

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
NANOBİLİM VE NANOTEKNOLOJİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK KRİSTALLİKTEKİ POLİMERLERDEN İNCE
FİLM SENTEZ AŞAMASINDA ORTAM SICAKLIĞININ
FİLM KALİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**

**Hazırlayan
Bilge BOZDOĞAN**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Selda TOPÇU ŞENDOĞDULAR**

Yüksek Lisans Tezi

**Ağustos 2021
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
NANOBİLİM VE NANOTEKNOLOJİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK KRİSTALLİKTEKİ POLİMERLERDEN İNCE
FİLM SENTEZ AŞAMASINDA ORTAM SICAKLIĞININ
FİLM KALİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Bilge BOZDOĞAN**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Selda TOPÇU ŞENDOĞDULAR**

**Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından
FYL-2020-10058 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Ağustos 2021
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Bilge BOZDOĞAN

İmza

“Yüksek kristallikteki polimerlerden elde edilen polimerlerden ince film sentez aşamasında ortam sıcaklığının film kalitesi üzerindeki etkisi” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Bilge BOZDOĞAN

İmza

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Selda TOPÇU ŞENDOĞDULAR

İmza

Nanobilim ve Nanoteknoloji ABD Başkanı

Prof. Dr. Mustafa Serdar ÖNSES

İmza

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Selda TOPÇU ŞENDOĞDULAR'a, ilgisini ve önerilerini göstermekten kaçınmayan Erciyes üniversitesi Malzeme bilimi mühendisliği bölümü hocası Dr. Öğr. Üyesi Levent ŞENDOĞDULAR'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Bu projenin gerçekleştirilmesi sürecinde projeyi destekleyen Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje(BAP) birimine teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca yardımını hiç esirgemeyen değerli laboratuvar arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım boyunca maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme ve ailemizin yeni üyeleri olan yeğenlerim Yiğit CAN ve Kayra CAN'a sonsuz teşekkürler ederim.

Bilge BOZDOĞAN

AĞUSTOS 2021, KAYSERİ

YÜKSEK KRİSTALLİKTEKİ POLİMERLERDEN ELDE EDİLEN POLİMERLERDEN İNCE FİLM SENTEZ AŞAMASINDA ORTAM SICAKLIĞININ FİLM KALİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Bilge BOZDOĞAN

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2021

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Selda TOPÇU ŞENDOĞDULAR

ÖZET

Polimer ince filmler ve polimer fırçalar yeni yüzey özelliklerinin geliştirilmesinde oldukça ilgi çeken konulardandır. Kristallik derecesi yüksek olan polimerlerden kaliteli film elde edilmesi oldukça zordur. Fakat kristallik faz yönelimi malzemenin birçok özelliğini arttırmaktadır.

Bu yüzden bu çalışmada döndürmeli kaplama tekniği kullanılarak silikon altlık üzerine kristallik derecesi yüksek olan polimerlerden ince filmler sentezlenmiştir. Si altlığın yüzey enerjisinin, çözücü seçiminin, polimer kristallik derecesinin, kaplama sıcaklığının elde edilen film kalitesi üzerindeki etkisi gösterilmektedir. Polimer film yüzey morfolojisi, kalınlığı ve kimyasal bileşimi atomik kuvvet mikroskobu, elipsometri analiz edilmiştir. Polimer yüzey enerjisini karakterize edilebilmesi için temas açısı ölçümleri yapılmıştır.

Kaplama sonrası polimerin yüzeye bağlanması (grafting) ve reaksiyona girmemiş serbest polimer zincirlerinin yıkama ile uzaklaştırılmasından sonra elde edilen polimer fırça olarak adlandırılan yapıların kalınlığı elipsometre, yüzey morfolojisi atomik kuvvet mikroskobu ve yüzey topografisi taramalı elektron mikroskobu ile karakterize edilmiştir. Elde edilen polimer fırçalar üzerine nanopartiküller aşılansak yüzey fonksiyonelleştirilmesi oldukça umut vadeden bir çalışmadır. Polimer fırça yüzeyine Au nanopartiküllerin aşılansak ile ilgili uygulamaya yönelik bazı zorluklar bulunmaktadır. Bu zorluklar polimer fırça aşılansak şartlarının kontrollü ortam gerektirmesi ve malzemeye bağlı hassasiyet ve dinamik süreçler (adsorpsiyon süresi ve enerjisi) olarak değerlendirilebilir. Bu çalışmada polimer fırça üzerine Au nanopartiküller aşılansak ve elde edilen yapı farklı tekniklerle karakterize edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Polimer ince film, Polimer fırça, plastikleştirme, termoplastik, inorganik nanopatikül.

**THE EFFECT OF ENVIRONMENTAL TEMPERATURE ON FILM QUALITY
AT THE STAGE OF THIN FILM SYNTHESIS FROM HIGH CRYSTALLITY
POLYMERS**

Bilge BOZDOĞAN

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, August 2021

Supervisor: Asist. Prof. Selda TOPÇU ŞENDOĞDULAR

ABSTRACT

Polymer thin films and polymer brushes are very interesting topics in the development of new surface properties. It is very difficult to obtain quality films from polymers with high crystallinity. However, the crystalline phase orientation enhances many properties of the material. Therefore, in this study, thin films were synthesized from polymers with high crystallinity on silicon substrate using spin coating technique. The effect of the surface energy of the Si wafer, solvent selection, polymer crystallinity, coating temperature on the obtained film quality is shown. Polymer film surface morphology, thickness and chemical composition were analyzed by atomic force microscopy, ellipsometry. Contact angle measurements were made to characterize the polymer surface energy.

The thickness of the structures, called polymer brushes, obtained after the bonding of the polymer to the surface after coating (grafting) and the removal of unreacted free polymer chains by washing, were characterized by ellipsometer, surface morphology by atomic force microscope and surface topography by scanning electron microscope. Surface functionalization by grafting nanoparticles on the obtained polymer brushes is a very promising study. There are some practical difficulties associated with grafting Au nanoparticles onto the polymer brush surface. These difficulties can be evaluated as the polymer brush grafting conditions requiring a controlled environment and the sensitivity and dynamic processes (adsorption time and energy) depending on the material. In this study, Au nanoparticles were grafted onto the polymer brush and the resulting structure was characterized by different techniques.

Keywords: Polymer thin film, Polymer brush, plasticization, thermoplastic, inorganic nanoparticle.

İÇİNDEKİLER

YÜKSEK KRİSTALLİKTEKİ POLİMERLERDEN İNCE FİLM SENTEZ AŞAMASINDA ORTAM SICAKLIĞININ FİLM KALİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
ONAY	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	x
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

1.1. Genel Bilgiler	3
1.1.1. İnce Film Kaplama Yöntemleri	9
1.1.1.1. Daldırmalı kaplama	9
1.1.1.2. Akış kaplama	10
1.1.1.3. Sprey kaplama	10
1.1.1.4. Termal sprey kaplama	10
1.1.1.5. Plazma polimerizasyonu	11
1.1.1.6. Darbeli lazer birikimi	11
1.1.1.7. Aşılama yöntemi	12
1.1.1.8. Döndürmeli kaplama	13
1.1.2. Polimer Fırça Elde Etme Yöntemi.....	13
1.1.2.1. Fiziksel adsorpsiyon ile polimer fırçaların hazırlanması	14
1.1.2.2. Polimer fırçaları üretmek için “aşılama(grafting to)” yaklaşımı	14
1.1.2.3. Polimer fırça sentezleme “Aşılama(grafting from)” yaklaşımı	15
1.2. Literatür Çalışması	15

2. BÖLÜM

GEREÇ ve YÖNTEM

2.1. Kullanılan Kimyasal ve Malzemeler	17
2.2. Polimer İnce Film Sentezi.....	17
2.3. Polimer Fırça Sentezi.....	22
2.4. Analiz Yöntemleri	22
2.4.1. Elipsometri.....	22
2.4.2. Polarize Işık Mikroskobu	24
2.4.3. Atomik Kuvvet Mikroskobu	25
2.4.4. Taramalı Elektron Mikroskobu	26

3. BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

4. BÖLÜM

SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Sonuç ve Öneriler	36
KAYNAKÇA	37
ÖZGEÇMİŞ.....	44

KISALTMALAR

AFM	: Atomik Kuvvet Mikroskobu
Au	: Altın
EDX	: Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi
NP	: Nanopartikül
PE	: Polietilen
PP	: Polipropilen
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.	Gaertner LSE Elipsometre Cihazı Teknik Özellikleri.....	22
Tablo 2.	Au nanopartikül aşılınmış polietilen fırça EDX yoğunluk grafiğı	35



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.	Polimer dizilimde üzerinde amorf ve kristal bölgeler.....	4
Şekil 2.	Reptasyon teorisi tüp modeli.....	5
Şekil 3.	Aşılama yoğunluğuna göre polimer yapıları.....	8
Şekil 4.	Farklı Polimer İnce filmlere ait AFM görüntüleri a) Polistiren b) Polipropilen c) Polietilen.....	16
Şekil 5.	Daldırılmalı Kaplama Çalışma Prensibi.....	9
Şekil 6.	Sprey kaplama çalışma prensibi.....	10
Şekil 7.	Termal sprey kaplama çalışma prensibi.....	11
Şekil 8.	Darbeli buhar biriktirme çalışma prensibi.....	12
Şekil 9.	Aşılama.....	12
Şekil 10.	Döndürmeli kaplama çalışma prensibi.....	13
Şekil 11.	Si Altlığın yüzey enerjisine bağlı olarak elde edilen farklı PE ince filmlerin optik görüntüleri a) hidrofilik b) hidrofobik	18
Şekil 12.	Çalışma kapsamında geliştirilen tekniğe ait şematik gösterimi	19
Şekil 13.	75°C de hidrofobik (aşındırılmış Si altlık) altlık üzerinde hazırlanan PE ince filmlerin kullanılan çözücüye bağlı optik mikroskop görüntüleri a) klorobenzen çözeltisi b) tolüen çözeltisi c) dekalin çözeltisi.....	20
Şekil 14.	75°C de altlık üzerinde hazırlanan ince filmlerin polimer karşılaştırması.....	21
Şekil 15.	PE-Dekalin çözeltisinden farklı sıcaklıklarda sentezlenen polimer ince filmlerin polarize ışık mikroskobu görüntüleri a) 25°C de sentezlenen b) 75°C de sentezlenen.....	21
Şekil 16.	Üniversite Araştırma Merkezinde Mevcut Elipsometre Cihazı.	23
Şekil 17.	Elipsometre Çalışma Prensibi [68].....	23
Şekil 18.	Mikro Ölçekli Görüntülerin Alınmasında Kullanılan Bölüm Laboratuvarında Mevcut Zeiss Axio Lab A1 Optik Mikroskop Cihazı.....	24
Şekil 19.	Atomik kuvvet mikroskobu cihazı ve program arayüzü	25
Şekil 20.	Nano Ölçekli Görüntülerin Elde Edilmesinde Kullanılan SEM Cihazı.....	26

Şekil 21.	PE-Tolüen çözeltisinden farklı sıcaklıklarda sentezlenen polimer ince filmlerin a)25 °C de sentezlenen ince filmin yüzey pürüzlülüğü şematik gösterimi b)50°C de sentezlenen ince film yüzey pürüzlülüğü şematik gösterimi c)70 °C de sentezlenen ince film yüzey pürüzlülüğü şematik gösterimi d) 25°C Polarize ışık mikroskop görüntüleri e) 50°C Polarize ışık mikroskop görüntüleri f) 75°C Polarize ışık mikroskop görüntüleri	28
Şekil 22.	25 °C sentezlenen PE-Tolüen polimer ince film AFM 40 µm x40 µm a)2D b)3D c) kesit analizi	29
Şekil 23.	50 °C sentezlenen PE-Tolüen polimer ince film AFM 40 µm x40 µm a)2D b)3D c)kesit analizi	30
Şekil 24.	75 °C sentezlenen PE-Tolüen polimer ince film AFM 40 µm x40 µm a)2D b)3D c) kesit analizi	31
Şekil 25.	Farklı sıcaklıklarda sentezlenen PE-Tolüen polimer ince film SEM görüntüleri 5.00kx büyütme a) 25°C b)50°C c) 75°C.....	32
Şekil 26.	Farklı sıcaklıklarda sentezlenen PE-Tolüen polimer ince film SEM görüntüleri 20.00Kx büyütme a) 25°C b)50°C c) 75°C.....	32
Şekil 27.	Sıcaklığa bağlı polimer/altlık arayüzeyinin gelişiminin şematik gösterimi a)Adsorpsiyon öncesi Si Substrat b)Oda sıcaklığında zincir adsorpsiyonu c)75°C de zincir adsorpsiyonu.	32
Şekil 28.	Farklı sıcaklıklarda sentezlenen PE-Tolüen polimer ince filmde elde edilen polimer fırça yapıları a)25°C b)75°C	33
Şekil 29.	25°C de sentezlenen polimer ince filmde elde edilen polimer fırça yapısının kesit (Section) analizi	33
Şekil 30.	75°C de sentezlenen polimer ince filmde elde edilen polimer fırça yapısının kesit (Section) analizi	34
Şekil 31.	Polimer fırça(brush) yapısı ve Au nanopartikül ekilmiş(grafted) polimer fırça şematik gösterimi.....	34
Şekil 32.	Au nanopartikül aşılınmış polimer fırça yapısı a)20.00 K b)50.00 K	35
Şekil 33.	Au nanopartikül aşılınmış polietilen polimer fırça grafiği	35

GİRİŞ

Polimerik ince film (~100 nm) yapıları uygulandıkları yüzeylere yeni özellikler kazandırmaları amacıyla akademik ve sanayi anlamında önemlidir. Polimer ince filmlerin dinamik özelliklerinin, camsı geçiş sıcaklığının, difüzyon ve viskoelastik özelliklerinin yığın halindeki polimerden farklı olduğu bilinmektedir [1].

İlgili kaplamaların yüzey üzerinde ince film olarak oluşturulması farklı yöntemler üzerinden sağlanabilmektedir. Bu yöntemler; döndürmeli kaplama [2], daldırılmalı kaplama [3], akış kaplama [4], sprey kaplama [5], termal sprey kaplama [6], plazma polimerizasyonu [7], aşılama [8], darbeli lazer birikimi [9] şeklinde en sık karşılaşılan alternatifler olarak sıralandırılabilir. Döndürmeli kaplama yöntemi basit, ucuz, tekrarlanabilir, kontrol edilebilir olmasının yanında kaplamanın homojenliği açısından da sağladığı avantajlar nedeniyle alternatif yöntemler arasında laboratuvar ortamında en çok kullanılan yöntemdir.

Bu tez çalışmasının konusu, yüksek camsı geçiş sıcaklığına sahip polimerlerden (polietilen (PE), polipropilen (PP) gibi) elde edilmek istenilen ince filmlerin yapılarının ve kararlılıklarının döndürmeli kaplama yönteminin parametreleri (ortam sıcaklığı, döndürme hızı, süresi, çözücü türü vb.) üzerinden kontrolünün çalışılmasıdır. Döndürmeli kaplama yöntemi üzerinden kontrol edilmesi istenilen ince filmlerin makro özelliklerinin değişkenliği ayrıca ilgili polimer yapılarına (moleküler ağırlık [10], yoğunluk [11], termal özellikler [12] ve kristalite [13] gibi) doğrudan bağlıdır.

Molekül ağırlığı arttıkça polimerin yoğunluğu artmaktadır. Polimerin yoğunluğu arttıkça da kristallliği artar, bunun sonucunda sertlik, erime noktası, gerilme mukavemeti ve nem ve gazlara karşı bariyer özelliğinde artışa neden olur [11].

Polimer miktarı arttıkça viskozite artar ve özellikle bu tür yüksek camsı geçiş sıcaklığına sahip polimerlerin işlenmesi daha da zorlaşmaktadır. Bu nedenle tez

alışmasın da konsantrasyona bağlı etkileşimleri göz ardı ederek malzeme ve kaplama parametrelerine bağlı optimizasyonu sağlayabilmek adına çözelti içerisindeki polimer derişiminin sabit tutulmuştur. Bu bağlamda literatür araştırmaları sonucunda sabit derişimin dikkate alınması düşünölmüştür. Literatür araştırmaları sonucunda yukarıda belirtilen malzeme ve süreç odaklı parametrelerin esas alındığı yüksek kristallikteki polimerlerden son ürünün özelliklerini dikkate alan ince film sentezlenmesine ait bir çalışma tespit edilememiştir. Bu anlamda termodinamik etkileşimler esas alınarak tüm sürecin homojen bir sıcaklık altında yürütölmesi, kontrollü bir deney süreci üzerinden sentezlenecek ince film yapısının incelenmesi ve bu kapsamda yeni bir teknik geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu motivasyonla oluşturulmuş olan tez önerisinde yüksek camsı geçiş sıcaklığına sahip yarı kristal polimerlerden (PE, PP) döndürmeli kaplama yöntemiyle oda sıcaklığında sentezlenmesi mümkün olmayan kararlı ince filmlerin sentezlenerek yapısal ve mekanik özelliklerinin süreç üzerinden kontrol edilmiştir.

Bu çalışmanın amacı yüksek ergime sıcaklığı ve kristalliğe sahip polimerlerden döndürmeli kaplama yöntemi ile ince film sentezlenmesi kapsamında sabit polimer çözelti konsantrasyonu altında polimer yapısı, kristalliği, molekül ağırlığı ve çözücü yapısı ile altlığın etkilerine ek olarak kaplama sıcaklığının son ürün üzerindeki etkilerinin incelenmesi ve elde edilen bilgilerin bir sistematığe dönüştürölmesidir.

Yarı kristal polimerlerde kristal faz yönelimi, özellikle mekanik dayanım, darbe dayanımı, nem bariyeri ve optik özellikler gibi özellikleri doğrudan etkilemektedir [14]. Fakat kristallikleri nedeniyle kaplama kalitesi oldukça düşüktür. Plastikleşme süreci sırasında kaplama kalitesi kristal yapı üzerinden optimize edilebildiğinde malzemelerin kullanım alanlarının ve özelliklerinin geliştirilebileceği düşünölmektedir.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

1.1. Genel Bilgiler

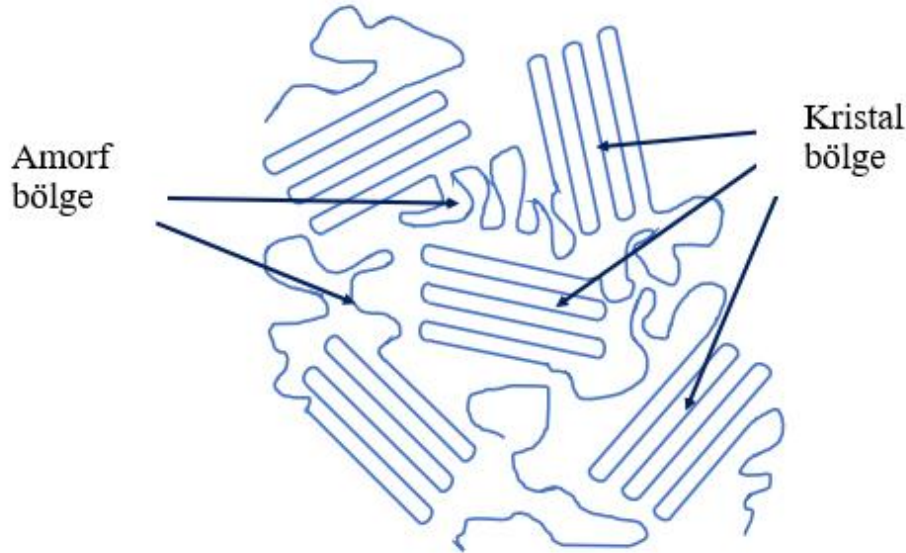
Polimerler; termoplastikler, elastomerler, termosetler olarak 3 gruba ayrılır. Termoplastikler, ısı uygulaması üzerine sıvı hale gelen doğrusal veya dallı polimerlerdir. Enjeksiyon kalıplama ve ekstrüzyon gibi işleme teknikleri kullanılarak hemen hemen her şekle dönüştürülebilen termoplastikler, ticari üretimde polimerlerin büyük oranını oluşturmaktadır. Termoplastik malzemeler ısı işlem uygulanarak yeniden şekillendirilebilir fakat zincirde kırılmalar olması durumunda malzeme fiziksel özelliklerini kaybedebilir. PE (düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) ve yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE)), PP ve poli vinil klorür (PVC) en önemli termoplastiklerden bazılarıdır. Termoplastik malzemelerden yönlendirilmiş filmlerin üretimi polimer endüstrisinin büyük bir bölümünü temsil etmektedir.

Polimer moleküllerinin kristalleşme yeteneğine sahip olduğu 1957 yılında kabul edilmiştir [15]. Polimerler yapısal olarak amorf, yarı kristal ve kristal polimerler olmak üzere 3 gruba ayrılır. Amorf polimerler serbest dizilim yapısına sahip şeffaf ve esnek polimerlerdir. Yarı kristalin polimerler amorf polimerlere göre daha opak bir yapıya sahiptir. Yarı kristal polimerlerin hem amorf hem kristalin bölgeleri bulunmaktadır ve amorf bölgelerinden ışığı geçirme özelliğine sahiptir. Şeffaflık azaldıkça kristallik artar. Kristallik derecesi arttıkça da polimerlerin mukavemeti artar. Kristalleşme derecesi, polimerin tipine ve molekülerin mikro yapısına göre değişmektedir. Ayrıca polimerlerde kristallik derecesi arttıkça camsı geçiş sıcaklığı da artmaktadır. Cam geçiş sıcaklığı, bir polimerin sert ve kırılığandan yumuşak ve bükülebilir hale geldiği sıcaklıktır. Polimerlerin kristalizasyonu teknolojik açıdan oldukça önemli bir noktadadır. Polimer kristalizasyonu son yıllarda kapsamlı bir şekilde incelenmiş olsa bile ince filmlerde kristalizasyon bu alanda oldukça yeni bir çalışmadır [16]. Sanayide

ve literatürde genellikle amorf polimer filmler üzerine çalışmalar olduğu gözlenmiştir. Çünkü kristallik derecesi yüksek olan polimerlerden elde edilen filmlerde, filmin kristalleşmeye yatkın olması homojen olmayan film elde edilmesine neden olmaktadır [20-22]. Literatür araştırmalarına bakıldığında kristallizasyon probleminin üstesinde gelebilmek için altlık ve ortam sıcaklığının polimer film üzerindeki etkisi üzerine birkaç çalışma bulunmaktadır [14, 24]. Kristalizasyon problemi olmasına rağmen endüstriyel uygulamalara bakıldığında polietilen en çok tercih edilen polimerlerden biridir.

Bu çalışmada döndürmeli kaplama yöntemi üzerinden kontrol edilmesi istenilen ince filmlerin makro özellikleri ilgili polimerin yapıları (moleküler ağırlık [10], yoğunluk [11], termal özellikler [12] ve kristalite [13] gibi) ile doğrudan ilişkilidir.

Molekül ağırlığı arttıkça polimerin yoğunluğu artmaktadır. Polimerin yoğunluğu arttıkça da kristallliği artar, bunun sonucunda sertlik, erime noktası, gerilme mukavemeti ve nem ile gazlara karşı bariyer özelliğinde artışa neden olur [11].

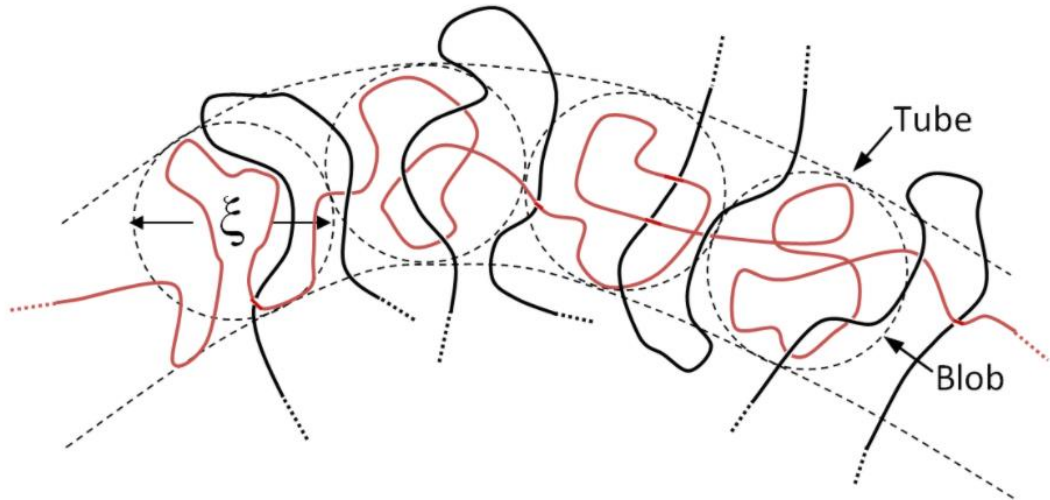


Şekil 1. Polimer dizilimde üzerinde amorf ve kristal bölgeler [21].

Nanometre boyutunda homojen yüzey özelliklerine sahip polimer ince filmler yüksek yüzey alanı/ hacim oranı nedeniyle birçok alanda kullanılmaktadır. Polimer ince filmler; gaz sensörleri, nem sensörleri, mikro elektrik-mekanik sistemler, antibakteriyel

yüzeyler, elektrot üretimi, membran üretimi ve sıvı kristal ekranlar gibi teknolojik uygulamalarda oldukça fazla kullanılmaktadır [26-31].

Bu çalışmada polimer ince filmlerin hazırlanması sırasında çözelti konsantrasyonundan bağımsız olarak altlık seçimi (silisyum/alüminyum/bakır), çözücü seçimi (tolüen, dekalin), polimer seçimi (yapısı, molekül ağırlığı), kaplama sırasındaki ortam sıcaklığı, altlık sıcaklığı, kaplama sırasında kullanılan olan yardımcı materyallerin sıcaklığı, döndürmeli kaplama sırasındaki döndürme hızı (rpm) ve süresi dahil olmak üzere çeşitli işlem parametrelerinin kristalleşme üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu işlemler sırasında polimer filmlerin kalınlıkları elipsometre cihazı ile belirlenmiş ve polimer film görüntüsünün elde edilmesinde optik mikroskop ve film morfolojisinin incelenmesinde ise atomik kuvvet mikroskopu (AFM) kullanılmıştır.



Şekil 2. Reptasyon teorisi tüp modeli[24].

Reptasyon teorisi (sürünge) ilk olarak 1971'de Piere Gill de Gennes tarafından önerilmiştir ve daha sonra Maasai Doi ve Sam Edwards tarafından tüp modelinin oluşturulmasına imkân sağlamıştır. Bu model, konsantre çözeltiler ve eriyiklerdeki uzun polimer zincirlerinin termal hareketini tanımlamaktadır [25,26]. Doi ve Edwards, dolaşık bir polimer molekülünün hareketinin bir tüpteki bir polimerin hareketine benzediğini, yani bir polimer molekülünün uzun menzilli hareketine yalnızca esasen kendi geçişi boyunca izin verildiğini varsaymışlardır [25]. Yayılma yolu kıpırdayan bir yılan benzediğinden bu sürünge hareketi için Latince'de yer alan “reptation” kelimesi

tercih edilmiştir. Sanal tüp, çevreleyen ve birbirine dolanan polimer molekülleri tarafından oluşmaktadır. Her molekül sürekli hareket etse de, moleküllerin sanal tüp içinden geçmesi için gereken süre boyunca yaklaşık olarak aynı kalır. Bu zaman gevşeme zamanı (τ_{rep}) olarak bilinir.

Ayrıca, sınırlandırılmış zincirlerin tüpün şekli boyunca hareketi, çevreleyen moleküllerden etkilenmez. Bu nedenle, tüp modeli iki varsayıma dayanmaktadır: (a) her molekülün hareketi komşu moleküllerin hareketlerinden bağımsızdır, yani polimer moleküllerinin işbirliği hareketi gerçekleşmez ve (b) moleküllerin yanal hareketi ihmal edilebilir, yani moleküller tamamen çevreleyen zincirlerin oluşturduğu sanal tüp içinde kalır.

İlkel yol, monomerlerin tüp boyunca ortalama konumlarıyla çakışan polimer zincirinin uç grupları arasındaki en kısa yolu tanımlar. Şekil 2’de bu yolun varsayımsal bir kalınlık zincirinin yörüngesini oluşturduğu görülmektedir. Hesaplamaları basitleştirmek için, gerçek zinciri, a uzunluğunda N istatistiksel segmentten oluşan bir Kuhn zinciri ile değiştirildiği varsayılmıştır. Ayrıca zincirin ξ çapında "bloblar" oluşturduğu öngörülmüştür. Hem gerçek Kuhn köşe uzunluğu zinciri (N_a) hem de ilkel yol (L), eriyik içinde rastgele bobinler olarak ele alınabilir. Böylece, ilkel yolun kontur uzunluğu, ortalama çapının ξ çarpı N / N_e blob sayısına eşittir:

$$L \sim N \xi / N_e \sim N a / N_e^{1/2} \quad \text{Denklem 1.}$$

Burada N_e 'nin iki ardışık dolaşıklık arasındaki parça sayısına eşit olduğu ve ξ 'nin alt zincirin ortalama uçtan uca mesafesine eşit olduğu varsayılır, $\xi \sim a N_e^{1/2}$.

Gevşeme veya çözülme süresi, zincirin ilk tüpten dışarı çıkması (yayılması) için gereken süreye karşılık gelir. Aşağıda gösterileceği gibi, bu süre N^3 ile orantılıdır. Rastgele (Brownian) hareket varsayıldığında, ortalama kare yer değiştirme şu şekilde verilir:

$$L^2 \sim D_t \tau \quad \text{Denklem 2.}$$

Burada D_t , Einstein ilişkisi ile hesaplanabilen difüzyon katsayısıdır.

$$D_t = kT / \mu_t \quad \text{Denklem 3.}$$

ve μ_t , tüp boyunca sürünen zincirin sürtünme katsayısıdır. Bu katsayı, tek bir bağlantınınkinden N kat daha yüksektir, $\mu_t = N \mu$. Kuhn zincirinin orijinal tüpünün uzunluğunu değiştirmek için gereken süre:

$$\tau \sim L^2 / D_t = L^2 \mu_t / kT = L^2 N \mu / kT \quad \text{Denklem 4.}$$

$L \sim N a / N_e^{1/2}$ yerine koyarsak

$$\tau \sim a^2 N^3 \mu / N_e T \sim N^3 \mu \quad \text{Denklem 5.}$$

Gevşeme süresi viskoziteyi (η) belirlediğinden, reptation(sürünge) modeli tahmini,

$$\eta \sim N^3 \sim M^3 \quad \text{Denklem 6.}$$

burada M , polimer zincirinin moleküler ağırlığıdır. Bu bulgu, deneysel sonuç olan $\tau \sim \eta \sim M^{3.4}$ ile iyi bir uyum içindedir.

Sürünge(reptation) modeli zincirlerin dolaşıklık içindeki hareketini tanımladığı için sadece uzun zincirler için geçerlidir. Pratikte bu model sadece $M \gg M_e$ olan polimerlere uygulanabilir. Daha kısa (dolaşmamış) zincirler için viskozite, moleküler ağırlıkla doğrusal orantılıdır:

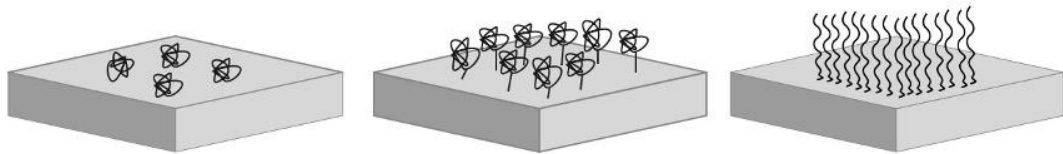
$$\eta \sim N \sim M \quad \text{Denklem 7.}$$

Böylece, reptasyon modeline göre, dolaşık olmayan polimer eriyiğine dolaşmış polimer eriyiğinden geçiş, kuvvet yasası üssünde $v = 1$ 'den $v = 3$ 'e bir değişikliğe yol açar.

Polimer fırçalar, bir uç tarafından bir yüzeye veya bir arayüze bağlanan polimer zincirlerinin bir birleşimini ifade eder[27–29]. Polimer zincirlerinin aşılama yüzeyine dik yön boyunca gerildiği bu durum, zincirlerin rastgele yürüyüş konfigürasyonunu benimsediği çözeltideki esnek polimer zincirlerinin tipik davranışından oldukça farklıdır. Literatürde farklı çalışmalar, yoğun şekilde bağlı zincirlerin deformasyon davranışlarının birçok yönden farklılıklar barındırdığını ve bunun da polimer fırçaların sağladığı birçok yeni ve/veya gelişmiş özellik ile sonuçlandığını göstermektedir[28]. Polimer zincirlerinin yüzey veya arayüze bağlanması tersinir veya tersinmez olabilir. Polimer fırçalar (veya bağlı polimerler), polimer moleküllerinin kolloidal partiküllere aşılmasında flokülasyonu önlemenin çok etkili bir yolu olduğunun keşfedildiği

1950'lerde dikkat çekmiştir [30,31]. Başka bir deyişle, süspansiyon çözücüyü tercih eden polimer zincirleri koloidal partikül yüzeyine eklenebilir; yaklaşan iki partikülün fırçaları üst üste binmeye karşı direnç gösterir ve koloidal stabilizasyon sağlanır. Fırçalar arasındaki itme kuvveti, nihayetinde fırçaların içindeki yüksek ozmotik basınçtan kaynaklanır. Daha sonra, polimer fırçaların yeni yapışkan malzemeler [32,33], proteine dirençli biyolojik yüzeyler [34], kromotografik cihazlar [35], yağlayıcılar [36], polimer yüzey aktif maddeler [27] ve polimer bağdaştırıcılar [27] gibi diğer uygulamalarda faydalı olabileceği anlaşılmıştır. Düşük kritik çözelti sıcaklığı (LCST) özelliklerine sahip olan bağlı polimerler, LCST sıcaklığının üstünde ve altında farklı ıslatma özellikleri sergilemektedirler [37].

Ito ve çalışma arkadaşları [38–40] gözenekli zarlardan sıvı akış hızını düzenlemek için kullanılan, gözenekli zarlara kovalent olarak bağlı pH'a, ışığa ve oksitlenmeye duyarlı polimer fırçalar bildirmiştir. Suter ve çalışma arkadaşları [41,42] organik-inorganik hibritlerin üretimi için yüksek yüzey alanlı mika üzerinde polistiren fırçalar hazırlamışlardır. Katyon içeren peroksit serbest radikal başlatıcılar, iyon değişimi yoluyla mika yüzeylere bağlanarak stiren monomerlerini polimerize etmek için kullanılmıştır. Bu işlem nanokompozitler alanında önemlidir. Desenli ince organik filmler mikroelektroniklerde [43], hücre büyüme kontrolünde [44,45], biyomimetik malzeme imalatında [46], mikro reaksiyon kabında ve ilaç dağıtımında [47] faydalı olabilmektedir.



Şekil 3. Aşılama yoğunluğuna göre polimer yapıları[27,48].

Sonuç olarak fırça yapıları polimer ince filmlerin yüzey modifikasyonunda sıkça kullanılan faydalı bir teknik ve yapı olarak görülmektedir. İlgili yapıların elde edilmesinde polimer konformasyonu en belirleyici parametrelerden birisidir ve ayrıca

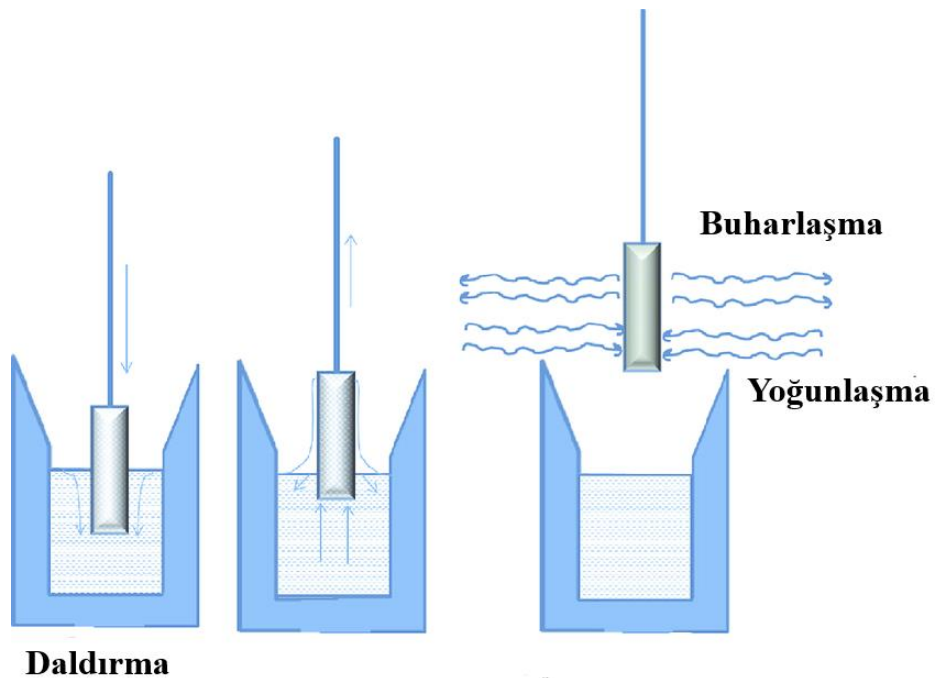
zincir düzeni denge koşulunun sağlanmasında oldukça etkindir. Bu nedenle literatüre bakıldığında atmosferik koşullara karşı dayanımı düşük ve bu nedenle hassas polimerler veya yüksek maliyetli kopolimer yapılarının tercih edildiği görülmektedir. Bu çalışmada esas alınan deneysel çalışmalar üzerinden ise PE gibi genel ticari kullanımı ile öne çıkan polimerlerin hem ince film hem de fırça yapılarının plastikleşme sıcaklığı üzerinden kontrolü çalışılmıştır.

1.1.1. İnce Film Kaplama Yöntemleri

Polimer ince film kaplamalarının uygulanmasında döndürmeli kaplama, daldırmalı kaplama, akış kaplama, spreycaplama, termal spreycaplama, plazma polimerizasyonu, aşılama, darbeli lazer birikimi gibi yöntemler kullanılabilir.

1.1.1.1. Daldırmalı kaplama

Substrat polimer çözeltisine düzgün ve titreşimsiz hareket ile daldırılır ve daha sonra çıkarılır. Substratın düzlemsel olması yardımıyla kaliteli bir film elde edilebilir. Film kalınlığı; çözeltiye daldırma hızı, çözeltiden geri çekme hızı, çözelti konsantrasyonuna ve viskozitesine bağlıdır. Düzlemsel olmayan substratlar için kontrol edilebilirlik daha düşüktür ve film kalınlığı homojen değildir [49,50].



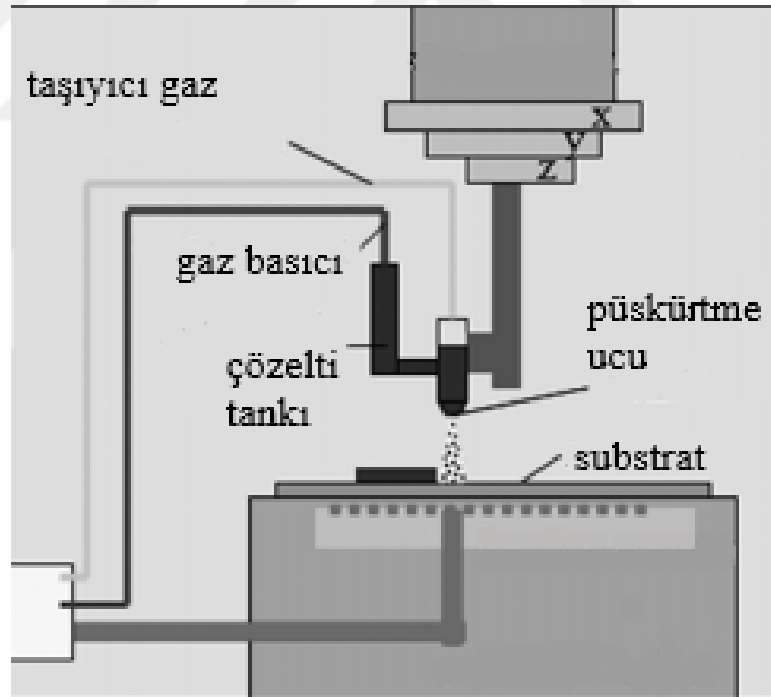
Şekil 4. Daldırmalı Kaplama Çalışma Prensibi [49].

1.1.1.2. Akış kaplama

Daldırma ile kaplama tekniğine oldukça fazla benzemektedir. Bu yöntemde substratı polimer çözeltisine daldırılmak yerine polimer çözeltisi substrat üzerine dökülür. Film kalınlığını etkileyen faktörler eğim açısı, çözelti konsantrasyonuna ve viskoziteye bağlıdır [51,52].

1.1.1.3. Sprey kaplama

Polimer çözeltisi substrata püskürtülmesi ile oluşturulur. Hem kimyasal çözelti birikiminin yüksek kalitede oluşmasında hem de basamak kapsamı kaplaması dahil üç boyutlu imalatta avantajlara sahiptir. Çözücünün püskürtme sırasında bir kısmı buharlaşır ve kalan çözücü zamanla buharlaşır. Sprey kaplama yöntemi düzlemsel olmayan substratlara uygulanabilir fakat film kalınlığının kontrol edilebilirliği, tıpkı dip kaplama gibi düşüktür [53,54].

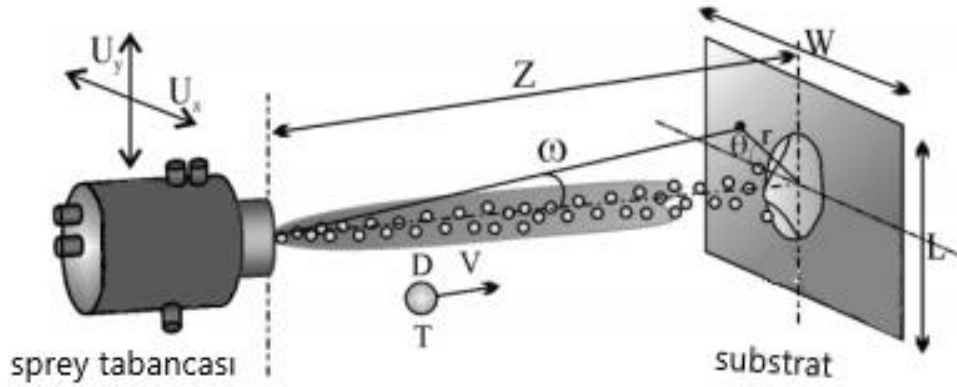


Şekil 5. Sprey kaplama çalışma prensibi [53].

1.1.1.4. Termal sprey kaplama

Çözücü gerektirmeyen bir kaplama yöntemidir. Bu kaplamada polimer tozu bir ısı kaynağına maruz kalır ve önceden ısıtılmış substrat üzerine püskürtülür. Film kalınlığı

ve homojenlik kontrol edilebilir. Film kalınlığı polimer püskürtme sayısıyla, homojenlik ise püskürtülen polimerin parçacık boyutuyla doğrudan ilişkilidir [55,56].



Şekil 6. Termal spreyle kaplama çalışması prensibi [55].

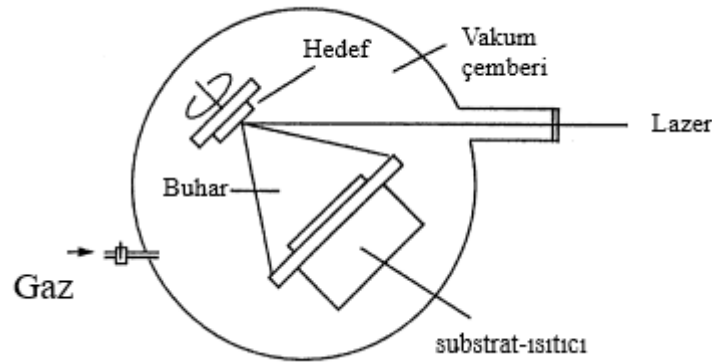
1.1.1.5. Plazma polimerizasyonu

Plazma polimerizasyonunda vakum odasına bir monomer eklenir. Monomer herhangi bir kimyasal bileşik eklemeye gerek duyulmadan polimer oluşturmak için reaksiyona girer. Oksidasyon, monomerlerden oluşan moleküllerin çarpıştığı elektrik alan boyunca hareket eden serbest elektronların etkisi ile desteklenir. Bu koşullarda, plazma tarafından sentezlenen polimer farklıdır çünkü reaksiyonlarda ara kimyasal bileşikler olmadan oluşturulabilir. Plazma polimerizasyon ürünü substrata kovalent bağ ile bağlanır. Zincirler ile zincir-substrat arasındaki çapraz bağlanma mobilizasyonu önler [57]. Deney koşullarını kontrol etmek filmin kalınlığı ve homojenliği kontrol edilebilir. Bununla birlikte, üretim amaçları için nispeten yavaş ve karmaşık olan bir vakum tekniği olmasının önemli bir dezavantajı vardır ve plazma-polimerize filmin kimyasını kontrol etmek sadece bir dereceye kadar mümkündür. Plazma polimerize filmler; ince, pürüzsüz, homojendir ve iyi tutunma özelliklere sahiptir [58,59].

1.1.1.6. Darbeli lazer birikimi

Darbeli lazer birikimi, çözücü içermeyen yüksek vakum (UHV) tekniğidir. Bu yöntemde katı veya sıvı yoğun bir lazer ışığı altında buharlaşır ve uzaklaşır. Buharın kesin oranı ve kinetik enerjisi, lazer parametrelerine (yoğunluk, dalga boyu, darbe genişliği) ve bir dereceye kadar hedef numuneye bağlı olan bir atom, molekül, iyon ve

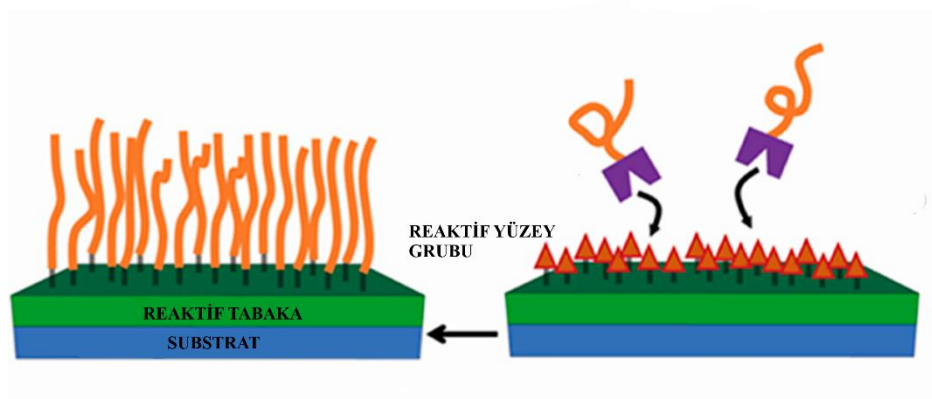
elektron topluluğudur. Bu buhar başka bir yüzeyle temas ederse, yüzeyde yeniden yoğunlaşabilir. Lazer ışığının tekrarlanan atımları ve daha sonra tekrarlanan buhar, ince bir film oluşturmak için substrat yüzeyi üzerinde malzeme birikimi oluşturabilir [9, 45]. Vakum tekniği, termal ve muhtemelen fotokimyasal bozunma ürünlerinden dolayı oldukça düşük bir kimyasal kontrol edilebilirliğe sahiptir.



Şekil 7. Darbeli buhar biriktirme çalışma prensibi [60].

1.1.1.7. Aşılama yöntemi

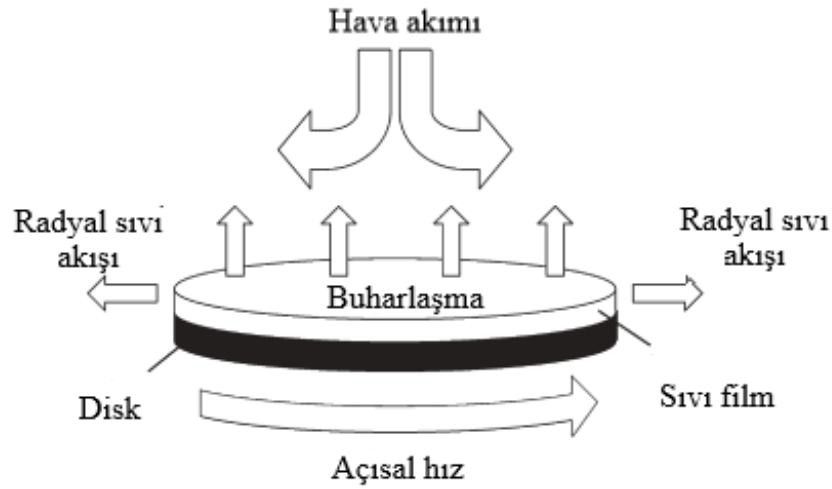
Aşılama yönteminde, reaktif fonksiyonel gruplara sahip polimerler genellikle polimeri substrata kimyasal olarak bağlayan bir aracı vasıtasıyla substrat üzerine aşılabilir. Bu yöntemde film kalınlığı aşılama yoğunluğu ve kullanılan polimerin moleküler ağırlığı yardımıyla kontrol edilir. Aşılamanın bir avantajı, polimerin yüzey üzerinde hareketsizleştirilmesidir. Kaplamanın sadece bir tek tabakayla sınırlı olması bazı uygulamalarda bir dezavantaj olacaktır [8, 46].



Şekil 8. Aşılama [62].

1.1.1.8. Döndürmeli kaplama

Döndürmeli kaplama, çok yönlülüğü, düşük maliyeti, basitliği ve tekrarlanabilirliği nedeniyle çeşitli organik veya inorganik fonksiyonel malzemelerin nanometre kalınlığında ince filmlerini hazırlamak için en kullanışlı yöntemlerden biridir. Bu yöntemde polimer öncelikle uygun bir çözücü içerisinde çözülür. Döndürmeli kaplama cihazında istenilen dönme hızı ve süresi belirlenir. Temizlenmiş yüzeye sahip olan altlık cihazın ortasında bulunan kısma yerleştirilir ve pompa yardımıyla vakum uygulanır çözelti altlığın üzerinde damlatılır daha sonra istenilen döndürme hızı ve süresi uygulanır. Bu yöntemde asıl olarak merkezkaç kuvveti uygulanarak çözeltinin fazla olan kısmı anında uzaklaştırılmış olur ve radyal olarak akmaya devam eden bir film kalır. Geriye kalan çözücünün de buharlaşmasıyla ince bir film elde edilmiş olmaktadır. Oluşan filmin kalınlığını etkileyen en önemli faktörler döndürme hızı, çözeltideki polimer konsantrasyonu, çözücü uçuculuğu ve çözelti viskozitesidir [2, 24].



Şekil 9. Döndürmeli kaplama çalışma prensibi [63].

1.1.2. Polimer Fırça Elde Etme Yöntemi

Genel olarak, polimer fırçaları üretmenin fizisorpsiyon ve kovalent bağlanma olarak iki yolu vardır. Polimer fizisorpsiyon için, blok kopolimerler, bir bloğun yüzeye kuvvetli bir şekilde etkileşime girdiği ve diğer bloğun alt tabaka ile zayıf bir şekilde etkileştiği uygun bir alt-tabaka üzerine adsorbe olur. Kovalent bağlanma, ya "aşılama" ya da "buradan aşılama" yaklaşımlarıyla gerçekleştirilebilir. Bir "aşılama" yaklaşımında, önceden oluşturulmuş uç işlevli polimer molekülleri, polimer fırçalar oluşturmak için

uygun bir alt tabaka ile reaksiyona girer. “Aşılama” yaklaşımı, yüksek aşılama yoğunluğuna sahip polimer fırçaların sentezinde daha umut verici bir yöntemdir. “-dan aşılama”, immobilize başlatıcılar oluşturmak için bir substratı plazma veya ışıma deşarjı ile işleme tabi tutarak ve ardından polimerizasyonla gerçekleştirilebilir. Bununla birlikte, iyi tanımlanmış kendiliğinden birleştirilmiş tek katmanlardan (SAM'ler) “aşılama”, yüzeydeki yüksek yoğunluktaki başlatıcılar ve iyi tanımlanmış bir başlatma mekanizması nedeniyle daha çekicidir. Ayrıca polimer sentez tekniklerindeki ilerleme, kontrol edilebilir uzunluklarda polimer zincirlerinin üretilmesini mümkün kılmaktadır. Polimer fırçaları sentezlemek için kullanılan polimerizasyon yöntemleri arasında katyonik, anyonik, TEMPO aracılı radikal, atom transfer radikal polimerizasyonu (ATRP) ve halka açma polimerizasyonu bulunur.

1.1.2.1. Fiziksel adsorpsiyon ile polimer fırçaların hazırlanması

Polimer zincirlerinin katı bir yüzeye bağlanması, tersinir bir işlem veya geri döndürülemez bir işlem olabilir. Geri dönüşü olmayan aşılama, kimyasal bağlama ile gerçekleştirilir, bu yöntem “aşılama(grafting to)” ve “aşılama(grafting from)” işlemlerini içerir. Fiziki adsorpsiyon, tersine çevrilebilir bir işlemdir ve polimerik yüzey aktif maddelerin veya son işlevli polimerlerin katı bir yüzey üzerinde kendiliğinden bir araya gelmesiyle elde edilir [64]. Yüzey aşılama yoğunluğu ve yapının diğer tüm karakteristik boyutları, olası kinetiklerle de olsa termodinamik denge tarafından kontrol edilir [28].

1.1.2.2. Polimer fırçaları üretmek için “aşılama(grafting to)” yaklaşımı

"Aşılama" yaklaşımı, bağlı bir polimer fırça oluşturmak için uygun koşullar altında uygun bir substrat yüzeyi ile reaksiyona giren önceden oluşturulmuş, son işlevselleştirilmiş polimerleri ifade eder[65,66]. Yüzey ve polimer zinciri arasında oluşan kovalent bağ, polimer fırçaları sağlam ve genel kimyasal çevre koşullarına karşı dirençli hale getirir. Bu yöntem, polimer fırçaların hazırlanmasında sıklıkla kullanılmıştır. Dar bir moleküler ağırlık dağılımına sahip uç işlevli polimerler, canlı anyonik, katyonik, radikal, grup transferi ve halka açma metatez polimerizasyonları ile sentezlenebilir. Substrat yüzeyi, aynı zamanda, uygun fonksiyonel grupları dahil etmek için, birleştirme ajanları veya kendiliğinden oluşan tek tabakalar tarafından modifiye edilebilir.

1.1.2.3. Polimer fırça sentezleme “Aşılama(grafting from)” yaklaşımı

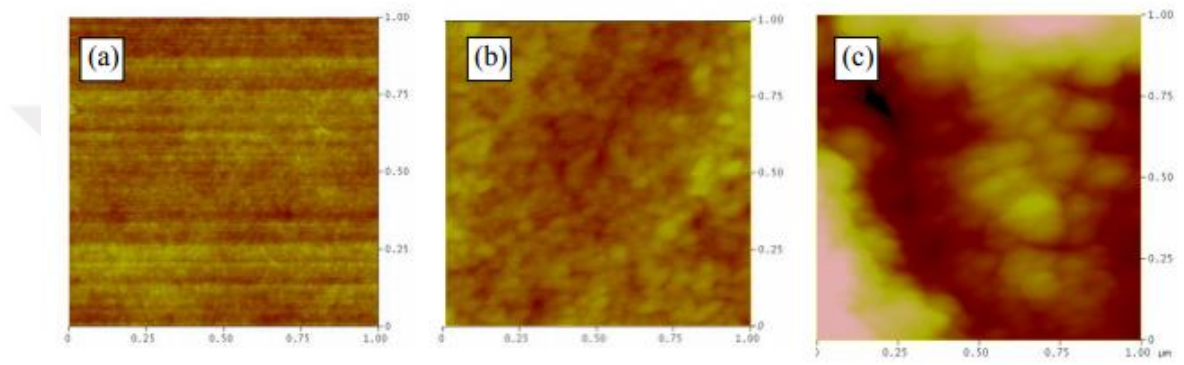
“Aşılama” yaklaşımı, katı bir substrat yüzeyi üzerinde bağlı polimerlerin hazırlanmasında son yıllarda büyük ilgi görmüştür[38,39]. Başlatıcılar, bağlı polimerler oluşturmak için yüzey üzerinde hareketsiz hale getirilir, ardından yerinde yüzey başlatmalı polimerizasyon yapılır. Substrat yüzeyi üzerinde başlatıcıların immobilizasyonu, substratın bir gaz varlığında plazma veya ışıma deşarjı ile muamele edilmesi veya substratlar üzerinde başlatıcı içeren kendi kendine monte edilmiş tek tabakalar oluşturulmasıyla elde edilebilir.

1.2. Literatür Çalışması

Mellbring ve diğerlerinin yapmış olduğu çalışma da polimer olarak HDPE ($M_w=72,000$) ve çözücü olarak dekalın kullanılmıştır. Çözelti normalde istenilenden daha seyreltik hazırlanmış 2 saat kaynatılmış ardından tekrar 6 saat daha kaynatılarak daha derişik hale getirilmiştir. Döndürme hızı 800-4000 rpm aralığında çalışılmıştır. Kaplama sıcaklığı 100-180 °C aralığında yapılarak farklı kalınlıklarda ince filmler elde edilmiştir. Aynı zamanda altlığın yanı sıra kullanılan ekipmanlar da önceden ısıtılmıştır [20]. Lock ve diğerlerinin çalışmasında ise farklı tipte polimerler temel alınarak yapılmıştır. Çalışılan polimerler; polistiren ($M_w=280,000$), polietilen ($M_w=125,000$) ve polipropilen ($M_w=12,000$) polimerleridir. Polimerlerin çözünmesi için %99 saflıkta dekalın (kaynama sıcaklığı yaklaşık 189-191 °C) ve %99,8 saflıkta tolüen kullanılmıştır. Polistiren tolüen içerisinde 50 °C de 2 saatte çözünmektedir. Polietilen ($T_m=120-130$ °C) ve polipropilen ($T_m=160-165$ °C) gibi polimerler için ise seçilen çözücünün daha yüksek buharlaşma sıcaklıklarına sahip olması gerekmektedir. Çözünmenin tam olarak sağlanması için dekalın içerisinde polietilen ve polipropilen 160 °C üzerinde sıcaklıkta 3 saatten daha fazla süre boyunca karıştırılmıştır. Kaplama öncesinde altlık 60-80 °C sıcaklık aralığında ve kaplama sırasında kullanılan ekipmanların (pipet ucu vb) ise 120 °C sıcaklıkta olması sağlanmış ve homojen ince filmler kaplanmış [19].

Farklı polimerlerden elde edilen farklı kalınlıktaki ince filmlerin morfolojik görüntüleri şekil 10’de görüldüğü gibidir [14]. Bu AFM görüntülerine bakarak üretilen filmlerin pürüzlülüğü gittikçe arttığı görülmektedir. Bu çalışmada hazırlanan polistiren film amorf bir polimer olmakla birlikte kaplama sırasında herhangi bir sıcaklığa ihtiyaç duymamaktadır. Polistiren elde edilen film kalınlığının 10 nm olduğu ve filmin daha

düşük yüzey pürüzlülüğüne sahip olduğu gözlemlenmiştir. Polipropilen ve polietilen kristal kristallik derecesi yüksek polimerlerdir. Polipropilenden elde edilen film kalınlığı 10 nm ve polietilenden elde edilen film kalınlığı 200 nm olduğu görülmüştür. Polimerin kristallığı molekül ağırlığına, polimer yoğunluğuna, camsı geçiş sıcaklığına, ergime sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Polietilenden elde edilen filmin bu parametrelerden nedeniyle çok daha yüksek yüzey pürüzlülüğüne ve daha kötü homojenliğe sahip film elde edildiği düşünülmektedir.



Şekil 10. Farklı Polimer İnce filmlere ait AFM görüntüleri a) Polistiren b) Polipropilen c) Polietilen [19].

2. BÖLÜM

GEREÇ ve YÖNTEM

2.1. Kullanılan Kimyasal ve Malzemeler

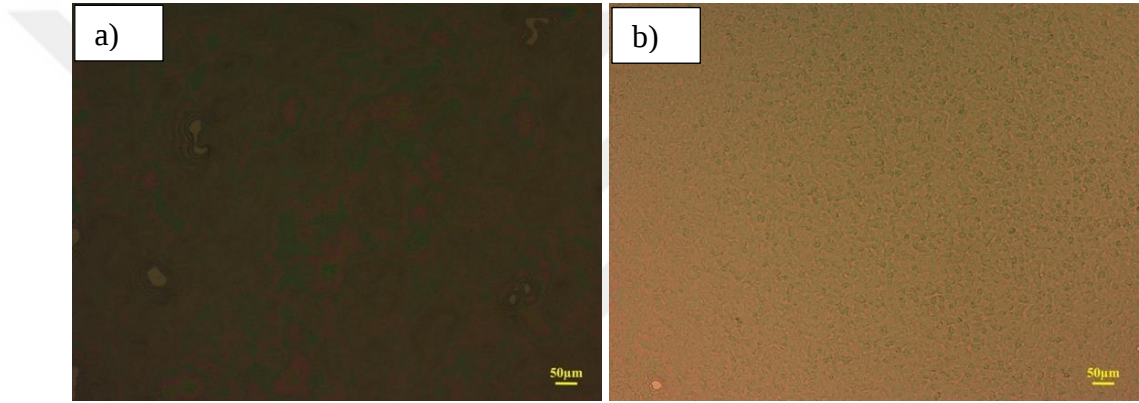
Bu çalışmada kullanılan polimer çözelti hazırlama da 3 farklı çözücü kullanılmıştır. Kullanılan bu çözücüler %98 saflıkta dekalın(Dec), %99.7 saflıkta tolüen(T) ve %99 saflıkta klorobenzen(CB) sigma aldrich firmasından temin edilmiştir. Polimer çözelti hazırlanmasında 2 farklı moleküler ağırlığa sahip polietilen(6500 g/mol ve 50000 g/mol) ve polipropilen(düşük yoğunluklu polipropilen) kullanılmıştır. Bu polimerler sigma aldrich firmasında temin edilmiştir. Polimer ince film üretimi için altlık, ticari olarak istenen kristal yönelimde ($\langle 100 \rangle$) ve boyutlarda kalınlığa (500 μm) sahip silisyum (Si) altlıklar University Wafer Inc.'den satın alınmıştır.

2.2. Polimer İnce Film Sentezi

Kullanılan yöntem kristallik derecesi yüksek olan polimerler de ince film kaplamasında infrared ısıtan lamba ile altlık ve kaplama sırasında kullanılan yardımcı ekipmanlar ısıtılarak döndürmeli kaplama yöntemiyle ince filmler kaplanmıştır.

İnce film hazırlığı için uygun alt tabaka seçimi önemlidir. Yüzeydeki kontaminasyonlar dahil olmak üzere substrat(altlık) yüzey özellikleri, polimer filmin homojenliğini etkilemektedir. Kaplama öncelikle silisyum ve alüminyum altlıklar üzerinde yapılmış olup yüzey parametrelerinin kontrolü daha kolay olduğu için silisyum altlıklar tercih edilmiştir. Si altlıklar, atomik olarak düz ve parlak olmaları, kolay temizlenebilmeleri, kolayca parçalanıp istenilen şekilde ayrılmaları ve oksidasyon tabakasının kontrol edilebilirliği (hidrofobik-hidrofilik) nedeniyle polimer ince filmlerde en sık kullanılan altlıklardır. Bu yüzden ticari olarak istenilen kristal yöneliminde ve istenilen boyutlarda kalınlığa sahip silisyum altlıklar kullanılmıştır. Si altlıklar 1cm x 1cm boyutlarında kareler halinde elmas uçlu kesici ile boyutlandırıldı. Metal oksitlerin ve organik kontaminasyonların giderilmesi için pirana çözeltisi ile temizleme prosedürü

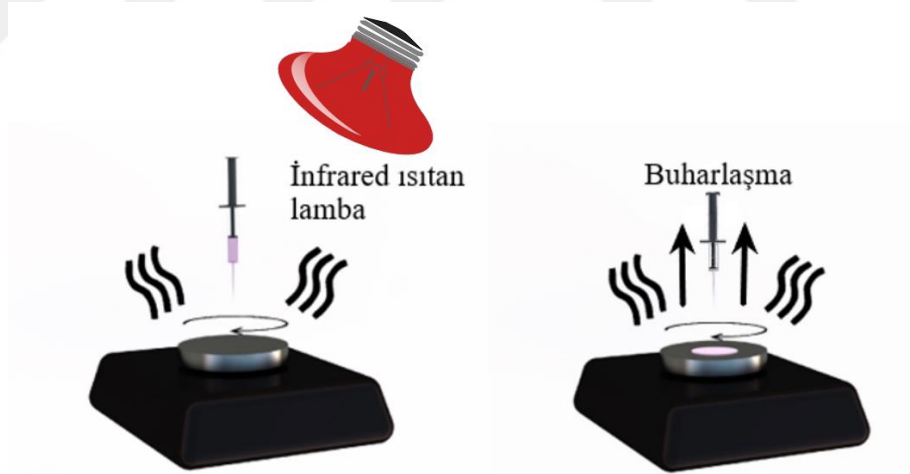
uygulanmıştır. Pirana çözeltisi genellikle altlık temizliğinde kullanılan güçlü bir oksitleyicidir. Boyutlandırılmış silisyum altlıklar pirana çözeltisi (1:1:1 oranında H_2SO_4 , H_2O_2 ve deiyonize su karışımı) içerisinde $60\text{ }^{\circ}C$ de 2 saat boyunca temizlenmiştir. Pirana çözeltisinden çıkarılan numuneler deiyonize su ile temizlenerek azot gazı ile kurutulmuştur. Deney sürecinde yüzey enerjisinin etkisinin anlaşılması için hidrofilik ve hidrofobik yüzeylere kaplamalar yapılmıştır. Yapılan kaplamalarda kaplama kalitesi göz önünde bulundurularak kaplamanın hidrofobik yüzeylerde daha iyi olduğu gözlemlenmiş olup yüzey enerjisi düşük olan yüzeylerde çalışılması gerektiği sonucuna varılmıştır (Şekil 11).



Şekil 11. Si Altlığın yüzey enerjisine bağlı olarak elde edilen farklı PE ince filmlerin optik görüntüleri a) hidrofilik b) hidrofobik

Pirana çözeltisi ile temizlenen altlıkların hidrofobik hale getirilmesi için hidroflorik asit (HF) çözeltisi kullanılmıştır. HF çözeltisinin literatür göz önüne alındığında ağırlıkça %1-10 arasında olacak şekilde seyreltilmesi gerektiği görülmüştür. HF'e maruz bırakma işlemi optimize edilerek ağırlıkça %10 luk HF-deiyonize su karışımı içerisinde 1 dakika olarak belirlenmiştir. Hidrofobik olarak hazırlanan altlıklara kaplamak için Sigma Aldrich firmasından 6500 g/mol ve 50000 g/mol moleküler ağırlığında iki tip (Mw) polietilen kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara ışığında moleküler ağırlık arttıkça film kalitesinin düşmesinden kaynaklı 6500 g/mol polietilen üzerinde çalışılması gerektiği kararlaştırılmıştır. Homojen bir polimer çözeltisi elde edilmesinde polietilen için iyi bir çözücülerden olan dekalın, tolüen ve klorobenzen sigma aldrich firmasından temin edilmiştir. Polimer çözeltisinin elde edilmesinde dekalın, tolüen ve klorobenzen çözücülerini kullanılmıştır. Polietilen filmlerin döndürmeli kaplama tekniği ile hazırlanmasında önceden homojen şekilde hazırlanan ağırlıkça %5'lik PE/tolüen ve %5 lik PE/CB çözeltileri kullanılmıştır. Hassas terazi yardımıyla 4ml.'lik vialler içerisinde

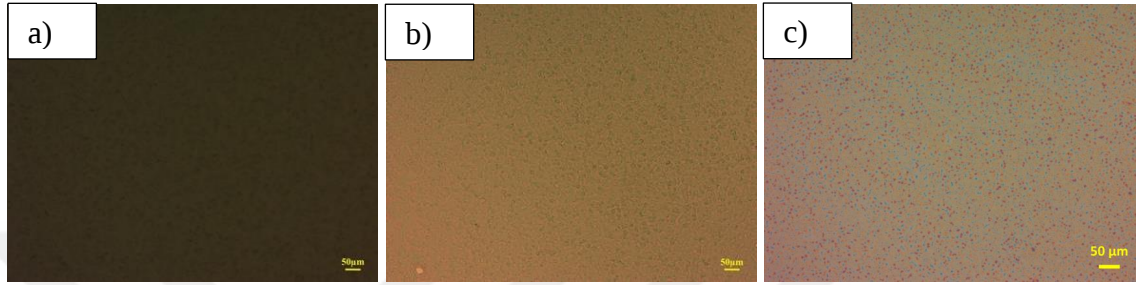
hazırlanan çözeltiler literatür verileri ve polimerin camsı geçiş sıcaklığı göz önünde bulundurularak 93°C’de iki saat boyunca ısıtılarak çözündürülmüştür. Hazırlanan polimer çözeltisinin hazırlanan altlıklara kaplanması kapsamında döndürmeli kaplama yöntemi esas alınmıştır. Bu durumun nedeni ise döndürmeli kaplama yönteminin basit, ucuz, tekrarlanabilir, kontrol edilebilir olması ve kaplamanın homojenliği açısından da sağladığı avantajlar nedeniyle alternatif yöntemler arasında laboratuvar ortamında en çok kullanılan yöntemdir. Döndürmeli kaplama tekniğinin parametreleri; aşamalı veya sabit dönme hızı ve süreleri, nihai ince filmin kalınlığını ve yapısını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle ağırlıkça %1’lik polimer/çözücü karışımları aşamalı olarak önce 1500rpm hızda 30sn boyunca devamında da 1000rpm’de 30sn boyunca olacak şekilde altlığa kaplanmıştır. Bu kaplama parametreleri (döndürme hızı ve süresi) tüm numunelere aynı standartta uygulanmıştır. Bu parametrelerin belirlenmesinde çeşitli hızlarda kaplama yapılmış fakat en iyi kaplama kalitesine ulaşılan parametreler kullanılmıştır. Kaplama sırasında şekil 12’de şematik gösterimi verilen sistem kullanılmıştır.



Şekil 12. Çalışma kapsamında geliştirilen tekniğe ait şematik gösterimi

Elde edilen polimer ince filmlerin optik mikroskop üzerinden alınan görüntülerine bakılarak her bir çözücünden elde edilen ince filmlerin kaplama kalitesinin iyi olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 13). Kaynama noktası ve buhar basıncı yüksek olan çözeltilerin uçuculuğu düşüktür. Dekalin çözücüsünün uçuculuğu klorobenzen çözücüsüne göre daha azdır. Klorobenzen çözücüsünün uçuculuğu ise kullanılan tolüen çözücüsünün uçuculuğundan daha azdır. Uçuculuğu yüksek olan polimerlerde sıcaklık arttıkça

konsantrasyon da değişmektedir bu nedenle çözücü ve konsantrasyon olarak farklı parametrenin değişimi söz konusu olmuştur. Yüksek sıcaklık kullanma ihtiyacı olduğu için klorobenzen çözücü ve tolüen çözücüsü yerine dekalın çözücüsü olarak kullanılması kararlaştırılmıştır. Fakat yüzey dalgalanmalarından kaynaklı homojen film elde edilebilmesi için tolüenin kullanılması kararlaştırılmıştır.

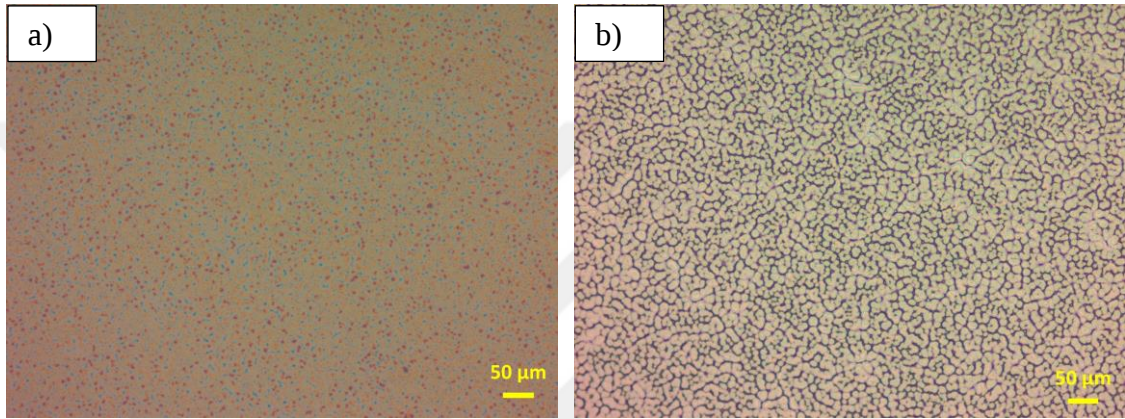


Şekil 13. 75°C de hidrofobik (aşındırılmış Si altlık) altlık üzerinde hazırlanan PE ince filmlerin kullanılan çözücüye bağlı optik mikroskop görüntüleri a)klorobenzen çözeltisi b)tolüen çözeltisi c)dekalın çözeltisi

Bu çalışmanın asıl amacı yüksek ergime sıcaklığı ve kristallığe sahip polimerlerden döndürmeli kaplama yöntemi ile ince film sentezlenmesi kapsamında sabit polimer çözelti konsantrasyonu altında kaplama sıcaklığının son ürün üzerindeki etkilerinin incelenmesi ve elde edilen bilgilerin bir sistematığe dönüştürülmesi düşünülmektedir. Bu durumda kaplamanın yapılması için 3 farklı kaplama sıcaklığı belirlenmiştir ($T_1=25$ °C, $T_2=50$ °C, $T_3=75$ °C). Ortamın yanı sıra yardımcı malzemelerde belirlenen sıcaklıklara getirilmiştir.

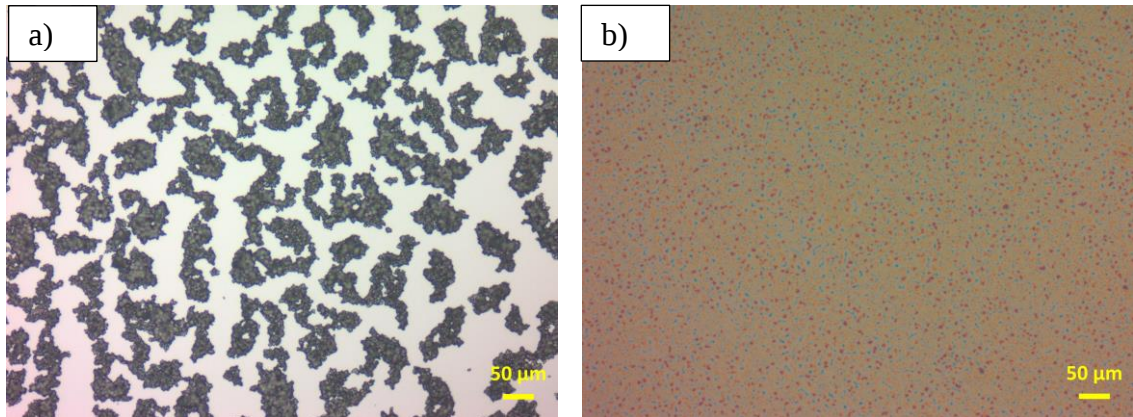
HF ile aşındırılmış Si altlıklar cihazın ortasında bulunan kısma yerleştirilmiştir ve pompa yardımıyla uygulanan vakum ile döndürme süresinde düşmemesi için sabitlenmişlerdir. Döndürme kaplama parametreleri (dönme hızı ve döndürme süresi) literatür göz önüne alınarak belirlenmiştir. İlgili altlıkların üzerine çözeltiler yine mikro pipet yardımıyla uygulanır uygulanmaz kaplama süreci başlatılmıştır. Dönme sürecinde radyal olarak akmaya başlayan çözeltilerin fazlalıkları kenardan atılırken yüzeyde sürekli ve homojen bir ince filmin oluşturulması sağlanmıştır. İlk olarak oda sıcaklığında kaplama yapılmıştır. Daha sonra ortam numune ve kaplama sırasında kullanılması planlanan yardımcı elemanlar (pipet ucu) kızılötesi ışık kaynağı yardımıyla T_2 ve T_3 değerlerine getirilerek orta ve yüksek sıcaklıktaki kaplamalar yapılmıştır. Daha sonra numunelerin kuruması için altlıklar vakum fırını içerisinde belirlenen sıcaklıklarda 2 saat bekletilmiştir.

Polimer farkının gözlemlenebilmesi için polipropilen ve polietilen polimerleri kullanılmıştır fakat polipropilen tolüen ve klorobenzen çözücülerinde çözülmemiştir. Bu yüzden bu karşılaştırmayı yapabilmek için literatür çalışmaları göz önüne alınarak polietilen ve polipropilen polimerleri ağırlıkça %5 lik oranda dekalinde çözdürülmüştür[19]. Elde edilen PP/Dec ve PE/ Dec çözeltileri en iyi ortam koşulu olan 75 °C sıcaklıkta kaplama yapılmıştır. Polimer karşılaştırması şekil 14'deki optik mikroskop görüntüsünde verilmektedir.



Şekil 14. 75°C de altlık üzerinde hazırlanan ince filmlerin polimer karşılaştırması a) Polietilen b) düşük yoğunluklu polipropilen

Hazırlanan polietilen dekalın çözeltisi ile oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıkta iki ayrı film kaplanmıştır. Elde edilen filmlerin yüzey pürüzlülüğü ve homojenitesi arasındaki fark görülmektedir.



Şekil 15. PE-Dekalin çözeltisinden farklı sıcaklıklarda sentezlenen polimer ince filmlerin polarize ışık mikroskobu görüntüleri a)25°C de sentezlenen b)75°C de sentezlenen

2.3. Polimer Fırça Sentezi

%1 lik PE:Tolüen çözeltisi hazırlanmıştır ve hidrofobik silisyum altlık üzerine 3000 rpm de 1 dk döndürmeli kaplama yapılmıştır. İki farklı sıcaklıkta (25°C ve 75°C) üretilen ince filmler tolüen içerisinde 4 defa 15'er dakika sonikasyonda yıkanmıştır. Daha sonra elde edilen bu polimer fırçaların kalınlıkları elipsometri cihazı ile ölçülmüştür. 25°C de kaplanan numuneden elde edilen polimer fırça kalınlığı yaklaşık 1.9 nm iken 75°C de kaplanan filmde elde edilen polimer fırça kalınlığı yaklaşık 5.9 nm civarındadır. Elde edilen polimer fırça yapılarının üzerine Au nanopartikül aşıl原因arak fonksiyonelleştirilebilmesi amaçlanmıştır. Nanogram firmasından alınan Au nanopartikül damlatılmış ve 2 saat sonra numune yüzeyi saf su ile yıkanmıştır. Elde edilen bu yapının yüzey topografisi EDX-SEM ile incelenmiştir.

2.4. Analiz Yöntemleri

2.4.1. Elipsometri

Hazırlanan polimer ince filmlerin kalınlığının ölçülmesinde kullanılan elipsometre cihazı, ince film teknolojisi için hassasiyeti, kolay uygulanabilirliği ve tahribatsız bir optik ölçüm sistemi olmasından dolayı avantajlıdır. İnce filmlerin optik özellikleri kompozisyon, kalınlık, iletkenlik ve gözeneklilik gibi özelliklerden etkilendiği için elipsometre bu parametrelerin tümü hakkında bilgi sağlayabilir. Elipsometre çalışma prensibi; numune yüzeyinden yansıyan ışığın polarizasyonundaki değişim, iki dik polarize ışının genlik oranı alınarak ölçülmektedir [67,68].

Tablo 1. Gaertner LSE Elipsometre Cihazı Teknik Özellikleri.

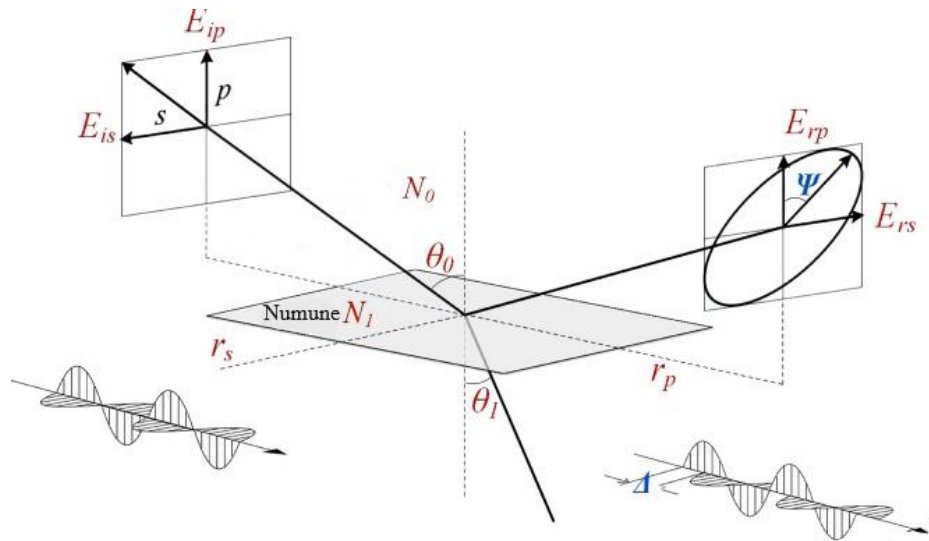
Teknik Özellikler	Açıklama
Hizalama	Bilgisayar hizalama ekranını kullanarak manuel olarak ayarlanan eğim ve masa yüksekliği,
Lazer ölçüm	6328 Å He-Ne Gaz Lazeri, 1mm ışın demeti çapını ölçüyor
Hizalama lazeri	670 nm Lazer diyot
Hassasiyet ve tekrarlanabilirlik	Ölçüm aralığının çoğunda Sub-Angstrom
Kırılma indeksi	± 0.0005
Yansıma açısı	70°
Film Kalınlığı Aralığı	0 - 60,000 Å

Hazırlanan polimer filmlerin kalınlığının ölçülmesinde kullanılan Gaertner LSE-USB elipsometre cihazı Üniversitenin Araştırma Merkezi (ERNAM) bünyesinde bulunmaktadır. Cihazın teknik özellikleri Tablo 1’de gösterildiği gibidir.



Şekil 16. Üniversite Araştırma Merkezinde Mevcut Elipsometre Cihazı.

Tablo 1’de gösterildiği üzere elipsometre cihazının çözünürlüğü 0-6 μm arasındadır. Dolayısıyla projede ele alınan polimer ince filmlerin ($\sim 100\text{nm}$.) ve polimer filmlerin ($\sim 4\mu\text{m}$.) kalınlığının belirlenmesinde elipsometre cihazı kullanılmıştır. Şekil 17’de görsel olarak verilen tekniğe uygun çalışan elipsometre sonuçları ayrıca taramalı elektron mikroskobu (SEM) üzerinden doğrulanmıştır.



Şekil 17. Elipsometre Çalışma Prensibi [68].

2.4.2. Polarize Işık Mikroskobu

Numunelerin görüntülenmesinde hasar öncesi, sonrası ve CO₂ tavlamasını takiben görüntülerin alınması ve sonuçlara dayalı sistem optimizasyonunda Bölüm laboratuvarında mevcut olan ZEİSS Axio Lab A1 cihazı kullanılmıştır (Şekil 21). Proje kapsamında uygun mercek büyütmeleri ile desteklenen sistem ZEISS firmasının 2.5D (pseudo 3D) olarak adlandırdığı [69], numunenin yüzeyinden yansıyan ışığın şiddet analizine dayanan ve buna bağlı olarak Z-yönünde yüzey topografisini analiz edebilen yazılım ve donanım desteğiyle kendi içinde tutarlı görüntüler elde edilmiştir. Böylece kesik derinliği, yüzey pürüzlülüğü ve film kararlılığı gibi çıktılar elde edilmiştir. 2.5D analizinde elde edilen ışık şiddeti üzerinden direkt ve ters mod olarak 2 farklı şekilde değerlendirme yapılması mümkündür. Direkt mod ile ters modun farkı yansıyan ışık şiddetine göre ters modda düşük şiddetler yüksek, yüksek şiddetler de düşük yükseklikler olarak yazılımsal olarak ters/düz edilmektedir. Böylece çukur bölgeler çıkıntı olarak gözlemlenebilmekte ve bu da analizi kolaylaştırmaktadır.

Bu görüntülerden elde edilen derinlik profili ile SEM sonuçları birbirine uyumaktadır. Böylece ilgili altyapının desteklenmesiyle hızlı bir şekilde kantitatif ve kalitatif sonuçlar elde edilmiştir.



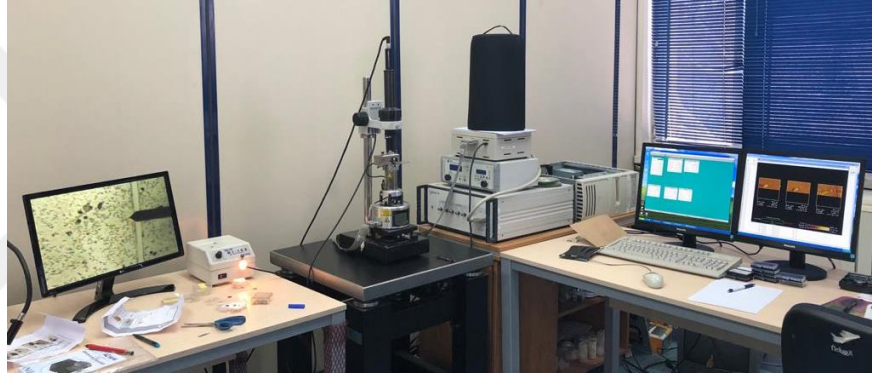
Şekil 18. Mikro Ölçekli Görüntülerin Alınmasında Kullanılan Bölüm Laboratuvarında Mevcut Zeiss Axio Lab A1 Optik Mikroskop Cihazı.

Alınan numune görüntülerinde kesik mesafesinin ölçeklendirilebilmesi için Zeiss Firmasının sağlamış olduğu kalibrasyon cetveli ile mikroskop görüntüsünün

optimizasyonu gerekmektedir. Aynı odak mesafesi ve büyütme altında kalibre edilen sistem polimer numunelerinin yüzeyinde yer alan morfolojik ve topografik özellikleri hatasız bir şekilde ölçeklendirebilmektedir. Yukarıda da bahsedildiği üzere kalibrasyon testinin tutarlılığı SEM analizinden elde edilen sonuçlar ile desteklenmiştir.

2.4.3. Atomik Kuvvet Mikroskobu

Atomik kuvvet mikroskobu nanometre boyutunda analiz yapılmasında kullanılmaktadır. Atomik kuvvet mikroskobunun (AFM) temel çalışma prensibi, manivela adı verilen esnek yapıya entegre edilen keskin bir prob ucu ile numune yüzeyi arasındaki etkileşim kuvvetlerinin saptanmasına dayanmaktadır[70].



Şekil 19. Atomik kuvvet mikroskobu cihazı ve program arayüzü

AFM yardımıyla hem iletken yüzeylerin hem de iletken olmayan yüzeylerin yüzey morfolojisini anlaşılabilir. Atomik kuvvet mikroskobu ile ince film morfoloji incelemeleri üniversitemiz bünyesinde bulunan Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezinde (TAUM) yapılmıştır (şekil 19). Cihazın modeli VEECO MULTIMODE 8 olup numuneler tapping mod ile incelenmiştir. Tip malzemesi 0,01-0,025 Ohm-cm Antimony(n) doped Si olup tip frekansı 300 kHz, Tipin uzunluğu(lenght) $L=125 \mu\text{m}$, Tip genişliği(width) $W=40 \mu\text{m}$, Tip kalınlığı(thickness) $T=3,4 \mu\text{m}$, Tip yay sabiti $k=40\text{N/m}$ 'dir. İnceleme yapılırken kullanılan tarama hızı 1Hz'dir.

2.4.4. Taramalı Elektron Mikroskobu

Taramalı elektron mikroskobu tekniğinde, odaklanmış bir elektron demeti ile numune yüzeyini tarayarak görüntü elde edilmesi ele alınmaktadır. SEM tekniği ile 1 nanometreden daha yüksek çözünürlüğe ulaşılabilir. Ayrıca sistem yüksek vakumda kuru ve iletken yüzeyleri incelemek için uygundur. Elektronlar numune üzerindeki atomlarla etkileşerek numune yüzeyinin topografi ve kompozisyonu hakkında analiz yapılabilmektedir. Elektron demeti yüzeyde tarama (raster) yapar ve elektron demetinin konumu, algılanan sinyalle eşleştirilerek görüntü oluşturulur. SEM’de görüntü oluşturmak için elektron demeti tarafından uyarılan numune atomlarının ikincil elektronlarından faydalanılır. Numunenin farklı bölgelerinden kopan ikincil elektronların sayısındaki değişim öncelikle demetin yüzeye buluşma açısına, yani yüzeyin topografisine bağlıdır. İkincil elektronların yanında geri saçılan elektronlar, karakteristik X-ışınları, elektron demeti, numune akımı ve aktarılan elektronlarla da numuneden çeşitli sinyaller elde edilerek amaca uygun topografi ve kompozisyon analizleri yapılabilmektedir. Proje kapsamında SEM görüntüleri Şekil 20’de gösterilen alan emisyonu tarama (FESEM) özelliğine de sahip cihaz üzerinden Üniversitenin Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezinden (TAUM) üzerinden hizmet alımıyla analiz edilmiştir.



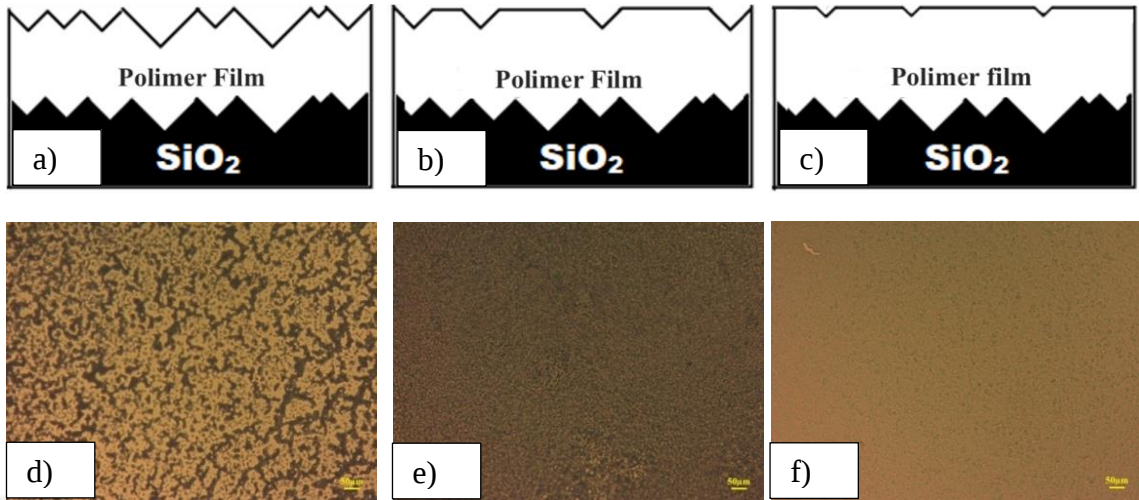
Şekil 20. Nano Ölçekli Görüntülerin Elde Edilmesinde Kullanılan SEM Cihazı.

SEM görüntülerine ait ölçüm parametreleri proje önerisinde de belirtilen öncü çalışmalarla aynı olacak şekilde hasarlı bölgenin gözlemlenebilmesine imkân sağlayacak çözünürlükte belirlenmiştir.

3. BÖLÜM

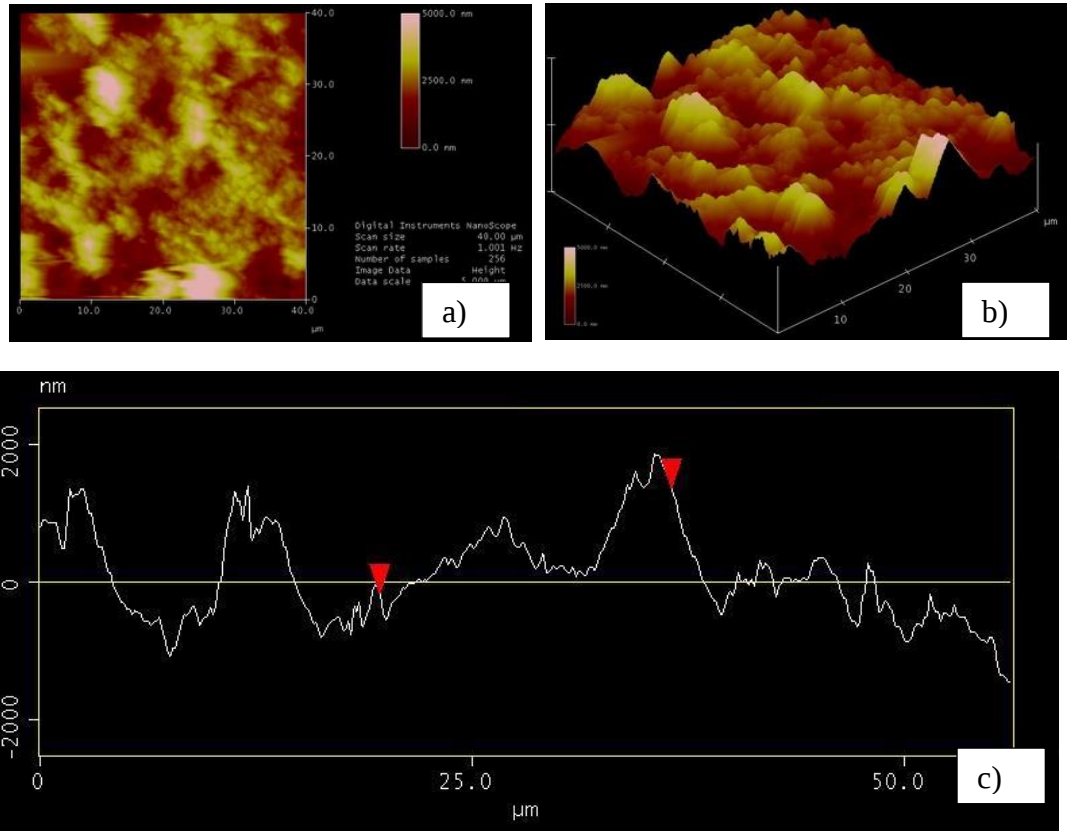
BULGULAR VE TARTIŞMA

Polimer ince filmler döndürmeli kaplama yöntemiyle başarıyla üretildi. Çalışma sırasında birçok parametrenin film homojenliği ve kalitesi üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Çalışma sonucunda özellikle sıcaklığın yarı kristal polimer film kalınlığında ve morfolojisinde etkisinin belirlenmesi için hazırlanan numuneler çeşitli analiz yöntemleri ile analiz edilmiştir. Bu işlemler sırasında polimer film kalınlık parametrelerinin ölçülmesinde elipsometre cihazı ve polimer film görüntüsünün incelenmesinde optik mikroskop, film morfolojisinin incelenmesinde ise atomik kuvvet mikroskopu (AFM) ve numune yüzeyinin topografi ve kompozisyonu hakkında analiz yapılmasında taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Elde edilen ince filmlerde sıcaklığın kristallliği yüksek filmler üzerindeki etkisi optik mikroskop görüntülerinde belirgin bir biçimde görülmektedir (Şekil 21). Yüzey pürüzlülüğünün etkisinin de detaylı bir biçimde ele alınması istenilmiştir. Sıcaklığın yarı kristal ince film morfolojisindeki etkisi atomik kuvvet mikroskobundan alınan sonuçlarda net bir biçimde görülmektedir. Elde edilen ince filmlerin yüzey analizinde kesit (section) analizi yapılmıştır. Bu kesit analizi sonucunda oda sıcaklığında hazırlanan numunenin yüzey pürüzlülüğü R_{max} değeri yaklaşık 1403 nm, 50°C de hazırlanan numunede R_{max} yaklaşık 858 nm, 70°C de hazırlanan numunede ise R_{max} yaklaşık 358 nm'dir.



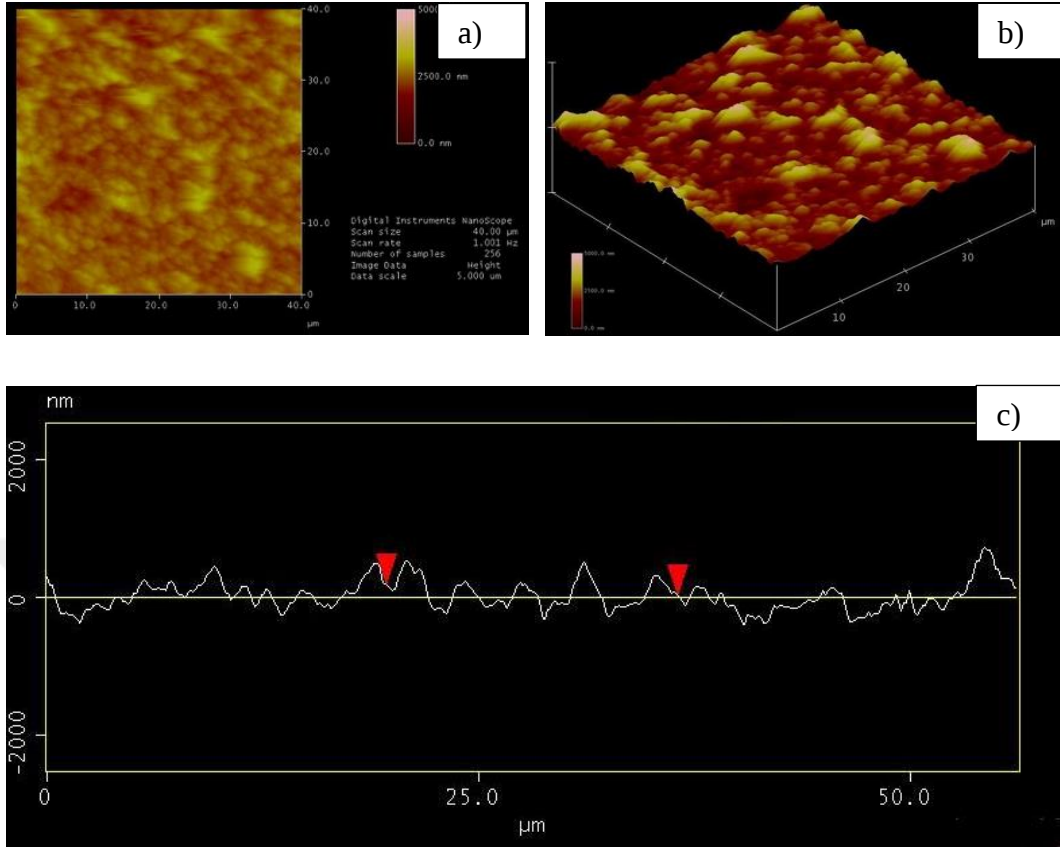
Şekil 21. PE-Tolüen çözeltisinden farklı sıcaklıklarda sentezlenen polimer ince filmlerin a)25 °C de sentezlenen ince filmin yüzey pürüzlülüğü şematik gösterimi b)50°C de sentezlenen ince film yüzey pürüzlülüğü şematik gösterimi c)70 °C de sentezlenen ince film yüzey pürüzlülüğü şematik gösterimi d) 25°C Polarize ışık mikroskop görüntüleri e) 50°C Polarize ışık mikroskop görüntüleri f) 75°C Polarize ışık mikroskop görüntüleri

Oda sıcaklığında sentezlenen polietilen ince filmde kristallik nedeniyle yüzey pürüzlülüğü oldukça fazladır. Bu durum AFM cihazı ile elde edilen grafik ve görüntülerde bulunan tablolarla da doğrulanmıştır. Oda sıcaklığında sentezlenen filmde yüzey morfolojisi detaylı bir biçimde incelenmiştir. Oda sıcaklığında sentezlenen bu ince filme ait 2 boyutlu görüntü,3 boyutlu görüntü ve kesit analiz grafiği görüntüleri şekil 22’de görülmektedir.



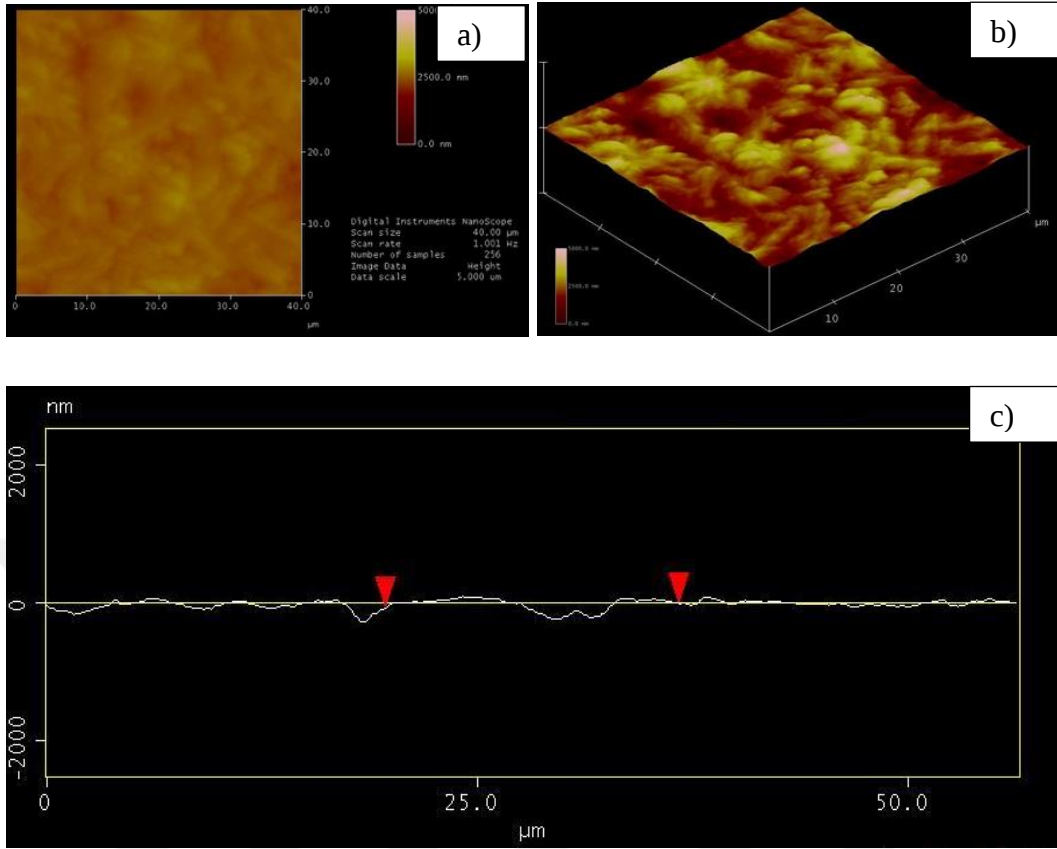
Şekil 22. 25 °C sentezlenen PE-Tolüen polimer ince film AFM 40 μm x40 μm a)2D b)3D c) kesit analizi

50 °C de sentezlenen polietilen ince filmlerde kristalliği oda sıcaklığında elde edilen ince filme kıyasla daha azdır. Film kristalliği arttıkça yüzey pürüzlülüğü artmaktadır. Bu yüzden 50 °C de sentezlenen ince filmlerde yüzey pürüzlülüğü oda sıcaklığına kıyasla oldukça azdır. Bu durum AFM cihazı ile elde edilen grafik ve görüntülerde bulunan tablolarla da doğrulanmıştır. 50°C de sentezlenen filmde yüzey morfolojisi detaylı bir biçimde incelenmiştir. 50 °C de sentezlenen ince filme ait 2 boyutlu 3 boyutlu ve kesit analiz grafiği görüntüleri şekil 23’de görülmektedir.



Şekil 23. 50 °C sentezlenen PE-Tolüen polimer ince film AFM 40 μm x40 μm a)2D b)3D c)kesit analizi

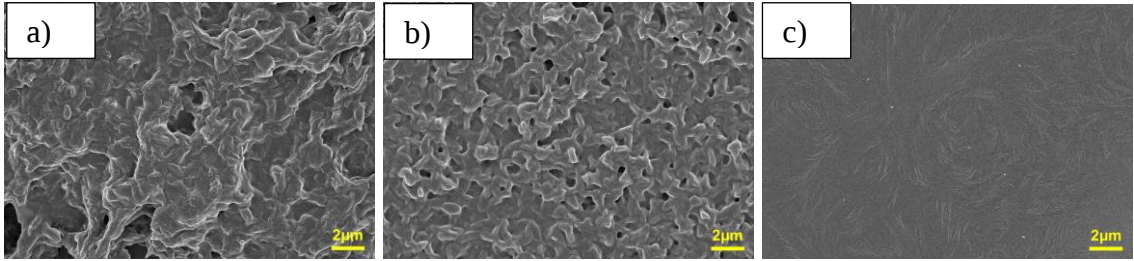
75°C de sentezlenen ince filmlerin kristallliği oda sıcaklığında sentezlenen ve 50 °C de sentezlenen filmlere göre daha azdır. Film kristallliği arttıkça yüzey pürüzlülüğü artmaktadır. Bu yüzden 75°C de sentezlenen ince filmlerde yüzey pürüzlülüğü oda sıcaklığına ve 50 °C de elde edilen ince filmlere kıyasla oldukça azdır. Bu durum AFM cihazı ile elde edilen grafik ve görüntülerde bulunan tablolarla da doğrulanmıştır. 75 °C de sentezlenen filmde yüzey morfolojisi detaylı bir biçimde incelenmiştir. 75 °C de sentezlenen ince filme ait 2 boyutlu 3 boyutlu ve kesit analiz grafiği görüntüleri şekil 24’de görülmektedir.



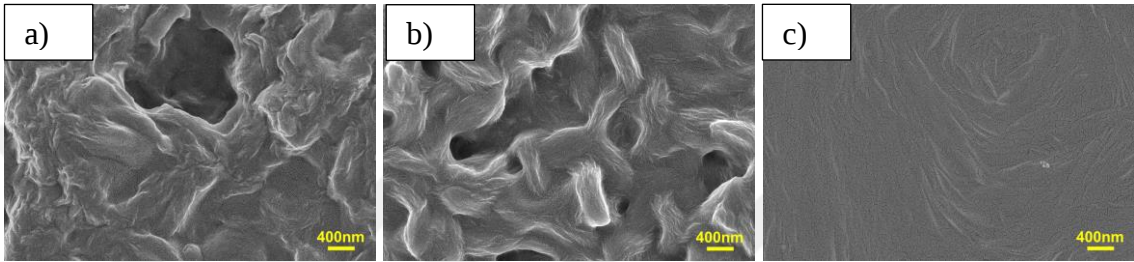
Şekil 24. 75 °C sentezlenen PE-Tolüen polimer ince film AFM 40 μm x40 μm a)2D b)3D c) kesit analizi

Numunelerin yüzey pürüzlülüklerinin kesit analizinde R_{max} (Maksimum Pürüzlülük Derinliği), R_z (en yüksek tepe ve çukurları yükseklik farkının ortalaması), R_a (ortalama pürüzlülük), sıcaklık arttıkça azalmaktadır. Farklı sıcaklıkta elde edilen kaplamalarda sıcaklığın yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi ispatlanmıştır.

Numunelerin analizinde FESEM analizinde numuneler iletkenliğe sahip olmayan numune görüntülemenin yapılabilmesi için Au/Pd kaplama yapılmıştır. Sıcaklığın polimer ince film kaplama üzerindeki etkisinin yüzey topografisine ve kompozisyonuna etkisi şekil 25 ve şekil 26 de farklı büyütmelemlerde SEM görüntülerinde gösterilmektedir.



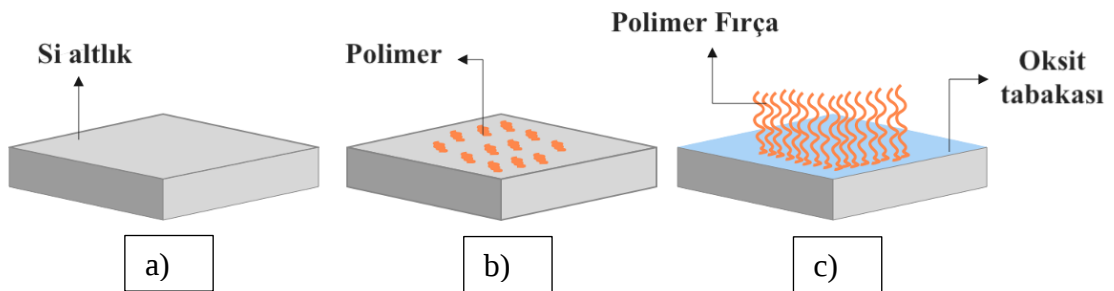
Şekil 25. Farklı sıcaklıklarda sentezlenen PE-Toluen polimer ince film SEM görüntüleri 5.00kx büyütme a) 25°C b)50°C c) 75°C



Şekil 26. Farklı sıcaklıklarda sentezlenen PE-Toluen polimer ince film SEM görüntüleri 20.00Kx büyütme a) 25°C b)50°C c) 75°C

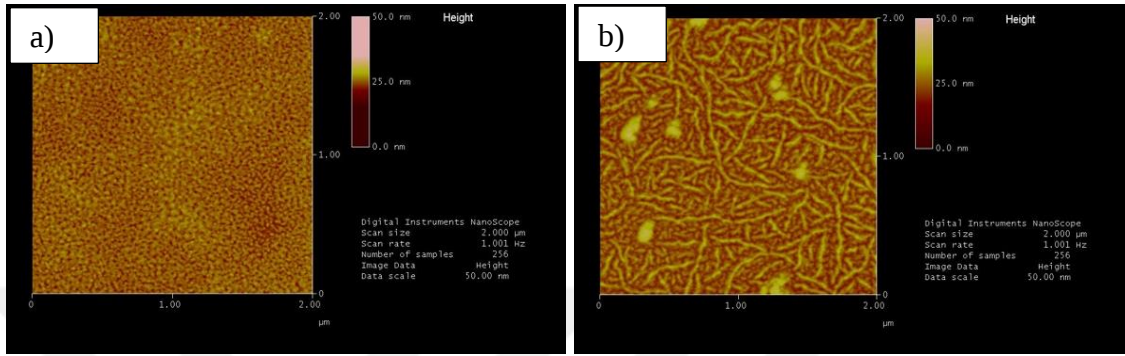
Elde edilen SEM görüntülerinde de görüldüğü gibi sıcaklık arttıkça yüzey topografisi ve kompozisyonu da değişmektedir.

Sıcaklık ile zincir konformasyonunda meydana gelen bu değişim polimer filmlerde olduğu gibi polimer fırça yapısında da meydana gelmektedir. Bu aşamada elde edilen filmler sonikasyon ile yıkandıktan sonra üretilen polimer fırça yapıları incelenmiştir.



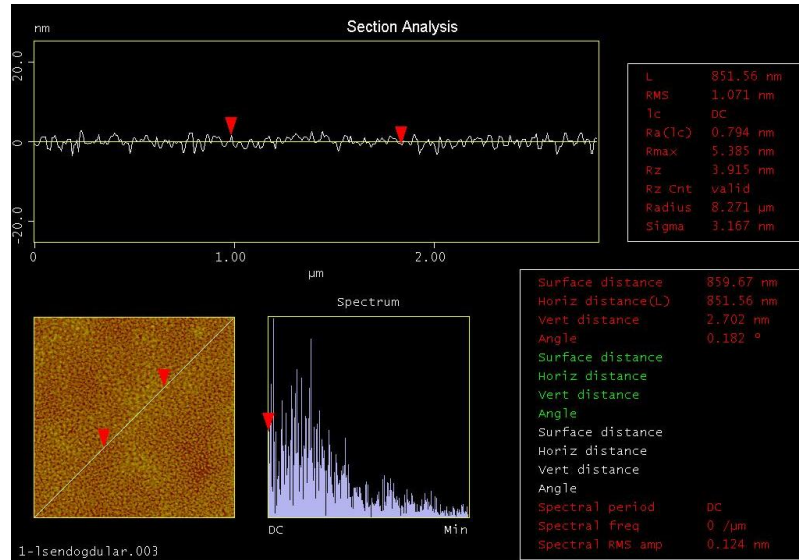
Şekil 27. Sıcaklığa bağlı polimer/altlık arayüzeyinin gelişiminin şematik gösterimi a)Adsorpsiyon öncesi Si Substrat b)Oda sıcaklığında zincir adsorpsiyonu c)75°C de zincir adsorpsiyonu.

Üretilen filmlerin morfolojik yapılarının incelenmesinde AFM cihazı kullanılmıştır. Şekil 23’de elde edilen verilerde 25C de üretilen filmde elde edilen polimer fırça yapısı yüzeye yeterince tutunmazken 75 C de üretilen filmde elde edilen fırça yapısı yüzeye daha iyi tutunmuştur.



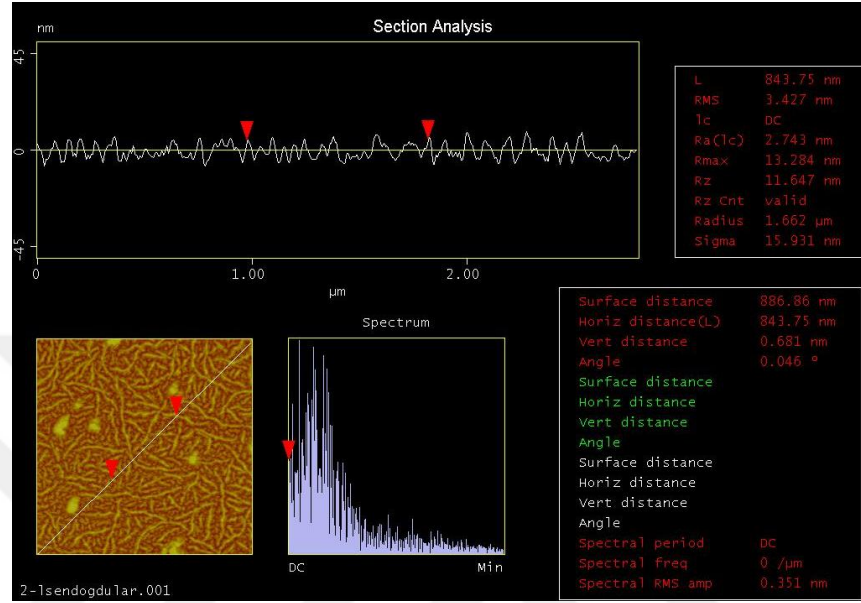
Şekil 28. Farklı sıcaklıklarda sentezlenen PE-Toluen polimer ince filmde elde edilen polimer fırça yapıları a)25°C b)75°C

Elde edilen sonuçlarda görünen yapının kesit analizi alınmıştır ve tüm bu sonuçlar ile yüzeye tutunmuş olan polimer fırça yapılarının varlığı kanıtlanmıştır. Şekil 28’de oda sıcaklığında sentezlenen ince filmde elde edilen polimer fırçanın section kesit analizi verilmektedir ve verilen değerlerde görüldüğü gibi Rmax değeri 5.385 nm olarak verilmiştir.



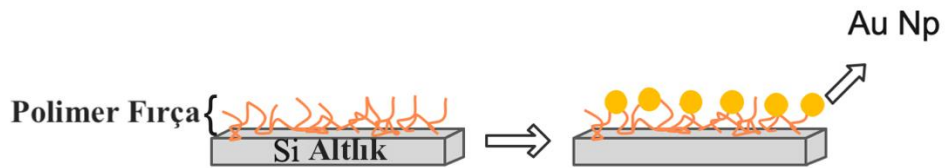
Şekil 29. 25°C de sentezlenen polimer ince filmde elde edilen polimer fırça yapısının kesit (Section) analizi

Şekil 29’te 75°C sentezlenen ince filmde elde edilen polimer fırçanın kesit(section) analizi verilmektedir ve verilen değerlerde görüldüğü gibi Rmax değeri 13.284 nm olarak verilmiştir.



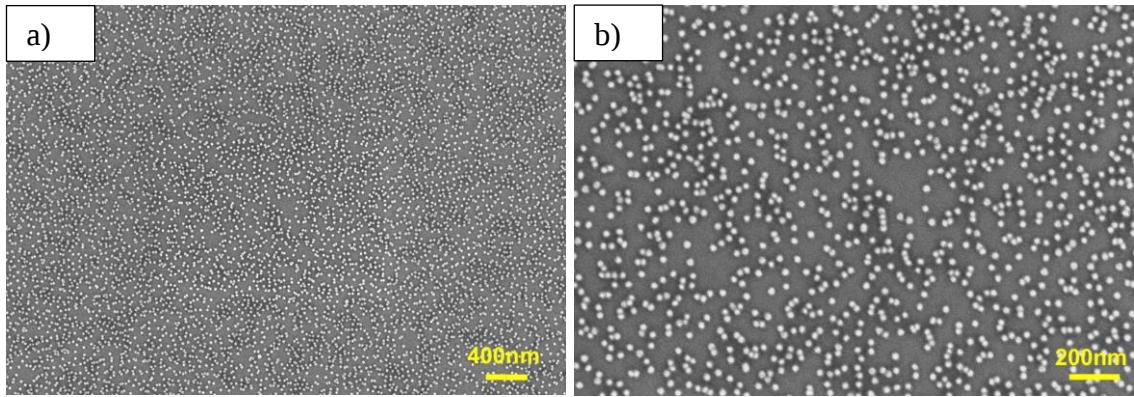
Şekil 30. 75°C de sentezlenen polimer ince filmde elde edilen polimer fırça yapısının kesit (Section) analizi

Son olarak literatürde göz önüne alınarak polimer fırça yapılarına Au nanopartiküller aşılansarak yüzeye yeni özellikler kazandırılabilir.



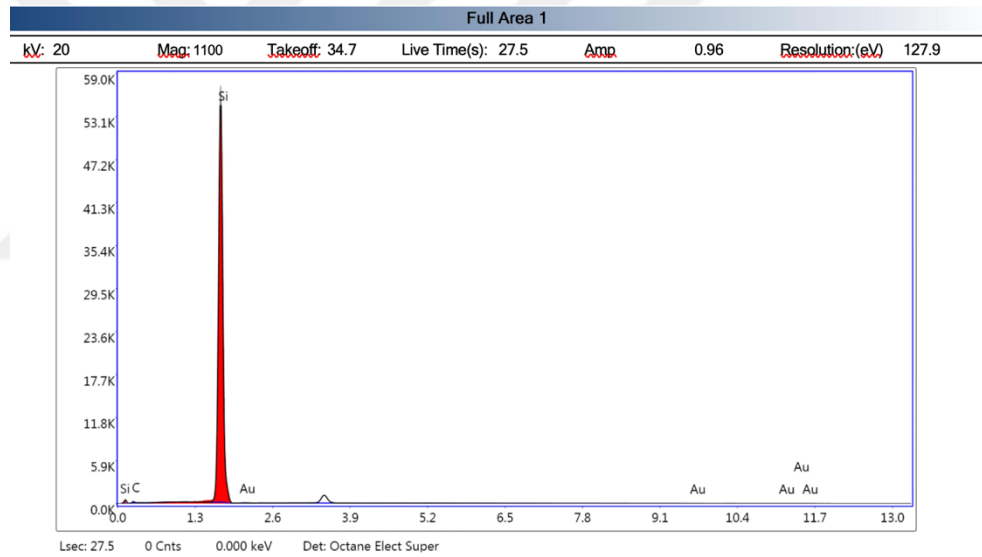
Şekil 31. Polimer fırça(brush) yapısı ve Au nanopartikül ekilmiş(grafted) polimer fırça şematik gösterimi

Aynı zamanda bu sayede yüzeye tutunmuş olan fırça yapısı yoğunluğu da gözlemlenebilmektedir. Elde edilen bu yapının SEM görüntüsü şekil 27’de verilmektedir.



Şekil 32. Au nanopartikül aşılansmış polimer fırça yapısı a)20.00 K b)50.00 K

Son olarak EDX ile polimer ve Au nanopartikül yoğunluğuna bakılmıştır elde edilen sonuçlar Şekil 28 de verilmektedir.



Şekil 33. Au nanopartikül aşılansmış polietilen polimer fırça grafiği

Tablo 2. Au nanopartikül aşılansmış polietilen fırça EDX yoğunluk tablosu

ELEMENT	Ağırlık %	Atomik %	Net Int.
C K	8.11	17.23	36.71
Si K	91.05	82.66	17233.97
Au L	0.84	0.11	5.62

4. BÖLÜM

SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Sonuç ve Öneriler

Sonuç olarak yarı kristal polimerlerden elde edilen ince filmlerde kaplama sırasında uygulanan sıcaklık polimer ince filmin görüntüsünü, kalınlığını, yüzey morfolojisini, yüzey topoğrafisini ve kompozisyonunu gibi özelliklerini önemli bir biçimde değiştirmektedir. Kullanılan yöntem sayesinde kristallik derecesi yüksek olan polimerlerin kullanım alanının kısıtlanmasının en önemli sebeplerinden biri olan durum elimine edilmiştir. Bu yeni yöntem sayesinde polimer ince filmlerin hem sanayi hem akademik anlamda kullanımının yaygınlaşması mümkündür. Aynı zamanda zincir konformasyonunda meydana gelen değişim nedeniyle polimer fırça yapıları da oldukça kısa sürede elde edilmiştir. Literatürde de araştırıldığı üzere film yapısından polimer fırça yapısının elde edilebilmesi için ya uzun süreler (6 hafta) beklemek gerekmektedir ya da filmin yıkamadan önce kaplama sonrası yüksek sıcaklık ile tavlanması gerekmektedir (275 °C). Bu yöntemle hem polimer fırça üretim süresi kısalmış hem de harcanan enerjiden tasarruf edilmesi sağlanmıştır.

Elde etmiş olduğumuz sonuçlardan yola çıkarak tez sonucunda uygulanan bu yöntem ile kristalin polimerlerde polimer ince film ve polimer fırça elde edilmesinde daha yaygın bir kullanımının sağlanması beklenmektedir. Bu nedenle endüstriyel uygulamalarda farklı kristallik derecesine sahip polimerlerden ince film ve fırça sentezlenebileceği gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak bu yöntem sayesinde kristalinitesi yüksek polimerlerden elde edilen polimer ince filmlerin membran teknolojileri, gaz ve nem sensörleri gibi birçok alanda kullanılabilirliği mümkün olabilir.

KAYNAKÇA

1. Jones, R.A.L., 1999. The dynamics of thin polymer films. **Current Opinion in Colloid and Interface Science**, 4(2): 153–158.
2. Hall, D.B., Underhill, P., Torkelson, J.M., 1998. Spin coating of thin and ultrathin polymer films. **Polymer Engineering & Science**, 38(12): 2039–2045.
3. Brinker, C.J., Frye, G.C., Hurd, A.J., Ashley, C.S., 1991. Fundamentals of sol-gel dip coating. **Thin Solid Films**, 201(1): 97–108.
4. Stafford, C.M., Roskov, K.E., Epps, T.H., Fasolka, M.J., 2006. Generating thickness gradients of thin polymer films via flow coating. **Review of Scientific Instruments**, 77(2):.
5. Noebels, M., Cross, R.E., Evans, D.A., Finlayson, C.E., 2014. Characterization of spray-coating methods for conjugated polymer blend thin films. **Journal of Materials Science**, 49(12): 4279–4287.
6. Clyne, T.W., Gill, S.C., 1996. Residual stresses in thermal spray coatings and their effect on interfacial adhesion: A review of recent work. **Journal of Thermal Spray Technology**, 5(4): 401–418.
7. Shi, F.F., 1996. Recent advances in polymer thin films prepared by plasma polymerization Synthesis, structural characterization, properties and applications. **Surface and Coatings Technology**, 82(1–2): 1–15.
8. Minko, S., 2008. Grafting on solid surfaces: Grafting to and grafting from methods, In *Polym. Surfaces Interfaces Charact. Modif. Appl.*, , pp: 215–234.
9. Singh, R.K., Holland, O.W., Narayan, J., 1990. Theoretical model for deposition of superconducting thin films using pulsed laser evaporation technique. **Journal of Applied Physics**, 68(1): 233–247.
10. Affrossman, S., Stamm, M., 2000. The effect of molecular weight on the topography of thin films of blends of poly(4-bromostyrene) and polystyrene. **Colloid and Polymer Science**, 278(9): 888–893.
11. Riley, A., 2012. Basics of polymer chemistry for packaging materials, In *Packag. Technol.*, , pp: 262–286.

12. Kawana, S., Jones, R.A.L., 2001. Character of the glass transition in thin supported polymer films. **Physical Review E**, **63**(2): 021501.
13. Reiter, G., Botiz, I., Graveleau, L., Grozev, N., Albrecht, K., Mourran, A., Möller, M., 2007. Morphologies of polymer crystals in thin films. **Lecture Notes in Physics**, **714**: 179–200.
14. Ajji, A., Zhang, X., Elkoun, S., 2005. Biaxial orientation in HDPE films: Comparison of infrared spectroscopy, X-ray pole figures and birefringence techniques. **Polymer**, **46**(11): 3838–3846.
15. Young, R.J., Lovell, P.A., **2011**. Introduction To Polymers, Third Edition.
16. Marchessault, R.H., 1982. Principles of polymer morphology, D. C. Bassett, Cambridge Solid State Series, Cambridge University Press, Cambridge, England, 1981, 250 pp. No price given. **Journal of Polymer Science: Polymer Letters Edition**, **20**(5): 279–280.
17. Despotopoulou, M.M., Frank, C.W., Miller, R.D., Rabolt, J.F., 1996. Kinetics of Chain Organization in Ultrathin Poly(di- *n* -hexylsilane) Films [†]. **Macromolecules**, **29**(18): 5797–5804.
18. Bartczak, Z., Argon, A.S., Cohen, R.E., Kowalewski, T., 1999. The morphology and orientation of polyethylene in films of sub-micron thickness crystallized in contact with calcite and rubber substrates. **Polymer**, **40**(9): 2367–2380.
19. Lock, E., Walton, S., Fernsler, R., Preparation of Ultra Thin Polystyrene, Polypropylene and Polyethylene Films on Si Substrate Using Spin Coating Technology, 2008.
20. Mellbring, O., Kihlman Øiseth, S., Krozer, A., Lausmaa, J., Hjertberg, T., 2001. Spin Coating and Characterization of Thin High-Density Polyethylene Films. **Macromolecules**, **34**(21): 7496–7503.
21. Andy M. Booth, Stephan Kubowicz, CJ Beegle-Krause, Jørgen Skancke, Tor Nordam, Eva Landsem, M., Throne-Holst, S.J., **2018**. Report Microplastic In Global And Norwegian Marine.
22. Bai, H., Shi, G., 2007. Gas Sensors Based on Conducting Polymers. **Sensors**, **7**(3): 267–307.

23. Nohria, R., Khillan, R.K., Su, Y., Dikshit, R., Lvov, Y., Varahramyan, K., 2006. Humidity sensor based on ultrathin polyaniline film deposited using layer-by-layer nano-assembly. **Sensors and Actuators, B: Chemical**, **114**(1): 218–222.
24. Feldman, D., 1989. The theory of polymer dynamics, by M. Doi and S. F. Edwards, the Clarendon Press, Oxford University Press, New York, 1986, 391 pp. Price: \$78.50. **Journal of Polymer Science Part C: Polymer Letters**, **27**(7): 239–240.
25. M. Doi and S. F. Edwards, **1986**. The Theory Of Polymer Dynamics.
26. Gennes, P.G. de, 2003. Reptation of a Polymer Chain in the Presence of Fixed Obstacles. **The Journal of Chemical Physics**, **55**(2): 572.
27. MILNER, S.T., 1991. Polymer Brushes. **Science**, **251**(4996): 905–914.
28. Halperin, A., Tirrell, M., Lodge, T.P., 1992. Tethered chains in polymer microstructures. **Advances in Polymer Science**, **100**: 31–71.
29. Szleifer I, C.M., n.d. Advances In Chemical Physics, Volume 94: Polymeric Systems .
30. van der Waarden, M., 1950. Micelle formation of sulfonates in hydrocarbons. **Journal of Colloid Science**, **5**(5): 448–457.
31. Mackor, E.L., van der Waals, J.H., 1952. The statistics of the adsorption of rod-shaped molecules in connection with the stability of certain colloidal dispersions. **Journal of Colloid Science**, **7**(5): 535–550.
32. Raphael, E., Gennes, P.G. De, 2002. Rubber-rubber adhesion with connector molecules. **Journal of Physical Chemistry**, **96**(10): 4002–4007.
33. Ji'', H., 1993. Adhesion via Connector Molecules: The Many-Stitch Problem. **Macromolecules**, **26**: 520–525.
34. Amiji, M., Park, K., 1993. Surface Modification of Polymeric Biomaterials With Poly(Ethylene Oxide), Albumin, and Heparin for Reduced Thrombogenicity. **Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition**, **4**(3): 217–234.
35. Van Zanten JH, 1994. Two-step approach to the formation of organic monolayers on the silicon oxide surface. **Macromolecules** , **27**: 6796.

36. Joanny, J.-F., 1992. Lubrication by Molten Polymer Brushes. **Langmuir**, **8**: 989–995.
37. Yoshiyuki Takei, S.G., Aoki, T., Sanui, K., Ogata, N., Sakurai, Y., Okano, T., 1994. Dynamic Contact Angle Measurement of Temperature-Responsive Surface Properties for Poly(-ZV-isopropylacrylamide) Grafted. **Macromolecules**, **27**: 6163–6166.
38. Yoshihiro Ito, *, Yasushi Ochiai, Yong Soon Park, and, Imanishi, Y., 1997. pH-Sensitive Gating by Conformational Change of a Polypeptide Brush Grafted onto a Porous Polymer Membrane. **Journal of the American Chemical Society**, **119**(7): 1619–1623.
39. Yoshihiro Ito, *,†,‡, Yong Soon Park, ‡ and, Imanishi‡, Y., 1997. Visualization of Critical pH-Controlled Gating of a Porous Membrane Grafted with Polyelectrolyte Brushes. **Journal of the American Chemical Society**, **119**(11): 2739–2740.
40. Yoshihiro Ito, *, Shugo Nishi, Yong Soon Park, and, Imanishi, Y., 1997. Oxidoreduction-Sensitive Control of Water Permeation through a Polymer Brushes-Grafted Porous Membrane. **Macromolecules**, **30**(19): 5856–5859.
41. Ulf Velten, Samuele Tossati, Ronald A. Shelden, Walter R. Caseri, and, Suter*, U.W., and, R.H., Müller, M., 1999. Graft Polymerization of Styrene on Mica: Formation and Behavior of Molecular Droplets and Thin Films. **Langmuir**, **15**(20): 6940–6945.
42. Ulf Velten, Ronald A. Shelden, Walter R. Caseri, and, Suter*, U.W., Li, Y., 1999. Polymerization of Styrene with Peroxide Initiator Ionically Bound to High Surface Area Mica. **Macromolecules**, **32**(11): 3590–3597.
43. Jason Niu, Q., J Fre Â chet, J.M., Monnier, A., Schüth, F., Huo, Q., Kumar, D., Margolese, D.I., Maxwell, R.S., Stucky, G.D., Krishnamurty, M., Petroff, P., Firouzi, A., Chen, C., Li, H.X., Davis, M.E., Mater, M., Burkette, S.L., J Fre Â chet, J.M., Niu, Q.J., 1998. Polymers for 193-nm Microlithography: Regioregular 2-Alkoxy carbonylnortricyclene Polymers by Controlled Cyclopolymerization of Bulky Ester Derivatives of Norbornadiene. **Curr. Opin. Coll. Interf. Sci**, **37**(5): 180–182.

44. Singhvi, R., Kumar, A., Lopez, G., Stephanopoulos, G., Wang, D., Whitesides, G., Ingber, D., 1994. Engineering cell shape and function. **Science**, **264**(5159): 696–698.
45. Chen, C.S., Mrksich, M., Huang, S., Whitesides, G.M., Ingber, D.E., 1997. Geometric Control of Cell Life and Death. **Science**, **276**(5317): 1425–1428.
46. Aksay, I.A., Trau, M., Manne, S., Honma, I., Yao, N., Zhou, L., Fenter, P., Eisenberger, P.M., Gruner, S.M., 1996. Biomimetic Pathways for Assembling Inorganic Thin Films. **Science**, **273**(5277): 892–898.
47. Balazs, A.C., Singh, C., Zhulina, E., Gersappe, D., Pickett, G., 1997. Patterned Polymer Films. **MRS Bulletin**, **22**(1): 16–21.
48. Milner, S.T., Witten, T.A., Cates, M.E., 1988. Theory of the Grafted Polymer Brush. **Macromolecules**, **21**(8): 2610–2619.
49. Mansouri, J., Yapit, E., Chen, V., 2013. Polysulfone filtration membranes with isoporous structures prepared by a combination of dip-coating and breath figure approach. **Journal of Membrane Science**, **444**: 237–251.
50. Callewaert, M., Gohy, J.-F., Dupont-Gillain, C.C., Boulangé-Petermann, L., Rouxhet, P.G., 2005. Surface morphology and wetting properties of surfaces coated with an amphiphilic diblock copolymer. **Surface Science**, **575**(1–2): 125–135.
51. Belleville, P., Bonnin, C., Priotton, J., **2000**. Room-Temperature Mirror Preparation Using Sol-Gel Chemistry And Laminar-Flow Coating Technique.
52. Beers, K.L., Douglas, J.F., Amis, E.J., Karim, A., 2003. Combinatorial Measurements of Crystallization Growth Rate and Morphology in Thin Films of Isotactic Polystyrene. **Langmuir**, **19**(9): 3935–3940.
53. Ichiki, M., Zhang, L., Yang, Z., Ikehara, T., Maeda, R., 2004. Thin film formation on non-planar surface with use of spray coating fabrication. **Microsystem Technologies**, **10**: 360–363.
54. Ju, D.Y., Ji, V., Gassot, H., 2002. Computer Predictions of Thermo-Mechanical Behavior and Residual Stresses in Spray Coating Process. **The Proceedings of the JSME Materials and Processing Conference (M&P)**, **10.1**(0): 222–227.

55. Mostaghimi, J., Chandra, S., Ghafouri-Azar, R., Dolatabadi, A., 2003. Modeling thermal spray coating processes: A powerful tool in design and optimization. **Surface and Coatings Technology**, **163–164**: 1–11.
56. Metallurgy, R.T., 2002. Thermal spray coatings: broad and growing applications. **International Journal of Powder**.
57. Cruz, G., Morales, J., Olayo, R., 1999. Films obtained by plasma polymerization of pyrrole. **Thin Solid Films**, **342**(1–2): 119–126.
58. Hegemann, D., Hossain, M.M., Körner, E., Balazs, D.J., 2007. Macroscopic Description of Plasma Polymerization. **Plasma Processes and Polymers**, **4**(3): 229–238.
59. Morosoff, N., 1990. An Introduction to Plasma Polymerization, In Plasma Depos. Treat. Etch. Polym., , pp: 1–93.
60. Bao, Q., Chen, C., Wang, D., Ji, Q., Lei, T., 2005. Pulsed laser deposition and its current research status in preparing hydroxyapatite thin films. **Applied Surface Science**, **252**(5): 1538–1544.
61. Minko, S., Patil, S., Datsyuk, V., Simon, F., Eichhorn, K.-J., Motornov, M., Usov, D., Tokarev, I., Stamm, M., 2002. Synthesis of Adaptive Polymer Brushes via “Grafting To” Approach from Melt. **Langmuir**, **18**(1): 289–296.
62. Kim, M., Schmitt, S., Choi, J., Krutty, J., Gopalan, P., 2015. From Self-Assembled Monolayers to Coatings: Advances in the Synthesis and Nanobio Applications of Polymer Brushes. **Polymers**, **7**(7): 1346–1378.
63. Norrman, K., Ghanbari-Siahkali, A., Larsen, N.B., 2005. Studies of spin-coated polymer films. **Annual Reports on the Progress of Chemistry - Section C**, **101**: 174–201.
64. Bug, A.L.R., Cates, M.E., Safran, S.A., Witten, T.A., 1998. Theory of size distribution of associating polymer aggregates. I. Spherical aggregates. **The Journal of Chemical Physics**, **87**(3): 1824.
65. V. Koutsos, E. W. van der Vegte, E. Pelletier, A. Stamouli, and, Hadziioannou*, G., 1997. Structure of Chemically End-Grafted Polymer Chains Studied by Scanning Force Microscopy in Bad-Solvent Conditions.

Macromolecules, 30(16): 4719–4726.

66. V. Koutsos, E. W. van der Vegte, and, Hadziioannou*, G., 1999. Direct View of Structural Regimes of End-Grafted Polymer Monolayers: A Scanning Force Microscopy Study. **Macromolecules**, 32(4): 1233–1236.
67. Gonçalves, D., Irene, E.A., 2002. Fundamentals and applications of spectroscopic ellipsometry. **Quimica Nova**, 25(5): 794–800.
68. Dorywalski, K., Maciejewski, I., Krzyżyński, T., 2016. Spectroscopic ellipsometry technique as a materials characterization tool for mechatronic systems—The case of composition and doping concentration monitoring in SBN crystals. **Mechatronics**, 37: 33–41.
69. Pack, S., 2012. ZEN 2011 (blue edition) Service Pack 1. **2011**: 1–270.
70. García, R., Pérez, R., 2002. Dynamic atomic force microscopy methods. **Surface Science Reports**, 47(6–8): 197–301.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Bilge BOZDOĞAN
Uyruğu: Türkiye (T.C)

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Nanobilim ve Nanoteknoloji	2021
Lisans	Erciyes Üniversitesi Biyomedikal mühendisliği	2018
Lise	Elbistan İMKB Anadolu Öğretmen Lisesi, Kahramanmaraş	2013

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2019-Halen	TÜBİTAK 3501 projesi	2019
2018(staj)	Schiller	2018
2017(staj)	Marmara Üniversitesi Pendik Eğitim Ve Araştırma Hastanesi	2017

YABANCI DİL

İngilizce (İyi) Almanca (Temel)

YAYINLAR VE KONFERANSLAR

ICMPC 2021 : 23th International Conference on Macromolecular Physics and Chemistry to be held in Dubai