

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EPOKSİ REÇİNE/SEPİYOLİT KOMPOZİTLERİNİN
HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZASYONU

ASLI ŞEKER
YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KONYA, 2010

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EPOKSİ REÇİNE/SEPIYOLİT KOMPOZİTLERİNİN
HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZASYONU

Danışman: Prof.Dr. Refika KURBANLI

Doç.Dr. Gülnare AHMETLİ

ASLI ŞEKER
YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KONYA, 2010

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

EPOKSİ REÇİNE / SEPIYOLİT KOMPOZİTLERİNİN HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZASYONU

Aslı ŞEKER

**Selçuk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**

Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Refika KURBANLI

Doç. Dr. Gülnare AHMETLİ

2010, 80 sayfa

Bu tez çalışmasında ticari epoksi reçine (ER) ve tarafımızdan sentezlenen epoksi reçine / sepiyolit kompozitlerinin özellikleri incelenmiştir.

Çalışmada ko-matris olarak kullanılan epoksi tolüen oligomeri (ETO), tolüen ve epiklorhidrinin $\text{BF}_3\text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ katyonik katalizör ortamında reaksiyonu ile sentezlenmiştir. Kompozitlerde matris olarak 1:1 oranında ETO-ER karışımı, PEPA ve Polypox Hardener kürleştiricileri kullanılmıştır.

Sepiyolit hem saf, hem de modifiye edilerek kütlece %0-7 oranında matrise karıştırılmıştır. Ayrıca, kompozitler %1-3 oranında polietilen glikol (PEG) ile de modifiye edilmiştir. Kompozitlerin çekme ve sertlik testleri ile ultrases ölçümleri yapılarak reçine özelliklerine kil ve PEG oranının etkisi araştırılmıştır. Kompozitlerin yüzey karakterizasyonunda SEM kullanılmıştır. Genelde en iyi sonuçlar %5 sepiyolit ve %1 PEG oranında görülmüştür.

Anahtar kelimeler: epoksi reçine, sepiyolit, kompozit

ABSTRACT

Master Thesis

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF EPOXY RESIN / SEPYOLITE COMPOSITES AND INVESTIGATION ITS PROPERTIES Ash SEKER

**Selcuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences**

Department of Chemical Engineering

**Supervisor: Prof.Dr. Refika KURBANLI
Assos. Prof. Gulnare AHMETLI
2010, 80 Pages**

In the present study, the properties of commercial (ER) and synthesied epoxy resin / sepyolite composites were investigated.

The co-matrix epoxy toluene oligomer (ETO) was synthesied with reaction of toluen and epichlorohydrin in the presence of $\text{BF}_3\text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ cationic catalyst. In composites ETO-ER in ratio 1:1 was used as matrix and PEPA and Polypox Hardener as cured agent.

During the study, epoxy resin has been amalgamated with unmodified and modified sepyolite 0-7 % of the total matrix. Additionally, by adding polyethylene glycol (PEG) at the rate 1-3 % of the weight to each one of these mixtures, composite materials have been prepared. The tensile, hardness and ultrasound speed measurements of composites are performed and investigated their effect to composite properties. The surface morphology of composites has been examined by using SEM. The best results were obtained with 5 % of sepyolite and 1 % of PEG.

Keywords: epoxy resin, sepyolite, composite

ÖNSÖZ

Epoksi Reçine / Sepiyolit Kompozitlerinin Hazırlanması ve Karakterizasyonu isimli bu çalışma Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans bitirme tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışma süresi boyunca benden bilgilerini ve yardımlarını esirgemeyen ve de çalışmalarımı yönlendirmemde büyük emekleri olan değerli hocalarım Sn. Prof. Dr. Refika KURBANLI ve Sn. Doç. Dr. Gülnare AHMETLİ ye,

Yüksek Lisans bitirme tezimin hazırlanmasında büyük emekleri olan değerli arkadaşım Mustafa DAĞ' a

Bütün yaşamım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ve zor zamanlarımda yanımda olan aileme, sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
TABLO LİSTESİ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELER.....	3
2.1. Kompozit Malzemeler.....	3
2.1.1. Kompozit malzemelerin tarihçesi.....	3
2.1.2 Kompozit yapı elemanları.....	4
2.1.3. Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları.....	8
2.2. Nanokompozit Malzemeler.....	8
2.2.1 Polimer-Kil Nanokompozit Çeşitleri.....	11
2.2.2. Aralanmış Tabakalı Nanokompozit Yapı (Intercalated).....	11
2.2.3. Dağılmış Tabakalı Nanokompozit Yapı (Exfoliated).....	12
2.3. Kil.....	12
2.3.1. Sepiyolit.....	13
2.4. Epoksi Reçinesi.....	19
2.4.1 Kürleştirici.....	21
2.5. Kompozit Karakterizasyonu.....	24
2.5.1. Mekanik testler.....	24
2.5.2 Yüzey karakterizasyonu.....	27
3. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	28
4. MATERYAL VE METOD	33
4.1. Kullanılan Kimyasal Malzemeler.....	33
4.1.1. Matris sistemi	33
4.1.2 D.E.R 321 Epoksi reçinesi (ER).....	33
4.1.3. Epiklorhidrin (ECH).....	34
4.1.4. Kürleştirici (Sertleştirici).....	34

4.1.5. Polietilen Glikol (PEG).....	35
4.1.6. Sepiyolit.....	35
4.2. Deneylerde Kullanılan Cihaz ve Aletler.....	35
4.3. Epoksi Toluen Oligomerinin (ETO) Sentezi.....	36
4.4. Sepiyolit'in Modifiye Edilmesi.....	37
4.5. Kompozit Hazırlama Yöntemi.....	37
4.6. Epoksit Grubu Tayini.....	39
4.7. Ultrasonik Hız Ölçümü.....	41
4.8. Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu.....	41
4.8.1. Mekanik karakterizasyon.....	41
4.8.1.1 Çekme Testi.....	41
4.8.1.2 Sertlik testi.....	42
4.8.2. Yüzey Karakterizasyonu (SEM).....	42
5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTISMA.....	43
5.1. Fiziko-Mekanik Özellikler.....	43
5.1.1. Kompozitlerin çekme test sonuçları.....	43
5.1.2. Kompozitlerin Sertlik Test Sonuçları.....	47
5.2. SEM Analizleri.....	51
5.3. Ultrases Ölçümleri.....	57
6. SONUÇLAR.....	60
7. KAYNAKLAR.....	64
8. EKLER	70

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Kil tabakalarının durumuna göre farklı dağılımların gösterimi	
a) kil yığınları ve polimerin karışmayan mikro yapısı	
b) aralanmış tabakalı yapı (intercalated).....	
c) dağılmış tabakalı yapı (exfoliated).....	11
Şekil 2.2. Kilin iyon değişim işlemi.....	13
Şekil 2.3. Sepiyolit kristalinin şematik görünüşü.....	15
Şekil 2.4. Epoksi fonksiyonel grubu.....	19
Şekil 2.5. Diglisericid eter bisfenol-A (DGEBA)'nın kimyasal yapısı.....	20
Şekil 2.6. Epoksi reçine kürleştiricileri.....	22
Şekil 2.7. Epoksi reçinelerin amin çapraz bağlanması.....	23
Şekil 2.8. DGEBA'nın siklo-alifatik aminle kürleşme reaksiyonu	24
Şekil 2.9. Çekme (tensile) numunesi ve gerilme test yöntemi.....	25
Şekil 2.10. Bazı polimerik malzemelerin gerilme-uzama (stress-strain) eğrileri.....	26
Şekil 4.1. Epiklorohidrinin kimyasal yapısı.....	34
Şekil 4.2. ETO'nun formülü.....	37
Şekil 4.3. Epoksit Halkasıyla HCl reaksiyonu.....	40
Şekil 4.4. Çekme testi numunesi.....	42
Şekil 5.1. Saf epoksi reçinenin SEM görüntüsü.....	51
Şekil 5.2. Modifiye edilmemiş sepiyolit kompozitlerinin (sertleştirici PEPA) SEM görüntüleri.....	53
Şekil 5.3. Modifiye edilmemiş %5'lik sepiyolit kompozitinin SEM görüntüleri a) yüzey; b) kesit.....	54
Şekil 5.4. Modifiye edilmiş %5 sepiyolit kompozitinin SEM görüntüleri: a) yüzey; b) kesit.....	55
Şekil 5.5. Modifiye edilmiş %5 sepiyolit + %1 PEG kompozitinin SEM görüntüleri a) yüzey; b) kesit.....	56

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1. Kompozit yapı eleman tipleri.....	5
Tablo 2.2. Polimer nanokompozit yapımında kullanılan bazı polimerlerin ve kimyasal yapıları.....	9
Tablo 2.3. Bazı Lületaş ve Sepiyolit Çeşitlerinin Kimyasal Bileşimleri.....	14
Tablo 2.4. Tabakalı Sepiyolit (Sanayi Sepiyoliti) Fiziksel Özellikleri.....	16
Tablo 2.5. Eskişehir Civarındaki Bazı Bölgelerin Tabakalı Sepiyolit Rezervleri (ton).....	19
Tablo 4.1. ETO Sentezinde Kullanılan Kimyasalların Özellikleri.....	33
Tablo 4.2. D.E.R. 321 epoksi reçinesinin karakteristik özellikleri.....	34
Tablo 4.3. PEG 400'ün karakteristik özellikleri.....	35
Tablo 4.4. (ETO+ER) + Sepiyolit (Modifiye Edilmemiş) + Sertleştirici.....	38
Tablo 4.5. (ETO+ER) + Sepiyolit (Modifiye Edilmiş) + Sertleştirici.....	38
Tablo 4.6. (ETO+ER) + Sepiyolit (Modifiye Edilmemiş) + Sertleştirici + PEG.....	39
Tablo 4.7. (ETO+ER) + Sepiyolit (Modifiye Edilmiş) + Sertleştirici + PEG.....	39
Tablo 4.8. (ETO+ER) + Sepiyolit (Modifiye Edilmiş) + Sertleştirici + PEG.....	39
Tablo 4.9. D.E.R 321 Epoksi Reçinesi (ER) Epoksit Grubu Sayısı için veri çizelgesi.....	40
Tablo 4.10. Epoksi Toluen Oligomeri (ETO) Epoksit Grubu Sayısı için veri çizelgesi.....	41
Tablo 5.1. (ETO+ER) + Sepiyolit (Modifiye Edilmemiş) + PEPA.....	43
Tablo 5.2. (ETO+ER) + Sepiyolit (Modifiye Edilmemiş) + Polypox.....	43
Tablo 5.3. ETO+ER + Sepiyolit (Modifiye Edilmiş) + Sertleştirici.....	44
Tablo 5.4. ETO+ER + %5 Sepiyolit (Modifiye Edilmemiş) + Sertleştirici + PEG.....	45
Tablo 5.5. ETO+ER + %5 Sepiyolit (Modifiye Edilmiş) + Sertleştirici + PEG.....	46
Tablo 5.6. ETO+ER + Sepiyolit (Modifiye Edilmiş) + Sertleştirici +	

%1 PEG.....	47
Tablo 5.7. ETO+ER + Sepiyolit (Modifiye Edilmemiş) + Sertleştirici.....	48
Tablo 5.8. ETO+ER + Sepiyolit (Modifiye Edilmiş) + Sertleştirici.....	48
Tablo 5.9. ETO+ER + %5 Sepiyolit (Modifiye Edilmemiş) + Sertleştirici + PEG.....	49
Tablo 5.10. ETO+ER + %5 Sepiyolit (Modifiye Edilmiş) + Sertleştirici + PEG.....	49
Tablo 5.11. ETO+ER + Sepiyolit (Modifiye Edilmiş) + Sertleştirici + % 1 PEG.....	50
Tablo 5.12. (ETO+ER) + Sepiyolit (Modifiye Edilmiş) + Sertleştirici Numunelerinin Ultrases Ölçümleri.....	58
Tablo 5.13. (ETO+ER) + Sepiyolit (Modifiye Edilmiş) + Sertleştirici + %1 PEG Numunelerinin Ultrases Ölçümleri.....	59

1. GİRİŞ

20. yüzyılın ikinci yarısında tekniğin hızla gelişmesi, beraberinde sanayinin temel girdisi olan malzeme ve malzeme biliminde de gelişmelerin hızlanmasını sağlamıştır. Fakat bu gelişim, yeryüzünde bulunan ana malzemelerin sınırlı olmasından dolayı teknolojinin gelişimine ayak uyduramamıştır. Uzun araçlarının yapıldığı asrımızda, bilim adamları çağın yenilikleri ile birlikte, mevcut malzemelerin özelliklerinden bilimin gelişmesi paralelinde günün şartlarına uyacak şekilde hem ekonomik hem de daha uygun malzemeler üretme yolunu seçmişlerdir. Dolayısıyla hem ekonomik, hem daha mukavemetli, hem de çok hafif malzemelerin geliştirilmesi için yapılan çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Böylece malzemeyi oluşturan bileşenlerin, özellikleri farklı olan kombinasyonlarının verdikleri kompozit malzemeler büyük bir önem kazanmıştır.

Günümüzde kompozit malzeme denildiğinde yüksek mühendislik bilgileriyle birleştirilmiş reçineler, takviye polimerleri, metal ve seramiklerden oluşan kompozit malzemeler akla gelmektedir. Modern otomobillere baktığımızda kullanılan parçaların büyük bir bölümünün kompozit malzemelerden üretildiği görülmektedir. Özellikle yüksek teknolojili yarış otomobillerinde yaygın olarak FRP (fiber takviyeli plastik) kullanılmaktadır. İlk olarak 1930'da üretilen Fiberglas filamentlerin (ince tel) ticari olarak üretilmesi 1935 yılında başlamıştır. Bu fiber takviyeli plastiklerin (FRP) üretilmesine ön ayak olmuştur. 1930'ların sonunda plastik malzemelerin özellikleri diğer malzeme çeşitleri ile boy ölçüşür düzeyde gelişmeye başlamıştır. Kolay biçim verilebilir olması, metallere oranla düşük yoğunlukta olması, üstün yüzey kalitesi ve korozyona karşı dayanımı plastiğin yükselmesindeki en önemli özelliklerdir. Birçok üstün özelliğinin yanı sıra sertlik ve dayanıklılık özelliklerinin düşük olması plastik malzemelerin güçlendirilmesi için çalışmalar yapılmasına neden olmuştur. Bu eksikliğin giderilmesi amacıyla 1950'lilerde polimer esaslı kompozit malzemeler geliştirilmiştir. Polimer kompozitler yüksek mukavemet, termal kararlılık, sertlik, aşınmaya karşı dayanıklılık, hafif ağırlık gibi özellikleriyle pek çok

avantajlar sunarlar. Mukavemetlendirilmiş polimer esaslı kompozit malzemeler otomotiv, denizcilik, taşımacılık ve inşaat sektörü ile askeri alanda metallere oranla çok daha hafif olmaları, korozyona uğramamaları nedeni ile oldukça hızlı bir şekilde uygulama alanı bulmaktadır.

Çalışmada sepiyolit ile çeşitli kompozitler oluşturularak kompozit özelliklerine kil etkisinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Literatürde kilerle yapılan diğer çalışmalarda kullanılan epoksi reçineler hazır olarak temin edilmiştir. Tez çalışmamızda ise ticari epoksi reçinenin yanı sıra, tarafımızdan sentezlenen epoksi reçine de denenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Kompozit Malzemeler

Birbirine karışmayan iki veya daha fazla katının bileşimiyle oluşan katı malzemelere "kompozit malzeme" denir. Daha açık bir tanımla; iki veya daha fazla malzemenin, iyi özelliklerini bir araya toplamak ya da ortaya yeni bir özellik çıkarmak için, mikro veya makro seviyede heterojen karışımıyla oluşan malzemeye kompozit malzeme denir (Ulcay ve ark 2002). Kompozit yapı oluşumuyla geliştirilmesi istenen özelliklerin birkaçı şöyle sıralanabilir;

- korozyon dayanımı,
- yüksek sıcaklık özellikleri,
- elektrik iletkenliği,
- ısı iletkenlik,
- ağırlık,
- fiyat,
- estetik görünüm (Ulcay ve ark 2002).

Kompozit malzemeler reçine (matris) ve takviye bileşenlerinden oluşur. Kompozitler temel olarak kalıp görevi gören reçine içine gömülmüş sürekli veya kırılmış elyaflardan oluşmaktadır. Bu bileşenler birbirleri içinde çözülmezler veya karışmazlar. Kompozit malzemelerde elyaf sertlik, sağlamlık gibi yapısal özellikleri, plastik reçine malzemesi ise elyafın yapısal bütünlüğü oluşturmaları için birbirine bağlanması, yükün elyaf arasında dağılmasını ve elyafın kimyasal etkilerden ve atmosfer şartlarından korunmasını sağlar (Ulcay ve ark 2002).

2.1.1. Kompozit malzemelerin tarihçesi

Yaşamımızın büyük bir bölümünde farkında olmadan birçok kompozit malzemeyi kullanmaktayız. Kullandığımız otoyollar, evlerimizin inşasında kullanılan çimento ve demirin beraber kullanımıyla yapılmış betonarme yapılar ve daha verilebilecek birçok örnek kompozit malzemelerden oluşturulmuştur.

Bilinen ilk kompozit malzeme çamur, kil ve samanı karıştırılarak yapılan kerpiçtir. Kontrplak da kompozit malzemelerin ilk örneklerindendir. Dilimlenmiş tahta parçalarının güçlü bir yapıştırıcı ile birleştirilmesinden oluşan bu malzeme yaygın olarak kullanılmaktadır.

Fiber takviyeli plastiklerin uçak yapımında kullanılması 1942 yılında başlamış olup, daha sonra fiber takviyeli plastiklerin botlarda, arabalarda ve kamyon kasalarında yaygın olarak kullanılması 1950'lere kadar uzanmıştır. 1950'ler de reçinelerin geliştirilmesi ile birlikte kullanılan fiberler de geliştirilmiş olup, fiber olarak E-cam (düşük emisyon camı), R-cam (güçlendirilmiş cam), S-cam (silisli cam) ve özel asit ve alkalilere dayanıklı camlar kullanılmaya başlanmıştır.

1960'ların başlarında kullanılmaya başlanan bor fiberler modern kompozitlerin üretilmesine öncülük yapmışlardır. Çok dayanıklı olan bu fiberler ve ayrıca karbon fiberler uzay gemileri ve uçaklarda yaygın olarak tercih edilmektedir. 1960'ların sonunda güçlü aramidlerin, camın ve karbon fiberlerin kullanılmasına başlanmıştır. Bu gelişmeler reçinelerin kullanımı ile paralel olarak ilerlemiştir.

1969'da fenolikler ve 1937'de üretilen epoksiler bunlara örnektir. Günümüzde fiberle güçlendirilmiş kompozit malzeme üretiminde kullanılan birçok gelişmiş termoset reçine mevcuttur. Bunlara poliamidler, vinil esterler, silikonlar, poliüretanlar ve üretan akrilatlar örnek verilebilir. Termoplastiklerin üretimi termosetlerden daha önce olmuştur. Poliamid fiberler ilk olarak 1965 yılında geliştirilmiştir. Karbon fiberlere göre daha zayıf olmasına rağmen cam fiberlerden daha üstün olması, karbon fiberlerden hafif ve daha ucuz olması nedenleriyle basınçlı kap yapımında, uzay uygulamalarında, spor ve deniz ekipmanlarında geniş kullanım alanları bulmuştur.

Daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda yeni teknikler ve değişik kompozit üretim metotları geliştirilmiştir (Swhartz 1997).

2.1.2 Kompozit yapı elemanları

Kompozit malzemeyi oluşturan matris (takviyelendirilen malzeme) ve takviyeli malzeme olarak iki ana madde vardır. Bu yapı elemanlarının tipleri Tablo 2.1.'de gösterilmektedir (Şahin 2000).

Tablo 2.1. Kompozit yapı eleman tipleri

Matris Malzemeler	Takviye Elemanları	Kompozit Yapının Şekli
Polimerler	Lifler	Tabakalar
Metaller	Kil-kristal	Film-Folye
Seramikler	Pudra	Bal Peteği
	Yonga	Filament Sarılmış Yapılar
	Granül	Kaplamalar

Takviye elemanları

Bir kompozit malzemede takviye malzemesinin en önemli görevi, matris içinde homojen olarak dağılıp, matrisin maruz kaldığı gerilmeleri destekleyerek kompozit malzemenin mukavemetini arttırmaktır.

Bir takviye elemanı matris ile reaksiyon verip istenmeyen ürünler oluşturmamalıdır. Takviye elemanları matrisle güçlü bir bağ sistemi oluşturmalıdır. Takviye malzemesi ve matrisin termal genleşmeleri birbirinden farklı olmamalıdır. Maruz kaldıkları ısı değişiminde birbirlerini zayıflatıcı etki göstermemelidirler (Haris 1986).

Kompozit malzemelerde takviye amacıyla kullanılan elyaflar;

- Doğal elyaflar, (artık yerlerini sentetik elyaflara bırakmışlardır.)
- Sentetik, organik elyaflar; Naylon, aramid, (düşük yoğunluklu ve güçlü elyaflardır.)
- Sentetik inorganik, elyaflar; Cam, karbon, boron vb (Haris 1986).

Matris malzemeler

Matris, kompozitlerin ikinci ana bileşenidir. Matrisin asıl görevi içindeki takviye elemanlarını bir arada tutarak onların malzeme üzerine gelen gerilmelere en üst düzeyde karşı koyabilmesi için düzenlenen yerleşimlerini muhafaza etmektir.

Kompozit malzemeye gelen tüm yükler matris yoluyla takviye elemanına aktarılır (Haris 1986).

Matris malzemeler, polimer matrisler, metalik matrisler ve kullanım alanları çok az olan yüksek sıcaklık matrisleri şeklinde gruplanabilir. Kompozitin istenen başarıyı göstermesi için matris seçimine bağlıdır. Matris seçiminde göz önünde tutulan matris görevleri ve özellikleri şöyle sıralanabilir:

- Kuvvetleri liflere iletmek,
- Lifleri, korozyon ve oksidasyon gibi, ortamın etkisi ve darbelerden korumak,
- Bittiğinde istenen özelliklere uygun olması,
- Maliyet,
- Nem ve su alma özelliği,
- Kayma sertliği, darbe özellikleri,
- Viskozite, erime noktası,
- Kür zamanı.

Kompozit malzemelerde polimer esaslı matrislerin yanı sıra metal, seramik türevi malzemeler de matris olarak kullanılmaktadır. Diğer matrislerin kullanılmasına rağmen kompozit malzemelerin % 90'ı polimer esaslı matrislerle üretilmektedir. Matris malzemelerinin genellikle plastik esaslı olmasından dolayı kompozit malzemeler de genellikle takviye edilmiş plastikler olarak adlandırılırlar. Metal matrisler büyük çaplı uygulamalarda kullanılmak için çok pahalı ve çalışılmaları çok zordur. Seramik matrisler ise yüksek oranda kırılgan olmalarından dolayı yeterli dayanıklılığa sahip olmamaları nedeniyle kullanım alanları yüksek ısı ile kullanılan yerlerle sınırlanmaktadır. Karbon matrisli kompozit malzemeleri üretmek çok zor ve çok pahalıdır.

Matrisler güçlü yapışma, çevre ve atmosfer şartlarına yüksek dayanım ve yüksek mekanik özellikler gösterirler. Bir matrisin öncelikle sağladığı mekanik özellikler yüksek sertlik ve yüksek dayanıklılık değerleridir. İyi bir malzeme sert olmalıdır, fakat gevrek bir malzemenin gösterdiği davranışlardan dolayı performansı düşmemelidir.

Bu özellikleri büyük ölçüde karşılayan polimer esaslı matrisler termoset, termoplastik matrisler ve elastomerler olmak üzere üç grupta toplanmaktadır. Termoset esaslı kompozit malzeme matrisleri olarak en çok kullanılanlardır.

Termoset plastikler sıvı halde bulunurlar, ısıtılarak ve kimyasal tepkimelerle sertleşir ve sağlamlaşırlar. Termoset polimerlerin polimerizasyon süreci termoplastiklerden farklı olarak geri dönüşü olmayan bir süreçtir. Yüksek sıcaklıklarda dahi yumuşamazlar. Termoset reçineler kimyasal etkiler altında çözülmez ve olağandışı hava şartlarında dahi uzun ömürlü olmaktadır. Termoplastik polimerlerinin çeşitlerinin çok fazla olmasına rağmen matris olarak kullanılan polimerler sınırlıdır. Termoplastikler düşük sıcaklıklarda sert halde bulunurlar ısıtıldıklarında yumuşarlar. Termosetlere göre matris olarak kullanımları daha az olmakla birlikte üstün kırılma tokluğu, hammaddenin raf ömrünün uzun olması, geri dönüşüm kapasitesi ve sertleşme prosesi için organik çözücülere ihtiyaç duyulmamasından dolayı güvenli çalışma ortamı sağlaması gibi avantajları bulunmaktadır. Bunun yanı sıra şekil verilen termoplastik parça işlem sonrası ısıtılarak yeniden şekillendirilebilir.

Termoplastikler yüksek sertlik ve çarpma dayanımı özelliğine de sahiptirler. Termoplastiklerin kompozit malzemelerde matris olarak tercih edilmemelerinin başlıca nedeni üretimindeki zorlukların yanı sıra yüksek maliyetidir. Oda sıcaklığında düşük işleme kalitesi sağlarlar, bu onların üretimde zaman kaybına yol açmasına neden olur. Polimerler düşük yoğunluklu göreceli olarak düşük dayanıklılıktadır. Başlıca polimer matris malzemeleri polyester, epoksi, fenol ve vinil esterdir (Kompozit Elkitabı 2001).

Elastomerler ise, termoset polimerler gibi çapraz bağlı olan uzun zincir moleküllerinden oluşur. Bunlar, çok düşük gerilmelere maruz kaldığı zaman büyük elastik deformasyon yapma yeteneği olan polimerlerdir. Bazı polimerler % 500 ve daha fazla uzama yaparlar ve tekrar orijinal şekline dönerler. Çok meşhur olan polimerler ise elbette kauçuktur. Kauçuk iki kategoriye ayrılabilir:

- 1) Doğal kauçuk: Belli biyolojik bitkilerde çıkartılan kauçuktur.
- 2) Sentetik polimerler: Termoset ve termoplastik polimerler için kullanılır ve benzer polimerizasyon işlemleri ile üretilir. Daha fazla çapraz bağlanma sağlanması halinde elastomerler daha rijit olur ve elastik modülü daha lineerdir (Kompozit Elkitabı 2001).

2.1.3. Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları

Kompozit malzemelerin genel avantajları şu şekilde sıralanabilir (Kompozit Elkitabı 2001).

1. Farklı mekanik özellikler elde etmek için farklı katmanlardan ve farklı kombinasyonlarla kompozit malzeme inşa edilebilir.
2. Kompozit malzemeler kimyasallara, korozyona ve hava şartlarına dayanıklılık gösterir.
3. Yüksek dayanıklılık/yoğunluk oranı

Bu malzemelerin dezavantajları ise,

1. Hammaddenin pahalı olması
2. Lamine edilmiş kompozitlerin özellikleri her zaman ideal değildir, kalınlık yönünde düşük dayanıklılık ve katlar arası düşük kesime dayanıklılık özelliği bulunmaktadır.
3. Malzemenin kalitesi üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır, standartlaşmış bir kalite yoktur.
4. Kompozitler kırılgan (gevrek) malzeme olmalarından dolayı kolaylıkla zarar görürler, onarılmaları yeni problemler yaratabilir.

2.2. Nanokompozit Malzemeler

Nanoteknolojinin özü, moleküler boyutta çalışarak, moleküler yapısı yenilenmiş büyük yapılar elde etmektir. Malzemelerin nanometrik boyuttaki özellikleri, aynı malzemenin makro boyuttaki özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Nanokompozitler, bir matris içerisinde nanometre büyüklüğünde parçacıkların dağılması ile oluşan maddelerdir (Kornmann 2001). Bu polimerlerin içinde en azından bir boyutta nanometrik olan parçacıklar bulunmaktadır.

Bütün nano kompozit çeşitleri içinde doğal kil ve silikat tabakasına dayanan çeşitler en çok kullanılan türlerdir. Çünkü kil materyalleri çok kolay bulunabildikleri gibi, araya girme kimyası da üzerinde uzun zamandır çalışılan bir konudur. Dispersiyon ile elde edilen nanometrik boydaki taneciklere sahip olması bu nano kompozitlerin mekanik, termal, optik ve fiziko kimyasal özelliklerinin saf

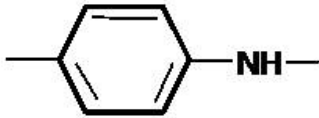
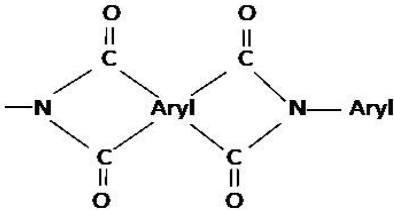
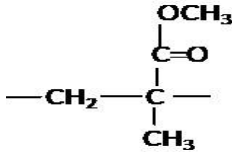
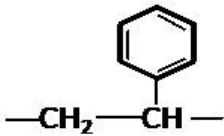
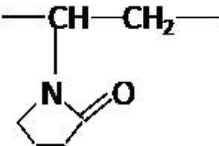
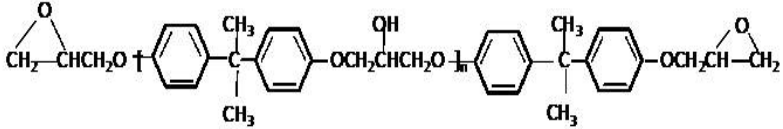
polimerlere ve konvensiyonel kompozitlere oranla üstün olmasını sağlar (Kornmann 2001).

Polimer kil etkileşimleri yoğun olarak yetmişli yılların başında araştırılmaya başlanmıştır. Bu çalışma ilk olarak 1980 yılında Toyota tarafından yapılmıştır. Toyota poliamid-6 ve organofilik montmorilanit (MMT) killinden nanokompozit malzemenin yapılabileceğinin mümkün olduğunu göstermiştir. Poliamid ve organofilik MMT kili içeren bu yeni malzemenin mekanik özellikleri, ısıya dayanıklılığı ve bariyer özellikleri gelişmiştir (Lindberg ve ark. 2001). Nanokompozit yapılarda matris olarak polimerler, seramikler ya da metaller kullanılmaktadır (Tablo 2.2). Bu alanda ilk aşamalar polimerler kullanılarak kaydedildiği için şimdiye kadar en sık kullanılan matris malzemeleri onlardır. Polimerik malzemeler içinde en çok kullanılan epoksi, doymamış polyester, poliamid ve polipropilendir (Chin ve ark 2001). Nanokompozitlerde takviye malzemesi olarak silika zeolit ve kil gibi inorganik tanecikler kullanılır. Nanokompozitlerin kullanım alanları; otomotiv endüstrisi, kaplamalar, bina yapımı, ambalajlama, havacılık ve uzay sanayidir.

Özellikle ana ya da yan zincirler üzerinde polar gruplar taşıyan polimerlerin çeşitli tipteki killer ile harmanlanarak nanokompozitlerinin hazırlanması ve bu malzemelerin fiziksel özelliklerinin incelenmesi konusunda çok sayıda çalışma yapılmıştır (Durmuş 2006).

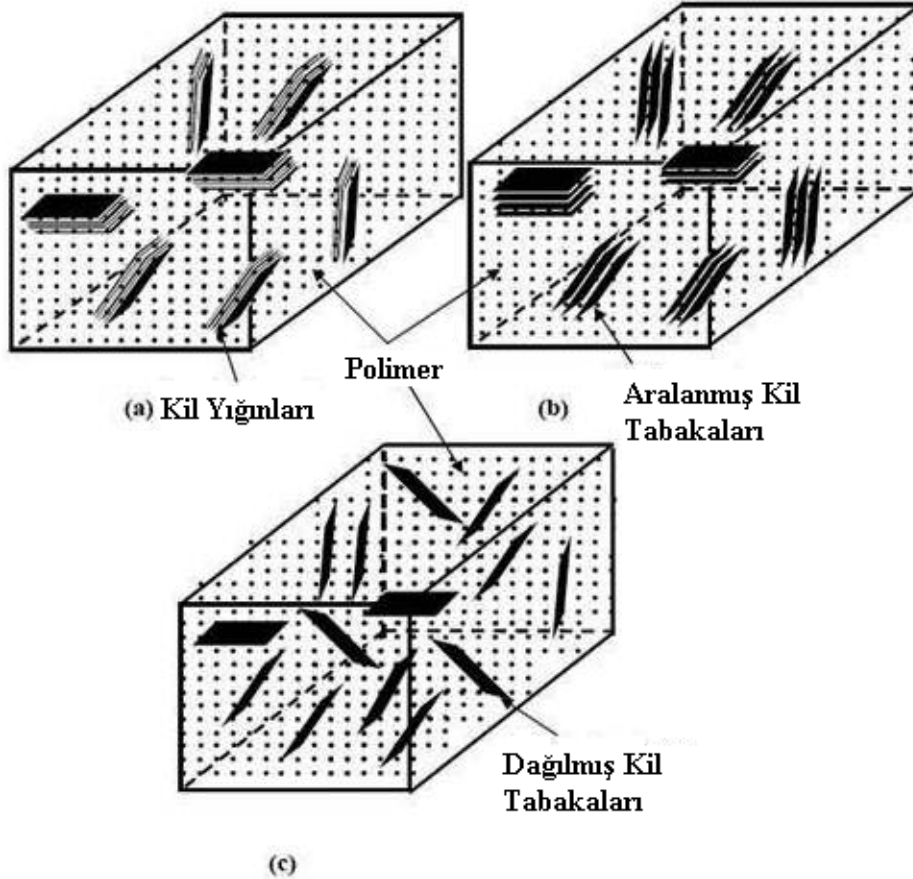
Tablo 2.2. Polimer nanokompozit yapımında kullanılan bazı polimerlerin kimyasal yapıları (Carrado 2003)

Adı	Genel Yapısı
Poliakrilamid (PAAM)	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{—CH}_2\text{—C—} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$
Poliakrilonitril (PACN, Orlon)	$\begin{array}{c} \text{C}\equiv\text{N} \\ \\ \text{—CH}_2\text{—CH—} \end{array}$

Poliamid (naylon)	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \parallel \quad \parallel \quad \quad \\ -\text{C}-\text{R}-\text{C}-\text{N}-\text{R}'-\text{N}- \end{array}$
Polianilin (PAN)	
Polimid (PI)	
Poli (metilmetakrilat) (PMMA, Lusti, Pleksiglas)	
Polistiren (PS)	
Poliüretan	$-\text{C}(\text{O})-\text{O}-\text{R}-\text{O}-\text{C}(\text{O})-\text{N}(\text{H})-\text{R}'-\text{N}(\text{H})-$
Polivinilprolidon (PVP)	
Epoksi reçine (Epon-828)	

2.2.1. Polimer-Kil Nanokompozit Çeşitleri

Polimer nanokompozitlerinin aralanmış tabaka yapısı ve dağılmış tabaka yapısı olmak üzere iki yapı çeşidi vardır. Bu yapılar Şekil 2.1’ de görülmektedir (Bafna 2004).



Şekil 2.1. Kil tabakalarının durumuna göre farklı dağılımların gösterimi a) kil yığınları ve polimerin karışmayan mikro yapısı, b) aralanmış tabakalı yapı (intercalated), c) dağılmış tabakalı yapı (exfoliated) (Bafna 2004).

2.2.2. Aralanmış Tabakalı Nanokompozit Yapı

Polimer zincirlerinin kil tabakaları arasına girdiği ve kil tabakaları arasındaki mesafeyi bir miktar genişlettiği fakat tabakaların kristal düzenlerinin halen tam olarak bozulmadığı nanokompozitlerde gözlenen morfolojik yapı aralanmış tabaka

yapısına sahip nanokompozittir (Durmuş 2006). Düşük geçirgenlik ve dielektrik güçlerinin yanında, non-lineer optik özellikleri ve elektriksel iletkenlikleri bu nano kompozitlerin en önemli özellikleridir. Aralanmış tabakalı nanokompozitler polimerlerin direk araya katılmaları ya da aralanmış tabakalı nanokompozit monomerlerinin ‘eş-anlı’ polimerizasyonu ile sentezlenirler (Rodlert ve Plummer 2003)

Aralanmış nanokompozit yapı gösteren polimer/kil nanokompozitlerinde, kil tabakalarının genişlemesi yanında, organokilin (org-kilin) başlangıçtaki çoklu tabaka yığılmasının, proses şartları ve bileşim etkilerine bağlı olarak genellikle daha küçük yığılımlar (tactoid) halinde parçalandığı gözlenir (Durmuş 2006).

2.2.3. Dağılmış Tabakalı Nanokompozit Yapı

Dağılmış tabakalı nanokompozit yapı (exfoliated), polimer-kil ara yüzey etkileşimlerinin yüksek olduğu ve kil tabakalarının polimer fazı içinde, düzenli yığılma yapısının tamamen bozularak maksimum dağılım gösterdikleri durumdur. Aynı oranda kil içeren polimer/kil nanokompozit bileşimleri için, dağılmış polimer/kil nanokompozitlerinin fiziksel özelliklerindeki iyileşmeler tabakalar arası nanokompozit yapıları olanlara göre daha fazladır (Durmuş 2006).

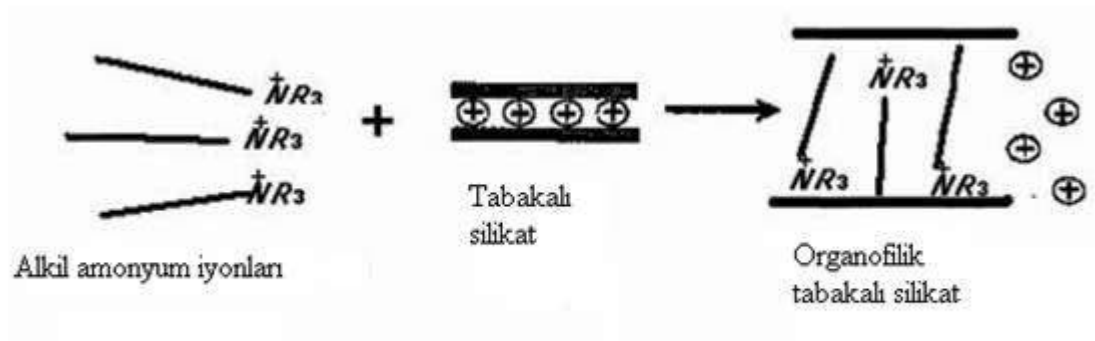
2.3. Kil

Kil minerallerinin bileşimini genellikle alüminyum hidrosilikatlar meydana getirmektedir. Killer, su ile karıştırıldıklarında plastik ve daha fazla su ilavesinde kolloid özellik kazanırlar. Bu özellikleri onların mekanik veya döküm yolu ile kalıcı bir şekil verilmesini sağlar. Pişirilen killer sert ve dayanıklı ürünler meydana getirirler. Sulu veya diğer çözeltilerdeki kolloid killer, bazı organik maddeleri ve katyonları absorbe eder.

Kil tabakaları hidrofilik ve çoğu polimer hidrofobiktir. Polimer ve kilin etkileşimini arttırmak için; kil inorganik katyonların iyon değişimi ile organofilik olana kadar modifiye edilir. Genellikle uzun zincirlerin sonunda bulunan amonyum

kullanılır. Şekil 2.2' de iyon değişimi ile silikat tabakaları arasında amonyum iyonlarının etkileşimi görülmektedir. Bu modifikasyondan sonra kil, organo kil olarak adlandırılır (Zheng 2005).

Alkil amonyum iyonları; tabakalar arasında yerleşmiş iyonlarla çok kolay yer değiştirdikleri için çok yaygın olarak kullanılırlar. Alkil amonyum iyonlarının tabakalar arasında farklı yapılar oluşturması, kil tabakasının yük yoğunluğuna bağlıdır. Amonyum iyonlarının, silikat tabakaları arasında elektrostatik etkileşimi düşürmesinden dolayı polimerin galeri içinde dağılımı kolaylaşır (Özden 2004).



Şekil 2.2. Kilin iyon değişim işlemi (Zheng 2005).

Modifiye kil daha fazla organofiliktir. Yüzey enerjisi daha düşüktür ve organik polimerler için daha uygundur (Zheng 2005).

2.3.1. Sepiyolit

Sepiyolit, sepiyolit-paligorskit grubuna ait, magnezyum hidrosilikatdan ibaret doğal bir kil mineralidir. Tetrahedral ve oktahedral oksit tabakalarının istiflenmesi sonucu oluşan lifsi bir yapısı vardır ve lif boyunca devam eden kanal boşluklarına sahiptir (Rodriguez ve ark 1994).

Sepiyolitın kimyasal formülü, Nagy ve Bradley (1955) modeline göre $\text{Si}_4\text{Mg}_5\text{O}_{30}(\text{OH})_6(\text{H}_2\text{O})_6$; Brauner ve Preisinger (1956) modeline göre ise

$\text{Si}_{12}\text{Mg}_8\text{O}_{30}(\text{OH})_8(\text{H}_2\text{O})_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 'dur. Değişik kimyasal konumlarda olmak üzere, sepiyolit yapılarında mevcut higroskopik su (kaba nem), zeolitik su, bağlı su (kristal suyu), hidroksil suyu (bünye suyu) olmak üzere 4 çeşit su molekülü tanımlanmıştır [Sabah ve Çelik 1998].

Ülkemizdeki bazı lületaşı ve sedimanter sepiyolitler ile dünyadaki; bazı sepiyolitlerin kimyasal bileşimleri Tablo 2.3' de verilmiştir (İrkeç ve ark 1995)

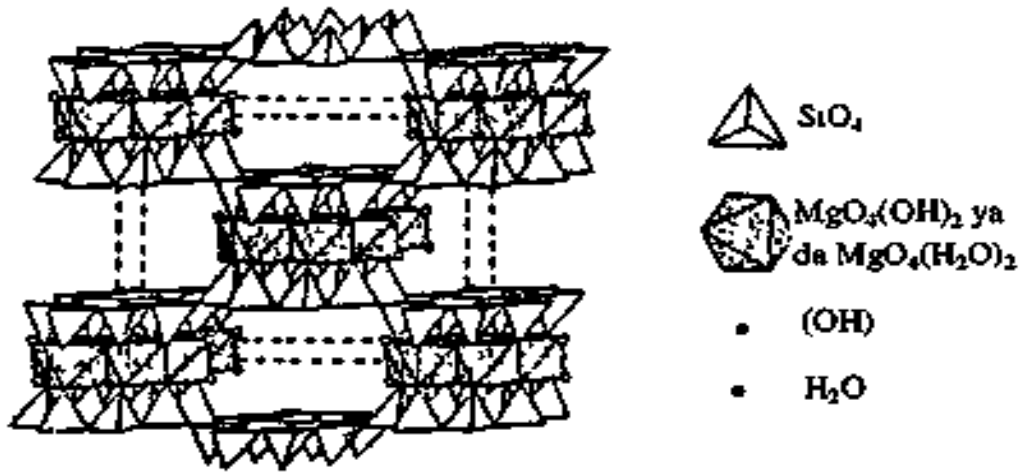
Tablo 2.3. Bazı Lületaşı ve Sepiyolit Çeşitlerinin Kimyasal Bileşimleri

Bileşim (%)	Lületaşı (1)	Lületaşı (2)	Sedimanter sepiyolit (Sanayi sepiyoliti)					Hidrotermal sepiyolit (8)	Alüminyumlu sepiyolit (9)	Lafinit (10)
			(3)	(4)	(5)	(6)	(7)			
SiO_2	52.90	54.02	53.70	55.97	60.60	52.05	52.50	57.00	52.43	50.80
MgO	25.89	23.13	23.31	22.81	22.45	23.74	21.31	10.10	15.08	16.18
Al_2O_3	0.27	0.19	1.15	1.56	1.73	1.03	0.60	8.50	7.05	0.66
Na_2O	-	0.02	0.67	0.12	0.16	-	-	3.70	-	8.16
K_2O	-	0.02	0.61	0.27	0.58	-	-	1.20	-	-
Fe_2O_3	0.36	0.51	0.64	0.77	0.62	2.99	2.99	25Q	2.24	1.05
FeO	-	-	0.02	-	-	0.70	0.70	-	2.40	1.51
MnO	-	-	-	0.02	-	-	-	0.20	-	-
TiO_2	-	-	-	0.12	-	-	-	0.30	-	-
CaO	0.01	0.06	0.03	0.57	0.40	0.51	0.47	2.00	-	0.12
A.Z.	20.55	21.63	19.59	17.75	13.22	21.71	21.27	13.35	19.97	22.60

1. Eskişehir-Sepetçi (Sankaya ve diğ., 1985); 2. Konya-Yunak (Yeniyol ve Öztunalı, 1985); 3. Konya (Stoessel ve Hay, 1978); 4. Eskişehir-Sivrihisar (İflT, 1993); 5. İspanya-Vallecas (Singer ve Galan, 1984); 6. Japonya-Kuzuu District (İmsı ve diğ., 1969); 7. Madagaskar (Caillere, 1951); 8. Bolu-Kıbnscık (İrkeç, 1995); 9. Avustralya- Tintinara (Rogers ve diğ., 1956); 10. USA-Wyoming (Fahey ve diğ., 1960)

Sepiyolit, taban oksijen düzlemlerinden aşağı veya yukarı doğru yönelik şekilde düzenlenmiş Si-O tetrahedronları ile brusit benzeri oktahedral (sekiz yüzlü) tabakalardan oluşan bir kristal yapısına sahiptir. Burada, tepe oksijenleri aynı yönde olan tetrahedronlar, X-eksenine paralel olarak'uzanan şeritleri oluştururken, zıt yönde olanları da oktahedral katyonlara bağlanarak lif doğrultusunda (X-ekseni boyunca) sürekli, dik doğrultuda (Y-ekseni boyunca) sınırlı boyutta 2:1 katmanlı yapı

oluştururlar. Şeritlerin sepiyolitte üç, paligorskitte ise iki piroksen zincirinin birbirine bağlanmasıyla oluşan genişlikleri vardır Şeritler arasındaki dikdörtgen kanallarda, Ca ve Mg iyonları ile değişen miktarlarda zeolitik su bulunur. Yapı formülünde $(OH)_2$ olarak gösterilen su molekülleri ise şerit kenarlarındaki oktahedral Mg'a koordine olurlar.



Şekil 2.3. Sepiyolit kristalinin şematik görünüşü (Jones ve Galan 1988)

Kaygan görünümlü, ince taneli, toprağımsı bir yapıya sahip tabakalı Sepiyolit, genellikle beyaz, krem, gri veya pembe renkli olabilmektedir; organik madde içeriğine bağlı olarak, Sivrihisar güneyi Neojen havzasındaki bazı türlerde olduğu gibi, koyu kahverengi ve siyahımsı da olabilir. Ampandrandawa (Madagaskar) ve Çin Sepiyolitleri gibi bazı uzun lifsi formlar ise krizotil benzeri beyaz ve açık sarı renklidir. Sedımanter oluşumlu, uzun lif demetleri şeklinde bulunan β -Sepiyolit (tabakalı sepiyolit) lif uzunluğu 100 Å-3 ile 5µm, genişliği 100-300 Å ve kalınlığı 50-100 Å arasında değişebilmektedir. Sepiyolitın sahip olduğu fiziksel özellikler, Tablo 2.4' de topluca verilmiştir.

Tablo 2.4. Tabakalı Sepiyolit (Sanayi Sepiyoliti)
Fiziksel Özellikleri.

YAPI	Lifsi, toprağımsı
GÖRÜNÜM	Kaygan
RENK	Beyaz, krem, kahverengi, gri veya pembe, açık sarı
LİF BOYUTLARI	
Uzunluk	100 Å-3 ile 5 (im
Genişlik	100-300 Å
Kalınlık	50-100 Å
GÖZENEK BOYUTLARI	
Mikropor çapı	15
Mezopor yarıçapı	15-45
YOĞUNLUK	2-2.5 g/cm ³
SERTLİK (Mohs'a göre)	2-2.5
KIRILMA İNDEKSİ	1.50
KURUMA SICAKLIĞI	40 ° C
ERİME SICAKLIĞI	1400-1450 ° C

Kil minerallerinin iç yapıları ve kimyasal bileşimleri baz alınarak yapılan sınıflamaya göre Sepiyolit, kristalin killerin zincir yapılı olan grubuna aittir. Zincir yapısına sahip minerallerin kristal yapılarında üç tür aktif soğurma merkezi mevcuttur (Serratos 1978). Bunlar:

- Tetrahedral silika tabakasındaki oksijen atomları. Bu minerallerin tetrahedral tabakalarındaki düşük izomorf değişim derecelerinden dolayı oksijen atomları zayıf elektron taşıyıcısıdır ve bunların adsorbe türlerle etkileşimi de zayıf olacaktır.

- Yapıdaki zincirlerin kenarları da magnezyum iyonları ile koordine olmuş su molekülleri (her Mg^{+2} iyonu için iki H_2O -molekülü). Bunlar, sorplanan türlerle hidrojen bağları oluşturabilir.
- Lif eksenini boyunca uzanan Si-OH gruplarıdır.

Bunlar tetrahedral tabakanın dış yüzeylerinde Si-O-Si bağlarının kırılması sonucu oluşurlar. Söz konusu kırılmadan doğan artık yük, bir proton veya bir hidroksil molekülü ile bağlanarak yükünü nötralleştirir. Bu gruplar, lif eksenini boyunca 5 Å aralıklarla dizilim gösterir ve bunların sıklığı, kristalin doğal yapısı ile liflerin boyutları ile ilişkilidir. Bu Si-OH grupları, sepiyolit dış yüzeyinde adsorplanan moleküllerle etkileşime girebilir ve belirli organik reaktifler ile kovalent bağ oluşturma yeteneğine sahiptir. Sepiyolit kendine has yapısı itibariyle son derece yüksek bir sorpsiyon özelliğine sahiptir ve kendi ağırlığının 200-250 kah kadar su tutabilir. 300°C'ın üzerine ısıtıldığında, yapısal değişikliklere ve gözeneklerin tahrip olmasına bağlı olarak, sorpsiyon kapasitesi azalır; Sepiyolit genleşme özelliği yoktur.

Zeolitik su, yapısal zincirlerin kenarlarında magnezyum iyonlarına koordine olmuş su molekülleri ile hidrojen bağları oluşturur. Koordinasyon ve Zeolitik su molekülleri, yüksek polariteli küçük moleküller ile yer değiştirebilir. Örneğin kısa zincirli primer alkoller, kanalların içine yayılarak Zeolitik su moleküllerinin ve hatta koordinasyon suyu moleküllerinin yerini alabilirler.

Daha fazla zincir uzunluğuna sahip alkollerde ise, sadece dış yüzeylerdeki açık kanallarda Zeolitik su ve koordinasyon suyu molekülleri ile yer değiştirilebilir. Yine katyonik reaktifler grubuna giren uzun hidrokarbon zincirine sahip amin türü organik maddelerle yapılan adsorpsiyon çalışmaları, amin moleküllerinin sadece sepiyolit dış yüzeylerinde tutunmayıp aynı zamanda kanal boşluklarına da yerleştiğini ve adsorpsiyon olayının, primer aminlerde, amin moleküllerinin oktahedral tabakada yer alan bağlı ve Zeolitik su molekülleri arasında hidrojen bağı oluşturarak (Sabah ve ark 1997) : kuvarterner aminlerde ise Mg^{+2} iyonu ile amonyum iyonu arasındaki iyon değiştirmeden ve Van der Waals güdümlü zincir-zincir etkileşimlerinden kaynaklandığını göstermiştir (Sabah ve Kara 1998; Sabah ve ark 1998)

Sepiyolit, genellikle su ve amonyum gibi polar moleküller ile polar olmayan bileşikleri ve nispeten daha az miktarda metil ve etil alkollerini adsorplayabilmektedir. Ancak, polar olmayan bileşiklerin adsorpsiyonu dış yüzeylerle sınırlı olup tutulan molekülün boyutuna ve şekline bağlıdır. Lineer ve dalı-budaklı parafin zincirlerinin adsorpsiyonu için serbest enerji ve entropi değişimleri üzerine yapılan çalışmalar, bu moleküllerin dış yüzeylerdeki açık kanallara yerleştiğini ortaya koymuştur.

Sepiyolit jel oluşturma özelliğine sahip en önemli kil minerallerinden birisidir. Bunlar diğer killere nazaran nispi olarak düşük konsantrasyonlarda, su veya yüksek-düşük polariteye sahip diğer organik çözücüler ile yüksek viskoziteli ve duraylı süspansiyonlar oluşturabilirler. Sepiyolit, polar olmayan çözücülerle de duraylı süspansiyonlar oluşturabilir; ancak, daha önceden sepiyolitın hidrofil yüzeyinin yüzey aktif bir madde ile değiştirilmesi gereklidir.

Elektron mikroskopunda yapılan incelemelerde, sepiyolitın iğne şeklindeki partiküllerinin aglomera yapıda olduğu ve bunların çalı-ot yığınlarına benzer geniş lif kümeleri oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bu lif yığınları, suda veya yüksek-düşük polariteli diğer çözücülerde kolayca dağılarak sıvıyı bünyelerine hapseder ve bu yolla süspansiyonun viskozitesini artırır. Bu tür sepiyolit süspansiyonları Newton yasasına uymayan (Non-Newtonian) davranış biçimi gösterirler. Bu durum süspansiyonun konsantrasyonu, pH 'sı, çekme gerilimi ve elektrolitin bileşimi gibi birçok parametreye bağlıdır (Alvarez 1984).

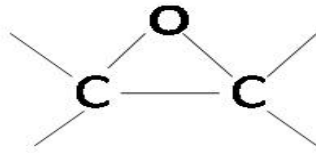
Türkiye'nin ekonomik olarak değerlendirilebilecek sanayi veya tabakalı tip sepiyolit yatakları, Eskişehir, Çanakkale, Bursa, Kütahya ve Isparta'da bulunmaktadır. Eskişehir civarında, Neojen yaşlı göl fasilesinde sedimanter olarak teşekkül eden Sepiyolit zuhurlanna ait mümkün rezerv verileri Tablo 2.5' de gösterilmiştir (Can 1992).

Tablo 2.5. Eskişehir Civarındaki Bazı Bölgelerin Tabakalı Sepiyolit Rezervleri (ton).

BÖLGE	REZERV (mümkün)
Yörükçayır	4.680.000
Kereztepe	3.200.000
Çerkezkireç	32.000.000
Söğütlük	16.800.000
TOPLAM	56.680.000

2.4. Epoksi Reçinesi

Epoksi reçineleri adını yapısında bulunan epoksi fonksiyonel gruplarından almıştır (Şekil 2.5). Epoksi reçinelerinin her bir molekülünde bir veya daha fazla epoksi grubu vardır. Epoksi reçineleri Şekil 2.4.'de görüldüğü gibi oksijen bağlarına sahip eteri yapısında bulundurulur. Ticari epoksi reçineleri alifatik, sikloalifatik veya aromatik arka bağlar içerir (Durmuş 2006).



Şekil 2.4. Epoksi fonksiyonel grubu

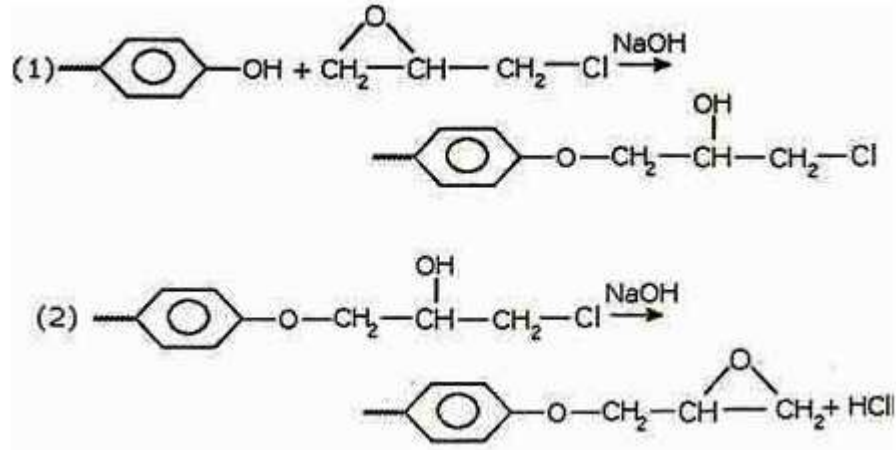
Epoksi reçinesi ilk olarak 1930 yılında sentezlenmiş ve birçok endüstriyel uygulamalar için kullanılmıştır. Bu uygulama alanları; yapı malzemeleri, kaplamalar, kompozit malzemeler, havacılık, laminantlar, yapıştırıcılardır (Vaia ve ark 1995).

Epoksi reçineler, diğer polimer matrislere göre pahalı olmasına rağmen, kompozitler için en çok tercih edilen polimer matristir. Epoksilerin en çok kullanılan polimer matris olmasının başlıca sebepleri,

- Çekme ve darbe dayanımları oldukça yüksektir.

- Aşınmaya karşı çok dayanıklıdır.
- Yüksek sıcaklıkta iyi mekanik ve fiziksel performans.
- Hangi düzgünlük ve dokuda olursa olsun, herhangi bir yüzey yapıştırabilir.
- Oda sıcaklığında katılaşabilirler.
- Düşük viskozite ve düşük akış hızı.
- Kürleşme süresince uçuculuğunun düşük olmasıdır.
- Yüksek elektriksel direnç.
- Yüksek kimyasal direnç (Kaw 1997).

Epoksilerin çapraz bağlanma sırasında uçucu madde oluşmaz, çapraz bağlanma sonrası büzülme oranları da (%1-5) düşüktür. Ancak fiyatları yüksektir ve pişirme zamanları uzundur. Pişirme zamanını azaltmak amacıyla hızlandırıcılar kullanılarak çapraz bağlanma tepkimeleri hızlandırılır. Kullanım sıcaklıkları polimer özelliklerine bağlı olarak 150°C ye çıkar (Velde 1992). Epoksiler, epoksi gruplarının kendi aralarında homopolimerizasyonu veya anhidrid, amin, novalak gibi maddelerle reaksiyona girmesiyle elde edilirler. En yaygın olarak kullanılan epoksi reçineleri alkali katalizör eşliğinde epiklorhidrin ile bisfenol-A'nın reaksiyonu ile elde edilir (Şekil 2.5):



Şekil 2.5. Diglisericid eter bisfenol-A (DGEBA)'nın kimyasal yapısı
(Lee ve Neville K 1967).

Reçinelerin üstün performans karakterlerinin bir kısmı bisfenol ile (dayanıklılık, sertlik ve yükseltilmiş ısıl performans), eter bağları ile (kimyasal

dayanım), hidroksil ve epoksi grupları ile (yapışkan özellikler ve serbestlik değerleri ya da çok değişik kimyasal sertleştirici ile tepkimeye girebilme) devir edilir (Lee ve Neville 1967).

2.4.1. Kürleştirici

Epoksi reçineleri kolaylıkla sıvı halden sert termoset katı hale geçerek hal değiştirebilirler. Bu sertleşme kimyasal bir katkının (kürleştirici) eklenmesi ile gerçekleşir (Lee ve Neville 1967). Reçineler aşağıda verilen üç reaksiyon sonucunda kürleşerek termoset bir yapı oluşturur:

1. Epoksi gruplarının birbirlerine direkt olarak bağlanması.
2. Epoksi gruplarının aromatik veya alifatik hidroksillerle bağlanması.
3. Kürleştiriciyle çapraz bağlanma çeşitli radikal gruplar arasında gerçekleşir.

Uzun yıllardan beri yapılan çalışmalar sonucunda epoksi reçineleri için çok çeşitli kürleştiriciler geliştirilmiştir. Kürleştirici seçimi de en az reçine kadar önem taşımaktadır. Reçine sistemi için seçilen kürleştirici ne kadar uygun olursa oluşan ürün performansı da o kadar iyi olur.

Kürleştiricileri iki grup altında toplayabiliriz. Bunlar katalitik kürleştiriciler ve ko-reaktif kürleştiricilerdir.

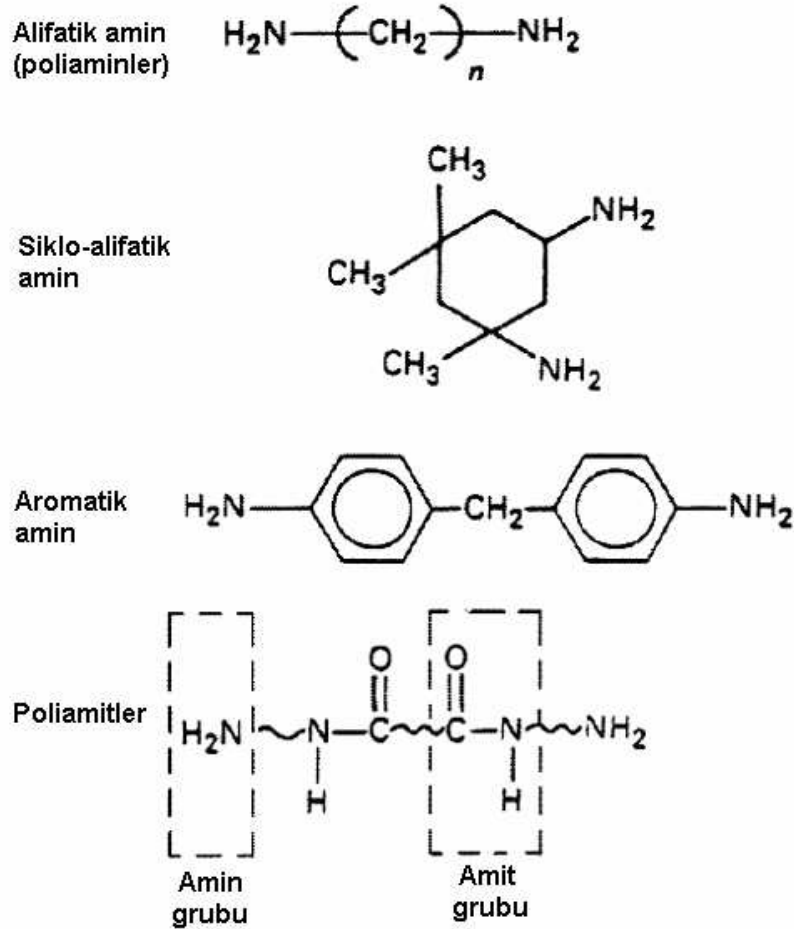
Katalitik kürleştirici

Katyonik ve anyonik katalitik kürleştiriciler kürleşme prosesi sırasında Levis asit ya da bazın kürleşmesiyle reçinenin homopolimerizasyonu baslar. Bu tip kürleştiriciler yardımıyla malzemenin elektriksel ve fiziksel özellikleri iyileştirilir. Katalitik kürleştiriciler oda sıcaklığında uzun, yüksek sıcaklıklarda ise daha kısa kürleşme zamanı sağlarlar (Lee ve Neville 1967).

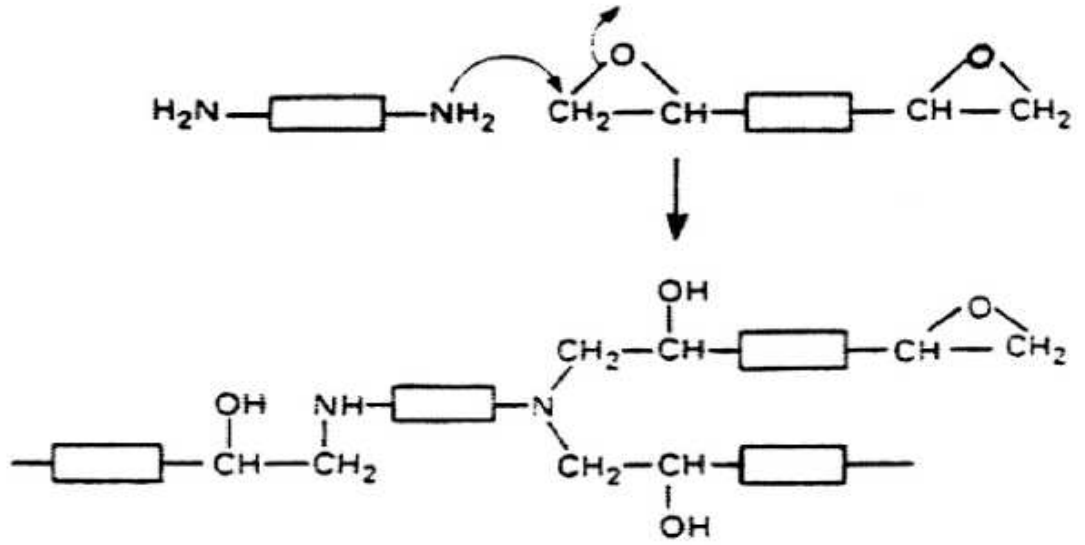
Ko-reaktif kürleştiriciler

Polifonksiyonel ayıraç olan ko-reaktif kürleştiriciler, epoksi reçineleri içinde stokiyometrik miktarlarda kullanılır ve aktif hidrojen atomlarını yakalarlar. Poliaminler, poliamidler, polifenoller, polikarboksilatlar ve anhidritler önemli ko-reaktif kürleştiricilerdir. Poliaminler alifatik, aromatik, sikloalifatik ve heterosiklik gruplar olmak üzere geniş bir kürleştirici sınıfına sahiptir (Othmer 1994).

Genel kullanımlarda en sık kullanılan epoksi kürleştiricileri Şekil 2.6’da gösterilen alifatik, siklo-alifatik, aromatik aminler ve poliaminlerden oluşmaktadır. Birçok amin için, çapraz bağlanma reaksiyonu Şekil 2.7’deki basitleştirilmiş reaksiyon üzerinden yürür. Buna göre, çapraz bağlı yapının dallanmış noktalarını vermek için her birincil amin grubu iki epoksi grubuyla reaksiyona girer.



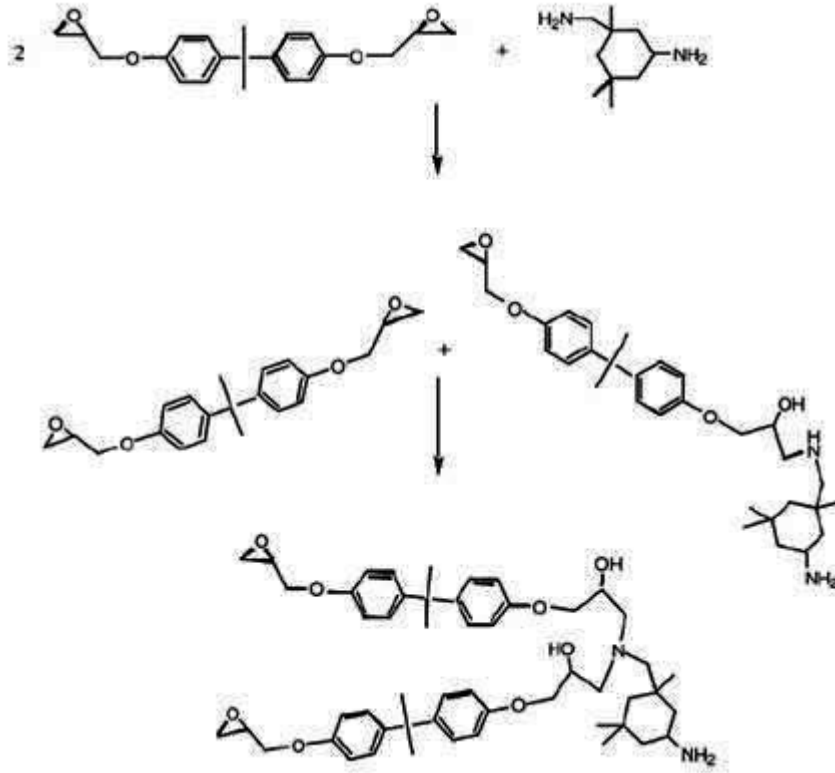
Şekil 2.6. Epoksi reçine kürleştiricileri



Şekil 2.7. Epoksi reçinelerin amin çapraz bağlanması

Şekil 2.8.'de DGEBA epoksi reçinesinin Şekil 2.6'da yapısı gösterilen sikloalifatik aminle (izophoronediamine (IPDA)) kürleşme reaksiyonu seması verilmiştir. Birincil amin epoksi halkasıyla reaksiyona girer, halkayı açar ve reaksiyonu katalizleyen hidroksil grubu oluşur, bir başka epoksi halkasıyla reaksiyona girmek için ikincil amin hazırdır ve böylece çapraz bağlar oluşturulur.

Bu çalışmada sertleştirici olarak sikloalifatik amin kullanılmıştır. Sikloalifatik aminler oda sıcaklığında hızlıca sertleşir fakat oda sıcaklığında kürleşmelerini tamamlamaları pek mümkün değildir. Jelleşen malzemeler sert görünürler ve yaklaşık Tg değerleri 55 °C'dır. Fakat çok kolay kırılır ve kürleşmeleri %60'dan daha azdır. Bu tip sertleştiriciler için önerilen kürleşme sıcaklıkları ve zamanları yaklaşık olarak şöyledir; 30 dakika 70-90 °C daha sonrada 2-3 saat 150-170 °C. Sikloalifatik amin sertleştiriciler malzemeye çok iyi elektriksel, kimyasal ve mekanik özellikler sağlar.



Şekil 2.8. DGEBA'nın siklo-alifatik aminle kürleşme reaksiyonu
(Kim 2004)

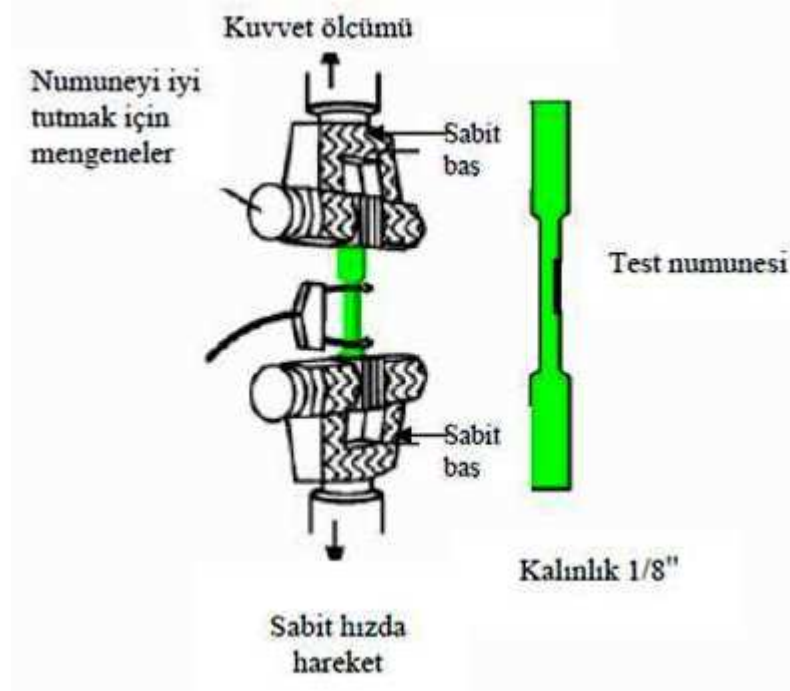
2.5. Kompozit Karakterizasyonu

2.5.1 Mekanik testler

Mekanik testler örneğin sabit oranda gerilme, çarpma, sıkışma veya kopmaya maruz kaldığında kuvvetin tepkisini ölçmek için kullanılır. Mekanik testler polimerlerin mekanik özelliklerinin karakterizasyonunun tespitinde çok önemlidir (Austin 2004).

Çekme testi

Gerilme testi, numunenin kopması için gereken kuvveti ve numunenin kopma noktasındaki uzunluğunu ölçmek için uygulanır. Bu metotta kullanılan numune biçimi Şekil 2.9' da görüldüğü gibi dikdörtgen veya kaşık numunesi şeklindedir (Işık 2005)



Şekil 2.9. Çekme (tensile) numunesi ve gerilme test yöntemi (Işık 2005).

Numunenin uçları, test makinesinin mengelerine (ekstansiyometre) sıkıştırılır ve bilinen bir kuvvet uygulanarak mengeler ayrılır. Mengenelerden birisine kuvvet uygulayarak numune yukarıya doğru çekilir. Numunede önce uzama ve daha sonrada kopma meydana gelir. Çekme mekanizması Şekil 2.9’ da görülmektedir. Çekme testi, gerilme modüllerini belirlemede kullanılan gerilme uzama (stress- strain) diyagramını verir. Gerilme uzama (stress-strain) testleri yalnız modülleri ve malzemenin direncini göstermekle kalmaz, ayrıca malzemenin kırılmadan önce absorpladığı enerjiyi yani dayanıklılığı (toughness) da gösterir (Işık 2005).

Çekme gerilmesi (tensile stress), σ birim kesit alana düşen çekme (tensile) kuvvetidir ve eşitlik (2.1) kullanılarak hesaplanır, çekme uzaması (tensile strain), ϵ numunedeki uzama miktarının, numunenin başlangıç uzunluğuna oranıdır ve (2.2) eşitliği ile hesaplanır (Işık 2005).

$$\sigma = F/A_0 \quad (2.1)$$

$$\epsilon = \Delta L/L_0 \quad (2.2)$$

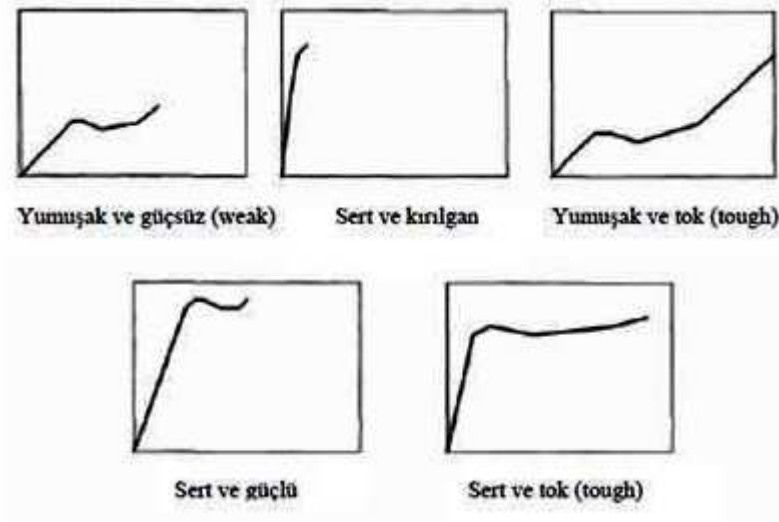
Burada, F - kopmanın gerçekleştiği uzamada uygulanmış olan kuvvet değeridir ve birimi Newton (N)'dur. A_0 - kesit alan ölçüsüdür, birimi mm^2 'dir. ΔL - uzunluk değişimi (mm), L_0 - numunenin başlangıç uzunluğudur (mm) (Işık 2005).

Maksimum çekme dayanımı (strenght), σ_m çekme testinde malzemenin kırılmadan önce kaydedilen gerilme direncidir tensile. Kopma anında maksimum gerilme (stress) meydana gelir (Işık 2005).

Gerilme-uzama (stress-strain) eğrisinde, (2.3) eşitliğinden hesaplanan gerilme (stress),- uzama (strain) oranı sertliğin ölçüsünü verir ve çekme (tensile) modülü olarak adlandırılır (Işık 2005).

$$E = \sigma/\epsilon \quad (2.3)$$

Çekme (tensile) modülleri ve uzama değerleri gerilme uzama (stress-strain) diyagramları kullanılarak belirlenir. Şekil 2.10'da bazı polimerik malzemelerin gerilme-uzama (stressstrain) eğrilerine göre özellikleri görülmektedir (Işık 2005).



Şekil 2.10. Bazı polimerik malzemelerin gerilme-uzama (stress-strain) eğrileri (Işık 2005).

2.5.2. Yüzey karakterizasyonu

Kimyanın, malzeme biliminin, jeoloji ve biyolojinin birçok çalışma alanında katı yüzeylerin fiziksel niteliği hakkında ayrıntılı bilgi sağlamak için yüzey karakterizasyonunda önemli bir teknik olarak kullanılan optik mikroskoptur. Optik mikroskopinin ayırıcılığı ışık dalga boyuna kırınımın etkisiyle sınırlıdır.

Taramalı elektron mikroskopi (SEM) yüzey karakterizasyonunda kullanılan en önemli tekniklerden biridir (Callister 1997).

Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Bazı yapı elementleri çok ince veya çok küçük oldukları için bunları optik mikroskobu kullanarak incelemek çok zordur. Böyle durumlarda çok yüksek büyütme kabiliyetine sahip olan elektron mikroskobu kullanılır. SEM analizinde, numune yüzeyi elektron ışınına tabi tutularak taranır ve toplanan elektron ışını yansıtılır, daha sonra aynı tarama oranında katot ışın tüpünün üstünde görüntülenir. Ekrandaki görüntü numunenin yüzey özelliklerini gösterir. Yüzey elektriksel iletken olmalıdır. Çünkü engellenmemiş veya yavaşlatılmamış bir şekilde toprağa akan elektronlar, yük birikimi nedeniyle oluşan gerçek olmayan yapay verileri en aza indirir. Ayrıca, elektrikçe iyi iletken numuneler genellikle ısıyı iyi ilettilerinden ısısal bozunma olasılığı en azdır. İletken olmayan malzemelerde ise numune yüzeyi tozlaşma veya vakum buharlaştırma uygulanarak ince bir metalik film tabakasıyla kaplanır. Kaplama işlemlerinde dikkat edilecek nokta, aşırı kalın kaplamanın yüzey ayrıntılarını örteceğidir. Bu nedenle optimum bir kalınlığın seçilmesi gerekir. SEM de mümkün olan büyütme aralık çapı 10-50000 arasındadır dönüştürüleceği bir bilgisayar sisteminde toplanır (Callister 1997).

Taramalı elektron mikroskop, katı yüzeyler hakkında morfolojik ve yüzeysel bilgi sağlar. Taramalı elektron mikroskop özellikle kompozit malzemelerde kırılma yüzeylerinin incelenmesinde kullanılarak; takviye sistemi ile matris sistemi ara yüzeyi ve aralarındaki etkileşim, matrisin takviye sistemini ıslatabilirliği ve matris içindeki tanecik dağılımı hakkında bilgi verir (Callister 1997).

3. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Literatür araştırmalarından, çeşitli kompozitlerin eldesinde matris olarak kullanılan epoksi reçinenin diğer polimer matrislere göre daha önemli olduğu görülmektedir. Bu kompozitlerde epoksi reçine değişik takviye elemanları ile modifiye edilmişlerdir. Takviye elemanı olarak çoğunlukla montmorillonit, silika türü killer ve grafit kullanılmıştır. Sepiyolitle ise çok kısıtlı sayıda çalışma yapılmıştır. Tüm çalışmalarda hazır olarak temin edilen ticari epoksi reçine kullanıldığı görülmektedir.

Nohales ve ark (2006) çeşitli kürleştiriciler (alifatik ve sikloalifatik daimin) kullanarak sepiyolit/epoksi reçine DGEBA kompozitlerini hazırlamış, morfolojik, esneklik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Kompozitlerin yüzey karakterizasyonu SEM ve TEM ile incelenmiştir. Sikloalifatik daiminle kürleştirilmiş kompozitlerin termal kararlılığı ve mekanik özellikleri daha yüksek olmuştur.

Franchini ve ark (2009) DGEBA epoksi reçinesi/modifiye ve modifiye edilmemiş sepiyolit nanokompozitlerinin mekanik ve morfolojik özelliklerini incelemişlerdir. Sepiyolit, aminosilan ve glisidilsilanla modifiye edilmiştir. Önce %1,2; 4,2 ve 8,4 oranında modifiye edilmemiş kille kompozitler hazırlanarak mekanik özellikleri incelenmiş, en iyi kil oranı olarak %8,4 belirlenmiştir. Bu oran modifiye sepiyolite de uygulanmış, mekanik özelliklerde en iyi sonuç glisidilsilanla modifiye sepiyolitle elde edilmiştir.

D.E.R. 354 ticari epoksi reçinesinin karbon siyahı (CB) ve montmorillonitle modifiye edilerek takviye elemanlarının reçinenin elektriksel ve mekanik özelliklerine etkisi Etika ve ark (2009) tarafından araştırılmıştır. Kompozitlerde CB kütlece %2,5; kil ise %0-5 oranında kullanılmıştır. Kompozitlerin SEM analizinden, CB agregatlarının epoksi reçinede düzenli bir dağılımı ve kendi aralarında uyum sağladığı görülmüştür. Fakat eşit oranda karbon siyahı ve kil kullanılan kompozitte bu uyum görülmemiştir. %2,5 karbon CB ve %0,05 kil içeren kompozitin elektrik geçirgenliğinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kil oranının sonraki artışı bu

özelliği kötü yönde etkilemiştir. Saf epoksi reçinenin mekanik özellikleri kompozitlerle karşılaştırıldığında, CB reçinenin mekanik özelliklerini arttırmıştır.

Diğer bir çalışmada SC-15 ticari epoksi reçine/montmorillonit kompoziti Zhou ve ark (2007) tarafından hazırlanmış, termal ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Kompozitlerde kil %0-4 oranında epoksi reçineye karıştırılmıştır. Kil oranının %2'ye kadar artırılması, storage modül değerinin %58 artmasına neden olmuştur. Kil miktarının sonraki artışı bu değeri azalttığından, optimum kil oranı %2 olarak belirlenerek kompozit dayanıklılığında da %27 artış gözlemlenmiştir. Bu kil orandaki kompozitin termal kararlılığı da saf epoksi reçineye göre yüksek olmuştur. Kompozitlerin yüzey karakterizasyonunda SEM kullanılmıştır.

Lan ve Pinnavaia (1994) yaptıkları çalışmada Tg (camsı geçiş sıcaklığı)' ye dayanan bisfenol A'nın diglisidil eteri epoksi sistemi uygun modifiye organik silikat eklendiğinde polimerin önemli gelişmeler gösterdiğini kanıtlamışlardır. Dökülen nanokompozitler derinlemesine incelendiğinde iç galeri yüzeylerinin iki amaç için kullanıldığı görülmüştür. Birinci amaç bütün silikat katmanlı nanokompozitlerde geçerli olan iç galeri bölgesini organofilik hale getirme, dolayısıyla katmanlı silikalar arasındaki matris malzemenin araya sokma işlemine izin vermesini sağlamaktır. Bu yüzeyin ikinci fonksiyonu da amonyum iyonları ile yüzeyin epoksi polimerizasyon reaksiyonunda katalizör gibi davranmasını sağlamak olmuştur.

Kelly ve ark (1994) yaptıkları çalışmada, epoksi reçinesi olarak bisfenol A'nın diglisidil eteri ile az miktarda epoksifilik montmorillonitler kullanmışlardır. Bu montmorillonitler üç tip organik modifiye edicilerle modifiye edilmiştir. Bu çalışmada epoksifilik montmorillonit/epoksi bileşiklerinin saf epoksiye göre yüksek değerlerde camsı geçiş sıcaklığına (Tg), eğilme modülüne ve eğilme dayanımına sahip olduğunu göstermişlerdir.

Zerda ve Lesser (2001) yaptıkları çalışmada, intercalated nanokompozit sentezi yapmışlardır. Bunu hazırlamak için modifiye edilmiş montmorillonit tipi kil ve epoksi kullanılmıştır. Camsı epoksi alifatik diamin ile kür edilmiştir. Nanokompozitlerde Young's modül değerinin geliştiği gözlenmiştir, fakat en son dayanımda azalma ve gerilmede de başarısızlık tespit edilmiştir. Bu çalışmada makroskopik sıkışma davranışlarının değişmediği gösterilmiştir. Modifiye edilmemiş

reçineye göre sertlik değerinin %200 den fazla arttığı gözlenmiştir. Malzemenin yüzey karakterizasyonu için SEM ve AFM kullanılmıştır.

Kowalczyk ve Spychaj (2008) Epidian-6, Epidian-6011, Epidian-664 ticari epoksi reçinelerinin modifiye edilmiş montmorillonitle kompozitlerini kaplama olarak kullanarak özelliklerini incelemişlerdir. Kompozitlerde modifiye kil %2,5 ve %5 oranında kullanılmıştır. Araştırma sonucu kilin, kaplamanın sertlik, adhezyon gibi özelliklerini iyi yönde etkilediği belirlenmiştir. Kil etkisi, kil miktarına ve türüne bağlı olarak değişmektedir.

Bongiovanni ve ark (2008) da epoksi reçine /kil kompozitinin kaplama özelliklerini araştırmışlardır. UVR 6110 epoksi reçinesi %5 oranında çeşitli modifiye montmorillonitlerle UV-ışınların etkisiyle %2 fotobaşlatıcı ile kürleştirilmiştir. Kil içeren epoksi reçinenin halka açılımı ile polimerizasyon kinetiğini incelemişlerdir.

Liu ve ark (2005) epoksi soya yağı/montmorillonit nanokompozitlerini hazırlayarak karakterizasyonunu yapmış ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Kürleştirici olarak trietilentetramin kullanılmıştır. Epoksi matrise kil %0, 5, 8 ve 10 oranında katılmıştır. Kompozitlerin TEM analizi, kilin matriste topaklanmadan iyi dağıldığını göstermiştir. Kompozitlerin T_g sıcaklık değerleri saf epoksi reçineye göre yüksek olmuş, en yüksek değer ise %5 kil oranında görülmüştür. Kompozitlerde kil kullanımı epoksi reçinenin gerilim direnci, uzama %'si ve Young modülü değerlerini de arttırmış, en iyi sonuç %8 kil oranında elde edilmiştir.

Ho ve ark (2006) Araldite GY 251 epoksi reçinesine %0-8 oranında nanokil katarak kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Kompozitlerin çekme ve sertlik testleri yapılmış, yüzey karakterizasyonu için SEM uygulanmıştır. Mekanik testlerde en iyi sonuç %5 kil oranında görülmüştür.

DGEBA epoksi reçine/nanokil reçinesinin mekanik özelliklerini ise Qi ve ark (2006) araştırmışlardır. Kompozitlerde %2, 5 ve 10 oranında kil kullanılmıştır. Kil, epoksi reçinede 80-90°C'da 2 saat sürede mekanik karıştırılarak dağıtılmıştır. Reçine dietiltoluen diaminle kürleştirilmiştir. Kompozitlerin çekme testleri yapılmış, gerilim modülünün kil oranına bağlı olarak arttığı görülmüş, en iyi kil oranı %5 olarak belirlenmiştir.

Liu ve Erhan (2008) epoksi soya yağı bazlı montmorillonit içeren kompozit hazırlamışlardır. Kompozitte 1,1,1-tris(*p*-hidroksi fenil)etan triglisidil eteri (THPE-

GE) ko-matris olarak, kürleştirici olarak trietilentetramin kullanılmıştır. Kilin matriste dağılımı XRD ve TEM ile incelenmiştir. Kompozitlere mekanik testler uygulanmıştır. Epoksi matrise kil %0, 5, 8 ve 10 oranında katılmıştır. Kompozitlerin T_g sıcaklık değerleri saf epoksi reçineye göre yüksek olmuş, en yüksek değer ise %5 kil oranında görülmüştür. Kompozitlerde kil kullanımı epoksi reçinenin gerilim direnci, uzama %'si ve Young modülü değerlerini de arttırmış, en iyi sonuç %8 kil oranında elde edilmiştir.

Gupta ve Ricci (2008) ise D.E.R. 334 epoksi reçinesinde silika aerojelini kullanarak kompozit hazırlamış, özelliğini incelemişlerdir. Kompozitlerde aerojel %20 ve %30 oranında kullanılmıştır. Kompozitlerin yoğunlukları saf polimere göre daha düşük, sıkıştırma modülü ise %30 oranında daha yüksek olmuştur. Fakat yüksek yoğunluklu kompozitin sıkıştırma dayanımı daha düşüktür. Kompozitlerin SEM görüntülerinden, aerojel partiküllerinin epoksi matris içine çekilerek reçine ile örtülmesi görülmektedir.

Epoksi reçine/grafit kompozitleri Jana ve Zhong (2009) tarafından hazırlanmıştır. Kompozitlerde DGEBA epoksi reçinesine grafit %0, 0.5, 1, 2 ve 5 oranında katılmıştır. Kompozitlerin mekanik özellikleri incelenmiş, saf epoksi reçineye göre grafitin %13 oranında esneklik modülünü ve %43 oranında esneklik dayanımını arttırdığı görülmüştür. En iyi sonuçlar %5 grafit oranında elde edilmiştir. Kompozitlerin T_g değerleri 125-150°C aralığında değişmiştir. En yüksek T_g değeri %1 grafit oranı için tespit edilmiştir.

Diğer bir çalışmada da DGEBA epoksi reçinesi/grafit kompozitleri hazırlanarak mekanik, termal, yapı ve vizkoelastik özellikleri incelenmiştir (Yasmin ve Daniel 2004). Reçine sertleştiricisi olarak metil tetrahidroftalik anhidrit kullanılmıştır. Reçineye grafit %2,5-5 oranında katılmıştır. Kompozitler yüksek gerilim dayanımı, Poisson oranı ve elastiklik modülüne sahip olup grafit miktarına bağlı olarak bu değerler artmaktadır. Mekanik özelliklerde en yüksek değerler %2,5 grafit oranında görülmüştür. Grafit, saf epoksi reçineye göre kompozitlerin T_g değerinin yükselmesine de neden olmuştur. Kompozitlerin termal dayanıklılığı TGA analizi ile tayin edilmiş, grafit, saf epoksi reçinenin ilk bozunma sıcaklığını 360°C'dan 368°C'a yükseltmiştir.

Tarrio-Saavedra ve ark (2008) trimetilolpropanın diglisidil eteri epoksi matrisli kompozit hazırlamada sanayi atığı silika kullanmış, silika miktarının kompozitlerin termal özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Epoksi reçineye silika %0, 10, 20, 30, 40 ve 50 oranında katılmıştır. Kompozitler önce oda sıcaklığında 24 saat, daha sonra 90°C’da 2 saat silikon kalıplarda kürleştirilmiştir. TGA analiz sonuçlarından, silikanın epoksinin termal özelliğini fazla etkemediği görülmüştür.

Chatterjee ve Islam (2008) ise epoksi reçinede takviye elemanı olarak 5-40 nm boyutunda ve %0,5-2 oranında TiO₂ kullanmışlardır. TiO₂ partikülleri matris içinde ultrasonik karıştırmakla dağıtılmıştır. Kompozitlerin termal, mekanik, morfolojik ve vizkoelastik özelliklerini TGA, DMA, TEM kullanarak incelemişlerdir. Kompozitlerin gerilim modülü, esneklik modülü, T_g ve termal dayanıklılığı 5 nm boyutunda ve %1 TiO₂ oranında daha yüksek olmuştur.

Wang ve ark (2008) kompozit hazırlamada D.E.R. 332 epoksi reçinesini, I.30 organofilik kilini ve 4,4'-diaminodifenilsülfon kürleştiricisini kullanmışlardır. Kil, epoksi reçineye kütlece %2,5; 5 ve 7,5 oranında katılmıştır. Karışım önce mekanik olarak 1 saat 80°C’da, daha sonra ultrasonik banyoda 2 saat karıştırılmıştır. Çalışmada kil miktarının epoksi reçine özelliklerine etkisi incelenmiştir. SEM görüntülerinden %5 ve 7 kil oranında daha iyi dağılım olduğu görülmektedir. Tüm kompozitlerin T_g sıcaklıkları saf epoksiden düşük, fakat termal bozunma sıcaklıkları daha yüksek olmuştur.

Zirkonyum fosfanatların sentezi ve karakterizasyonu ile epoksi/zirkonyum fosfanat kompozitlerinin özellikleri Tsai ve ark (2008) tarafından araştırılmıştır. Çift bağa sahip zirkonyum vinilfosfat sentezi için ZrOCl₂ bileşiği vinil fosfonik asitle reaksiyona sokulmuştur. Bileşiğin yapısı IR, ³¹P NMR spektroskopisi ile aydınlatılmıştır. Zirkonyum vinilfosfat, ER-828 reçinesinde %1-10 oranında kullanılmış, kompozitlerin termal özellikleri incelenmiştir. Kompozitlerin T_g değerleri %5 zirkonyum vinilfosfat oranına kadar saf epoksiden yüksek, termal bozunma sıcaklıkları ise düşük olmuştur. Kompozitlerin yanma özellikleri LOI testi ile incelenmiş, saf epoksi reçineye göre daha yüksek LOI değerlerine (daha iyi yanmazlık özelliği) sahip oldukları görülmüştür.

4. MATERİYAL VE METOD

Bu bölümde; epoksi reçine/sepiyolit kompozitinin hazırlanması ve karakterizasyonu sırasında kullanılan kimyasal maddeler, ayrıca bunların özellikleri, deney sistemi ve karakterizasyon testleri anlatılmıştır.

4.1. Kullanılan Kimyasal Malzemeler

4.1.1. Matris sistemi

Çalışmada matris sistemi olarak sentezlenen epoksi toluen oligomeri (ETO) ve ticari epoksi reçine (ER) kullanılmıştır. ETO sentezinde kullanılan kimyasallar Tablo 4.1’ de verilmiştir. Deney süresince ayrıca potasyum hidroksit (KOH), hidroklorik asit (HCl), aseton ve fenolftalein indikatörü vb. kimyasal maddeler kullanılmıştır.

Tablo 4.1. ETO Sentezinde Kullanılan Kimyasalların Özellikleri

Kimyasal	Epiklorhidrin	Toluen	Bor triflorür dietil eteri	Sodyum hidroksit
Ticari Menşei	Merck UN 2023	CHROMASOLV 34866/ SIGMA-ALORICH	Merck UN 2604	Carlo Erba Reagenti
Fiziksel durumu	Sıvı	Sıvı	Sıvı	Katı-Granül
Formülü	C_3H_5ClO	$C_6H_5CH_3$	$BF_3 \cdot O(C_2H_5)_2$	NaOH
Molekül ağırlığı, g/mol	92.53	92.14	141.93	39.997
Yoğunluğu (g/cm^3 , $20^\circ C/4^\circ C$)	1.178-1.182	0.864	1.120-1.130	-

4.1.2. D.E.R 321 Epoksi reçinesi (ER)

D.E.R.-321 – aromatik seyreltici ile modifiye edilmiş bisfenol-A ve epiklorohidrinin reaksiyon ürünü olan epoksi reçinedir. D.E.R 321 epoksi reçinesi

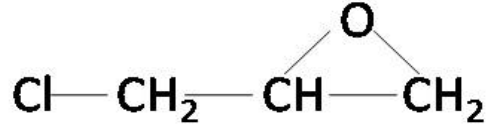
sıcak veya soğuk olarak poliamin, poliamid veya onların türevleri ile kürleştirilebilir. Anhidrit türü kürleştirici kullanıldığında ise yüksek sıcaklık gerekmektedir. Epoksi reçine kompozit yapımında, koruyucu kaplamalar eldesinde, yapıştırıcı olarak kullanılabilir. D.E.R.-321 epoksi reçinesinin özellikleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. D.E.R. 321 epoksi reçinesinin karakteristik özellikleri

Özellikler	Değer
Epoksit ekivalent kütlesi (g/eq)	180-188
Epoksit %’si	22,9-23,9
Epoksi grup içeriği (mmol/kg)	5320-5560
Yoğunluk (g/mL)	1,14 (25°C için)
Parlama noktası (°C)	121

4.1.3. Epiklorhidrin (ECH)

Epiklorhidrin, propilenden sentezlenir ve sentetik gliserin prosesinin ara ürünüdür. Kimyasal yapısı Şekil 4.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Epiklorohidrinin kimyasal yapısı

4.1.4. Kürleştirici (Sertleştirici)

Kürleştirici olarak polietilen poliamin (PEPA) ve Polypox Hardener 043 kullanılmıştır. Polypox Hardener 043 sikloalifatik poliamin olup epoksi reçinelerde kullanılmaktadır. Polypox H 043 ile kürleştirilmiş epoksi kaplamalar yüksek kimyasal ve mekanik özelliklere, UV ışınlarına ve suya karşı dirence sahip olmaktadır.

4.1.5. Polietilen Glikol (PEG)

Polietilen Glikol 400 Merck tarafından temin edilmiş, bazı fiziksel özellikleri Tablo 4.3’ de verilmiştir.

Tablo 4.3. PEG 400’ün karakteristik özellikleri

Özellikler	Değer
Yoğunluk (g/mL)	1.124-1.126
Ortalama moleküler kütle (g/gmol)	267-295
Kütle kimliği (IR)	380-420

4.1.6. Sepiyolit

106 µ elek altı boyutunda sepiyolit kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan sepiyolit, Eskişehir yöresinden Selçuk Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü tarafından temin edilmiştir.

4.2. Deneylerde Kullanılan Cihaz ve Aletler

1. Ultrasonik banyo (Bandelin Sonorex/Electronic RK 100 H/ 0-80 °C) (Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kimya Müh. Bölümü / KONYA)
2. Sertlik Tayin Cihazı (Shore Durometer TH 210) (Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Kimya Müh. Bölümü / KONYA)
3. Çekme-Gerilme Tayin Cihazı (TST-Mares/TS-mxe) (Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Kimya Müh. Bölümü / KONYA)
4. Philips XL30 SFEG marka Taramalı Elektron Mikroskobu (Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü)
5. Vakumlu etüv (Nüve EV 018), etüv (Nüve FN 500) (Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü/ KONYA)
6. Heidolph marka Evaporatör (Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık

Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü/ KONYA)

7. Manyetik Karıştırıcı-Isıtıcı (Yellow Line MSC Basic C-sokslet için) ve (Hot&Stir Model MS 300) (Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü/ KONYA)
8. Mekanik Karıştırıcı (Heidolph Type RZR1) (Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü/ KONYA)
9. Karıştırıcı (Nüve SL 350) (Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü/ KONYA)
10. Analitik terazi (Precisa XB 220 A) (Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü/ KONYA)

Deneylerde kullanılan cam malzemeler: üç boyunlu balon, büret, balon joje, erlen, beher, huni, termometre, baget, pipet, petri kabı, saat camı, havan, -106 μ boyutunda elek, mezür, spatül, damlalık (Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Polimer ve Plastikler Araştırma Laboratuvarı-KONYA).

4.3. Epoksi Toluen Oligomerinin (ETO) Sentezi

Karıştırıcı, geri soğutucu ve termometre ile donatılmış sisteme 276 g toluen (3 mol) ve 18 g (ECH'nin kütlece %2'si) katalizör $\text{BF}_3\text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ konularak, üzerine 2 saat süre ve 40°C'da 92,5 g (1 mol) ECH ilave edilmekle karıştırılmaya devam edildi. Daha sonra reaksiyon karışımı 60°C'a kadar ısıtılarak 6-7 saat sürede karıştırmakla 1,2 mol %40'luk NaOH çözeltisi eklendi. Reaksiyon tamamlandığında oligomer, NaOH ve Cl^- iyonlarından AgNO_3 çözeltisi ile test edilerek sıcak su ile birkaç kez yıkanarak temizlendi, toluen ise vakumlu evaporatörde uzaklaştırıldı. Verim %70 olarak hesaplandı.

Sentezlenen ETO'nun formülü ise Şekil 4.2.'de verilmiştir.



20 gr sepiyolit, 2 L destile suda oda sıcaklığında 24 saat karıştırılarak kolloidal safsızlıklardan arındırıldı. Derişimi 20 g/L tetrametilamonyumkloridden (alkil amonyum iyonu için kullanılır-modifiye edici kimyasal madde) 400 ml sıcak destile sudaki çözeltisi yukarıda hazırlanan Sepiyolit süspansiyonuna damla damla karıştırılarak, eklendi. Karıştırma işlemine oda sıcaklığında 24 saat devam edildi. Daha sonra kil süzülerek destile su ile yıkandı. Yıkama suyu 0.1 N gümüş nitrat ile titre edilerek Cl^- iyonu kontrol edildi ve yıkama suyunda AgCl çökeltisi elde edilmeyinceye kadar yıkama işlemine devam edildi. Çökelti daha sonra 110°C de, vakum altında sabit bir ağırlığa gelene kadar kurutuldu, öğütüldü ve -106μ lik elekten elenerek organosepiyolit elde edildi.

1. PEG'siz kompozit yapımı için %50 ETO, %50 ER'den oluşan matris ve sepiyolit karışımı mekanik karıştırıcıyla 30 dakika karıştırıldı. Kompozit ağırlıkça % 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20 oranlarında sepiyolit içermektedir. Daha sonra hazırlanan bu karışım 2 saat 50°C'de ultrasonik banyoda karıştırıldı. Hazırlanan karışıma 15 dakika vakum uygulandıktan sonra oda sıcaklığında soğutuldu ve karışım kütlesinin %30'u kadar sertleştirici ilave edildi. Bu yöntem hem modifiye edilmemiş sepiyolit için hem de modifiye edilmiş sepiyolit için uygulandı.
2. PEG içeren kompozit yapımı için ise %50 ETO, %50 ER ve % 5 sepiyolit - %30 sertleştirici karışımına PEG ilave edildi. Kullanılan PEG oranları

ağırlıkça % 1, 3 ve 5'dir. Bu yöntem hem modifiye edilmemiş sepiyolit için hem de modifiye edilmiş sepiyolit için uygulandı.

3. Kalıp yüzeyine kalıp ayırıcı uygulandıktan sonra karışım kalıp içine döküldü. Etüvde 50, 60, 70, 80, 100, 110°C'de 1'er saat kürleştirildi ve daha sonra sıcaklık 120°C'a çıkartılarak 3 saat boyunca post-kür işlemine tabi tutuldu. Kompozit hazırlamada ASTM standartlarına uygun kalıplar kullanıldı. Kompozitlerin hazırlanmasında kullanılan oranlar Tablo 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 ve 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.4. (ETO+ER) + Sepiyolit (Modifiye Edilmemiş) + Sertleştirici

Numune No	ETO (%)	ER(%)	Sertleştirici (%)	Sepiyolit (%)
0	50	50	30	0
1	50	50	30	1
2	50	50	30	3
3	50	50	30	5
4	50	50	30	7
5	50	50	30	15
6	50	50	30	20

Tablo 4.5. (ETO+ER) + Sepiyolit (Modifiye Edilmiş) + Sertleştirici

Numune No	ETO (%)	ER(%)	Sertleştirici (%)	Sepiyolit (%)
0	50	50	30	0
1	50	50	30	1
2	50	50	30	3
3	50	50	30	5
4	50	50	30	7

Tablo 4.6. (ETO+ER) + Sepiyolit (Modifiye Edilmemiş) + Sertleştirici + PEG

Numune No	ETO (%)	ER(%)	Sertleştirici (%)	Sepiyolit (%)	PEG (%)
1	50	50	30	5	1
2	50	50	30	5	3
3	50	50	30	5	5

Tablo 4.7. (ETO+ER) + Sepiyolit (Modifiye Edilmiş) + Sertleştirici + PEG

Numune No	ETO (%)	ER(%)	Sertleştirici (%)	Sepiyolit (%)	PEG (%)
1	50	50	30	5	1
2	50	50	30	5	3
3	50	50	30	5	5

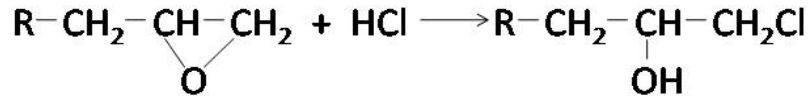
Tablo 4.8. (ETO+ER) + Sepiyolit (Modifiye Edilmiş) + Sertleştirici + PEG

Numune No	ETO (%)	ER(%)	Sertleştirici (%)	Sepiyolit (%)	PEG (%)
1	50	50	30	1	1
2	50	50	30	3	1
3	50	50	30	7	1
4	50	50	30	10	1

Hazırlanan numuneler çekme-gerilme, sertlik tayini gibi mekanik testlere ve yüzey karakterizasyonu için SEM uygulamasına tabi tutuldu.

4.6. Epoksit Grubu Tayini

Epoksit grubunun tayini, polimerin yapısında bulunan epoksit halkasıyla HCl'nin birleştirilmesi esasına dayanır (Şekil 4.3). Eğer polimerin birleşiminde epoksit grubunun yanında asit gurubu da varsa bu metot kullanılmaz.



Şekil 4.3. Epoksit Halkasıyla HCl reaksiyonu

2 adet 250 mL'lik erlene 0.2-0.5 g polimer alındı, üzerine 25 mL çözücü karışımı (60 mL aseton + 1,5 mL derişik HCl; aseton yerine dioksan da kullanılabilir) ilave edilip, 2 saat oda sıcaklığında karıştırıldı. Daha sonra HCl'ün fazlası fenolftalein ortamında 0,1N KOH/H₂O çözeltisi ile pembe renk alana kadar titre edildi (çözücü karışımı kullanılacağı gün hazırlanmalı ve kullanılmadan önce 30 dakika karıştırılmalıdır).

Numunenin dışında bir de kontrol (numunesiz) analiz yapıldı. Epoksit grubunun (E.S.) miktarı % olarak aşağıdaki formül yardımı ile hesaplandı:

$$\%E.S. = \frac{(V_1 - V_2) 0.0043.f.100}{m}$$

V₁: Kontrolün titrasyonu için harcanan 0,1N KOH, mL

V₂: Numunenin titrasyonu için harcanan 0,1N KOH, mL

f: 0,1N KOH çözeltisinin faktörü

m: Numune ağırlığı, g

0,0043: 1 mL 0,1N KOH' e uygun olan epoksit grubunun miktarı

Tablo 4.9. D.E.R 321 Epoksi Reçinesi (ER) Epoksit Grubu Sayısı için veri çizelgesi

Numune	m	V ₁	V ₂	Epoksit Grubu Sayısı
1	0,2618	100,7	87,0	22,90
2	0,2396	100,7	87,7	23,33
Ortalama	-	-	-	23,12

Tablo 4.10. Epoksi Toluen Oligomeri (ETO) Epoksit Grubu Sayısı için veri çizelgesi

Numune	m	V ₁	V ₂	Epoksit Grubu Sayısı
1	0,3690	81,2	73,50	8,97
2	0,3619	81,2	74,27	8,23
Ortalama	-	-	-	8,60

4.7. Ultrasonik Hız Ölçümü

Bütün numunelere ait ultrasonik ölçümler S.Ü. A.K. Eğitim Fakültesi Fizik Anabilim Dalı Ultrases ve Uygulamaları laboratuvarında yapılmıştır. Çalışmada puls-eko yöntemi ile 3,5 MHz (enine) ve 5MHz (boyuna)'lık proplar ile ultrasonik hız ölçümleri yapılmıştır. Puls –eko yöntemi en çok kullanılan yöntem olup, prensibi prop tarafından gönderilen ses dalgalarının malzeme içinde bir süreksizliğe çarptıktan sonra tekrar propa yansması esasına dayanır. Bu çalışmada doğrudan temas tekniği ile ultrasonik hız ölçümü yapılmıştır. Bu tip testte, prop numune ile doğrudan temas halindedir. Sesin proptan numuneye geçişini kolaylaştırmak için numune ile prop arasına bir sıvı (gliserin, gres, ılık ağda veya bal) sürülür.

4.8. Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu

4.8.1. Mekanik karakterizasyon

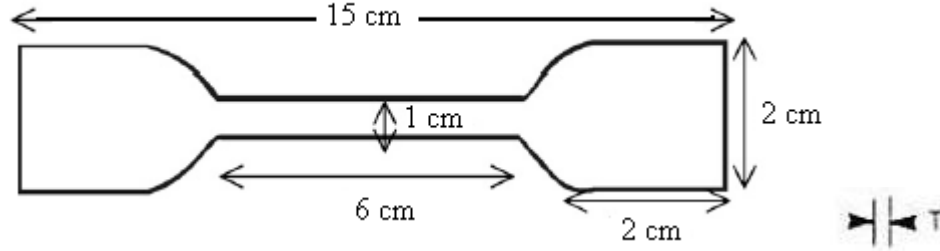
Malzemeye uygulanan mekanik testler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir ve her deney seti için bütün numuneler test edilmiştir.

4.8.1.1 Çekme Testi

Elde edilen kompozitlerin boyutları Şekil 4.4' de gösterilmiştir. Kompozit numunelerinin çekme testi ASTM standardına uygun D 638-01 Plastiklerin Çekme

Özelliklerinin test metoduna göre 5 mm/dk hızla yapıldı.

Test sonucunda çekme dayanımı, çekme modülü ve kırılmadaki çekme deformasyonu değerleri kaydedildi.



Şekil 4.4. Çekme testi numunesi

4.8.1.2. Sertlik testi

Sertliği ölçülecek numuneler Shore Durometer TH 210 sertlik tayini cihazına yerleştirildi ve en az 3 kez numunelere kuvvet uygulandı ve bu 3 değerın ortalaması hesaplanarak maddenin sertliği Shore-D değeri olarak alındı.

4.8.2. Yüzey Karakterizasyonu (SEM)

Numune yüzeyleri iletken yüzey elde etmek ve daha iyi görüntü alabilmek için altınla kaplanarak çeşitli büyütme oranlarında (x 125 - 500) SEM görüntüsü çekilmiştir. Philips XL30 SFEG marka Taramalı Elektron Mikroskobu (Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü) kullanılmıştır.

5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTISMA

5.1. Fiziko-Mekanik Özellikler

5.1.1. Kompozitlerin çekme test sonuçları

Çekme testinde numuneler cihazın analiz haznesine yerleştirilerek yukarı doğru çekme yapılır, numunelerin koptuğu andaki uygulanan kuvvet ve uzama miktarı kaydedilir. Kompozitlerin çekme testi de bu şekilde yapılarak elde edilen sonuçlar sırasıyla Tablo 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 ve 5.6’da verilmiştir.

Tablo 5.1. (ETO+ER) + Sepiyolit (Modifiye Edilmemiş) + PEPA

Numune No	Kopmada uzama (mm)	Kopmada uzama (%)	Kopmada mukavemet N	Kopmada mukavemet (N/mm ²)	e- mod
2 (%3 kil)	0.473	0.7	58.84	58.84	12.667
3 (%5 kil)	0.757	1.12	104.92	104.92	3.929
4 (%7 kil)	0.574	0.85	33.34	33.34	9.286

Tablo 5.2. (ETO+ER) + Sepiyolit (Modifiye Edilmemiş) + Polypox

Numune No	Kopmada uzama (mm)	Kopmada uzama (%)	Kopmada mukavemet N	Kopmada mukavemet (N/mm ²)	e- mod
0 (%0 kil)	32,370	21,619	28,44	0,77	0,00
1 (%1 kil)	35,760	23,023	35,30	0,87	0,323
2 (%3 kil)	31,830	20,485	32,36	0,84	0,320
3 (%5 kil)	37,050	24,646	37,26	1,01	0,325
4 (%7 kil)	27,350	17,913	36,28	0,93	0,323
5 (%15 kil)	21,120	14,243	65,70	1,75	0,233
6 (%20 kil)	28,930	19,484	97,08	1,72	0,233

Tablo 5.1 ve 5.2’deki veriler karşılaştırıldığında, Polypox sertleştiricisi kullanıldığında, kompozitlerin kopmada % uzama değerleri daha yüksek olduğu için, sonraki kompozitlerde bu sertleştirici kullanılmıştır.

Tablo 5.2’ den elde edilen analiz sonuçlarına göre, modifiye edilmemiş sepiyolit kompozitinde %20 sepiyolit içeren numunenin kopma mukavemeti yani çekme dayanımı en yüksektir. Numunelerde kil oranı arttıkça, kopmaya karşı mukavemetin de arttığı görülmektedir. Numunelerin elastiklik değerlerindeki en iyi sonuç %5 sepiyolit içeren numunede görülmüştür. Kopma anındaki % uzama ve e-modül değerleri en yüksek %5 sepiyolit oranında elde edilmiştir. Genel olarak sepiyolit miktarları arttıkça e-modül değerinin de azaldığı görülmektedir ki, bu da kompozitlerde elastikiyetin azalmasını göstermektedir.

Kil içeren numuneler saf (ETO + ER) reçinesi ile karşılaştırıldığında, kompozitlerde kil oranının %5’e kadar artırılması kopmada % uzama değerini artırmıştır. Kompozitte kil bulunması, tüm kil oranlarında kompozitlerin kopmada mukavemetini artırmıştır.

Tablo 5.3. ETO+ER + Sepiyolit (Modifiye Edilmiş) + Sertleştirici

Numune No	Kopmada uzama (mm)	Kopmada uzama (%)	Kopmada mukavemet (N)	Kopmada mukavemet (N/mm2)	e- mod
0 (%0 kil)	32,370	21,619	28,44	0,77	0,00
1 (%1 kil)	39,770	26,772	45,11	1,20	0,333
2 (%3 kil)	32,020	22,746	39,23	0,98	0,333
3 (%5 kil)	40,570	27,333	52,95	1,44	0,667
4 (%7 kil)	38,610	26,026	56,87	1,52	0,667

Tablo 5.3’ e göre elde edilen analiz sonuçlarında, modifiye edilmiş sepiyolit kompozitinde %5 sepiyolit içeren numunenin kopmada uzama %’si en yüksektir. Numunelerde sepiyolit miktarı artışına göre çekme dayanımındaki en yüksek sonuç %7 sepiyolit içeren numunede elde edilmiştir ki, bu da Tablo 5.2’de de görülen “numunelerde kil oranının artması kopmaya karşı mukavemeti arttırmaktadır” sonucunu desteklemektedir.

Tablo 5.2 ve 5.3’de aynı oranda sepiyolit içeren numuneler karşılaştırıldığında modifiye edilmiş %5 sepiyolit içeren numunenin çekme dayanımı ve kopmada % uzama değeri, modifiye edilmemiş % 5 sepiyolit içeren numuneye göre daha yüksektir. Diğer numunelerde de kili (sepiyolit) modifiye etmek epoksi-sepiyolit kompozitinin uzama ve kopmada mukavemet değerlerinde (çekme dayanımı) artışa sebep olmuştur. Bunun yanında modifiye edilmiş numunelerdeki e-modül (elastikiyeti) miktarındaki artış, modifiye edilmemiş sepiyolit içeren numunelere göre daha fazladır.

Modifiye kil içeren numuneler saf (ETO + ER) reçinesi ile karşılaştırıldığında, yine aynı sonuçlar gözlemlenmiş, kompozitlerde kil oranının %5’e kadar artırılması kopmada % uzama değerini artırmıştır. Kompozitte kil bulunması, tüm kil oranlarında kompozitlerin kopmada mukavemetini artırmıştır.

Tablo 5.4. ETO+ER + %5 Sepiyolit (Modifiye Edilmemiş) + Sertleştirici + PEG

Numune No	Kopmada uzama (mm)	Kopmada uzama (%)	Kopmada mukavemet N	Kopmada mukavemet (N/mm2)	e- mod
1 (%1 PEG)	22,680	14,904	30,40	0,76	0,323
2 (%3 PEG)	21,620	14,094	28,44	0,74	0,313
3 (%5 PEG)	16,750	10,757	21,57	0,58	0

Tablo 5.4’deki analiz sonuçlarında, %5 modifiye edilmemiş sepiyolit kompoziti + PEG ilavesinde, %1 PEG içeren numunenede en yüksek uzama, mukavemet (çekme dayanımı) ve e-modül değeri görülmüştür. PEG’in %1’den fazla ilavesinde numunelerin çekme dayanımları ve e-modül (elastikiyet) miktarları azalmaktadır.

Tablo 5.5. ETO+ER + %5 Sepiyolit (Modifiye Edilmiş) + Sertleştirici + PEG

Numune No	Kopmada uzama (mm)	Kopmada uzama (%)	Kopmada mukavemet N	Kopmada mukavemet (N/mm2)	e- mod
1 (%1 PEG)	53,000	36,207	56,87	1,37	1,034
2 (%3 PEG)	46,200	31,394	50,01	1,22	0,714
3 (%5 PEG)	46,040	31,070	42,17	1,02	-0,333

Aynı sonuçlar modifiye edilmiş sepiyolit kompozitlerinde de görülmüştür. Elde edilen analiz sonuçlarında, %5 modifiye edilmiş sepiyolit kompoziti + PEG ilavesinde, %1 PEG içeren numunenin uzama, kopmada mukavemet (çekme dayanımı) ve e-modül (elastikiyet) en yüksektir. Yine PEG ilavesinin %1 den fazla olması ise numunelerin çekme dayanımları ve e-modül miktarlarında azalmaya sebep olmuştur.

Tablo 5.4 ve 5.5’de aynı oranda PEG içeren numuneler karşılaştırıldığında, modifiye edilmiş sepiyolit kompozitlerinin çekme dayanımları ve e-modül (elastikiyet) değerleri daha yüksektir. Kili (sepiyolit) modifiye etmek epoksi-sepiyolit kompozitinin uzama, kopmada mukavemet (çekme dayanımı) ve e-modül (elastikiyet) değerlerinde artışa sebep olmaktadır.

Ayrıca Tablo 5.5 ve Tablo 5.3’deki değerler karşılaştırıldığında, %5 modifiye sepiyolit %1 PEG içeren numunenin sadece %5 modifiye kil içeren numuneye göre uzama, kopmada mukavemet (çekme dayanımı) ve e-modülü daha yüksektir. %1 PEG ilavesi çekme dayanımında ve e-modül de (elastikiyet) artışa sebep olmuştur.

%1 PEG oranı diğer kil oranı içeren kompozitlere de uygulanmış elde edilen sonuçlar Tablo 5.6’ da verilmiştir.

Tablo 5.6. ETO+ER + Sepiyolit (Modifiye Edilmiş) + Sertleştirici + %1 PEG

Numune No	Kopmada uzama (mm)	Kopmada uzama (%)	Kopmada mukavemet N	Kopmada mukavemet (N/mm2)	e- mod
1 (%1 kil)	63,040	41,690	45,11	1,95	0,667
2 (%3 kil)	52,090	34,598	56,87	1,88	0,333
3 (%5 kil)	53,000	36,207	56,87	1,37	1,034
4 (%7 kil)	55,830	37,089	61,78	1,74	0,667

Elde edilen analiz sonuçlarında, modifiye edilmiş sepiyolit ve %1 PEG ilavesinde, %5 kil içeren numunenin e-modülü (elastikiyet) en yüksek çıkmıştır. Kopmada %uzama değeri ise en yüksek olarak %1 sepiyolit içeren kompozitte görülmüştür.

Tablo 5.6 ve 5.3'deki veriler karşılaştırıldığında, %1 PEG ilavesi olan numunenin çekme dayanımı ve e-modülü (elastikiyet) daha yüksektir. Numuneyi %1 PEG ile modifiye etmek epoksi-sepiyolit kompozitinin uzama, kopmada mukavemet ve e-modül (elastikiyet) değerlerinde artışa sebep olmuştur.

Sonuç olarak epoksi-sepiyolit kompozitinin çekme dayanımı ve e-modülü (elastikiyet) değerleri açısından en uygun kil ve PEG oranı olarak, %5 modifiye sepiyolit ve %1 PEG bulunmuştur. Sepiyoliti modifiye etmek ve epoksi-sepiyolit kompozitini PEG ile modifiye etmek numuneyi çekme dayanımı ve elastikiyetindeki artış yönünden daha başarılı kılmıştır.

5.1.2. Kompozitlerin Sertlik Test Sonuçları

Kompozit numunelerinin sertlik tayini yapılarak elde edilen sonuçlar Tablo 5.7, 5.8, 5.9, 5.10 ve 5.11'de verilmiştir.

Tablo 5.7. ETO+ER + Sepiyolit (Modifiye Edilmemiş) + Sertleştirici

Numune No	Sertlik (Shore D)
0 (%0 kil)	28,00
1 (%1 kil)	29,98
2 (%3 kil)	28,48
3 (%5 kil)	30,48
4 (%7 kil)	30,35
5 (%15 kil)	43,10
6 (%20 kil)	49,50

Elde edilen sertlik testi sonucunda, modifiye edilmemiş sepiyolit kompozitinde, %20 sepiyolit içeren numunenin sertliği en yüksektir. Numunelerdeki sepiyolit %'sinin artması sertlik değerlerinin artmasına sebep olmuştur.

Ayrıca, kompozitte kil bulunması, saf (ETO + ER) reçinesinin sertliğini de arttırmıştır.

Tablo 5.8. ETO+ER + Sepiyolit (Modifiye Edilmiş) + Sertleştirici

Numune No	Sertlik (Shore D)
0 (%0 kil)	28
1 (%1 kil)	29
2 (%3 kil)	31
3 (%5 kil)	35
4 (%7 kil)	39

Elde edilen sertlik testi sonucunda, modifiye edilmiş sepiyolit kompozitinde, %7 sepiyolit içeren numunenin sertliği en yüksektir. Yine aynı şekilde, numunelerdeki sepiyolit %'sinin artması sertlik değerlerinin artmasına sebep olmuştur.

Tablo 5.7 ve 5.8'deki aynı kil oranına sahip olan numuneler karşılaştırıldığında, modifiye edilmiş sepiyolit içeren numunelerdeki sertlik değerleri,

modifiye edilmemiş sepiyolit içeren numunelere göre daha fazladır. Sepiyolitin modifiye edilmesi numunelerdeki sertlik değerlerinin artmasına sebep olmuştur.

Tablo 5.9. ETO+ER + %5 Sepiyolit (Modifiye Edilmemiş) + Sertleştirici + PEG

Numune No	Sertlik (Shore D)
1 (%1 PEG)	25,00
2 (%3 PEG)	21,33
3 (%5 PEG)	21,07

Tablo 5.9' a göre, elde edilen sertlik testi sonucunda, %1 PEG içeren numunenin sertliği en yüksektir. Kompozitlerde PEG ilavesinin artması sertliğin azalmasına sebep olmuştur.

Ayrıca Tablo 5.9 ve 5.7'deki veriler karşılaştırıldığında modifiye edilmemiş %5 sepiyolit içeren numunenin sertliği modifiye edilmemiş %5 sepiyolit + %1 PEG içeren numunelere göre daha fazladır. PEG ilavesi numunelerdeki sertlik değerlerinin azalmasına sebep olmuştur.

Tablo 5.10. ETO+ER + %5 Sepiyolit (Modifiye Edilmiş) + Sertleştirici + PEG

Numune No	Sertlik Tayini (Shore D)
1 (%1 PEG)	32,00
2 (%3 PEG)	29,20
3 (%5 PEG)	28,30

Elde edilen sertlik testi sonucunda, modifiye edilmiş sepiyolit kompozitinde de %1 PEG içeren numunenin sertliği en yüksektir. Aynı oranda sepiyolit içeren kompozitlerdeki PEG miktarından artış sertlik değerinde azalmaya sebep olmuştur.

Tablo 5.9 ve 5.10'daki değerler karşılaştırıldığında, modifiye edilmiş sepiyolit ve PEG içeren numunelerin sertlik değerleri, modifiye edilmemiş sepiyolit ve PEG içeren numunelere göre daha fazladır. Bunun sonucu olarak epoksi-sepiyolit-PEG kompozitinde sepiyolitın modifiye edilmesi sertlik değerlerinin artmasına sebep olmuştur.

Tablo 5.8 ve 5.10'daki veriler karşılaştırıldığında, modifiye edilmiş %5 sepiyolit içeren numunenin sertlik değeri, modifiye edilmiş %5 sepiyolit + %1 PEG içeren numunedeki sertlik değerine göre daha yüksek olmuştur.

Tablo 5.11. ETO+ER + Sepiyolit (Modifiye Edilmiş) + Sertleştirici + % 1 PEG

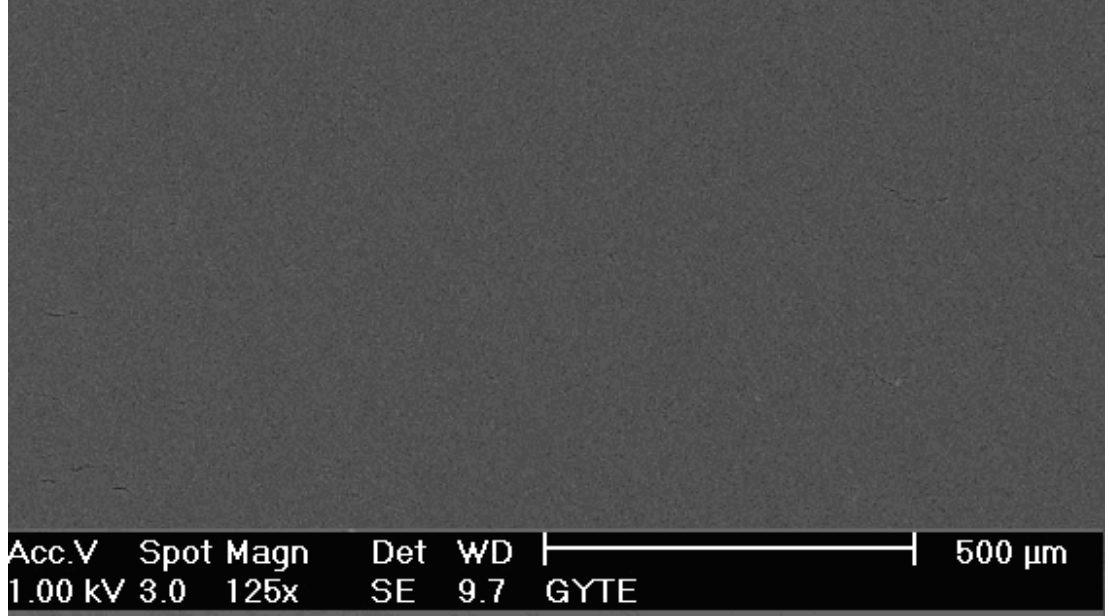
Numune No	Sertlik Tayini (Shore D)
1 (%1 kil)	26
2 (%3 kil)	26,3
3 (%5 kil)	32
4 (%7 kil)	33,70

Tablo 5.11'de verilen sertlik testi sonuçlarına göre farklı kil oranları karşılaştırıldığında modifiye edilmiş % 7 sepiyolit ve %1 PEG içeren numunenin sertliği en yüksektir.

Tablo 5.8 ve 5.11'deki veriler karşılaştırıldığında modifiye edilmiş sepiyolit içeren numunenin sertliği, modifiye edilmiş sepiyolit + %1 PEG içeren numunelere göre daha fazladır. PEG ilavesi numunelerdeki sertlik değerlerinin azalmasına sebep olmuştur.

5.2. SEM Analizleri

Saf (ETO + ER) reçinesinin SEM görüntüsü Şekil 5.1’de verilmiştir.



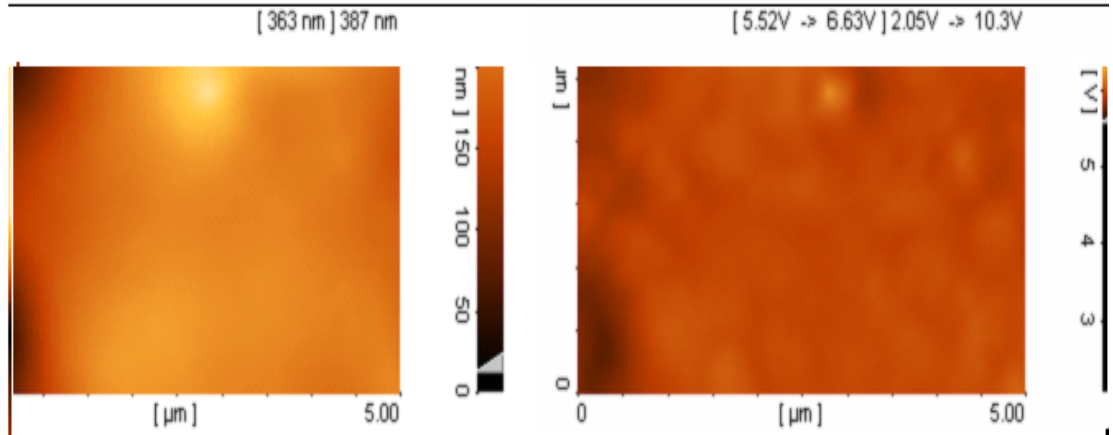
Şekil 5.1. Saf epoksi reçinesinin SEM görüntüsü

Sertleştirici olarak PEPA kullanılan modifiye edilmemiş %1, 3, 5 ve 7 sepiyolit içeren kompozitin yüzey ve kesitinden SEM görüntüleri Şekil 5.2’ de verilmiştir.

Numune: %1’lik kil

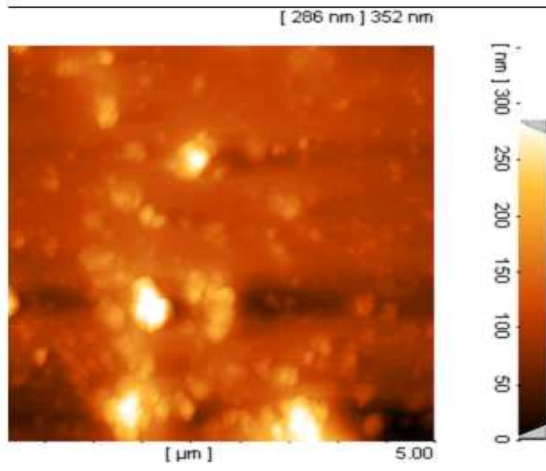
Topography image

Phase image

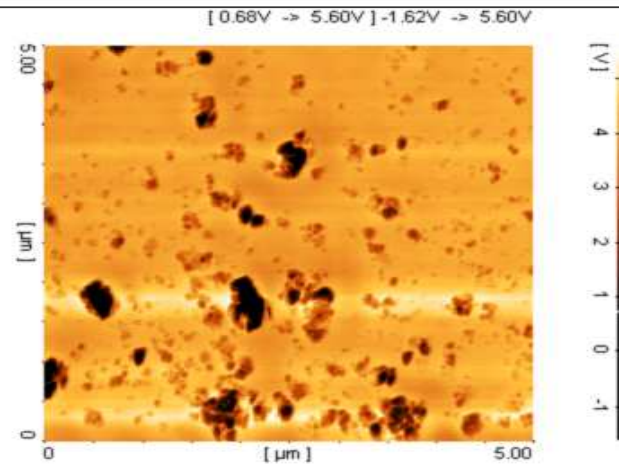


Numune: %3'lük kil

Topography image

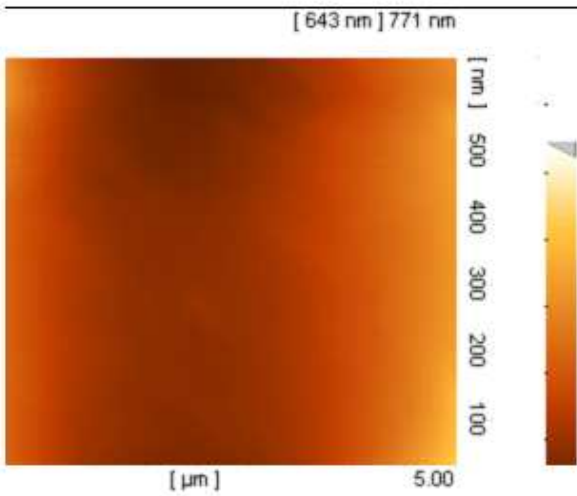


Phase image

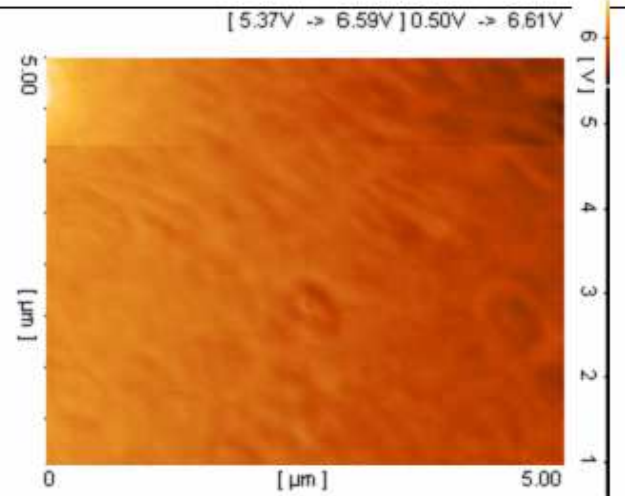


Numune: %5'lük kil

Topography image



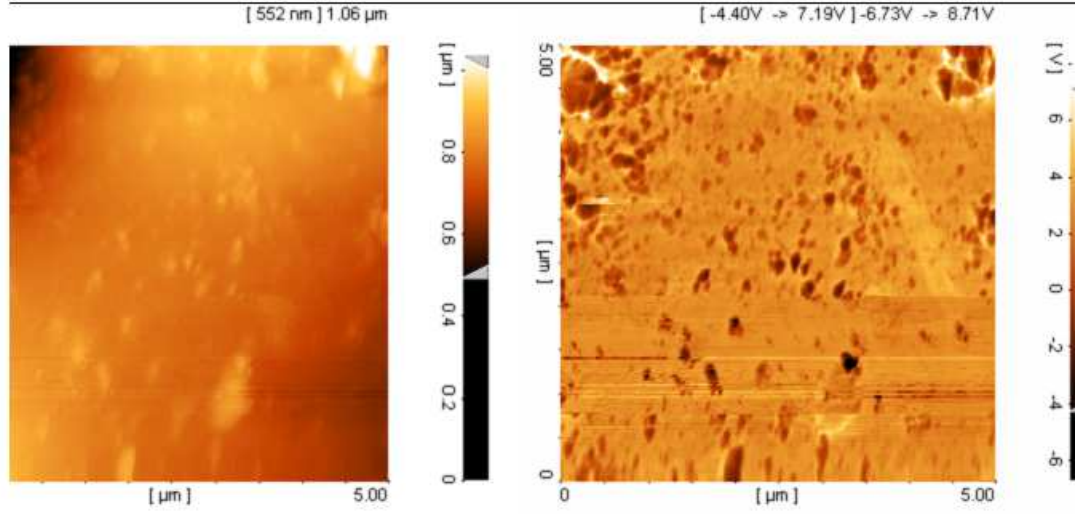
Phase image



Numune: %7'lik kil

Topography image

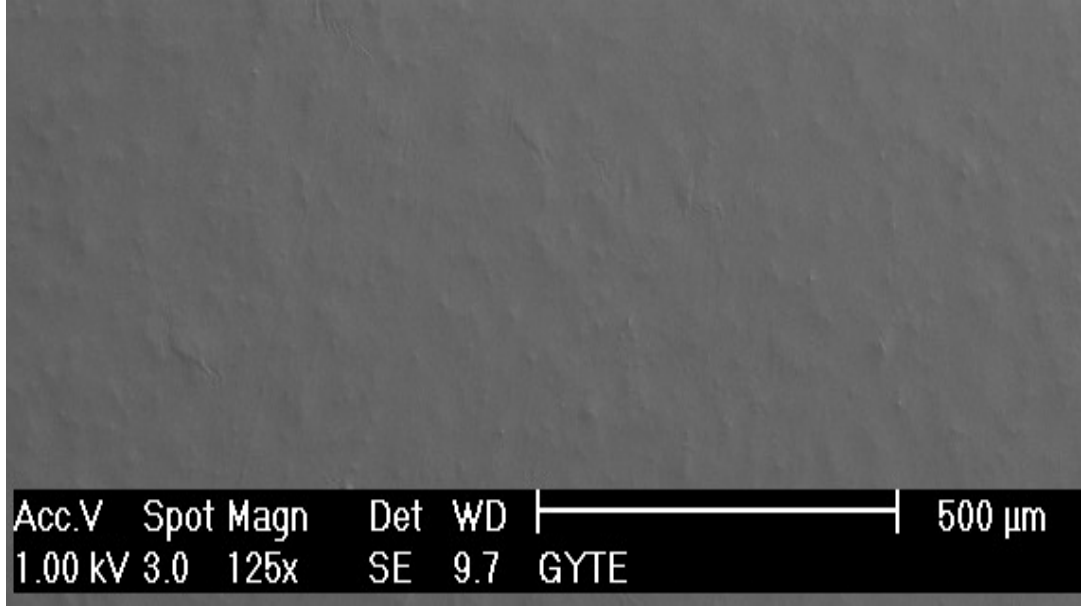
Phase image



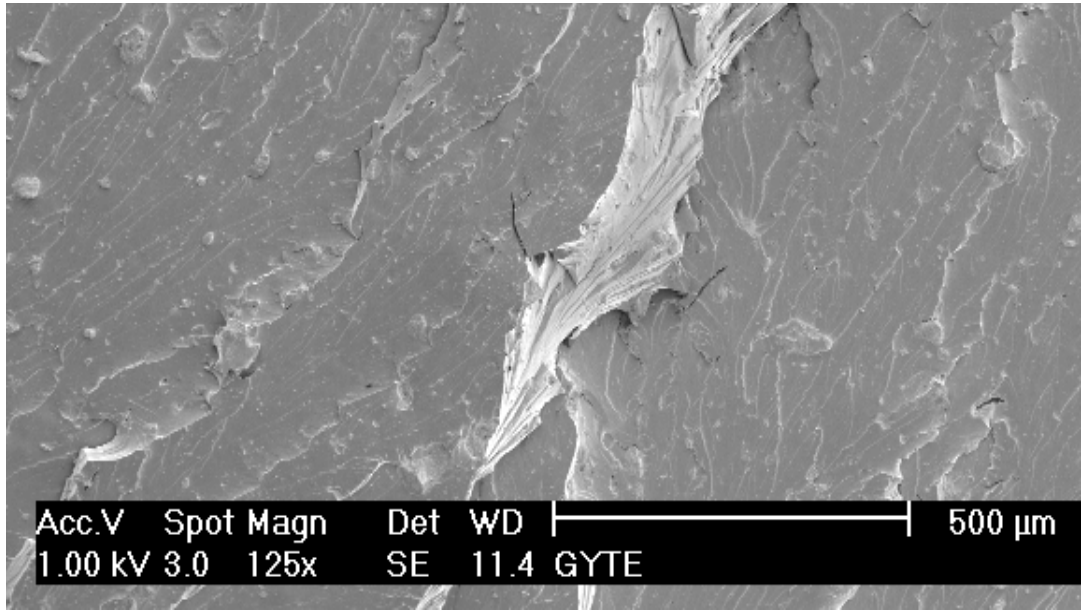
Şekil 5.2. Modifiye edilmemiş sepiyolit kompozitlerinin (sertleştirici PEPA) SEM görüntüleri

Modifiye edilmemiş sepiyolit içeren kompozitlerde pürüzsüz bir yüzey ve homojen bir dağılım tam olarak sağlanamamıştır. Fakat %5 sepiyolit içeren numunenin yüzey görüntüsünde daha pürüzsüz bir yapı mevcuttur. Kesit görüntüsünde ise %5 sepiyolit içeren kompozitin diğer kompozitlere göre daha homojen bir dağılıma sahip olduğu görülmektedir.

Modifiye edilmemiş %5 sepiyolit içeren kompozitin (sertleştirici Polypox Hardner) yüzey ve kesitinden SEM görüntüleri Şekil 5.3' de verilmiştir.



a)



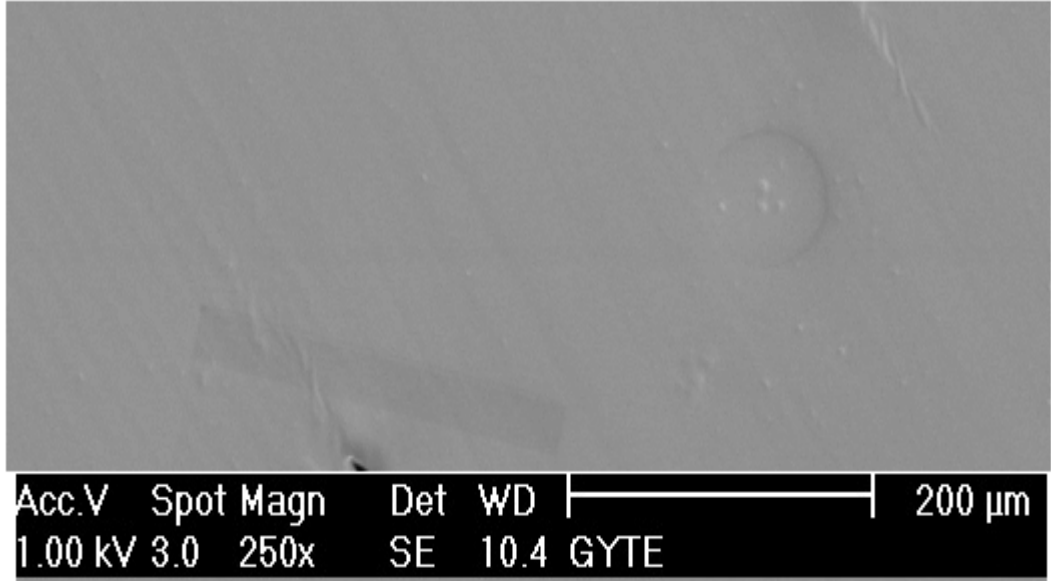
b)

Şekil 5.3. Modifiye edilmemiş %5'lik sepiyolit kompozitinin SEM görüntüleri

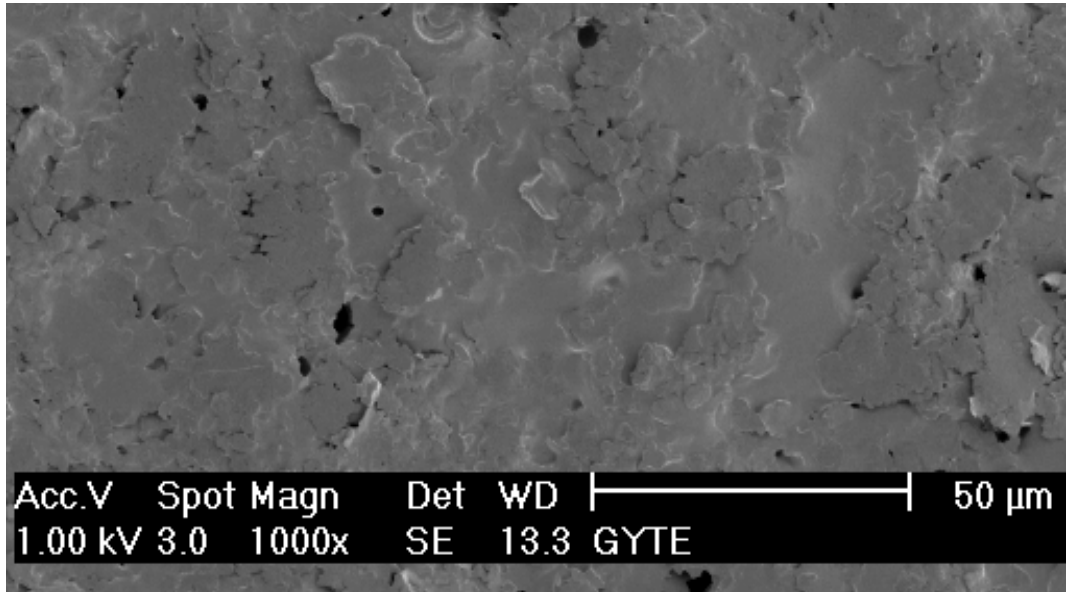
a) yüzey; b) kesit

Burada yüzeyde ve kesitte belirli kısımlarda dalgalanmaların hâkim olduğu görülmektedir. Tam pürüzsüz bir yüzey mevcut değildir. Kesitte sepiyolitın kütleler halinde toplandığı görülmektedir, homojen bir dağılım yoktur. Bu durum modifiye edilmemiş sepiyolit içeren kompozitlerde stabilitenin olmadığını ve birim alana düşen değerlerde sapmalar olacağını göstermektedir.

Modifiye edilmiş %5 sepiyolit içeren kompozitin yüzey ve kesitinden SEM görüntüleri ise Şekil 5.4' de verilmiştir.



a)



b)

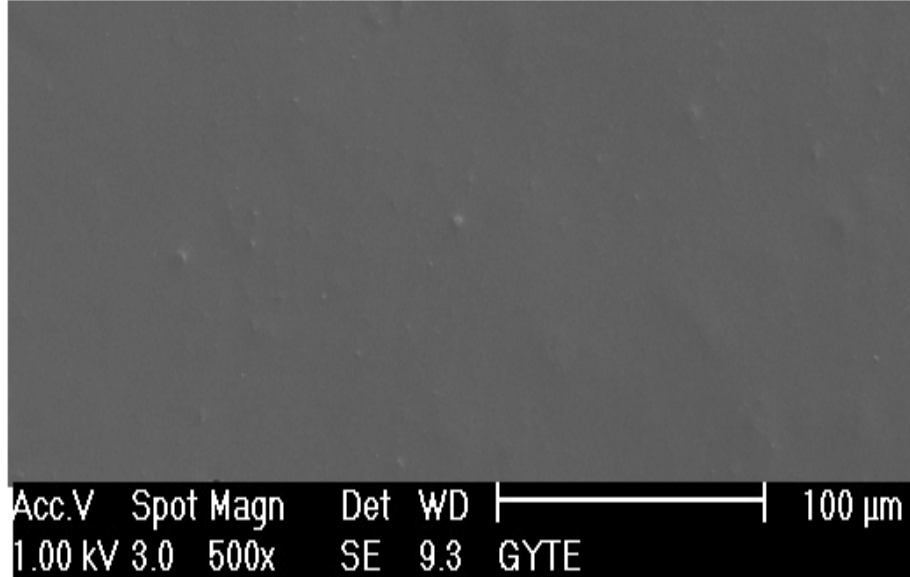
Şekil 5.4. Modifiye edilmiş %5 sepiyolit kompozitinin SEM görüntüleri:

a) yüzey; b) kesit

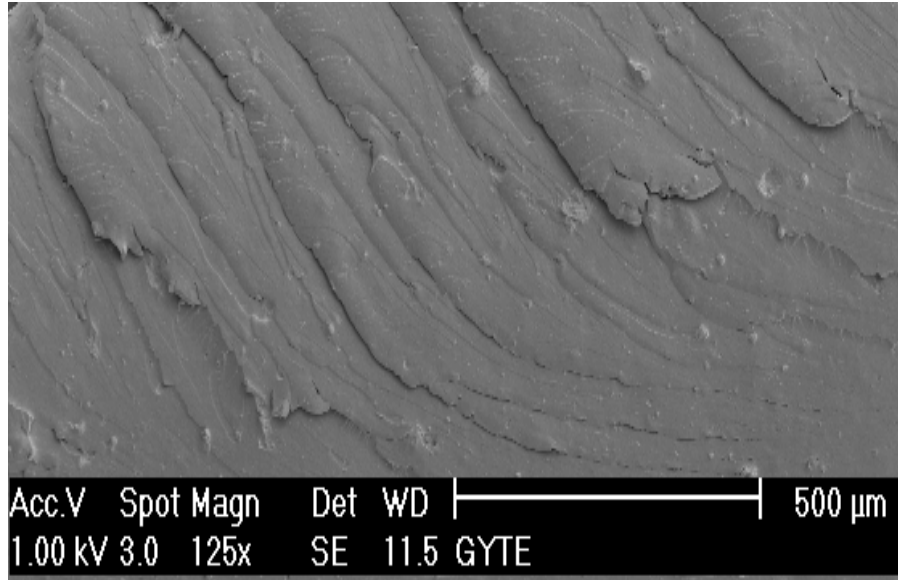
Burada yüzeyde ve kesitte modifiye edilmemiş %5 sepiyolit içeren kompozite göre dalgalanmalar yoktur. Pürüzsüz bir yüzey mevcuttur. Kesitte sepiyolit kütleler halinde değil daha küçük dairesel bloklarla tüm alana yayıldığı görülmektedir,

homojen bir dağılım vardır. Dairesel tabakalı bir yapı mevcuttur. Bu durum modifiye edilmiş sepiyolit içeren kompozitlerin daha stabil ve birim alana düşen değerlerin birbirine daha yakın olduğunu göstermektedir.

Şekil 5.5' de modifiye edilmiş %5 sepiyolit ve %1 PEG içeren kompozitin yüzey ve kesitinden SEM görüntüleri verilmiştir.



a)



b)

Şekil 5.5. Modifiye edilmiş %5 sepiyolit + %1 PEG kompozitinin SEM görüntüleri a) yüzey; b) kesit

Burada yüzeyde ve kesitte modifiye edilmiş %5 sepiyolit içeren kompozite göre farklılaşmalar görülmektedir. Homojen dağılımlı bir yüzey mevcuttur. Kesitte sepiyolit plakalar halinde dağılmıştır, birbirine paralel tabakalar mevcuttur, bloklaşmalar tüm alana yayılmıştır, homojen bir dağılım vardır. Modifiye edilmiş sepiyolit içeren kompozitlerin stabil ve birim alana düşen değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir.

SEM görüntülerinden anlaşıldığı üzere tabakaların birbirine dairesel olarak uzanması, modifiye edilmiş %5 sepiyolit içeren kompozitin, modifiye edilmiş % 5 sepiyolit ve %1 PEG içeren kompozite göre çekme dayanımındaki mukavemetin daha az, sertlik değerinin daha fazla olduğunu gösteren bir yapı olduğu şeklinde yorumlanabilir.

Bunun yanında yine SEM görüntülerinden anlaşıldığı üzere tabakaların birbirine paralel olarak uzanması modifiye edilmiş %5 sepiyolit ve %1 PEG içeren kompozitin, modifiye edilmiş %5 sepiyolit içeren kompozite göre çekme dayanımındaki mukavemetin fazla, sertlik değerinin daha az olduğunu gösteren bir yapı olduğu şeklinde yorumlanabilir.

5.3. Ultrases Ölçümleri

Kompozit numunelerinin yoğunluk ve ultrasonik hız ölçümleri yapılmış, sonuçlar Tablo 5.12 ve 5.13’de verilmiştir.

Polimerlerde yoğunluk ile dallanma arasında sıkı bir bağıntı vardır. Az dallı zincirler birbirine daha çok yaklaştıkları için daha yoğun; dallanmış zincirler birbirinden daha uzak kaldıkları için yoğunluğu daha düşük bir malzeme oluştururlar. Poisson oranı, Young modülü, enine modül ve boyuna modül gibi esneklik katsayıları yüksek olduğunda bu maddelerde atomlar arası bağların daha kuvvetli olduklarını gösterir. Yani maddelerin esneklik katsayı değerleri yüksek ise bu maddeler gerilim ve basınca daha fazla dayanır. Bunlar sağlam maddelerdirler. Bu katsayıların ultrases ile ölçülmesi için enine ve boyuna ses dalgası hızları ve maddenin yoğunluklarının bilinmesi yeterlidir.

Tablo 5.12. (ETO+ER) + Sepiyolit (Modifiye Edilmiş) + Sertleştirici
Numunelerinin Ultrases Ölçümleri

Numune No	Yoğunluk (g/cm ³)	Boyuna Ses Dalgası Hızı (m/s)	Enine Ses Dalgası Hızı(m/s)	Boyuna Modül (GPa)	Kayma Modülü (GPa)	Bulk Modülü (GPa)	Poisson Oranı	Young Modülü (GPa)
1 (%0 kil)	1,1641	2160	1048	5,4307	1,2784	3,7262	0,3461	3,4417
2 (%1 kil)	1,2018	2200	1090	5,8128	1,4269	3,9103	0,3373	3,8164
3 (%3 kil)	1,2251	2295	1183	6,4521	1,7144	4,1662	0,3191	4,5229
4 (%5 kil)	1,2648	2436	1371	7,5066	2,3777	4,3363	0,2682	6,0308
5 (%7 kil)	1,2468	2327	1295	6,7470	2,0913	3,9586	0,2754	5,3345

Tablo 5.12'ye göre, kompozit numunelerinin yoğunluğunun saf epoksi numunesine göre daha fazla olması, yapıdaki kil oranına bağlı olmakta ve bu oran arttıkça artmaktadır.

Poisson oranının küçük olması, malzemenin daha dayanıklı olduğunu göstermektedir. Kompozitlerde kil oranı arttıkça Poisson oranı azalmaktadır. Elde edilen sonuçlardan, %5 sepiyolit içeren kompozitin daha dayanıklı olduğu görülmektedir. Saf (ETO + ER) reçinesi ile karşılaştırıldığında, kompozitin yapısında kil bulunması onun dayanıklılığını arttırmaktadır.

Ses yalıtımı açısından ise %1 kil içeren kompozitin daha iyi olduğu görülmektedir. Çünkü bu numunede hem enine hem de boyuna ses hızı küçük değere sahiptir. Saf (ETO + ER) reçinesi ile karşılaştırıldığında ise, kompozitte kil bulunması onu ses açısından daha iletken yapmıştır.

Tablo 5.13. (ETO+ER) + Sepiyolit (Modifiye Edilmiş) + Sertleştirici + %1 PEG
Numunelerinin Ultrases Ölçümleri

Numune No	Yoğunluk (g/cm ³)	Boyuna Ses Dalgası Hızı (m/s)	Enine Ses Dalgası Hızı(m/s)	Boyuna Modül (GPa)	Kayma Modülü (GPa)	Bulk Modülü (GPa)	Poisson Oranı	Young Modülü (GPa)
1 (%0 kil)	1,1641	2160	1048	5,4307	1,2784	3,7262	0,3461	3,4417
2 (%1 kil)	1,1987	2190	1075	5,7505	1,3856	3,9030	0,3413	3,7170
3 (%3 kil)	1,2196	2255	1130	6,1986	1,5565	4,1233	0,3323	4,1474
4 (%5 kil)	1,2430	2376	1334	7,0172	2,1201	4,1904	0,2835	5,4422
5 (%7 kil)	1,2311	2218	1096	6,0559	1,4787	4,0843	0,3385	3,9585

Tablo 5.13'ye göre, yine kompozit numunelerinin yoğunluğu saf epoksi numunesine göre daha fazla olmuş ve yoğunluk yapıdaki kil oranı arttıkça artmaktadır.

Poisson oranının küçük olması, malzemenin daha dayanıklı olduğunu göstermektedir. Kompozitlerde kil oranı arttıkça Poisson oranı azalmaktadır. Elde edilen sonuçlardan, %5 sepiyolit içeren kompozitin daha dayanıklı olduğu görülmektedir. Saf (ETO + ER) reçinesi ile karşılaştırıldığında, kompozitin yapısında kil bulunması onun dayanıklılığını arttırmaktadır.

Ses yalıtımı açısından ise yine de %1 kil içeren kompozitin daha iyi olduğu görülmektedir. Çünkü bu numunede hem enine hem de boyuna ses hızı küçük değere sahiptir. Saf (ETO + ER) reçinesi ile karşılaştırıldığında ise, kompozitte kil bulunması onu ses açısından daha iletken yapmıştır.

Tablo 5.12 ve 5.13'deki veriler karşılaştırıldığında, kompozitlere PEG ilave edilmesi onların yoğunluklarını ve dayanıklılıklarını azaltmıştır. Fakat PEG'li kompozitlerin ses yalıtımı açısından daha iyi oldukları görülmektedir.

6. SONUÇLAR

Yapılan tez çalışmasında epoksi reçine / sepiyolit kompoziti hazırlanıp karakterizasyonu incelenmiş ve en uygun kompozitler belirlenmiştir. Kompozitler hazırlanırken laboratuvar çalışmasıyla sentezlenen ETO (epoksi tolüen oligomeri) ile ER (ticari epoksi) ağırlıkça 1:1 oranında karıştırılıp matris olarak ve ikinci bir faz olarak ta modifiye edilmiş ve edilmemiş ağırlıkça %0, 1, 3, 5 ve 7 sepiyolit miktarları ve bunun yanında ağırlıkça %1, 3 ve 5 polietilen glikol eklenerek kompozitler hazırlanmıştır. Polietilen glikol kompoziti modifiye etmek için kullanılmıştır.

Sentezlenen ETO'nun epoksit grubu sayısı 8,60 olarak ve ER'nin epoksit grubu sayısı 23,12 olarak bulunmuştur.

Çekme testi analiz sonuçları incelendiğinde %50 ETO ve %50 ER, modifiye edilmemiş ağırlıkça %0, 1, 3, 5, 7, 15 ve 20 sepiyolit içeren kompozitlerde %10 sepiyolit içeren uzama % 39,460, kopmada mukavemet 7,80 (N/mm²) ve e-modülü (elastikiyeti) 1,071 olan kompozit azami sonuç vermiştir. Sepiyolit artış miktarına göre bakıldığında optimum sonucu %5 sepiyolit içeren uzama % 24,646, kopmada mukavemet 1,01 (N/mm²) ve e-modülü (elastikiyeti) 0 olan kompozit vermiştir. Sepiyolit içermeyen reçine ile modifiye edilmiş veya edilmemiş sepiyolit içeren kompozitlerin değerlendirilmesinde, sepiyolit içeren kompozitlerin çekme dayanımı ve elastikiyetlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. %50 ETO ve %50 ER, modifiye edilmiş ağırlıkça %0, 1, 3, 5, 7 ve 10 sepiyolit içeren kompozitlerde %10 sepiyolit içeren uzama % 35,640, kopmada mukavemet 2,06 (N/mm²) ve e-modülü (elastikiyeti) 1,667 olan kompozit azami sonuç vermiştir. Sepiyolit artış miktarına göre bakıldığında optimum sonucu %5 sepiyolit içeren uzama % 27,333, kopmada mukavemet 1,44 (N/mm²) ve e-modülü (elastikiyeti) 0,667 olan kompozit vermiştir. Bunun sonucunda her iki aşamadaki elde edilen verilere göre ise modifiye edilmiş sepiyolit içeren kompozitlerdeki çekme dayanımları ve elastikiyetleri daha başarılı sonuçlar getirmiştir.

En uygun modifiye edilmemiş ve modifiye edilmiş sepiyolit miktarı kullanılıp, kompoziti modifiye etmek için de ağırlıkça %1, 3 ve 5 polietilen glikol

içeren kompozitlerde azami sonuç olarak %1 PEG ilave edilen kompozit belirlenmiştir. Modifiye edilen sepiyolit kompozitlerinde uzama % 36,207, kopmada mukavemet 1,37 (N/mm²) ve e-modülü (elastikiyeti) 1,034 daha yüksek bulunmuştur. Bu sebeple bir sonraki kompozitlerde modifiye edilmiş sepiyolit ve %1 PEG kullanılmıştır. %50 ETO ve %50 ER, modifiye edilmiş ağırlıkça %1, 3, 5 ve 7 sepiyolit ve %1 PEG içeren kompozitlerde %5 sepiyolit ve %1 PEG içeren kompozitin uzama % 36,207, kopmada mukavemet 1,37 (N/mm²) ve e-modülü (elastikiyeti) 1,034 optimum sonuç vermiştir. Bütün deney aşamalarındaki elde edilen veriler değerlendirildiğinde modifiye edilmiş %5 sepiyolit ve %1 PEG içeren numunenin uzama, kopmada mukavemet (çekme dayanımı) ve e-modülü (elastikiyeti) en başarılı sonucu getirmiştir. Yani reçineye sepiyolit'in ilave edilmesiyle reçinenin uzama, kopmada mukavemet ve buna bağlı olarak elastikiyetinin geliştirilmesinde olumlu etkisi olduğu görülmüştür. Bunun yanında, sepiyolit'in modifiye edilmesi ve kompoziti modifiye etmek için %1 PEG ilave edilmesiyle de uzama, kopmada mukavemet ve elastikiyetinin artışında olumlu sonuçlar sağladığı kanıtlanmıştır.

Sertlik testi analiz sonuçları incelendiğinde, %50 ETO ve %50 ER, modifiye edilmemiş ağırlıkça %0, 1, 3, 5, 7, 15 ve 20 sepiyolit içeren kompozitlerde %20 sepiyolit içeren kompozit sertlik değeri 49,50 shore D azami sonuç vermiştir. Sepiyolit miktarına göre sertlik değerindeki artışa baktığımızda %5 sepiyolit içeren kompozit sertlik değeri 30,48 shore D optimum sonuç olarak bulunmuştur. Sepiyolit içermeyen numune ile sepiyolit içeren numunelerin sertlik değerleri karşılaştırıldığında sepiyolit içeren numunelerin sertlik değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Buna göre reçinenin modifiye edilmiş veya edilmemiş sepiyolit içermesi saf reçineye göre sertlik miktarında artışa sebep olmuştur. Saf reçineye göre fiziksel değerlerinde artış gözlenmiştir. %50 ETO ve %50 ER, modifiye edilmemiş %5 sepiyolit ve %1, 3 ve 5 PEG içeren kompozitler karşılaştırıldığında %1 PEG içeren kompozitin sertlik değeri 25,00 Shore D azami sonuç vermiştir. Sadece modifiye edilmemiş %5 sepiyolit içeren kompozit ile karşılaştırıldığında %5 sepiyolit içeren kompozitin sertlik değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. %50 ETO ve %50 ER, modifiye edilmiş %5 sepiyolit ve %1, 3 ve 5 PEG içeren kompozitlerde %5 sepiyolit ve %1 PEG içeren kompozitin sertlik değeri 32 Shore D

azami sonuç vermiştir. Sadece modifiye edilmiş %5 sepiyolit içeren kompozitlerle karşılaştırıldığında %5 sepiyolit içeren ve PEG içermeyen kompozitin sertlik değerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca modifiye edilmiş ve edilmemiş %5 sepiyolit ve %1, 3 ve 5 PEG içeren kompozitler karşılaştırıldığında modifiye edilmiş sepiyolit içeren kompozitlerdeki sertlik değerlerinde daha yüksek bir artış olduğu gözlemlenmiştir. %50 ETO ve %50 ER, modifiye edilmiş %1, 3, 5 ve 7 sepiyolit ve % 1 PEG içeren kompozitler karşılaştırıldığında %5 sepiyolit ve %1 PEG içeren kompozitin sertlik değeri 34,00 Shore D azami olarak bulunmuştur. Bununla beraber modifiye edilmiş sepiyolit içeren kompozitlerle, modifiye edilmiş sepiyolit ve %1 PEG içeren kompozitler karşılaştırıldığında PEG içermeyen kompozitlerde sertlik değerlerinin daha fazla olduğu görülmüştür. Deneyisel verilere dayanılarak sepiyolit modifiye edilmesi sertlik değerlerinde artış sağlarken, PEG ilavesinin sertlik değerlerinde azalmaya neden olduğu yorumlanabilir.

SEM görüntüleri incelendiğinde, %50 ETO ve %50 ER, modifiye edilmemiş %5 sepiyolit içeren kompozitin yüzey görüntüsünde dalgalanmaların olduğu pürüzsüz bir yüzey olmadığı tespit edilmiş, kesitinde ise sepiyolit küteller halinde yayıldığı, homojenliğin tam olarak sağlanamadığı gözlemlenmiştir. Modifiye edilmemiş sepiyolit içeren kompozitlerde stabilitenin olmadığı ve birim alana düşen değerlerde sapmalar olacağı yorumlanabilir. %50 ETO ve %50 ER, modifiye edilmiş %5 sepiyolit içeren kompozitin yüzey görüntüsü pürüzsüzdür. Sepiyolit küçük dairesel bloklar halinde tüm alana homojen bir şekilde yayılmıştır. Daha çok tabakalı dairesel bir yapı mevcut olup bu durum modifiye edilmiş sepiyolit içeren kompozitlerin daha stabil ve birim alana düşen değerlerin birbirine daha yakın olduğunu göstermiştir. %50 ETO ve %50 ER, modifiye edilmiş %5 sepiyolit ve %1 PEG içeren kompoziti pürüzsüz bir yüzeye sahip olduğu ve kesitinde ise birbirine paralel olarak sıralanmış tabakaların bulunduğu sepiyolit homojen olarak dağıldığı görülmüştür. Bu görüntülerden anlaşıldığı üzere, tabakaların birbirine dairesel olarak uzanması, modifiye edilmiş %5 sepiyolit içeren kompozitin, modifiye edilmiş % 5 sepiyolit ve %1 PEG içeren kompozite göre çekme dayanımındaki mukavemetin daha az, sertlik değerinin daha fazla olduğunu gösteren bir yapı olduğu şeklinde yorumlanabilir. Tabakaların birbirine paralel olarak uzanması modifiye edilmiş %5 sepiyolit ve %1 PEG içeren kompozitin, modifiye edilmiş % 5 sepiyolit içeren

kompozite göre çekme dayanımındaki mukavemetin fazla, sertlik değerinin daha az olduğunu gösteren bir yapı olduğu şeklinde yorumlanabilir. Sepiyolitini modifiye edilmesi kompozit içeresinde sepiyolitini tabakalar halinde daha homojen dağılmasına, PEG ilavesinin ise tabakaların şeklini değiştirip biribirine paralel uzanmasına sebep olduğu bununda elastikiyetini artırdığı sonucu görülmüştür.

Ultrasonik ses ölçümüne baktığımızda, saf (ETO + ER) reçinesi ile karşılaştırıldığında, kompozitin yapısında sepiyolit bulunması ve bunun yanında sepiyolitini modifiye edilmesi onun dayanıklılığını arttırmıştır. Kompozitlere PEG ilave edilmesi onların yoğunluklarını ve dayanıklılıklarını azaltmıştır. Fakat PEG'li kompozitlerin ses yalıtımı açısından daha iyi oldukları görülmüştür.

7. KAYNAKLAR

- Alvarez, A., Singer, A., Galan, E., 1984. Sepiolite: Properties and Uses, Palygorskite Sepiolite. Occurrences, Genesis and Uses, Developments in Sedimentology 37, Elsevier, Amsterdam, 253-287.
- Austin, R.J., 2004. Synthesis and Characterization of Polyolefin Elastomer and Polypropylene Based Nanocomposites and Their Blends, Queen's University, Doktora Tezi, Kingston, Ontario, Canada, 7- 22.
- Bafna, A.A., 2004. Polyethylene-Clay Nanocomposites: Processing-Structure Property Relationship, The Department of Chemical and Materials Engineering of The College of Engineering, The University of Cincinnati, Doktora Tezi, 19-42.
- Bongiovanni, R., Turcato, E.A., Di Gianni, A., Ronchetti, S., 2008. Epoxy Coatings Containing Clays and Organoclays: Effect of the Filler and its Eater Content on the UV-curing Process, Progress in Organic Coatings 62, 336–343.
- Brauner, K. ve Preisinger, A., 1956. Struktur und Entstehung des Sepioliths, Tschermaks Miner. Petrog. Mitt., 6, 120-140.
- Callister, W., 1997. Materials Science and Engineering, an Introduction, 4 th Edition John Wiley & Sons, USA, 56-62.
- Can, G., 1992. Dünya'da ve Türkiye'de Sepiyolitik Kil, MTA Fizibilite Etüdları Dairesi, Ankara, 1- 8. Chambers, C.P.C., 1959. Some Industrial Applications of the Clay Mineral Sepiolite, Silicates Inds., April, 181-189.
- Chatterjee, A., Islam, M.S., 2008. Fabrication and Characterization of TiO₂-epoxy Nanocomposite, Materials Science and Engineering A, 487, 574–585.
- Chin, I., Thurn-Albrecht, T., Kim, H., Russell, T.P. and Wang, J., 2001. On Exfoliation of Montmorillonite in Epoxy, Polymer, 42: 5947-5952.

Durmuş, A., 2006. Poliolefin Nanokompozitlerin Hazırlanması, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 1-41.

Etika, K.C., Liu, L., Hess, L.A., Grunlan, J.C., 2009. The Influence of Synergistic Stabilization of Carbon Black and Clay on the Electrical and Mechanical Properties of Epoxy Composites, Carbon, 47, 3128-3136.

Franchini, E., Galy, J., Gerard, J.-F., 2009. Sepiolite-based Epoxy Nanocomposites: Relation Between Processing, Rheology and Morphology, Journal of Colloid and Interface Science, 329, 38–47.

Gupta, N., Ricci, W., 2008. Processing and Compressive Properties of Aerogel/epoxy Composites, Journal of Materials Processing Technology, 198, 178–182.

Haris, B., 1986. Engineering Composite Materials, The Institute of Metals, London, 1-15: 84-91.

Ho, M.-W., Lam, Ch.-K., Kin-tak Lau, K., Ng, D.H.L., Hui, D., 2006. Mechanical Properties of Epoxy-based Composites Using Nanoclays, Composite Structures, 75, 415–421.

Işık, F., 2005. Nanocomposites Based On Blends of Polyethylene, The Graduate School of Natural and Applied Sciences Of Middle East Technical University, Yüksek Lisans Tezi, Doktora Tezi, 7-41.

İrkeç, T., 1995. Regresyondaki Türkiye Madencilik Sektörü İçin Yeni Bir Umut: Sepiyolit, Vn. Ulusal Kil Sempozyumu, Ankara.

Jana, S., Zhong, W.-H., 2009. Graphite Particles with a “Puffed” Structure and Enhancement in Mechanical Performance of Their Epoxy Composites, Materials Science and Engineering A, 525, 138–146.

- Jones, B.F., Galan, E., Bailey, S.W. (Editör), 1988. Hydrous Phyllosilicates (Exclusive of Micas). Sepiolite and Palygorskite, Reviews in Mineralogy, Vol. 19, Mineralogical Society of America, 16, 631-667.
- Kara, M., Sabah, E., Yüzer, H. ve Çelik, M.S., 1998. Sepiolite as an Adsorbent for Elimination of Mine Wastes, Proceedings of the 5th International Symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production, Ankara, 717-721.
- Kaw A., 1997. Mechanics of Composite Materials, CRC Pres Inc., USA 4-17.
- Kelly P., Akelh A., Qutubuddin S., Moet A., 1994. Reduction of Residual Stress in Montmorillonite/Epoxy Compounds, Journal of Materials Science., 29, 2274-2280.
- Kim, Y., 2004. A Study of Polymer/Clay Nanocomposite Formation By Melt Intercalation Process, The Graduate Faculty of the University of Akron, Doktora Tezi
- Kompozit Elkitabı, 2001. <http://designophy.wiliw.com/sayi02/elkitabi/kompozit.php>.
- Kornmann, X., 2001. Polimer Layered Silcate Nanocomposites, EMP, Dübendorf, Switzerland, 44-56.
- Kowalczyk, K., Szychaj, T., 2008. Epoxy Coatings with Modified Montmorillonites, Progress in Organic Coatings 62, 425–429.
- Lan T., Pinavaia T., 1994. Clay-Reinforced Epoxy Nanocomposites, Chemical Materials, 6, 2216-2219.
- Lee, H., Neville, K., 1967. Handbook of Epoxy Resin, McGraw-Hill Inc., USA, 7 17, 28- 39.
- Lindberg H., Kornmann X. and Berglund L.A., 2001. Synthesis of Epoxy-Clay

Nanocomposites: Influence of The Nature of The Clay on Structure, Polymer., 42: 1303-1310.

Liu, Z., Erhan, S.Z., 2008. "Green" Composites and Nanocomposites from Soybean Oil, Materials Science and Engineering A, 483–484, 708–711.

Liu, Z., Erhan, S.Z., Xu, J., 2005. Preparation, Characterization and Mechanical Properties of Epoxidized Soybean oil/Clay Nanocomposites, Polymer , 46, 10119–10127.

Nagy, B. ve Bradley, W.F., 1955. The Structural Scheme of Sepiolite, Am. Mineral., 40, 885-892. O'Driscoll, M., 1992, European Cat Litter, Industrial Minerals, August, 46-65.

Nohales, A., Solar, L., Porcar, I., Vallo, C.I., Gomez, C.M., 2006. Morphology, Flexural, and Thermal Properties of Sepiolite Modified Epoxy Resins with Different Curing Agents, European Polymer Journal 42, 3093–3101.

Othmer, K., Wiley, J. ve oğulları, 1994. Encyclopedia of Chemical Technology, 4 th Edition, USA, 9.

Özden, G., 2004. Synthesis and Characterization of Polystyrene Clay Nanocomposites, The Graduate School of Natural and Applied Sciences Of Middle East Technical University, Yüksek Lisans Tezi, 1-12.

Rodlert, M., Plummer, C., 2003. Hyperbranched Polymer/Montmorillonite Clay Nanocomposites, Polymer, 45: 949-960.

Sabah, E., Çelik, M. S., 1998. Sepiyolit oluşumu, özellikleri, kullanım alanları, İnci Ofset, Afyon.

Sabah, E., 1998. Çeşitli Amin Türleri Kullanılarak Sepiyolitinin Adsorpsiyon Mekanizmasının Açıklanması, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

- Sabah, E., Sağlam, H., Kara, M. ve Çelik, M.S., 1997. Uptake of Cationic Surfactants by Clay Absorbent: Sepiolite, 5th Southern Hemisphere Meeting on Mineral Technology, Buenos Aires, Argentina, 277-280.
- Serratos, J.M., 1978. Surface Properties of Vibrous Clay Minerals (Palygorskite and Sepiolite), Proc. 1979 Int. Clay Conf, Oxford. Elsevier, 99-109.
- Swhartz, M.M., 1997. Composite Materials, Prentice Hall PTR, New Jersey, 1-15: 170-171.
- Şahin, Y., 2000. Kompozit Malzemeler Giriş, Gazi Kitabevi, Ankara, 13-17, 25-32.
- Ulcay, Y., Akyol, M., Gemci, R., 2002. Polimer Esaslı Lif Takviyeli Kompozit Malzemelerin Arabirim Mukavemeti Üzerine Farklı Kür Metotlarının Etkisinin İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bursa, 7 (1):4-13.
- Tarrio-Saavedra, J., Lopez-Beceiro, J., Naya, S., Artiaga, R., 2008. Effect of Silica Content on Thermal Stability of Fumed Silica/epoxy Composites, Polymer Degradation and Stability, 93, 2133–2137.
- Tsai, T.-Y., Wu, Y.-J., Hsu, F.-J., 2008. Synthesis and Properties of Epoxy/layered Zirconium Phosphonate (Zr-P) Nanocomposites, Journal of Physics and Chemistry of Solids, 69, 1379–1382.
- Qi, B., Zhang, Q.X., Bannister, M., Mai, Y.-W., 2006. Investigation of the Mechanical Properties of DGEBA-based Epoxy Resin with Nanoclay Additives, Composite Structures 75, 514–519.
- Vaia, R., Jandt, K., Kramer, E. ve Giannelis, E., 1995. Kinetics of Melt İntercalation, Macromolecules, 28: 8080-8085.
- Velde, B., 1992. Introduction to Clay Minerals, Chemistry, Origins, Uses and

Environmental Significance, 1st Edition, Chapman & Hall Inc., London, Great Britain, 10-15.

Vicente Rodriguez, M.A., Lopez Gonzalez, J.D. ve Banares Munoz, M.A., 1994.

Acid Activation of a Spanish Sepiolite, Physicochemical Characterization, free Silica Content and Surface Area of the Solids obtained, Clay Minerals 29,361-367.

Wang, J., Kong, X., Cheng, L., He, Y., 2008. Influence of Clay Concentration on the Morphology and Properties of Clay-epoxy Nanocomposites Prepared by in-situ Polymerization Under Ultrasonication, Journal of University of Science and Technology Beijing, 15, 3, 320-323.

Yasmin, A., Daniel, I.M., 2004. Mechanical and Thermal Properties of Graphite Platelet/epoxy Composites, Polymer , 45, 8211–8219.

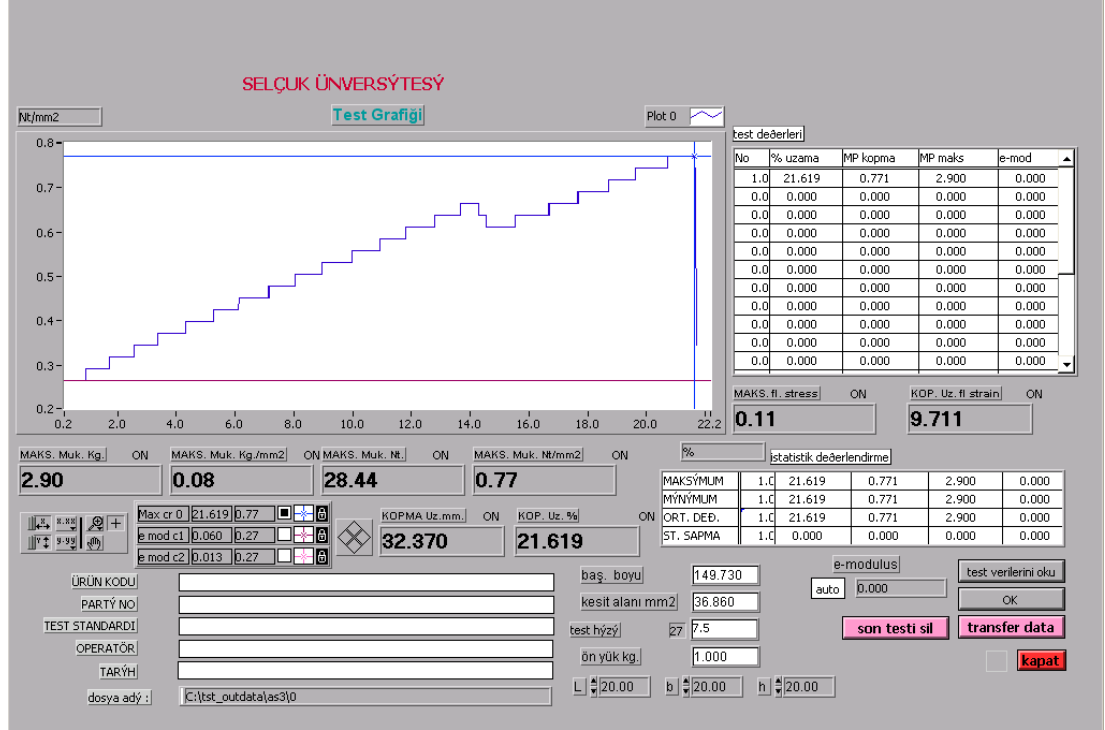
Zerda, A., Lesser, J.A., 2001. Intercalated Clay Nanocomposites: Morphology, Mechanics and Behavior, Materials Research Society Symposium Proceedings, 661: KK 7.2.1-KK7.2.6.

Zheng, X., 2005. Applications of Polymer-Layered Clay Nanocomposites, Milwaukee, Wisconsin, Maguette Üniversitesi Doktora Tezi.

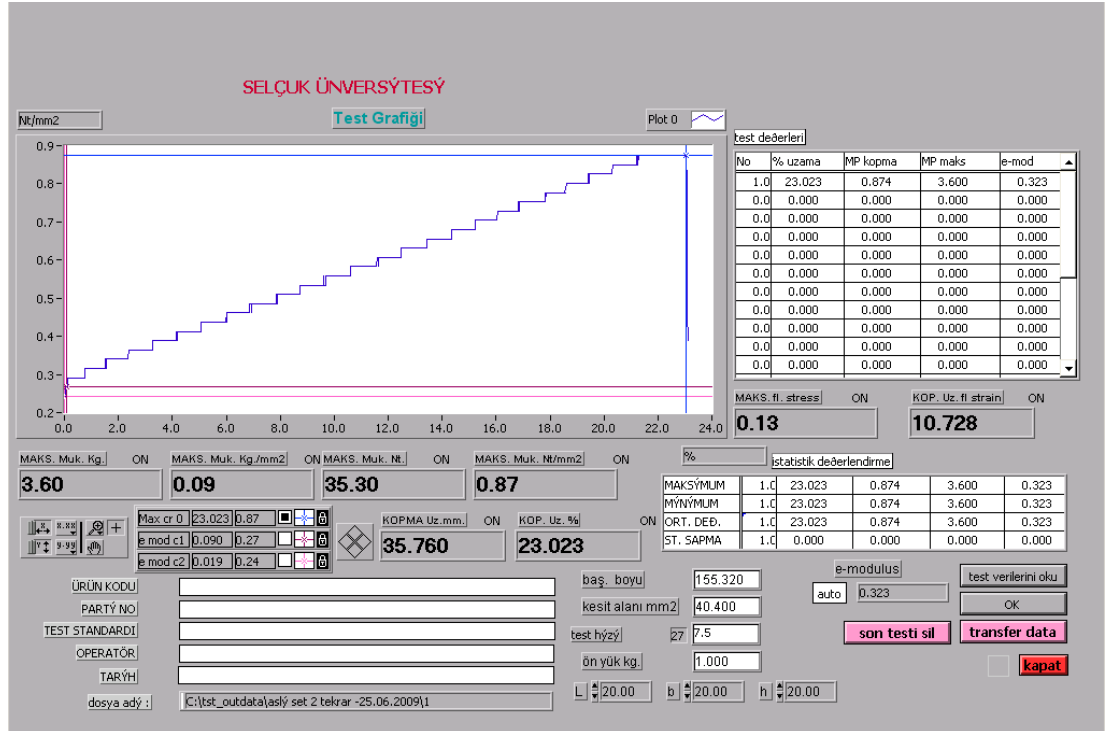
Zhou, Y., Pervin, F., Rangari, V.K., Jeelani, Sh., 2007. Influence of Montmorillonite Clay on the Thermal and Mechanical Properties of Conventional Carbon Fiber Reinforced Composites, Journal of Materials Processing Technology, 191, 347-351.

8. EKLER

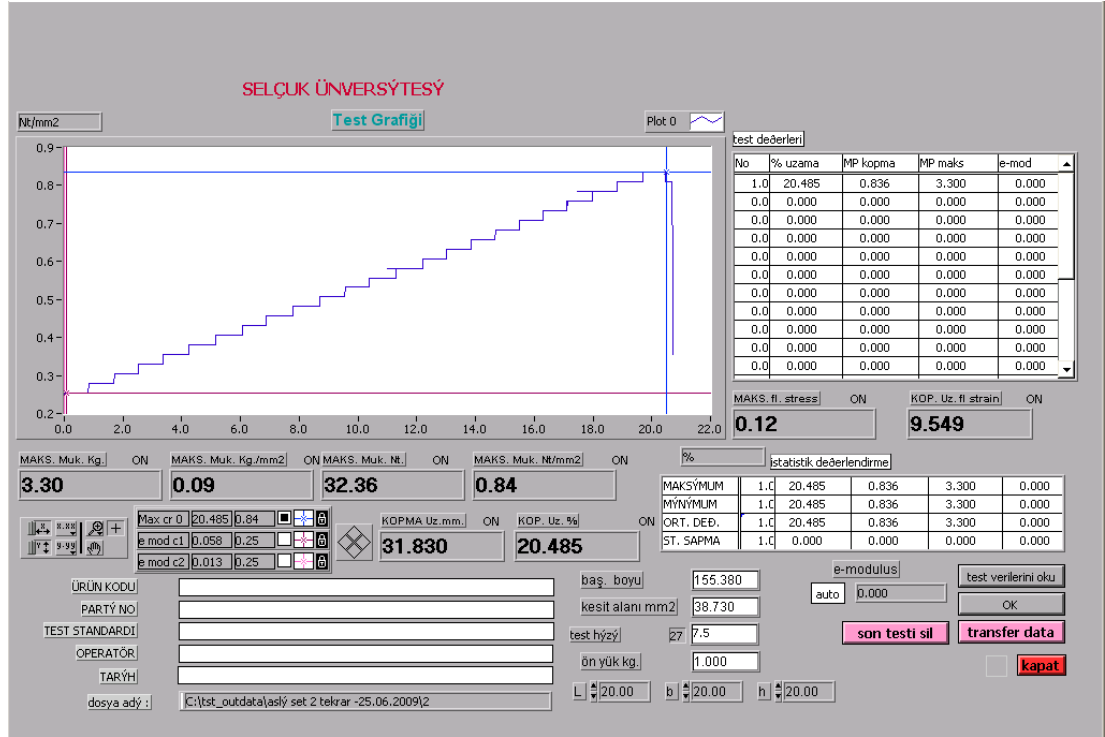
EK 1. %50 ETO-%50 ER + Polypox Hardener çekme test grafiği



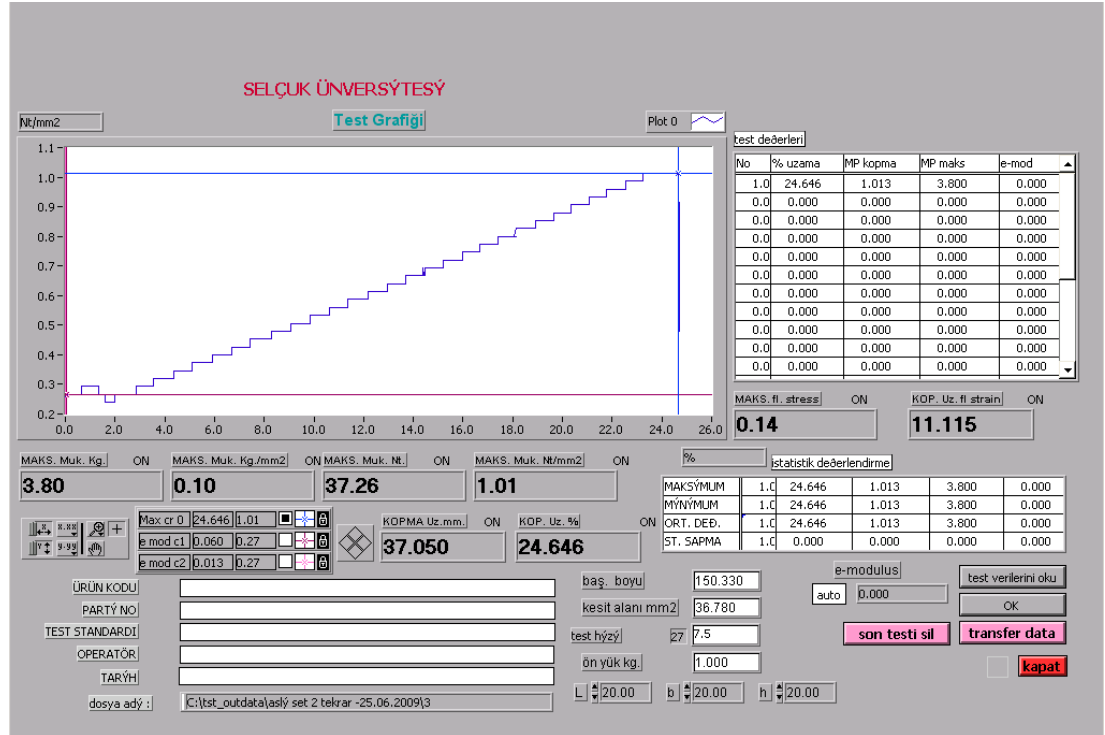
EK 2. %50 ETO-%50 ER %1 Sepiyolit (Modifiye Edilmemiş) + Polypox Hardener çekme test grafiği



EK 3. %50 ETO-%50 ER-%3 Sepiyolit (Modifiye Edilmemiş) + Polypox Hardener çekme test grafiği



EK 4. %50 ETO-%50ER -%5 Sepiyolit (Modifiye Edilmemiş) + Polypox Hardener çekme test grafiği



SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

Test Grafiği

NR/mm2

Plot 0

test değerleri

No	% uzama	MP kopma	MP maks	e-mod
1.0	17.913	0.929	3.700	0.323
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000

MAKS. fl. stress

ON

KOP. Uz. fl strain

ON

0.14

8.205

MAKS. Muk. Kg

ON

MAKS. Muk. Kg/mm2

ON

MAKS. Muk. Nt

ON

MAKS. Muk. N/mm2

ON

%

statistik değerlendirmesi

MAKSİYUM	1.C	17.913	0.929	3.700	0.323
MYNYUM	1.C	17.913	0.929	3.700	0.323
ORT. DEB.	1.C	17.913	0.929	3.700	0.323
ST. SAPMA	1.C	0.000	0.000	0.000	0.000

ÜRÜN KODU

PARTY NO

TEST STANDARDI

OPERATÖR

TARİH

dosya adı :

C:\test_outdata\asly set 2 tekrar -25.06.2009\4

baş. boyu

152.680

kesit alanı mm2

39.040

test hızı

27 7.5

ön yük kg

1.000

L

20.00

b

20.00

h

20.00

e-modulus

auto 0.323

test verilerini oku

OK

son testi sil

transfer data

kapat

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

Test Grafiği

Plot 0

test değerleri

No	% uzama	MP kopma	MP maks	e-mod
1.0	14.243	1.747	6.700	1.333
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000

MAKS. fl. stress: ON KOP. fl. strain: ON

0.25 **6.336**

MAKS. Muk. Kg: ON MAKS. Muk. Kg./mm²: ON MAKS. Muk. N: ON MAKS. Muk. N/mm²: ON %

6.70 **0.18** **65.70** **1.75**

istatistik değerlerime

	1.0	14.243	1.747	6.700	1.333
MAKSİYUM	1.0	14.243	1.747	6.700	1.333
MYNİYUM	1.0	14.243	1.747	6.700	1.333
ORT. DEĞ.	1.0	14.243	1.747	6.700	1.333
ST. SAPMA	1.0	0.000	0.000	0.000	0.000

Max or 0: 14.243 1.75

e mod c1: 0.094 0.34

e mod c2: 0.020 0.26

KOPMA Uz. mm: ON KOP. Uz. %: ON

21.120 **14.243**

ÜRÜN KODU: PARTİ NO: TEST STANDARDI: OPERATÖR: TARİH:

baş. boyu: 148.280 kesit alanı mm²: 37.600

test hızı: 27 7.5 ön yük kg: 1.000

L: 20.00 b: 20.00 h: 20.00

dosya adı: C:\test_outdata\as2-değilabilir veriler\2

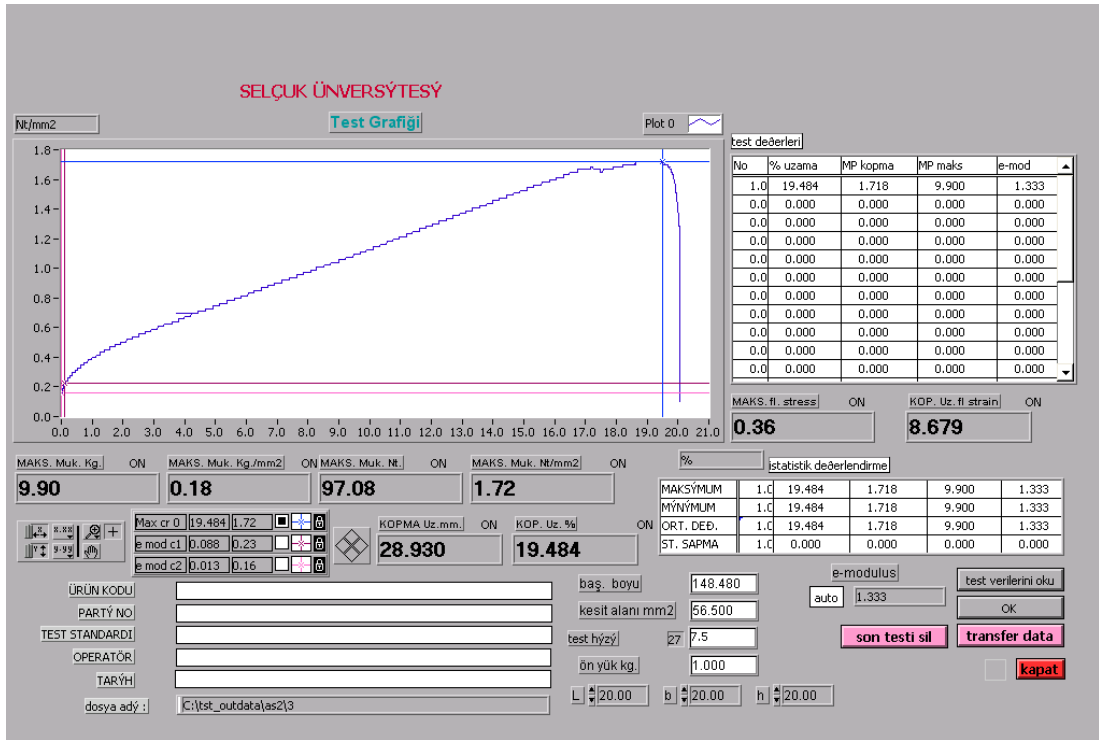
e-modulus: 1.333

test verilerini oku: OK

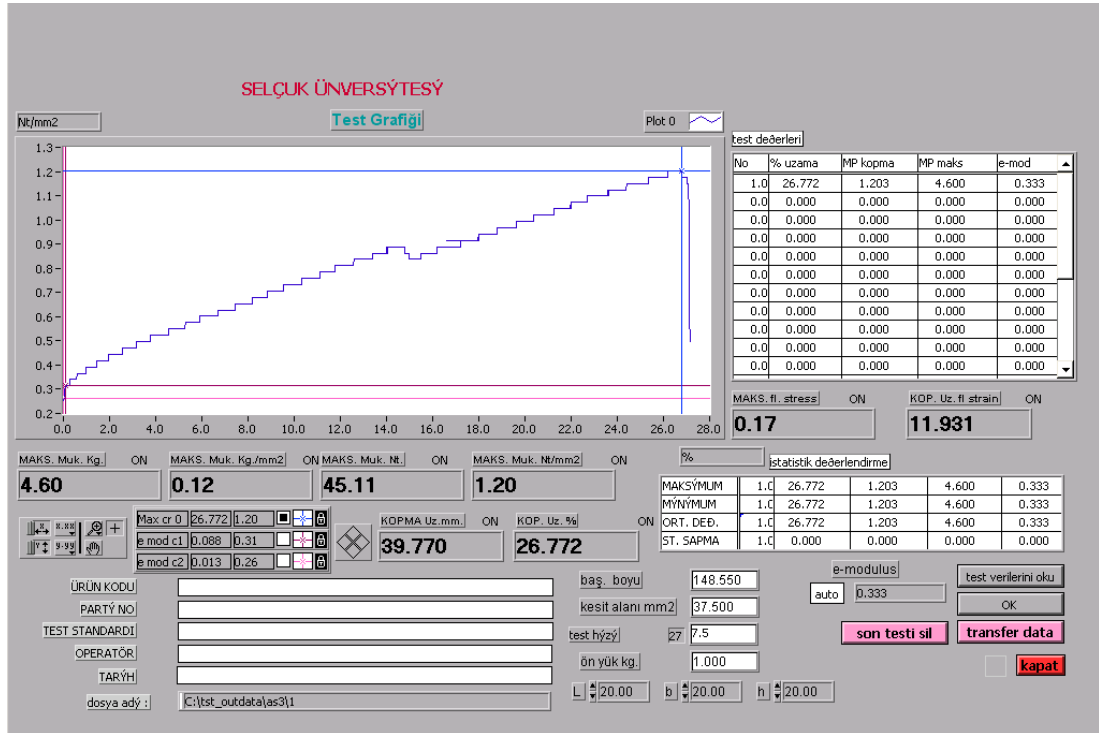
son testi sil transfer data

kapat

EK 7. %50ETO-%50ER -%20 Sepiyolit (Modifiye Edilmemiş) + Polypox Hardener çekme test grafiği



EK 8. %50 ETO-%50 ER -%1 Sepiyolit (Modifiye Edilmiş) + Polypox Hardener çekme test grafiği



SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

Test Grafiği

MM/mm2 Plot 0

test değerleri

No	% uzama	MP kopma	MP maks	e-mod
1.0	22.746	0.635	2.600	0.333
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000

MAKS. Mük. Kg ☐ ON MAKS. Mük. Kg/mm2 ☐ ON MAKS. Mük. N ☐ ON MAKS. Mük. N/mm2 ☐ ON

2.60 **0.13** **39.23** **0.98**

% ☐ test etki2 değerleri/line

	MAXİMUM	1.0	22.746	0.635	2.600	0.333
MINİMUM	1.0	22.746	0.635	2.600	0.333	
ORT. DEĞ.	1.0	22.746	0.635	2.600	0.333	
ST. SAPMA	1.0	0.000	0.000	0.000	0.000	

KOPMA Üç. mm ☐ ON KOP. Üç. N ☐ ON

32.020 **22.746**

MAKS. R. stress ☐ ON KOP. Üç. R. stress ☐ ON

0.20 **5.154**

UKUN KODU

PARTY NO

TEST STANDARDI

OPERATOR

TARİH

dosya adı C:\test_puhtutulan3-delbetek veriler\2-2

bağ. boyu 75.530

kesit alanı mm2 40.150

test hızı 27

örn yük kg 1.000

L 20.00 E 20.00 H 20.00

test verileri oku

son testi sil

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

Test Grafiği

Plot 0

Test değerleri

No	% uzama	MP kopma	MP maks	e-mod
1.0	27.333	1.435	5.400	0.667
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000

MAKS. fl. stress ON KOP. Uz. fl strain ON

0.20 **12.171**

MAKS. Muk. Kg. ON MAKS. Muk. Kg./mm2 ON MAKS. Muk. N/mm2 ON % istatistik değerlendirmesi

5.40 **0.15** **52.95** **1.44**

Max cr 0 27.333 1.44

E mod c1 0.094 0.32

E mod c2 0.020 0.27

KOPMA Uz. mm. ON KOP. Uz. % ON

40.570 **27.333**

ÜRÜN KODU

PARTY NO

TEST STANDARDI

OPERATÖR

TARİH

dosya adı :

baş. boyu 148.430

kesit alanı mm2 36.900

test hızı 27 7.5

ön yük kg. 1.000

e-modulus auto 0.667

test verilerini oku

OK

son testi sil

transfer data

kapat

C:\tst_outdata\as3-dea\pebilir veriler\3

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

Nİ/mm2

Test Grafiği

Plot 0

MAKS. Muk. Kg. ON **MAKS. Muk. Kg./mm2** ON **MAKS. Muk. N.** ON **MAKS. Muk. N/mm2** ON **%**

5.80 **0.16** **56.87** **1.52**

Max cr 0 [26.026] [1.52] **KOPMA Uz. mm.** ON **KOP. Uz. %** ON

E mod c1 [0.034] [0.31] **38.610** **26.026**

E mod c2 [0.013] [0.26]

test değerleri

No	% uzama	MP kopma	MP maks	e-mod
1.0	26.026	1.522	5.800	0.667
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000

MAKS. fl. stress ON **KOP. Uz. fl. strain** ON

0.21 **11.583**

statistik değerlendirmesi

	1.0	1.0	1.0	1.0
MAKSİYUM	26.026	1.522	5.800	0.667
MYNYMUM	26.026	1.522	5.800	0.667
ORT. DEĞ.	26.026	1.522	5.800	0.667
ST. SAPMA	0.000	0.000	0.000	0.000

e-modulus

auto **0.667**

test verilerini oku **OK**

son testi sil **transfer data** **kapat**

ÜRÜN KODU **PARTY NO** **TEST STANDARDI** **OPERATÖR** **TARİHİ**

dosya adı : C:\test_outdata\as3-deolicebilir veriler\4

SİĞİRİCİ ÜNİVERSİTESİ

Test Grafiği

No	% uzama	MP kopma	MP maks	e-mod
1.0	14.904	0.755	3.100	0.323
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000

MAKS. fl. stress: ON **KOP. Uz. fl strain:** ON

0.11 **6.804**

MAKS. Muk. Kg: ON **MAKS. Muk. Kg./mm²:** ON **MAKS. Muk. Nt:** ON **MAKS. Muk. Nt/mm²:** ON

3.10 **0.08** **30.40** **0.76**

% **statistik değerlendirmesi**

	1.C	14.904	0.755	3.100	0.323
MAKSİYÜM	1.C	14.904	0.755	3.100	0.323
MYNYMUM	1.C	14.904	0.755	3.100	0.323
ORT. DED.	1.C	14.904	0.755	3.100	0.323
ST. SAPMA	1.C	0.000	0.000	0.000	0.000

Max cr 0 [14.904] **0.76** **KOPMA Uz.mm.** ON **KOP. Uz. %** ON

e mod c1 [0.099] **0.27** **22.680** **14.904**

e mod c2 [0.020] **0.24**

ÜRÜN KODU **PARTY NO** **TEST STANDARDI** **OPERATÖR** **TARİH**

baş. boyu [152.170] **kesit alanı mm²** [40.240]

test hızı [27] **7.5** **ön yük kg.** [1.000]

Lj [20.00] **b** [20.00] **h** [20.00]

dosya adı: [C:\test_outdata\asl-y-09.07.2009\2]

e-modulus [0.323] **test verilerini oku** **OK**

son testi sil **transfer data** **kapat**

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

Test Grafiği

Plot 0

test değerleri

No	% uzama	MP kopma	MP maks	e-mod
1.0	14.094	0.737	2.900	0.313
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000

MAKS. fl. stress ON KOP. fl. strain ON

21.33 **0.081**

MAKS. Muk. Kg ON MAKS. Muk. Kg/mm2 ON MAKS. Muk. N ON MAKS. Muk. N/mm2 ON % istatistik değerlendirme

2.90 **0.08** **28.44** **0.74**

MAKSİYUM 1.C 14.094 0.737 2.900 0.313
 MİNİYUM 1.C 14.094 0.737 2.900 0.313
 ORT. DEB. 1.C 14.094 0.737 2.900 0.313
 ST. SAPMA 1.C 0.000 0.000 0.000 0.000

KOPMA Uz. mm ON KOP. Uz. % ON

21.620 **14.094**

e-modulus auto 0.313 test verilerini oku OK

son testi sil transfer data

ÜRÜN KODU
 PARTİ NO
 TEST STANDARDI
 OPERATÖR
 TARİHİ
 dosya adı : C:\tst_outdata\asly-09.07.2009\1

baş. boyu 153.400
 kesit alanı mm2 38.610
 test hızı 27 7.5
 ön yük kg. 1.000
 L 80.00 b 10.00 h 4.00

kapat

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

Test Grafiği

Plot 0

test değerleri

No	% uzama	MP kopma	MP maks	e-mod
1.0	10.757	0.579	2.200	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000

MAKS. fi. stress: **0.08** KOP. Uz. fi. strain: **5.025**

MAKS. Muk. Kg: **2.20** MAKS. Muk. Kg/mm2: **0.06** MAKS. Muk. Nt: **21.57** MAKS. Muk. Nt/mm2: **0.58**

KOPMA Uz. mm: **16.750** KOP. Uz. %: **10.757**

	1.0	1.0	1.0	1.0
MAKSİYUM	10.757	0.579	2.200	0.000
MYNİYUM	10.757	0.579	2.200	0.000
ORT. DEĞ.	10.757	0.579	2.200	0.000
ST. SAPMA	0.000	0.000	0.000	0.000

ÜRÜN KODU: baş. boyu: 155.710

PARTY NO: kesit alanı mm2: 37.240

TEST STANDARDI: test hızı: 27 7.5

OPERATOR: ön yük kg.: 1.000

TARYH: L: 20.00 b: 20.00 h: 20.00

dosya adı: C:\test_outdata\asly-09.07.2009\3

test verilerini oku

OK

son testi sil

transfer data

kapat

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

Test Grafiği

NR/mm2

Plot 0

test değerleri

No	% uzama	MP kopma	MP maks	e-mod
1.0	36.207	1.367	5.800	1.034
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000

MAKS. fl. stress

ON

KOP. Uz. fl strain

ON

0.21

15.900

MAKS. Muk. Kg

ON

MAKS. Muk. Kg/mm2

ON

MAKS. Muk. Nt

ON

MAKS. Muk. Nt/mm2

ON

%

statistik değerlendirmesi

MAKSİYUM	1.0	36.207	1.367	5.800	1.034
MYNYMUM	1.0	36.207	1.367	5.800	1.034
ORT. DEĞ.	1.0	36.207	1.367	5.800	1.034
ST. SAPMA	1.0	0.000	0.000	0.000	0.000

Max cr 0

36.207

1.37

KOPMA Uz. mm

ON

KOP. Uz. %

ON

53.000

36.207

e mod c1

0.096

0.31

e mod c2

0.020

0.24

ÜRÜN KODU

PARTY NO

TEST STANDARDI

OPERATOR

TARYH

dosya adı :

E:\asly-SOM\aslyset5-1

baş. boyu

146.380

kesit alanı mm2

41.610

test hızı

27

7.5

ön yük kg.

1.000

L

20.00

b

20.00

h

20.00

test verilerini oku

OK

son testi sil

transfer data

kapat

SİRKÜLER ÜNİVERSİTESİ

Nr./mm² **Test Grafiği** Plot 0

No	% uzama	MP kopma	MP maks	e-mod
1.0	31.394	1.220	5.100	0.714
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000

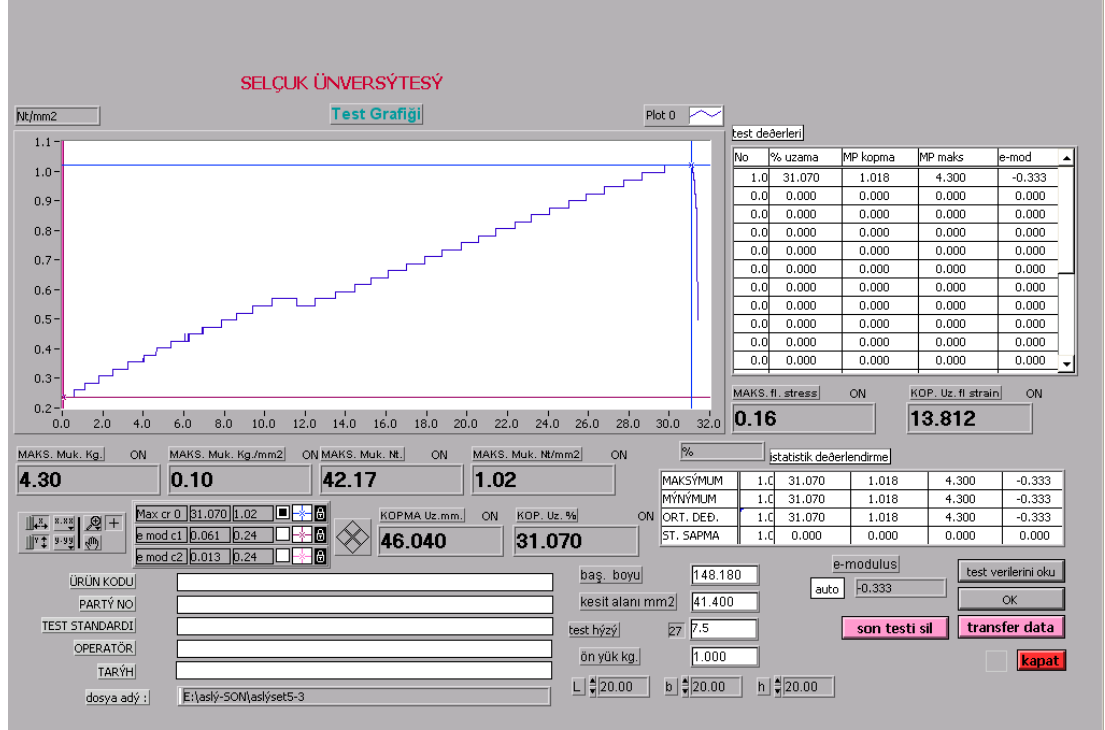
MAKS. Muk. Kg. ON	MAKS. Muk. Kg./mm²	ON MAKS. Muk. Nt. ON	MAKS. Muk. Nt./mm² ON	%
5.10	0.12	50.01	1.22	statistik değerlendirmesi

URÜN KODU:	PARTY NO:	TEST STANDARDI:	OPERATÖR:	TARİH:	dosya adı :
					E:\aslıy-Son\asılyset-5-2

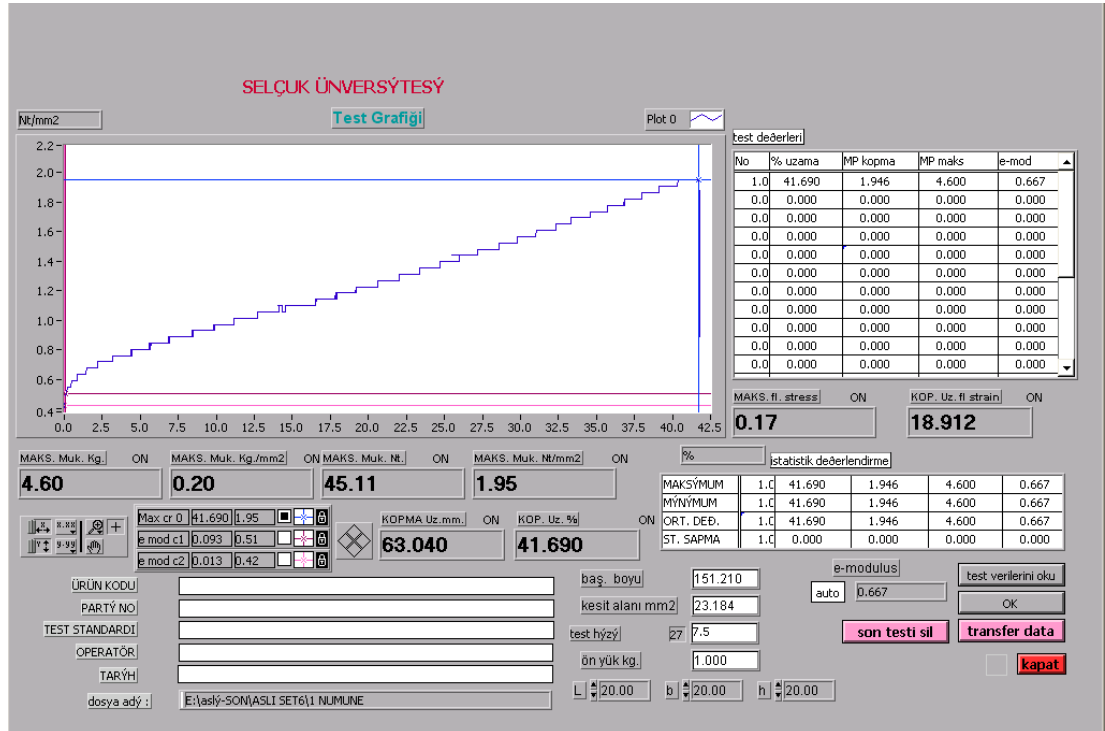
KOPMA Uz.mm. ON	KOP. Uz.% ON	baş. boyu	kesit alanı mm²	test hızı/y	ön yük kg.	L	b	h
46.200	31.394	147.160	41.000	27 7.5	1.000	20.00	20.00	20.00

g-modulus	test verilerini oku
auto 0.714	OK
son testi sil	transfer data
	kapat

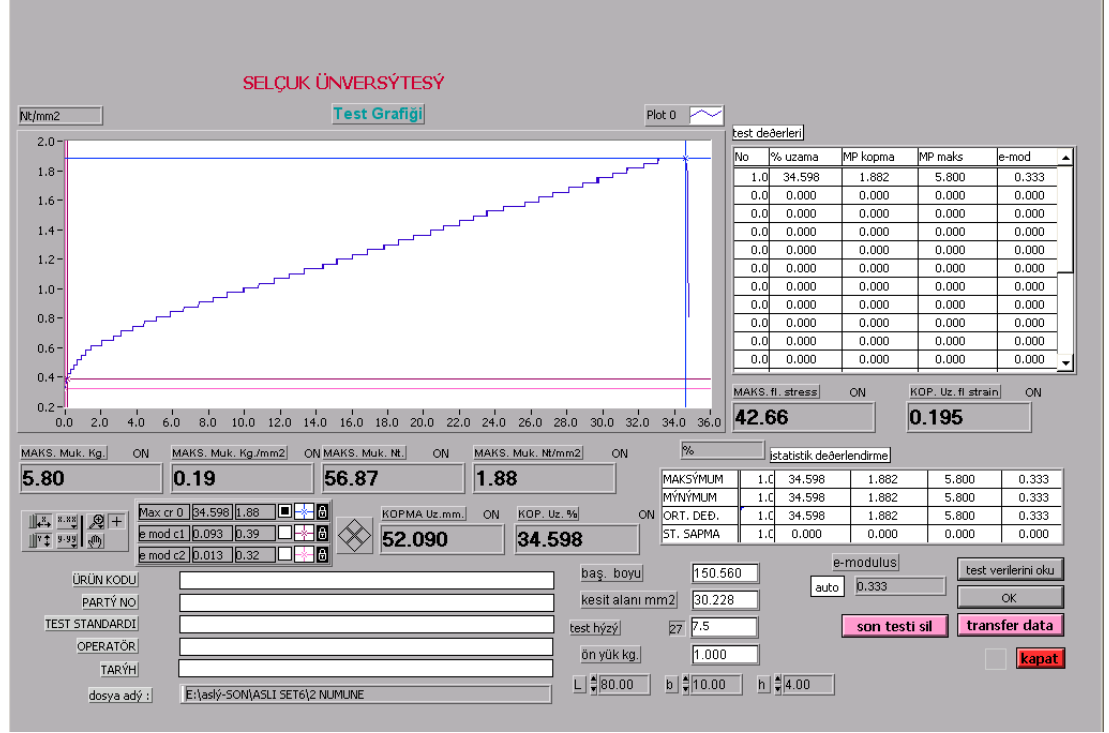
EK 17. %50ETO-%50ER -%5 Sepiyolit (Modifiye Edilmiş) -%5 PEG + Polypox Hardener çekme test grafiği



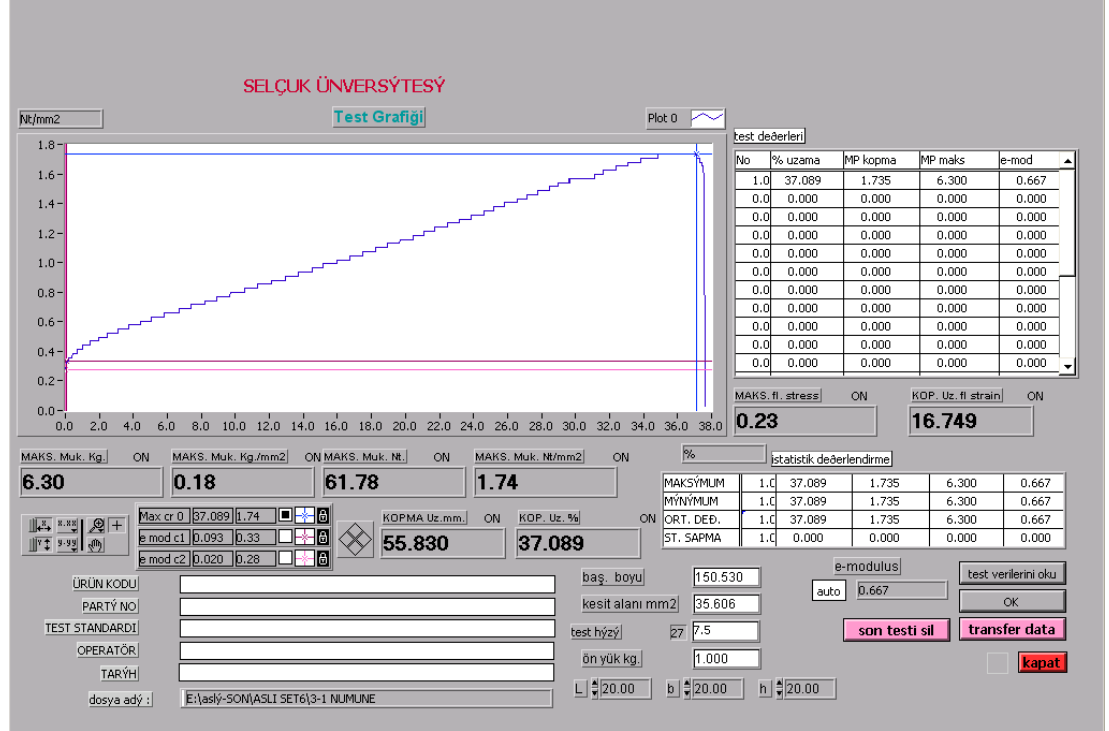
EK 18. %50ETO-%50ER -%1 Sepiyolit (Modifiye Edilmiş) -%1 PEG + Polypox Hardener çekme test grafiği



EK 19. %50 ETO-%50 ER -%3 Sepiyolit (Modifiye Edilmiş) -%1 PEG + Polypox Hardener çekme test grafiği



EK 20. %50 ETO-%50 ER -%7 Sepiyolit (Modifiye Edilmiş) -%1 PEG + Polypox Hardener çekme test grafiği



SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

Test Grafiği

Plot 0

Test Grafiği

No	% uzama	MP kopma	MP maks	e-mod
1.0	33.985	2.251	9.000	0.667
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000

MAKS. Muk. Kg. ON MAKS. Muk. Kg./mm2 ON MAKS. Muk. N. ON MAKS. Muk. N/mm2 ON

9.00 **0.23** **88.25** **2.25**

% **0.33** **15.228**

statistik değerlerdir

MAKS.YMUM	1.0	33.985	2.251	9.000	0.667
MYNYMUM	1.0	33.985	2.251	9.000	0.667
ORT. DEB.	1.0	33.985	2.251	9.000	0.667
ST. SAPMA	1.0	0.000	0.000	0.000	0.000

ÜRÜN KODU:

PARTY NO:

TEST STANDARDI:

OPERATÖR:

TARİH:

dosya adı:

baş. boyu 149.360

kesit alanı mm2 39.200

test hızı 27 7.5

ön yük kg. 1.000

L 20.00 b 20.00 h 20.00

test verilerini oku

son testi sil