



T.C.  
YALOVA ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**TEK ZİNCİRLİ POLİMERİK NANOPARÇACIKLARIN ÇAPRAZ-BAĞLI  
POLİMER MATRİSLERDE KULLANIMI, ISIL-MEKANİK VE  
MORFOLOJİK ÖZELLİKLERE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Dilara MÜHÜR**  
**195101031**

**Polimer Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Polimer Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. İ. Gökhan TEMEL**

**OCAK 2022**





T.C.  
YALOVA ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**TEK ZİNCİRLİ POLİMERİK NANOPARÇACIKLARIN ÇAPRAZ-BAĞLI  
POLİMER MATRİSLERDE KULLANIMI, ISIL-MEKANİK VE  
MORFOLOJİK ÖZELLİKLERE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Dilara MÜHÜR**  
**195101031**

**Polimer Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Polimer Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. İ. Gökhan TEMEL**

**OCAK 2022**



## ÖNSÖZ

Tez çalışmamda; gelecekte çok sık karşılaşılabilecek olduğumuz nanoteknoloji ve polimerik nanoparçacık terimleri ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bu kapsamda tek zincirli polimerik nanoparçacıkların sentezi ve polimerik matrislerde incelenmesi araştırmaları gerçekleştirilmiştir. Sentezlenen malzemelerin ısı, mekanik ve morfolojik özellikleri incelenmiştir.

Tez çalışmam boyunca hiç bıkmadan bana yol gösterdiği, tez dahilinde veya haricinde her türlü sıkıntıda bana destek olduğu ve üzerimdeki emekleri için sevgili danışman hocam sayın Prof. Dr. İ. Gökhan TEMEL'e ve çalışmalarım boyunca yardım ve destekleri için sayın Öğr. Gör. H. Çağdaş ASLAN'a, polimerik nanoparçacıkların hazırlanmasında vermiş olduğu katkılardan dolayı sayın Doç. Dr. Demet KARACA BALTA'ya, yardımına ihtiyaç duyduğum her an elinden gelen tüm desteği gösteren Hasan ŞİMŞEK'e, tüm öğrenim hayatımda maddi-manevi destekleri için annem ve babam Ruhan-Ergün AKMAN'a ve her pes ettiğim, umudumu kestiğim anda bana güç veren, arkamda duran sevgili eşim Erhan MÜHÜR'e çok teşekkür ederim.

Bu tezde yapılan çalışmalar Yalova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir.

(Proje Numarası: 2021/YL/0009)

Ocak 2022

Dilara MÜHÜR  
(Polimer Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

	SayfaNo
KISALTMALAR .....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ .....	xvii
TABLO LİSTESİ .....	xxi
ÖZET.....	xxiii
ABSTRACT .....	xxv
1. POLİMER .....	1
1.1 Polimerlerin Sınıflandırılması.....	1
1.1.1 Fiberler .....	2
1.1.2 Elastomerler .....	3
1.1.3 Termoplastikler .....	3
1.1.4 Termosetler .....	4
1.1.4.1 Alkidler .....	4
1.1.4.2 Epoksi reçineler.....	5
1.1.4.3 Poliesterler.....	6
1.1.4.4 Fenolikler .....	6
1.1.4.5 Poliüretanlar .....	7
2. NANO .....	9
2.1 Nanopartikül.....	9
2.1.1 Nanopartiküllerin Avantajları .....	10
2.1.2 Nanopartiküllerin Dezavantajları .....	10
2.2 Nanoteknoloji.....	10



2.2.1 Nanoteknolojinin Avantajları.....	xxi
2.2.2 Nanoteknolojinin Dezavantajları .....	10
2.3 Polimerik Nanopartikül.....	11
2.3.1 Polimerik Nanopartiküllerin Üretim Yöntemleri .....	12
2.3.1.1 Çözücü buharlaşması .....	13
2.3.1.2 Emülsifikasyon/çözücü difüzyonu .....	14
2.3.1.3 Emülsifikasyon/ters tuzlama .....	15
2.3.1.4 Nanoçökeltme .....	16
2.3.2 Polimerik Nanopartiküllerin Karakterizasyonu .....	17
2.3.2.1 Morfoloji .....	17
2.3.2.2 Parçacık boyutu dağılımı.....	17
2.3.2.3 Kimyasal bileşimi ve kristal yapısı .....	17
2.3.2.4 Polimerin molar kütle dağılımı .....	17
3.TEK ZİNCİRLİ POLİMERİK NANOPARÇACIK .....	19
4. KOMPOZİT .....	21
4.1 Kompozitlerin Sınıflandırılması .....	21
4.1.1 Polimer Matrisli Kompozitler .....	22
4.1.2 Metal Matrisli Kompozitler.....	22
4.1.3 Seramik Matrisli Kompozitler.....	22
4.1.4 Fiber Takviyeli Kompozitler.....	22
4.1.5 Tabakalı Kompozitler.....	22
4.1.6 Parçacık Takviyeli Kompozitler .....	23
4.2 Kompozitlerin Avantajları .....	23
4.3 Kompozitlerin Dezavantajları .....	23
5. DENEYSEL .....	25
5.1 Kullanılan Kimyasal Maddeler .....	25
5.2 Kullanılan Cihazlar .....	25
5.3 Yöntemler.....	25
5.3.1 Epoksi-Amin Reçine Sistemi .....	25



5.3.2 Poli(stiren-klorometilstiren) Kopolimer (PSCMST) Sentezi.....	26
5.3.3 PSCMST Kopolimerinin Benzofenonlanması .....	27
5.3.4 Benzofenon Bazlı Tek Zincir Polimerik Nanoparçacıkların Sentezi (BP-SCNP).....	27
5.3.5 PSCMST Kopolimerinin Karbazollenmesi.....	28
5.3.6 Karbazol İçeren Tek Zincirli Nanoparçacıkların Sentezi (Ca-SCNP) .....	29
5.3.7 Benzofenon ve Karbazollü Nanoparçacıkların Epoksi-Amin Reçine Sisteminde Kullanılması .....	29
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....	33
6.1 Tek Zincirli Polimerik Nanoparçacıkların Sentezi ve Karakterizasyonu.....	33
6.2 Nanoparçacıkların Epoksi-Amin Reçine Matrislerinde Kullanılması .....	33
6.3 Polimerik Nanodolgu Epoksi-Amin Termoset Matrislerinin Isıl Özelliklerinin İncelenmesi .....	33
6.4 Polimerik Nanodolgu Epoksi-Amin Termoset Matrislerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi .....	35
6.5 Polimerik Nanodolgu Epoksi-Amin Termoset Matrislerinin Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi.....	37
7. SONUÇLAR .....	39
KAYNAKLAR .....	41
ÖZGEÇMİŞ .....	45



## KISALTMALAR

<b>AFM:</b>	Atomik Kuvvet Mikroskobu
<b>AIBN:</b>	Azobisisobütironitril
<b>c:</b>	Konsantrasyon
<b>CMC:</b>	Seramik MatrisliKompozit
<b>dk:</b>	Dakika
<b>DLS:</b>	Dinamik Işık Saçılımı
<b>FRC:</b>	Fiber Takviyeli Kompozit
<b>FTIR:</b>	Fourier Dönüşümü Kızılötesi
<b>g:</b>	Gram
<b>GPC:</b>	Jel Geçirgenlik Kromatografisi
<b>LCD:</b>	Likit Kristal Görüntü
<b>LS:</b>	Işık Saçınım
<b>mg:</b>	Miligram
<b>Mhz:</b>	Megahertz
<b>mL:</b>	Milimetre
<b>nm:</b>	Nanometre
<b>MMC:</b>	Metal MatrisliKompozit
<b>mmol:</b>	Milimol
<b>M<sub>n</sub>:</b>	Sayica Ortalama MolekülAğırlığı
<b>M<sub>w</sub>:</b>	Ağırlıkça Ortalama Molekül Ağırlığı
<b>N:</b>	Newton
<b>NMR:</b>	Nükleer Manyetik Rezonans
<b>NMRP:</b>	Nitrosil Ortamlı Radikal Polimerizasyon
<b>PCS:</b>	Foton Korelasyon Spektroskopisi
<b>PET:</b>	Polietilen tereftalat
<b>PMC:</b>	Polimer Matrisli Kompozit
<b>POSS:</b>	Polisilseksioksan
<b>PSCMST:</b>	Poli(stiren-klorometilstiren)



<b>PVC:</b>	Polivinilklorür
<b>RI:</b>	Reaktif İndeks
<b>Rh:</b>	Hidrodinamik Çap
<b>SCNP:</b>	Tek Zincirli Polimerik Nanoparçacık
<b>SEC:</b>	Boyut Dışlama Kromatografisi
<b>SEM:</b>	Taramalı Elektron Mikroskobu
<b>SLS:</b>	Statik Işık Saçılımı
<b>TEM:</b>	Geçirimli Elektron Mikroskobu
<b>TEMPO:</b>	(2,2,6,6-tetrametilpiperidin-1-il)oksi
<b>TGA:</b>	Termogravimetrik Analiz
<b>THF:</b>	Tetrahidrofur
<b>Tg:</b>	Camsı Geçiş Sıcaklığı
<b>UV:</b>	Ultraviyole
<b>W:</b>	Watt
<b>°C:</b>	Santigrad derece



<b>ŞEKİL LİSTESİ</b>	<b>Sayfa No</b>
Şekil 1.1 Temsili polimer zinciri.....	1
Şekil 1.2 Polimerlerin sınıflandırılması.....	2
Şekil 1.3 Fiber görüntüsü.....	2
Şekil 1.4 Termoplastik ve termoset elastomerler.....	3
Şekil 1.5 Termoplastikler.....	3
Şekil 1.6 Termosetler.....	4
Şekil 1.7 Alkid yapısı.....	4
Şekil 1.8 Epoksi (Oksiran) grubu.....	5
Şekil 1.9 Epoksi reçinelerinin genel yapısı.....	6
Şekil 1.10 Poliester yapısı.....	6
Şekil 1.11 Fenolik yapısı.....	6
Şekil 1.12 Poliüretan yapısı.....	7
Şekil 2.1 Nano temsili boyut gösterimi.....	9
Şekil 2.2 Nanokapsül ve nanokürelerin şematik gösterimi.....	12
Şekil 2.3 Çözücü buharlaşma yönteminin şematik gösterimi.....	13
Şekil 2.4 Emülsifikasyon/çözücü difüzyonu yönteminin şematik gösterimi.....	14
Şekil 2.5 Emülsifikasyon/ters tuzlama yönteminin şematik gösterimi.....	15
Şekil 2.6 Nanoçökeltme yöntemi şematik gösterimi.....	16
Şekil 4.1 Kompozitlerin sınıflandırılması.....	21
Şekil 5.1 NMRP tekniği kullanılarak PSCMST kopolimerinin sentezi.....	26
Şekil 5.2 PSCMS kopolimerinin benzofenonlanması.....	27
Şekil 5.3 Benzofenon bazlı tek zincir polimerik nanoparçacıkların sentezi.....	28
Şekil 5.4 Karbazolün nükleofilik süstitüsyon reaksiyonu ile PSCMSTCa'nın sentezi.....	29



Şekil 5.5 Karbazol içeren tek zincir polimerik nanoparçacıkların sentezi (Ca-SCNP).....	29
Şekil 6.1 A) Dolgusuz epoksi-amin, B) SCNP-5, C)SCNP-9 termoset formülasyonlarının TGA grafikleri.....	35
Şekil 6.2 Dolgusuz epoksi-amin, SCNP-5, SCNP-6 termoset formülasyonlarının gerilim-gerinim grafikleri.....	36
Şekil 6.3 Dolgusuz epoksi-amin, SCNP-1, SCNP-2, SCNP-3 ve SCNP-4 termoset formülasyonlarının gerilim-gerinim grafikleri.....	37
Şekil 6.4 BP-SCNP ve Ca-SCNP polimerik nanoparçacıklarının TEM görüntüleri.....	38
Şekil 6.5 SCNP-5'in SEM görüntüleri.....	38



## TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 5.1 BP-SCNP kullanılarak hazırlanan çözücülü formülasyonlar.....	30
Tablo 5.2 Epoksi ve amin miktarları.....	30
Tablo 5.3 BP-SCNP kullanılarak hazırlanan çözücsüz formülasyonlar.....	31
Tablo 5.4 Ca-SCNP kullanılarak hazırlanan çözcüsüz formülasyonlar.....	31





# TEK ZİNCİRLİ POLİMERİK NANOPARÇACIKLARIN ÇAPRAZ-BAĞLI POLİMER MATRİSLERDE KULLANIMI, ISIL-MEKANİK VE MORFOLOJİK ÖZELLİKLERE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

## ÖZET

Polimer bilimi içerisinde birçok nanoparçacık çeşidi hala araştırma konusu olmakla beraber bu nanopartiküller genel itibarıyla çözücü içerisinde çözünmemektedirler (TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, kalsit ve türevleri). Bunların dışında fulleren (C<sub>60</sub>), polisilseksioksan (POSS) ve siklodekstrinler de (nanoboyutlardaki parçacıklar) polimer matrisi veya çözücüler içerisinde çözünebilir nanoparçacıklar olarak kullanılmaktadırlar. Son yıllarda polimer nanoparçacık (nanopartikül) kavramı ortaya çıkmış ve nanoboyutlardaki kimyasalların üretilmesinde yepyeni bir kapı açmıştır.

Polimerik nanoparçacık kavramı polimer zincirlerinin kendi içerisinde (intramoleküler) kovalent veya kovalent olmayan bağlarla çapraz bağlanarak katlanma esasına dayanmaktadır. Polimerik zincirlerin çapraz bağlanma yöntemleriyle katlanarak oluşturduğu partiküller literatürde “Tek Zincirli Polimerik Nanoparçacık (Single-Chain Polymeric Nanoparticle, (SCNP))” olarak isimlendirilmektedir. Çözücü içerisinde dağılmak yerine çözünebilir bu yapılar, uygun polimer matrislerinde de homojen dağılım sergileyerek, daha üstün özellikli kompozit malzemelerin üretilmesine olanak sağlamaktadırlar.

Bu tez kapsamında ağırlıkça %0.5-3.0 aralığında nanoparçacık ihtiva eden çapraz bağlı polimer matrisli kompozit malzemeler hazırlanacak ve nanoparçacık içermeyen termosetlerle karşılaştırılarak polimer malzemelerin ısı, mekanik ve morfolojik özellikleri incelenecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Polimer, Nanoparçacık, Benzofenon, Karbazol



# **THE USE OF SINGLE-CHAIN POLYMERIC NANOPARTICLES IN CROSS-LINKED POLYMER MATRICES AND INVESTIGATION OF THEIR EFFECTS ON THERMAL-MECHANICAL AND MORPHOLOGICAL PROPERTIES**

## **ABSTRACT**

Although many types of nanoparticles are still the subject of research in polymer science, these nanoparticles are generally insoluble in solvents (TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, calcite and its derivatives). Apart from these, fullerene (C<sub>60</sub>), polysiloxoxyoxane (POSS) and cyclodextrins (particles in nanosize) are also used as nanoparticles soluble in polymer matrix or solvents. In recent years, the concept of polymer nanoparticles (nanoparticles) has emerged and opened a new door for the production of chemicals in nano-sizes.

The concept of polymeric nanoparticles is based on folding within the polymer chains (intramolecular) by cross-linking with covalent or non-covalent bonds. Particles formed by folding polymeric chains by cross-linking methods are called "Single-Chain Polymeric Nanoparticle (SCNP)" in the literature. These structures, which can dissolve instead of dispersing in the solvent, exhibit homogeneous distribution in suitable polymer matrices, allowing the production of composite materials with higher properties.

Within the scope of this thesis, cross-linked polymer matrix composite materials containing 0.5-3.0% by weight of nanoparticles will be prepared and compared with thermosets without nanoparticles, the thermal, mechanical and morphological properties of polymer materials will be examined.

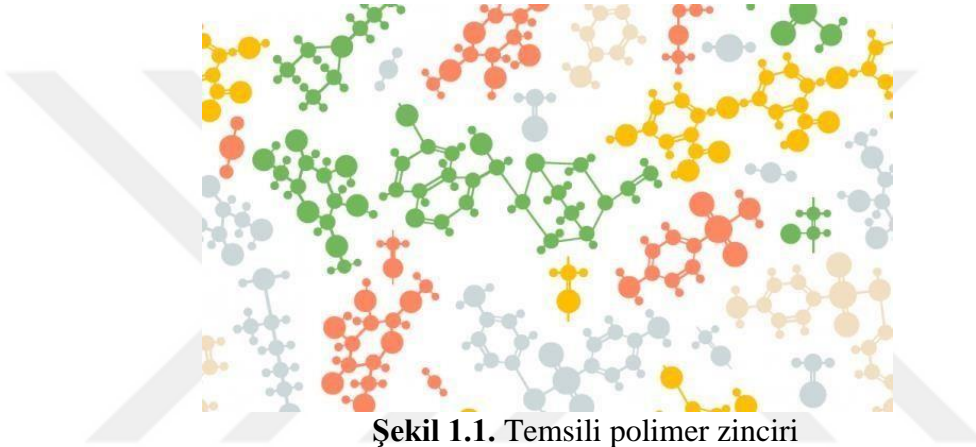
**Keywords:** Polymer, Nanoparticles, Benzophenone, Carbazole



## 1. POLİMER

Polimerler; çok sayıda aynı veya farklı atomik grupların kimyasal bağlarla bağlanarak oluşturduğu uzun zincirli-yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerdir. Polimerler "monomer" denilen birimlerin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır [1].

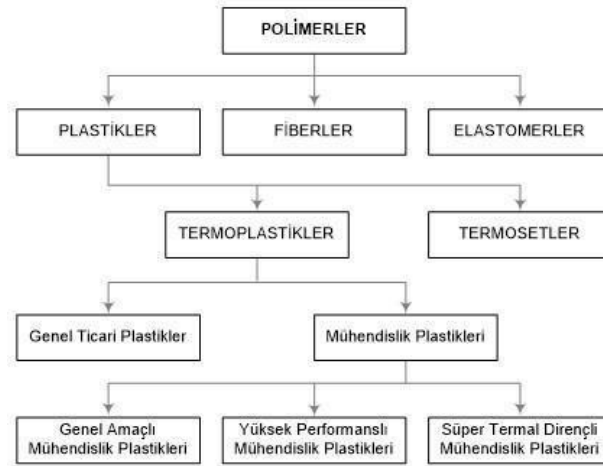
Gıda olarak tüketilen birçok ürünün içerisinde kendiliğinden oluşmuş olan veya insanlar tarafından oluşturulan polimer maddeleri bulunur. Örneğin; nişasta, un, ekmeğ gibi pek çok ürünün içerisinde polimerler bulunmaktadır. Ambalaj ürünlerinde, PVC kaplama borularda yüksek miktarda polimer vardır. İnsan vücudu büyük oranda polimer içermektedir ve aynı zamanda büyük oranda polimer de üretebilmektedir [2].



Şekil 1.1. Temsili polimer zinciri

### 1.1 Polimerlerin Sınıflandırılması

Polimerlerin incelenmesinin kolay olması ve daha iyi anlaşılması amacıyla sınıflandırma yapmak oldukça önemlidir. Polimerleri farklı şekillerde sınıflandırmak mümkündür. Endüstriyel olarak polimerler 4 alt başlıkta incelenmektedir.



Şekil 1.2 Polimerlerin Sınıflandırılması

### 1.1.1 Fiberler



**Şekil 1.3** Fiber görüntüsü

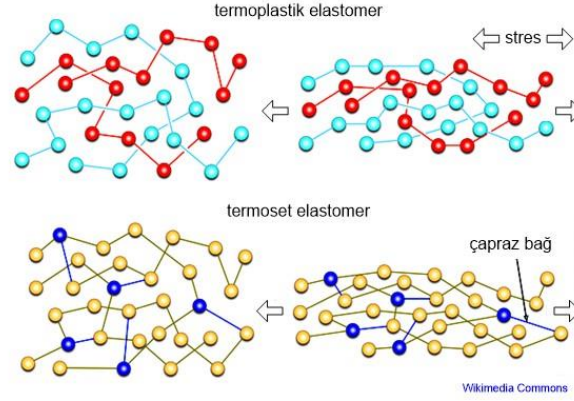
Doğal ve sentetik polimerlerden üretilirler. Genel olarak doğal, yapay ve sentetik olarak sınıflandırılırlar.

Doğal fiberler, doğa koşullarında oluşan malzemelerden elde edilirler. Bitkisel fiberler ve hayvansal fiberler olarak iki grupta incelenirler.

Yapay fiberler, doğal polimerlerin kimyasal yollarla işlenmesiyle elde edilirler. Genel olarak tekstil, otomobil lastik imalatında kullanılan filamentler ve şeffaf lif imalatında kullanılırlar.

Sentetik fiberler, sentetik polimerlerden (poliamid, poliester, poliakrilonitril, poliolefin, vb.) elde edilirler [3].

### 1.1.2 Elastomerler



Şekil 1.4 Termoplastik ve termoset elastomerler

Yapılarında viskozite ve elastisite barındıran polimerlerdir. Kauçuğumsu özellik gösterirler. Zincirleri arasında düşük oranda çapraz bağ bulunduğu için çekildikleri zaman uzarlar ve bırakıldıklarında eski halini alırlar.

### 1.1.3 Termoplastikler



Şekil 1.5. Termoplastikler

Oda sıcaklığında katı halde bulunan malzemelerdir. Zincirleri arasında Van der Waals bağları bulunan bu malzemeler yüksek sıcaklıklarda eriyik hale gelirler. Bu sebeple şekillendirilmeleri kolaydır. Sıcaklıkla birlikte atom zincirleri birbirinden kopar, malzemenin viskozitesi düşer ve akışkan hale gelir. Şekillendirildikten sonra soğutulduğunda kırılan bağlar tekrar bir araya gelir ve katı malzemeyi oluştururlar.

Termoplastikler bu özelliklerinden dolayı ısıyla tekrar tekrar şekillendirilebilirler. Fakat bu işlem çok sayıda yapıldığında malzemede renk değişiklikleri, mekanik mukavemette azalma gibi çeşitli hatalar meydana gelebilmektedir [4].

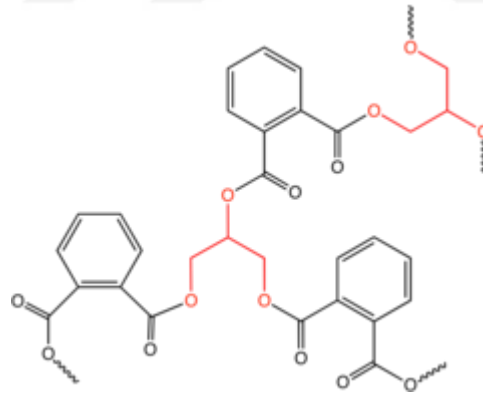
### 1.1.4 Termosetler:



**Şekil 1.6.** Termosetler

Isıtıldıkları zaman sürekli bir katılaşma ile nihai şeklini alan plastiklerdir. Isıya tekrar şekillendirme işlemi yapılamaz. Genel olarak polikondenzasyonpolimerizasyonu ile üretilirler. Zincirleri arasında çapraz bağ noktaları bulunur. Bu sebeple eğme, dönme hareketi yapamayacak kadar sert ve gevrek zincirleri vardır. Ayrıca çapraz bağlanma, çözücü içinde çözünmesini de engeller ve bu plastikler çözücüde şişme davranışı gösterir. Endüstride en yaygın kullanılan termosetler; alkidler, epoksi reçineler, poliesterler, fenolikler, poliüretanlardır [5].

#### 1.1.4.1 Alkidler:



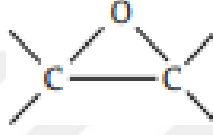
**Şekil 1.7.** Alkid yapısı

Alkid, yağ asitleri ve diğer bileşenlerin eklenmesiyle modifiye edilmiş bir poliester reçinedir. Alkidler, poliollerden ve dikarboksilik asitler veya karboksilik asit anhidrit ve trigliserit yağlar dahil organik asitlerden türetilir. Alkidler boyalarda, verniklerde ve döküm için kalıplarda kullanılır [6].

### 1.1.1.2 Epoksi reçineler:

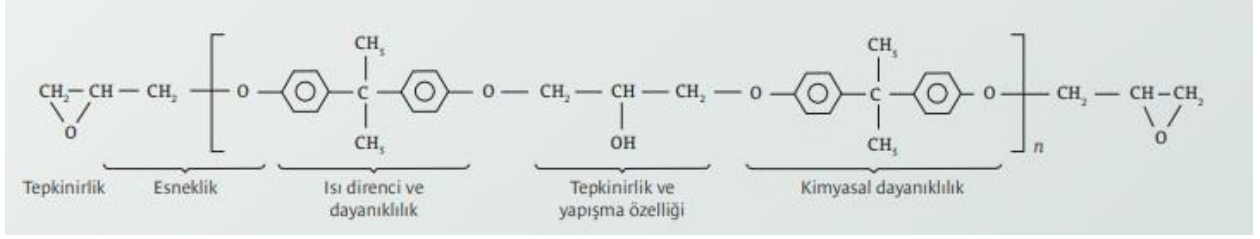
Epoksiler, yüksek yapışma mukavemetine, üstün mekanik özelliklere, iyi ısı ve elektrik direncine sahip malzemelerdir. Bu özelliklerinden dolayı fiber takviyeli kompozitler, kaplamalar, yapıştırıcılar gibi birçok kullanım alanına sahiptirler.

Epoksi reçineler, birden fazla epoksit grubu içerir. Düşük molekül ağırlığına sahiptirler. Farklı krleme malzemeleri kullanılarak zincir molekülleri birbirine bağlanır ve üç boyutlu bir aė yapı oluştururlar. Bu sayede termosetlere dönüşürler ve oldukça yüksek sıcaklıklara dayanım gösterirler.



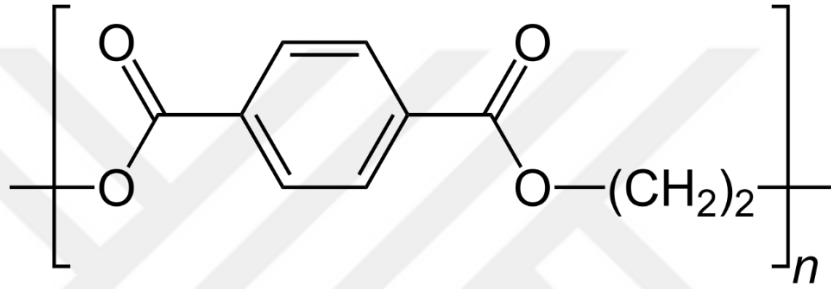
**şekil 1.8.**Epoksi (oksiran) grubu

Epoksi reçineler sadece epoksiden oluşabildiği gibi uyumlu farklı kimyasal malzemeler ile de hazırlanabilir. Tıpkı kompozitlerde olduğu gibi epoksi reçineler de farklı malzemeler ile kullanıldığında fiziksel ve kimyasal özellikleri artar [7].



Şekil 1.9.Epoksi Reçinelerin Genel Yapısı

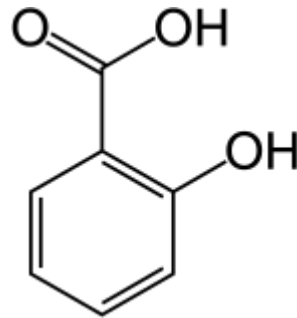
### 1.1.1.3 Poliesterler:



Şekil 1.10. Poliester yapısı

Ana bağları içinde ester fonksiyonel grupları bulunan polimerlerdir. Termoplastikpoliesterlerden olan PET, en yaygın kullanılan türlerden biridir. Gliserinfталat, ilk sentetik poliesterdir ve I. Dünya Savaşı sırasında su geçirmezlik özelliği elde etmek için kullanılmıştır. Kumaş üretimi için lifler, film şeritler, şişeler, fotoğraf filmleri, LCD, halı ve filtreler gibi oldukça geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır [8].

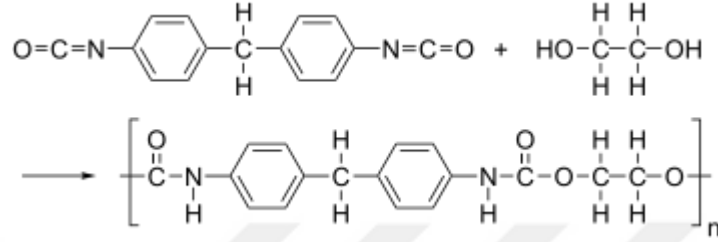
### 1.1.1.4 Fenolikler:



Şekil 1.11. Fenolik yapısı

İyi bir elektriksel özellik ve ısı direnç gösteren fenolikler, uygun katkı ile kimyasal bileşik oluşturabilmektedir. Rijitlik, ısı dayanım, yalıtım özellikleri, düşük maliyet tercih edilmelerinin başlıca sebepleridir. Başta elektrik malzemeleri olmak üzere dökümcülük, zımpara taşı yapımı, havagazı ve petrol yağlarının taşıyan boruların yapımı, çamaşır makinesi pervanesi, televizyon çerçevesi gibi birçok kullanım alanı bulunmaktadır [9].

#### 1.1.1.5 Poliüretanlar:



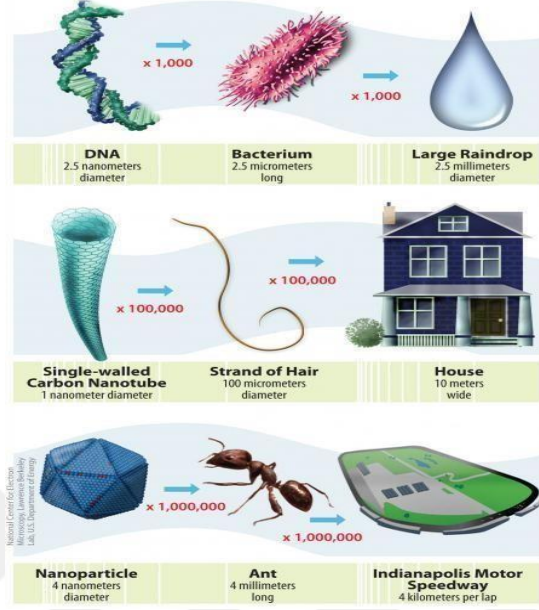
Şekil 1.12. Poliüretan yapısı

Karbamat bağları ile birbirine bağlanan organik zincirlerden oluşan bir polimerdir. İlk poliüretan Alman Bilim İnsanı Otto Bayer tarafından 1937 yılında diizosiyanatindiol ile reaksiyonundan üretilmiştir. Köpük, yüksek performanslı yapıştırıcılar, sentetik lifler, contalar, prezervatifler başlıca kullanım alanlarıdır [10].



## 2. NANO

Uluslararası Birimler Sisteminde, “nano” ön eki “milyarda bir” veya “ $10^{-9}$ ” anlamına gelir. Yani bir nanometre, metrenin milyarda biridir[11].



Şekil 2.1. Nano temsili boyut gösterimi

### 2.1 Nanopartikül

Nanopartiküller, boyutları 1-100 nanometre arasında değişen parçacıklardır. Nanopartiküller doğal olarak oluşabilir, yanma reaksiyonlarında yan ürün olarak oluşturulabilir veya özel bir proses için üretilebilir.

Materyalleri belirli bir rol oynamak için belirli bir şekilde üretme yeteneği nedeniyle, nanomalzemelerin kullanımı sağlık ve kozmetikten, çevre koruma ve hava temizlemeye kadar çok çeşitli endüstrileri kapsar.

Sağlık sektöründe, başlıca kullanım alanlarından biri ilaç salımıdır. Örneğin; kemoterapi ilaçlarının doğrudan kanserli hücrelere gönderilmesi için geliştirilen nanopartiküller bulunmaktadır.

Havacılıkta, uçak kanatlarının biçimlendirilmesinde karbon nanotüpler kullanılmaktadır.

Kozmetik endüstrisinde, UV koruyucu olarak kullanılan mineral nanopartiküller kullanılmaktadır.

Bunlar dışında askeri malzemeler, spor eşyaları, bazı plastik dış mekan eşyaları gibi kullanım alanları da mevcuttur [12].

### **2.1.1 Nanopartiküllerin Avantajları:**

- Nanopartikül ilaç taşıyıcıları yüksek stabiliteye sahiptir.
- Nanopartiküller yüksek taşıma kapasitesine sahiptir.
- Hem hidrofilik hem de hidrofobik malzemeler ile kullanılabilir.
- Nanopartiküller biyobozunurdur, toksik değildir ve raf ömrü uzundur.
- Kontrollü ilaç salımında kullanılabilirler.

### **2.1.2 Nanopartiküllerin Dezavantajları:**

- Polimerik nanopartiküller, tekrarlanan uygulamada sınırlı ilaç yükleme kapasitesine sahiptir, polimerik taşıyıcıların biyotransformasyonu sırasında toksik metabolitler oluşabilir.
- Polimerik nanopartiküller, sistematik toksisiteye neden olabilecek miktarda nispeten yavaş biyolojik olarak parçalanabilir [13].

## **2.2 Nanoteknoloji**

Nanoteknoloji, malzemelerin, yapıların, cihazların ve sistemlerin tasarımında, karakterizasyonunda, üretiminde ve uygulamasında nanometre ölçeğinde boyutlarda gerçekleşen olayların kullanıldığı bilim ve mühendislik alanıdır. Elektronik ve optoelektronik dahil olmak üzere bilgi ve iletişim sektörü, gıda teknolojisi, enerji teknolojisi, ilaç dağıtım sistemleri, teşhis ve tıbbi teknoloji gibi birçok alanda nanoteknolojiden faydalanılmaktadır [14].

### **2.2.1 Nanoteknolojinin Avantajları:**

- Enerji sektöründe daha küçük ve daha verimli cihazlarda, daha etkin enerji üreten, emen ve enerji depolayan ürünlerin geliştirilmesi nanoteknoloji ile mümkündür. Piller, yakıt pilleri, güneş pilleri gibi malzemeler daha küçük boyutlarda üretilebilir ancak nanoteknoloji ile aynı zamanda verimliliği de artırılabilir.[15]
- Nanoteknoloji ile daha güçlü, daha dayanıklı ve daha hafif nanotüpler, aerojeller, nanoparçacıklar vb. malzemeler üretilebilir.
- Tıp sektöründe akıllı ilaç olarak adlandırılan malzemelerin üretilmesinde nanoteknoloji kullanılmaktadır. Bu ilaçlar, geleneksel ilaçlara kıyasla yan etki göstermeden iyileşme sürecini hızlandırır.

### **2.2.2 Nanoteknolojinin Dezavantajları:**

- Atomik silahlar daha güçlü, daha erişilebilir hale getirilebilir.
- Bu teknolojiye kullanılan parçacıklar çok küçük olduğundan solunmasında bazı sorunlar ortaya çıkabilir.
- Nanoteknoloji ile üretim yapmak zordur.
- Bu teknoloji oldukça pahalıdır[15].

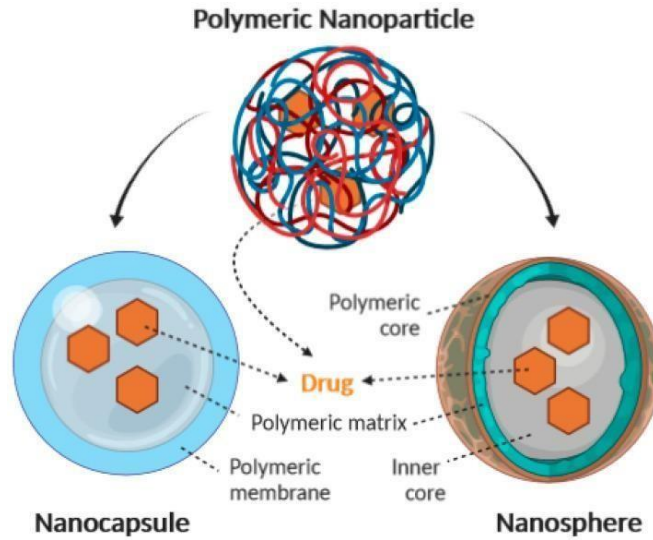
### 2.3 Polimerik Nanopartikül

Polimerik nanopartiküller; doğal veya sentetik polimerlerden hazırlanan boyutları 1-100 nm arasında değişen, hazırlama yöntemine göre nanoküre veya nanokapsül olarak adlandırılan ve etkin maddenin partikül içinde çözündürüldüğü, hapsedildiği ve/veya yüzeye absorbe edildiği ya da bağlandığı matris sistemlerdir.

Nanokapsüller, ilacın çekirdekten salınımı kontrol eden polimerik bir kabuk ile çevrili, ilacın genellikle çözündüğü yağlı bir çekirdekten oluşur. Nanoküreler, ilacın içinde tutulabildiği veya yüzeylerine absorbe edilebildiği sürekli bir polimerik ağ üzerine kuruludur [16].

Fotonik, elektronik, iletken malzemeler, sensörler, kirlilik kontrolü, tıp, biyoteknoloji gibi çok geniş kullanım skalasına sahip olan polimerik nanopartiküller küçük boyutlu olmalarından dolayı son yıllarda büyük ilgi görmektedirler [17]. Polimerik nanopartiküller istenilen malzemeyi (ilaç, peptit, protein vb.) hedeflenen bölgeye iletebilme özelliğine sahiptir [18].

Polimerik nanoparçacıkların ilaç salınım sistemlerinde kullanılmasının başlıca iki önemli sebebi vardır. Bunlardan ilki; partikül boyutlarının kılcal damarlardan kolaylıkla geçebilmeleri, hücre içi ve dışı boşluklara kolaylıkla girebilmeleridir. Bu sayede aktif madde hedeflenen bölgeye başarılı bir şekilde ulaşmış olur. İkinci sebep ise; nanopartiküllerin hazırlandığı malzemelerin biyobozunur malzemeler olmasıdır. Malzemenin biyobozunur olması hem vücuda herhangi bir zarar vermemekte hem de onarılabilecek bölgede uzun süre kalarak etkin bir aktif madde salınımına olanak sağlamaktadır [19].



Şekil 2.2. Nanokapsül ve nanokürelerin şematik gösterimi

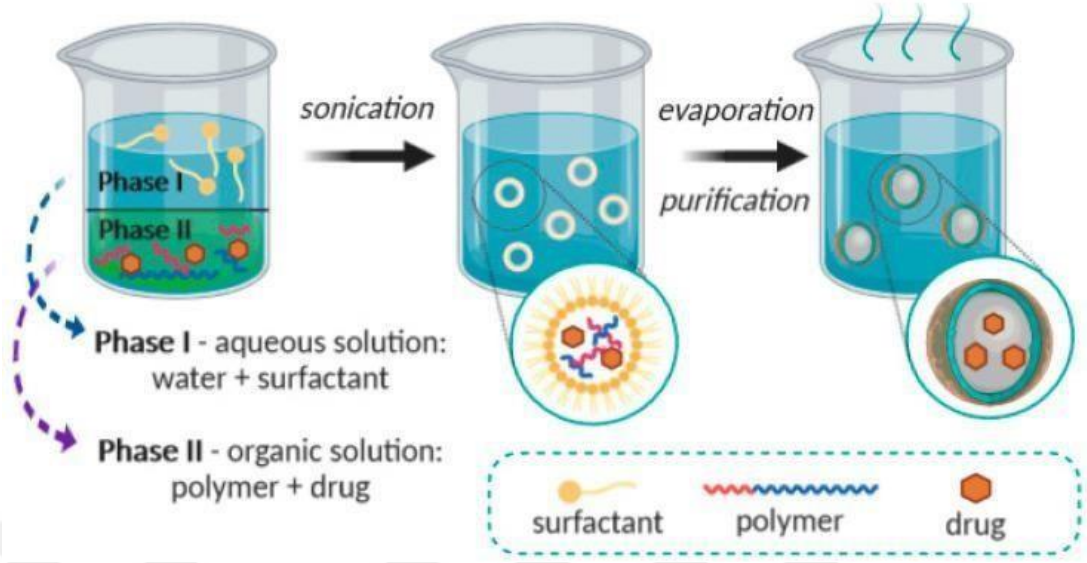
### 2.3.1 Polimerik Nanopartiküllerin Üretim Yöntemleri:

Polimerik nanopartiküllerin üretim yöntemleri kullanılacak polimere ve uygulamasına göre farklılık göstermektedir. Genel olarak önceden oluşturulmuş polimerin dispersiyonu veya monomerin polimerizasyonu olmak üzere iki ana strateji ile üretilirler.

Önceden oluşturulmuş polimerlerin kullanımını gerektiren tekniklerin çoğunda, polimeri çözmek için ilk aşamada organik çözücüler kullanılır. Monomer polimerizasyonuna dayalı tekniklerde daha yüksek verimlilik gözlenir. Bileşiklerin polimerik nanoparçacığa eklenmesi ve monomerin polimerizasyonu tek adımda gerçekleşir. Kullanılan hazırlama yönteminden bağımsız olarak, ürünler genellikle sulu koloidal süspansiyonlar halinde elde edilir.

Nanoküre hazırlamak için *çözücü buharlaşması*, *emülsifikasyon/çözücü difüzyonu*, *nanoçökeltme*, *emülsifikasyon/ters tuzlama* yöntemleri kullanılırken nanokapsüller genellikle *nanoçökeltme* yöntemi ile hazırlanır [20].

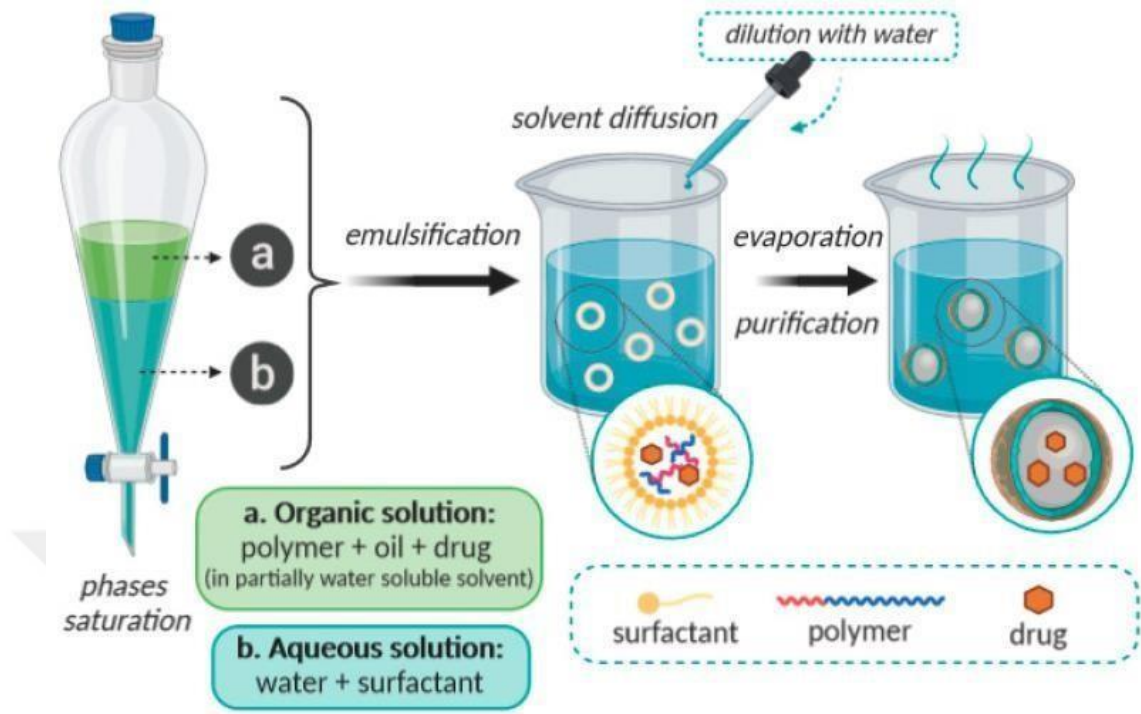
### 2.3.1.1 Çözücü buharlaşması:



Şekil 2.3. Çözücü buharlaşma yönteminin şematik gösterimi

Bu yöntemde, başlangıçta bir su içinde yağ emülsiyonu hazırlanır. İlk olarak, içinde polimerin çözüldüğü polar bir organik çözücünden oluşan organik faz hazırlanır ve aktif bileşen, çözünme veya dispersiyon yolu ile bu gaza dahil edilir. Organik solüsyon sulu fazda bir yüzey aktif madde ile emülsiyon haline getirilir ve daha sonra tipik olarak yüksek hızlı homojenizasyon veya ultrasonikasyon kullanılarak karıştırılır ve nanoparçacıkların dispersiyonu elde edilir. Emülsiyonun sürekli fazı boyunca yayılmasına izin verilen polimer çözücünün uzaklaştırılması ile bir nanoparçacık süspansiyonu oluşturulur. Çözücü ya da sıcaklığında sürekli manyetik karıştırma ile ya da düşük basınçta yavaş bir işlem ile buharlaştırılır. Çözücü buharlaştıktan sonra, katılaştıran nanopartiküller yıkanabilir ve santrifüjleme ile toplanabilir, ardından uzun süreli depolama için dondurarak kurutma yapılabilir [20].

### 2.3.1.2 Emülsifikasyon/çözücü difüzyonu:

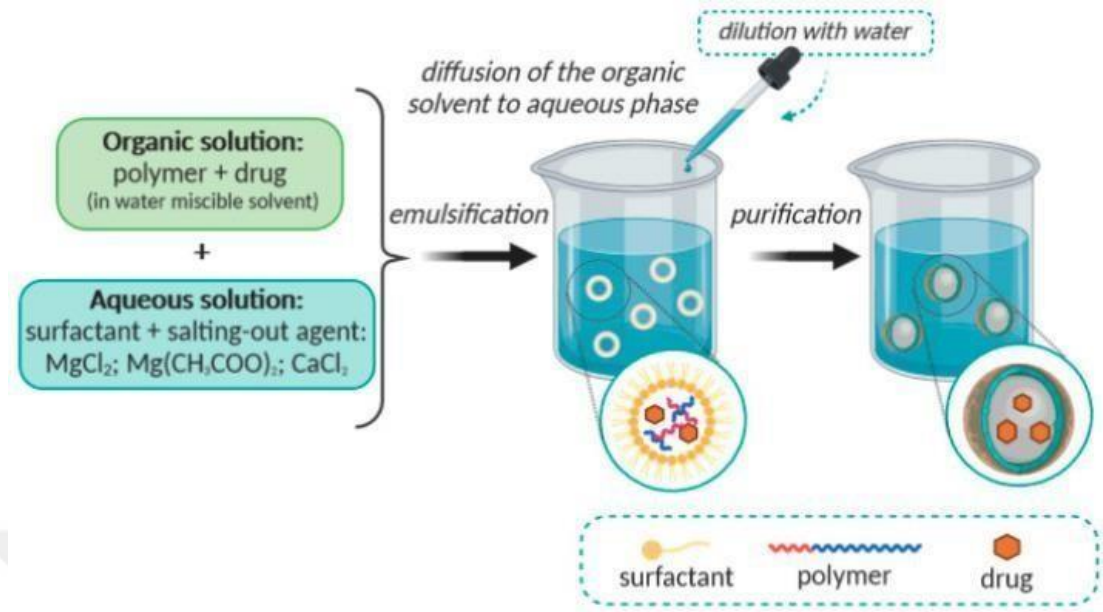


Şekil 2.4. Emülsifikasyon/çözücü difüzyonu yöntemi şematik gösterimi

Bu yöntem, polimer ve aktif madde içeren kısmen su ile karışabilen bir çözücü ile bir yüzey aktif maddeli sulu bir çözelti arasında bir su içinde yağ emülsiyonunun oluşturulmasıyla gerçekleşir. Bu emülsiyonun iç fazı, oda sıcaklığında her iki fazın bir başlangıç termodinamik dengesini sağlamak için kısmen hidro-karışabilir bir organik çözücüdür. Daha sonra yüksek miktarda su ile seyreltme, dağılmış damlacıklardan dış faza solvent difüzyonunu indükler, bu da koloidal partiküllerin oluşumu ile sonuçlanır. Son olarak, organik çözücünün kaynama noktasına bağlı olarak çözücü, buharlaştırma veya süzme yoluyla ortadan kaldırılabilir.

Bu yöntem genel olarak nanoküre elde etmek için kullanılan bir yöntemdir. Ancak organik faza az miktarda yağ eklendiğinde nanokapsül de elde edilebilir [20].

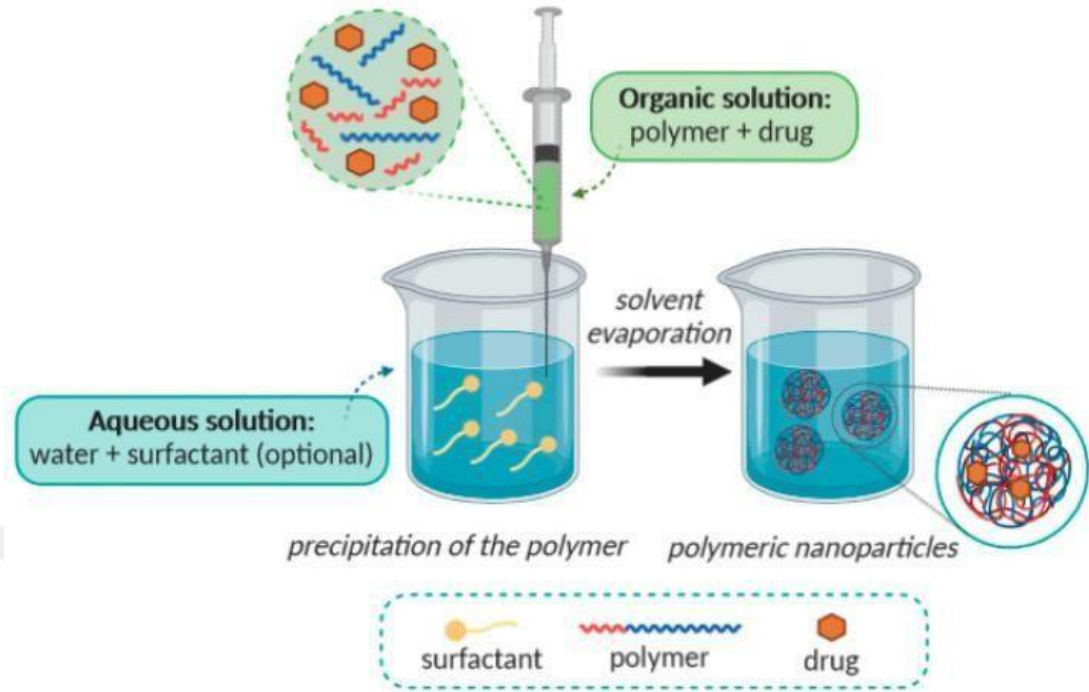
### 2.3.1.3 Emülsifikasyon/ters tuzlama:



Şekil 2.5. Emülsifikasyon/Ters tuzlama yöntemi şematik gösterimi

Tuzlama yöntemi, nanokürelerin oluşumu ile sonuçlanabilecek bir tuzlama etkisi yoluyla sulu bir çözeltiden hidro-karışabilir bir çözücünün ayrılmasına dayanır. Emülsifikasyon/çözücü difüzyonu yöntemi, bu yöntemin bir modifikasyonu olarak düşünülebilir. Aralarındaki ana fark, aseton veya etanol gibi su ile karışabilen bir polimer çözücünden formüle edilen su içinde yağ emülsiyonunun bileşimidir ve sulu faz bir jel, tuzlama maddesi ve bir koloidal stabilizatör içerir. Aseton ve suyun karışabilirliği, sulu fazın doyurulmasıyla azaltılır, bu da diğer karışabilir fazlardan bir su içinde yağ emülsiyonunun oluşmasına izin verir. Su içinde yağ emülsiyonu yoğun karıştırma altında oda sıcaklığında hazırlanır. Daha sonra emülsiyon, organik çözücünün dış faza difüzyonuna, polimerin çökmesine ve sonuç olarak nanokürelerin oluşumuna izin vermek için uygun hacimde deiyonize su veya sulu bir çözelti kullanılarak seyreltilir. Kalan çözücü ve tuz çözücü madde çapraz akışlı filtrasyon ile elimine edilir [20].

### 2.3.1.4 Nanoçökeltme:



Şekil 2.6. Nanoçökeltme yöntemi şematik gösterimi

Çözücü yer değiştirme yöntemi olarak da adlandırılır. Bu yöntem için iki karışabilir çözücü gereklidir. Dahili faz, karışabilir bir organik çözücü içinde çözülmüş bir polimerden oluşur. Çözücüler suya karışmadıkları için buharlaşma yoluyla kolayca çözülebilirler. Bu yöntem, organik çözücünün lipofilik bir çözücüden sulu faza yer değiştirmesinden sonra bir polimerin ara yüzeyde birikmesi esasına dayanır. Polimer, ara polariteye sahip, suyla karışabilen bir çözücü içinde çözülür ve bu çözelti, karıştırma altında veya kontrollü ekleme hızı ile sulu bir çözeltiye adım adım eklenir. Polimer çözeltisinin sıvı faza hızlı kendiliğinden difüzyonu nedeniyle, su moleküllerinden kaçınmak için nanopartiküller oluşur. Çözücü nanoparçacıklardan difüze olurken; polimer, nanokapsüller veya nanoküreler şeklinde çöker. Genellikle, nanopartikül oluşumunda gerekli olmasa da, koloidal süspansiyonun stabilitesini garanti etmek için sürece yüzey aktif madde eklenebilir.

Aktif madde polimerik çözelti içinde çözüldüğünde veya dağıldığında nanoküre elde edilir. Nanokapsül ise aktif madde önceden bir yağ içinde çözüldüğünde elde edilir [20].

### **2.3.2 Polimerik Nanopartiküllerin Karakterizasyonu**

Polimerik nanopartiküller, bileşim ve konsantrasyon gibi fiziksel özelliklerin yanı sıra boyut, şekil, yüzey özellikleri, kristallik veya dağılım durumunda farklılık gösterebilirler. Bu özellikler genellikle elektron mikroskobu, dinamik ışık saçılımı (DLS), foton korelasyon spektroskopisi (PCS), yakın kızılötesi spektroskopisi, elektroforez ve kromatografi gibi yöntemlerle değerlendirilir [20].

#### **2.3.2.1 Morfoloji**

SEM ve TEM, polimerik nanopartiküllerin şekli ve boyutu ile ilgili bilgi elde etmek için en yaygın kullanılan yöntemlerdir. TEM ile nanokapsül duvarının kalınlığı belirlenebilir. Ayrıca nanokapsül ve nanoküreler arasında TEM kullanılarak ayırım yapılabilir. Nanoküreler katı bir polimerik yapıda küresel bir şekle sahipken, nanokapsüller yağlı çekirdeğin etrafında ince bir polimerik zarftan oluşur.

Polimerik nanopartiküllerin yüzey morfolojisini karakterize etmek için kullanılan bir diğer yöntem de AFM'dir. Üç boyutlu ve nanometrik ölçekte yüksek çözünürlüklü bilgi sağlar. Bu teknik uygulanarak nanoparçacıkların yüzeyinde karmaşık bir topografi gözlemlenirken, numunelerin kesitleri analiz edilerek küçük boşlukların ve gözeneklerin varlığı da ortaya çıkarılır [20].

#### **2.3.2.2 Parçacık boyutu dağılımı**

Polimerik nanopartiküller genel olarak 100 ila 300 nm arasında ortalama çaplara sahip olabilir. Polidispersite mümkün olduğu kadar düşük (ideal olarak sifıra yakın) ve boyut dağılımı tek modlu olmalıdır. Nanoparçacık boyutu farklı teknikler kullanılarak ölçülebilir. Yaygın olarak DLS, SLS, TEM, SEM ve AFM kullanılmaktadır [20].

#### **2.3.2.3 Kimyasal bileşimi ve kristal yapısı**

Kimyasal bileşim, bir nanoparçacığın oluşturulduğu atomik elementlerin yanı sıra, doğal veya oluşturulmuş fonksiyonel gruplardaki bileşikleri ifade eder.

Bir nanoparçacıktaki element atomlarının düzenlenmesi, bir kristal yapı halinde organize edilebilir veya amorf olabilir. Genel olarak kristal yapı, toz X-ışını kırınımı veya bir transmisyon elektron mikroskobu kullanılarak seçilen alan elektron kırınımı kullanılarak belirlenir [20].

#### **2.3.2.4 Polimerin Molar Kütle Dağılımı**

Hazırlandıktan sonra polimer molar kütle dağılımının belirlenmesi, formülasyon bileşenlerinin polimerizasyon süreci üzerindeki etkisi, aktif madde ve polimer arasında kimyasal reaksiyonların oluşumu ve ayrıca polimerin bozunması hakkında

bilgi sağlayabilir. Polimer molar kütle dağılımını belirlemek için en yaygın olarak kullanılan teknik SEC'dir [20].



### 3. TEK ZİNCİRLİ POLİMERİK NANOPARÇACIK

Lineer polimer zincirlerinin, çapraz bağlanabilir gruplar ile kontrollü zincir içi çapraz bağlanması yoluyla elde edilen, ultra seyreltik çapraz bağlı polimerler tek zincirli polimerik nanoparçacık (SCNP) olarak tanımlanabilir [21]. Bu malzemeler kataliz, sensör, nanoreaktör ve nanotıp alanlarında geniş kullanım yelpazesine sahiptir [22].

Polimer zincirinin reaksiyon karışımındaki konsantrasyonu çok düşükse, moleküller arası etkileşimler ön planda olacağından çapraz bağlanmadan dolayısıyla da SCNP'den bahsetmek mümkün olmayacaktır. Yüksek konsantrasyonlarda, zincir içi çapraz bağlanma noktaları gözlemlendiği için SCNP varlığından söz edilebilir. Konsantrasyon haricindeki diğer bir parametre ise lineer zincirin büyüklüğüdür. Lineer polimer zinciri kontrollü bir şekilde sentezlenirse dar bir boyut dağılımı dolayısıyla da birbirine yakın büyüklüklerdeki polimer zincirleri üretilmiş olur.

SCNP'ler kovalent veya kovalent olmayan etkileşimler olmak üzere 2 farklı yaklaşım ile üretilebilir. Eğer kovalent olmayan etkileşimler kullanılırsa farklı uyaranlara yanıt verebilen nesnel oluşturulabilir. Kovalent etkileşimlerle üretilenlerde ise sıcaklık, pH gibi parametrelere karşı stabiliteye sahip SCNP'ler üretilebilir.

SCNP üretmek için kullanılan fonksiyonel polimerler kontrollü-yaşayan polimerizasyon yöntemi ile üretilebilir. Daha sonra asılı fonksiyonel gruplar kendi içlerinde veya dışarıdan bir çapraz bağlayıcı eklenmesiyle nanoparçacıkları oluşturur. Buradaki tek koşul, zincirlerin birbirleri arasında çapraz bağlanmasını engellemek için (yani zincir-içi çapraz bağlanmayı sağlayabilmek için) ortamın yüksek seyreltik koşullarda olması gerekir. Optimum seyreltme koşullarında ( $c=1,0$  mg/mL) zincirler birbirlerinden uzaklaşacağı için zincir içi çapraz bağlanma durumu sağlanmış olur.

SCNP'ler zincir-içi çapraz bağlanmaya sahip olması nedeniyle çözünebilme özelliğine sahiptir. Bu özellik sayesinde uygun matrislerde homojen dağılım sergileyebilirler. SCNP'ler ile oluşturulan kompozit malzemeler bu sebeple oldukça iyi özelliklere sahiptir.

Üç boyutlu ve nano ölçekte olması sebebiyle SCNP'ler ulaşılması zor bölgelere bile ulaşarak kontrollü ilaç salınım imkanı sağlamaktadır. Ayrıca yüzey alanları da fazladır. Bu sayede biyolojik ve biyomedikal alanlarda kullanım için oldukça avantajlı bir geleceğe sahiptir [23].

SCNP'ler Nükleer Manyetik Rezonans (NMR), Fourier Dönüşümü Kızılötesi (FTIR) ve Jel Geçirgenlik Kromatografisi (GPC) ile gözlemlenebilir.

Nanoparçacıkların boyutu ve morfolojisini gözlemek için Transmisyon Elektron Mikroskobu (TEM), Atomik Kuvvet Mikroskopisi (AFM) ve Dinamik Işık Saçılımı (DLS) kullanılır [24].



## 4. KOMPOZİT

Kompozit malzeme, farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip iki malzemenin bileşimidir. Birleştirildiklerinde, belirli bir işi yapmak için özelleşmiş bir malzeme oluştururlar. Geleneksel malzemeler yerine kullanılmalarının başlıca nedeni, bileşen malzemelerin özelliklerini iyileştirmeleri ve birçok durumda uygulanabilir olmalarıdır [25].

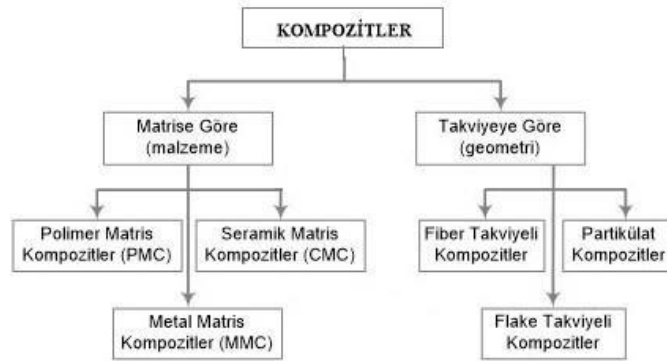
### 4.1 Kompozitlerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemelerin sınıflandırılması iki ana başlıkta incelenebilir.

- Matris bileşenine göre kompozitler
- Güçlendirme bileşenine göre kompozitler

Matris bileşenine göre kompozitler; *polimer matrisli kompozitler* (PMC), *metal matrisli kompozitler* (MMC) ve *seramik matrisli kompozitler* (CMC)'dir.

Güçlendirme bileşenine göre kompozitler; *fiber takviyeli kompozitler* (FRC), *tabakalı kompozitler* veya *parçacık takviyeli kompozitler* olarak incelenir. Fiber takviyeli kompozitler de *sürekli* ve *süreksiz* lifler olarak iki alt gruba ayrılır [26].



Şekil 4.1. Kompozitlerin Sınıflandırılması

#### 4.1.1 Polimer Matrisli Kompozitler

Polimer matrisli kompozitler, genellikle petrokimya bazlı malzemelerdir. Bu kompozitler, korozyona karşı dirençli, uzun raf ömürlü, kolay işlenebilen, kolay şekillendirilebilen malzemelerdir. Birim kütle başına düşen yük kapasiteleri yüksektir. Kullanım alanı açısından en yaygın olan kompozit türüdür. Termoset ve termoplastik matrisli olmak üzere iki alt grupta incelenirler.

- **Termoset Matrisli Polimer Kompozitler:** Sıvı halde bulunurlar. Lif takviyeli termoset yapımında kullanılırlar. Prosese katılaştırıcı eklenerek önce jelleştirilir daha sonra katılaştırılırlar. Lif takviyeli kompozit yapımında düşük viskozite tercih edilir.
- **Termoplastik Matrisli Polimer Kompozitler:** Genellikle sünek malzemelerdir. Isı ile eritilir, soğutma ile katılaştırılırlar. Bu sayede tekrar tekrar şekillendirilebilir. Termoplastik matrisli polimer kompozitler amorf veya yarı kristalin yapıda olabilirler [27].

#### 4.1.2 Metal Matrisli Kompozitler

Ana bileşeni metal veya metal alaşımı olan kompozit türüdür. Takviye edildikleri malzemelere kıyaslı metal matrisli kompozitlerin özellikleri üstündür [27].

#### 4.1.3 Seramik Matrisli Kompozitler

Genellikle yüksek sıcaklıklarda çalışılan parçalar için kullanılan kompozit türüdür. Rijit ve gevrek bir yapıya sahip olan bu malzemeler, düşük süneklik ve tokluk özellikleri gösterirler. Termal şoklara karşı dayanıksızdırlar. Bu özelliklere karşın çok yüksek elastik modülüne ve çalışma sıcaklığına sahiplerdir [27].

#### 4.1.4 Fiber Takviyeli Kompozitler

Kompozit malzemelerin en yaygın türüdür. Bileşen malzemeler, moleküler boyutta birbirlerinden farklıdır. Mekanik yöntemlerle birbirlerinden ayrılabilirler. Takviye lifleri; uzun lif, kısa kesilmiş lif, dokuma kumaş gibi değişik türlerde olabilir. Liflerin matris içindeki yapısı kompozit malzemenin özelliğini belirler [27].

#### 4.1.5 Tabakalı Kompozitler

En eski kompozit malzeme türü olan tabakalı kompozitler, farklı elyaf yönlendirmelerine sahip tabakaların birleşmesiyle oluşur. Bu farklı yönlendirme, malzemeye çok yüksek mukavemet katar. Isıya ve neme karşı dayanıklı malzemelerdir. Metallerle göre hafif olmalarına karşın mukavemetleri metallere göre yüksektir. Bu kompozitlerin maliyeti düşük, dayanımları yüksek, aşınma direnci ve ısıl genleşme özellikleri oldukça iyidir [27].

#### **4.1.6 Parçacık Takviyeli Kompozitler**

Kullanılan parçacıklar genellikle kompozit malzemenin sertliğini artırır fakat dayanım üzerinde çok küçük etkileri vardır. Asıl kullanım amaçları da hazırlanan kompozit malzemenin maliyetini azaltmaktır.

Kullanılan takviyenin parçacık boyutu, boyut dağılımı, yüzey enerjisi, hacimsel oranı, homojen dağılıp dağılmaması kompozit malzemenin özelliklerini etkiler [27].

#### **4.2 Kompozitlerin Avantajları**

- Kompozit malzemenin en önemli avantajı, malzemelerin hafif olmasıdır.
- Yorulma ve korozyon dayanımları yüksektir.
- Darbe dayanımları yüksektir.
- Mukavemetleri yüksektir.
- Takviyeli kompozitlerde takviye malzemeleri, uygulanan yükleri verimli bir şekilde karşılamak için uyarlanabilir.

#### **4.3 Kompozitlerin Dezavantajları**

- Matris malzemeleri çevresel bozulmaya karşı hassastır.
- Kompozitler, dökme metallerle kıyasla daha kırılmalzemelerdir.
- Eğer kompozit malzemede bir iyileştirme yapılacaksa, onarım öncesinde tüm kontaminasyonlardan temizlenmesi gerekir.
- Kompozitler onarılmadan önce kurutulmalıdır. Çünkü reçine matrisleri ve bazı lifler nem emme özelliğine sahiptir [28,29].



## 5. DENEYSEL

### 5.1 Kullanılan Kimyasal Maddeler

Deneysel çalışmalarda termoset reçine sentezi için epoksi ve amin (Digalpa,NR 25-LV), nanoparçacık sentezi için lineer kopolimerlerin oluşturulmasında klorometilstiren (CMS, %90, SigmaAldrich) ve stiren (St, %98, Sigma) bazik alüminadan geçirilerek saflaştırılmış ve kullanılmışlardır. Nanoparçacık oluşumu için çapraz-bağlayıcı olarak 4,4'-dihidroksibenzofenon (%99, SigmaAldrich) kullanılmıştır. N-vinilkarbazol (%98, SigmaAldrich) fonksiyonlandırıcı ajan olarak ve difenilyodonyumhekzaflorofosfat (%98, SigmaAldrich) katyonik fotobaşlatıcı olarak kullanılmıştır. Kloroform (CHCl<sub>3</sub>, Merck), aseton (Merck) dimetilformamid (Merck) ve tetrahidrofuran (THF, % 99,8, J.T. Baker) çözücü olarak kullanılmıştır. Monomerler hariç tüm kimyasallar hiçbir saflaştırma prosedürü uygulanmadan kullanılmıştır.

### 5.2 Kullanılan Cihazlar

UV-Visible spektrumları, HitachiU-2900 spektrofotometresi <sup>1</sup>H NMR ölçümleri, Bruker 500 Mhz cihazında çözücü olarak CDCl<sub>3</sub> kullanılarak alınmıştır. Jel geçirgenlik kromatografisi (Viscotek GPC) ölçümleri, 1 mL/dk akış hızında mobil faz olarak THF ile birlikte üç yüksek çözünürlüklü kolon (G2000H HR, G3000H HR ve G4000H HR) kullanılarak, refraktif indeks (RI) ve ışık saçınım (LS) dedektörlerivarlığında yapılmıştır. Molekül ağırlıklarının belirlenmesi için lineer polistiren standartlarıkullanılmıştır.

TGA ölçümleri, Seiko TG/DTA 6300 cihazında 30 °C ile 750 °C aralığında, 10°C/dk ısıtma hızında ve azot atmosferi altında yapılmıştır. Fotopolimerizasyonları için, 8 W'lık ve 350 nm dalga boyunda ışık yayan 18 adet UV lamba bulunan hava soğutmalı fotoreaktör kullanılmıştır. Çekme deneyleri (1000 N) (Zwick/Roell) ASTM D 638 standardına göre yapılmıştır. Geçirimli elektron mikroskobu (TEM) analizleri JEOL 1220 JEM cihazında yüksek çözünürlüklü moda yapılmıştır. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri FEI Inc., Inspect S50 cihazıyla gerçekleştirilmiştir.

### 5.3 Yöntemler

#### 5.3.1 Epoksi-Amin Reçine Sistemi

Epoksi-amin reçine sistemini hazırlamak için epoksi:amin / 4:1 (ağırlıkça) oranı kullanılmıştır. Nanoparçacıklı ve nanoparçacıksız hazırlanan tüm örnekler polietilenden yapılan papyon şeklindeki kalıba dökülerek 24 saat oda sıcaklığında katılaşması için bekletilmiştir. Örneklerin kalıptan çıkmasını kolaylaştırmak ve

numunenin kalıptan çıkarken deforme olmasını engellemek amacıyla reaksiyon öncesi boş kalıba kalıp ayırıcı uygulanmıştır.

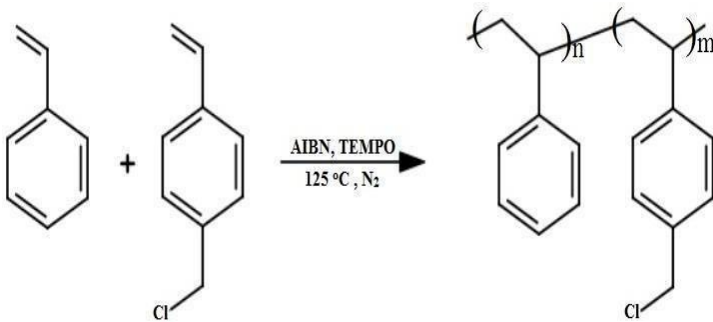
Yürütülen çalışmalarda 4 farklı karışım uygulanmıştır.

- 1) Epoksi-aminreçinesi
- 2) Epoksi-amin reçinesi + 0,2-0,5 mLkloroform
- 3) Epoksi-amin reçinesi +nanoparçacık
- 4) Epoksi-amin reçinesi + 0,2-0,5 mL kloroform +nanoparçacık

Gerçekleşecek reaksiyonu gözlemek amacıyla epoksi:amin / 4:1 oranında hazırlanan karışıma kloroform eklenerek veya eklenmeden kalıba dökülerek 24 saat oda sıcaklığında katılaşması için bekletilmiştir. Yapılan tüm çalışmalarda her örnekten özdeş 3 tane numune hazırlanmıştır.

### 5.3.2 Poli(stiren-klorometilstiren) Kopolimer (PSCMST)Sentezi

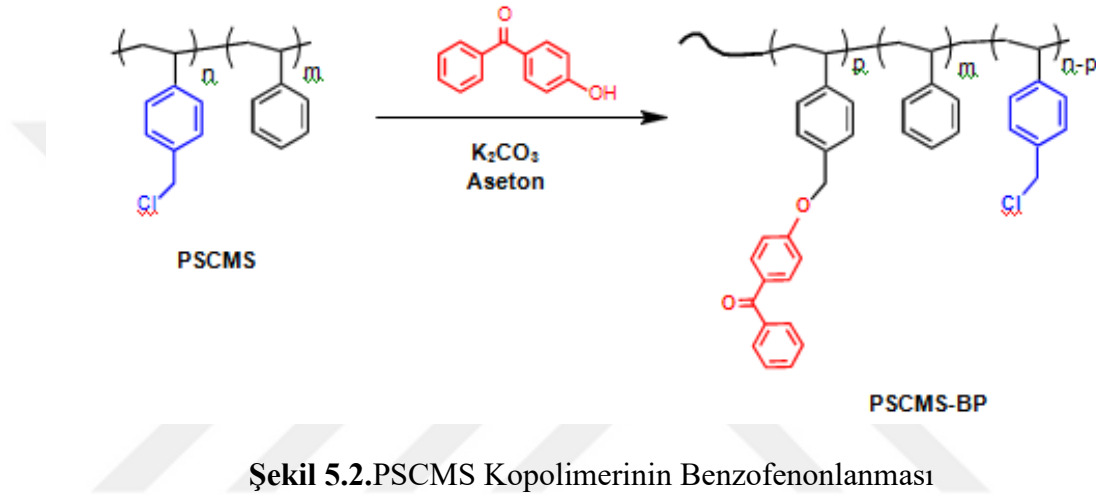
Poli (stiren-ko-klorometilstiren) kopolimeri stiren: klorometilstiren / 8,5: 1,5 besleme oranı kullanılarak, AIBN ve TEMPO varlığında azot altında NMRP polimerizasyonu tekniği ile gerçekleştirildi. Stiren ve klorometilstirenmonomerleri içerisinde bulunan inhibitör bazik alüminadan geçirilerek uzaklaştırıldı. Stiren (3,8 mL; 33,0 mmol), klorometilstiren (0,82 mL; 5,82 mmol), AIBN (10 mg; 0,06 mmol) ve TEMPO (30 mg; 0,194 mmol) sırasıyla yandan vanalı balona eklendi ve manyetik balık ile karıştırıldı. Reaksiyon balonundan azot geçirilerek vakum uygulandı. Bu işlem birkaç kez tekrar edildi. Polimerleşme reaksiyonu, 125 °C sabit sıcaklıkta yağ banyosunda 24 saat süresince gerçekleştirildi. 24 saat sonunda reaksiyon sonlandırıldı ve polimerizasyon karışımı THF ile seyreltildi, metanol içerisinde çöktürüldü (Şekil 5.1). Daha sonra polimer süzgeç kağıdından süzülerek vakum etüvünde kurumaya bırakıldı. Sentezlenen polimerin karakterizasyonu için <sup>1</sup>H-NMR, GPC, DLS ve DSC kullanıldı. (Verim: 69%)  $M_n$ , GPC = 16125,  $M_w/M_n$ = 1,18;  $T_g$ = 93,98 °C;  $R_h$ = 7,37nm.



Şekil 5.1. NMRP Tekniği Kullanılarak PSCMST Kopolimerinin Sentezi

### 5.3.3 PSCMST Kopolimerinin Benzofenonlanması

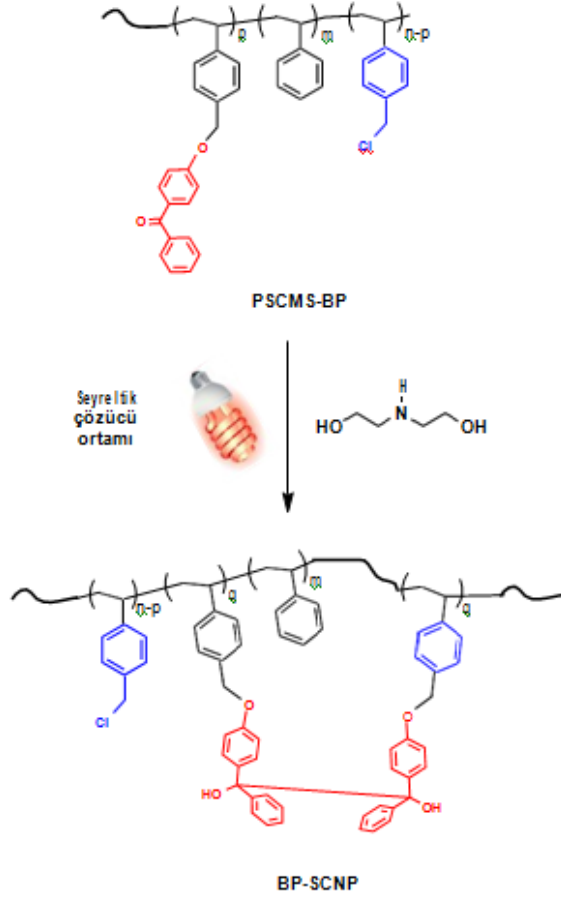
Elde edilen stiren bazlı kopolimerin klor gruplarının benzofenonlanması için basit eter sentezi kullanıldı. 4-hidroksibenzofenon (0,3 g, 1,52 mmol) ve  $K_2CO_3$  (0,28 g, 2 mmol) 20 mL aseton içerisinde çözüldü ve 3 saat oda sıcaklığında karıştırıldı. Rengi açık yeşile dönen çözeltiye 0,75 g PSCMS katı halde eklendi ve karışım 24 saat süresince 55 °C' de reflüks edildi. Süre sonunda aseton uçuruldu ve kalan katı diklorometan içerisinde çözülerek su ile 3 kez ekstraksiyon yapıldı. Organik faz  $Na_2SO_4$  ile kurutulup süzülükten sonra modifiye edilmiş kopolimer metanolde çöktürüldü. Katı polimer süzülükten sonra vakum etüvünde kurutuldu [30].



Şekil 5.2.PSCMS Kopolimerinin Benzofenonlanması

### 5.3.4 Benzofenon Bazlı Tek Zincir Polimerik Nanoparçacıkların Sentezi (BP-SCNP)

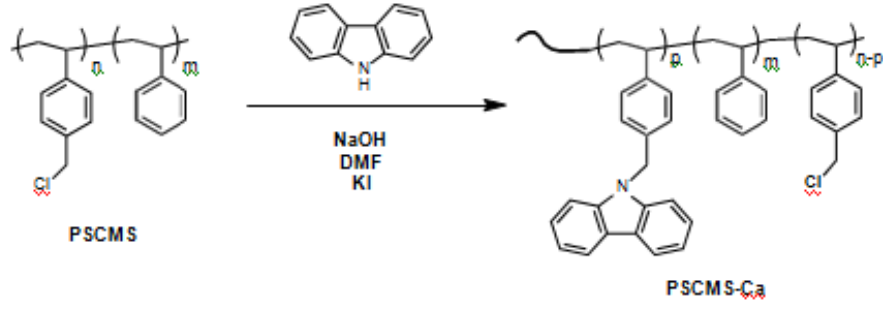
0,33 g PSCMS-BP,400 mL asetonda çözümlenerek azot atmosferi altında 24 saat karıştırıldı. Aynı bir cam balon içerisinde 1 mL dietanolamin 1250 mL aseton içerisinde azot altında 24 saat karıştırıldı. Dietanolamin çözeltisi fotoreaktörün içerisine yerleştirildi ve kopolimer çözeltisi yaklaşık 1 saat içerisinde damla damla dietanolamin çözeltisinin içerisine eklenmesi sağlandı. Damlatma işlemi bittikten sonra 4 saat daha karışım ışıkla muamele edildi. Süre sonunda aseton uzaklaştırıldı ve aşırı metanol içerisinde polimerik nanoparçacıklar çöktürüldü. Katı polimer süzülükten sonra vakum etüvünde kurutuldu.



**Şekil 5.3.** Benzofenon Bazlı Tek Zincir Polimerik Nanoparçacıkların Sentezi

### 5.3.5 PSCMST Kopolimerinin Karbazollenmesi

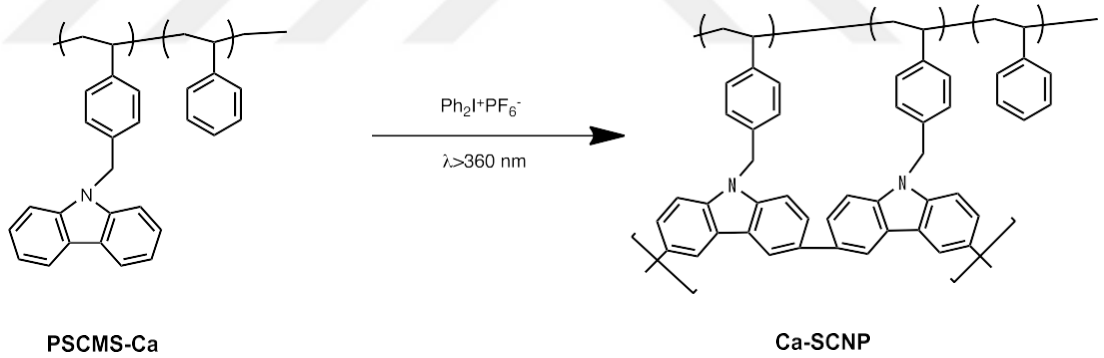
PSCMS kopolimeri üzerinde bulunan klor ünitelerinin bir kısmı, ışığa duyarlı kopolimer elde etmek için kısmi olarak karbazol birimlerine dönüştürüldü. Klorometilstiren-stiren kopolimerinin yan zincirindeki Cl gruplarının yerine nükleofilik süstitüsyon reaksiyonu ile karbazol takılması NaOH, KI ve DMF varlığında gerçekleştirildi. DMF (10 mL) içerisinde çözülen karbazol (0,171 g;  $1,02 \times 10^{-3}$  mol), NaOH (0,041 g,  $1,02 \times 10^{-3}$  mol) ve katalitik miktarda KI varlığında 2 saat ışısız ortamda oda sıcaklığında karıştırıldı. 2 saat sonunda, 1 g PSCMST kopolimeri ( $4,89 \times 10^{-5}$  mol) karışım içerisine şırınga yardımı ile damla damla ilave edildi ve sonrasında oda sıcaklığında ışısız ortamda 24 saat karıştırıldı. 24 saatin sonunda çözücü, döner buharlaştırıcıyla uzaklaştırıldı. Reaksiyon balonunun dibinde kalan katı polimer, 100 mL  $\text{CHCl}_3$  içerisinde çözüldü ve 300 mL su ile ekstrakte edildi. Organik faz susuz  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ile kurutuldu, süzüldü ve sonra çözücü 3-4 mL kalana kadar buharlaştırıldı. Yaklaşık 150 mL metanol içerisinde çöktürüldü (Şekil8.4). Elde edilen karbazol fonksiyonlitesine sahip polimer adi süzgeç kağıdından süzüldü ve vakum altında kurutuldu. (Verim: 68%)  $M_n$ , GPC= 15151,  $M_w/M_n= 1,32$ ;  $T_g= 106,23$  °C;  $R_h= 9,65$  nm [31].



**Şekil 5.4.** Karbazolün nükleofilik süstitüsyon reaksiyonu ile PSCMSTCa'nın sentezi

### 5.3.6 Karbazol İçeren Tek Zincirli Nanoparçacıkların Sentezi (Ca- SCNP)

PSCMS-Ca (60 mg, 0,0039 mmol) ve  $\text{Ph}_2\text{I}^+\text{PF}_6^-$  (2,72 mg, 0,0064 mmol) 120 mL DCM içerisinde çözüldükten sonra karanlıkta azot atmosferi altında 1 saat karıştırıldı. Karışım fotoreaktör içerisinde konarak 1 saat 350 nm'lik UV ışık altında bekletildi. Süre sonunda çözücünün aşırısı uzaklaştırıldı ve aşırı miktardaki metanolde çöktürüldü. Nanoparçacıklar süzüldükten sonra vakum etüvünde kurutuldu (Verim= %62).



**Şekil 5.5.** Karbazol İçeren Tek Zincir Polimerik Nanoparçacıkların Sentezi (Ca- SCNP)

### 5.3.7 Benzofenon ve Karbazollü Nanoparçacıkların Epoksi Amin Reçine Sisteminde Kullanılması

Benzofenonnanopartiküllerinin epoksi amin reçine sisteminde kullanılması amacıyla belirlenen yüzdelere göre ağırlıkları hesaplandı. Miktarlara bağlı olarak çözücülü (kloroform) ve çözücüsüz formülasyonlar kullanıldı.

Her hazırlanan örnek için karıştırma kabına belirlenen oranlarda sırasıyla dolgu ve çözücü eklenerek karıştırılmıştır. Daha sonra epoksi eklenerek tekrar karıştırma yapılmıştır. Amin ilavesinin ardından tekrar karıştırmaya maruz bırakılmıştır.

**Tablo 5.1.** BP-SCNP kullanılarak hazırlanan çözücülü formülasyonlar

Formülasyon	Dolgu (%) (Ağırlıkça)	Miktar (mg)	Çözücü (mL)
SCNP-1	0,1	3,6	0,2
SCNP-2	0,5	18,7	0,5
SCNP-3	1,0	35	0,5
SCNP-4	1,5	52,5	0,5

Burada yine epoksi:amin/4:1 oranı kullanıldı.

**Tablo 5.2.**Epoksi ve amin miktarları

Epoksi (gr)	Amin(gr)
2,8	0,7

İçerisinde kloroform olmayan benzofenon nanopartiküllü epoksi amin reçinesi için deneme yapmak amacıyla az miktarda pilot karışım hazırlanmıştır. Bu pilot karışımda epoksi amin oranı sabit tutularak az miktarda nano dolgu eklenmiştir.

Her hazırlanan örnek için karıştırma kabına sırasıyla nanopartikül ve epoksi konularak karıştırılmıştır daha sonra da amin eklenerek tekrar karıştırmaya maruz bırakılmıştır.

Devam eden deneylerde şahitli (aynı bileşimde, 2 adet) örnekler hazırlanmıştır.

**Tablo 5.3.** BP-SCNP kullanılarak hazırlanan çözücüsüz formülasyonlar.

Formülasyon	Dolgu (%) (Ağırlıkça)	Miktar (mg)
SCNP-5	0,1	3,5
SCNP-6	0,3	10,5
SCNP-7	0,05	1,75

Burada SCNP-5 şahitli bileşimi; şahitlerden bir tanesi el ile karıştırma, diğeri ise ultrasonik karıştırma ile hazırlanmıştır. Bundan sonra devam eden tüm proseslerde ultrasonik karıştırma yöntemi kullanılmıştır.

Her örnek için karıştırma kabına sırasıyla dolgu ve epoksi eklenerek karıştırılmış daha sonra da amin eklenerek tekrar karıştırmaya maruz tutulmuştur.

Karbazol nanopartiküllerinin epoksiamin reçine sisteminde kullanılması amacıyla belirlenen yüzdelere göre ağırlık hesaplaması yapıldı.

**Tablo 5.4.**Ca-SCNP kullanılarak hazırlanan çözücüsüz formülasyonlar.

Formülasyon	Dolgu (%)	Ağırlık (mg)
SCNP-8	0,1	3,5
SCNP-9	0,3	10,5



## 6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### 6.1 Tek Zincirli Polimerik Nanoparçacıkların Sentezi ve Karakterizasyonu

BP-SCNP ve Ca-SCNP daha önce literatürde yayınlanmış ve bu çalışmada kullanılan nanoparçacıklar literatürde belirtildiği şekilde sentezlenerek bu tez çalışmasında kullanılmışlardır. BP-SCNP ve Ca-SCNP nanoparçacıklarının her ikisinde de aromatik yapılar bulunmasına rağmen Ca-SCNP' de karbazol ünitelerinin basamaklı şekilde birleşmesinden dolayı daha rijit bir nano yapı bulunmaktadır. Bu yüzden Ca-SCNP yapısının epoksi matrisindeki davranışı, yapısının daha rijit olmasından dolayı tercih edilmiştir.

### 6.2 Nanoparçacıkların Epoksi-Amin Reçine Matrisinde Kullanılması

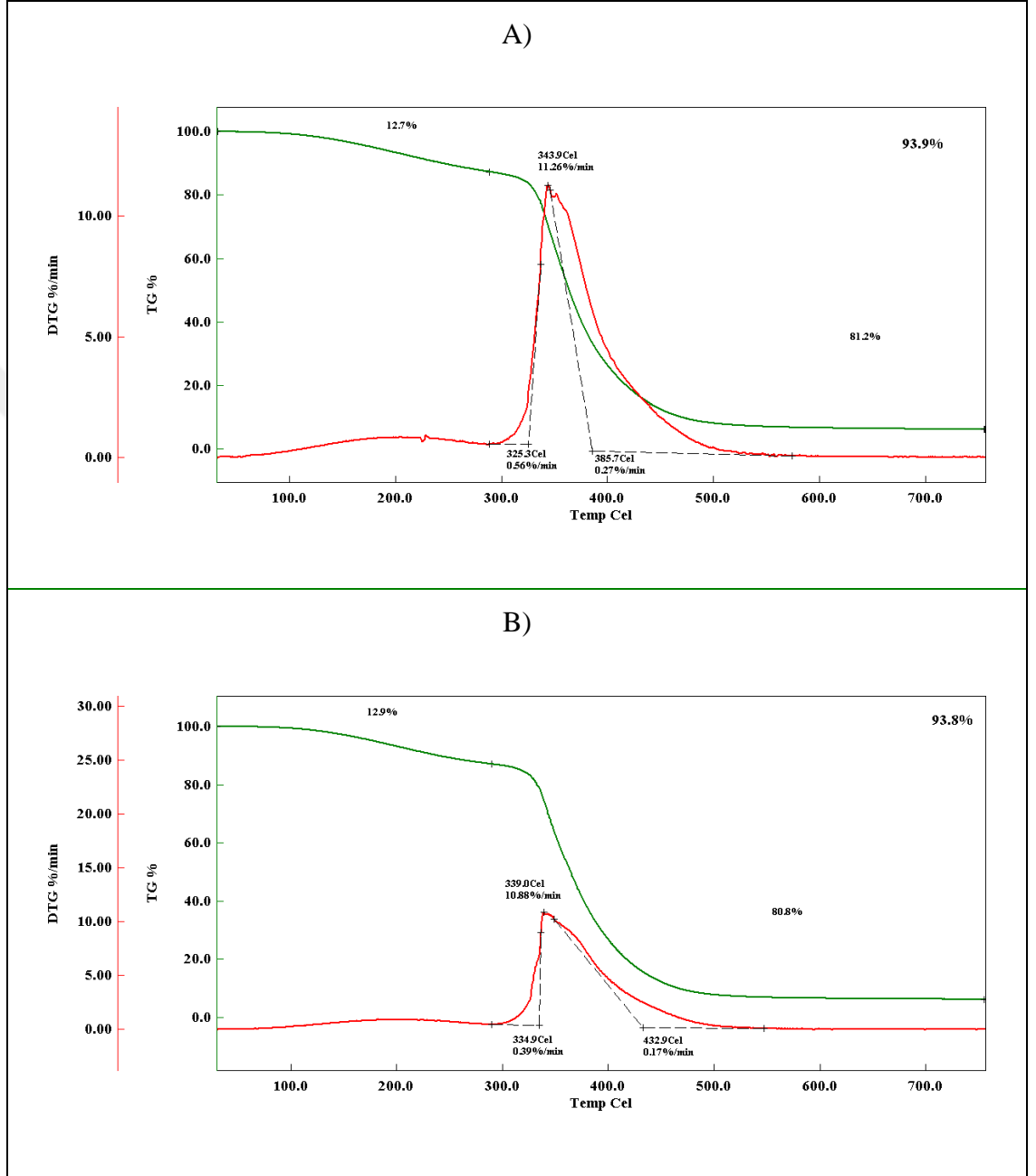
Çalışmada kullanılan nanoparçacıkların polimer matrisinde çözünüp çözünmediğinin belirlenmesi adına ağırlıkça %0.05-1,5 aralığında miktarlar tespit edilmiş olup, yüksek dolgu yüklemelerinde nanoparçacıkların matriste tamamen çözünmediği görülmüştür. Bu sebeple bu formülasyonlarda kloroform eklenmesi yoluna gidilmiş, karşılaştırma yapabilmek için düşük dolgu miktarlarındaki yüklemeler için de çözücü eklenmesi yapılmıştır. Ancak çözücünün çapraz bağlı polimer matrisinde muhtemel çapraz bağ yoğunluğunu azaltması sebebiyle mekanik özelliklerde bariz düşüşler gözlenmiştir. Buradan edinilen sonuçlar ışığında, düşük dolgu yüklenmiş epoksi reçine formülasyonları çözücüsüz olarak hazırlanarak çalışmaya devam edilmiştir.

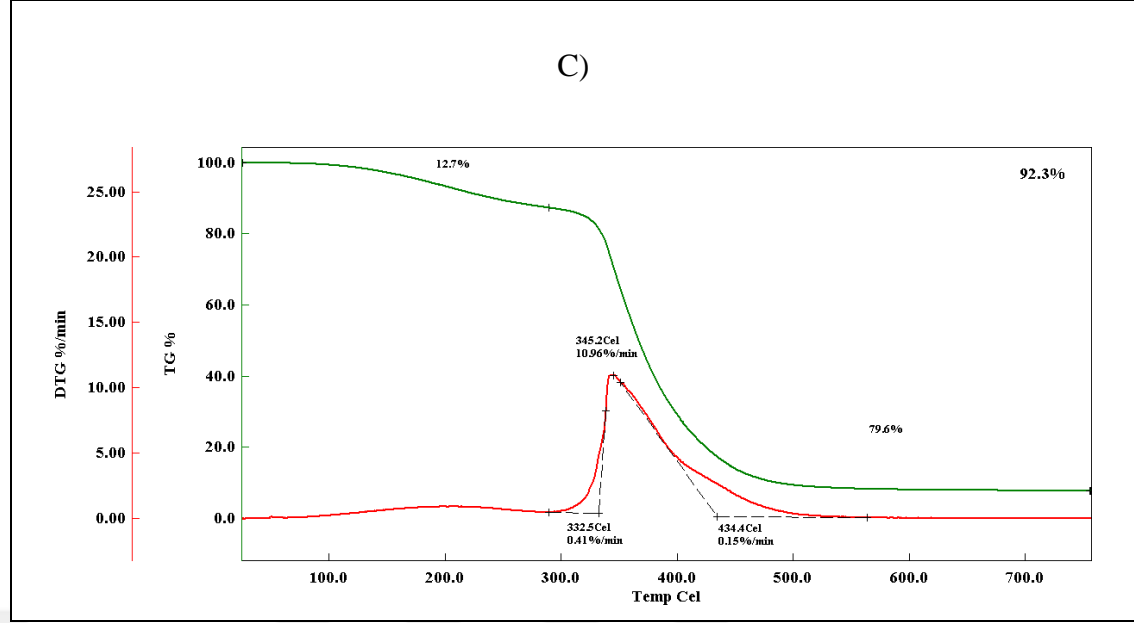
### 6.3 Polimerik Nanodolgu Epoksi-Amin Termoset Matrislerinin Isıl Özelliklerinin İncelenmesi

Farklı nanoparçacık kompozisyonlarına sahip çözücüsüz olarak hazırlanmış epoksi termosetlerinin termal gravimetrik analiz sonuçları Şekil 6.1.' de görülmektedir. Dolgusuz epoksi termoseti 750 °C termal işlem sonunda, %93,9 kütle kaybına uğramıştır. Bilindiği üzere çoğu termoplastik ürün %100' e yakın kütle kaybına uğramasına rağmen, çapraz bağlı yapıların tamamının degradasyona uğramadığı bilinmektedir. Elde edilen bu sonuç literatürle uyum içerisindedir. Dolgu yüklemesi yapılmış 2 farklı matrisin termal analizleri incelendiğinde: Benzofenon içeren nanoparçacık bulunduran termosette (SCNP-5) de saf epoksitermosete çok yakın bir kütle kaybı tespit edilmiştir. Karbazol grupları içeren SCNP-9 formülasyonu ile elde edilmiş termoset örneğinde ise toplam kütle kaybı %92,3 olarak tespit edilmiştir. Bu durum rijit karbazol gruplarının termal bozunmayı azalttığı ve diğer örneklerle kıyaslandığında kül miktarında artışa sebep olduğu düşünülmektedir.

TGA sonuçları incelendiğinde ise nanoparçacık kullanılan formülasyonlarının saf epoksi reçine formülasyonu ile kıyaslandığında, maksimum bozunma oranının daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Çözücülü formülasyonlarla oluşturulan ürünlerin termal analiz sonuçları, sentez sırasında kullanılan kloroformun az da olsa yapının içerisinde kalması sebebiyle ve sonuçlarda ciddi tutarsızlıklar görülmesinden dolayı tartışılmamıştır.





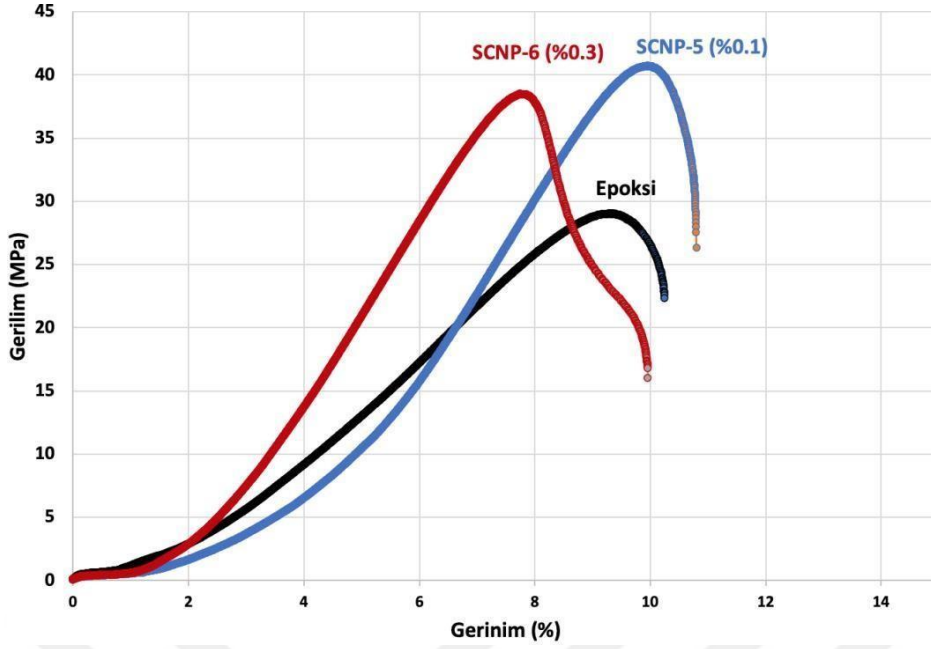
Şekil 6.1. A) Dolgusuz epoksi-amin B) SCNP-5 C) SCNP- 9 termoset formülasyonlarının TGA grafikleri

#### 6.4 Polimerik Nanodolgu Epoksi-Amin Termoset Matrislerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Farklı nanoparçacık kompozisyonlarına sahip çözücüsüz olarak hazırlanmış epoksi termosetlerinin mekanik analiz sonuçları Şekil 6.2.' de görülmektedir. Dolgusuz epoksi termosetinde en yüksek gerilim değeri yaklaşık 30 MPa olarak ölçülmüştür. %0,1 ve %0,3 oranlarında polimeriknanoparçacık yüklemesi yapılmış epoksitermosetlerde ise dolgusuz termosete (470 MPa) oranla elastik modüllerde bariz artışlar tespit edilmiştir (SCNP-5:722 MPa, SCNP-6:728 MPa).

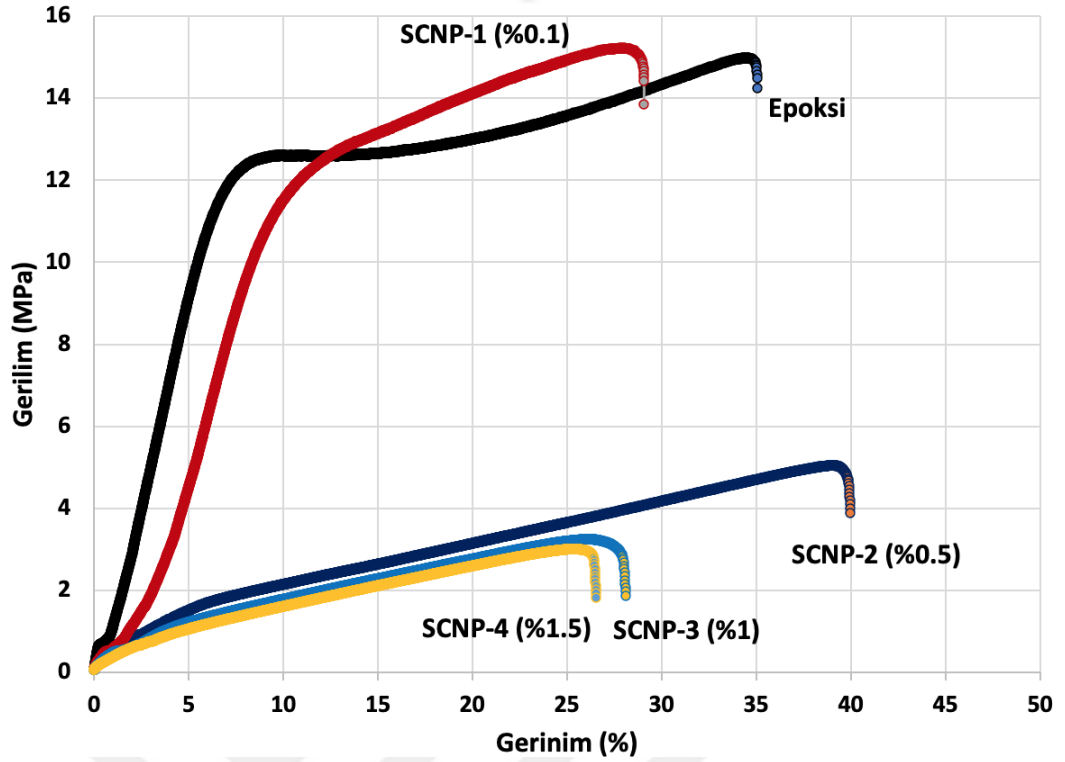
% uzama değerleri incelendiğinde ise; dolgusuz epoksi örneğinde yaklaşık olarak uzama değeri %10 seviyelerinde olduğu görülmektedir. %0,1 polimeriknanoparçacık (SCNP-5) ilavesi en yüksek uzamayı göstermiştir (~%10,5).

%0,1'den daha fazla polimeriknanoparçacık yüklemesi malzemenin %uzama değerinde sınırlı bir azalmaya sebep olmaktadır.



**Şekil 6.2.** Dolgusuz epoksi-amin, SCNP-5 ve SCNP-6 termosetformülasyonlarının gerilim-gerinim grafikleri (ÇÖZÜCÜSÜZ).

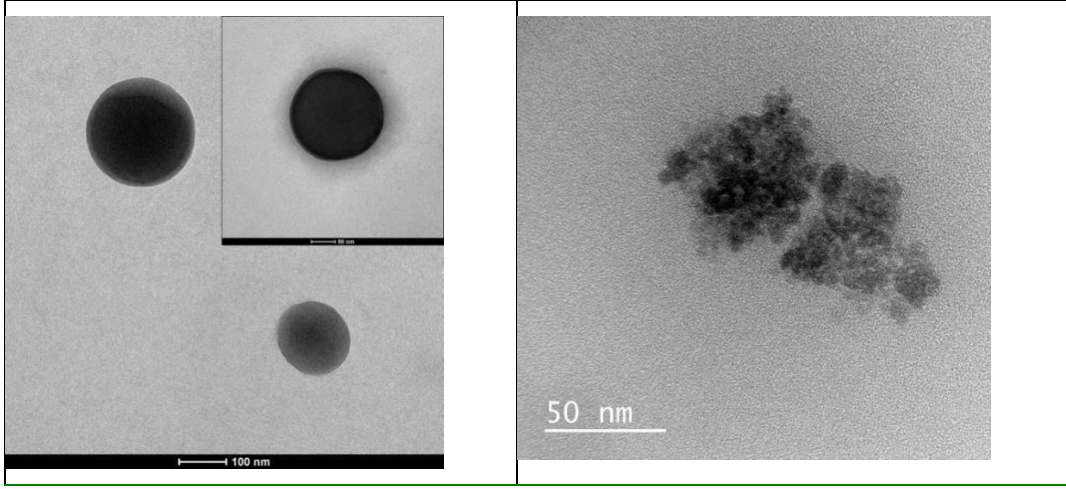
Farklı nanoparçacık kompozisyonlarına sahip çözücülü olarak hazırlanmış epoksitermosetlerinin mekanik analiz sonuçları Şekil 6.3.' de görülmektedir. Dolgusuz epoksitermosetinde en yüksek gerilim değeri yaklaşık 15 MPa olarak ölçülmüştür. En düşük dolgu miktarına sahip formülasyon olan SCNP-1 örneğinin dolgusuz epoksiden ihmal edilebilecek miktarda düşük uzama gösterdiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte SCNP-1 örneğinin maksimum kullanım yükü (akma noktası) kayda değer bir artış da göstermemiştir. Ancak eklenen nanoparçacıkların (%0,1), örneğin çekme modül değerlerini artırdığı görülmüş ve malzemenin daha rijit hale geldiği tespit edilmiştir. SCNP-2, SCNP- 3 ve SCNP-4 örneklerinde ise elastik modül değerlerinde dramatik bir düşüş olduğu görülmektedir. Yalnız SCNP-2 örneğinin uzama değeri artış gösterse de elastik modüldeki önemli azalmanın, kullanılan dolgu miktarlarının veya çözücünün çapraz bağlanmayı önemli oranda engellemesiyle ortaya çıktığı düşünülmektedir.



Şekil 6.3. Dolgusuz epoksi-amin, SCNP-1, SCNP-2, SCNP-3 ve SCNP-4 termosetformülasyonlarının gerilim-gerinim grafikleri (ÇÖZÜCÜLÜ).

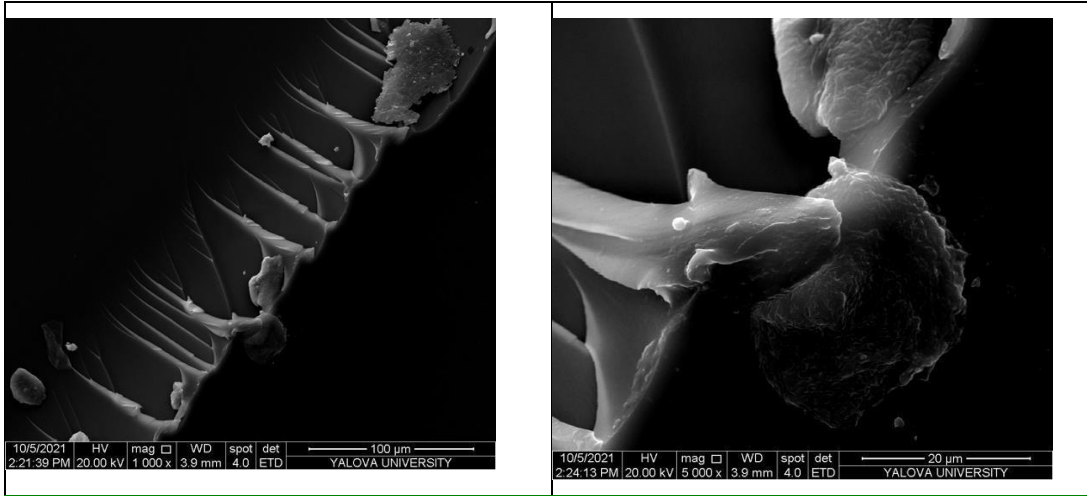
### 6.5 Polimerik Nanodolgu Epoksi-Amin Termoset Matrislerinin Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi

Bu çalışma için tekrar sentezlenmiş ve önceden literatürde yer almış olan BP- SCNP ve Ca-SCNP nanoparçacıklarının TEM görüntüleri Şekil 6.4.' te görülmektedir. Literatürde de bahsedildiği gibi bu çalışmada kullanılan tek zincir polimerik nanoparçacıklar, küresel mimariye sahip partiküller olarak görüntülenmiştir. Ca-SCNP parçacıklar karbazol gruplarının birbirlerini çekmesinden dolayı toplu halde görüntülenmiştir.



**Şekil 6.4.** BP-SCNP (sol) ve Ca-SCNP (sağ) polimerik nanoparçacıkların TEM görüntüleri.

Nanodolgu içeren termosetlerin mekanik analizleri sonrasında kırılmış yüzeylerinden SEM görüntüleri alınmış ve ne dolguların ne de reçine komponentlerinin (epoksi/amin) herhangi bir faz ayrımı veya uyumsuzluk göstermediği tespit edilmiştir.



**Şekil 6.5.** SCNP-5 'in SEM görüntüleri.

## 7. SONUÇ

Polimerik nanodolgu epoksi-amin termoset matrislerinin ısı özellikleri incelendiğinde benzofenonlu nanoparçacık içeren termoset (SCNP-5) saf epoksi termosete oldukça yakın bir kütle kaybı sergilemiştir. Karbazollü nanoparçacık içeren termosette saf epoksi termosete kıyasla termal bozunmada azalma görülmektedir. Bu durumun karbazol gruplarının rijit olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kütle kaybını gözlemlemek için yapılan TGA sonuçlarına göre; saf epoksi reçinesinde, nanoparçacıklı formülasyonlara kıyasla maksimum bozunma oranının yüksek olduğu görülmektedir.

Mekanik özellikler incelendiğinde çözücüsüz olarak hazırlanan nanoparçacık ilaveli epoksi termosetlerinin elastik modülleri, saf epoksi termosete oranla yüksektir. % uzama değerlerine bakıldığında maksimum uzama %0,1 polimerik nanoparçacık ilavesi ile gerçekleşmiştir. Çözücülü olarak hazırlanan % 0,1 polimerik nanoparçacık ilaveli epoksi termoseti (SCNP-1), saf epoksi termosetinden ihmal edilebilecek miktarda düşük uzama göstermiştir.

%0,1 nanoparçacık ilavesi malzemenin çekme modül değerini arttırmış, malzemenin daha rijit hale geldiği görülmüştür. %0,1'den fazla nanoparçacık ilavesi termosetin elastik modülünde düşüşe sebep olmuştur.

Son olarak da hazırlanan dolgu ve dolgusuz polimerik nanoparçacıkların morfolojik özellikleri incelenmiştir. Bilindiği üzere tek zincir polimerik nanoparçacıklar, zincir-içi çapraz bağlanma sebebiyle küresel mimariye sahiptir. Karbazol içeren nanoparçacıklar, karbazol gruplarının birbirini çekmesi dolayısıyla öbeklenmiş küresel yapılar halinde görüntülenmiştir. SEM sonuçlarına bakıldığında; dolgu ve reçine bileşenleri için herhangi bir faz ayrımı ya da uyumsuzluk gözlenmemiştir.



## KAYNAKLAR

- [1] Başkent Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Polimer Kimyası Ders Notu  
<http://www.baskent.edu.tr/~cokeliler/polimerler.pdf>,2009-10
- [2] Teknoloji Projeleri -  
<https://teknolojiProjeleri.com/mekanik/polimer>
- [3] Polimer Fiberler, Prof. - Dr. Bilsen Beşergil  
<http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/polimer-fiberler-polymer-fibres.html>
- [4] Michigan Molecular Institute, Clarence J. Wolf, Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology(2000) , Sayfa:1-2.
- [5] Balıkesir Üniversitesi, Prof. Dr. İrfan AY, Termoplastik ve Termoset Polimerler  
<http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/pm/plastikte.mek2.pdf>
- [6] Ravindra Udagama, Carolina de las Heras Alarcon, Joseph L. Keddie, John G. Tsavalas, Elodie Bourgeat-Lami, Timothy F. L. McKenna, Acrylic-Aklyd Hybrids: Secondary Nucleation, Particle Morphology, and Limiting Conversations, Macromolecular Journals (2014), Sayfa:622-623.
- [7] Dr. Tuncay BAYDEMİR, Epoksi Reçine Teknolojileri, TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, (2020),24-27
- [8] Federal University of Technology, Department of Polymer and Textile Technology, I. O. IGWE, O. OGBOBE, Studies
- [9] Teknik Bilgi Kütüphanesi-Fenolikler  
<https://www.plastikciyiz.biz/bilgi-kutuphanesi/teknik-bilgi-kutuphanesi/333/fenolikler>
- [10] Esther Udabe, Mehmet Işık, Haritz Sardon, Lourdes Irusta, Maitane Salsamendi, Zhe Sun, Zhiqiang Zheng, Feng Yan, David Mecerreyes, Antimicrobial Polyurethane Foams Having Cationic Ammonium Groups, Journal of Applied Polymer Science (2017), Sayfa:1-2
- [11] National Nanotechnology Initiative, Size of the Nanoscale  
<https://www.nano.gov/nanotech-101/what/nanosize>

[12] Twi-Global, What Are Nanoparticles?

<https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-are-nanoparticles>

[13] Industrial Pharmacy, Mr. Sateesha S.B.

<https://www.slideshare.net/ganapati123/nanoparticle>

[14] Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, The Appropriateness of Existing Methodologies to Assess the Potential Risks Associated With Engineered and Adventitious Products of Nanotechnologies (2006), Sayfa: 11-13

[14] Introduction of Nanotechnology, Advantages and Disadvantages of Nanotechnology

<https://nanogloss.com/nanotechnology/advantages-and-disadvantages-of-nanotechnology/>

[15,16] Serap DERMAN, Kadriye KIZILBEY, Zeynep MUSTAFAEVA AKDESTE, Polymeric Nanoparticles, Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi (2013) Sayfa:107-110

[17,18,19] İrem DAŞHAN, Demet KARACA BALTA, Binnur AYDOĞAN

TEMEL, Gökhan TEMEL, Preparation of Single Chain Nanoparticles via Photoinduced Double Collapse Process, Macromolecular Chemistry and Physics, (2019), 24

[20] Aleksandra Zielinska, Filipa Carreiro, Ana M. Oliveria, Andreia Neves, Barbara Pires, D. Nagasamy Venkatesh, Alessandra Durazzo, Massimo Lucarini, Piotr Eder, Amelia M. Silva, Antonello Santini, Eliana B. Souto, Polymeric Nanoparticles:

Production, Characterization, Toxicology and Ecotoxicology, MDPI Journal, 1-8

[21] İrem DAŞHAN, Demet KARACA BALTA, Binnur AYDOĞAN TEMEL, Gökhan TEMEL, Preparation of Single Chain Nanoparticles via Photoinduced Double Collapse Process, Macromolecular Chemistry and Physics, (2019), 29-31

[22] Ashley M. HANLON, Christopher K. LYON, Erik B. BERDA, What Is Next in Single-Chain Nanoparticles?, ACS Publication, (2021), A-B

[23] İrem DAŞHAN, Demet KARACA BALTA, Binnur AYDOĞAN TEMEL, Gökhan TEMEL, Preparation of Single Chain Nanoparticles via Photoinduced Double Collapse Process, *Macromolecular Chemistry and Physics*, (2019), 29-31

[24] Peng WANG, Hongting PU, Ming JİN, Single-Chain Nanoparticles with Well-Defined Structure via Intramolecular Crosslinking of Linear Polymers with Pendant Benzoxazine Groups, *Journal of Polymer Science PartA: Polymer Chemistry*, (2011), 5134-5138

[25]What is a composite material?

<https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-a-composite-material>

[26] Mohamed M. DAWOUD and Hosam M. SALEH, Introductory Chapter: Background and Composite Materials, *Intech Open* (2018), 3-7

[27] Felicity J. GUILD, Ambrose C. TAYLOR, John DOWNES, Composite Materials, *Encyclopedia of Maritime and Offshore Engineering* (2017), 1- 2

[28] Rakesh Verma-LinkedIn, Advantages and Disadvantages of Composite Materials on Airplanes

<https://www.linkedin.com/pulse/advantages-disadvantages-composite-materials-airplanes-rakesh-verma>, 2018

[29] Randbaran E, Dayang L, Zahari R, Sultan MTH, Mazlan N, Advantages and Disadvantages of Using Composite Laminates in The Industries, *Lupine Publishers*, (2020), 350

[30] İrem DAŞHAN, Demet KARACA BALTA, Binnur AYDOĞAN TEMEL, Gökhan TEMEL, Preparation of Single Chain Nanoparticles via Photoinduced Radical Coupling Process, *European Polymer Journal*, (2019), 185-186

[31] Deniz KILIÇ, Ceren PAMUKÇU, Demet KARACA BALTA, Binnur AYDOĞAN TEMEL, Gökhan TEMEL, Rapid Synthesis of Fluorescent Single-Chain Nanoparticles via Photoinduced Step-Growth Polymerization of Pendant Carbazole Units, *European Polymer Journal*, (2019), 1-2



## **ÖZGEÇMİŞ**

**Ad Soyad:** Dilara MÜHÜR

**Lisans:** Yalova Üniversitesi- Polimer Mühendisliği

### **Mesleki Deneyim ve Ödüller:**

- Haziran 2017 – Üretim Stajı – Uzunoğlu Plastik
- Temmuz 2018 – Kalite Kontrol Stajı – Evcı Plastik



