

1. GİRİŞ :

Teknolojideki ilerlemeler sebebiyle endüstriyel alanda üstün özelliklere sahip ürünler elde edilmiştir. Bu ürünler geleneksel maddelere kıyasla hafif ve doğayı koruyan veya minimum düzeyde zarar verme gibi çeşitli özelliklere sahiptir. Otomotiv, endüstri, sağlık ve ambalaj gibi sektörler bu alanda milyarlarca yatırım yapmaktadır.

Nano-teknoloji alanında, maddenin temel yapısında birtakım değişiklikler yapılarak geliştirilmiş özellikli maddeler elde edilmektedir. Maddenin boyutlarını küçültüp, kimyasal özelliklerinin yanında biyolojik ve fiziksel özelliklerini de değiştirerek nano-teknoloji malzemeleri yapılmaktadır [1].

Nano-teknoloji alanında temel prensip, maddenin yapıtaşları olan atomların istenilen şekilde düzenlenerek geliştirilmiş özellikli maddeler elde etmektir. Bu sayede kalitenin artmasıyla birlikte maliyet azalacaktır.

Gelecekte bu teknoloji sayesinde şu anda kullandığımız bilgisayarlardan binlerce kat daha hızlı bilgisayarlar, depreme karşı çok daha dayanıklı binalar, birçok hastalığı ameliyatsız tedavi edebilecek nano - aygıtlar ve çok daha gelişmiş savunma cihazları, kısacası her sektörde üstün özellikli ürünler elde edilebilecektir [2].

Son yıllarda Amerika, Japonya ve Avrupa Birliği ülkelerinde özellikle, nano-teknoloji alanında yapılan yatırımlar hızla artmaktadır. Türkiye’de nano-teknoloji yeni olup, en son nano-boyalarla büyük atılımlar yapmaktadır. Fakat hala üniversite- sanayi işbirliğinin yeterli düzeye ulaşamaması nedeniyle bu alanda yavaş adımlar atılmaktadır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. NANO-TEKNOLOJİ:

2.1.1. Nano-teknoloji Tanımı

'Nano' sözcüğü Yunanca cüce manasında olup asıl kökeni 'nanos' sözcüğünden gelmektedir. Nanometre (nm) 1 metrenin milyarda biri olan teknik bir ölçü birimidir [3].

$$1\text{nm} = 10^{-9} \text{ m} = 10^{-6} \text{ mm}$$

Nano-teknoloji genel anlamıyla ifade edilmek gerekirse; nano boyutta molekül yapısı yeniden düzenlenmiş yeni malzemeler elde etmektir.

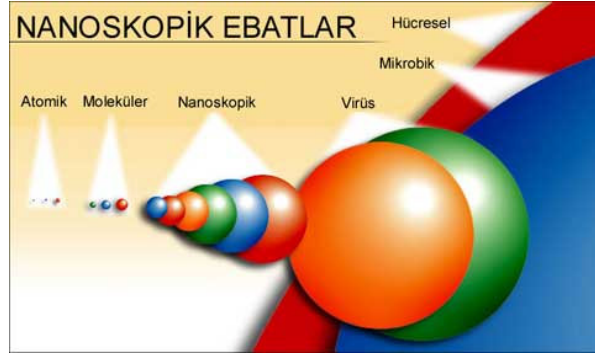
Nano-teknoloji çok hızlı bir şekilde endüstriyel üretimlere girmiş ve büyük atılımlara sebep olmuştur. Gelecekte, günlük hayatımızda kullandığımız hemen her ürünün içinde olacaktır. Gıda mamullerinden tekstile, ilaç sanayinden bilgisayar ve otomotiv sanayine kadar oldukça geniş bir alanı etkileyeceği düşünülmektedir.

2.1.2. Nano-teknolojinin Önemi

Bu teknolojinin önemi; 1 - 100 nm boyutları arasında atomik veya moleküler düzeyde ileri seviyede fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklere sahip maddeler elde edilmesidir. Geleneksel teori ve modeller 100 nanometrenin üstündeki büyük boyutları esas alırken 100 nanometrenin altında ortaya çıkan maddelerin özelliklerini açıklamakta yetersiz kalmaktadır [4].

2.1.3. Nano-teknolojinin Amaçları

- Nanometre boyutta malzemelerin analizini gerçekleştirmek,
- Nanometre boyutundaki malzemelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tanımlanması sağlamak
- Nanometre boyutundaki malzemelerin imalatını yapmak
- Nano hassasiyetli cihazların geliştirilmesini sağlamaktır.



Şekil 2.1: Nanoskobik ebatların gösterimleri.

2.1.4. Nano-teknolojinin Avantajları

Bu teknoloji ile elde edilen ürünler, geleneksel ürünlerden, daha kaliteli ve uzun ömürlü olup daha ucuz, daha hafif ve boyutsal olarak daha küçüktürler. Dolayısıyla geleneksel ürünlerin yerine bu geliştirilmiş ürünleri bırakmak hem avantajlı olacak hem de toplumun yaşam kalitesi artacaktır.

2.1.5. Nano-teknolojyi Neden Geliştirmeliyiz?

Son yıllarda bilim adamlarının ilgisini çeken nano-teknoloji, her atomun uygun bir şekilde yerleştirilmesiyle yüksek kaliteli ve güvenilir malzemelerin elde edilebildiği yeni bir sistemdir.

Nano yapıları malzemeler elde edilirken hassasiyet çok önemlidir. Yeni malzemelerin

elde edilmesi ve kontrol aşamasında nano boyutta çalışıldığı için nano–teknoloji hassastır. Ayrıca; gereksiz cihaz ve parçaları kullanılmamaktadır ve tüm atıklar uygun imalat yöntemlerinden geçtiğinden yararlı bir biçimde kullanılabilirlerdir. Ayrıca bu teknolojinin üretimi ucuz ve çevreyi kirletmemesi açısından önemlidir.

Henüz günümüzde kullanılan teknoloji bu seviyeye erişememiş; fakat gelişmiş ülkelerde bu alanda büyük atılımlar atılmaktadır. Görünen ilk büyük adım, imalatta ortaya çıkacağı düşünülmektedir. Kullanmakta olduğumuz makro kontrol sistemlerini mikro düzeye indirdiğimiz takdirde ekonomik açıdan oldukça avantajlı bir konuma geçeceğimiz düşünülmektedir.

2.1.6. ‘Nano -Yapılı Maddenin’ Elde Edilme Yöntemleri

Nano –Yapılı maddeler iki yöntemle elde edilir. Bunlar ‘aşağıdan yukarıya’ (bottom-up) ve ‘yukarıdan aşağıya’ (top down) anlamına gelen yöntemlerdir.

- Aşağıdan yukarıya yöntemi: Moleküler Nano-Teknoloji anlamına gelen bu yöntemde maddenin yapıtaşı olan atomdan başlayarak atom-atom veya molekül-molekül elde edilmesidir.
- Yukarıdan aşağıya yöntemi: Günümüzde yaygın olarak kullanılan bu yöntemde bazı mekanik ve kimyasal yollar uygulanarak nano-yapılı malzemeler elde edilir.

2.1.7. Nano-Teknolojinin Tarihçesi

Feynman’ ın Ortaya Attığı Varsayım: 1959 yılında ünlü fizikçi Richard Feynman’a göre malzeme ve cihazların çok küçük boyutlara indirilebileceği ve nano-yapıların bu cihazlarla ölçülebileceği dolayısıyla geniş kullanım alanlarının oluşabileceği mümkündür.

1981’de Taramalı Tünelleme Mikroskopun (Scanning Tunelling Microscope)

(STM) Bulunuşu: 1959 yılında Feynman’ın ortaya attığı ,’**Temelde bir çok oda var**’ varsayımdan sonra araştırmacıların ilgisini çeken çok küçük boyutlarda maddelerin elde

edilmesi ve özelliklerinin tanınmasıyla ilgili dev adımların yanı sıra birçok problemler ortaya çıkmıştır.

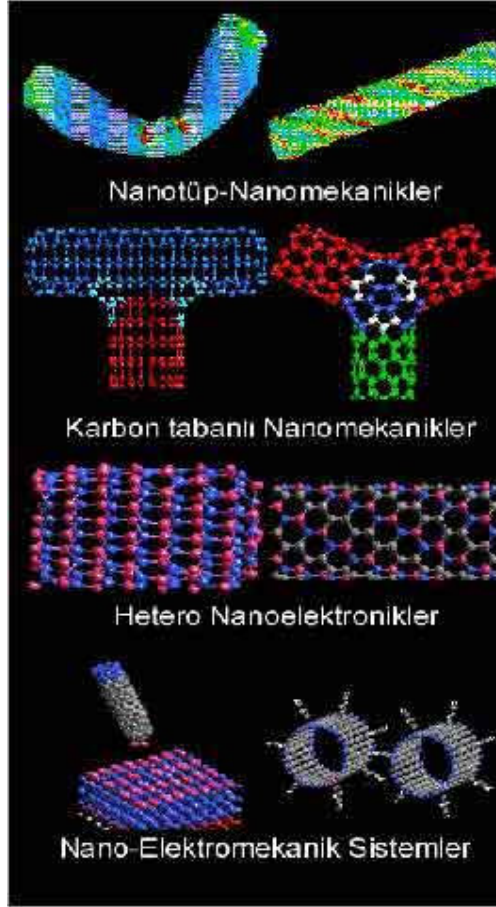
Boyutlar çok küçük olduğunda o dönemde elde edilen maddelerin özelliklerinin de halihazır cihazlarla incelenmesi zorlaşmıştır. Bu nedenle IBM firması tarafından 1981 yılında gelişmiş bir mikroskop olan “Taramalı Tünelleme Mikroskobu” (STM) üretilmiştir. Bu üretimi gerçekleştiren araştırmacılar 1986 yılında Nobel Fizik ödülünü almaya hak kazandılar.

Aynı dönemde STM’ dan sonra “Atomik Kuvvet Mikroskobu” (Atomic Force Microscope) (AFM) geliştirilmiştir.

Böylece Feynman’ın 1959 yılında öne sürdüğü cihazların geliştirilmesi mümkün olmuştur. Dolayısıyla nano düzeyde ölçüm yapabilmek sağlanabilmiştir.

1990’da Fullerene - Karbon Nano-Tüplerin Bulunuşu:1990’da Richard Smalley’in 60 karbon atomunun simetrik bir düzende sıralanmasıyla birlikte meydana gelen futbol topu şeklindeki “fullerene” yapı 1 nanometre büyüklüğünde olup, çelikten daha güçlü, plastikten daha hafif ve ısı – elektriği oldukça iyi geçirgendir. Bu buluş 1996 yılında araştırmacıların Nobel Kimya ödülünü kazanmalarını sağlamıştır [5].

1991 yılında Japon araştırmacı olan Sumio Iijima, fullerene molekülünün sahip olduğu benzer özelliklere sahip, çelikten 100 kat daha güçlü ve çeliğin ağırlığının 1 / 6’sına kadar bir ağırlığa sahip karbon nano –tüp yapmıştır [6].



Şekil 2.2: Nano yapılı malzemeler

1992 yılında Eric Drexler tarafından Feynman' ın 1959 yılında öne sürdüğü varsayımlara ek olarak nano sistemlerin genel yapısını, detaylı analizini ve ek olarak tasarımlarını öne sürmüştür. Bu öne sürdüğü fikirlerini "Engineers of Creation" adlı kitabında yayımlamıştır.

Günümüzde Nano-Teknolojideki Gelişmeler:1999 yılında ABD nano-teknoloji alanında ilk resmi hükümet programını olan Ulusal Nano-teknoloji Adımını (National Nanotechnology Initiative) başlatarak bu alanda üretimin ve geliştirilmenin daha hızlı bir şekilde olmasını sağlamıştır.

2001 yılında Avrupa Birliği, Japonya, Tayvan, Singapur, Çin, İsrail ve İsviçre benzer programları başlatmıştır.

Gelecekte Nano-Teknolojinden Beklenen Gelişmeler: Çok yakın zamanda nano-teknoloji sayesinde; daha hızlı bilgisayarlar, daha küçük ve daha verimli elektronik görüntü cihazları, hafif uçak ve gemiler, yüksek performanslı motorlar, uzun ömürlü makine yağları, az yakıt yakan araçlar, çevre temizliğine yardımcı ürünler, hafif boyalar, atık suların temizlenmesini sağlayan bileşenler, tehlikeli kimyasalların çevredeki teşhisini sağlayan cihazlar, yapay organlar, tansiyon ve kalp atışını ölçen akıllı elbiselerin yapılabileceği düşünülmektedir [7].

2.2.MALZEMELERE GENEL BAKIŞ

Çok eski zamanlardan beri insanoğlunun kullandığı malzemelerin başında doğal polimerler gelir. Bunlar selüloz, nişasta, doğal kauçuk gibi doğada hazır bulunan polimerlerdir. Fakat bu polimerlerin işlemedeki zorluk, bazı kimyasal ve fiziksel özelliklerindeki yetersizlikten dolayı yerlerini sentetik polimerlere bırakmışlardır.

İlk polimer malzemesi olarak bilinen “selüloid” 1868’de keşfedilmiştir. Daha sonra modern plastik endüstrisi, Amerikalı bir iş adamının iyi bir bilardo topu yaptırmak istemesi ve buna büyük bir maddi ödül koymasıyla 1909’da endüstriyel çapta başlamıştır.

II. Dünya Savaşından sonra polimer malzemeler ile ilgili büyük gelişmeler gösterilmiştir. Özellikle plastiklerin gelişmesinde cam, grafit ve karbon elyafı gibi maddelerin elde edilmesinin önemi büyüktür. Böylece “polimer matrisli kompozitler” elde edilmiştir. Mekanik özellikleri üstün olan bu plastiklerin yüksek sıcaklıklara mukavemet göstermemesi sorun oluşturmuştur.

2.2.1. Malzemelerin Sınıflandırılması

Endüstride kullanılan malzemeleri genel olarak altı ana gruba ayırılır.

- Metalik malzemeler,
- Organik malzemeler,
- Seramik malzemeler,
- Polimer malzemeler,
- Kompozit malzemeler ve
- Nanokompozit malzemelerdir.

2.2.1.1. Metalik Malzemeler: Metaller, atomların birbirine metalik bağ ile bağlanmasından oluşmuş malzemelerdir. Kristal bir yapıya sahiptirler dolayısıyla atomlarının yerleri ve dizilişleri belirlidir. Tel ve levha haline gelirler. Isı ve elektriği iyi iletmelerinin yanında parlak bir görünüme sahiptirler. Fakat korozyona karşı dayanımları düşüktür.

2.2.1.2. Organik Malzemeler: Doğal ve yapay olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. Doğal organik malzemeler, doğada hazır olarak bulunur, yapay organik malzemeler ise organik malzemelerin kimyasal işlemler ile değiştirilmesiyle elde edilir. Buna en iyi örnek plastikler, elastomerler ve fiberlerdir. Organik malzemeler ucuza mal edilmelerinin yanında sıcaklığa karşı dayanımları da düşüktür.

2.2.1.3. Seramik Malzemeler: Seramik malzemeler; kil, cam ve tutkal gibi malzemelerden meydana gelir. Yapılarında oksit, nitrit ve karbür gibi bileşikler bulunur.

Organik malzemelerde olduğu gibi sıcaklığa karşı dayanımları düşük değildir. Aksine yüksek sıcaklıklara karşı oldukça dayanım gösterirler. Fakat çok sert olmalarıyla birlikte oldukça kırılgandırlar [8].

2.2.1.4. Polimer Malzemeler: “Polimer” kelimesi, Yunanca olup çok anlamına gelen "polus" ve parça anlamına gelen “meros” kelimelerinden türetilmiştir. Polimer, "monomer" adı verilen birimlerin bir araya gelmesiyle oluşur.

Polimer, bileşim ve yapı itibarıyla birbirlerinin aynı olan çok sayıda grupların kendi aralarında kovalent bağlarla bağlanması ile oluşan makro moleküllerdir. Çok büyük molekül kütlelerine sahiptirler. Ayrıca polimer malzemeler; doğal ve yapay olarak 2 şekilde elde edilebilirler. Doğal polimerlere örnek olarak protein, selüloz ve kauçuk, sentetik polimerlere ise; naylon ve polimetil metakrilat, polivinil klorür v.b. gibi verilebilir.

2.2.1.5. Nanokompozit Malzemeler: Nanokompozit malzemeler; nano boyutlarda olup kil parçacıkları içeren (% < 10) mineral dolgu maddeli plastiklerdir.

2.2.1.6. Kompozit Malzemeler: İki veya daha fazla sayıdaki aynı veya farklı yapıdaki malzemelerin birleşmesiyle meydana gelen malzemelerdir. Kompozit yapıda değişik malzemelerin iyi özellikleri bir araya getirilerek yeni özellikli tek bir madde oluşmuştur [9].

1940'larda üretilen Cam Takviyeli Polyester (CTP)/ Glassfiber Reinforced Polyester/GRP, FIBERGLASS) günümüzde en çok kullanılan ve ilk modern polimer esaslı kompozit malzemedir.

Kompozit malzemelerin kullanımının alanlarındaki artışının sebebi sağlam ve hafif oluşlarıdır. Ayrıca bazı plastik malzemelerin seramik, metal veya sert polimerlerin elyafları ile güçlendirilerek geliştirilmiş malzemeler elde etmek de mümkündür [10].

Kompozit malzemeler sahip olduğu plastik sayesinde kolaylıkla Şekil verilebilen ve takviye elyaflar sayesinde son derece sağlam, sert ve hafif malzemelerdir. Ayrıca metallerle kıyaslanırsa korozyona dayanıklılığı da fazladır. Fakat halen kompozit malzemeler metallerin yerini tamamiyle alamamıştır. Bunun sebebi yeni üretilen matris malzemelerle, elyafların tüm karakteristik özellikleri metaller kadar iyi bilinmemesidir.

Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması :

Yapısındaki malzemenin cinsine göre bir sınıflama yapmak mümkündür. Bunlar,

- Elyafly kompozitler: Bu kompozit tipi ince elyafların matris yapıda yer almasıyla meydana gelmiştir. Elyafların matris içindeki yerleşimi ve elyaf matris arasındaki bağın yapısı kompozit yapının mukavemetini etkiler.
- Parçacıkly kompozitler: Bu kompozit tipinde matris malzeme içinde başka bir malzeme parçacıklar halinde bulunur. Yapının mukavemeti parçacıkların sertliğine bağlıdır.
- Tabakalı kompozitler: Tabakalı kompozit yapı en yaygın kullanım alanına sahip tip olan kompozit malzemedir. Yapının mukavemeti farklı elyaf yönlennmelerine sahip tabakaların birleşimine bağlıdır. Isıya ve neme dayanıklı ayrıca metallere göre hafiftirler.
- Karma (hibrit) kompozitler: Bu kompozit tipinde ise aynı kompozit yapıda iki ya da daha fazla elyaf çeşidi bulunur. Bunlara hibrit kompozitler de denilir. Aynı zamanda maliyeti de düşüktür.

Kompozit Malzemelerin Yapısı:

Kompozit malzemeler, takviye elemanı, katkı maddeler ve matris elemanı olmak üzere üç gruptan meydana gelirler.

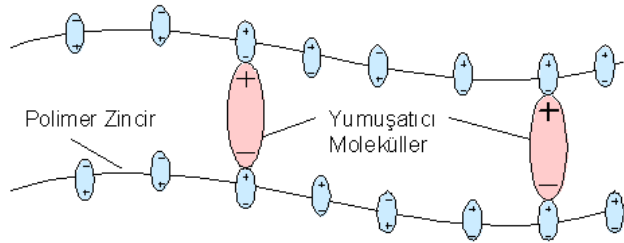
Takviye Elemanı : Takviye elemanı, matris malzemenin içinde bulunur ve kompozit malzemeye dayanıklılık verir. Düşük yoğunluklu ve yüksek sertliğe sahip olan bu elyaflar korozyona da oldukça dirençlidir. Günümüze elyaflar takviye malzemesi olarak oldukça yaygın kullanılırlar.

Kompozit malzemelerde takviye amacıyla kullanılan elyaflar:

- Doğal elyaflar: Günümüzde yerlerini sentetik elyaflara bırakmışlardır.
- Sentetik, organik elyaflar: Düşük yoğunluklu ve güçlü elyaflardır. Naylon
- Sentetik inorganik, elyaflar: Cam, karbon vb. gibi.

Katkı Maddeleri : Kompozit malzemelere dolgular, kimyasallar ve diğer katkıların ilavesiyle özelliklerinin geliştirilmesine yardımcı olurlar.

- Yumuşatıcılar polimer zincirlerini sürtünme kuvvetlerini azaltır, ayrışmaların oluşumunu engeller.



Şekil 2.3: Yumuşatıcı moleküllerin kimyasal gösterimi

- Stabilizatörler (Sağlamlştırıcılar): Polimer zincirlerinin yüksek sürtünme kuvvetleri sonucunda HCl (tuz asidi) plastik alaşımın zarar görmesini engeller.

- Dolgu maddeleri: Dolgu maddeleriyle çok farklı özellikler ve renkler elde edilebilir.
- Katkı maddeleri: Polimer malzemelerin dayanıklılığın iyileştirmesinde, suya karşı direnç göstermesinde, gerilme kuvvetinin iyileştirmesinde gibi birçok özellikler sağlar. Üstün özellikli kompozit malzemeler; uçak – uzay, savunma, yapı – inşaat, tüketim malları, korozyon dayanımı gerektiren uygulamalarda, elektrik - elektronik, denizcilik, kara taşıtları ve birçok özel amaçlı uygulamalarda kullanılmaktadır.

Matris Elemanı : Matris Elemanı; kompozit maddelerde elyafları bir arada tutmasını, yükü elyaflara dağıtmasını ve elyafların çevresel etkilerden korunmasını sağlar [11].

Tablo 2.1: Matris, takviye elemanı ve kompozit malzeme yapı tipleri

Matris Malzemeleri	Takviye Elemanları	Kompozit Yapının Şekli
Polimerler	Lifler	Tabakalar
Metaller	Granül	Kaplamalar
Seramikler	Whiskers	Film-Folya

Kompozitlerde matris olarak kullanılan malzemeler:

Kompozit malzemeler matrislerine göre;seramik matrisli kompozit, metal matrisli kompozit ve polimer matrisli kompozit şeklinde üçe ayrılırlar.

- Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler:Kompozit malzemedeki seramik malzemenin kullanılmasının amacı, yüksek sıcaklığa ve korozyona karşı dayanıklıdır. Seramik matrisli kompozit malzemelerde en çok kullanılan bileşimler (elyaf/matris olarak) SiC / cam, SiC / Si₃N₄ ve karbon / SiC'dir.

Seramik matrisli kompozit malzemelerin başlıca kullanım yerleri; roket egzoz çıkışları, uzaya fırlatılan uydularda karbon/cam boru ve tüpleridir.

- Metal Matrisli Kompozit Malzemeler:Metal matrisli kompozitler korozyona,

ısıya ve aşınmaya karşı dayanıklıdırlar. Dolayısıyla ileri özelliklerinden dolayı bir çok yerde kullanılmaktadır. Fakat üretim güçlüğü ve yüksek maliyetten dolayı kullanım alanı sınırlıdır.

Metal matrisli kompozit malzemeler uzay, otomotiv endüstrisinde ve spor malzemelerinde kullanılmaktadır.

- Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler: Polimer matrisli kompozit malzemelerde takviye malzemesi olarak en çok cam, karbon ve aramid elyaf kullanılır.

Cam takviyeli plastiklerin en önemli özellikleri, yüksek ısıya, korozyona karşı dayanıklılığı , kolay işlenebilirliği ve düşük maliyetli oluşlarıdır.

Plastik matrisli kompozit malzemeler üretim yöntemlerine göre geniş kullanım alanları vardır. Yaygın olarak prefabrik ev ve banyo gereçleri yapımında, uzay ve uçak sanayinde kullanılır. Ayrıca spor malzemesi üretiminde de (sörf, tenis raketi, kayak vb gibi) kullanılmaktadırlar.

Karbon takviyeli malzemelerinin çok yüksek dayanım ve hafiflik gibi istenen özellikleri vardır. Günümüzde uçak ve uzay sanayinde, taşımacılıkta, makine sanayinde, tıp ve spor malzemelerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Aramid elyafının düşük yoğunluk, yüksek dayanım ve elastiklik modülü gibi özellikleri vardır. Uzay, deniz, otomotiv ve diğer endüstri uygulamalarında kullanılır.

Diğer matrislerin kullanılmasına rağmen kompozit malzemelerin büyük bir kısmı polimer esaslı matrisler olarak üretilmektedir. Çünkü metal matrisler geniş kullanım alanına sahip olmasına karşın çok pahalı ve çalışılmaları çok zordur. Seramik matrisler ise yüksek oranda kırılğan olduklarından dolayı yeterli dayanıklılığa sahip değildirler. Dolayısıyla kullanım alanları sınırlıdır.

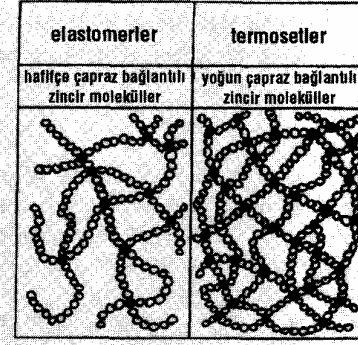
Polimer matrisler ise güçlü yapıştırma, çevre ve atmosfer şartlarına yüksek dayanım ve yüksek mekanik özellikler göstermesinden dolayı en çok kullanılan malzemelerdir.

İyi bir malzeme üretebilmek için bir matrisin yüksek sertlik ve yüksek dayanıklılığı

olması gerekir. Fakat gevrek bir malzemenin gösterdiği davranışlardan dolayı performansı düşmemelidir. Bu özellikleri sahip olan polimer esaslı matrisler; termoset ve termoplastik matrisler olarak iki grupta bulunmaktadır.

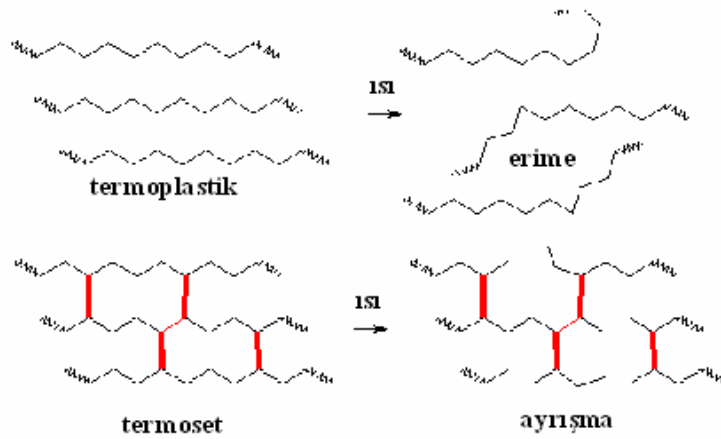
- **Termoset Matrisler:**

Termoset polimer; yoğun çapraz bağ taşıyan ve ısı ile eritemeyen polimerlere denir. Zincirleri arasındaki çapraz bağdan dolayı çok sert ve kuvvetli bir yapıya sahiptirler. Fakat kırılgan ve yüksek sıcaklıklara karşı dayanımları azdır.



Şekil 2.4: Yoğun çapraz bağlantılı zincir moleküllerine sahip termoset malzeme

Termoset matrisli kompozit malzemeler yaygın kullanım alanına sahiptirler. Genellikle sıvı halde bulunurlar. Termoset polimerler, termoplastiklerden farklı olarak polimerizasyondan sonra tekrar eski yapısal formlarına dönemezler.



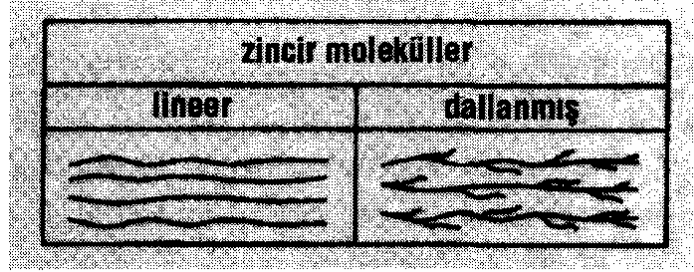
Şekil 2.5: Termoset ve termoplastik malzemenin termal davranışları.

Yüksek sıcaklıklarda bile yumuşamazlar. Çoğu termoset matris sertleşmemeleri için dondurulmuş olarak depolanmak zorundadır. Dondurucudan çıkarıldığında ve bekletildiğinde sertleşmeye başlar ve özelliklerini kaybederek onlara biçim vermek zorlaşır.

Termoset matrisli kompozitlerin üretilmesinde genel olarak poliesterler, epoksiler, vinil esterler, fenolikler, silikon, poliimidler ve poliüretan kullanılır [12].

- Termoplastik Matrisler:

Termoplastikler polimer; molekül arası kuvvetler tarafından bir arada tutulan lineer veya dallanmış zincirleri ile makro moleküller içeren plastiklere "termoplastikler" denir [13]. Molekül arası kuvvetlerin mukavemeti dalların veya yan zincirlerin sayısına ve tipine bağlıdır



Şekil 2.6: Dallanmış ve lineer zincir molekülleri

"Termoplastikler" terimi "termos" (sıcak, ısı) ve "plastik" (şekil verilebilir, kalıplanabilir) kelimelerinden türetilmiştir. Sıcaklık uygulayarak moleküller arası kuvvetleri zayıflatılabilir ve plastik kalıplanabilir.

Termoplastik polimerler düşük sıcaklıklarda sert halde bulunurlar ısıtıldıkları zaman yumuşarlar. Termosetlere göre matris olarak kullanımları daha azdır. Fakat hammaddenin raf ömrünün uzun, ısıtılarak yeniden şekillendirilebilir olması ve sertleşmeleri için organik çözücülere ihtiyaç duyulmamasından dolayı güvenli çalışma ortamı sağlarlar. Termoplastik polimerler otomotiv ve uçak sanayisinde tercih edilmektedir.

Oda sıcaklığında katı halde bulunan termoplastik soğutucu içinde bekletilmeden depolanabilir. Fakat üretimleri çok yüksek maliyetlidir. Oda sıcaklığında düşük işleme kalitesi sağlarlar, bu da zaman kaybına yol açtığına matris malzemesi olarak fazla tercih edilemezler.

Termoplastik matrisli kompozitlerin üretilmesinde genel olarak polieter eter ketonlar, polietilen, polikarbonat, polisitiren, polimetil metakrilat, polipropilen, polisülfonlar, termoplastik poliimidler ve polivinil klorür kullanılır [14-18].

Kompozit Malzemelerin Avantajları:

- 1)Kompozit malzemeler korozyon, kimyasallara ve çevre koşulları gibi etkenlere karşı yüksek mukavemete sahip olan malzemelerdir.
- 2) Plastiklere ve metallere göre oldukça hafiftirler.
- 3)Boyutsal kararlılıkları yüksektir. Çevresel ve mekanik etkiler karşı şekillerini ve işlevlerini korumaktadırlar.
- 4)Yüksek dielektrik direnimleri vardır.
- 5)Geleneksel malzemelere oranla kalıplama kolaylığı vardır.
- 6)Cam kadar ışığı iyi geçirirler.
- 7)Farklı mekanik özellikler elde etmek için farklı katmanlardan ve farklı kombinasyonlardan kompozit malzeme elde edilebilir.

Kompozit Malzemelerin Dezavantajları:

- 1)Kompozit malzemeler pahalıdır.
- 2)Malzemenin kalitesi üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır.
- 3) Kompozit malzemelerin sınırlı raf ömürleri vardır.

4) Onarılmadan önce çok iyi temizlenmeli ve kurutulmalıdırlar. Bu da uzun zaman alır.

Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları:

- Havacılık Sanayi : Kompozit malzemeler hafif olması ve üstün mekanik özelliklerinin bulunmasından dolayı havacılık sanayinde kullanımı yaygındır. Örneğin; Uçak gövdesi, kanatları ve burun bölümünde kullanılır.
- Denizcilik Sanayi : Korozyona ve çevresel etkilere karşı yüksek mukavemet göstermesinden dolayı kompozit malzemelerin denizcilik sanayinde kullanımı yaygındır. Örneğin ; Yatlarda tekne arkası, yelken direği ve yelken gövdesinde.
- Spor Araçları : Kompozit malzemelerin yaygın olarak kullanıldığı bir başka sektör ise spor araçlarının imalatıdır. Hafif olduğu için spor araçlarının hareket kabiliyetini artırır. Ayrıca yüksek mukavemet gösterdikleri için de spor araçlarında kullanılırlar.
- Otomotiv Sanayi : Otomotiv sanayinde otomobillerde kaporta, yan gövde, gösterge paneli, far gövdesi gibi kısımlarda kompozit malzemeler kullanıldığında, hafif, çabuk hızlanabilen , daha çabuk durabilen böylece daha az yakıtı ihtiyaç duyan araçlar elde edilir.
- İnşaat Sanayi : İnşaat sanayinde köprü tabanı, yürüme yolları, bina balkon korkuluğu, kapı, küvet, bina kaplama paneli gibi yerlerde kompozit malzemelerin yüksek mukavemeti olduğundan yaygın olarak kullanılmaktadır.
- Sağlık Sektörü : Tekerlekli sandalye ve tıbbi tetkik cihazlarının dış muhafazalarında kompozit malzemeler kullanılmaktadır.
- Müzik Sektöründe : İleri kompozit malzemelerle yapılan keman, gitar, çello gibi yaylı sazlarda boyun kısmının tellerinin gerilmesinden kaynaklanan deformasyon durumu azalmıştır [19].

2.3.POLİMERİZASYON REAKSİYONLARI

Monomer birimlerinden başlayarak polimer moleküllerinin elde edilmesine kadar olan reaksiyonlara ise "polimerizasyon reaksiyonları" denir. Radikal zincir polimerizasyon, iyonik polimerizasyon ve kondenzasyon polimerizasyonu olmak üzere üç tane polimerizasyon reaksiyonu vardır.

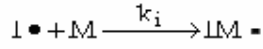
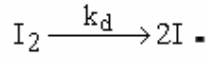
2.3.1.Radikal Zincir Polimerizasyon:

Radikal zincir polimerizasyonu çiftleşmemiş elektron içeren elektriksel olarak nötral serbest radikallerle başlatılan polimerizasyondur. Polimerizasyonda doymamış monomerler tipik zincir reaksiyonu verirler. Oluşan yeni radikaller ortamdaki monomerler ile reaksiyona girerek polimer zincirinin büyümesine sebep olurlar. Polimerizasyon ilerledikçe polimer zinciri büyür ve molekül ağırlığı artar. Artık ortamda monomer sayısı azalmış ve dolayısıyla ortamdaki radikaller sönmeye başlamıştır. Ortamdaki radikaller çeşitli yollar ile (dallanma yeni çift bağ oluşturma veya bir başka radikal ile reaksiyona girerek) sönmelenir ve polimerizasyon işlemi sonlanır.

Polimerizasyon mekanizması 3 aşamada gerçekleşir. Bunlar:

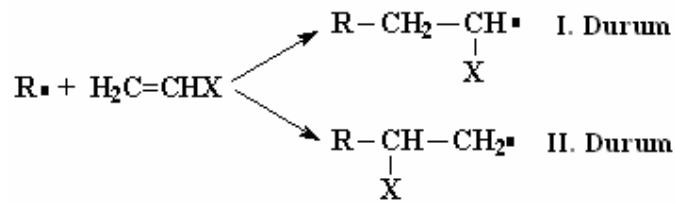
- Başlama (Initiation)
 - İlerleme (Propagation)
 - Sonlanma (Termination)
- Başlama (Initiation): Başlangıçta monomer ısı, radyasyon, fotokimyasal veya çeşitli başlatıcılar kullanılarak radikal haline dönüştürülür. En yaygın yöntem ortama dışarıdan bir başlatıcı eklemektir. Başlatıcı, $H_2C = CHX$ ve $H_2C = CXY$ çifte bağa saldırarak polimerizasyon işlemi başlatır. Genellikle başlatıcı olarak çeşitli redoks

çiftleri, peroksitler ve diazo bileşikleri kullanılır. Mekanizması şu şekilde yazılabilir:

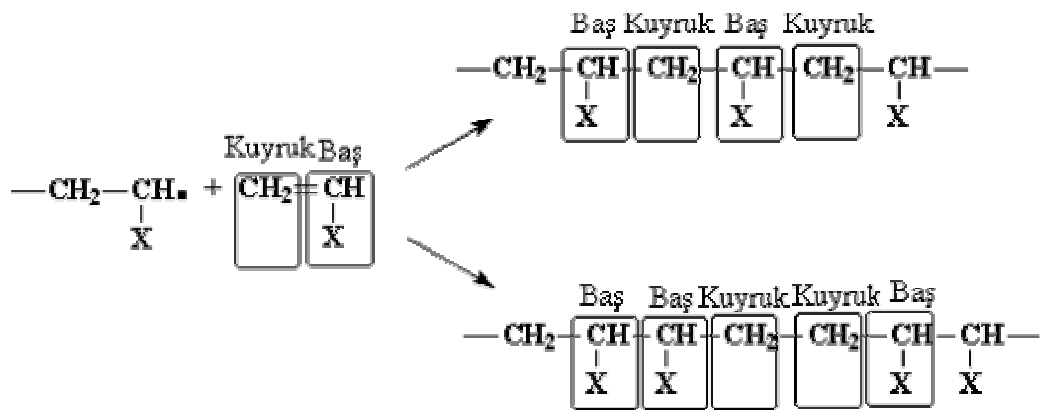


I_2 şeklindeki bir başlatıcı, I radikal ve M monomer

- İlerleme (Propagation): Radikal zincir polimerizasyonunun ilerleme aşamasında serbest bir radikalın vinil monomere katılması için 2 olasılık söz konusudur.

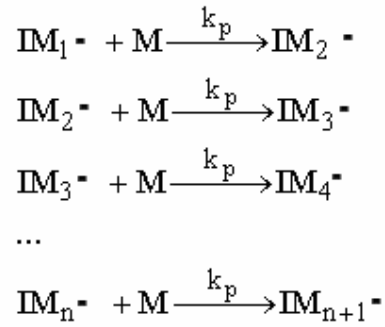


Eğer çiftleşmemiş elektron X ile konjugasyona girebilecekse I. durum, aksi takdirde II. durum gerçekleşir. Reaksiyonun ilerlemesi esnasında monomer zincir Baş-Kuyruk, Baş-Baş veya Kuyruk-Kuyruk birleşmesiyle ilerleyebilir.



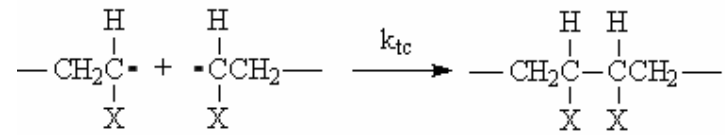
İlerleme aşaması; monomer radikaline diğer monomerlerin katılması ile gerçekleşir. Bu reaksiyonlardaki hız sabitinin değeri, pek çok kimyasal reaksiyon hız sabitine göre

oldukça fazladır. Mekanizması şu şekilde yazılabilir:

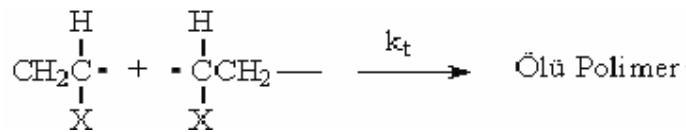
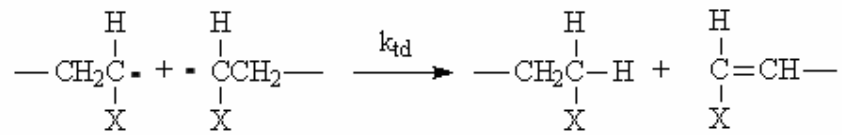


- Sonlanma (Termination): Sonlanma aşamasında radikaller ortadan kalkar ve sonlanma için birleşme ile sonlanma (combination) ve orantısız sonlanma (disproportionation) diye tanımlanan iki olası yol söz konusudur.

Birleşme ile Sonlanma (combination): İki zincir birleşerek sonlanma gerçekleşir.

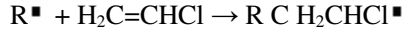
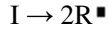


Orantısız Sonlanma (disproportionation): Hidrojen transferi ile iki polimer molekülü meydana gelir. Sonuçta ölü polimerler meydana gelir.

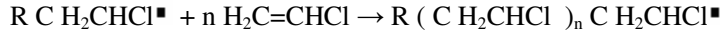


Vinil klorür monomerinin serbest radikal polimerizasyonu ile poli (vinil klorür) elde edilmesi.

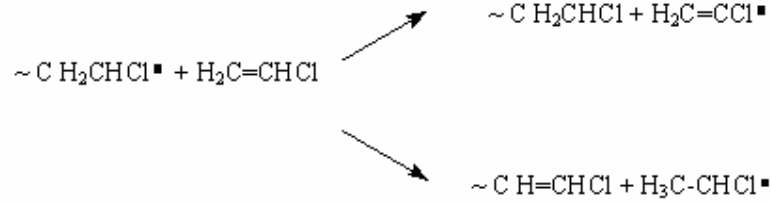
Başlama Aşaması:



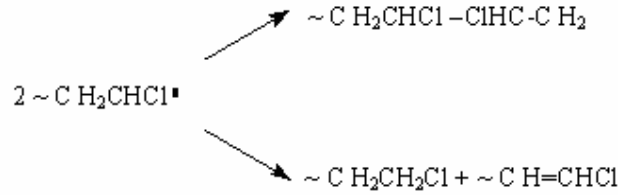
İlerleme Aşaması:



Monomere zincir transferi



Sonlanma Aşaması:



2.3.2. İyonik Polimerizasyon:

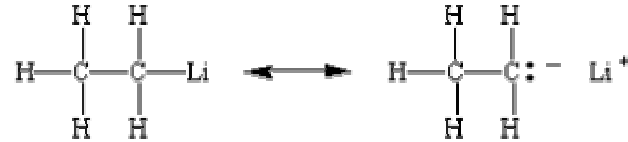
İyonik polimerizasyon iyonlar ve koordinasyon kompleks yapıcı ajanlar üzerinden yürür. Monomerinin hangi mekanizma üzerinden polimerleştirileceği, substitüye gruba bağlıdır. Polimerizasyon sırasında zincir taşıyıcılar *karbanyonlar* ise ise bu tür polimerizasyon *anyonik polimerizasyon*, *karbonyum* iyonları iyonları ise *katyonik polimerizasyon* olarak adlandırılır.

Bir monomerin iyonik yöntemle polimerleşebilmesi için, monomer üzerindeki yan grubun (-R) kimyasal yapısı önemlidir. Yan grubun çift bağ elektron yoğunluğu

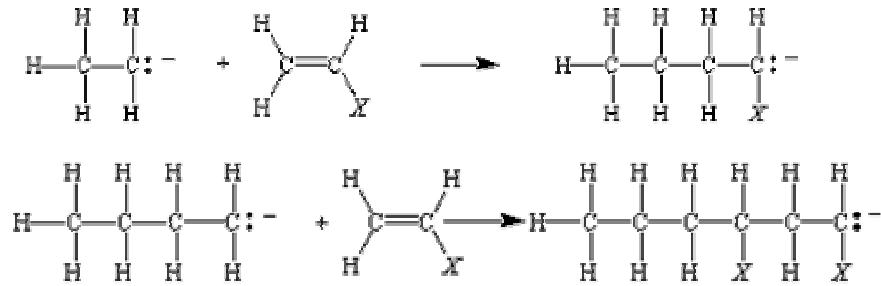
üzerine etkisi ve oluşacak anyon veya katyon oluşturabilme kabiliyeti polimerizasyon tipini belirler.

Anyonik polimerizasyon mekanizması:

Başlama Aşaması:



İlerleme Aşaması:

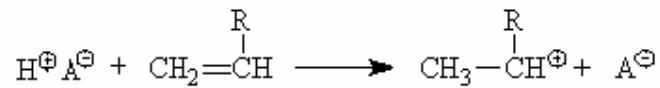


Sonlanma Aşaması:

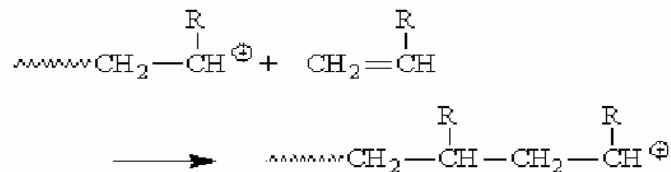


Katyonik polimerizasyon mekanizması:

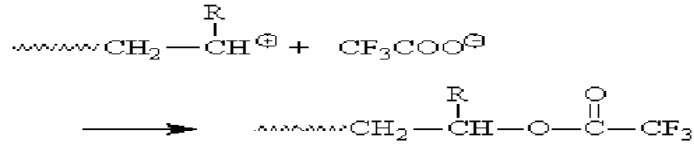
Başlama Aşaması:



İlerleme Aşaması:



Sonlanma Aşaması:



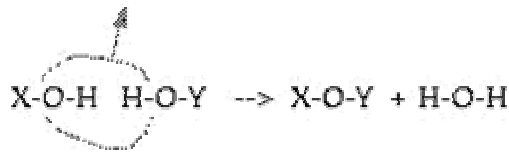
İyonik polimerizasyonda çoğunlukla katalizörler ayrı bir fazda bulunurlar. Reaksiyon hızı serbest radikal polimerizasyonuna göre çok daha hızlıdır. Dolayısıyla reaksiyon hızını kontrol etmek için polimerizasyon işlemi çok düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilir.

2.3.3. Kondenzasyon Polimerizasyonu:

Kondenzasyon polimerizasyonunda polimerler, benzer veya farklı yapıdaki poli-fonksiyonel monomerlerin küçük bir molekül çıkararak reaksiyona girmesiyle elde edilir. OH, COOH, NH₂, gibi fonksiyonel gruplardan en az iki tane taşıyan monomerler esterleşme, amidleşme, vb. gibi reaksiyonlarla, kondenzasyon polimerlerini meydana getirirler. Ayrıca yan ürün olarak su veya alkol açığa çıkabilir.

Reaksiyonun polimerizasyon derecesi, süre ile orantılı olup istenilen molekül ağırlığına ulaşıncaya kondenzasyon reaksiyonu durdurulabilir. Basamaklı polimerizasyon olarak da bilinen kondenzasyon polimerizasyonunda oluşan polimer yavaş yavaş uzun bir sürede elde edilir [20].

Kondenzasyon mekanizması:



2.4.POLİMERİZASYON YÖNTEMLERİ:

Süspansiyon polimerizasyonu, emülsiyon polimerizasyonu, kütle polimerizasyonu ve mikro süspansiyon polimerizasyonu olmak üzere dört tane polimerizasyon yöntemi vardır.

2.4.1. Süspansiyon Polimerizasyonu:

Süspansiyon polimerizasyonu serbest radikaller veren başlatıcıların kullanıldığı bir polimerizasyon yöntemidir. Bu yöntemde heterojen serbest radikal katılma polimerizasyonu mekanizması gerçekleşir. Ayrıca molekül ağırlığı dağılımını düzenlemek ve aralığın dar olmasını sağlamak amacıyla sıcaklık kontrolü önemlidir [21].

Süspansiyon polimerizasyonunun esas prensibi; suda çözünmeyen monomer sulu ortamda karıştırılarak su ve monomer arasında faz ayrımı meydana getirmektedir. İyi karıştırma işlemi sonucunda monomer su içerisinde damlalar halinde dağılır. Ve böylece faz ayrılmasının önüne geçilmiş olunur. Başlatıcı, organik fazda yani monomerde çözünür. Bu sayede polimerizasyon reaksiyonu başlatılmış olur.

Süspansiyon polimerizasyonunda ısı iletimi kolaylığı, organik çözücünün kullanılmaması ve polimer taneciklerinin boyutlarının daha iyi kontrol edilmesi gibi avantajlarının yanında sürekli karıştırma, ortamdaki maddelerden kaynaklanan polimer kirlenmesi ve camsı geçiş sıcaklığının altında sıcaklıkta olan polimerlerin elde edilmesinde kullanılmaması gibi dezavantajları da vardır.

Vinil klorürden polimerizasyon ile polivinil klorür elde edilmesinde en çok kullanılan teknik süspansiyon polimerizasyonudur. Bu polimerizasyonda, vinil klorür damlacıkları şiddetle karıştırılarak bir süspansiyon ortamında dağıtılır.

Vinil klorür monomeri, başlatıcı ve emülsiyon yapıcı katkı maddelerin karıştırılmasıyla su içinde ince damlacıklar halinde polimerizasyon reaksiyonu gerçekleştirilir, polimerizasyon ilerledikçe damlacıkların içine kaba emülsiyon monomer geçişi olur. Polimerizasyon %90 dönüşüme kadar devam eder ve daha sonra reaksiyona girmemiş olan vinil klorür monomerleri ortamdaki uzaklaştırılarak geri kazanılır. PVC tanecikleri kurutulup toz halinde satışa hazır duruma getirilir. Günümüzde ise PVC miktarının büyük bir kısmı bu yöntemle elde edilmektedir.

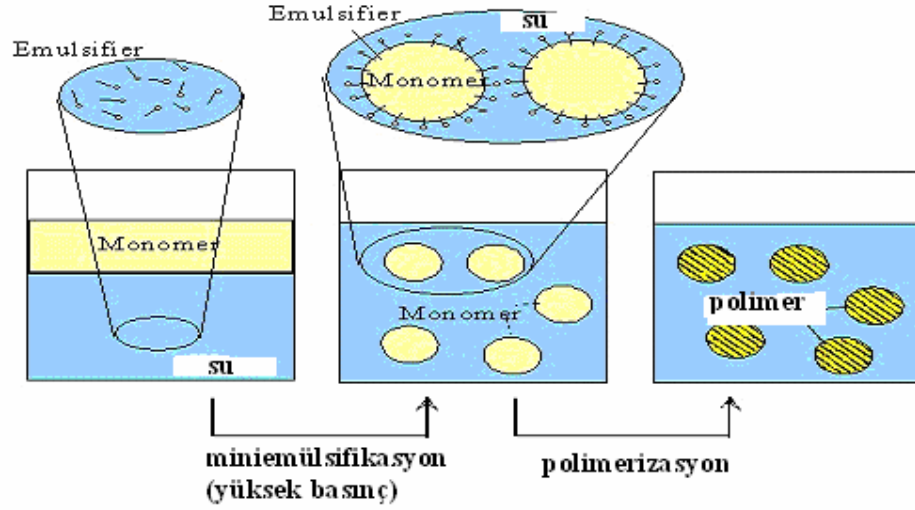
2.4.2. Emülsiyon Polimerizasyonu:

Emülsiyon polimerizasyonunda monomer, suda çözünen bir başlatıcı ve emülsiyon yapıcı bir maddenin de bulunduğu sulu bir ortamda polimerleştirilir.

Emülsiyon polimerizasyonunun esas prensibi; sulu ortamda monomer damlacıkları ve emülsiyon yapıcıların karıştırılmasıyla “ misel ” adı verilen kümeler oluşur ve polimerizasyon ilerledikçe koloidal olarak dağılmış polimer taneciklerinden polimer yapılar meydana gelir.

Emülsiyon polimerizasyonun; düşük viskozite ve akışkan ortam, açığa çıkan ısıyı reaktörün soğutma yüzeylerine transferi gibi avantajların yanında süzme ve kurutma gibi oldukça kompleks bir yöntem olması nedeniyle birçok dezavantajı da vardır.

Bu proseste vinil klorür monomer; suda çözünen bir başlatıcı ve emülsiyon yapıcı bir maddenin de bulunduğu sulu bir ortamda polimerleştirilir ve PVC oluşur.



Şekil 2.7: Emülsiyon polimerizasyonu.

2.4.3.Kütle (Blok) Polimerizasyonu: Kütle polimerizasyonunda reaksiyon ortamında sadece monomer bulunur. Bu polimerizasyon yönteminde çözücüler ve süspansiyon yapan sıvılar yoktur. Ayrıca polimerizasyon başlatıcısı monomerde çözünür.

Kütle polimerizasyonunda polimer konsantrasyonu ve molekül ağırlığı arttıkça ortamın viskozitesi artarken karıştırma verimi ve ısı transfer hızı azalmaktadır. Dönüşüm miktarı sınırlı tutulurken reaktörün içinde bulunanlar başka bir kaba aktarılır ve böylece dönüşüm tamamlanır.

Kütle polimerizasyonu yönteminde süspansiyon polimerizasyonu ile benzer prensipte PVC üretilmektedir. Vinil klorür monomeri doğrudan serbest radikal bir başlatıcı ile polimerizasyon başlatılır. Ortamda su ve çözücü bulunmadığından diğer proseslere oranla daha temiz polimerler elde edilir. Dolayısıyla bu yöntemle elde edilen PVC ısıya daha dayanıklı ve elektrik direnci yüksektir.

Süspansiyon polimerizasyonunda olan serbest radikal başlatıcılar bu yöntemde kullanılarak polimerizasyon iki aşamada gerçekleşir.

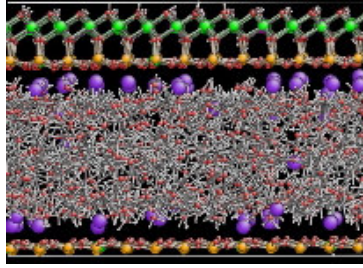
1. aşamada tane boyutu,
2. aşamada moleköl büyüklüğü artar. Fakat yüksek polimer dönüşümleri gerçekleştiğinde aşırı ısınmalar meydana geldiğinden sıcaklık, zaman ve monomer dönüşümü gibi etkenlere dikkat edilmek gerekmektedir.

2.4.4.Mikro Süspansiyon Polimerizasyonu:

Bu proseste kullanılan başlatıcının monomerde çözünür özellikte olduğu bir çeşit emülsiyon polimerizasyonudur. Kaba emülsiyon monomer, başlatıcı ve emülsiyon yapıcı katkı maddelerin bulunduğu mekanik bir homojenleştiricide meydana getirilir. Polimerizasyon reaksiyonu küçük damlacıklar içinde oluşur, polimerizasyon ilerledikçe damlacıkların içine monomer geçişi olur. Verimliliği suyun monomere olan oranına bağlıdır [22-23].

2.5.NANOKOMPOZİT :

1-1000 nm aralığında ultra - ince inorganik taneciklerden oluşmuş, kompozitlerin yeni bir sınıfıdır. Bu malzemenin teknolojiadaki amacı, düşük maliyetli, yüksek performanslı ürünler elde edip sanayide büyük ilerlemeler kaydetmektir [24].



Şekil 2. 8: Nanokompozit yapı.

Bir molekülle kil arasındaki etkileşim ilk olarak 1949 yılında yapılmıştır. Bu etkileşim Bower tarafından DNA'nın montmorillant vasıtasıyla absorpsiyonuyla açıklanmıştır.

Montmorillant kili aktive ederek polimetil metakrilat ile arasındaki etkileşimden polimetil metakrilatın camı geçiş sıcaklığının yükseldiğini bulunmuştur.

Polivinil alkolün sulu çözeltisi içine direkt katılabildiği ispatlanmıştır.

Çalışmalarda polietilen oksit ve poliakrilamide de benzer sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

İlk endüstriyel uygulama; Japon firması olan Toyota' nın araç tamponlarında kullanılmasıyla başlamıştır.Ve günümüzde de Toyota arabalarının motorlarının ateşleme zaman panel kapağında da kullanılmaktadır.

Son yıllarda dağılmış inorganik nanopartikülleri içeren malzemelere karşı ilginin yoğunlaşmasının sebebi mekanik, termal ve yanabilme özelliklerinde artış görülmüştür.

Polimer malzemelerin inorganik sentetik veya doğal bileşiklerle doldurulmasıyla ısıya karşı dayanıklılık, mekaniksel kuvvet ve çarpmalara karşı direnç gibi özelliklerinin artmasıyla birlikte elektriksel iletkenlik ve oksijen veya su buharı gibi gazları geçirebilme özelliklerinde de azalmalar görülmüştür. [25].

2.6.NANOKOMPOZİT MALZEMENİN ÖNEMİ:

İlk olarak Japon firması tarafından poliamid 6 ve montmorillant kullanarak geleneksel malzemelere göre daha iyi mekanik ve bariyer özelliklere sahip olan polimer - nanokompozit malzemeler nano boyutta parçacıklardan oluşurlar. Dolayısıyla matris ile takviye elemanları arasında büyük yüzey alanına sahiptirler. Yüzey alanının artmasıyla birlikte yüzeyler arası etkileşimi ve özellikleri de artar. Klasik kompozit malzemelerde ise mikro boyutunda parçacıklardan dolayı hacimsel etkileşim daha azdır.

2.7.NANOKOMPOZİTLERİN ÖZELLİKLERİ:

Nanokompozit malzemeler geleneksel malzemelere kıyasla daha üstün özelliklere sahiptirler. Bu özellikler:

- ❖ Ekonomik Özellik
- ❖ Mekaniksel Özellik
- ❖ Elektriksel Özellik
- ❖ Bariyer Özelliği
- ❖ Termal Kararlılık Özelliğidir.

2.7.1.Ekonomik Özellik:

Malzeme seçiminde ekonomik açıdan iki esas prensip vardır. Birincisi işlevsellik sağlama yeterliliği ve ikincisi ise maliyettir.

Nanokompozit malzemeler diğer malzemelere oranla belli sıcaklık değerlerine kadar maliyet açısından üstünlük sağladığından dolayı tercih edilmektedir. Diğer malzemeler gibi yüksek yatırım maliyeti gerekeceği gibi hafif malzemelerdir. Bu da taşıma ve depolama açısından önemli maliyet avantajları sağlar. Dolayısıyla nano yapıları malzemeler metal, seramik ve polimer malzemelere oranla daha ekonomiktirler.

2.7.2.Mekaniksel Özellik:

Saf polimer malzemeler; öğütme, kesme, kırma, ezme, sürtme, aşınma ve yırtma gibi dış etkenlerden dolayı radikal veren zincirlerinin kırılmasıyla birlikte mekaniksel bozunmalara uğrarlar. Fakat nanokompozit malzemeler, saf polimerlere göre daha üstün mekaniksel özellikleri vardır [26].

Nano yapıları malzemeler çok sağlam ve yüksek elastikiyet modülüne sahiptirler. Ayrıca kırılmalara karşı oldukça dayanıklıdır. Burkulabilir, düzleştirilebilir, küçük daireler şeklinde kıvrılabilirler dolayısıyla çeşitli esnetmeler sonucunda kırılmadan kalabilirler.

Örneğin; polipropilen–kil sisteminde saf polipropilene oranla gerilme modülünün artmasıyla birlikte çok daha esnek ve basınç altında kırılmaya dayanıklı malzemelerin elde edilebileceği ispatlanmıştır [27].

2.7.3.Elektriksel Özellik:

Maddelerin genel olarak elektriksel özellikleri; iletkenlik, direnç ve dielektrik kuvvet gibi kavramlarla tanımlanır. Metallerin bünyesinde bulunan elektronlar kolayca hareket ederek malzemeye iletkenlik özelliğini verirken geleneksel polimer ve seramiklerde ise elektronların veya iyonların hareketleri kısıtlıdır dolayısıyla yalıtkanlık özellikleri vardır.

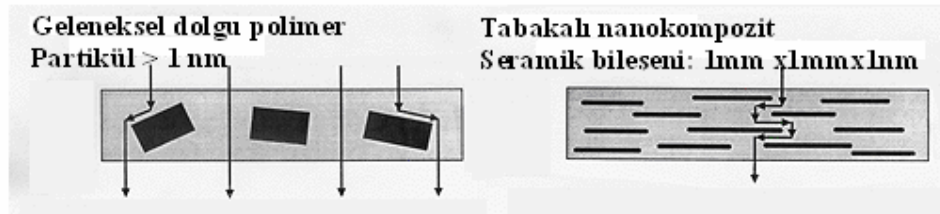
Ayrıca geleneksel polimerler; nem ve sıcaklık gibi dış etkenlerden etkilendiklerinden dolayı kullanım alanları da sınırlıdır.

Nanokompozit malzemelerin yapısında bulunan iyon değıştirici kilden dolayı elektriksel iletkenlikleri yüksektir. Mesela birbirine pek benzemeyen iki nano tüp molekülü uç uca birleştirilirse birleşme noktası diyot olarak adlandırılan bir elektrik devresi gibi davranır. Diyotlar devrelerde genellikle alternatif akımı, doğru akıma çevirmekte kullanılır.

Bilim adamları; PMMA – kil nanokompozit sistemiyle saf PMMA sistemlerinin elektriksel özelliklerini test etmesi sonucunda, PMMA – kil nanokompozit sisteminin kil miktarı ile doğru orantılı olarak iletkenliğinin arttığını ispatlamışlardır [28].

2.7.4. Bariyer Özelliği:

Geleneksel polimerlerle polimer-kil içeren nanokompozit malzemelerin bariyer özelliğini kıyasladığımızda; geleneksel polimerlerde madde geçişinin polimer içinden daha kolay geçtiğini fakat nanokompozit malzemedeki ise silikat tabakalar yüzünden engellerle karşılaştığı görülmüştür. Dolayısıyla nanokompozit malzemeler daha düşük geçirgen özellik gösterirler.



Şekil 2.9: Geleneksel ve tabakalı nanokompozit malzemelerin bariyer özelliklerinin kıyaslanması.

Bilim adamları; polietil akrilat- bentonit nanokompozit sistemiyle saf polietil akrilat sistemlerinin bariyer özelliklerini test etmesi sonucunda, nanokompozit sisteminin kil miktarı ile doğru orantılı olarak bariyer özelliğinin arttığını ispatlamışlardır [29].

2.7.5.Termal Kararlılık Özelliği:

Polimer malzemeler yapılarındaki amorf ve kristal bölgenin varlığına göre ısı karşısında farklı davranırlar. Amorf polimerler; düşük sıcaklıkta sert ve kırılğandırılar. Camsı geçiş sıcaklığında (T_g) yumuşarlar. Ayrıca ısı sürdürülürse polimer malzeme sıvılaşıır. Kristal polimerler; sert ve amorf bölgeleri bulunmadığından camsı geçiş göstermezler.

Camsı geçiş sıcaklığının üzerinde polimer zincir eğilir ve geometrisi bozular. Fakat nanokompozit malzemelerde ise camsı geçiş sıcaklığı saf polimerlere kıyasla daha yüksektir. Bu sebeple nanokompozitler daha yüksek sıcaklıkta bile daha kararlı bir yapı gösterirler [30].

Örneğin; bilim adamları PMMA- bentonit nanokompozit sistemiyle saf PMMA sistemlerinin camsı geçiş sıcaklıklarını test etmesi sonucunda, nanokompozit sisteminin kil miktarı ile doğru orantılı olarak daha yüksek camsı geçiş sıcaklığına sahip olduklarını ispatlamışlardır [31-32].

2.8.NANOKOMPOZİTLERİN SENTEZİ:

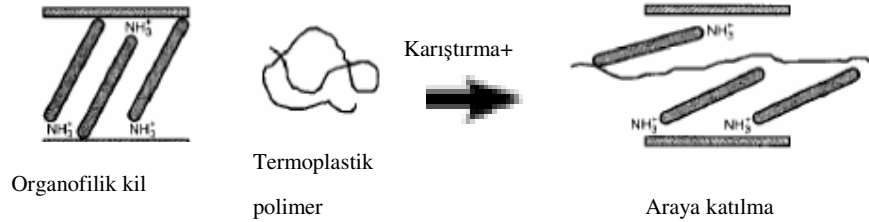
Nanokompozit malzemelerin hazırlanmasında dört esas metod kullanılır. Bunlar:

- Eriyik araya katılma metodu
- Çözücü metodu
- Polimerizasyon metodu
- Sol- jel metodudur.

2.8.1.Eriyik Araya Katılma Metodu :

Eriyik araya katılma metodunun esas prensibi, termoplastik polimer- organofillik kil ile yavaş yavaş ısıtılarak kil polimer malzemenin arasına katılmasıyla nanokompozit malzemeyi elde etmektir [33].

Bu metod endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2.10 : Eriyik araya katılma metodu

2.8.2. Polimerizasyon Metodu:

Polimerizasyon metodunun esas prensibi, sıvı monomer ile modifiye olmuş silikat tabakası şişerek monomer silikat tabakasının boşlukları içine girer ve araya katılan kısımlarda meydana gelen polimerizasyon sonucu nanokompozit malzemeyi elde etmektir.

Polimerizasyon reaksiyonu ısıtma, radyasyonla ve uygun bir başlatıcıyla

başlatılabilir [33].

2.8.3.Çözücü Metodu:

Çözücü metodunun esas prensibi, polimerizasyon metoduna benzer. Nanokompozit malzemeleri sentezlemek için polar çözücüler kullanılmaktadır. Öncelikle kil polar bir çözücüde şişirilir ve daha sonra polimer çözücüde çözünerek çözeltiye eklenir. Böylece kil tabakaları arasına katılır. Son olarak çözücü ortamdaki uzaklaştırılır. Bu metot düşük polaritede veya hiç polar olmayan polimerlerin kullanılmasıyla nanokompozit malzemelerin sentezlenebilmesi açısından avantajlı olmakla beraber çok miktarda çözücü kullanılmasından kaynaklanan birtakım problemlerin oluşması sebebiyle çok tercih edilmemektedir [34].

2.8.4. Sol-Jel Metodu:

Sol-gel metodu, oksit jellere odaklanmıştır. Bu metotta, bir veya birkaç bileşenin <<sol>> (veya jel) yapıcı özelliğe sahip olması gerekmektedir. Sol (veya jel) yapıcıları elde etmek için iki yöntem kullanılır. Bunlar:

1-) İlk yöntem, hammaddelerin kolloidal partiküller halinde kullanılmasıdır. Örneğin; tabii kolloidal olarak bilinen kil gibi.

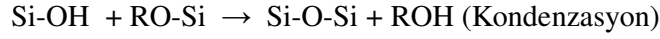
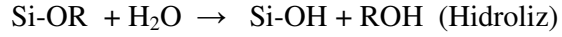
2-) İkinci yöntem, metalik veya non-metalik alkoksitlerin veya çeşitli alkoksit veya metal-organik bileşiklerin, genellikle alkol veya hekzan çözeltisinde hidroliz / polikondenzasyon sonucu polimerize bir yapıya dönüşmesine dayanır.

Sol-gel yönteminin kimyasal yönü kontrol edilebilir ve hammaddelere kıyasla daha iyi homojenlik sağlanır. Ayrıca toz boyutu mikronun altında elde edilir ve üretim için düşük sıcaklıklar yeterlidir [35].

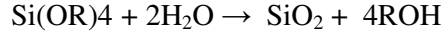
Bununla beraber bazı dezavantajları da vardır. Sol-gel yöntemiyle üretilen tozların maliyeti yüksektir ve proses esnasında büzülme miktarı büyüktür. Ayrıca ince gözenekler yapıda yer alabilir ve yapıda kalıntı hidroksil yer alabilir [36-37].

Sol-gel metodunda; alkil grupları (R = Me, Et,...) hidroliz ve kondenzasyon

reaksiyonundan meydana gelen reaksiyonlar şöyledir:



Toplam reaksiyonu şu şekilde yazabiliriz:



2.9.NANOKOMPOZİTLERİN SINIFLANDIRILMASI

Nanokompozitler birçok yolla sınıflandırılabilirler. Genel olarak nanokompozitler yapılarına, boyutsal özelliklerine ve matris elemanlarına göre üç sınıfa ayrılır.

a.Yapılarına Göre:

- Araya Katılmış (Intercalated) Nanokompozit
- Pıhtılaşmış (Flocculated) Nanokompozit
- İnce Tabakalar Halinde Ayrılmış (Exfoliated) Nanokompozit

b. Matris Elemanlarına Göre:

- Termoplastik Nanokompozit
- Termoset Nanokompozit

c.Boyutsal Özelliklerine Göre:

- Küresel
- Lif veya tüp şeklinde
- Silikat Tabakası

2.9.1. Nanokompozitler Yapılarına Göre:

Geleneksel kompozit malzemelerde kil mineralleri polimer matrisinde bulunurlar. Fakat polimer, kompozit tabakaları arasına nüfuz etmez. Böylece kompozit malzemelerde ekonomik açıdan ucuz olan kil mineralleri sadece takviye elemanı olarak kullanılır. Nanokompozit malzemelerde ise silikat tabakaları ile polimer arasında polimerin silikat tabakalarının arasına girme eğilimi olması vardır.

Nanokompozit malzemeleri yapısına göre sınıflarken silikat tabakaları ile polimer arasındaki etkileşim esas alınmıştır.

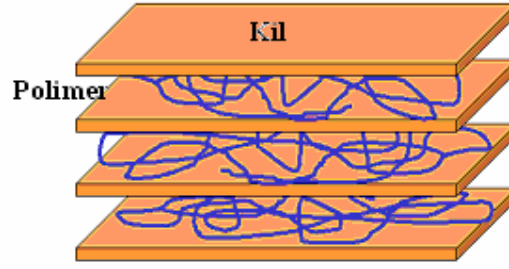
2003 yılında Marlene ve arkadaşları tarafından üzerinde –OH fonksiyonel grupları bulunduran dallanmış polimer yapı ile modifiye olmamış Na montmorillant kullanarak ince tabakalar halinde ayrılmış nanokompozit elde etmişlerdir. Fakat daha az kil kullanıldığında araya katılmış nanokompozit elde etmişlerdir. Dolayısıyla belirli bir oranda kil eklenerek farklı yapılarda nanokompozit sentezlenebileceğini deneysel olarak ispatlamışlardır.

Günümüzde halen nanokompozitlerin yapısına göre sınıflandırılmasının nedenleri netleşmemekle beraber birçok araştırmacının ilgisini çekmektedir.

- Araya Katılmış (Intercalated) Nanokompozit:

Araya katılmış nanokompozit; bir veya daha fazla sayıdaki polimerin kil tabakalarının arasındaki boşluklara girmesiyle meydana gelir.

Polimerin doğrudan araya katılması ile veya monomerlerin polimerizasyonu ile araya katılmış nanokompozitler sentezlenebilir.



Şekil 2.11 : Araya katılmış nanokompozit

Polivinil alkol veya polietilen oksit gibi hidrofilik yapıya sahip polimerler kullanılırsa “araya katılma” işlemi sıvı çözeltide gerçekleşir [38].

- İnce Tabakalar Halinde Ayrılmış (Exfoliated) Nanokompozit:

İnce tabakalar halinde ayrılmış nanokompozit; polimer ve silikat tabakaları arasında yeni bir fazın meydana gelmesiyle oluşurlar. Kil tabakaları polimer matrisinde yayılmış halde bulunur. Silikat tabakalarının polimerler arasındaki uzaklık; malzemeye eklenen silikat miktarıyla orantılıdır.

Şekil 2.12: İnce tabakalar halinde ayrılmış nanokompozit

İnce tabakalar halinde ayrılmış nanokompozitlerin sentezinde en çok kullanılan yöntem polimerizasyon yöntemidir. Silikat tabakalarının birbirinden ayrılması için şiddetli kimyasal veya mekanik güç gerekir [39-40].

- Pıhtılaşmış (Flocculated) Nanokompozit:

Araya katılmış nanokompozit yapısında polimer silikat tabakaları arasına düzenli olarak katılırken ince tabakalar halinde ayrılmış nanokompozitte ise polimer silikat tabakalarını tamamıyla birbirinden ayırmıştır. Pıhtılaşmış nanokompozitte ise bu iki olay kısmen gerçekleşmektedir [41].

2.9.2.Nanokompozitler Matris Elemanına Göre:

İki ana sınıfa ayrılırlar. Bunlar; termoplastik ve termoset nanokompozitlerdir.

Termoset Nanokompozit:

Nanokompozitlerde iç galeri yüzeyleri 2 olay sebebiyle çok önemlidir. Bunlar organofilik hale getirilerek matrisin silikat tabakaları arasına katılmasına izin vermesi ve yüzeyindeki katyonlar ile polimerizasyon reaksiyonlarında katalizör gibi davranmasıdır.

Epoksi ve modifiye edilmiş silikat tabakalarını katalizör olarak kullanarak yüksek camısı geçiş sıcaklığına sahip termoset nanokompozitler elde edilmiştir. Klasik kompozitlerden farklı olarak termoset nanokompozitlerin mukavemetlerinin daha fazla olduğunu ispatlamıştır.

Ester reçineleri ve modifiye edilmiş silikat tabakalarını kullanılarak camısı geçiş sıcaklığı yüksek olan termoset nanokompozitler elde edilmiştir. [42].

Sonuç olarak ; yapılan deneysel çalışmalarda termoset nanokompozitlerin termoset kompozitlerden daha iyi mekaniksel ve kimyasal özelliklere sahip olduğu ispatlanmıştır [42].

Termoplastik Nanokompozit:

Termoplastik polimerlerde matrise mikron boyutunda inorganik madde eklenirse malzemenin kırılabilirliği artar. Eğer, parçacık nano boyuta indirilirse veya parçacık hacmi arttırılırsa malzemenin dayanımı artar.

Termoplastiklerin sürtünmeye karşı dirençleri azdır. Ayrıca üretimde birtakım problemlere sebep olmaktadır.

Poliamid 6,6 ve TiO_2 parçacıklarını nanometre boyutunda kullanarak sürtünmeye ve yüksek sıcaklığa dayanımı fazla olan termoplastik nanokompozit elde edilmiştir.

Termoplastik nanokompozitlerin mekaniksel ve termal kararlılıklarının geleneksel malzemelerden daha fazla olduğunu ispatlanmıştır [42].

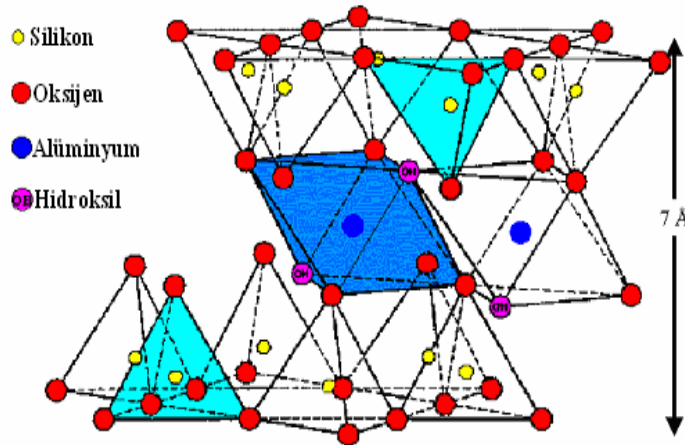
2.9.3.Nanokompozitler Boyutsal Özelliklerine Göre:

3 ana sınıfa ayrılır. Bunlar; küresel, lif veya tüp şeklinde ve silikat tabakalıdır.

- **Küresel Nanokompozitler (3 Boyutlu):** Küresel veya kısmen küre şeklindeki nano boyutlu partiküller üç boyutlu bir yapıya sahiptir. Bu partiküllerin bir polimer matrisi içinde dağıtılmasıyla birbirinden farklı yöntemlerin kullanıldığı sayısız deneme yapılmıştır. Bu sınıfta en çok kullanılanlar karbon siyahı, çöktürülmüş kalsiyum karbonat ve silikattır.
- **Lif Veya Tüp Şeklinde Olan Nanokompozitler (2 Boyutlu):** Nanotüp ve nanolifler 2 boyutlu bir yapıya sahiptirler ve milimetre uzunluğundadırlar. Bu malzemenin ileri seviyede mekaniksel ve elektriksel özellikleri vardır.

Teorik ve deneysel araştırmalar; karbon nano tüplerin esnek olduğunu ispatlamıştır. Karbon nano tüpler, karbon atomlarına bağlı olarak çok düzgün bir yapıya sahiptirler.

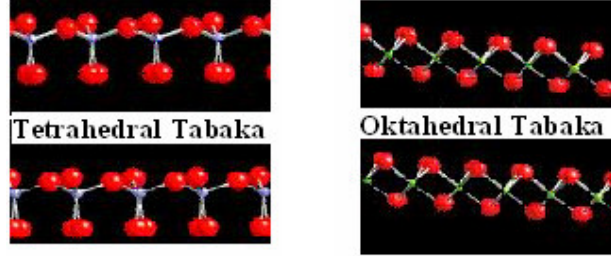
- **Silikat Tabakalı Nanokompozitler (1 Boyutlu):** Silikat tabakaları; tetrahedral ve oktahedral olmak üzere iki farklı geometrik yapıdan meydana gelmektedirler. Tetrahedral silikon, oktahedral ise iki veya üç değerlikli metal katyon içerir. Bu geometrik yapılar 1:1 veya 2:1 oranında birleşirler. Nanokompozit malzeme hazırlandığında, silikat tabakalarının kalınlığı yaklaşık olarak 1 nanometre civarında ve boyutları da mikron ölçeğindedir.



Şekil 2.13: Silikat tabakasının yapısı

Silikat tabakalarının yüzeyinde bulunan negatif yükler bu iki tabaka arasında bulunan boşluktaki çözülmüş katyonlarla dengelenir. Esası; düşük değerlikli metallerin silika

veya metal atomlarıyla izomorfik yer değiştirmeleri sonucunda tabakalar üzerinde negatif bir yük birikmesi meydana gelir. Bu etki iki tabaka arasında kalan boşluğa “galeri” adı verilen bölgeye katyon yerleştirilmesiyle denge sağlanır.



Şekil 2.14: Tetrahedral ve oktahedral tabakalar.

Silikat tabakalarındaki katyonların diğer katyonlarla yer değiştirebilme kabiliyeti vardır. Ve bu iyon değişimi galeriler arasındaki uzaklığın artmasına dolayısıyla tabakalar arasındaki çekim kuvvetlerinin azalmasına sebep olur. Silikat tabakalarının iyon değiştirmesi sonucu, birbirlerinden uzaklaşmasıyla “ince tabakalar halinde dökülme” yani diğer bir değişle “exfoliation” olayı gerçekleşir.

Genel olarak magnezyum, alüminyum ve demir katyonları içeren yüklü phyllosilikatların tabakalar arasındaki katyonları X eksenine simetrik olarak kolaylıkla diğer katyonlarla yer değiştirebilme kabiliyeti vardır. Değiştirilebilir iç tabaka katyonların sayısına katyon değiştirme kapasitesi (CPE) denir. CPE mili eşdeğer/ 100g olarak ifade edilir.

Hidrofillik yapıya sahip olan silikat tabakaları hidrofobik yapıya sahip polimerlerle uyumlu değildirler. Polimer içinde silikat tabakasının yayılması çok zor olduğundan hidrofillik veya organofillik özelliği olan uygun bir ajan silikat tabakaları arasındaki inorganik iyonlarla yer değiştirilir. En yaygın olarak kullanılan ajanlar alkil amonyum iyonlarıdır. Apolar yapıya sahip alkil zincirleri silikat tabakaları arasındaki elektrostatik etkileşimi azaltır ve polimerin boşluklarına diffüzyonuna olanak sağlar. Böylece silikat tabakalarında iyon değiştirmelerle modifiye olmuş kil denilen dolgular kullanılır [43].

2.10.KİLLER HAKKINDA GENEL BİLGİ

2.10.1.Kilinin Tanımı:

Kil, doğal olarak oluşmuş, ince taneli minerallerden meydana gelen, yeterli miktarda su katılınca genellikle plastikleşen ve kuruma veya pişmeyle sertleşebilen malzemelere denir.

Kil mineralleri, sulu alüminyum silikat yapısındadır. Fakat bazı minerallerde alüminyum yerine demir veya magnezyum bulunur.

Kilin genel kimyasal bileşim formülü;

$m \text{ Al}_2\text{O}_3$ $n \text{ SiO}_2$ $p \text{ H}_2\text{O}$ ile ifade edilir.

Kil minerallerin boyutu, son yıllarda yapılan çalışmalarla 2 mikrona kadar düştüğü görülmüştür. 2 mikrondan daha büyük boyutlar kil tanımı içine girmez.

Killerin içinde “kil olmayan malzeme” yani safsızlıklar da bulunur. Bunlar kuartz, kalsit, feldispat ve pirit gibi minerallerdir. Ayrıca birçok kilde organik madde ve suda çözünebilen tuzlar bulunur.

2.10.2.Kil Minerallerinin Sınıflandırılması

Killer kristal yapılarına , kimyasal bileşimlerine ve oluşum şekillerine göre sınıflandırılabilir.

2.10.2.1.Kil Minerallerinin Kristal Yapısına Göre Sınıflandırılması : DEGENS' e göre kil minerallerinin sınıflandırılması iki tabakalı , üç tabakalı, dört tabakalı ve zincir yapılı olmak üzere dört ana gruba ayrılır.

Tablo 2.2: DEGENS' e göre kil minerallerinin sınıflandırılması

YAPI	GRUP	CINS
2 Tabakalı olanlar	Kaolinit Grubu	Kaolinit
	a- Es boyutlu olanlar	Dikit
	b- Bir yönde uzamış olanlar	Halloysit
3 Tabakalı olanlar	Smektit Grubu	Montmorillant
	İllit Grubu	Bedielit
	Vermikülit Grubu	İllit
		Vermikülit
4 Tabakalı olanlar	Klorit Grubu	Klorit
Zincir Yapısı olanlar	Sepiyolit Grubu	Sepiyolit
		Atapulgit
		Paligorskit

2.10.2.2. *Kil Minerallerinin Kimyasal Bileşimine Göre Sınıflandırılması*: R.L. BATES' e göre dört ana gruba ayrılır. Bunlar:

a- Kaolinit grubu: Kaolinit, Dikit, Nakrit, Anaksit, Halloysit ve Endellit

b- Smektit grubu: Montmorillant, Nontronit, Saponit, Beidellit ve Hektorit

c- İllit grubu: İllit

d- Klorit grubu: Atapulgit, Sepiyolit ve Allofan

2.10.2.3. *Kil Minerallerinin Oluşum Şekillerine Göre Sınıflandırılması* : H. Ries' e göre 3 ana gruba ayrılır. Bunlar:

1- Kalıntı Killeri: Kaolin ve çeşitli kayalardan meydana gelir.

2- Koloidal Killer: Heyelan killeridir.

3- Taşınma Killeri: Sedimenter, buzul killeri ve rüzgar kaynaklı killerdir.

Kalıntı killeri, buldukları yerde meydana gelen killer sınıfından oldukları için aynı zamanda “primer killer”, koloidal ve taşınma sonucu oluşan killer de “sekonder killer” denilir.

2.10.3.Kil Yapısını Çeşitlendiren Faktörler

1. Kil minarelerinin bileşim ve cinsi
2. Organik madde içermesi
3. Kil olmayan mineral içermesi
4. Çözünebilen tuzların bulunması
5. Yer değiştirebilen iyonların bulunması
6. Taneciklerin şekli, dağılışı ve yönelmesidir.

Bu faktörler killerin karakteristik özellikleridir ve yeni malzemelerin elde edilmesi durumunda dikkate alınması gerekmektedir [44].

2.10.4.Kilin Özellikleri:

Kilin başlıca dört özelliği vardır. Bunlar:

1.Plastisite: Kilin işlenebilme ve şekillendirilebilme özelliğidir.

2.Kohezyon: Kil, su ile şekillendikten sonra kurutulduğunda bulunduğu şekli koruma özelliğidir.

3. Renk: Saf kil renksizdir. Kile metal oksit veya organik madde katıldığında sarı, mavi ve yeşil gibi renkleri alır.

4.Rötre: Kil, su ile şekillendirilip kurutulduktan sonra şekillenmeden önceki ve sonraki

hacminin küçülmesi özelliğidir.

2.11.BENTONİT

2.11.1.Bentonit Tanımı

Montmorillant veya montmorillantın iyon değişimleri ile oluşmuş, berdelit, saponit, hektorit ve nontronit gibi kil minerallerini içeren maddelere “bentonit” adı verilir. Volkanik küllerin yapısının değişmesiyle oluşan bentonitlerin içinde safsızlık olarak; kaolin ve illit gibi kil mineralleri ile, jips, kuvars, gibi kil minerali olmayan maddeler de bulunur.

Smektit grubu kil minerallerinden oluşan bentonitin yapısında montmorillant olup % 85’inde bu mineral bulunur. Bazı bentonitlerde ise aynı gruptan olan saponit ve hektorit adlı minerallerinden meydana gelmişlerdir.

Bentonitin fiziksel ve kimyasal özellikleri birbirinden farklıdır. Ayrıca bentonitin partikülleri tamamen veya kısmen koloidal boyutlara sahip olduğundan dolayı su içinde süspansiyon halinde kalabilirler.

Bentonitin su ve organik maddeleri adsorplama özelliğinden dolayı plastisite yapı gösterirler. Yani ıslandığında biçimlendirilebilirler.

Bentonit, ülkemizde oldukça fazla bulunan ve düşük maliyete sahip olan endüstriyel killere dendir.

2.11.2.Bentonitin Sınıflandırılması

Bentonit yapısına göre dört gruba ayrılır.

2.11.2.1. Alkali Bentonit (Na – Bentonit): Birbirlerinin yerlerini kolayca alabilen alkali

bazıları içerirler. Dolayısıyla, sülfürik asitle bozulmazlar ve kaybolan alkali yerine başka bir alkali tuz katılarak tekrar eski hallerine kavuşturulurlar. Wyoming bentonitleri bu türdendir.

2.11.2.2. *Yarı Alkali Bentonit (Ca-Na-Bentonit)*: Alkalilerin kolayca yer değiştirebilme özelliği bunlarda da vardır. Ama asitle muamele edildiklerinde özelliklerini kaybederler .

2.11.2.3. *Toprak Alkali Bentonit (Ca-Bentonit)*: Kolayca yer değiştirebilen toprak alkali bazını kapsarlar. Bir alkali tuzun eklenmesiyle ve bunu takiben yapılan işlemlerle alkali bentonit haline dönüşebilirler.

2.11.2.4. *Aktifleştirilmiş Bentonit*: Kolayca yer değiştirebilen iyonlara sahiptirler. Bu sayede birtakım özellikleri değiştirilebilir [45-46].

2.11.3. Bentonit'in Özellikleri:

2.11.3.1. *Genel formülü*: (Na,Ca) (Al, Mg) $6(\text{Si}_4\text{O}_{10})_3(\text{OH})_6 n\text{H}_2\text{O}$ 'dur.

2.11.3.2. *Fiziksel Özellikleri* :

- Yumuşaktır.
- Gözeneklidir.
- İçerdiği metale göre değişik renklerde olabilir.

2.11.3.3. *Kimyasal Özellikleri* :

- Suda şişebilme kabiliyeti vardır.
- PH : 9.5 – 10.5
- Nem oranı = % 9-8
- Yapısında demir, silika, alüminyum, kalsiyum, magnezyum ve titanyum dioksid bulunur.
- Montmorillant grubundandır
- Tetragonal tabakalı yapıya sahiptir.

2.11.4. Bentonitin Kullanım Alanları:

Çok geniş kullanım alanına sahiptir:

-Döküm kumu bağlayıcısı olarak kalıpların hazırlanmasında

-Sondajlarda sondaj çamurunu ağdalaşıp kırıntıların yukarı çıkmasını sağlar, su kaçaklarını önler;

-Demir tozlarının peletlenmesinde;

-Hayvan yemi yapımında;

-Yemeklik sıvı yağların ağartılmasında;

-Şarap ve meyve sularının berraklaştırılmasında;

-Atık suların temizlenmesinde,

-İlaç, kağıt, lastik sanayinde dolgu maddesi olarak;

-Çimento sanayinde, seramik sanayinde katkı maddesi olarak;

-İnşaat mühendisliğinde temel ve baraj yapılarında su ve sıvı sızdırmazlığı elde etmede,

-Boya sanayinde ve yangın söndürücülerde,

-Evcil hayvanların altlarına yayılacak atıklarının kolay temizlenmesinde,

-Petrol rafinasyonunda;

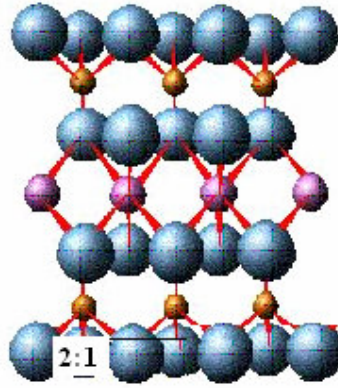
-Gübre yapımı ve toprak ıslahında kullanılmaktadır.

Ülkemiz başta Ankara olmak üzere Çankırı, Çorum, Edirne, Giresun, İstanbul, Konya , Ordu, Tokat, ve Trabzon gibi birçok ilde zengin bentonit yataklarına sahiptir

Bentonit'in ticari olarak satılabilmesi için hacminin en az 5 katı kadar şişebilmesi gerekir. İyi kaliteli bentonit kendi ağırlığının en az 5-6 katı kadar suyu absorblar ve hacminin en az 15 katı kadar artış gösterir.

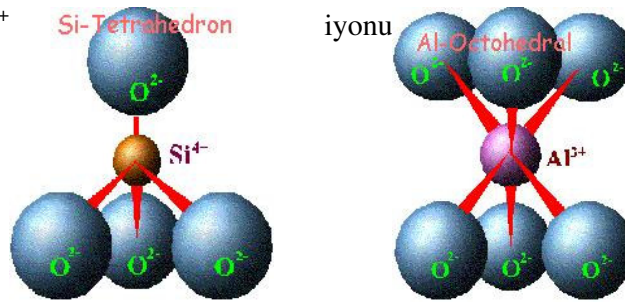
2.11.5.Bentonitin Kimyasal Yapısı :

Bentonit, montmorillant grubunda olan fillosilikat yapılu kil mineraldir. İki silika tetrahedral tabaka ve merkezinde bir alümina oktahedral tabakaya sahiptir. Bentonit kristal strüktürü 2:1 dir. Ayrıca bentonit , hidrofillik yapıya sahip olan bir kildir.



Şekil 2.15: Bentonit'in 2:1 kristal strüktürü

2:1 tabaka yapısına sahip olan bentonit; tetrahedralların tümünde Si^{4+} iyonu ve ortadaki düzlemde alüminyum atomu içerir. Ancak oktahedralların sekizde birinde Al^{3+} iyonu yerine Mg^{2+} iyonu içerir [47].



Şekil 2.16: Si-tetrahedral ve Al-oktahedral yapı.

İyonlarının yer değiştirmesiyle oluşan negatif yük, düzlem yüzeyine adsorblanan hidrata katyonlarla dengelenir. Ve tabakaları arasında Van der Walls ve elektrostatik çekim kuvveti vardır. Katyonlarla düzlemler arasında bulunan bağlanma çok kuvvetli olmadığında su ile temas ettiğinde, su tabakalar arasında bulunan boşluğa girer ve kil şişer.

Karakteristik özelliklerinden biri de; su ve iyon adsorbsiyonu için büyük yüzey alanına sahip olmasıdır. Bu nedenle çok yüksek katyon değiştirme kapasitesine sahiptir.

Su alınca şişen bentonit aynı zamanda jelimsi bir kütle oluşturur. Bu özellik onun sondaj çamurunda kullanılmasına yol açar. Çünkü şişerek kaya gözeneklerini tıkaması ve suyun kaçmasını önlemesi dışında, jel hali ile kuyu çeperinde kalınca bir sıva meydana getirir. Böylece sondaj esnasında hareketli halde olan sondaj çamuru çevreden tamamen bağımsız hale geçerek, yapması gereken işlemleri, yani sistemi soğutma ve kırılan taneleri taşıyıp yüzeye çıkarma görevini tamamiyle etkili şekilde yürütür.

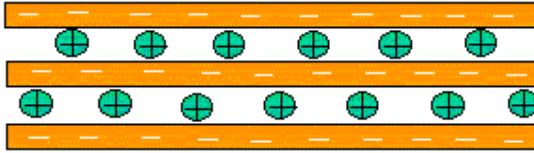
Bentonitin tabakaları arasında bulunan Van der Walls ve elektrostatik çekim kuvveti killin yapısındaki sodyum iyonlarının organik amonyum veya fosforyum tuzlarıyla iyon değiştirmesi sonucunda azalır. Böylece hidrofillik kil ile hidrofobik polimer malzeme arasında uyum sağlamış olur.

Polimer + Kil = Polimer – Kil malzeme (Nanokompozit)

Nanokompozitlerin elde edilmesinde esas olan, organik bakımdan modifiye edilmiş kil ve polimerik malzemenin biraya gelmesidir.

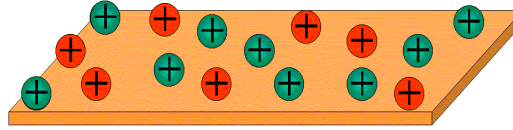
2.11.6.Kilin Modifiye Edilmesi :

Bentonit ve bentonit gibi silikat tabakaları olan killer doğal olarak hidrofilitik bir yapıya sahiptirler. Hidrofilitik yapı polimer matrisleri ile etkileşmelerinin azalmasına sebep olmaktadır. Ayrıca kil tabakalarını kuvvetli bir şekilde tutan elektrostatik çekim kuvvetleri bulunmaktadır.

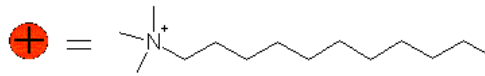


Şekil 2.17: (+) ve (-) iyonlarla dengelenmiş kil.

Şekil 2.17’de görüldüğü gibi , tabakalar arasındaki galerilerde bulunan pozitif yükler negatif yüklerle dengelenmekte ve böylece kil tabakalarının kuvvetli bir şekilde tutulması sağlanmaktadır.



Şekil 2.18: Kilin yüzeyinde bulunan yer değiştirebilir özelliğine sahip katyonlar.



Şekil 2.19: Quaterner amonyum iyonları.

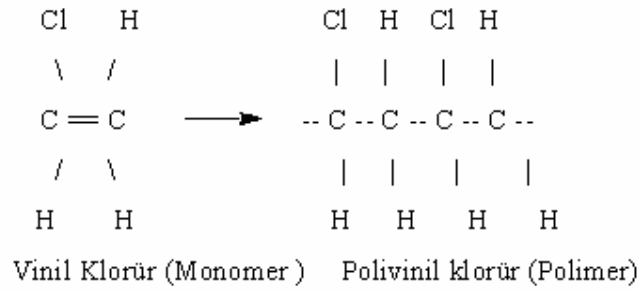
Polimer matrisleriyle etkileşimleri az olduğundan killi polimerle daha uyumlu hale getirmek için iyon değiştirme metodu kullanılmaktadır. Kile zayıf bağlanmış olan sodyum katyonları başka katyonlarla yer değiştirerek kilin aktivasyonu gerçekleştirilmektedir. Uzun zincirli quaterner amonyum iyonları kilin aktivasyonunda çok kullanılmaktadır. Sodyum katyonlarının bir kısmı eğer uzun zincirli alkil quaterner amonyum iyonlarıyla yer değiştirirlerse bu killer organik matrisle en uyumlu durumda

olacaktır.

2.12.POLİVİNİL KLORÜR (PVC):

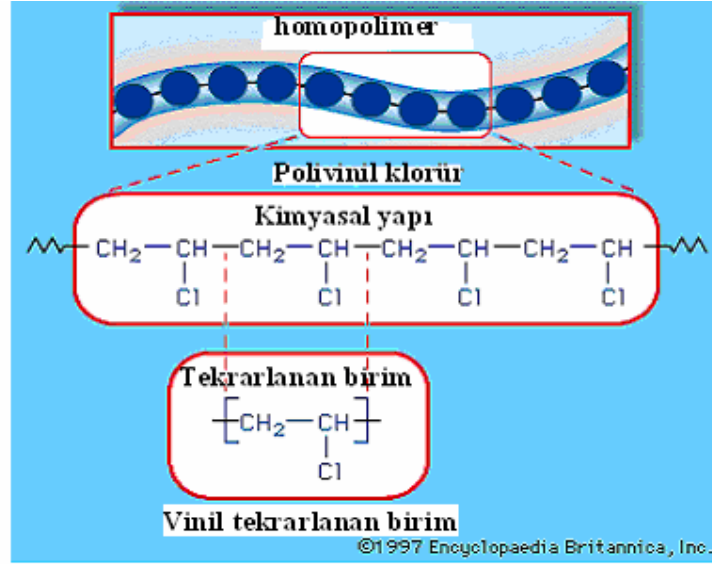
2.12.1.PVC Tanımı

1835 yılında ilk olarak Justus von Liebig tarafından polivinil klorür (PVC); vinil klorür monomerlerinden elde edilmiştir.



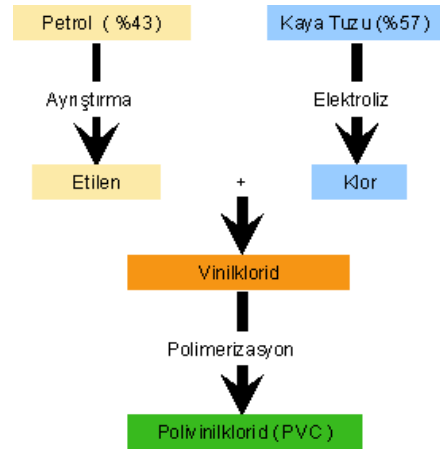
Sert PVC ve yumuşak PVC olmak üzere göre iki tür PVC vardır. Sert PVC; su boruları, çatı yağmur dereleri ve çatı kaplama malzemelerin üretiminde yumuşak PVC; ise yapı malzemelerinde kullanılmaktadır.

PVC uzun ömürlü oluşu sebebiyle borularda, pencere profillerinde, kablolarda, zemin kaplama malzemelerinde kullanılmaktadır.



Şekil 2.20: PVC kimyasal yapısı.

Tablo 2.3 : Polivinil Klorür'ün üretimi



PVC; petrol refraksiyonu sonucu ve kaya tuzunun elektroliziyle birlikte üretilir. Etilen ile klor bağlanır vinil klorür molekülleri oluşur. Polimerizasyon sonucunda polivinil klorür (PVC) meydana gelir.

2.12.2. Polivinil Klorür'ün Özellikleri

2.12.2.1. Fiziksel Özellikleri

- Beyaz veya açık sarı renkli toz polimerdir.
- Sert veya yumuşak olarak iki çeşit PVC vardır.
- Hafiftir. Genellikle inşaat malzemeleri olarak kullanılırlar.
- Saydamdır. Dolayısıyla plastik katkılarının homojen şeklinde plastik yapısına entegre edilmesini sağlar.
- İşlenme sıcaklıkları yaklaşık 25 °C-400 °C dereceye kadar değişen aralıktadır.
- Özellikleri katkı maddeleri ile geliştirilebilir.
- Tekrar kullanılabilirler. (Rejenere edilebilir) [48].

2.12.2.2. Mekaniksel Özellikleri

- PVC'nin mekanik özelliği; molekül kütlesi, yapısı ve molekül ağırlığının dağılımına bağlıdır [21].
- Katkı maddelerinin cinsi ve miktarı ile mekaniksel özelliği değişir.
- Plastikleştirici ilavesiyle daha dayanıklı ve kırılğan olurlar [49].

Tablo 2.4 : Farklı polimer malzemelerin mekaniksel özelliklerinin kıyaslanması.

Malzeme	Malzeme Özgül	Çekme Muk.	Elastisite Modülü	Kullanma Sıcaklık

	Ağırlık gr/cm ³	Mpa	MPa	Sınırı °C
Polietilen(alçak ö.a) (PE)	0.92-0.93	Tem.17	105-280	80
Polietilen(yüksek ö.a) (PE)	0.95-0.96	20-37	420-1260	100
Polivinil klörür (PVC)	1.50-1.58	40-60	2800-4200	110
Polipropilen (PP)	0.90-0.91	50-70	1120-1500	105
Polistiren (PS)	1.08-1.10	35-68	2660-3150	85
ABS(Akronitril- Bütadien-Stiren)	1.05-1.07	42-50	----	75
Polimetilmetakürilat (PMMA)	1.11-1.20	50-90	2450-3150	125
Politetrafloloretillen (teflon)	2.1-2.3	17-28	420-560	120
Naylon 6,6	1.06-1.15	60-100	2000-3500	82
Sellülozikler	1.2-1.3	20-50	----	60

2.12.2.3. Kimyasal Özellikleri

- PVC bir amorf (biçimsiz) plastik alaşımıdır.
- Atom bağlantıları metallerdeki ilgili mekanizmadan çok farklıdır. Dolayısıyla paslanmaya karşı metaller kadar duyarlı değildir.
- Asitlere, bazlara ve tuz eriyiklerine karşı çok dirençlidirler.
- Organik çözücülerde eriyebilirler.
- Uygun katkılarla (yumuşatıcılar, sağlamlaştırıcılar veya dolgu maddeleri)
- ayrıştırılmadan işlenebilir.
- Direkt ısıya maruz kaldıklarında ısının miktarına göre sararma, kızılama,

kahverengi ve siyah renk görülür.

- PVC'nin kimyasal özelliği oksijen, ozon ve potasyum permanganat gibi bazı oksitleyici maddelerin ilavesiyle bozulur.
- Metal yüzeylere kimyasal yapısından dolayı yapışabilirler.

2.12.2.4. Elektriksel Özellikleri

- Yalıtkan yapıya sahiptir. Genellikle plastikler, elektrik akımına (elektrik kablosu olarak) ve soğuk veya sıcaklığa karşı yalıtandırılar.
- Plastiklerin metallerle karşılaştırıldığında az olan elektrik geçirgenliği, plastiklerin pratik olarak serbest elektronlara sahip olmaması nedeni ile açıklanır. Bu elektronlar metallerdeki ısı ve elektrik geçirgenliğinden sorumludurlar. Bu nedenle izolasyon malzemesi olarak kullanmak mümkündür.
- Elektriksel özelliği kimyasal bileşimine, dolgu maddelerine, nem ve sıcaklığa bağlıdır [50].

2.12.2.5. Yanma Özellikleri

- Alevlenmeye karşı hassastır.
- PVC yüksek sıcaklıkta ısıtmakla bozunur. İlk olarak rengi solar ve HCl açığa çıkar. Geriye kömürleşmiş bir kütle kalır [51].
- Yanma hızı, yanmadan koruyan maddelerin (plastikleştiriciler) ilavesiyle azaltılabilir.
- PVC içerdiği yüksek klor miktarından dolayı çok zor yanabilmektedir. Klorun kendisi yanmayı engeller. Bu nedenle PVC'lerde bu özelliğinden dolayı yangından korur [52- 56].

2.12.3. Vinil Klorür Üretimi:

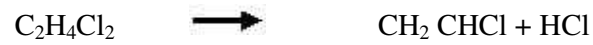
Asetilen

vinil klorür monomeri



(etilen)

(etilen diklorid)



(vinil klorür)

3.MALZEME VE YÖNTEM

3.1.KULLANILAN KİMYASALLAR:

3.1.1.Polivinil Klorür: (farklı molekül ağırlıklarında) (Aldrich Chemical Company Inc.)

- Orta molekül ağırlıklı PVC (Inherent viskozite : 0.92 relative viskozite : 2.23) (Aldrich 34.6772)
- Düşük molekül ağırlıklı PVC (Inherent viskozite : 0.68) (Aldrich 9002-86-2)

3.1.2. Bentonit (Ankara, MTA) : Bentonit; volkanik külün yerinde ayrışmasıyla oluşan, yaygın kullanılan montmorillonit kil minerallerini içeren kildir. Bileşiminde %56.3 SiO₂ , %26.8 Al₂O₃ , %4.0 Fe₂O₃ , %3.7 MgO ve %1.3 CaO bulunmaktadır. Kalanı küldür.

3.1.3.Setiltrimetilamonyumbromür (CTAB) (Merck): Kimyasal formülü C₁₉H₄₂BrN ve lineer formülü CH₃(CH₂)₁₅N(CH₃)₃Br olan beyaz renkli bir maddedir. Kaynama noktası 100⁰C' den küçük ve erime noktası 0⁰C' den büyüktür. Katkı malzemesi olarak antiseptik, katalizör ve emülsifiye edici olarak kullanılabilir.

3.1.4. Dioktilftalat (DOP): Renksiz sıvı olan C₆H₄(COOC₈H₁₇)₂ kimyasal formülüne sahip bir plastikleştiricidir. Suda çözülmez. Kaynama noktası 384⁰C ve erime noktası -50⁰C' dir. Spesifik gravitesi 0.986'dır.

3.2.KULLANILAN CİHAZLAR

3.2.1. Taramalı Diferansiyel Kalorimetre (DSC):

Taramalı diferansiyel kalorimetre (DSC); örnek ve referansa ısıtma, soğutma veya sabit bir sıcaklıkta tutulma gibi programlar uygulandığında alınan veya verilen enerji miktarını ölçer. Ayrıca hassasiyetle ölçülebilecek bir değer olan elektrik akımını izlediğinden daha güvenilir geçiş sıcaklıkları elde edilebilir.



Şekil 3.1: Taramalı diferansiyel kalorimetre (DSC) (Perkin Elmer Model 7)

Bu çalışmada camsı geçiş sıcaklıkları (T_g) taramalı diferansiyel kalorimetre (DSC) (Perkin Elmer Model 7) kullanılarak ölçülmüştür. (Şekil 3.1). DSC kalibrasyonu E.N=156.6°C erime noktası olan indium kullanılarak yapıldı. Ölçümler N_2 gazı ortamında yapılmıştır.

Ölçüm sırasında 10-15 mg' lık örnekler 50 °C 'den 200 °C 'ye ısıtma hızı 40 °C.dk⁻¹. olacak şekilde ile ısıtılmıştır. 200 °C'de 10 dakika bekletilen örnekler 50 °C.dk⁻¹ hızla 50 °C' ye soğutuldu. Böylece termal düzensizlikler ve safsızlıklar giderildi. İkinci ısıtma 20 °C.dk⁻¹ hızla yapıldı. T_g ölçümleri ikinci ısıtma periyodundan dönüm noktası olarak elde edilmiştir.

3.2.2. Termogravimetrik Analiz (TGA):

Hassas bir teraziye sahip olan Termogravimetrik analiz cihazı örneğin sıcaklığın etkisiyle uğradığı ağırlık kayıplarını ölçer. Bu sistemde, örnekler alüminyumdan yapılmış çok hassas bir kefeye konulur. Alüminyum kefe ölçümden önce bunzen alevinde oldukça yüksek sıcaklıklarda yakılarak temizlenir. Termal kararlılık, termal ayrışma ve kütle kaybı bu cihazla saptanabilir.



Şekil 3.2: Termogravimetrik analiz cihazı (TGA) (2950)

Bu çalışmada termogravimetrik analiz cihazı (TGA 2950) kullanıldı (Şekil 3.2). 15-20 mg ağırlığında PVC / bentonit nanokompozit film örnekleri N_2 atmosferinde $0^\circ C$ 'den $600^\circ C$ 'ye ısıtılarak ağırlık kayıpları incelenmiştir.

3.2.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM):

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) katı olan örnekleri birkaç angstromluk birimlere kadar ölçebilir. Örneğin yüzeyi ince bir elektron demeti ile taranır, demet örneğe çarpıp geri saçılır ve sinyal olarak toplanır.



Şekil 3.3: Taramalı elektron mikroskobu (SEM) Jeol (X-Vision) JSM6320-Fxv

Bu çalışmada taramalı elektron mikroskobu (SEM) Jeol (X-Vision) JSM6320-Fxv kullanıldı. (Şekil 3.3)

PVC / bentonit nanokompozit film örnekleri sıvı azot ortamında kırılarak kesit yüzeyler elde edilmiştir. Örnekler 0.5 cm çaplı yuvarlak tutucular üzerinde oturtulmuştur. Örneklerin kesit ve yüzeyleri kapalı bir ortamda 20 dakika altın kullanılarak kaplanmıştır. Bu kaplanan örnekler örnek tutucu ile birlikte elektron mikroskobu örnek haznesine yerleştirilmiştir ve vakum altında morfolojik yapıları incelenmiştir.

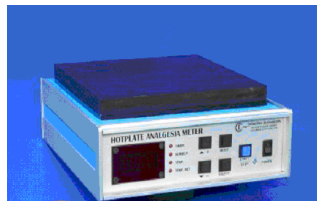
3.2.4. Analitik Terazî

Bu çalışmada örnekleri tartmak için Mettler AE 200 terazisi kullanılmıştır. Ölçüm aralığı 0 -200 g (0.1 mg) dır. (Şekil 3.4)



Şekil 3.4: Analitik terazi (Mettler AE 200)

3.2.5. Hot Plate: Bu çalışmada nanokompozit örneklerin hazırlanması için hot plate Mettler kullanılmıştır. (Şekil 3.5)



Şekil 3.5:Hot plate (Columbus Instruments Hot Plate Analgesia Meter)

3.2.6.Etöv: Elde edilen nanokompozit örneklerinin kurutma işlemlerinde WT, Thermal Instrument model etöv kullanılmıştır.



Şekil 3.6: Etöv (WT, Thermal Instrument)

3.2.7.Ultrasonic Banyo: Bu çalışmada nanokompozit örneklerin hazırlanması için Branson Ultrasonic Cleaner, Model 1210 kullanılmıştır. (Şekil 3.6)



Şekil 3.7: Branson Ultrasonic Cleaner,Model 1210

3.3.DENEYİN YAPILIŞI:

3.3.1.Bentonit'in Modifiye Edilmesi:

Organofillik bentonit iyon değiştirme yöntemi ile hazırlandı. Oda sıcaklığında 10

g bentonit 1000 ml. destile suya katıldı. Karışım 1 gün manyetik karıştırıcı ile karıştırılarak kil süspansiyonu elde edildi. 200 ml sıcak suda 4 g CTAB çözülerek hazırlanan karışım kil süspansiyona eklendi. Karıştırma işlemine 1 gün daha devam edildi. Daha sonra kil süzülerek süzüntüde Br^- kalmayınca kadar destile su ile yıkandı. Süzüntüde Br^- iyonları 0.1N $AgNO_3$ çözeltisi ile kontrol edildi. Elde edilen çökelek 110 °C'de vakumda sabit tartıma gelene kadar kurutuldu. Oluşan ürün havanda dövülerek 200 meshlik elekten elendi.

3.3.2.PVC- Bentonit Nanokompozitin Hazırlanması :

Orta molekül ağırlıklı PVC, ağırlıkça bileşimi %1 ve %5 olacak şekilde modifiye edilmiş ve modifiye edilmemiş bentonit ile karıştırıldı. Karışım havanda dövüldü. Homojen karışım elde etmek için 30 dakika sonicatora karıştırıldı. Nanokompozit / DOP oranı kütlece 1 / 0.64 olacak şekilde DOP ilave edildi. Bu karışımın, termostatlı ve ayarlı hot plate üzerinde 180°C' de filmleri hazırlandı. Ve camsı geçiş sıcaklıklarını bulmak için DSC ve TGA'da ölçümleri alındı. Hazırlanan örneklerin DSC ve TGA analizleri yapıldı. Ayrıca 160°C, 170°C ve 180°C' de olmak üzere üç farklı sıcaklıklarda örneklerin filmleri hazırlanarak SEM ölçümleri yapılmıştır.

3.3.3.PVC- Bentonit Nanokompozit Filmin Hazırlanması :

Boyutları 4.5x1.5x0.1 cm olan alüminyum folya ile sarılmış metal plaka arasına PVC - bentonit nanokompozit film döküldü. Üzerlerine 20MPa' lık kuvvet uygulandı. 10 °C.dk⁻¹. ısıtma hızıyla yüksek çalışma sıcaklıklarında 30 dakika hot plate üzerinde bekletildi ve sistem soğumaya bırakıldı. Oda sıcaklığına ulaşınca hazırlanan filmler etüvde 30°C' de 24 saat bekletildi.

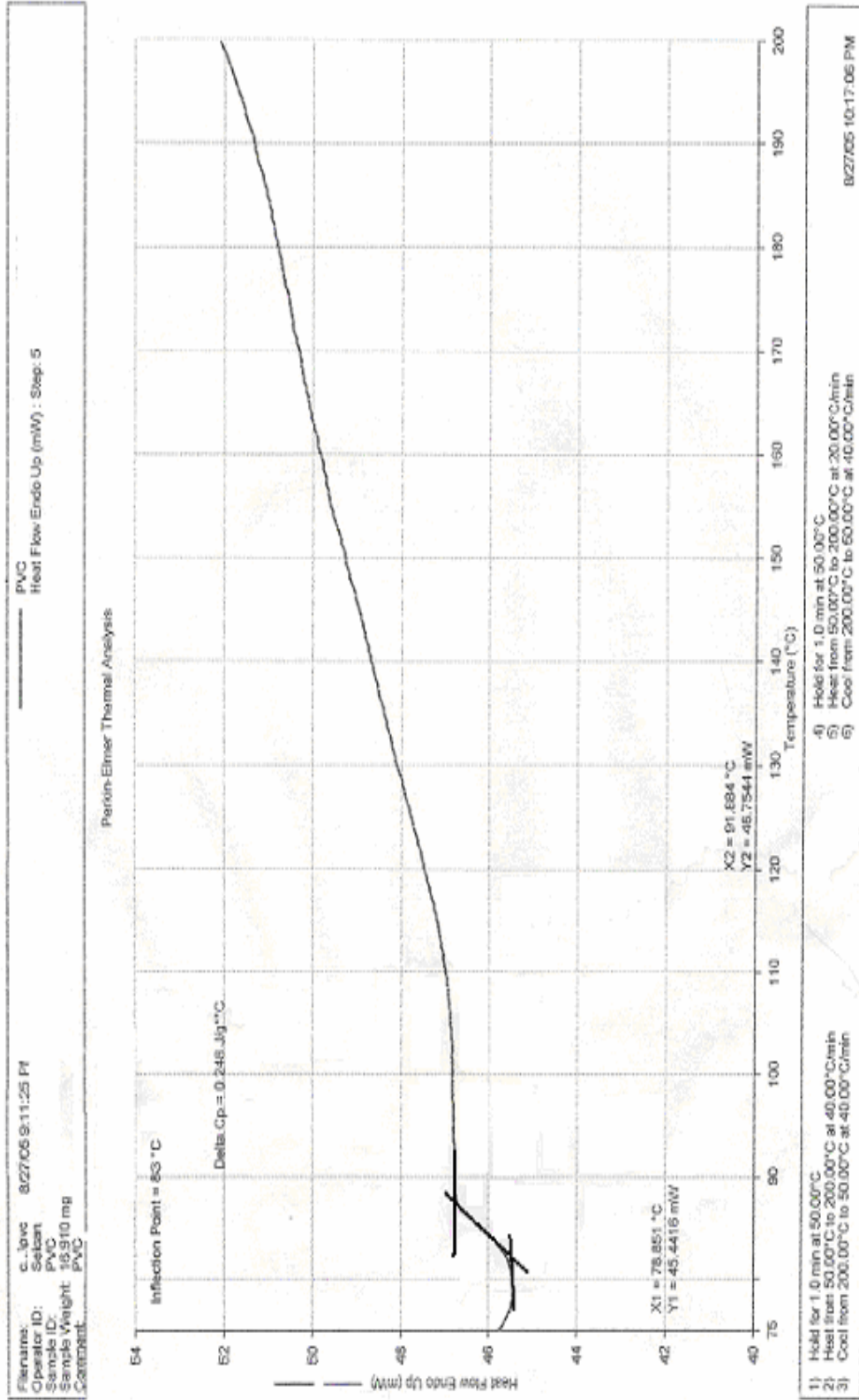
4. BULGULAR

4.1. PVC/BENTONİTİN İSİSAL ANALİZLERİ

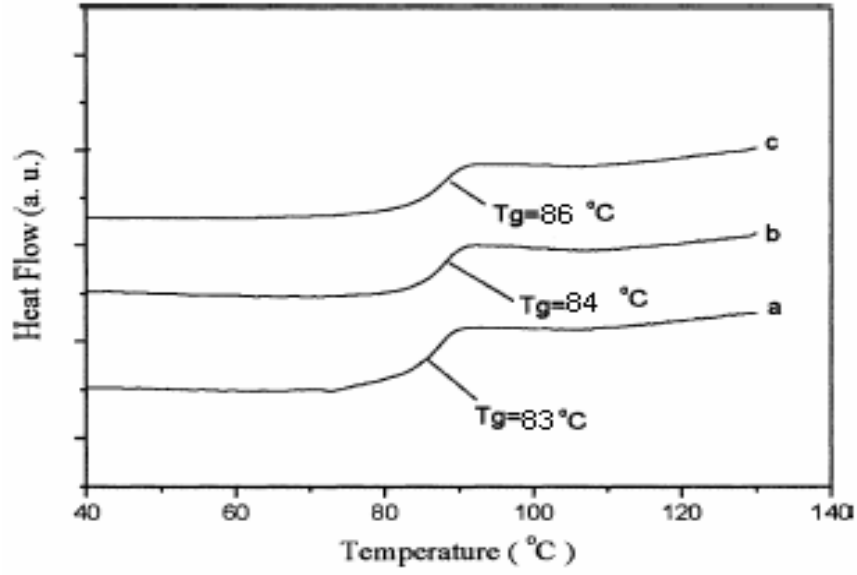
4.1.1. DSC Analizi

Saf PVC'nin DSC eğrisi Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Saf PVC'nin camsı geçiş sıcaklığı 83°C olarak bulunmuştur.

Modifiye edilmiş ve modifiye edilmemiş bentonitin, nanokompozitin camsı geçiş sıcaklığı üzerindeki etkisini incelemek için 180 °C' de hazırlanan PVC / bentonit (%1) nanokompozitlerin DSC ölçümleri alınmıştır. Şekil 4.2'de saf PVC (a), 180 °C' de hazırlanan orta molekül ağırlıklı PVC / modifiye edilmemiş bentonit nanokompozitin (b) ve 180 °C' de hazırlanan orta molekül ağırlıklı PVC / modifiye edilmiş bentonit nanokompozitin (c) DSC sonuçları olmak üzere görülmektedir.



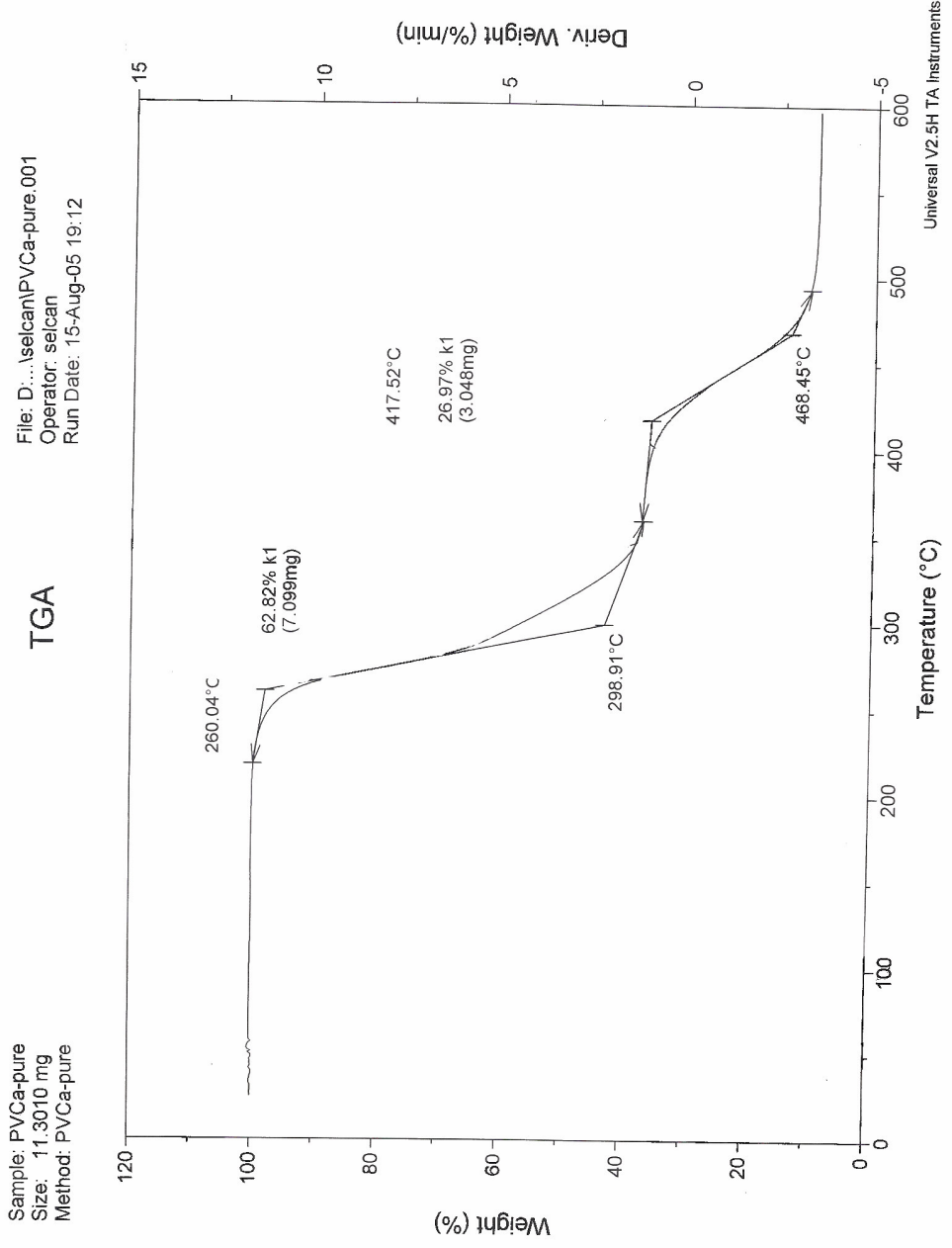
Şekil 4.1: Saf PVC'nin DSC eğrisi



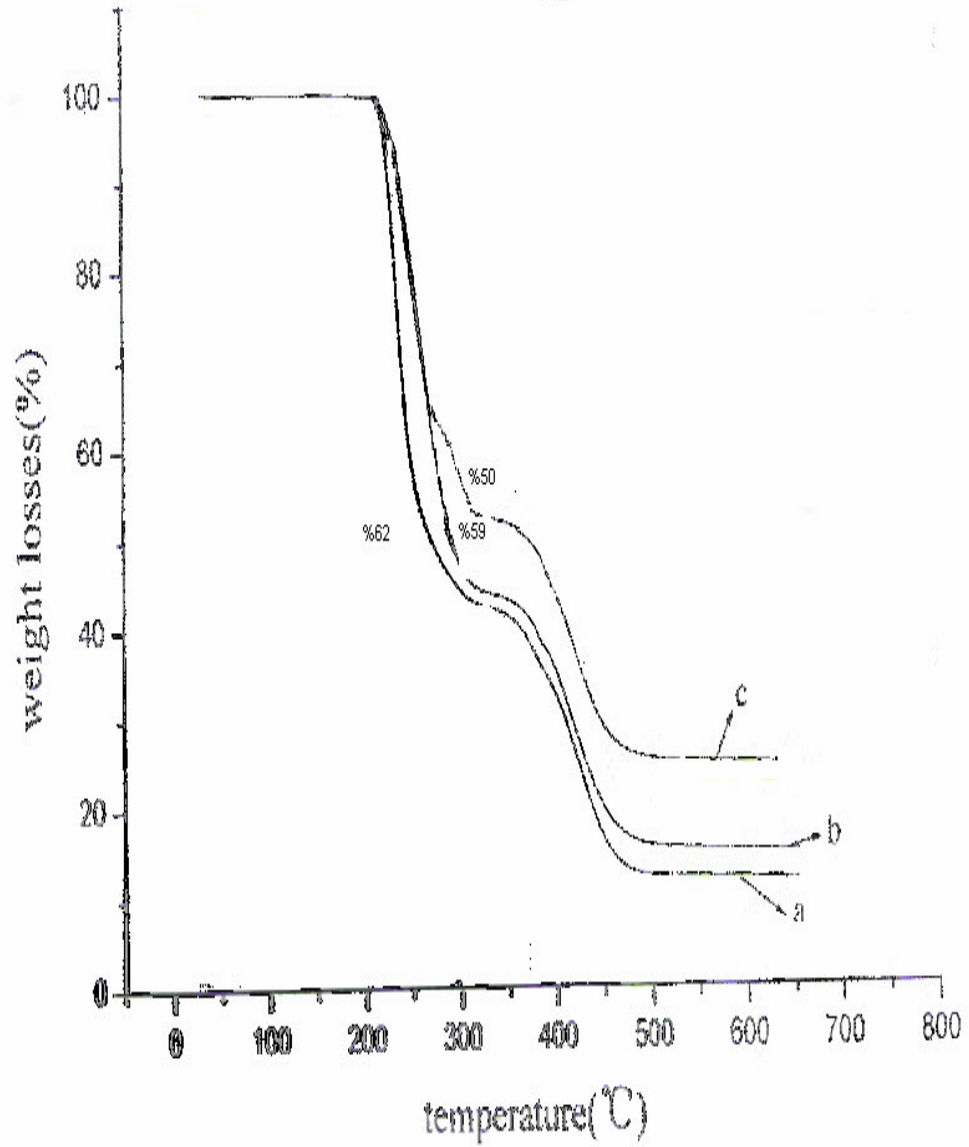
Şekil 4.2: Saf PVC (a), 180 °C' de hazırlanan orta molekül ağırlıklı PVC / modifiye edilmemiş bentonit nanokompozitin (b) ve 180 °C' de hazırlanan orta molekül ağırlıklı PVC / modifiye edilmiş bentonit nanokompozitin (c) DSC sonuçları

4.1.2. TGA analizi

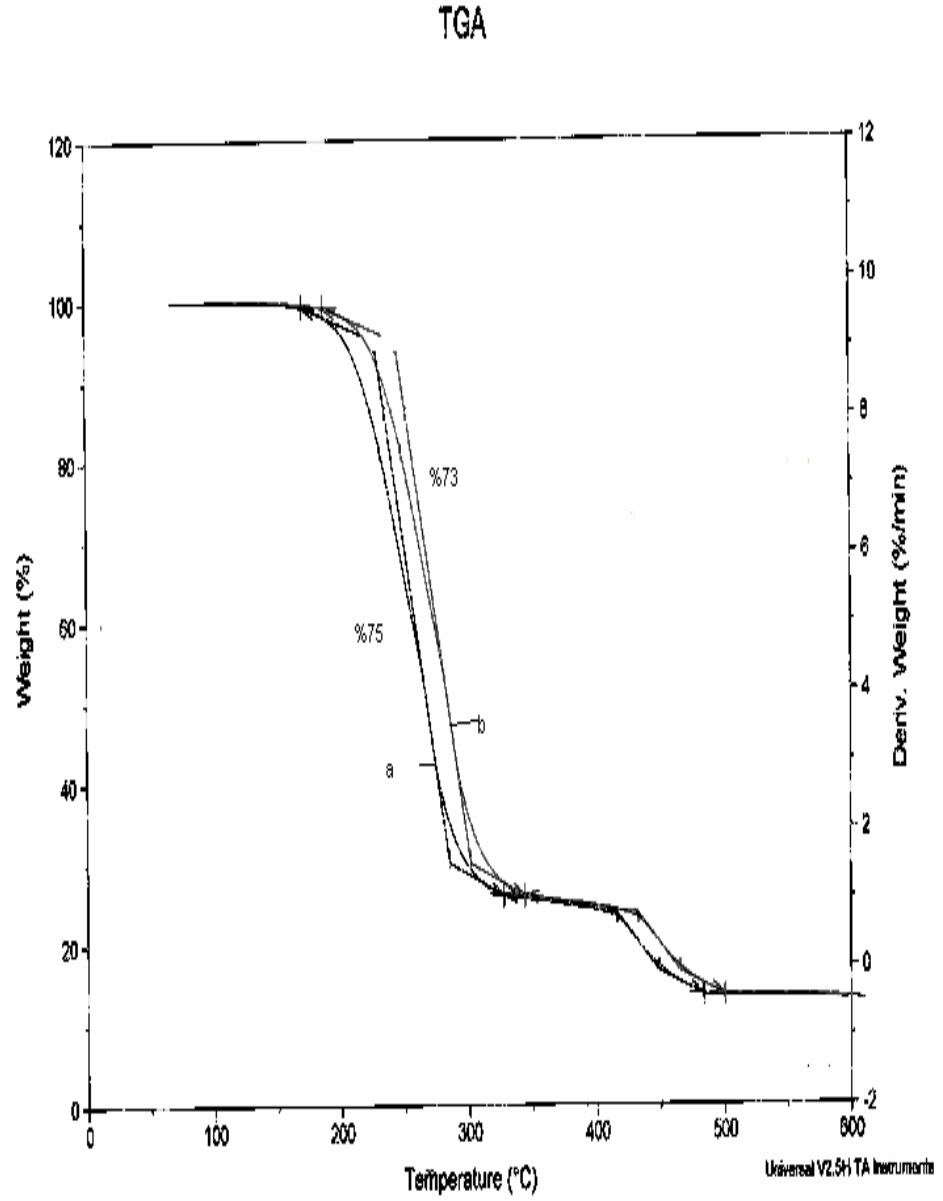
Saf PVC'nin TGA analiz sonuçları şekil 4.3a'de gösterilmiştir. Eriyik katılma yöntemi ile 180 °C' de hazırlanan ağırlıkça %1 ile %5 olacak şekilde bentonit içeren orta molekül ağırlıklı PVC / bentonit nanokompozit örneklerinin ısıl kararlılığını incelemek için TGA ölçümleri yapılmıştır. (Şekil 4.3b) Şekil 4.3c'de 180 °C' de hazırlanan ağırlıkça %1 olacak şekilde bentonit içeren orta (a) ve düşük (b) molekül ağırlıklı PVC / bentonit nanokompozit örneklerinin ısıl kararlılığını incelemek için TGA ölçümleri alınmıştır.



Şekil 4.3a: Saf PVC'nin TGA ölçümleri



Şekil 4.3b: Saf PVC (a) ve 180 °C' de hazırlanan ağırlıkça %1 (b) ile %5 (c) olacak şekilde modifiye bentonit içeren orta molekül ağırlıklı PVC / bentonit nanokompozit örneklerinin TGA ölçümleri



Şekil 4.3c: 180 °C' de hazırlanan ağırlıkça %1 olacak şekilde bentonit içeren orta (a) ve düşük (b) molekül ağırlıklı PVC / bentonit nanokompozit örneklerinin TGA ölçümleri

4.2. PVC / BENTONİTİN MORFOLOJİK ANALİZİ

4.2.1. SEM Analizi

PVC / modifiye edilmiş bentonit karışımlarının SEM analizleri için 160 °C, 170 °C ve 180 °C' de olmak üzere üç farklı sıcaklıklarda orta molekül ağırlıklı PVC kullanılarak filmleri hazırlanmıştır. Şekil 4.4' de saf PVC'nin taramalı elektron mikroskobu mikrogramı görülmektedir. Şekil 4.5'de ise modifiye edilmiş bentonitin taramalı elektron mikroskobu mikrogramları incelenmiştir.

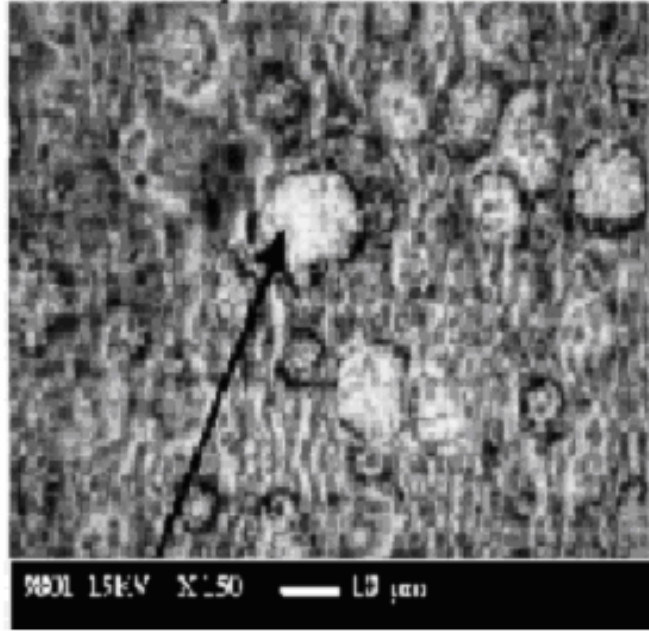
Şekil 4.6 ve şekil 4.7'de 160 °C' de hazırlanan ağırlıkça %1 ile %5 olacak şekilde modifiye bentonit içeren PVC / bentonit nanokompozitin kesit yüzeyi verilmektedir. Şekil 4.8'de 160 °C' de PVC / bentonit (%5) nanokompozitin yüzey mikrogramları görülmektedir.

Şekil 4.9 ve şekil 4.10'de 170 °C' de hazırlanan %1 ve %5 modifiye bentonit içeren PVC / bentonit nanokompozitin yapısal analizi incelenmiştir. Şekil 4.11'de 170 °C' de PVC / bentonit (%1) nanokompozitin yüzey mikrogramları görülmektedir.

Molekül ağırlığının nanokompozitin yapısına etkisini incelemek amacıyla düşük molekül ağırlıklı PVC kullanılarak 170 °C' de filmler hazırlanmış ve SEM mikrogramları alınmıştır.

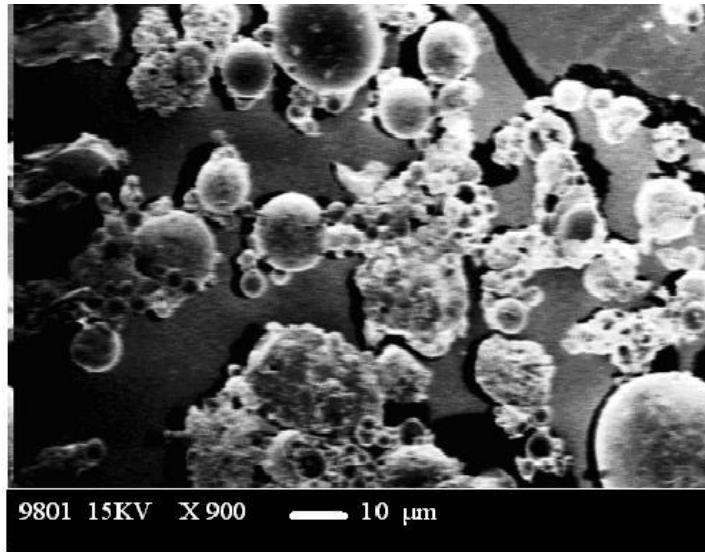
Şekil 4.12' de düşük molekül ağırlıklı PVC / bentonit (%1) nanokompozitin iki farklı büyütmeye kesit mikrogramları görülmektedir. Şekil 4.13'de düşük molekül ağırlıklı PVC / bentonit (%1) nanokompozitin yüzey mikrogramı görülmektedir.

Şekil 4.14'de 180 °C' de hazırlanan PVC / bentonit (%5) nanokompozitin kesit mikrogramı ve şekil 4.15'da ise 180 °C' de hazırlanan PVC / bentonit (%5) nanokompozitin yüzey mikrogramı incelenmiştir.

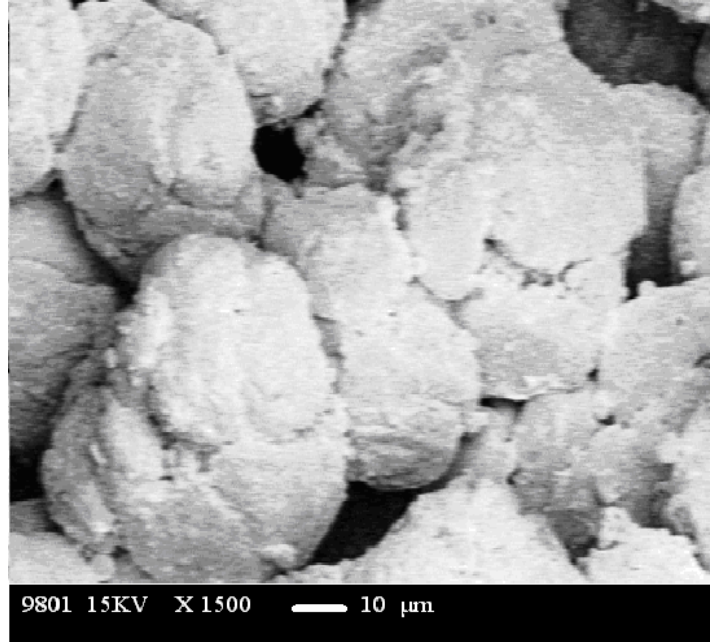


Oda sıcaklığında PVC granül

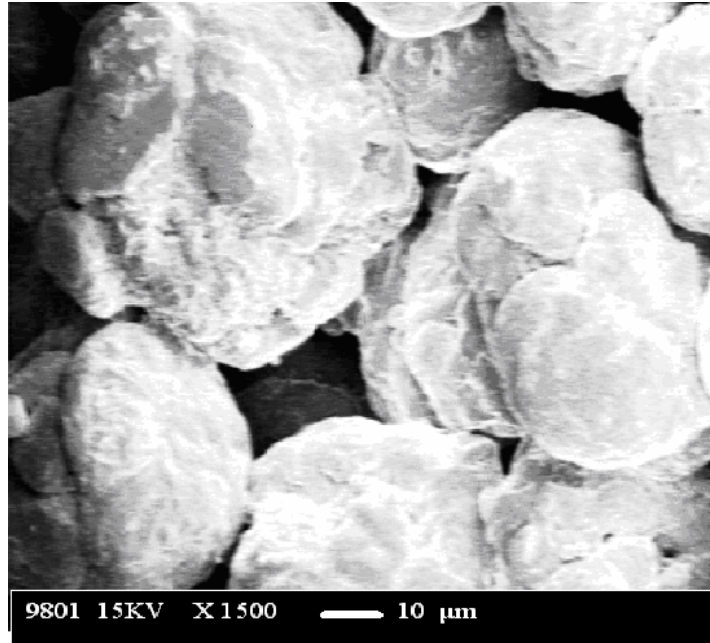
Şekil 4.4 : Saf PVC'nin taramalı elektron mikroskobu (SEM) mikrogramları.



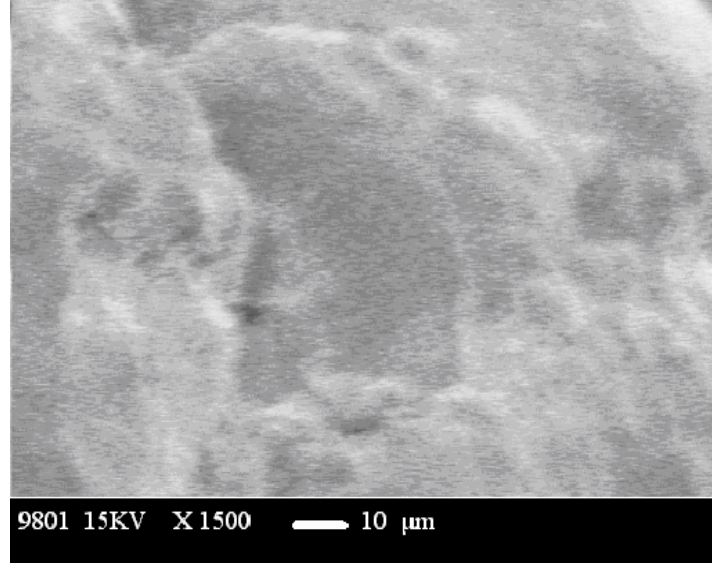
Şekil 4.5 : Modifiye edilmiş bentonit mikrogramı



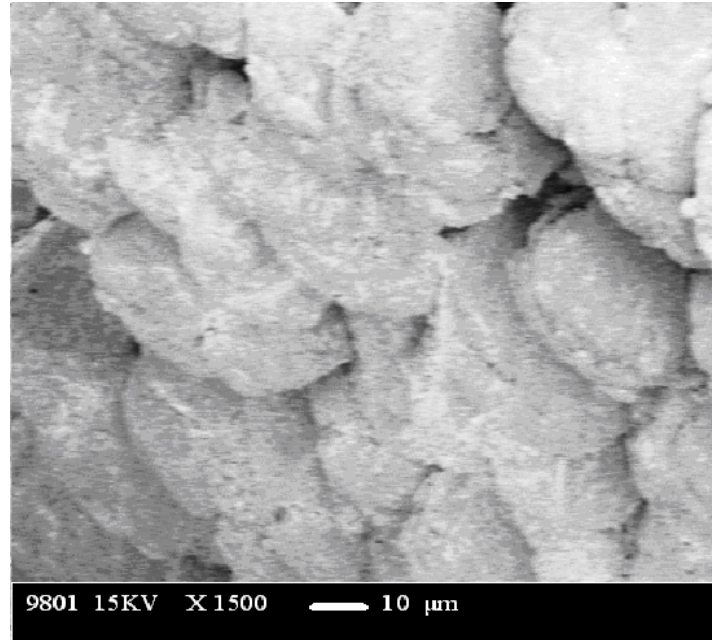
Şekil 4.6 : 160°C’de hazırlanan PVC / bentonit (%1) nanokompozitin kesit mikrogramı.



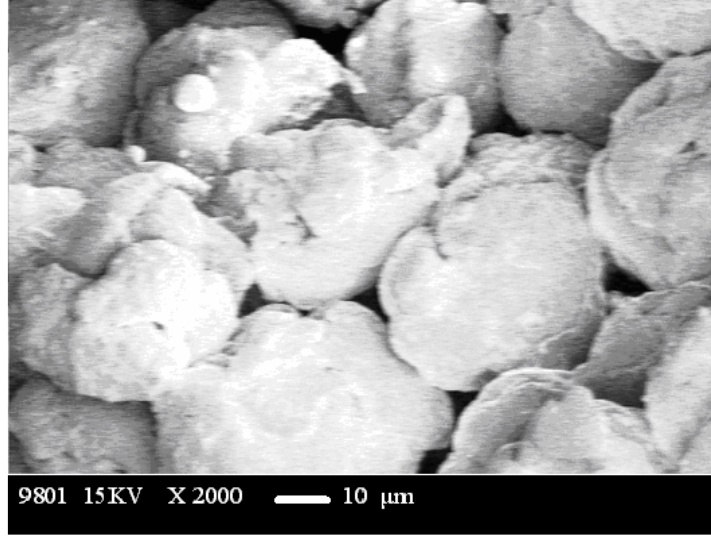
Şekil 4.7: 160°C’de hazırlanan PVC / bentonit (%5) nanokompozitin kesit mikrogramı.



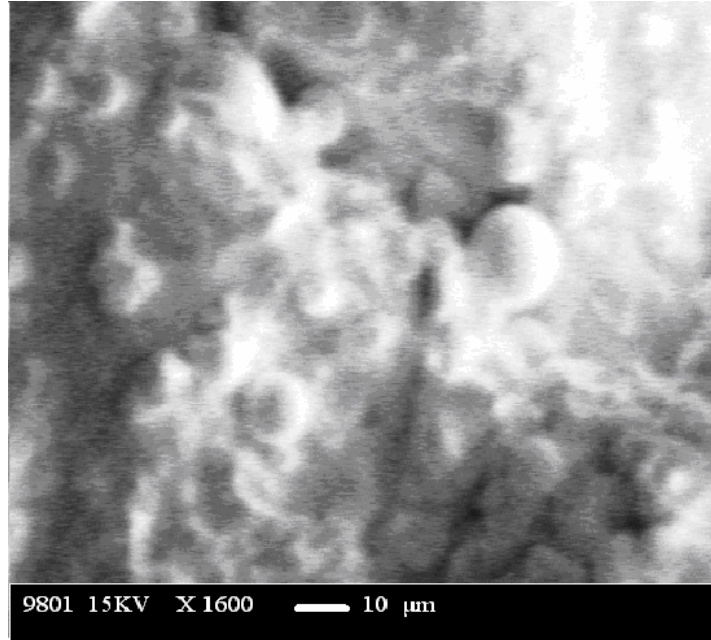
Şekil 4.8: 160 °C'de hazırlanan PVC / bentonit (%5) nanokompozitin yüzey mikrogramı.



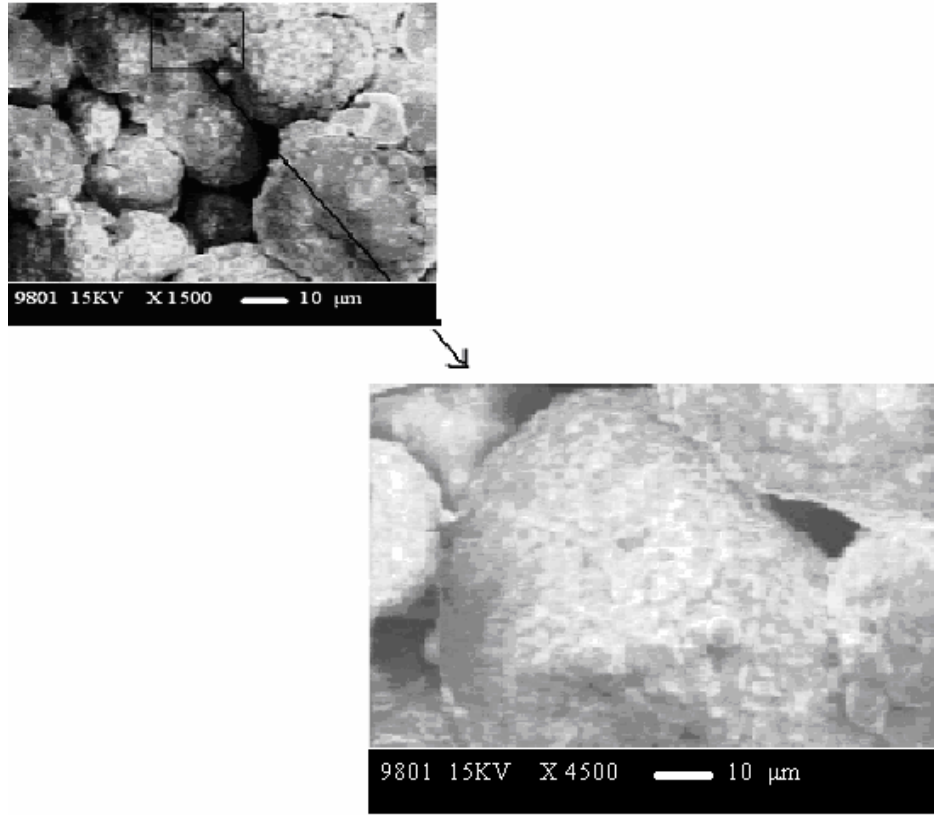
Şekil 4.9: 170 °C'de hazırlanan PVC / bentonit (%1) nanokompozitin kesit mikrogramı.



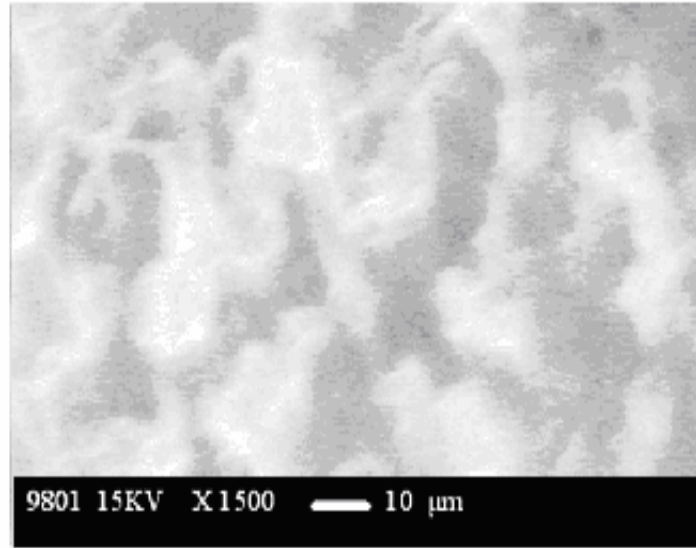
Şekil 4.10: 170 °C’de hazırlanan PVC / bentonit (%5) nanokompozitin kesit mikrogramı.



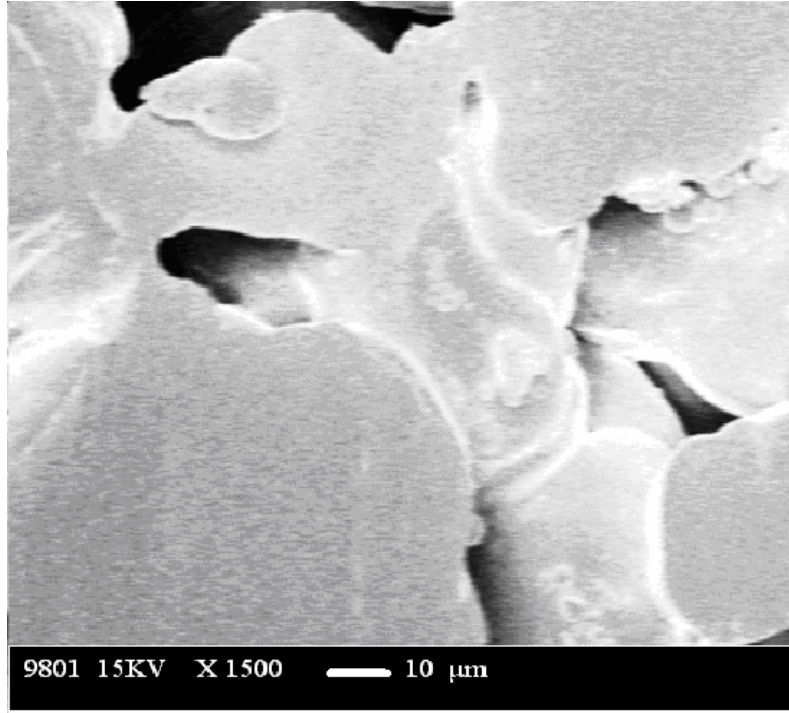
Şekil 4.11: 170 °C’de hazırlanan PVC / bentonit (%1) nanokompozitin yüzey mikrogramı.



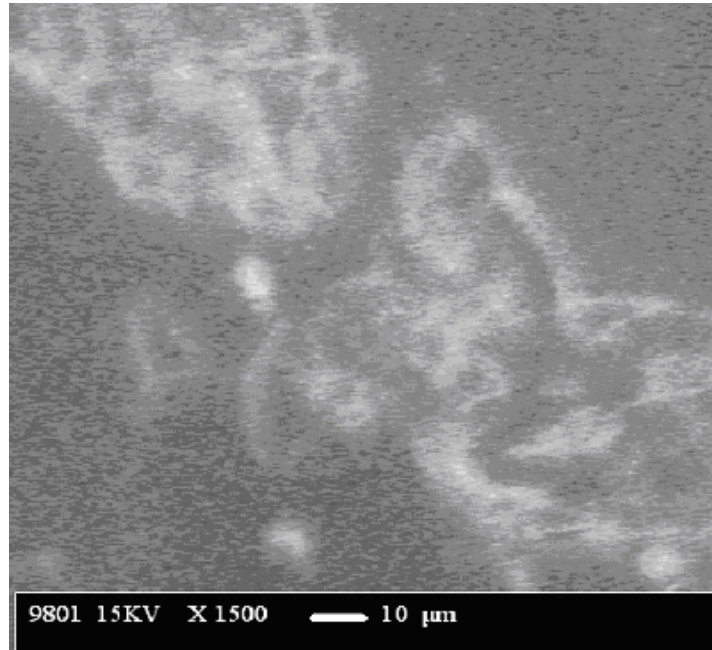
Şekil 4.12: 170°C'de hazırlanan düşük molekül ağırlıklı PVC / bentonit (%1) nanokompozitin kesit mikrogramı.



Şekil 4.13: 170°C'de hazırlanan düşük molekül ağırlıklı PVC / bentonit (%1) nanokompozitin yüzey mikrogramı.



Şekil 4.14: 180 °C' de hazırlanan PVC / bentonit (%5) nanokompozitin kesit mikrogramı.



Şekil 4.15: 180 °C' de hazırlanan PVC / bentonit (%5) nanokompozitin yüzey mikrogramı.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Eriyik araya katılma yöntemi ile hazırlanan PVC / bentonit nanokompozitin camsı geçiş sıcaklığı bentonitin modifiye edilmemiş ve modifiye edilmiş olması haline göre incelenmiş ve sırasıyla 84 °C ve 86 °C olarak bulunmuştur. Her iki örnekte de camsı geçiş sıcaklıkları saf PVC' e göre biraz daha yüksektir. Bu da PVC içinde dağılmış silikat tabakalarının saf PVC' e etkisinden kaynaklanmaktadır. Nanokompozit malzemelerin sahip olduğu parçacıklar nanometre boyutlu olduğundan matris ve takviye elemanı arasında çok fazla miktarda yüzey alanı mevcuttur. Dolayısıyla yüzeyler arası etkileşim fazladır. Eriyik araya katılma yöntemi sonucunda hazırlanan nanokompozitlerin camsı geçiş sıcaklıkları (T_g), saf polimere göre daha yüksek olması, bu etkileşime bağlı olarak açıklanabilir. Camsı geçiş sıcaklığı moleküler hareketle ilgili olup, molekül dizilişi, zincir yapısı ve lineer yapı ile doğru orantılıdır [32].

PVC, kararlılığı oldukça az bir termoplastik polimerdir [52]. Erime işlemi sırasında ortamda plastikleştirici veya stabilizör yoksa çabuk bozunmaktadır. Termal izolasyon etkisinden dolayı bentonit, polimer nanokompozitin bozunmasını geciktirir. Polimerin termal kararlılığı bentonit etkisiyle artmaktadır.

Termogravimetrik Analiz (TGA) polimerlerin termal stabilitesini karakterize etmek için kullanılır. Azot atmosferinde sıcaklığın bir fonksiyonu olan ve uçucu madde miktarına bağlı olarak meydana gelen kütle kaybı termal bozunmayla ortaya çıkar.

200 – 500°C arasında saf PVC' de iki kademedeki ağırlık kaybı gözlenmiştir. Birinci kademedeki yaklaşık (%62) kayıp büyük oranda yapısal bozunma ve HCl çıkışından kaynaklanmaktadır. Yapısal bozunmasına bağlı olarak PVC / bentonit nanokompozitin bozunma sıcaklığı daha yüksek sıcaklığa kayar. Bu da araya katılmış polimerin termal stabilitesini zenginleştirir. Genellikle 800°C'den sonra inorganik atıklar (Al₂O₃ , SiO₂) kalır.

Silikat tabakalarının PVC matrisinde dağılımı SEM ile direkt olarak incelenmiştir. Şekil

4.4'de saf PVC'nin taramalı elektron mikroskobu (SEM) mikrogramları görülmektedir. Saf PVC'nin kırık yüzeyi kırılğan bir malzeme yapısındadır. PVC' e bentonit eklendikçe morfolojik yapısında ki değişimler gözlenmiştir. Ayrıca orta molekül ağırlıklı PVC ile hazırlanan 160 °C, 170 °C ve 180 °C' de hazırlanarak hazırlanma sıcaklığının morfolojik yapıya etkisi incelenmiştir.

Şekil 4.5'de ise bentonitin taramalı elektron mikroskobu mikrogramı incelenmiştir. Eriyik araya katılma yöntemi ile 160 °C' de hazırlanan %1 ve %5 modifiye edilmiş bentonit içeren PVC / bentonit nanokompozitlerinin yapısındaki değişimler ise şekil 4.6 ve şekil 4.7' de karşılaştırılmaktadır. %1 bentonit içeren nanokompozit yüzeyi engebeli ve pürüzlü görünüşlüdür. %5 bentonit içeren nanokompozit yapıda silika kümelerinin daha fazla olduğu gözlenmiştir. Kil miktarı %1'den %5' e arttıkça daha homojen bir yapı ortaya çıkmıştır. %1 bentonit içeren yapıda ise kümeler birbirine daha yakındır.

Orta molekül ağırlıklı PVC / modifiye edilmiş bentonit nanokompozit 180 °C' de %1 ve %5 bentonit içerecek şekilde hazırlanmış ve TGA ölçümleri karşılaştırılmıştır (Şekil 4.3b). 180 °C' de hazırlanan orta molekül ağırlıklı PVC / (%1) modifiye edilmiş bentonit nanokompozitin 354 °C' de ısıl bozunmaya başladığı ve %59'unun bozunduğu, 180 °C' de hazırlanan orta molekül ağırlıklı PVC / (%5) modifiye edilmiş bentonit nanokompozitin 359 °C' de ısıl bozunmaya başladığı ve %50'sinin bozunduğu ve saf PVC'nin 298 °C' de ısıl bozunmaya başladığı ve %62' sinin bozunduğu gözlenmiştir. Polimerde kil miktarı arttıkça termal kararlılığı da artmaktadır.

Ayrıca düşük ve orta molekül ağırlıklı PVC kullanılarak modifiye edilmiş (%1) bentonit içeren nanokompozitlerin TGA değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 4.3c). Her iki örnekte de iki kademe ağırlık kaybı gözlenmiştir. Birinci kademe düşük molekül ağırlıklı örnekte 227 °C' de %73 diğesinde 213 °C' de %75'lik kayıp gözlenmiştir. Düşük molekül ağırlıklı PVC bentonit ile daha homojen karışım oluşturulmuştur. Daha yüksek molekül ağırlıklı PVC' e göre daha karardır. Son kademe ağırlık kaybı düşük molekül ağırlıklı PVC için 500 °C' de gözlenirken 490 °C' de gözlenmiştir.

Şekil 4.1' de saf PVC'nin Tg' si 83 °C' de gözlenmiştir. Hazırlanan nanokompozitlerin Tg' leri bu değere yakın fakat daha yüksektir. Bu da küçük miktarlarda PVC içinde dağılmış silikat tabakalarının saf PVC'nin Tg' sine etkisidir. PVC'nin modifiye edilmiş ve modifiye edilmemiş bentonit 180 °C' de hazırlanan nanokompozitlerin Tg' leri sırasıyla 86 °C ve 84 °C bulunmuştur. 160 °C, 170 °C ve 180 °C olmak üzere 3 ayrı sıcaklıkta hazırlanmış olup sıcaklık arttıkça Tg değeri artmakla birlikte çok fazla farklılık göstermemektedir.

Şekil 4.8 'de 160 °C' de hazırlanan PVC / bentonit (%5) nanokompozitin yüzey mikrogramı gösterilmiştir. Şekil 4.9 'da ve şekil 4.10' da ise 170 °C' de hazırlanan PVC / bentonit (%1 ve %5) nanokompozitin kesit mikrogramları gösterilmiştir. 170 °C' de hazırlanan PVC / bentonit nanokompozitin morfolojik yapısının, 160 °C' de hazırlanan PVC / bentonit nanokompozitinkinden daha sıkı bir yapı olduğu gözlenmiştir. Ayrıca tanecik boyutuna göre kıyaslandığında daha homojen görülmektedir.

Şekil 4.11' de 170 °C' de hazırlanan PVC / bentonit (%1) nanokompozitin yüzey mikrogramı incelendiğinde 160 °C' de hazırlanana göre farklı bir yapı göstermiştir. Sıcaklık arttıkça kil – polimer arasındaki etkileşimi artmıştır. Bu da kil minarelerinin PVC ile yüksek sıcaklıkta daha sıkı yapıda bağ oluşturmamasından kaynaklanmaktadır.

PVC'nin molekül ağırlığının morfolojik yapıya etkisini incelemek amacıyla 170 °C' de hazırlanan düşük molekül ağırlıklı PVC / bentonit (%1) nanokompozit örneği hazırlanmıştır. Şekil 4.12 ve şekil 4.13' de bu örneklerin kesit ve yüzey mikrogramları görülmektedir. Burada düşük molekül ağırlıklı polimer bentonit ile daha sıkı bir yapı göstermiştir. Yüzey mikrogramında yapı tek fazlı görünümündedir.

180 °C' de hazırlanan orta molekül ağırlıklı PVC / bentonit nanokompozitin taramalı elektron mikroskobu mikrogramları şekil 4.14 (kesit) ve şekil 4.15' (yüzey) de gösterilmiştir. Hazırlanan PVC / bentonit nanokompozitin morfolojik yapısının etkin bir biçimde değiştiği görülmektedir. Yüksek sıcaklıklarda PVC'nin plastik özelliğini

ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Bu durumda termoplastik özelliğe sahip olan PVC'nin yüksek sıcaklıkta eriyerek bir miktar HCl kaybettiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. FERNANDO WYPYCH, KESTUR GUNDAPPA SATYANARAYANA, Functionalization Of Single Layers And Nanofibers: A New Strategy To Produce Polymer Nanocomposites With Optimized Properties, Journal Of Colloid And Interface Science Vol.285, 532-543 (2005)
2. ÇIRACI SALİM; Nanoteknoloji Strateji Grubu, "Nanobilim ve Nanoteknoloji Stratejileri", Vizyon 2023 Projesi, Ağustos 2004
3. N.CRAIŃIC, A.T. MARQUES, Nano-Composites: A State Of The Art Review, Key Engineering Material, Vol.230-232, 656-666 (2002)
4. ZHUDI ZHAO, WENXUE YU, JIANQIAO ZHANG, ZHENJIE SHAO, Isothermal Crystalliation Behaviors Of Nylon-6 And Nylon-6 / Montmorillonite Nanocomposites, Materials Letters, Vol.58, 802-806 (2004)
5. HARTMUT FISCHER, Polymer Nanocomposites: From Fundamental Research To Specific Applications, Materials Science And Engineering C Vol.23, 763-772 (2004)
6. JIE-XIN WANG, LI-XIONG WEN, ZHI-HUI WANG, MIN WANG, LEI SHAO, JIAN-FENG CHEN, Facile Synthesis Of Hollow Silica Nanotubes And Their Application As Supports For Immobilization Of Silver Nanoparticles, Scripta Materialia Vol.51, 1035-1039 (2004)
7. B. MINISINI, F. TSOBNANG, Molecular Mechanism Studies Of Specific Interactions In Organomodified Clay Nanocomposites, Composites: Part A Vol.36, 531-537 (2005)
8. TOM ASSELMAN, GIL GARNIER, Adsorption Of Model Wood Polymers And Colloids On Bentonites, Colloids And Surface A: Physicochemical And Engineering Aspects, Vol.168, 175-182 (2000)

9. ROBERT W. BOYD, RUSSELL J. GEHR, GEORGE L. FISCHER, J. E. SIPE, Nonlinear Optical Properties Of Nanocomposites Materials, Pure Applied Optimising, Vol.5, 505-512 (1996)
10. BİLSEN BEŞERGİL, GAZİ yayınları, *Polimer Kimyası* (2003)
11. [http://kutuphane.uludag.edu.tr/Univder/PDF/muh/2002-7\(1\)/htmpdf/mak10.pdf](http://kutuphane.uludag.edu.tr/Univder/PDF/muh/2002-7(1)/htmpdf/mak10.pdf)
12. E. P. GIANNELIS, R. KRISHNAMOORTI, E. MANIAS, Polymer – Silicate Nanocomposites: Models Systems For Confined Polymers And Polymer Brushes, *Advances In Polymer Science*, Vol.138 (1999)
13. MING-FU HUANG, JIU-GAO YU, XIAO-FEI MA, PENG JIN, High performance Biodegradable Thermoplastic Starch –EMMT Nanocomposites, *Polymer*, Vol.46, 3157-3162 (2005)
14. HAO LI, YUNZHAO YU, YUKUN YANG, Synthesis Of Exfoliated Polystyrene / Monmorillonite Nanocomposites By Emulsion Polymerization Polymerization Using A Zwitterion As The Clay Modifier, *European Polymer Journal*, Vol.41, 2016-2022 (2005)
15. B. MINISINI, F. TSOBNANG, Molecular Dynamics Study Of Specific Interactions In Grafted Polypropylene Organomodified Clay Nanocomposites, *Composites: Part A* Vol.36, 539-544 (2005)
16. HEE B. KIM, JOON S. CHOI, CHUNG H. LEE, SUNG T. LIM, MYUNG S. JHON, HYOUNG JIN CHOI, Polymer Blend / Organoclay Nanocomposite With Poly(Ethylene Oxide) And Poly (Methyl Methacrylate), *European Polymer Journal*, Vol.41, 679-685 (2005)
17. L. JAMES LEE, CHANGCHUN ZENG, XIA CAO, XIANGMING HAN, JION SHEN, GUAOJUN XU, Polymer Nanocomposites Foams, *Composites Science And Technology*, Vol.65, 2344-2363 (2005)
18. TZONG-MING, WU, CHUH-YI LIU, Poly (ethylene 2,6 naphthalate) /

Layered Silicate Nanocomposite: Fabrication, Crystallization Behavior And Properties, Polymer Vol.46, 5621-5629 (2005)

19. Jack Uldrich & Deb Newberry, Eylül 2005, “*Nano Teknoloji*”, Ledo Yayınları 5, Hazan Matbaacılık, 975-6110-01-5

20. MEHMET SAÇAK, Gazi Yayınları, 2. Baskı, *Polimer Kimyası* (2004)

21. FANGLING GONG, MENG FENG, CHUNGUI ZHAO, SHIMIN ZHANG, MINNGSHU YANG, Particale Configuration And Mechanical Properties Of Poly (Vinyl Chloride) / Montmorillonite Nanocomposites Via In Situ Suspension Polymerization, Polymer Testing Vol.23, 847-853 (2004)

22. XINYU HUANG AND WILLIAM J. BRITAIN, Synthesis and Characterization of PMMA Nanocomposites by Suspension and Emulsion Polymerization, Macromolecules, Vol.34 10), 3255 -3260 (2001)

23. TINGXIU XIE, GUIHENG YANG, XIAOPING FANG, YUCHUN OU, Sythesis And Characterization Of Poly (Methyl Methacrylate) / Montmorillonite Nanocomposites By In Situ Bulk Polymerization, Journal of Applied Polymer Science, Vol.89, 2556-2560 (2003)

24. V. CANNILLO, F. BONDIOLI, L. LUSVARGHI, M. MONTORSI, M. AVELLA, M. E. ERRICO, M. MALINCONICO, Modeling Of Ceramic Particles Filled Polymer – Matrix Nanocomposites, Composites Science And Technology, Vol.66, 1030-1037 (2006)

25. YONGJIN LI, HIROSHI SHIMIZU, Novel Morphologies Of Poly (Phenylene Oxide) (PPO) / Polyamide 6 (PA6) Blend Nanocomposites, Polymer, Vol.45, 7381-7388 (2004)

26. SHUISHENG SUN, CHUNZHONG LI, LING ZHANG, H. L. DU, J. S. BURNELL-GRAY, Effects Of Surface Modification Of Fumed Silica On

Interfacial Structures And Mechanical Properties Of Poly (Vinyl Chloride) Composites, European Poymer Journal, (2006)

27. T. PEPRNICEK, J. DUCHET, L. KOVAROVA, J. MALAC, J.F. GERARD, J. SIMONIK, Poly (Vinyl Chloride) / Clay Nanocomposites: X-ray Diffraction, Thermal And Rheological Behaviour, Polymer Degradation and Stability, 1-6 (2005)

28. PAULO MENEGHETTI, SYED QUTUBUDDIN, ANDREW WEBBER, Synthesis Of Polymer Gel Electrolyte With High Molecular Weight Poly (Methyl Methacrylate) / Clay Nanocomposites, Electrochimica Acta, Vol.49, 4923-4931(2004)

29. XIN TONG, HAICHAO ZHAO, TAO TANG, ZHILIU FENG, BAOTONG HUANG, Preparation And Characaterization of Poly (ethyl acrylate) / Bentonite Nanocomposites By In Situ Emulsion Polymerization, Journal Of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry Vol.10, 1706-1711 (2002)

30. YOUNGJAE YOO, SUNG-SU KIM, JONG CHAN WON, KIL-YEONG CHOI, Enhancement Of the Thermal Stability, Mechanical Properties And Morphologies Of Recycled PVC / Clay Nanocomposites, Polymer Bulletin Vol.52, 373-380 (2004)

31. AKÇAY DİLEK, İ.Ü. KİMYA ANABİLİM DALI FİZİKSEL KİMYA PROGRAMI YÜKSEK LİSANS TEZİ, Polimetilmetakrilat / Bentonit Nanokompozitin Kütle Polimerizasyonu İle Sentezlenmesi Ve Karakterizasyonu. Ocak (2006)

32. JIN-HAE CHANG, SUNG JONG KIM, SEUNGSOON IM, Poly (Trimethylene Terephthalate) Nanocomposite Fibers By In Situ Intercalation Polymerization: Thermo- Mechanical Properties And Morphology (1), Polymer, Vol. 45, 5171-5181 (2004)

- 33.** HADAR HELLER, R. KEREN, Anionic Polyacrylamide Polymers Effect On Rheological Behavior Of Sodium- montmorillonite Suspensions, Soil Science Society Of America Journal, Vol.66, 19-25 (2002)
- 34.** www.nano-teknoloji.com
- 35.** FRITZ HUGUENIN, EMERSON M. GIROTTO, ROBERTO M. TORRESSI, DANIEL A. BUTTRY, Transport Properties Of V_2O_5 / Polypyrrole Nanocomposite Prepared By A Sol-Gel Alkoxide Route, Journal Of Electroanalytical Chemistry Vol.536, 37-45 (2002)
- 36.** JUN MA, JIAN XU, JIAN-HUI REN, ZHONG-ZHEN YU, YUI-WING MAI, A New Approach To Polymer / Montmorillonite Nanocomposites, Polymer, Vol. 44 4619-4624 (2003)
- 37.** XIULAN DUAN, DUORONG YUAN, XIUFENG CHENG, CAINA LUAN, ZHIHONG SUN, XUECHENG WEI, SHIYI GUO, DONG XU, MENGKAI LV, Preparation of Co^{2+} : MAI_2O_4 / SiO_2 ($M=Zn, Mg$) Nanocomposites By Sol- Gel Method, Inorganic Chemistry Communications, Vol.7, 62-64 (2004)
- 38.** MICHAEL ALEXANDRE, PHILIPPE DUBOIS, Polymer- Layered Silicate Nanocomposites: Preparation, Properties And Uses Of A New Class Of Materials, Materials Science And Engineering, Vol.28 1-63 (2000)
- 39.** SERGE BOURBIGOT, DAVID L. VANDERHART, JEFFREY W. GILMAN, SEVERINE BELLAYER, HOLLY STRETZ, DONALD R. PAUL, Solid State NMR Characterization And Flammability Of Styrene-Acrylonitrile Copolymer Montmorillonite Nanocomposites, Polymer, Vol.45, 7627-7638 (2004)

- 40.** WOO JIN BAE, KEON HYEONG KIM, WON HO JO, YUN HEUM PARK, Fully Exfoliated Nanocomposites From Polypyrrole Graft Copolymer / Clay, *Polymer*, Vol.46, 10085-10091 (2005)
- 41.** DEFENG WU, CHIXING ZHOU , WEI YU, XIE FAN, Effect Of Flocculated Structure On Rheology Of Poly(Butylene Terephthalate)/Clay Nanocomposites, *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics* Vol. 43, Issue 19 , 2807 – 2818 (2005)
- 42.** A. BAFNA, G. BEAUCAGE, F. MIRABELLA, S. MEHTA, 3D Hierarchical Orientation In Polymer- Clay Nanocomposite Films, *Polymer*, Vol. 44, 1103-1115 (2003)
- 43.** WEI XIE, JYH MING HWU, GEORGE J. JIANG, THANDI M. BUTHELEZI, WEI-PING PAN, A Study Of Surfactants On The Properties Of Polystyrene – Montmorillonite Nanocomposites, *Polymer Engineering and Science*, Vol.43, No1 (2003)
- 44.** BO XU, QIANG ZHENG, YIHU SONG, YONGGANG SHANGGUAN, Calculating Barrier Properties Of Polymer / Clay Nanocomposites: Effect Of Clay Layers, *Polymer*, Vol.47, 2904-2910 (2006)
- 45.** M. YOONESSI, H. TOGHIANI, T. L. DAULTON, JAR- SHYONG LIN, C. U. PITTMAN, Clay Delamination In Clay / Poly (Dicyclopentadiene) Nanocomposites Quantified By Small Angle Neutron Scattering And High – resolution Transmission Electron Microscopy, *Macromolecules*, Vol.38, 818-831 (2005)
- 46.** C. DECKER, K. ZAHOUÏLY, L. KELLER, S. BENFARHÍ, T. BENDAÏKHA, J. BARON, Ultrafast Synthesis Of Bentonite-Acrylate Nanocomposite Materials By UV-Radiation Curing, *Journal of Materials*

Science, Vol. 37, Number 22 4831 – 4838 (2002)

47. http://www.ima-na.org/about_industrial_minerals/bentonite.asp

48. D. BRAUN, Poly (vinyl chloride) On The Way From The 19 th Century To The 21st Century, Journal of Polymer Science Part A Polymer Chemistry Vol. 42 , 578-586 (2004)

49. YANG HAIYANG, ZHU PINGPING, LI GUEOFENG, WU PENG, REN FENG, Investigations On The Intrinsic Viscosity of Poly (vinyl chloride) (PVC) Affected By Polymer-polymer Interactions In Solution, European Polymer Journal, Vol.35, 345-353 (1999)

50. CHANOYING WAN, XIUYING QIAO, YOUNG ZHANG, YINXI ZHANG, Effect Of Different Clay Treatment On Morphology And Mechanical Properties of PVC – Clay Nanocomposites, Polymer Testing , Vol.22, 453-461 (2003)

51. JIANXIN DU, DONGYAN WANG, CHARLES A. WILKIE, JIANQI WANG, An XPS Investigation Of Thermal Degradation And Charring On Poly (Vinyl Chloride) – Clay Nanocomposites, Polymer Degradation and Stability, Vol.79, 319-324 (2003)

52. FANGLING GONG, MENG FENG, CHUNGUI ZHAO, SHIMIN ZHANG, MINGSHU YANG, Thermal Properties Of Poly (Vinyl Chloride) / Montmorillonite Nanocomposites, Polymer Degradation and Stability, Vol.84, 289-294 (2004)

53. W. XU, M. GE, W-P. PAN, Glass Poly (Vinyl Chloride) / Montmorillonite Nanocomposites, Journal of Thermal Analysis And Calorimetry, Vol.78 , (2004)

54. LEENA-MARIE DOPPERS, CHRIS BREEN, CHRIS SAMMON, Diffusion Of Water Acetone Into Poly (Vinyl Chloride) / Clay Nanocomposites Using ATR-FTIR, Vibrational Spectroscopy, Vol.35 , 27-32 (2004)

55. J.L. CAPITANEO, F.T. DA SILVIA, Preparation Of Layered Poly (Vinyl Chloride)- Kaolinite Poly (Vinyl Chloride) / Nanocomposites, Applied Minerology, Pecchio et al (2004)

56. JIEN REN, YANXIA HUANG, YAN LIU, XIAOZHEN TANG, Preparation, Characterization And Properties Of Poly (Vinyl Chloride) / Compatibilizer / Organophilic - Montmorillonite Nanocomposites By Melt Intercalation, Polymer Testing , Vol.24, 316-323 (2005)

ÖZGEÇMİŞ

20.05.1980 Tarihinde İstanbul'da doğdum. Kadir Has Süper Lisesi mezunuyum (İstanbul, 1998). İstanbul Üniversitesi Kimya Bölümü'nü kazandım (İstanbul, 1999).

Stajımı Bayer Türk Kimya San. Ltd. Şti'de tamamladım. (İstanbul, 2002). İstanbul Üniversitesi Kimya Bölümü'nden mezun oldum (İstanbul, 2003).

8 – 11 Eylül 2003 yılında XVII. Ulusal Kimya Kongresine, 3 – 8 Ağustos 2004 yılında 18. Uluslararası Kimya Eğitimi Kongresine ve 30 Eylül- 4 Ekim 2005 yılında IXX. Ulusal Kimya Kongresine bildiri ile katıldım.

Bildirler:

1. Investigation Of Thermal And Morphological Properties Of PMMA / Bentonite Nanocomposite (8 – 11 Eylül 2003, XVII. Ulusal Kimya Kongresine, İstanbul).
2. Preparing The Flow Chart To Identify The Unknown Solvent In The Laboratory Medium (3 – 8 Ağustos 2004, 18th International Conference On Chemical Education, Hilton – İstanbul).
3. İşlem Görmüş Ağaç Kabuğunda Bazik Boyar Maddenin Adsorpsiyon Kinetiğinin İncelenmesi. (30 Eylül- 4 Ekim 2005, IXX. Ulusal Kimya Kongresine Kuşadası, İzmir)

İstanbul Üniversitesi Fiziksel Kimya Yüksek Lisansa başladım (İstanbul, 2004).

Massachusetts Üniversitesi Polymer Science and Engineering Bölümünde yaz dönemimde Yüksek Lisans tezimle ilgili çalıştım (ABD, 2005).

SELCAN KARAKUŞ