



Konferans Bildirisi

Süperhidrofobik Reçine Sentezi İle Su İtici Ve Kendini Temizleyen Kaplama Teknolojilerinin Geliştirilmesi

Uğur Cengiz^{1*}, Nagihan Öztürk^{2*}, Gürkan Akarken³, Ceyda Balkaner⁴, Burak Hender⁵, Mehmet Erdi Onan⁶

¹ Çanakkale 18 Mart Üniversitesi, Orcid ID: 0000-0002-0400-3351, ucengiz@comu.edu.tr,

² Ece Boya Kimya, Orcid ID: 0000-0002-6766-2370, nagihan.ozturk@eceboya.com,

³ Çanakkale 18 Mart Üniversitesi, Orcid ID: 0000-0002-9265-5156, gurkanakarken@gmail.com,

⁴ Ece Boya Kimya, Orcid ID: 0009-0008-6736-3953, ceyda.balkaner@eceboya.com,

⁵ Ece Boya Kimya, Orcid ID: 0000-0003-4985-0957, burak.hender@eceboya.com,

⁶ Ece Boya Kimya, Orcid ID: 0000-0002-6223-5353, mehmet.onan@eceboya.com

* Sorumlu Yazar: ucengiz@comu.edu.tr; +90 286 218 0018

* Sorumlu Yazar: nagihan.ozturk@eceboya.com; +90 262 644 4544

(First received October 29, 2023 and in final form December 30, 2023)

**3rd International Conference on Design, Research and Development
(RDCONF 2023)
December 13 - 15, 2023**

Reference: Cengiz, U., Öztürk, N., Akarken, G., Balkaner, C., Hender, B., Onan, M., E. Süperhidrofobik Reçine Sentezi İle Su İtici Ve Kendini Temizleyen Kaplama Teknolojilerinin Geliştirilmesi. Orclever Proceedings of Research and Development,3(1), 526-538.

Özet

Bir yüzeyin kendi kendini temizleme özelliği, yüzeyin suya karşı süper itici olması (temas açısı değeri 150° ve üzeri) ve sıvının ilerleyen, gerileyen temas açısı farkının (CAH, temas açısı karmaşası) veya sıvının kayma açısı değerinin (TA, Tilt angle) 5-8° arası bir değere sahip olması ile meydana gelir. Bu yüzeylerin, hava veya su içindeki organik veya biyolojik maddelerin sebep olduğu kirlenmeyi önlemek gibi pratikte birçok uygulaması vardır. Bir yüzeyin süperhidrofobik olması için iki gereklilik vardır. Birincisi düşük yüzey enerjili kimyasallar kullanmak; ikincisi ise yüzeyde pürüzlülük sağlamaktır. Pürüzlülük içerisine hava paketçikleri girerek suyun yüzeyle olan adezyonunu azaltır. Diğer yandan düşük yüzey enerjili kimyasallar da su itici özellikleri ile adezyonu azaltır. Bu çalışmanın amacı, kirlenmeyen süperhidrofobik jelkotların üretilmesi ve operasyonel uygulamalarının yapılmasıdır. Bu amaç için öncelikle doymamış polyeater reçineler düşük yüzey enerjili alkoksisilanlar ile modifiye edilip süperhidrofobik reçineler üretilmiş, daha



sonra jelkot üretiminde bu reçineler ve hidrofobik nano partiküller kullanılarak cam/metal/plastik yüzeyler üzerine uygulanabilen, süperhidrofobik jelkot üretimi gerçekleştirilmiştir. Böyle bir yüzey, çok düşük eğimlerde (5-10°) yüzeyde su veya asit yağmuru birikmesini önler ve dolayısıyla yüzeyde biyolojik kirlenme oluşmaması, korozyonun meydana gelmemesi sonucu paslanma oluşumunun gecikmesi sağlanmış olur.

Anahtar: *Jelkot, Kendi kendini temizleme, Korozyon direnci, Süperhidrofobik reçine*



Conference Article

Development of Water-Repellent and Self-Cleaning Coating Technologies via Superhydrophobic Resin Synthesis

Abstract

The self-cleaning feature of a surface is that the surface is super repellent towards water (contact angle value is 150° and above) and the advancing and receding contact angle difference of the liquid (CAH, contact angle confusion) or it occurs when the shear angle value (TA, Tilt angle) of the liquid is between $5-8^\circ$. These surfaces have many practical applications, such as preventing pollution caused by organic or biological substances in air or water. There are two requirements for a surface to be superhydrophobic. The first is to use chemicals with low surface energy; the second one is to provide roughness on the surface. Air packets enter the roughness and reducing the adhesion of water to the surface. On the other hand, chemicals with low surface energy reduces adhesion due to their water repellent properties. The aim of this study is to produce non-fouling superhydrophobic gelcoats and to carry out their operational applications. For this purpose, firstly, unsaturated polyester resins were modified with low surface energy alkoxysilanes and superhydrophobic resins were produced. Then, by using these resins and hydrophobic nanoparticles in gelcoat production, superhydrophobic gelcoat that can be applied on glass/metal/plastic surfaces was produced. Such a surface ensures that water or acid rain does not accumulate on the surface at very low slopes ($5-10^\circ$) and therefore prevents biological contamination on the surface, corrosion does not occur and therefore rust formation is delayed.

Keywords: Gelcoat, Self-cleaning, Corrosion resistance, Superhydrophobic resin



1. Giriş

Hidrofobik terimi, Yunanca'dan gelen hidro = su, ve fobi = korku kelimelerinin birleşimi olan 'sudan korkan', 'su sevmez' veya 'su itici' anlamlarını taşımaktadır. Hidrofobiklik yüzey kimyası ile yakından ilişkilidir [1,2]. Hidrofobik özellikte malzemeler ile kaplanan malzemelerin serbest yüzey enerjisi (mJ/m^2) düşer. Bu tür yüzeylere su damlaları bırakıldığı zaman damlalar yüzeyde ince bir film tabakası yerine damlacıklar veya su kürecikleri şekline dönüşür [2]. Yüzey özelliklerini belirlemede kullanılan yöntemlerden biri yüzeyin su itme (hidrofob), su çekme (hidrofil) gibi özelliklerinin belirlenmesidir. Islanabilirlik denen bu su itme/çekme fiziksel etkileşimleri sıvının kohezyon kuvvetleri ile sıvı-katı arası adezyon kuvvetlerinin bir yarışıdır. Adezyon kuvvetleri kohezyon kuvvetleri yendiği zaman yüzey ıslanması artar [2].

Polimerik malzemelerin hidrofob ya da hidrofil olduğunun belirlenmesi temas açısı ölçümü ile mümkün olmaktadır. Bu yöntem malzemelerin ıslanma davranışını değerlendirmek için kullanılan en iyi yöntemlerden biridir. Bir katı yüzeyi üzerinde bir sıvı damlası oluşturulduğu zaman sıvı-katı arasındaki adezyon ile sıvı kohezyon kuvvetlerinin bir yarışı sonrasında damla yüzeyde bir profil oluşturur. Bu profil temas açısı cihazı ile fotoğraflanır ve sıvı temas açısı ölçülür. Adhezyon, iki farklı maddenin molekülleri arasındaki çekim kuvvetine verilen isimdir. Kohezyon ise, maddenin kendi molekülleri arasındaki çekim kuvvetidir [1]. Kohezyon kuvvetlerinin büyüklüğü, adhezyon kuvvetlerinin büyüklüğünden ne kadar fazla ise, sıvı katı arasındaki temas açısı da o denli büyük olur. Diğer bir ifade ile büyük bir temas açısı sıvı-katı çekim kuvvetlerinin azlığının, küçük bir temas açısı ise bu kuvvetlerin büyük olmasının bir göstergesidir. Ayrıca temas açısının büyüklüğü, katı yüzeyin düzlüğü ve temizliğinden başka sıvının saflık derecesine de bağlıdır. Islanabilirliğin kontrolü; kendi kendini temizleme, buzlanmaya karşı dayanıklılık veya buğulanmama gibi birçok endüstriyel uygulamada önemli olan yüzeylerin üretilmesi için önemlidir. Bir yüzeyin herhangi bir sıvıya karşı kendi kendini temizleme özelliği yüzeyin o sıvıya karşı süper itici olması (temas açısı değeri 150° ve üzeri) ve sıvının ilerleyen ve gerileyen temas açısı farkının (CAH, temas açısı karmaşası) veya sıvının kayma açısı değerinin (TA, Tilt angle) $5-8^\circ$ arası bir değere sahip olması ile meydana gelir. Burada kullanılan sıvı su ise yüzey süperhidrofobik yüzey olarak adlandırılır. Temas açısı, düz ve yatay bir düzlem üzerinde duran katı üzerine bir sıvı damlası oluşturularak ölçülür [2,3].

Literatürde süperhidrofobik malzeme sentezi için en çok kullanılan teknikler ise faz ayrımı [4], kimyasal buhar biriktirimi [5], püskürtme ile kaplama [6], elektrospining [7]



ve sol-jel [8,9] tekniğidir. Sol-jel tekniği bunlar arasında endüstriyel uygulamalar için maliyet ve zaman açısından en uygun olanıdır. Sol-jel tekniğinde, yapısında -oksi (metoksi veya etoksi gibi) grubu olan herhangi bir alkoksisilan monomerin alkol/su karışımında oda sıcaklığı veya biraz üstü sıcaklıklarda reaksiyonu ile oluşan çapraz bağlı polimer matriksler oluşturulur. Bu yapı etanol/su karışımında disperse haldeki çapraz bağlı nano boyutta partiküllerin oluşturduğu bir ağıdır [10,11]. Karışımın püskürtülerek yüzeye kaplanması ile yüzey pürüzlü bir hal alır. Burada yüzeye yapılan püskürtme süresi, püskürtme mesafesi ve püskürtme basıncı önemli parametrelerdir. Püskürtme süresinin artmasıyla yüzeyde biriken polimer miktarı artar ve yüzey pürüzlülüğü artar. Ancak burada önemli bir optimizasyon vardır. Eğer püskürtme süresi aşırı fazla olursa polimer birikimi fazlalaşır ve yüzeyde tepe olarak adlandırılan birikimler olur. Bu birikimler yüzeyin mekanik özelliklerini ciddi oranda azaltır. Bu yüzden yüzey pürüzlülüğünün kontrolü önemlidir. Yüzey pürüzlülüğü ise AFM ile karakterize edilir ve RMS (ortalama yüzey pürüzlülüğü) olarak rapor edilir.

Kompozit malzeme; farklı fiziksel veya kimyasal özellikte iki veya daha fazla malzemenin birleşimi sonucu oluşan ve bu bileşenlerden farklı özelliklere sahip malzemelerdir. Polyester, ana zincirindeki tekrar birimlerinde ester grubu içeren polimerlerin bir çeşididir ve asitlerle alkollerin esterifikasyon tepkimesi sonucu oluşurlar. Jelkot, kompozit malzemelerin en üst yüzeyine uygulanan ve yüzeyin dış ortam şartlarına dayanımını ve kaliteli yüzey görünümü sağlayan ürün gruplarıdır. Epoksi, doymamış polyester reçine esaslı vb. farklı çeşitleri vardır. Uygulamasında fırça ve tabanca gibi uygulama ekipmanları kullanılır. Kürlenmesi için belli oranlarda sertleştirici (peroksit vb.) ilave edilir ve polimerler arasında meydana gelen çapraz bağlar kürlenmeyi sağlar.

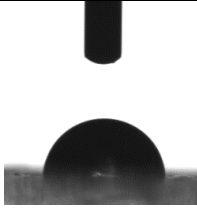
Jelkotlar mutfak tezgahları, küvetler, su kaydırakları, duşa kabinler, deniz araçları ve çocuk parkı ekipmanlarında kullanılır. Geniş kullanım alanı olan jelkotların durumu incelendiğinde, dünya piyasasında süperhidrofobik reçineler üzerine çalışmalar olsa da süperhidrofobik bir jelkotun geliştirilmediği görülmektedir. Doymamış polyester reçineler ve/veya jelkotalara düşük yüzey enerjili kimyasallar ve nanopartikül ilavesi ile süperhidrofobik özellik kazandırmak amaçlanmıştır. Böylece yüzeyde biriken toz ve benzeri partiküller su damlası ile yüzeyi terk edecek ve yüzey kendi kendini temizleme özelliği kazanacaktır. Bu tür yüzeyler, asit yağmuru damlalarının yüzeyde tutunamamasından dolayı yüzeyde meydana gelecek korozyona karşı da etkilidir.

Bu çalışmada, sol-jel tekniği ile süperhidrofobik jelkotun üretimi amaçlanmıştır. Bu sayede üretilen jelkot yüzeyler ile yüzeyin kendi kendini temizlemesinden veya korozyona karşı etkili olmasından kaynaklı sadece önemli bir işgücü tasarrufu yapılmayacak, aynı zamanda çevreye zararlı temizlik maddelerinin kullanımını da azaltacaktır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, ilk olarak Ece Boya Kimya bünyesinde üretilen standart doymamış polyester reçinenin mevcut durumunu görmek ve sonrasında yapılacak olan kaplamalar ile kıyaslama yapmak amacıyla püskürtme tekniği ile farklı hacimlerde cam yüzey kaplaması yapılmış ve temas açısı ölçülmüştür.

Tablo 1: Standart reçine kaplamalarının su temas açısı değişimi

Numune Kodu	θ_{ort} (°)	θ_{ort} (reçine)= 84°
R ₁	84	
R _{1,1}	83	
R _{1,2}	84	

Çalışmada standart reçine yüzeye 3 kez uygulama yapılmış ve yüzeydeki miktarı arttırılmıştır. Kaplamalar sonucundan yüzeyde artan reçine miktarından bağımsız olarak standart reçinenin su temas açısı değerinin 84° olduğu bulunmuştur. Bu değer hidrofobik/hidrofilik sınırındadır. Böyle bir yüzey ancak pürüzlülük arttırılması ile veya serbest yüzey enerjisinin azaltılması ile süperhidrofobik hale getirilir. Bu amaçla çalışma standart reçinenin farklı kimyasallar ile modifiye edilerek yüzey pürüzlülüğünün ve hidrofobitenin arttırılması ile devam etmiştir.

Flor-karbon (FC) bazlı iticiler, film oluşturmak üzere polimerize üretilen veya akrilik grupları içine perfloroalkil grupları yerleştirilerek sentezlenirler. Elde edilen polimer, maksimum iticilik için yoğun bir CF₃ dış yüzey yapısı oluşturmalıdır. Yapısında Flor atomu içeren kaplamalar Flor atomunun aşırı elektronegatifliğinin etkisi ile suya karşı itici olurlar. Bu yüzeyler düşük yüzey enerjili yüzeylere örnektir. Ancak pürüzsüz bir yüzeyin yüzeyinde -CF₃ grupları ile kaplı olmasına karşın ulaşabileceği maksimum su temas açısı değeri 120°'dir [12]. Bu yüzden yüzeyin pürüzlendirilmesi gerekmektedir. Yüzeyin pürüzlülüğünün artması ile pürüzlülükler arasına sıkışan hava paketçikleri, sıvı

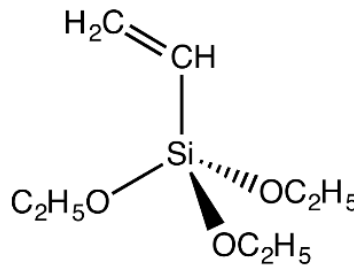
ile yüzey arasındaki adezyonun azalmasına neden olur. Bu da suyun yüzeyle olan temas açısını artırır.

Polidimetilsiloksanın benzersiz yapısı, H bağları yaparak hidrofobik dış yüzey oluşturur. Mukavemet sağlayabilmek için bir silanol, bir silan ve bir katalizörden oluşan üç bileşenli silikon bitimler su itici olarak tasarlanmıştır. Silanol ve silan bileşikler, çapraz bağ oluşturmak üzere reaksiyona girer. Silanın Si-H grupları, silikon zincirindeki reaktif halkalardan çapraz bağ üretir veya hava ile oksitlenerek ya da su ile hidroliz olarak hidroksil gruplarına dönüşürler. Bu hidroksil grupları daha fazla çapraz bağlanmaya neden olabilir fakat çok sayıda reaksiyona girmeyen OH grubu kalırsa bu grubun hidrofilik özelliği su iticiliği düşürecektir.

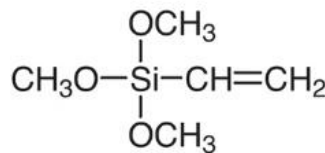
Çalışma kapsamında standart reçinenin kondenzasyon reaksiyonu ile modifikasyonu için kullanılan kimyasallar aşağıda verilmiştir.

Tablo 2: Kondenzasyon ile reçine modifikasyonunda kullanılan ana kimyasallar

Kimyasal adı	Kullanım yeri
Floroalkil Silan	Yüzey hidrofobitesini arttırmak için
Vinil tiri etoksi silan	Çapraz bağ ile yüzey mukavemeti için
Tetra etil orta silikat	Çapraz bağ ile yüzey mukavemeti için
Silika Nano Partikül-H18	Yüzey pürüzlülüğünü kontrollü arttırmak ve yüzey hidrofobitesini arttırmak için



Şekil 1: Vinil tiri etoksi silan molekülünün kimyasal yapısı



Şekil 2: Vinil tiri metoksi silan molekülünün kimyasal yapısı

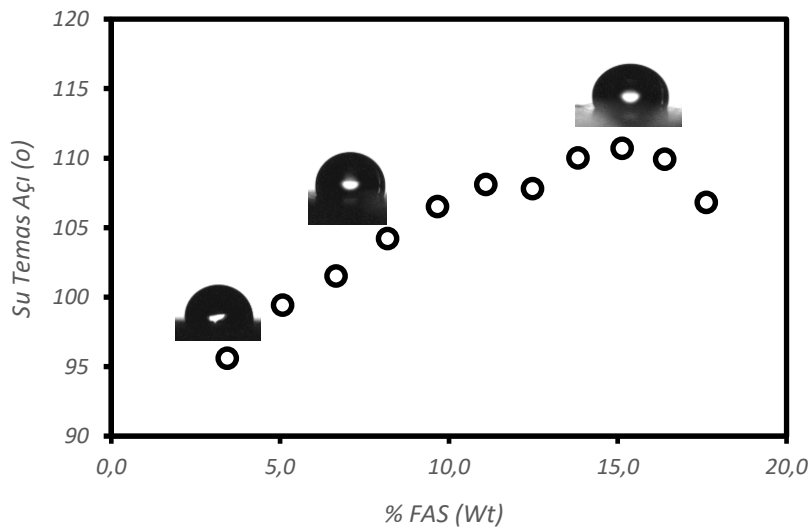
Buradaki amaç kimyasalların bir fiziksel karışımı değil, kimyasal bir bağ ile yeni bir reçine formülasyonudur. Bu hedef yeni kimyasalların farklı oranlarda eklenerek oluşturulacak reçinelerin yüzeye uygulanması ve temas açısına etkisinin incelenmesini içermektedir. Çalışmada 2 farklı yöntem kullanılacaktır:

Yöntem-1: Fiziksel Karışım ile Kompozit Oluşumu: Hidrofobik silika kullanımı

Yöntem-2: Kimyasal Sentez ile Kompozit Oluşumu: Bu sentez kısmında doymamış polyester ve vinil reçinelerdeki fonksiyonel uç olan -OH grupları ile alkoksisilan ve fluroalkil silan bileşikler ile kondensasyon reaksiyonu sonucu bağ yapacaktır. Bu bağ sonucu reçineler süperhidrofobik özellikte olacaktır.

2.1. Standart reçinenin modifikasyonu

Sentez çalışması tek adımda tek kaplama ve tek adımda çift kaplama şeklinde planlanmıştır. Tek adım tek kaplama prosedüründe, reaksiyon ortamına reçine ve modifikasyon ürünleri eklenip kondenzasyon reaksiyonları tamamlanır ve oluşan ürün direk cam yüzeyine kaplanır. Beklenti artan modifikasyon kimyasalları miktarına bağlı olarak yüzey temas açısı değerinin artması şeklindedir. Tek adımda çift kaplama prosedüründe ise reçine olmadan kondenzasyon reaksiyonu gerçekleştirilir. Bu tek adım reaksiyondur. Kaplama prosedüründe ise öncelikle cam yüzeye reçine kaplanır ve üzerine kondenzasyon ürünü kaplanır. Kaplanan yüzeylerin karakterizasyonları su temas açısı ölçülerek belirlenmiştir. Şekil 3' de tek adım tek kaplama tekniğinde artan FAS miktarına bağlı su temas açısı değişimi görülmektedir.

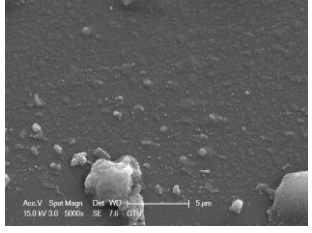
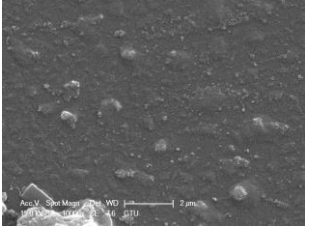
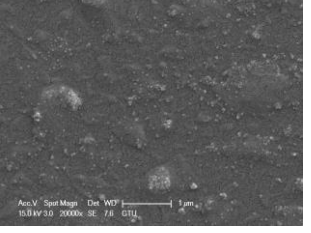
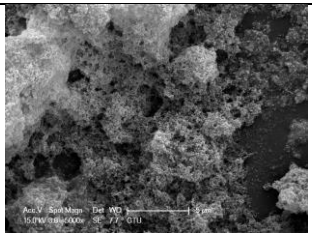
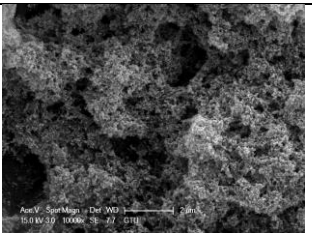
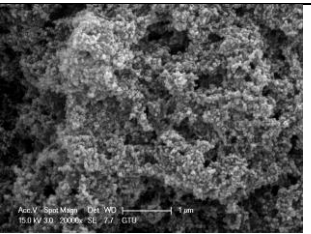


Şekil 3: Tek adım tek kaplama tekniği ile sentezlenen yeni reçinelerin su denge temas açısı değişimi

Şekil 3’de görüldüğü gibi tek adım tek kaplama tekniği ile max 117 ° temas açısı elde edilmiştir. Silika miktarı ağırlıkça % 10 olduğunda yüzey flor atomunca doymuş ve temas açısı değişimi nispeten sabitlenmiştir.

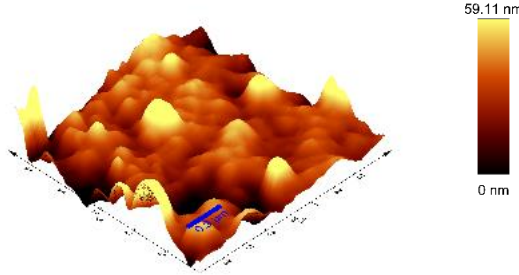
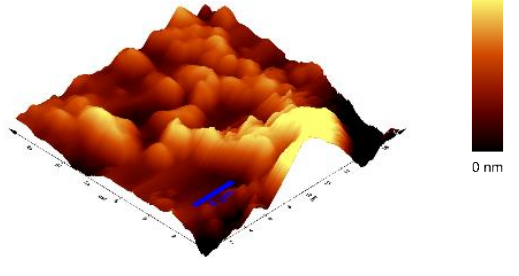
Tek adım çift kaplama tekniği ile yapılan reçine denemeleri sonucunda süperhidrofobik özellikte reçine elde edilmiştir. Temas açıları $>170^\circ$ üzerinde ve su damlası eğim olmayan yüzeyde fotoğraf çekmeye fırsat vermeyecek şekilde hareketli olduğundan fotoğraf çekilememiştir. Elde edilen yüzeylerin morfolojik karakterizasyonları SEM ve AFM ile yapılmıştır. Tablo 3’de standart reçine yüzey (R1: Herhangi bir modifikasyonun yapılmadığı reçine yüzey) ve hidrofor modifiye reçine yüzeyin (R37 nolu çalışma olarak adlandırılmıştır) karşılaştırmalı SEM görüntüleri verilmiştir. Tablo 4’te ise yüzeylerin 3 boyutlu AFM görüntüleri ile ortalama pürüzlülük değerleri (RMS, nm) verilmektedir.

Tablo 3: Yüzeylerin farklı büyütmelerde SEM görüntüleri

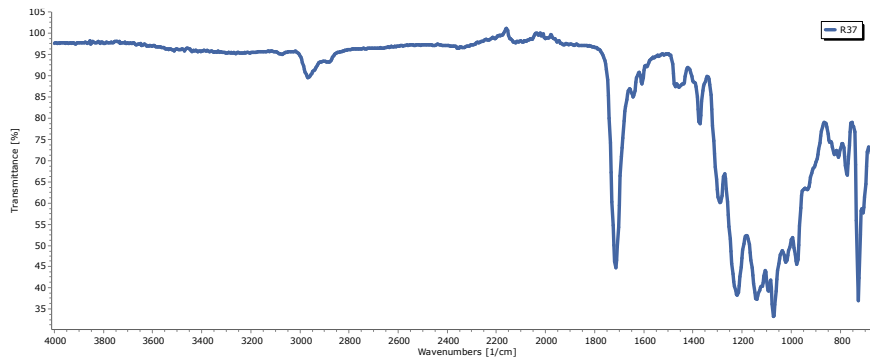
Kod	5000 X	10000 X	20000 X
R1			
R37			

SEM görüntülerin artan silika ile (R37) yüzeydeki mikro-nano hiyerarşik morfoloji net bir şekilde görülmektedir. Bu hiyerarşik yüzeyde pürüzlülükler arasına sıkışan hava paketçikleri su damlasını iterken yüzey süperhidrofobik davranış sergilemektedir. Tablo 4’ de ise yüzeylerin AFM profilleri ve ortalama pürüzlülük değerleri görülmektedir.

Tablo 4: Yüzeylerin AFM görüntüleri

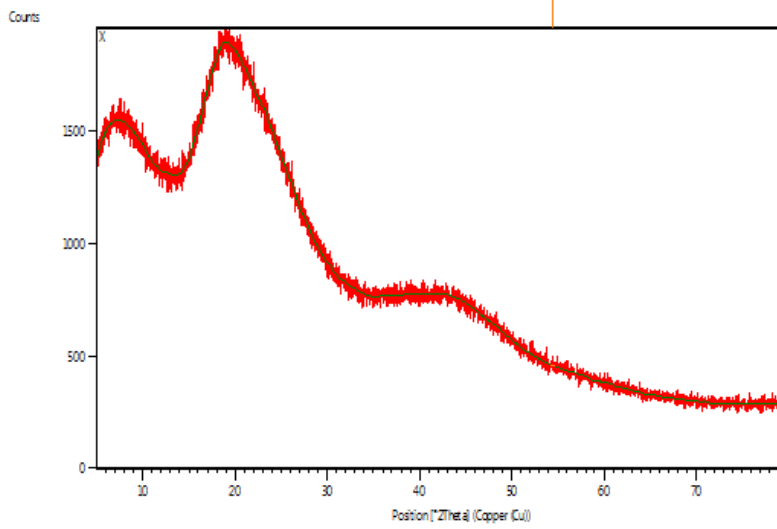
Kod	AFM görüntüleri	RMS (nm)
R1		129
R37		430

Reçine yüzeyin RMS değeri 129 nm iken, artan silika partikül oranı ile pürüzlülük 430 nm değerine ulaşmıştır. Bu sonuç SEM görüntüsündeki hiyerarşik morfolojiyi desteklemektedir. Elde edilen R37 süperhidrofobik reçineye ait yapısal karakterizasyonlar FTIR, XRD ve TGA grafikleri sırasıyla Şekil 4 ile 6 arasında verilmiştir.

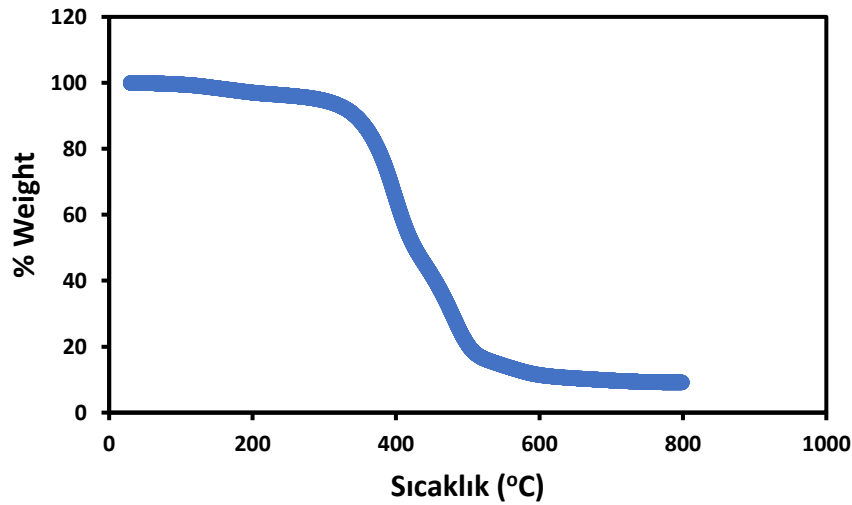


Şekil 4: R37 numunesinin FTIR spektrumu

3000 cm^{-1} e yakın gelen pik Si-OH absorpsiyon pikidir. Bu pikin hemen yanında 2922 cm^{-1} civarında görülen pik ise CF_2 grubundan kaynaklı burulma pikidir. 1600 cm^{-1} de H-OH bending piki görülmektedir. 1120 cm^{-1} de karakteristik Si-O-Si piki görülmektedir. İlaveten 770 cm^{-1} de görülen pik Si- CH_3 absorpsiyon pikidir (Şekil 4).



Şekil 5: R37 numunesinin XRD spektrumu



Şekil 6: R37 numunesinin TGA spektrumu

Şekil 5' de R37 nin XRD piki görülmektedir. XRD spektrumu incelendiği zaman $2\theta=18-27^\circ$ arasında yayvan pik silika nano partiküllerden kaynaklıdır [13]. Şekil 6'da ise R37 numunesinin TGA eğrisi görülmektedir. Bozunmanın başladığı sıcaklık yaklaşık 400°C



civarıdır. Literatürde, ortamda hiç silika yokken reçinenin 600°C’ de tamamen bozulduğu görülmekte ve silika miktarı arttıkça, ortama eklenen silika miktarı kadar bozunma yüzdesinin o değerde sabit kaldığı rapor edilmiştir [14]. R37 numunesinin TGA grafiği de literatürle uyumlu bir şekilde ağırlıkça silika içeriğine kadar artan sıcaklıkla azalmış ve sonra sabit kalmıştır.

3. Sonuçlar

Ece Boya Kimya bünyesinde üretilen standart reçine çeşitli silan grupları ile modifiye edilmiş, sol-jel tekniği ile süperhidrofobik jelkot; tek adım tek kaplama tekniği ile hidrofobik jelkot elde edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar literatürde hidrofobik yüzey elde etmek için yapılan çalışmalar ile uyumlu bulunmuştur [15-17]. Bununla ilgili veriler 2. Bölümde detaylı olarak açıklanmıştır.

Çalışmada, süperhidrofobik reçine sentezi için tek adımda tek kaplama, tek adımda çift kaplama olmak üzere 2 farklı prosedür üzerinde çalışılmış ve elde edilen en yüksek su temas açısına sahip ürünün yüzey ve yapısal karakterizasyonları yapılarak süperhidrofobik jelkot geliştirilmiştir. R37 olarak adlandırılan süperhidrofobik reçine yüzeyinin ilerleyen ve gerileyen temas açıları arasındaki fark CAH (Temas açısı karmaşası, Contact Angle Hysteresis) ölçülemedi. Bunun sebebi su damlasının, yüzeyin aşırı ıticiliğinden ötürü yüzeyde duramamasından kaynaklıdır. Su damlası eğim olmayan yüzeyde fotoğraf çekmeye fırsat vermeyecek şekilde hareketlidir. Bu da CAH değerinin sifıra yakın bir değer olduğunu göstermektedir.

4. Tartışma

Farklı çalışmalarda olduğu gibi, bu çalışmada da bazı kısıtlar mevcuttur. Çalışma sonucunda varılan son nokta olarak elde edilen jelkot kaplamalara daha fazla silika nanopartikül ilavesi su temas açısı değerini artmaktadır. Fakat bu ilave jelkot reoloji ve viskozitesini etkilemektedir. Ayrıca pilot ölçekli üretimde karşılaşılan en büyük problem olan hacim-faz dengesindeki bozulma problemi için çalışmalar devam etmektedir.

Elde edilen sonuçları genele yaymak için farklı firmalardan kimyasallar tedarik edilerek çalışmanın tekrarlanabilirliği kontrol edilebilir.

5. Teşekkür

Bu çalışma Tübitak destekli 3210197 numaralı TEYDEB projesi ile gerçekleştirilmiştir. Maddi destek sağlayan TÜBİTAK’a teşekkür ederiz. Çalışmanın tüm aşamalarında bilgisini hiç eksik etmeyen ve katkılarını sunan değerli hocamız Doç. Dr. Uğur CENGİZ’e ve Ece Boya Kimya Arge Merkezi çalışanlarına teşekkür ederiz.



Referanslar

- [1] L. B. Büklü, "Süperhidrofob Kaplamaların Yüzey Enerjisi", *Yüksek Lisans Tezi*, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 2006.
- [2] H.Y. Erbil, "Calculation of spreading pressure from contact angle data on polymer surfaces", *Langmuir*, 10, 2006-2009, 1994.
- [3] H.Y. Erbil, "Surface Tension Of Polimers", *In Handbook Of Surface And Colloid Chemistry*, Chapter 9, 259-306, 1997.
- [4] U. Cengiz and H.Y. Erbil, "Superhydrophobic perfluoropolymer surfaces having heterogeneous roughness created by dip-coating from solutions containing a nonsolvent", *Applied Surface Science*, 292, 591-597, 2014.
- [5] H. Liu, et al., "Reversible Wettability of a Chemical Vapor Deposition Prepared ZnO Film between Superhydrophobicity and Superhydrophilicity", *Langmuir*, 20, 5659-5661, 2004.
- [6] A. Steele, I. Bayer, and E. Loth, "Inherently Superoleophobic Nanocomposite Coatings by Spray Atomization", *Nano Letters*, 9(1), 501-505, 2009.
- [7] U. Cengiz, et al., "Superhydrophobic terpolymer nanofibers containing perfluoroethyl alkyl methacrylate by electrospinning", *Applied Surface Science*, 258(15), 5815-5821, 2012.
- [8] R.K. Satvekar, et al., "Influence of Silane Content on the Optical Properties of Sol Gel Derived Spin Coated Silica Thin Films", *International Journal of Basic and Applied Sciences*, 1(4), 468-476, 2012.
- [9] A.S.T. Kaya, E. Erdogan, and U. Cengiz, "Preparation of stable, transparent superhydrophobic film via one step one pot sol-gel method", *Colloid and Polymer Science*, 296(9), 1523-1532, 2018.
- [10] S.S. Latthe, et al., "Superhydrophobic silica films by sol-gel co-precursor method", *Applied Surface Science*, 256(1), 217-222, 2009.
- [11] S.S. Latthe, et al., "Ultrahydrophobic silica films by sol-gel process", *Journal of Porous Materials*, 17(5), 565-571, 2010.
- [12] T. Nishino, M. Meguro, K. Nakamae, M. Matsushita, Y. Ueda, "The Lowest Surface Free Energy Based on -CF₃ Alignment", *Langmuir*, 15, 4121-4123, 1999.
- [13] G. Nallathambi, T. Ramachandran, V. Rajendran, R. Palanivelu, *Mater. Res.*, 14, 552, 2014.
- [14] J.T. Saavedra, et al., "Effect of silica content on thermal stability of fumed silica/epoxy composites", *Polymer Degradation and Stability*, 93, 2133-2137, 2008.
- [15] U. Ulusoy, "Characterization Of Shape, Roughness And Wettability Of Caicite", *Scientific Mining Journal*, 43, 11-24, 2004.
- [16] G. Yüçetürk, "Yapay Mermerde Kullanılan Kuvars Ve Kalsit Minerallerinin Fiziko-Mekanik Özellikleri", *International Journal Of Technologic Sciences*, 2, 72-80, 2010.
- [17] M. Özer and M. Orhan, "Lazer Kırınım Yöntemiyle Zeminlerin Tane Büyüklüğü Dağılımının Belirlenmesi: Genel İlkeler Ve Örnek Hazırlama Yöntemi", *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ*, 22, 217-226, 2007.