veya pembe lekelerin geniş alanlarının oluşmasıyla birlikte yüzeyin genel görünümü ve rengindeki ölçülebilir değişikliklerdir (Allsopp ve diğerleri, 2004; Borderie ve diğerleri, 2015). Yeşil alg aktivitesinin bir sonucu olarak yüzeylerin renk değişikliği çoğunlukla klorofil A, klorofil B ve karotenoidler gibi pigmentlerin varlığına bağlanır (Borderie ve diğerleri, 2015; Palla ve Barresi, 2020).

Yapı malzemelerinde Balçık oluşumuna katkıda bulunanlar genellikle alg hücreleridir; bu nedenle, alg biyofilmleri tipik olarak inorganik substratlar üzerinde ilk oluşanlardır. Bu yapışkan yüzeyler, havada bulunan toz, is ve spor şeklindeki partiküllerin emilimini destekler (Macedo et al. 2009), özellikle yüksek derecede kirli hava varlığında Mikrobiyal biyofilmler ayrıca ölü organik maddeden türetilen önemli miktarda inorganik madde içerebilir (Paulina Nowicka-Krawczyk et al., 2022). Yapı malzemeleri kuruma ve ıslanma sırasında yeşil alg hücrelerinin büzülmesi ve genişlemesi ve donma-çözülme döngülerinin alg biyofilmleri üzerindeki etkisiyle de bozulabilir (Cutler ve Viles, 2010; Mayıs, 2010; Borderie ve diğerleri, 2015). Yapı malzemesi yüzeyinin temizleme işleminin sonucu; saha çalışmalarında ve laboratuvar koşullarında gözlemlenen, alt katmanın bir kısmının ayrılmasına ve yapı malzemelerinin gözeneklerinde daha fazla nem yoğunlaşmasına neden olabilir (Cutler ve Viles, 2010). Tablo 3'te alglerin yapı malzemeleri üzerindeki yaşam stratejileri ve biyolojik bozulma çeşidi gösterilmiştir.

Tablo 3. Yaşam Süreçleri Işığında Yeşil Alglerin Biyolojik Olarak Bozulma Potansiyeli

Alg Yaşam Fenomeni	Yaşam Stratejisi	Yapı Malzemesi Üzerindeki Etki	Biyolojik Bozulma Çeşidi
Kolonizasyon ve hücrelerin bölünmesi substratın yüzeyi	Biyofilmler veya kabuklar olarak epifitik büyüme	Estetik değeri düşüren alt tabakaların biyolojik olarak kirlenmesi Alt tabakanın higrotermik özelliklerinde değişiklikler	Doğrudan, estetik Doğrudan, biyojeofizik
Substrata hücre penetasyonu	Endofitik büyüme	Çatlak oluşumunu artırır, kabukların ayrılması ile gözeneklerdeki nem yoğunlaşması ve su buharı difüzyonunu değiştirerek servis kırıklarına neden olur	Doğrudan, biyojeofizik
Fotosentez ve fotosentetik ile ilgili metabolizma	Fotoototrofik beslenme Mineral asitlerin üretimi- sülfürük, nitrik ve nitroz Organik asitlerin üretimi- laktik, oksalik, süksinik ve asetik pirüvik	Mikro çatlakların görüldüğü substrat yapısındaki değişiklikler Fotosentetik pigmentlerin varlığı yani substratın rengini değiştiren klorofiller ve karotenoidler Taşların potansiyel çözünmesi	Doğrudan, estetik Doğrudan, biyokimyasal
Hücre çökmesi	Kalsiyum karbonatı dönüştüren oksalik asit üretimi	Taşların inorganik matrisinin çözünmesi, çözünürlüklerin artması ve tuzların migrasyonuna neden olması	Doğrudan, biyokimyasal
Altındaki hücrelerin hacmindeki değişiklikler kuruma/ıslanma dönemleri	Hücreler EPS üretir ve hidrasyonu korumak için biyofilmler oluşturur	Substratlardaki kalsiyum karbonatın kalsiyum oksalata dönüştürümü	Doğrudan, estetik
Alg Yaşam Fenomeni	Yaşam Stratejisi	EPS matrisi havadaki partikülleri (öm: toz, kurum) hapsedileceğinden ve emebileceğinden alt tabakanın rengindeki değişiklikler EPS'nin varlığı nedeniyle yüzey yapısının balçık haline gelmesi	Doğrudan, estetik Doğrudan, estetik
		Yapı malzemesi üzerindeki etki	Biyolojik bozulma çeşidi
		Su emiliminin bir sonucu olarak mikro çatlakların görünümü	Doğrudan, biyojeofizik
		EPS bütülmesi ve genişlemesinden kaynaklanan doğrudan, biyofiziksel mikro çatlakların bir sonucu olarak substrat mineral içeriğindeki değişiklikler	Doğrudan, biyojeofizik
	Kloroplastlarda plastoglobüllerin artması, hacim değişiklikleri arasında hücre organellerinin yeniden düzenlenmesini sağlar	Mikro çatlakların görüldüğü substrat yapısındaki değişiklikler	Doğrudan, biyojeofizik

Tablo 3 (Devam). Yaşam Süreçleri Işığında Yeşil Alglerin Biyolojik Olarak Bozulma Potansiyeli

Hücrelerin renk ve şekildeki değişiklikler yüksek radyasyon ve ısı altında	Poliollerin, MAA'ların üretimi, karotenoidlerin ısı ve kuruma stresi altında proteinlerin stabilizatörü olarak antioksidan olarak birikmesi Yağ asitlerinin zarlara dahil edilmesi, donma stresini azaltmak için şeker üretimi Fotootototrofik beslenme	Substrat üzerindeki metabolik yollarda potansiyel olarak bulunur	Henüz tanımlanmadı
Hücrelerin dondurulması/çözülmesi			
Fotosentez			Henüz tanımlanmadı
Hücrelerin ölümü		Fotosentetik pigmentlerin varlığı yani substratın rengini değiştiren klorofiller ve karotenoidler organik materyal, Mikrobiyal ardıllığa izin veren heterotroflar	Doğrudan, estetik Dolaylı

Kaynak: Paulina Nowicka-Krawczyk vdl., 2022

1.3. Beton Yüzey İyileştirmeleri

Geleneksel beton, düşük çekme mukavemeti, zayıf yüzey dayanımı ve çatlama sırasında hızlı çatlak gelişimi gibi dezavantajlara sahiptir. Bu beton özellikleri beton yol kaplaması gibi beton elemanlarda güvenliği ve dayanıklılığı olumsuz etkilemektedir. Beton malzemenin performansı, malzeme bileşimine, iç yapısına ve servis gördüğü ortamdaki bozulma mekanizmalarına bağlıdır. Yol kaplama betonu servis gördüğü ortamda basınç, eğilme gerilmeleri yanında aşınma kuvvetlerine maruzdur. Yol kaplamaları tasarlanırken beton kaplamanın eğilme dayanımı önemli rol oynarken, havaalanı kaplama betonlarının tasarımında daha çok darbe dayanımına odaklanır (Mingjing Dişi,2023).

Beton yüzey işlemleri görsel olarak beton yüzeyinin uygun hale getirilmesi yanında özellikle aşınma ve darbe etkilerine karşı beton dayanıklılığını sağlamak amacıyla yapılmaktadır. Yüzey mastarı çekilen betonda perdah yapılması beton yüzeyinin özellikleri artıran bir uygulamadır. Özellikle ağır trafik yükünün olduğu beton yollarda, alışveriş merkezi, araç akaryakıt istasyonları, depolama ve sanayi siteleri gibi saha betonlarının maruz kaldığı aşınma ve darbe kuvvetlerinden kısa sürelerde bozulmaktadırlar. Sürekli aşınmaya maruz beton kaplamaların yüzey bozulmasını uzatmak amacıyla dayanımı yüksek beton kullanımı, lifli beton uygulamaları yanında beton yüzey iyileştirme işlemleri de kullanılmaktadır. Beton yüzeyine kuvars ve korondum tozu içeren yüzey sertleştiriciler beton yüzeyinin aşınma direncini artırmak amacıyla uygulanan yöntemlerdir. Betonun aşınma direncini artırarak hizmet ömrünü uzatmak için yüzey işlemlerinde poliüre su geçirmez yapıştırıcı (PUA), poliüretan su geçirmez kaplama (PUR), sac (IS) ve kauçuk (RB) uygulamalarında bilimsel olarak araştırılan ve sahada kullanımı olan yöntemlerdendir. Yüzey işlemleri PUA ve IS, darbe ve çizilmelere karşı mükemmel dirençleri göstermesi nedeniyle aşınma oranını önemli ölçüde azaltmaktadır. Moloz akış aşınmasına karşı direnci arttırmada PUA ve IS yüzey işlemi yöntemleri önerilmektedir (Fan Wu, 2023).

Beton yüzeyler yağmur suyu gibi kireci düşük sulara maruz kalması sonucunda beton yüzeyinde yıkanma etkisiyle portlandit türü çimento hidrasyon ürünlerinin beton yüzeyinden kireci düşük su tarafından yıkanıp götürülmesi ile beton yüzeyinde oyulmalara, agregaların beton yüzeyinde kalmalarına yol açmaktadır. Beton

yüzeyinde su yalıtımı yapılarak betonun korunması uygulanan yöntemlerden biridir. Kristalizasyon bazlı su yalıtımı, higroskopik ve hidrofilik kristalizasyon gözenek blokajını hidrofobik gözenek astarı ile birleştiren çok işlevli bir teknolojidir. Taze beton üzerinde ikili kristalizasyonu su geçirmezlik işlemi (DCE) beton yüzeyini koruma amaçlı araştırılan konular arasındadır. DCE, buhar, sıvı ve katının tüm su fazlarıyla ilişkili çeşitli beton dayanıklılık sorunlarına etkili bir çözüm sağlama potansiyeline sahiptir. DCE sistemi, nemin betona nüfuz etmesini azaltabilir ve böylece betonun dayanıklılığını artırır. DCE, klorür iyonu penetrasyonuna karşı beton direncini artırabilir ve donma ve çözülme döngülerinden kaynaklanan hasarları azaltabilir. Ek olarak, DCE teknolojisinin uygulanması, daha iyi çimento hidrasyonu için su tutmayı iyileştirerek yapışma mukavemeti ve yüzey pürüzsüzlüğü gibi yüzey özelliklerinin artmasına yol açar (Radi Al-Rashed,2021).

1.4. Betonda Kullanılan Yüzey Sertleştiriciler ve Yüzeye Etkisi

Beton yüzey sertleştiricileri betonu güçlendirme, verimini ve hizmet ömrünü arttırmak için kullanılan çimento esaslı yapı malzemeleridir. Betonun kullanılacağı çevre, ortam, yapı ve iklim koşulları gibi birçok faktör göz önüne alınarak uygulanacak olan yüzey sertleştirici özellikleri bu doğrultuda belirlenir. Betonda yüzey sertleştiriciler üzerine birçok firma üretim yapmaktadır.

Çeşitli ortam koşullarına karşı Weber Firması tarafından üretilen TS EN 1504-2 uygun yüzey sertleştiriciler ve yüzeye etkileri; Şekil 9. a)'da Weberfloor YS 1 çok yüksek oranda yüke ve yüksek oranda araç trafiğine maruz kalan endüstriyel zeminlerde yüzey aşınma direncini artıran çimento, özel seçilmiş agrega, silisyum karbür, pigment ve özel katkı esaslı yüzey sertleştirme harcıdır (URL-1,2023). Şekil 9. b) Weber.floor YS 4 ağır yüke ve yoğun araç trafiğine maruz kalan endüstriyel zeminlerde yüzey aşınma direncini artıran çimento, özel seçilmiş agrega, korunt, pigment ve özel katkı esaslı diğer bir yüzey sertleştirme harç ürünüdür (URL-2,2023). Şekil 9. c) Weberfloor YS 6 orta seviyede yüke ve araç trafiğine maruz kalan endüstriyel zeminlerde yüzey aşınma direncini artırmak için çimento, özel seçilmiş agrega, kuvars, pigment ve özel katkı ile üretilmiş yüzey sertleştirme harcıdır. Piyasaya arz edilen bu üç hazır harç ürünler yüksek oranda mekanik aşınma dayanımı artıran ve beton tozumasını önlemek amacıyla tüm zemin kaplamaları üzerine

uygulanabilecek malzemelerdir (URL-3,2023). Şekil 9’da Weber. floor YS1, Weber. floor YS 4 ve Weber. floor YS 6 ürünlerine ait 25 kg paketli ürünler görülmektedir.



(a)

(b)

(c)

Şekil 5. a) Weberfloor YS-1 b) Weberfloor YS-4 c) Weberfloor YS-6 25 Kg Paketler

Basf Firması tarafından geliştirilen yüzey sertleştiriciler, Şekil 10. a)’da metalik agregalı yüzey sertleştirici MasterTop® 200 yüksek aşınma ve darbe dayanımı gereksinimi duyulan endüstriyel zeminler için mekanik atölyeler, garajlar ve uçak hangarları gibi alanlarda çimento esaslı, özel işleme tabi tutulmuş metalik agregalı, taze perdahlanmış döşeme betonu yüzeylerine toz halde serpilerek uygulanan, kullanıma hazır yüzey sertleştirici üründür. MasterTop® 200, çimento ağırlığında kromat içeriği düşüktür ($Cr - VI \leq 2$ ppm bir üründür (URL-4,2023). Şekil 10. b)’ de Mineral ve korund agrega içerikli yüzey sertleştirici MasterTop® 430 çimento esaslı, mineral ve korund agrega içerikli, ağır yük altında çalışacak taze perdahlanmış döşeme betonu yüzeylerine toz halde serpilerek uygulanan, kullanıma hazır yüzey sertleştirme malzemesidir. Enerji istasyonları, yükleme rampaları ve tersaneler gibi alanlarda bulunan beton yüzeylerinde kullanılması için önerilen malzemedir (URL-5,2023).



(a)



(b)

Şekil 6. a) Master Top 200 b) Master Top 430 Ürünleri

Fox Bau Professional firması tarafından üretilen Şekil 11 'de yüzey sertleştirici kuvars agregalı toz yüzey sertleştiricisi FOX HARDTOP® FF300 ürünü çimento, özel seçilmiş kuvars agrega, pigment ve katkılardan oluşan, taze perdahlanmış beton ve şap yüzeylerine toz halde serpilerek uygulanan, tek bileşenli, renkli, kullanıma hazır yüzey sertleştiricisidir. Bu ürün uygulanmış yüzey, normal beton yüzeye göre 2-4 kat daha dayanıklılık kazandığı belirtilmektedir. Normal beton yüzeye göre daha kolay temizlenir ve donma çözünme etkisine karşı dayanıklı olma özelliğine sahip yüzey sertleştiricidir (URL-6,2023).



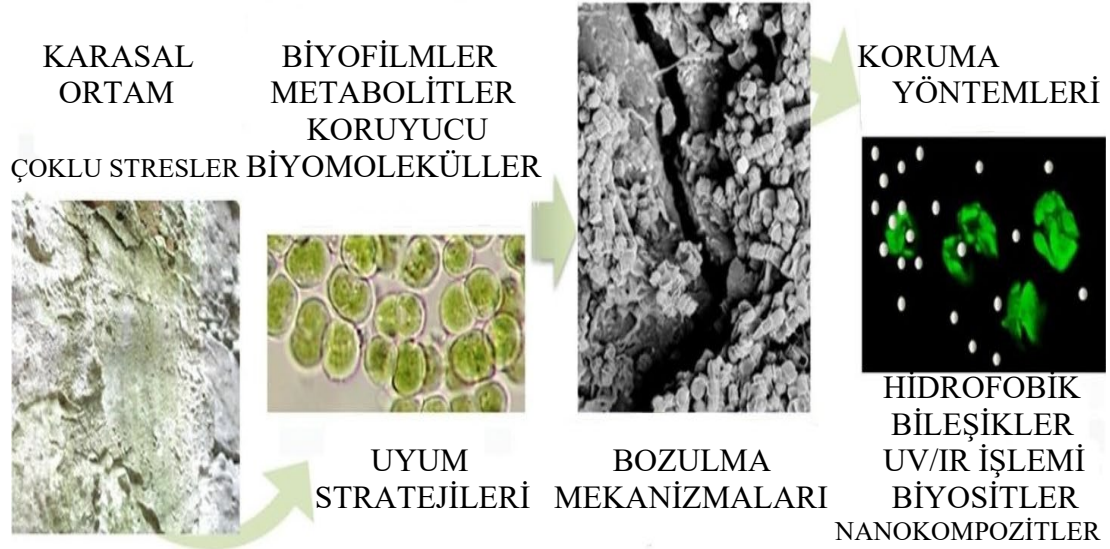
Şekil 7. Fox Bau Professional 25 Kg Paketler

Beton yüzey sertleştirici ürünler yapı kimyasalları alanında faaliyet gösteren firmalar tarafından üretilmekte ve beton sektörü de bu ürünleri özellikle saha betonlarında kullanmaktadırlar. Beton yüzey sertleştiricileri genellikle kuvars, korund gibi sertlikleri yüksek minareller, pigmentler ve kimyasal katkıların çimento bağlayıcılar ile karıştırılmasıyla üretilmektedirler. Yüzey sertleştirici malzemeler taze beton yüzeyine metrekareye belli oranlarda serpilerek uygulanmaktadır.

1.5. Betonda Yosunlaşma

Yapı malzemelerinin mantarlar, bakteriler ve siyanobakteriler tarafından kademeli olarak bozulması büyük ekonomik ve sosyal öneme sahiptir. Ilıman iklimlerde, mikrobiyal kolonizasyon, ağırlıklı olarak havadaki yeşil algler olan fototrofik ökaryotla ilişkilidir. Bu fototroflar, coğrafi bölge ne olursa olsun, tüm karasal ortamlarda çoğu substratı kolonize edebilir. Yeşil alglerin yaşam süreçleri hakkında çok az şey bilindiği için, malzemeler üzerindeki etkilerinin tamamen estetik olduğuna inanılmaktadır. Yapı malzemelerinin bozulmasıyla ilgili çoğu çalışma hem algleri hem de siyanobakterileri incelemekte ve alg kolonizasyonunun nedenleri ile etkilerini durdurmak için başta koruma uygulamaları olmak üzere çeşitli yöntemler önerilmektedir. Bununla birlikte, yeşil alglerin biyobozunma olgusunu tam olarak kavrayabilmek için, yaşam süreçleri, yapı malzemelerinin teknik durumundaki değişiklikler üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğundan, faaliyetlerinin hem nedenlerini hem de etkilerini anlamak önemlidir. Aeroitik yeşil algler, zorlu karasal ortamda hayatta kalmak ve başarılı bir şekilde gelişmek için çeşitli hücresel adaptasyonlara ve yaşam mekanizmalarına sahiptir. Kurumaya, Ultraviyole (UV) radyasyonuna ve yüksek/düşük sıcaklık dalgalarına yanıt olarak oluşturdukları endo ve epilitik biyofilmler, çeşitli koruyucu biyomoleküller, hücre dışı matrisler üretir ve hücrelerin hacmini değiştirir. Adaptasyon mekanizmaları ve geniş ekolojik toleransları nedeniyle, yeşil algler şüphesiz yapı malzemelerinin bozulmasını hızlandırmak için yüksek bir potansiyele sahiptirler (Paulina Nowicka-Krawczyk,2022). Şekil 12’de biyobozulmaya yol açan yeşil alglerin oluşum ve bozulma süreçleri görülmektedir.

BİYO BOZULMADA YEŞİL HAVA ALGLERİ



Şekil 8. Yeşil hava algleri evreleri

Kaynak: Paulina Nowicka-Krawczyk, 2022

Tablo 4'te yapı elemanı yüzeyinde oluşabilecek alg türlerinin isimleri görülmektedir. Tablo 4'teki yeşil algler, substratları kolonize ederek iki farklı yaşam stratejisi ortaya koymaktadır. Yeşil alglerin çoğu bir substratın yüzeyinde büyür (epifitik olarak), bir kısmı ise substratın içerisine nüfuz edebilir (endofitik olarak) ve mikro gözenekli bir sisteme dönüşebilirler (Grbic et al, 2010). Yeşil aerofitlerin çeşitliliği üzerine yapılan çalışmaların çoğu, kültürel mirasın anıtları ve nesneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu yapıların çoğu kireçtaşı, granit ve traverten gibi doğal taşlardan, tuğladan veya çimentolu sıva ya da betonlardan inşa edilmişlerdir. Farklı yapı malzemeleri türleri üzerinde bulunan hava yeşil alg türlerinin bir listesi aşağıda Tablo 4'te verilmiştir. Karasal ortamda en sık kolonileşenler Apatococcus, Chlorella, Klebsormidium ve Trentepohlia isimli alglerdir. Apatococcus, Chlorella, lokal tiplerle karakterize edilirken, Klebsormidium ve Trentepohlia iplikli formlardaki aglerdir (Rindi, 2007). Desmococcus, Olivaceus kentsel alanlarda baskın bir algdır ve dünyadaki en yaygın yeşil alg olabileceğini öne sürülmektedir (Hallmann et al, 2013b).

Tablo 4. Yapı Malzemeleri Türleri Üzerinde Bulunan Hava Yeşil Alg Türleri

Alg taksonları (=eş anlamlı)	Yüzey	Referans
Klorofiller		
Bracteacoccus minör [A]	Tuğla	Darienko ve Hoffmann, 2003
	Kireçtaşı	Samad ve Adhikary, 2008 Macedo ve diğerleri, 2009
Bracteacoccus.	Kireçtaşı, mermer	Halimann ve diğerleri, 2013'a, 2013b
	Taş	
Chaetophorasp.	Mermer	Macedo ve diğerleri, 2009
Klamidokapsasp.	Granit	Macedo ve diğerleri, 2009 Soares ve diğerleri, 2019 Nowicka-Krawczyk
		Ve diğerleri, 2014 Macedo ve diğerleri, 2019
Klamidomonasp.	Kireçtaşı	Ve diğerleri, 2019
Chlorella vulgaris [A/F]	Tuğla	Macedo ve diğerleri, 2009 Hallman ve diğerleri, 2013'a, 2013b Macedo ve diğerleri, 2009 Macedo ve diğerleri, 2009 Soares ve diğerleri, 2019 Hallmann ve diğerleri, 2016 Hallman ve diğerleri, 2013a, 2013b
	Granit, kalker, kumtaşı Taş	
Klorellasp.	Tuğla	Samad ve Adhikary, 2008; Hallmann ve diğerleri, 2013'a, 2013b
	Beton	Nowicka-Keawczyk ve diğerleri, 2014
Chlorococcum infusionum [A/F]	Kireçtaşı Tuğla	Gallego-Cartagena ve diğerleri, 2020 Pinherio ve diğerleri, 2019; Soares ve diğerleri, 2019 Nowicka-Krawczyk ve diğerleri, 2009
Chloroidium ellipsoideum wimmeri [A/F]	Çimento	Samad ve Adhikary, 2008
	Mermer	Macedo ve diğerleri, 2009
Klorokoksp.	Granit, kalker, mermer, kumtaşı, Traverten	Macedo ve diğerleri, 2009
Chloroidium ellipsoideum (=Chlorella ellipsoidea) [A/F]	Granit, kireç taşı	Macedo ve diğerleri, 2009 Macedo ve diğerleri, 2009 Macedo ve diğerleri, 2009
Klorosarsinsp.	Mermer	
Klorosarcinopsissp.	Kireçtaşı, mermer	2009 Macedo ve diğerleri, 2009 Samad ve Adhikary, 2008 Nowicka-Krawczyk
Coelastrella terrestris (=Scotiellopsis terrestris) [A]	Kireçtaşı, mermer	
Koenokloris pirenoidea [F]	Kireçtaşı	
koenoklorissp.	Tuğla	
Comasiella kavisli (=Scenedesmus arcuatus) [F]	Çimento	
Desmodesmus communis (=Scenedesmus quadricauda) [F]	Kumtaşı	
Desmodesmus communis (=Scenedesmus quadricauda) [F]	Kumtaşı	
Gongrosirasp.	Kireçtaşı, mermer	Macedo ve diğerleri, 2009
Goniokloris mutica (=Tetraedron muricum) [F]	Traverten	Macedo ve diğerleri, 2009

Tablo 4 (Devam). Yapı Malzemeleri Türleri Üzerinde Bulunan Hava Yeşil Alg Türleri

Harmatococcus pluvialis [F]	Granit	Grbic ve diğerleri, 2010
	Mermer	Pietrini ve diğerleri, 1985; Macedo ve diğerleri, 2009
Jaagichlorella luteoviridis (=Chorella homosphaera) [A]	Beton	Haubner ve diğerleri, 2006
Monoraphidium sp.	Granit	Macedo ve diğerleri, 2009 Macedo
Mychonastes homosphaera (=Chlorella homosphaera) [A]	Granit	Ve diğerleri, 2009 Ortega-Calvo ve
	Kireçtaşı	Diğerleri, 1992 Macedo ve
Neoklorosarcina minör (=Chlorosarcinopsis minör) [A]	Granit, kalker, mermer	Diğerleri, 2009
Pediastrum boryanum [F]	Traverten	Macedo ve diğerleri, 2009 Macedo ve diğerleri, 2009 Macedo ve diğerleri, 2009
Pleurastrum terrestre (=Pleurastrum terrestre) [F]	Kireçtaşı	Samad ve Adhikary, 2008 Macedo ve diğerleri, 2009
Pleurastrum sp.	Kireçtaşı	
Pseudosphaerocystis lacustris (=Tetraspora lacustris) [F]	Traverten	
Radiococcus nimbatus (=Pleurococcus nimbatus) [F]	Kireçtaşı	
Scenedesmus ekornis [F]		
Scenedesmus smithi [F]	Kireçtaşı, mermer	
Scenedesmus sp.	Kireçtaşı, mermer traverten, granit Kaynak	Macedo ve diğerleri, 2009 Macedo ve diğerleri, 2009 Samad ve Adhikary, 2008
Sporotetras polydermatica (=Gloeocystis polydermatica) Kaynak [F]	Kireçtaşı, mermer Traverten	Macedo ve diğerleri, 2009 Macedo ve diğerleri, 2009
Trebouxiophyceae		
Apatococcus lobatus [A]	Tuğla	Nowicka-Krawczyk ve diğerleri, 2014
	Granit	Gartner ve Stoyneva, 2003 Macedo ve diğerleri, 2009
	Kireçtaşı	
	Mermer	Halimann ve diğerleri, 2011
	Metal, plastik	Hallmann ve diğerleri, 2016 Ortega-Calvo ve diğerleri, 1992 Hallmann ve diğerleri, 2013'a, 2013b
	Kumtaşı	
	Taş	
Sokumusp.	Granit	Gartner ve Stoyneva, 2003; Macedo ve diğerleri, 2009
	Mermer	Macedo ve diğerleri, 2009 Macedo ve diğerleri, 2009 Macedo ve diğerleri, 2009 Macedo ve diğerleri, 2009 Macedo ve diğerleri, 2009 Macedo ve diğerleri, 2009 Macedo ve diğerleri, 2009
Crucigenia quadrata [F]	Traverten	Ortega-Calvo ve diğerleri, 1992 Hallmann ve diğerleri, 2013'a, 2013b Macedo ve diğerleri, 2009

Tablo 4 (Devam). Yapı Malzemeleri Türleri Üzerinde Bulunan Hava Yeşil Alg Türleri

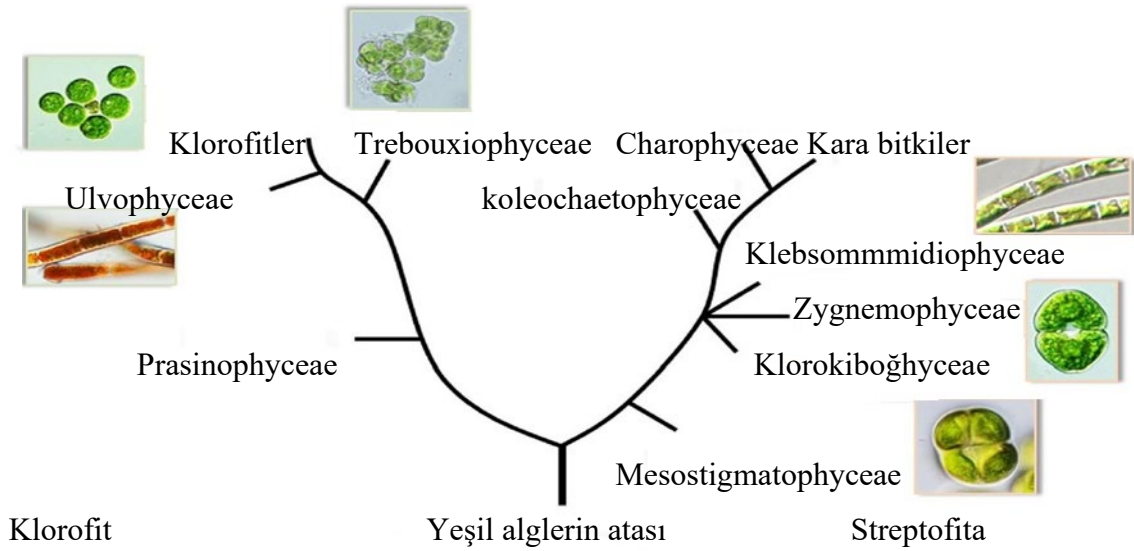
Desmococcus olivaceus (=Desmococcus vulgaris) [A]	Kireçtaşı, traverten	Ve diğerleri, 2014, Samad ve Adhikary 2008 Macedo ve diğerleri, 2009
Desmokoksp.	Granit, kumtaşı	
Ecdsichiamys obliqua [F]	Kumtaşı	
Interfilum terricola (=Geminella Terricola) [A]	Kireçtaşı	
Muriella terrestris [A] Myrmecia bisecta [A]	Granit, kumtaşı, traverten	
	Kireçtaşı	
	Taş	
Myrmecia israelensis (=Friedmannia İsrailiensis) [A]	Kumtaşı	Macedo ve diğerleri, 2009; Pinheiro
Mymeciasp.	Kireçtaşı	
Nanoklorissp.	Kumtaşı	
	Taş	
Neglectella solitaria (=Oocytis solitaria, O. Crassa) [F]	Traverten	
Oocystis lacustris [F] prasiolasp.	Traverten	
	Kireçtaşı	
Psödoklorellasp. (=Pabiasp.) [A]	Plastik	Macedo ve diğerleri, 2009
	Taş	
Pseudococcomyxe chodatii (=Choricystis chodatii) [A]	Granit	
Pseudococcomyxe simplex [F]		
Stichococcus bacillaris [A]	Kirectasi	
	Granit, mermer	
	Kirectasi, kumtasi	
Stichococcus eksi [A]	Granit	Macedo ve diğerleri, 2009; Hallmann ve diğerleri, 2011 Ortega-Calvo ve diğerleri, 1992; Macedo ve diğerleri, 2009; Macedo ve diğerleri, 2009 Haubner ve diğerleri, 2006
Stichococussp.	Beton, siva	
	Granit, mermer	
	Kirectasi	
	Tas	
Trebouxia arboricola [A]	Granit	
Trebouxia decolorans [A]	Kumtas!	
Trebuksisp.	Beton, metal, plastik	Macedo ve diğerleri 2009 Pinheiro ve diğerleri, 2019 Hallmann ve diğerleri 2013'a, 2013b Soarez ve diğerleri 2019
	Kireg tas!	
	Mermer	
	Tas	
Watanabeasp.	Kirectasi	
Ulvophyceae kladophorasp.	Mermer	
Hazenian basiliensis (=Pseudendoelium basiliense) [A/F]	Mermer	Macedo ve diğerleri, 2009 Macedo ve diğerleri
Psodopleurococcus printzii [F] sGdoplorokoksp.	Mermer	

Tablo 4 (Devam). Yapı Malzemeleri Türleri Üzerinde Bulunan Hava Yeşil Alg Türleri

Psodopleurococcus printzii [F]	Kireç taşı, Mermer	Samad ve Adhikary 2008 Macedo ve diğerleri 2009
PsGdoplorokoksp.	Mermer	Samad ve Adhikary 2008 Macedo ve diğerleri 2009
Rizothallussp.		
Trentepohlia havasi [A]	Çimento	
Trentepohlia havasi [A]	Granit	
Trentepohlia effusa (=Printzina effusa) [A]	Çimento	Samad ve Adhikary, 2008 Nowicka-Krawczyk ve diğerleri, 2014
Trentepohlia koku [A] Trentepohlia katisi [		Samad ve Adhikary, 2008 Nowicka-Krawczyk ve diğerleri, 2014
[A] Trentepohlia semsiyesi [A]	Tuğla	Samad ve Adhikary, 2008; Satpati ve Pal, 2016
[A] Trentepohlia semsiyesi [A]	Çimento	Samad ve Adhikary
Trentepohliasp.	Çimento	Gaylarde ve diğerleri, 2006
Trentepohliasp.	Beton	Hallmann ve diğerleri, 2016
Ulothrixsp.	Granit, mermer, kumtaşı	Gallego-Cartagena ve diğerleri, 2020 Macedo ve diğerleri
Klorokibophyceae	Kireçtaşı, mermer, kumtaşı	Macedo ve diğerleri, 2009
Schloerokybus atmophyticus [A]		
Chlorokybus atmophyticus [A]	Kumtaşı, kireçtaşı	Macedo ve diğerleri, 2009
Klebsormidiophyceae		
Klebsormidium flaccidum [A/F]	Granit, mermer	
Klebsormidium flaccidum [A/F]	Kireçtaşı	Macedo ve diğerleri, 2009
Klebsormidiyumsp.	Kumtaşı	Ortega-Calvo ve diğerleri, 1992 Macedo ve diğerleri 2009 Pinherio ve diğerleri 2019
	Tuğla	Ortega-Calvo ve diğerleri, 1992 Macedo ve diğerleri 2009 Nowicka-Krawczyk ve diğerleri 2014
	Beton	Hallmann ve diğerleri, 2016
Zygnemophyceae	Kireçtaşı, granit	Macedo ve diğerleri, 2009
Cosmarium baileyi (=Cosmarium		Macedo ve diğerleri, 2009
Depressum) [F]	Traverten	
Cosmarium granatum [F] Cosmarium reniforme [F]	Traverten	Macedo ve diğerleri, 2009
Kosmaryumsp.	Traverten	Macedo ve diğerleri, 2009
Kosmaryumsp.	Kireçtaşı	Macedo ve diğerleri, 2009 Pinherio ve diğerleri 2019
Cylindrocystis brebissoni [F]	Kireçtaşı	Macedo ve diğerleri, 2009
[F]	Traverten	Macedo ve diğerleri, 2009
Staurostrum aviculavar. Lunatum (= Staurostrum lunatum)	Traverten	Macedo ve diğerleri, 2009
[F] Yıldız otu [F] Staurostrum manfeldtii [F] Staurostrum pingue [F]	Traverten	Macedo ve diğerleri, 2009
	Traverten	Macedo ve diğerleri, 2009

Kaynak: Paulina Nowicka-Krawczyk, 2022

Şekil 9’da yeşil algler soyları arasındaki evrimsel ilişki görülmektedir. İlk kez 1,1 ila 1,2 milyar yıl önce bir siyano bakteri ile heterotrofik bir ökaryot arasında endosimbiyozun ardından yeşil algler ortaya çıkmıştır; bu nedenle iki zararlı kloroplasta sahiptirler Şekil 9’da Klorofit, Yeşil algler ve Streptofita, Kara bitkileri içeren filumu göstermektedir. Her iki filumda karasal ortama adapte olmuş türler içerdiğinden bütünüyle havada yaşayan yeşil canlılar ortak ataları olmaması rağmen bir arada gruplandırılan organizma veya evrim geçiren yapılardır.



Şekil 9. Yeşil Alg Soyları Arasındaki Evrimsel İlişkiler

Kaynak: Paulina Nowicka-Krawczyk, 2022.

1.6. Yosun Önleyici Yapı Malzemesi Katkıları ve Yosunlaşmayı Önlemek İçin Alınan Tedbirler

Hem tarihi hem de modern yapıların korunması küresel bir sorundur. Kültürel miras nesnelerinin restorasyonu ve bunların çürümesiyle ilgili malzeme değişimleri pahalıdır. Bu nedenle, binalarda kolonizasyonun kontrol altına alınması veya önlenmesine yönelik stratejilerin belirlenmesi için temizlik işlemlerinin yapı malzemeleri üzerindeki etkinliğinin ve etkisinin belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır (Sanmartín et al, 2020). Yapı malzemelerinde oluşan yosunlaşmaya karşı iki genel koruma eylem türü vardır. Bunlar alg oluşumuna karşı koruma ve alg biyofilmlerinin

yüzeylerinden uzaklaştırılmasıdır. Bu yöntemlere birlikte, bazı araçlar bu tür eylemleri birleştirerek hem alg biyofilmlerinin kaldırılmasına hem de yüzeylerinin alg kolonizasyonuna karşı korunması şeklindedirler. Kolonizasyonun önlenmesi yeşil alg büyümesi, tipik olarak, biyosit bazlı temizleme işlemleri ve hidrofobik işlemler kullanılarak önlenir. Ana doğal sorun, yapı malzemelerinin içine nüfuz eden ve yeşil alglerin büyümesini destekleyen sudur. Hidrofobik kaplamalar, taşı korumak için uzun süredir koruyucu tabakalar olarak uygulanmaktadır. Sentetik inorganik ve organik polimerlere dayalı su iticilerin geliştirilmesiyle verimlilikleri ve dayanıklılıkları önemli ölçüde artırılmıştır (Charola, 2003). En yaygın kullanılan hidrofobik bileşik grubu silikonlardır. Alkil-silanlar veya alkil-alkoksi-siloksanlar taş yüzeyine uygulandıktan sonra, bir su itici oluştururlar. Hidroliz ve yoğunlaşma reaksiyonu ile silikon film, hidro iticilik genellikle 24 saat içinde gelişir ve maruz kalma ve ışık gibi çeşitli koşullara bağlı olarak beş ila on yıl arasında etkili olabilir (Charola, 2003). Siloksan bazlı polimerik matrisler, süperhidrofobiktik elde etmek için daha da geliştirilebilir (Karapanagiotis et al, 2014). Bununla birlikte, duvar yönü, taş konumu ve şekli gibi çevresel faktörler, su itici uygulanmasına rağmen biyolojik oluşumlar ve bozulmalar önlenememektedir (Charola, 2003).

Biyositler, mikrobiyal büyümeyi önlemek ve/veya kontrol etmek için özel olarak geliştirilmiştir. Bu tür işlemler, taş malzemeler de dâhil olmak üzere sanat eserlerinin korunması için daha pratik yaklaşımlardan biri olarak kabul edilir. Hidrofobik bileşiklerin ve biyositlerin birlikte uygulanmasının, yüzeylerde mikrobiyal kolonizasyona karşı daha etkili bir önlem sağladığı öne sürülmüştür (Nugari and Salvadori, 2003). Ancak hangi sırayla uygulanmaları gerektiği sorusu ortaya çıkmaktadır. Her ikisi de tek adımda uygulanabilir, yani su itici ve biyosit birlikte karıştırılarak yüzeye uygulanır veya iki adımda, yani biyositin su iticiden önce veya sonra uygulandığı şekilde uygulanabilir. Her iki durumda da anıt yüzeylerde herhangi bir uygulamadan önce, ürünlerin hem etkili hem de işlenen malzemeye zarar vermediğinin gösterilmesi önemlidir (Nugari and Salvadori, 2003).

Alg büyümesi dâhil olmak üzere taş binalarda biyofilm oluşumunu önlemek için kullanılan en popüler maddeler çok işlevli kaplamalardır. Titanyum dioksit (TiO_2) içeren malzemeler yapı yüzeylerini temizlemek için kullanılmaktadır. TiO_2 içeren boyalar kaplama tabakası oluşturarak hem fotokatalitik hem de hidrofobik özelliklere

sahiptirler (Giovanni and Quagliarini, 2015; Barberio et al., 2015). Bu tür kaplamaların hidrofobikliği biyosit/polimer oranına bağlıdır. Kendi kendini temizleme özelliğine de sahip olan TiO_2 içeren kaplamalar betona, harçlara, seramik veya dış kaplama olarak cam ve taş yüzeylere, bina cephelerine mikro alglerin oluşumunu engellemek için kullanılmaktadırlar (Chen vd., 2010; Folli vd., 2012, Zhao vd., 2008). TiO_2 içeren kaplamalar ilk safhada, mikro algler ve substratlar arasında oluşan bağları fotokaynaklı oksidasyon ile yok etmektedirler. İkinci safhada ise TiO_2 'nin fotokatalitik özellikleri suyun yüzeyde ince bir film oluşturmaya izin veren süper hidrofilik bir yüzey üretmektedir. Böylelikle, kirleticilerin daha iyi ıslanması ile su hareketi ve buharlaşma nedeniyle organizmaların uzaklaştırılması sağlanmaktadır (Pacheco-Torgal and Jalali, 2011; Quagliarini vd., 2013).

Yapı elemanlarının yüzeylerinde yeşil alglerden oluşan lekeleri çıkarmak için ayrıca mekanik işlemler, UV, mikrodalga veya lazer ışıması, su veya yüzey aktif madde solüsyonları kullanılmaktadır. Biyositler veya mikrobiyal/likensel sekonder metabolitleri dâhil olmak üzere çeşitli doğal ürünlerle dezenfeksiyon yoluyla çıkarılabilmektedirler (Paulina Nowicka-Krawczyk, 2022). Mekanik işlemlerin etkinliği, hedef türler, çevresel koşullar ve mekanik uzaklaştırma gücü gibi birçok faktöre bağlıdır (Kakakhel vd., 2019).

Fiziksel yöntemler, özellikle ıslak koşullarda ısı şoku uygulamaları, özellikle liken ve yosun kolonizasyonuna karşı uygun, yenilikçi ve çevre dostu bir alternatif sunar. Örneğin, lazer tedavisi, epilitik liken ve mantarlar gibi endolitik biyolojik bozulma ajanlarının taştan çıkarılmasını sağlayan çürüme önleyici amaçlar için kullanılabilir. Lazerle temizleme, kültürel anıtların korunmasında köklü bir tekniktir. Bu yöntemle kirleticileri yüzeylerden zarar görmeden çıkarabilir ve büyük nesnelerin korunması için uygun maliyetli bir yaklaşım sağlayabilirler (Speranza vd., 2013).

Kimyasal işlemler, alg biyofilmlerini çıkarmak için restorasyondan önce ve sonra yaygın olarak kullanılmaktadır. İlk aşama, su veya dimetil sülfoksit (DMSO) gibi yüzey aktif madde çözeltilerinin kullanımını içerir biyolojik patinaları çıkarmak için Bonaria'nın (Cagliari-İtalya) anıtsal mezarlığında kolonize mermer eserler üzerine DMSO içeren çözücü jel uygulanmıştır. Bu uygulamada, DMSO solvent jelinin taş üzerindeki patinaları gidermede etkili olduğu ve bu maddelerin kullanımı kolay, ucuz

ve biyosit önlemede daha pratik bir alternatif yöntem olarak değerlendirilmiştir (Toreno vd., 2018).

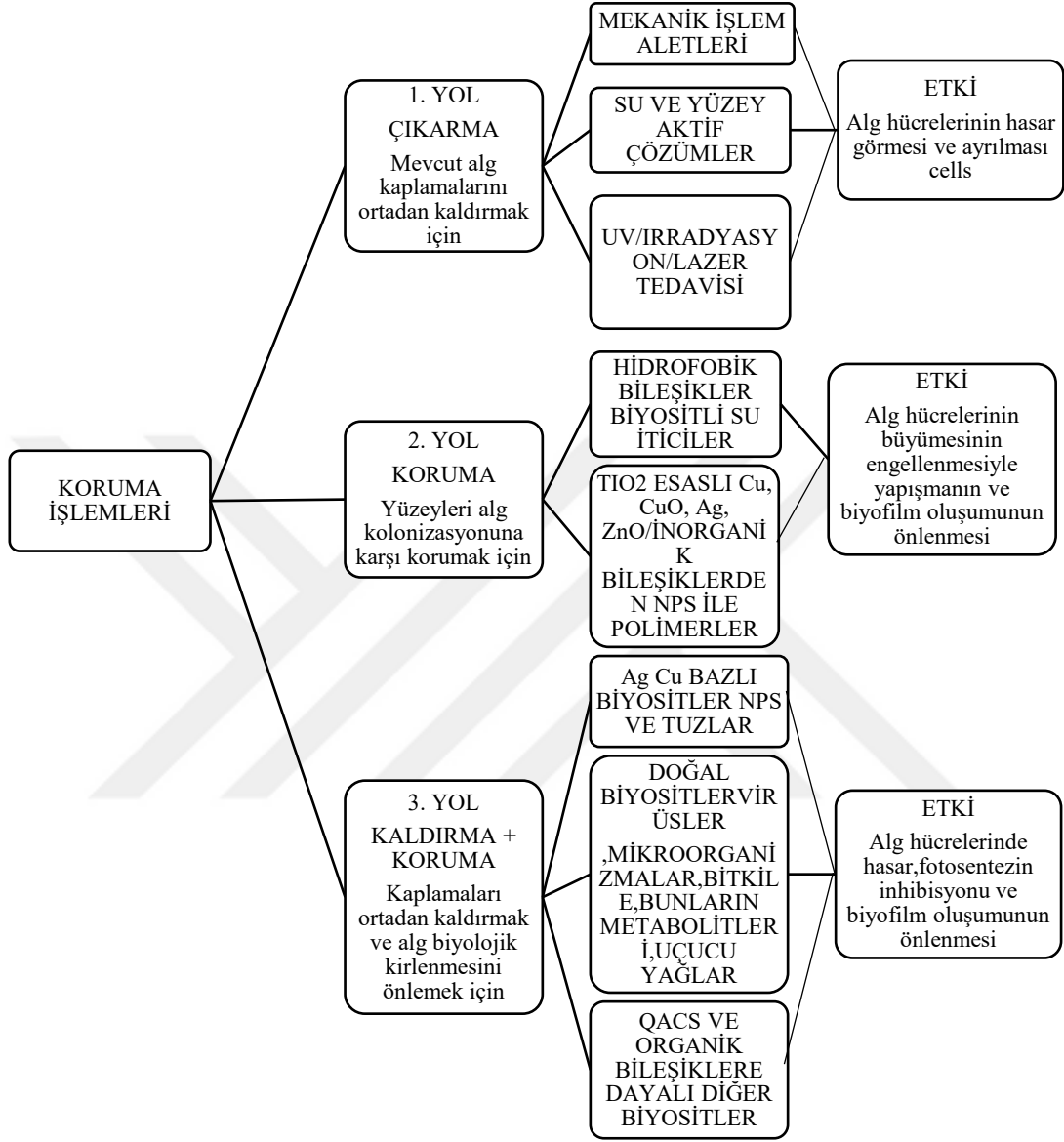
Sanmartín ve vd. (2020) çalışmasında granit tarihi anıt üzerindeki bir alg biyofilmini çıkarmak için farklı yöntemleri karşılaştırmıştır. Substratı kolonize eden organizmaların varlığı ve canlılığı, uygulamış olduğu yöntemden hemen sonra ve ardından geçen bir, üç, altı ve on iki ay sonra renk spektrofotometrisi ve klorofil flüoresan analizi ile belirlemiştir. Test alanlarının yeniden kolonizasyonu, tedavilerin her birinden sonra zar zor fark edildiği, Preventionol RI80®'in en etkili temizleme ürünü olduğu, bunu benzalkonyum klorür ve etanol-su (1,1) karışımı izlediği, New Des 50® açıkça görülebilen renk değişikliklerine neden olduğu ve biyosidalın, Biotin R® ve Biotin T® etkinliklerinin zayıf kaldığını belirtmiştir (Sanmartín vd., 2020).

Biyositler alt tabakaya düşük penetrasyon gösterebildiğinden, geri dönüşü olmayan taş hasarına neden olabilmektedir ve taşta düşük tutma sergileyebildiğinden, kimyasal yöntemlerin de biyositlerin sınırlandırılmasında yetersiz kaldığı belirtilmektedir. Ayrıca, kimyasal maddelerin uygulamaları taş üzerinde renk değişikliği, bozulma veya yeni mikrobiyal salgınlara neden olabileceğinden, çok bileşenli biyositlerin kullanımı, aktif bileşenler tek bileşenli biyositlerinkine benzer olsa bile daha geri dönüşü olmayan hasara neden olabilmektedirler (Sterflinger ve Piñar, 2013). Bu nedenle, yosun önleyici işlemlerden önce biyositlerin taş üzerindeki mikroorganizmalara karşı toksisitesinin doğrulanması ve bunların etkili olan en düşük konsantrasyonlarda kullanılması gerekmektedir (Coutinho vd., 2016; Favero-Longo vd., 2017).

Hem alg biyofilmlerinin korunması hem de uzaklaştırılması açısından etkili koruma yöntemlerinin seçimi, alglerin biyoçeşitliliği ve teknik malzemenin biyolojik bozulma durumu hakkındaki bilgilere bağlıdır. Literatürde açıklanan farklı dezenfeksiyon yöntemlerinin ve malzeme özelliklerinin etkinliğine ilişkin çalışmalar derlenmiştir. Modern ve hassas biyolojik, kimyasal ve malzeme test yöntemleri bu alandaki bilgi boşluklarının doldurulmasına yardımcı olabilir. Özellikle tarihi yapıların biyolojik oluşumlara karşı korunması karmaşık ve çok aşamalı bir süreçtir. Etkili koruma için, Tablo 5'te belirtilen faktörlerin dikkate alınması önerilmektedir. Bu faktörler malzemelerin türü, dayanıklılığı ve saklama koşulları, mevcut biyo-topluluk ve kimyasal durum ile çevresel etki ve ekonomik yönler açısından değerlendirilmelidir. En iyi çözüm, farklı etki mekanizmalarına sahip birkaç yöntem

kullanmak olabilmektedir. Biyositleri kullanırken dezenfektan konsantrasyonlarını, uygulama yöntemini ve tekrarlanan uygulama sayısını belirlemek önemlidir. Bu yöndeki gelecekteki araştırmalar, modern analitik teknikleri dikkate alarak hem laboratuvar hem de saha koşullarında alg biyofilmlerinin geniş bir şekilde korunması ve uzaklaştırılması için çeşitli yöntemlere yönelik çalışmalara odaklanmalıdır. Kullanılacak uygulama yöntemi, bu yöntemin etki süresi ve tekrarlanan uygulama sayısı gibi hususlarından biyolojik oluşumlara karşı kullanılacak yöntemlerde dikkate alınmalıdır. Bu yöndeki gelecekteki araştırmalar, modern analitik teknikleri dikkate alarak hem laboratuvar hem de saha koşullarında alg biyofilmlerine karşı geniş bir şekilde korunması ve uzaklaştırılması için çeşitli yöntemlere yönelik çalışmalara odaklanmalıdır (Paulina Nowicka-Krawczyk, 2022).

Tablo 5. Yüzeylerin Alglerden Korunması veya Kaldırılması İçin Kullanılan Yöntemler



Kaynak: Paulina Nowicka-Krawczyk, 2022.

1.7. Pirit Minerali ve Üretim Yerleri

Piritin Türkiye’de en çok bulunduğu yer Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgeleridir. Bu pirit kaynakların büyük bölümü bakır içermektedir. Bakırın yanı sıra çinko ve kurşun içeren pirit kaynaklar da vardır. Türkiye’deki başlıca pirit kaynakları Artvin, Rize, Trabzon, Giresun, Elâzığ ve Siirt illerindedir. Yalnızca Artvin ilindeki bakırlı pirit cevherlerinin görünür rezervi yaklaşık 53 milyon tondur. Maden Tetkik ve

Arama Genel Müdürlüğü'nün (MTA) verilerine göre Türkiye'de pirit içeren tüm önemli cevher yataklarının görünür rezervi 75 milyon ton, görünür ve muhtemel rezervi 68 milyon tondur (URL-7, 2023). Tablo 6'da pirit mineralinin fiziksel özellikleri görülmektedir. FeS_2 kimyasal bileşime, 5 civarında özgül ağırlığa sahip pirit eski çağlardan beri bilinen bir mineraldir.

Tablo 6. Önemli Ölçüde Pirit Üretilen Bölgeler

İl	İlçe	Köy / Mevki
Artvin	Murgul	Damar
Artvin	Murgul	Çakmakkaya
Artvin	Murgul	Akersen
Artvin	Merkez	Cerrattepe
Artvin	Merkez	Seyitler
Elâzığ	Ergani	Anayatak
Giresun	Espiye	Lahanos-Kızılkaya
Giresun	Tirebolu	Harköy
Rize	Çayeli	Madenköy
Siirt	Sirvan	Madenköy
Trabzon	Yomra	Kanköy

Kaynak: Demirel, 2011.

Tablo 7. Pirit Malzemesinin Özellikleri

Açıklama	Özellik
Kimyasal Bileşimi	FeS_2
Kristal Sistemi	Kübik
Kristal Biçimi	Genellikle kübik, oktahedral, piritohedral kristalli
Sertlik	6- 6.5
Özgül Ağırlık	5-5.028
Renk ve Şeffaflık	Metalik pirinç sarısı, opak
Çizgi Rengi	Yeşilimsi siyah
Parlaklık	Metalik

Kaynak: URL-8, 2023.



Şekil 10. Pirit Minerali Görseli

Pirit Manyetit ve Kalkopiritten sonra yaygın olarak gözlenen diğer bir cevher mineralidir. Öz şekilsiz ve kısmende öz şekilli olarak iki farklı durumda oluşmakta olup Pirit minerali tektonik faaliyetlere bağlı olarak kataklastik dokuda sunmaktadır (Akaryalı, E. 2023). Piritli kayaçlar ağır yoğunlukları nedeniyle radyasyon zırhlama amaçlı betonda kullanılabilirliği ile ilgili çalışmalar vardır. Literatürde pirit minerali demir sülfür (FeS) kimyasal bileşimine sahip olması nedeniyle zamanla demir sülfürün sülfirik asite dönüşme eğilimi gösterdiği ve demir sülfürün beton için zararlı olabileceği ile de literatürde rastlanmaktadır (Baradan, 2003).

1.8. Literatür Özeti

Ustabas ve vd. (2022) piriti ağır beton üretiminde agrega olarak kullanmışlardır. Ürettikleri piritli agregalı betonların basınç dayanımı, elastisite modüllerini deneysel olarak bulup krom, magnetit agregalı ve normal agregalı betonlarla kıyaslayıp bu betonların radyasyon soğurma özellikleri ölçmüşlerdir. Piritli agregalarla 0,4, 0,5 ve 0,6 su/çimento oranlarında sırasıyla 2660, 2710, 2810 birim hacim ağırlıklar (kg/m^3) ile 50, 44,5 ve 31 MPa basınç dayanımları elde etmişlerdir.

Ustabas ve vd. (2017) pirit agregalı betonlarda 37000 ile 16000 MPa arasında elastisite modülleri ölçmüşlerdir.

Liretatürde piritin ağır betonlarda agrega, çimentoda katkı malzemesi olarak kullanımına dair çalışmalara rastlanmaktadır.

Capraro Vd. (2021) Yapılan çalışmada pirit varlığı nedeniyle farklı düzeylerde (%0,0, %0,5, %1,0 ve %5,0) SO₃ ile kirlenmiş çimento hamurlarının kimyasal ve mikroyapı parametreleri ile betonların elektrokimyasal parametrelerinin değerlendirilmesini amaçlamıştır. Kimyasal ve mikroyapısal parametrelerin değerlendirilmesi, çimento hamurlarında zararlı ürün oluşumunun tespiti için SEM ve XRD testleri yapılmıştır. Korozyon potansiyeli, akım yoğunluğu ve elektriksel özdirenç gibi elektrokimyasal parametreler, kirlenmiş betonlara daldırılan donatıları ve bu donatı betonlarının korozyon olayına duyarlılığını değerlendirmek için beton numunelerinde ölçülmüştür. 720 güne kadar gerçekleştirilen SEM ve XRD testleri, etrenjit gibi sağlığa zararlı ürünlerin varlığını doğruladı. 1100 gün boyunca gerçekleştirilen elektrokimyasal analiz, önemli ölçüde daha düşük korozyon potansiyeli değerleri gösterdi (yaklaşık—600 mV). Son olarak, araştırma, SO₃'ün 5.0'l

ile piritle kirlenmiş betonların korozyon olgusuna ve zararlı ürünlerin oluşumuna daha fazla duyarlı olduğu, dolayısıyla betonarme elemanlarda kullanım için zararlı bir içerik olduğu sonucuna varmıştır.

Demirci, M. (2018) yaptığı araştırmada s/ç 0.4, 0.5 ve 0.6 pirit agregalı ağır beton üzerine çalışmış, s/ç oranı arttıkça; E-modülü, Basınç Dayanımı ve soğurma katsayıları azalttığı sonucunu elde etmiştir.

Feng Ka, Wang Xinyu (2022) Pirit tortu cürufunu modifiye beton hazırlamak için kullandı. Mekanik özellikleri ve donma-çözülme özellikleri inceledi ve Pirit tortu cüruf artışı, betonun priz süresini uzattığını gösterdi. Pirit tortu cüruf içeriği %20 ve betonun su-çimento oranı 0.40 olduğunda modifiye betonun 7 gün basınç dayanımı ve 28 gün basınç dayanımının en yüksek olduğunu ölçmüşlerdir.

Guo Z. vd. (2016) Yaptıkları çalışmada Pirit içeren kaolin atığını puzolan olarak çimentoda kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Uygun sıcaklıkta kalsine edilerek ve belirli bir incelikte öğütülerek, atıkların yüksek puzolanik aktiviteye sahip olduğunu ve aktivite indeksi %120'ye kadar, çimento katkısı ve yüksek performanslı beton katkısı olarak kullanılabilir. Pirit %20 oranında çimentonun yerine kullanıldığında, betona işlenebilirliğini azaltmadan en yüksek basınç dayanımını sağlayacağını göstermişlerdir.

Alp I. vd. (2009) Yaptıkları çalışmada, endüstriyel ölçekte Portland çimentosu klinkeri üretiminde demir kaynağı olarak pirit cüruflarının (PyCs) potansiyel kullanımı gösterilmiştir. Bu çalışmada kullanılan PyC numunesinin kimyasal ve mineralojik analizleri, ağırlıklı olarak hematit (Fe_2O_3) formunda %87 Fe_2O_3 içermesi nedeniyle demir kaynağı olarak kullanılmaya uygun bir hammadde olduğunu ortaya koymuştur ve manyetit (Fe_3O_4). 6 aylık endüstriyel ölçekli deneme işletmesinde PyC'den üretilen klinker numunelerinin kimyasal bileşimlerinin uygunluğu ve elde edilen çimento ürünlerinin fiziko-mekanik performanslarını test etmişlerdir. PyC'nin tüm klinker ürünlerinin kimyasal bileşimlerinin, demir cevheri klinkeri ve dolayısıyla bir Portland çimentosu klinkeri ile uyumlu olduğu görülmüştür. PyC klinkerinden hazırlanan harçların mekanik performansının CEM I tipi çimentolar gibi endüstriyel çimentolarla uyumlu olduğu görülmüştür. Sızdırma testlerinden PyC'nin potansiyel bir ağır metal kirliliği kaynağı olabileceği, PyC klinkerlerinden elde edilen harç numunelerinin ise herhangi bir çevre sorunu oluşturmadığı çıkarımı yapılabilir. Bu

bulgular, atık pirit cüruflarının Portland çimentosu üretimi için demir kaynağı olarak kolayca kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Salguero vd. (2014) Beton dizaynında ince agregaya yerine kullanılarak yeni bir tasarım oluşturulması amacıyla ince agreganın bir kısmı piritle değiştirilerek betonlar üretilmiştir ve betonlar üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Pirit kullanılan beton numunelerde basınç dayanımı 56.44 MPa, Piritli numunelerde 41.03 MPa basınç dayanımı ölçüldü ve piritin betonda kullanıma uygun olduğunu belirtmişlerdir. Piritin ince agregaya yerine betonda kullanılabilmesi atık masrafinin azaltılması ve agregaya sektörüne katkı sağlaması ile pirit madenine maddi değer katacağını belirtmişlerdir.

Sevgi, Xhibo (2021) Kosova Prizren Sinan Paşa caminde inceleme sonucunda sıvalı yüzeylerde biyolojik bozulma yosunlaşma tahribat yarattığı gözlemlenmiş ve bu sorunun drenaj tıkanıklığı nedeniyle nem oluşmasından olduğunu belirlemişlerdir ve drenaj sistemini işler hale getirerek yosunlaşma oluşan kısımlar Mekanik tekniklerle itinalı şekilde temizlenmiştir.

Akyüz (2019) Yapmış olduğu çalışmada beton parkeler üzerine kütesine göre 0,10-0,20-0,30-0,40 oranlarında pirit uygulayarak yapmış olduğu deney sonucunda piritin yüzey aşınma direncinde iyileştirme sağladığını göstermiştir.

Gerz Ş. (2020) Yüzme havuzlarında yosunlaşmayı önlemek amacıyla Klor (toz) kullanmıştır. Biyolojik özelliği sayısında bakterileri ve virüsleri etkisiz hale getirdiğini belirtmiştir İkinci bir yöntem olarakta Yosun önleyici sıvı kullanmıştır. Bu sıvı Amonyum klorür bileşikler %15-30 yosun oluşumunu mikroorganizma gelişimini önleyerek yosun oluşumunu engellemiştir.

Tekdez (2023) Beton su depolarında Yosun sorununun başlıca nedeninin beton yalıtımının yapılmaması, kirliliği su ve güneş ışığına maruz oluşu olduğunu belirtmiştir. Yosunlaşmayı önlemek için beton güneşe maruz kalmayacak ve belirli periyotlarla temizliği yapılarak havalandırılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Betonda Yosunlaşma Kötü görüntü, bakteri oluşumu, kaygan balçık yapısı nedeniyle düşme riski oluşturması ve maliyetli onarımlara sebebiyet vermektedir. Betonda yosunlaşma genel olarak periyodik temizleme ve çeşitli kimyasallar kullanılarak mekanik uygulamalarla ortadan kaldırılma yöntemleri uygulanmaktadır. Yapılan araştırmalar neticesinde Betonda yosunlaşma sorunun ortadan kaldırmak amacıyla bölgemizde bulunan ve beton içerisinde çeşitli çalışmalarda kullanılarak

olumlu sonuçlar vermiş olan piritin yapılan çalışmalardan farklı olarak sabit s/ç oranına sahip beton içerisinde %0, %2,5 ve %7,5 oranlarında ve beton yüzeyinde 0 kg/m², 1kg/m² ve 3 kg/m² olarak uygulayarak saha betonlarının yüzey özelliklerine etkisi ve yosunlaşmaya etkisi araştırılmıştır.

Çoşkun ve Sarıışık (2017) Taşların sürtünme katsayıları (cof) belirlenerek kayma güvenliği için risk analizi yapılan çalışmada; 15 ayrı doğal taşın yüzeyine cilalı, honlu, eskitilmiş, kuru ve ıslak koşullarda eğik düzlem metodu ile sürtünme katsayılarını belirlemiştir.



2.YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Betonda Kullanılan Malzeme Özellikleri ve Beton Tasarımı

Tasarımı yapılan betonda CEM I 42,5 R tipi çimento kullanılmıştır. Betonda kullanılan agregalar ve katkı ise Rize ilindeki bir beton santralinden temin edilmiştir. Bakır madeninden piritli kayaçlar alınmıştır.



Şekil 11. Çeneli Kırıcıda Piritli Kayaç'ın Öğütülmesi

Bakır madeninden temin edilen içerisinde pirit minerali içeren kayaçlar Şekil 11'deki çeneli kırıcıda kırıldıktan sonra 4 mm göz açıklıklı elekten elenerek piritli ince agrega elde edilmiştir. Piritli ince agreganın elekten geçen yüzdeleri görülmektedir. Betonlarda Tablo 8'de tane dağılımına sahip piritli agrega betonlarda kullanılmıştır.

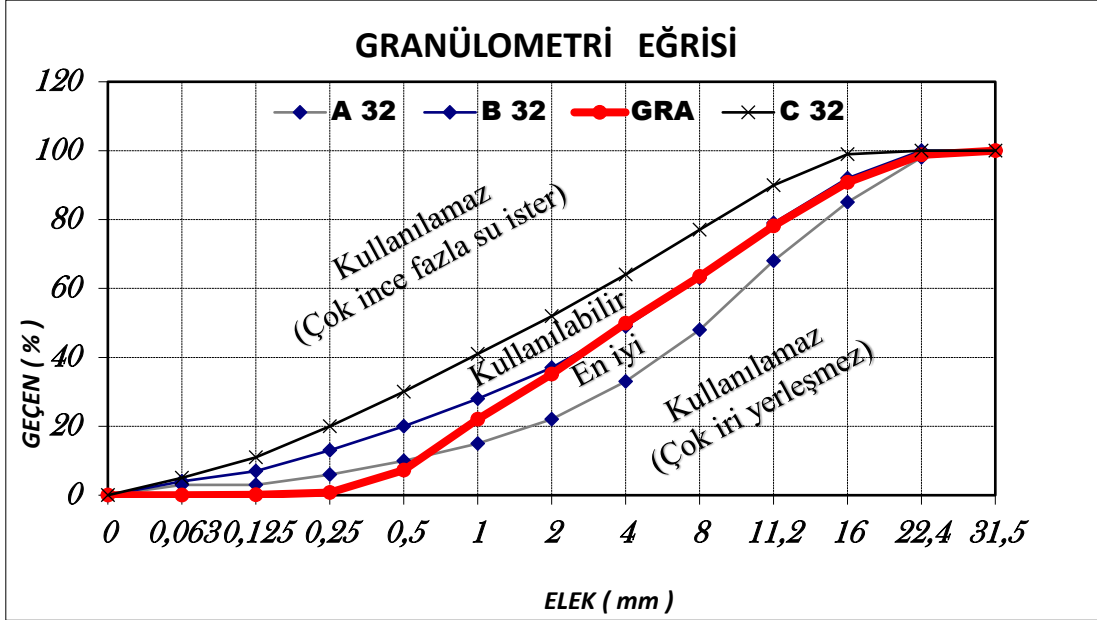
Tablo 8. Piritli Agrega Elekten Geçen (%) Geçerleri

Elek Açıklığı (mm)	Elekten Geçen (%)
4	100
2	76,2
1	47,1
0,5	18,7
0,25	3,2
0,125	0,8
0,063	0
Kap	0

Tablo 9’da fiziksel özellikleri görülen agregalar beton üretiminde kullanılmıştır. Tablo 9’daki kum, kırma kum, iri agrega (4/16) ve iri agrega (16/32) sırasıyla %23, %37, %28 ve %12 oranlarında beton karışımına eklenmiştir. Şekil 12’te karışım agregasının granülometri eğrisi görülmektedir.

Tablo 9. Agrega Özellikleri

	Kum (0/4)	Kırma Kum (0/4)	İri agrega (4/16)	İri agrega (16/32)	Piritli ince agrega (0/4)
Özgül Ağırlık	2,31	2,48	2,62	2,69	4,74
Su Emme (%)	10,62	4,48	1,48	1,13	0,60
Nem (%)	9,46	2,53	0,44	0,45	0,00



Şekil 12. Tasarlanan Betonun Granülometri Eğrisi

Beton sınıfı C 40/50 olarak tasarlanmıştır. Betonların Su/Çimento oranı 0,45 ve çökme sınıfı S1 (4 cm) alınmıştır. Agrega özgül ağırlık, su emme ve nem içeriği tayini deneyleri TS EN 1097-6 (2022) standardına uygun olarak yapılmıştır. Betonlar TS 802 (2016) standardına göre tasarlanmıştır. Betonlarda Tablo 10’da görülen malzeme miktarları kullanılmıştır.

Tablo 10. 1 m³ için Beton Birleşime Giren Malzeme Miktarları (kilogram)

Malzeme	%0 Piritli Beton PB0	%2,5 Piritli Beton PB2,5	%7,5 Piritli Beton PB7,5
Çimento	380	380	380
Su	194	194	194
Katkı	4	4	4
Kum (0/4)	364	354,9	336,7
Kırma Kum (0/4)	624	608,4	577,2
İri agrega (4/16)	504	504	504
İri agrega (16/32)	222	222	222
Öğütülmüş Pirit (0/4)	0	24,7	74,1
Toplam	2292	2292	2292

Şekil 13 (a) da görülen pan tipi mikserle betonlar karılmıştır. Beton numunelere eğilme testi uygulamak için Şekil 13 (b) 80x100x200 mm'lik pirizmatik numuneler üretilmiştir. Şekil 13(c)'de görülen 100x100x100 mm'lik küp numuneler üretilmiştir. Şekil 13 (c)'de 50x240x500 ebatlarında playvood kalıplar kullanılarak üretilen numunelere üzerine su akıtılarak yosunlaşma oluşumları gözlemlenmiştir.



Şekil 13. Beton Karıştırıcı ve Numune Kalıplarına Yerleştirilen Beton

Şekil 14'te 20 °C'de kirece doymun suda kür gören 100x100x100 mm'lik küp ve 80x100x200 mm'lik prizmatik numunelere 28. gününde su emme, basınç, eğilme, yarmada çekme, sürtünme ve aşınma deneyleri uygulanmıştır.



Şekil 14. Kür Uygulanan Numuneler

2.2. Beton Numunelere Uygulanan Deneyler

2.2.1. Su Emme Miktarının Belirlenmesi

Su emme miktarının TS EN 1097-6 standardına uygun 28 gün kür uygulanan numune kür havuzundan çıkarılıp etrafındaki su filmi bir bezle silinip doymun kuru yüzey kütlesi tartıldıktan(W1) sonra bu numuneler 40 °C etüvde sabit kütleye gelinceye kadar bekletildikten sonra tekrar tartılmıştır (W2) (Şekil 15) ve Denklem 1'e göre numunelerin su emmeleri ölçülmüştür.



Şekil 15 (a) Hava Kuru Tartım (b) Etüv Kuru Tartım

$$W_a = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (1)$$

Denklem 1’deki W_a numune su emme yüzdesini, W_1 Doygun Kuru Yüzey kütlelerini, W_2 Etüv kuru kütlelerini göstermektedir.

2.2.2. Basınç Dayanımı Deneyi

Üretilen 100x100x100 mm ebatlarında %0, %2,5 ve %7,5 piritli ince agrega oranına sahip her bir gruptan üçer adet küp numunelerden TS EN 12390-2 standardına uygun şekilde denklem 2’ye göre basınç dayanımları hesaplanmıştır (Şekil 16).

$$F_c = \frac{P}{a^2} \quad (2)$$

Denklem 1’de, F_c basınç dayanımını (N/mm^2), a numune kenar uzunluğunu (100 mm), P kırılmadaki en büyük kuvveti (N) göstermektedir.



Şekil 16. Basınç Dayanımı Ölçüm Cihazı

2.2.3. Eğilme Dayanımı Deneyi

Eğilme deneyinde 80x100x200 mm ve 50x80x200 mm ebatlarında betonlara TS EN 12390-5' e göre uygulanmıştır (Şekil 17). Numunelerin eğilme dayanımı Denklem 3'e göre hesaplanmıştır.

$$F_f = 1,5 \frac{P \times L}{a \times b^2} \quad (3)$$

Denklem 3'teki F_f eğilme dayanımını (N/mm^2), a ve b yük uygulanan doğrultunun uzunluklarını, P pirizmanın ortasına uygulanmış yük (N), L destek ayakları arasındaki mesafeyi göstermektedir.



Şekil 17. Eğilme Deneyi

2.2.4. Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi

Yarmada çekme deneyi 80x100x200 mm ebatlarında prizmatik numunelere EN 12390-6 (2009)'a uygun şekilde uygulanmıştır (Şekil 18). Yarmada çekme dayanımları Denklem 4'e göre hesaplanmıştır.

$$F_f = 1,5 \frac{P}{a \times b} \quad (4)$$

Denklem 4'teki F_f eğilme dayanımını (N/mm^2), a ve b yük uygulanan doğrultunun uzunluklarını, P prizmanın ortasına uygulanmış yük (N) olarak gösterilmektedir.



Şekil 18. Yarmada Çekme Deneyi

2.2.5. Kayma Direnci ve Sürtünme Deneyi

Kayma direnci ve sürtünme cihazı, piritli ince agreganın yüzeyde ve karışımında kullanımı durumunda kayma direnci ve yüzey sürtünme özelliklerini belirlemek için kullanılmıştır (Şekil 19). TS EN 1341, TS EN 1342 standartlarına uygun pandülün salınım hareketi esnasında, lastik sürtünme kütlesi ile deney numunesinin yüzeyi arasındaki sürtünme kuvveti, kalibre edilmiş skala kullanılarak pandülün salınım mesafesindeki azalmanın tespiti metodu ile EN-1097-8 standardına uygun şekilde ölçüldü. Test Cihazı üzerinde okunan değer Pandül test değeri (PTV) aşağıdaki formülle sürtünme katsayısı (cof) çevrilir.

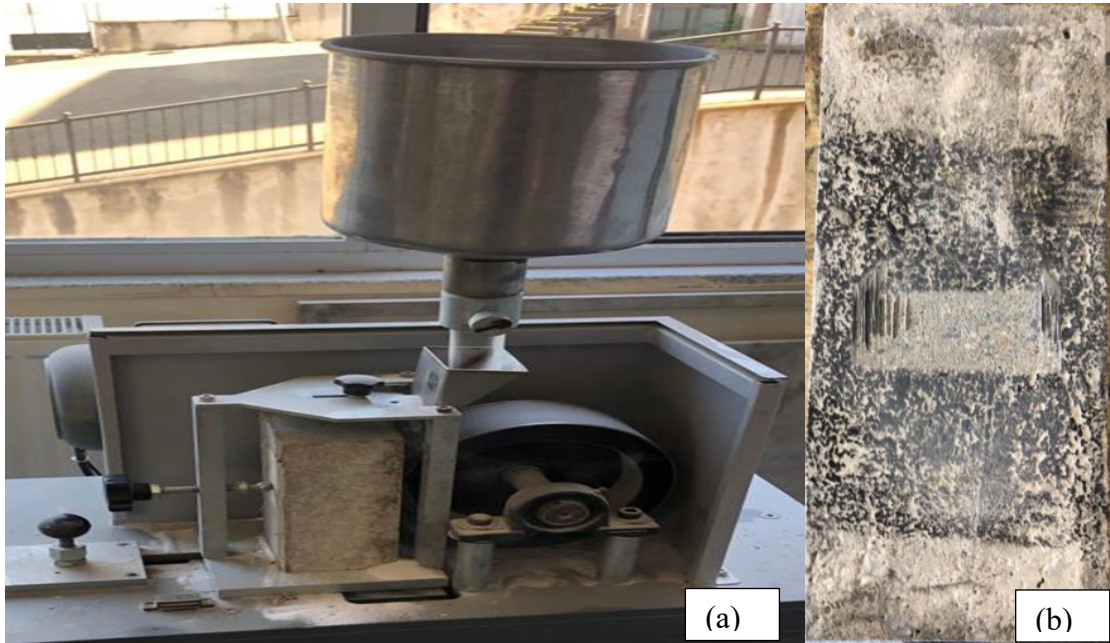
$$\mu = \left[\frac{110}{PTV} - \frac{1}{3} \right]^{-1} \quad (5)$$



Şekil 19. Sürtünme Katsayısı Deneyi

2.2.6. Aşınma Direnci Deneyi

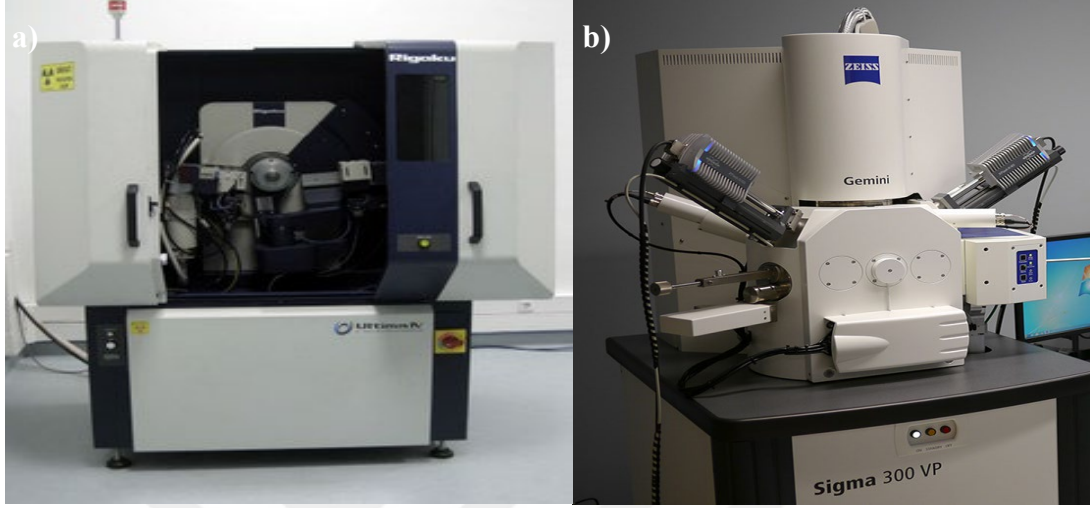
Dikey aşınma deneyleri Şekil 20 (a)'daki dikey aşınma cihazı kullanılarak TS 2824 EN 1338 standartlarına göre yapılmıştır. Tebeşirle üzeri taranan numuneler dikey aşınma cihazına yerleştirildikten sonra aşınma diskini (60 ± 3) saniyede 75 dönüş yapacak şekilde çalışıp otomatik olarak durdurulmuştur. Beton numunelerde oluşan aşınma uzunluğu cetvelle ölçülmüştür (Şekil 25 (b)).



Şekil 20. (a) Dikey Aşınma Cihazı (b) Deney Uygulanmış Numune

2.2.7. Mikro Yapısal Analizler

Çalışmada kullanılan numunelerin XRD ile de mineralojik yapı tespiti yapılmıştır. Belli numunelerden kesilen parçalar üzerinde SEM analizleri yapılmıştır.



Şekil 21. a) X- Işını Difraktometrisi (XRD) Cihazı b) Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

2.2.8. Yosunlaşmadan Kaynaklı Renk Değişiminin Belirlenmesi

Yosunlaşma genellikle suyun sürekli temas ettiği ortam koşullarında oluşmasından dolayı piritli ince agreganın yosunlaşma üzerindeki etkisini anlamak ve yorumlayabilmek için kapalı ortam ve nemli ortam koşulları oluşturmak amacıyla araştırmanın yapıldığı laboratuvarın zemininde bulunan ve dış yüzey duvarlarında yosunlaşma görülen bir odasında 50x240x500 mm ebatlarındaki numunelerin yüzeyine piritli ince agrega 0 kg/m², 1 kg/m² ve 3 kg/m²'ü oranlarında uygulanarak betonlar üretilmiştir (Şekil 21 (a), (b) (c) ve (d)). Bu numunelere eşit miktarda sabit debili temiz suya maruz bırakmak amacıyla 200 lt'lik su tankından borular yardımıyla taşınan su numune üzerine damlatılmıştır. Betonların üzerinde oluşan yosunlaşmalar göz ile incelenmiş ve daha sonrasında kirli su kanalında bekletildikten sonra mikroskop altında incelenmiştir.



Şekil 22. 50x240x500 mm Numuneler a) Brüt Beton b) 1kg/m² Piritli İnce Agrega Uygulanmış Numune c) 3kg/m² Piritli İnce Agrega Uygulanmış Numune d) Deney Düzeneği

3. BULGULAR

PB0, PB2,5 ve PB7,5 piritli ince agregâ içerîğine sahip 100x100x100 mm ebatlarındaki beton numunelerden elde edilen su emme ve basınç dayanımı değeri Tablo 11’de görölmektedir. Tablo 11’de verilen basınç dayanımı değeri 28. günde ölçölen 3 adet numunenin ortalama dayanım değeri Tablo 11’de piritli ince agregâ ilavesi beton dayanımında azalmaya neden olmuştur. %7,5 oranında piritli agregâ kullanımı PB0 numunesine göre PB7,5 numunelerinin basınç dayanımında %21,33 oranında azalmaya, su emme değeri ise %21 oranında artmaya yol açmıştır.

Tablo 11. PB0, PB2,5 ve PB7,5 100x100x100 mm Numunelerde Betonlarının Basınç Dayanım ve Su Emme Değeri

Numune ismi	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Su Emme (%)
PB0	64,22	1,89
PB2,5	56,52	1,91
PB7,5	50,53	2,30

Tablo 12’de PB0, PB2,5 ve PB7,5 pirit ince agregâ içerikli 80x100x200 mm ebatlarındaki beton numunenin 28. günde ölçölen ortalama eğilme ve yarmada çekme dayanım değeri Tablo 12’de görölmektedir. Piritli ince agregâ kullanım oranı arttıkça betonların eğilme ve yarmada çekme dayanımlarında bir miktar artış meydana gelmiştir.

Tablo 12. PB0, PB2,5 ve PB7,5 80x100x200 mm Numunelerde Betonlarının Eğilme ve Yarmada Çekme Dayanımları

Numune ismi	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Yarmada Çekme Dayanımı (N/mm ²)
PB0	4,99	2,84
PB2,5	5,91	3,34
PB7,5	6,89	3,92

PB0, PB2,5 ve PB7,5 pirit ince agregâ içerikli 80x100x200 mm ebatlarındaki beton numunelerin sürtünme değeri, dikey aşınma uzunlukları ve aşınmadan kaynaklı kütle kaybı sonuçları Tablo 13’te görölmektedir. Tablo 13’te pirit ince agregâ ilavesi

betonların dikey aşınma uzunluğunun azalmasına yol açmıştır. Piritli ince agrega ilavesi betonların yüzey aşınma direncini artırmıştır.

Tablo 13. 80x100x200 mm Numunelerinde Sürtünme, Aşınma ve Kütle Kaybı Değerleri

Numune Adı	Sürtünme (Cof)	Aşınma Ölçümleri (mm)	Kütle Kaybı (%)
PB0	0,793	25	0,04
PB2,5	0,976	24	0,07
PB7,5	1,008	23	0,05

Tablo 14'teki değerler 50x240x500 mm ebadında kalıplara dökülen betonlardan beton kesme makinesiyle kesilip 50x80x200 mm boyutuna getirilen betonlardan ölçülen sürtüne katsayısı, ağırlık kaybı ve eğilme değerleri görülmektedir. Tablo 14'teki değerler PB0 betonunun ve bu betonun yüzeyine 1 kg/m² ve 3 kg/m² piritli ince agrega yüzeyine serpilerek üretilmiş betonlardır. Betonun yüzeyine piritli agrega serpilme oranı arttıkça dikey aşınma ile betonda meydana gelen kütle kaybı azalmıştır.

Tablo 14. 50x240x500 mm Ebatlarındaki Numuneden Kesilerek Elde Edilen 50x80x200 mm Numunelerine Ait Sürtünme Kütle Kaybı ve Eğilme Dayanımı

Numune Adı	Sürtünme (Cof)	Aşınma Uzunluğu (mm)	Kütle Kaybı (%)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Eğilme Yüğü (Kn)
0 kg/m ²	0,694	28	0,18	9,11	8,10
1 kg/m ²	0,822	25	0,11	10,41	9,25
3 kg/m ²	0,929	24	0,05	11,96	10,63

Şekil 22 (d)'de görülen betonlara kurulan düzeneikle numunelerin üzerine sabit debide temiz su damlatılmıştır. Şekil 22(a)'da pirit bulunmayan beton numunede 2 ay sonra beton ile suyun ilk temas ettiği kısımda koyulaşma olduğu gözlemlendi. Şekil 22(b) 1 kg/m² pirit uygulanan beton numunede piritli kısımda renk değişimi olmadığı piritin yüzeyi kaplamadığı yüzeylerde az miktarda koyulaşma olduğu gözlemlendi. Şekil 22(c) 3 kg/m² pirit uygulanan betonda herhangi bir renk değişimi gözlemlenmemiştir.

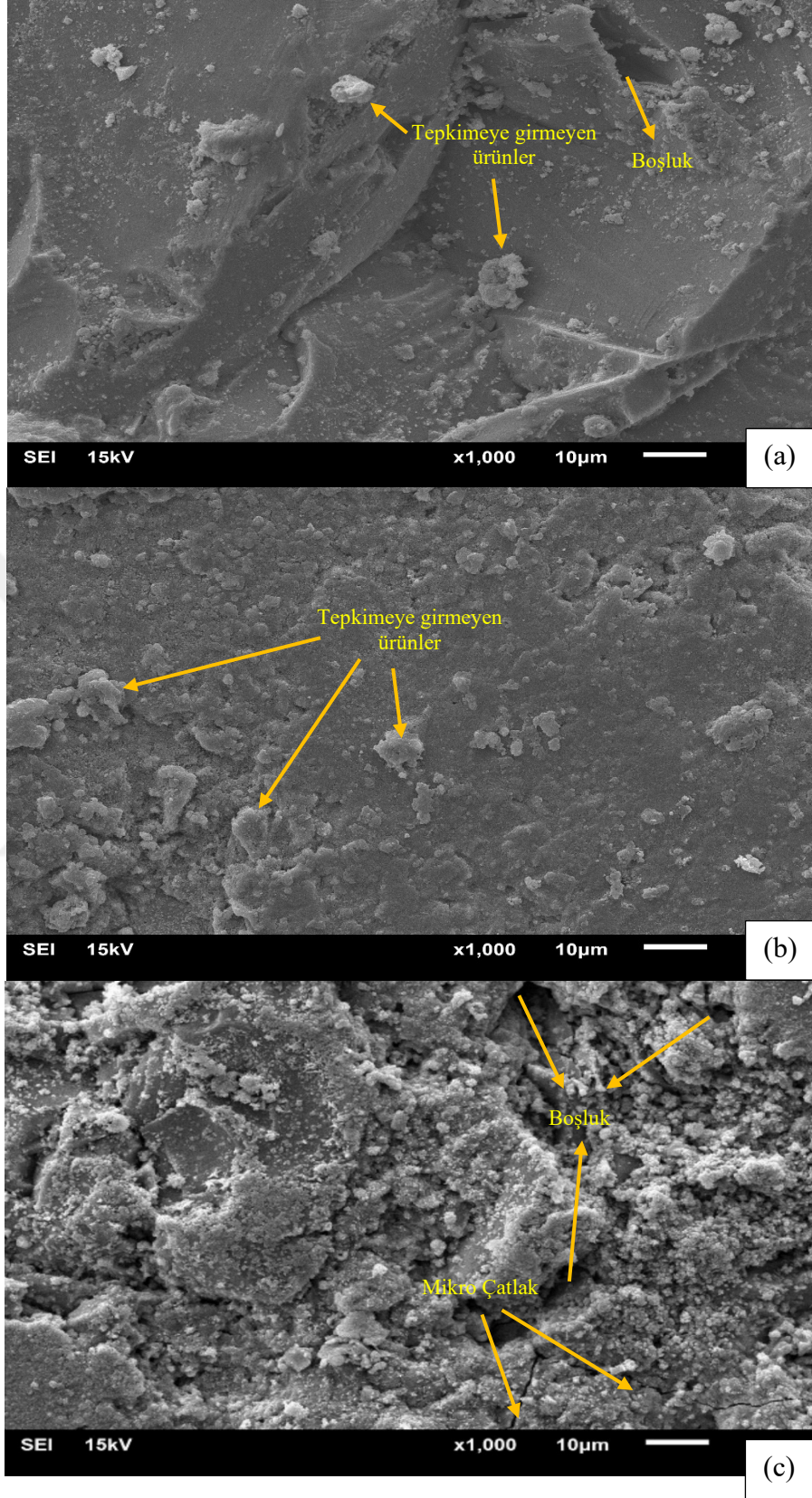


Şekil 23. 50x240x500 mm Numune 2 Aylık Sürecin Sonunda Betondaki Renk Değişimi

Şekil 24'te 50x240x500 mm ebatlarındaki piritli ince agrega bulunmayan ve 1 kg/m², 3 kg/m² piritli ince agrega kullanılan yüzeye sahip numunelerde keserek elde edilen 50x80x200 ebatlarındaki numunelerin kirli su kanalı içerisindeki ilk ve 2 ay sonraki durumu görünmektedir.



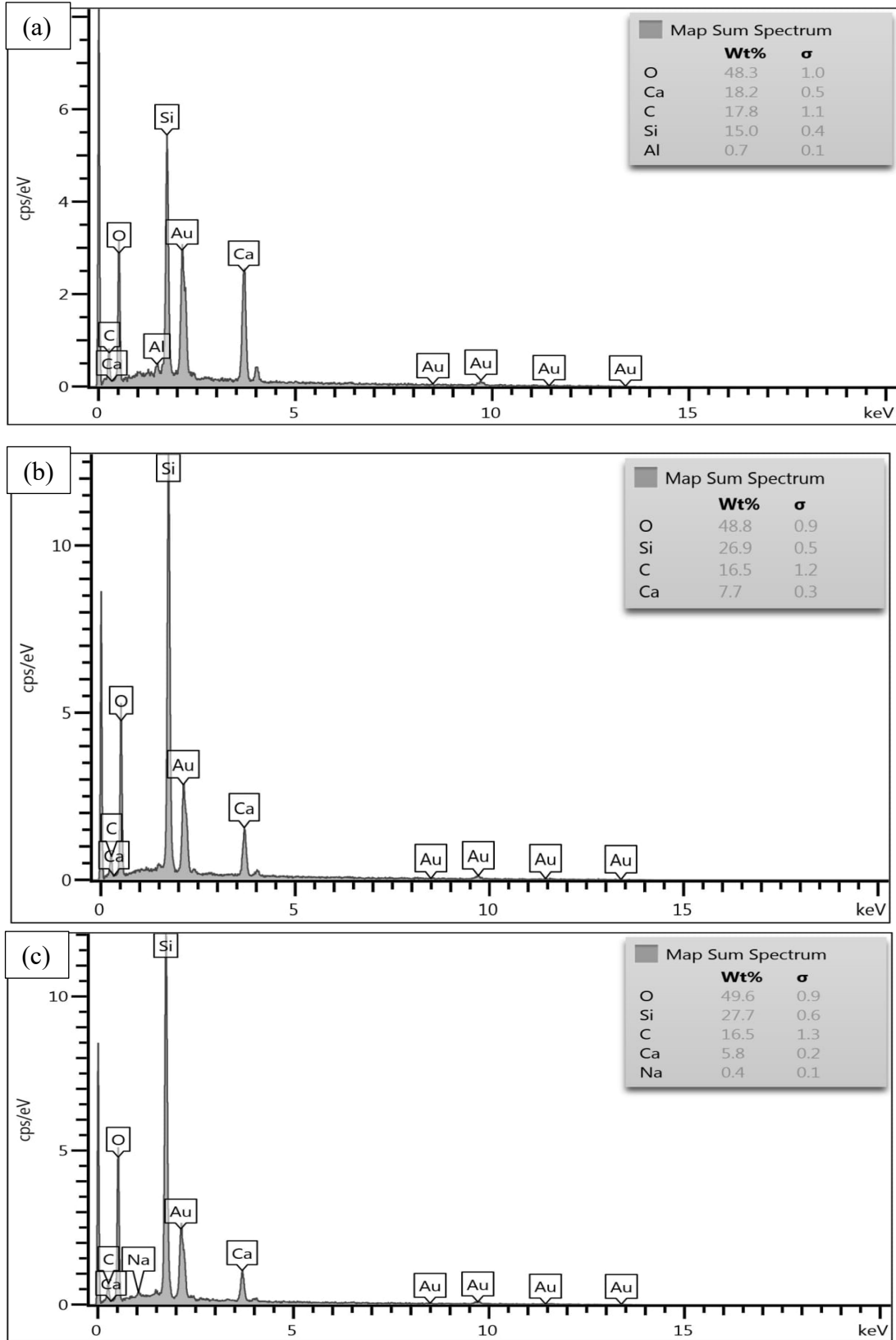
Şekil 24. 50x240x500 mm Numunelerden Kesilerek Elde Edilen 50x80x200 Ebatlarındaki Numunelerin Kirlı Su Kanaldaki a) İlk Gün Görüntüsü b) 2 Ay Sonraki Görüntüsü



Şekil 25. Sem Analizi Yapılmış Numunelere Ait x1,000 Kez Yaklaşdırılmış Görüntüler
a) PB0 b) PB 2,5 c) PB 7,5

Şekil 25'te 3 farklı numuneye ait SEM görüntüleri 1000 kez büyütülerek elde edilmiştir. Şekil 25 (a)'da piritli ince agregaya içermeyen numune genel olarak bütün bir C-S-H yapısına sahip az miktarda tepkimeye girmeyen ürünler görünmektedir. Şekil 25 (b)'de PB2,50 numune yüzeyinde çok sayıda C-S-H yapısıyla birleşim sağlayamamış parçacıklar bulunmaktadır. Şekil 25 (c)'de PB7,5 numunesinin boşluklu ve yüzeyde mikro çatlaklı bir yapıda olduğu görülmektedir.

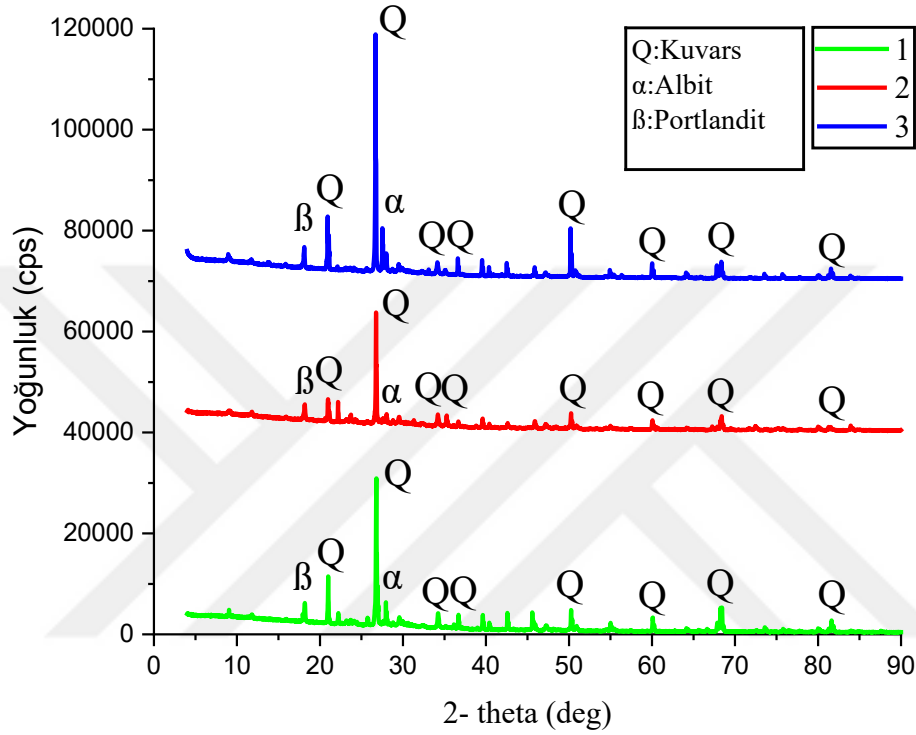




Şekil 26. 80x100x200 mm Numunelerinin EDS Spektroskopileri a)PB0 b) PB 2,5 c)

PB 7,5

Şekil 26’da SEM analizi gerçekleştirilen numunelere ait EDS analizleri verilmektedir. Bu analizler neticesinde numunelerde bulunan element içerikleri şekilde görülmektedir. Numunelere ait Si miktarı en yüksek PB7,50’te 27,7 ve Na oranı 0,4 elde edilirken, en düşük Si miktarı PB0’da 15,0 olarak elde edilmiştir.



Şekil 27. PB0 (1), PB2,50 (2) ve PB7,50 (3) Numunelerine Ait XRD Sonuçları

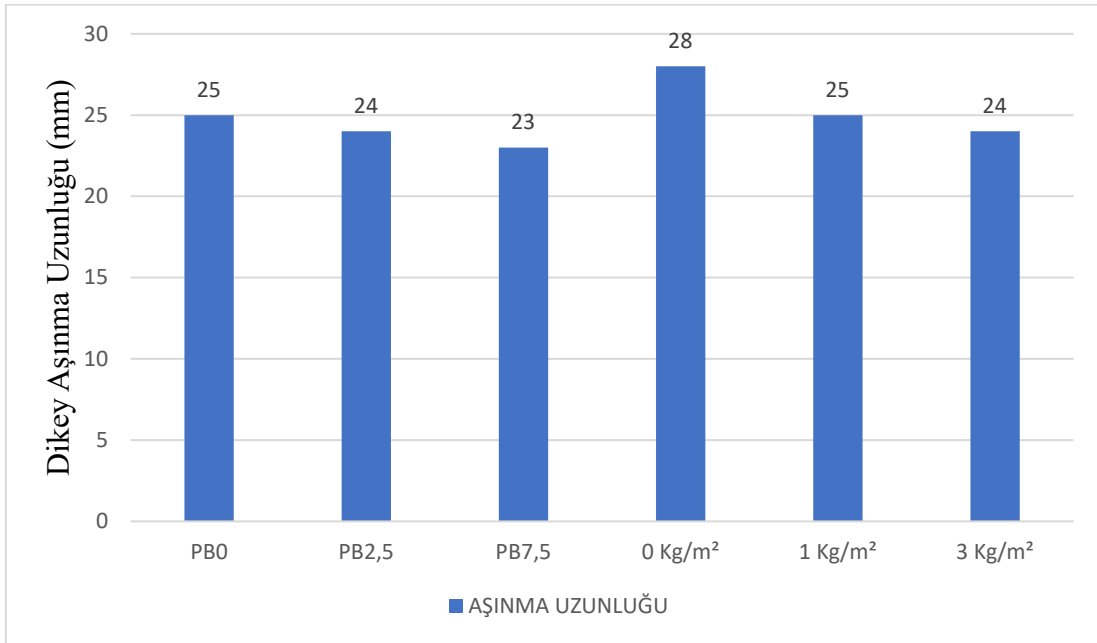
Beton yüzeylerde oluşan yosunlaşma miktarına piritli ince agreganın etkisinin belirlenmesi amacıyla 3 farklı numuneye farklı oranlar için piritli ince agrega ikame edilmiştir (Kontrol, %2,5 ve %7,5). İkame edilen piritli ince agreganın beton yüzeylerde malzemenin karakterizasyonunda oluşan değişimlerin incelenmesi için numune yüzeylerinden alınan toz malzemeler RTEÜ Merkezi Araştırma Laboratuvarında analiz edilmiştir. X-Ray difraktometrik toz yöntemi (XRD) için dalga boyu λ Cu-K-beta olan PW1830 model cihaz kullanılmıştır. Toz numuneler 4° – 90° $2\theta^{\circ}$ açı aralığında taranarak 2-theta (deg) ve yoğunluklar belirlenmiştir. Numunelerin mineralojik içeriğini belirten faz değişimlerinin belirlenmesi için Qualx programı kullanılmıştır (Bouaissi, A,2019). Ortaya çıkan XRD spektrumu Şekil 27’de verilmektedir. Beton numunelerin ana reaksiyon fazları Portlandit (18,20 2θ), Albit

(27,94 2Θ), Kuvars (21,04; 26,78; 34,28; 36,70; 50,26; 60,08; 68,24 ve 81,64 2Θ) olarak gerçekleřmiřtir.



4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

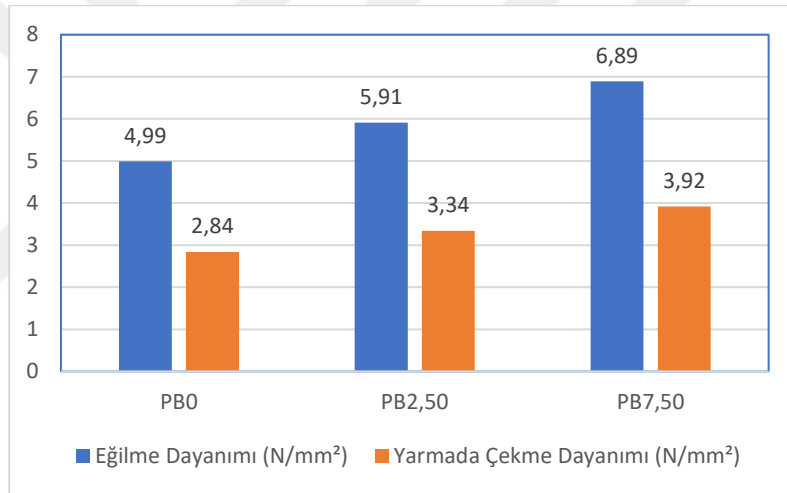
Piritli ince agrega beton karışımında ve yüzeyinde kullanılması durumunda betonun mekanik özelliklerine ve yüzey özelliklerine etkisi araştırılan bu çalışmada ince piritli agreganın beton yüzeyindeki yosunlaşmaya etkisinde incelenmiştir. Pirit genel olarak bakır madenlerinden yan ürün olarak ortaya çıkan ve yaygın kullanım alanı bulamayan bir malzemedir. Yapılan literatür araştırmasında piritli ince agreganın beton yüzeyinde yüzey sertleştirici ve yosun önleyici katkı olarak kullanılabilirliği araştırılarak yeni beton katkısı geliştirmeye katkı sağlanması amaçlanmıştır.



Şekil 28. PB0, PB2,5 ve PB7,5 80x100x200 mm Numuneleri ve 0 kg/m², 1kg/m² ve 3 kg/m² 50x80x200 mm Numunelerine Ait Dikey Aşınma Uzunlukları

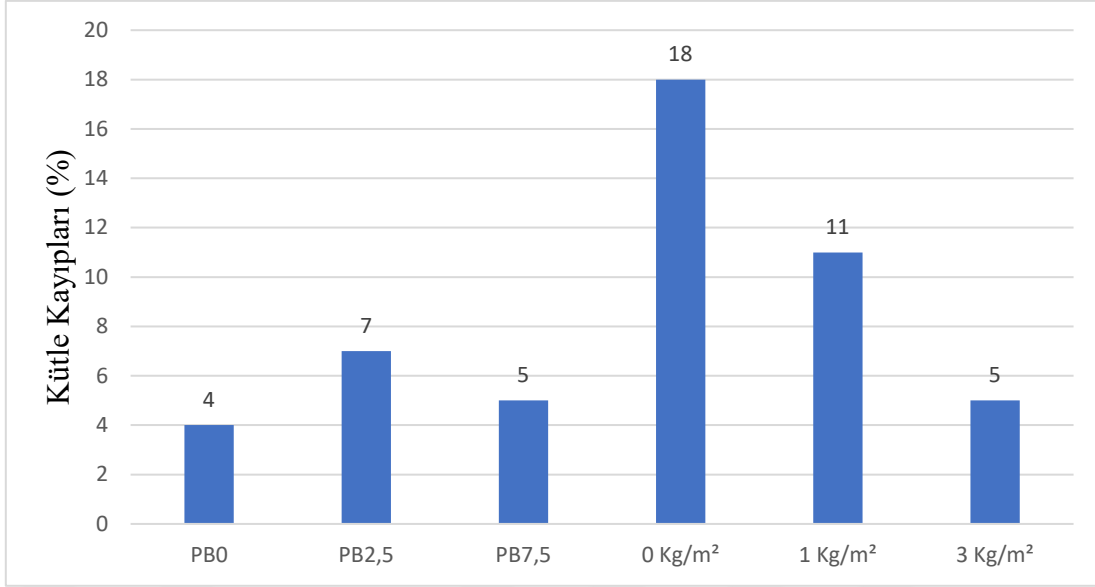
Şekil 28’de 80x100x200 mm ebadına sahip prizmatik numunelerde PB0, PB2,5 ve PB 7,5 betonlarında ince agrega %0, %2,5 ve %7,5 oranında ikame edilerek ve yüzeyine 1 kg/m², 3 kg/m² piritli ince agrega serpilerek üretilen 50x80x200 ebatındaki iki farklı beton gurubu üzerinde dikey aşınma cihazıyla aşınmaya bırakılan yüzeylerde ölçülen yatay uzunluklar görülmektedir. Betonun içerisine piritli agregası ilavesi yapıldıkça beton yüzeyindeki dikey aşınma uzunluğunun azaldığı Şekil 28’te görülmektedir. Beton içerisine %7,5 oranında piritli ince agrega katılması betonun yüzey aşınma direncini artırmıştır. PB7,5 numunesinde PB0 numunesine göre aşınma

uzunluğu %8 oranında azalmıştır. Beton yüzeyine piritli ince agrega serpilmesinde beton yüzeyinin aşınma direncini artırdığı Şekil 28’te görülmektedir. Hiç agrega beton yüzeyine serpilmemiş betondaki dikey aşınma uzunluğu 3 kg/m² numune serpilene göre %14 daha uzun olduğu şekil 28’ten hesaplanabilmektedir. Dikey aşınma uzunlukları görülmektedir. Şekil 28’deki verilere göre piritli ince agrega karışımında ve yüzeyde uygulandığı zaman miktarı arttıkça yüzey aşınma direnci artmaktadır. Akyüz (2019), beton parkeler üzerine yapmış olduğu araştırmada piritli betonun aşınma direncinin referans numuneye göre daha yüksek olduğunu ölçmüştür ve çalışmasında piyasada kullanılan yüzey sertleştiricilere yakın aşınma değerleri tespit etmiştir. Akyüz (2019)’ün çalışmasındaki değerlerle bu çalışmadaki dikey aşınma uzunlukları ile yakın değerler olduğu tespit edilmiştir.

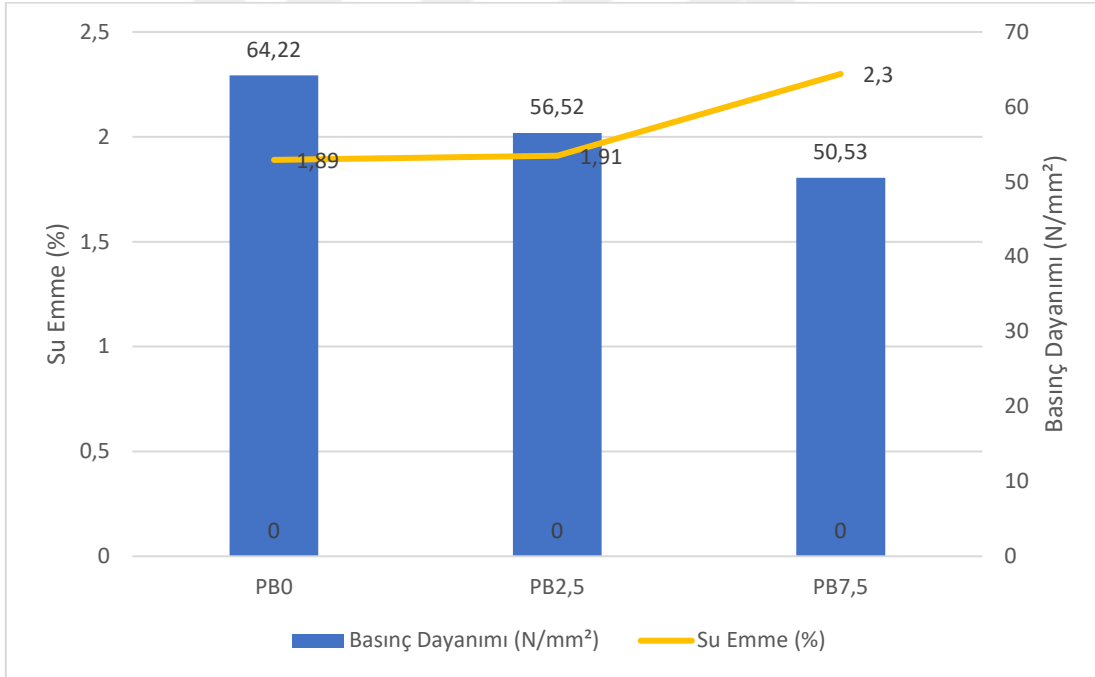


Şekil 29. 80x100x200 mm Ebatlarındaki Numunelerin Eğilme ve Yarmada Çekme Grafikleri

Şekil 29’te 80x100x200 ebatlarındaki PB0, PB2,50 ve PB7,50 numunelerinden ölçülen eğilme ve yarmada çekme dayanımları görülmektedir. Piritli ince agreganın karışım içerisinde kullanım miktarının artması eğilme ve yarmada çekme dayanımında artırmıştır. Akyüz (2019)’ün yapmış olduğu çalışmada %10 piritli betonda ortalama 4,0 MPa, %20 piritli betonda 4,1 MPa, %30 piritli betonda 4,8 MPa yarmada çekme dayanımları ölçmüştür. Akyüz (2019)’ün çalışmasındaki değerlerle bu çalışmadaki yarmada çekme dayanımları yakın olduğu tespit edilmiştir.



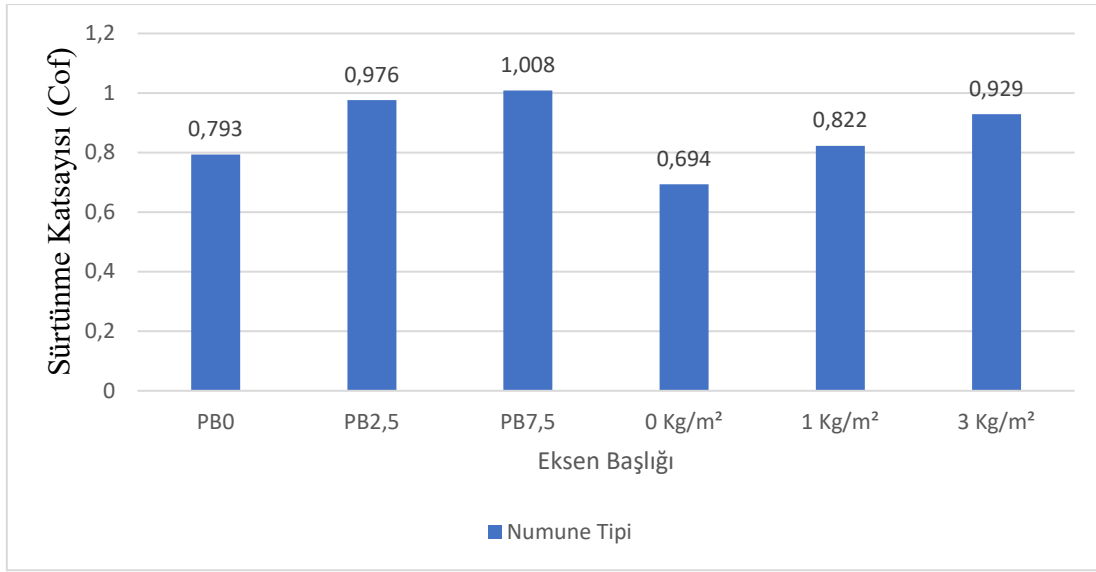
Şekil 30. PB0, PB2,5 ve PB7,5 80x100x200 mm Numuneleri ve 0 Kg/m², 1Kg/m² ve 3 Kg/m² 50x80x200 Numunelerine Ait Aşınma Deneyi Sonucu Kütle Kayıpları



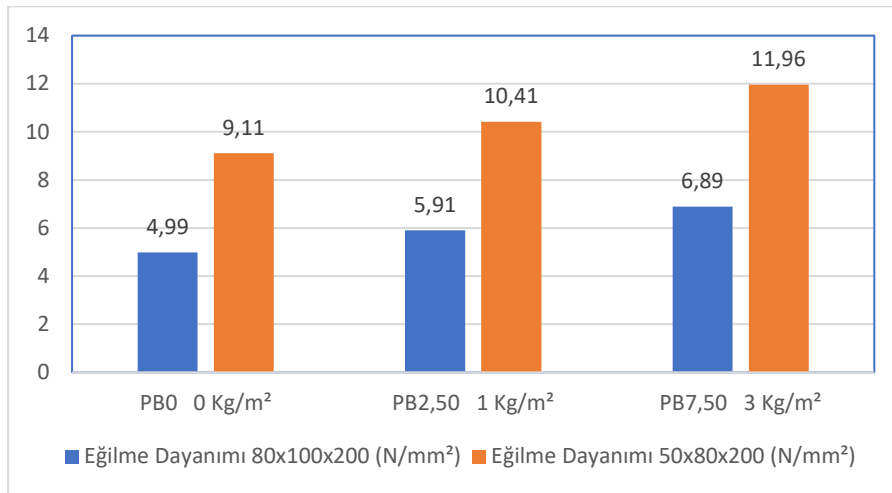
Şekil 31. 100x100x100 mm Ebatlarındaki Numunelerin Basınç Dayanımı ve Su Emme Grafikleri

Şekil 31’te 100x100x100 ebatlarındaki PB0, PB2,50 ve PB7,50 numunelerinden ölçülen basınç dayanımları ve su emme miktarları görülmektedir. Piritli ince agreganın karışım içerisinde kullanımının artması su emme miktarını

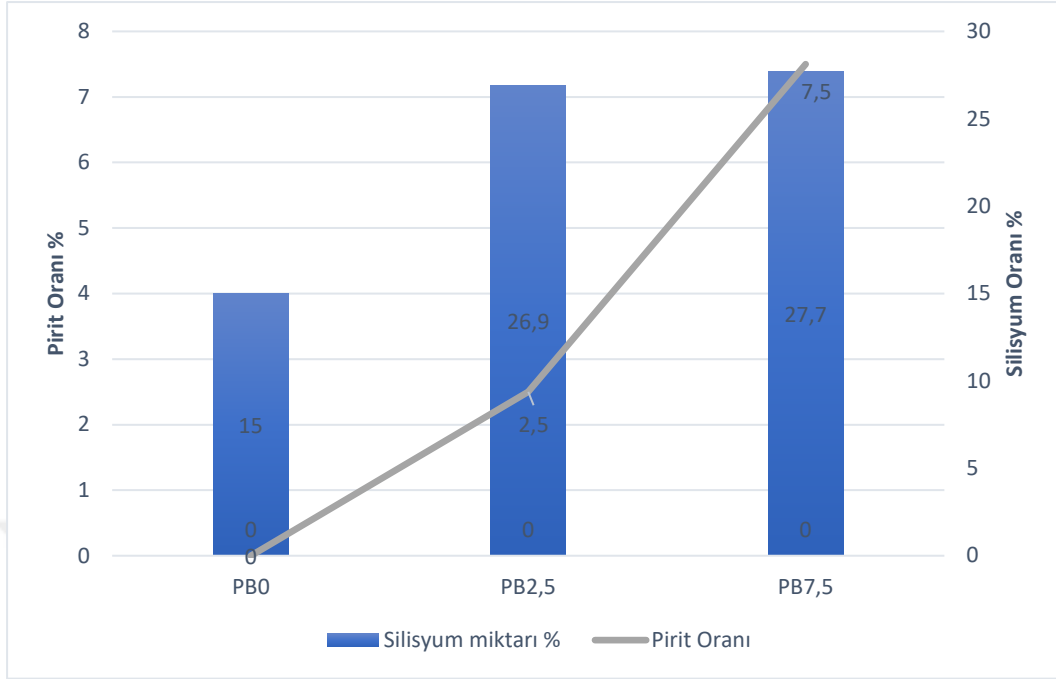
arttırarak basınç dayanımını düşürmüştür. Ustabas vd. (2022)'ün yapmış oldukları çalışmada Pirit inceliği arttıkça özgül ağırlığın azaldığı su emme miktarının arttığı ölçmüşlerdir ve değişken su çimento oranlarında piritli betonun normal betona göre daha yüksek basınç dayanımı olduğunu ölçmüşlerdir. Ustabas vd. (2022)'ün çalışmasındaki değerlerle bu çalışmadaki değerler karşılaştırıldığında ağır betonlarda pirit kullanımının basınç dayanımına olumlu yönde katkı sağladığı geleneksel betonda ise basınç dayanımını olumsuz yönde etkilediği görülmektedir.



Şekil 32. PB0, PB2,5 ve PB7,5 80x100x200 mm Numuneleri ve 0 Kg/m², 1Kg/m² ve 3 Kg/m² 50x80x200 Numunelerine Ait Sürtünme Katsayıları



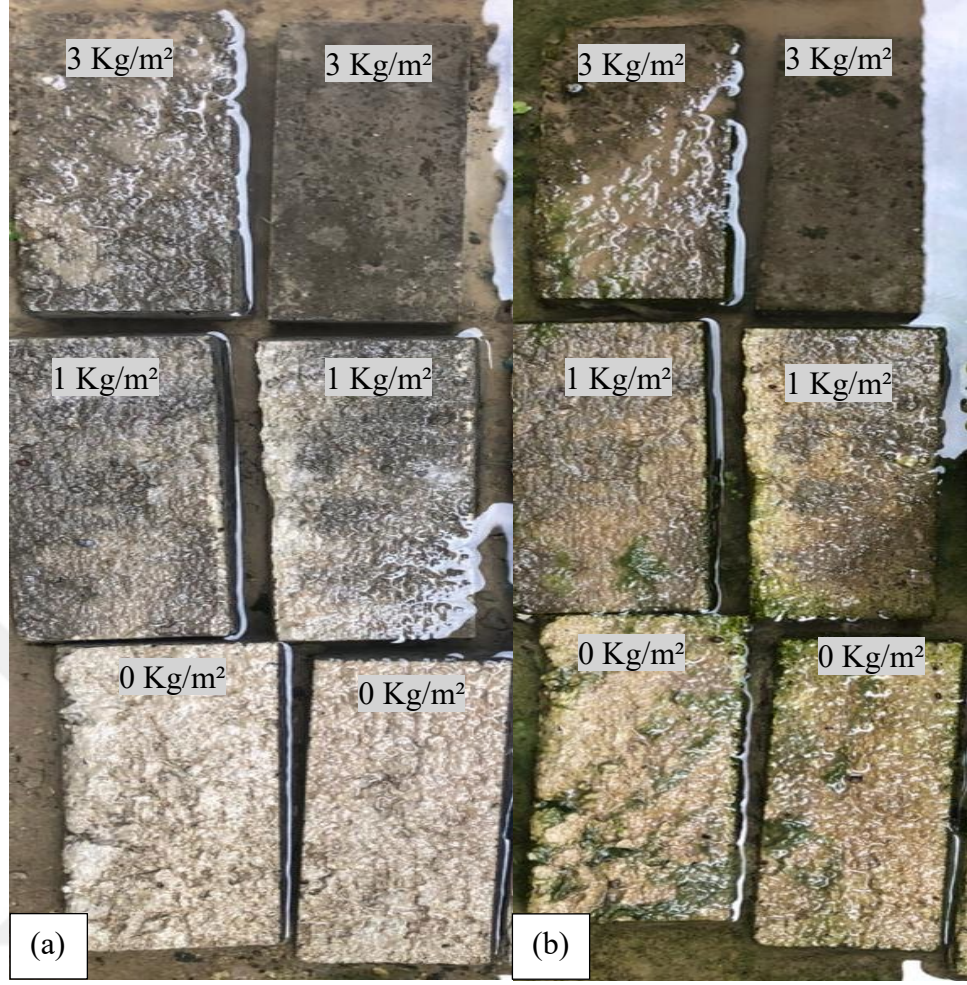
Şekil 33. PB0, PB2,5 ve PB7,5 80x100x200 mm Numuneleri ve 0 Kg/m², 1Kg/m² ve 3 Kg/m² 50x80x200 mm Numunelerine Ait Eğilme Dayanımları



Şekil 34. PB0, PB2,5 ve PB7,5 80x100x200 mm Numuneleri Ait EDS Grafiği

Şekil 34'te PB0, PB2,5 ve PB7,5 80x100x200 Numunelerinin Si Element içeriği görülmektedir. Pirit Kullanımı Silisyum oranını arttırdığı ve yosunlaşma miktarının azaldığı görülmektedir. Yavaşı (2018) Çalışmasında pirit için vermiş olduğu kimyasal bileşimde SiO_2 Miktarını %56,9 olarak bulmuştur. Tuntachon S.(2019) Yapmış olduğu çalışmada TiO_2 içerikli uçucu külün geopolimer üzerindeki yosun oluşumuna karşı direncini anlamak amacıyla yapmış olduğu çalışmada TiO_2 Miktarındaki artışla doğru orantılı olarak SiO_2 Miktarında artış olduğu ve yosunlaşmanın azaldığını tespit etmiştir.

Jayakumar, S. & Saravanane, R. (2010) Yapmış oldukları çalışmada Yosunun beton üzerindeki metabolik aktivitesini belirlemek amacıyla normal suya batırılmış beton küplerden ve *Ulva fasciata* tutturulmuş beton yüzeyinden doğal ve laboratuvar simüle edilmiş koşullarda elde edilen numuneler üzerinde yapmış oldukları EDAX sonuçlarında Kalsiyum seviyesinin doğal similasyonda ve Laboratuvar similasyonunda yüksek seviyede artış gösterdiğini tespit etmişlerdir. Yapmış olduğum çalışma Literatür ile uyumlu olarak Şekil 26'da da görüldüğü gibi en çok yosunlaşmanın görüldüğü pirit katkısı bulunmayan numunedeki kalsiyum oranı PB0 % 18,20 iken PB 2,50'de % 7,70 ve PB7,50'de % 5,80 olarak ölçülmüştür.



Şekil 35. 0 Kg/m², 1Kg/m² ve 3 Kg/m² 50x80x200 mm Numunelerin a) 2 Ay Boyunca Temiz Suyu Maruz Kalmış Numuneler b) 2 Ay Boyunca Kirli Suyu Maruz Kalmış Numune

Şekil 35’te yüzeyine farklı oranlarda pirit uygulanmış numunelerin temiz ve kirli su altında bekletildikten sonraki görüntülerinde görüldüğü gibi kirli suya maruz kalmış olan numunelerde yüzeyde kullanılan pirit miktarı arttıkça yosunlaşma miktarı gözle görülür şekilde azalmaktadır. Piritin beton yüzeyinde kullanılması bu gözlemler neticesinde yosunlaşmayı azaltıcı etkisi olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada Piritli ince agreganın Saha betonlarının yüzey özelliklerine etkisini belirlemek için Piritli ince agreganın beton karışımında ve yüzeyinde kullanılabilirliği deneysel olarak araştırılmıştır. Bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 1- Piritli ince agreganın beton karışımında kullanıldığı zaman PB0 Referans numunesine oranla PB2,5 numunesinde Eğilme dayanımında %18,44 ve Yarmada Çekme Dayanımında %17,61 artış gösterirken PB7,5 numunesinde ise Eğilme Dayanımında %38,08 ve Yarmada Çekme Dayanımı %38,03 artış ölçülmüştür.
- 2- Piritli ince agreganın beton karışımında kullanıldığı zaman PB0 Referans numunesine oranla PB2,5 numunesinde su emme miktarı %0,02 artarken basınç dayanımı %12,00 azalmıştır ve PB7,5 numunesinde ise su emme miktarı %0,41 artarken basınç dayanımı %21,32 azalmıştır.
- 3- Piritli ince agreganın beton yüzeyinde kullanıldığı zaman 0 kg/m² Referans numunesine oranla 1 kg/m² numunesinde Sürtünmede %18,44 artış, Aşınma uzunluğunda 3 mm azalma ve %0,07 daha az kütle kaybı olurken 3 kg/m² numunesinde Sürtünmede %33,86 artış, Aşınma uzunluğunda 4 mm azalma ve %1,30 daha az kütle kaybı ölçülmüştür.
- 4- Piritli ince agreganın beton yüzeyinde kullanıldığında doğal su altında yüzeysel değişimi engellediği kirli suya maruz kaldığı durumda yosunlaşmayı azaltarak geciktirdiği görülmüştür.
- 5- Piritli ince agreganın beton karışımında kullanılması durumunda yüzey rengini etkilemediği yüzeyde uygulandığı durumda koyu renkte oluşu görsellik açısından uygun olmayacağı piritin farklı incelikte ve yöntemlerde beton ile birlikte kullanılmasının daha iyi olacağı söylenebilir.
- 6- Pirit mineralinin beton ile genel anlamda uyumlu olduğu ve saha betonlarında farklı yöntemlerle uygulandığında performans olarak katkı sağlayacağını elde edilen sonuçlar ışığında söylenebilir.

KAYNAKÇA

- A Eklund, Julie. (2013). *Biological Growth on Masonry: Identification & Understanding*. Published by Historic Scotland, January 2013. Historic Scotland, Longmore House, Salisbury Place, Edinburgh EH9 1SH.
- Akaryalı, E. , Sivrikaya, A. & Gücer, M. A. (2023). Köprüyanı (Maçka-Trabzon) Fe-Cu skarn cevherleşmesinin jeolojisi ve mineral kimyası özellikleri . *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 13 (1) , 160-189. DOI: 10,17714/gumusfenbil.1180273
- Akyüz, C. (2019) ‘Pirit, korunt ve su tutucu polimerin beton parkelerin yüzey aşınma direncine etkileri’ Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi.
- Allsopp, D. Seal, K. & Gaylarde, C. (2004). *Introduction to Biodeterioration* (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10,1017/CBO978051161706
- Ally J. Evans, Peter J. Lawrence, Atteyeh S. Natanzi, Pippa J. Moore, Andrew J. Davies, Tasman P. Crowe, Ciaran McNally, Bryan Thompson, Amy E. Dozier, Paul R. Brooks. (2020). Replicating natural topography on marine artificial structures – A novel approach to eco-engineering, *Ecological Engineering*, Volume 160,2.021.106.144,ISSN0925-8574,
- Ana Paula Brandão Capraro, Gustavo Macioski, Marcelo Henrique Farias de Medeiros. (2021). Effect of aggregate contamination with pyrite on reinforcement corrosion in concrete, *Engineering Failure Analysis*, Volume 120, 2021, 105116, ISSN 1350-6307,
- Andrea Folli, Claus Pade, Tommy Bæk Hansen, Tiziana De Marco, Donald E. Macphee. (2011). TiO₂ photocatalysis in cementitious systems: Insights into self-cleaning and depollution chemistry, *Cement and Concrete Research*, Volume 42, Issue 3,2012, Pages 539-548, ISSN 0008-8846,
- Baradan, B. Yazıcı, H. Ün, H.(2010). *Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite)*, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları, İstanbul.
- Berthelin, J. (1983). *Microbial weathering process*. In: *Microbial Geochemistry*, chap. 8, p. 223-262. Oxford: Blackwell.
- Berthelin, J. (1988). Microbial Weathering Processes in Natural Environments. In: Lerman, A. Meybeck, M. (eds) *Physical and Chemical Weathering in Geochemical Cycles*. NATO ASI Series, vol 251. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-009-3071-1_3
- Bouaissi, A. Li, L. Y. Abdullah, M. M. A. B. & Bui, Q. B. (2019). Mechanical properties and microstructure analysis of FA-GGBS-HMNS based geopolymer concrete. *Construction and Building Materials*, 210, 198-209.

- Brueckner, R.(2007). *Accelerating the Thaumasite Form of Sulfate Attack and an Investigation of Its Effects on Skin Friction*, Ph.D. Thesis, Birmingham University.
- Charola, A. (2003). Su İticiler ve Diğer "Koruyucu" İşlemler: Eleştirel Bir İnceleme/ Hidrofobiklik ve diğer "schützende" Maßnahmen: Ein kritischer Überblick. *Binaların ve Anıtların Restorasyonu*, 9 (1), 3-22. <https://doi.org/10.1515/rbm-2003-5727>
- Coşkun, G. Sarıışık, G. (2017) Doğal Taşların Sürtünme Katsayılarını (COF) Belirleyerek Yüzey Özelliklerinin Kayma Güvenlik Risk Analizi. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi*, 38(2), 219-233.
- Cutler, N. Viles, H. (2010) Eukaryotic microorganisms and stone biodeterioration. *Geomicrobiol J.* 27, 630-646 <https://doi.org/10.1080/01490451003702933>.
- Çuansi G. John. (2004). Abeysekera A systems perspective of slip and fall accidents on icy and snowy surfaces *Ergonomics Volume 47*.
- Demir M. (2018).’ *Pirit, Krom ve Magnetit Agregalı Ağır Betonların Mekanik ve Radyasyon Soğurma Özelliklerinin Tayini*’ Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi.
- Demirci, M. (2018) ‘*Pirit, krom ve magnetit agregalı ağır betonların mekanik ve radyasyon soğurma özelliklerinin tayini*’ Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi.
- Demirel, S. (2011) ‘*Rize bölgesi Bakır Cevherlerinden Bakır Kazanımına Mekanik Aktivasyonun Etkisi*’ Sakarya Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi.
- Enrico Quagliarini, Federica Bondioli, Giovanni Battista Goffredo, Antonio Licciulli, Placido Munafò.(2012). Self-cleaning materials on Architectural Heritage: Compatibility of photo-induced hydrophilicity of TiO₂ coatings on stone surfaces, *Journal of Cultural Heritage, Volume 14*, Issue 1,2013, Pages 1-7, ISSN 1296-2074, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2012.02.006>.
- F. Pacheco-Torgal, Said Jalali, Nanotechnology. (2011). Advantages and drawbacks in the field of construction and building materials, *Construction and Building Materials, Volume 25*, Issue 2,Pages 582-590, ISSN 0950-0618,
- Fan Wu, Xiaoqing Chen, Jiangang Chen. (2023).Abrasion resistance enhancement of concrete using surface treatment methods,*Tribology International,Volume 179*.2023.108180,ISSN
- Feng Ka, Wang Xinyu.(2022) Pirit Atıkları ve Cüruf[J] İle İyileştirilen Betonun Mekanik Özellikleri ve Dayanıklılığı Üzerine Bir Araştırma. *Maden Kaynaklarının Çok Amaçlı Kullanımı*,43(3):6-11, 16. doi: 10.3969/j.issn.1000-6532.2022.03.002

- Fengna Chen, Xudong Yang, Henry K.C. Mak, Daniel W.T. Chan. (2010). Photocatalytic oxidation for antimicrobial control in built environment: A brief literature overview, *Building and Environment*, Volume 45, Issue 8, Pages 1747-1754, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.01.024>.
- Ferraris, C.F. (1995). *Alkali-Silica Reaction and High Performance Concrete*, Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899.
- Gaylarde, C. Silva, M. Warscheid, T. (2003). Microbial impact on building materials: an overview. *Mater. Struct.* 36, 342-352. <https://doi.org/10.1007/BF02480875>.
- Georgia Toreno, Daniela Isola, Paola Meloni, Gianfranco Carcangiu, Laura Selbmann, Silvano Onofri, Giulia Caneva, Laura Zucconi. (2018). Biological colonization on stone monuments: A new low impact cleaning method, *Journal of Cultural Heritage*, Volume 30, Pages 100-109, ISSN 1296-2074.
- İ. Alp, H. Deveci, E.Y. Yazıcı, T. Türk, Y.H. Süngün. (2009). Potential use of pyrite cinders as raw material in cement production: Results of industrial scale trial operations, *Journal of Hazardous Materials*, Volume 166, Issue 1 Pages 144-149, ISSN 0304-3894, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.10.129>.
- Jayakumar, S. & Saravanane, R. (2010). Biodeterioration of coastal concrete structures by marine green algae.
- Jessica R. Bone, Rick Stafford, Alice E. Hall, Roger J.H. Herbert. (2022). Biodeterioration and bioprotection of concrete assets in the coastal environment, *International Biodeterioration & Biodegradation*, Volume 175, 105507, ISSN 0964-8305, <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2022.105507>.
- Katia Perini, Paola Castellari, Andrea Giachetta, Claudia Turcato, Enrica Roccotiello. (2020). Experiencing innovative biomaterials for buildings: Potentialities of mosses, *Building and Environment*, Volume 172, 2020, 106708, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106708>.
- Laurence Z. Rubenstein MD, MPH a b, Karen R. Josephson. (2006). MPH b Falls and Their Prevention in Elderly People: What Does the Evidence Show? *Medical Clinics of North America* Volume 90, Issue 5, September Pages 807-824
- M. Barberio, S. Veltri, A. Imbrogno, F. Stranges, A. Bonanno, P. Antici. (2015) TiO₂ and SiO₂ nanoparticles film for cultural heritage: Conservation and consolidation of ceramic artifacts, *Surface and Coatings Technology*, Volume 271, pages 174-180, ISSN 0257-8972
- M. Speranza, M. Sanz, M. Oujja, A. de los Rios, J. Wierzechos, S. Pérez-Ortega, M. Castillejo, C. Ascaso. (2012). Nd-YAG laser irradiation damages to *Verrucaria nigrescens*, *International Biodeterioration & Biodegradation*, Volume 84, 2013, Pages 281-290, ISSN 0964-8305.

- May, E. (2010). Stone biodeterioration. In C. McNamara, & R. Mitchell (Eds.), *Microbial deterioration of cultural heritage materials* American Society of Microbiology.
- Milica Ljaljević Grbić .(2010). Jelena Vukojević, Gordana Subakov Simić, Jelena Krizmanić And Miloš Stupar Biofilm Forming Cyanobacteria, Algae And Fungi On Two Historic Monuments In Belgrade, Serbia. *Archives of Biological Sciences Cilt 62,Sayı 3,Sayfa: 625-631*
- Mingjing Fang, Yiming Chen, Yungang Deng, Zhe Wang, Mengjun Zhu.(2023). Toughness improvement mechanism and evaluation of cement concrete for road pavement: *A review,Journal of Road Engineering*,2023,ISSN 2097-0498,<https://doi.org/10.1016/j.jreng.2023.01.005>.
- Nowicka-Krawczyk, P.Zelazna-Wieczorek, J. Koziróg, A. Rajkowska, K. Piotrowska, M. Gutarowska, B. Brycki, B. (2019). Multistep approach to control microbial fouling of historic building materials by aerial phototrophs. *Biofouling* 35, 284-298 <https://doi.org/10.1080/08927014.2019.1598396>.
- Nugari, M. P. & Salvadori, O. (2003). Biocides ant treatment of stone: limitations and future prospects. In *Art, biology, and conservation: Biodeterioration of works of art* (pp. 518-535).
- Patricia Sanmartín, Richard Grove, Rafael Carballeira, Heather Viles,Impact of colour on the bioreceptivity of granite to the green alga *Apatococcus lobatus*: Laboratory and field testing, *Science of The Total Environment*,Volume 745,2020,141179,ISSN 0048-9697
- Paulina Nowicka-Krawczyk, Michał Komar, Beata Gutarowska.(2022).Towards understanding the link between the deterioration of building materials and the nature of aerophytic green algae, *Science of The Total Environment, Volume 802*,2022,149856,ISSN 0048-9697
- Paulina Nowicka-Krawczyk, Michał Komar.(2022). Beata Gutarowska, Towards understanding the link between the deterioration of building materials and the nature of aerophytic green algae, *Science of The Total Environment, Volume 802*.2022.149856,ISSN 0048-9697
- Placido Munafò, Giovanni Battista Goffredo, Enrico Quagliarini.(2015).TiO₂-based nanocoatings for preserving architectural stone surfaces: An overview, *Construction and Building Materials, Volume 84*, 2015, Pages 201-218, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.02.083>.
- R.P. George, S. Ramya, D. Ramachandran, U. Kamachi Mudali.(2013). Studies on Biodegradation of normal concrete surfaces by fungus *Fusarium* sp. *Cement and Concrete Research Volume 47*, May 2013, Pages 8-13
- Radi Al-Rashed, Maher Al-Jabari.(2021).Concretection by combined hygroscopic and hydrophilic crystallization waterproofing applied to fresh concrete,*Case*

Studies in Construction Materials, Volume 15,2021,e00635,ISSN 2214-5095,<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00635>.

- Rajkowska, K. Vd.(2014). A. et al. Assessment of biological colonization of historic buildings in the former Auschwitz II-Birkenau concentration camp. *Ann Microbiol* 64, 799–808 <https://doi.org/10.1007/s13213-013-0716-8>
- Ribas Silva, M. (1995).Study of biological degradation applied to concrete, *Transactions of the 13th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT 13)*, Escola de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil, August 13-18.
- Rindi, F. (2007). Kentsel Yaşam Alanlarında Yeşil Algler ve Siyanobakterilerin Çeşitliliği, Dağılımı ve Ekolojisi. İçinde: Seckbach, J. (eds) *Ekstrem Ortamlarda Algler ve Siyanobakteriler. Hücresel Köken, Aşırı Habitatlarda Yaşam ve Astrobiyoloji*, cilt 11. Springer, Dordrecht.
- Robert, M. And Berthelin, J. (1983). Role of biological and biochemical factors in soil mineral weathering. In: W.E. Krumbein (ed.) *Interaction of soil minerals with natural organics and microbes*, p. 453-495. Madison: Soil Science Society of America.
- Saad, Eman & Elshaarawy, Reda & Mahmoud, Safaa & El-Moselhy, Khalid. (2021). New Ulva Lactuca Algae Based Chitosan Bio-composites for Bioremediation of Cd(II) Ions. *Journal of Bioresources and Bioproducts*. 6. 10,1016/j.jobab.2021.04.002.
- Sergio E. Vd.(2017). Species- and site-specific efficacy of commercial biocides and application solvents against lichens, *International Biodeterioration & Biodegradation, Volume 123*,Pages 127-137, ISSN 0964-8305,
- Soebpong Tuntachon, Vd.(2019).Prinya Chindaprasirt, Resistance to algae and fungi formation of high calcium fly ash geopolymer paste containing TiO₂, *Journal of Building Engineering, Volume 25*,100817,ISSN 2352-7102.
- Sterflinger, K. Piñar, G. (2013).Kültürel mirasın ve sanat eserlerinin mikrobiyal bozulması — yel değirmenlerinde eğilme. *Uygulama Microbiol Biotechnol* 97, 9637–9646.<https://doi.org/10.1007/s00253-013-5283-1>
- URL-1 <https://www.tr.weber/zemin-sistemleri/yuzey-sertlestiriciler/weberfloor-ys-1>
- URL-10 <https://avrasyahavuz.com/havuzda-yosunlasma-nasil-onlenebilir/>
- URL-2 <https://www.tr.weber/zemin-sistemleri/yuzey-sertlestiriciler/weberfloor-ys-4>
- URL-3 <https://www.tr.weber/zemin-sistemleri/yuzey-sertlestiriciler/weberfloor-ys-6>
- URL-4 <https://www.yuzeysertlestiricisi.com/mastertop-200.pdf>
- URL-5 <https://www.yuzeysertlestiricisi.com/mastertop-435.pdf>

- URL-6 <https://www.yuzeysertlestiricisi.com/FOX-HardTop-FF300-Kuvars.pdf>
- URL-7 <https://www.nkfu.com/pirit-minerali-hakkinda-bilgi/>
- URL-8 <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/pirit>
- URL-9 <https://www.tekdez.com/su-deposu-yosun-sorunu-ve-cozumu.html>
- Ustabas İ. (2012).The capillary transport of chloride in reinforced concrete by water with low chloride penetrating into concrete and steel corrosion under real environmental conditions, *Construction and Building Materials*, 28.640-647.
- Ustabas, İ. Demirci, M. Yavaşı, H. & ERDOĞDU, Ş. (2017). Pirit, Krom ve Demir ile Üretilen Ağır Betonların Elastisite Modülleri. *Beton 2017 Hazır Beton Kongresi* (pp.496-503). İstanbul, Turkey
- Ustabas, İ.Vd.(2022). Mechanical and radiation attenuation properties of conventional and heavy concrete with diverse aggregate and water/cement ratios. *GRADEVINAR*, vol.74, no.8, 635-645.
- Xiujian Zhao, Qingnan Zhao, Jiaguo Yu, Baoshun Liu.(2008). Development of multifunctional photoactive self-cleaning glasses, *Journal of Non-Crystalline Solids*, Volume 354, Issues 12–13, Pages 1424-1430, ISSN 0022-3093, <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2006.10.093>.
- Yavaşı, H.(2018) '*Pirit, krom ve magnetit agregalı harçların mekanik ve radyasyon soğurma yerleşimi tayini / Granüle pirit, krom ve manyetik katkılı harçların mekanik ve radyasyon soğurma özelliklerinin belirlenmesi*'. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi.
- Yeğınobalı, A. (1999).*Betonun Dayabıklılığı I, Fiziksel Etkenler*, T.Ç.M.B. Çimento ve Araştırma Enstitüsü Seminer Notları, Ankara.
- Zheng Guo, Qiming Feng, Weiqing Wang, Yang Huang, Jie Deng, Zhonghui Xu.(2016). Study on Flotation Tailings of Kaolinite-type Pyrite when Used as Cement Admixture and Concrete Admixture, *Procedia Environmental Sciences*, Volume 31, Pages 644-652,ISSN 1878-0296