

Kendi Kendini Temizleyen Endüstriyel Atıklı Betonlar

Serdal Ünal

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ekim 2015

Self-Cleaning Concretes Containing Industrial Waste

Serdal Ünal

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Civil Engineering

October 2015

Kendi Kendini Temizleyen Endüstriyel Atıklı Betonlar

Serdal Ünal

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet Canbaz

Ekim 2015

ONAY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Serdal Ünal'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “ Kendi Kendini Temizleyen Endüstriyel Atıklı Betonlar” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Mehmet Canbaz

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye: Yrd.Doç.Dr. Mehmet Canbaz

Üye: Prof.Dr. İlker Bekir Topçu

Üye: Prof.Dr. Eşref Ünlüoğlu

Üye: Yrd.Doç.Dr. Cenk Karakurt

Üye: Yrd.Doç.Dr. Abdullah Demir

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Yrd. Doç. Dr. Mehmet Canbaz danışmanlığında hazırlamış olduğum “Kendi Kendini Temizleyen Endüstriyel Atıklı Betonlar” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 30/09/2015

Serdal Ünal

İmza

ÖZET

Doğal veya antropojenik (insanların neden olduğu) kirletici kaynaklar sebebi ile üzerine gelen organik bileşikleri, yapısında bulunan fotokatalizör ile parçalayan betonlar kendi kendini temizleyen betonlar olarak adlandırılmaktadır. Bu çalışmada kendi kendini temizleyen endüstriyel atıklı betonların mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Betonlarda endüstriyel atık olarak; uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve sepiyolit malzemeleri kullanılmıştır. Fotokatalizör malzeme olarak ise titanyum dioksit (TiO_2) kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarla en iyi mekanik ve kendi kendini temizleme performansı gösteren atık ve TiO_2 oranlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Deneyselerde, kullanılan çimento miktarının % 0, % 10, % 20 ve % 30 oranında çimento yerine ikame edecek olan endüstriyel atıklar ve çimento miktarının % 0, % 1, % 3, % 5 oranında TiO_2 kullanılarak $15 \times 15 \times 15$ cm boyutlarında küp numuneler üretilmiştir. Taze beton deneyi olarak çökme (slump) deneyi yapılmıştır. Ardından numuneler 28 gün standart kür ortamında bekletilmiştir. Sertleşmiş beton özelliklerinin belirlenmesi için birim ağırlık, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Ayrıca numunelerin dinamik elastisite modülleri de hesaplanmıştır. Kendi kendini temizleme deneyleri olarak da İtalyan UNI 11259 standart'ında belirtilen Rhodamine-B deneyi ve ek olarak da Phenantroquinone deneyi yapılmıştır. Bazı numunelerde XRF deneyi yapılarak numunelerin kimyasal analizi yapılmıştır.

Deney sonuçlarına göre kendi kendini temizleyen endüstriyel atıklı betonlar'da endüstriyel atık miktarının artması genel olarak basınç dayanımını düşürürken, kendi kendini temizleme özelliğine olumlu veya olumsuz bir etkisi görülmemiştir. Endüstriyel atıkların kullanılmasının ekonomik ve çevresel faydaları göz önüne alındığında kendi kendini temizleyen betonlarda % 10'a kadar olan kullanımın yararlı olacağı düşünülmektedir. Deneyler sonucunda 28 günde maksimum % 76,06 gibi bir renk açılma yüzdesinin yakalandığı kendi kendini temizleyen betonlarda en iyi fotokataliz performansını % 5 oranında TiO_2 içeren betonlar vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kendi kendini temizleyen beton, Fotokataliz, Titanyum dioksit,

Yüksek fırın cürufu, Uçucu kül, Sepiyolit

SUMMARY

Concrete decomposing the organic compounds on because of natural or anthropogenic (due to human being) contaminating sources with photocatalysis existing in its structure is called self-cleaning concrete. In this study, the self-cleaning concrete with industrial waste has been searched from the point of mechanic and physical characteristics. Fly ash, blast furnace slag and sepiolite materials has been used as industrial waste in concrete. Titanium dioxide (TiO_2) has been used as photocatalysis material. Waste showing the best mechanic and self-cleaning performance and (TiO_2) values have been aimed in experimental studies.

0 %, 10 %, 20 % and 30 % industrial wastes instead of concrete and 0 %, 1 %, 3 %, 5 % TiO_2 out of the whole concrete used in the tests have been used and cube samples with the dimensions of $15 \times 15 \times 15$ cm have been made. Slump test has been made as fresh concrete test. Then the samples vave been made to stay in standard cure enviroment for 28 days. Unit weight test, ultrasonic pulse velocity test and compressive strength test have been performed to find out the hardened concrete properties. Besides this, dynamic modulus of elasticity of the samples have been calculated. Rhodamine-B test in Italian UNI 11259 standard and additional Phenantroquinone test have been performed as self-cleaning test. XRF test also has been made on some of the samples for the chemical analysis.

Test results show that supersizing the industrial waste in the self cleaning concrete with industrial waste generally decreases the compressive strength but has not affected the self cleaning property positive or negative. Regarding the usage of industrial wastes from the point of economic and environmental benefits, the % 10 use of the self cleaning concrete is considered to be useful. The best photocatalysis performance has showed in the concrete having TiO_2 among the self cleaning concretes after the 28-day waiting period with maximum 76,06 % colour brightening value.

Keywords: Self cleaning concrete, Photocatalysis, Titanium dioxide, Blast furnace slag, Fly ash, Sepiolite

TEŞEKKÜR

Akademik çalışmalarında, gerek derslerimde ve gerekse tez çalışmalarında, bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet Canbaz'a, laboratuvar deneyleri safhasında teknik yardımlarından dolayı Tekn. Sevgin Yılmaz'a, deneysel çalışmalarda kullandığım malzemelerin tedarik aşamasındaki yardımlarından dolayı Kütahya Çimento A.Ş.'ye ve Sakarya Madencilik San. Ve Tic. Ltd. Şti'ye, deney aletlerinin tedarik aşamasındaki yardımlarından ötürü Kafaoğlu Metal Plastik Makine San. Ve Tic. A.Ş.'ye, bazı deneylerdeki yardımlarından ötürü Anadolu Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümüne, desteklerini her zaman hissettiğim ve her türlü fedakârlığı esirgemeyen eşsiz aileme, sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| ÖZET | v |
| SUMMARY | vi |
| TEŞEKKÜR | vii |
| İÇİNDEKİLER | viii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | xi |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xiii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | xiv |
| | |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. YAPILAN ÇALIŞMANIN AMACI | 6 |
| 3. LİTERATÜR ÇALIŞMASI | 7 |
| 3.1. Kendi Kendini Temizleyen Betonlar ile İlgili Bazı Çalışmalar | 7 |
| 3.2. Fotokataliz Mekanizması | 11 |
| 3.3. Titanyum dioksit Fotokatalizi | 16 |
| 3.4. Endüstriyel Atık Malzemeleri..... | 20 |
| 3.4.1. Uçucu kül..... | 20 |
| 3.4.2. Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu..... | 22 |
| 3.4.3. Sepiyolit..... | 23 |
| 3.5. Fotokataliz Uygulamaları..... | 24 |
| 4. MATERYAL VE YÖNTEM | 29 |
| 4.1. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri..... | 29 |
| 4.1.1. Çimento..... | 29 |
| 4.1.2. Su..... | 30 |
| 4.1.3. Agregalar..... | 31 |
| 4.1.4. Uçucu kül..... | 32 |
| 4.1.5. Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu..... | 33 |
| 4.1.6. Sepiyolit..... | 34 |
| 4.1.7. Titanyum dioksit..... | 34 |
| 4.2. Beton Numunelerinin Üretimi..... | 36 |
| 4.2.1. Üretim aşamaları..... | 36 |
| 4.2.2. Beton numunelerine kür uygulaması..... | 39 |
| 4.3. Deneyler..... | 40 |

İÇİNDEKİLER (devam)

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 4.3.1. Taze beton deneyleri..... | 40 |
| 4.3.1.1. <u>Slump (çökme) deneyi</u> | 40 |
| 4.3.2. Sertleşmiş beton deneyleri..... | 41 |
| 4.3.2.1. <u>Birim ağırlık tayini deneyi</u> | 41 |
| 4.3.2.2. <u>Ultrases geçiş hızı deneyi</u> | 42 |
| 4.3.2.3. <u>Beton basınç dayanımı deneyi</u> | 43 |
| 4.3.3. Kendi kendini temizleme deneyleri (fotokataliz deneyleri)..... | 46 |
| 4.3.3.1. <u>Rhodamine-B deneyi</u> | 46 |
| 4.3.3.2. <u>Phenantroquinone deneyi</u> | 52 |
| 4.3.4. XRF deneyi..... | 55 |
| 5. BULGULAR VE TARTIŞMA..... | 57 |
| 5.1. Taze ve Sertleşmiş Beton Deneylerinin Sonuçlarının Değerlendirilmesi..... | 57 |
| 5.1.1. Çökme deneyi sonuçları ve değerlendirilmesi..... | 57 |
| 5.1.2. Birim ağırlık deneyi sonuçları ve değerlendirilmesi..... | 58 |
| 5.1.3. Ultrases geçiş hızı deneyi sonuçları ve değerlendirilmesi..... | 59 |
| 5.1.5. Beton basınç dayanımı deney sonuçları ve değerlendirilmesi..... | 60 |
| 5.2. Kendi Kendini Temizleme Deneylerinin Sonuçları ve Değerlendirilmesi..... | 62 |
| 5.2.1. Rhodamine-B deney sonuçlarının değerlendirilmesi..... | 62 |
| 5.2.1.1. <u>Uçucu kül içeren numunelerin deney sonuçlarının değerlendirilmesi</u> | 62 |
| 5.2.1.2. <u>Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin deney sonuçlarının değerlendirilmesi</u> | 69 |
| 5.2.1.3. <u>Sepiyolit içeren numunelerin deney sonuçlarının değerlendirilmesi</u> | 76 |
| 5.2.2. Kapalı ortamda yapılan phenantroquinone deney sonuçlarının değerlendirilmesi..... | 83 |
| 5.2.2.1. <u>Uçucu kül içeren numunelerin deney sonuçlarının değerlendirilmesi</u> | 84 |
| 5.2.2.2. <u>Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin deney sonuçlarının değerlendirilmesi</u> | 89 |
| 5.2.2.3. <u>Sepiyolit içeren numunelerin deney sonuçlarının değerlendirilmesi</u> | 95 |
| 5.2.3. Açık ortamda yapılan phenantroquinone deney sonuçlarının değerlendirilmesi..... | 101 |
| 5.2.3.1. <u>Uçucu kül içeren numunelerin deney sonuçlarının değerlendirilmesi</u> | 101 |
| 5.2.3.2. <u>Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin deney sonuçlarının değerlendirilmesi</u> | 104 |
| 5.2.3.3. <u>Sepiyolit içeren numunelerin deney sonuçlarının değerlendirilmesi</u> | 107 |
| 5.3. XRF Deney Sonuçları ve Değerlendirmesi..... | 111 |
| SONUÇLAR VE ÖNERİLER..... | 113 |
| KAYNAKLAR DİZİNİ..... | 116 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 1.1. Kirleticilerin yapı görünüşüne olan etkileri | 2 |
| 1.2. TiO ₂ fotokatalizinin kullanıldığı ana uygulamalar | 4 |
| 3.1. Rhodamine-B sürülmüş harç numunelerinin renk değişimi | 9 |
| 3.2. Numunelerin yüzeyindeki Rhodamine-B'nin renk açılması | 10 |
| 3.3. Doğal fotosentez ve yapay fotosentez | 11 |
| 3.4. Fotokataliz mekanizmasının ana reaksiyonu | 12 |
| 3.5. Ultraviyole (UV) ışık altında oluşan elektron-boşluk çiftinin difüzyon hareketinin şematik gösterimi | 13 |
| 3.6. TiO ₂ ve ZnO partiküllerinin nano resmi | 15 |
| 3.7. UV ışınımı sonrasında CO ₂ partiküllerinde gerçekleşen reaksiyonlar | 19 |
| 3.8. Fotoelektrokimyasal mekanizmadaki aktif oksijen türleri ile gerçekleşen reaksiyonlar | 19 |
| 3.9. TiO ₂ fotokatalizlerinin uygulamaları | 25 |
| 3.10. Kendi kendini temizleyen beton ile üretilen yapı örneği, Jubilee Kilisesi | 26 |
| 3.11. Manuel Gea Gonzalez Hastanesi'nin fotokatalitik beton içeren cephesi | 27 |
| 3.12. İtalya, Milano'daki fotokatalitik özellik gösteren beton yol | 27 |
| 3.13. MSV Arena Futbol Stadyumu Ön Cephe Görünümü | 28 |
| 3.14. Kaldewei Kompetence Merkezi | 28 |
| 4.1. Çalışmada kullanılan agrega karışımının granülometri eğrisi | 31 |
| 4.2. Deneylerde kullanılan ince, orta ve iri tane boyutlu agregalar | 32 |
| 4.3. Deneylerde kullanılan bazı malzemeler | 35 |
| 4.4. Deneylerde kullanılan kalıplar | 36 |
| 4.5. Hazırlanan bazı beton numuneler | 38 |
| 4.6. Kür havuzuna bırakılan beton numuneler | 39 |
| 4.7. Ultrases geçiş hızı deneyinin yapılması | 43 |
| 4.8. Beton numuneye basınç yükü uygulanması | 44 |
| 4.9. Pres makinesi ile beton numunesinin kırılması işlemi | 45 |
| 4.10. CIELAB sistemindeki L, a, b renk düzlemi | 47 |
| 4.11. Numune yüzeylerinin kür havuzundan çıktıktan sonra temizlenmesi | 48 |
| 4.12. Deneyde kullanılan Rhodamine-B kimyasalı | 48 |
| 4.13. Yüzeyine Rhodamine-B sürülmüş beton numunesi | 49 |
| 4.14. Yüzeyine Rhodamine-B sürülmüş beton numunelerinin genel görünüşü | 50 |
| 4.15. Deneylerde kullanılan 300 watt'lık UV ışık kaynağı | 50 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 4.16. Deneyleerde kullanılan Konica Minolta spektrofotometre | 51 |
| 4.17. Deneyleerde kullanılan Phenantroquinone kimyasalı | 52 |
| 4.18. Beton yüzeyine Phenantroquinone sürülmesi işlemleri | 53 |
| 4.19. UV kaynağına maruz bırakılan numunelerin görünümü | 53 |
| 4.20. Dış ortama(açık havaya) bırakılan phenantroquinone boyalı numunelerin görünümü | 54 |
| 4.21. Spektrofotometre yardımı ile kolorimetrik okumaların yapılması | 54 |
| 4.22. XRF deney mekanizmasının şematik gösterimi | 55 |
| 4.23. Kesilen beton numunesi ve elenmiş toz haldeki numune | 56 |
| 4.24. Deneyleerde kullanılan XRF cihazı | 56 |
| 5.1. Uçucu kül içeren numunelerin 26 saatlik renk kaybı yüzde değerleri | 64 |
| 5.2. Uçucu kül içeren numunelerin 28 günlük renk kaybı yüzde değerleri | 65 |
| 5.3. Uçucu kül içeren numunelerin zamana bağlı renk açılma değerleri..... | 67 |
| 5.4. % 3 ve % 0 oranında TiO ₂ içeren uçucu küllü numunelerin 28 gün sonu görünümleri..... | 68 |
| 5.5. % 1 ve % 5 oranında TiO ₂ içeren uçucu küllü numunelerin 28 gün sonu görünümleri | 68 |
| 5.6. Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin 26 saatlik renk kaybı yüzde değerleri..... | 70 |
| 5.7. Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin 28 günlük renk kaybı yüzde değerleri | 72 |
| 5.8. Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin zamana bağlı renk açılma değerleri..... | 74 |
| 5.9. % 1 ve % 5 oranında TiO ₂ içeren yüksek fırın cürufu numunelerin 28 gün sonu görünümleri | 75 |
| 5.10. % 0 ve % 3 oranında TiO ₂ içeren yüksek fırın cürufu numunelerin 28 gün sonu görünümleri | 75 |
| 5.11. Sepiyolit içeren numunelerin 26 saatlik renk kaybı yüzde değerleri | 77 |
| 5.12. Sepiyolit içeren numunelerin 28 günlük renk kaybı yüzde değerleri | 79 |
| 5.13. Sepiyolit içeren numunelerin zamana bağlı renk açılma değerleri..... | 81 |
| 5.14. % 5 ve % 0 oranında TiO ₂ içeren sepiyolitli betonlardaki renk açılması farkı..... | 82 |
| 5.15. % 1 ve % 3 oranında TiO ₂ içeren sepiyolitli betonlardaki renk açılması farkı | 82 |
| 5.16. Uçucu kül içeren numunelerin 116 saatlik phenantroquinone renk kaybı değerleri | 85 |
| 5.17. Uçucu kül içeren numunelerin 28 günlük phenantroquinone renk kaybı değerleri | 86 |
| 5.18. Uçucu kül içeren numunelerin zamana bağlı renk açılma değerleri | 88 |
| 5.19. Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin 116 saatlik phenantroquinone renk kaybı değerleri | 90 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 5.20. Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin 28 günlük phenantroquinone renk kaybı değerleri | 92 |
| 5.21. Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin zamana bağlı renk açılma değerleri | 94 |
| 5.22. Sepiyolit içeren numunelerin 116 saatlik phenantroquinone renk kaybı değerleri | 116 |
| 5.23. Sepiyolit içeren numunelerin 28 günlük phenantroquinone renk kaybı değerleri | 118 |
| 5.24. Sepiyolit içeren numunelerin zamana bağlı renk açılma değerleri | 100 |
| 5.25. Açık ortamdaki uçucu kül içeren numunelerin 28 günlük phenantroquinone renk kaybı değerleri | 102 |
| 5.26. % 5 ve % 1 oranında TiO ₂ içeren uçucu küllü numunelerin renk açılma görünümleri..... | 103 |
| 5.27. Açık ortamdaki yüksek fırın cürufu içeren numunelerin 28 günlük phenantroquinone renk kaybı değerleri | 105 |
| 5.28. % 5 ve % 0 oranında TiO ₂ içeren yüksek fırın cürüflü numunelerin renk açılma görünümleri | 106 |
| 5.29. Açık ortamdaki sepiyolit içeren numunelerin 28 günlük phenantroquinone renk kaybı değerleri | 108 |
| 5.30. % 5 ve % 0 oranında TiO ₂ içeren sepiyolitli numunelerin renk açılma görünümleri | 109 |
| 5.31. Açık ortamdaki numunelerin 28 günlük phenantroquinone renk kaybı değerleri | 110 |
| 5.32. 5T30U, 5T30Y ve 5T30S kodlu numunelerin içerdikleri TiO ₂ yüzdeleri | 112 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| <u>Cizelge</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 1.1. Japonya da görülen TiO ₂ tabanlı fotokatalitik ürünler | 4 |
| 3.1. Bazı yarıiletkenlerin band açıklıkları ve dalga boyları | 14 |
| 3.2. Farklı kataliz reaksiyonlarında kullanılan katalistler | 15 |
| 3.3. Uçucu küllerin inşaat sektöründeki kullanım alanları | 21 |
| 3.4. 1975-2013 yılları arasındaki fotokataliz ile ilgili en çok makale yayınlayan beş ülke | 25 |
| 4.1. Deneyde kullanılan CEM I 42,5 R (gri) çimentosunun özellikleri | 29 |
| 4.2. Deneyde kullanılan CEM I 52,5 R (beyaz) çimentosunun özellikleri | 30 |
| 4.3. Deneyde kullanılan beton karma suyunun özellikleri | 31 |
| 4.4. Deneyde kullanılan uçucu kül'ün özellikleri | 33 |
| 4.5. Deneyde kullanılan öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu'nun özellikleri | 33 |
| 4.6. Deneyde kullanılan sepiyolit'in özellikleri | 34 |
| 4.7. 1m ³ 'lük beton karışımlarındaki malzeme miktarlarının kg cinsinden miktarları | 37 |
| 4.8. Türk standartına göre betonların çökme sınıfları ve çökme değerleri | 40 |
| 4.9. Dalga hızı ile beton kalitesi arasındaki ilişki | 42 |
| 5.1. Beton numunelerin mm cinsinden çökme değerleri | 57 |
| 5.2. Beton numunelerin kg/m ³ cinsinden birim ağırlık değerleri | 58 |
| 5.3. Beton numunelerin kg/sn cinsinden ultrases geçiş hızı değerleri | 59 |
| 5.4. Beton numunelerin MPa cinsinden basınç dayanımı değerleri | 60 |
| 5.5. Uçucu kül içeren numunelerin 0 saatlik (başlangıç) Rhodamine-B okumaları | 63 |
| 5.6. Uçucu kül içeren numunelerin 26 saatlik Rhodamine-B okumaları | 63 |
| 5.7. Uçucu kül içeren numunelerin 28 günlük Rhodamine-B okumaları | 65 |
| 5.8. Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin 0 saatlik (başlangıç) Rhodamine-B okumaları | 69 |
| 5.9. Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin 26 saatlik Rhodamine-B okumaları | 70 |
| 5.10. Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin 28 günlük Rhodamine-B okumaları | 72 |
| 5.11. Sepiyolit içeren numunelerin 0 saatlik (başlangıç) Rhodamine-B okumaları | 76 |
| 5.12. Sepiyolit içeren numunelerin 26 saatlik Rhodamine-B okumaları | 77 |
| 5.13. Sepiyolit içeren numunelerin 28 günlük Rhodamine-B okumaları | 79 |
| 5.14. Uçucu kül içeren numunelerin 0 saatlik (başlangıç) ve 116 saatlik phenantroquinone okumaları | 84 |
| 5.15. Uçucu kül içeren numunelerin 28 günlük phenantroquinone okumaları | 86 |
| 5.16. Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin 0 saatlik (başlangıç) phenantroquinone okumaları | 89 |

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

| <u>Cizelge</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|---------------------|
| 5.17. Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin 116 saatlik phenantroquinone okumaları | 90 |
| 5.18. Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin 28 günlük phenantroquinone okumaları | 92 |
| 5.19. Sepiyolit içeren numunelerin 0 saatlik (başlangıç) phenantroquinone okumaları | 95 |
| 5.20. Sepiyolit içeren numunelerin 116 saatlik phenantroquinone okumaları | 96 |
| 5.21. Sepiyolit içeren numunelerin 28 günlük phenantroquinone okumaları | 98 |
| 5.22. Açık ortamdaki uçucu kül içeren numunelerin 0 saatlik (başlangıç) ve 28 günlük phenantroquinone okumaları | 101 |
| 5.23. Açık ortamdaki yüksek fırın cürufu içeren numunelerin 0 saatlik (başlangıç) ve 28 günlük phenantroquinone okumaları | 104 |
| 5.24. Açık ortamdaki yüksek fırın cürufu içeren numunelerin 28 günlük phenantroquinone okumaları | 107 |
| 5.26. Açık ortamdaki sepiyolit içeren numunelerin 0 saatlik (başlangıç) phenantroquinone okumaları | 126 |
| 5.25. 5T30U, 5T30Y ve 5T30S kodlu numunelerin XRF deneyi sonuçları | 131 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**Simgeler**

L

R

 $h\nu$ μ **Acıklama**

Parlaklık

Renk kaybı yüzdesi

Foton

Poisson oranı

Kısaltmalar

CIE

E

PAH

S

T

U

UV

XRF

Y

Acıklama

Uluslararası Aydınlatma Komisyonu

Elastisite

Polisiklik aromatik hidrokarbon

Sepiyolit

Titanyum dioksit

Uçucu kül

Ultraviyole

X-ray Floresan

Yüksek fırın cürufu

1.GİRİŞ

Hızla gelişen sanayi sektörü ekonomik yönden fayda sağlasa da yarattığı çevresel problemler sebebiyle tartışma konusudur. Gelişen sanayi ile birlikte oluşan endüstriyel kirlilik; çevre ve hava kirliliğine, bakteri ve virüs oluşumları ile insan sağlığının olumsuz etkilenmesine, yapıların kullanım ve yaşam ömrünün azalmasına gibi durumlara sebep olmaktadır. Bu sebeplerden ötürü bu tip zararların ortadan kalkmasında etkili olacak olan fotokatalitik sistemlerin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır (Gürbüz vd., 2009).

Fotokatalizin ana uygulama alanlarından olan kendi kendini temizleme özelliğinin inşaat yapı malzemelerindeki kullanım alanları giderek genişlemektedir. Endüstriyel tesislerden çıkan gazlar, atık sular, egzoz gazları ve her türlü çevresel kirleticiler sebebi ile yapı malzemelerinin dış görünümü korunamamakta ve kullanım ömrü kısalmaktadır. Mimari görünümün giderek önem arz ettiği bu günlerde beton, dış cephe boya, karo mozaikler, sıva malzemeleri, kaplamalar gibi malzemelerin dış görünümünün korunması önemli sorunlardandır. Bugün, kirletici etkenlerin katılaşmasını katalize edebilen, yarı iletken boyunca ışık enerjisini emerek güçlü oksidasyon üreten fotokatalitik malzemelerin gerçekleştirdiği fotokataliz reaksiyonları ile bu sorunun büyük ölçüde önüne geçileceği görülmüştür (Chen ve Poon, 2009; Stamate ve Lazar, 2007).

Genel olarak yapıların yüzeylerinde gerçekleşen kirlenme, insanların neden olduğu kaynaklar ve doğal kaynaklar olarak ikiye ayrılan atmosferik kirlenmeden kaynaklanmaktadır. İnsanların neden olduğu kaynaklara örnek olarak; araç emisyonları, enerji santralleri, petrol rafineleri ve uzun bacalı fabrikalardan çıkan gazlar, direkt etkiler ile oluşan kirlilikler verilebilir. Doğal kirletici kaynaklarına ise tozlar, orman yangınları, buharlaşma, rüzgâr, volkanlar gibi sebeplere bağlı olarak oluşan ve taşınan partiküller verilebilir (Göçer, 2005). Literatürde yapılan çalışmalarda kendi kendini temizleyen betonların fotokatalitik reaksiyonlar ile NO_x, SO₂ vb. maddeler içeren kirletici maddeleri ayrıştırdığı görülmüştür (Yüksel ve Karagüler, 2011; Awadalla vd., 2011; Torgal ve Jajali, 2011; Melo ve Triches, 2012).

Doğal veya insan kaynaklı kirletici etkenler, yapı malzemelerinin yapısını ve dış görünümünü olumsuz yönde etkilemektedir. Çimentolarda, harçlarda veya betonlarda TiO_2 ilavesi yapılarak yapı malzemelerinin fotokatalitik özellik kazanması ve böylelikle yapı yüzeyinin kirleticilerden arınmasını amaçlayan çalışmalar yapılmıştır (Krishnan vd., 2013). Şekil 1.1’de kirleticiler tarafından görünümü bozulan bazı yapı örnekleri gösterilmiştir.

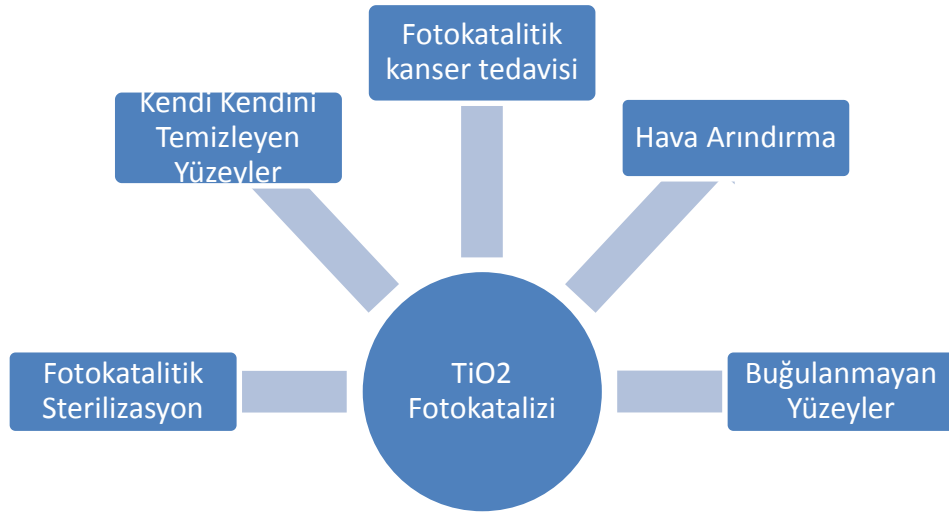


Şekil 1.1. Kirleticilerin yapı görünüşüne olan etkileri (TX Active, 2009).

Fotokatalitik malzemelerden kendi kendini temizleme özelliğine sahip titanyum dioksit içeren betonlar, yalnızca kendi yüzeyini temizlemekle kalmamakta ayrıca maruz kaldığı kirli havanın da temizlenmesine yardımcı olmaktadır (Ramirez vd., 2012). Bu betonların kendi kendini temizlemesi sebebi ile bakım masraflarının azalmasını sağlayarak büyük bir kar sağlanabilmektedir. Ayrıca bu çalışmada endüstriyel atıklar kullanılarak bu atıkların geri dönüşümü sağlanmış ve çevreye daha fazla katkı yapması sağlanmıştır (Hanus ve Harris, 2013).

Fotokataliz reaksiyonlarında TiO_2 ; güçlü oksidasyon yeteneği, korozyona karşı uzun ömürlü direnç ve iyi dağılım özelliği göstermesi, hidrofobisitesi, kimyasal stabilitesi, inert yapısı, zehirli olmaması, ucuz olması ve ışığı geçirgen olması sebepleriyle en sık çalışılan ve uygulamalarda en çok kullanılan maddedir. Böylece yüksek fotokatalik performans gösterilen TiO_2 tabanlı yeni materyallerin gelişimi ve yeni uygulamalar diğer araştırmalara da her zaman yön verecektir (Affam ve Chaudhuri, 2013; Chang vd., 2009).

Fotokatalizin kullanım alanı, Fujishima ve Honda'nın 1972'de yaptığı TiO_2 vasıtası ile suyun ayrışması buluşundan sonra oldukça ilerlemiş ve gelişmiştir. Fotoenerjinin kimyasal enerjiye dönüşerek TiO_2 vasıtasıyla suyu arındırması, TiO_2 'in çevresel koruma uygulamalarında kullanılmasına öncülük etmiştir (Guo vd., 2012). 1995 yılında Fujishima ve arkadaşları, UV ışık ışınımından sonra TiO_2 yüzeyinin ıslanabilirliğinde belirgin bir değişiklik farkettiler. TiO_2 yüzeyi başlangıçta yüzeydeki pürüzler ve diğer koşullara bağlı olarak çeşitli derecelerde onlarca yüzey açısına sahiptir. Bu yüzey UV ışığa maruz kaldığında, suyun temas açısı, TiO_2 yüzeyine yerleşme eğilimiyle azalır. Sonunda temas açısı 0° ye ulaşır. Bu aşamada yüzey süper hidrofobisite denilen su geçirimsiz bir hale gelir. Süper hidrofobisite, buğulanmayan ayna ve camların üretiminde kullanılabilir. Ayrıca, süper hidrofobisite ve oksidatif özelliklerin birleşmesi, TiO_2 yüzeylerinin herhangi bir bakım olmadan güneş ışığı altında uzunca bir süre temiz kalmasını sağlamaktadır. Bu yetenek 'kendi kendini temizleme etkisi' olarak adlandırılıp, duvarlara ve pencerelere uygulanmıştır. Bir çok ürün fotokataliz reaksiyonlarının geliştirilmesi ile ortaya çıkmış olup, evlerde, elektrikli aletlerde, yollarda, tarımda, su ve hava arıtmada, kıyafetlerde, eşyalarda, ve tıpta kullanılmaktadır (Nakata vd., 2012). Şekil 1.2'de genel TiO_2 uygulamaları ve Çizelge 1.1'de Japonya'da aktif olarak kullanılan TiO_2 tabanlı fotokatalitik ürünler gösterilmiştir.



Şekil 1.2. TiO₂ fotokatalizinin kullanıldığı ana uygulamalar (Aysin, 2012).

Çizelge 1.1. Japonya da görülen TiO₂ tabanlı fotokatalitik ürünler (Aysin, 2012).

| Kategoriler | Ürünler | Özellikler |
|-----------------------|---|---|
| Dış Yapı Malzemeleri | Karo mozaikler, Kiremitler, Alüminyum Paneller, Kaplamalar | Kendi Kendini Temizleme |
| İç Döşeme Malzemeleri | Seramikler, Duvar kağıtları, Panjurlar | Kendi Kendini Temizleme, Antibakteriyel |
| Yol Yapı Malzemeleri | Ses geçirmeyen tünel duvarları, Bariyerler, Kaplamalar, Trafik ışık lambaları | Kendi Kendini Temizleme, Hava Temizleme |
| Arıtma Tesisleri | Hava temizleyiciler, Klima cihazları, Havuzlar için arındırma sistemleri | Hava/su temizleme, Antibakteriyel |
| Ev Eşyaları | Kıyafetler, Aydınlatmalar, Spreyler | Kendi Kendini Temizleme, Antibakteriyel |
| Diğerleri | Tarımsal kullanımlar | Antibakteriyel |

Nanoteknoloji bünyesinde kullanılan nanoparçacıkların doğada yaygın olarak bulunmasından ötürü kullanım alanları giderek genişlemiştir. Genelde volkanik faaliyetler ile ortaya çıkan bu parçacıkların özel olarak üretilen metal oksitleri azınlıktadır. Bu oksitlere titanyum dioksit ve çinko oksit örnek olarak verilebilir. Geniş kullanım alanlarına sahip bu parçacıklar yüzeylere tabaka halinde uygulanıp fotokataliz reaksiyonları ile yüzey aktivitesini artırır (Kayır ve Baççıl, 2010). TiO_2 fotokatalizi, UV ışığı altında güçlü bir oksidasyon tepkimesi gerçekleştirir. Boşluk (h^+) ve elektron (e^-) çifti yüzeydeki H_2O ve O_2 ile reaksiyona girerek hidroksit kökü (OH^-) ve süper oksit iyonu (O_2^-) oluştururlar (Ni vd., 2007). Oluşturulan bu bileşenler organik bileşiklerin madenleşmesini ve ayrışmasını sağlar (Folli vd., 2012). TiO_2 fotokatalizi ile aynı zamanda hidrokarbonların CO_2 ve H_2O 'ya ayrışması da gerçekleşir (Park vd., 2006). Bu oluşum kendi kendini temizleyen yüzeyler ile ilgili çalışmalarda kullanılan temel prensiptir. Bu reaksiyon zincirleri ile yapılarda kirletici faktörlerin parçalanıp ayrışması sağlanmakta ve yapı yüzeyinin temiz kalması sağlanmaktadır (Hunger ve Brouwers, 2009; Diamanti vd., 2013).

Birer endüstriyel atık malzemeleri olmasına karşın yüksek puzolanik özellikleri ile betonlarda kullanılan birçok katkı malzemesi vardır. Silis dumanı, uçucu kül, taban külü, yüksek fırın cürufu bu malzemelerin başında gelmektedir. Betonda, basınç dayanımını artırmak, boşluk ve geçirimsizliği azaltmak, maliyeti düşürmek, korozyonu azaltmak gibi birçok farklı amaçlar kullanılabilirler (Topçu ve Canbaz, 2001; Topçu ve Canbaz, 2008). Bu çalışmada uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve sepiyolit malzemeleri kullanılmıştır. Bu malzemelerin kendi kendini temizleyen betonlarda mekanik ve fiziksel olarak ne gibi etkileri olduğu araştırılmıştır.

Bu tez çalışmasında % 0, % 10, % 20, % 30 oranlarındaki uçucu kül, yüksek fırın cürufu, sepiyolit ile % 0, % 1, % 3, % 5 oranlarında TiO_2 kullanılarak küp numuneler üretilmiştir. Bu küp beton numunelerinin kendi kendini temizleme özelliklerinin yanı sıra mekanik ve fiziksel özellikleri de araştırılmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMANIN AMACI

Günümüzde çevresel kirlilik oranı, egzoz gazları, enerji santralleri, petrol rafineleri ve uzun bacalı fabrikalardan çıkan gazlar, sanayi tesislerinin atıkları, doğal ve insan kaynaklı kirleticiler gibi faktörlere bağlı olarak her geçen gün artmaktadır. Çevresel kirlenmenin yapı ve yapı malzemelerine olan olumsuz etkisi, bu malzemelerin yapısına ve görüntüsüne zarar vererek kullanım ömürlerini daha aşağıya çekmektedir. Bu nedenle günümüzde TiO₂ içeren, üzerine gelen organik bileşikler parçalayarak yapısını ve görüntüsünü koruyan fotokatalitik yapı malzemelerinin üretimi gittikçe önem kazanmaktadır. Bu çalışmada da üzerine gelen organik bileşikler parçalayan, yapısal ve fiziksel özelliklerini koruyan kendi kendini temizleyen betonların üretimi amaçlanmıştır. Ayrıca bu çalışmada beton katkı maddeleri olarak uçucu kül, granüle yüksek fırın cürufu ve sepiyolit kullanılarak bu endüstriyel atıkların çevresel geri dönüşümü amaçlanmıştır.

Literatürde, bu katkı maddelerini içeren betonların fotokatalitik özellikleri üzerine çalışmalar yapılmamıştır. Bu katkı maddelerinin betonda kullanıldığında, betonun kendi kendini temizleme özelliklerine ne gibi etkileri olacağı bu çalışma ile araştırılmıştır.

Günümüzde dünyada başta Japonya ve İtalya olmak üzere, birçok Avrupa ülkesinde fotokatalitik özellik gösteren yapı malzemeleri aktif olarak kullanılmaktadır. Kendi kendini temizleyen betonlar, dış cephe kaplamaları, beton yollar, kilit parke taşları ve kaldırımlar birçok bölgede uygulanmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır. Uygulama sayısı dünyada her geçen gün artmaktadır. Türkiyede ise henüz bu alanda yapılmış bir uygulama mevcut değildir.

Bu çalışmada elde edilen veriler ışığında özellikle sepiyolit kaynakları açısından oldukça zengin olan Eskişehir ilimizde, pilot sokaklar veya caddeler seçilerek kendi kendini temizleyen beton yollar veya yapı elemanları yapılabilir. Fotokatalitik uygulamalar açısından Avrupa ve Dünya'nın gerisinde kalan ülkemizde ise fotokatalitik özellik gösteren yapılar yapılabilir.

3. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

3.1 Kendi Kendini Temizleyen Betonlar ile İlgili Bazı Çalışmalar

Fotokataliz reaksiyonlarının yapı malzemeleri ile birlikte kullanılması 1990'lı yılların ortalarında başlamıştır. TiO_2 'in çok yönlü fonksiyonları, fotokatalizin yapı malzemelerinde kullanımını kolaylaştırmıştır. Fotokatalizin yapı malzemelerinde kullanıldığı ilk örnekler çimento harçları, kaldırım taşları, karo malzemeleri, camlar ve PVC kumaşları olmuştur. 1997 yılında Japonya'da ilk defa TiO_2 içeren beton kaldırım taşı üretimine başlanmıştır. 1998 yılında, tarihte ilk defa kendi kendini temizleyen beton bir yapıda kullanılmıştır. İtalya, Roma'daki Jubilee Kilisesi, kendi kendini temizleme özelliğine sahip beton içeren ilk yapı olma özelliğindedir. 2000'li yıllara gelindiğinde, TiO_2 'in yapı malzemelerinde kullanılmasının avantajlı olması, endüstriyel ilginin bu alana kaymasına sebebiyet vermiştir. Bu dönemden günümüze kadar olan süreçte fotokatalizin yapılarda kullanımı sürekli artmış ve gelişmiştir (Chen ve Poon, 2009; Hunger ve Brouwers, 2009).

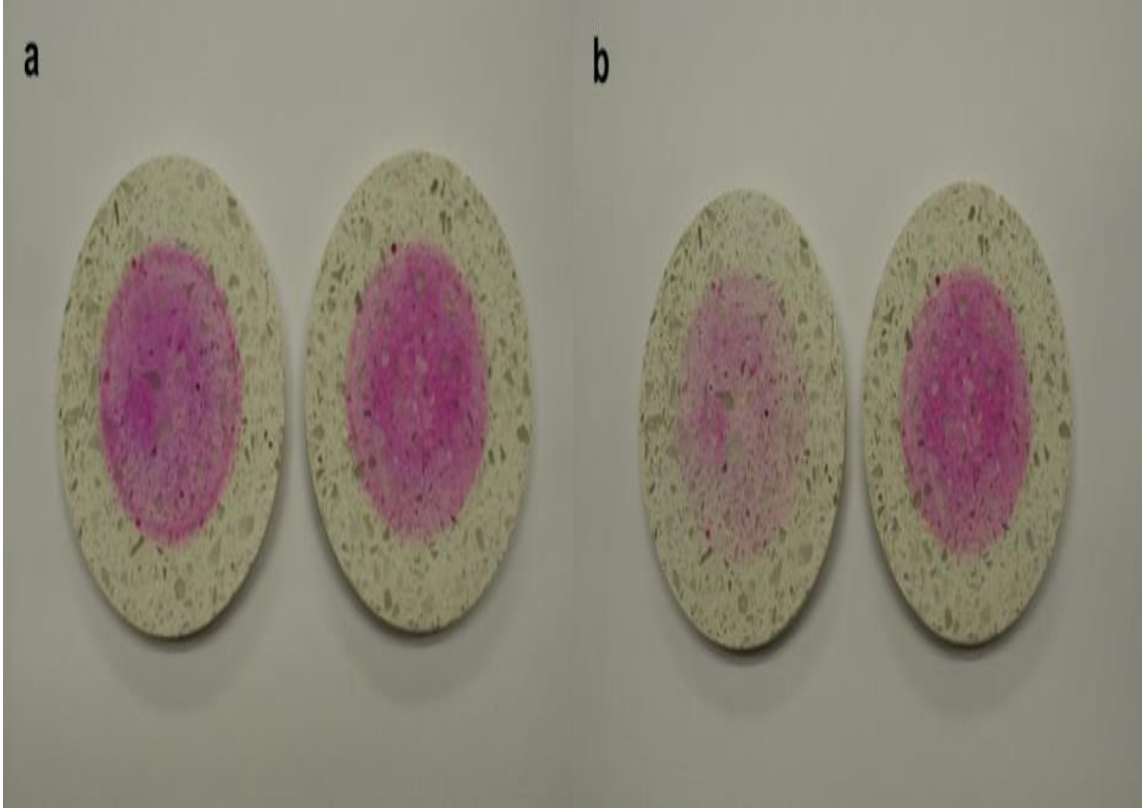
Folli ve arkadaşları, 2009 yılında kendi kendini temizleyen betonlarda fotokatalizör olarak kullanılan TiO_2 'in boyutlarının kendi kendini temizleme performansına nasıl etki ettiğini araştırmışlardır. Ardından farklı boyutlarda TiO_2 içeren beton numuneleri hazırlanmıştır. Bunlardan ilki mikro boyutlarda (ortalama tanecik boyutu $153,7 \text{ nm} \pm 48,1 \text{ nm}$) TiO_2 içeren numuneler; ikincisi nano boyutlarda (ortalama tanecik boyutu $18,4 \text{ nm} \pm 5,0 \text{ nm}$) TiO_2 içeren numuneler olmuştur. Yazarlar, deney sonucunda mikro boyutlarda TiO_2 içeren numunelerin, nano boyutlarda TiO_2 içeren numunelere kıyasla daha iyi fotokatalitik performans gösterdiklerini bildirmişlerdir (Folli vd., 2009).

Ruot ve arkadaşları, 2009 yılında çimento pastası ile harçların kendi kendini temizleme performanslarını kıyaslamıştır. Her iki grup için de % 0, % 1, % 3 ve % 5 oranında anataz formundaki TiO_2 içeren numuneler üretilmiştir. Yapılan 30 saatlik kolorimetrik okumalar sonucunda maksimum renk açılmaları, her iki grup için de % 5 oranında TiO_2 içeren numunelerde elde edilirken çimento pastalarından harçlara kıyasla daha iyi sonuçlar alınmıştır (Ruot vd., 2009).

Kendi kendini temizleyen betonların aynı zamanda havadaki NO_x (Nitrik oksitler) ve türevi bileşikleri de parçaladığını inceleyen birçok çalışma yapılmıştır. Hüsken ve arkadaşları, 2009 yılında TiO₂ katkılı fotokatalitik betonlar üreterek bu betonların UV ışığı altında NO ve NO₂ bileşiklerini ayrıştırdıklarını bildirmişlerdir (Hüsken vd., 2009). Folli ve Macphee, 2010 yılında yaptığı çalışmada TiO₂ içeren çimento harçlarını, NO (nitrojen oksit) içeren kapalı ortamda 90 dakika boyunca UV ışık kaynağına maruz bırakmış ve ortamdaki NO yoğunluğunun değişimini ölçmüşlerdir. Başlangıçta 600 ppb (µg/L) olan NO yoğunluğunun, 90 dakika sonunda 350 ppb'ye kadar düştüğü belirtilmiştir (Folli ve Macphee, 2010). Benzer bir çalışmada da Lucas ve arkadaşları, 2013 yılında yaptıkları deneylerde, TiO₂ içeren çimento harçlarında % 80'e varan NO_x (Nitrik oksitler) parçalanmasının gerçekleştiğini bildirmişlerdir (Lucas vd., 2013).

Yüksel ve Karagüler'in 2011 yılında yaptığı 'kendi kendini temizleyen betonlar' isimli çalışmada; normal beyaz beton, TiO₂ katkılı normal beyaz beton, kendiliğinden yerleşen beyaz beton ve TiO₂ katkılı kendiliğinden yerleşen beyaz beton tipleri üzerinde deneyler yapılmıştır. Bu çalışmada TiO₂ katkılı betonlar % 5 oranında TiO₂ içermektedir. Kendi kendini temizleme özelliğinin araştırılması için Rhodamine-B ve Phenantroquinone deneyleri yapılmıştır. Rhodamine-B deneyinde 28 gün sonunda en fazla renk açılması % 43 ile TiO₂ katkılı normal beyaz betonlar olmuştur. Açık ve kapalı ortamda yapılan Phenantroquinone deneyinde; açık ortamda elde edilen renk açılma değerleri, kapalı ortamda elde edilen değerlerden daha fazla olmuştur (Yüksel ve Karagüler, 2011).

Chen ve arkadaşları, 2011 yılında yaptığı çalışmada çimento harçlarının kendi kendini temizleme performanslarını incelemişlerdir. Kirletici madde olarak Rhodamine-B seçilmiştir. % 5 oranında TiO₂ içeren ve TiO₂ içermeyen (% 0) harç numuneleri oluşturulmuştur. Oluşturulan numuneler 6 saat boyunca UV ışığına maruz bırakılmışlardır. 6 saatlik süre sonunda % 5 oranında TiO₂ içeren numunelerde bariz renk açılması gözlenirken, TiO₂ içermeyen (% 0) numunelerde renk açılması gözlenmemiştir. Şekil 3.1'de numunelerin UV ışığına maruz kalmadan önceki ve 6 saatlik UV ışığına maruz kaldıktan sonraki görünüşleri verilmiştir (Chen vd., 2011).

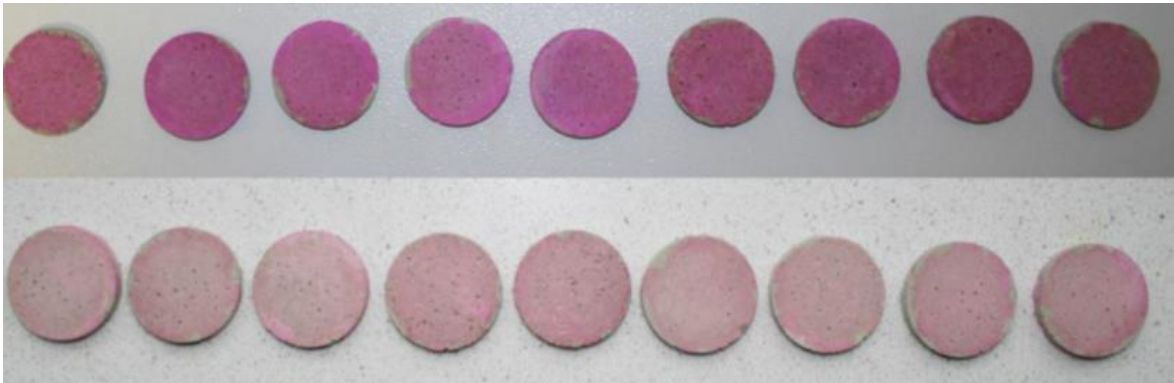


Şekil 3.1. Rhodamine-B sürülmüş harç numunelerinin renk değişimi (sol, % 5 TiO_2 içeren örnek; sağ, % 0 TiO_2 içeren örnek): (a) UV ışımından önce, (b) 6 saatlik UV ışımından sonra (Chen vd., 2011).

Fiore ve arkadaşları, 2013 yılında donatılı betonlar üzerine 3 mm kalınlığında % 5 oranında TiO_2 ve beyaz çimento içeren çimento harcı uygulamıştır. Yapılan dayanıklılık deneylerinden sonra, betonların karbonatlaşma direncinin arttığı ve beton demirlerinin korozyon yayılım oranında azalma görüldüğünü belirtilmiştir (Fiore vd., 2013).

2013 yılında Biolzi ve arkadaşları, yüksek sıcaklıkta kendi kendini temizleyen betonların fotokatalitik özelliklerini incelemiştir. Yazarlar, 500 C^0 sıcaklıkta betonların kendi kendini temizleme özelliğini koruduğunu ancak 750 C^0 sıcaklıkta, TiO_2 aktif fazdan pasif faza geçtiğinden ötürü kendi kendini temizleme özelliğinde azalma görüldüğünü belirtmişlerdir (Biolzi vd., 2013).

Kendi kendini temizleyen betonlar üretilirken farklı katkıların kullanıldığı çalışmalar da olmuştur. 2015 yılında Sikora ve arkadaşları, atık cam katkılı betonların kendi kendini temizleme özelliklerini araştırmışlardır. Deneyde kullanılacak olan atık camlar tanecik boyutu 2 mm'den daha az olacak şekilde öğütülmüştür. Deneylerde kirletici olarak Rhodamine-B kimyasalı kullanılmıştır. Numuneler UV kaynağı altında ışığa maruz bırakılmışlardır. Deney sonucunda yazarlar numunelerde etkili fotokatalitik reaksiyonların gerçekleştiğini ve kullanılan atık cam'ın numunelerin kendi kendini temizleme performansına olumsuz bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir. Deneyleri yapılan numunelerdeki renk açılması Şekil 3.2'de gösterilmiştir (Sikora vd., 2015).

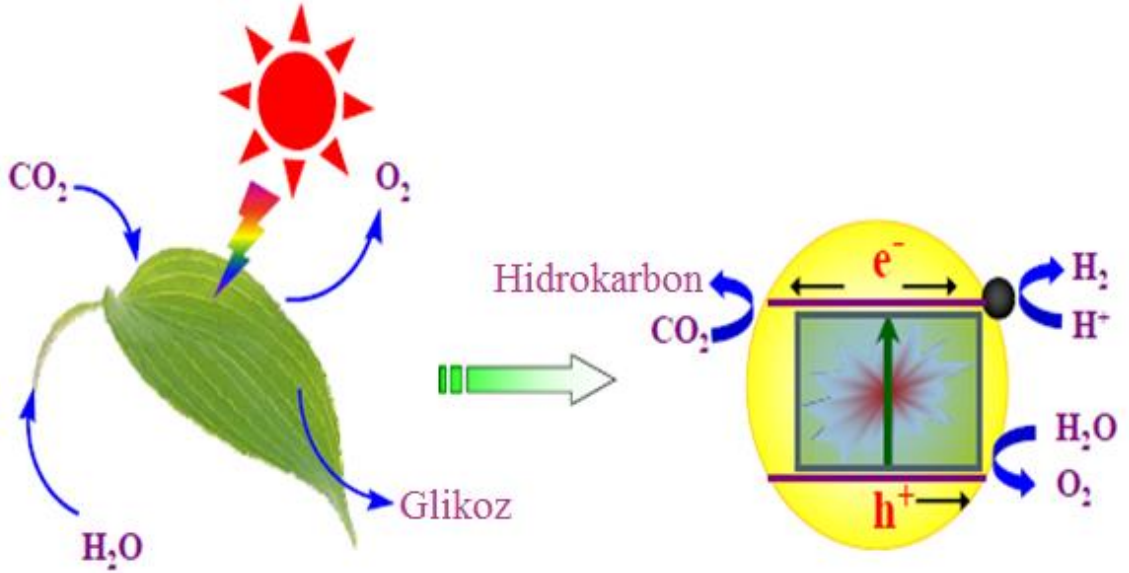


Şekil 3.2. Numunelerin yüzeyindeki Rhodamine-B'nin renk açılması (Sikora vd., 2015).

Kendi kendini temizleyen betonlarda kullanılan TiO_2 'in daha iyi fotokatalitik performans vermesi amacıyla bazı maddelerle modifiye edildiği çalışmalar da yapılmıştır. 2015 yılında, Janus ve arkadaşları, nitrojen ve karbon modifiyeli TiO_2 içeren çimento pastalarının fotokatalitik performanslarını araştırmışlardır. Deneyler sonunda modifiyeli TiO_2 içeren çimento pastalarının modifiyesiz TiO_2 içeren çimento pastalarına kıyasla daha iyi fotokatalitik etkinlik gösterdikleri bildirilmiştir (Janus vd., 2015). Mendoza ve arkadaşları ise silisyum katkılı TiO_2 içeren harçların fotokatalitik performanslarını araştırmışlardır. 5 günün sonunda yapılan okumalarda numunelerde hemen hemen %90 civarında renk açılması gerçekleştiği ve numunelerin erken zaman performansının oldukça iyi olduğu bildirilmiştir (Mendoza vd., 2015).

3.2 Fotokataliz Mekanizması

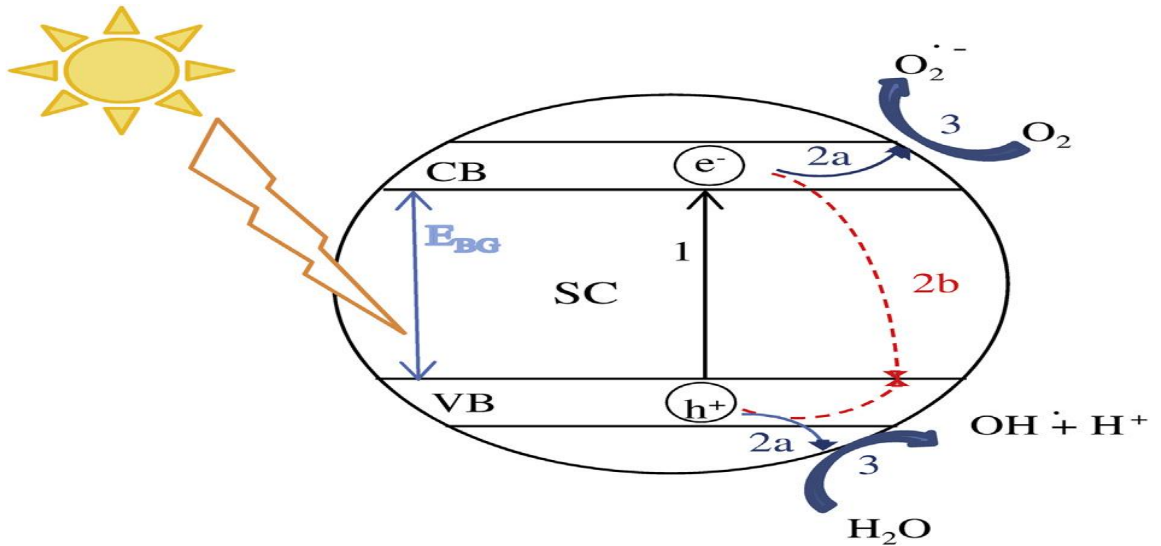
Bitkiler güneşten yakaladığı güneş ışığı sayesinde büyürler. Oluşan bu süreçte suyun oksidasyonu ve karbondioksitin redüksiyonu ile oksijen üretirler. Doğal fotosenteze benzer olarak, güneş enerjisini kullanarak suyun fotoelektrolizi yani su moleküllerinin ayrıştırılması araştırılmaya başlanmıştır. 1972 yılında Fujishima ve arkadaşları bir yarıiletken malzeme kullanarak su fotolizini gerçekleştirmişlerdir. Bu ayrıştırma işlemi temelde, ışıkla uyarılmış yarıiletken kullanımı ile fotokimyasal pil yapımını içermektedir. Bitkilerdeki fotosentezde gözlenen mekanizmalar ile benzerliklerinden dolayı fotokataliz (photocatalysis) yapay fotosentez olarak da adlandırılabilir (Şekil 3.3) (Yüksel ve Karagüler, 2011).



Şekil 3.3. Doğal fotosentez ve yapay fotosentez (Yun vd., 2013).

Fotokataliz, UV ışık veya görünür ışık ışıması altında, atmosferik basınçta bir fotokatalizör vasıtası ile organik bileşiklerin indirgenme ve yükseltgenme reaksiyonları ile parçalanmasıdır. Fotokatalitik reaksiyon sistemleri, tepkimeler esnasında yalnızca fotonlara ihtiyaç duyması açısından ve güçlü oksidasyon-redüksiyon potansiyellerinin varlığından dolayı büyük ilgi görmektedir (Costa vd., 2013).

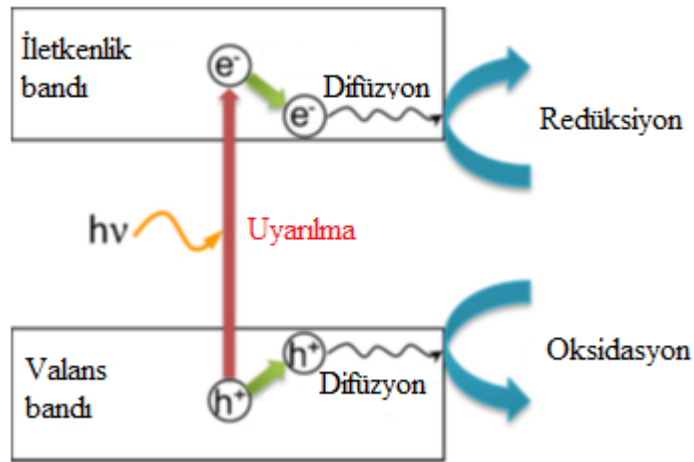
Malzemede bulunan elektronlar enerji bandlarında yerleşik halde bulunur. Yarıiletkenler, atomik yapılarında, dolu bir valans bandına ve boş bir iletkenlik bandına sahip malzemelerdir. Bantlar, bir malzemede bir elektronun işgal edebileceği muhtemel enerji seviyeleridir. Elektronlar ile dolu olan bir band ile boş halde bulunan bir band, band açıklığı ile birbirinden ayrılır. Yarı iletkenlerde band açıklığının genişliği elektrik yalıtkanlarına kıyasla daha azdır ama metaller ile kıyaslandığında daha büyük band açıklığına sahiptirler (Vasilache vd., 2013). Dıştaki yörüngede bulunan elektronlar ‘valans elektronları’ olarak adlandırılırlar. Valans elektronlarının temel görevi, atomların birbiri ile bağlanmasını sağlamaktır. Valans elektronlarının bulunduğu en yüksek enerji seviyesinde bulunan band, valans bandı olarak adlandırılır. Valans bandının dışında yer alan ve en düşük seviyede bulunan bant ise iletkenlik bandı olarak adlandırılmaktadır. Eğer UV kaynağından veya elektromanyetik spektrumun görülebilir bölgesinden bir foton absorbe edilirse valans bandında bulunan bir elektron uyarılarak iletkenlik bandına sıçrar ve valans bandında o elektronun boşluğu oluşur. Böylece tepkime, uyarılmış elektron (e^-) - pozitif boşluk (h^+) çifti şeklinde sonuçlanır (Şekil 3.4). Bu e^- - h^+ çifti, fotokatalistin yüzeyindeki kimyasal maddeleri redüksiyon ve oksidasyon reaksiyonlarına uğrattırır. Yarıiletken malzemenin kimyasal yapısı, kimyasal reaksiyon sırasında eşit sayıda e^- ve h^+ tüketilmiş ise, değişmeden kalmaktadır (Yüksel ve Karagüler, 2011; Ângelo vd., 2013).



Şekil 3.4. Fotokataliz mekanizmasının ana reaksiyonu: elektron-boşluk çifti oluşumu(1), yüklerin ayrımı ve yüzey reaksiyonlarına göçü(2a) ve tekrar birleşimi(2b), aktif olan yüzey kimyasal reaksiyonları(3) (Ângelo vd., 2013).

Fotokataliz mekanizmasının aktif hale geçebilmesi için ışık kaynağından gelen foton enerjisinin, yarı iletkenin band açıklığı enerjisine eşit ya da daha büyük bir enerji olması gerekmektedir. Aksi takdirde elektron-boşluk çifti oluşamayacaktır. Oluşan elektron-boşluk çifti difüzyon ile yüzeye gelip oksidasyon ve redüksiyon tepkimelerini gerçekleştirir (Şekil 3.5) (Nakata ve Fujishima, 2012).

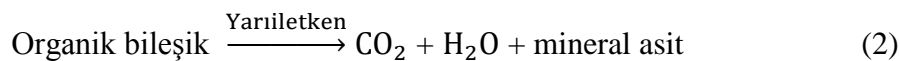
$$E_{\text{ışık}} \geq E_{\text{bg}} \quad (1)$$



Şekil 3.5. Ultraviyole (UV) ışık altında oluşan elektron-boşluk çiftinin difüzyon hareketinin şematik gösterimi (Nakata ve Fujishima, 2012).

Yüzeyde gerçekleşen bu oksidasyon ve redüksiyon reaksiyonları sonucu oluşan reaktif oksijenler ve hidroksiller oldukça aktif yapıdadır. Bu reaktif oksijen ve hidroksiller sudaki kimyasal kirleticileri ve mikroorganizmaları yok etmek, katı yüzeydeki organik bileşikleri parçalamak için kullanılmaktadır (Aysin, 2012).

Fotokataliz reaksiyonları ile malzeme üzerindeki organik bileşiklerin fotomineralizasyonu (organik bileşiklerin parçalanması) aşağıdaki ana denklem ile kolayca anlaşılabilir (Carp vd., 2004):



Fotokatalitik reaksiyon sırasında yarıiletken, bant açıklığına denk şiddette ışığa maruz kaldığında foto uyarım gerçekleşmektedir. Bunun sonucunda oluşan elektron ve boşluklar arasında farklı davranışlar görülebilmektedir. Yarıiletken partikülünde a, b, c, d isimleri ile adlandırılan reaksiyonların açıklaması şu şekildedir:

- (a) Fotokatalizörün foton Emilimi neticesinde uyarılması.
- (b) Elektron- boşluk rekombinasyonu oluşumu.
- (c) Işık etkisi ile yüzeyde yükseltgenme ve indirgenme reaksiyonlarının oluşumu.
- (d) Fotokatalizörün yüzeyinde kataliz sonucu oluşan ürün veya ürünlerin desorpsiyonu (Büyükpınar, 2011).

Fotokataliz genel olarak katı bir yüzeydeki fotokimyasal bir reaksiyonun, bir yarı iletken vasıtası ile katalize olmasıdır. Bu basit tanım gayet kullanışlı ve doğrudur. Ancak oluşan boşluklardaki oksidasyon ve elektronlardaki redüksiyon tepkimelerinin aynı anda olması gerektiği gerçeğini gizler. Her iki sürecinde fotokataliz esnasında dengeli şekilde gerçekleşmesi temel gereksinimlerden biridir. Bu sebepten dolayı fotokatalizde kullanılacak yarıiletken seçimi önemlidir (Fujishima vd., 2008).

Fotokataliz reaksiyonlarında kullanılabilen bazı yarı iletken malzemeler vardır. Sıklıkla kullanılan yarıiletkenlerin band açıklığı ve dalga boyları Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

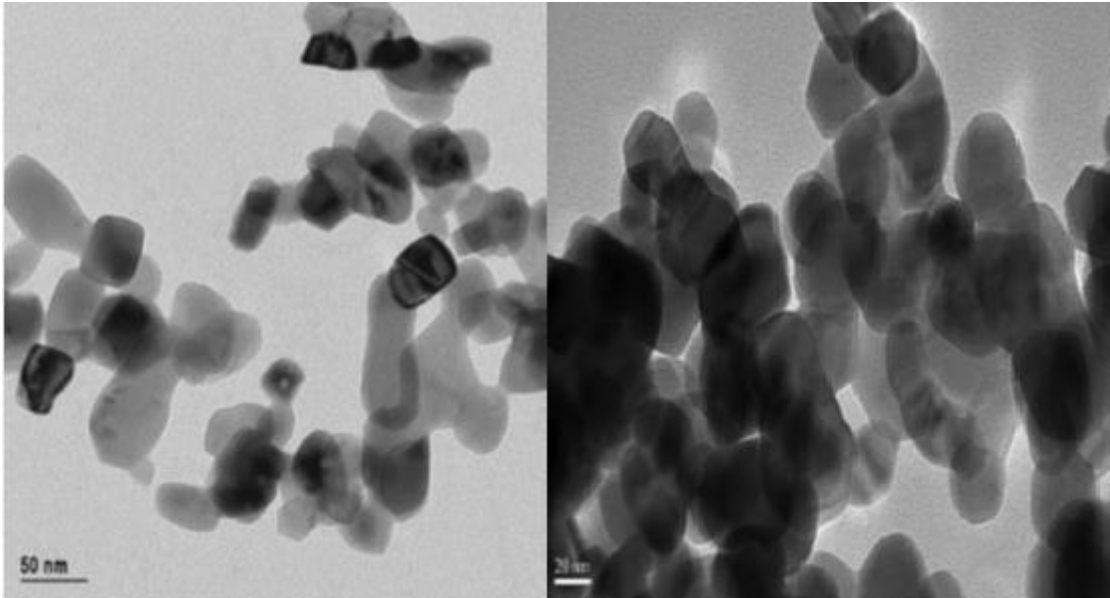
Çizelge 3.1. Bazı yarıiletkenlerin band açıklıkları ve dalga boyları (Aysin, 2012).

| Yarıiletken | Band Açıklığı(eV) | Dalga Boyu(μ -nm) |
|--------------------------------|-------------------|------------------------|
| TiO ₂ (Anataz) | 3,2 | 388 |
| TiO ₂ (Rutil) | 3,0 | 413 |
| ZnO | 3,4 | 363 |
| SnO ₂ | 3,6 | 338 |
| Fe ₂ O ₃ | 2,3 | 539 |

Çevresel kataliz reaksiyonlarının farklı aşamalarında kullanılan TiO_2 harici katalistler de mevcuttur. Çizelge 3.2’de farklı katalizlerde kullanılan katalistler, Şekil 3.6’da TiO_2 ve ZnO partiküllerinin nano resimleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Farklı kataliz reaksiyonlarında kullanılan katalistler (Abrams ve Vesborg, 2013)

| KATALİTİK AŞAMA | KULLANILAN KATALİST |
|---|-------------------------------|
| NO gazının amonyak kullanılarak katalitik redüksiyonu | WO_3 destekli V_2O_5 |
| Gazların kükürttten arındırılma işlemi | Vanadyum Oksit |
| CO, NO, hidrokarbonlar gibi motorlu taşıt kirleticilerinin yok edilmesi | Pt, Pd |
| Mazot oksidasyon katalizi | Pt, Pd |
| Hidrojenleme aşaması(S, N, metaller, yağdaki aromaların yok edilmesi) | Co – Mo – S |
| Uçucu organik bileşiklerin fotokatalitik oksidasyonu | TiO_2 , MoS_2 , $SrTiO_3$ |
| Suda yüzen kirleticilerin fotokatalitik elemesi | TiO_2 , MoS_2 , $SrTiO_3$ |



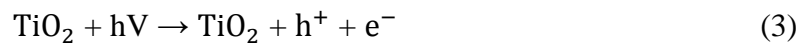
Şekil 3.6. TiO_2 ve ZnO partiküllerinin nano resmi (Picada, 2011; Yun vd., 2013).

3.3 Titanyum dioksit Fotokatalizi

TiO₂ fotokatalizi, üzerinde en çok çalışılan ve en iyi anlaşılmış fotokataliz sistemidir. TiO₂; fotokataliz reaksiyonlarında fotokatalist olarak sıklıkla kullanılan, beyaz renkli, hidrojen absorbe eden, katalizi destekleyen bir bileşiktir. TiO₂, 3,2 eV'lik band açıklığına sahip olmakla birlikte UV ışığı altında organik bileşikleri ayırma, su arıtma ve karbon dioksit redüksiyonu gibi reaksiyonlar gerçekleştiren bir yarıiletkendir. TiO₂ doğada üç farklı mineral formunda bulunur. Yapısı ve özellikleri en çok bilinen bu üç form anataz, rutil ve brokit formlarıdır. Bu mineral formlar arasında anataz formu diğer ikisine kıyasla daha yüksek fotokatalitik performans göstermektedir. Ama bazı durumlarda anataz ve rutil karışımının daha yüksek fotokatalitik performans sergilediği de görülmüştür. Bunun bir örneği, % 80 anataz % 20 rutil içeren, ticari açıdan kullanımı daha uygun olan Degussa P25 titanyum dioksitidir. TiO₂ geniş band açıklığından dolayı, 388 nm'lik dalgaboylarına karşı cevap verebilir (Kenneth vd., 2013).

Titanyum dioksit hakkında birçok alanda çalışmalar yapılmıştır ama en çok çalışılmış kullanım alanı titanyumun organik bileşikleri ışık destekli ayrıştırmasıdır. TiO₂ bir yarı iletken ve düşük bir enerjide (UV) (320-400nm/3,9-3,1 eV) bile yüksek fotokatalitik aktivite gösterebilir. Bu enerji kaynağı doğal güneş ışığı veya yapay bir ışık kaynağı olabilir (Yürüm, 2009).

Titanyum dioksit 3,2 eV'lik band açıklığı enerjisine ve UV ışığa maruz kaldığında 388 nm'lik dalga boyuna cevap vererek elektron-boşluk çifti oluşturabilen yapıya sahiptir (Lucas vd., 2013). Fotokatalitik reaksiyonlar titanyum dioksit filmlerinin yüzeylerinde gerçekleşir. TiO₂, UV kaynağı ile uyarıldığı zaman bu yüzeylerde fotokatalitik reaksiyonlar başlar. Fotonlar, TiO₂ tarafından absorbe edildikten sonra taşıyıcı elektron-boşluk çifti oluşur (Ohtani, 2008).



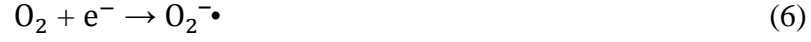
UV kaynağından gelen foton yarı iletkene ulaştığında oluşan elektron-boşluk çifti difüzyon ile yüzeye doğru hareket etmektedir. Dış ortamda bulunan OH^- iyonları ile H_2O molekülleri, TiO_2 yüzeyinde en fazla absorblanan madde özelliğindedirler. Bu gruplar asidik veya bazik ortamda TiO_2 'in valans bandı boşlukları ile oksidasyona girerek $\bullet\text{OH}$ grupları oluşturabilir (Kepoğlu, 2014).

Yarı iletkenlerde $\bullet\text{OH}$ oluşumu iki şekilde sağlanmaktadır:

1. Dış ortamdan absorblanan OH^- iyonları ya da H_2O molekül grupları ile valans bandı boşluklarının reaksiyona girmesi ile hidroksi ($\bullet\text{OH}$) radikal grubu oluşabilir (Kepoğlu, 2014). Yüzeye difüzyon yolu ile ulaşan pozitif valans bandı boşluğu (h^+) yüzeyde soğurulmuş halde bulunan su ve hidroksi (OH^-) iyon yapıları tarafından tutuklanır (Denklem 4 ve 5). Bu gruplar ile reaksiyona girerek hidroksi ($\bullet\text{OH}$) radikalinin oluşmasını sağlar. Bu reaksiyonlar neticesinde oluşan hidroksi radikalleri oldukça aktif yapıda olup yüzeyde soğurulmuş diğer kimyasal bileşikler ile birçok tepkimeye yol açmaktadır (Temirel ve Palamutçu, 2011).



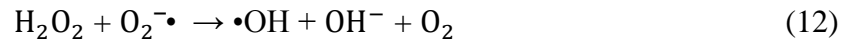
2. Süper oksijen ($\text{O}_2^{\bullet-}$) radikali'nden hidrojen peroksit(H_2O_2) üretilmesi ile de hidroksi ($\bullet\text{OH}$) radikali oluşumu sağlanabilir. Valans bandındaki pozitif boşlukların yüzeye gelmesi gibi iletkenlik bandındaki elektronlar da çok verimli bir elektron tutma elemanı olan ve ortamda serbest halde bulunan moleküler oksijenle birleşerek süper oksijen ($\text{O}_2^{\bullet-}$) radikalini oluştururlar (Denklem 6). Oluşan süper oksijenler pozitif boşlukların su ile yakalanması sonucunda oluşan protonlar (H^+) ile reaksiyona girerek peroksi radikallerinin ($\text{HO}_2\bullet$) oluşması sağlar (Denklem 7). Oluşan peroksi radikalleri de hidrojen peroksit (H_2O_2) oluşturur (Denklem 8) (Kepoğlu, 2014; Temirel ve Palamutçu, 2011).



Yukarıdaki reaksiyonlar sonucu oluşan süper oksijen ve peroksi radikalleri de reaksiyonlara girerek hidrojen peroksit oluşumu sağlayabilir (Denklem 9 ve 10):



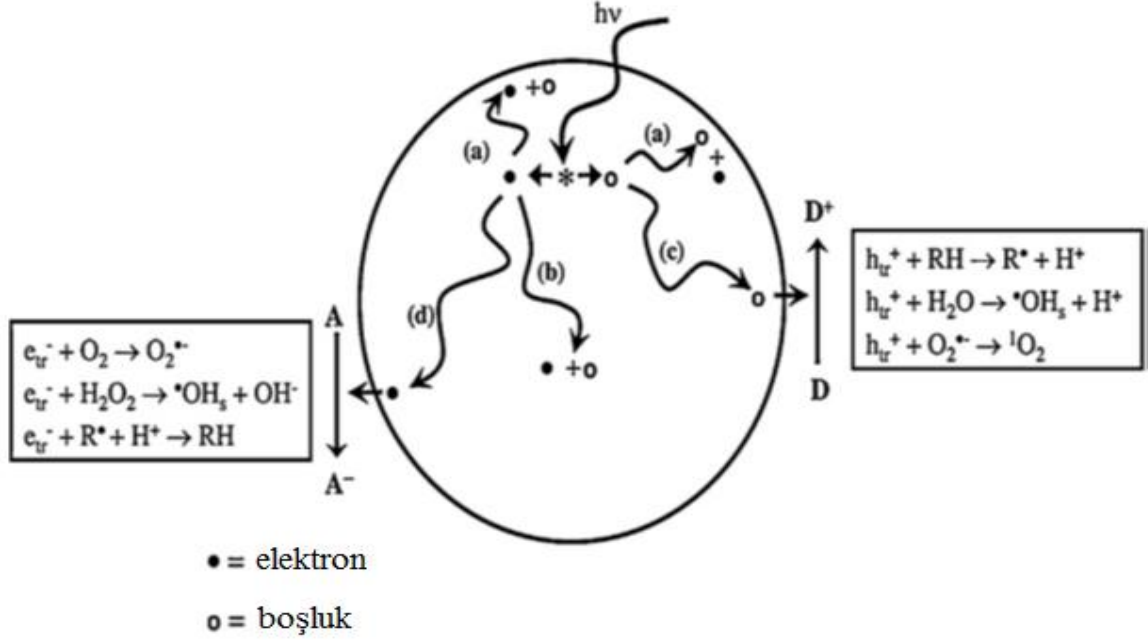
Hidrojen peroksit, $\bullet\text{OH}$ meydana getiren bir elektron alıcısı gibi davranır. Yukarıda verilen reaksiyonlar sonucu oluşan hidrojen peroksitlerin herhangi bir reaksiyon ile parçalanması sonucunda $\bullet\text{OH}$ hidroksi radikalleri oluşmaktadır (Denklem 11, 12 ve 13) (Kepoğlu, 2014):



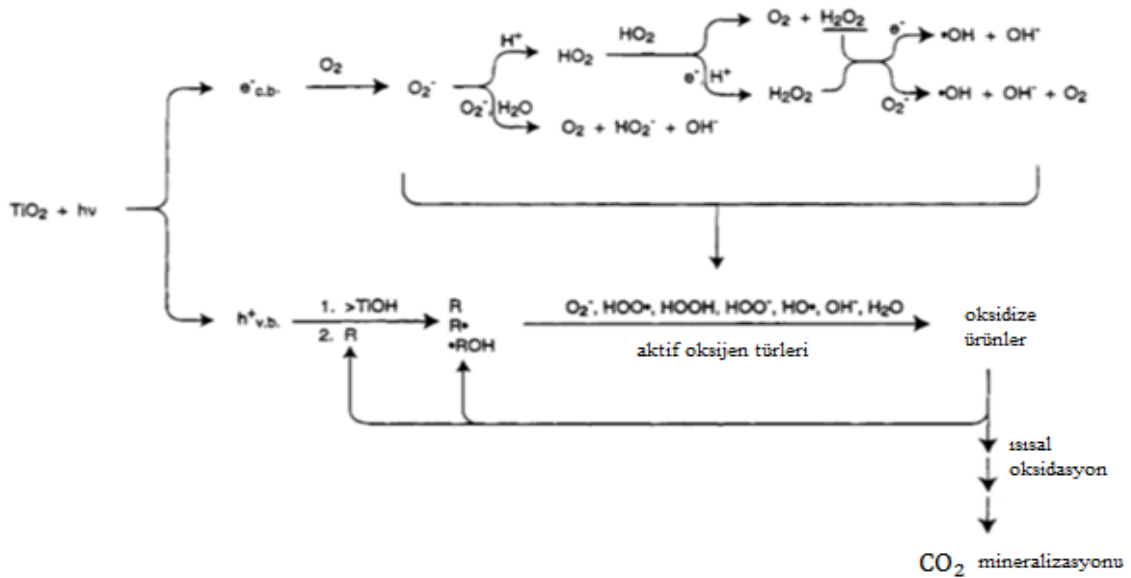
Reaksiyonlar kısaca özetlenirse; yüzeyde bulunan su ve oksijen molekül grupları ile boşluk ve elektronların tutuklanma reaksiyonları sonucunda süper oksijen ($\text{O}_2^{\bullet-}$), hidroksi ($\bullet\text{OH}$), peroksi (HO_2^{\bullet}) radikallerinin sentezi gerçekleştirilir. Böylelikle üretilen bu radikaller fotokatalitik redoks tepkimelerini gerçekleştirir (Temirel ve Palamutçu, 2011). Reaksiyonlar sonucunda iletkenlik bandı elektronları ve valans bandı boşlukları ısı şeklinde enerji açığa çıkararak tekrar birleşir (Denklem 14) (Li, 2013).



Şekil 3.7’de TiO_2 partiküllerinde gerçekleşen reaksiyonlar şematik olarak gösterilirken, Şekil 3.8’de oksijen çeşitlerinin gerçekleştirdiği reaksiyonlar gösterilmiştir.



Şekil 3.7. UV ışınımı sonrasında TiO_2 partiküllerinde gerçekleşen reaksiyonlar (Nakata ve Fujishima, 2012).



Şekil 3.8. Fotoelektrokimyasal mekanizmadaki aktif oksijen türleri ile gerçekleşen reaksiyonlar (Hoffmann vd., 1995).

3.4 Endüstriyel Atık Malzemeleri

Endüstriyel gelişimin faydalarının yanı sıra çevre için getirdiği olumsuz etkiler de göz ardı edilemez bir gerçektir. Çeşitli endüstriyel tesislerin oluşturduğu atık veya yan ürünlerin, faydalı geri dönüşüm mekanizmaları ile tekrar kullanılması hem çevresel katkı hem de ekonomik kazanım yönünden önem arz etmektedir. Günümüzde inşaat sektöründe özellikle beton imalatında silis dumanı, uçucu küller, atık araç lastikleri, mermer toz atıkları ve granüle yüksek fırın cürufları gibi atık malzemeler kullanılabilmektedir (Beycioğlu vd., 2008). Bu tez çalışmasında da beton atık ve katkı maddeleri olarak uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve sepiyolit malzemeleri kullanılmıştır. Literatürde bu katkı malzemeleri içeren kendi kendini temizleyen betonlar ile ilgili çalışmalara rastlanılmamıştır. Bu başlık altında deneylerde kullanılan bu malzemelerin özelliklerinden bahsedilmiştir.

3.4.1 Uçucu kül

Uçucu küller ya da pulverize yakıt külleri, özellikle elektrik üretim tesislerinin pulverize kömür ile işleyen fırınlarının toz tutma ünitelerinden sağlanan malzemelerdir (Beycioğlu vd., 2008). Uçucu kül üretimini; santral tipi, işletim biçimi, yanma biçimi, yakılan kömürün cinsi gibi çeşitli faktörler etkilemektedir. Bununla birlikte genel olarak elektrik enerjisi üreten termik santrallerde kullanılan taşkömürünün %10-15'i, linyit kömürünün ise %20-50'si kül olarak ortaya çıkmaktadır. Yanma sonucu ortaya çıkan külün %75-85'i baca gazları ile kazandan çıkar ve bu atıklar "uçucu kül" olarak tanımlanırlar (Güler vd., 2005).

Dünyadaki yıllık uçucu kül üretimi 600 milyon tonu bulmuştur. Türkiye'de halen Afşin-Elbistan, Çatalağzı, Çayırhan, Kangal, Kemerköy, Orhaneli, Seyitömer, Soma, Tunçbilek, Yatağan ve Yeniköy santralleri olmak üzere 11 termik santral aktif olarak faaliyet göstermekte olup, bu santrallerden yılda toplam 13 milyon ton kadar uçucu kül elde edilmektedir. Üretim miktarı fazla olan bu atık maddesinin geri dönüşüm kaynaklarında kullanılması oldukça önemlidir (Beycioğlu vd., 2008; Özel, 2007).

Uçucu küller kristal ve camsı formların heterojen birleşiminden oluşmaktadır. Diğer puzolanik maddelerde olduğu gibi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile tepkimelerinin neticesinde hidrolik bağlayıcı özellik kazanırlar. Kimyasal analizlere göre içeriği, büyük ölçüde silisyum (SiO_2), alüminyum (Al_2O_3), demir (Fe_2O_3), kalsiyum (CaO), magnezyum (MgO) ve sülfür (SO_3) elementlerinden oluşmaktadır (Tuygun, 2002).

İçermiş oldukları SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 miktarlarına göre uçucu küller gruplara ayrılmaktadır. Birçok ülke standardında uçucu küllerin sınıflandırılması yer almamakla birlikte, ASTM C 618 no.'lu standart, uçucu külleri F ve C sınıfı olarak iki grupta değerlendirmektedir. F sınıfı uçucu küller, antrasit ve bitümlü kömürün yanışından, C sınıfı uçucu küller ise linyitin yanışından elde edilmektedir. Ayrıca standartta, % 10'dan daha az CaO içeren uçucu küller, "düşük kireçli uçucu küller", % 10'dan daha çok CaO içerenler ise, "yüksek kireçli uçucu küller" olarak adlandırılmaktadır (Özel, 2007; Tuygun, 2002).

Uçucu kül puzolanik özelliği olan mineral kökenli termik santral atığı bir malzemedir. Bu özellikler ve küresel yapısı nedeni ile betonda işlenebilirliği artırması, taze betonda terlemeyi azaltması ve betonun hidrasyon ısısını azaltması gibi birçok olumlu özelliği bulunmaktadır (Binici vd., 2013). Ayrıca uçucu külün inşaat sektöründe kullanıldığı birçok alan mevcuttur. Çizelge 3.3'de bu kullanım alanları belirtilmiştir.

Çizelge 3.3. Uçucu küllerin inşaat sektöründeki kullanım alanları (Beycioğlu vd., 2008).

| Malzeme | Kullanım Alanı/Yeri |
|-----------------------------|--|
| Çimento | Hammadde, katkı ve ikame olarak |
| Agrega | İnce agrega, iri agrega ve hafif agrega olarak |
| Beton | Katkı ve ikame malzemesi olarak |
| Tuğla/Ateş Tuğlası | Katkı malzemesi olarak |
| Kerpiç | Bağlayıcı malzeme olarak |
| Yapı Malzemeleri | Blok, panel, duvar, gaz beton, cam, boya, seramik, plastik, harç |
| Çeşitli Yapılar/Uygulamalar | Baraj, otoyol, nükleer santral, geoteknik uygulamalar |

3.4.2 Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu

Yüksek fırın cürufu, yüksek fırınlarda dökme demir imalatında elde edilen bir yan üründür ve demir cevherinin toprağımsı bileşeni ve kalker eriyinin birleşiminden oluşmuştur. Erimiş cüruf, bir su havuzunda hızlı bir şekilde su ile sulandığında veya güçlü su jetleri ile soğutulduğunda; granüle, kristal olmayan bir yapı haline gelir (Pal vd., 2003). Bu hali ile betonda ince malzeme olarak kullanılabilceği gibi öğütülmesi durumunda da çimento üretiminde veya beton katkı malzemesi olarak kullanılabilir (Topçu ve Canbaz, 2009). Endüstriyel bir atık olarak oluşan yüksek fırın cürufu depolanmasının zor olması nedeni ile beton sektöründe kullanılması ekonomik sürdürülebilirlik ve çevrenin korunması bakımından önem taşımaktadır.

Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu uygulamada üç farklı şekilde kullanılmaktadır:

- 1-) Kalsiyum hidroksit ile sulu ortamda birleşerek, hidrolik bağlayıcı madde olarak doğrudan kullanılabilir,
- 2-) Küçük miktarda alçıtaşı ve Portlan çimentosu klinkeri ile birlikte veya ayrı ayrı öğütülerek, cürüflü çimento üretiminde kullanılabilir,
- 3-) Beton katkı maddesi olarak kullanılabilir (Saran, 2007).

Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun betonda mineral katkı olarak kullanılmasının beton özelliklerine faydaları şu şekilde sıralanabilir:

- 1-) Erken dayanımı, sadece Portland çimentosu içeren betona kıyasla daha düşük çıkmaktadır; ancak, son günlerdeki dayanım daha yüksek olmaktadır.
- 2-) Deniz sularına ve sülfatlı ortamlara karşı daha dayanıklıdır.
- 3-) Klorür iyonlarının daha az sızabileceği, daha az geçirimsizliğe sahiptir.
- 4-) Betonun işlenebilirlik özelliğini geliştirmektedir.
- 5-) Betona ekonomiklik kazandırmaktadır.
- 6-) Yüksek sıcaklıklara karşı daha dayanıklıdır (Barnett vd., 2006; Bilim, 2006).

3.4.3 Sepiyolit

Sepiyolit, Sepiyolit-Paligorskit grubuna ait, magnezyum hidrosilikat'dan meydana gelen doğal yapıda bir kil mineralidir. Tetrahedral ve oktahedral oksit tabakalarının istiflenmesi sonucunda lifsi bir yapıdan oluşmaktadır ve lif boyunca devam eden kanal boşluklarına sahiptir. $\text{SiO}_{12}\text{Mg}_8\text{O}_{30}(\text{OH})_4(\text{H}_2\text{O})_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ formülü ile gösterilir. Tabiatta iki farklı yapıda çökelmektedir. Bunlardan ilki; amorf, kompakt halde ve masif yumrular şeklindeki günümüzde lületaşı olarak bilinen α -sepiyolit'dir. Bu sepiyolit yapısına daha çok Eskişehir-Sivrihisar ve Yunusemre, Çanakkale, Bursa, Kütahya, ve Isparta yörelerinde rastlanmaktadır. Diğer sepiyolit yapısı ise; küçük, yassı ve yuvarlak partiküller veya amorf agregalar halinde meydana gelen β -sepiyolittir. Diğer bir deyişle pratik ve ticari anlamda işlemeye elverişli, yumru biçimli olanı α -sepiyolit ve tabakalı bir yapıya sahip olan β -sepiyolit'tir. Sepiyolit'in bu iki şeklinin esas elementleri ve fiziksel özellikleri bakımından birbirinden farklılık gösterir. (Sabah ve Çelik, 1999; Yılmaz, 2007; Tekin, 2004).

Dünyada sedimanter sepiyolit üretiminde İspanya lider konumundadır. Maden Tetkik Arama Enstitüsü'nün yaptığı araştırmalarda Türkiye'nin İspanya'dan sonraki en büyük rezervlere sahip olan ülke olduğu belirtilmiştir. Özellikle Eskişehir ili bu kaynaklar açısından çok zengin bir ildir (Sabah ve Güney, 2013).

Sepiyolit mineralinin uygulamaları, genellikle sahip olduğu üç temel özelliğe dayanmaktadır:

- 1-)Katalitik özelliğe dayalı katalitik amaçlı uygulamalar,
- 2-)Sorptif özelliğine dayalı sorptif amaçlı uygulamalar,
- 3-)Reolojik özelliğe dayalı reolojik amaçlı uygulamalardır (Güven, 2008).

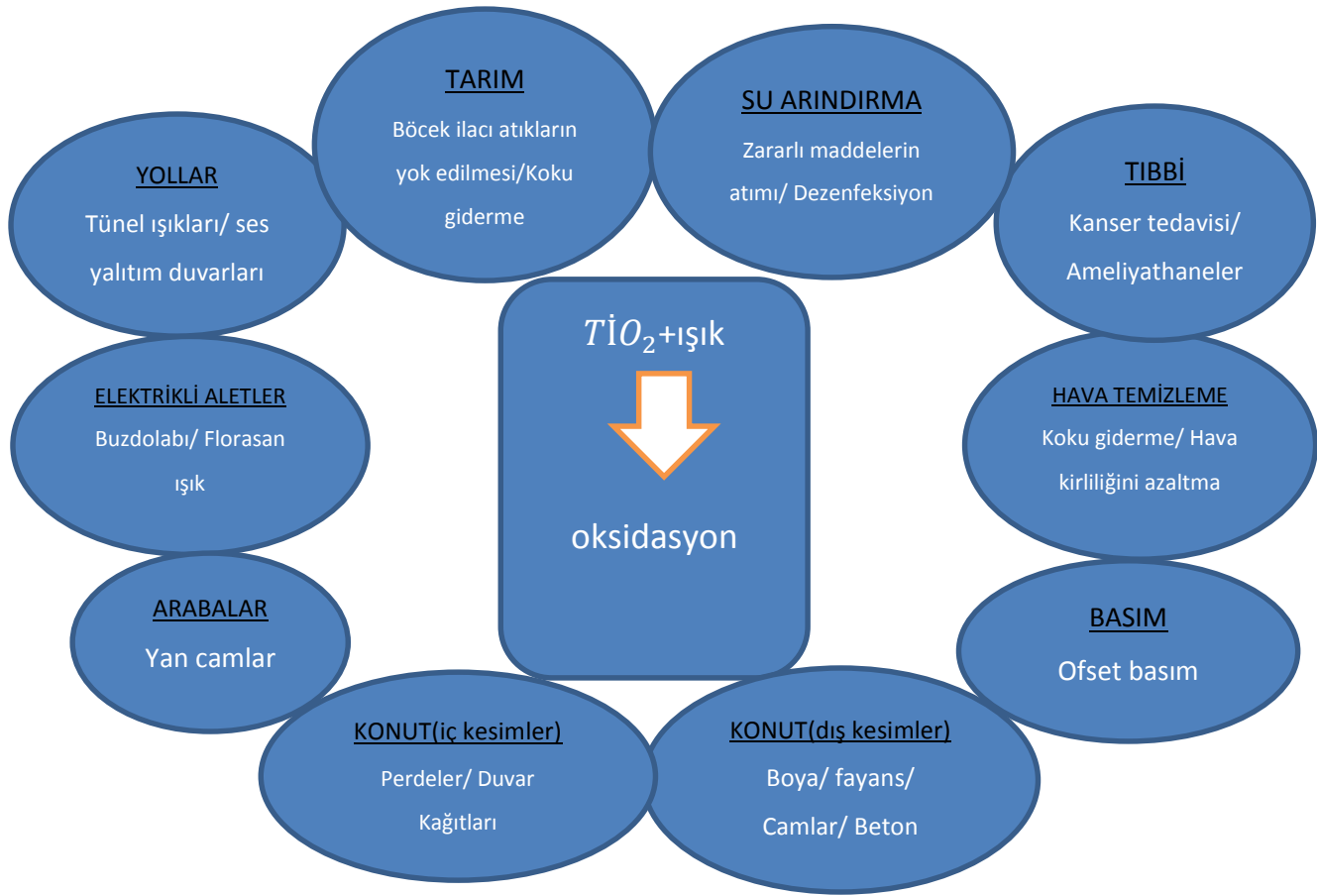
Bu çalışmada sepiyolit'in sorpsiyon kapasitesi, porozitesi, kristal morfolojisi, lifli yapısı ve katalitik özelliğinin yüzey aktivitelerine olan etkisini incelemek gibi nedenlerden dolayı kendi kendini temizleyen betonlarda sepiyolit üçüncü katkı maddesi olarak kullanılmıştır ve kendi kendini temizleyen betonlar üzerindeki etkileri incelenmiştir. (Sabah ve Çelik, 1999).

3.5 Fotokataliz Uygulamaları

Her geçen gün uygulama alanlarını artıran fotokataliz mekanizmaları bugün birçok çevresel soruna çözüm oluşturmaktadır. Günümüzde 3000'den fazla şirket fotokataliz piyasasında dünya çapında faaliyet göstermektedir. Nanoteknolojinin gelişmesi ile yapı sektöründeki nanomalzemelerin kullanımında da artış görülmüştür. Kendi kendini temizleyen yüzeyler, kolay temizlenen yüzeyler, hava temizliğini artıran ve kalitesini iyileştiren malzemeler, bulanık yüzeyi engelleyen kaplamalar, kendi kendini onaran beton, ısı yalıtımı sağlayan malzemeler, ultraviyole ve kızılötesi ışınlardan koruyan kaplamalar filmler, yangın korunumu sağlayan malzemeler, duvar yazısı tutmayan yüzeyler, yansımayı önleyen cam yüzeyler, antibakteriyel malzemeler, parmak izi tutmayan yüzeyler, çizilmeyi ve aşınmayı önleyen kaplamalar gibi örnekler nanoteknolojinin yapı alanına getirdiği en önemli yeniliklerdendir (Gür, 2010).

Estetik görünümün korunmasının gittikçe önem arz etmesi sebebi ile bu alanda gelişmeler kaydetmiştir. Binaların, anıtların veya herhangi bir üstyapının rengi, kentsel kirliliğe maruz kalmasıyla atmosferik partiküllerin emiliminden dolayı zamanla griye dönecektir. Bu konuya katkı sağlayabilecek malzemeler TiO_2 içeren malzemelerde bir kez daha bulunabilir. Bu malzemeler yüzeyinin nemli kalabilmesini böylece temizleme özelliklerini geliştiren hidrosillenmiş yüzey katmanının üretiminden meydana gelen üretimin süperhidrofilik özellikleri sayesinde malzemenin orijinal yüzey boyasının bakımının daha kolay olmasına olanak sağlar. Bu malzemeler kendini temizleyen olarak tanımlanırlar ve yapı endüstrisinde kullanımı bakım masraflarının bütçesinde azalma sağlar (Diamanti vd., 2008).

Fotokataliz reaksiyonlarının faydalandığı alanlar sadece yapı malzemeleri ile sınırlı kalmamıştır. Günümüzde bu reaksiyonlardan sayısız alanda faydalanılmaktadır ve her geçen gün kullanılan alan sayısı genişlemektedir (Nakata vd, 2012). Bu reaksiyonların kullanıldığı bazı alanlar Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. TiO₂ fotokatalizlerinin uygulamaları (Nakata vd, 2012).

Geçtiğimiz 40 yılda Çin’de fotokataliz reaksiyonları hakkında 11868 makale yayınlanmıştır. Hızlı gelişen ekonomiler sayesinde fotokataliz çalışmaları her geçen sene artmaktadır. Çizelge 3.4’de fotokataliz reaksiyonları ile ilgili en çok makale yazılan beş ülke ve yayın sayıları verilmiştir (Yun vd., 2013).

Çizelge 3.4. 1975-2013 yılları arasındaki fotokataliz ile ilgili en çok makale yayınlayan beş ülke (Yun vd., 2013).

| ÜLKELER | YAYIN SAYILARI | DÜNYADAKİ ORANI(%) |
|------------|----------------|--------------------|
| Çin | 11868 | 32,4 |
| Japonya | 5447 | 14,9 |
| ABD | 4307 | 11,8 |
| Güney Kore | 1979 | 5,4 |
| Hindistan | 1839 | 5,0 |

Günümüzde fotokataliz reaksiyonlarının çimento, harç ve beton sistemlerinde kullanıldığı uygulamalar şunlardır:

- 1-) Prekast ve mimari beton panellerinde, betonarmede;
- 2-) Kaldırımlar, yollar ve yüzeyleri, yürüyüş yolları;
- 3-) Son kat uygulamalarında kullanılan Portland çimento esaslı sıva malzemelerinde;
- 4-) Beton duvar malzemeleri, kiremitlerde, çimento esaslı karolarda;
- 5-) Çimento esaslı restorasyon ürünlerinde (Barbesta ve Schaffer, 2009).

Günümüzde fotokataliz reaksiyonlarının işlevselliğinden faydalandığı birçok yapı bulunmaktadır. Kendi kendini temizleyen betonun kullanıldığı yapılara bir örnek olarak İtalya, Roma'daki Jubilee Kilisesi verilebilir (Singh vd., 2013). Yapının beyaz cephelerinde kırılmış beyaz Carrera mermerinin agrega olarak kullanıldığı fotokatalitik çimentolu betonla yapılmış 346 adet küre biçimli prefabrike kendi kendini temizleme özelliğine sahip beton blok kullanılmıştır (Orhon, 2014). Şekil 3.10'de Jubilee Kilisesi gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Kendi kendini temizleyen beton ile üretilen yapı örneği, Jubilee Kilisesi (Karagüler, 2014).

Manuel Gea Gonzalez Hastanesinin (Meksiko, Meksika, 2013) cephesinde de kendini ve havayı temizleme özellikli fotokatalitik beton kullanılmıştır (Şekil 3.11) (Orhon, 2014).



Şekil 3.11. Manuel Gea Gonzalez Hastanesi'nin fotokatalitik beton içeren cephesi (Orhon, 2014).

İtalya, Milano'nun Segrate semtinde 2002 yılında yapılan 10 m genişliğinde 230 m uzunluğundaki çift yönlü yolda da fotokatalitik beton kullanılmıştır. Bu beton yolun kendi kendini temizleme özelliğinin yanı sıra NO_x bileşiklerinin yoğunluğunda % 50 - % 60 arası bir azalma sağladığı belirtilmiştir (TX active, 2009). Şekil 3.12'de bahsi geçen fotokatalitik yol gösterilmektedir.



Şekil 3.12. İtalya, Milano'daki fotokatalitik özellik gösteren beton yol (TX active, 2009).

Fotokataliz reaksiyonları ile kendi kendini temizleyen malzemelerin kullanıldığı en önemli örneklerden biri, Almanya’da 2004 yılında inşa edilmiş olan MSV Arena Futbol Stadyumu’dur. Cam ve alüminyumdan oluşan cephede, güneş ışınlarından koruma ve ses yalıtımı özelliklerine de sahip olan ve fotokatalizle kendini temizleme özelliği olan cam malzemesi sayesinde temizleme zamanlarının aralığı oldukça uzamış, temizlik masrafından önemli miktarda kazanç sağlanmıştır (Gür, 2010). MSV Arena Futbol Stadyumu’nun cephesi Şekil 3.13’de gösterilmiştir.



Şekil 3.13. MSV Arena Futbol Stadyumu Ön Cephe Görünümü (Gür, 2010).

Almanya’daki Kaldewei Kompetenç Merkezi (Şekil 3.14) ise kolay temizlenme özelliğine sahip bir kaplamayla kaplanmış olan bir yapıdır (Gür, 2010).



Şekil 3.14. Kaldewei Kompetenç Merkezi (Gür, 2010).

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Kendi kendini temizleyen beton üretiminde çimento, agregalar, su, uçucu kül, öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu, sepiyolit ve TiO₂ kullanılmıştır.

4.1.1 Çimento

Deneysel çalışmalarda Eskişehir Çimsa Çimento Fabrikasının üretilen ve TS EN 197-1: 2002 standardına uygun CEM I 42,5 R gri çimento ve CEM I 52,5 R beyaz çimento kullanılmıştır. Bu çimentolara ait kimyasal ve mekanik özellikler Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deneyde kullanılan CEM I 42,5 R (gri) çimentosunun özellikleri.

| KİMYASAL ANALİZ | | | KİMYASAL ANALİZ | | |
|---|-----|-------|-------------------------|----------------------|---------|
| Kalsiyum oksit (CaO) | (%) | 63,56 | Yoğunluk | (g/cm ³) | 3,10 |
| Silisyum oksit (SiO ₂) | (%) | 19,25 | Özgül yüzey (Blaine) | (cm ² /g) | 3320,00 |
| Aliminyum oksit (Al ₂ O ₃) | (%) | 5,05 | 0,045 mm Elek kalıntısı | (%) | 11,50 |
| Demir oksit (Fe ₂ O ₃) | (%) | 2,56 | 0,090 mm Elek kalıntısı | (%) | 1,90 |
| Magnezyum oksit (MgO) | (%) | 1,78 | Su | (%) | 27,00 |
| Sodyum oksit (Na ₂ O) | (%) | 0,26 | Priz başlangıcı | (dakika) | 150 |
| Potasyum oksit (K ₂ O) | (%) | 0,83 | Priz sonu | (dakika) | 279 |
| Kükürt trioksit (SO ₃) | (%) | 3,11 | Hacim sabitliği | (mm) | 1,00 |
| Kızdırma Kaybı | (%) | 3,48 | | | |
| Klorür (Cl) | (%) | 0,009 | | | |
| Çözünmeyen kalıntı | (%) | 0,30 | | | |
| Serbest kireç | (%) | 1,10 | | | |

Çizelge 4.2. Deneyde kullanılan CEM I 52,5 R (beyaz) çimentosunun özellikleri.

| KİMYASAL ANALİZ | | KİMYASAL ANALİZ | |
|---|-------|---|---------|
| Kalsiyum oksit (CaO) (%) | 65,64 | Yoğunluk (g/cm ³) | 3,12 |
| Silisyum oksit (SiO ₂) (%) | 21,60 | Özgül yüzey (Blaine) (cm ² /g) | 4100,00 |
| Aliminyum oksit (Al ₂ O ₃) (%) | 4,28 | 0,045 mm Elek kalıntısı (%) | 1,50 |
| Demir oksit (Fe ₂ O ₃) (%) | 0,24 | 0,090 mm Elek kalıntısı (%) | 0,35 |
| Magnezyum oksit (MgO) (%) | 1,30 | Su (%) | 30,00 |
| Sodyum oksit (Na ₂ O) (%) | 0,32 | Priz başlangıcı (dakika) | 100 |
| Potasyum oksit (K ₂ O) (%) | 0,35 | Priz sonu (dakika) | 130 |
| Kükürt trioksit (SO ₃) (%) | 3,08 | Hacim sabitliği (mm) | 1,00 |
| Kızdırma Kaybı (%) | 3,16 | | |
| Klorür (Cl) (%) | 0,01 | | |
| Çözünmeyen kalıntı (%) | 0,19 | | |
| Serbest kireç (%) | 1,58 | | |

4.1.2 Su

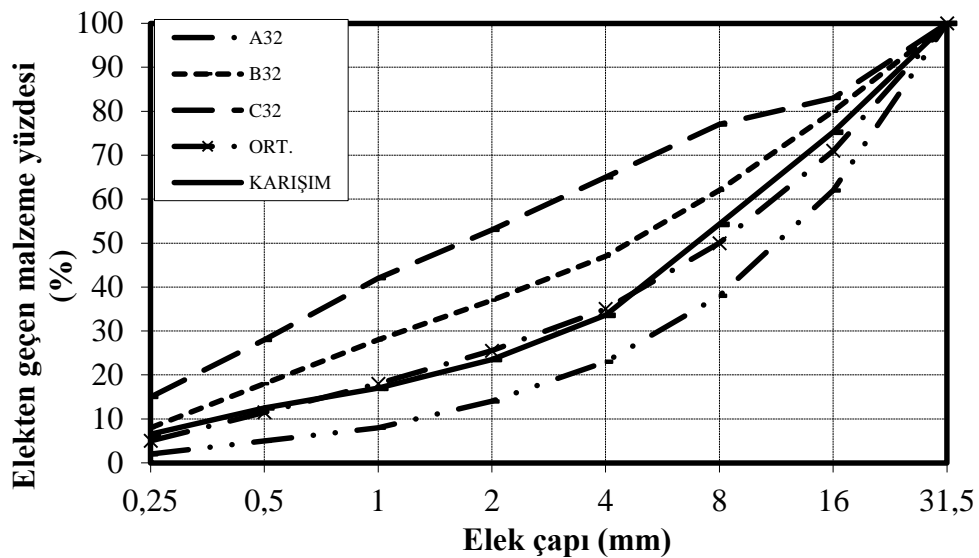
Beton karma suyu olarak Eskişehir şebeke suyu kullanılmıştır. Çizelge 4.3'te beton üretiminde kullanılan şebeke suyunun kimyasal analizi verilmiştir.

Çizelge 4.3. Deneyde kullanılan beton karma suyunun özellikleri.

| KİMYASAL ANALİZ | | | | |
|-----------------|--------|-------|-----------------------|-------------------|
| Aliminyum | (mg/l) | 0,06 | pH değeri | 8,00 |
| Nitrat | (mg/l) | 8,80 | İletkenlik | (μ g/l) 568 |
| Nitrit | (mg/l) | 0,005 | Toplam organik karbon | (mg/l) 23,80 |
| Amonyum | (mg/l) | 0,07 | Sertlik | (Fr0) 31,43 |
| Sülfat | (mg/l) | 78 | Toplam çözünmüş madde | 341 |
| Demir | (mg/l) | 0,005 | Arsenik | (μ g/l) 3,57 |
| Mangan | (mg/l) | 0,002 | | |
| Fosfor | (mg/l) | 0,06 | | |

4.1.3 Agregalar

Beton üretiminde piyasadadan temin edilen temin edilen üç farklı boyuttaki (0-4, 4-16 ve 16-32 mm) kırmataş agregaları kullanılmıştır. Şekil 4.1’de çalışmada kullanılan agrega granülometri eğrisi, Şekil 4.2’de deneyde kullanılan agregalar gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Çalışmada kullanılan agrega karışımının granülometri eğrisi.



Şekil 4.2. Deneylerde kullanılan ince, orta ve iri tane boyutlu agregalar.

4.1.4 Uçucu kül:

Bu çalışmada kullanılan uçucu kül Kütahya Çimento Fabrikasından sağlanmıştır. Fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 4.4’de verilmiştir. Kütahya Çimento uçucu külü; SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 değerleri toplamı % 70’in üzerinde ve CaO ’in % 10’un altında olması sebebi ile ASTM C 618 standartlarına göre F sınıfı koşullarını sağlamaktadır.

Çizelge 4.4. Deneyde kullanılan uçucu kül'ün özellikleri.

| KİMYASAL ANALİZ | | | KİMYASAL ANALİZ | | |
|---|-----|-------|-------------------------|----------------------|---------|
| Silisyum oksit (SiO ₂) | (%) | 53,71 | Yoğunluk | (g/cm ³) | 2,02 |
| Kalsiyum oksit (CaO) | (%) | 4,28 | Özgül yüzey (Blaine) | (cm ² /g) | 2220,00 |
| Aliminyum oksit (Al ₂ O ₃) | (%) | 22,4 | Kızdırma Kaybı | (%) | 2,44 |
| Demir oksit (Fe ₂ O ₃) | (%) | 10,6 | 28 günlük aktivite min. | | 76,40 |
| Magnezyum oksit (MgO) | (%) | 4,92 | 90 günlük aktivite min. | | 89,80 |
| Kükürt trioksit (SO ₃) | (%) | 1,05 | | | |
| Potasyum oksit (K ₂ O) | (%) | 2,58 | | | |

4.1.5 Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu:

Bu çalışmada kullanılan öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu Ereğli Demir Çelik Fabrikası'ndan sağlanmıştır. Yüksek fırın cürufu'na ait özellikler Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Deneyde kullanılan öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu'nun özellikleri.

| KİMYASAL ANALİZ | | | KİMYASAL ANALİZ | | |
|---|-----|-------|----------------------|----------------------|---------|
| Silisyum oksit (SiO ₂) | (%) | 34,09 | Yoğunluk | (g/cm ³) | 2,84 |
| Kalsiyum oksit (CaO) | (%) | 30,82 | Özgül yüzey (Blaine) | (cm ² /g) | 2230,00 |
| Aliminyum oksit (Al ₂ O ₃) | (%) | 12,19 | Kızdırma Kaybı | (%) | 0,10 |
| Demir oksit (Fe ₂ O ₃) | (%) | 0,61 | | | |
| Magnezyum oksit (MgO) | (%) | 6,14 | | | |
| Kükürt trioksit (SO ₃) | (%) | 1,57 | | | |
| Potasyum oksit (K ₂ O) | (%) | 0,45 | | | |

4.1.6 Sepiyolit

Bu çalışmada kullanılan sepiyolit Eskişehir ilinde bulunan Sakarya Madencilik tesislerinden sedimanter sepiyolit'i şeklinde temin edilmiştir. Kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri Çizelge 4.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Deneyde kullanılan sepiyolit'in özellikleri.

| KİMYASAL ANALİZ | | | KİMYASAL ANALİZ | | |
|---|-----|-------|----------------------|----------------------|---------|
| Silisyum oksit (SiO ₂) | (%) | 59,65 | Yoğunluk | (g/cm ³) | 2,21 |
| Kalsiyum oksit (CaO) | (%) | 1,28 | Özgül yüzey (Blaine) | (cm ² /g) | 2570,00 |
| Aliminyum oksit (Al ₂ O ₃) | (%) | 1,56 | Kızdırma Kaybı | (%) | 16,12 |
| Demir oksit (Fe ₂ O ₃) | (%) | 0,74 | | | |
| Magnezyum oksit (MgO) | (%) | 21,44 | | | |
| Kükürt trioksit (SO ₃) | (%) | 0,05 | | | |
| Potasyum oksit (K ₂ O) | (%) | 0,45 | | | |

4.1.7 Titanyum dioksit

Çalışmada kullanılan TiO₂, Eskişehirde bulunan Detsan kimya firmasından alınmıştır. Kullanılan TiO₂'in tanecik yüzey alanı 85 ± 10 m² g⁻¹, bir kristal boyutu 15-25nm ve anataz yoğunluğu ≥ % 99'dur.

CEM I 42,5 R ve CEM I 52,5 R çimentolarının, yüksek fırın cürufu'nun, uçucu kül'ün, sepiyolit'in ve TiO_2 'in görünümü Şekil 4.3'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Deneylerde kullanılan bazı malzemeler.

4.2 Beton Numunelerinin Üretimi

4.2.1 Üretim aşamaları

Deneyde çimento yerine ikame edecek olan % 0, % 10, % 20, % 30 oranlarındaki uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve sepiyolit ile % 0, % 1, % 3, % 5 oranlarında TiO_2 kullanılarak $15 \times 15 \times 15$ cm boyutlarında küp numuneler hazırlanmıştır. Her karışım için 4 adet numune hazırlanmıştır. Numune örnekleri 1T10U, 5T20S, 0T10Y gibi kısaltmalar ile isimlendirilmiştir. Örneğin 3T10S isimlendirmesi, karışımdaki çimento miktarının % 3'ü kadar TiO_2 ve karışımdaki çimento miktarının % 10'u kadar çimento yerine ikame olacak sepiyolit içeren karışımı ifade etmektedir. T kısaltması TiO_2 'i, U kısaltması uçucu kül'ü, Y kısaltması yüksek fırın cürufu'nu, S kısaltması ise sepiyolit'i ifade etmektedir.

Çalışmanın deneysel kısmında, ön deneyler yapılarak malzeme özellikleri tespit edilmiş, beton karışım hesapları yapılarak, $1m^3$ beton karışımına giren malzemelerin miktarları belirlenmiştir. Hesaplanan miktarlar Çizelge 4.7'de gösterilmiştir. Numunelerin üretilmesinde $15 \times 15 \times 15$ cm boyutlarında plastik standart kalıplar kullanılmıştır. Kullanılan kalıplar Şekil 4.4'deki gibidir.



Şekil 4.4. Deneylerde kullanılan kalıplar.

Çizelge 4.7. 1m³'lük beton karışımlarındaki malzeme miktarlarının kg cinsinden miktarları.

| Numuneler | Çimento | Su | ince agrega | orta agrega | iri agrega | TiO ₂ | UK | YFC | SPYT |
|-----------|---------|-----|-------------|-------------|------------|------------------|-----|-----|------|
| 0T0U | 400 | 220 | 856 | 521 | 348 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1T0U | 400 | 220 | 855 | 521 | 347 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| 3T0U | 400 | 220 | 852 | 519 | 346 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| 5T0U | 400 | 220 | 850 | 518 | 345 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 0T10U | 360 | 220 | 851 | 518 | 346 | 0 | 40 | 0 | 0 |
| 1T10U | 360 | 220 | 850 | 518 | 345 | 4 | 40 | 0 | 0 |
| 3T10U | 360 | 220 | 847 | 516 | 344 | 12 | 40 | 0 | 0 |
| 5T10U | 360 | 220 | 845 | 515 | 343 | 20 | 40 | 0 | 0 |
| 0T20U | 320 | 220 | 846 | 515 | 344 | 0 | 80 | 0 | 0 |
| 1T20U | 320 | 220 | 845 | 515 | 343 | 4 | 80 | 0 | 0 |
| 3T20U | 320 | 220 | 842 | 513 | 342 | 12 | 80 | 0 | 0 |
| 5T20U | 320 | 220 | 840 | 512 | 341 | 20 | 80 | 0 | 0 |
| 0T30U | 280 | 220 | 841 | 512 | 342 | 0 | 120 | 0 | 0 |
| 1T30U | 280 | 220 | 840 | 512 | 341 | 4 | 120 | 0 | 0 |
| 3T30U | 280 | 220 | 837 | 510 | 340 | 12 | 120 | 0 | 0 |
| 5T30U | 280 | 220 | 835 | 509 | 339 | 20 | 120 | 0 | 0 |
| 0T10Y | 360 | 220 | 855 | 521 | 347 | 0 | 0 | 40 | 0 |
| 1T10Y | 360 | 220 | 853 | 520 | 347 | 4 | 0 | 40 | 0 |
| 3T10Y | 360 | 220 | 851 | 518 | 346 | 12 | 0 | 40 | 0 |
| 5T10Y | 360 | 220 | 848 | 517 | 345 | 20 | 0 | 40 | 0 |
| 0T20Y | 320 | 220 | 853 | 520 | 347 | 0 | 0 | 80 | 0 |
| 1T20Y | 320 | 220 | 852 | 519 | 346 | 4 | 0 | 80 | 0 |
| 3T20Y | 320 | 220 | 850 | 518 | 345 | 12 | 0 | 80 | 0 |
| 5T20Y | 320 | 220 | 847 | 516 | 344 | 20 | 0 | 80 | 0 |
| 0T30Y | 280 | 220 | 852 | 519 | 346 | 0 | 0 | 120 | 0 |
| 1T30Y | 280 | 220 | 851 | 518 | 346 | 4 | 0 | 120 | 0 |
| 3T30Y | 280 | 220 | 848 | 517 | 345 | 12 | 0 | 120 | 0 |
| 5T30Y | 280 | 220 | 846 | 515 | 343 | 20 | 0 | 120 | 0 |
| 0T10S | 360 | 220 | 848 | 516 | 344 | 0 | 0 | 0 | 40 |
| 1T10S | 360 | 220 | 846 | 516 | 344 | 4 | 0 | 0 | 40 |
| 3T10S | 360 | 220 | 844 | 514 | 343 | 12 | 0 | 0 | 40 |
| 5T10S | 360 | 220 | 841 | 513 | 342 | 20 | 0 | 0 | 40 |
| 0T20S | 320 | 220 | 839 | 511 | 341 | 0 | 0 | 0 | 80 |
| 1T20S | 320 | 220 | 838 | 511 | 340 | 4 | 0 | 0 | 80 |
| 3T20S | 320 | 220 | 836 | 509 | 339 | 12 | 0 | 0 | 80 |
| 5T20S | 320 | 220 | 833 | 507 | 338 | 20 | 0 | 0 | 80 |
| 0T30S | 280 | 220 | 831 | 506 | 337 | 0 | 0 | 0 | 120 |
| 1T30S | 280 | 220 | 830 | 505 | 337 | 4 | 0 | 0 | 120 |
| 3T30S | 280 | 220 | 827 | 504 | 336 | 12 | 0 | 0 | 120 |
| 5T30S | 280 | 220 | 825 | 502 | 335 | 20 | 0 | 0 | 120 |

Beton numunelerini oluştururken beton karışımlarında kullanılacak malzeme miktarları tespit edilmiştir. Beton yapımına başlanmadan önce kullanılacak bütün kapların darası alınmıştır. Betonyerin beton yapımına başlamadan önce tamamen temiz olmasına özen gösterilmiştir. Her oluşturulan karışımdan sonra bir sonraki karışım için tekrar tekrar temizlenmiştir. Oluşturulacak karışımlarda hesaplanan miktar kadar çimento katılmıştır. Daha sonra ince, orta ve iri agregalar betonyer sürekli karıştırır halde iken hesaplanan miktarlarında katılmıştır. Farklı bir kaptaki karışımdaki su miktarı tartılarak bir kenara konulmuştur. Karışımda öngörülen miktarlarda katkı malzemeleri ve TiO_2 , farklı kaplarda tartılarak sırası ile karışıma katılmıştır. Son olarak tartılan su karışıma parça parça ilave edilmiştir. Karma işlemi esnasında betonun homojen karışmasına ve topaklanma olmamasına özen gösterilmiştir. Karma işlemi tamamlandıktan sonra karışım numune kaplarına doldurulmadan önce her bir karışım için slump deneyleri yapılmıştır. Numune kaplarına doldurulan karışımın homojen dağılımı için vibrasyon uygulanmıştır. Vibrasyon süresi her numunede segregasyon yaratmayacak şekilde optimum sürede tutulmuştur. Oluşturulan beton numune örnekleri Şekil 4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Hazırlanan bazı beton numuneler.

4.2.2 Beton Numunelerine Kür Uygulaması

Oluşturulan beton numuneleri kalıplarında bir tam gün bekleddikten sonra kompresör yardımı ile kalıplarından sökülüp kür havuzuna bırakılmıştır. Betonlar 28 günlük basınç deneyleri yapıncaya kadar kür havuzunda kalmıştır. 28 gün sonunda havuzdan çıkarılan betonlar kurutulup birim ağırlık, ultrases ve basınç deneyleri yapılmıştır. Şekil 4.6’da kür havuzuna bırakılan beton numuneleri gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Kür havuzuna bırakılan beton numuneler.

4.3 Deneyler

4.3.1 Taze beton deneyleri

Taze beton deneyleri kısmında, betonun slump (çökme) deneyi gerçekleştirilmiştir.

4.3.1.1 Slump (çökme) deneyi

Slump deneyinde amaç taze betonun kıvam değerlendirmesi yapmaktır. Deneyde hazırlanan taze betonlar, mala yardımı ile üçte birlik bölümler halinde slump hunisine yerleştirilir. Yerleştirilen her üçte birlik kısımda şişleme çubuğu ile 25'er kez şişleme uygulanır. Bu işlemden sonra huni sabit çekilme hızı ile çekilir ve huniden çıkan beton kıvamına bağlı olarak belirli bir miktar çökme gösterir. Çöken beton yığınının yanına boş huni konulur. Huninin üzerine konulan yatay bir çubuk ile çöken beton arasındaki mesafe bir cetvel yardımı ile okunur. Okunan değer, betonun çökme(slump) değeri olarak ifade edilir. Türk standartına göre betonların çökme değerleri Çizelge 4.8'de gösterilmiştir (Erdoğan, 2007).

Çizelge 4.8. Türk standartına göre betonların çökme sınıfları ve çökme değerleri (Erdoğan, 2007).

| Çökme Sınıfı | Çökme Değeri, cm |
|--------------|------------------|
| S1 | 1-4 |
| S2 | 5-9 |
| S3 | 10-15 |
| S4 | 16-21 |
| S5 | ≥ 22 |

4.3.2 Sertleşmiş beton deneyleri

Kür havuzunda 28 gün boyunca kür uygulanmış beton numuneleri 28. Günün sonunda kür havuzundan çıkartılmıştır. Havuzdan çıkan numunelere deneyler uygulanmadan önce kurutma işlemi uygulanmıştır. 28 günlük beton numunelerine sırasıyla birim ağırlık, ultra ses geçiş hızı ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır.

4.3.2.1 Birim ağırlık tayini deneyi

TS EN 12390-7 standartına göre bu deney sertleşmiş betonun birim ağırlığının tayini için yapılır. 28 gün kür havuzuna bırakılan deney numuneleri havuzdan çıkarıldıktan sonra kurutulmaya bırakılmıştır. Tamamen kuruması sağlanan beton numunelerinin boyutları $\pm\%$ 0,5 sapma sınırları içerisinde ölçmeye uygun olan bir kumpas yardımı ile ölçülmüştür. Bütün boyutları tespit edilen beton numunelerinin hacimleri hesaplanmıştır. Küp numunelerin hacmi, m^3 cinsinden hesaplanmış ve sonuçlar, on binde bir hanesine yuvarlatılarak gösterilmiştir. Numunelerin kütlelerinin tayini için hassas ölçüm yapan tartı kullanılmıştır. Okunan kütle değerleri kilogram olarak kaydedilmiştir.

Birim ağırlık, numunenin tayin edilen kütlesi ve hacmi kullanılarak, aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanır:

$$D = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Burada;

D, Numunenin hacim ve kütle tayinine bağlı olarak birim ağırlığı, kg/m^3

m, Numunenin deney esnasındaki durumuna bağlı kütlesi, kg

V, Numunenin tayin edilen hacmi, m^3 ' dür (Erdoğan, 2007).

4.3.2.2 Ultrases geçiş hızı deneyi

Bu deneyde ultrasonik test cihazının kullanılması ile numunelerin herhangi bir yüzüne ultrasonik puls uygulanarak, beton kütlesinin içerisinde basınç dalgaları yaratılmıştır. Beton kütlesinin içerisinde ilerleyen sesüstü dalgalar, beton bloğun karşı yüzeyinden geri alınmıştır. Ultrasonik test cihazı, sesüstü dalganın, beton kütlesine gönderildiği yüzey ile geri alındığı yüzey arasındaki bir mesafeyi ne kadar sürede geçtiğini ölçmektedir ve bu veri ile dalganın hızı hesaplanmıştır. Beton içerisinden geçen sesüstü dalganın hızı ile beton dayanımı arasında doğrudan ilişki kurulamaz ancak sesüstü dalganın hızı ile beton kalitesi arasında bir ilişki bulunmaktadır. Hesaplanan sesüstü dalga hızı ile beton kalitesi arasında yorum yapabilmek için Çizelge 4.9'dan yararlanılmıştır. Şekil 4.7'de yapılan ultrases deneyi gösterilmiştir. Deney sonucunda elde edilen verilen sonuçlar değerlendirme kısmında verilmiştir (Ergün ve Kürklü, 2005; Erdoğan, 2007).

Çizelge 4.9. Dalga hızı ile beton kalitesi arasındaki ilişki (Erdoğan, 2007).

| Dalga Hızı, m/saniye | Beton Kalitesi |
|-----------------------------|-----------------------|
| >4500 | mükemmel |
| 3500-4500 | iyi |
| 3000-3500 | şüpheli |
| 2000-3000 | zayıf |
| <2000 | ok zayıf |



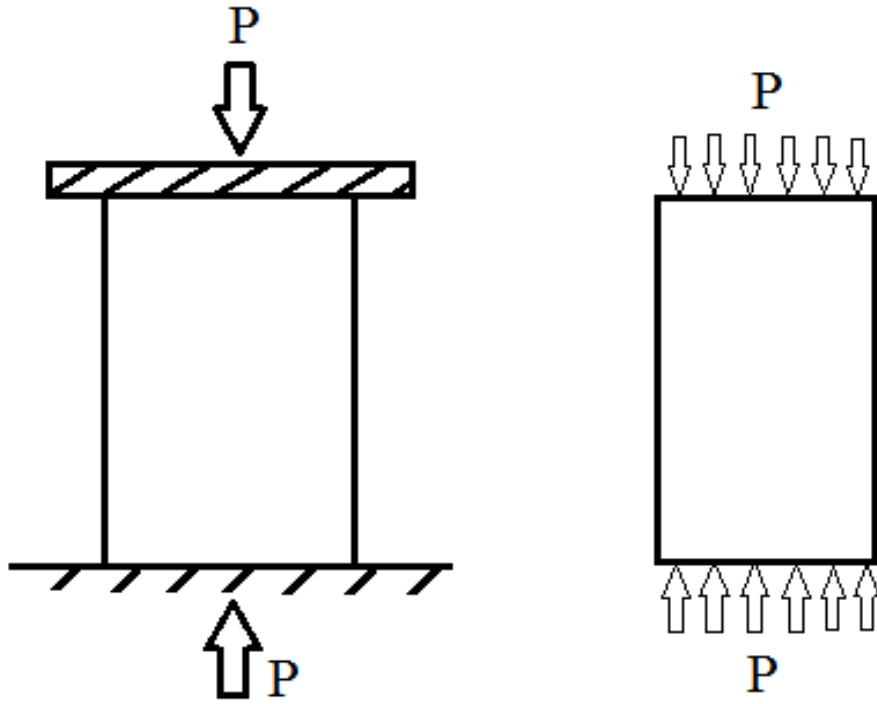
Şekil 4.7. Ultrases geçiş hızı deneyinin yapılması.

4.3.2.4 Beton basınç dayanımı deneyi

Betonun basınç dayanımının elde edilebilmesi için standart deney yöntemi ile ilgili TS EN 12390-3, ASTM C 31 ve ASTM C 39 standartları mevcuttur.

Standart deney yöntemi'nin uygulanmasında beton standartlarında bahsi geçen boyutlarda silindir ve küp numuneler kullanılmaktadır. Numuneler beton daha taze iken küp veya silindir şekilli kalıplara, beton standartlarının belirttiği tarzda yerleştirilir ve bir gün sonra kalıplarından çıkartılır. Kalıplardan çıkan sertleşmiş beton numuneleri deney gününe kadar standartların belirlediği koşullar altında ($23 \pm 1.7 \text{ C}^0$ sıcaklık ve %95 relatif nem altında) kür'e bırakıldıktan sonra deney presi adı verilen bir alet yardımı ile üniform basınç yükü altında kırılmaktadır (Erdoğan, 2007).

Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da beton numunesinin şematik gösterimi ve numunenin kırım işlemi gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Beton numuneye basınç yükü uygulanması (Erdoğan, 2007).

Basınç dayanımı şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2)$$

Burada,

σ , basınç dayanımı

P, beton numuneyi kıran maksimum yük

A, numunenin kesit alanıdır (Erdoğan, 2007).



Şekil 4.9. Pres makinesi ile beton numunesinin kırılması işlemi.

4.3.3 Kendi kendini temizleme deneyleri (fotokataliz deneyleri)

Bu deney çalışmasında beton numunelerinin fotokatalitik özelliklerini tespit etmek için bazı deneyler uygulanmıştır. Bu deneylerden ilki Rhodamine- B isimli kimyasal madde ile yapılan deney grubudur. İkinci deney grubu ise Phenantroquinone isimli kimyasal madde ile yapılmıştır. Bu deneyler hidrolik bağlayıcıların fotokatalitik faaliyetlerini kolorimetrik yöntem ile belirlemek adına yapılmıştır. Kendi kendini temizleme konusunda ilgili TSE standardı henüz yayınlanmamıştır. Deneysel çalışmalarda İtalyan UNI 11259 standardı esas alınmıştır (UNI 11259, 2008).

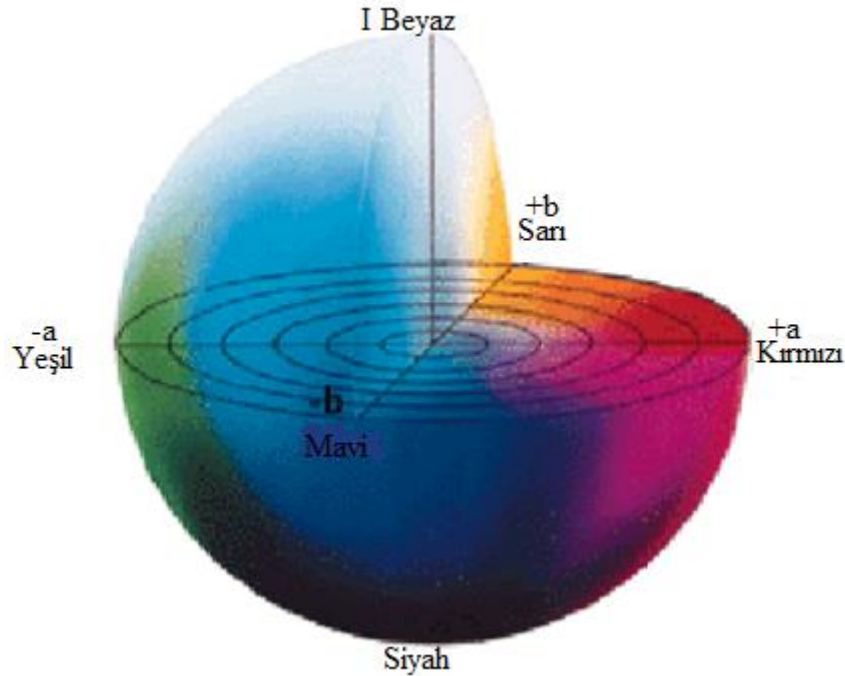
4.3.3.1 Rhodamine-B deneyi

Konu ile ilgili Türk standartları bulunmadığından Rhodamine-B ve Phenantroquinone deney çalışmalarında, literatürde yapılan diğer çalışmalarda da sıklıkla kullanılan İtalyan UNI 11259 adlı standart esas alınmıştır. Fotokataliz ile ilgili olarak dünyada 4 adet Japon, 1 adet İngiliz ve 4 adet İtalyan standardı bulunmaktadır. Ancak İngiliz BS ISO 22197-1 ve Japon JIS R 1701-1: 2004 standardı hava arındırma; diğer Japon standartlarından JIS R 1702: 2006 aktibakteriyel aktivite, JIS R 1704 su arıtımı, JIS R 1705 ise antifungal aktivite ile ilgilidir. İtalyan UNI 11259 standardı ise hidrolik bağlayıcıların Rhodamine-B test yöntemi ile fotokatalitik aktivite tespitini içerir.

Kendi kendini temizleme deneylerinde Rhodamine-B maddesi önemli bir yer tutmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalarda Rhodamine-B maddesinin ayrıştırılması model reaksiyon kabul edilmiştir. Rhodamine-B deneyi, kolorimetrik (renk ölçüm) yöntemi ile hidrolik bağlayıcıların fotokatalitik faaliyetlerini belirleyici yöntemleri tanımlamaktadır. Organik boyayıcı olarak numune yüzeyleri üzerinde kayda değer bir biçimde konsantrasyon bırakan Rhodamine-B seçilmiştir. UV ışınlarına ve düşük ışığa karşı gösterdiği duyarlılık, bazik ortamda gösterdiği yüksek istikrar, yüksek kolorimetrik hassasiyeti, harçlı imalatlar ile reaksiyona girmemesi ve geniş fotokatalitik çalışma imkânı sayesinde kendi kendini temizleme reaksiyonlarında sıklıkla tercih edilen bir maddedir (UNI 11259, 2008).

Kolorimetrik araştırma için CIE L^*a^*b sistemine göre çalışan, D65/10° aydınlık veren 8° küre geometrisinde kalorimetre kullanılmaktadır. Spektrofotometre veya kalorimetre CIELAB3 sistemine uygun olarak yansiyıcı rengi ölçmek için $d/8^\circ$ geometrisinde olmalıdır. Bu sistemde L^* parlaklığı gösterirken, a^* ve b^* çift boyutlu bir yüzeyin renginin boyutunu temsil eden kolorimetrik koordinatlarıdır (UNI 11259, 2008).

CIE, Fransızca ismi Commission Internationale de L'Eclairage olan Türkçesi Uluslararası Aydınlatma Komisyonu olan kuruluşun baş harflerinden oluşmaktadır. Bu kuruluş, ışık ve aydınlatma alanlarındaki ölçümler için temel standartlar ve yöntemler oluşturma gibi amaçları olan bir kuruluştur. Kuruluşun adını alan CIE renk sisteminde birçok farklı renk sistemi kullanılmaktadır. Bu deneyde, İtalyan yönetmeliğinde istenen L^*a^*b sistemi kullanılmıştır. L^*a^*b sisteminde L^* beyazlığı ve siyahlığı, a^* kırmızı ve yeşilliği, b^* sarı ve maviliği ölçmektedir (Şekil 4.10) (Üren, 1999). Bu yöntemde kırmızı renkteki Rhodamine-B kullanılmasından dolayı sadece a^* kolorimetrik koordinatı dikkate alınmalıdır.

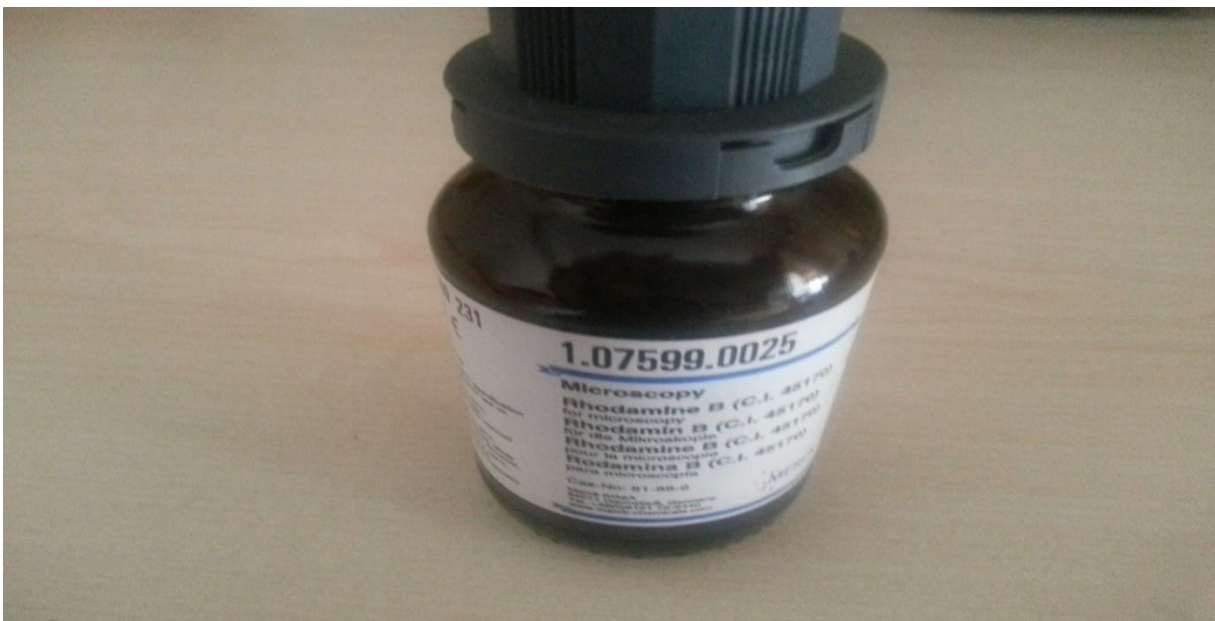


Şekil 4.10. CIELAB sistemindeki L , a , b renk düzlemi (Zhang vd., 2010).



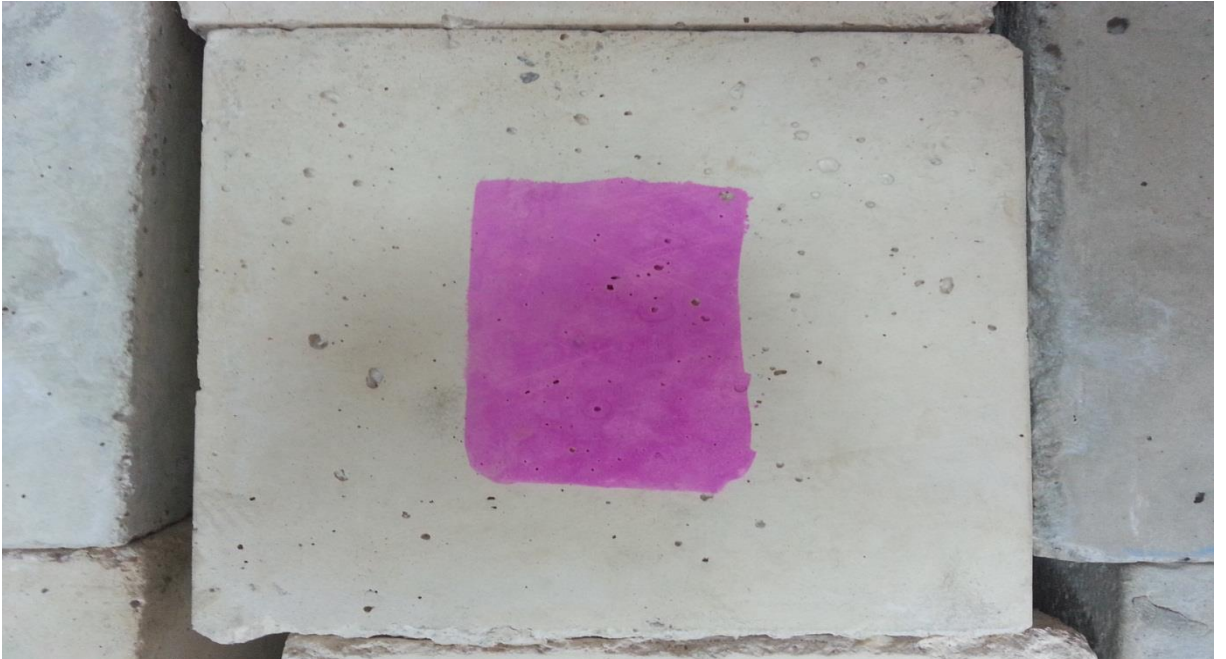
Şekil 4.11. Numune yüzeylerinin kür havuzundan çıktıktan sonra temizlenmesi.

Rhodamine-B deneyi yapılırken numunenin yüzeyine, 0,05 g/l yoğunluğundaki damıtılmış suda çözülebilen 0,5 ml Rhodamine-B solüsyonu uygulanır. Numune 24 saat süresince karanlık bir ortamda bırakılır. Kalorimetre aracılığı ile numune UV ışığına çıkarılmadan önce $a^*(0)$ parametresinin ilk ölçümü gerçekleştirilir. İkinci ölçüm ışığa çıkarılmasını takiben 4 saat sonra $a^*(4)$ okuması yapılır. Son ölçüm ışığa çıkarılmasını takiben 26 saat sonra $a^*(26)$ okuması gerçekleştirilir. Bütün ölçümler numunenin üç ayrı noktasından alınır ve aritmetik ortalaması hesaplanır (UNI 11259, 2008).



Şekil 4.12. Deneyde kullanılan Rhodamine-B kimyasalı.

Deney için öncelikli olarak okuma değerlerinin daha sağlıklı çıkması açısından beton numunelerinin yüzeyi en boşluksuz olan yüzeyleri seçilmiştir. Seçilen yüzeylerde Rhodamine-B kimyasalı, yaklaşık 3,5×7cm alanı sınırlayan bir çerçevede sürülmüştür. Çerçeveler içine uygulanmak amacı ile 0,05g/l yoğunluğunda damıtılmış suda çözülebilen Rhodamine-B maddesi ile bir çözelti hazırlanmıştır. Çözeltiler için saf su kullanılmıştır. Hazırlanan bu çözelti, beton yüzeylerine yaklaşık olarak 0,5-1 ml gelecek şekilde uygulanmıştır. Yüzeyleri boyanan beton numuneleri 24 saat boyunca hiçbir ışık almayan karanlık bir ortamda 20⁰ C sıcaklık ve % 50 rölatif nemli bir ortamda bırakılmışlardır. Geçen 24 saat sonunda a(0) kolorimetrik değerleri bir spektrofotometre vasıtası ile okunmuştur. Bu işlemlerin ardından 300 wattlık UV ışık veren lamba(osram) ile ışığa maruz bırakılmıştır. Bütün deney numuneleri UV kaynağına eşit mesafede ve yaklaşık 75 cm olacak şekilde yerleştirilmiştir. Daha sonra 26 saatlik süre zarfı boyunca UV ışık altında bekletilen beton numunelerinin a(26) kolorimetrik okumaları yapılmıştır. Bu işlemlerin ardından beton numuneleri 28 gün boyunca UV ışığa maruz kalmıştır. 28 gün sonunda a(son) değerleri okunmuştur. Rhodamine-B kimyasalının oluşturduğu rengin zamanla UV ışık kaynağı ile açıldığı kolorimetrik okumalarla desteklenmiştir. Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de Rhodamine-B uygulan numuneler gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Yüzeyine Rhodamine-B sürülmüş beton numunesi.



Şekil 4.14. Yüzeyine Rhodamine-B sürülmüş beton numunelerinin genel görünüşü.

Deneyde UV ışık kaynağı olarak, literatürde de sıklıkla kullanılan 300 watt gücündeki Osram Ultra Vitalux lambası kullanılmıştır (Lucas vd., 2013; Costa vd., 2013). Kullanılan lamba ve spektrofotometre Şekil 4.15 ve Şekil 4.16’da gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Deneylerde kullanılan 300 watt’lık UV ışık kaynağı.



Şekil 4.16. Deneylerde kullanılan Konica Minolta spektrofotometre.

Beton numunelerin fotokatalitik özellikleri aşağıda verilen formüller yardımı ile hesaplanmıştır:

$$R_{26} = \frac{a_{(0)} - a_{(26)}}{a_{(0)}} \times 100 \quad (3)$$

$$R_{\text{son}} = \frac{a_{(0)} - a_{(\text{son})}}{a_{(0)}} \times 100 \quad (4)$$

$R_{(26)}$: 26 saat UV lamba altında kaldıktan sonra renk kaybı yüzde değeri.

$R_{(\text{son})}$: 28 gün UV lamba altında kaldıktan sonra renk kaybı yüzde değeri.

$a_{(0)}$: UV lamba altına girmeden önce renk ölçüm değeri.

$a_{(26)}$: 26 saat UV lamba altında kaldıktan sonra renk ölçüm değerleri.

$a_{(\text{son})}$: 28 gün UV lamba altında kaldıktan sonra renk ölçüm değerleri (UNI 11259, 2008).

4.3.3.2 Phenantroquinone deneyi

Konu ile ilgili Türk standartları bulunmadığından Rhodamine-B ve Phenantroquinone deney çalışmalarında İtalyan UNI 11259 adlı standart esas alınmıştır. 28 gün boyunca kür havuzunda bekletilen beton numuneleri 1 gün kurutulmaya bırakıldıktan sonra kendi kendini temizleme deneylerine hazır hale gelmiştir. Daha sonra kür havuzundan çıkarılan numunelerin yüzeyi, kolorimetrik okumaları etkilememek için ince telli bir fırça ile temizlenmiştir.

Phenantroquinone literatürde ışığa duyarlı bir kimyasal olarak geçer. Literatürde yapılan çalışmalarda fotokatalitik çalışmalarda kullanılmıştır (Yüksel ve Karagüler, 2011). Bu deneysel çalışmada phenantroquinone, beton numuneleri üzerine sürülerek, UV ışığı altında ve açık havada doğal ortamda bulunmak üzere iki farklı durumda bekletilmiştir. UV ışığı altında bekletilen numunelerin kolorimetrik okumaları başlangıçta (0 saat), 116 saat ve 28 gün sonunda yapılırken açık havaya bırakılan numunelerin 0 saat ve 28 gün okumaları yapılmıştır. Şekil 4.17’de deneyde kullanılan Phenantroquinone kimyasalı gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Deneyde kullanılan Phenantroquinone kimyasalı.



Şekil 4.18. Beton yüzeyine Phenantroquinone sürülmesi işlemi.

Boyama işlemi tamamlanan numuneler UV kaynağına eşit mesafede olacak şekilde oluşturulan sistemde rastgele dizilmiştir. Dizilim Şekil 4.19’da gösterilmiştir.



Şekil 4.19. UV kaynağına maruz bırakılan numunelerin görünümü.



Şekil 4.20. Dış ortama (açık havaya) bırakılan Phenantroquinone boyalı numunelerin görünümü.

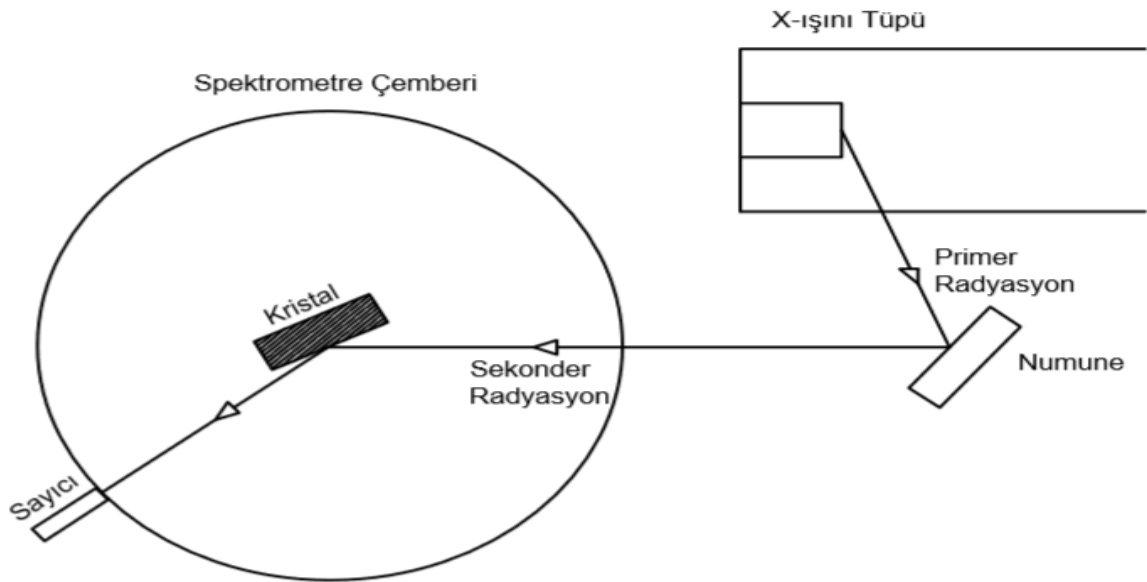
Kolorimetrik okuma zamanları gelen numunelerin okuması yapıp tekrar aynı sistem içine rastgele olarak yerleştirilmiştir. Kolorimetrik okuma işlemi Şekil 4.21’de gösterilmiştir.



Şekil 4.21 Spektrofotometre yardımı ile kolorimetrik okumaların yapılması.

4.3.4 XRF(X-Ray Floresans) deneyi

XRF deneyi, numunelerin x-ışınları ile bombardımana tutularak numune yüzeyinden yansıyan karakteristik x-ışınları yardımıyla numunenin kimyasal analizinin yapıldığı bir deneydir. Floresan analiz olarak da bilinen yöntem kimyasal analiz alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. XRF deneyi yapılırken numuneler, x-ışınları tütünün dışına konulup x-ışınları ile bombardımana tutulmuştur. Primer radyasyon denilen ilk ışımaya numunenin sekonder radyasyon yaymasına sebep olmuş ve bu sekonder radyasyon bir spektrometrede analiz edilmiştir. Bu yöntem, numunenin içindeki mevcut kimyasal elemanlar hakkında, kimyasal kombinezonları veya mevcut oldukları fazlar ne olursa olsun bilgi vermektedir. Şekil 4.22’de XRF deney mekanizmasının şematik gösterimi yapılmıştır (Cullity, 1966).



Şekil 4.22. XRF deney mekanizmasının şematik gösterimi (Cullity, 1966).

Bu tez çalışmasında, % 5 oranında TiO_2 ve % 30 oranında katkı maddesi içeren 5T30U, 5T30Y, 5T30S kodlu üç adet numune XRF deneyine tabi tutulmuştur. Seçim yapılırken numunelerin maksimum oranda TiO_2 ve maksimum oranda katkı içermesi göz önünde bulundurulmuştur. Deney sonucunda elde edilen kimyasal analizler, deney sonuçlarının değerlendirilmesi kısmında incelenmiştir.

Deney numuneleri oluşturulurken beton numunelerinin yüzeyinden 1 cm derinlikte olacak şekilde beton parçaları kesilmiştir. Kesilen parçanın üzerinde boya olan kısmı çıkarılmıştır. Kalan kısım mekanik öğütme makinası ile öğütülmüştür. Ardından elek ile elenerek istenilen inceliğe getirilmiştir. Şekil 4.23’de kesilen bir numune ve elekten elenmiş toz numune örneği gösterilmiştir.



Şekil 4.23. Kesilen beton numunesi ve elenmiş toz haldeki numune.

Toz haline getirilen numunelerin daha sonra Rigaku ZSX Primus marka XRF ölçüm cihazına yerleştirilerek kimyasal analizi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.24’de deneyde kullanılan XRF cihazı gösterilmiştir.



Şekil 4.24. Deneyde kullanılan XRF cihazı.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu kısımda taze ve sertleşmiş beton deneyleri, kendi kendini temizleme deneyleri ve XRF deneylerinin sonuçları verilip değerlendirilmesi yapılmıştır.

5.1 Taze ve Sertleşmiş Beton Deneylerinin Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu başlıkta taze ve sertleşmiş beton deneylerinden çökme deneyi, birim ağırlık deneyi, ultra ses geçiş hızı deneyi, dinamik elastisite modülü ve basınç dayanımı deneyinin sonuçları ve değerlendirmesi yapılmıştır.

5.1.1 Çökme deneyi sonuçları ve değerlendirilmesi

Çizelge 5.1. Beton numunelerin mm cinsinden çökme değerleri.

| TiO ₂ | UÇUCU KÜL | | | | YÜKSEK FIRIN CÜRUFU | | | | SEPIYOLİT | | | |
|------------------|-----------|-----|-----|-----|---------------------|-----|-----|-----|-----------|-----|-----|-----|
| | %0 | %10 | %20 | %30 | %0 | %10 | %20 | %30 | %0 | %10 | %20 | %30 |
| %0 | 130 | 150 | 150 | 180 | 130 | 160 | 180 | 170 | 150 | 130 | 120 | 110 |
| %1 | 120 | 150 | 170 | 200 | 120 | 140 | 170 | 180 | 160 | 140 | 100 | 120 |
| %3 | 150 | 140 | 170 | 170 | 150 | 140 | 180 | 170 | 150 | 120 | 140 | 100 |
| %5 | 140 | 160 | 180 | 170 | 140 | 150 | 190 | 200 | 160 | 140 | 120 | 100 |

Çizelge 5.1’de gösterilen çökme değerleri neticesinde uçucu kül içeren numunelerin çökme değerleri 140mm-200mm arasında değiştiği görülmüştür. Katkı içermeyen kontrol betonlarının çökme değerleri ise 120mm-150mm arasındadır. Bu değerler neticesinde uçucu kül içeren numunelerin S3 ve S4 kıvam sınıfında oldukları görülmüştür. Lineer uçucu kül yüzde artışına bağlı olarak çökme değerlerinde % 25’ye varan artışlar görülmüştür. Uçucu kül’ün taze betonun işlenebilirliğini artırıcı etkisi burada görülmüştür ancak TiO₂ oranındaki artışa bağlı olarak numunelerin çökme değerlerinde lineer değişimler elde edilememiştir.

Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin çökme değerleri 140mm - 200mm arasında değiştiği görülmüştür. Yüzde olarak % 30 oranında yüksek fırın cürufu içeren numunelerin, % 10 ve % 20 oranlarında cüruf içeren numunelere göre daha yüksek çökme değerlerine sahip oldukları görülmüştür. Bu durumun sebebi ise yüksek fırın cürufunun taze betondaki işlenebilirliği artırmasıdır. Cürufun ince taneli yapısının betonun kıvamında etkili olduğu görülmüştür. Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin uçucu kül içeren numunelere kıyasla çok az miktarda daha fazla çökme değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Katkı maddesi olarak kullanılan yüksek fırın cürufunun beton özellikleri üzerinde yarattığı etkiler, uçucu küllerin yarattığı etkilere benzer olduğundan çökme değerleri de benzer değerlerde çıkmıştır.

Sepiyolit içeren numunelerin çökme değerlerinin 100mm - 140mm arasında değiştiği görülmüştür. Sepiyolit içermeyen (% 0) kontrol betonlarının çökme değerleri ise 150mm-160mm arasında değişmiştir. Bu değerler neticesinde sepiyolit içeren numunelerin S3 sınıfında oldukları görülmüştür. Numunelerdeki TiO_2 oranına bağlı olarak düzgün doğrusal bir değişimin gerçekleştiği söylenememektedir. Yüzde olarak % 30 oranında sepiyolit içeren numunelerin, % 0, % 10 ve % 20 oranlarında sepiyolit içeren numunelere göre daha az çökme değerlerine sahip oldukları görülmüştür. Bu durumun sebebi ise sepiyolit malzemesinin çok yüksek oranda su emme kapasitesi olmasıdır. Bu durum çökme değerlerine de direkt olarak etki etmiştir. Sepiyolit içeren numunelerin, yüksek fırın cürufu ve uçucu kül içeren numunelere göre çok daha düşük seviyede çökme değerlerine sahip oldukları görülmüştür. Sepiyolit'in yüksek su emme kapasitesi, yüksek fırın cürufunun ve uçucu külün ise işlenebilirliği artırıcı etkisi bu duruma sebep olmuştur.

5.1.2 Birim ağırlık deneyi sonuçları ve değerlendirilmesi

Çizelge 5.2. Beton numunelerin kg/m^3 cinsinden birim ağırlık değerleri.

| TiO_2 | UÇUCU KÜL | | | | YÜKSEK FIRIN CÜRUFU | | | | SEPIYOLİT | | | |
|---------|-----------|------|------|------|---------------------|------|------|------|-----------|------|------|------|
| | %0 | %10 | %20 | %30 | %0 | %10 | %20 | %30 | %0 | %10 | %20 | %30 |
| %0 | 2358 | 2336 | 2294 | 2262 | 2358 | 2331 | 2310 | 2278 | 2302 | 2275 | 2247 | 2255 |
| %1 | 2342 | 2333 | 2297 | 2274 | 2342 | 2335 | 2311 | 2293 | 2315 | 2262 | 2251 | 2231 |
| %3 | 2361 | 2321 | 2274 | 2269 | 2361 | 2322 | 2290 | 2295 | 2284 | 2305 | 2265 | 2248 |
| %5 | 2356 | 2306 | 2288 | 2281 | 2356 | 2330 | 2309 | 2304 | 2318 | 2286 | 2270 | 2261 |

Uçucu kül içeren numunelerin birim ağırlık değerlerinin 2262 - 2336 kg/m³ arasında, uçucu kül içermeyen kontrol betonlarının 2342 - 2361 kg/m³ arasında değiştiği görülmüştür (Çizelge 5.2). Katkı olarak kullanılan uçucu külün kullanım yüzdesi arttıkça numunelerin birim ağırlığında % 4'e varan bariz düşüşler gözlenmiştir. Kullanılan katkı malzemelerinin çimento yerine ikame olması ve çimentonun uçucu külden daha fazla özgül ağırlık değerine sahip olması bu durumun ortaya çıkmasında etkili olmuştur.

Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin birim ağırlık değerlerinin 2278 - 2335 kg/m³ arasında değiştiği görülmüştür. Katkı olarak kullanılan yüksek fırın cürufunun kullanım yüzdesi arttıkça numunelerin birim ağırlığında % 3,4'e varan düşüşler gözlenmiştir. Yüksek fırın cürufu içermeyen numunelerin içeren numunelere göre daha fazla birim ağırlık değerlerine sahip oldukları görülmüştür.

Sepiyolit içeren numunelerin birim ağırlık değerlerinin 2231 - 2305 kg/m³ arasında değiştiği görülmüştür. Sepiyolit içeren numunelerin birim ağırlık değerlerinde TiO₂ oranına bağlı olarak azda olsa bir artıştan söz edilebilir. % 30 oranında sepiyolit içeren numunelerde TiO₂ artışına bağlı olarak % 0,3, % 20 oranında oranında sepiyolit içeren numunelerde % 1, % 10 oranında sepiyolit içeren numunelerde % 0,5, sepiyolit içermeyen (% 0) numunelerde % 0,7 oranında bir artış gerçekleşmiştir. TiO₂'in sepiyolit ve beyaz çimentodan daha fazla birim ağırlığa sahip olması bu durumun ortaya çıkmasına sebep olmuştur.

5.1.3 Ultrases geçiş deneyi sonuçları ve değerlendirilmesi

Çizelge 5.3. Beton numunelerin kg/sn cinsinden ultrases geçiş hızı değerleri.

| TiO ₂ | UÇUCU KÜL | | | | YÜKSEK FIRIN CÜRUFU | | | | SEPIYOLİT | | | |
|------------------|-----------|------|------|------|---------------------|------|------|------|-----------|------|------|------|
| | %0 | %10 | %20 | %30 | %0 | %10 | %20 | %30 | %0 | %10 | %20 | %30 |
| %0 | 4,24 | 4,05 | 3,68 | 3,95 | 4,24 | 4,08 | 3,88 | 3,76 | 4,27 | 3,85 | 3,86 | 3,57 |
| %1 | 4,02 | 3,86 | 3,74 | 3,67 | 4,02 | 3,95 | 3,97 | 3,73 | 4,25 | 4,12 | 3,62 | 3,54 |
| %3 | 3,90 | 3,78 | 3,64 | 3,52 | 3,90 | 4,13 | 3,95 | 3,82 | 4,25 | 4,02 | 3,71 | 3,81 |
| %5 | 4,14 | 3,72 | 3,61 | 3,66 | 4,14 | 4,03 | 3,86 | 3,68 | 4,37 | 3,94 | 3,70 | 3,79 |

Uçucu kül içeren numunelerin ultrases geçiş hızı değerlerinin 3,52 - 4,05 km/sn arasında değiştiği görülmüştür. Kontrol betonlarının geçiş hızı değerleri ise 3,90 - 4,24 km/sn arasında değişmiştir. Uçucu kül kullanımının yüzdesel olarak artması ile birlikte betonun birim ağırlığında meydana gelen düşüşler, ultrases geçiş hızının da düşmesine sebep olmuştur. Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin ise ultrases geçiş hızı değerlerinin 3,68 - 4,13 km/sn arasında değiştiği görülmüştür. En düşük değerlerdeki ultrases geçiş hızına % 30 oranında cüruf içeren numuneler sahip olurken, en yüksek geçiş hızı değerlerine katkı içermeyen (% 0) kontrol betonları sahip olmuştur. Sepiyolit içeren numunelerin ultrases geçiş hızı değerlerinin 3,54 - 4,12 km/sn arasında değiştiği görülmüştür. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu numunelerde olduğu gibi en düşük değerlerdeki ultra ses geçiş hızına % 30 oranında cüruf içeren numuneler sahip olurken, en yüksek geçiş hızı değerlerine katkı içermeyen (% 0) kontrol betonları sahip olmuştur (Çizelge 5.3).

Daha az beton yoğunluğuna sahip olan numunelerde daha fazla boşluk bulunmaktadır. Ses dalgaları boşluklu yapılarda daha yavaş hareket edeceğinden ötürü dalga hızı da o numunelerde daha düşük seviyelerde çıkacaktır. Yüksek fırın cürufu numunelerin uçucu kül içeren numunelere göre nispeten daha fazla birim ağırlık değerlerine sahip olması yani daha yoğun olması, ultrases geçiş hızının da daha fazla çıkmasına sebebiyet vermiştir.

5.1.5 Beton basınç deneyi sonuçları ve değerlendirilmesi

Çizelge 5.4. Beton numunelerin MPa cinsinden basınç dayanımı değerleri.

| TiO ₂ | UÇUCU KÜL | | | | YÜKSEK FIRIN CÜRUFU | | | | SEPIYOLİT | | | |
|------------------|-----------|-------|-------|-------|---------------------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|
| | %0 | %10 | %20 | %30 | %0 | %10 | %20 | %30 | %0 | %10 | %20 | %30 |
| %0 | 26,26 | 24,70 | 21,37 | 20,76 | 26,26 | 23,28 | 20,36 | 21,69 | 28,82 | 28,75 | 27,58 | 25,52 |
| %1 | 25,57 | 22,54 | 22,52 | 19,79 | 25,57 | 23,33 | 21,65 | 20,86 | 30,14 | 28,53 | 24,03 | 25,24 |
| %3 | 28,29 | 23,81 | 19,79 | 19,81 | 28,29 | 21,58 | 21,12 | 22,16 | 29,46 | 29,59 | 27,50 | 27,08 |
| %5 | 26,58 | 24,76 | 19,97 | 20,12 | 26,58 | 23,72 | 20,28 | 21,58 | 31,07 | 27,57 | 26,60 | 26,72 |

Uçucu kül içeren numunelerin beton basınç dayanımı değerlerinin 19,79 - 24,76 MPa arasında değiştiği görülmüştür. Kontrol betonlarının dayanımları ise 25,57 - 28,28 MPa arasında değişmiştir. Yüzde olarak % 30 ve % 20 oranında uçucu kül içeren numunelerin % 10 ve % 0 oranında uçucu kül içeren numunelere göre daha az basınç dayanımına sahip oldukları görülmüştür. Uçucu kül birim ağırlığının çimento birim ağırlığından daha düşük olması sebebiyle; uçucu kül yüzdesi arttıkça beton dayanımında bariz düşüşler yaşanmıştır. % 10, % 20, % 30 oranlarında uçucu kül içeren numunelerde, % 0 ve % 5 oranında TiO_2 içeren numunelerin beton basınç dayanımları arasında belirgin bir farklılık oluşmamıştır.

Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin beton basınç dayanımı değerlerinin 20,28 - 23,72 MPa arasında değiştiği görülmüştür. Kontrol betonlarının dayanımları ise 25,57 - 28,28 MPa arasında değişmiştir. Yüzde olarak % 30 ve % 20 oranında uçucu kül içeren numunelerin % 10 ve % 0 oranında yüksek fırın cürufu içeren numunelere göre daha az basınç dayanımına sahip oldukları görülmüştür. Genel olarak kullanılan cürufun yüzdesi arttıkça betonun basınç dayanımında düşüşler gözlenmiştir. Kontrol betonu ile % 30 oranında cüruf içeren numunelerin dayanımları arasında % 25'e varan düşüşler görülmüştür. Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin uçucu kül içeren numunelere göre nispeten daha fazla beton basınç dayanımına sahip oldukları görülmüştür (Çizelge 5.4).

Sepiyolit içeren numunelerin beton basınç dayanımı değerlerinin 24,03 - 29,59 MPa arasında değiştiği görülmüştür. Sepiyolit içermeyen kontrol betonlarının dayanımları ise 28,75 - 31,07 MPa arasında değişmiştir. Yüzde olarak % 30 ve % 20 oranında sepiyolit içeren numunelerin % 10 ve % 0 oranında sepiyolit içeren numunelere göre daha az basınç dayanımına sahip oldukları görülmüştür. Sepiyolit kullanım yüzdesinin artışına bağlı olarak numunelerde % 20'ye varan beton basınç dayanımı düşüşleri görülmüştür. TiO_2 oranına bağlı olarak ise ciddi basınç dayanımı değişimlerinden bahsedilememektedir. Sepiyolit, yüksek fırın cürufu ve uçucu kül içeren numunelerde en fazla dayanıma sahip olan numuneler sepiyolit içeren numuneler olmuştur. Yüksek su emme kapasitesine sahip olması sebebi ile diğer numunelere kıyasla daha düşük su/çimento oranına sahip olan sepiyolitli numunelerde, aynı zamanda CEM I 52,5 R beyaz çimento kullanılmıştır. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu içeren numunelerde ise CEM I 42,5 R gri çimento kullanılmıştır. Bu faktörler sepiyolitli numunelerin dayanımının fazla olmasına doğrudan etki etmiştir.

5.2 Kendi Kendini Temizleme Deneylerinin Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Bu başlıkta kendi kendini temizleme deneylerinden Rhodamine-B ve phenantroquinone deneyinin sonuçları ve değerlendirmesi yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda betonun üzerindeki boyaların ne kadarının temizlediği yüzdesel olarak Rhodamine-b deneyi ile hesaplanırken, üzerindeki boyanın zamanla parlaklık derecesinin nasıl değiştiği ise phenantroquinone deneyi ile bulunmuştur. Rhodamine-b deneyinde UNI 11259 standartında istenen şekilde kapalı ortamda 0 saat, 26 saat ve 28 gün okumaları yapılmıştır. Phenantroquinone maddesi ile kapalı ortamda 0 saat, 116 saat ve 28 gün okumaları; açık ortamda ise 0 saat ve 28 gün okumaları gerçekleştirilmiştir. Açık ortamdaki okumalar dış etkenlere bağlı olduğundan okuma zamanları isteğe bağlı olarak belirlenmiştir. Başlıklardaki gruplandırmalar da bu okumalara ve numunelerin içerdikleri endüstriyel katkılara göre yapılmıştır.

5.2.1 Rhodamine-B deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Kendi kendini temizleme deneylerinden ilki olan Rhodamine-B deneyi renk açılımının fotokatalitik ölçümü esasına dayanır. Deney sonuçları incelenip değerlendirilirken beton numuneler endüstriyel atık olarak uçucu kül içermesi, yüksek fırın cürufu içermesi ve sepiyolit içermesine göre gruplandırılmıştır. Başlıklar altında bütün saat okumalarının değerleri çizelgeler ile ve bu okumalar sonucunda hesaplanan renk kaybı yüzde değerleri (R) de resimlerde gösterilmiştir.

5.2.1.1 Uçucu kül içeren numunelerin deney sonuçlarının değerlendirilmesi

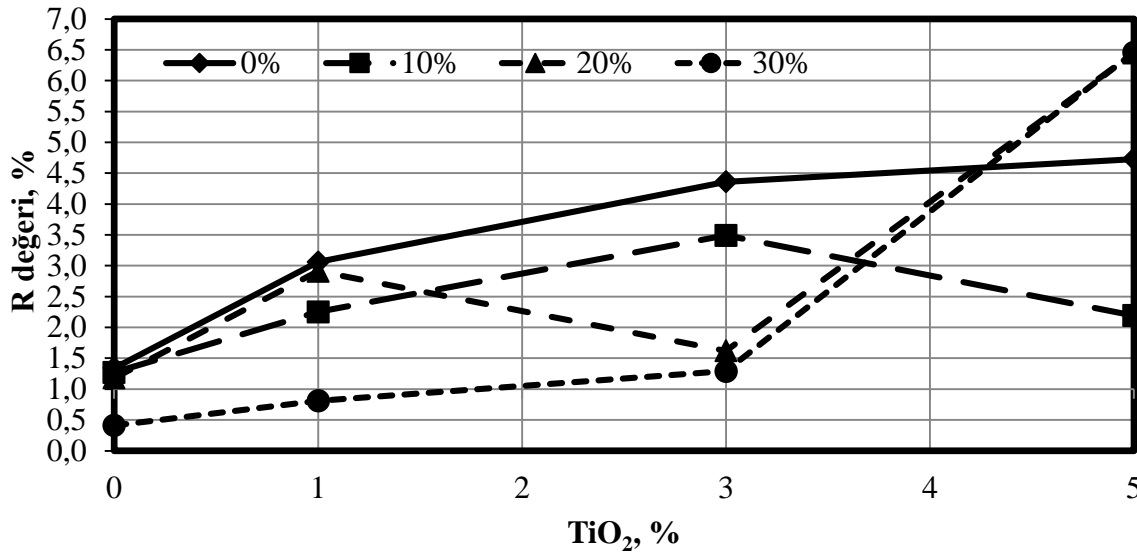
Uçucu kül içeren numuneler ile yapılan Rhodamine-b deneyinin sonucunda elde edilen veriler şekiller ve çizelgeler ile verilmiştir. Çizelge 5.5’de 0 saatlik (başlangıç) okumalar, Çizelge 5.6’de 26 saatlik okumalar, Şekil 5.1’de 26 saatlik R renk kaybı yüzde değerleri; Çizelge 5.7’de 28 günlük okumalar ve Şekil 5.2’de 28 günlük R renk kaybı yüzde değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.5. Uçucu kül içeren numunelerin 0 saatlik (başlangıç) Rhodamine-B okumaları.

| BAŞLANGIÇ(0 SAAT) OKUMA DEĞERLERİ(RHODAMİNE B) | | | |
|---|----------|----------|----------|
| NUMUNELER | L | a | b |
| 0T0U | 72,36 | 3,74 | 19,24 |
| 0T10U | 71,58 | 3,95 | 15,87 |
| 0T20U | 72,18 | 6,78 | 21,20 |
| 0T30U | 72,91 | 4,89 | 16,34 |
| 1T0U | 71,49 | 0,98 | 21,97 |
| 1T10U | 71,46 | 0,89 | 22,47 |
| 1T20U | 73,15 | 9,97 | 19,51 |
| 1T30U | 72,49 | 9,93 | 21,72 |
| 3T0U | 73,14 | 2,75 | 24,74 |
| 3T10U | 74,37 | 5,16 | 19,56 |
| 3T20U | 77,15 | 4,31 | 22,88 |
| 3T30U | 74,31 | 5,42 | 22,25 |
| 5T0U | 75,26 | 3,17 | 23,84 |
| 5T10U | 74,18 | 6,40 | 22,88 |
| 5T20U | 73,39 | 3,41 | 21,30 |
| 5T30U | 76,13 | 2,63 | 19,18 |

Çizelge 5.6. Uçucu kül içeren numunelerin 26 saatlik Rhodamine-B okumaları.

| 26 SAATLİK OKUMA DEĞERLERİ(RHODAMİNE B) | | | |
|--|----------|----------|----------|
| NUMUNELER | L | a | b |
| 0T0U | 72,91 | 3,69 | 19,03 |
| 0T10U | 71,63 | 3,90 | 15,34 |
| 0T20U | 72,26 | 6,70 | 19,27 |
| 0T30U | 72,98 | 4,87 | 16,13 |
| 1T0U | 71,93 | 0,95 | 18,91 |
| 1T10U | 72,52 | 0,87 | 19,24 |
| 1T20U | 74,19 | 9,68 | 18,84 |
| 1T30U | 74,34 | 9,85 | 20,37 |
| 3T0U | 74,95 | 2,63 | 22,91 |
| 3T10U | 75,68 | 4,98 | 20,37 |
| 3T20U | 77,73 | 4,24 | 17,29 |
| 3T30U | 77,43 | 5,35 | 17,37 |
| 5T0U | 76,81 | 3,02 | 18,89 |
| 5T10U | 77,31 | 6,26 | 17,68 |
| 5T20U | 77,39 | 3,19 | 18,24 |
| 5T30U | 78,74 | 2,46 | 17,86 |

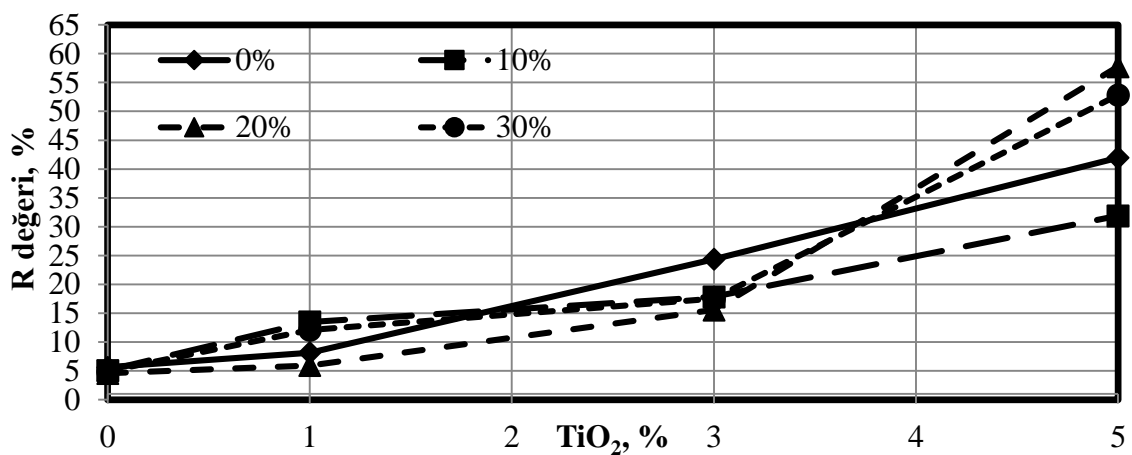


Şekil 5.1. Uçucu kül içeren numunelerin 26 saatlik renk kaybı yüzde değerleri.

Uçucu kül içeren numunelerde kapalı ortamda yapılan 26 saatlik Rhodamine-B okumaları sonucunda R renk kaybı yüzde değerleri, renk açılma yüzde formülleri ile hesaplanmıştır. Uçucu kül içermeyen (% 0) numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 1,34 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 4,73 olmuştur. % 10 oranında uçucu kül içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 1,27 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 2,19 olmuştur. % 20 oranında uçucu kül içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 1,18 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 6,45 olmuştur. % 30 oranında uçucu kül içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 0,41 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 6,46 olmuştur. En fazla yüzdesel artışı sırasıyla % 30, % 20, % 0 ve % 10 oranında uçucu kül içeren numuneler göstermiştir. Elde edilen veriler ile uçucu kül kullanımının 26 saatlik dilimde renk açılmasında herhangi bir engel teşkil etmediği görülmüştür. Hatta % 30 ve % 20'lik kullanımlarda % 5 oranında TiO₂ içeren numuneler en fazla renk kaybı yüzdesinin elde edildiği numuneler olmuştur. Bu sonuç uçucu kül atık maddesinin kendi kendini temizleyen betonlarda kullanılması açısından önemli bir sonuçtur.

Çizelge 5.7. Uçucu kül içeren numunelerin 28 günlük Rhodamine-B okumaları.

| 28 GÜNLÜK OKUMA DEĞERLERİ(RHODAMİNE B) | | | |
|--|-------|------|-------|
| NUMUNELER | L | a | b |
| 0T0U | 73,34 | 3,53 | 18,86 |
| 0T10U | 71,82 | 3,75 | 15,27 |
| 0T20U | 72,91 | 6,47 | 18,79 |
| 0T30U | 73,24 | 4,65 | 15,79 |
| 1T0U | 72,81 | 0,90 | 18,16 |
| 1T10U | 74,92 | 0,77 | 18,46 |
| 1T20U | 76,15 | 9,38 | 15,22 |
| 1T30U | 76,38 | 8,73 | 18,45 |
| 3T0U | 76,47 | 2,08 | 19,03 |
| 3T10U | 78,39 | 4,24 | 18,93 |
| 3T20U | 80,74 | 3,64 | 13,58 |
| 3T30U | 79,35 | 4,47 | 15,78 |
| 5T0U | 79,34 | 1,84 | 15,55 |
| 5T10U | 80,46 | 4,36 | 16,98 |
| 5T20U | 80,73 | 1,44 | 14,39 |
| 5T30U | 81,49 | 1,24 | 15,43 |



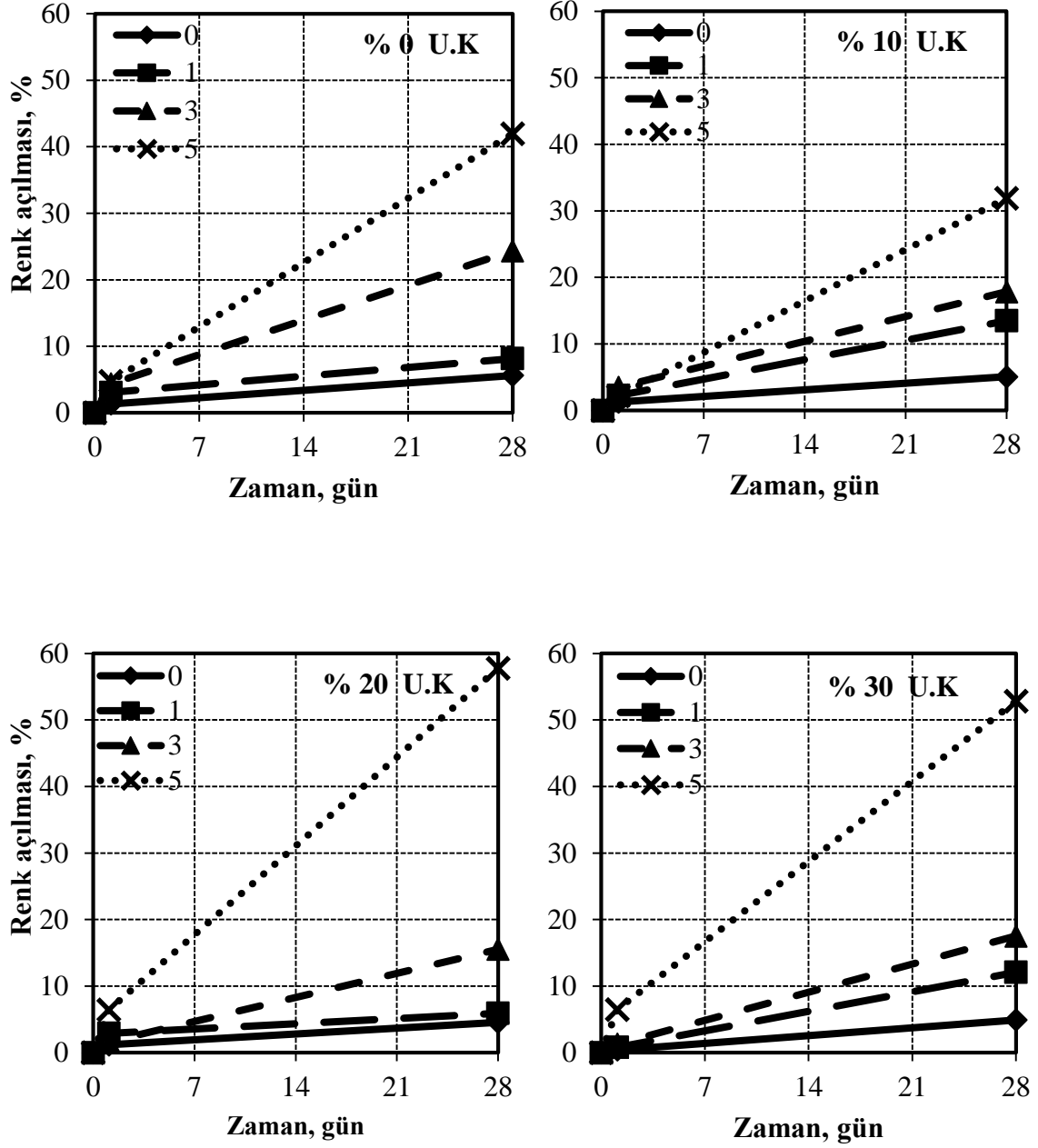
Şekil 5.2. Uçucu kül içeren numunelerin 28 günlük renk kaybı yüzde değerleri.

Deney sonuçlarına göre uçucu kül içermeyen (% 0) numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 5,61 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 41,96 olmuştur. % 10 oranında uçucu kül içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 5,06 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 31,88 olmuştur. % 20 oranında uçucu kül içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 4,57 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 57,77 olmuştur. % 30 oranında uçucu kül içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 4,91 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 52,85 olmuştur. En fazla yüzdesel artışı sırasıyla % 20, % 30, % 0 ve % 10 oranında uçucu kül içeren numuneler göstermiştir. Elde edilen veriler ile uçucu kül kullanımının 28 günlük dilimde renk açılmasında herhangi bir engel teşkil etmediği görülmüştür. Tıpkı 26 saatlik okumalarda olduğu gibi % 30 ve % 20'lik kullanımlarda % 5 oranında TiO₂ içeren numuneler en fazla renk kaybı yüzdesinin elde edildiği numuneler olmuştur. Uçucu kül içermeyen numunelerin (% 0), % 10 oranında uçucu kül içeren numunelerden hem 26 saatlik hem de 28 günlük okumalar sonucunda daha fazla renk kaybı değerlerine sahip olması, uçucu kül'ün kendi kendini temizleme reaksiyonlarına direkt olarak bir etkisi olmadığını göstermektedir.

28 günlük R renk kaybı yüzdeleri incelendiği zaman bütün numunelerin maksimum değerlerine, % 5 oranında TiO₂ içerdiğinde ulaştığı görülmüştür. Bu veriler doğrultusunda, 28 günlük kolorimetrik okumalar sonucunda genel olarak TiO₂ oranının artması ile numunelerin renk kaybı değerlerinin önemli ölçüde arttığı görülmüştür. 28 gün sonucunda görülen % 58'e varan renk açılmaları Rhodamine-B boyasının su ile temizleme gibi fiziksel herhangi bir etkiye ihtiyaç duyulmadan yarı yarıya oranında kendisini temizlediğini göstermiştir.

26 saatlik ve 28 günlük okumalar sonucunda en fazla renk kaybı değerlerine 28 günlük iken ulaşılmıştır. Bu veri neticesinde kendi kendini temizleme mekanizmasının uzun vadede daha etkili olduğu söylenebilir.

Uçucu kül içeren numunelerin zamanla ne kadar renk açılması gerçekleştirdiği Şekil 5.3'deki grafiklerde gösterilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda % 20 ve % 30 uçucu kül kullanımında maksimum renk açılım değerleri elde edilmiştir.



Şekil 5.3. Uçucu kül içeren numunelerin zamana bağlı renk açılma değerleri.

Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’de Rhodamine-B boyasının 28 gün sonudaki renk açılma görüntüleri gösterilmiştir.



Şekil 5.4. % 3 ve % 0 oranında TiO_2 içeren uçucu küllü numunelerin 28 gün sonu görüntüleri.



Şekil 5.5. % 1 ve % 5 oranında TiO_2 içeren uçucu küllü numunelerin 28 gün sonu görüntüleri.

5.2.1.2 Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin deney sonuçlarının değerlendirilmesi

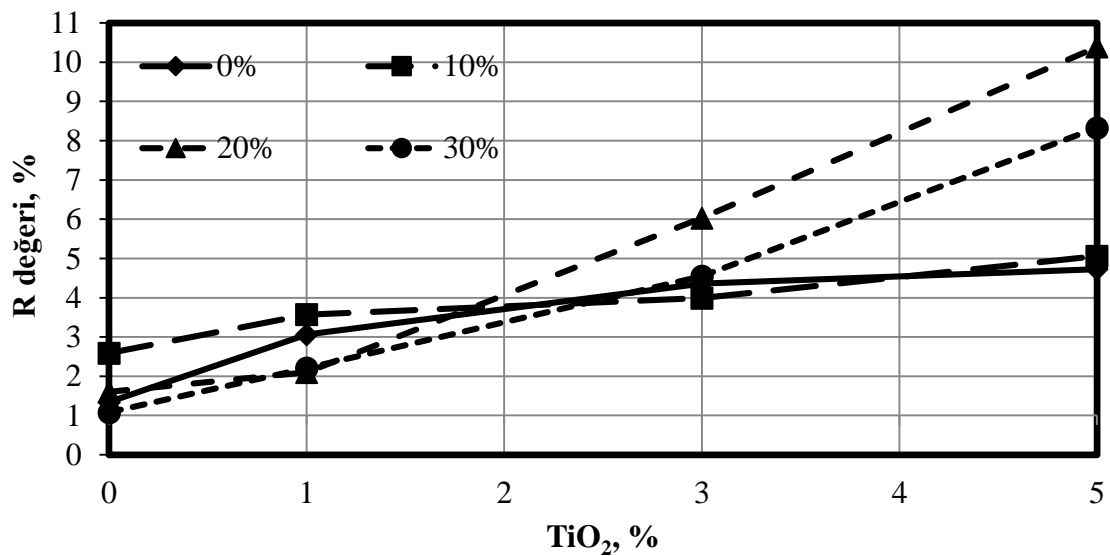
Yüksek fırın cürufu içeren numuneler ile yapılan Rhodamine-b deneyinin sonucunda elde edilen veriler çizelgeler ve şekiller ile gösterilmiştir. Çizelge 5.8’de 0 saatlik (başlangıç) okumalar, Çizelge 5.9’de 26 saatlik okumalar, Şekil 5.6’de 26 saatlik R renk kaybı yüzde değerleri; Çizelge 5.10’de 28 günlük okumalar, Şekil 5.7’de 28 günlük R renk kaybı yüzde değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.8. Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin 0 saatlik Rhodamine-B okumaları.

| BAŞLANGIÇ(0 SAAT) OKUMA DEĞERLERİ(RHODAMİNE B) | | | |
|---|----------|----------|----------|
| NUMUNELER | L | a | b |
| 0T0Y | 71,61 | 3,74 | 19,24 |
| 0T10Y | 72,81 | 6,96 | 18,17 |
| 0T20Y | 71,91 | 6,87 | 16,12 |
| 0T30Y | 71,43 | 4,61 | 13,59 |
| 1T0Y | 70,15 | 0,98 | 21,97 |
| 1T10Y | 72,35 | 1,12 | 19,06 |
| 1T20Y | 72,46 | 4,76 | 18,07 |
| 1T30Y | 72,61 | 5,43 | 19,17 |
| 3T0Y | 73,18 | 2,75 | 24,74 |
| 3T10Y | 71,49 | 4,01 | 23,16 |
| 3T20Y | 73,52 | 4,64 | 23,94 |
| 3T30Y | 73,84 | 0,22 | 20,44 |
| 5T0Y | 74,97 | 3,17 | 23,84 |
| 5T10Y | 72,81 | 3,95 | 21,46 |
| 5T20Y | 74,36 | 12,41 | 26,12 |
| 5T30Y | 73,93 | 0,24 | 25,51 |

Çizelge 5.9. Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin 26 saatlik Rhodamine-B okumaları.

| 26 SAATLİK OKUMA DEĞERLERİ(RHODAMİNE B) | | | |
|---|-------|-------|-------|
| NUMUNELER | L | a | b |
| 0T0Y | 71,89 | 3,69 | 19,2 |
| 0T10Y | 72,96 | 6,78 | 18,13 |
| 0T20Y | 72,34 | 6,76 | 16,03 |
| 0T30Y | 71,83 | 4,56 | 13,55 |
| 1T0Y | 71,12 | 0,95 | 21,85 |
| 1T10Y | 73,47 | 1,08 | 19,05 |
| 1T20Y | 72,86 | 4,66 | 18,01 |
| 1T30Y | 73,49 | 5,31 | 18,96 |
| 3T0Y | 74,25 | 2,63 | 24,54 |
| 3T10Y | 73,12 | 3,85 | 22,99 |
| 3T20Y | 75,81 | 4,36 | 23,62 |
| 3T30Y | 74,39 | 0,21 | 20,13 |
| 5T0Y | 76,91 | 3,02 | 23,69 |
| 5T10Y | 75,37 | 3,75 | 21,36 |
| 5T20Y | 76,46 | 11,12 | 26,07 |
| 5T30Y | 75,38 | 0,22 | 25,46 |



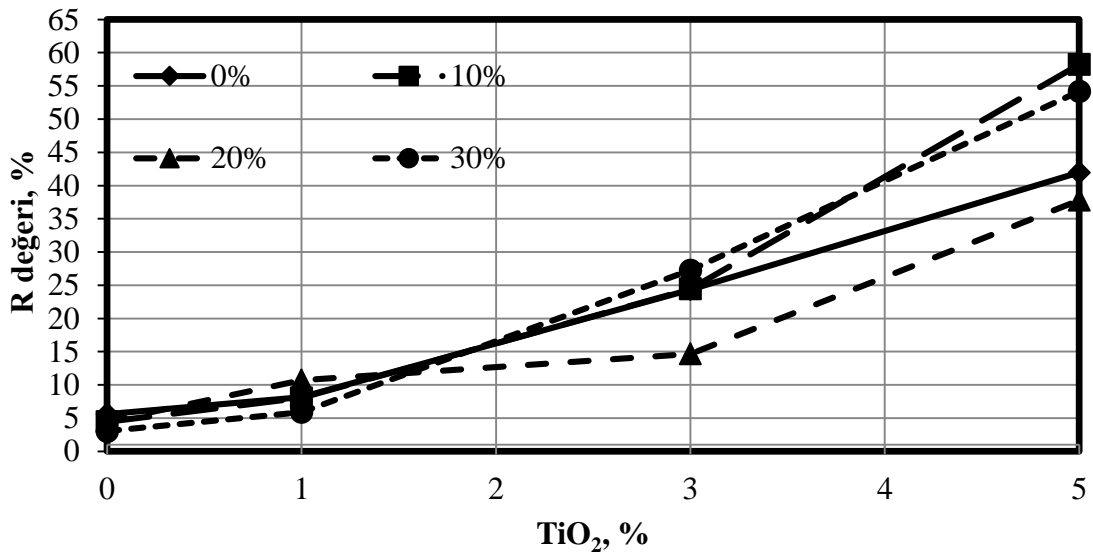
Şekil 5.6. Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin 26 saatlik renk kaybı yüzde değerleri.

26 saatlik Rhodamine-B okumalarında yüksek fırın cürufu içermeyen (% 0) numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 1,34 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 4,73 olmuştur. % 10 oranında yüksek fırın cürufu içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 2,59 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 5,06 olmuştur. % 20 oranında yüksek fırın cürufu içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 1,60 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 10,39 olmuştur. % 30 oranında yüksek fırın cürufu içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 1,08 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 8,33 olmuştur. En fazla yüzdesel artışı tıpkı uçucu kül içeren numunelerde olduğu gibi sırasıyla % 30, % 20, % 0 ve % 10 oranında yüksek fırın cürufu içeren numuneler göstermiştir. Elde edilen veriler ile yüksek fırın cürufu kullanımının 26 saatlik dilimde renk açılmasında herhangi bir engel teşkil etmediği görülmüştür. Hatta uçucu kül içeren numunelerde olduğu gibi, % 30 ve % 20'lik kullanımlarda % 5 oranında TiO₂ içeren numuneler en fazla renk kaybı yüzdesinin elde edildiği numuneler olmuştur.

Deney sonuçları incelendiğinde % 30, % 20, % 10 ve % 0 oranında yüksek fırın cürufu içeren numuneler arasında, 26 saatlik okumalar sonucunda maksimum renk kaybı değerlerini elde eden numuneler % 5 oranında TiO₂ içeren numuneler olmuştur. Bu veriler doğrultusunda, 26 saatlik kolorimetrik okumalar sonucunda genel olarak TiO₂ oranının artması ile numunelerin renk kaybı değerlerinin arttığı görülmüştür. Yüksek fırın cürufu içeren numunelerde de TiO₂'in artık fotokataliz reaksiyonlarına girdiği anlaşılmıştır. 26 saat sonra sürülen Rhodamine-B'nin tamamı ile kuruduğu gözlenmiş ve yapılan okumalar ile renk kaybı yüzdeleri hesaplanmıştır. TiO₂'in kendi kendini temizleme özelliği, yüksek fırın cürufu numunelerde 26 saatlik okumada fotokataliz reaksiyonlarının etkisi deney verileri ile görülmüştür.

Çizelge 5.10. Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin 28 günlük Rhodamine-B okumaları.

| 28 GÜNLÜK OKUMA DEĞERLERİ(RHODAMİNE B) | | | |
|--|-------|------|-------|
| NUMUNELER | L | a | b |
| 0T0Y | 72,12 | 3,53 | 18,48 |
| 0T10Y | 73,38 | 6,65 | 17,63 |
| 0T20Y | 73,31 | 6,56 | 15,91 |
| 0T30Y | 71,97 | 4,47 | 12,67 |
| 1T0Y | 71,92 | 0,90 | 18,73 |
| 1T10Y | 73,82 | 1,03 | 15,71 |
| 1T20Y | 74,35 | 4,25 | 16,82 |
| 1T30Y | 74,94 | 5,11 | 15,29 |
| 3T0Y | 76,73 | 2,08 | 19,14 |
| 3T10Y | 76,52 | 3,03 | 18,28 |
| 3T20Y | 77,63 | 3,96 | 17,34 |
| 3T30Y | 78,91 | 0,16 | 17,36 |
| 5T0Y | 79,73 | 1,84 | 18,19 |
| 5T10Y | 79,32 | 1,65 | 17,42 |
| 5T20Y | 78,73 | 7,72 | 21,38 |
| 5T30Y | 79,18 | 0,11 | 17,78 |



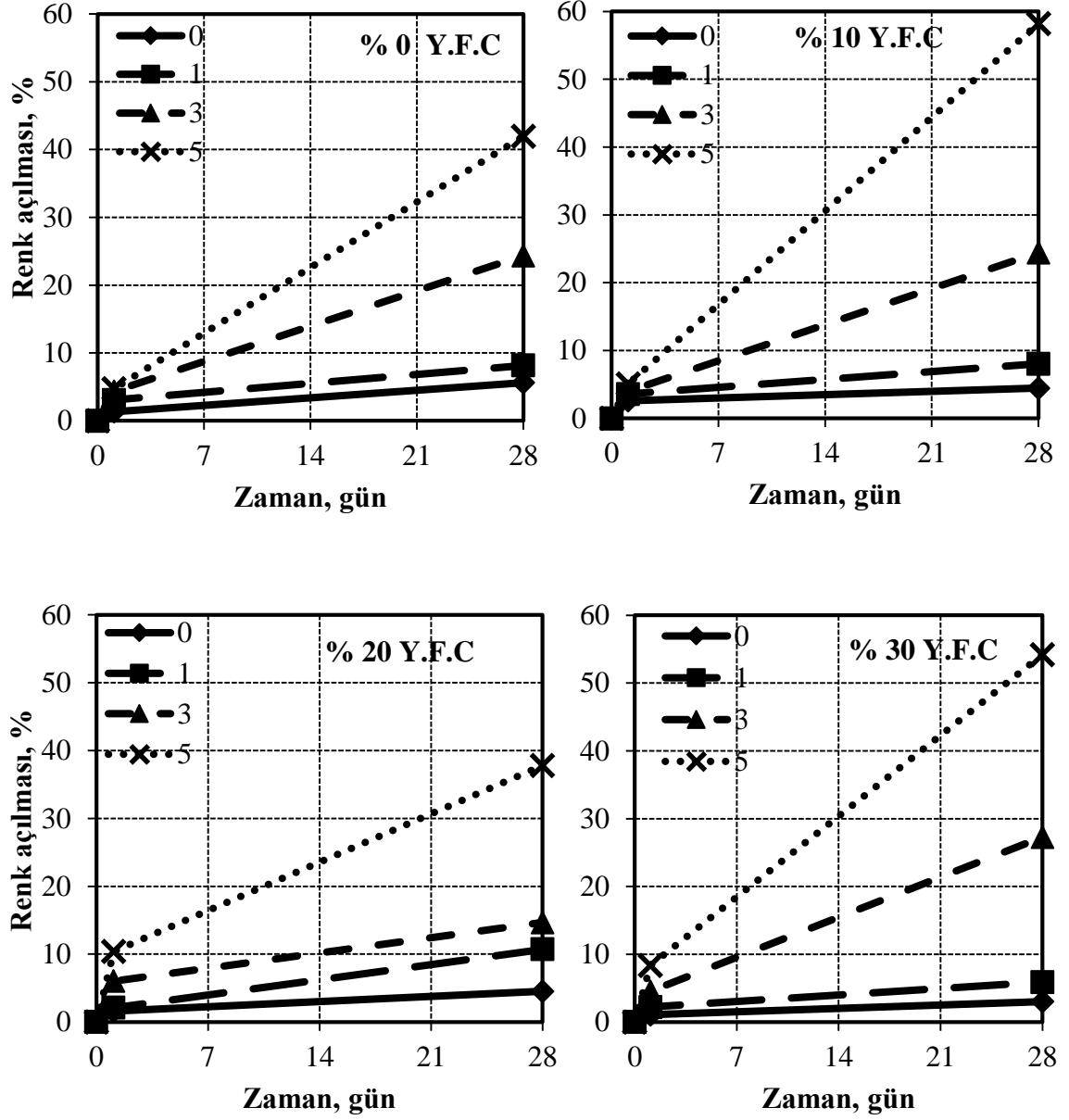
Şekil 5.7. Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin 28 günlük renk kaybı yüzde değerleri.

Okumalar sonucunda yüksek fırın cürufu içermeyen (% 0) numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 5,61 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 41,96 olmuştur. % 10 oranında yüksek fırın cürufu içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 4,45 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 58,23 olmuştur. % 20 oranında yüksek fırın cürufu içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 4,51 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 37,79 olmuştur. % 30 oranında yüksek fırın cürufu içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 3,04 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 54,17 olmuştur. En fazla yüzdesel artışı sırasıyla % 30, % 10, % 20 ve % 0 oranında yüksek fırın cürufu içeren numuneler göstermiştir. Elde edilen veriler ile yüksek fırın cürufu kullanımının 28 günlük dilimde renk açılmasında herhangi bir engel teşkil etmediği görülmüştür. % 30 ve % 10'luk kullanımlarda % 5 oranında TiO₂ içeren numuneler en fazla renk kaybı yüzdesinin elde edildiği numuneler olmuştur. Yüksek fırın cürufu içermeyen numunelerin (% 0), % 20 oranında yüksek fırın cürufu içeren numunelerden 28 günlük okumalar sonucunda daha fazla renk kaybı değerlerine sahip olması, yüksek fırın cürufu'nun kendi kendini temizleme reaksiyonlarına direkt olarak bir etkisi olmadığını göstermektedir. Bu sonuç yüksek fırın cürufu atık maddesinin kendi kendini temizleyen betonlarda kullanılması açısından önemlidir.

28 günlük R renk kaybı yüzdeleri incelendiği zaman bütün numunelerin maksimum değerlerine aynı uçucu kül içeren numunelerde olduğu gibi % 5 oranında TiO₂ içerdiğinde ulaştığı görülmüştür. Bu veriler doğrultusunda, 28 günlük kolorimetrik okumalar sonucunda genel olarak TiO₂ oranının artması ile numunelerin renk kaybı değerlerinin önemli ölçüde arttığı görülmüştür. 28 gün sonucunda görülen % 57'e varan renk açılmaları Rhodamine-b boyasının su ile temizleme gibi fiziksel herhangi bir etkiye ihtiyaç duyulmadan yarı yarıya oranında kendisini temizlediğini göstermiştir.

Yüksek fırın cürufu numuneler ile uçucu kül içeren numunelerin kendi kendini temizleme performansları kıyaslandığında % 30 ve % 10'luk seviyelerde yüksek fırın cürufu numuneler daha iyi performans gösterirken % 20'lik seviyede uçucu kül daha iyi performans göstermiştir.

Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin zamanla ne kadar renk açılması gerçekleştirdiği Şekil 5.19'daki grafiklerde gösterilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda % 10 ve % 30 uçucu kül kullanımında maksimum renk açılım değerleri elde edilmiştir.



Şekil 5.8. Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin zamana bağlı renk açılma değerleri.

Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da Rhodamine-B boyasının açılma görüntüleri gösterilmiştir.



Şekil 5.9. % 1 ve % 5 oranında TiO_2 içeren yüksek fırın cürüflu numunelerin 28 gün sonu görüntüleri.



Şekil 5.10. % 0 ve % 3 oranında TiO_2 içeren yüksek fırın cürüflu numunelerin 28 gün sonu görüntüleri.

5.2.1.3 Sepiyolit içeren numunelerin deney sonuçlarının değerlendirilmesi

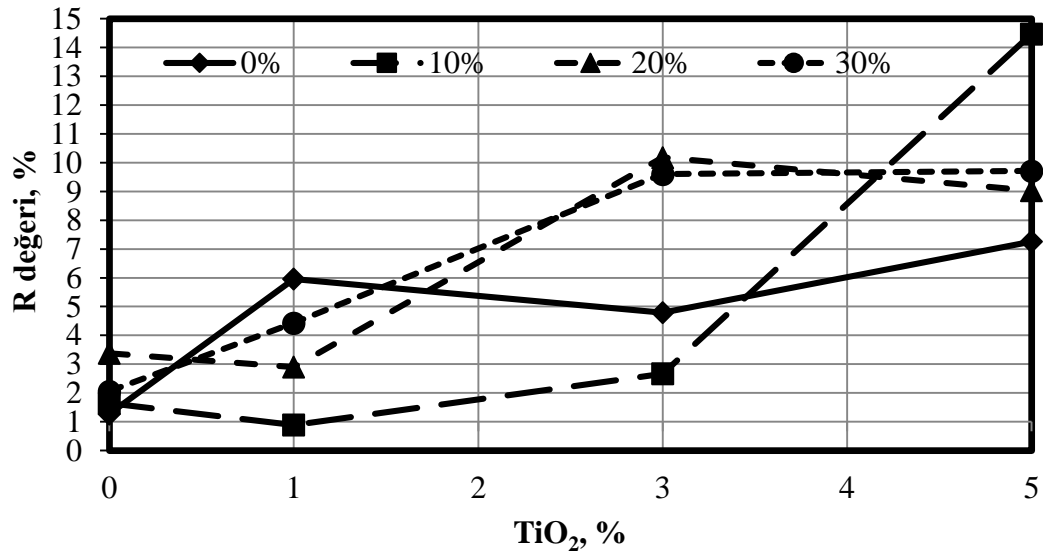
Sepiyolit içeren numuneler ile yapılan Rhodamine-B deneyinin sonucunda elde edilen veriler şekiller ve çizelgeler ile verilmiştir. Çizelge 5.11’de 0 saatlik (başlangıç) okumalar, Çizelge 5.12’de 26 saatlik okumalar, Şekil 5.11’de 26 saatlik R renk kaybı yüzde değerleri; Çizelge 5.13’de 28 günlük okumalar, Şekil 5.12’de 28 günlük R renk kaybı yüzde değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.11. Sepiyolit içeren numunelerin 0 saatlik (başlangıç) Rhodamine-B okumaları.

| BAŞLANGIÇ(0 SAAT) OKUMA DEĞERLERİ(RHODAMİNE B) | | | |
|---|----------|----------|----------|
| NUMUNELER | L | a | b |
| 0T0S | 76,25 | 7,87 | 18,38 |
| 0T10S | 75,34 | 8,52 | 20,07 |
| 0T20S | 76,19 | 7,39 | 17,97 |
| 0T30S | 75,14 | 8,75 | 23,98 |
| 1T0S | 76,94 | 10,90 | 24,59 |
| 1T10S | 74,36 | 7,84 | 18,60 |
| 1T20S | 75,91 | 10,01 | 22,48 |
| 1T30S | 76,18 | 16,46 | 18,47 |
| 3T0S | 77,35 | 13,78 | 27,12 |
| 3T10S | 74,35 | 8,25 | 22,02 |
| 3T20S | 73,28 | 2,75 | 26,84 |
| 3T30S | 79,37 | 1,98 | 28,14 |
| 5T0S | 78,34 | 4,68 | 26,93 |
| 5T10S | 78,48 | 1,59 | 25,72 |
| 5T20S | 77,98 | 10,63 | 28,14 |
| 5T30S | 78,21 | 17,20 | 29,06 |

Çizelge 5.12. Sepiyolit içeren numunelerin 26 saatlik Rhodamine-B okumaları.

| 26 SAATLİK OKUMA DEĞERLERİ(RHODAMİNE B) | | | |
|---|-------|-------|-------|
| NUMUNELER | L | a | b |
| 0T0S | 76,38 | 7,77 | 18,36 |
| 0T10S | 75,51 | 8,38 | 20,05 |
| 0T20S | 76,25 | 7,14 | 17,97 |
| 0T30S | 75,26 | 8,57 | 23,97 |
| 1T0S | 77,13 | 10,25 | 24,56 |
| 1T10S | 74,52 | 7,77 | 18,53 |
| 1T20S | 76,06 | 9,72 | 22,39 |
| 1T30S | 76,31 | 15,73 | 18,41 |
| 3T0S | 77,47 | 13,12 | 27,03 |
| 3T10S | 74,33 | 8,03 | 21,86 |
| 3T20S | 73,37 | 2,47 | 26,59 |
| 3T30S | 80,03 | 1,79 | 28,05 |
| 5T0S | 78,46 | 4,34 | 26,85 |
| 5T10S | 78,51 | 1,36 | 25,61 |
| 5T20S | 78,25 | 9,67 | 28,01 |
| 5T30S | 78,39 | 15,53 | 28,82 |



Şekil 5.11. Sepiyolit içeren numunelerin 26 saatlik renk kaybı yüzde değerleri.

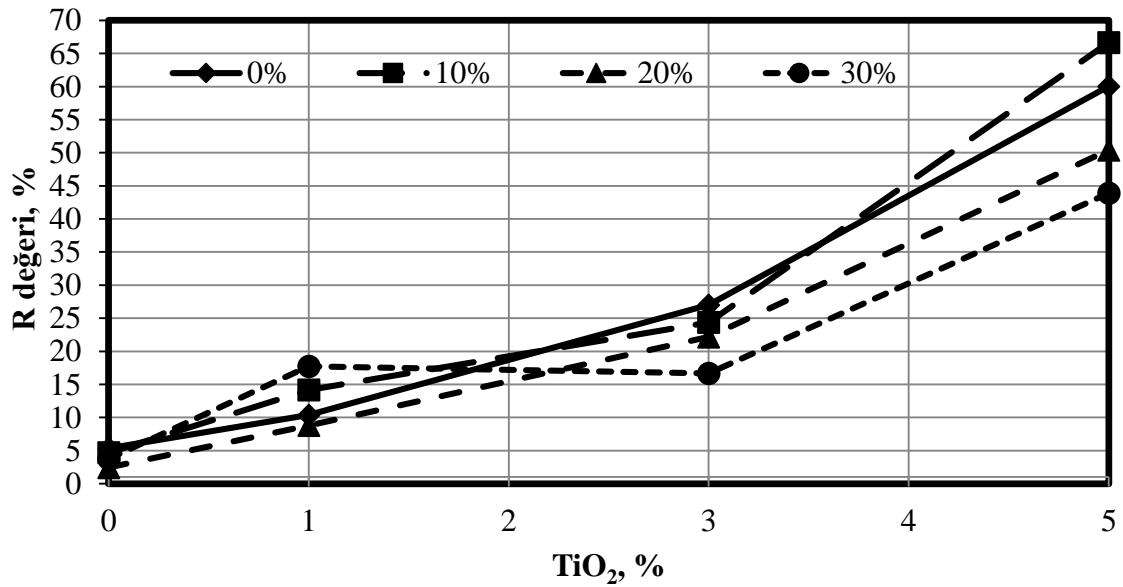
Sepiyolit içeren numunelerde kapalı ortamda yapılan 26 saatlik Rhodamine-B okumaları sonucunda R renk kaybı yüzde değerleri, renk açılma yüzde formülleri ile hesaplanmıştır. Sepiyolit içermeyen (% 0) numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 1,27 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 7,26 olmuştur. % 10 oranında sepiyolit içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 1,64 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 14,47 olmuştur. % 20 oranında sepiyolit içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 3,38 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 9,03 olmuştur. % 30 oranında sepiyolit içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 2,06 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 9,71 olmuştur. En fazla yüzdesel artışı sırasıyla % 10, % 0, % 30 ve % 20 oranında sepiyolit içeren numuneler göstermiştir. Elde edilen veriler ile sepiyolit kullanımının 26 saatlik dilimde renk açılmasında herhangi bir engel teşkil etmediği görülmüştür. Bu sonuç sepiyolit atık maddesinin kendi kendini temizleyen betonlarda kullanılması açısından önemli bir sonuçtur.

Deney sonuçları incelendiğinde % 30, % 10 ve % 0 oranında sepiyolit içeren numuneler arasında, 26 saatlik okumalar sonucunda maksimum renk kaybı değerlerini elde eden numuneler % 5 oranında TiO₂ içeren numuneler olmuştur. % 20 oranında sepiyolit içeren numuneler arasında maksimum renk kaybı değerini elde eden numuneler % 3 oranında TiO₂ içeren numuneler olmuştur. Bu veriler doğrultusunda, 26 saatlik kolorimetrik okumalar sonucunda genel olarak TiO₂ oranının artması ile numunelerin renk kaybı değerlerinin arttığı görülmüştür. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu içeren numunelerde olduğu gibi sepiyolit içeren numunelerde de TiO₂'in artık fotokataliz reaksiyonlarına girdiği anlaşılmıştır.

Uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve sepiyolit içeren numunelerin 26 saatlik kendi kendini temizleme performansları kıyaslandığında; % 30'luk kullanımlarda en fazla renk kaybı yüzdesine sepiyolit içeren numuneler, % 20'lik kullanımlarda en fazla renk kaybı yüzdesine yüksek fırın cürufu içeren numuneler, % 10'luk kullanımlarda en fazla renk kaybı yüzdesine yine sepiyolit içeren numuneler sahip olmuştur. Atık katkı maddesi içermeyen numunelerde ise beyaz çimento içeren numunelerin gri çimento içeren numunelere göre daha fazla renk kaybı yüzdesine sahip oldukları görülmüştür.

Çizelge 5.13. Sepiyolit içeren numunelerin 28 günlük Rhodamine-B okumaları.

| 28 GÜNLÜK OKUMA DEĞERLERİ(RHODAMİNE B) | | | |
|--|-------|-------|-------|
| NUMUNELER | L | a | b |
| 0T0S | 76,62 | 7,45 | 18,29 |
| 0T10S | 75,67 | 8,12 | 20,04 |
| 0T20S | 76,43 | 7,21 | 17,93 |
| 0T30S | 75,41 | 8,42 | 23,93 |
| 1T0S | 77,62 | 9,77 | 24,46 |
| 1T10S | 75,13 | 6,73 | 18,53 |
| 1T20S | 77,42 | 9,13 | 22,39 |
| 1T30S | 76,77 | 13,54 | 18,33 |
| 3T0S | 78,12 | 10,06 | 26,15 |
| 3T10S | 76,17 | 6,24 | 20,84 |
| 3T20S | 73,84 | 2,14 | 25,13 |
| 3T30S | 81,43 | 1,65 | 27,19 |
| 5T0S | 80,19 | 1,87 | 24,71 |
| 5T10S | 81,34 | 0,53 | 23,31 |
| 5T20S | 79,62 | 5,27 | 27,12 |
| 5T30S | 80,14 | 9,65 | 28,24 |



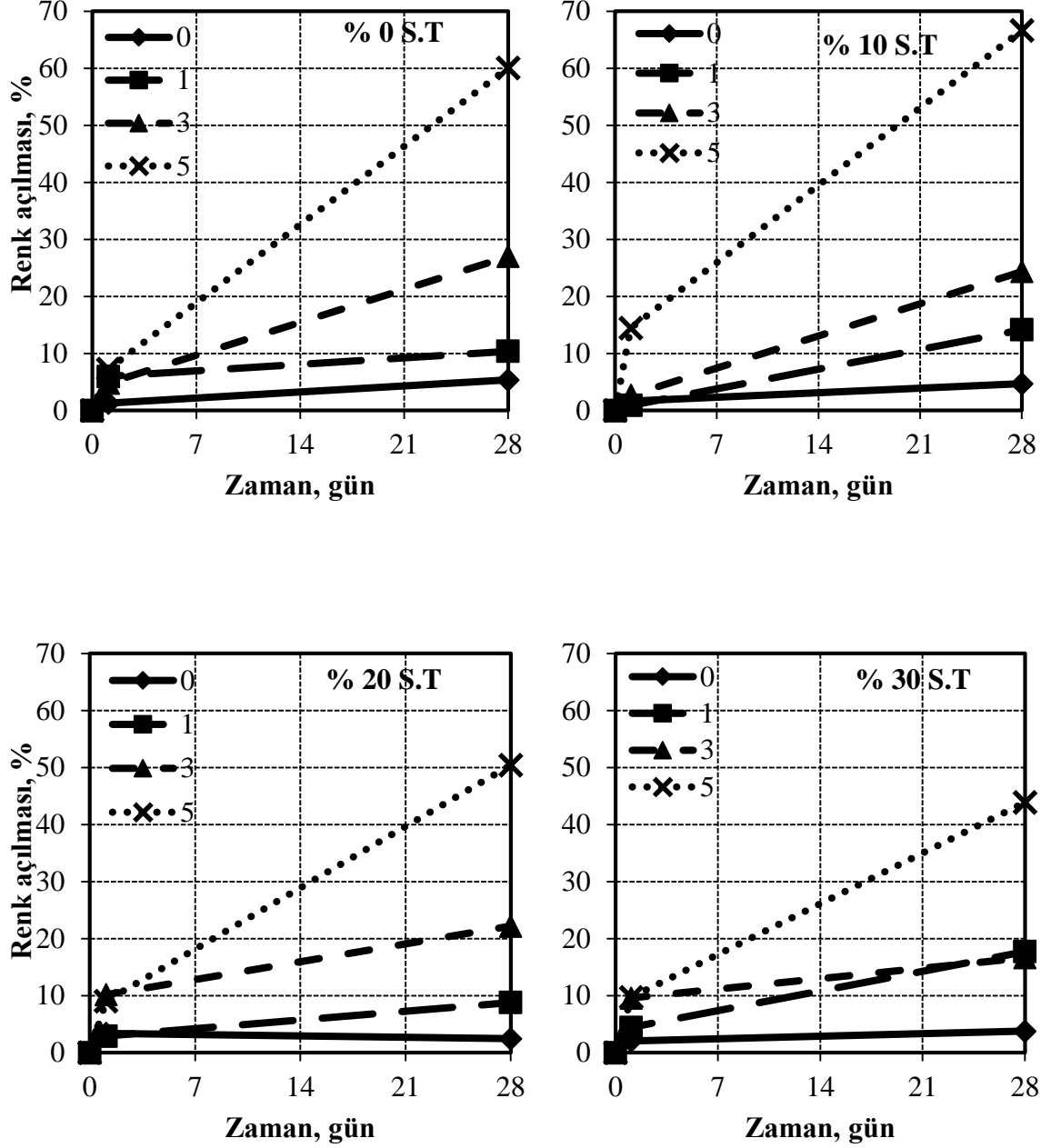
Şekil 5.12. Sepiyolit içeren numunelerin 28 günlük renk kaybı yüzde değerleri.

Sepiyolit içeren numunelerde kapalı ortamda yapılan 28 günlük Rhodamine-B okumaları sonucunda R renk kaybı yüzde değerleri, renk açılma yüzde formülleri ile hesaplanmıştır. Sepiyolit içermeyen (% 0) numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 5,34 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 60,04 olmuştur. % 10 oranında sepiyolit içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 4,69 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 66,67 olmuştur. % 20 oranında sepiyolit içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 2,44 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 50,42 olmuştur. % 30 oranında sepiyolit içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 3,77 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 43,90 olmuştur. En fazla yüzdesel artışı sırasıyla % 20, % 10, % 30 ve % 0 oranında sepiyolit içeren numuneler göstermiştir. Elde edilen veriler ile sepiyolit kullanımının 28 günlük dilimde renk açılmasında herhangi bir engel teşkil etmediği görülmüştür Bu sonuç sepiyolit atık maddesinin kendi kendini temizleyen betonlarda kullanılması ve değerlendirilmesi açısından önemli bir sonuçtur.

28 günlük R renk kaybı yüzdeleri incelendiği zaman bütün numunelerin maksimum değerlerine aynı uçucu kül ve yüksek fırın cürufu içeren numunelerde olduğu gibi % 5 oranında TiO₂ içerdiğinde ulaştığı görülmüştür. Bu veriler doğrultusunda, 28 günlük kolorimetrik okumalar sonucunda genel olarak TiO₂ oranının artması ile numunelerin renk kaybı değerlerinin önemli ölçüde arttığı görülmüştür. 28 gün sonucunda görülen % 66'ya varan renk açılmaları Rhodamine-b boyasının su ile temizleme gibi fiziksel herhangi bir etkiye ihtiyaç duyulmadan yarı yarıya oranından daha fazlasını temizlediğini göstermiştir.

Uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve sepiyolit içeren numunelerin 28 günlük kendi kendini temizleme performansları kıyaslandığında % 30'luk kullanımlarda en fazla renk kaybı yüzdesine yüksek fırın cürufu içeren numuneler, % 20'lik kullanımlarda en fazla renk kaybı yüzdesine uçucu kül içeren numuneler, % 10'luk kullanımlarda ise en fazla renk kaybı yüzdesine sepiyolit içeren numuneler sahip olmuştur. Atık katkı maddesi içermeyen numunelerde ise beyaz çimento içeren numuneler 26 saatlik okumalarda olduğu gibi 28 günlük okumalar sonucunda da gri çimento içeren numunelere göre daha fazla renk kaybı yüzdesine sahip oldukları görülmüştür.

Sepiyolit içeren numunelerin zamanla ne kadar renk açılması gerçekleştirdiği Şekil 5.13'deki grafiklerde gösterilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda % 0 ve % 10 uçucu kül kullanımında maksimum renk açılım değerleri elde edilmiştir.



Şekil 5.13. Sepiyolit içeren numunelerin zamana bağlı renk açılma değerleri.

Şekil 5.14 ve Şekil 5.15’de Rhodamine-B boyasının 28 gün sonundaki renk açılma görüntüleri gösterilmiştir.



Şekil 5.14. % 5 ve % 0 oranında TiO_2 içeren sepiyolitli betonlardaki renk açılması farkı.



Şekil 5.15. % 1 ve % 3 oranında TiO_2 içeren sepiyolitli betonlardaki renk açılması farkı.

2009 yılında Ruot ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada 30 saatlik Rhodamine-B okumalarında maksimum renk açılma değerleri % 5 oranında TiO_2 içeren numunelerde gözlenmiştir. Benzer şekilde Chen ve arkadaşlarının 2011 yılındaki yaptığı çalışmada da maksimum renk açılma değerleri % 5 oranında TiO_2 içeren numunelerde gözlenmiştir. Bu çalışmada da 26 saat ve 28 günlük Rhodamine-B okumaları sonucunda maksimum renk açılma değerleri % 5 oranında TiO_2 içeren numunelerde gözlenmiştir. Yüksel ve Karagüler'in 2011 yılında yaptığı çalışmada ise 28 günlük Rhodamine-B okumalarında % 5 oranında TiO_2 içeren numunelerde % 43 renk açılma değerine ulaşılmıştır. Bu çalışmada 28 günlük okumalar sonucunda uçucu kül içeren numunelerde % 57,77, yüksek fırın cürufu içeren numunelerde % 58,23, sepiyolit içeren numunelerde ise % 66,67 renk açılma değerleri elde edilmiştir.

5.2.2 Kapalı ortamda yapılan phenantroquinone deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Bu tez çalışmasındaki kendi kendini temizleme deneylerinden ikincisi olan phenantroquinone deneyi, renk parlaklığının fotokatalitik ölçümü esasına dayanır. Phenantroquinone deneyi yapılırken iki farklı ortamdan yararlanılmıştır. İlk deney grubu kapalı ortamda UV ışığı altında bekletilirken ikinci deney grubu açık ortamda tamamı ile dış etkilere açık bir şekilde bekletilmiştir. İki ortamda da deney sonuçları incelenip değerlendirilirken beton numuneler endüstriyel atık olarak uçucu kül içermesi, yüksek fırın cürufu içermesi ve sepiyolit içermesine göre gruplandırılmıştır. Başlıklar altında bütün saat okumalarının L, a, b ve R değerleri şekiller ve çizelgeler ile gösterilmiştir.

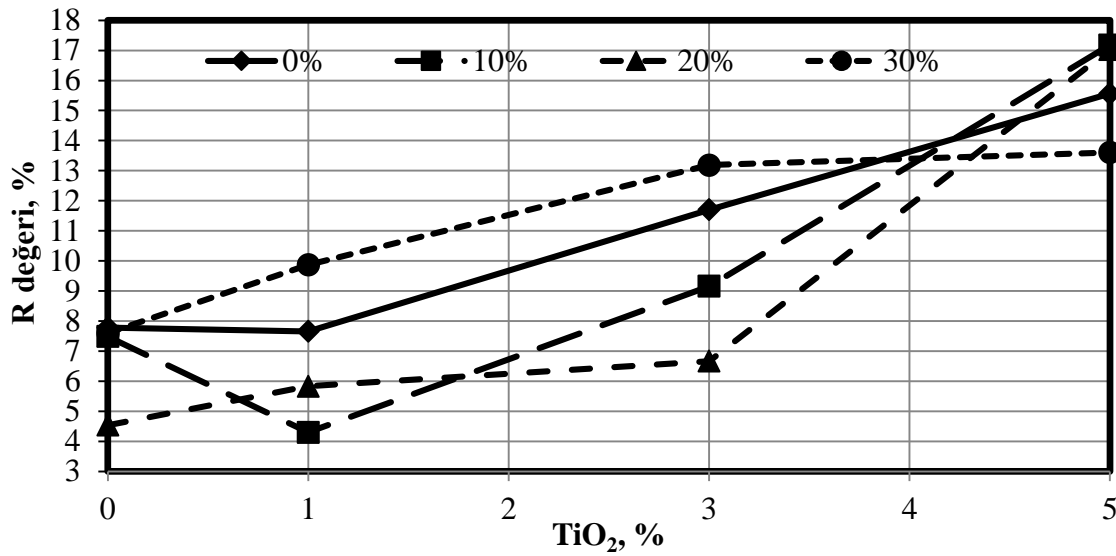
Kapalı ortamda yapılan phenantroquinone deneyinin amacı L, a, b değerlerinin dış ortam etkilerine maruz kalmadan yalnızca UV ışık kaynağı altında nasıl bir değişim gösterdiğini incelemektir. Bu deney grubunun numuneleri, Rhodamine-B sürülen numuneler ile birlikte UV ışık kaynağından 75 cm'lik bir mesafeye konulmuştur. Kolorimetrik okuma zamanları ise Rhodamine-B deneyinde yapılan okumalardan farklı olarak başlangıç (0 saat), 116 saat ve 28 günlük şeklinde olmuştur. Kapalı ortamda yapılan phenantroquinone deneyinde numuneler uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve sepiyolit içermesine göre farklı başlıklar altında incelenmişlerdir.

5.2.2.1 Uçucu kül içeren numunelerin deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Uçucu kül içeren numuneler ile yapılan kapalı ortamdaki phenantroquinone deneyinin sonucunda elde edilen veriler şekiller ve çizelgeler ile verilmiştir. Çizelge 5.14’de 0 saatlik (başlangıç) ve 116 saatlik okumalar, Çizelge 5.15’de 28 günlük okumalar gösterilmiştir. Şekil 5.16’da 116 saatlik R renk kaybı değerleri, Şekil 5.17’de 28 günlük R renk kaybı değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.14. Uçucu kül içeren numunelerin 0 saatlik (başlangıç) ve 116 saatlik phenantroquinone okumaları.

| BAŞLANGIÇ(0 SAAT) ve 116 SAATLİK OKUMA DEĞERLERİ(PHENANTROQUINONE) | | | | | | |
|--|--------|------|-------|----------|------|-------|
| NUMUNELER | 0 SAAT | | | 116 SAAT | | |
| | L | a | b | L | a | b |
| 0T0U | 81,54 | 5,23 | 27,25 | 81,76 | 5,21 | 25,13 |
| 0T10U | 81,76 | 5,62 | 28,17 | 82,04 | 5,58 | 26,06 |
| 0T20U | 80,15 | 5,18 | 24,87 | 80,63 | 5,18 | 23,74 |
| 0T30U | 80,63 | 4,86 | 27,36 | 80,13 | 4,81 | 25,28 |
| 1T0U | 80,16 | 4,96 | 27,82 | 80,77 | 4,96 | 25,69 |
| 1T10U | 79,85 | 4,35 | 28,12 | 80,49 | 4,33 | 26,91 |
| 1T20U | 80,79 | 5,26 | 26,05 | 81,47 | 5,21 | 24,53 |
| 1T30U | 80,18 | 5,74 | 28,58 | 81,94 | 5,68 | 25,76 |
| 3T0U | 79,86 | 4,85 | 27,36 | 82,31 | 4,79 | 24,16 |
| 3T10U | 80,65 | 5,37 | 28,92 | 82,47 | 5,21 | 26,27 |
| 3T20U | 81,76 | 5,25 | 26,55 | 83,18 | 5,16 | 24,78 |
| 3T30U | 81,47 | 5,32 | 25,63 | 84,19 | 5,19 | 22,25 |
| 5T0U | 82,61 | 5,06 | 22,04 | 83,71 | 4,99 | 18,61 |
| 5T10U | 81,34 | 4,78 | 24,45 | 84,35 | 4,68 | 20,25 |
| 5T20U | 81,17 | 4,97 | 26,19 | 84,74 | 4,85 | 21,73 |
| 5T30U | 80,49 | 5,05 | 25,13 | 84,96 | 4,97 | 21,71 |



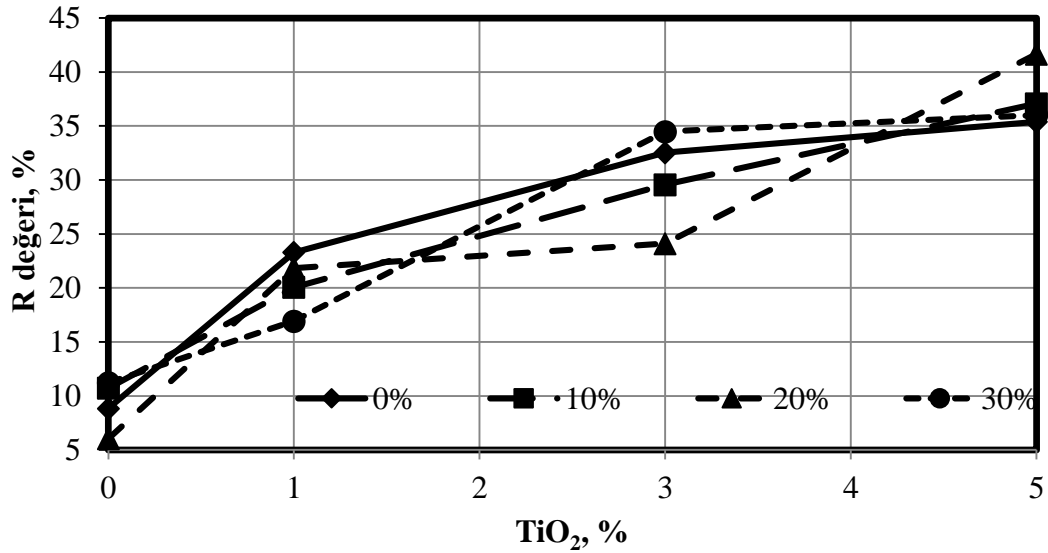
Şekil 5.16. Uçucu kül içeren numunelerin 116 saatlik phenantroquinone renk kaybı değerleri.

Uçucu kül içeren numunelerde kapalı ortamda yapılan 116 saatlik phenantroquinone okumaları sonucunda R renk kaybı yüzde değerleri, Rhodamine-B deneyinde olduğu gibi renk açılma yüzde formülleri ile hesaplanmıştır. Uçucu kül içermeyen (% 0) numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 7,78 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 15,56 olmuştur. % 10 oranında uçucu kül içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 7,49 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 17,18 olmuştur. % 20 oranında uçucu kül içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 4,54 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 17,03 olmuştur. % 30 oranında uçucu kül içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 7,60 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 13,61 olmuştur. Değerlerden anlaşılacağı üzere en fazla R renk kaybı yüzdelerine sırası ile % 20, % 10, % 0 ve % 30 oranlarında uçucu kül içeren numuneler sahip olmuştur. % 20 oranı bu deneyde optimum değer olarak göze çarpmıştır.

Veri sonuçları incelendiğinde % 30, % 20, % 10 ve % 0 oranında uçucu kül içeren numuneler arasında, 116 saatlik okumalar sonucunda maksimum renk kaybı değerlerini elde eden numuneler % 5 oranında TiO₂ içeren numuneler olmuştur. Bu veriler ışığında, 116 saatlik kolorimetrik okumalar sonucunda genel olarak TiO₂ oranının artması ile numunelerin renk kaybı değerlerinin arttığı görülmüştür.

Çizelge 5.15. Uçucu kül içeren numunelerin 28 günlük phenantroquinone okumaları.

| 28 GÜNLÜK OKUMA DEĞERLERİ(PHENANTROQUINONE) | | | |
|---|-------|------|-------|
| NUMUNELER | L | a | b |
| 0T0U | 82,49 | 4,96 | 24,84 |
| 0T10U | 82,81 | 5,18 | 25,15 |
| 0T20U | 82,46 | 4,86 | 23,37 |
| 0T30U | 82,19 | 4,76 | 24,29 |
| 1T0U | 82,73 | 4,57 | 21,34 |
| 1T10U | 83,26 | 4,22 | 22,48 |
| 1T20U | 83,75 | 5,08 | 20,36 |
| 1T30U | 84,91 | 5,19 | 23,74 |
| 3T0U | 86,17 | 4,53 | 18,46 |
| 3T10U | 85,43 | 4,75 | 20,37 |
| 3T20U | 87,34 | 4,84 | 20,15 |
| 3T30U | 86,14 | 4,89 | 16,79 |
| 5T0U | 87,16 | 4,29 | 14,24 |
| 5T10U | 87,94 | 4,18 | 15,39 |
| 5T20U | 88,73 | 4,45 | 15,28 |
| 5T30U | 88,49 | 4,61 | 16,08 |



Şekil 5.17. Uçucu kül içeren numunelerin 28 günlük phenantroquinone renk kaybı değerleri.

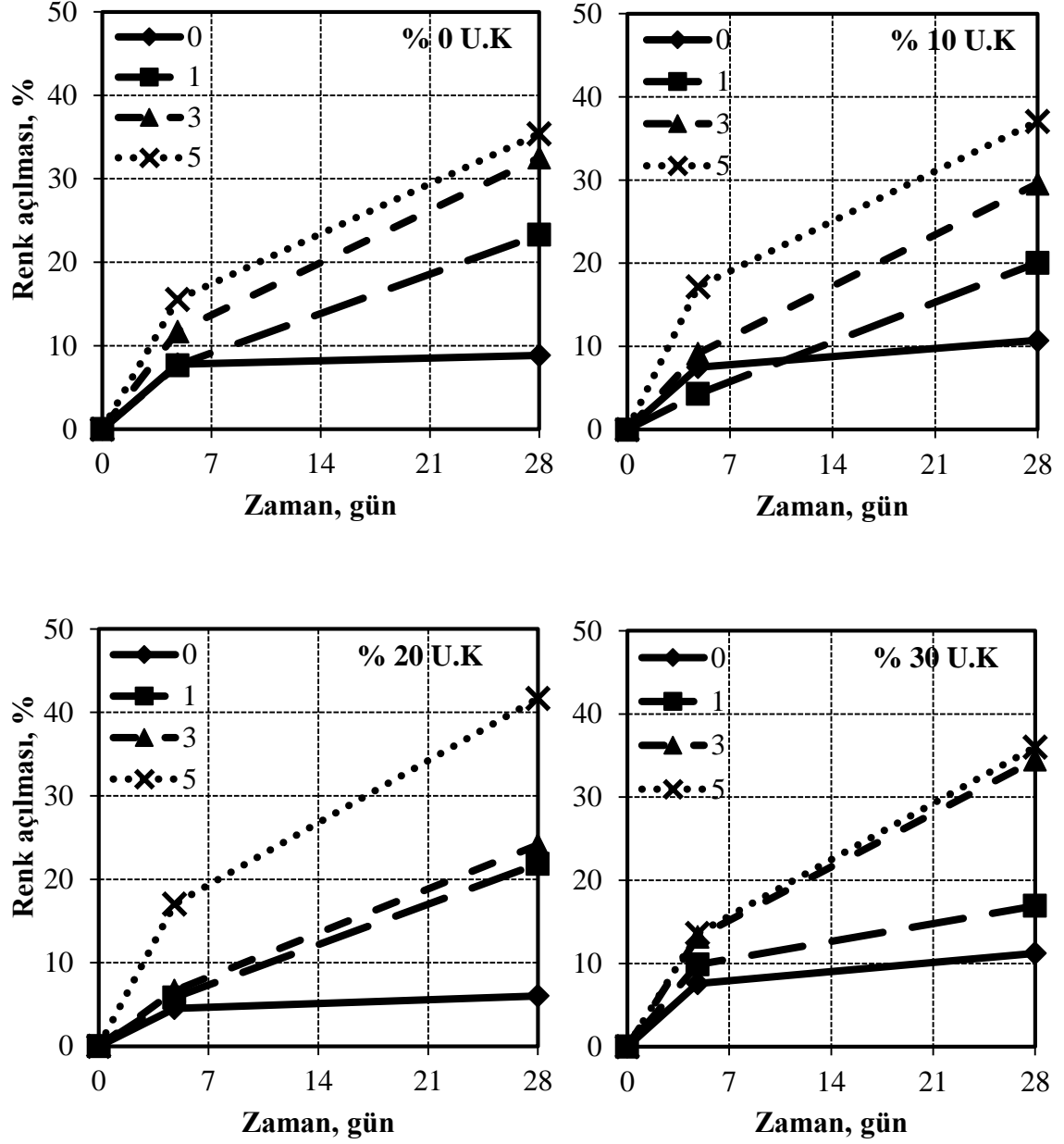
Uçucu kül içeren numunelerde kapalı ortamda yapılan 28 günlük phenantroquinone okumaları sonucunda elde edilen verilere göre uçucu kül içermeyen (% 0) numuneler incelendiğinde; % 0 TiO_2 içeren numunelerde R değeri 8,84 iken % 5 TiO_2 içeren numunelerde R değeri artış göstererek 35,39 olmuştur. % 10 oranında uçucu kül içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO_2 içeren numunelerde R değeri 10,72 iken % 5 TiO_2 içeren numunelerde R değeri artış göstererek 37,06 olmuştur. % 20 oranında uçucu kül içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO_2 içeren numunelerde R değeri 6,03 iken % 5 TiO_2 içeren numunelerde R değeri artış göstererek 41,66 olmuştur. % 30 oranında uçucu kül içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO_2 içeren numunelerde R değeri 11,22 iken % 5 TiO_2 içeren numunelerde R değeri artış göstererek 36,01 olmuştur. Değerler neticesinde en fazla R renk kaybı yüzdelerine sırası ile % 20, % 10, % 30 ve % 0 oranlarında uçucu kül içeren numuneler sahip olmuştur. % 20 oranı 116 saatlik okumalarda olduğu gibi bu deneyde de optimum değer olarak görülmüştür.

28 günlük okumalar sonucunda uçucu kül'ün bütün yüzdelerinde R renk kaybı yüzdeleri birbirine yakın seviyelerde çıkmıştır. Bu durum uçucu külün kendi kendini temizleyen betonlarda kullanımı açısından olumlu bir sonuçtur.

28 günlük R renk kaybı yüzdeleri incelendiği zaman bütün numunelerin maksimum değerlerine, % 5 oranında TiO_2 içerdiğinde ulaştığı görülmüştür. Bu veriler doğrultusunda, 28 günlük kolorimetrik okumalar sonucunda genel olarak TiO_2 oranının artması ile numunelerin renk kaybı değerlerinin önemli ölçüde arttığı görülmüştür. 28 gün sonucunda görülen % 42'e varan renk açılmaları phenantroquinone boyasının su ile temizleme gibi fiziksel herhangi bir etkiye ihtiyaç duyulmadan neredeyse yarı yarıya oranında kendisini temizlediğini göstermiştir.

116 saatlik ve 28 günlük okumaların L, a, b değerlerini değerlendirdiğimizde iki okuma zamanında da a ve b renk koordinat değerlerinin zamanla azaldığı, bu azalma oranının TiO_2 oranının artışına bağlı olarak daha fazla olduğu görülmüştür. L parlaklık değeri ise TiO_2 oranına bağlı olarak artış gösterip üzerine sürülen boyayı beyazlık derecesine yakınlaştırmıştır. TiO_2 içermeyen numunelerde de L, a, b değerlerinde çok az miktarlarda değişimler gözlenmiştir. Bu az miktarlardaki değişimler zamanla oluşan dezenformasyon değişimleridir.

Uçucu kül içeren numunelerin zamanla ne kadar renk açılması gerçekleştirdiği Şekil 5.18'deki grafiklerde gösterilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda % 10 ve % 20 uçucu kül kullanımında maksimum renk açılım değerleri elde edilmiştir.



Şekil 5.18. Uçucu kül içeren numunelerin zamana bağlı renk açılma değerleri.

5.2.2.2 Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin deney sonuçlarının değerlendirilmesi

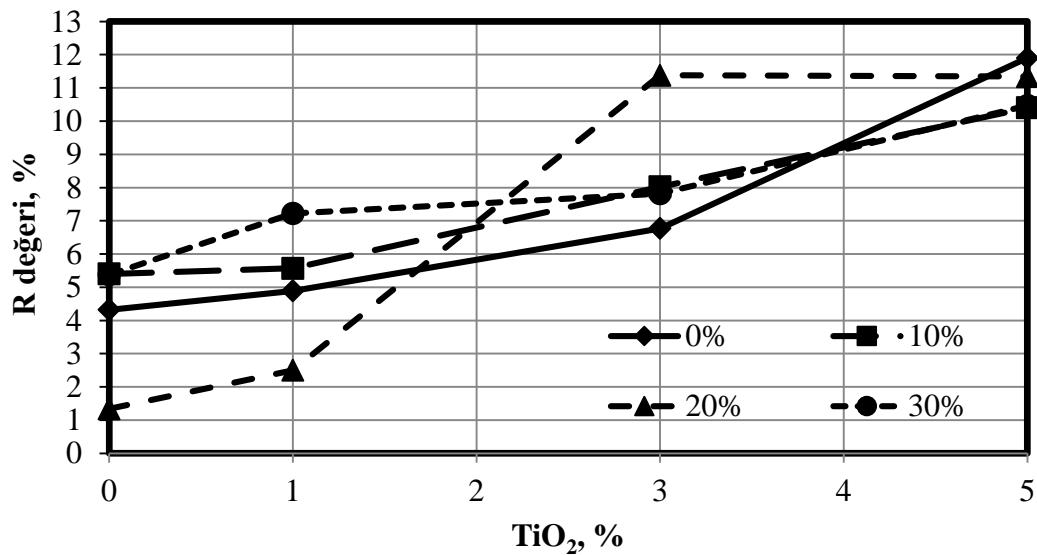
Yüksek fırın cürufu içeren numuneler ile yapılan kapalı ortamdaki phenantroquinone deneyinin sonucunda elde edilen veriler şekiller ve çizelgeler ile verilmiştir. Çizelge 5.16'da 0 saatlik (başlangıç) okumalar, Çizelge 5.17'de 116 saatlik okumalar, Çizelge 5.18'de 28 günlük okumalar gösterilmiştir. Şekil 5.19'da 116 saatlik R renk kaybı değerleri, Şekil 5.20'de 28 günlük R renk kaybı değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.16. Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin 0 saatlik (başlangıç) phenantroquinone okumaları.

| BAŞLANGIÇ(0 SAAT) OKUMA DEĞERLERİ(PHENANTROQUINONE) | | | |
|--|----------|----------|----------|
| NUMUNELER | L | a | b |
| 0T0Y | 80,49 | 3,49 | 26,38 |
| 0T10Y | 81,36 | 4,15 | 25,39 |
| 0T20Y | 80,74 | 4,39 | 26,14 |
| 0T30Y | 79,36 | 4,71 | 26,78 |
| 1T0Y | 81,34 | 3,73 | 25,34 |
| 1T10Y | 80,15 | 4,61 | 23,15 |
| 1T20Y | 84,35 | 5,79 | 24,39 |
| 1T30Y | 83,49 | 5,18 | 26,86 |
| 3T0Y | 82,71 | 4,28 | 25,40 |
| 3T10Y | 82,36 | 4,39 | 25,81 |
| 3T20Y | 82,45 | 4,20 | 24,96 |
| 3T30Y | 81,29 | 4,78 | 26,73 |
| 5T0Y | 84,26 | 4,03 | 25,79 |
| 5T10Y | 83,92 | 3,79 | 27,31 |
| 5T20Y | 82,25 | 4,16 | 25,39 |
| 5T30Y | 80,34 | 5,01 | 26,37 |

Çizelge 5.17. Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin 116 saatlik phenantroquinone okumaları.

| 116 SAATLİK OKUMA DEĞERLERİ(PHENANTROQUINONE) | | | |
|---|-------|------|-------|
| NUMUNELER | L | a | b |
| 0T0Y | 80,76 | 3,27 | 25,24 |
| 0T10Y | 82,31 | 4,13 | 24,02 |
| 0T20Y | 81,25 | 4,25 | 25,79 |
| 0T30Y | 80,34 | 4,16 | 25,34 |
| 1T0Y | 81,33 | 3,45 | 24,10 |
| 1T10Y | 80,47 | 4,58 | 21,86 |
| 1T20Y | 85,26 | 5,32 | 23,78 |
| 1T30Y | 84,39 | 4,81 | 24,92 |
| 3T0Y | 84,28 | 3,76 | 23,68 |
| 3T10Y | 84,76 | 4,14 | 23,74 |
| 3T20Y | 83,85 | 3,75 | 22,12 |
| 3T30Y | 83,61 | 4,25 | 24,64 |
| 5T0Y | 85,94 | 3,66 | 22,72 |
| 5T10Y | 85,32 | 3,53 | 24,47 |
| 5T20Y | 85,49 | 3,78 | 22,51 |
| 5T30Y | 84,38 | 4,75 | 23,61 |



Şekil 5.19. Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin 116 saatlik phenantroquinone renk kaybı değerleri.

Yüksek fırın cürufu içeren numunelerde kapalı ortamda yapılan 116 saatlik phenantroquinone okumaları sonucunda elde edilen verilere göre yüksek fırın cürufu içermeyen (% 0) numuneler incelendiğinde; % 0 TiO_2 içeren numunelerde R değeri 4,32 iken % 5 TiO_2 içeren numunelerde R değeri artış göstererek 11,90 olmuştur. % 10 oranında yüksek fırın cürufu içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO_2 içeren numunelerde R değeri 5,40 iken % 5 TiO_2 içeren numunelerde R değeri artış göstererek 10,40 olmuştur. % 20 oranında yüksek fırın cürufu içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO_2 içeren numunelerde R değeri 1,34 iken % 5 TiO_2 içeren numunelerde R değeri artış göstererek 11,34 olmuştur. % 30 oranında yüksek fırın cürufu içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO_2 içeren numunelerde R değeri 5,38 iken % 5 TiO_2 içeren numunelerde R değeri artış göstererek 10,47 olmuştur. Değerler neticesinde en fazla R renk kaybı yüzdelerine sırası ile % 0, % 20, % 30 ve % 10 oranlarında yüksek fırın cürufu içeren numuneler sahip olmuştur.

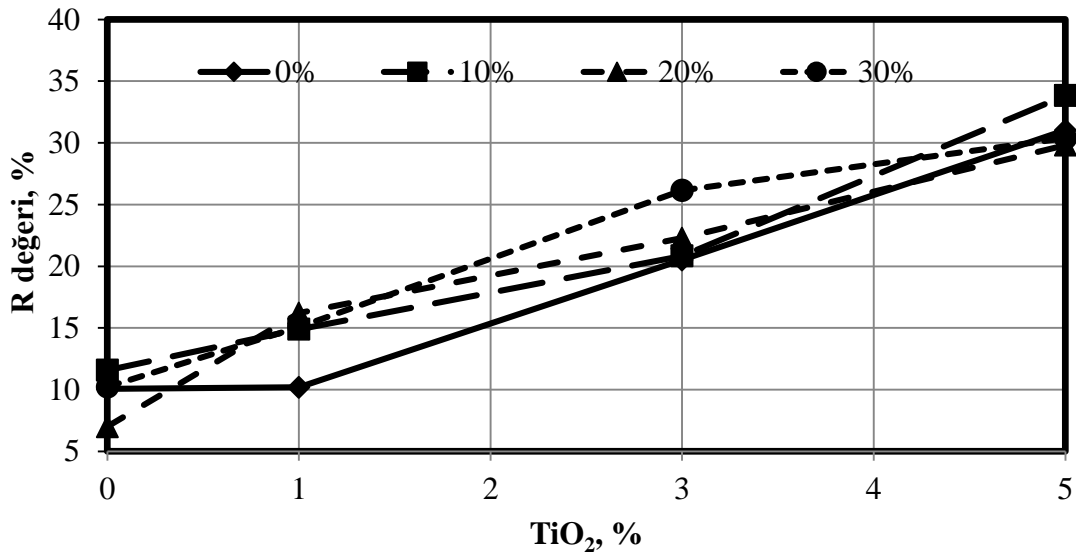
Deney sonuçları incelendiğinde % 30, % 10 ve % 0 oranında yüksek fırın cürufu içeren numuneler arasında, 116 saatlik okumalar sonucunda maksimum renk kaybı değerlerini elde eden numuneler % 5 oranında TiO_2 içeren numuneler olmuştur. % 20 oranında yüksek fırın cürufu içeren numunelerde ise maksimum renk kaybı değerine ulaşan numuneler % 3 oranında TiO_2 içeren numuneler ulaşmıştır. Bu veriler ışığında, 116 saatlik kolorimetrik okumalar sonucunda genel olarak TiO_2 oranının artması ile numunelerin renk kaybı değerlerinin arttığı görülmüştür.

L, a, b değerleri incelendiğinde 116 saat sonunda yapılan okumalarda uçucu kül içeren numunelerde olduğu gibi a ve b renk koordinatlarının bir miktar azaldığı; L parlaklık değerinin ise bir miktar arttığı görülmüştür. L parlaklık değerinde TiO_2 oranındaki artışa paralel olarak bir artış görülmüştür. 116 saat okumaları sonucunda uçucu kül içeren numuneler ile benzer parlaklık değerleri elde edilmiştir.

Yüksek fırın cürufu ve uçucu kül' ün 116 saatlik kendi kendini temizleme performansları kıyaslandığında; uçucu kül' ün daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Rhodamine-b deneyinin 26 saatlik okumalarında yüksek fırın cürufu daha iyi performans verirken 116 saatlik phenantroquinone deney okumalarında uçucu kül daha iyi sonuçlar elde etmiştir.

Çizelge 5.18. Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin 28 günlük phenantroquinone okumaları.

| 28 GÜNLÜK OKUMA DEĞERLERİ(PHENANTROQUINONE) | | | |
|---|-------|------|-------|
| NUMUNELER | L | a | b |
| 0T0Y | 82,39 | 3,05 | 23,73 |
| 0T10Y | 83,45 | 3,86 | 22,45 |
| 0T20Y | 83,15 | 4,13 | 24,31 |
| 0T30Y | 82,46 | 4,09 | 24,04 |
| 1T0Y | 84,15 | 3,35 | 22,76 |
| 1T10Y | 83,94 | 4,27 | 19,70 |
| 1T20Y | 84,15 | 5,16 | 20,44 |
| 1T30Y | 87,36 | 4,49 | 22,81 |
| 3T0Y | 87,49 | 3,52 | 20,19 |
| 3T10Y | 89,14 | 4,07 | 20,43 |
| 3T20Y | 87,58 | 3,53 | 19,4 |
| 3T30Y | 88,73 | 4,04 | 19,74 |
| 5T0Y | 88,16 | 3,28 | 17,79 |
| 5T10Y | 89,41 | 3,27 | 18,07 |
| 5T20Y | 89,73 | 3,43 | 17,82 |
| 5T30Y | 88,35 | 4,59 | 18,36 |



Şekil 5.20. Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin 28 günlük phenantroquinone renk kaybı değerleri.

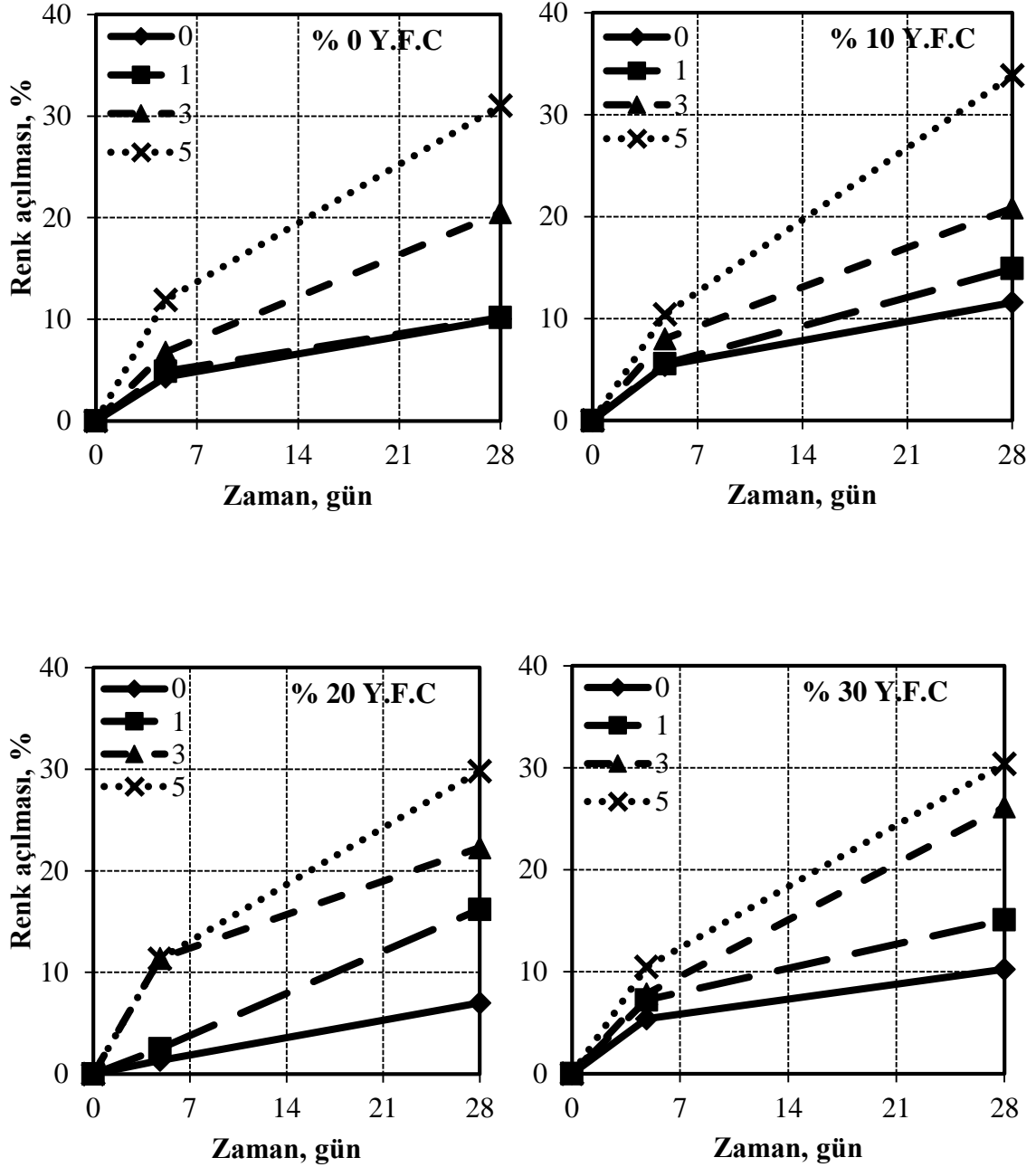
Yüksek fırın cürufu içeren numunelerde kapalı ortamda yapılan 28 günlük phenantroquinone okumaları sonucunda elde edilen verilere göre yüksek fırın cürufu içermeyen (% 0) numuneler incelendiğinde; % 0 TiO_2 içeren numunelerde R değeri 10,05 iken % 5 TiO_2 içeren numunelerde R değeri artış göstererek 31,02 olmuştur. % 10 oranında yüksek fırın cürufu içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO_2 içeren numunelerde R değeri 11,58 iken % 5 TiO_2 içeren numunelerde R değeri artış göstererek 33,83 olmuştur. % 20 oranında yüksek fırın cürufu içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO_2 içeren numunelerde R değeri 7,00 iken % 5 TiO_2 içeren numunelerde R değeri artış göstererek 29,81 olmuştur. % 30 oranında yüksek fırın cürufu içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO_2 içeren numunelerde R değeri 10,23 iken % 5 TiO_2 içeren numunelerde R değeri artış göstererek 30,38 olmuştur. Değerler neticesinde en fazla R renk kaybı yüzdelerine sırası ile % 10, % 0, % 30 ve % 20 oranlarında yüksek fırın cürufu içeren numuneler sahip olmuştur. 116 saatlik okumalar sonucunda en fazla renk kaybı değerine yüksek fırın cürufu içermeyen numuneler (% 0) sahip olurken, 28 gün okumaları sonucunda en fazla renk kaybı değerine % 10 oranında yüksek fırın cürufu içeren numuneler sahip olmuştur.

Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu numunelerin 28 günlük kendi kendini temizleme performansları kıyaslandığında, 116 saatlik kolorimetrik okumalarda olduğu gibi uçucu kül içeren numunelerin yüksek fırın cürufu numunelerden daha fazla renk kaybı değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

28 günlük okumalar sonucunda L, a, b değerlerindeki değişim daha net ortaya çıkmıştır. 28 günlük okumalar neticesinde a ve b değerlerinde TiO_2 ile ters orantılı düşüş, L parlaklık değerinde TiO_2 oranının artışına paralel olarak artış görülmüştür.

28 günlük R renk kaybı yüzdeleri incelendiği zaman bütün numunelerin maksimum değerlerine % 5 oranında TiO_2 içerdiğinde ulaştığı görülmüştür. Bu veriler doğrultusunda, 28 günlük kolorimetrik okumalar sonucunda genel olarak TiO_2 oranının artması ile numunelerin renk kaybı değerlerinin önemli ölçüde arttığı görülmüştür. TiO_2 ' in Rhodamine-B deneyinde olduğu gibi phenantroquinone deneyinde de fotokataliz reaksiyonlarını olumlu yönde etkilemesi, kendi kendini temizleme mekanizmasında aktif rol aldığını görmek açısından önem arz etmektedir.

Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin zamanla ne kadar renk açılması gerçekleştirdiği Şekil 5.21'deki grafiklerde gösterilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda % 10 ve % 20 yüksek fırın cürufu kullanımında maksimum renk açılım değerleri elde edilmiştir.



Şekil 5.21. Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin zamana bağlı renk açılma değerleri.

5.2.2.3 Sepiyolit içeren numunelerin deney sonuçlarının değerlendirilmesi

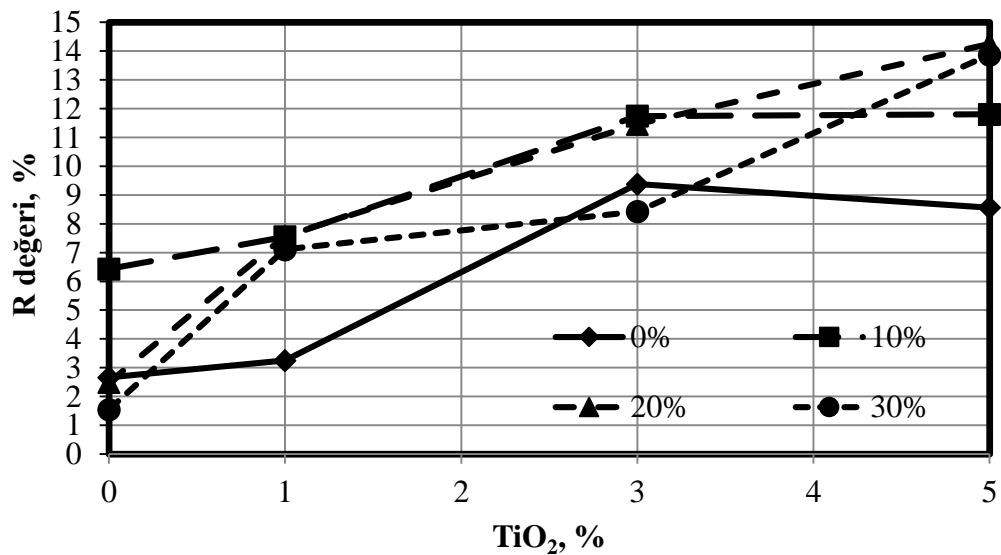
Sepiyolit içeren numuneler ile yapılan kapalı ortamdaki phenantroquinone deneyinin sonucunda elde edilen veriler şekiller ve çizelgeler ile verilmiştir. Çizelge 5.19'de 0 saatlik (başlangıç) okumalar, Çizelge 5.20'de 116 saatlik okumalar, Çizelge 5.21'de 28 günlük okumalar gösterilmiştir. Şekil 5.22'de 116 saatlik R renk kaybı değerleri, Şekil 5.23'de 28 günlük R renk kaybı değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.19. Sepiyolit içeren numunelerin 0 saatlik (başlangıç) phenantroquinone okumaları.

| BAŞLANGIÇ (0 SAAT) OKUMA DEĞERLERİ(PHENANTROQUINONE) | | | |
|---|----------|----------|----------|
| NUMUNELER | L | a | b |
| 0T0S | 76,25 | 7,87 | 18,38 |
| 0T10S | 75,34 | 8,52 | 20,07 |
| 0T20S | 76,19 | 7,39 | 17,97 |
| 0T30S | 75,14 | 8,75 | 23,98 |
| 1T0S | 76,94 | 10,9 | 24,59 |
| 1T10S | 74,36 | 7,84 | 18,60 |
| 1T20S | 75,91 | 10,01 | 22,48 |
| 1T30S | 76,18 | 16,46 | 18,47 |
| 3T0S | 77,35 | 13,78 | 27,12 |
| 3T10S | 74,35 | 8,25 | 22,02 |
| 3T20S | 73,28 | 2,75 | 26,84 |
| 3T30S | 79,37 | 1,98 | 28,14 |
| 5T0S | 78,34 | 4,68 | 26,93 |
| 5T10S | 78,48 | 1,59 | 25,72 |
| 5T20S | 77,98 | 10,63 | 28,14 |
| 5T30S | 78,21 | 17,20 | 29,06 |

Çizelge 5.20. Sepiyolit içeren numunelerin 116 saatlik phenantroquinone okumaları.

| 116 SAAT OKUMA DEĞERLERİ(PHENANTROQUINONE) | | | |
|--|-------|-------|-------|
| NUMUNELER | L | a | b |
| 0T0S | 76,25 | 7,87 | 18,38 |
| 0T10S | 75,34 | 8,52 | 20,07 |
| 0T20S | 76,19 | 7,39 | 17,97 |
| 0T30S | 75,14 | 8,75 | 23,98 |
| 1T0S | 76,94 | 10,90 | 24,59 |
| 1T10S | 74,36 | 7,84 | 18,60 |
| 1T20S | 75,91 | 10,01 | 22,48 |
| 1T30S | 76,18 | 16,46 | 18,47 |
| 3T0S | 77,35 | 13,78 | 27,12 |
| 3T10S | 74,35 | 8,25 | 22,02 |
| 3T20S | 73,28 | 2,75 | 26,84 |
| 3T30S | 79,37 | 1,98 | 28,14 |
| 5T0S | 78,34 | 4,68 | 26,93 |
| 5T10S | 78,48 | 1,59 | 25,72 |
| 5T20S | 77,98 | 10,63 | 28,14 |
| 5T30S | 78,21 | 17,20 | 29,06 |



Şekil 5.22. Sepiyolit içeren numunelerin 116 saatlik phenantroquinone renk kaybı değerleri

Sepiyolit içeren numunelerde kapalı ortamda yapılan 116 saatlik phenantroquinone okumaları sonucunda elde edilen verilere göre sepiyolit içermeyen (% 0) numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 2,66 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 8,56 olmuştur. %10 oranında sepiyolit içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 6,43 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 11,80 olmuştur. % 20 oranında sepiyolit içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 2,49 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 14,25 olmuştur. % 30 oranında sepiyolit içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 1,55 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 13,87 olmuştur. Değerler neticesinde en fazla R renk kaybı yüzdelerine sırası ile % 20, % 30, % 10 ve % 0 oranlarında sepiyolit içeren numuneler sahip olmuştur. 116 saatlik okumalar sonunda maksimum renk kaybı değerlerini % 20 ve % 30 sepiyolit içeren numunelerin alması, sepiyolit malzemesinin kendi kendini temizleyen betonlarda kullanımını açısından önemlidir.

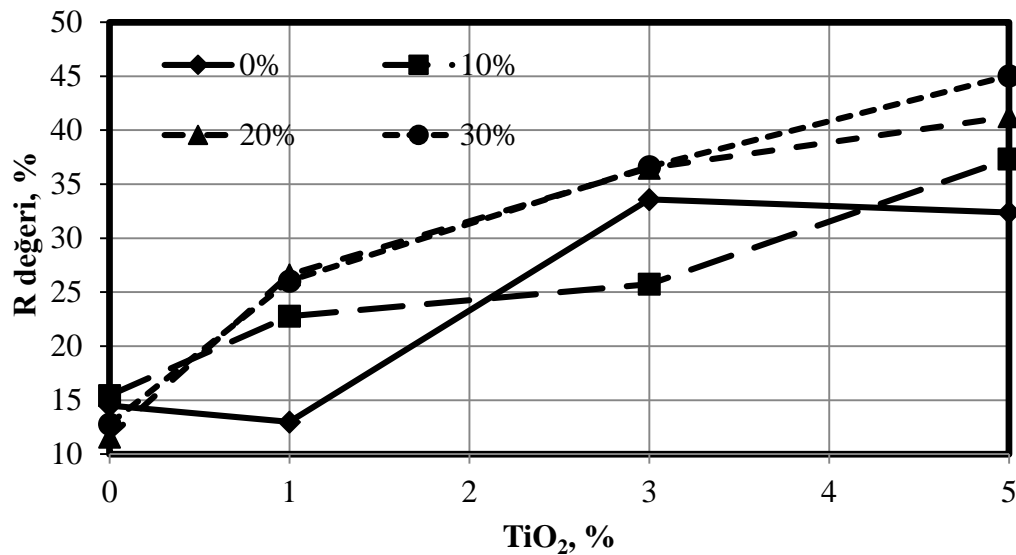
Katkıların 116 saatlik phenantroquinone deneyi performansları kıyaslandığında en fazla renk kaybı yüzdelerine sırası ile uçucu kül, sepiyolit ve yüksek fırın cürufu içeren numuneler sahip olmuştur.

Deney sonuçları incelendiğinde, % 30 ve % 20 oranında sepiyolit içeren numuneler arasında, 116 saatlik okumalar sonucunda maksimum renk kaybı değerlerini elde eden numuneler % 5 oranında TiO₂ içeren numuneler olmuştur. % 10 ve % 0 oranında sepiyolit içeren numunelerde ise maksimum renk kaybı değerine ulaşan numuneler % 3 oranında TiO₂ içeren numuneler olmuştur. Bu veriler doğrultusunda, 116 saatlik kolorimetrik okumalar sonucunda genel olarak TiO₂ oranının artması ile numunelerin renk kaybı değerlerinin arttığı görülmüştür.

L, a, b değerleri incelendiğinde uçucu kül ve yüksek fırın cürufu içeren numunelerde olduğu gibi sepiyolit içeren numunelerde de a ve b renk koordinatı değerleri azalırken L parlaklık değerinde artış gözlenmiştir. Bu değerlerdeki değişimlerin, katkı yüzdelerindeki değişimden bağımsız olarak TiO₂ oranındaki değişimlere bağlı olarak gerçekleştiği görülmüştür.

Çizelge 5.21. Sepiyolit içeren numunelerin 28 günlük phenantroquinone okumaları.

| 28 GÜNLÜK OKUMA DEĞERLERİ(PHENANTROQUINONE) | | | |
|---|-------|-------|-------|
| NUMUNELER | L | a | b |
| 0T0S | 76,25 | 7,87 | 18,38 |
| 0T10S | 75,34 | 8,52 | 20,07 |
| 0T20S | 76,19 | 7,39 | 17,97 |
| 0T30S | 75,14 | 8,75 | 23,98 |
| 1T0S | 76,94 | 10,9 | 24,59 |
| 1T10S | 74,36 | 7,84 | 18,60 |
| 1T20S | 75,91 | 10,01 | 22,48 |
| 1T30S | 76,18 | 16,46 | 18,47 |
| 3T0S | 77,35 | 13,78 | 27,12 |
| 3T10S | 74,35 | 8,25 | 22,02 |
| 3T20S | 73,28 | 2,75 | 26,84 |
| 3T30S | 79,37 | 1,98 | 28,14 |
| 5T0S | 78,34 | 4,68 | 26,93 |
| 5T10S | 78,48 | 1,59 | 25,72 |
| 5T20S | 77,98 | 10,63 | 28,14 |
| 5T30S | 78,21 | 17,20 | 29,06 |



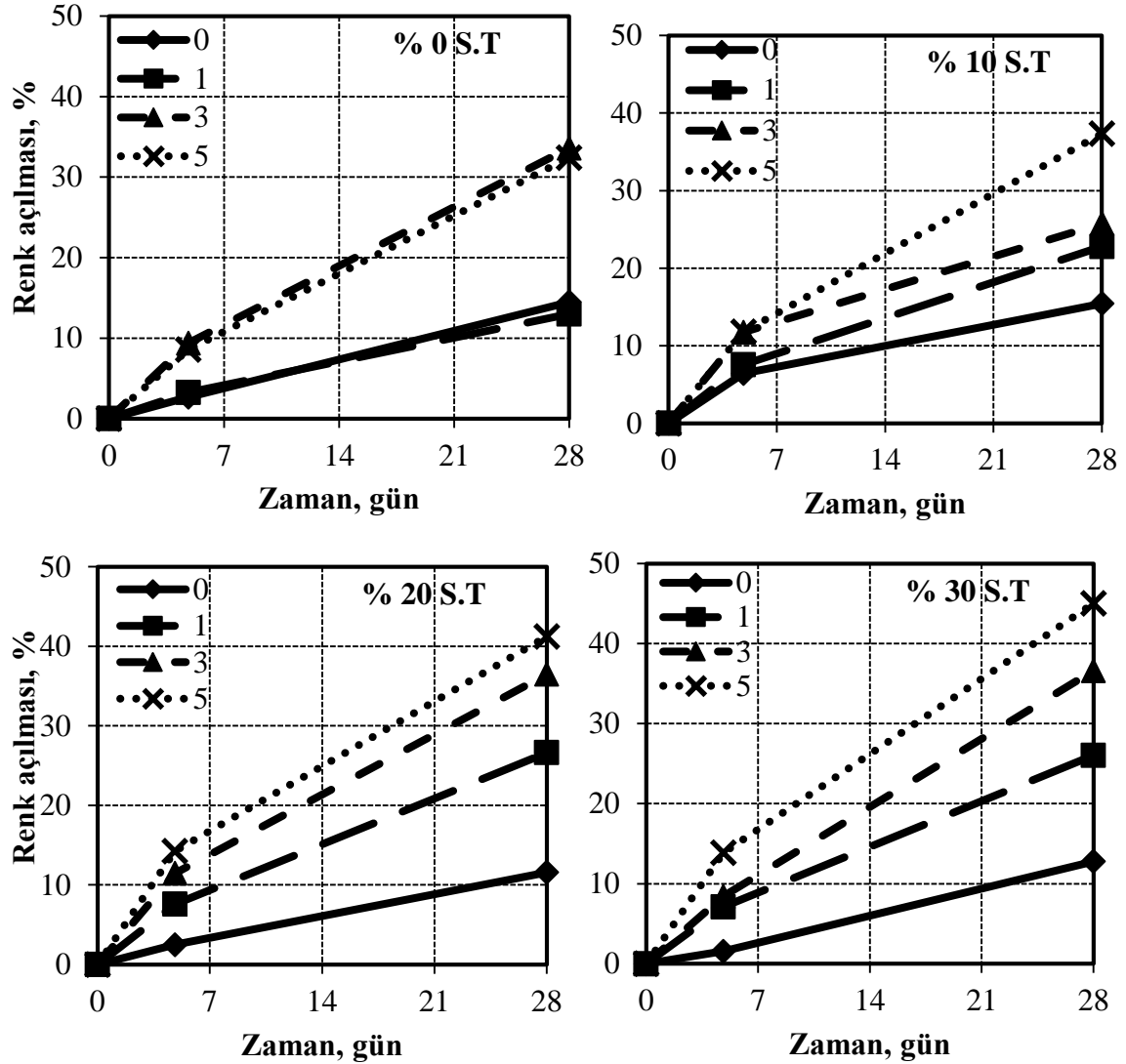
Şekil 5.23. Sepiyolit içeren numunelerin 28 günlük phenantroquinone renk kaybı değerleri.

Sepiyolit içeren numunelerde kapalı ortamda yapılan 28 günlük phenantroquinone okumaları sonucunda elde edilen verilere göre sepiyolit içermeyen (% 0) numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 14,49 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 32,39 olmuştur. % 10 oranında sepiyolit içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 15,44 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 37,33 olmuştur. % 20 oranında sepiyolit içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 11,58 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 41,25 olmuştur. % 30 oranında sepiyolit içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 12,79 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 45,04 olmuştur. Değerler neticesinde en fazla renk kaybı yüzdelerine sırası ile % 30, % 20, % 10 ve % 0 oranlarında sepiyolit içeren numuneler sahip olmuştur. Yüksek oranlı sepiyolit içeren numunelerin daha fazla renk kaybı yüzdelerine sahip olması sepiyolit malzemesinin kendi kendini temizleyen betonlarda kullanımı açısından önemlidir. 116 saatlik okumalar sonucunda en fazla renk kaybı değerine % 20 oranında sepiyolit içeren numuneler sahip olurken, 28 günlük okumalarda en fazla renk kaybı değerine % 30 sepiyolit içeren numuneler sahip olmuştur.

Kullanılan atık malzemelerin 28 günlük phenantroquinone deneyi sonundaki kendi kendini temizleme performansları kıyaslandığında; % 30'luk kullanımlarda en fazla renk kaybı yüzdesine sepiyolit içeren numuneler, % 20'lik kullanımlarda en fazla renk kaybı yüzdesine uçucu kül içeren numuneler, % 10'luk kullanımlarda da yine en fazla renk kaybı yüzdesine sepiyolit içeren numuneler sahip olmuştur. Rhodamine-b deneyinde atık katkı maddesi içermeyen numunelerde yapılan 28 günlük okumalarda beyaz çimento içeren numuneler daha fazla R renk kaybı yüzdesine sahip olurken phenantroquinone deneyinde gri çimento içeren numuneler daha fazla renk kaybı yüzdelerine sahip olmuşlardır.

Sepiyolit içeren numunelerin L, a, b değerleri incelendiğinde tıpkı uçucu kül ve yüksek fırın cürufu içeren numunelerde olduğu gibi a ve b renk koordinatlarında azalma, L parlaklık değerinde ise artış görülmüştür. Sepiyolit içeren numunelerin başlangıç ve sonraki okumalarda L parlaklık değerinin diğer katkılı numunelerin L değerinden daha yüksek seviyelerde olduğu görülmüştür. Bu durumun nedeni olarak sepiyolit katkılı betonların beyaz çimento içermesinden kaynaklı olarak boyaya beyazlık derecesi yansıtması gösterilebilir.

Sepiyolit içeren numunelerin zamanla ne kadar renk açılması gerçekleştirdiği Şekil 5.24'deki grafiklerde gösterilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda % 20 ve % 30 sepiyolit kullanımında maksimum renk açılım değerleri elde edilmiştir.



Şekil 5.24. Sepiyolit içeren numunelerin zamana bağlı renk açılma değerleri.

Yüksel ve Karagüler'in 2011 yılında yaptığı çalışmada ise 28 günlük Phenantroquinone okumalarında numunelerin b renk koordinat değerlerinde azalmalar görülürken L parlaklık değerlerinde artışlar gözlenmiştir. Bu çalışmada da renk koordinatlarında benzer değişimler elde edilmiştir. Bu çalışmada 28 günlük okumalar sonucunda uçucu kül içeren numunelerde maksimum % 41,66 yüksek fırın cürufu içeren numunelerde % 33,83, sepiyolit içeren numunelerde ise % 45,04 renk açılma değerleri elde edilmiştir.

5.2.3 Açık ortamda yapılan phenantroquinone deney sonuçlarının değerlendirilmesi

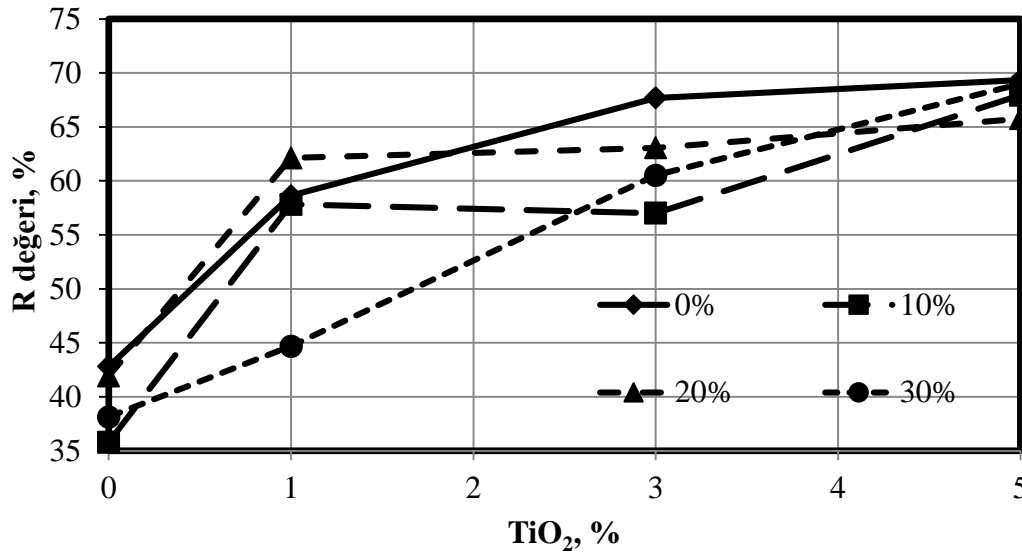
Phenantroquinone deneyinin ikinci grubu açık ortamda gerçekleştirilmiştir. Açık (doğal) ortamda yapılan phenantroquinone deneyinin amacı L, a ve b değerlerinin açık havada güneş ışığı altında, yağmur ve rüzgar gibi dış etkiler ile nasıl bir değişim gösterdiğini incelemektir. Bu deney grubunun numuneleri yanyana vaziyette dış ortamda bekletilmiştir. Kolorimetrik okuma zamanları başlangıç (0 saat) ve 28 günlük şeklinde olmuştur. Açık ortamda yapılan phenantroquinone deneyinde numuneler uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve sepiyolit içermesine göre farklı başlıklar altında incelenmişlerdir.

5.2.3.1 Uçucu kül içeren numunelerin deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Uçucu kül içeren numuneler ile yapılan doğal ortamdaki phenantroquinone deneyinin sonucunda elde edilen veriler şekiller ve çizelgeler ile verilmiştir. Çizelge 5.22’de 0 saatlik (başlangıç) ve 28 günlük okumalar gösterilmiştir. Şekil 5.25’de 28 günlük R renk kaybı değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.22. Açık ortamdaki uçucu kül içeren numunelerin 0 saatlik (başlangıç) ve 28 günlük phenantroquinone okumaları.

| BAŞLANGIÇ (0 SAAT) ve 28 GÜNLÜK OKUMA DEĞERLERİ(PHENANTROQUINONE) | | | | | | |
|--|---------------|----------|----------|---------------|----------|----------|
| NUMUNELER | 0 SAAT | | | 28 GÜN | | |
| | L | a | b | L | a | b |
| 0T0U | 80,81 | 4,28 | 23,52 | 85,03 | 1,49 | 13,45 |
| 0T10U | 80,74 | 4,96 | 25,48 | 84,37 | 2,35 | 16,36 |
| 0T20U | 80,63 | 5,34 | 26,31 | 85,36 | 2,38 | 15,28 |
| 0T30U | 81,28 | 3,72 | 26,48 | 84,31 | 2,71 | 16,38 |
| 1T0U | 79,51 | 4,29 | 25,19 | 84,75 | 1,48 | 10,42 |
| 1T10U | 80,37 | 4,38 | 26,74 | 85,19 | 1,39 | 11,28 |
| 1T20U | 82,14 | 4,91 | 27,38 | 87,19 | 2,04 | 10,37 |
| 1T30U | 79,57 | 3,82 | 24,39 | 86,34 | 1,20 | 13,49 |
| 3T0U | 81,20 | 5,20 | 28,31 | 86,49 | 0,97 | 9,15 |
| 3T10U | 78,29 | 4,75 | 24,38 | 85,37 | 0,48 | 10,48 |
| 3T20U | 81,48 | 5,38 | 25,39 | 88,16 | 1,25 | 9,38 |
| 3T30U | 78,37 | 5,18 | 27,48 | 87,25 | 0,86 | 10,85 |
| 5T0U | 79,58 | 4,93 | 26,83 | 86,49 | 0,43 | 8,23 |
| 5T10U | 81,46 | 4,53 | 26,48 | 85,37 | 0,74 | 8,49 |
| 5T20U | 80,73 | 5,28 | 27,10 | 86,20 | 0,38 | 9,28 |
| 5T30U | 82,49 | 5,91 | 26,41 | 87,19 | 0,78 | 8,19 |



Şekil 5.25. Açık ortamdaki uçucu kül içeren numunelerin 28 günlük phenantroquinone renk kaybı değerleri.

Uçucu kül içeren numunelerde açık havada yapılan 28 günlük phenantroquinone okumaları sonucunda elde edilen verilere göre uçucu kül içermeyen (% 0) numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 42,81 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 69,33 olmuştur. % 10 oranında uçucu kül içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 35,79 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 67,94 olmuştur. % 20 oranında uçucu kül içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 41,92 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 65,76 olmuştur. % 30 oranında uçucu kül içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 38,14 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 68,99 olmuştur. Bütün kullanılan yüzdelerin yaklaşık olarak R renk kaybı yüzdeleri birbirlerine yakın çıkmıştır. Bu okumalarda uçucu kül kullanımının kendi kendini temizleme mekanizmasına direkt olarak bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Açık havada yapılan phenantroquinone deneyinde bütün numunelerin diğer okumalarda olduğu gibi en fazla renk kaybı değerlerine % 5 oranında TiO₂ içerdiğinde ulaştıkları görülmüştür.

Kapalı ortamda yapılan 28 günlük phenantroquinone deneyinde, uçucu kül içeren numuneler maksimum 41,66 R renk kaybı yüzde değerine ulaşırken açık havada yapılan deneyde numuneler 68,99 yüzde değerine ulaşmıştır. Numunelerin geçen bu 28 günlük süre zarfında birçok kez yağmura maruz kalması renk kaybı yüzdelerinin % 70' e varmasına sebep olmuştur. Bu durum numunelerin, üzerindeki bileşikleri temizlemesi için su ile fiziksel temizlenmeye ihtiyaç duyduğunu göstermiştir.

Açık havada bırakılan numunelerin L, a, b değerlerinde de kapalı ortamda elde edilen sonuçlardan çok daha farklı sonuçlar elde edilmiştir. Açık havada bırakılan numunelerin L değerlerinde olağan dışı bir artış görülmezken a ve b renk koordinatlarında büyük oranlarda düşüşler görülmüştür. A renk koordinatında % 92'ye varan düşüşler görülmüştür. Bu değişimler kapalı ortamda elde edilen Açık hava ortamına bırakılan numunelerdeki bu değişiklikler diğer katkılar ve diğer saat okumalarında olduğu gibi bu okumada da TiO_2 oranının değişiminden etkilenmiştir. Şekil 5.26'da % 5 oranında TiO_2 içeren uçucu küllü numune ile % 1 oranında TiO_2 içeren numunelerin renk açılma farkı gösterilmiştir.



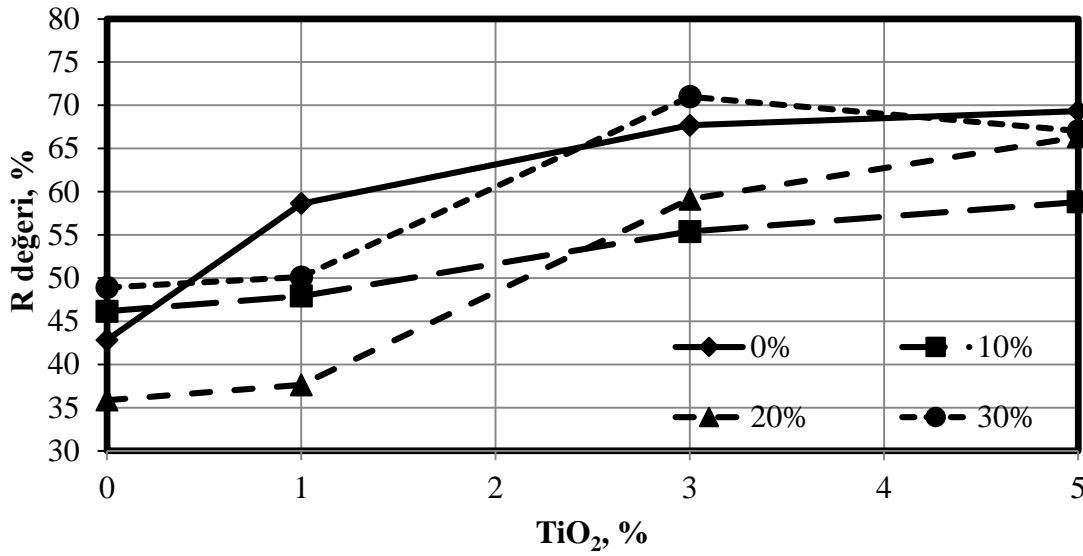
Şekil 5.26. % 5 ve % 1 oranında TiO_2 içeren uçucu küllü numunelerin renk açılma görünümleri.

5.2.3.2 Yüksek fırın cürufu içeren numunelerin deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Yüksek fırın cürufu içeren numuneler ile yapılan doğal ortamdaki phenantroquinone deneyinin sonucunda elde edilen veriler şekiller ve çizelgeler ile verilmiştir. Çizelge 5.23’de 0 saatlik (başlangıç) ve 28 günlük okumalar gösterilmiştir. Şekil 5.27’de 28 günlük R renk kaybı değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.23 Açık ortamdaki yüksek fırın cürufu içeren numunelerin 0 saatlik (başlangıç) phenantroquinone okumaları.

| BAŞLANGIÇ(0 SAAT) ve 28 GÜNLÜK OKUMA DEĞERLERİ(PHENANTROQUINONE) | | | | | | |
|---|---------------|----------|----------|---------------|----------|----------|
| NUMUNELER | 0 SAAT | | | 28 GÜN | | |
| | L | a | b | L | a | b |
| 0T0Y | 80,81 | 4,28 | 23,52 | 85,03 | 1,49 | 13,45 |
| 0T10Y | 81,43 | 3,14 | 25,18 | 83,19 | 1,48 | 13,56 |
| 0T20Y | 81,74 | 4,92 | 25,07 | 84,37 | 2,84 | 16,08 |
| 0T30Y | 80,22 | 4,03 | 26,37 | 85,08 | 1,96 | 13,47 |
| 1T0Y | 79,51 | 4,29 | 25,19 | 84,75 | 1,48 | 10,42 |
| 1T10Y | 81,54 | 4,68 | 26,38 | 84,19 | 0,86 | 13,74 |
| 1T20Y | 81,47 | 5,03 | 25,97 | 86,74 | 1,84 | 16,20 |
| 1T30Y | 82,50 | 3,18 | 28,14 | 87,14 | 0,46 | 14,04 |
| 3T0Y | 81,20 | 5,20 | 28,31 | 86,49 | 0,97 | 9,15 |
| 3T10Y | 83,14 | 3,76 | 24,10 | 88,35 | 1,34 | 10,75 |
| 3T20Y | 86,01 | 4,05 | 23,17 | 91,11 | 1,02 | 9,47 |
| 3T30Y | 81,07 | 4,81 | 25,04 | 87,48 | 0,75 | 7,26 |
| 5T0Y | 79,58 | 4,93 | 26,83 | 86,49 | 0,43 | 8,23 |
| 5T10Y | 83,67 | 3,47 | 26,78 | 88,73 | 0,39 | 11,03 |
| 5T20Y | 83,49 | 4,96 | 26,67 | 89,37 | 0,58 | 8,98 |
| 5T30Y | 83,29 | 3,85 | 25,18 | 90,80 | 0,47 | 8,30 |



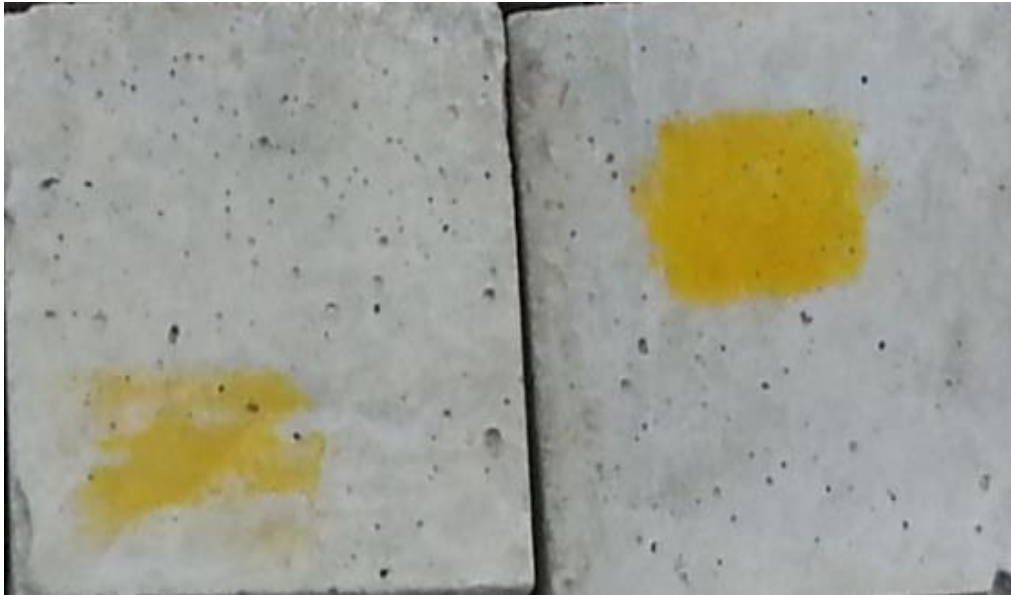
Şekil 5.27. Açık ortamdaki yüksek fırın cürufu içeren numunelerin 28 günlük phenantroquinone renk kaybı değerleri.

Yüksek fırın cürufu içeren numunelerde açık havada yapılan 28 günlük phenantroquinone okumaları sonucunda elde edilen verilere göre yüksek fırın cürufu içermeyen (% 0) numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 42,81 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 69,33 olmuştur. % 10 oranında yüksek fırın cürufu içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 46,15 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 58,81 olmuştur. % 20 oranında yüksek fırın cürufu içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 35,86 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 66,33 olmuştur. % 30 oranında yüksek fırın cürufu içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 48,92 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 67,04 olmuştur. Değerler sonucunda en fazla R renk kaybı yüzdelerine sırası ile % 0, % 30, % 20 ve % 10 oranlarında yüksek fırın cürufu içeren numuneler sahip olmuştur. Yüksek fırın cürufu yüzdeleri ile renk kaybı değerleri arasında herhangi bir korelasyon kurulamaması; yüksek fırın cürufunun kendi kendini temizleyen betonlarda kullanılmasına herhangi bir engel teşkil etmediğini göstermiştir.

Uçucu kül içeren numuneler ile kıyaslandığında % 30, % 20 ve % 0'lık kullanımlarda benzer sonuçlar elde edilirken; % 10'luk kullanımlarda uçucu kül içeren numuneler daha fazla R renk kaybı değerlerine ulaşmışlardır. L, a, b değerlerindeki değişimler de uçucu kül içeren numuneler ile benzer oranlarda değişmiştir. A ve b renk koordinatları zamanla azalırken L parlaklık değerlerinde artışlar görülmüştür.

% 20, % 10 ve % 0'lık yüksek fırın cürufu kullanımlarında maksimum renk kaybı değerlerine ulaşan numuneler % 5 oranında TiO_2 içeren numuneler olurken, % 30'luk katkı kullanımında maksimum R renk kaybı yüzde değerine %3 oranında TiO_2 içeren numune ulaşmıştır.

Kapalı ortamda yapılan 28 günlük phenantroquinone deneyinde, yüksek fırın cürufu içeren numuneler maksimum 33,83 R renk kaybı yüzde değerine ulaşırken açık havada yapılan deneyde numuneler 71,01 yüzde değerine ulaşmıştır. Bu durum yüksek fırın cürufu içeren numunelerin, üzerindeki bileşikleri temizlemesi için su ile fiziksel temizlenmeye ihtiyaç duyduğunu göstermiştir. Şekil 5.28'de % 5 oranında TiO_2 içeren yüksek fırın cürüflü numune ile % 0 oranında TiO_2 içeren numunelerin renk açılma farkı gösterilmiştir.



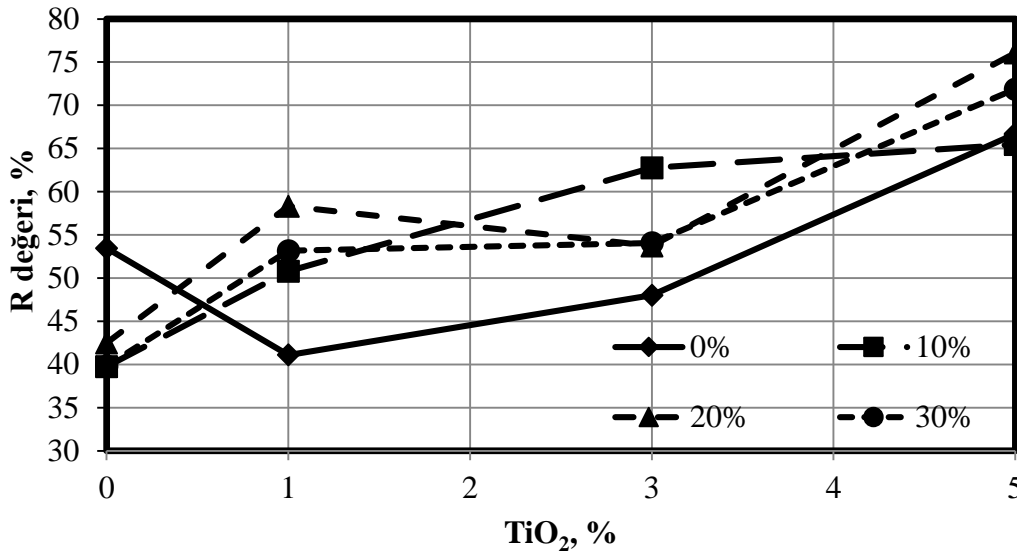
Şekil 5.28. % 5 ve % 0 oranında TiO_2 içeren yüksek fırın cürüflü numunelerin renk açılma görünümleri.

5.2.3.3 Sepiyolit içeren numunelerin deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Sepiyolit içeren numuneler ile yapılan doğal ortamdaki phenantroquinone deneyinin sonucunda elde edilen veriler şekiller ve çizelgeler ile verilmiştir. Çizelge 5.24’de 0 saatlik (başlangıç) ve 28 günlük okumalar gösterilmiştir. Şekil 5.29’da 28 günlük R renk kaybı değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.24. Açık ortamdaki sepiyolit içeren numunelerin 0 saatlik (başlangıç) phenantroquinone okumaları.

| BAŞLANGIÇ(0 SAAT) ve 28 GÜNLÜK OKUMA DEĞERLERİ(PHENANTROQUINONE) | | | | | | |
|---|---------------|----------|----------|---------------|----------|----------|
| NUMUNELER | 0 SAAT | | | 28 GÜN | | |
| | L | a | b | L | a | b |
| 0T0S | 85,35 | 4,28 | 26,38 | 88,54 | 1,25 | 12,28 |
| 0T10S | 85,17 | 4,19 | 25,49 | 89,06 | 2,35 | 15,36 |
| 0T20S | 84,20 | 5,02 | 25,66 | 88,41 | 2,36 | 14,68 |
| 0T30S | 86,17 | 3,74 | 26,14 | 90,30 | 1,84 | 15,73 |
| 1T0S | 84,76 | 3,52 | 27,30 | 89,37 | 1,52 | 16,08 |
| 1T10S | 85,46 | 3,88 | 25,18 | 90,49 | 1,77 | 12,39 |
| 1T20S | 85,94 | 4,30 | 24,92 | 88,08 | 2,16 | 10,39 |
| 1T30S | 84,36 | 4,84 | 25,08 | 90,66 | 1,85 | 11,75 |
| 3T0S | 84,09 | 3,69 | 24,79 | 90,47 | 1,36 | 12,89 |
| 3T10S | 85,80 | 3,52 | 25,19 | 91,39 | 0,98 | 9,38 |
| 3T20S | 87,34 | 3,91 | 26,44 | 93,80 | 1,15 | 12,24 |
| 3T30S | 88,25 | 4,67 | 26,30 | 97,15 | 1,25 | 12,08 |
| 5T0S | 85,77 | 5,18 | 28,48 | 92,34 | 1,40 | 9,48 |
| 5T10S | 86,94 | 4,28 | 25,07 | 93,36 | 1,08 | 8,66 |
| 5T20S | 83,57 | 3,55 | 26,36 | 89,78 | 0,56 | 6,31 |
| 5T30S | 86,38 | 3,48 | 26,95 | 94,02 | 0,74 | 7,58 |



Şekil 5.29. Açık ortamdaki sepiyolit içeren numunelerin 28 günlük phenantroquinone renk kaybı değerleri.

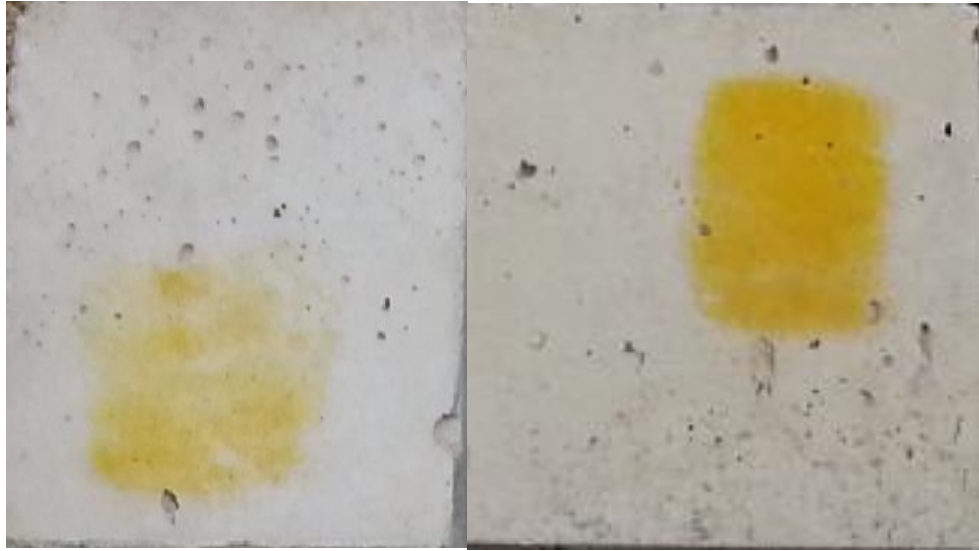
Sepiyolit içeren numunelerde açık havada yapılan 28 günlük phenantroquinone okumaları sonucunda elde edilen verilere göre sepiyolit içermeyen (% 0) numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 53,45 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 66,71 olmuştur. % 10 oranında sepiyolit içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 39,74 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 65,46 olmuştur. % 20 oranında sepiyolit içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 42,49 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 76,06 olmuştur. % 30 oranında sepiyolit içeren numuneler incelendiğinde; % 0 TiO₂ içeren numunelerde R değeri 39,82 iken % 5 TiO₂ içeren numunelerde R değeri artış göstererek 71,87 olmuştur. Değerler sonucunda en fazla R renk kaybı yüzdelerine sırası ile % 20, % 30, % 0 ve % 10 oranlarında sepiyolit içeren numuneler sahip olmuştur.

Yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve sepiyolit içeren numunelerin açık ortamdaki kendi kendini temizleme performansları kıyaslandığında % 30 ve % 20'lik kullanımlarda en fazla renk kaybı değerlerini sepiyolit içeren numuneler elde ederken, % 10 ve % 0'lık kullanımlarda numuneler genel olarak birbirlerine yakın değerler elde etmişlerdir. Yüksek oranlı kullanımlarda bu üç katkı arasından sepiyolit ön plana çıkmıştır.

Kapalı ortamda yapılan 28 günlük phenantroquinone deneyinde, sepiyolit içeren numuneler maksimum 45,04 R renk kaybı yüzde değerine ulaşırken açık havada yapılan deneyde numuneler 76,06 yüzde değerine ulaşmıştır. Bu durum yüksek fırın cürufu içeren numunelerin, üzerindeki bileşikleri temizlemesi için su ile fiziksel temizlenmeye ihtiyaç duyduğunu göstermiştir.

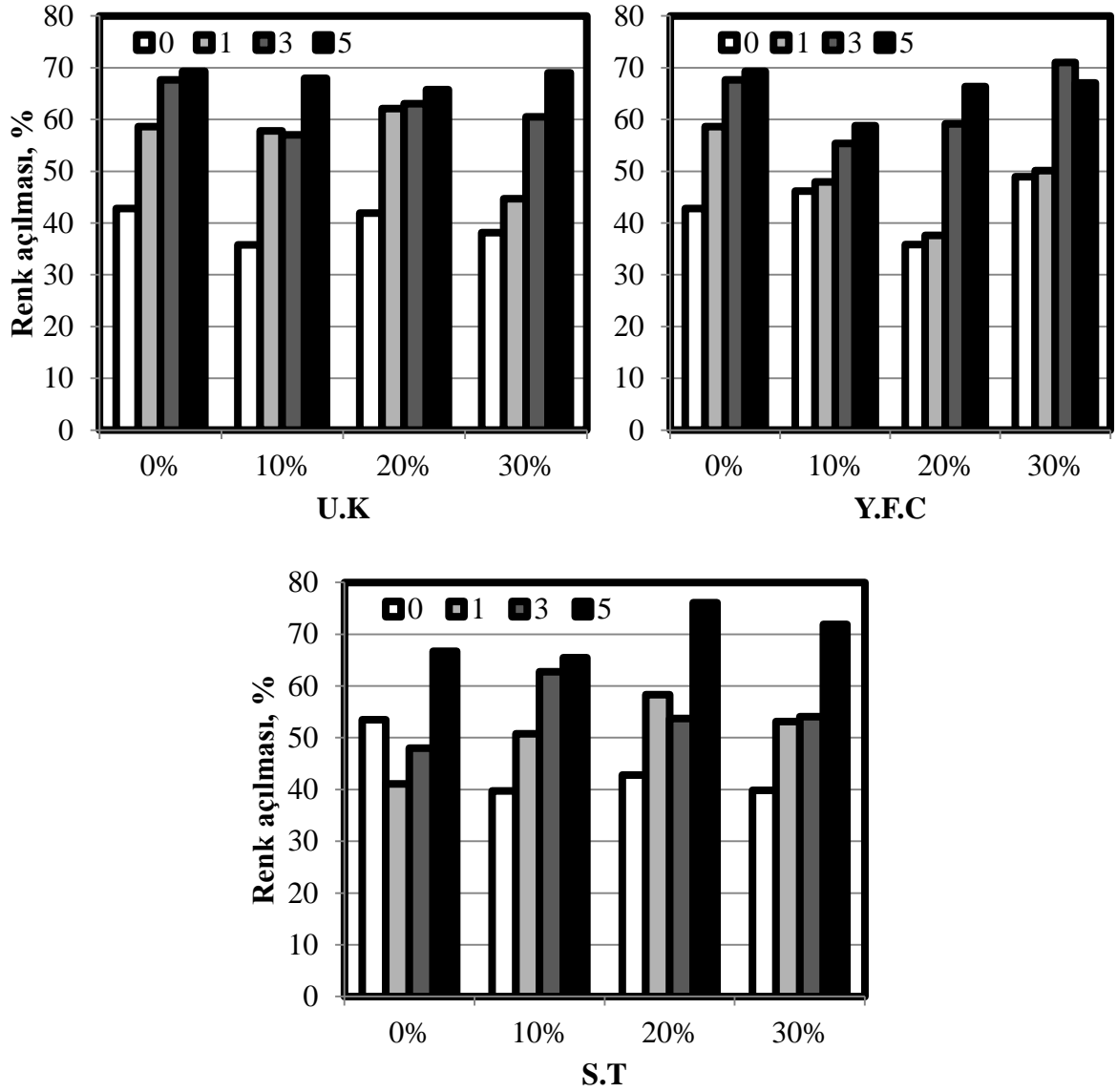
Deneyleerde kullanılan üç atık katkı malzemesi ile oluşturulan numunelerin hepsinde renk açılması gözlenmiştir. Bu duruma bağlı olarak hepsinin a ve b renk koordinatlarında azalma görülürken L parlaklık değerlerinde artış görülmüştür.

Deneyleerde kullanılan üç atık katkı malzemesi ile oluşturulan numunelerin hepsinde TiO_2 oranındaki artış sebebi ile renk kaybı oranlarında artışlar görülmüştür. Bu sonuçlar neticesinde TiO_2 'in fotokataliz reaksiyonlarında aktif rol aldığı görülmüştür. Şekil 5.30'da % 5 oranında TiO_2 içeren sepiyolitli numune ile % 0 oranında TiO_2 içeren numunelerin renk açılma farkı gösterilmiştir.



Şekil 5.30. % 5 ve % 0 oranında TiO_2 içeren sepiyolitli numunelerin renk açılma görünümleri.

Bütün katkı türlerinin açık ortamda zamanla ne kadar renk açılması gerçekleştirdiği Şekil 5.31'deki grafiklerde gösterilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda uçucu kül içeren numuneler yüksek fırın cürufuna kıyasla daha iyi performans gösterirken maksimum renk açılma değerleri sepiyolit içeren numunelerde elde edilmiştir.



Şekil 5.31. Açık ortamdaki numunelerin 28 günlük phenantroquinone renk kaybı değerleri.

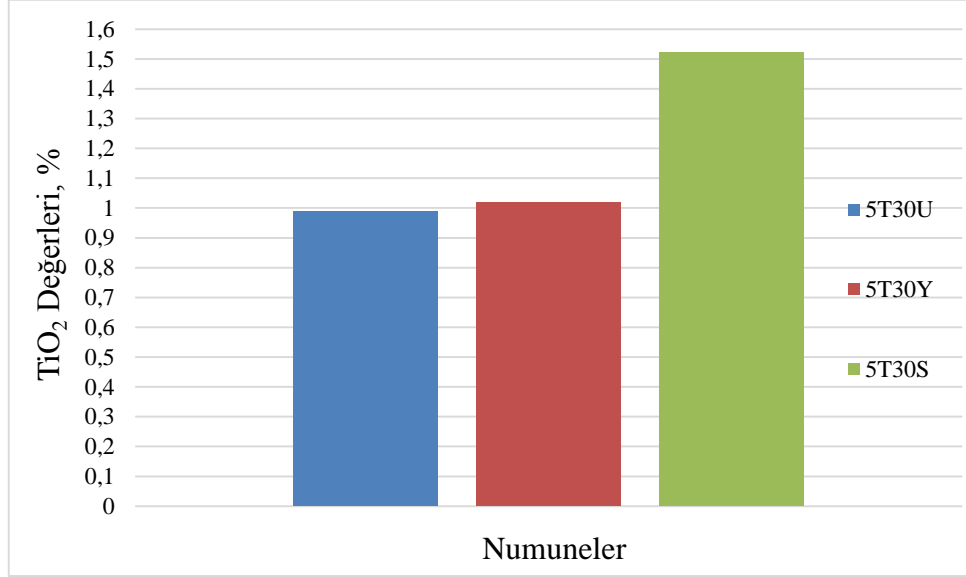
5.3 XRF Deneý Sonuçları ve Deęerlendirmesi

Maksimum oranda TiO_2 ve maksimum oranda katkı içeren numunelerden 5T30U, 5T30Y ve 5T30S kodlu u adet numunenin XRF deneyi ile kimyasal analizi yapılmıştır. Bu u adet numunenin XRF deneyi sonucunda elde edilen veriler izelge 5.25’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.25. 5T30U, 5T30Y ve 5T30S kodlu numunelerin XRF deneyi sonuçları.

| Bileşenler | Yüzde Değerleri, % | | |
|--------------------------------|--------------------|---------|---------|
| | 5T30U | 5T30Y | 5T30S |
| Sodyum Oksit (Na_2O) | 0,2125 | X | 0,2439 |
| Magnezyum Oksit (MgO) | 2,2964 | 2,6241 | 5,7087 |
| Alüminyum Oksit (Al_2O_3) | 3,2473 | 3,3694 | 2,6841 |
| Silisyum Oksit (SiO) | 9,7963 | 9,7496 | 11,3278 |
| Fosfor Pentaoksit (P_2O_5) | 0,0457 | 0,0435 | 0,0664 |
| Kükürt Trioksit (SO_3) | 0,7873 | 0,8489 | 1,2427 |
| Potasyum Oksit (K_2O) | 0,2353 | 0,1498 | 0,1099 |
| Kalsiyum Oksit (CaO) | 45,8425 | 47,1739 | 60,8962 |
| Titanyum Dioksit (TiO_2) | 0,9886 | 1,0192 | 1,5214 |
| Krom Oksit (Cr_2O_3) | 0,0758 | 0,0623 | 0,0896 |
| Mangan Oksit (MnO) | 0,0426 | 0,1423 | X |
| Tellür Dioksit (TeO_2) | X | X | 0,1816 |
| Demir Oksit (Fe_2O_3) | 1,8305 | 0,9929 | 0,9606 |
| Baryum Oksit (BaO) | 0,2091 | X | 0,4132 |
| A.Z. | 34,3900 | 33,824 | 14,554 |

Numunelerin yapısında bulunan TiO_2 yüzdeleri, XRF analiz yöntemi ile tespit edilmiş olup bu değerler Şekil 5.32’de gösterilmiştir.



Şekil 5.32. 5T30U, 5T30Y ve 5T30S kodlu numunelerin içerdikleri TiO_2 yüzdeleri.

XRF analiz yöntemi ile elde edilen sonuçlara göre 5T30U numunesi % 0,9886, 5T30Y numunesi % 1,0192, 5T30S numunesi ise % 1,5214 oranında TiO_2 içermektedir. En yüksek TiO_2 yüzdesi sepiyolit içeren numunede görülmüştür. Beton numunelerinin hazırlanırken segregasyon yaratılmadığı ve homojen olarak karıştığı göz önünde bulundurulursa, sepiyolit içeren numunelerin TiO_2 ile uçucu kül ve yüksek fırın cürufu içeren numunelere kıyasla daha az reaksiyona girdiği söylenilebilir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan deneysel çalışmalar ile ilgili aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Numunelerin taze ve sertleşmiş beton özellikleri sırası ile incelendiğinde; uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun betondaki kullanım yüzdesi arttıkça çökme değerlerinde % 67'ye varan artmalar görülürken sepiyolit malzemesinin betondaki kullanım yüzdesi arttıkça çökme değerlerinde % 37'e varan azalmalar görülmüştür. Numunelerin birim ağırlık değerleri incelendiğinde, bütün numune tiplerinde katkı yüzdesi artışına bağlı olarak birim ağırlık düşüşleri görülmüştür. Çimento yerine ikame olunan katkıların çimentodan daha düşük birim ağırlık değerlerine sahip olmaları, kullanılan katkı yüzdesi arttıkça birim ağırlık değerlerinin düşmesine sebep olmuştur. Numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri incelendiğinde, birim ağırlık değerlerinde olduğu gibi katkı yüzdesi artışına bağlı olarak ultrases geçiş hızı düşüşleri görülmüştür. Katkı yüzdesinin artışına bağlı olarak gerçekleşen birim ağırlıklardaki azalmalar, bütün numunelerin katkı yüzdesi arttıkça ultra ses geçiş hızlarının düşmesini sağlamıştır. Numunelerin basınç dayanımı değerleri incelendiğinde, CEM I 42,5 R gri çimento içeren uçucu kül ve yüksek fırın cürufu numunelerin beton basınç dayanımları birbirlerine yakın değerlerde çıkarken, CEM I 52,5 R beyaz çimento içeren sepiyolitli numunelerin beton basınç dayanımları daha yüksek değerlerde çıkmıştır. Katkı yüzdesi artışına bağlı olarak bütün tip numunelerde % 25'e varan dayanım düşüşleri görülmüştür. Elde edilen verilerde, TiO_2 kullanımının numunelerde belirgin bir dayanım farklılığı yaratmadığı görülmüştür.

- Uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve sepiyolit içeren numunelerin 26 saatlik Rhodamine-B deneyindeki renk kaybı değerleri (R) 0,41-14,47 aralığında değişmiştir. 26 saatlik süre sonunda TiO_2 'in fotokataliz reaksiyonlarını gerçekleştirdiği deney sonuçları ile görülmüştür. 28 günlük Rhodamine-B deneyinde atık katkı malzemeleri içeren numunelerin renk kaybı değerleri (R) 2,44 - 66,67 aralığında değişmiştir. Bütün numuneler genel olarak maksimum renk kaybı değerlerine % 5 oranında TiO_2 içerdiklerinde ulaşımlardır.

- Kapalı ortamda yapılan 116 saatlik phenantroquinone deneyinde 116 saatlik phenantroquinone deneyinde atık katkı malzemeleri içeren numunelerin R renk kaybı değerleri 1,34 - 17,18 aralığında değişmiştir. 28 günlük phenantroquinone deneyinde, atık katkı malzemeleri içeren numunelerin R renk kaybı değerleri 6,03 - 45,04 aralığında değişmiştir. Bütün numuneler genel olarak maksimum renk kaybı değerlerine % 5 oranında TiO_2 içerdiklerinde ulaşmışlardır. Sadece sepiyolit içermeyen (% 0) beyaz çimentolu numuneler maksimum renk kaybı değerine % 3 oranında TiO_2 içerdiklerinde ulaşmışlardır. 28 günlük phenantroquinone deneyi sonucunda bütün atık katkı malzemelerinde a ve b renk koordinatları zamana bağlı olarak azalırken L parlaklık değerleri zamana bağlı olarak artış göstermiştir. Bu değişim miktarları numunelerdeki TiO_2 miktarları ile paralel değişimler göstermiştir.
- 28 günlük Rhodamine-B deneyinde maksimum 66,67 renk kaybı değerine ulaşılırken 28 günlük phenantroquinone deneyinde maksimum 45,04 renk kaybı değerine ulaşılmıştır. Bu durum iki farklı kimyasalın yapısından kaynaklanmaktadır.
- Kapalı ortamda yapılan 28 günlük phenantroquinone deneyinde, uçucu kül içeren numuneler maksimum 41,66 R renk kaybı yüzde değerine ulaşırken açık havada yapılan deneyde numuneler 68,99 yüzde değerine ulaşmıştır. Yüksek fırın cürufu içeren numuneler kapalı ortamda maksimum 33,83 R renk kaybı yüzde değerine ulaşırken açık havada yapılan deneyde numuneler 71,01 yüzde değerine ulaşmıştır. Sepiyolit içeren numuneler ise kapalı ortamda maksimum 45,04 R renk kaybı yüzde değerine ulaşırken açık havada yapılan deneyde numuneler 76,06 renk kaybı değerine ulaşmıştır. Phenantroquinone deneyinde 28 gün sonunda açık ortamda elde edilen renk kaybı değerleri; kapalı ortamda elde edilen 28 günlük değerlerden oldukça fazla çıkmıştır. Açık ortamda numunelerin maruz kaldığı yağmur ve rüzgar gibi dış etkiler bu durumun ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu durum kendi kendini temizleme mekanizmasının, fotokataliz reaksiyonları haricinde su ile temizleme gibi fiziksel müdahalelere ihtiyacının olduğunu göstermiştir.
- Deneylerde kullanılan uçucu kül, sepiyolit ve yüksek fırın cürufunun kendi kendini temizleme mekanizmasına genel olarak olumsuz bir etkisi görülmemiştir. Bu durum birer endüstriyel atık olan bu malzemelerin kendi kendini temizleyen betonlarda kullanımı açısından olumlu bir sonuçtur.

- Bütün kendi kendini temizleme deneylerinde TiO_2 'in %5 oranında kullanıldığında diğer yüzdelere genel olarak daha fazla renk kaybı değerleri elde ettiği görülmüştür. %5 oranında kullanılan TiO_2 'in kendi kendini temizleme işlevini yerine getirdiği verilerle okunmuştur.
- XRF analiz yöntemi ile üç farklı numunenin yüzeyinde bulunan TiO_2 miktarları ölçülmüştür. En yüksek TiO_2 yüzdesi sepiyolit içeren numunede görülmüştür.

Ortaya çıkan bu sonuçlara göre kendi kendini temizleyen betonlarda katkı yüzdesinin artmasının basınç dayanımı, birim ağırlık, ultrases geçiş hızı gibi değerleri düşürdüğü görülmüştür. TiO_2 yüzdesinin artması ile bu değerlerde kritik değişimler elde edilememiştir. Kendi kendini temizleyen betonlarda % 30 oranındaki uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve sepiyolit kullanımının dayanımı % 25'lere varan seviyelerde düşürdüğü görülmüştür. Ancak bu tip katkıların betonda kullanılmasının ekonomiklik ve çevreye olan katkısından ötürü % 10 seviyelerinde kullanmanın yararlı olacağı düşünülmektedir. Deneylerde maksimum kendi kendini temizleme performansı % 5 oranında TiO_2 kullanılması ile elde edilmiştir. TiO_2 'in beton özelliklerine olumsuz bir etkisi de görülmediğinden kendi kendini temizleyen betonlarda % 5 oranında kullanımı uygundur. Bu çalışmaya ilave olarak metal modifiyeli TiO_2 , anataz-rutil karışimli TiO_2 ve farklı katkıları kullanılarak bu betonların fotokatalitik performansı kıyaslanabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abrams, B. L., Vesborg, P.C.K., 2013, Catalysts for environmental remediation – Examples in photo and heterogeneous catalysis, *Catalysis for Remediation and Environmental Conserns*, 64-65.
- Affam, A.C., Chaudhuri, M., 2013, Degradation of pesticides chlorpyrifos, cypermethrin and chlorothalonil in aqueous solution by TiO₂ photocatalysis, *Journal of Environmental Management*, 130, 160-165.
- Ângelo, J., Andrade, L., Madeira, L. M., Mendes, A., 2013, An overview of photocatalysis phenomena applied to NO_x abatement, *Journal of Environmental Management*, 129, 522-539.
- Aysin, B., 2012, Photocatalytic properties of silver loaded titanium dioxide powders produced by mechanical ball milling, M.Sc. thesis, Middle East Technical University, 89 p.
- Awadalla, A., Zain, M.F.M., Kadhum, A.A.H., Abdalla, Z., 2011, Titanium dioxide as photocatalyses to create self cleaning concrete and improve indoor air quality, *International Journal of the Physical Sciences*, 6 (29), 6767-6774.
- Barbesta, M., Schaffer, D., 2009, Concrete that cleans itself and the air, *Concrete International*, 31 (2), 49-51.
- Barnett, S.J., Soutsos, M.N., Millard, S.G., Bungey, J.H., 2006, Strength development of mortars containing ground granulated blast-furnace slag: Effect of curing temperature and determination of apparent activation energies, *Cement and Concrete Research*, 36, 434-440.
- Beycioğlu, A., Başığıt, C., Subaşı, S., 2008, Endüstriyel atıkların inşaat sektöründe kullanımı ile geri kazanılması ve çevresel etkilerinin azaltılması, *Çevre Sorunları Sempozyumu Kocaeli*, 1386-1394.
- Bilim, C., 2006, Yüksek fırın cürufu katkısının çimento tabanlı malzemelerde kullanılabilirliği, Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi, 206 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Binici, H., Eken, M., Dinçer, A., 2013, Silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu katkılı betonların bazı durabilite özellikleri, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28(1), 11-20.
- Biolzi, L., Luzio, G.D., Labuz, J.F., 2013, Mechanical properties of photocatalytic white concrete subjected to high temperatures, Cement and Concrete Composites, 39, 73-81.
- Büyükpınar, Ç., 2011, Yüzeyi farklı karboksilik asitlerle modifiye edilerek yeni TiO₂ fotokatalizörlerin hazırlanması ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 92 s.
- Carp, O., Huisman, C.L., Reller, A., 2004, Photoinduced reactivity of titanium dioxide, Progress in Solid State Chemistry, 32, 33-177.
- Chang, J.A., Vithal, M., Baek, I.C., Seok, S., 2009, Morphological and phase evolution of TiO₂ nanocrystals prepared from peroxotitanate complex aqueous solution: Influence of acetic acid, Journal of Solid State Chemistry, 182, 749-756.
- Chen, J., Poon, C., 2009, Photocatalytic construction and building materials: From fundamental to applications, Building and Environment, 44, 1899-1906.
- Chen, J., Kou, S., Poon, C., 2011, Photocatalytic cement-based materials: Comparison of nitrogen oxides and toluene removal potentials and evaluation of self-cleaning performance, 46, 1827-1833.
- Costa, A. L., Ortelli, S., Blosi, M., Albonetti, S., Vaccari, A., vd., 2013, TiO₂ based photocatalytic coatings: From nanostructure to functional properties, Chemical Engineering Journal, 225, 880-886.
- Cullity, B. D., 1966, X-ışınlarının Difraksiyonu, (Çev. A. Sümer), İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, s. 426-427.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Diamanti, M.V., Ormellese, M., Pedferri, M., 2008, Characterization of photocatalytic and superhydrophilic properties of mortars containing titanium dioxide, *Cement and Concrete Research*, 38, 1349-1353.
- Diamanti, M.V., Lollini, F., Pedferri, M.P., Bertolini, L., 2013, Mutual interactions between carbonation and titanium dioxide photoactivity in concrete, *Building and Environment*, 62, 174-181.
- Erdoğan, T.Y., 2007, *Beton*, ODTÜ yayıncılık, s. 213-574.
- Ergün, A., Kürklü, G., 2005, Mevcut betonarme yapılarda beton dayanımının belirlenmesi, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli.
- Fiore, A., Marano, G.C., Monaco, P., Morbi, A., 2013, Preliminary experimental study on the effects of surface-applied photocatalytic products on the durability of reinforced concrete, *Construction and Building Materials*, 48, 137-143.
- Folli, A., Jakobsen, U.H., Guerrini, G.L., Macphee, D.E., 2009, Rhodamine-B discolouration on TiO_2 in the cement environment: A look at fundamental aspects of the self-cleaning effect in concretes, *Journal of Advanced Oxidation Technologies*, 12 (1), 126-133.
- Folli, A., Macphee, D.E., 2010, Photocatalytic cement: influence of TiO_2 particle size on photocatalytic performances, 8th fib International PhD Symposium in Civil Engineering.
- Folli, A., Pade, C., Hansen, T.B., Marco, T.D., Macphee, D.E., 2012, TiO_2 photocatalysis in cementitious systems: Insights into self-cleaning and depollution chemistry, *Cement and Concrete Research*, 42, 539-548.
- Fujishima, A., Zhang, X., Tryk, D. A., 2008, TiO_2 photocatalysis and related surface phenomena, *Surface Science Reports* 63, 515-582.
- Göçer, C., 2005, Beton esaslı prefabrike cephe panellerinde yüzey özelliklerine bağlı atmosferik kirlenme etkisi, *Çatı Cephe Fuarı*.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Guo, M.Z., Ling, T.C., Poon, C.S., 2012, TiO₂-based self-compacting glass mortar: Comparison of photocatalytic nitrogen oxide removal and bacteria inactivation, *Building and Environment*, 53, 1-6.
- Güler, G., Güler, E., İpekoğlu, Ü., Mordoğan, H., 2005, Uçucu Küllerin Özellikleri ve Kullanım Alanları, Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı, İzmir.
- Gürbüz, M., Solaş, A., Küçük, A., Göktaş, A., Doğan, A., 2009, Nanoteknoloji ile çevredostu fotokatalitik ve antimikrobiyal seramik malzemelerin üretilmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Özel sayı, 217-221.
- Gür, M., 2010, Nanomimarlık bağlamında nanomalzemeler, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 15 (2).
- Güven, M., 2008, Sivrihisar yöresi sepiyoliti'nin su adsorpsiyon özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 76 s.
- Hanus, M.J., Harris, A.T., 2013, Nanotechnology innovations for the construction industry, *Progress in Materials Science*, 58, 1056-1102.
- Hoffman, M.R., Martin, S.T., Choi, W., Bahnemann, D.W., 1995, Environmental applications of semiconductor photocatalysis, *Chemical Reviews*, 95, 69-96.
- Hunger, M., Brouwers, H.J.H., 2009, Self-cleaning surfaces as an innovative potential for sustainable concrete, *Excellence in Concrete Construction through Innovation*, 545-552.
- Hüsken, G., Hunger, M., Brouwers, H.J.H., 2009, Experimental study of photocatalytic concrete products for air purification, *Building and Environment*, 44 (12), 2463-2474.
- Janus, M., Zatorska, J., Czyewski, A., Bubacz, K., Nejman, E.K., vd., 2015, Self-cleaning properties of cement plates loaded with N, C-modified TiO₂ photocatalysts, *Applied Surface Science*, 330, 200-206.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Karagüler, M.E., 2014, Mimari beton uygulamaları, Hazır Beton, 125, 73-83.

Kayır, Y.Z., Baççıl E.G., 2010, Nanoteknoloji nedir?, Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 15.

Kepoğlu, C., 2014, Kişisel bakım ürünleri ve gri atıksu numunelerinin ozon ve fotokataliz ile arıtımı, toksisite incelemesi, Yüksek Lisans tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 92 s.

Krishnan, P., Zhang, M.H., Yu, L., Feng, H., 2013, Photocatalytic degradation of particulate pollutants and self-cleaning performance of TiO₂-containing silicate coating and mortar, Constructions and Buildings Materials, 44, 309-316.

Li, W.X., 2013, Photocatalysis of oxide semiconductors, Journal of the Australian Ceramic Society Volume, 49 (2), 41-46.

Lucas, S.S., Ferreira, V.M., Barroso de Aguiar, J.L., 2013, Incorporation of titanium dioxide nanoparticles in mortars - Influence of microstructure in the hardened state properties and photocatalytic activity, Cement and Concrete Research, 43, 112-120.

Melo, J.V.S., Triches, G., 2012, Evaluation of the influence of environmental conditions on the efficiency of photocatalytic coatings in the degradation of nitrogen oxides (NO_x), Building and Environment, 49, 117-123.

Mendoza, C., Valle, A., Castellote, M., Bahamonde, A., Faraldos, M., 2015, TiO₂ and TiO₂-SiO₂ coated cement: Comparison of mechanic and photocatalytic properties, Applied Catalysis B: Environmental, 178, 155-164.

Nakata, K., Ochiai, T., Murakami, T., Fujishima, A., 2012, Photoenergy conversion with TiO₂ photocatalysis: New materials and recent applications, Electrochimica Acta, 84, 103-111.

Nakata, K., Fujishima, A., 2012, TiO₂ photocatalysis: Design and applications, Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews, 13, 169-189.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ni, M., Leung, M.K.H., Leung, D.Y.C., Sumathy, L.K., 2007, A review and recent developments in photocatalytic water-splitting using TiO_2 for hydrogen production, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, 401-425.
- Ohtani, B., 2008, Preparing articles on photocatalysis—Beyond the illusions, misconceptions, and speculation, *Chemistry Letters*, 37 (3), 216-229.
- Orhon, A.V., 2014, Kendini Temizleyen Cephe Sistemleri, 7. Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu.
- Özel, C., 2007, Katkılı betonların reolojik özelliklerinin taze beton deney yöntemlerine göre belirlenmesi, Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 249 s.
- Pal, S.C., Mukherjee, A., Pathak, S.R., 2003, Investigation of hydraulic activity of ground granulated blast furnace slag in concrete, *Cement and Concrete Research*, 33, 1481-1486.
- Park, J.H., Kim, S., Bard, A.J., 2006, Novel carbon-doped TiO_2 nanotube arrays with high aspect ratios for efficient solar water splitting, *Nano Letters*, 6(1), 24-28.
- PİCADA, 2006, Photocatalytic innovative coverings applications for de-pollution assessment', EC GRD1-2001-40449.
- Ramirez, A.M., Demeestere, K., Belie, N.D., 2012, Photocatalytic activity of titanium dioxide nanoparticle coatings applied on autoclaved aerated concrete: Effect of weatharing on coathing physical characteristics and gaseous toluene removal, *Journal of Hazardous Materials*, 211-212, 218-225.
- Ruot, B., Plassais, A., Olive, F., Guillot, L., Bonafous, L., 2009, TiO_2 -containing cement pastes and mortars: Measurements of the photocatalytic efficiency using a Rhodamine B-based colourimetric test, *Solar Energy*, 83, 1794-1801.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Sabah, E., Çelik, M.S., 1999, Sepiyolit: Özellikleri ve kullanım alanları, 3.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu.
- Sabah, E., Güney, E., 2013, Sepiyolite aromatik (BDMHDA-Cl) ve alifatik (HDTMA-Cl) amin adsorpsiyonu, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13, 19-24.
- Saran, A.G., 2007, Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun betonun durabilite özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 156 s.
- Sikora, P., Horszczaruk, E., Rucinska T., 2015, The effect of nanosilica and titanium dioxide on the mechanical and self-cleaning properties of waste-glass cement mortar, Procedia Engineering, 108, 146-153.
- Singh, L.P., Karade, S.R., Bhattacharyya, S.K., Yousuf, M.M., Ahalawat, S., 2013, Beneficial role of nanosilica in cement based materials-A review, Construction and Building Materials, 47, 1069-1077.
- Stamate, M., Lazar, G., 2007, Application of titanium dioxide photocatalysis to create self-cleaning materials, Romanian Technical Sciences Academy, 3, 280-285.
- Tekin, G., 2004, Perlit ve sepiyolit'in amonyumheptamolibdat ile modifikasyonu ve elektrokinetik özellikleri, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6 (2), 35-49.
- Temirel, A., Palamutçu, S., 2011, Fonksiyonel tekstiller III: Tekstil yüzeylerinde fotokatalitik etki ile kendi kendini temizleme, Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, 5 (2), 35-50.
- Topçu, İ.B., Canbaz M., 2001, Uçucu kül kullanımının betondaki etkileri, Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 14 (2).
- Topçu, İ.B., Canbaz M., 2008, Alkali aktive edilmiş yüksek fırın cürufu harçlarda asit etkisi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 16, 69-79.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Topçu, İ.B., Canbaz M., 2009, Sülfatlı ortamların alkalilerle aktive edilmiş yüksek fırın cürüflü harçların mikroyapısına etkisi, Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 10 (1), 309-318.
- Torgal, F.P., Jalali, S., 2011, Nanotechnology: Advantages and drawbacks in the field of construction and building metarials, Construction and Building Metarials, 25, 582-590.
- Tuygun, C.S., 2002, Çayırhan uçucu külünün betonun mekanik özelliklerine etkisi ve etkinlik faktörünün incelenmesi, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 76 s.
- TX Active, 2009, Photocatalytic concrete technology, Technical Report, Essroc Italcementi Group, 59 p.
- UNI 11259, Determination of the photocatalytic activity of hydraulic binders rodamina test method, Şubat 2008.
- Üren, A., 1999, Üç boyutlu renk ölçme yöntemleri, Gıda, 24 (3), 193-200.
- Vasilache, T., Lazar, I., Stamate, M., Nedeff, V., Lazar, G., 2013, Possible environmental risks of photocatalysis used for water and air depollution case of phosgene generation, APCBEE Procedia 5, 181 – 185.
- Yılmaz, Y., 2007, Eskişehir yöresi sepiyoliti'nin termal özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 59 s.
- Yun, Z., Zhiming, P., Xinchun, W., 2013, Advances in photocatalysis in China, Chinese Journal of Catalysis, 34, 524-535.
- Yüksel, F.Ş.K., Karagüler, M., 2011, Kendi kendini temizleyen betonlar, Beton 2011 Kongresi Bildirileri, 470-480.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Yürüm, A., 2009, The synthesis of titanium dioxide photocatalysts by sol-gel method: The effect of hydrothermal treatment conditions and use of carbon nanotube template, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Doktora tezi.

Zhang, S.H., Tanadi, D., Li, W., 2010, Effect of photocatalyst TiO_2 on workability, strength and self - cleaning efficiency of mortars for applications in tropical environment, Our World in Concrete & Structures 35th Conference.