
Araştırma Makalesi / Research Article

Zeolit Katkısının Antibakteriyel ve Kendi Kendini Temizleyen Harç Özelliklerine Etkisi

Murat GÜLDAŞ¹, Mehmet CANBAZ^{2*}, Mehmet ORHAN³

¹*Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ABD, Eskişehir, Türkiye*
²*Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye*

³*Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye*
(ORCID: 0000-0001-5979-6152) (ORCID: 0000-0002-0175-6155) (ORCID: 0000-0001-8043-4148)

Öz

İnşaat sektöründe son yıllarda yapılan çalışmalarda yapıları sağlık açısından daha güvenli hale getirmek için yapı malzemelerine antibakteriyel özellik kazandırılması ve dış mekândaki korunmasız olarak dış etkilere maruz kalan yapı malzemelerine ışık etkisiyle kendi kendini temizleme yeteneği kazandırılması hedeflenmiştir. Bu çalışmada beyaz ve gri çimento ile üretilen harçlara antibakteriyel özellik kazandırmak amacıyla gümüş iyonları içerikli antibakteriyel toz ve antibakteriyel özellikli sıvı meralgal, kendi kendini temizleme özelliği kazandırmak için anataz ve rutil fazında titanyum dioksit tozu, iyon değişimini kolaylaştırmak için zeolit farklı oranlarda ilave edilmiştir. Karışımlardan alınan numuneler üzerinde birim ağırlık, ultrases geçiş hızı, eğilme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. İlave edilen katkıların fiziksel ve mekanik özelliklere etkileri belirlenmiştir. İtalyan standartlarına göre kendi kendine temizleme deneyleri ve Amerikan standartlarına göre antibakteriyel etkinlik deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda ilave edilen katkıların harçların fiziksel ve mekanik özelliklerine olumsuz etkileri olmadığı, titanyum dioksit tozunun kendi kendini temizlemede etkili olduğu ve antibakteriyel katkıların ise bakterilere karşı etkili bir şekilde kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Kendi kendini temizleme, Fotokataliz, Antibakteriyel Etkinlik, Zeolit, Harç.

Effect of Zeolite Additives on the Antibacterial and Self-Cleaning Mortar Properties

Abstract

In recent studies in the construction sector, it is aimed to give antibacterial properties to building materials in order to make the buildings safer in terms of health and to give the building materials exposed to external effects unprotected outdoors with the ability to self-clean with the effect of light. In this study, an antibacterial powder containing silver ions and liquid Mergal with antibacterial properties, titanium dioxide powder in anatase and rutile phase to give it self-cleaning properties, and zeolite in different proportions to facilitate ion exchange were added to the mortars produced with white and gray cement. Unit weight, ultrasonic pulse velocity, bending, and compressive strength tests were performed on the specimens taken from the mixtures. The effects of added additives on physical and mechanical properties were determined. Self-cleaning tests according to Italian standards and antibacterial activity determination tests were carried out according to American standards. As a result of the experiments, it has been observed that the additives added do not have negative effects on the physical and mechanical properties of the mortars, titanium dioxide powder is effective in self-cleaning and antibacterial additives can be used effectively against bacteria.

Keywords: Self-cleaning, Photocatalysis, Antibacterial Activity, Zeolite, Mortar.

1. Giriş

İnsanın dışında olan her şey olarak tanımlayabileceğimiz içinde bulunduğumuz çevre, hastalıklara neden olan en önemli nedenlerin başındaki mikroorganizmalar ile her an temasta olduğumuz ortamdır [1]. Günümüzde hayat tarzının değişmesi ve bireylerin zamanlarının büyük bir kısmını ev dışında

*Sorumlu yazar: mcanbaz@ogu.edu.tr

Geliş Tarihi: 04.02.2021, Kabul Tarihi: 09.07.2021.

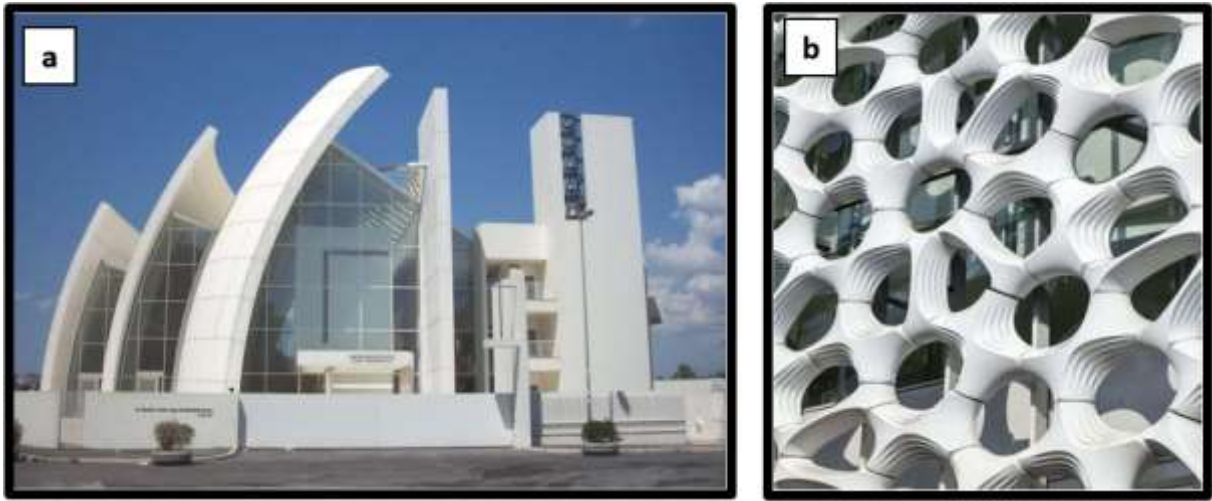
geçirmeleri, değişen yaşam ve beslenme alışkanlıkları ve ulaşım olanakları, uluslararası seyahatler gibi faktörler, mikroorganizmaların, toplu yaşam bölgelerinde kolaylıkla bireyden bireye aktarılmasına ve bulaşıcı hastalıkların artmasına sebep olduğundan yaşanılan ve çalışılan ortamlarda kullanılan ürünlerde hijyenin sağlanması, hastalık oluşturabilecek mikroorganizmalardan arındırılması giderek önemli hale gelmektedir [2]. Hijyen gereken ortamlarda her ne kadar temiz tutulmaya çalışılsa da bir süre sonra istenmeyen mikroorganizmalar tekrar çoğalmakta, insan sağlığını tekrar tehdit etmektedir. Mikroorganizmaların tekrar çoğalmasını engellemek için betonun içyapısında değişikliğe gitme ve bu sayede çeşitli endüstrilerde hlihazırda elde edilmiş olan antibakteriyel özellikleri betona kazandırma fikri ortaya çıkmıştır. Son yıllarda bu amaca yönelik olarak fotokatalitik oksidasyon, gümüş ve bazı ağır metal içeren antimikrobiyal sistemler ile ilgili çalışmalar yürütülmekte olup, başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Fotokatalitik etkiye sahip malzemelerin başında anataz formunda titanyum dioksit (TiO_2) gelmektedir. Fotokatalitik sistemler, ultraviyoleye (UV) maruz bırakıldığında aktif oksijen oluşumuna yol açmaktadır. Aktif oksijen, fotokatalitik malzemenin bulunduğu bölgede organik maddelerin oksitlenmesi, bakterilerin ölmesi, organik lekelerin temizlenmesi ve havadaki rahatsız edici kokuların giderilmesi gibi özelliklere sahiptir. Bu malzemelerin en etkili olduğu kullanım alanları UV ışınımını sağlayan fotokatalitik kaplamaların hava temizleme sistemleridir. Ag^{+1} , Cu^{+2} , Zn^{+2} bilindiği üzere gibi bazı metal iyonları bakterilerin metabolizmalarına girmekte ve enzimlerini etkisiz hale getirmektedirler. Diğer bazı sistemler ise hidrojen peroksit oluşturarak bakterilerin ölmesine sebep olmaktadır. Ancak bu mekanizmalarda açıklanması gereken bazı hususlar bulunmaktadır. Doğal veya insan etkisiyle ortaya çıkan kirleticiler, yapıların ve yapı malzemelerinin Şekil 1’de grldğu gibi dış görünümlerini olumsuz yönde etkilemektedir [3].



Şekil 1. Doğal ve insan etkisi ile dış cephelerde oluşan kirlenmeler

Çimento esaslı kompozit malzemeler daha üretilirken malzemelerin içerisine TiO_2 ilave edilerek söz konusu elemanların fotokatalitik özellik kazanması ve yüzey kirleticilerinden arınmasını sağlayan çalışmalar bulunmaktadır [4]. Fotokatalitik özelliğe sahip kendi kendini temizleme yeteneğine sahip titanyum dioksit içeren beton, harç, derz ve çimentoların bu özellikleri sayesinde bakım masrafları azalmakta ve büyük bir iç gücü ve zaman kaybı önlenebilmektedir. Fotokatalizmin kullanım alanları Fujishima ve Honda’nın 1972’de yaptığı çalışmada ortaya koyduğu TiO_2 ile suyun ayrışması ve bu sayede kendi kendini temizleme fikrini ortaya ayamasından sonra dikkatleri bu yöne çekmiş ve bu fikir oldukça geliştirilmiştir. Fujishima ve arkadaşları UV ışık etkisinde TiO_2 ile kaplanmış yüzeyin ıslanmasındaki belirgin değişikliği fark ederek yüzeyi çeşitli kirleticilerin yapışmasından koruyabildiğini keşfettiler. UV ışık altında yüzeye gelen suyun temas açısının TiO_2 yüzeyine yerleşme eğiliminden dolayı azalması neticesinde yüzey bu aşamada hidrofobite adı verilen su geçirimsiz hale gelir. Bu hidrofobite oksidatif özelliklerin birleşmesi ile TiO_2 uygulanmış yüzeylerin herhangi bir bakım gerekmeksizin güneş ışığı altında uzun süre temiz kalmasını sağlayabilmektedir. Bu özelliğe

“kendi kendini temizleme özelliği” adı verilmekte olup, evlerde, elektrikli aletlerde, yollarda, tarımsal uygulamalarda, su arıtma teknolojilerinde, tekstilde ve tıpta kullanılmaktadır [5]. Nanoteknoloji ile üretilmiş betonlar kavramının içerisinde kullanılan nanoteknoloji içerisinde betona üretim aşamasında eklenen ve nanoparçacık olarak tanımlanabilecek Titanyum dioksit ve çinko oksit bulunmasındandır. Geniş bir kullanım alanına sahip bu parçacıklar yüzeyle tabaka halinde uygulandıklarında fotokataliz ile yüzey aktivitesini arttırmırlar. TiO_2 fotokatalizi UV ışığı altında boşluk (h^+) ve elektron çifti (e^-) yüzeydeki H_2O ve O_2 ile reaksiyona girer. Reaksiyon sonucu hidroksit iyonu (OH^-) ve süperoksit iyonu (O_2^-) oluşur [6]. Aynı zamanda TiO_2 fotokatalizi ile hidrokarbonların CO_2 ve H_2O ayrışması da gerçekleşir ve bu oluşum kendi kendini temizleyen yüzeyle ilgili çalışmalarda ele alınan temel reaksiyondur. Bu zincir reaksiyonlar ile TiO_2 uygulanmış yzeylelerin maruz kaldıkları kirleticilerin yapı taşlarına ayrışması ve bu sayede temiz kalması sağlanmaktadır [7]. Şekil 2’de fotokatalik imento ve beton uygulamaları görülmektedir [8].



Şekil 2. Fotokatalitik beton ile üretilen Jbile Kilisesi (a), Manuel Gea Gonzalez Hastanesi (b)

Özellikle sanayi devriminden bugüne kadar geçen zamanda her geçen yıl daha da egzoz gazları, enerji santralleri, fabrikalar, petrol rafinerileri gibi kullanım alanlarında artan hidrokarbon tüketimi sonucu kontrollü ya da serbest bir Şekilde doğaya salınan gazlar havayı ve çevreyi kirletmektedir. Çevresel kirlenmenin yapı ve malzemelerine olan olumsuz etkisi malzemenin görüntüsü ve yapısına etkiyerek ona zarar vermekte, görsel kirliliğin yanı sıra kullanım ömürlerini de azaltmaktadır. Bu nedenle günümüzde üzerine gelen organik bileşik bazlı kirleticileri parçalayarak görüntü ve yapısını koruyan TiO_2 katkılı yapı malzemelerinin üretimi gittikçe önemli hale gelmiştir. Yine günümüzde hijyen gerektiren ortamlara duyulan ihtiyacın artması ve sürekli yapay hijyen sağlamanın maliyetli ve düşük etkili olması sebebiyle yapılarda iç mekanlarda kullanılan yapı malzemelerinde anataz yapıda TiO_2 tozu, zeolit, gümüş iyonları içerikli antimikrobiyal toz ve antimikrobiyal özellikli sıvı meral farklı oranlarda ilavelerle numuneler üretilerek söz konusu yapı malzemelerinin antibakteriyel özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Burada zeolitler iyon değişimi ve adsorpsiyon yeteneklerinin yanı sıra katalizör olarak da kullanılabilmeleri [9] nedeni ile kullanılmıştır. Literatürde antibakteriyel özellik gösteren bu katkı maddesi kullanılarak antibakteriyel özellik kazandırma çalışmaları tekstilde [10, 11], film kaplama Şeklinde ve temizleyici kimyasallarda yapılmışsa da doğrudan inşaat sektöründeki yapı elemanlarında yapılmamıştır. Günümüzde dünyada başta İtalya ve Japonya olmak üzere birçok gelişmiş ülkede fotokatalitik özelliğe sahip yapı malzemesi kullanılmaktadır [12]. Kendi kendini temizleyen betonlar beton yollar, parke taşları, kaldırımlar ve dış cephe kaplamaları gibi alanlarda uygulanmakta ve olumlu sonuçlar alınmaktadır [13]. Uygulama sayısı dünyada her geçen gün artmakta olup, henüz Türkiye’de bu alanda bir uygulama mevcut değildir. Bu çalışmada dış etkilerin içyapıya eklenen katkılar sayesinde bertaraf edilmesi ve yapı elemanına etkisinin minimumda kalmasının yanı sıra, TiO_2 katkısının çeşitli iyon takviyeleri ile antibakteriyel özellik göstermesinden hareketle bu çalışmada kendi kendini temizleyen ve ilk imalat edildiklerindeki yapısal ve fiziksel özelliklerini koruyan yapı malzemelerinin üretimini sağlanabileceği incelenmiştir. Aynı zamanda da TiO_2 beraberinde kullanılan zeolit, gümüş iyonları içerikli antimikrobiyal toz ve anti-mikrobiyal özellikli sıvı meral sayesinde

antibakteriyel özellik gösteren yapı elemanlarının üretimi ve insan sağlığını tehdit eden bakterilerin üreme ortamlarının ortadan kaldırılarak steril ortamlar oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaçla imento miktarının %0, %1, %3, %5 oranında TiO₂ kullanılarak harçlar numuneler üretilmiştir. Sertleşmiş zelliklerinin belirlenmesi için birim ağrlık, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Bu numuneler üzerinde TiO₂ ile kendi kendini temizleme özellikleri ve Ag⁺ iyonu katkılanarak antibakteriyel özellikleri incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Kendi kendini temizleyen ve anti bakteriyel harç üretiminde imento, agregalar, su, zeolit, antibakteriyel katkı ve TiO₂ kullanılmıştır. Deneylerde Eskişehir imsa imento Fabrikasında üretilen ve TS EN 197-1: 2002 standartlarında CEM I 42,5 R gri imento ve CEM I 52,5 R beyaz imento kullanılmıştır. Bu çimentolara ait kimyasal ve mekanik zellikler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan imentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik zellikleri

Kimyasal analiz, %	GRI BEYAZ Fiziksel zellikler		GRI BEYAZ		
	CEM I	CEM I		CEM I	CEM I
SiO ₂	18.9	21.6	Yoğunluk, kg/dm ³	3.08	3.06
Al ₂ O ₃	5.15	4.05	zgl Yüzey, cm ² /g	3370	4600
Fe ₂ O ₃	3.36	0.26	Basınç Dayanımı, MPa		
CaO	63.59	65.7	2 gün	11.9	37
MgO	1.57	1.3	7 gün	26.7	50
SO ₃	2.65	3.3	28 gün	42.8	60
LOI	3.59	3.2			

Karma suyu olarak Eskişehir normal şebeke suyu kullanılmıştır. Tablo 2’de üretimde kullanılan şebeke suyunun kimyasal analiz özellikleri verilmiştir.

Tablo 2. Deneydeki beton karma suyunun zellikleri

Alüminyum	(mg/l)	0,06	pH değeri		8,00
Nitrat	(mg/l)	8,80	İletkenlik	(μg/l)	568
Nitrit	(mg/l)	0,005	Toplam organik karbon	(mg/l)	23,80
Amonyum	(mg/l)	0,07	Sertlik	(fr°)	31,43
Sülfat	(mg/l)	78	Toplam znmş madde		341
Demir	(mg/l)	0,005	Arsenik	(μg/l)	3,57

Zeolit olarak Manisa-Gördes yöresinden elde edilen doğal zeolit kullanılmıştır. Bu zeolite ait kimyasal ve mekanik zellikler Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Kullanılan zeolitin kimyasal ve fiziksel zellikleri

Mineral içeriği, %		Fiziksel zellikler	
Klinoptilolit	90-95	Görünüm	Fildişi beyazı
Kimyasal analiz, %		Porozite, %	45-50
SiO ₂	65-72	Sertlik, Mohs	2-3
Al ₂ O ₃	10-12	Su emme, %	42-50
Fe ₂ O ₃	0.7-1.9	Aşınma, mg/100g	87
CaO	2.4-3.7	Yüzey alanı, m ² /g	39
MgO	0.9-1.2	pH	7-8
K ₂ O	2.5-3.8	Erime, °C	1300
LOI	9-14	Yoğunluk, kg/dm ³	2.2-2.4

Limak Trakya imento Fabrikası’na ait TSE EN 196-1’e uygun olan Rilem Cembureau standart kumu harç numune üretiminde kullanılmıştır. Yeğenler Kimya firmasından temin edilen anataz TiO₂ ve Tronox firmasından temin edilen rutil TiO₂ kullanılmıştır. Tablo 4’te TiO₂’lerin özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 4. Kullanılan TiO₂ özellikleri

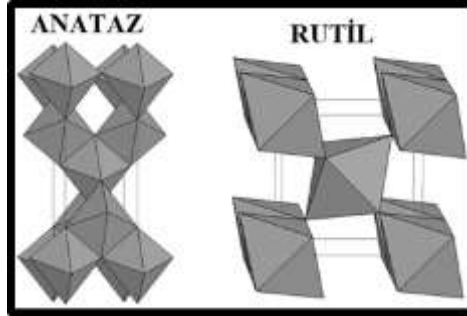
TiO ₂	İçerik, %	Özgül ağırlık	Tanecik boyutu, µm	Yapı
Anataz	100	4.26	0.15	toz
Rutil	95	4.1	0.19	toz

Hürkimsa firmasından temin edilen % 16'lık antibakteriyel çözelti (mergal K14) ve Biomaster firmasından temin edilen antibakteriyel toz kullanılmıştır. Tablo 5'te antibakteriyel katkıların özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 5. Kullanılan antibakteriyellerin özellikleri

	Etken madde	Yoğunluk, kg/dm ³	pH	Yapı
Biomaster	Gümüş	10.5	7	beyaz toz
Mergal K14	İzotiazolin	1.02	3-5	berrak, kehribar rengi sarı sıvı

Harç üretiminde bağlayıcı, su, standart kum oranları sırası ile 1, 0.5 ve 3 olarak kullanılmıştır. Titanyum dioksit %0 ve %5 oranlarında beyaz çimento ile üretilen harçlarda anataz fazında, normal Portland çimentosu ile üretilen harçlarda rutil fazında kullanılmıştır. Rutil pigmentleri yüksek kararlılık ve yüksek opaklık nedeni ile genellikle anataza tercih edilir. Ancak anataz kendini temizlemede daha çok tercih edilir [14].

**Şekil 3.** Titanyum dioksitin fazları

Zeolit ise %0, %10 ve %20 oranlarında çimento yerine kullanılmıştır. Beyaz çimento kullanılarak üretilen harçlarda gümüş etken maddeli antibakteriyel katkı %0 ve %0.4 oranında kullanılırken, normal Portland çimentosu ile üretilen harçlarda izotiazolin etken maddeli antibakteriyel katkı %0, %0.2, %0.4 ve %0.6 oranında kullanılmıştır. Kullanılan malzemeler ve üretim Şekil 4'te gösterilmektedir. Üretilen harçlarda 4x4x16 cm boyutlarında prizmatik numuneler alınmış ve standart küre tabi tutulmuştur.

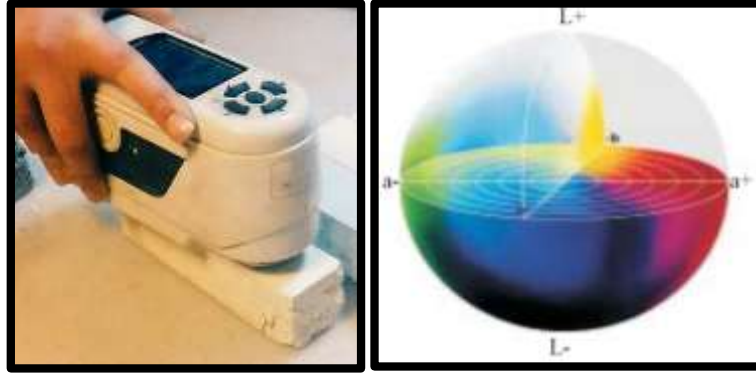
**Şekil 4.** Kullanılan malzemeler ve üretim

Üretimden 28 gün sonra kür havuzundan çıkarılarak Şekil 5'te gösterilen birim ağırlıkları, ultrases geçiş, eğilme ve basınç deneyleri yapılmıştır. Hesaplanan birim ağırlık, ultrases geçiş hızı, eğilme ve basınç dayanımları dikkate alınarak karışımda kullanılan zeolit, kendi kendini temizleme amaçlı kullanılan TiO₂ ve antibakteriyel katkıların harcın fiziksel ve mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir.



Şekil 5. Numuneler üzerinde yapılan fiziksel ve mekanik özellik deneyleri

Kendi kendini temizleme deneyleri (fotokataliz deneyleri) ile ilgili ulusal standardımız olmadığı için uluslararası düzeyde bilimsel çalışmalarda kullanılan İtalyan standartları dikkate alınmıştır (UNI 11247:2010, UNI 11259:2008). Bu standarda göre fotokatalitik aktivite tespiti için kirletici madde olarak Rhodamine-B boyar maddesi kullanılmıştır. Bu amaçla 0.05 g/dm^3 derişiminde Rhodamine-B çözeltisi hazırlanmıştır. Bu çözelti harç numunelerinin bir yüzü üzerinde oluşturulan $4 \times 7 \text{ cm}^2$ bir alana 0.5 cm^3 Rhodamine-B çözeltisi sürülmüştür. Numune üzerindeki Rhodamine-B boyar maddesinin karanlık laboratuvar ortamında ($20 \text{ }^\circ\text{C}$ ve %50 bağıl nem) kurumaya bırakılmıştır. 24 saat beklendikten sonra ilk renk ölçümleri yapılmıştır. Renk değerlerinin okunmasında Şekil 6'da gösterilen renk ölçüm cihazı kullanılmıştır. Her ölçüm en az üç farklı noktadan kolorimetrik okumalar yapılarak ortalamaları alınmıştır. Bu okumada renk değerleri L, a, b, c, h şeklinde değerlendirilmiştir. Burada a: kırmızı ve mor, b: mavi ve sarı, L:siyah ve beyaz (parlaklık ve aydınlık) göstermektedir. c ve h değerleri ise renklerin renk küresi içindeki derinlikleri belirlemektedir.



Şekil 6. Renk kartelası ve renk ölçümü

İlk renk ölçümü değerleri alındıktan sonra numuneler karanlık ortamda UV ışık kaynağına yaklaşık 75 cm uzaklıkta olacak şekilde dizilmiştir. UV ışık kaynağı olarak 300 watt Osram marka gücünde ampül kullanılmıştır. Şekil 7'de kendi kendini temizleme deney uygulaması görülmektedir. Numuneler UV ışık kaynağı altında 26 saat beklendikten sonra 26 saatlik kolorimetrik okumaları yapılmıştır. Daha sonra numuneler 240 saat boyunca tekrar UV ışığa maruz bırakılmıştır. Bu süre sonrasında renk ölçüm cihazı kullanılarak 240 saatlik son kolorimetrik okumalar yapılmıştır. Bu deneyde Rhodamine-B boyar maddesi kullanıldığı için burada etken kolorimetrik okuma değeri olarak kırmızı-mor renk değişimini gösteren a değeri dikkate alınmıştır. Kendi kendini temizleme sonrasındaki renk açılmalarının hesabında ilk okunan a değerinden ($a_{(0)}$) UV ışık kaynağında 26 ve 240 saat beklendikten sonra ölçülen a değerleri ($a_{(26)}$, $a_{(son)}$) ayrı ayrı çıkartılmıştır. Daha sonra ilk okunan a değerine ($a_{(0)}$) bölünmüştür. Elde edilen değerlerin yüzdesi alınarak görece renk değişimi (R_{26} , R_{son}) hesaplanmıştır. Karışımlarda kullanılan anataz ve rutil fazındaki TiO_2 'in beton, harç ve derz numunelerinin kendi kendini temizlemedeki etkinliği renk açılmaları dikkate alınarak İtalyan standartlarına göre incelenmiştir.



şekil 7. Numuneler üzerinde yapılan fiziksel ve mekanik özellik deneyleri

Yüzeylerin antibakteriyel etkinlikleri, ASTM E2149 test yöntemine göre sayısal olarak test edilmiştir. Çalışma sırasında, Gram-pozitif bakteri suşu olarak Staphylococcus aureus (ATCC 6538) ve Gram-negatif bakteri suşu olarak Escherichia coli (ATCC 35218) seçilmiştir. Numunelere, $1.5-3 \times 10^5$ cfu/mL yoğunlukta bakteri çözeltisi aktarılmış, 37°C 'de 150 devir/dakika çalkalama hızında 24 saat süre ile inkübe edildikten sonra seri sulandırmalar yapılarak besiyerlerine ekimler yapılmış ve antibakteriyel etkinlik değeri bulunmuştur. Karışımlarda kullanılan gümüş ve izotiazolin etken maddeli antibakteriyel katkının harç numunelerinin antibakteriyel etkinliği bulunan etkinlik değerleri dikkate alınarak incelenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Harç numune üzerinde yapılan fiziksel ve mekanik deneylerin sonuçları Tablo 6'da verilmiştir. Çalışmamızın amacı kullanılan katkıların sertleşmiş harç özelliklerine bu katkıların herhangi bir olumsuz etkisi olup olmadığı belirlenmiştir. Burada miktar olarak en çok kullanılan katkı zeolit olduğu için zeolitın etkisi üzerinde daha çok durulmuştur. Tablo 6 incelendiğinde zeolit, titanyum dioksit ve antibakteriyel katkının harın birim ağırlık, ultrases geçiş hızı, eğilme ve basıncı dayanımı gibi özelliklerini dikkate değer ölçüde değiştirmedeği grlmştir.

Tablo 6. Normal Portland imentosu ile üretilen harç numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri

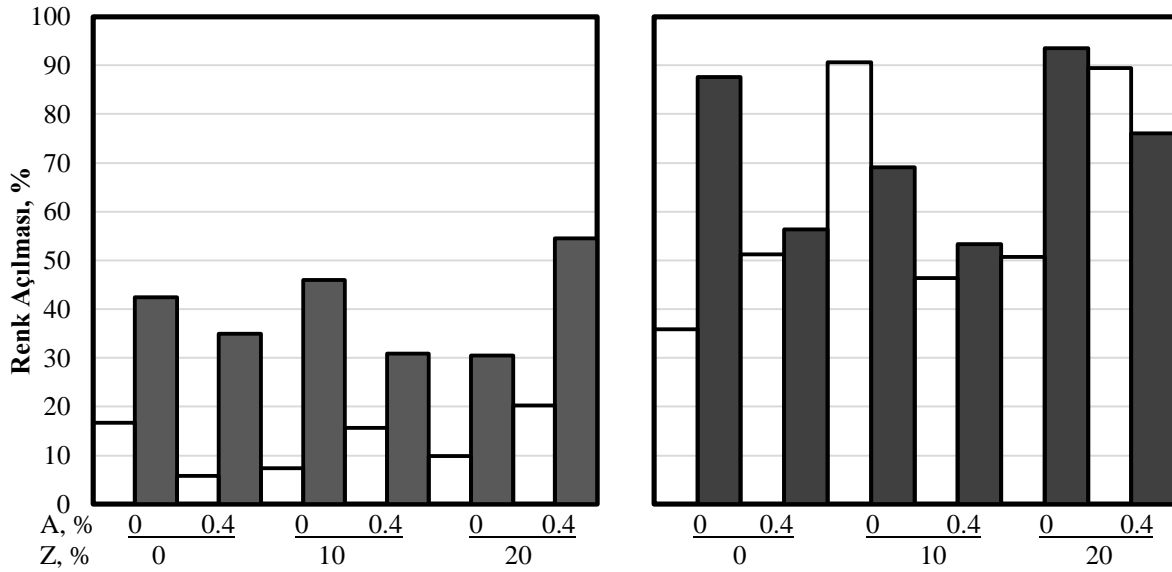
	Birim ağırlık, kg/dm ³	Ultrases geçiş hızı, m/sn	Eğilme Dayanımı, MPa	Basıncı Dayanımı, MPa
% 0 Z + % 0 A + % 0 T	2.191	3.791	1.875	19.828
% 0 Z + % 0.2 A + % 0 T	2.258	3.544	2.227	24.469
% 0 Z + % 0.4 A + % 0 T	2.195	3.604	2.227	20.141
% 0 Z + % 0.6 A + % 0 T	2.063	3.524	2.461	19.859
% 0 Z + % 0 A + % 5 T	2.221	3.712	2.930	26.156
% 0 Z + % 0.2 A + % 5 T	2.203	3.678	2.109	22.484
% 0 Z + % 0.4 A + % 5 T	2.309	3.678	2.578	22.750
% 0 Z + % 0.6 A + % 5 T	2.090	3.632	2.695	19.328
% 10 Z + % 0 A + % 0 T	2.203	3.687	2.109	21.766
% 10 Z + % 0.2 A + % 0 T	2.191	3.712	2.578	29.625
% 10 Z + % 0.4 A + % 0 T	2.230	3.645	2.578	21.969
% 10 Z + % 0.6 A + % 0 T	2.211	3.712	2.578	24.703
% 10 Z + % 0 A + % 5 T	2.246	3.704	2.695	26.203
% 10 Z + % 0.2 A + % 5 T	2.232	3.810	2.695	22.297
% 10 Z + % 0.4 A + % 5 T	2.227	3.751	2.813	27.203
% 10 Z + % 0.6 A + % 5 T	2.012	3.249	1.758	18.563
% 20 Z + % 0 A + % 0 T	2.172	3.769	2.813	27.656
% 20 Z + % 0.2 A + % 0 T	2.160	3.563	2.227	21.516
% 20 Z + % 0.4 A + % 0 T	2.203	3.751	2.461	19.125
% 20 Z + % 0.6 A + % 0 T	2.250	3.661	2.578	17.875
% 20 Z + % 0 A + % 5 T	2.203	3.869	2.578	22.344
% 20 Z + % 0.2 A + % 5 T	2.293	3.687	2.695	24.813
% 20 Z + % 0.4 A + % 5 T	2.109	3.842	2.344	17.734
% 20 Z + % 0.6 A + % 5 T	2.109	3.778	2.461	20.875

Tablo 7’de beyaz imento ile üretilen harçların özelikleri gösterilmiştir. Tablo 7 incelendiğinde birim ağırlıkların 2.1 ile 2.2 kg/dm³ arasında değiştiği, ultrases geçiş hızlarının 3.4 ile 3.8 m/sn arasında değiştiği, eğilme dayanımlarının 1.6 ile 2.7 MPa arasında değiştiği, basınç dayanımlarının 19 ile 31 MPa arasında değiştiği grlmştir. En yüksek dayanım 30.7 MPa ile % 20 zeolit, % 5 titanyum dioksit ve % 0.4 antibakteriyel katkı kullanılan numunelerde görülürken, en düşük dayanım 19.5 MPa ile sadece % 5 titanyum dioksit kullanılan numunelerde grlmştir. Titanyum dioksit kullanımı ile basınç dayanımları % 5, zeolit kullanımı ile % 16’ya ulaşan oranlarda artmıştır.

Tablo 7. Beyaz imento ile üretilen harç numunelerin fiziksel ve mekanik zelikleri

	Birim ağırlık, kg/dm ³	Ultrases geçiş hızı, m/sn	EĞilme Dayanımı, MPa	Basınç Dayanımı, MPa
% 0 Z + % 0.4 A + % 0 T	2.203	3.653	2.344	28.266
% 0 Z + % 0.4 A + % 0 T	2.109	3.437	2.695	21.250
% 0 Z + % 0.4 A + % 5 T	2.188	3.760	1.992	25.828
% 0 Z + % 0.4 A + % 5 T	2.133	3.730	1.875	19.484
% 10 Z + % 0.4 A + % 0 T	2.176	3.365	1.641	25.016
% 10 Z + % 0.4 A + % 0 T	2.160	3.670	1.758	26.203
% 10 Z + % 0.4 A + % 5 T	2.207	3.774	2.109	23.047
% 10 Z + % 0.4 A + % 5 T	2.176	3.509	1.758	23.203
% 20 Z + % 0.4 A + % 0 T	2.180	3.616	1.758	23.734
% 20 Z + % 0.4 A + % 0 T	2.129	3.666	1.992	25.328
% 20 Z + % 0.4 A + % 5 T	2.137	3.575	1.641	30.703
% 20 Z + % 0.4 A + % 5 T	2.121	3.695	1.758	29.438

Kendi kendini temizleme deneyi olarak Rhodamine-B kullanılarak yapılan renk açılması değerlerinin ölçümü ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırmalı değerlendirilmesi yapılmıştır. Renk lmleri 26 saat ve 240 saat olmak üzere iki farklı zamanda UV ışık altında bekleyen numuneler üzerinden yapılmıştır. Anataz fazında titanyum dioksit kullanılan ve kullanılmayan beyaz imento ile üretilen harç numunelerin 26 saat UV kaynağı altındaki renk aımları ve 240 saat UV kaynağı altındaki renk aımları şekil 8’de gösterilmiştir. şekil 8 incelendiğinde renk aımlarının %55’e yaklaşan oranlara ulaştığı, titanyum dioksit kullanılması durumunda renk açılmasını %40’a ulaşan oranlarda arttırdığı grlmştir. UV kaynağı altındaki bekleme süresi 240 saate ulaştığında renk aımları %93’e ulaşırken, titanyum dioksit ilavesi renk aımlarını %50’ye ulaşan oranda arttırdığı belirlenmiştir.

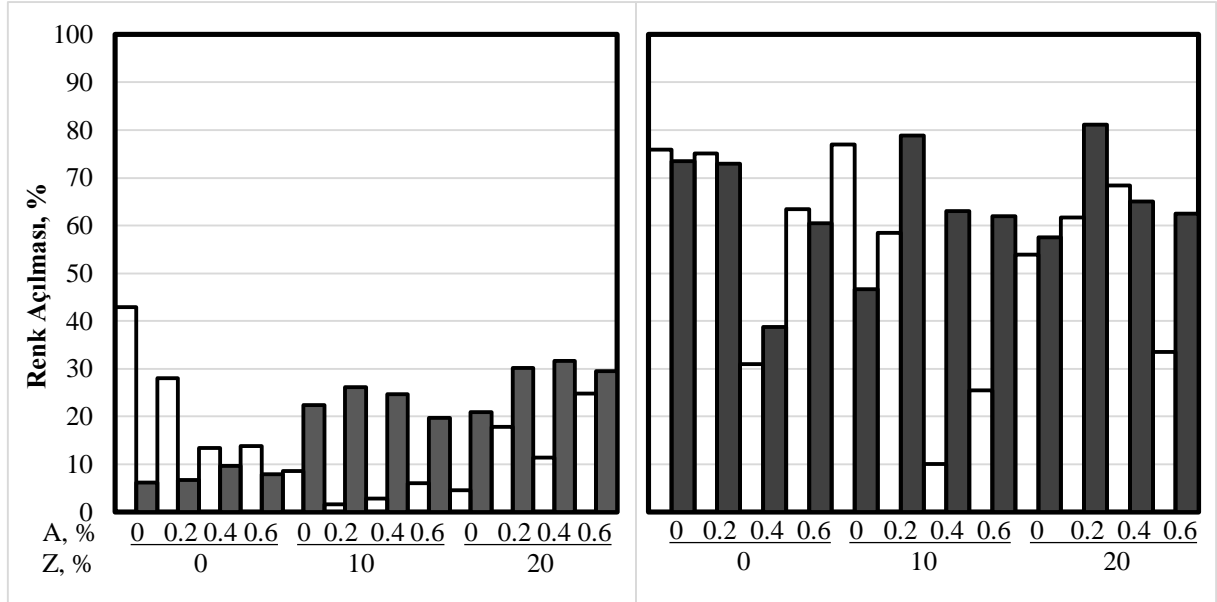


şekil 8. Beyaz imento ile üretilen harç numunelerin renk aımları



Şekil 9. Rhodamine-B ile yapılan çalışmada UV ışık altında meydana gelen renk açılması

Harç numunelerin fotokataliz sonucu meydana gelen renk açılması Şekil 9’da gösterilmektedir. Fotokataliz sonucu titanyum dioksit ile kendi kendini temizleme yeteneğinin kazanıldığı grlmştir. Harç numunelerin 26 saat UV kaynağı altındaki renk aımları ve 240 saat UV kaynağı altındaki renk aımları Şekil 10’da gösterilmiştir. Şekil 10 incelendiğinde rutil fazında titanyum dioksit kullanılmasının özelikle zeolit katılmış numunelerin renk aımlarını %25’e ulaşan oranlarda arttırdığı grlmştir. Işık kaynağı altındaki bekleme süresi 240 saate ulaştığında renk aımlarının %80 mertebesine yükseldiği gözlenmiştir. Zeolit ilavesi genel olarak değişkenlik gösterse de %50’ye ulaşan oranlarda renk aımlarını arttırmıştır.



Şekil 10. Normal Portland imentosu ile üretilen harç numunelerin 26 saatlik renk aımları

Tablo 8’de harç numunelerin antibakteriyel etkinlik değerleri verilmektedir. Tablo 8 incelendiğinde harç numunelerinin *Staphylococcus aureus* bakterisine karşı etkili olduğu görülürken, *Escherichia coli* bakterisine karşı harç üretiminde antibakteriyel katkı kullanılması gerektiği grlmştir.

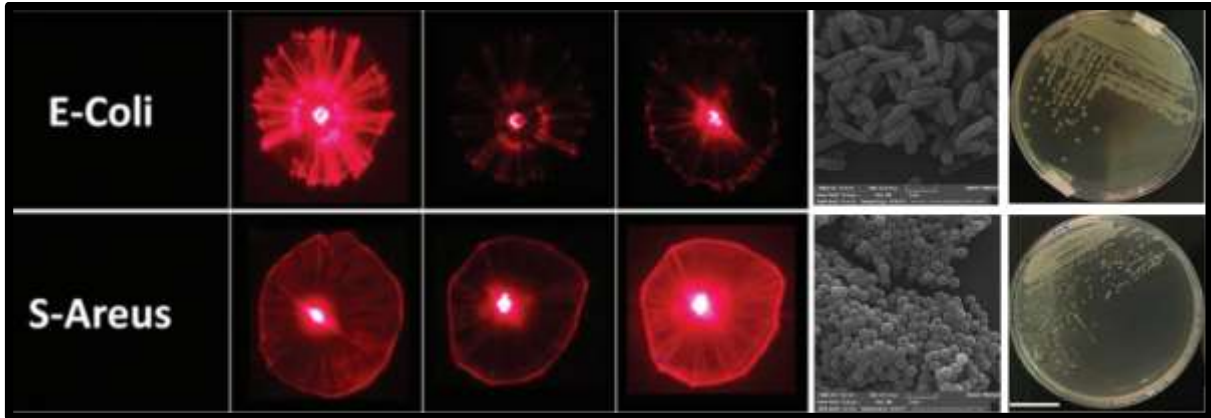
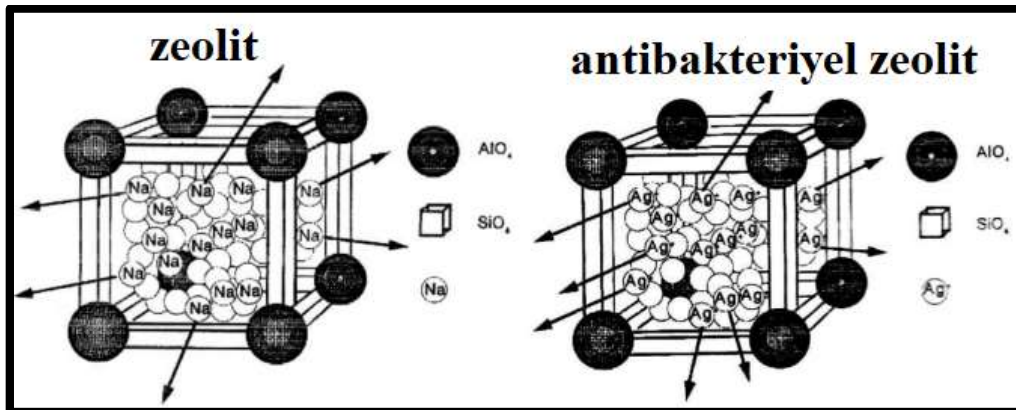
Staphylococcus aureus ve *Escherichia coli* bakterilerinin mikrografları, oluşturdukları koloniler ve desenleri (patern) Şekil 11’de görülmektedir[15]. Gümüşün antibakteriyel özelliğinin sadece mikroorganizmaların gümüşü adsorbe etmelerinden kaynaklanmadığını aynı zamanda gümüş iyonunun çözelti içinde serbestçe dolaşmadığı ve inorganik bir bileşik içine yerleştirildiği durumlarda da mikroorganizmaların gümüşü adsorbe etmeden de kolonileşme ve çoğalma özelliklerini yitirdiklerini gözlemişlerdir. Bu nedenle Şekil 12’den de grldği gibi gümüş iyonlarını sabitlemek için iyon değiştirme özelliğine sahip malzemeler olan zeolitlerin kullanılabilereği gözlenmiştir[16].

Tablo 8 Harç numunelerin antibakteriyel etkinlik değerleri

	Beyaz imento				Normal Portland imentosu			
	<i>S. aureus</i> (ATCC 6538) ^a		<i>E. coli</i> (ATCC 35218) ^b		<i>S. aureus</i> (ATCC 6538) ^a		<i>E. coli</i> (ATCC 35218) ^b	
	%	Log	%	Log	%	Log	%	Log
Kontrol	-81.25	-0.73	-2.44	-0.01	-81.25	-0.73	-2.44	-0.01
% 0 Z + % 0 A + % 0 T	-100.00	-6.30	-100.00	-5.67	-100.00	-6.30	-100.00	-5.67
% 0 Z + % 0.4 A + % 0 T	-100.00	-6.30	-100.00	-5.67	-100.00	-6.30	-100.00	-5.67
% 0 Z + % 0 A + % 5 T	-100.00	-6.30	7.32	0.03	-100.00	-6.30	-100.00	-5.67
% 0 Z + % 0.4 A + % 5 T	-100.00	-6.30	-100.00	-5.67	-100.00	-6.30	-100.00	-5.67
% 10 Z + % 0 A + % 0 T	-100.00	-6.30	-100.00	-5.67	-100.00	-6.30	-100.00	-5.67
% 10 Z + % 0.4 A + % 0 T	-100.00	-6.30	-100.00	-5.67	-100.00	-6.30	-100.00	-5.67
% 10 Z + % 0 A + % 5 T	-100.00	-6.30	-100.00	-5.67	-100.00	-6.30	34.15	0.13
% 10 Z + % 0.4 A + % 5 T	-100.00	-6.30	-100.00	-5.67	-100.00	-6.30	-89.07	-0.96
% 20 Z + % 0 A + % 0 T	-100.00	-6.30	124.39	0.35	-100.00	-6.30	-98.93	-1.97
% 20 Z + % 0.4 A + % 0 T	-100.00	-6.30	-100.00	-5.67	-100.00	-6.30	-100.00	-5.67
% 20 Z + % 0 A + % 5 T	-100.00	-6.30	-98.71	-1.89	-100.00	-4.64	-100.00	-5.67
% 20 Z + % 0.4 A + % 5 T	-100.00	-6.30	-100.00	-5.67	-100.00	-4.34	-100.00	-5.67

^a Her bir örneğe aktarılan bakteri konsantrasyonu, $2,00 \times 10^6$ (log 6,30) cfu*/mL olarak hesaplanmıştır.

^b Her bir örneğe aktarılan bakteri konsantrasyonu, $4,66 \times 10^5$ (log 5,67) cfu*/mL olarak hesaplanmıştır.

**şekil 11.** Bakterilerin kolonileşmesi**şekil 12.** Antibakteriyel etkinlikte zeolit rolü

4. Sonuç ve neriler

Yapılan alışmalar sonucunda fiziksel ve mekanik açıdan değerlendirildiğinde harç numuneler üzerinde yapılan katkılarının dikkate değer lde özellikleri değiştirmediği, derz numuneler üzerinde yüksek zeolit kullanımının dayanımları olumsuz etkilediği, katkılı ve katkısız beton numuneleri üzerinde ise kullanılan katkılarının birim ağırlık ve ultrases geçiş hızlarını dikkate değer lde etkilemediği görülürken, basıncı dayanımlarını ise düzensiz olarak değiştirdiği görülmüştür.

Kolorimetrik okuma sonuçları değerlendirildiğinde tüm numuneler üzerinde TiO₂ ve zeolit kullanımın UV ışık kaynağı altında zamanla oluşan renk açılması yönünden olumlu etkisinin bulunduğu görülmüştür. Titanyumdioksit kullanımının %70'e yaklaşan oranlarda renk açılmasına sebep olduğu, ancak %20 oranında zeolit kullanımının genel renk açılmasını arttırdığı ancak titanyum dioksitin temizleme etkisinin düzenli olmadığı görülmüştür. UV kaynağı altındaki bekleme süresi arttığında titanyum dioksitin fotokataliz etkisinin belirginleştiği ve zeolit ilavesi renk açılmalarına olumlu katkısının olduğu belirlenmiştir.

Antibakteriyel aktivitenin incelenmesi konusunda ise zeolit ilavesi bulunan derz, harç ve beyaz imento ile üretilen beton numuneleri üzerinde zeolit Staphylococcus Aureus bakterisine karşı etkili olduğu görülürken, Escherichia coli bakterisine karşı antibakteriyel katkı kullanılması gerektiği görülmüştür. Normal Portland imentosu ile üretilen beton numuneleri ise zeolit ilavesinin hem *Staphylococcus aureus* bakterisine hem de *Escherichia coli* bakterisine karşı etkili olduğu görülmüştür.

Teşekkür

Bu alışma Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından "201715D45" nolu proje kapsamında desteklenmiştir

Yazarların Katkısı

Yazarlar makaleye eşit katkı derecede katkı sağlamıştır.

ıkar atışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar atışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Akdur R., l M., Işık A., İdil A., Durmuşoğlu M., Tunçbilek A. 1998. Halk sağlığı. Antıp Ař Tıp Kitapları ve Bilimsel Yayınlar, No:26, 53
- [2] Doğan A., Pekşen C. 2005. Metal İyon Katkılı Antimikrobiyal Malzemelerin Hastane İnfeksiyonlarını nlemede Katkıları ve Uygulamaları. 4. Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi kitabı, Samsun, 20-24
- [3] Ozga I., Bonazza, A., Bernardi, E., Tittarelli, F., Favoni, O., Ghedini, N., Morselli, L. & Sabbioni, C. 2011. Diagnosis of Surface Damage Induced by Air Pollution On 20th-Century Concrete Buildings. Atmospheric Environment, 45(28): 4986-4995.
- [4] 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. Construction and Building Materials, 44: 309-316.
- [5] Nakata K., Ochiai T., Murakami T., Fujishima A. 2012. Photoenergy Conversation with TiO₂ Photocatalysis: New materials and Recent Applications. Electrochimica Acta, 84: 103-111.
- [6] Ni M., Leung M.K., Leung D.Y., Sumathy K. 2007. A Review and Recent Developments in Photocatalytic Water-Splitting Using TiO₂ for Hdrogen Production. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11(3): 401-425.
- [7] Canbaz M., nverdi H.T., Balk Y. 2015. Kendi Kendini Temizleyen Derz Dolgu Malzemeleri. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 21(1): 13-24.
- [8] Orhon A.V. 2014. Kendini Temizleyen Cephe Sistemleri. 7. Ulusal atı & Cephe Sempozyumu, 3-4 Nisan, İstanbul, 9.
- [9] Glen J., Zorbay F., Arslan S. 2012. Zeolitler ve kullanım alanları. Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 2(1): 63-68.

- [10] Can C., Krl A., Ateş M. 2013. Gümüş Yüklü Zeolitlerin Pamuklu Kumaşların Antibakteriyel Bitim İşleminde Kullanımı. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 23(1): 32-36.
- [11] Harımdar N., Akarşlan F. 2020. Pamuklu Kumaşa Antibakteriyel Bitim Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 18: 142-147.
- [12] Yüksel F.ř.K., Karagller M. 2011. Kendi Kendini Temizleyen Betonlar. *Beton 2011 Kongresi*, İstanbul, 470-480.
- [13] Akalın K.B., zmen P., Tiftikçi C., Canbaz M., Bilgiç ř., Kara ř. 2015. Beton Kaldırım Taşları ve Yol Kaplama Yüzeylerinde Meydana Gelen Kirliliklerin UV Güneş Işınları ile Temizlenmesi. *Elektronik Mesleki Gelişim ve Araştırma Dergisi*, 3(1): 150-161.
- [14] Kılıçoğlu B. D. 2009. Nanoboyutlu TiO₂ Esaslı Antibakteriyel Kaplama. *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 114.
- [15] Sasanpour P., Dilmaghani-Marand A., Montazeri, H., Ivani S., Hajipour M.J., Mahmoudi M., 2019. Nanoparticles Affect Bacterial Colonies' Optical Diffraction Patterns. *Nanoscale*, 11(6): 2594-2601.
- [16] Ata U. H. 2003. Antibakteriyel Klinoptilolit. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, 61.