



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



SÜREKLİ VE VERİMLİ SİS TOPLAMA İÇİN
PECVD YÖNTEMİ İLE HİDROFOBİK VE
HİDROFİLİK YÜZEYLERİN
OLUŞTURULMASI

Berkan KOCADAYIOĞULLARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık-2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Berkan KOCADAYIOĞULLARI tarafından hazırlanan “Sürekli ve Verimli Sis Toplama için PECVD Yöntemi ile Hidrofobik ve Hidrofilik Yüzeylerin Oluşturulması.” adlı tez çalışması 04/12/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Şeref ERTUL

Danışman

Doç. Dr. Mehmet GÜRSOY

Üye

Prof. Dr. Mustafa KARAMAN

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması Konya Teknik Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Proje Birimi tarafından 221016025 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Berkan KOCADAYIOĞULLARI

Tarih: 04 /12/2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SÜREKLİ VE VERİMLİ SIS TOPLAMA İÇİN PECVD YÖNTEMİ İLE HİDROFOBİK VE HİDROFİLİK YÜZEYLERİN OLUŞTURULMASI

Berkan KOCADAYIOĞULLARI

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Mehmet GÜRSOY

2023, 81 Sayfa

**Jüri
Doç. Dr. Mehmet GÜRSOY
Prof. Dr. Şeref ERTUL
Prof. Dr. Mustafa KARAMAN**

Havadan sis toplama, tatlı su elde etmek için sürdürülebilir ve etkili yöntemlerden biridir. Enerjisiz sis toplayıcı sistemler bu amaçla yaygın olarak kullanılmaktadır, ancak bu sistemlerde kullanılan geleneksel ağların verimliliği yeterli değildir. Bu tezin temel amacı, sıradan polipropilen kumaşları, tek adımda ve çevre dostu bir yöntem olan plazma destekli kimyasal buhar biriktirme (PECVD) yöntemi kullanılarak polimerik ince filmlerle kaplayarak etkili sis toplama malzemelerine dönüştürmektir. Poli(akrilik asit) (PAA) ve poli(2,3,4,4-hekzaflorobutil akrilat) (PHFBA) ince filmler sırasıyla hidrofilik ve hidrofobik polimerler olarak PECVD yöntemi kullanılarak sentezlenmiştir. Yüzey ıslanabilirliği ve kumaş ağırlığının sis toplama verimliliği üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ayrıca, yüzey pürüzlülüğünün sis toplama verimliliği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, modifiye edilmiş silika partikülleri sentezlenmiş ve kumaşların pürüzlülüğünü arttırmak için kullanılmıştır. Bu tezin sonuçlarına göre, PECVD ile yapılan hidrofobik film kaplaması ve modifiye silika partiküllerinin yarattığı gözenekliliğin oluşturduğu sinerjik etki kumaşların sis toplama verimliliğini artırmıştır. Pürüzlendirilmiş yüzey üzerine hidrofobik ince film kaplamalarıyla üretilen kumaşlar en yüksek sis toplama verimliliğini ($1,14 \text{ L m}^{-2} \text{ h}$) göstermiştir. Bu tezin sonuçları, burada geliştirilen yöntemle modifiye edilen kumaşların, şu anda sis toplayıcılarda kullanılan ağlara umut verici bir alternatif olabileceğini göstermektedir. PECVD sisteminin ölçek büyütme potansiyeli göz önüne alındığında, sis toplama için çok daha geniş yüzey alanlarını modifiye etmek mümkündür. Ayrıca, burada geliştirilen yüzey modifikasyon teknikleri, mikroakışkanlar, çip üzerinde laboratuvar, sensörler ve tarım gibi ıslanabilirliğin önemli olduğu uygulamalar için malzeme geliştirmek üzere uygulanabilir.

Anahtar Kelimeler: Hidrofilik, Hidrofobik, İnce film, PECVD, Plazma, Sis Toplama

ABSTRACT

MS THESIS

CREATING HYDROPHOBIC AND HYDROPHILIC SURFACES WITH PECVD METHOD FOR CONTINUOUS AND EFFICIENT FOG COLLECTION

Berkan KOCADAYIOĞULLARI

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Chemical Engineering**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet GÜRSOY

2023, 81 Pages

**Jury
Assoc. Prof. Dr. Mehmet GÜRSOY
Prof. Dr. Şeref ERTUL
Prof. Dr. Mustafa KARAMAN**

Fog harvesting from the air is one of the sustainable and effective methods to obtain fresh water. Energy-free fog collector systems are widely used for this purpose, but the efficiency of traditional meshes used in these systems is not sufficient. The main objective of this thesis is to transform ordinary polypropylene fabrics into effective fog harvesting materials by coating them with polymeric thin films using plasma enhanced chemical vapor deposition (PECVD) method, which is a one-step and environmentally friendly method. Poly(acrylic acid) (PAA) and poly(2,3,4,4,4-hexafluorobutyl acrylate) (PHFBA) thin films were synthesized using PECVD method as hydrophilic and hydrophobic polymers, respectively. The effects of surface wettability and fabric weight on fog harvesting efficiency were investigated. Moreover, the effect of surface roughness on fog harvesting efficiency was studied. For this purpose, modified silica particles were synthesized and used to increase the roughness of the fabrics. Based on the results of this thesis, the synergistic effect of the hydrophobic film coating by PECVD and the porosity created by the modified silica particles increased the fog harvesting efficiency of the fabrics. The fabrics produced with hydrophobic thin film coatings on the roughened surface showed the highest fog harvesting efficiency ($1,14 \text{ L m}^{-2} \text{ h}$). The results of this thesis show that the fabrics modified by the method developed here can be a promising alternative to the meshes currently used in fog collectors. Considering the scale up potential of PECVD system, it is possible to modify much larger surface areas for fog harvesting. Furthermore, the surface modification techniques developed here can be applied to develop materials for applications where wettability is important, such as microfluidics, lab-on-a-chip, sensors and agriculture.

Keywords: Fog harvesting, Hydrophilic, Hydrophobic, PECVD, Plasma, Thin film.

ÖNSÖZ

Sürekli ve Verimli Sis Toplama İçin PECVD Yöntemi ile Hidrofobik ve Hidrofilik Yüzeylerin Oluşturulması isimli bu çalışma; Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı öğretim üyelerinden Sayın Doç. Dr. Mehmet GÜRSOY yönetiminde yapılarak Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'ne yüksek lisans tezi olarak sunulmuştur.

Çalışma süresi boyunca araştırma ve uygulama olmak üzere her aşamada bilgilerini ve yardımlarını esirgemeyen, çalışmalarımı yönlendirmemde büyük emeği olan değerli hocam Doç. Dr. Mehmet GÜRSOY' a ve Konya Teknik Üniversitesi öğretim üyelerine teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmaya 221016025 numaralı proje ile finansal destek sağlayan Konya Teknik Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Proje Birimine ve çalışanlarına katkılarından dolayı teşekkür ederim. Bu tez çalışmasının sonuçlarından “Environmentally Friendly Approach for the Plasma Surface Modification of Fabrics for Improved Fog Harvesting Performance” başlıklı makale (<https://doi.org/10.1007/s12221-023-00328-z>) Fibers and Polymers dergisinde yayınlanmıştır.

Her an sevgilerini hissettiğim ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen canım eşim Filiz KOCADAYIOĞULLARI'na, çocuklarım İrfan Ege ve Uğur Efe'ye, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Konya Teknik Üniversitesi Öğr. Gör. Hasan KOCADAYIOĞULLARI'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Berkan KOCADAYIOĞULLARI
KONYA-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR	v
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Sis Toplama	3
1.2. Sis Toplamanın Tarihçesi	7
1.3. Sis Toplama Uygulamaları	8
1.4. Bir Damlacığın Düzlemsel Bir Yüzeyi Islatma Davranışı	12
1.4.1. Yüzey gerilim ve temas açısı – young denklemi	12
1.4.2. Pürüzlü (Heterojen) yüzeylerde temas açısı	14
1.5. Doğadaki Sis Toplayan Canlılar.....	16
1.5.1. Kaktüs	18
1.5.2. Namib çöl böceği.....	19
1.5.3. Diğer canlılar	21
1.6. Polimerler	24
1.7. Polimerik İnce Film Üretim Yöntemleri	26
1.8. Islak Prosesler.....	27
1.8.1. Sol-jel metodu.....	27
1.8.2. Daldırma-Çıkarma yöntemi	28
1.8.3. Dönel kaplama	28
1.8.4. Atom transfer radikal polimerizasyonu (ATRP)	29
1.8.5. Katman katman kaplama	30
1.9. Kuru Prosesler	31
1.9.1. CVD yöntemi.....	31
1.9.2. iCVD yöntemi.....	34
1.9.3. PECVD yöntemi	35
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	38
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	44
3.1. Materyal.....	44
3.2. Yöntem	44
3.2.1. Modifiye silika partikül sentezi	44
3.2.2. Polimerik ince film PECVD	44
3.2.3. Karakterizasyonlar	45
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	48
4.1. Kaplamaların Kimyasal ve Morfolojik Yapıları.....	48
4.2. Sis Toplama Performansı	57

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	64
KAYNAKLAR.....	65



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

μm	: Mikrometre
cm	: Santimetre
cm^2	: Santimetrekare
g	: Gram
h	: Saat
L	: Litre
m^2	: Metrekare
m^3	: Metreküp
mg	: Miligram
mL	: Mililitre
mm	: Milimetre
mN	: Milinewton
nm	: Nanometre
rpm	: Dakikadaki dönüş sayısı
s	: Saniye
γL	: Sıvı yüzey gerilimi
θ	: Temas açısı

Kısaltmalar

AA	: Akrilik Asit
ABN	: Antibakteriyel İğne Dizisi
AFM	: Atomik Kuvvet Mikroskobu
ATRP	: Atom Transfer Radikal Polimerizasyonu
CB	: Karboksibetain
CCW	: Konik Bakır Tel
CVD	: Kimyasal Buhar Biriktirme
DC	: Doğru Akım
FTIR	: Fourier Transform İnfrared Spektroskopi
HFBA	: Hekzaflorobutil Akrilat
IPPC	: Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli
iCVD	: Başlatıcılı Kimyasal Buhar Biriktirme
LFC	: Büyük Sis Toplayıcı
LV	: Akışkan-Gaz
MF-LFC	: Modüler Huni- Büyük Sis Toplayıcı
PAA	: Poliakrilik Asit
PAN	: Poliakrilonitril
PDMS	: Polidimetilsiloksan
PECVD	: Plazma Destekli Kimyasal Buhar Biriktirme
PFC	: Pasif Sis Toplayıcı
PHFBA	: Polihekzaflorobutil Akrilat
PVA	: Polivinil Alkol
PVC	: Polivinil Klorür
RDRP	: Tersinir Deaktivasyon Radikal Polimerizasyonu
Rf	: Pürüzlülük Faktörü
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
SFC	: Standart Sis Toplayıcı
SHCSN	: Süperhidrofilik-Hidrofobik Entegre Konik Paslanmaz Çelik İğne
SL	: Katı-Akışkan
SV	: Katı-Gaz
TEOS	: Tetraetil Orto Silikat
WGCCN	: Islanabilirlik Gradyanlı Konik Bakır İğne
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü

1. GİRİŞ

Yaşamın en temel ihtiyacı olan su aynı zamanda sürdürülebilir kalkınmanın en temel göstergelerinden biridir. Kavramsal olarak, su kaynakları; mavi su (göller, nehirler ve akiferler gibi tatlı yüzey ve yeraltı suları), yeşil su (bitkilerin kullanımı için toprakta depolanan yağışlar), gri su (insan kullanımı nedeniyle kirlenmiş sular) ve gizli su (tarımsal ve endüstriyel ürünlere gömülü olan sular) olmak üzere dört kategoriden oluşmaktadır (Jensen, 2008; Lal, 2015). Son yüzyılda dünya nüfusu üç kat, su tüketimi ise yedi kat artmıştır (Şahin, 2016). Günümüzde dünya genelinde tatlı su kaynaklarının kıtlığı ve eşit olmayan dağılımına karşı mücadele devam etmektedir (Aydın ve ark., 2017; Li ve ark., 2022). Tüm canlıların yaşamını devam ettirebilmesi için tatlı suya erişim önem taşımaktadır. Sadece yaşamın devamı için değil hayatın hemen her alanında su kullanılmakta ve dünya genelinde birçok sektör (enerji ve sanayi sektörü; ticaret, turizm ve balıkçılık sektörü; içme, kullanma ve tarım sektörü gibi) suya bağımlı veya suyla ilgilidir (Paquin ve Cosgrove, 2016). Dünyada kentleşme ve iklim değişikliği gibi nedenlerle su ihtiyacının, mevcut su varlığını aşması sonucunda, su kıtlığı artmaktadır. Gezegenimizde 1950'den 2020'ye kadar şehirlerde yaşayan küresel nüfus 800 milyondan (%29,6) 4,4 milyara (%56,2) ulaşmış ve nüfusun 2050 yılına kadar 6,7 milyara (%68,4) ulaşacağı tahmin edilmektedir. Nüfus artışı, kentleşme ve sosyoekonomik kalkınmanın sonucunda su kaynakları kullanımını artırması beklenmekte olup, önümüzdeki otuz yıl içinde su talebinin %50-80 oranında artacağı tahmin edilmektedir (He ve ark., 2021). Yerkürenin %75'i sularla kaplı olmakla beraber, bunun %2,53'ü tatlı su niteliğinde olup, tatlı suların da yaklaşık %70'i buzul formdadır (Lal, 2015). Dünyadaki suyun yalnızca %3,5'i kullanılabilir durumdadır. Bu kullanılabilir suyun %1,74'ü buzullarda, %97'si ise yeraltı sularındadır. Yeraltı sularının %97'si ise akifer adı verilen yeraltı boşluklarında bulunur.

Dünya ülkelerinin su fakirlik indeksine göre sıralandığı bir çalışmada, 147 ülke arasında Türkiye 78. sırada bulunmaktadır. Bu sıralama dikkate alındığında, ülkemiz su kıtlığı yaşayan ülkeler arasında olup, su fakiri olma tehlikesi altındadır (Erdem ve Gezer, 2018). Türkiye'de toplam su varlığının büyük bir kısmı sulamada kullanılmakta olup, bu miktar toprak yapısı, iklim, su kalitesi ve sulama yöntemine göre değişmektedir. Artan dünya nüfusunun yanı sıra, hızlı kentleşme, yüksek sanayileşme ve kontrolsüz sulama gibi faktörler nedeniyle su tüketimi artmaktadır. Bunlara ek olarak küresel ısınma, suyun gezegenimizdeki dağılımını, mevsimsel dönemleri ve yağış

rejimlerini etkileyerek mevcut ve gelecekteki su rezervlerini tehdit etmektedir. Küresel olarak suyun tarım amaçlı kullanımı ülkelerin gelişmişlik derecesini göstermekle birlikte, tarım amaçlı su kullanımı az gelişmiş ülkelerde %70 iken, gelişmiş ülkelerde bu oran %35 oranındadır.

Günümüzde su kıtlığı gezegenimizin karşı karşıya olduğu en önemli sorunlar arasında yer almaktadır. Hâlihazırda toplam dünya nüfusunun %47'si yılda en az 1 ay su kıtlığı çeken bölgelerde yaşamaktadır ve bu oranın 2050 yılında %57'ye ulaşması beklenmektedir (WWAP, 2018; Boretti ve Rosa, 2019). Su kıtlığı sadece rezervlerin tükenmesi değil, aynı zamanda rezervlerin kirlenerek kullanılmaz hale gelmesini de kapsamaktadır.

Su kıtlığı sorununun üstesinden gelebilmek amacıyla tatlı su elde etmeye yönelik çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu amaçla, ters osmoz ve deniz suyunu tuzdan arındırma yöntemi yaygın bir şekilde kullanılan geleneksel yöntemlerin başında gelmektedir (Gökçek ve Gökçek, 2016; Abdullaev ve ark., 2019; Dhakal ve ark., 2022). Tatlı su elde etmeye yönelik, tuzdan arındırma yöntemi yüksek maliyet ve enerji tüketimine neden olup; bununla birlikte sadece kıyı bölgeleri için uygun olmaktadır. Aynı zamanda düşük maliyetli yer altı sularının kullanımı kaynak ile sınırlı olmakta ve aşırı yer altı suyu kullanımının çevresel zarara sebep olmasından dolayı tercih edilmemektedir. Diğer bir yöntem olan su yönlendirme yüksek maliyet, ekilebilir arazilerin tehdit altında olması ve çevre sorunlarına neden olmakta bu sebeple bu yöntemin de kullanılması tavsiye edilmemektedir (Lei ve Guo, 2020). Temiz ve tatlı su elde etmeye yönelik yöntemler, pahalı yatırım gerektirmelerinin yanı sıra söz konusu yöntemlerdeki prosesleri çalıştırmak için yüksek enerji tüketimi ve işletme maliyeti de gerektirmektedir. Bu yöntemlerin kullanımı için yüksek enerji gereksinimi çoğunlukla fosil kaynaklardan sağlanmakta, dolayısıyla çevresel karbon ayak izi artmaktadır. İşletme sırasında geleneksel yöntemlerin bakım gerektirmesi, suya ihtiyaç olan yerin kurulum yerinden uzak olması gibi doğal ve ekonomik gerekçelerle konforlu olmayan durumlara karşı alternatif temiz su kaynağı temini için çevre dostu alternatif yöntemlerin bulunması gerekli olmuştur (Gürsoy, 2020a). Bu sebeple temiz su temininde çevre dostu yöntemlerinden biri olan, enerji tüketimi gerektirmeyen ve uygun maliyetli olan havadan sis toplama yöntemi önem kazanmaktadır. Temiz ve tatlı su elde edilmesinde maliyet ve konum sınırlaması olması gece sisi gibi doğal kaynakların toplanmasıyla diğer yöntemlere kıyasla daha iyi olduğu düşünüldüğü için sis toplama çalışmaları önem kazanmaya başlamıştır (Lei ve Guo, 2020). Etkili sis toplamada

geleneksel yöntemlerin kullanımı verim düşüklüğü ile sonuçlandığı için, bu tez çalışmasının amacı yüksek sis toplama verimine sahip malzemelerin geliştirilmesidir.

1.1. Sis Toplama

Küresel su döngüsünün bir parçası olan sis, genel olarak gezegenin yüzeyine yakın yerde, atmosferde asılı duran su damlacıkları olarak tanımlanmaktadır. Başka bir ifade ile sis, sıcaklığın çığ noktasının altına düşmesiyle birlikte nemli havanın oluşturduğu bir bulut olarak da tanımlanabilir. Çığ noktası sıcaklığı, rakım, nem yüksekliği ve çevresel faktörler sis oluşumunu olumlu yönde etkilemektedir (Özcan ve Pakyürek, 2019). Özellikle yarı kurak ve kurak bölgelerde sis alternatif su temini için önem taşımaktadır.

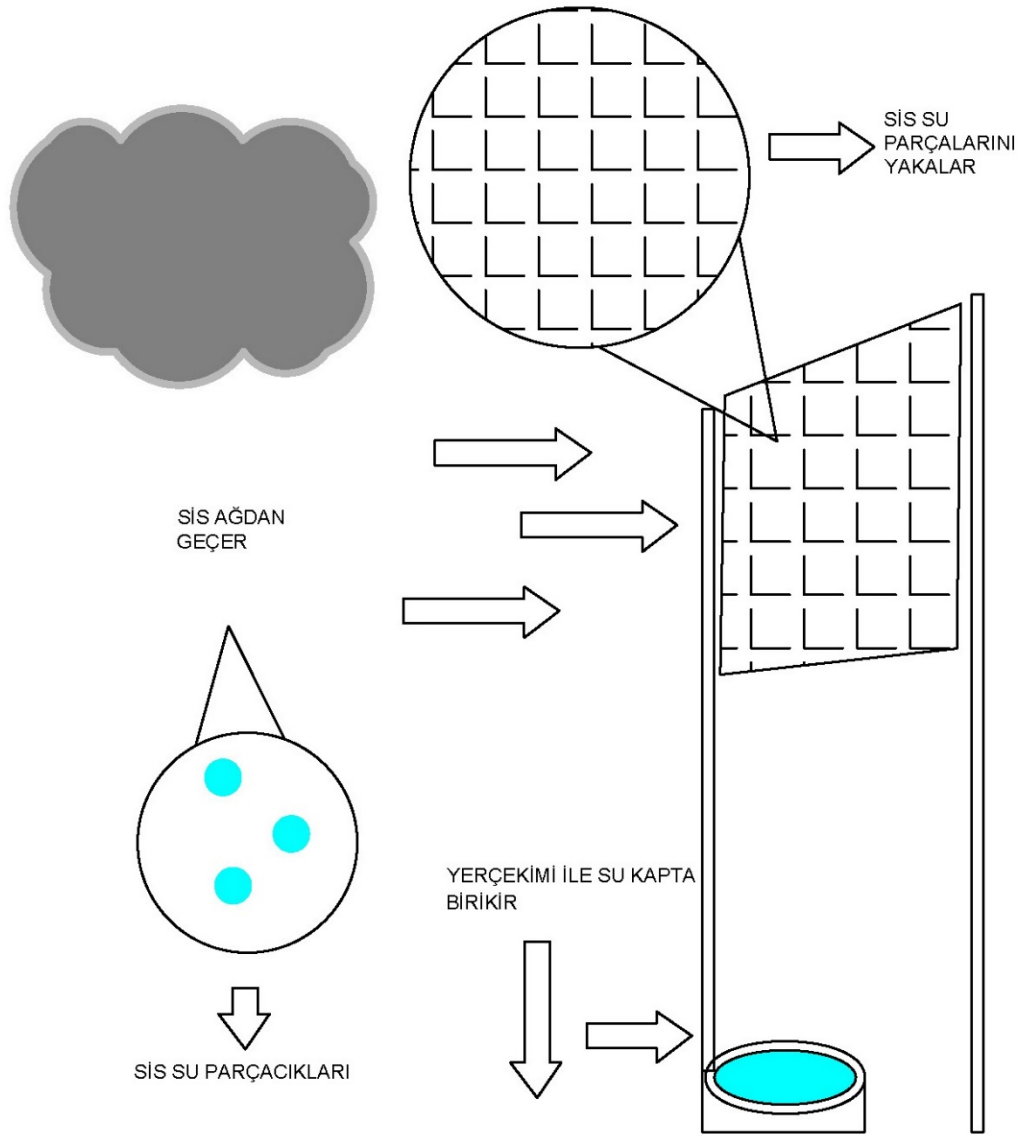
Sis damlacıkları karadan veya denizden buharlaşma ile kaybedilen sular olmakla birlikte, çapı 1 ila 30 μm arasında değişmektedir (Abdul-Wahab ve Lea (2008). Sis içinde bulunan küçük su damlacıkları, canlı veya cansız nesnelerin yüzeylerine temas ettiklerinde uygun koşullar altında yüzeylerde sis toplanabilmektedir. Sis toplamada sisteki küçük damlacıklar sis toplama yüzeyi tarafından yakalanır, küçük damlacıklar bir araya gelerek büyük damlacıklara dönüşür.

Sis toplama pilot sistemleri kendi aralarında; eyfel, arp ve diyagonal arp olmak üzere üç farklı şekilden oluşmaktadır (Özcan ve Pakyürek, 2019). Şekil 1.1.'de pilot sistemlerin çeşitleri verilmiştir.



Şekil 1.1. Eyfel, arp ve diyagonal arp olmak üzere pilot sistem çeşitleri (Özcan ve Pakyürek, 2019).

Geleneksel sis toplayıcı ağ sistemleri, sis taşıyan rüzgara dik açıda konumlandırılan zemine dikey olarak yerleştirilmiş bir çerçeve içindeki raşel ve benzeri malzemelerden yapılan ağlardan oluşmaktadır (Azeem ve ark., 2020). Böylece zaman içerisinde rüzgarın sisi ağa doğru itmesiyle sis toplanarak birikir ve belirli bir ağırlığa ulaştıklarında yer çekiminin de etkisiyle zeminde bulunan kaplarda temiz ve tatlı su temin edilebilmektedir (Yue ve ark., 2022). Şekil 1.2.'de geleneksel sis toplayıcıların mekanizması şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Sisten su toplama mekanizması (Khalil ve ark., 2021).

Sis toplayıcılar aynı mekanizmaya sahip olsa da farklı çeşitleri mevcuttur. Bu şekiller standart, büyük ve silindirik sis toplayıcılar olarak sınıflandırılmaktadır. Standart sis toplayıcılar (SFC) rüzgâr yönüne dik olacak şekilde, sert çerçeveye,

zeminden 2 m. yukarıda $1 \times 1 \text{ m}^2$ boyutunda; büyük sis toplayıcılar (LFC) iki dikey direk arasına gerilmiş kablolardan yapılan, 10 m. genişlikte ve 4 m. yüksekliğindedir (Özcan ve Pakyürek, 2019).

Sis toplayıcı sistemler toplayıcı panelin şekil, boyut ve kullanılan ağ malzemesinin yapısına göre farklılık içerebilmektedir (Batisha, 2015). Sis toplayıcılar, Şekil 1.3.'te görüldüğü üzere geleneksel olarak üç ana tasarıma ayrılır.

- LFC: Bu tasarım, paralel yerleştirilmiş metal çubuklardan oluşan bir çerçeveye sahip bir örgüden oluşur. Sis, örgüye çarptığında, damlacıkları yakalayan ve bir su deposuna akan bir kanala yönlendirilir (Verbrugghe ve Khan, 2023).

- Modüler Huni-Büyük Sis Toplayıcı (MF-LFC): Bu tasarım, LFC'nin bir varyasyonudur. Örgü, daha küçük parçalara bölünmüştür ve her parça ayrı ayrı zemine sabitlenmiştir. Bu, LFC'ye göre daha düşük bakım maliyeti ve daha yüksek toplama verimliliği sağlar (Noman, 2020; Verbrugghe ve Khan, 2023).

- Diğer tasarımlar: Bu kategoriye, Dropnet, Cloud Harvester ve Fog Tower gibi çeşitli yenilikçi sis toplayıcıları dahildir. Bu tasarımlar, daha küçük boyut, daha düşük maliyet veya daha yüksek verimlilik gibi avantajlar sunar (Verbrugghe ve Khan, 2023).

Genellikle sis toplamada kullanılacak pilot sistemde SFC kullanılmakta olup uygun koşullarda sis toplayıcı sistemlerin kurulumu için tercih edilmektedir (Özcan ve Pakyürek, 2019).

KAVRAMSAL		DENEYSEL
MF-LFC	Dropnet	Cloud Harvester
Fog Tower	Urban concept	Airdrip
		FogHive

Şekil 1.3. Kavramsal sis toplayıcılar MF-LFC, Dropnet, Cloud Harvester, Fog Tower, Urban konsept ve deneysel sis toplayıcıların Airdrip, FogHive görselleştirilmesi ve resimleri (Verbrugghe ve Khan, 2023)

1.2. Sis Toplamanın Tarihçesi

Sis toplama "geleneksel olmayan" bir su kaynağı olarak sınıflandırılmış olmasına rağmen, aslında eski bir uygulamadır (Diehl, 2010). Dünyanın bazı bölgelerinde, hayvanların otlatılmasını mümkün kılmak için Tunç Çağı kadar erken bir dönemde, sis damlalarıyla beslenen sığ göletler kullanılmıştır. Arkeolojik kanıtlar, dünyanın dört bir yanındaki toplulukların binlerce yıl boyunca yoğunlaştırılmış su toplamak için bitki örtüsünün dibine kaplar yerleştirdiğini göstermektedir. Ancak, sis suyu toplamanın net geçmişi, çiğ toplama ve yağmur suyu toplaması ile örtüşmesi nedeniyle karmaşık hale gelmektedir. Sis suyu toplama, çiğ toplama ve yağmur suyu toplama teknikleri, hidrolojik olarak farklı değişkenlerden yararlanmaktadır (Qadir ve ark., 2022).

Sis toplamasının modern tarihini izlemek biraz daha kolaydır ve üç dönemde incelenebilir: 15–19. yüzyıllar arası, 20. yüzyıl ve 21. yüzyıl. Sis toplama ile ilgili ilk bulgular 15- 19. yüzyıllar arasındaki yazılı kayıtlarda yer almaktadır. 20. yüzyılda su kaynağı olarak hizmet edip edemeyeceği bilimsel araştırmalara konu olmuştur. 21. yüzyılda kâr amacı gütmeyen kurumlar ve çeşitli alanlardan endüstriyel kurumlar sisin su kaynağı olarak kullanılmasıyla ilgilenmiştir (Qadir ve ark., 2022).

Sis toplama temel olarak, atmosferik su buharının yoğunlaşarak suya dönüşmesi ve bu suyun toplanması amacıyla gerçekleştirilen bir faaliyettir. Bu yöntemin bir örneği, sisin bitki örtüsünün üzerinden geçerek, atmosferik su buharının toplanmak üzere aşağı damlayacak kadar büyük damlacıklar oluşturan yapraklar üzerinde birikmesiyle oluşan sis damlamasıdır (Diehl, 2010). Daha sonra bu doğal yöntem dikkate alınarak özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerdeki su ihtiyacını karşılamak amacıyla sis toplama teknolojik olarak geliştirilmiştir (Qadir ve ark., 2022). Çizelge 1.1’de sis toplamanın teknolojik gelişimi ile ilgili önemli olaylar tarih dikkate alınarak verilmiştir.

Çizelge 1.1. Sis toplamının yıllara göre teknolojik gelişimi (Qadir ve ark., 2022).

Yıl	Sis toplamının teknolojik gelişimi
1500 dolaylarında 16. – 17. yüzyıllar	Peru'daki yüksek rakımlı bölgelerde ağaçların ve bitkilerin tabanından sis toplanması
1800'ler	El Hierro adasındaki yerli topluluklar tarafından, sis toplama tekniklerinin tasvirlerinin bulunması
1901–1904	İngiltere'de, Tunç Çağı'na kadar uzanan benzer yapılardan esinlenerek, hayvanların otlatılması için tabak şeklinde binlerce 'çiy göleti' inşasının yapılması
1910'lar	Güney Afrika'da sis toplama oranları üzerine çalışmaları yapılması
1956	Edward Alfred Martin'in, Güney İngiltere'deki yanlış adlandırılmış 'çiy göletlerinin' çiyden değil, İngiliz Kanalı'ndan kaynaklanan sis damlalarından beslendiğinin belirlenmesi
1969	Şilide ağlar ile sis toplama çalışmasının başlaması.
1980	İlk modern sis toplama projesi, Mariepskop radar istasyonundaki çalışanlara su sağlanması
1987	Sis toplama potansiyelini ve sis toplayıcıların etkinliğini incelemek için Şili, El Tofo'da bir çalışma başlatılması
1998	El Tofo çalışmasının başarısını temel alarak, yakındaki Chungungo kıyı topluluğuna su sağlamak için dağda büyük bir operasyonel sis toplama projesinin uygulanması
2000	1. Uluslararası Sis ve Sis Toplama Konferansının düzenlenmesi
2013	Çöl iklimlerindeki topluluklar için sis toplamayı destekleyen kâr amacı gütmeyen bir kuruluş olan FogQuest'in başlatılması; Dominik Cumhuriyeti, Ekvador, Eritre, Guatemala, Haiti, İsrail, Peru, Yemen ve daha birçok ülkedeki çalışmaların desteklenmesi
2015	Alman mühendislik kuruluşu Wasserstiftung tarafından şiddetli rüzgarlara dayanıklı daha verimli ağ biçimlerini belirlemek için sis toplama çalışmasının yürütülmesi
2016	Wasserstiftung tarafından saatte 120 km rüzgâra dayanabilen sis toplama ağının yapımı
	San Francisco'da sisin votka üretimi için kullanımı

1.3. Sis Toplama Uygulamaları

Sis toplama ile ilgili en eski belgelenen deneylerden biri, 1901'den 1904'e kadar, sisin üretkenliğini ve fizibilitesini araştırma amacıyla Güney Afrika'da yapılmıştır. Günümüze kadar, toplumlara, sisten temiz su sağlama amacı ile çeşitli projeler başlatılmış olup, en büyük denemelerden biri 1969 ve 1970 yıllarında Güney Afrika'nın Mpumalanga kentinde uygulanmıştır. Her biri $28,0 \times 3,6$ m ölçülerinde plastik ağı iki LFC birbirine dik açılarla dikilmiş, 15 ay boyunca ağlardan ayda ortalama 31.000 L (günlük ortalama m^2 başına 11 L) su toplanmıştır (Sun ve ark., 2021).

Sis toplama ile ilgili 1980'den 2021 yılına kadar geçen sürede 351 yayın bulunmaktadır. Bu yayınların %75'i deneysel çalışmalara, %17'si inceleme yayınlarına ve sadece %8'i toplum düzeyinde uzun vadeli olarak uygulanan operasyonel projelere

dayanmaktadır. 1981-1990 yılları arasında sis toplama konusunu ele alan sadece dört yayın varken, 1991- 2000 yılları arasında bu sayı 32'ye çıkmıştır. Yayın sayısı 2001-2010 yılları arasında üç kat artarak 92'ye, 2011- 2020 yılları arasında ise 223'e yükselmiştir (Qadir ve ark., 2021). Tatlı su üretimi için sis toplama projeleri; Güney ve Orta Amerika (Şili, Peru, Ekvador, Guatemala, Dominik Cumhuriyeti ve Haiti), Afrika (Güney Afrika, Namibya, Eritre, Tanzanya ve Etiyopya), Asya (Nepal, Hindistan, Umman, Yemen ve Suudi Arabistan) ve Avrupa (Hırvatistan ve İspanya) olmak üzere 4 kıtada gerçekleştirilmiştir (Batisha, 2015). Bölge başına düşen çalışma sayısı: Latin Amerika ve Karayipler'de 78, Doğu Asya ve Pasifik'te 71, Avrupa ve Orta Asya'da 52, Kuzey Amerika'da 42, Orta Doğu ve Kuzey Afrika'da 39, Sahra Altı Afrika'da 34, Güney Asya'da 16 ve birden fazla bölgeyi kapsayan "dünya çapında" olarak kabul edilen 19 çalışma bulunmaktadır (Qadir ve ark., 2021).

Atacama kurak alanlarındaki atrapaniebla adlı sis toplama sistemi 1960'lı yıllarda Şili'de kurulmuş, daha sonra geliştirilerek, 1980'li ve 1990'lı yıllarda su toplama programları için kullanılmaya başlanmıştır. Sis toplama miktarı $1-10 \text{ L m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ arasında değişmekte olup, bazı bölgelerde $20-30 \text{ L m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ olarak ölçülmüştür (Correggiari ve ark., 2017). Benzer bir çalışmada, SFC ile Şili'de Atacama Çölü'ndeki Alto Patache sis vahasında, $6 \text{ L m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ ortalama sis toplama miktarıyla sis toplama kaydı tutulduğu bildirilmiştir (Batisha, 2015).

Falda Verde adlı kıyı bölgesine su sağlamak amacıyla 2001 yılında başlatılan projenin sis toplayıcıları başlangıçta yaklaşık olarak günde 600 L su sağlamıştır. 2005 yılında, dört yeni LFC'nin yanı sıra boru hattı için bazı altyapılar ve suyun depolanması için tesisler kurulmuş, bu sayede günlük ortalama su üretimi yaklaşık 1000 L'ye çıkmıştır (Correggiari ve ark., 2017).

Benzer olarak, Şili'de yer alan Olivillo Ormanı'nın en kuzeyindeki Fray Jorge Ulusal Parkı'nda Eylül 2003'ten Ağustos 2004 tarihine kadar 12 ay boyunca iki pasif sis toplayıcının (PFC), batıya bakan ve doğuya bakan kenarlarındaki toplanan su miktarı ölçülmüştür. Sis yakalama oranları mevsime ve yamaca bağlı olarak değişmektedir. En yüksek sis toplama verimi ocak ayında, en düşük sis toplama verimi ise mayıs ayında elde edilmiştir. Batıya bakan yamaçlardaki toplanan sis miktarı, doğuya bakan yamaçlardan ortalama 3,1 kat daha fazla ölçülmüştür (Del-Val ve ark., 2006).

Peru Mejia'daki ilk sis toplama çalışması 1995-1999 yılları arasında, bir Avrupa Birliği projesi çerçevesinde yürütülmüştür. Yapılan çalışmada, 20 LFC ile günlük ortalama 6.000 L su elde edilmiştir (Correggiari ve ark., 2017). Bununla birlikte

Peru'nun başkenti Lima'nın eteklerindeki Villa Maria del Triunfo'da sis toplama projesinde bir sis toplayıcı tek başına günde yaklaşık 300-400 L su elde etmiştir (Qadir ve ark., 2021).

La Ventosa ve Tojquia, Guatemala'nın batı yaylalarındaki Cuchumatanes sıradağlarında yer alan küçük, izole, kırsal köylerdir. Sis toplama sistemleri, 2005 yılında La Ventosa'da dört LFC ile başlamış; 2006 yılında Tojquia'da dört LFC kurulmuş ve daha sonra köylüler FogQuest ile iş birliği yaparak 5 yeni LFC'nin kurulumunu tamamlayarak toplamda 35 adet LFC kurulmuştur. Toplamda 1.640 m^2 LFC ağı, kurak mevsim boyunca günlük ortalama 8.500 L su, yani yaklaşık 5 L m^{-2} su toplamıştır (Qadir ve ark., 2021).

Afrika'nın Kuzeybatı kıyısındaki Fas ve Kanarya Adaları'nda 2006'dan 2010 yılına kadar, SFC ve Çeyrek Sis Toplayıcı, saatlik ve günlük verilerin toplanabildiği otomatik meteoroloji istasyonlarına bağlanmıştır. Toplanan su miktarları her iki bölgede de yaklaşık günlük 10 L m^{-2} olarak bulunmuştur (Marzol ve ark., 2010). Benzer bir çalışmada, Fas'ın güneybatısında yer alan Anti-Atlas sıradağlarının Ait Baamrane bölgesinde yapılmıştır. FogQuest prensibine dayanan ilk sis toplama ağı 2015 yılında kurulmuş ve günlük ortalama $4-6 \text{ m}^3$ su elde etmiştir (Qadir ve ark., 2021).

Eritre'nin Arborobue ve Nefasit köylerinde sis toplama sistemleri ilk olarak 2007 yılında kurulmuştur. Yapılan çalışma sonucunda 2007 yılında, Arborobue'de sisten günlük ortalama su toplama miktarı $3,1 \text{ L m}^{-2}$ olarak bulunmuş olup, Nefasit'te bu miktar $1,4 \text{ L m}^{-2}$ olarak ölçülmüştür (Fessehaye ve ark., 2017).

Abdul-Wahab ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada ise; Umman Sultanlığı Dhofar Bölgesi'ndeki sisten su elde etme potansiyeli araştırılmıştır. Bu kapsamda 76 gün boyunca, AC filtre, yeşil gölge filtre ve alüminyum filtre olmak üzere üç farklı sis toplayıcısı kullanılmıştır. Sis toplayıcılardan elde edilen su miktarları sırasıyla 995, 880 ve 753 L m^{-2} olarak bulunmuştur.

Nepal'in doğusunda, sis ve yağmur gibi iki atmosferik su kaynağından faydalanma olasılığını değerlendirmek üzere yürütülen bir araştırmada, toplum tarafından yönetilebilir ve sürdürülebilir bir su toplama sistemi ile elde edilen su kalitesinin içme suyu olarak kullanımı uygun bulunmuş ve bu suyun kapalı kaplarda 4-6 ay bekletildiğinde bozulmadığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte kurulan bu sistem ile 2,80 ABD doları maliyetle 1000 L su toplandığı belirtilmiştir (Karkee, 2005).

Suudi Arabistan'ın Asir bölgesindeki (Al-Sooda'da) iki sahada 27 Aralık 2009 ile 9 Mart 2010 tarihleri arasında, 40 m^2 büyüklüğünde iki LFC tarafından toplam

3.128,4 L ve 2.562,4 L sisten su toplanmıştır (Abualhamayel ve Gandhidasan, 2010; Gandhidasan ve Abualhamayel, 2011). Asir bölgesinde benzer bir çalışma Al-hassan (2009) tarafından yapılmış olup, Nisan 2006'dan Nisan 2007'ye kadar en yüksek rakımlarda (Alsooda'da), ortalama günlük $6,215 \text{ L m}^{-2}$ su üretiminin mümkün olduğunu, en yüksek su toplama miktarı günlük 24 L m^{-2} ile 20 Aralık 2006'da Al-Sahab park istasyonunda bulunmuştur. Ayrıca aynı bölge için en iyi ortalama su eldesinin kış ayları olan 3 aylık dönemde (Aralık, Kasım ve Ocak) günlük $11,5 \text{ L m}^{-2}$ olduğu bildirilmiştir.

Güney Avrupa'da sisten su toplayan ilk ülke 2000 yılından bu yana Hırvatistan olmuştur (Batisha, 2015). Hırvatistan'ın en yüksek dağ istasyonu olan Zavižan'daki 10 yıllık (2000-2009) en sıcak dönemlerde toplanan su miktarı incelendiğinde, maksimum bir günlük değer $27,8 \text{ L m}^{-2}$ ile Ekim 2003'te gözlemlenmiştir (Mileta ve Likso, 2010). İspanya'da, 2003 yılından bu yana Valencia ve Murcia bölgelerinde ve 2005 yazından bu yana Endülüs'te sis toplama çalışmaları yapılmaktadır. 2004 yılı verilerine göre, Kuzeydeki bir bölgeden günlük $2,0 \text{ L m}^{-2}$ sisten su elde edilirken, güneydeki bölgelerde sisten su elde etme miktarının günlük $7,0 \text{ L m}^{-2}$ ye kadar çıkabildiği saptanmıştır. Ayrıca en yüksek yaz sis toplama verimi günlük $4,6 \text{ L m}^{-2}$ olarak kaydedilmiştir. 2007 yılı verilerine göre, silindirik PFC'den günlük $3,3 \text{ L m}^{-2}$ su elde edilmiştir (Estrela ve ark., 2008).

Günümüzde yarı kurak ve kurak bölgelerde sis toplama yöntemleri kullanılarak, güvenli, temiz ve içilebilir su temin edilebilmektedir (Korkmaz ve Kariper, 2020). Sis toplama sistemlerinin verimi oldukça önemlidir. Genel olarak bir sis toplama projesinin uygulanabilir ve verimli olması için aşağıdaki kriterlere sahip olması gerekmektedir (Abdul-Wahab ve Lea (2008)).

- Sis, yıl boyunca sık sık oluşmalı ve nispeten uzun bir süre devam etmeli
- Sis su içeriği yüksek olmalı
- Sise rüzgâr eşlik etmeli

Sisten üretilen suyun miktarı, sisin süresine, rüzgâra, sis damlacıklarının çapına, toplayıcı sayısına ve bunların boyutuna bağlı olarak değişmektedir (Abdul-Wahab ve Lea, 2008; Özcan ve Pakyürek, 2019). Bununla birlikte verimli sis toplama için; ağın ıslanabilirliği, sis dağılımı, yüzey yapısı, yakalama, taşıma ve drenaj ana faktörler

arasında yer almaktadır (Lei ve Guo, 2020). Sis toplama, ancak bilimsel ve teknolojik katkılarla etkili bir temiz su elde etme yöntemi haline gelebilir (Batisha, 2015).

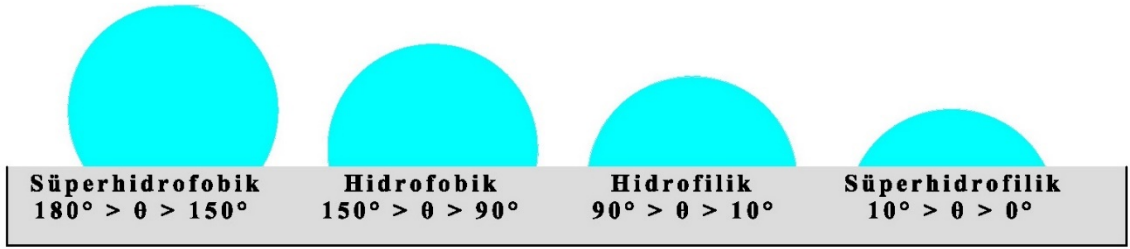
1.4. Bir Damlacığın Düzlemsel Bir Yüzeyi Islatma Davranışı

Malzeme yüzeyine yapılan uygulamalar sonucu, yüzey genellikle üzerindeki damlacık davranışı ile karakterize edilen ıslatma özelliklerinden etkilenmektedir. Damlacık yüzey tarafından çekildiğinde "-filik"; yüzey tarafından itildiğinde "-fobik" son eki kullanılır. Kombinasyon halinde, su ("hidro-") veya yağ ("oleo-") damlacıkları dikkate alınarak dört durum elde edilebilir: hidrofilik, oleofilik, hidrofobik ve oleofobik. Bir yüzeydeki damlacığın ıslatma durumu, hem yüzey kimyasına hem de yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır (Sahoo ve ark., 2018).

1.4.1. Yüzey gerilim ve temas açısı – young denklemi

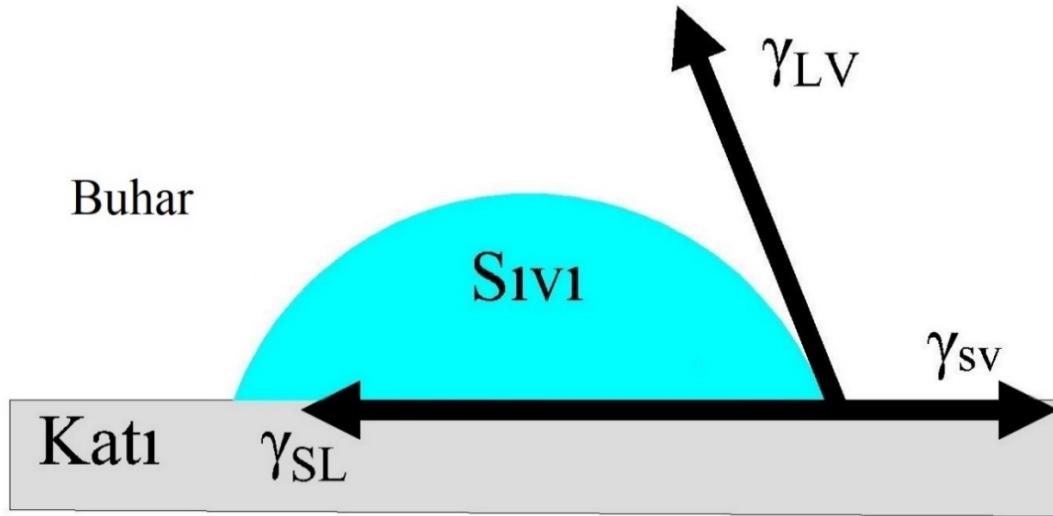
Yüzey ıslanmasının sis toplama performansında önemli bir rol oynadığı bilinmektedir (Gürsoy ve ark., 2017b). Islanabilirlik, yüzeylerin pürüzlülük gibi kimyasal ve morfolojik özelliklerine bağlıdır (Grimoldi ve ark., 2009; Terriza ve ark., 2012; Huang ve ark., 2015). Katı yüzeylerin ıslanabilirlik özellikleri önemlidir. Katı yüzey ile temas eden bir sıvı belli ölçüde bir açı oluşturur. Bu açı temas edilen katının ve temas eden sıvının ne olduğuna bağlı olarak değişir. Temas açısı ıslanabilirlik derecesini ifade eder ve yüzey ıslanabilirliği, yüzey ile su damlası arasındaki temas açısı (θ) ile ifade edilir. Yüzey ile su damlası arasındaki temas açısına bakılarak yüzeyin hidrofilik (suyu seven) ya da hidrofobik (suyu sevmeyen) özelliği karakterize edilmektedir. Yüzey ıslanabilirliğinin kontrolü pratik uygulamalar, temel araştırmalar ve endüstriyel uygulamalar için önemli olup, temel ilgi alanına giren bir araştırma konusudur. Yüzey ile damla arasındaki açı değeri 90° 'den küçük ise hidrofilik, 90° 'den büyük ise hidrofobik yüzey tabiri kullanılırken, su temas açısı değeri 150° 'den büyük yüzeyler ise süperhidrofobik yüzeyler olarak ifade edilir. Süperhidrofilik yüzeyler ise su temas açısı değerinin 10° 'nin altında olduğu yüzeyler olarak adlandırılır (Şekil 1.4.) (Erbil, 2006; Topçu, 2015). Pratikte, süperhidrofobik yüzey üretimi, hidrofobik yüzeylerin yüzey pürüzlülüğünün artırılmasıyla elde edilmektedir. Son yıllarda, hidrofobiklik ve hidrofilikliğin temas açısı sınırının 90° 'den 65° 'ye düşürülmesi önerilmiştir. 65° temas açısında hidrofobiklik ve hidrofiliklik arasındaki sınır çizgisinin

çok daha kolay ayırt edilebileceği önerilmiştir (Topcu ve ark., 2018). Ayrıca Volger ve arkadaşlarının görüşüne dayanarak 65°'lik bir temas açısının, yardımcı tekniklerle desteklenen bir yüzey kuvveti aparatı kullanarak katı maddeleri hidrofobik ve hidrofilik olarak ikiye ayırmaktadır. Süperhidrofobik yüzeyler üretmek için; öncelikle malzeme yüzeyinde uygun pürüzlülük oluşturmak veya malzeme yüzeyini temas açısının 65° üzerinde hidrofobik olacak şekilde kimyasal olarak değiştirmek gerekmektedir (Li ve ark., 2017).



Şekil 1.4. Yüzey ıslanabilirliği (Lei ve Guo, 2020).

Sıvı damlası, bir katı yüzeye temas ettiği zaman, sıvının yüzey gerilimi ve katının serbest yüzey enerjisine bağlı olarak, akışkan-akışkan kohezyon ve katı-akışkan adhezyon kuvvetlerinin etkisinde katı-akışkan (SL), katı-gaz (SV) ve akışkan-gaz (LV) ara yüzey gerilimleri olarak tanımlanan üç kuvveti denkleştirecek şekilde dengede kalır (Şekil 1.5.). Temas açısı θ , katının kesişme noktasında yani akışkan, gaz ve katının kesiştiği üç fazlı sınırda bir sıvı damlasının oluşturduğu açıdır ve sıvının yüzeyine teğet düzlemi ile yüzeye teğet düzlemi arasında yer alır. Temas açısı, en genel ifade ile bir katının bir sıvı tarafından ıslanmasının nicel bir ölçüsü olarak tanımlanabilir (Barışık, 2018).



Şekil 1.5. Katı yüzeydeki sıvı damlası ve damla üzerine etki eden kuvvetler (Barışık, 2018).

Thomas Young, 1805 yılında sıvı damlasının, katı yüzey üzerindeki temas açısı ve damla üzerine etki eden kuvvetler arasındaki ilişkiyi formülize etmiştir. Bu ilişki, Young Denklemi Denklem (1.1) olarak isimlendirilmektedir.

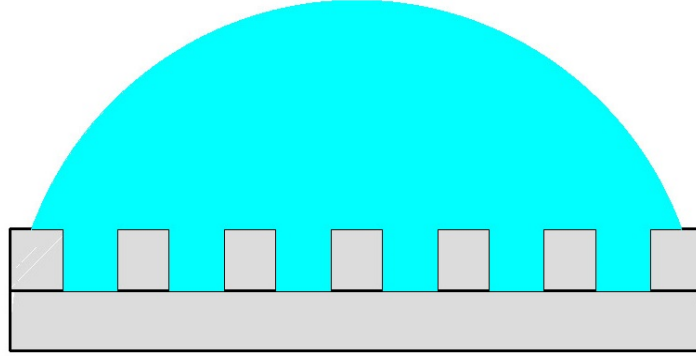
$$\gamma_{SV} = \gamma_{SL} + \gamma_{LV} \cos \theta \quad (1.1)$$

Denklem 1.1.'de yer alan; γ_{SL} katı ile sıvı arasındaki yüzey gerilimini; γ_{LV} sıvı ile hava arasındaki yüzey gerilimini; γ_{SV} katı ile hava arasındaki yüzey gerilimini ve θ ise temas açısını göstermektedir (Erbil, 2006).

1.4.2. Pürüzlü (Heterojen) yüzeylerde temas açısı

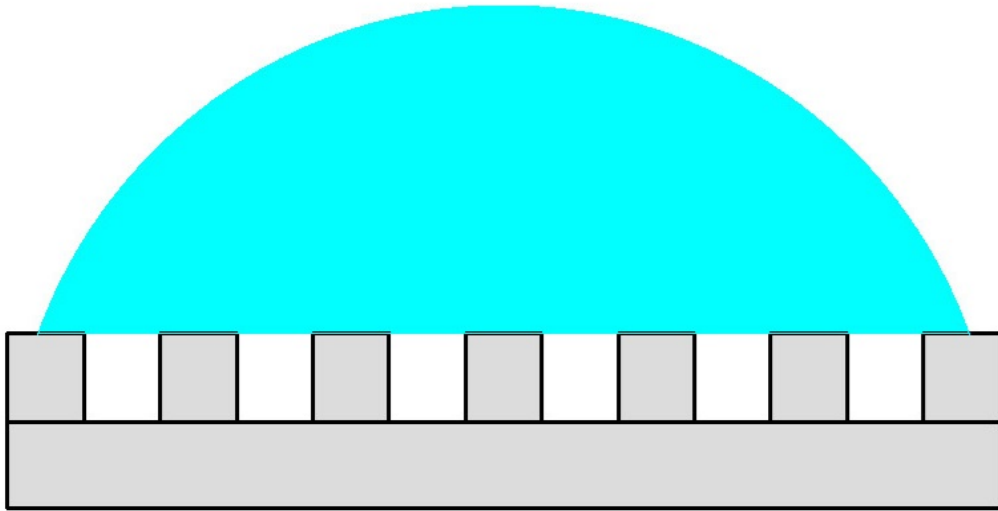
Yüzey pürüzlülüğü ile temas açısı arasındaki ilişkiyi açıklamak için Wenzel ve Cassie-Baxter modelleri sıklıkla kullanılmaktadır: Yüzey pürüzlülüğünün önemi, Wenzel (1936) tarafından yapılan bir araştırmada vurgulanmıştır. Bu çalışma, ıslanma durumları üzerine odaklanarak, 'Wenzel durumu' olarak adlandırılan önemli bir keşfi ortaya çıkarmıştır. Wenzel durumu, yüzeyin suyun altında kalan kısmının tamamının ıslandığı bir durumu ifade eder ve yüzeyin pürüzlülük durumuna göre katıyla sıvı arasındaki yüzey gerilimlerinin değişebileceğini ortaya koyar (Barışık, 2018). Şekil

1.6.'de Wenzel teorisine göre bir su damlacığının pürüzlü yüzey üzerinde beklenen davranışı şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.6. Wenzel teorisine (Barışık, 2018)

Cassie ve Baxter (1944), yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak sıvı ile katı yüzey arasında ıslatılamayan alanların varlığını iddia etmektedir. Cassie-Baxter ıslanma durumuna göre bir su damlacığının pürüzlü yüzey üzerinde beklenen davranışı şematik olarak Şekil 1.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Cassie-Baxter teorisine (Barışık, 2018)

Kısaca, Wenzel modeline göre, damlacık üzerinde durduğu yüzeye tamamen temas etmektedir. Cassie-Baxter modeline göre damlacık yüzey çıkıntıları üzerinde, asıl yüzey zeminine temas etmeden durmaktadır. Her iki durumda, suyun temas ettiği yüzey alanları farklıdır ve bu nedenle farklı yüzey gerilimleri suyu etkiler. Aynı topografik yapıya sahip yüzeylerde dahi farklı temas açıları gözlemlenebilir (Barışık, 2018). Bu bilgiler ışığında, teorik olarak Wenzel tipi yüzeyler "yapışkan" bir yüzeyi ve Cassie-Baxter tipi yüzeyler için "kaygan" bir yüzeyi öngörmektedir (McHale ve ark., 2004).

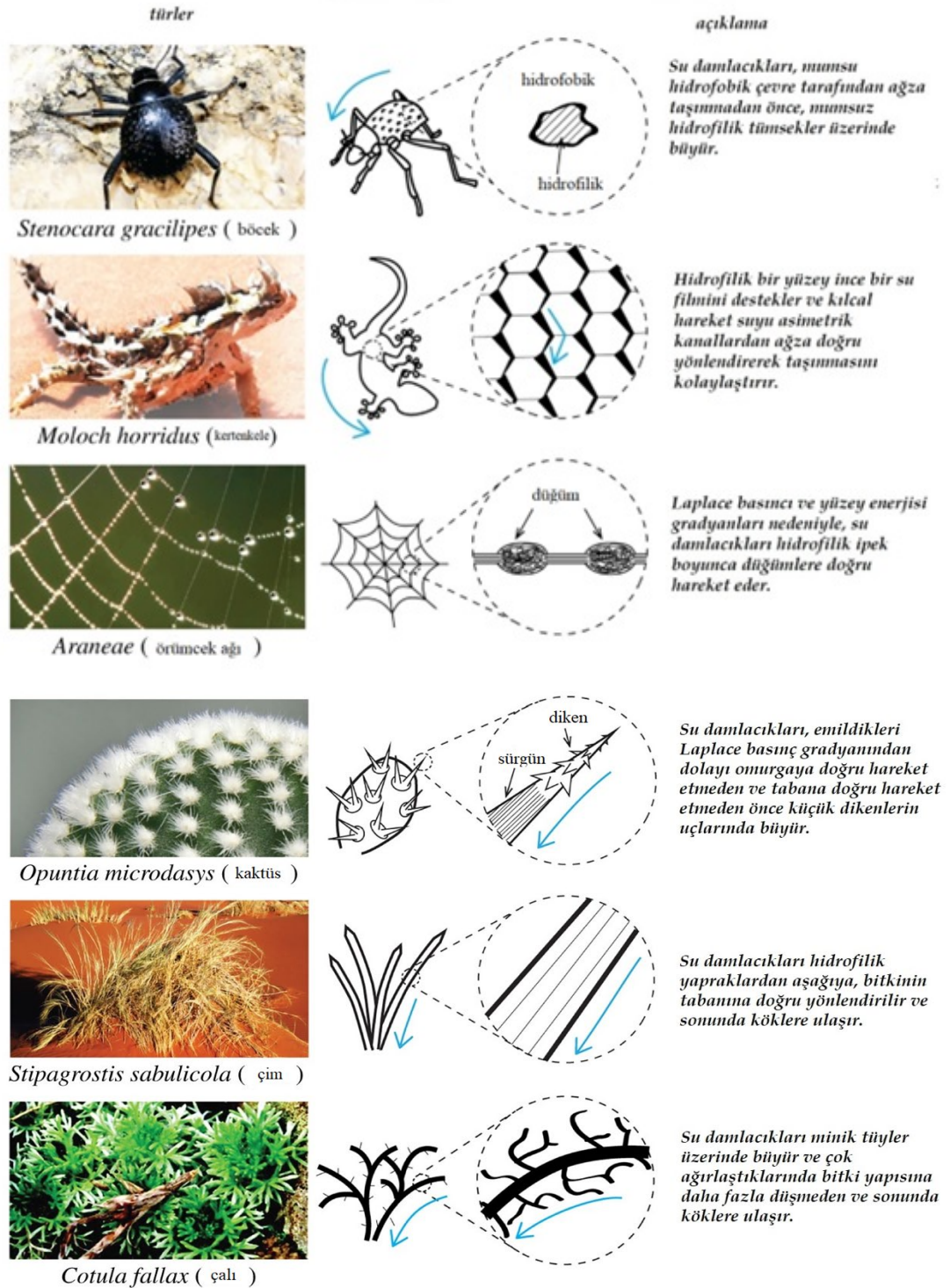
1.5. Doğadaki Sis Toplayan Canlılar

Ana fikri “doğa” olan biyomimetik (doğadan ilham alan tasarım) kelimesi, bir yaklaşım, metot, araç, disiplin veya strateji olarak “doğanın en iyi fikirlerinden öğrenerek tasarlama” anlamına gelmektedir (Taşkan ve ark., 2022). Biyomimetik kavramı ilk kez 1950’lerde Otto Schmit tarafından kullanılmıştır (Genç, 2013; Özdemir ve ark., 2018; Taşkan ve ark., 2022). Biyomimetik kavramını literatürde biyomimesis, biyomimikri, biyonik gibi değişik isimlerle de görmek mümkündür (Yıldız, 2012; Genç, 2013; Keskin, 2019). Biyomimesis kavramı yaşam anlamına gelen “bios” ve taklit anlamına gelen “mimesis” kelimelerinden oluşmaktadır (Yıldız, 2012; Genç, 2013; Çakmaklı ve Arslan Selçuk, 2019; Keskin, 2019). İnsanların yaşamsal döngü içerisinde problemlere çözüm bulabilmek için doğada bulunan sistemleri taklit ederek yaptıkları maddelerin, aletlerin, mekanizma, sistemlerin ve yapısal eserlerin tümü bu kapsamdadır (Keskin, 2019).

Doğada yaşayan birçok canlı yaşadıkları ortama uyum sağlayabilmek için kendilerine özgü yöntemler geliştirmişlerdir (Özdemir ve ark., 2018; Taşkan ve ark., 2022). Bu da mühendislik problemlerini çözmek için benzersiz ve zarif çözümler sunmuştur. Örneğin kaktüs, çöl otu ve Nepenthes alata, sis toplama ve su taşıma cihazlarının tasarımı için ilham kaynağı olmuştur (Liu ve ark., 2021). Lotus yapraklarının kendi kendini temizleme özelliği, pirinç yapraklarının anizotropik ıslanması, çöl böceklerinin su toplama davranışı ve sürahi bitkilerinin su iten yüzeyi gibi özellikleri, mühendislik yüzey topolojisi ve kimya bilimi yardımı ile taklit edilmiştir (Özdemir ve ark., 2018). Şekil 1.8.’de sisten su topladığı bilinen hayvan ve bitki türlerinden bazıları gösterilmiştir.

Biyomimetik yüzeyler, farklı biyolojik türlerin yüzey özelliklerine göre tasarlanabilir (Sun ve ark., 2021). Doğada, geceleri sis ve yoğunlaşmadan su toplayarak

dünyanın en kurak bölgelerinde hayatta kalabilen türler gelişmiştir (Bhushan, 2020). Kaktüsler, örümcekler ve stenocara böceği gibi çöl bölgelerinde yaşayan canlılar, hiyerarşik süperhidrofilik ve süperhidrofobik yüzey yapılarını kullanarak sisten su toplayabilir ve taşıyabilirler (Sun ve ark., 2021). Biyomimetik stratejiye dayalı tasarımlar, sis toplayıcı üretimi için umut vericidir (Bildiren ve Sargıncı, 2022).



Şekil 1.8. Sisten su topladığı bulunan hayvan ve bitki türlerinin özeti (Bhushan, 2019)

1.5.1. Kaktüs

Ju ve ark. (2013) kaktüs dikenlerindeki verimli sis toplama prensibinden esinlendikleri, çift gradyanlı tek boyutlu uçtan tabana doğru artan ıslanabilirliğe sahip konik bir bakır tel (CCW) üretmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda, CCW'lerin sis toplama kabiliyetinin, saf hidrofobik yüzeylere veya saf hidrofilik yüzeylere sahip konik bakır tellere oranla daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Ju ve ark. (2014), yaptıkları çalışmada, *Opuntia microdasys* kaktüsünü sisteki su damlacıklarını yakalamak için koni şeklindeki çıkıntılardan oluşan benzersiz bir sis toplama sisteminden ilham alarak, farklı düzenlemelerde polidimetilsiloksan (PDMS) koni dizileri üretmişlerdir. Bu diziler arasında altıgen şeklindeki dizinin daha verimli olduğu kanıtlanmıştır. Bu düzenlemede koniler daha dağınık olduğundan, sisteki su damlacıklarının daha hızlı ve verimli bir şekilde yakalanmasını sağladığını bildirmişlerdir. Tan ve ark. (2016) kaktüslerden esinlenerek yaptıkları çalışmada, damla-koni sistemine yapışan bir damlanın Gibbs serbest enerji gradyanlarını, denge konumlarını ve damlaların hareketini analiz etmişlerdir. Hidrofobik koniler için, düşük itme kuvveti nedeniyle sis toplama yeteneğinin keskin bir şekilde azaldığını, hidrofilik konilerin sis toplaması sırasında, küçük damlaların birleşerek büyük bir damla haline geldiğini ve tabana doğru hareket ettiğini bildirmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda, hidrofilik konilerin yoğunlaşma ve itici güç açısından sis toplama için daha uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Mahmood ve ark. (2020) kaktüs bitkisinin koni şeklindeki dikenleri yardımıyla sisten su toplama davranışından ilham alarak, sürekli ve verimli bir sis toplayıcı tasarlamak amacıyla, 3 boyutlu baskı teknolojisi ile yaptıkları çalışma sonucunda, konilerin paralel ve akan sise yakın olduğunda su toplama verimliliğinin en yüksek değere ulaştığını bildirmişlerdir. Ayrıca, küçük uç açısına sahip koninin, büyük uç açılı konilere kıyasla daha yüksek bir sis toplama miktarına sahip olduğu; su damlacıklarının hızının, büyük olanlara kıyasla küçük uç açılı koniler üzerinde nispeten daha yüksek olduğu; koninin yüksekliğinin alt tabakanın su toplama verimliliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu; su toplama verimliliğinin küçük yükseklikteki koni yapısına kıyasla büyük yüksekliğe sahip koniler arasında daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bunlara ek olarak, hidrofobik yüzeyin, hidrofilik yüzeye kıyasla nispeten daha yüksek miktarda sis topladığı tespit edilmiştir.

1.5.2. Namib çöl böceği

Zhai ve ark. (2006) yaptıkları çalışmada, Namib Çöl böceğinin su hasadı yapan kanat yüzeyini taklit eden hidrofofik ve hidrofilik bölgelerden oluşan bir yüzey geliştirmişlerdir. Bu yüzeyi, bir polielektrolitin su/2-propanol çözeltileri ile oluşturulan hidrofilik desenler üzerine çok katmanlı filmlerin seçici olarak biriktirilmesi ile üretmişlerdir. Geliştirilen bu yüzeyin, su hasadı, ilaç salınımı ve mikrokanaal cihazları gibi çeşitli uygulamalarda kullanılabilecek potansiyele sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Garrod ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada, Stenocara böceğinin kanat yüzeyini taklit eden bir yüzey yapısı geliştirmek için öncelikle süperhidrofofik bir arka plan oluşturmuşlardır. Ardından hidrofilik bir polimer dizisi biriktirmişlerdir. Geliştirdikleri yüzey yapısının mikro kondensasyon verimliliğinin, Stenocara böceğinin kanat yüzeyindeki hidrofilik-hidrofofik desene benzer olduğunu göstermişlerdir. Geliştirilmiş yüzey yapısının, sis hasadı, mikro akışkanlar ve biyomolekül immobilizasyonu gibi çeşitli uygulamalarda kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Zhang ve ark. (2015) Namib Çölü'ndeki Stenocara böceklerinin verimli sis toplama davranışından esinlendikleri çalışmalarında, mürekkep püskürtmeli baskı yöntemiyle hazırlanan mikro desenli süperhidrofofik yüzeylerin, tek tip süperhidrofilik ve süperhidrofofik yüzeylere kıyasla su toplama veriminin arttığını göstermişlerdir. Bu çalışmada geliştirilen yöntem ile süperhidrofofik yüzeylerin yüksek hassasiyet ve üstün model kararlılığı ile kolayca büyük ölçekli üretilebilmesi mümkündür.

Wang ve ark. (2015) yaptıkları çalışmalarında, Namib Çölü'ndeki Stenocara böceklerinin şaşırtıcı sis suyu toplama kabiliyetinden esinlenen ve biyomimetik sis toplama alanındaki son çalışmalara dayanan, yüksek verimli sis toplamaya yönelik hidrofilik-süperhidrofofik desenli hibrit bir yüzeyin imalatı için, kullanımı kolay ve düşük maliyetli bir yöntem geliştirmişlerdir. Yöntemin, süperhidrofofik bir gazlı bezle hidrofilik bir polistiren tabakasının termal olarak preslenmesine dayandığını ve yöntemdeki model boyutu ve model yüksekliği üzerinde uygun kontrol, sis toplama verimliliğinin optimizasyonuna izin verdiğini belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda, yöntemin yüksek verimliliği ve ölçeklenebilirliği sayesinde büyük ölçekli uygulamalarda kullanım potansiyeline sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Wang ve ark. (2015) Namib Çölü'ndeki Stenocara böceklerinin sis suyu toplama kabiliyetinden esinlenerek, termal presleme prosedürü ile süperhidrofofik olarak modifiye edilmiş metal bazlı bir gazlı bezin, hidrofilik polistiren düz tabakanın

yüzeyine yerleştirilmesi ile süperhidrofobik desenli hibrit bir yüzey elde etmişlerdir. Farklı yüzey ıslanabilirliğine sahip 6 numune içerisinde en yüksek sis toplama miktarı $159 \text{ mg.cm}^{-2}\text{h}^{-1}$ olarak hidrofilik-süperhidrofobik desenli yüzeyden elde edilmiştir. Çalışma sonucunda gerek polistiren gerekse metal gazlı bezin düşük maliyetli ve geniş bulunabilirliği avantajları sayesinde, burada geliştirilen yöntemin ölçek büyütme için büyük bir potansiyele sahip olduğunu ve hidrofilik-süperhidrofobik desenli hibrit yüzeylerin, süperhidrofilik veya süperhidrofobik yüzeylerden önemli ölçüde daha yüksek sis toplama verimliliği gösterdiğini bildirmişlerdir.

Zhu ve Guo (2016), yaptıkları çalışmada, Namib çölü böceklerinden esinlenerek, $1309,9 \text{ mg h}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ sis toplama miktarı ile yüksek verimli sis toplama özelliği gösteren hibrit bir süperhidrofobik yüzey üretmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda yüzeyin mükemmel bir sağlamlık ve kendi kendini temizleme özelliğine sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Yin ve ark. (2017) Namib çöl böceklerinin hidrofobik-hidrofilik yüzeyinin sis toplama yeteneğinden esinlendikleri çalışmalarında, hidrofilik bakır levha ile nanoparçacık kaplı süperhidrofobik bakır ağdan oluşan yüzeyin, tek tip süperhidrofobik veya süperhidrofilik yüzeylerle karşılaştırıldığında daha yüksek sis toplama verimliliği sergilediğini bildirmişlerdir. Geliştirdikleri bu yöntemin göreceli düşük maliyetli ve kontrol edilebilir olduğunu belirtmişlerdir.

Zhong ve ark. (2018), yaptıkları çalışmada, Stenocara'nın, sis toplama yeteneğinden ilham alarak, sırtını taklit ederek farklı topografya ve ıslanabilirliğe sahip bir dizi numune üretmişlerdir. Süperhidrofobik şişkin numunenin, hidrofilik şişkin/süperhidrofobik düzenine sahip numuneye göre 1,5 kat, şişkinlik içermeyen süperhidrofobik yüzeyden 2,83 kat daha fazla sis topladığını belirtmişlerdir. Bu çıkıntıların, damlacıklara daha yüksek hız kazandırdığını ve üzerlerinde en yüksek dinamik basıncı indükleyen damlacıkların etraflarına odaklandığını bildirmişlerdir.

Regalado ve Ritter (2019) yaptıkları çalışmada, Stenocara'nın sadece yüzey topografyası ve dokusunun, verimli bir sis toplama yüzeyi oluşturmada yetersiz olduğunu, bunun nedeni olarak mikro veya nano ölçekli dokuların tek başına, verimli sis toplamanın iki temel özelliği olan damlacık yoğunlaşma ve bertaraf oranını aynı anda en üst düzeye çıkaramaması olduğunu belirtmişlerdir. Mikro lensler damlacıkların daha hızlı yoğunlaşmasını sağlarken, nano ölçekli fibriller kümesinin ise süperhidrofobiklik sağladığını ve düzlemsel muadilinden sis toplama verimliliğinin ~5-6 kat daha fazla olduğunu bildirmişlerdir.

Yu ve ark. (2021), Namib çöl böceğinin arka dış iskelet yapısını taklit ederek suyun sisten verimli bir şekilde toplanmasını böylece küresel tatlı su kıtlığı sorununu çözmek için bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada esnek süperhidrofobik-süperhidrofilik desenli bir kumaş tasarlanmıştır. Tasarladıkları malzeme, düz yapılı geleneksel malzemelere kıyasla daha yüksek sis toplama verimi elde etmiştir.

1.5.3. Diğer canlılar

Her ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada, alaşımlı çelikler üzerinde hem nano-yaprak veya iğne desenleri hem de yüzey enerjisinin ayarlanması yoluyla ıslanabilirlik kontrastı için, çelik yüzeyler önce florlanmış, ardından çelik yüzeylerdeki flor iyonlarının suda katalitik reaksiyonu ile demir oksitlerin de bulunduğu hiyerarşik mikro/nano yapılar elde edilmiştir. Yaptıkları çalışmayla yapılandırılmış yüzeyler üzerine hidrofobik bir malzeme kaplanarak süperhidrofobik özellik elde edilmiştir.

Gürsoy ve ark. (2017a) yaptıkları çalışmada, *Eremopyrum orientale*'nin yapraklarında asimetrik-anizotropik (tek yönlü) sis toplama davranışı gözlemlemişlerdir. Bu son derece verimli, yönlü su toplama mekanizmasını sağlayan yüzey yapıları yumuşak litografi yöntemi ile kopyalanmıştır. Oluşturulan biyomimetik yüzey şekilleri gaz fazında iki farklı yöntemle polimerik ince filmler ile kaplanmıştır. Elde edilen yüzeylerin sis toplama veriminin yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Xie ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada, ilk kez ağustos böceklerinin kanat yüzeyindeki damarlar boyunca gradyan ıslanma durumunu ortaya çıkarmışlar ve biriken su damlacıklarının kanat yüzeyinden kolayca uzaklaştırılabildiğini bildirmişlerdir. Ağustos böceği kanadının, $6,6 \text{ g m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 'lik kayda değer sis toplama verimliliğine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda, sis toplama uygulamalarında ağustos böceği kanadındaki nanosütun yapısının taklit edilerek gradyan ıslatma yüzeylerinin tasarlanabileceğini bildirmişlerdir.

Chen ve ark. (2018), kaktüs dikenlerinin asimetrik yapısından ve çöl böceklerinin hidrofilik-hidrofobik bölgelerinden esinlenerek, sisin hidrofobik bölge üzerinde hızlı bir şekilde birikmesinin ve daha sonra süperhidrofilik yüzey üzerinde hızlı taşınmasının gerçekleştiği süperhidrofilik-hidrofobik entegre konik paslanmaz çelik iğne (SHCSN) üretmişlerdir. Tek tip süperhidrofilik, tek tip hidrofobik/süperhidrofobik iğne yüzeylerine göre SHCSN ile sis toplamının daha verimli gerçekleştiğini bildirmişlerdir.

Song ve ark. (2018b), örümcek ağının sis toplama kabiliyetinden ve Namib çöl böceğinin fazlar arası ıslatma özelliğinden esinlendikleri çalışmada, PDMS ve grafeni birleştirerek, çöl böcekleri ile bakır ağ üzerinde bir tür özel biyomimetik hibrit ıslatma yüzeyi tasarlamışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda, biyomimetik hibrit ıslanabilirlik alanları içeren yüzeyin, tek tip ıslanabilirlik yüzeyine göre mükemmel korozyon önleme yeteneği ve yağ kirlenmesini önleme gibi özellikleri de ön plana çıkmaktadır.

Wen ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada, antibakteriyel iğne dizisi (ABN) ve hidrofilik/hidrofobik yapıya dayanan, böceklerden ilham alan hiyerarşik bir sis toplama yöntemi kullanmışlardır. Hidrofilik ABN, sis toplayıcıya zorlu ortamlarda uzun süreli temizlik sağlayan zwitteriyonik karboksibetain (CB) fırçaları ile kaplanmıştır. CB kaplamalı eğik iğnelerin sisin yakalanmasını ve yerçekimi ile yoğunlaştırılmış suyun hızlı bir şekilde iletilmesini kolaylaştırabileceği belirtilmiştir. CB kaplamasının, sis toplama sırasında bakteriyel yapışmaya ve kirlenmeye karşı etkili bir şekilde direnebildiğini ayrıca cihazı mikrobiyolojik korozyondan koruduğunu bildirmişlerdir. Yaptıkları tasarımın, sis toplayıcılara antibakteriyel özellik de sağladığından, sis toplama için umut verici olduğunu belirtmişlerdir.

Hu ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada, çöl böceğinin sırtı ve kaktüs dikenleri gibi doğal sis toplayan yüzeylerden ilham alarak, mükemmel tek yönlü sis toplama yeteneği sergileyen hem ıslanabilirlik hem de topolojik anizotropiye sahip hibrit bir membran tasarlamışlardır. Yapılan çalışma sonucunda, özel ıslanabilirliği ve topoloji anizotropisi sayesinde hibrit membranın, sis damlacığı yakalama, büyüme, birleştirme, yönlü taşıma ve toplamadan oluşan bir mekanizma ile sis topladığı öne sürülmüştür. Yüksek sis toplama kapasitesi, düşük malzeme maliyeti ve basit üretim prosedürü sayesinde, burada tasarlanan hibrit membranın, kurak bölgelerdeki küresel tatlı su kıtlığı krizini gidermek için alternatif olabileceğini belirtmişlerdir.

Xing ve ark. (2019b) yaptıkları çalışmada, Namib çölü böceğinin ve Cribellate örümcek ağlarının benzersiz su toplama kabiliyetinden esinlenerek, ıslanabilir desenler ve gradyan ile yeni bir tür bütünleştirici biyomimetik yüzey elde etmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda, üretilen yüzeyin, hidrofilik desenler nedeniyle yalnızca sis damlacığı yakalama performansını iyileştirmekle kalmayıp, aynı zamanda sis toplama işlemi sırasında hidrofobik bir alt tabaka ile etkili su drenajını da sürdürdüğünü gözlemlemişlerdir. Daha da önemlisi, toplanan su damlacıklarının çoklu kuvvetlerin etkisiyle daha ıslanabilir bölgelere taşınmasının yüzeyin yenilenmesini daha da

hızlandırılabilceğini ve sürekli sis toplama sirkülasyonunu sağlayabileceğini bildirmişlerdir.

Li ve ark. (2020a), *Sarracenia*'nın trikomlarının (tüylerinin) sis toplama davranışından ve mikro yapısından esinlenerek, parlatılmış bir alüminyum numunenin yüzeyini lazerle işleyerek süperhidrofobik ve düşük yapışma özelliklerine sahip mikro yapılar tasarlamışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda, numunenin temas açısının 160° gibi yüksek bir değerde ve yüzey yapısı sayesinde yuvarlanma açısının 3'ten az olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca lazerle işlenmiş numunenin sis toplama etkinliğinin, cilalanmış numuneden daha iyi olduğunu belirtmişlerdir.

Li ve ark. (2020b) yaptıkları çalışmada hem kıyı kuşlarının gagalarında hem de buğday kılçıklarında su damlacıklarının taşınmasından ilham alan, V şeklinde asimetrik geometriye sahip biyomimetik alaşım ağ tasarlamışlardır. Katodik elektrodpozisyon yöntemiyle ağ telinin yüzeyindeki mikro/nano hiyerarşik yapıları modifiye ederek, mikro/nanoyapılara sahip biyomimetik alaşım ağı elde edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, topolojik geometri ve yüzey mikro yapısının, yol boyunca verimli drenajla sis toplama miktarını artmasının yanı sıra ağ tıkanması sorununa da çözüm olacağını bildirmişlerdir.

Wan ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada, *Sarracenia* bitkisi tüylerinin mikro yapılarının sisi yakalama yeteneklerinden esinlenerek, sis toplama özelliğine sahip bir dizi hiyerarşik oluk yüzeyi imal etmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda, hiyerarşik oluk yapısına sahip oluşturulan yüzeyin pürüzsüz yüzeye kıyasla daha iyi su taşıma performansı ve daha yüksek sis toplama verimliliği gösterdiğini bildirmişlerdir.

Aliabadi ve ark. (2021), Namib böcekleri ve çöl kaktüslerinden esinlenerek yaptıkları çalışmada yüksek ıslanabilirlik gradyanına sahip biyomimetik tasarımlı bir iğne kullanmışlardır. Bir akupunktur iğnesinin kavisli yüzeyinde gradyan gözenekli bakır nanokolonlar üretilmiştir. Üretilen malzemelerin, su kıtlığı olan bölgelerde sis toplama amacı ile kullanılmasının yanı sıra mikro sistemlerde su taşıma amacı ile de kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Zhang ve ark. (2021a), Namib çöl böceği, bal peteği ve sürahi bitkisinin benzersiz mikro yapıları ve işlevselliklerinden yola çıkarak, çoklu biyomimetik bir hidrofilik nanofibröz tümseklere ve hidrofobik kayganlığa sahip desenli sis toplayıcı yüzey tasarlamışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda, desenli nanolifli sis toplayıcı üstün sis toplama verimliliği (1111 mg cm^{-2}) sergilemiştir.

Song ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada, lotus yaprakları ve kaktüslerden esinlenerek hem havadaki sisi toplayan hem de belli bir bölgeye taşıyan, konik bir ıslanabilirlik dizisine sahip bir Janus membranı tasarlamışlardır. Zıt ıslanabilirliğe sahip Janus membranının, ıslanabilirlik gradyanına ve hidrofilik bakır ağ yüzeyine sahip konik mikro kolonlar içerdiğini, konik mikro sütunların tepe noktalarının süperhidrofobik iken kalanının hidrofobik olduğunu belirtmişlerdir. Islanabilirlik gradyan kuvveti ve Laplace basıncı dahil olmak üzere sinerjik kuvvetler tarafından tahrik edilen konik mikro kolon üzerinde, su damlacıklarının birleştiği ve konik mikro kolonun tepesinden tabanına doğru hareket ettiği, daha sonra damlacıklar membrandan tek yönlü olarak geçerek bakır ağın yüzeyindeki su filminin içine aktığı gözlemlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, asimetrik yapının ve ıslanabilirlik özelliklerinin, Janus membranına $\sim 7,05 \text{ g cm}^{-2}\text{h}^{-1}$ 'lik gelişmiş bir sis toplama özelliği sağladığı tespit edilmiştir.

Liu ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada, yüzeylerde uzunlamasına sırtlara sahip kaktüstten ilham alan dikenler ve kavisli eğimli oyuklar içeren peristomdan ilham alan alt kanallardan oluşan, biyomimetik bir hibrit sis toplayıcı geliştirmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda, hidrofobik yüzey işlemlerinin, yoğunlaşan su damlacıklarının temas açısını artırabileceğini, bunun da kritik su yoğunlaşma yarıçapını daha da azaltarak sis toplama verimliliğini artıracığını bildirmişlerdir.

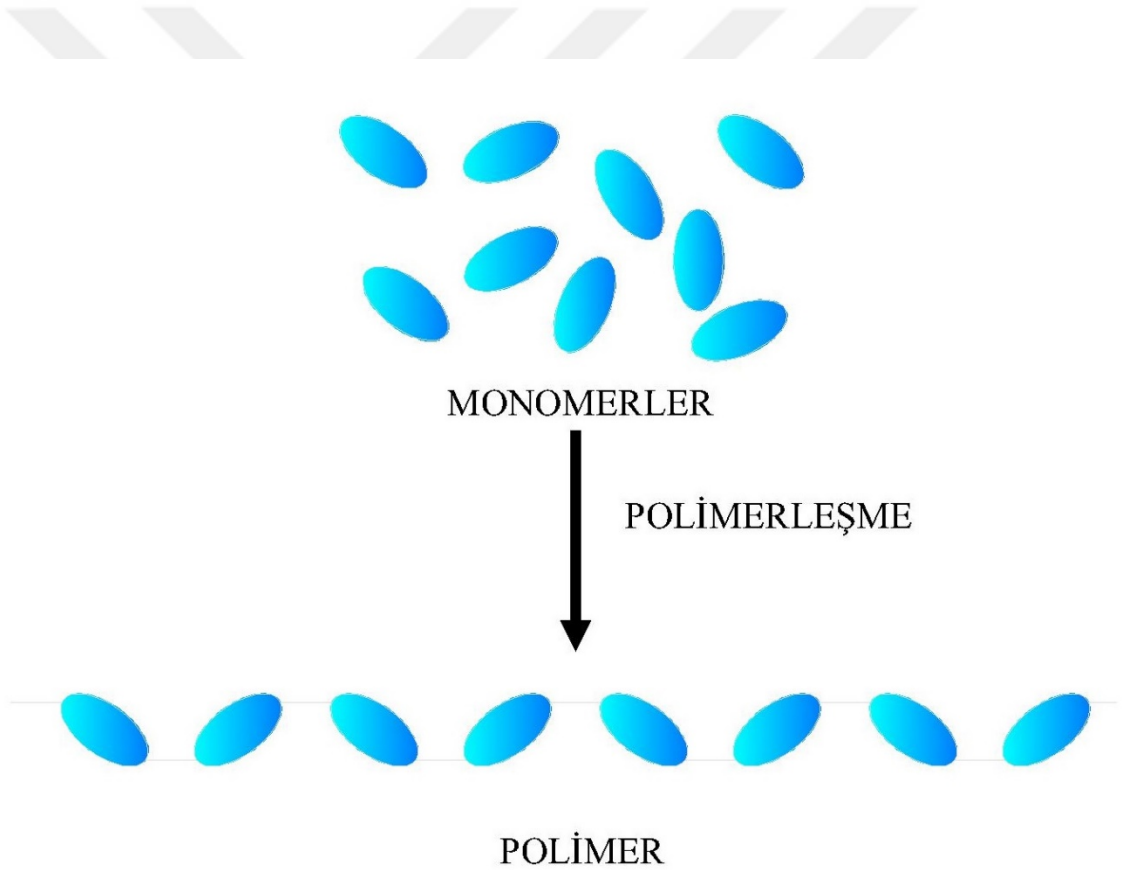
Zhang ve ark. (2021b) yeni yapılar tasarlamak ve yeni malzemeler geliştirmek için, basit ve uygulanabilir bir kaplama ve elektrospinning yöntemi kullanarak hidrofilik kertenkele derisi benzeri nanofibröz ağ üst yüzeyine ve hidrofobik kaygan alt yüzeye sahip yeni bir Janus sis toplayıcı tasarlamışlardır. Elde edilen bakır ağ tabanlı Janus sis toplayıcının, dayanıklı yapısı ile verimli sis toplama ($907 \text{ mg cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$) kabiliyetine sahip olduğu bildirilmiştir.

1.6. Polimerler

Fransızca polymère veya Almanca polymer olarak adlandırılan polimer sözcüğü ilk olarak 1833 yılında İsveçli kimyager Jöns Jakob Berzelius tarafından, "çok" anlamına gelen "polys" ve "parça" anlamına gelen "meros" sözcüklerinden türetilmiştir. 19. yüzyılda Rayon ve vulkanize kauçuk doğal polimerlerin modifikasyonu ile üretilirken, ilk sentetik polimer olan fenol-formaldehit reçinesi (Bakalit) 1907'de icat edilmiş ve o zamandan beri küresel plastik üretimi katlanarak artmıştır. Sentetik

polimerlerin k t lece  retimi İkinci Dünya Savaşı ile başlamıştır ve polimerik malzeme üretimi o kadar yaygınlaşmıştır ki 20. yüzyılın ikinci yarısı "plastik  ağı" olarak adlandırılmaktadır (Dworakowska ve ark., 2022).

Şekil 1.9.'da gösterildiğı gibi polimerler, monomer denilen kimyasallardan meydana gelen zincir şeklinde bir yapıya sahip sentetik malzemelerdir (Şahin ve Yalçinkaya, 2021). Monomer, sadece karbon ve hidrojen atomlarından ya da ayrıca farklı atomları da içeren küçük moleküllerden oluşmaktadır (Oktay, 2019). Polimerler; tekstil, havacılık, denizcilik, otomotiv, inşaat, taşımacılık, ambalajlama, elektrik ve elektronik ekipmanları gibi birçok alanda tercih edilmektedir (Uçar, 2016; Jasso-Gastinel ve ark., 2017). Polimer bilimi, gerçek dünya uygulamaları için büyük potansiyele sahip ilgi çekici bir alandır (Subramaniam ve ark., 2019).



Şekil 1.9. Doğrusal ağı yapılı polimerler yapısı (Ekmen, 2019).

Polimerlerin başlıca avantajları aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Hafif olması
- Kolay şekillendirilebilmesi ve kolay tasarlanabilmesi
- Korozyon gibi kimyasal ve elektrokimyasal etkilere karşı dayanıklı olması

- Fiziksel etkilere dayanıklı olması
- Atmosferik koşullara karşı dayanıklı olup mekanik dayanımlarının yüksek olması
- Özelliklerinin istekler doğrultusunda değiştirilebilmesi
- Düşük maliyetli olması

Polimerler; kaynağına, yapılarına, kimyasal bileşimlerine, sentez yöntemine, çözücülere karşı gösterilen davranışa ve fiziksel durumlarına göre 6 ana grupta sınıflandırılabilir. Kaynağına göre polimerler doğal, sentetik ve yarı sentetik polimerler olmak üzere üçe ayrılır. Yapılarına göre ise, heterozincir polimerler ve homozincir polimerler olmak üzere iki grupta incelenir. Kimyasal bileşimlerine göre sınıflandırdığımızda, organik ve inorganik polimerler (Kalay, 2020), sentez yöntemlerine göre ise, basamaklı (kondenzasyon) ve zincir (katılma) polimerleri olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (Uçar, 2016). Camsı özellik gösterme, kristal yapı ve sertlik gibi özellikler polimerlerin fiziksel özellikleriyle ilgilidir (Kalay, 2020).

Polimerlerin birçok alanda tercih edilmesi, onlara duyulan ilgiyi arttırmıştır. Son yıllarda, geniş kullanım alanına sahip polimerik ince filmler ile ilgili çalışmalar da artmıştır. İhtiyaçları karşılamak üzere, kendi kendini yenileyebilen, kendi kendini temizleyebilen, reflektif (yansıma önleyici), antibakteriyel, hidrofobik, hidrofilik gibi çeşitli fonksiyonel özelliklere sahip polimerik ince filmler üretilmektedir.

1.7. Polimerik İnce Film Üretim Yöntemleri

Polimerik ince film üretim teknikleri, ıslak işlemler ve kuru işlemler olmak üzere iki ana bölüme ayrılabilir. Islak tekniklerde, işlemler sırasında sıvı halde bulunan veya uygun bir çözücü içinde çözülmüş çeşitli kimyasallar, alttaş yüzeyine uygulanır. Islak tekniklerin bir yüzeye uygulanması genellikle kolay olup; özel ekipman gerektirmez. Kuru tekniklerde ise alttaş, herhangi bir çözelti ile doğrudan temas halinde olmayıp; kimyasalların buharları ile temas halindedir.

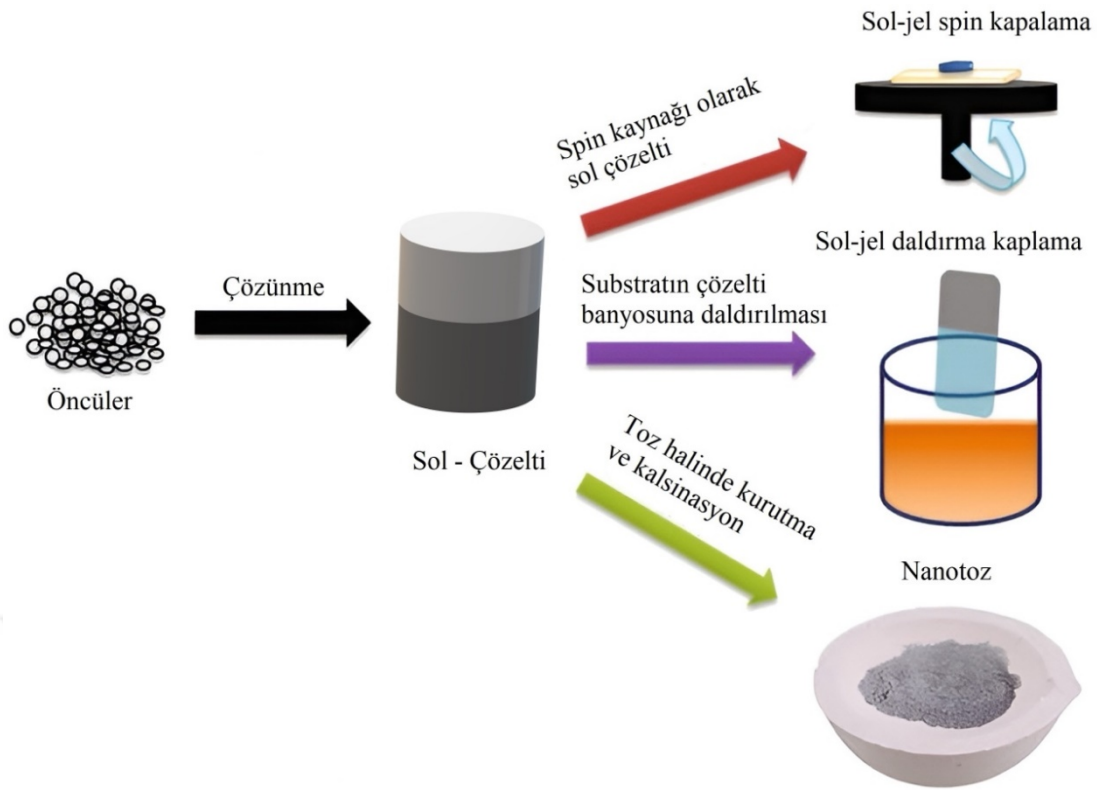
1.8. Islak Prosesler

1.8.1. Sol-jel metodu

Sol-jel yöntemi, farklı kimyasal bileşime sahip nanoparçacıkların sentezi için kullanılan geleneksel ve endüstriyel bir yöntemdir. Sol-jel yönteminin temeli, öncüllerden homojen olmayan çözelti üretimine ve bunun bir jele dönüştürülmesine dayanmaktadır (Bokov ve ark., 2021). Bu yöntemde, moleküler öncü kimyasallar (genellikle metal alkoksit), su veya alkol içinde çözülür. Ardından, ısıtılarak ve hidroliz/alkoliz yoluyla karıştırılarak jele dönüştürülür. Sol-jel yöntemi uygun maliyetli bir yöntemdir ve düşük reaksiyon sıcaklığı nedeniyle ürünlerin kimyasal bileşimi üzerinde iyi bir kontrolü vardır. Sol-jel yönteminden elde edilen malzemeler çeşitli optik, elektronik, enerji, yüzey mühendisliği, biyosensörler, farmasötik ve ayırma teknolojilerinde (kromatografi gibi) kullanılmaktadır (Bokov ve ark., 2021). Sol-jel teknolojisi, endüstriyel uygulamalar için plastik veya demir dışı metal yüzeyler üzerinde çizilmeye dayanıklı sert kaplamaların yapılmasını da sağlamaktadır (Wu ve ark., 2005). Sol-jel türevi kaplamalar, çözelti bazlı işlemenin kolaylığı nedeniyle çeşitli uygulamalar için kullanılmaktadır (Parale ve ark., 2013). Sol-jel yönteminde polimer sentezinden sonra, film oluşturmak için daldırma-çıkarma ve dönel kaplama gibi ikinci bir adım gereklidir (Alf ve ark., 2010). Bu sayede bir alttaş üzerinde ince film üretilebilmektedir. Sol-jel yönteminin şematik diyagramı Şekil 1.10.'de gösterilmiştir.

Sol-Jel yöntemi ile ince film kaplanırken çeşitli teknikler kullanılmakta olup; bu tekniklerden bazıları aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Daldırma Tekniği
- Döndürme Tekniği
- Püskürtme Tekniği
- Akış Tekniği
- Yazdırma Tekniği
- Rulo Kaplama Tekniği (Aegerter ve Mennig, 2013).



Şekil 1.10. Sol-jel işleminin şematik diyagramı (Shrividhya ve ark., 2017).

1.8.2. Daldırma-Çıkarma yöntemi

Daldırarak kaplama tekniği, ince film tabakasıyla kaplanacak yüzeyin değişmeyen sıcaklık ve atmosferik koşul ortamında kaplama yapılacak alttaşın kaplama solüsyonu içerisine daldırılıp, belirli bir hızla yukarı çekilmesi esasına dayanmaktadır (Biçer, 2015; Topçu, 2015). Kolay bir işlem gibi görünen bu sistemde, yüzeyin çözelti içerisine sabit bir hızla daldırılıp, çıkarılmasına dikkat edilmelidir. Bunun için genellikle sabit hızlarla hareket edebilen mekanik bir sisteme ihtiyaç duyulmaktadır (Biçer, 2015). Kaplama kalınlığını etkileyen başlıca faktörler; akışkan (çözelti) viskozitesi, akışkan yoğunluğu ve yüzey gerilimidir (Topçu, 2015).

1.8.3. Dönel kaplama

Dönel kaplama yönteminde belirli bir hızla döndürülen alttaş üzerine uygulanan çözelti merkezkaç kuvvetinin etkisi ile yüzey üzerinde yayılarak çözelti içindeki çözücünün de buharlaşması ile ince bir film oluşturmaktadır (Çapan, 2008).

Dönel kaplama teknolojisi, güçlü santrifüj ve hava kesme kuvveti sayesinde, fazla monomerleri verimli bir şekilde uzaklaştırabilir, döndürme hızını ayarlayarak monomer miktarını kontrol edebilir ve monomerleri altta yüzeyine eşit bir şekilde dağıtabilir. Yüksek geçirgenliğe sahip ultra ince, pürüzsüz membranlar hazırlamak için bu yöntem kullanılabilir (Xie ve ark., 2023). Islatma süresi ve geri çekme hızı, kaplama kalitesini etkileyen ek parametrelerdir. Şekli alt tabakalar üzerinde ve boşlukların içinde düzgün bir film kalınlığı elde etmek için kaplama sıvısının viskozitesinin uygun şekilde kontrol edildiği özel bir döndürme tekniği uygulanmalıdır (Landau, 2008). Dönel ve püskürtme kaplama teknikleri, membran hazırlamada alttaşların kaplanması için yaygın olarak kullanılmaktadır (Landau, 2008).

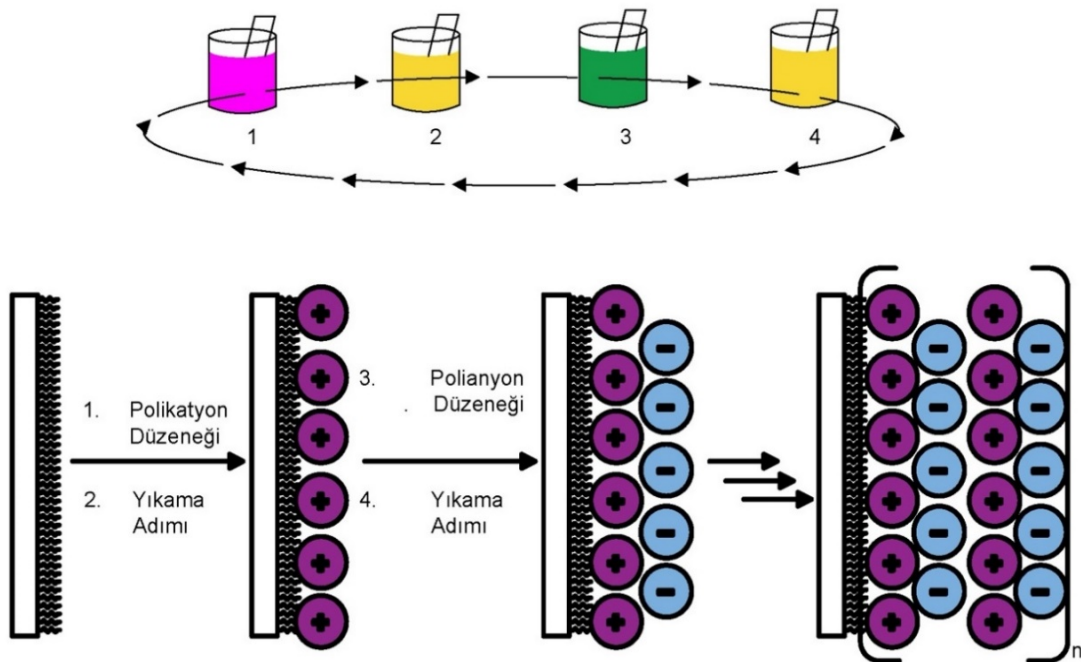
1.8.4. Atom transfer radikal polimerizasyonu (ATRP)

ATRP, 1995 yılında Wang, Matyjaszewski ve Sawamoto tarafından geliştirilen güçlü ve çok yönlü tersinir deaktivasyon radikal polimerizasyonları (RDRP) tekniklerinden biridir (Dworakowska ve ark., 2022). ATRP; stirenleri, akrilatları ve çeşitli diğer monomerleri kontrollü bir şekilde polimerize etmek için yaygın bir şekilde kullanılan en başarılı yöntemlerden biridir (Coessens ve ark., 2001). Bu polimerizasyon yöntemi, hareketsiz bir alkil halojenürle sonlandırılmış polimer zincir ucunun, bir geçiş metali kompleksine halojen transferi ile halojenürün tersinir redoks aktivasyonuna dayanmaktadır. Bu reaksiyon, karbon-halojen bağının homolitik kırılmasına yol açar, böylece polimer zincir ucunda serbest radikal türleri oluşur. Aktivasyon adımı, geçiş metali kompleksinden halojen atomuna bir elektron transferini içerir, bu da geçiş metali kompleksinin oksidasyonuna yol açar. ATRP reaksiyonunun hızı büyük oranda katalizör konsantrasyonuna, ligand tipine, çözücüye ve başlatıcıya bağlıdır (Hüküm ve ark., 2020).

1990'lardaki keşiften bu yana, ATRP, iyi tanımlanmış yapılara ve mimarilere sahip polimer malzemelerin sentezi için en çok kullanılan polimerizasyon yöntemlerinden biri haline gelmiştir. Kaplamalar, yapıştırıcılar, kozmetikler, mürekkep püskürtmeli baskılar vb. olmak üzere çeşitli endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Ma ve ark., 2021). ATRP, basit bir yöntem olup, geniş uygulanabilirliği ve önceden erişilemeyen iyi tanımlanmış nano yapı polimerik malzemeleri hazırlama becerisi ile kapsamlı şekilde çalışılan kontrollü/yaşayan radikal polimerizasyon yöntemidir (Matyjaszewski ve Tsarevsky, 2009).

1.8.5. Katman katman kaplama

Katman katman kaplama yöntemi, elektrostatik etkileşimler, hidrojen bağı veya diğer ikincil etkileşimler yoluyla bir alttaşın adsorpsiyonuna dayanmaktadır (Hammond, 2012; Richardson ve ark., 2016). Kendiliğinden bir araya gelen katman, kimyasal bağlar yoluyla katı-sıvı veya katı-gaz arayüzünde kendiliğinden adsorbe olan aktif moleküllerle oluşturulan, belirli bir yönelim ve sıkı düzenlemeye sahip iki boyutlu veya üç boyutlu moleküler filmdir (Gao ve ark., 2020; Mo ve ark., 2021). Bu yöntem, biyomalzemeler alanında özel bir potansiyele sahiptir. Çünkü ince bir filmin bileşiminin nm düzeyinde kontrolünü ve son derece karmaşık, kaplama bileşimlerinin üretilmesine olanak sağlar (Hammond, 2012). Diğer ince film biriktirme yöntemleriyle karşılaştırıldığında üstün kontrol ve çok yönlülük sunan, polimerler, kolloidler, biyomoleküller ve hatta hücrelerle substratların kaplanması için yaygın bir yöntemdir (Richardson ve ark., 2016). Ayrıca, çok katmanlı filmler güçlü korozyon direnci, kendi kendini iyileştirme yeteneği ve antibakteriyel etkinlik sergilemektedir (Gao ve ark., 2020). Katman katman kaplama yönteminin şematik diyagramı Şekil 1.11.'de gösterilmiştir.



Şekil 1.11. Katman katman yöntemi (Feifel ve ark., 2013)

1.9. Kuru Prosesler

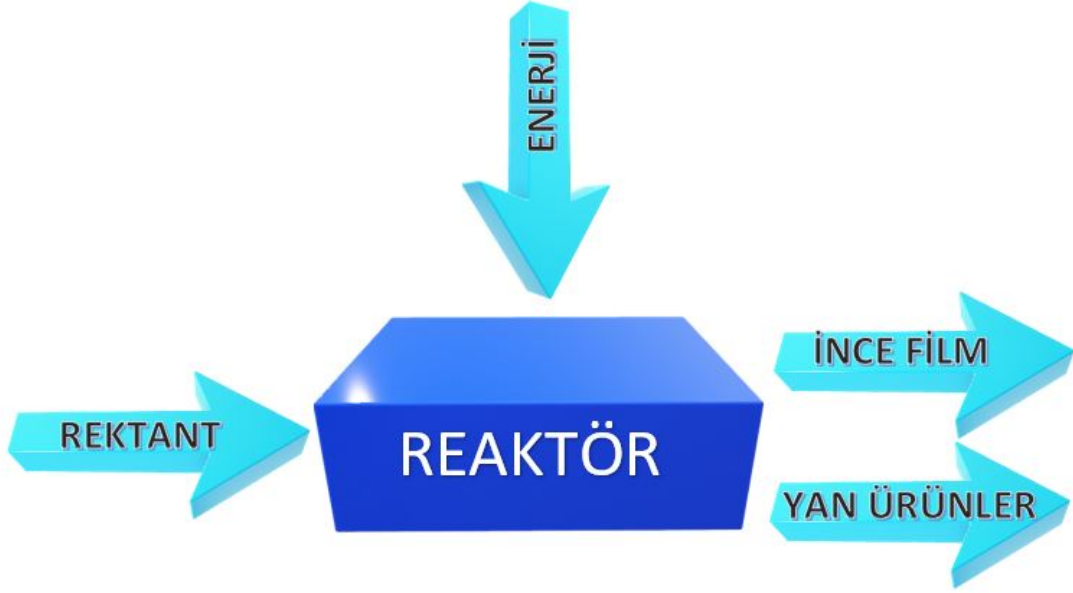
Çözeltilerin yüksek yüzey gerilim kuvvetleri genellikle sıvının alttaşın girintili çıkıntılı kısımlarına transferini engellemektedir. Bundan dolayı, ıslak yöntemleri kullanılarak gözenekli ve/veya mikro ölçekli pürüzlü yüzeylerin homojen bir şekilde konformal olarak kaplanması çok zordur. Ayrıca, bir kimyasalın buhar halindeki transferi, sıvı haldeki haline göre çok daha kolaydır. Bu nedenle, buhar biriktirme prosesleri ile üniform kaplamalar elde etmek mümkündür. Kuru yöntemlerde, çözelti kullanılmadığından doğal olarak çözelti kaynaklı sorunlar da ortadan kalktığı için, ıslak prosesler ile kaplanması zor olan yüzeyleri başarıyla kaplamak mümkündür (Karaman ve ark., 2012; Seah ve ark., 2023; Tian ve ark., 2023). Ayrıca, agresif kimyasallara ve suya karşı hassas olan kumaş gibi malzemeleri ıslak proseslerle kaplamak oldukça güçtür. Bu tür yüzeylerin kaplanmasında kuru yöntemler önemli bir avantaja sahiptir. Islanmaya karşı hassas olan birçok malzeme yüzeyi kuru prosesler kullanılarak başarılı bir şekilde kaplanmıştır (Chen ve ark., 2013; Lee ve ark., 2019; Şimşek ve Karaman, 2020).

Tüm bu avantajlarının yanı sıra, bir buhar biriktirme işlemi genellikle yalnızca öncül veya taşıyıcı moleküllerin var olduğu vakum veya arındırılmış koşullar altında gerçekleşmektedir. Bu nedenle, kuru kaplama yöntemleri ile üretilen filmler oldukça saftır (Karaman ve ark., 2017). Kuru sentez 2 şekilde yapılabilir. Bunlar: Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD) ve Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD) yöntemleridir. Polimerizasyon çalışmalarında bu iki yöntem arasından ancak CVD yöntemi ile polimer üretimi yapılabilmektedir.

1.9.1. CVD yöntemi

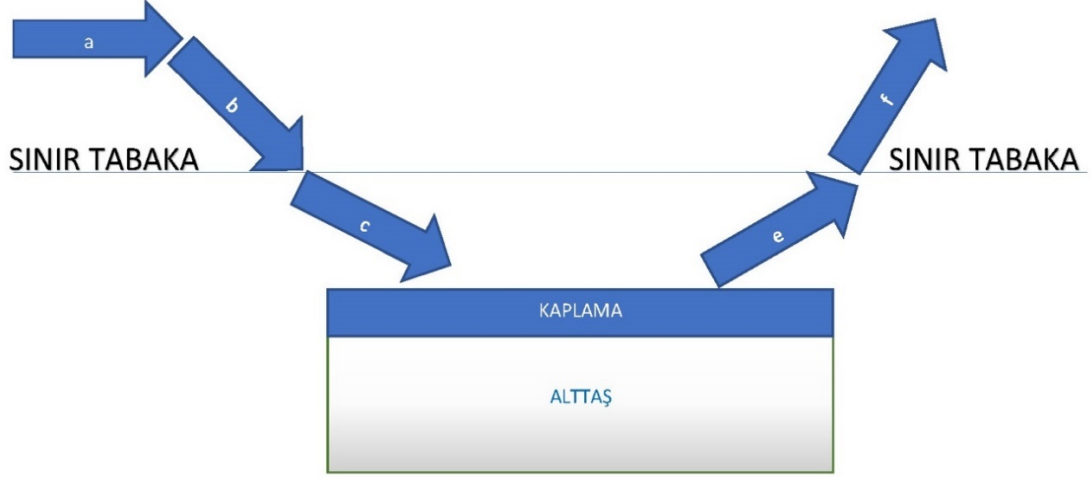
CVD, aktif (ısı, ışık, plazma) bir ortamda reaktan gazların kimyasal reaksiyonu ve ayrışmasının ardından sabit bir katı ürünün oluşmasını sağlar. Böylece, polimerizasyon ve kaplama tek bir işlem basamağında gerçekleşir. CVD yöntemi, kaplamalar, tozlar, lifler ve monolitik bileşenlerin üretimi için uygun çok yönlü bir işlemdir (Gürsoy ve Karaman, 2017; Yanardağ, 2018). CVD yönteminin kullanıldığı ilk uygulamaların çoğunluğu metallerin karbonil işlemiyle saflaştırılması ile ilgili olmakla birlikte nikelin artırılması için gerçekleştirilen karbonil işlemi buna örnek gösterilebilir (Çoşğun ve ark., 2021). CVD ile karbon ve silisyum gibi birçok metal olmayan element

ve karbürler, nitrürler, oksitler, intermetalikler vb. birçok komponent üretmek mümkündür (Yenice, 2015; Gürsoy ve Karaman, 2017; Yanardağ, 2018). Genel olarak CVD, Şekil 1.12.'de özetlenmiştir.



Şekil 1.12. CVD Prosesi

CVD yönteminde, çözelti ve herhangi bir sıvı ara faz maddesi kullanılmaması sayesinde, alttaşlar arasındaki olası topaklanma probleminin de önüne geçilebilmektedir (Gürsoy ve Karaman, 2018). Hızlı reaksiyon süresi (saniyeler ile birkaç dakika arasında değişen), çevre dostu olması (organik/tehlikeli solventler içermemesi), son işlemin ortadan kaldırılması (örn. modifikasyondan sonra etanol durulama), yüksek düzeyde kontrol edilebilir kaplama kalınlığı (nm ölçeğinde) ve ayrıca tek tip kaplama özellikleri gibi nedenler CVD yöntemini önemli bir yöntem haline getirmektedir (Ng ve ark., 2020). Kopolimer sentezinde ıslak yöntemlerde genellikle iki monomerin ortak bir çözücüye sahip olmasını gerekirken, buhar fazında gerçekleşen CVD yönteminde bu kısıtlama ortadan kalmaktadır (Paxson ve ark., 2014). Şekil 1.13.'de CVD reaktöründe film büyümesi sırasında gerçekleşen olaylar ve mekanizmanın basit bir anlatımını göstermektedir.



Şekil 1.13. CVD reaktöründe gerçekleşen mekanizmanın adımları (Malandrino, 2009; Oktay, 2019).

CVD prosesinde gerçekleşen aşamalar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- a) Reaktantların buhar fazında reaktöre beslenmesi
- b) Sınır tabakaya gaz difüzyonun gerçekleşmesi
- c) Reaktantların, alttaşı yüzeyine transfer olması
- d) Alttaşı yüzeyinde kaplamaların gerçekleşmesi
- e) Yan ürünlerin, alttaşı yüzeyinden ayrılması
- f) Ana akıma, ayrılan kimyasalların da eklenerek sınır tabakadan ayrılması

CVD işlemi, kullanılan alttaşı malzemesinin türüne, kaplanan malzemenin tipine ve kaplama esnasında kullanılan yardımcı ekipmanlara göre türlere ayrılmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

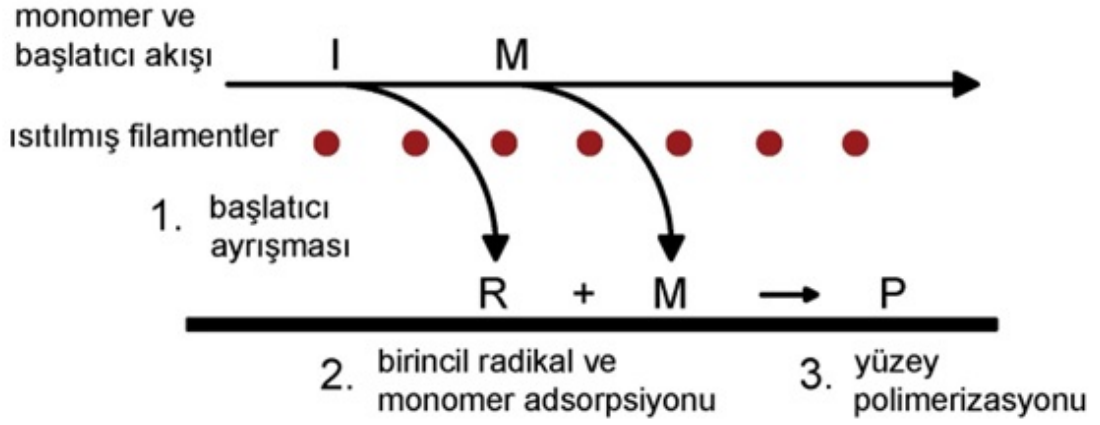
- Termal Aktivasyonlu Kimyasal Buhar Biriktirme (Termal CVD)
- Metal – Organik Kimyasal Buhar Biriktirme (MOCVD)
- Plazma Destekli Kimyasal Buhar Biriktirme (PECVD)
- Başlatıcılı Kimyasal Buhar Biriktirme (iCVD)
- Sıcak Filament Kimyasal Buhar Biriktirme (HFCVD)
- Lazer Destekli Kimyasal Buhar Biriktirme (LACVD)
- Foto Destekli Kimyasal Buhar Biriktirme (PACVD)

Polimerik ince film üretiminde, iCVD ve PECVD yaygın olarak kullanılmaktadır (Gürsoy ve ark., 2016; Ng ve ark., 2020; Gürsoy, 2021b).

1.9.2. iCVD yöntemi

iCVD yöntemi, kesin olarak kontrol edilebilir kalınlığa sahip konformal filmler üretmek için kullanılan tek adımlı, çözücü içermeyen, düşük enerjili, buhar fazlı bir yöntemdir (Tenhaeff ve Gleason, 2008; Paxson ve ark., 2014). Başlangıçta iCVD yöntemi, PECVD yönteminde meydana gelebilen aşırı monomer parçalanması ve alttaşların iyon bombardımanına maruz kalması gibi sorunların üstesinden gelebilmek için geliştirilmiştir (Yılmaz ve ark., 2019). iCVD yöntemi, sıvı fazın mevcudiyeti olmadan yığın halde bir serbest radikal polimerizasyonu gibi düşünülebilir (Lau ve Gleason, 2006). Genel olarak iCVD yöntemi ile çeşitli fonksiyonel özelliklere sahip doğrusal polimer, kopolimer ve/veya çapraz bağlı filmlerin üretimi gerçekleştirilebilmektedir (Martin ve ark., 2007; Şakalak ve ark., 2022). iCVD yönteminde, geleneksel sıcak filament CVD yönteminden farklı olarak, monomerin yanında, başlatıcı ismi verilen daha düşük sıcaklıklarda radikallere dönüşebilen kimyasallar da reaktöre beslenmektedir. Başlatıcının varlığı, hem polimerizasyonun daha düşük sıcaklıkta gerçekleşmesini hem de daha yüksek hızlarda üretim yapılmasına katkıda bulunmaktadır. Başlatıcı varlığında düşük enerji girdisi ile polimerizasyon gerçekleşebildiği için, hassas alttaşlar rahatlıkla kaplanabilmektedir (Tenhaeff ve Gleason, 2008). Plastikler, kumaşlar ve farmasötikler gibi sıcaklığa duyarlı malzemeler iCVD yöntemi ile başarıyla kaplanabilmektedir (Lau ve Gleason, 2006).

Şekil 1.14.'de gösterildiği gibi, iCVD polimerizasyon mekanizması üç ana adımda meydana gelmektedir.



Şekil 1.14. iCVD polimerizasyonu için önerilen reaksiyon mekanizması (Lau ve Gleason, 2006).

iCVD yönteminde gerçekleşen 3 ana basamak aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

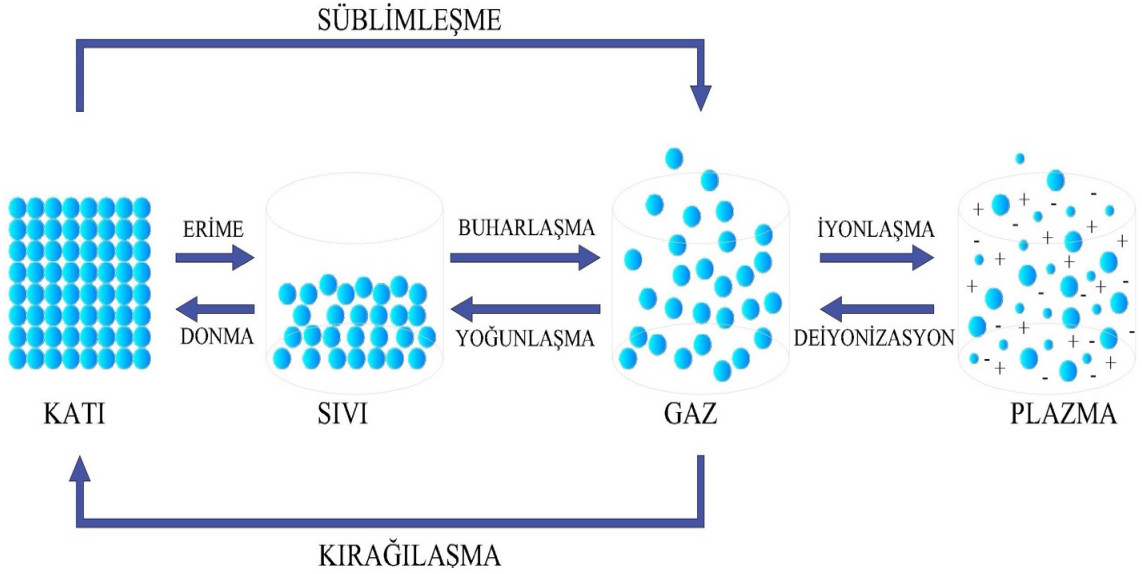
1. Başlatıcı (I), ısıtılmış filament buhar fazında termal olarak ayrışır.
2. Birincil radikaller (R) ve monomer (M), buhar fazından yüzeye adsorbe olur.
3. Başlatma, yayma ve sonlandırma süreçleri sonucunda polimerizasyon gerçekleşir ve polimer (P) alttaş yüzeyinde oluşur (Lau ve Gleason, 2006; Şakalak ve ark., 2020).

1.9.3. PECVD yöntemi

PECVD yönteminde polimerizasyonu başlatmak için gerekli enerji plazma gücü ile sağlanmaktadır. Maddenin halleri Şekil 1.15.'de gösterilmiştir. Plazma, maddenin 4. halidir.

Katı madde, atomların termal hareketinin kristal kafes yapısını parçalayacak kadar ısıtıldığında, genellikle sıvıya dönüşür. Sıvı haldeki maddenin atomlarının yüzeyden buharlaşarak yeniden yoğunlaşmalarından daha hızlı buharlaşmasına yetecek kadar ısıtıldığında, gaz haline dönüşür. Gaz haline enerji uygulanmaya devam ettikçe, gaz iyonize olur ve madde plazma haline geçer (Goldston ve Rutherford, 1995). Plazma, temel olarak serbest halde bulunan pozitif ve negatif yüklerin sayısının eşit olduğu iyonlaşmış gaz olarak ifade edilebilir (Yenice, 2015).

Maddenin dördüncü hali olan plazmanın keşfi, 1808 yılında Sir Humptry Davy tarafından kararlı halde, doğru akım (DC) ark deşarjının geliştirilmesi ve Michael Faraday'ın yüksek voltajlı DC elektriksel deşarj tüpüne yönelik araştırmalarıyla başlamıştır. Plazma, ilk olarak Sir William Crookes tarafından 1879 yılında tanımlanmış ve daha sonra 1897'de Thomson tarafından elektron ışınları (demeti) keşfedilmiştir. 1926 yılında Penning, alçak basınçlı civa buharında radyo dalgası titreşimlerini belirlemiş, ardından Irving Langmuir 1929 yılında bu titreşimlerin bulunduğu bölge için ilk kez "PLAZMA" terimini kullanarak 1932 yılında Kimya dalında Nobel ödülünü kazanmıştır. Plazmanın özellikleri ve davranışları konusunda önemli çalışmalar yürüten İsveçli Hannes Alfven ise 1970 yılında Fizik dalında Nobel ödülüne layık görülmüştür. Alfven'in çalışması, plazmaya verilen pertürbasyonun manyetik alan yönünde plazma frekansı ile yayılması üzerine yoğunlaşmıştır (Kandemir ve ark., 2021).



Şekil 1.15. Maddenin halleri

Plazmalar, üretim şekline, çalışma basıncına, sıcaklığına ve kullanılan gazın cinsine göre adlandırılabilir. Plazmaların sınıflandırılması, üretim şekli, plazma basıncı, plazma sıcaklığı ve plazmada kullanılan gazların cinsine göre yapılmaktadır. PECVD yönteminde aktivasyon esas olarak elektronların esnek ve esnek olmayan çarpışmalarından kaynaklanmaktadır. Katı, sıvı ve gaz fazında monomerler kullanılabilir. PECVD yönteminde, düşük sıcaklıkta kimyasal reaksiyonları

etkinleştirebilmek için yüksek elektron enerjisi kullanılır (Oktay, 2019). PECVD yönteminde, gaz molekülleri elektron etkisi ile ayrışarak nötr, iyon ve radikal türleri oluşturur. Bu reaktif türler yüzeye ulaşır, iyonik ve/veya serbest radikal mekanizması aracılığıyla birbirleri ile reaksiyona girerek ince film oluştururlar (Yenice, 2015; Oktay, 2019). Gaz molekülleri termal enerji yerine enerjik elektronlar ile aktif hale geldiği için PECVD yönteminde polimerizasyon düşük reaksiyon sıcaklığında gerçekleşebilmektedir (Yenice, 2015).

PECVD yönteminin en büyük dezavantajı, yoğun monomer parçalanması sonucu elde edilecek polimerlerdeki fonksiyonel gruplarda kayıplar olabilmesidir. Düşük plazma gücü uygulayarak veya atımlı plazma uygulayarak, polimerdeki fonksiyonel gruplardaki kayıpları azaltabilmektedir (Gürsoy ve ark., 2016). PECVD yöntemi, gerçek zamanlı kalınlık kontrolü ve büyük ölçekli üretime kolayca uygulanabilmesi gibi ek özelliklere de sahiptir (Yasuda, 2005; Friedrich, 2011; Weltmann ve ark., 2019; Yartaşı ve Karaman, 2020). Ayrıca, PECVD işlemi, yüksek oranda çapraz bağlı polimerik filmler üretmeye olanak sağlaması ile de bilinmektedir (Yılmaz, 2020)

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Batisha (2015) sisten elde edilen suyun sürdürülebilirliğinin analizi amacıyla yaptığı çalışmada, sis toplama ile elde edilen suyun maliyetinin tanker veya su boru hatları gibi diğer alternatiflere taşınan suya kıyasla daha uygun olduğunu bildirmiştir. Sis in toplanması, taşınması, depolanması ve dağıtılması için gerekli sistemin maliyetinin; alana erişim ve suyun taşınması gereken mesafeye bağlı olacağını belirtmiştir.

Regalado ve Ritter (2019) yaptıkları çalışmada, İspanya ve Kanarya Adalarına yerleştirdikleri, silindirik geometrili tek veya çok yönlü geometrik şekillere sahip çeşitli sis toplama ağları kullanmışlardır. Sisten elde edilen suyun kullanımının, orman sisi önleme ve potansiyel bulut ormanı dağılımı için faydalı olabileceğini bildirmişlerdir.

Fernandez ve ark. (2018) Kaliforniya'da sisten su toplama potansiyelini araştırmak için yaptıkları çalışma sonucunda, MIT-14 ağının (Massachusetts Institute of Technology'de geliştirilen 14 mikronluk gözenek boyutuna sahip hidrofobik kaplamalı paslanmaz çelik ağ) raşel ağdan daha fazla su toplama eğiliminde olduğunu bildirmişlerdir. Bu ağın maliyetinin fazla olduğunu, benzer şekilde, FogHa-TiN ağının (Alman şirketi Fog Harvesting Systems tarafından geliştirilen Fog Harvesting - Titanium Nitride ağı titanyum nitrür ile kaplanmış kumaş ağ) raşel ağdan daha fazla su toplayabildiğini, ancak birim alan başına maliyetinin yaklaşık olarak on beş kat daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.

Rajaram ve ark. (2016) yüzey modifikasyonu ve yerel geometrik değişiklikler yoluyla raşel ağının sis toplama verimliliğini artırma amacıyla yaptıkları araştırma sonucunda, süperhidrofobik kaplamanın sis toplama verimliliğinde yaklaşık %50'lik bir artış sağladığını tespit etmişlerdir. Yüzey modifikasyonu ve geometrik değişikliklerden sonra, elde edilen modifiye edilmiş ağın, aynı şartlar altında sıradan bir raşel ağın topladığının, yaklaşık 2 katı kadar su topladığını bildirmişlerdir.

Song ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada, farklı ıslanma özelliklerine sahip ve genişlikleri 1-5 mm arasında değişen Polivinil Klorür (PVC) şeritlerden oluşan sis toplama malzemelerini incelemişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre, 1 mm genişliğinde süperhidrofilik şeritlerin, 2,8 mm genişliğindeki şeritlere kıyasla iki kat daha fazla su toplamaya sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Lee ve ark. (2020) yaptıkları çalışmada, küçük açıklıkların genellikle büyük boyutlu damlacıklar tarafından tıkanmakta olduğunu ve tıkanma sorunlarının, su

damlacıklarını verimli bir şekilde iletmek ve damlacıkların açıklıklara yeniden sürüklenmesini önlemek amacıyla, sis toplayıcıların yüzey kimyasını ve yüzey yapılarını değiştirilerek çözülebileceğini bildirmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda, 0,65'lik büyük bir gölgeleme katsayısına sahip uzunlamasına hizalanmış nanokanallara sahip sis toplayıcının, geleneksel ağ benzeri sis toplayıcılara kıyasla sis toplama performansında %55 artış gözlemlendiği belirtilmiştir.

Song ve ark. (2018a) yaptıkları çalışmada, sis toplama ve tek yönlü taşıma için biyomimetik yüzey tasarlamışlardır. PDMS ve grafeni birleştirerek tasarlanan yüzeyin diğer desenlere veya homojen ıslanabilirlik yüzeyine göre daha fazla sis toplayabildiğini, üstün mekanik dayanıklılığa ve kimyasal stabiliteye sahip olduğunu bildirmişlerdir. 200 °C'ye ısıtılmış PDMS/G yüzey üzerinde tek yönlü su taşınımı başarıyla gerçekleşmiştir.

Nioras ve ark. (2021) hidrofilik, hidrofobik ve süperhidrofobik yüzeylerde sis toplama ve çiy suyu hasadının teorik ve deneysel karşılaştırmalı analizini yaptıkları çalışmanın sonucunda, süperhidrofobik yüzeylerin, sadece hidrofilik yüzeylere kıyasla % 40-65 kat daha fazla sis toplayabildiğini belirtmişlerdir.

Kim ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada, süperhidrofilik yüzeyde, su damlacıklarının hızlı bir şekilde yakalandığını ancak; su ile yüzey arasındaki yüksek yapışmadan dolayı yüzeyin altında bir su birikintisi oluştuğunu bildirmişlerdir. Hidrofobik yüzeyde ise, su damlacıklarının yüzeyden rahatlıkla yuvarlandığını, yakalama oranının çok düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Desenli olmayan yüzey ile karşılaştırdıklarında, desenli hidrofilik bölge üzerinde yakalanan su filminin hızla küresel bir şekle dönüşerek yüzeyden ayrıldığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, 0,5 mm desen boyutuna sahip yüzeyin topladığı sis miktarının, süperhidrofilik ve hidrofobik yüzeylerin topladığından daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Almasian ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada, florlu poliakrilonitril (PAN) nanofiberler hazırlamış ve sis toplama yeteneklerini araştırılmıştır. Bu kapsamda yeni bir floroamin bileşiği sentezlemiş ve süperhidrofobik PAN nanofiberleri üretmek için kullanmışlardır. Floroamin moleküllerinin nanofiber yüzey üzerine aşılması sonucu düşük yüzey enerjili ($17,1 \text{ mN m}^{-1}$), yüksek su temas açısına (159°) sahip süperhidrofobik bir yüzey elde edilmiştir. Yapılan modifikasyon sonucunda nanoliflerin, sis toplama kapasitesinin arttığı gözlemlenmiştir.

Xing ve ark. (2019a) yaptıkları çalışmada, süperhidrofobik yüzeylerde mikrodamlı yardımcı mikroalan hidrofilikizasyonu (microdrop-assisted microdomain

hydrophilicization) yöntemi ile mikrodamlacıklarının yüksek verimli nükleasyonunu ve kendiliğinden uzaklaştırılmasını sağlamışlardır. Bu yöntemde, süperhidrofobik yüzey üzerine polivinil alkol (PVA) içeren µm boyutlarında sis damlacıklarını püskürtmüşlerdir. Termal buharlaştırmadan sonra istenen hidrofilik mikroalanlara dönüşmüşlerdir. Böylece süperhidrofobik yüzeylerde sorun teşkil eden mikrodamlacıkların oluşması sorununun basit, ucuz ve çevre dostu bir yöntemle çözülebileceğini bildirmişlerdir.

Li ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada, süperhidrofilik-süperhidrofobik bir Janus sis toplayıcı üretmek için bakır köpüğün bir tarafına femtosaniye lazer işlemi (süperhidrofilik), diğer tarafına ise kimyasal değiştirme reaksiyonunu (süperhidrofobik) uygulayarak, Janus yapısının farklı su taşıma davranışlarını araştırmışlardır. Elde edilen malzemenin sis toplama önemli bir potansiyele sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Azad ve ark. (2017) sis toplama üzerine yaptıkları çalışmada, farklı kesitlerdeki ve yüzey yapılarındaki polietilen tereftalat lifleri kullanıp, elyaf numunelerdeki su damlacığı hareketi ve damlama başlangıcını karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda; yuvarlak, oval ve dikdörtgen kesitli liflerin, diğer liflere göre daha yüksek sis toplama performansı gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca genişlik, yüzey yapısı, ıslanabilirlik gibi parametrelerin de sis toplama performansını etkilediği; verimli bir sis toplama için yuvarlak kesitli, mikro yivli bir yüzeye ve optimize edilmiş genişliğe sahip liflerin kullanılması sonucuna varmışlardır.

Cao ve ark. (2015) sisten mikro damlacıkları toplamak amacıyla yaptıkları çalışmada, hidrofobik/hidrofilik özellikli Janus sistemi tasarlamışlardır. Silindir Janus toplayıcı, toplanan suyun yeniden buharlaşma hızının azalmasını ve yüzey suyunun yönlü dağılımını sağlamışlardır. Bu çalışmada geliştirdikleri tasarım neticesinde ortaya çıkan sis toplayıcısının yüksek sis toplama verimliliği sergilediğini bildirmişlerdir.

Tang ve ark. (2021b) yaptıkları çalışmada, sis toplamak için püskürtme yöntemiyle mikronano tel kanallarından oluşan Janus membran üretmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda damlacıkların hidrofobik taraftan diğer tarafa tek yönlü olarak taşındığını ve hidrofobik katmanın daha iyi sis yoğunlaştırma kabiliyetine sahip olduğunu ortaya çıkartmışlardır. Yüksek verimli ve sürekli sis toplama amacıyla burada geliştirilen tasarımın önemli bir potansiyele sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Li ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada, iki süperhidrofobik polyester ağ arasına Janus görevi gören hidrofilik bir polyester ağ sıkıştırarak üç katmanlı sandviç yapılı bir sis toplayıcı geliştirmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda, düşük maliyetli üç

katmanlı sandviç yapısının farklı boyutlardaki damlacıkların verimli bir şekilde toplanmasına yarar sağladığını bildirmişlerdir.

Tang ve ark. (2021a) yaptıkları çalışmada, yapısal gradyan ve kimyasal gradyanı birleştiren ıslanabilirlik gradyanlı konik bakır iğneler (WGCCN) hazırlamak için basit bir yöntem formüle ederek, damlacık hacmi ve eğim açılarının damlacık taşıma hızı üzerindeki etkisini sistematik olarak incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda, damlacık hacmi arttıkça taşıma hızının da arttığını ve WGCCN'nin sis toplama testi sonucunda, üst alanın hidrofobikliğinin, daha sonra alt alana aktarılan ve itici güç indüksiyonu altında toplanan sis damlacıklarının hızlı yoğunlaşmasına katkı sunduğunu belirtmişlerdir.

Carvajal ve ark. (2020) sis toplama ile aerodinamik davranış arasındaki ilişkiyi açıklama amacıyla, toplayıcı ağının geometrik özelliklerini (düz ve içbükey), ağ-zemin mesafesini ve rüzgâr hızını değiştirerek parametrik bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda, en büyük eğrilik (1,1 m), en yüksek ağ-zemin mesafesi (2 m) ve maksimum rüzgâr hızı (5 ila 7 m s⁻¹) için maksimum aerodinamik toplama verimini %35 olarak bulmuşlardır.

Ding ve ark. (2020) yaptıkları çalışmada, biyo-bazlı ve yenilenebilir Janus ahşap membranları ilk önce floro-oksisilan/Titanyumdioksit nanoparçacıkları ile hidrofobize edip; daha sonra ultraviyole ışınına maruz bırakmışlardır. Yaptıkları çalışmalar sonucunda, geleceğin akıllı binaları için Janus ahşap membranların mükemmel sis toplama verimliliği potansiyeline sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Kim ve ark. (2014) hidrofobik pürüzlü bakır yüzeyler üzerinde CVD ile oluşturulan şeffaf grafen filmlerin, yüzeyin içsel hidrofobikliğini korurken aynı zamanda bakır korozyonuna karşı mükemmel direnç sunarak su toplama uygulamaları için üstün performans sağladığını bildirmişlerdir.

Khan ve ark. (2018) CVD ile üretilmiş grafenin ıslanma özelliğine sahip olduğu için sis toplama uygulamaları açısından önemli bir potansiyele sahip olduğunu bildirmişlerdir. Bununla birlikte, metal katalizli CVD ile büyütülmüş grafen filmlerin, fiziksel olarak emilen havadaki organik kirleticilerin varlığından dolayı genellikle hidrofobik olduğunu ve bu nedenle, sıvı damlacıkların hidrofobik veya süperhidrofobik davranışına dayalı çeşitli uygulamalar için daha uygun olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca CVD ile grafen üretim sürecinin diğer tekniklere kıyasla daha kontrollü olduğunu bildirmişlerdir.

Gürsoy (2020b) hidrofobik alanlarla çevrili hidrofilik bölgelere sahip canlılardan esinlenerek, sis toplama için hidrofilik/hidrofobik desenli yüzeyler elde etmek için yaptığı çalışmada, ticari bir mıknatıs ve demir tozları yardımıyla PECVD yöntemi kullanılarak tamamen kuru desenli yüzeyler üretmiştir. Hidrofobik ve hidrofilik bölgelerin kombinasyonunun sis toplama performansını iyileştirdiğini bildirmiştir.

Shi ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada, kontrollü laboratuvar koşulları altında, üç farklı tel çapına sahip dikey telden oluşan sis toplayıcıları tasarlayıp, üretmiş ve eşdeğer boyutlardaki geleneksel ağlarla karşılaştırmışlardır. Ağ yapıları için, orta büyüklükteki tellerden en yüksek sis toplama veriminin elde edildiğini; ince veya kaba ağların performansında bir düşüş yaşandığını bildirmişlerdir. Bunun nedenini, kaba kafeslerin mikroskobik sis damlacıklarını verimli bir şekilde yakalayamamasına ve ince kafeslerin tıkanma sorununa bağlamışlardır.

Park ve ark. (2013) yüzey ıslanabilirlik özelliklerinin, uzunluk ölçeğinin ve dokuma yoğunluğunun, dokuma ağların sis toplama kabiliyeti üzerindeki etkisini araştırdıkları çalışmalarında, doğal bir sisli ortamı simüle etmek ve geleneksel bir poliolefin ağın sis toplama verimliliğinde beş kat artış gösteren, birleşik bir model geliştirmişlerdir. Yüzeylerin ıslanma özelliklerinin uygun şekilde ayarlanmasının, tel yarıçaplarının azaltılmasının ve tel aralığının optimize edilmesinin daha verimli sis toplama için önemli olduğunu bildirmişlerdir.

Seo ve ark. (2016) yüzey ıslanabilirliğinin sis toplama üzerindeki etkisini deneysel olarak araştırdıkları çalışma sonucunda, sis toplama performansının yüzeyde sis yakalama ve yakalanan sisin yüzeyden uzaklaştırılması ile ilgili olduğunu bildirmişlerdir. Sonuç olarak, sis yakalama verimliliği, sis toplama için önemli bir parametre olduğu için, ıslanabilir yüzeylerin, ıslanmayan yüzeylere kıyasla daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir.

Bu çalışmanın temel amacı, sis toplayıcıda kullanılan ağlardan daha yüksek verimliliğe sahip alternatif malzemeler geliştirmektir. Bu kapsamda, geleneksel sis toplama ağlarına göre daha küçük çaplara (μm ölçeğinde) ve boşluklara sahip uygun fiyatlı polipropilen (PP) kumaş sis toplama malzemesi olarak seçilmiştir. Uygun maliyetinin yanı sıra dayanıklı yapısı nedeniyle gerçek dünyada kullanılabilme potansiyeli, PP kumaşı sis toplayıcıda kullanılan geleneksel ağlara karşı önemli bir alternatif haline getirmektedir. Bu çalışmada, birim alan başına farklı yoğunluğa sahip kumaşlar, diğer bir deyişle farklı ağırlıklara sahip kumaşlar kullanılmıştır. Literatür araştırmalarından hem hidrofilik hem de hidrofobikliğin sis toplama üzerine ayrı etkileri

olduğu göz önüne alındığından, bu çalışmada PP kumaşların sis toplama verimini artırabilmek için, PP kumaşları hidrofilik ve hidrofobik polimerik ince filmler ile modifiye edilmiştir. Kuru polimer üretim yöntemlerinin daha önceki bölümde bahsedilen avantajları nedeniyle, hidrofilik poliakrilik asit (PAA) ve hidrofobik polihekzaflorobutil akrilat (PHFBA) ince filmlerin kumaş yüzeylerine kaplanması için kuru bir proses olan PECVD yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca, yüzey pürüzlüğünün yüzey ıslanabilirliği ve sis toplama üzerindeki etkilerinden dolayı, modifiye edilmiş silika partikülleri kullanılarak kumaş yüzeyleri pürüzlendirilmiştir. Tez kapsamında, hidrofilik ve hidrofobik polimerik filmlerle kaplı çeşitli ıslanabilirlik özelliklerine sahip kumaşların sis toplama potansiyeli araştırılmıştır.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Sis toplama malzemesi olarak üç farklı ağırlıkta %100 PP spunbond non-woven kumaş (Rota Teknik Tekstil, Türkiye) kullanılmıştır. 12 g, 50 g ve 100 g kumaşlar sırasıyla hafif, orta ve ağır olarak isimlendirildi. Silikon tabaka (100, p-tipi) da karakterizasyon amacıyla alttaş olarak kullanılmıştır. Modifiye silika partiküllerinin sentezi için tetraetil orto silikat (TEOS, %98, Merck Millipore) ve tridekaflorooktil trietoksisilan (FAS, %99, Sigma Aldrich) kullanılmıştır. Akrilik asit (AA) (%98, Sigma-Aldrich) ve hekzaflorobutil akrilat (HFBA) (%95, Sigma-Aldrich) monomerleri herhangi bir ek saflaştırma ve modifikasyon işlemi yapılmadan alındığı gibi polimerizasyon için kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Modifiye silika partikül sentezi

Hidrofobik silika partikülleri modifiye Stöber yöntemine göre sentezlenmiştir (Stöber ve ark., 1968; Wang ve ark., 2008). 1,5 mL TEOS, 0,15 mL FAS, 3 mL %25 NH₄OH ve 50 mL Metanol oda sıcaklığında karıştırılmıştır. Daha sonra çözelti, hızı 200 rpm'ye ayarlanmış bir manyetik karıştırıcı kullanılarak 25°C'de 12 saat boyunca karıştırılmıştır. Elde edilen çözelti airbrush (MagicBrush Airbrush AB-119A) kabına eklenmiştir. Yaklaşık 2 bar basınçta bir hava kompresörüne bağlı 0,3 mm nozul boyutuna sahip airbrush kullanılarak alttaşlar üzerine 20 cm mesafeden püskürtülmüştür.

3.2.2. Polimerik ince film PECVD

Alttaşları kaplamak için kullanılan PECVD sisteminin şematik çizimi Şekil 3.1. a'da verilmiştir. İşlem görmemiş kumaşlar ve silika partikül kaplı kumaşların yanı sıra karakterizasyon amaçlı silikon tabakalar, arka tarafında ısı değiştirici bulunan PECVD reaktörünün tabanına yerleştirilmiştir. Substrat sıcaklığı, ısı değiştiriciye bağlı bir devridaim soğutucu ile ayarlanmıştır. Hidrofilik ve hidrofobik filmler için sırasıyla AA

ve HFBA monomerleri kullanılmıştır. Silindirik paslanmaz çelik kaplara yerleştirilen monomerlerin buharları oda sıcaklığında reaktöre beslenmiştir. Monomerlerin akışı ve akış hızı hat üzerindeki açma/kapama ve iğneli vanalar ile kontrol edilmiştir. Reaktör içindeki vakum, bir vakum pompası ile oluşturulmuştur. Reaktör içindeki basınç kapasitans tipi bir basınç ölçer kullanılarak ölçülmüştür. Vakum pompası ile reaktör arasına yerleştirilen PID kontrollü kelebek vana yardımı ile basınç istenilen değerlerde tutulmuştur. Reaktör içindeki plazma, reaktörün üstündeki bakır bir antene bağlı 13,56 MHz frekanslı bir RF plazma güç jeneratörü kullanılarak üretilmiştir. Plazmanın geri yansımaları önlemek ve kararlı plazma ışıması sağlamak için plazma güç jeneratörü ile bakır anten arasına bir eşleştirme ünitesi yerleştirilmiştir. Reaktör kapağı camdan yapılmıştır. Bu sayede deneyler sırasında film kalınlıkları lazer ve dedektörden oluşan bir interferometre sistemi ile anlık olarak ölçülmüştür. Çizelge 3.1., ölçülen kaplama hızları ile her iki ince filmin polimerizasyonu sırasında uygulanan reaktör basıncı, plazma gücü ve altta sıcaklığı gibi ana PECVD parametrelerini özetlemektedir.

Çizelge 3.1. Çalışılan PECVD parametreleri

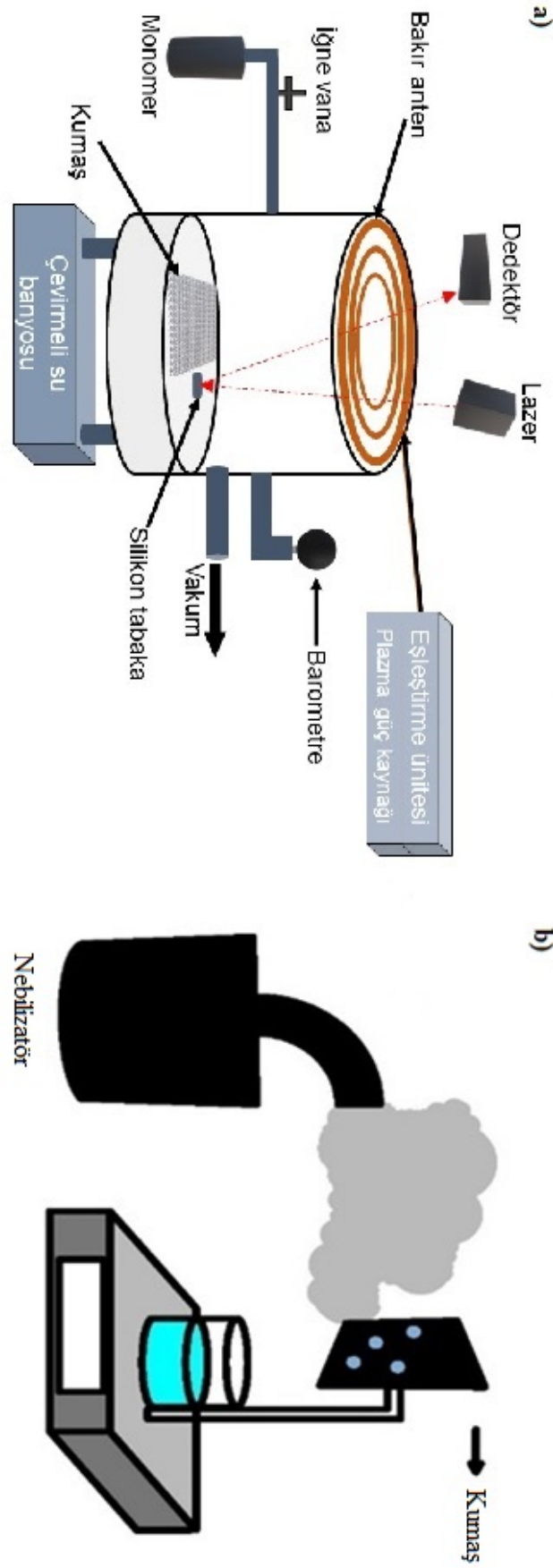
Polimerler	Reaktör basıncı (mtorr)	Plazma gücü (W)	Altta sıcaklığı (°C)
PAA	80	35	15
PHFBA	60	25	25

3.2.3. Karakterizasyonlar

FTIR (Thermo Scientific) analizi, monomerlerin ve polimerlerin kimyasal yapılarını açığa çıkarmak için 4 cm^{-1} çözünürlükte transmisyon modunda uygulanmıştır. Kaplanmış ve kaplanmamış silikon tabakaların ve kumaşların temas açıları, pH değeri 7'ye yakın olan saf su kullanılarak oda sıcaklığında gonyometre tipli bir temas açısı cihazı (Kruss Easy Drop) ile ölçülmüştür. AFM (NT-MDT) analizi, kaplanmamış ve kaplanmış silikon tabakaların yüzey topografilerini ve pürüzlülük değerlerini ortaya çıkarmak için $10 \times 10\text{ }\mu\text{m}^2$ tarama alanında yarı temas modunda uygulanmıştır. Optik mikroskop (iSCOPE, euromex) kaplanmamış ve kaplanmış kumaşların morfolojilerini incelemek için kullanılmıştır. Silika partiküllerini kimyasal yapıları enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (Bruker 123 eV EDX sensörü) ile kullanılan taramalı elektron mikroskobu (SEM) (Zeiss LS-10) yardımıyla açığa çıkarılmıştır. Kumaşların sis toplama kapasitesi, bir nebulizatör (Pulsemex, Model: GL-2205) tarafından üretilen

yapay sise maruz bırakılarak test edilmiştir. Kumaşlar bir terazi üzerine yerleştirilmiş beher içine monte edilmiştir. Nebulizatörden 300 ml/saat hızla çıkan ortalama 0,5-6,0 µm çapındaki sis damlacıkları, nebulizatörün çıkışında fan bulunan bir boru aracılığıyla numunelere yönlendirilmiştir. Numuneler ile nemlendirici nozul arasındaki mesafe 12 cm olarak ayarlanmıştır. Kumaşlar üzerindeki kaplamaların dayanıklılığı ıslatma testi kullanılarak araştırılmıştır. Bu kapsamda, kumaşlar, oda sıcaklığında 24 saat ile 72 saat arasında değişen beş farklı süre boyunca suda bekletildi. Daha sonra kumaşlar oda sıcaklığında kurumaya bırakılmış ve sis toplama performansları test edilmiştir. Sis toplama düzeneğine ait şematik çizim Şekil 3.1. b’de gösterilmiştir.



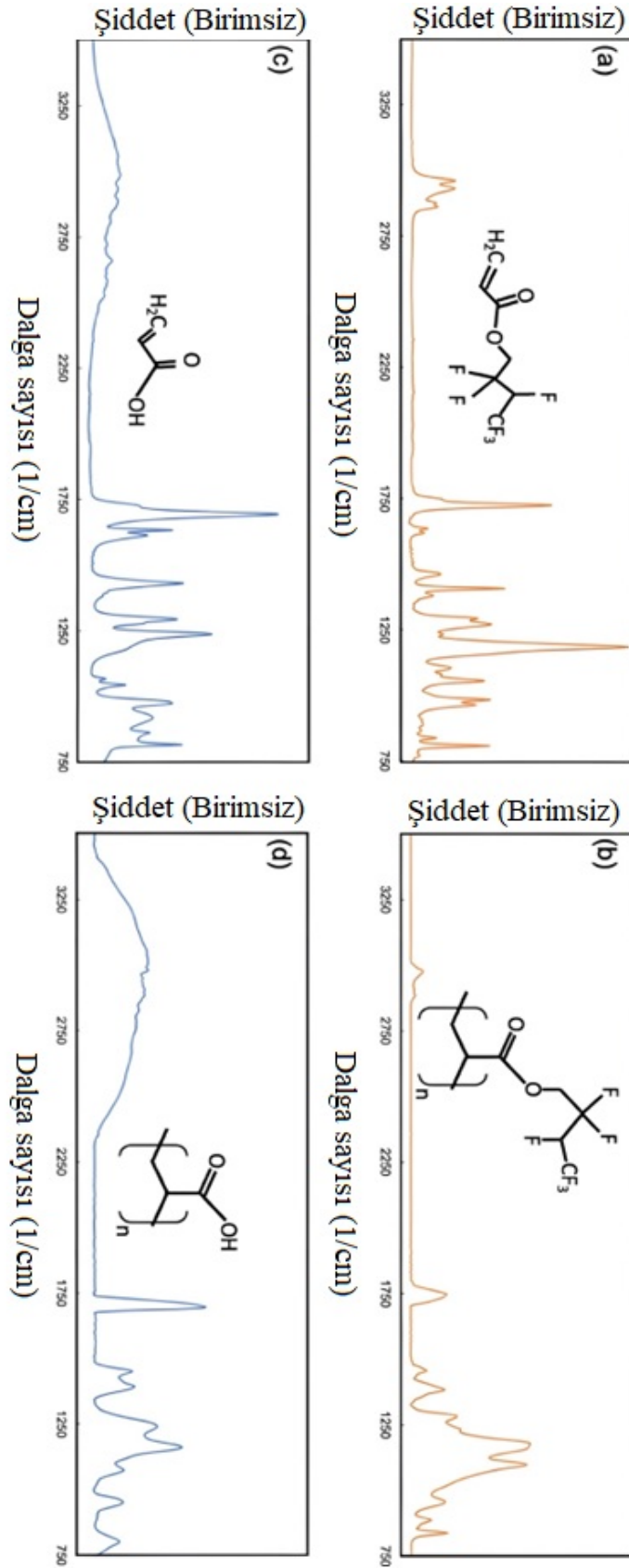


Şekil 3.1. (a) PECVD ve (b) sis toplama düzeneğinin şematik çizimi (ölçeklendirilmemiştir)

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Kaplamaların Kimyasal ve Morfolojik Yapıları

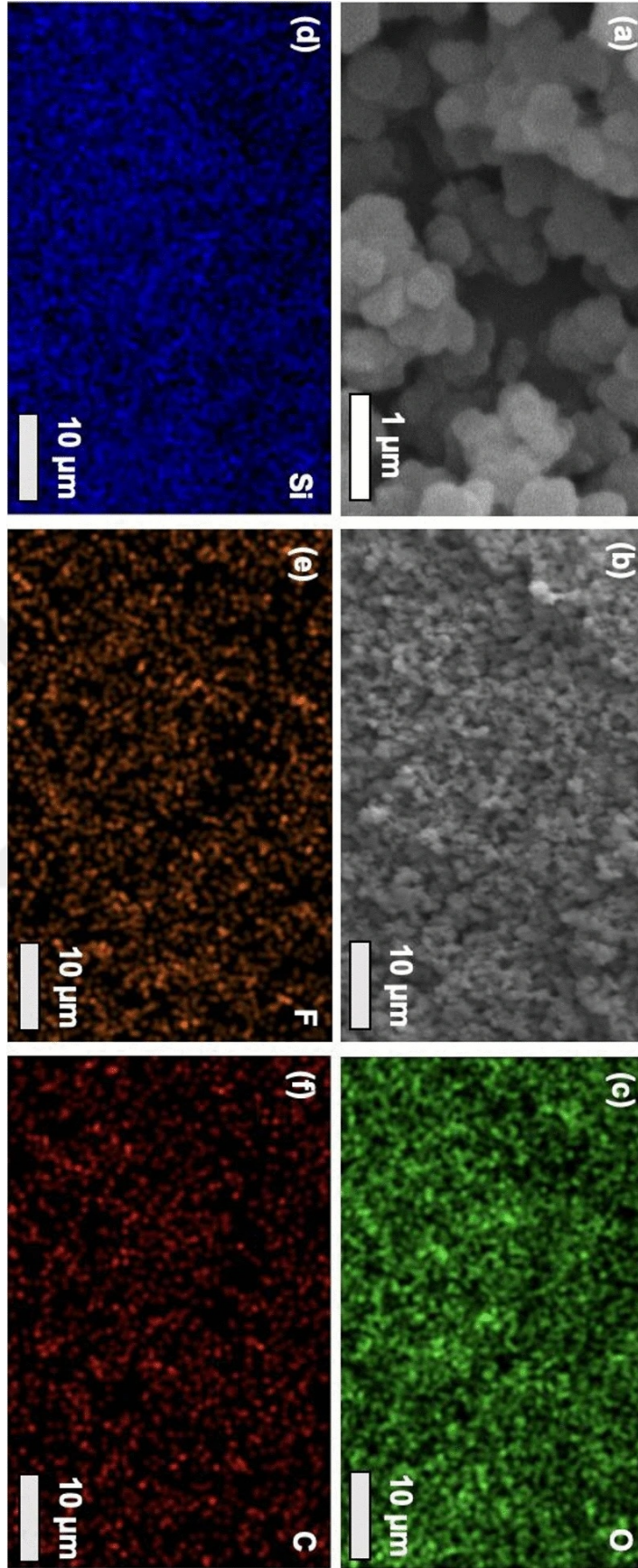
Farklı ağırlıklara sahip üç kumaş 5 farklı şekilde modifiye edilmiştir: Hidrofilik polimerik ince film ile kaplanmış, hidrofobik polimerik ince film ile kaplanmış, modifiye silika partikülleri ile pürüzlendirilmiş, pürüzlendirme sonrası hidrofilik film ile kaplanmış ve pürüzlendirme sonrası hidrofobik film ile kaplanmıştır. Numuneler sırasıyla Hpl, Hpo, Pürüzlü, Pürüzlü Hpl ve Pürüzlü Hpo olarak adlandırılmıştır. Ayrıca, kaplanmamış kumaş da referans numune olarak kullanılmış ve kaplanmamış olarak adlandırılmıştır. PAA ve PHFBA ince filmlerinin kaplama hızları sırasıyla 30 ve 25 nm/dakika olarak ölçülmüştür. Monomerlerin ve ilgili monomerlerden sentezlenen polimerlerin FTIR spektrumları Şekil 4.1.'de gösterilmektedir. Her bir kimyasalın kimyasal yapısı ilgili spektrumlarda gösterilmiştir. Tüm spektrumlar normalize edilmiş ve taban çizgisine göre düzeltilmiştir. Her iki polimer de sentezlendikleri monomerlerle ortak karakteristik piklere sahiptir. Bu arada, her iki polimerin spektrumlarında spektral genişleme ve pik yoğunluğunun gözlemlendiği belirtilmelidir. Bu gözlem şaşırtıcı değildir, çünkü PECVD polimerizasyonlarında iyon, elektron, nötr bombardımanı ve/veya rastgele radikal gruplarının rekombinasyonundan kaynaklanabilecek belli derecede fonksiyonel grup kayıpları ve yapısal bozunmalar genellikle kaçınılmazdır (Badyal, 2001; Truica-Marasescu ve ark., 2004; Vasudev ve ark., 2013; Rupper ve ark., 2017; Gürsoy, 2020a). Bununla birlikte, monomerlerde bulunan tipik fonksiyonel grupların önemli bir kısmı sentezlenen polimer yapılarında gözlemlenmiştir. Bu gözlem PECVD polimerizasyonu sırasında monomer yapısının yüksek oranda korunduğunu göstermektedir.



Şekil 4.1. FTIR spektrumları (a) monomer HFBA, (b) PHFBA, (c) monomer AA ve (d) PAA'nın kimyasal yapıların şematik çizimleri ilgili spektrumlarda gösterilmiştir.

Hem PHFBA hem de HFBA monomerinin FTIR spektrumlarında gözlemlenen ana pikler şu şekildedir: 3000-2800 cm^{-1} (C-H gerilmesi), yaklaşık 1740 cm^{-1} (C=O gerilmesi), yaklaşık 1452 cm^{-1} (CH_2 bükülmesi), yaklaşık 1398 cm^{-1} (CF_3 gerilmesi), yaklaşık 1292 cm^{-1} (CF_2 titreşimi), yaklaşık 1110 cm^{-1} (CFH- CF_3) ve yaklaşık 964 cm^{-1} (CF titreşimi) (Lin-Vien ve ark., 1991; Zhang ve ark., 2013; Gürsoy ve Karaman, 2016). Hem PAA hem de AA monomerinin FTIR spektrumlarında gözlemlenen ana pikler şu şekildedir: 3450-2350 cm^{-1} (COOH fonksiyonel grubu), 1703 cm^{-1} civarında (C=O gerilmesi), 1500-1350 cm^{-1} civarında (C-H bükülmesi) ve 1300-1100 cm^{-1} civarında (C-O gerilmesi) (Lin-Vien ve ark., 1991; Gonzaga ve ark., 2018; Yılmaz ve ark., 2021). Yapılan FTIR analizleri ile ilgili önemli bir diğer nokta da polimerlerden farklı olarak her iki monomerin spektrumlarında 1632 cm^{-1} civarında C=C bağlarının gözlemlenmiş olunmasıdır. Her iki polimerde de C=C çift bağının bulunmaması, üretilen polimerlerde herhangi bir monomer olmadığını ve polimerizasyonun monomerlerde yer alan doymamış C=C çift bağları üzerinden ilerlediğini işaret etmektedir.

Bu çalışmada, modifiye silika partiküllerinin sentezlenmesinin temel amacı, yüzey pürüzlülüğünün sis toplama performansı üzerindeki etkilerini araştırmaktır. Üretilen partiküllerin SEM görüntüleri ve SEM/EDX analizleri Şekil 4.2.'de gösterilmektedir. Beklendiği gibi, EDX analizi ile partiküllerde O, Si, F ve C elementleri tespit edilmiştir. Kumaş modifikasyonlarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini araştırmak için, silikon tabakalar da kumaşlarla aynı koşullar altında modifiye edilmiştir.

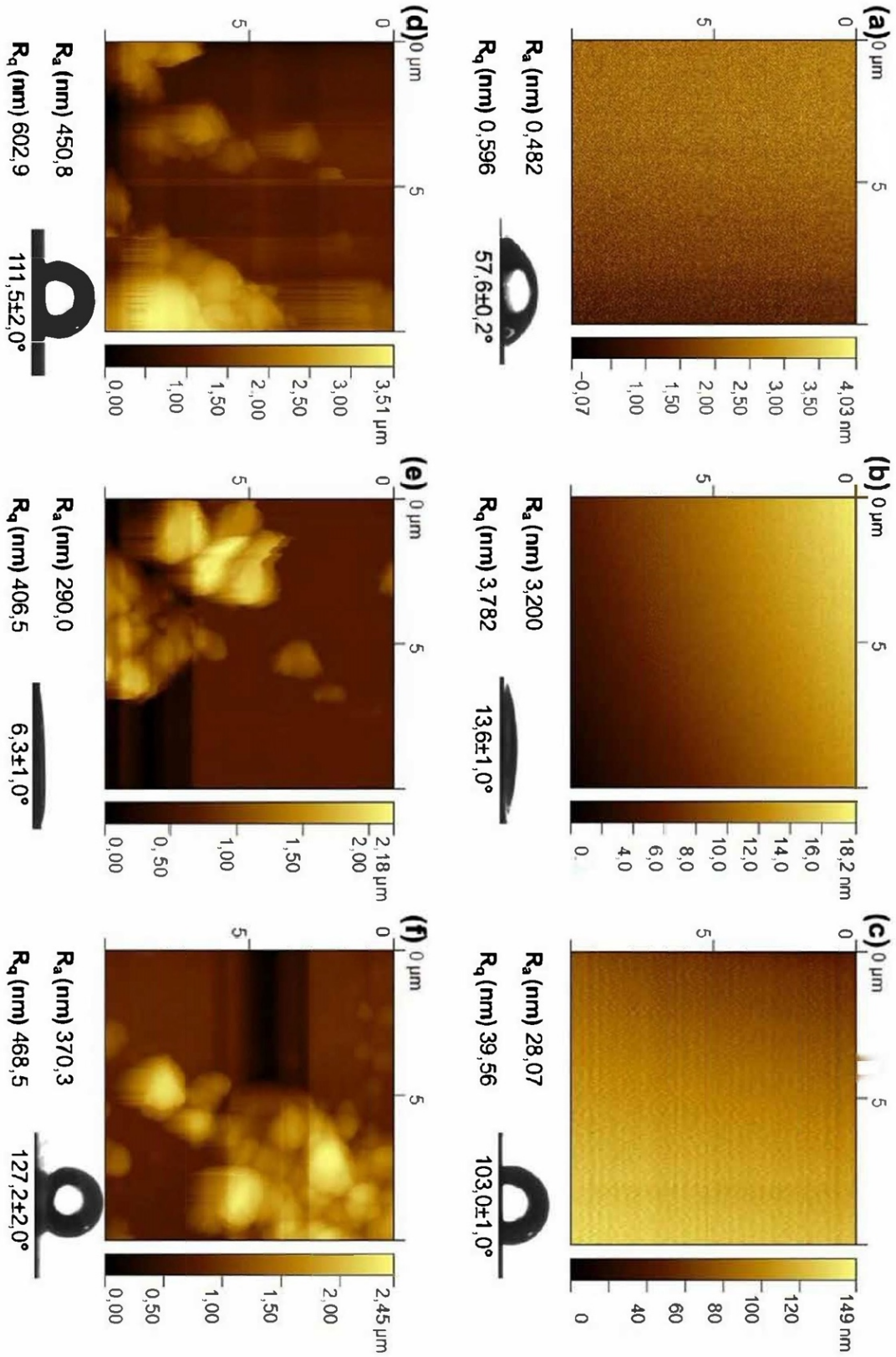


Şekil 4.2. (a) Modifiye edilmiş silika partiküllerinin yüksek büyütme ve (b) düşük büyütme SEM görüntüsü, (c-f) ilgili elementlere ait EDX element haritalamalı SEM görüntüleri

Silikon tabakaların AFM analizi ve temas açısı ölçümleri yapılmıştır. Bu numunelerin temas açısı ve AFM görüntüleri ile ortalama pürüzlülük (R_a) ve kök ortalama kare (R_q) değerleri Şekil 4.3.'de sunulmuştur.

AFM sonuçlarına göre bu çalışmada üretilen polimerik filmlerin düşük pürüzlülük değerlerine sahip olduğu söylenebilir. CVD yöntemi ile pürüzsüz polimerik ince filmlerin sentezlendiği bilinmektedir (Abessolo Ondo ve ark., 2019; Zhao ve ark., 2023). Beklendiği gibi, silika partikül kaplaması ile pürüzlülük değerlerinde dramatik bir artış gözlemlenmiştir. Silika partikülleri ile kaplanan yüzeyler polimerik ince film ile kaplandıkça pürüzlülük değerlerinde hafif bir düşüş gözlenmiştir. Bu durumun sebebi, kaplanan ince filmlerle mikro ve nano ölçekteki boşlukların hacminin ve derinliğinin azalmış olması olabilir.





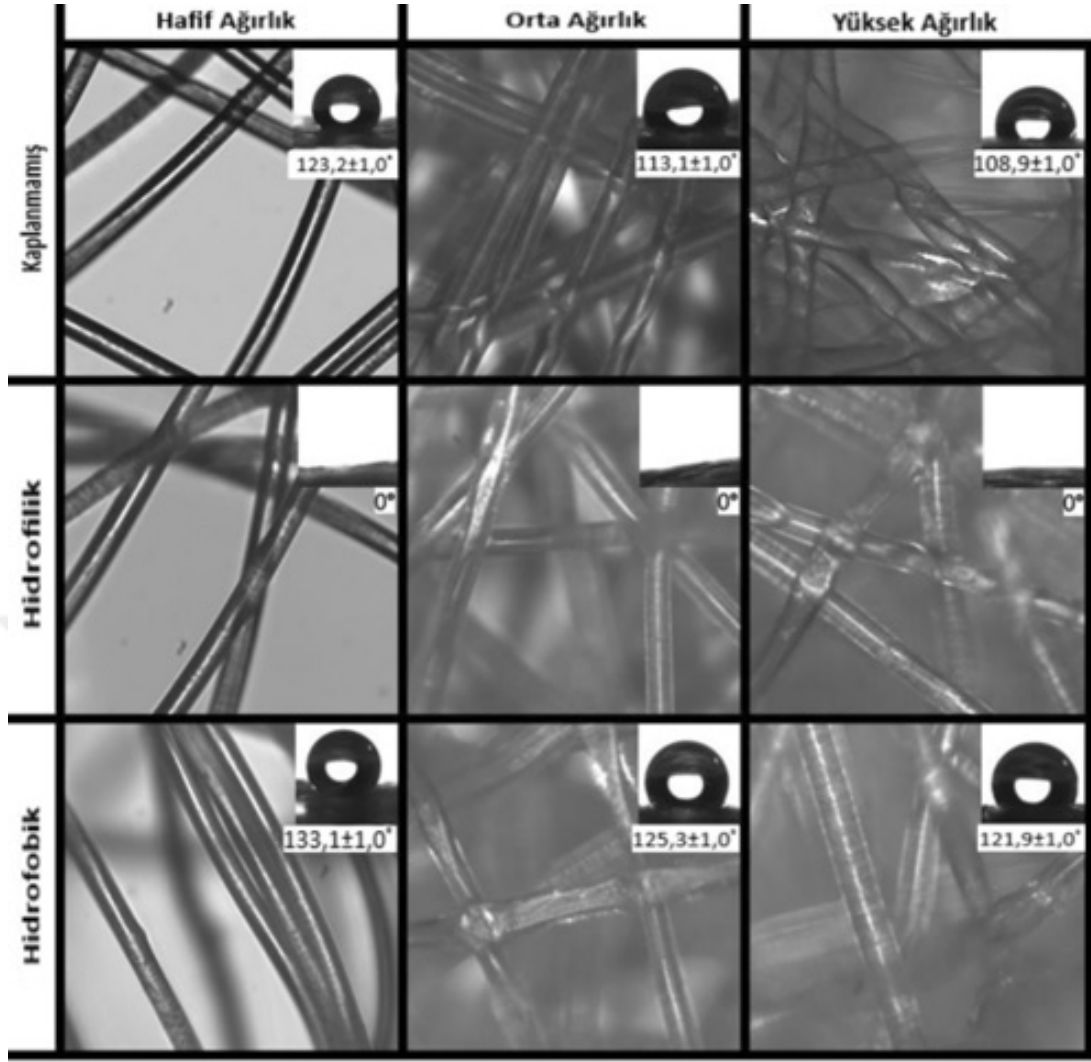
Şekil 4.3. (a) Kaplanmamış, (b) Hpl, (c) Hpo, (d) Pürüzlü, (e) Pürüzlü Hpl ve (f) Pürüzlü Hpo silikon tabakaların AFM ve temas açısı görüntüleri

Kaplanmamış silikon tabakanın temas açısı $57,6^\circ$ olarak bulunmuştur. Silikon tabaka hidrofilik polimerik ince film ile kaplandığında temas açısı değeri $13,6^\circ$ 'ye düşmüş, hidrofobik polimerik ince film ile kaplandığında ise $103,0^\circ$ 'ye yükselmiştir. Modifiye silika partikülleri ile kaplanmış silikon tabaka partikül yapısındaki florun etkisiyle hidrofobik karakter sergilemiş ve temas açısı $111,5^\circ$ olarak ölçülmüştür. Silika partikülü üzerine hidrofilik kaplama uygulandığında, elde edilen yüzey düz bir yüzey üzerine yapılan hidrofilik kaplamaya göre daha hidrofilik bulunmuştur. Temas açısı pürüzlülüğün etkisiyle $13,6^\circ$ 'den $6,3^\circ$ 'ye düşmüştür. Buna karşın, hidrofobik film ile kaplanmış pürüzlü yüzey, hidrofobik film ile kaplanmış pürüzsüz yüzeyden daha hidrofobik bulunmuştur. Temas açısı pürüzlülükle birlikte $103,0^\circ$ 'den $127,2^\circ$ 'ye yükselmiştir. Yüzeylerin ıslanabilirliklerinde, sadece kimyasal özelliklerin değil, aynı zamanda yüzey pürüzlülüğü de önemli bir rol oynadığı bilinmektedir (Rezaei ve ark., 2014; Fernández ve ark., 2017; Iqbal ve ark., 2019). Bu çalışmada gözlemlenen yüzey pürüzlülüğü ve ıslanabilirlik arasındaki ilişki, literatürde Wenzel etkisi olarak bilinen model ile uyumludur (Wenzel, 1949). Wenzel etkisi denklem 4.1 ile formüle edilebilir.

$$\cos\theta=R_f \cos\theta_0 \quad (4.1)$$

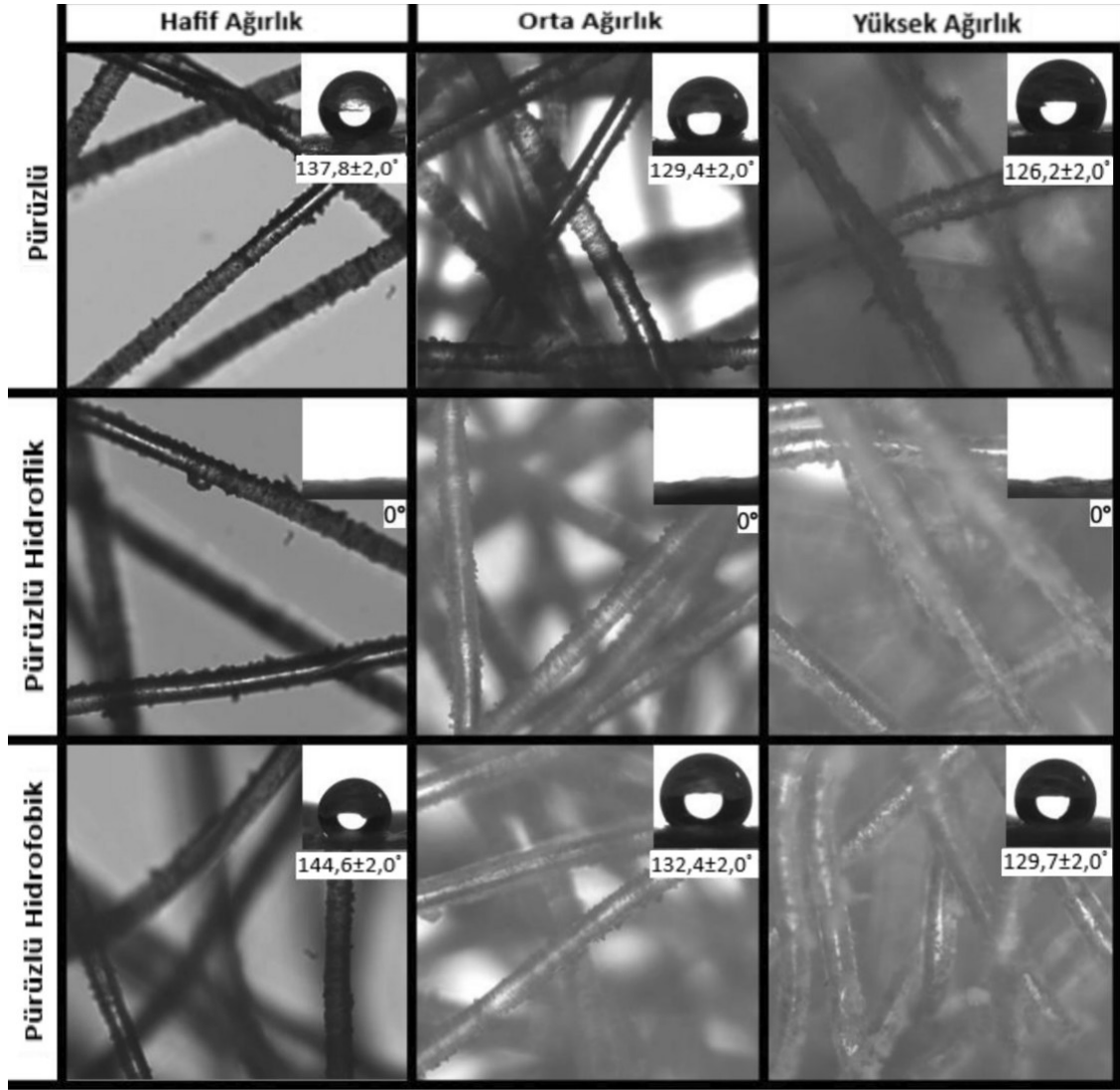
Burada, θ ve θ_0 sırasıyla pürüzlü ve pürüzsüz yüzeyin temas açısıdır. R_f pürüzlülük faktörü olarak adlandırılır ve gerçek yüzey alanının geometrik yüzey alanına bölünmesiyle hesaplanır. Pürüzsüz yüzeyler için R_f değeri 1'e eşit olmalı, pürüzlü yüzeyler için ise 1'den büyük olmalıdır. Hidrofilik yüzeylerin temas açısının 90° 'dan küçük ve hidrofobik yüzeylerin temas açısının 90° 'dan büyük olduğu dikkate alındığında, Wenzel denklemine göre, yüzey pürüzlülüğü arttıkça, hidrofilik yüzeyler daha hidrofilik; benzer şekilde hidrofobik yüzeyler daha hidrofobik hale gelmelidir.

Bir gaz fazı kaplama yöntemi olarak PECVD'nin en önemli avantajlarından biri, alttaş geometrisinden bağımsız olarak konformal ve homojen kaplamalara olanak sağlamasıdır (Hegemann ve ark., 2001; Gürsoy, 2021b; Ma ve ark., 2022). Bu özellik, yüzey yapıları korunurken gözenekli ve pürüzlü alt tabakaların kaplanmasına izin verir. Polimerik ince filmlerle kaplanmış kumaşların, kaplanmamış kumaşlara kıyasla 200 kat büyütmedeki optik görüntüleri Şekil 4.4.'te gösterilmektedir. Açıkça görüldüğü gibi, kumaşların gözenekli yapısı polimerik kaplamalardan sonra iyi bir şekilde korunmuştur.



Şekil 4.4. Düz kumaş numunelerinin (kaplanmamış, Hpl ve Hpo) optik görüntüleri (200 x büyütme)

Şekil 4.5.'te sadece silika partikülleri ile kaplanmış kumaşların ve polimerik ince filmlerle kaplanmış silika partiküllü kumaşların 200 kat büyütme optik görüntüleri gösterilmektedir. Şekilden görüleceği üzere polimerik kaplamalar sonrasında kumaşların pürüzlü yapısının yanı sıra gözenekli yapısının da korunduğu görülmektedir. Şekil 4.3.'teki AFM sonuçlarına göre nano seviyedeki pürüzlülük değerlerinde küçük bir azalma olsa da pürüzlülüğün genel olarak korunduğu optik görüntülerle de doğrulanmaktadır.



Şekil 4.5. Pürüzlü kumaş numunelerinin (Pürüzlü, Pürüzlü Hpl ve Pürüzlü Hpo) optik görüntüleri (200 x büyütme)

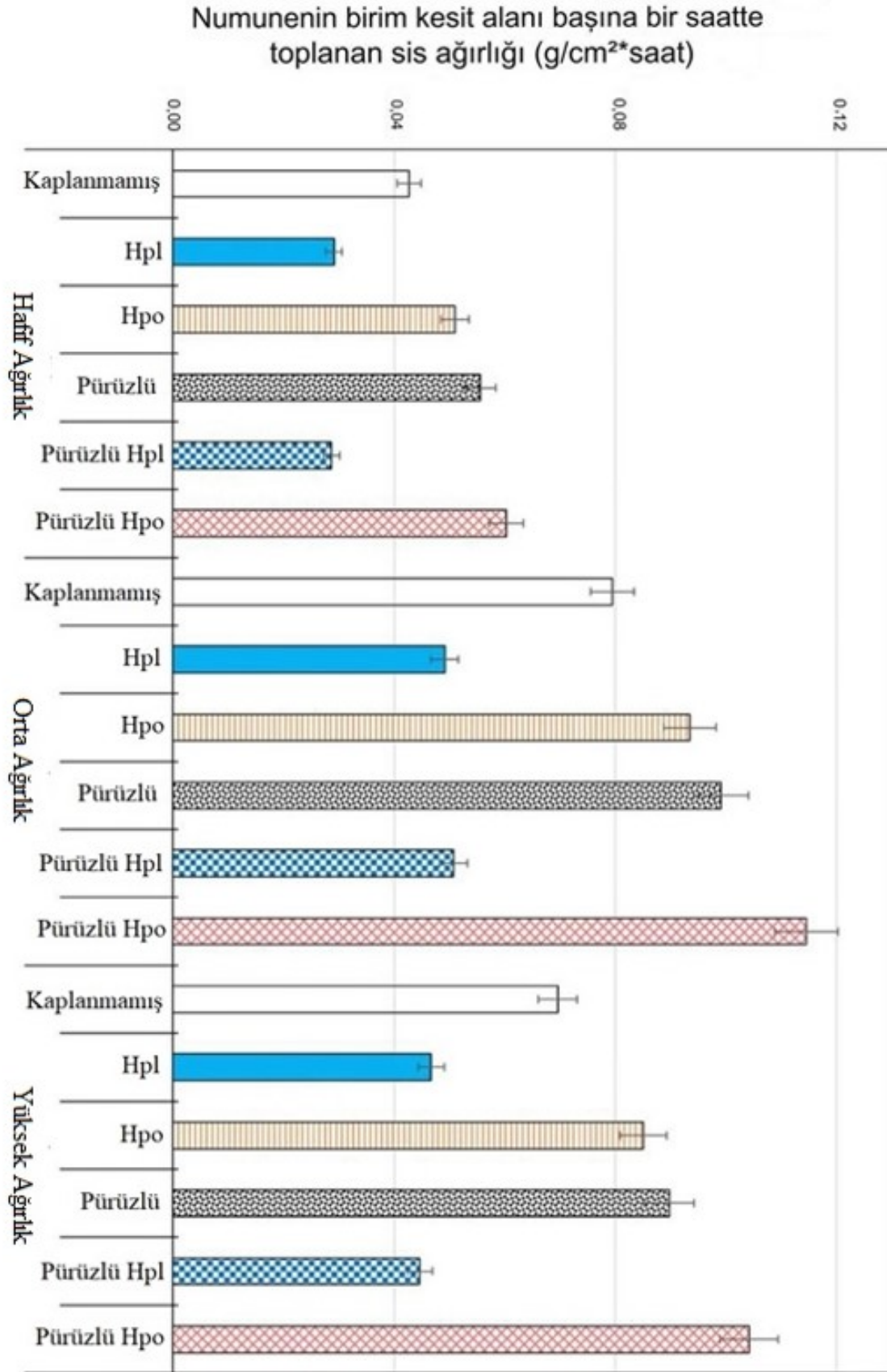
Şekil 4.4. ve 4.5.'te her bir film örneğinin optik görüntüleri üzerinde su ile temas açısı değerleri de verilmiştir. Silikon tabakaların temas açısı ölçümlerinde gözlemlenen aynı eğilim (sıralama) kumaşlarda da gözlemlenmiştir. Silikon tabakalarla karşılaştırıldığında, aynı koşullar altında modifiye edilen kumaşlardan hidrofilik olanların daha hidrofilik; hidrofobik olanların ise daha hidrofobik olduğu tespit edilmiştir.

Kumaşların pürüzlü yapısı göz önüne alındığında, bu durum daha önce bahsedilen Wenzel etkisine bağlanabilir. Aynı koşullar altında üretilen hidrofobik numunelerin temas açısı sonuçlarında göze çarpan bir diğer nokta ise, kumaş ağırlığı arttıkça temas açısı değerlerinin bir miktar azalmasıdır. Kumaş ağırlığı azaldıkça birim alana düşen fiber miktarı da azalmaktadır. Fiberler arasındaki boşluklu yapılar

literatürde Cassie-Baxter etkisi olarak bilinen etkiye göre hidrofobikliği arttırmış olabilir (Cassie ve Baxter, 1944; Gürsoy ve ark., 2017a).

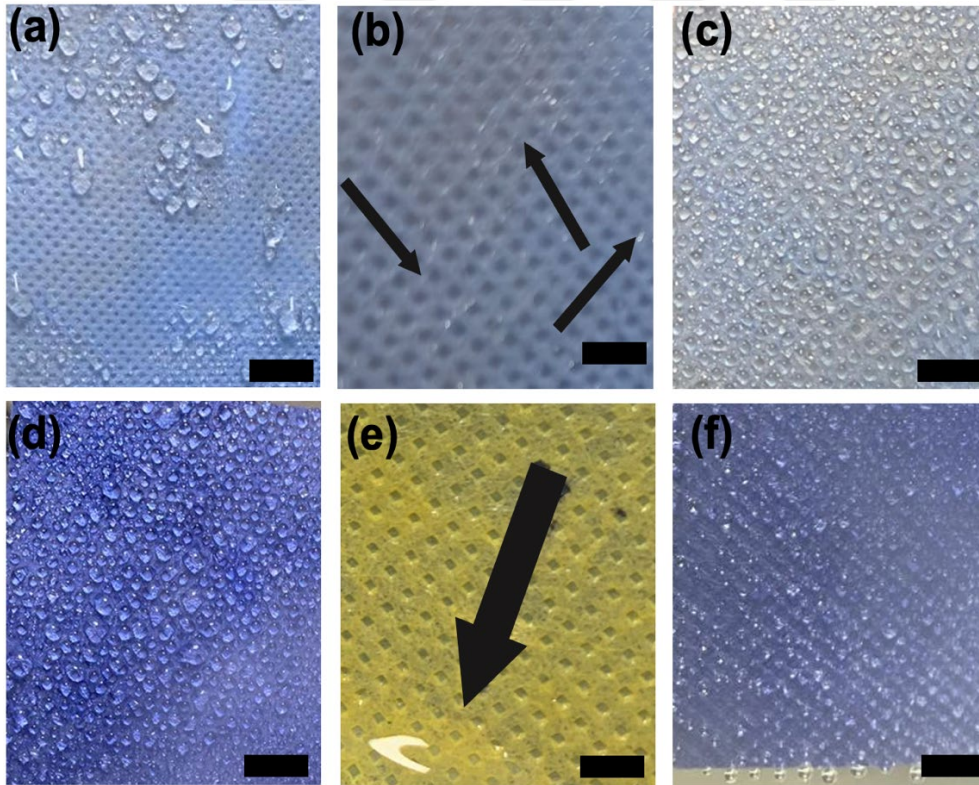
4.2. Sis Toplama Performansı

Sis toplama verileri malzemelerin birim yüzey alanına göre hesaplanmış ve Şekil 4.6.'da gösterilmiştir. Grafiğe bakıldığında, sonuçlarla ilgili en çarpıcı noktalardan biri, sis toplama değerleri ile her bir kumaş türü içindeki hidrofobik malzemelerin temas açıları arasındaki doğru orantıdır. Numunelerin toplanan sis ağırlığı büyükten küçüğe doğru aşağıdaki gibi sıralanmıştır: Pürüzlü Hpo, Pürüzlü, Hpo ve Kaplanmamış. Sonuçlara göre, hidrofilik malzemeler tüm hidrofobik malzemelerden daha az sis toplamıştır. Hpl ve Pürüzlü Hpl deneysel hatalar dahilinde birbirine çok yakın sis toplama performansı sergilemiştir. Sis hidrofilik malzemelerin yüzeyi ile temas ettiğinde, polimerik ince film yapısındaki hidroksil grubu ile su arasında hidrojen bağı oluşması beklenmektedir (Ozden ve ark., 2014). Bu etkileşim ile suyun yüzeye adsorpsiyonu gerçekleşmektedir. Suyun polar gruplarla güçlü etkileşimi sonucu su yüzeyde yayılır ve birikir. Hidrofilik yüzeyler suyu güçlü bir şekilde adsorbe etmesine rağmen, sis toplama verimliliğinin düşük olmasının nedeni, hidrojen bağı nedeniyle yüzeyden ayrılamayan su damlacıklarının yeniden buharlaşması olabilir (Bai ve ark., 2014).



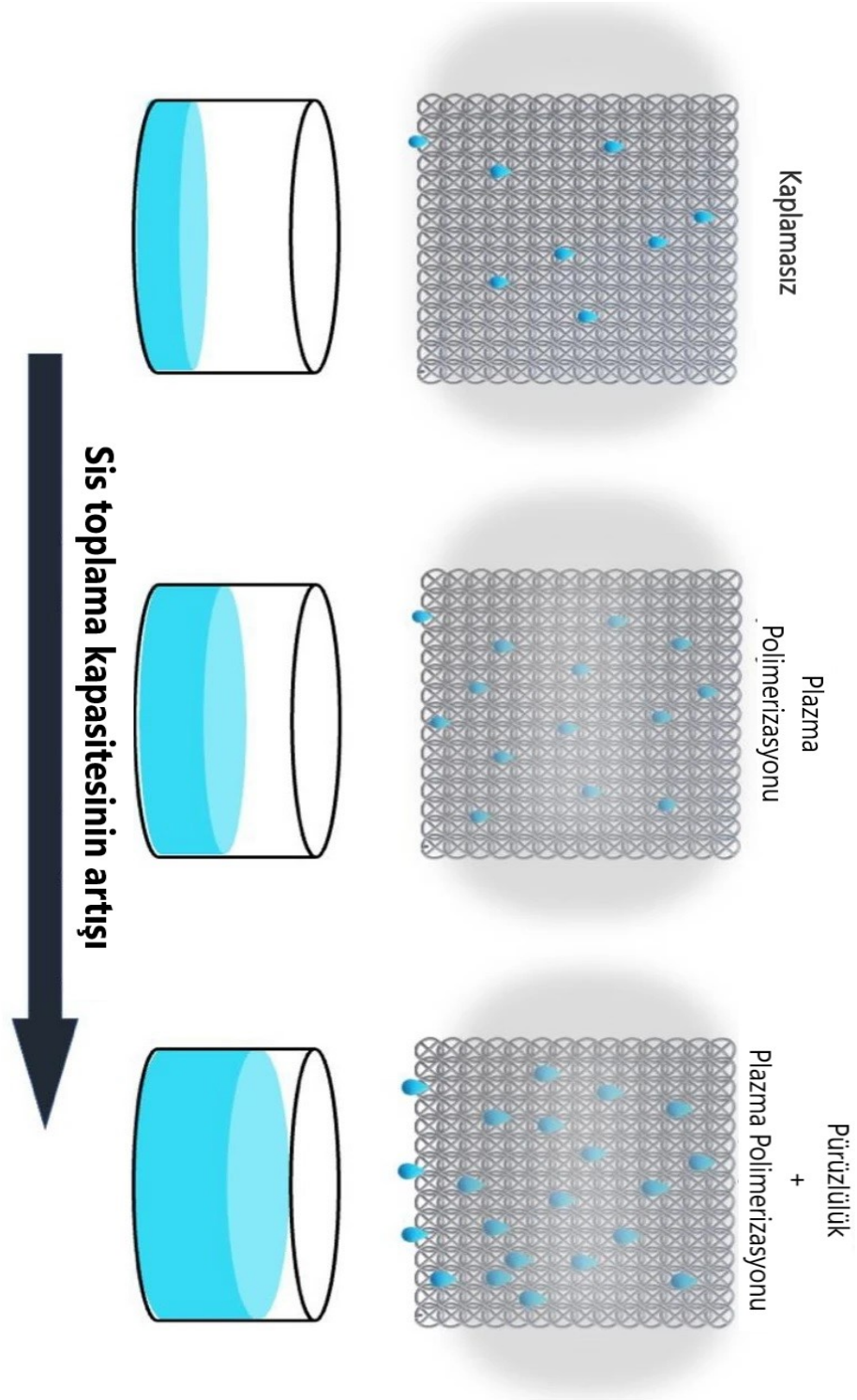
Şekil 4.6. Bir saat içinde numunenin birim kesit alanı başına toplanan sis ağırlığı (g cm⁻² h⁻¹)

Hidrofobik yüzeylerin yüksek sis toplama performansı, yüzeylerinin yeniden buharlaşma oranını azaltmasına ve suyun yüzeyden ayrılmasını kolaylaştırmasına bağlanabilir (Cao ve ark., 2015). Sis damlaları hidrofobik yüzeye temas ettiğinde, termodinamik olarak yüzeye temas alanlarını en aza indirme eğilimindedirler (Zhou ve ark., 2010). Damlalar ve hidrofobik yüzey arasındaki çekimin azalması sonucunda, damlalar küre şeklini alır ve yüzeyden kolayca ayrılır. Bu gözlem literatürle uyumludur (Gürsoy, 2020b). Hidrofilik yüzey ile su damlacığı arasındaki kuvvet, su damlacığı belli bir ağırlığa ulaşana kadar yer çekiminden büyük olduğundan; su damlacığının numunelerin altındaki behere akmak yerine; hidrofobik yüzeye kıyasla hidrofilik yüzeyde daha fazla zaman harcıyor olabilir. Yüzeye gelen sis akışı, halihazırda orada bulunan su damlacıklarının bir kısmını sürükleyebilir ve bunların behere akmadan yüzeyden uzaklaşmasına neden olabilir. Şekil 4.7.'de görüldüğü gibi, malzemelerin hidrofobikliği arttıkça, birim alan başına daha fazla küresel sis damlacığı gözlemlenmiştir. Yerçekiminin etkisiyle alttaki behere sis damlacıkları aktıkça, biriken su miktarı zamanla artar ve yeni sis damlacıkları yüzeye çıktıkça süreç tekrarlanır.



Şekil 4.7. Sise maruz kalan (a) kaplanmamış, (b) Hpl, (c) Hpo, (d) Pürüzlü, (e) Pürüzlü Hpl ve (f) Pürüzlü Hpo'nun fotoğrafları (Ölçek çubuğu, 10 mm)

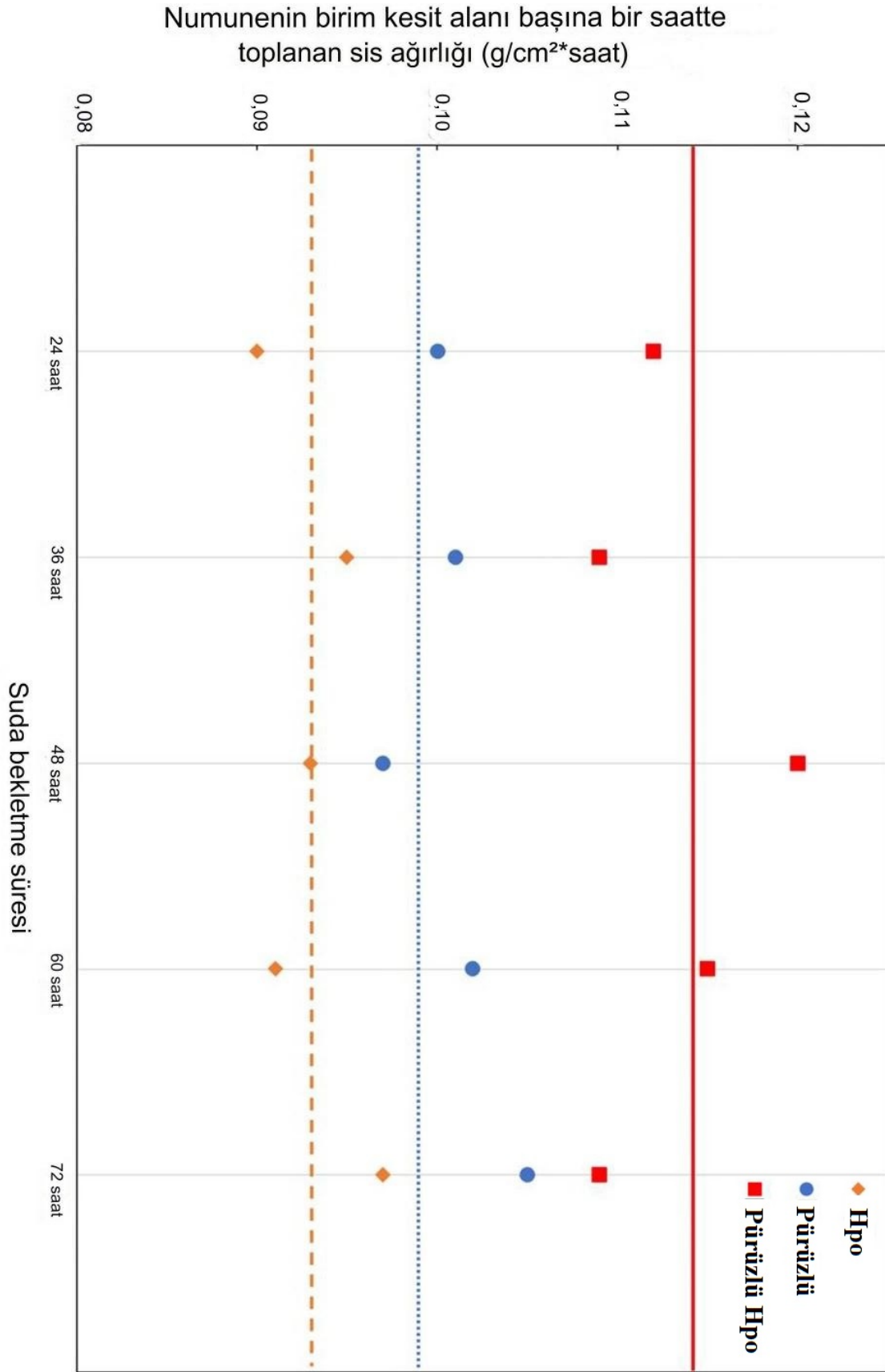
Hidrofobik kaplamaların ve yüzey pürüzlülüğünün sis toplama performansı üzerindeki sinerjik etkisi Şekil 4.8.'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Hidrofobik numunelerin sis toplama performansının şematik gösterimi

Kumaş ağırlığının sis toplama performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Birim alan başına daha yüksek lif yoğunluğuna sahip olan orta ağırlıktaki kumaşların hafif kumaşlardan daha fazla sis toplaması şaşırtıcı değildir. Çünkü daha geniş yüzey alanına sahip olmaları daha fazla sise maruz kalmalarını sağlamış olabilir. Yüksek ağırlıktaki kumaş, hafif ağırlıktaki kumaşa göre daha iyi sis toplama performansı göstermesine rağmen, beklenmedik bir şekilde orta ağırlıktaki kumaştan daha düşük performans göstermiştir. Bunun nedeni, fiberlerin tüm yüzeylerinin sise yeterince maruz kalmasını engellemiş olabilecek miktardaki fiber yoğunluğu olabilir. Sonuçlar, sadece çok az değil aynı zamanda çok fazla fiber yoğunluğunun da sis toplama performansını olumsuz etkilediğini göstermiştir.

Numuneler 12 saat boyunca sürekli sise maruz bırakıldığında sis toplama performansında herhangi bir azalma gözlemlenmedi. Kumaşlar üzerindeki filmlerin dış etkenlere karşı dayanıklılığı, gerçek dünya uygulamalarında kullanımları için oldukça önemlidir. Bu amaçla, hidrofobik kumaşları çeşitli süreler boyunca suda bekletilmiş ve ardından sis toplama performansları incelenmiştir (Şekil 4.9.). Şekil 4.9.' da turuncu çizgi, mavi yuvarlak nokta ve kırmızı düz çizgiler sırasıyla işlem görmemiş Hpo, pürüzlü ve pürüzlü Hpo orta ağırlıklı kumaşların, (Şekil 4.6.'dan) ortalama sis toplama verimleri gösterilmektedir. 72 saate kadar suda bekletilen kumaşların kuruduktan sonraki sis toplama verimlerinin, test öncesindeki ortalama değerlere yakın olduğu görülmüştür. Sonuçlara göre, her üç kaplamanın da suda bekletildikten sonra dayanıklılıklarını korudukları gözlemlenmiştir. Bu çalışmada gözlemlenen PECVD polimerlerinin alttaş üzerindeki dayanıklılığı literatürdeki benzer çalışmalarla tutarlılık göstermektedir (Gürsoy, 2021a). Kaplamaların yüzeyler üzerindeki dayanıklılığı, bu çalışmada modifiye edilen kumaşların gerçek dünyada kullanım potansiyelini göstermektedir.



Şekil 4.9. Suda bekleme süresine bağlı olarak hidrofobik (Hpo, pürüzlü ve pürüzlü Hpo) orta ağırlıktaki kumaşların birim kesit alanı başına bir saatte topladıkları sis miktarı

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) verilerine göre ortalama iklim koşullarında yaşayan bir insanın günde ortalama 2,5 L temiz suya ihtiyacı vardır (Reed ve ark., 2013). Bu çalışmada sis toplama deneylerinde nebulizatör tarafından üretilen sis damlacıklarının boyutu (0,5–6,0 μm) meteorolojik sis boyutları ile benzer boyutlardadır (Schemenauer ve Joe, 1989). Bu çalışmada, en yüksek sis toplama değeri pürüzlü Hpo orta ağırlıklı kumaş için elde edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, pürüzlü Hpo orta ağırlıklı kumaştan 1 m^2 boyutunda üretilip; yaklaşık 9 saat boyunca sise maruz bırakılırsa, 4 kişilik bir ailenin günlük su ihtiyacı karşılanabilir. Burada geleneksel sis toplayıcı sistemlerinin verimliliğinin çoğunlukla 1–10 $\text{L m}^{-2} \text{gün}^{-1}$ aralığında olduğunu belirtmek gerekir (Klemm ve ark., 2012). Bu bilgi ışığında, bu tez kapsamında üretilen malzemelerin sis toplayıcı olarak önemli bir potansiyele sahip olduğu söylenebilir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Üç farklı ağırlıktaki kumaşların her biri beş farklı şekilde modifiye edilmiştir. Bu tez kapsamında elde edilen sonuçlara göre:

- Orta ağırlıktaki kumaşlar, hafif ağırlıktaki ve ağır ağırlıktaki kumaşlara kıyasla daha yüksek sis toplama performansı göstermiştir.
- PECVD yöntemi ile yapılan hidrofobik polimerik ince film kaplaması ve modifiye silika partikülleri tarafından oluşturulan pürüzlülük, kumaşların sis toplama verimliliğini artırmıştır.
- Pürüzlendirilmiş yüzey üzerine yapılan hidrofobik polimerik ince film kaplaması ile üretilen kumaşlar en yüksek sis toplama verimliliğini ($1,14 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) göstermiştir.
- PECVD sisteminin ölçek büyütme potansiyeli göz önüne alındığında, sis toplama için çok daha büyük yüzey alanlarını modifiye etmek mümkündür.
- Ayrıca, burada geliştirilen yüzey modifikasyon teknikleri, mikroakışkanlar, çip üzerinde laboratuvar, sensörler ve tarım gibi ıslanabilirliğin önemli olduğu uygulamalara yönelik malzeme geliştirmek üzere de kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Abdul-Wahab, S. A., Al-Hinai, H., Al-Najar, K. A. ve Al-Kalbani, M. S., 2007, Fog Water Harvesting: Quality of Fog Water Collected for Domestic and Agricultural Use, *Environmental Engineering Science*, 24 (4), 446-456.
- Abdul-Wahab, S. A. ve Lea, V., 2008, Reviewing fog water collection worldwide and in Oman, *International Journal of Environmental Studies*, 65 (3), 487-500.
- Abdullaev, K. M., Agamaliyev, M. M. ve Akhmedova, D. A., 2019, Technology for Combined Desalination of Sea Water, *Journal of Water Chemistry and Technology*, 41 (2), 119-124.
- Abessolo Ondo, D., Loyer, F., Werner, F., Leturcq, R., Dale, P. J. ve Boscher, N. D., 2019, Atmospheric-Pressure Synthesis of Atomically Smooth, Conformal, and Ultrathin Low-k Polymer Insulating Layers by Plasma-Initiated Chemical Vapor Deposition, *ACS Applied Polymer Materials*, 1 (12), 3304-3312.
- Abualhamayel, H. I. ve Gandhidasan, P., 2010, Design and testing of large fog collectors for water harvesting in Asir region, Kingdom of Saudi Arabia, *Proceedings of the 5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew*.
- Aegerter, M. A. ve Mennig, M., 2013, Sol-gel technologies for glass producers and users, *Springer Science & Business Media*, New York.
- Al-hassan, G. A., 2009, Fog Water Collection Evaluation in Asir Region–Saudi Arabia, *Water Resources Management*, 23 (13), 2805-2813.
- Alf, M. E., Asatekin, A., Barr, M. C., Baxamusa, S. H., Chelawat, H., Ozaydin-Ince, G., Petruczok, C. D., Sreenivasan, R., Tenhaeff, W. E., Trujillo, N. J., Vaddiraju, S., Xu, J. ve Gleason, K. K., 2010, Chemical Vapor Deposition of Conformal, Functional, and Responsive Polymer Films, *Advanced Materials*, 22 (18), 1993-2027.
- Aliabadi, M., Zarkesh, A., Siampour, H., Abbasian, S., Mahdavinejad, M. ve Moshaii, A., 2021, Bioinspired Azimuthally Varying Nanoscale Cu Columns on Acupuncture Needles for Fog Collection, *ACS Applied Nano Materials*, 4 (9), 8733-8743.
- Almasian, A., Chizari Fard, G., Mirjalili, M. ve Parvinzadeh Gashti, M., 2018, Fluorinated-PAN nanofibers: Preparation, optimization, characterization and fog harvesting property, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 62, 146-155.
- Aydın, O., Ünalı, Ü. E., Duman, N., Çiçek, İ. ve Türkoğlu, N., 2017, Türkiye’de su kıtlığının mekânsal ölçekte değerlendirilmesi, *Türk Coğrafya Dergisi*. (68), 11-18.

- Azad, M. A. K., Krause, T., Danter, L., Baars, A., Koch, K. ve Barthlott, W., 2017, Fog Collection on Polyethylene Terephthalate (PET) Fibers: Influence of Cross Section and Surface Structure, *Langmuir*, 33 (22), 5555-5564.
- Azeem, M., Noman, M. T., Wiener, J., Petru, M. ve Louda, P., 2020, Structural design of efficient fog collectors: A review, *Environmental Technology & Innovation*, 20, 101169.
- Badyal, J. P., 2001, Beyond the surface-Cold plasmas are streamlining the surface coatings industry, *Chemistry in Britain*, 37 (1), 45-46.
- Bai, H., Wang, L., Ju, J., Sun, R., Zheng, Y. ve Jiang, L., 2014, Efficient Water Collection on Integrative Bioinspired Surfaces with Star-Shaped Wettability Patterns, *Advanced Materials*, 26 (29), 5025-5030.
- Barışık, M., 2018, Silika yüzeylerin ıslanma hareketlerinin moleküler dinamik ile modellenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33 (1).
- Batisha, A. F., 2015, Feasibility and sustainability of fog harvesting, *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 6, 1-10.
- Bhushan, B., 2019, Bioinspired water collection methods to supplement water supply, *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 377 (2150), 20190119.
- Bhushan, B., 2020, Design of water harvesting towers and projections for water collection from fog and condensation, *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 378 (2167), 20190440.
- Biçer, E. D., 2015, Sol-Jel yöntemi ile hazırlanan TiO₂-SiO₂ nanokompozit ince filmlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Fizik Mühendisliği Programı*, İstanbul.
- Bildiren, Ş. ve Sargıncı, M., 2022, İklim Değişikliğine Bağlı Olarak Gelişen Su Sıkıntısına Alternatif Bir Çözüm Önerisi: Atmosferik Su Hasadı, *Düzce Üniversitesi Süs ve Tıbbi Bitkiler Botanik Bahçesi Dergisi*, 1 (1), 21-35.
- Bokov, D., Turki Jalil, A., Chupradit, S., Suksatan, W., Javed Ansari, M., Shewael, I. H., Valiev, G. H. ve Kianfar, E., 2021, Nanomaterial by Sol-Gel Method: Synthesis and Application, *Advances in Materials Science and Engineering*, 2021, 1-21.
- Boretti, A. ve Rosa, L., 2019, Reassessing the projections of the World Water Development Report, *npj Clean Water*, 2 (1), 15.

- Cao, M., Xiao, J., Yu, C., Li, K. ve Jiang, L., 2015, Hydrophobic/Hydrophilic Cooperative Janus System for Enhancement of Fog Collection, *Small*, 11 (34), 4379-4384.
- Carvajal, D., Silva-Llanca, L., Larraguibel, D. ve González, B., 2020, On the aerodynamic fog collection efficiency of fog water collectors via three-dimensional numerical simulations, *Atmospheric Research*, 245, 105123.
- Cassie, A. B. D. ve Baxter, S., 1944, Wettability of porous surfaces, *Transactions of the Faraday Society*, 40 (0), 546-551.
- Chen, B., Kwong, P. ve Gupta, M., 2013, Patterned Fluoropolymer Barriers for Containment of Organic Solvents within Paper-Based Microfluidic Devices, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 5 (23), 12701-12707.
- Chen, D., Li, J., Zhao, J., Guo, J., Zhang, S., Sherazi, T. A., Ambreen ve Li, S., 2018, Bioinspired superhydrophilic-hydrophobic integrated surface with conical pattern-shape for self-driven fog collection, *Journal of Colloid and Interface Science*, 530, 274-281.
- Coessens, V., Pintauer, T. ve Matyjaszewski, K., 2001, Functional polymers by atom transfer radical polymerization, *Progress in Polymer Science*, 26 (3), 337-377.
- Correggiari, M., Castelli, G., Bresci, E. ve Salbitano, F., 2017, Fog Collection and Participatory Approach for Water Management and Local Development: Practical Reflections from Case Studies in the Atacama Drylands, In: Water and Land Security in Drylands: Response to Climate Change, Eds: Ouessar, M., Gabriels, D., Tsunekawa, A. ve Evett, S., *Cham: Springer International Publishing*, p. 141-158.
- Çakmaklı, C. ve Arslan Selçuk, S., 2019, Biyomimetik bakış açısı ile fütüristik mimarlık üzerine bir inceleme: John M. Johansen mimarlığını anlamak, *SETSCI Conference Proceedings*, 297-303.
- Çapan, İ., 2008, Kendiliğinden Yığılma ve Dönel Kaplama Yöntemleri İle Üretilen Organik İnce Filmlerin Gaz Algılayıcı Özelliklerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, *Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı*, Balıkesir.
- Çoşğun, A., Taşcıoğlu, A. ve Yılmaz, G., 2021, İnce Film Üretiminde Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi ve Çeşitleri, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12 (2), 351-363.
- Del-Val, E., Armesto, J. J., Barbosa, O., Christie, D., Gutierrez, A., Jones, C., Marquet, P. ve Weathers, K., 2006, Rain Forest Islands in the Chilean Semiarid Region: Fog-dependency, Ecosystem Persistence and Tree Regeneration, *Ecosystems*, 9, 1-13.

- Dhakal, N., Salinas-Rodriguez, S. G., Hamdani, J., Abushaban, A., Sawalha, H., Schippers, J. C. ve Kennedy, M. D., 2022, Is Desalination a Solution to Freshwater Scarcity in Developing Countries?, *Membranes*, 12 (4), 381.
- Diehl, R., 2010, Fog Collectors and Sustainable Development, Doktora Tezi, *Miami University*, Florida.
- Ding, Y., Tu, K., Burgert, I. ve Keplinger, T., 2020, Janus wood membranes for autonomous water transport and fog collection, *Journal of Materials Chemistry A*, 8 (42), 22001-22008.
- Dworakowska, S., Lorandi, F., Gorczyński, A. ve Matyjaszewski, K., 2022, Toward green atom transfer radical polymerization: current status and future challenges, *Advanced Science*, 9 (19), 2106076.
- Ekmen, Ö., 2019, Raft polimerizasyonu ile iyi tanımlanmış zincir ortası fotoaktifpolistiren makrofotobaşlatıcısının sentezi ve karakterizasyonu, Doktora Tezi, *Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Şanlıurfa*.
- Erbil, H. Y., 2006, Surface Chemistry of Solid and Liquid Interfaces, *Blackwell Publishing* (Oxford), 368.
- Erdem, A. ve Gezer, A., 2018, Su Stresi, Su Kıtlığı ve Su Tasarrufu Hakkında Halkın Farkındalığının Belirlenmesi: Akdeniz Üniversitesi Örnek Çalışması, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 4.
- Estrela, M. J., Valiente, J. A., Corell, D. ve Millán, M. M., 2008, Fog collection in the western Mediterranean basin (Valencia region, Spain), *Atmospheric Research*, 87 (3), 324-337.
- Feifel, S., Kapp, A. ve Lisdat, F., 2013, Protein Multilayer Architectures on Electrodes for Analyte Detection, *Advances in biochemical engineering/biotechnology*, 140.
- Fernández, A., Francone, A., Thamdrup, L. H., Johansson, A., Bilenberg, B., Nielsen, T., Guttman, M., Sotomayor Torres, C. M. ve Kehagias, N., 2017, Design of Hierarchical Surfaces for Tuning Wetting Characteristics, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 9 (8), 7701-7709.
- Fernandez, D. M., Kleingartner, J., Oliphant, A., Bowman, M., Torregrosa, A., Weiss-Penzias, P. S., Zhang, B. J., Sorensen, D., Cohen, R. E. ve McKinley, G. H., 2018, Fog Water Collection Effectiveness: Mesh Intercomparisons, *Aerosol and Air Quality Research*, 18 (1), 270-283.
- Fessehaye, M., Abdul-Wahab, S. A., Savage, M. J., Kohler, T., Gherezghiher, T. ve Hurni, H., 2017, Assessment of fog-water collection on the eastern escarpment of Eritrea, *Water International*, 42 (8), 1022-1036.

- Friedrich, J., 2011, Mechanisms of Plasma Polymerization – Reviewed from a Chemical Point of View, *Plasma Processes and Polymers*, 8 (9), 783-802.
- Gandhidasan, P. ve Abualhamayel, H. I., 2011, Exploring Fog Water Harvesting Potential and Quality in the Asir Region, Kingdom of Saudi Arabia, *Pure and Applied Geophysics*, 169 (5), 1019-1036.
- Gao, F., Hu, Y., Li, G., Liu, S., Quan, L., Yang, Z., Wei, Y. ve Pan, C., 2020, Layer-by-layer deposition of bioactive layers on magnesium alloy stent materials to improve corrosion resistance and biocompatibility, *Bioactive Materials*, 5 (3), 611-623.
- Garrod, R., Harris, L., Schofield, W., McGettrick, J., Ward, L., Teare, D. ve Badyal, J., 2007, Mimicking a Stenocara Beetle's Back for Microcondensation Using Plasmachemical Patterned Superhydrophobic–Superhydrophilic Surfaces, *Langmuir : the ACS journal of surfaces and colloids*, 23, 689-693.
- Genç, M., 2013, Doğa, Sanat ve Biyomimetik Bilim, Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü*, Ankara.
- Goldston, R. J. ve Rutherford, P. H., 1995, Introduction to Plasma Physics, *Plasma Physics Laboratory, Princeton University, Institute of Physics Publishing Bristol and Philadelphia*, 72 (2), 162.
- Gonzaga, V., Chrisostomo, B., Lima Poli, A. ve Schmitt Cavalheiro, C., 2018, Preparation, Characterization and Photostability of Nanocomposite Films Based on Poly(acrylic acid) and Montmorillonite, *Materials Research*, 21.
- Gökçek, M. ve Gökçek, Ö. B., 2016, Technical and economic evaluation of freshwater production from a wind-powered small-scale seawater reverse osmosis system (WP-SWRO), *Desalination*, 381, 47-57.
- Grimoldi, E., Zanini, S., Siliprandi, R. A. ve Riccardi, C., 2009, AFM and contact angle investigation of growth and structure of pp-HMDSO thin films, *The European Physical Journal D*, 54 (2), 165-172.
- Gürsoy, M. ve Karaman, M., 2016, Hydrophobic coating of expanded perlite particles by plasma polymerization, *Chemical Engineering Journal*, 284, 343-350.
- Gürsoy, M., Uçar, T., Tosun, Z. ve Karaman, M., 2016, Initiation of 2-Hydroxyethyl Methacrylate Polymerization by Tert-Butyl Peroxide in a Planar PECVD System, *Plasma Processes and Polymers*, 13 (4), 438-446.
- Gürsoy, M., Harris, M. T., Carletto, A., Yaprak, A., Karaman, M. ve Badyal, J. P. S., 2017a, Bioinspired Asymmetric-Anisotropic (Directional) Fog Harvesting Based on the Arid Climate Plant *Eremopyrum orientale*, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 529.
- Gürsoy, M., Harris, M. T., Downing, J. O., Barrientos-Palomo, S. N., Carletto, A., Yaprak, A. E., Karaman, M. ve Badyal, J. P. S., 2017b, Bioinspired fog capture

- and channel mechanism based on the arid climate plant *Salsola crassa*, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 529, 195-202.
- Gürsoy, M. ve Karaman, M., 2017, Surface Treatments for Biological, Chemical and Physical Applications, *John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA*.
- Gürsoy, M. ve Karaman, M., 2018, Improvement of wetting properties of expanded perlite particles by an organic conformal coating, *Progress in Organic Coatings*, 120, 190-197.
- Gürsoy, M., 2020a, Fabrication of Poly(N-isopropylacrylamide) with Higher Deposition Rate and Easier Phase Transition by Initiated Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition, *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 40 (4), 1063-1079.
- Gürsoy, M., 2020b, All-dry patterning method to fabricate hydrophilic/hydrophobic surface for fog harvesting, *Colloid and Polymer Science*, 298 (8), 969-976.
- Gürsoy, M., 2021a, Vapor deposition polymerization of synthetic rubber thin film in a plasma enhanced chemical vapor deposition reactor, *Journal of Applied Polymer Science*, 138 (4), 49722.
- Gürsoy, M., 2021b, Fabrication of Paper-Based Microfluidic Devices Using PECVD for Selective Separation, *Macromolecular Research*, 29 (6), 423-429.
- Hammond, P. T., 2012, Building biomedical materials layer-by-layer, *Materials Today*, 15 (5), 196-206.
- He, C., Liu, Z., Wu, J., Pan, X., Fang, Z., Li, J. ve Bryan, B. A., 2021, Future global urban water scarcity and potential solutions, *Nature Communications*, 12 (1), 4667.
- Hegemann, D., Brunner, H. ve Oehr, C., 2001, Deposition rate and three-dimensional uniformity of RF plasma deposited SiO_x films, *Surface and Coatings Technology*, 142-144, 849-855.
- Her, E. K., Ko, T. J., Lee, K. R., Oh, K. H. ve Moon, M. W., 2012, Bioinspired steel surfaces with extreme wettability contrast, *Nanoscale*, 4 (9), 2900-2905.
- Hu, R., Wang, N., Hou, L., Cui, Z., Liu, J., Li, D., Li, Q., Zhang, H. ve Zhao, Y., 2019, A bioinspired hybrid membrane with wettability and topology anisotropy for highly efficient fog collection, *Journal of Materials Chemistry A*, 7 (1), 124-132.
- Huang, C., Lin, H.-H. ve Li, C., 2015, Atmospheric Pressure Plasma Polymerization of Super-Hydrophobic Nano-films Using Hexamethyldisilazane Monomer, *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 35 (6), 1015-1028.
- Hüküm, K. Ö., Mutlutürk, E., Çalışkan, T. D. ve Çaykara, T., 2020, Synthesis of Polymer Brushes by Surface-Initiated Controlled/Living Free Radical Polymerization Techniques Yüzeyde Başlatılan Kontrollü/Yaşayan Serbest

Radikal Polimerizasyon Teknikleriyle Polimer Fırçaların Sentezi, *Hacettepe J. Biol. & Chem.*, 48 (5), 395-405.

- Iqbal, M., Dinh, D. K., Abbas, Q., Imran, M., Sattar, H. ve Ul Ahmad, A., 2019, Controlled Surface Wettability by Plasma Polymer Surface Modification, *Surfaces*, 2 (2), 349-371.
- Jasso-Gastinel, C. F., Soltero-Martínez, J. F. A. ve Mendizábal, E., 2017, 1 - Introduction: Modifiable Characteristics and Applications, In: Modification of Polymer Properties, Eds: William Andrew Publishing, p. 1-21.
- Jensen, W. B., 2008, The origin of the polymer concept, *Journal of Chemical Education*, 85 (5), 624.
- Ju, J., Xiao, K., Yao, X., Bai, H. ve Jiang, L., 2013, Bioinspired Conical Copper Wire with Gradient Wettability for Continuous and Efficient Fog Collection, *Advanced Materials*, 25 (41), 5937-5942.
- Ju, J., Yao, X., Yang, S., Wang, L., Sun, R., He, Y. ve Jiang, L., 2014, Cactus Stem Inspired Cone-Arrayed Surfaces for Efficient Fog Collection, *Advanced Functional Materials*, 24 (44), 6933-6938.
- Kalay, I., 2020, Elektrokimyasal Ve Elektrokromik Özelliklerin İyileştirilmesi Amacıyla Karbazol İçeren Monomer İle 3,4 Etilendioksitiyofen (Edot) Monomerinin Elektrokimyasal Kopolimerizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *İskenderun Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı*, İskenderun.
- Kandemir, H., AYDIN, F., Güler, B. ve Gürel, A., 2021, Soğuk Plazma Teknolojisi ve Tarımdaki Çeşitli Uygulama Alanları, *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 35 (1), 217-245.
- Karaman, M., Çabuk, N., Özyurt, D. ve Köysüren, Ö., 2012, Self-supporting superhydrophobic thin polymer sheets that mimic the nature's petal effect, *Applied Surface Science*, 259, 542-546.
- Karaman, M., Gürsoy, M., Kuş, M., Özel, F., Yenel, E., Şahin, Ö. G. ve Kivrak, H. D., 2017, Chemical and Physical Modification of Surfaces, *Surface Treatments for Biological, Chemical, and Physical Applications*, 23-66.
- Karkee, M. B., 2005, Harvesting of Atmospheric Water: A Promising Low-Cost Technology.
- Keskin, R., 2019, Doğadan Esinlenen Mekansal Tasarımlarda Analojinin Kullanımı: Biyomimikri, Yüksek Lisans Tezi, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Burdur.
- Khalil, M., Kara-Ali, A. ve Asaad, M., 2021, Potential of harvesting water from fog and dew water over semi-arid and arid regions in Syria, *Water Supply*, 22.

- Khan, A., Habib, M. R., Kumar, R. R., Islam, S. M., Arivazhagan, V., Salman, M., Yang, D. ve Yu, X., 2018, Wetting behaviors and applications of metal-catalyzed CVD grown graphene, *Journal of Materials Chemistry A*, 6 (45), 22437-22464.
- Kim, G.-T., Gim, S.-J., Cho, S.-M., Koratkar, N. ve Oh, I.-K., 2014, Wetting-Transparent Graphene Films for Hydrophobic Water-Harvesting Surfaces, *Advanced Materials*, 26 (30), 5166-5172.
- Kim, N. K., Kang, D. H., Eom, H. ve Kang, H. W., 2019, Biomimetic fog harvesting surface by photo-induced micro-patterning of zinc-oxide silver hierarchical nanostructures, *Applied Surface Science*, 470, 161-167.
- Klemm, O., Schemenauer, R. S., Lummerich, A., Cereceda, P., Marzol, V., Corell, D., van Heerden, J., Reinhard, D., Gherezghiher, T., Olivier, J., Osses, P., Sarsour, J., Frost, E., Estrela, M. J., Valiente, J. A. ve Fessehay, G. M., 2012, Fog as a fresh-water resource: overview and perspectives, *Ambio*, 41 (3), 221-234.
- Korkmaz, S. ve Kariper, İ. A., 2020, Fog harvesting against water shortage, *Environmental Chemistry Letters*, 18 (2), 361-375.
- Lal, R., 2015, World Water Resources and Achieving Water Security, *Agronomy Journal*, 107 (4), 1526-1532.
- Landau, M. V., 2008, Sol–Gel Process, In: Handbook of Heterogeneous Catalysis, Eds, p. 119-160.
- Lau, K. K. S. ve Gleason, K. K., 2006, Initiated Chemical Vapor Deposition (iCVD) of Poly(alkyl acrylates): An Experimental Study, *Macromolecules*, 39 (10), 3688-3694.
- Lee, H. S., Kim, H., Lee, J. H. ve Kwak, J. B., 2019, Fabrication of a Conjugated Fluoropolymer Film Using One-Step iCVD Process and its Mechanical Durability, *Coatings*, 9 (7), 430.
- Lee, J., So, J., Bae, W.-G. ve Won, Y., 2020, The Design of Hydrophilic Nanochannel-Macrostripe Fog Collector: Enabling Wicking-Assisted Vertical Liquid Delivery for the Enhancement in Fog Collection Efficiency, *Advanced Materials Interfaces*, 7 (11), 1902150.
- Lei, J. ve Guo, Z., 2020, A fog-collecting surface mimicking the Namib beetle: its water collection efficiency and influencing factors, *Nanoscale*, 12 (13), 6921-6936.
- Li, C., Jiang, L., Hu, J., Xu, C., Li, Z., Liu, W., Zhao, X. ve Zhao, B., 2022, Superhydrophilic–Superhydrophobic Multifunctional Janus Foam Fabrication Using a Spatially Shaped Femtosecond Laser for Fog Collection and Detection, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 14 (7), 9873-9881.

- Li, J., Zhou, Y., Wang, W., Du, F. ve Ren, L., 2020a, A bio-inspired superhydrophobic surface for fog collection and directional water transport, *Journal of Alloys and Compounds*, 819, 152968.
- Li, J., Li, W., Han, X. ve Wang, L., 2021, Sandwiched nets for efficient direction-independent fog collection, *Journal of Colloid and Interface Science*, 581, 545-551.
- Li, S., Huang, J., Chen, Z., Chen, G. ve Lai, Y., 2017, A review on special wettability textiles: theoretical models, fabrication technologies and multifunctional applications, *Journal of Materials Chemistry A*, 5 (1), 31-55.
- Li, X., Liu, Y., Zhou, H., Gao, C., Li, D., Hou, Y. ve Zheng, Y., 2020b, Fog Collection on a Bio-inspired Topological Alloy Net with Micro-/Nanostructures, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 12 (4), 5065-5072.
- Lin-Vien, D., Colthup, N. B., Fateley, W. G. ve Grasselli, J. G., 1991, The Handbook of Infrared and Raman Characteristic Frequencies of Organic Molecules, In: The Handbook of Infrared and Raman Characteristic Frequencies of Organic Molecules, Eds: Lin-Vien, D., Colthup, N. B., Fateley, W. G. ve Grasselli, J. G., San Diego: Academic Press, p. xv-xvi.
- Liu, L., Liu, S., Schelp, M. ve Chen, X., 2021, Rapid 3D Printing of Bioinspired Hybrid Structures for High-Efficiency Fog Collection and Water Transportation, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 13 (24), 29122-29129.
- Ma, C., Nikiforov, A., Hegemann, D., De Geyter, N., Morent, R. ve Ostrikov, K., 2022, Plasma-controlled surface wettability: recent advances and future applications, *International Materials Reviews*, 1-38.
- Ma, Q., Song, J., Zhang, X., Jiang, Y., Ji, L. ve Liao, S., 2021, Metal-free atom transfer radical polymerization with ppm catalyst loading under sunlight, *Nature Communications*, 12 (1), 429.
- Mahmood, A., Chen, L., Chen, S., Chen, C., Yu, Y., Weng, D. ve Wang, J., 2020, Nature-inspired design of conical array for continuous and efficient fog collection application, *Colloid and Interface Science Communications*, 37, 100283.
- Malandrino, G., 2009, Chemical Vapour Deposition. Precursors, Processes and Applications. Edited by Anthony C. Jones and Michael L. Hitchman, *Angewandte Chemie-international Edition - Angew Chem Int Ed.*, 48, 7478-7479.
- Martin, T. P., Lau, K. K. S., Chan, K., Mao, Y., Gupta, M., Shannan O'Shaughnessy, W. ve Gleason, K. K., 2007, Initiated chemical vapor deposition (iCVD) of polymeric nanocoatings, *Surface and Coatings Technology*, 201 (22), 9400-9405.

- Marzol, M., Megía, J., Yanes, A., Bargach, J. ve Derhem, A., 2010, Meteorological Patterns and Fog Water in the Canary Islands and Morocco, *Proceedings of the 5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew*, -1, 31.
- Matyjaszewski, K. ve Tsarevsky, N. V., 2009, Nanostructured functional materials prepared by atom transfer radical polymerization, *Nature Chemistry*, 1 (4), 276-288.
- McHale, G., Shirtcliffe, N. J. ve Newton, M. I., 2004, Contact-Angle Hysteresis on Super-Hydrophobic Surfaces, *Langmuir*, 20 (23), 10146-10149.
- Mileta, M. ve Likso, T., 2010, Fog water collection with SFC on the mountain Velebit (Croatia) during the period 2000-2009, *Proceedings of the 5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew*.
- Mo, Q., Qin, G., Ling, K., Lv, X., Wang, N. ve Li, W., 2021, Layer-by-layer self-assembled polyurea layers onto MAO surface for enhancing corrosion protection to aluminum alloy 6063, *Surface and Coatings Technology*, 405, 126653.
- Ng, Z. C., Roslan, R. A., Lau, W. J., Gürsoy, M., Karaman, M., Jullok, N. ve Ismail, A. F., 2020, A Green Approach to Modify Surface Properties of Polyurethane Foam for Enhanced Oil Absorption, *Polymers*, 12 (9), 1883.
- Nioras, D., Ellinas, K., Constantoudis, V. ve Gogolides, E., 2021, How Different Are Fog Collection and Dew Water Harvesting on Surfaces with Different Wetting Behaviors?, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 13 (40), 48322-48332.
- Noman, M., 2020, Structural design of efficient fog collectors: A review, *Environmental Technology & Innovation*, 20, 101169.
- Oktaý, Z. M., 2019, Selüloz İçerikli Malzemelerin Pecvd Metodu İle Modifikasyonu Sürecinde Oluşan Radikallerin Esr Tekniğı ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nanoteknoloji ve İleri Malzemeler Anabilim Dalı*, Konya.
- Ozden, S., Ge, L., Narayanan, T. N., Hart, A. H. C., Yang, H., Sridhar, S., Vajtai, R. ve Ajayan, P. M., 2014, Anisotropically Functionalized Carbon Nanotube Array Based Hygroscopic Scaffolds, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 6 (13), 10608-10613.
- Özcan, S. ve Pakyürek, M., 2019, Sis Hasadı, *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 3, 33-48.
- Özdemir, F., Ramazanoğlu, D. ve Tutus, A., 2018, Akıllı Malzemeler için Biyomimetik Yüzey Tasarımları, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 20 (3), 664-676.
- Paquin, M. ve Cosgrove, C., 2016, The United Nations World Water Development Report 2016: Water and jobs, UNESCO for UN-Water.

- Parale, V. G., Mahadik, D. B., Kavale, M. S., Mahadik, S. A., Rao, A. V. ve Mullens, S., 2013, Sol-gel preparation of PTMS modified hydrophobic and transparent silica coatings, *Journal of Porous Materials*, 20 (4), 733-739.
- Park, K.-C., Chhatre, S. S., Srinivasan, S., Cohen, R. E. ve McKinley, G. H., 2013, Optimal Design of Permeable Fiber Network Structures for Fog Harvesting, *Langmuir*, 29 (43), 13269-13277.
- Paxson, A. T., Yagüe, J. L., Gleason, K. K. ve Varanasi, K. K., 2014, Stable Dropwise Condensation for Enhancing Heat Transfer via the Initiated Chemical Vapor Deposition (iCVD) of Grafted Polymer Films, *Advanced Materials*, 26 (3), 418-423.
- Qadir, M., Jiménez, G. C., Farnum, R. L. ve Trautwein, P., 2021, Research History and Functional Systems of Fog Water Harvesting, *Frontiers in Water*, 3.
- Qadir, M., Smakhtin, V., Koo-Oshima, S. ve Guenther, E., 2022, Unconventional water resources, *Springer Nature Switzerland AG*.
- Rajaram, M., Heng, X., Oza, M. ve Luo, C., 2016, Enhancement of fog-collection efficiency of a Raschel mesh using surface coatings and local geometric changes, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 508, 218-229.
- Reed, R. A., Godfrey, S., Kayaga, S., Reed, B., Rouse, J. R., Fisher, J. A., Vilholth, K. ve Odhiambo, F., 2013, Technical notes on drinking-water, sanitation and hygiene in emergencies.
- Regalado, C. M. ve Ritter, A., 2019, On the estimation of potential fog water collection from meteorological variables, *Agricultural and Forest Meteorology*, 276-277, 107645.
- Rezaei, S., Manoucheri, I., Moradian, R. ve Pourabbas, B., 2014, One-step chemical vapor deposition and modification of silica nanoparticles at the lowest possible temperature and superhydrophobic surface fabrication, *Chemical Engineering Journal*, 252, 11-16.
- Richardson, J. J., Cui, J., Björnmalm, M., Braunger, J. A., Ejima, H. ve Caruso, F., 2016, Innovation in Layer-by-Layer Assembly, *Chemical Reviews*, 116 (23), 14828-14867.
- Rupper, P., Vandenbossche, M., Bernard, L., Hegemann, D. ve Heuberger, M., 2017, Composition and Stability of Plasma Polymer Films Exhibiting Vertical Chemical Gradients, *Langmuir*, 33 (9), 2340-2352.
- Sahoo, B., Yoon, K., Seo, J. ve Lee, T., 2018, Chemical and Physical Pathways for Fabricating Flexible Superamphiphobic Surfaces with High Transparency, *Coatings*, 8, 47.

- Schemenauer, R. S. ve Joe, P. I., 1989, The collection efficiency of a massive fog collector, *Atmospheric Research*, 24 (1), 53-69.
- Seah, M. Q., Lau, W. J., Goh, P. S., Ooi, B. S., Lai, G. S. ve Ismail, A. F., 2023, Improving properties of thin film nanocomposite membrane via temperature-controlled interfacial polymerization for nanofiltration process, *Desalination*, 545, 116091.
- Seo, D., Lee, J., Lee, C. ve Nam, Y., 2016, The effects of surface wettability on the fog and dew moisture harvesting performance on tubular surfaces, *Sci Rep*, 6, 24276.
- Shi, W., Anderson, M. J., Tulkoff, J. B., Kennedy, B. S. ve Boreyko, J. B., 2018, Fog Harvesting with Harps, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 10 (14), 11979-11986.
- Shrividhya, T., Anandhavelu, S. ve Dhanasekaran, V., 2017, Facile Methodology of Sol-Gel Synthesis for Metal Oxide Nanostructures, In: Recent Applications in Sol-Gel Synthesis, Eds: Usha, C., *Rijeka*: IntechOpen, p. Ch. 1.
- Song, Y. Y., Liu, Y., Jiang, H. B., Li, S., Kaya, C., Stegmaier, T., Han, Z. ve Ren, L., 2018a, Temperature-tunable wettability on a bioinspired structured graphene surface for fog collection and unidirectional transport, *Nanoscale*, 10 (8), 3813-3822.
- Song, Y. Y., Liu, Y., Jiang, H. B., Li, S. Y., Kaya, C., Stegmaier, T., Han, Z. W. ve Ren, L. Q., 2018b, A bioinspired structured graphene surface with tunable wetting and high wearable properties for efficient fog collection, *Nanoscale*, 10 (34), 16127-16137.
- Song, Y. Y., Yu, Z. P., Dong, L. M., Zhu, M. L., Ye, Z. C., Shi, Y. J. ve Liu, Y., 2021, Cactus-Inspired Janus Membrane with a Conical Array of Wettability Gradient for Efficient Fog Collection, *Langmuir*, 37 (46), 13703-13711.
- Song, Z., Lin, E. S., Uddin, M. H., Abid, H. A., Ong, J. W., Liew, O. W. ve Ng, T. W., 2022, Fog Harvesting with Highly Wetting and Nonwetting Vertical Strips, *Langmuir*, 38 (5), 1845-1852.
- Stöber, W., Fink, A. ve Bohn, E., 1968, Controlled growth of monodisperse silica spheres in the micron size range, *Journal of Colloid and Interface Science*, 26 (1), 62-69.
- Subramaniam, M. N., Goh, P. S., Lau, W. J., Ismail, A. F., Gürsoy, M. ve Karaman, M., 2019, Synthesis of Titania nanotubes/polyaniline via rotating bed-plasma enhanced chemical vapor deposition for enhanced visible light photodegradation, *Applied Surface Science*, 484, 740-750.
- Sun, H., Song, Y., Zhang, B., Huan, Y., Jiang, C., Liu, H., Bao, T., Yu, S. ve Wang, H., 2021, Bioinspired micro- and nanostructures used for fog harvesting, *Applied Physics A*, 127 (6), 461.

- Şahin, B., 2016, Küresel Bir Sorun: Su Kıtlığı Ve Sanal Su Ticareti, Yüksek Lisans Tezi, *Hitit Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı.*, Çorum.
- Şahin, Y. ve Yalçınkaya, S., 2021, Bazı Polimerlerin Tribolojik Davranışlarının Tahmini Analizi, *Malzeme Teknolojisi Ve Tasarım Bilimlerine Yeni Yaklaşımlar*, Güven-Plus Grup A.Ş Yayınları İstanbul, 337-351.
- Şakalak, H., Yılmaz, K., Gürsoy, M. ve Karaman, M., 2020, Roll-to roll initiated chemical vapor deposition of super hydrophobic thin films on large-scale flexible substrates, *Chemical Engineering Science*, 215, 115466.
- Şakalak, H., Yılmaz, K., Gürsoy, M. ve Karaman, M., 2022, Roll-to-Roll Vapor Deposition of Hydrophobic and Transparent Nano-Adhesive Polymeric Thin Films on Rigid and Flexible Substrates, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 61 (25), 8839-8846.
- Şimşek, B. ve Karaman, M., 2020, Initiated chemical vapor deposition of poly(hexafluorobutyl acrylate) thin films for superhydrophobic surface modification of nanostructured textile surfaces, *Journal of Coatings Technology and Research*, 17 (2), 381-391.
- Tan, X., Shi, T., Tang, Z., Sun, B., Du, L., Peng, Z. ve Liao, G., 2016, Investigation of Fog Collection on Cactus-inspired Structures, *Journal of Bionic Engineering*, 13 (3), 364-372.
- Tang, X., Huang, J., Guo, Z. ve Liu, W., 2021a, A combined structural and wettability gradient surface for directional droplet transport and efficient fog collection, *Journal of Colloid and Interface Science*, 604, 526-536.
- Tang, X., Zhang, F., Huang, J. ve Guo, Z., 2021b, Multifunctional Janus Materials for Rapid One-Way Water Transportation and Fog Collection, *Langmuir*, 37 (46), 13778-13786.
- Taşkan, M., Mutlu Avinç, G. ve Arslan Selçuk, S., 2022, Water Balancing Strategies of Organisms and Bio-informed Building Envelope Design, 10, 129-152.
- Tenhaeff, W. E. ve Gleason, K. K., 2008, Initiated and Oxidative Chemical Vapor Deposition of Polymeric Thin Films: iCVD and oCVD, *Advanced Functional Materials*, 18 (7), 979-992.
- Terriza, A., Álvarez, R., Borrás, A., Cotrino, J., Yubero, F. ve González-Eliphe, A. R., 2012, Roughness assessment and wetting behavior of fluorocarbon surfaces, *Journal of Colloid and Interface Science*, 376 (1), 274-282.
- Tian, W., Li, C., Liu, K., Ma, F., Chu, K., Tang, X., Wang, Z., Yue, S. ve Qu, S., 2023, Fabrication of Transferable and Micro/Nanostructured Superhydrophobic Surfaces Using Demolding and iCVD Processes, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 15 (1), 2368-2375.

- Topcu, A. S. K., Erdogan, E. ve Cengiz, U., 2018, Preparation of stable, transparent superhydrophobic film via one step one pot sol-gel method, *Colloid and Polymer Science*, 296 (9), 1523-1532.
- Topçu, A. S., 2015, Solgel yöntemi ile tek adımda Superhidrofilik poli(hidroksi etil metakrilat) +Tetraetoksisilan kompozit malzeme sentezi, Yüksek Lisans Tezi, *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Biyomühendislik ve Malzeme Mühendisliği Çanakkale*.
- Truica-Marasescu, F., Jedrzejowski, P. ve Wertheimer, M. R., 2004, Hydrophobic Recovery of Vacuum Ultraviolet Irradiated Polyolefin Surfaces, *Plasma Processes and Polymers*, 1 (2), 153-163.
- Uçar, T., 2016, Plazma destekli kimyasal buhar biriktirme yöntemi ile poli(hekza florobütil akrilat-co-glisidil metakrilat) nano kaplamasının sentezi ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya*.
- Vasudev, M. C., Anderson, K. D., Bunning, T. J., Tsukruk, V. V. ve Naik, R. R., 2013, Exploration of Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition as a Method for Thin-Film Fabrication with Biological Applications, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 5 (10), 3983-3994.
- Verbrugghe, N. ve Khan, A. Z., 2023, Water harvesting through fog collectors: a review of conceptual, experimental and operational aspects, *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 18, 392-403.
- Wan, Y., Xu, J., Lian, Z. ve Xu, J., 2021, Superhydrophilic surfaces with hierarchical groove structure for efficient fog collection, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 628, 127241.
- Wang, H., Fang, J., Cheng, T., Ding, J., Qu, L., Dai, L., Wang, X. ve Lin, T., 2008, One-step coating of fluoro-containing silica nanoparticles for universal generation of surface superhydrophobicity, *Chemical Communications* (7), 877-879.
- Wang, Y., Zhang, L., Wu, J., Hedhili, M. N. ve Wang, P., 2015, A facile strategy for the fabrication of a bioinspired hydrophilic-superhydrophobic patterned surface for highly efficient fog-harvesting, *Journal of Materials Chemistry A*, 3 (37), 18963-18969.
- Weltmann, K.-D., Kolb, J. F., Holub, M., Uhrlandt, D., Šimek, M., Ostrikov, K., Hamaguchi, S., Cvelbar, U., Černák, M., Locke, B., Fridman, A., Favia, P. ve Becker, K., 2019, The future for plasma science and technology, *Plasma Processes and Polymers*, 16 (1), 1800118.
- Wen, C., Guo, H., Bai, H., Xu, T., Liu, M., Yang, J., Zhu, Y., Zhao, W., Zhang, J., Cao, M. ve Zhang, L., 2019, Beetle-Inspired Hierarchical Antibacterial Interface for Reliable Fog Harvesting, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 11 (37), 34330-34337.

- Wenzel, R. N., 1936, Resistance of solid surfaces to wetting by water, *Industrial & engineering chemistry*, 28 (8), 988-994.
- Wenzel, R. N., 1949, Surface roughness and contact angle, *The Journal of Physical Chemistry*, 53 (9), 1466-1467.
- WWAP, 2018, (United Nations World Water Assessment Programme) UN-Water. 2018. The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water. Paris, UNESCO.
- Xie, H., Huang, H.-X. ve Mi, H.-Y., 2018, Gradient wetting state for droplet transportation and efficient fog harvest on nanopillared cicada wing surface, *Materials Letters*, 221, 123-127.
- Xie, T., Wang, H., Chen, K., Li, F., Zhao, S., Sun, H., Yang, X., Hou, Y., Li, P. ve Niu, Q. J., 2023, High-performance polyethyleneimine based reverse osmosis membrane fabricated via spin-coating technology, *Journal of Membrane Science*, 668, 121248.
- Xing, D., Wu, F., Wang, R., Zhu, J. ve Gao, X., 2019a, Microdrop-Assisted Microdomain Hydrophilicization of Superhydrophobic Surfaces for High-Efficiency Nucleation and Self-Removal of Condensate Microdrops, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 11 (7), 7553-7558.
- Xing, Y., Shang, W., Wang, Q., Feng, S., Hou, Y. ve Zheng, Y., 2019b, Integrative Bioinspired Surface with Wettable Patterns and Gradient for Enhancement of Fog Collection, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 11 (11), 10951-10958.
- Yanardağ, D., 2018, Pecvd Yöntemi İle Polimerle Kaplanmış Grafen Bazlı Epoksi Kompozit Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı*, Konya.
- Yartaşı, Y. ve Karaman, M., 2020, Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition of Poly(Cyclohexyl Methacrylate) as a Sacrificial Thin Film, *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 40 (1), 357-369.
- Yasuda, H. K., 2005, Some Important Aspects of Plasma Polymerization, *Plasma Processes and Polymers*, 2 (4), 293-304.
- Yenice, E., 2015, Plazma Destekli Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi İle Su İtici Nano Kaplama Sentezi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı*, Konya.
- Yıldız, H., 2012, Endüstri ürünleri tasarımı kapsamında biyomimetik tasarımın yeri ve metodolojisi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Ürünleri Tasarımı Anabilim Dalı, Endüstri Ürünleri Tasarımı Programı*, İstanbul.

- Yılmaz, K., Şakalak, H., Gürsoy, M. ve Karaman, M., 2019, Initiated Chemical Vapor Deposition of Poly(Ethylhexyl Acrylate) Films in a Large-Scale Batch Reactor, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 58 (32), 14795-14801.
- Yılmaz, K., 2020, Geniş Alanda Polimerik İnce Filmlerin Kesikli Başlatıcılı Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi İle Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, *Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı*, Konya.
- Yılmaz, K., Şakalak, H., Gürsoy, M. ve Karaman, M., 2021, Vapor deposition of stable copolymer thin films in a batch iCVD reactor, *Journal of Applied Polymer Science*, 138 (13), 50119.
- Yin, K., Du, H., Dong, X., Wang, C., Duan, J.-A. ve He, J., 2017, A simple way to achieve bioinspired hybrid wettability surface with micro/nanopatterns for efficient fog collection, *Nanoscale*, 9 (38), 14620-14626.
- Yue, H., Zeng, Q., Huang, J., Guo, Z. ve Liu, W., 2022, Fog collection behavior of bionic surface and large fog collector: A review, *Advances in Colloid and Interface Science*, 300, 102583.
- Zhai, L., Berg, M. C., Cebeci, F. Ç., Kim, Y., Milwid, J. M., Rubner, M. F. ve Cohen, R. E., 2006, Patterned Superhydrophobic Surfaces: Toward a Synthetic Mimic of the Namib Desert Beetle, *Nano Letters*, 6 (6), 1213-1217.
- Zhang, L., Wu, J., Hedhili, M. N., Yang, X. ve Wang, P., 2015, Inkjet printing for direct micropatterning of a superhydrophobic surface: toward biomimetic fog harvesting surfaces, *Journal of Materials Chemistry*, 3, 2844-2852.
- Zhang, Y., Yan, Y., Wang, Y., Li, Y., Wang, X., Zhang, H., Liu, J. ve Wang, F., 2013, The synthesis and solution properties of hyperbranched polyglycerols modified with hexafluorobutyl acrylate, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 436, 563-569.
- Zhang, Y., Meng, N., Babar, A. A., Wang, X., Yu, J. ve Ding, B., 2021a, Multi-bioinspired and Multistructural Integrated Patterned Nanofibrous Surface for Spontaneous and Efficient Fog Collection, *Nano Letters*, 21 (18), 7806-7814.
- Zhang, Y., Meng, N., Babar, A. A., Wang, X., Yu, J. ve Ding, B., 2021b, Lizard-Skin-Inspired Nanofibrous Capillary Network Combined with a Slippery Surface for Efficient Fog Collection, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 13 (30), 36587-36594.
- Zhao, Y., Huo, N., Ye, S. ve Tenhaeff, W. E., 2023, Elastic broadband antireflection coatings for flexible optics using multi-layered polymer thin films, *Journal of Materials Chemistry C*.
- Zhong, L., Zhu, H., Wu, Y. ve Guo, Z., 2018, Understanding how surface chemistry and topography enhance fog harvesting based on the superwetting surface with patterned hemispherical bulges, *Journal of Colloid and Interface Science*, 525.

- Zhou, Y., Liang, X. X., Gang, G. M., Ling, L. ve Song, L. Y., 2010, Wettability and formation mechanism of ZnO micro-spheres composed film, *Chinese Physics B*, 19 (12), 126103.
- Zhu, H. ve Guo, Z., 2016, Hybrid engineered materials with high water-collecting efficiency inspired by Namib Desert beetles, *Chemical Communications*, 52 (41), 6809-6812.

