

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATIK PET VE MERMER TOZUNUN KOMPOZİT
MALZEME ÜRETİMİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Emin ÇİNAR

111118103

Anabilim Dalı: Kimya Mühendisliği
Programı: Temel İşlemler ve Termodinamik

Danışman: Doç. Dr. Filiz KAR

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 15 Haziran 2016

HAZİRAN-2016

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATIK PET VE MERMER TOZUNUN KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİNDE
DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mehmet Emin ÇİNAR

11118103

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 15 Haziran 2016

Tezin Savunulduğu Tarih:14 Temmuz 2016

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Filiz KAR (F.Ü)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Asım KÜNKÜL (İ.Ü)
Prof. Dr. Nurhan ARSLAN (F.Ü)

TEMMUZ-2016

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	i
ÖNSÖZ.....	iii
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	v
SİMGELER LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. TEMEL BİLGİLER.....	3
2.1 PET (PolietilenTerafitalat).....	3
2.1.1 PET'in sentezi.....	3
2.1.2 PET'in fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	4
2.2. Polimer Geri Dönüşümün Sınıflandırılması.....	5
2.2.1. Birincil geri dönüşüm.....	5
2.2.2. Mekanik geri dönüşüm (ikincil geri dönüşüm).....	5
2.2.3 Kimyasal geri dönüşüm (üçüncül geri dönüşüm).....	5
2.2.4. Enerji geri kazanımı(dördüncül geri dönüşüm).....	6
2.3. PET Kimyasal Geri Dönüşüm Teknikleri.....	7
2.3.1. Glikoliz.....	8
2.3.2. Metanoliz.....	8
2.3.3. Hidroliz.....	8
2.3. 4. Aminoliz.....	9
2.3.5 Amonoliz.....	9
2.4. Mermer.....	9
2.5. Kompozitler.....	11
2.5.1. Kompozitlerin sınıflandırılması.....	13
2.5.2. Matrislerin sınıflandırılması.....	14
2.5.2.1. Polimer matrisli kompozitler.....	14
2.5.2.1.1. Termoset matrisler.....	15
2.5.2.1.2. Termoplastik matrisler.....	16
2.5.2.2. Metal matrisli kompozitler.....	17
2.5.2.3. Seramik matrisli kompozitler.....	18
2.5.3.Polimer matrisli kompozitlerin kullanım alanları.....	19
2.6. Kompozit Malzeme Üretimi.....	19
2.6.1. Termoset matrisli kompozitlerin üretimi.....	21
2.6.1.1. Prepreg.....	21
2.6.1.2. Elle yatırma.....	22
2.6.1.3. Püskürtme yöntemi.....	24
2.6.1.4. Hazır kalıplama.....	26
2.6.1.5. Reçine transfer kalıplama.....	27
2.6.1.6. Elyaf sarma.....	28
2.6.1.7. Tabakalı birleştirilme.....	30
2.6.1.8. Yapısal reaksiyon enjeksiyon kalıplama(SRIM).....	30
2.6.1.9. Profil çekme (Pultruzyon).....	31
2.6.1.10. Otoklav.....	32
2.6.2. Termoplastik matrisli kompozitlerin üretimi.....	32
2.6.2.1. Enjeksiyon kalıplama.....	33

2.7. Kompozit Malzemenin Karakterizasyonu.....	33
2.7.1. Malzemenin çekme özellikleri.....	34
2.7.2. Üç noktadan eğme testi.....	35
2.7.3. Vickers sertlik deneyi.....	35
2.7.4. Limit oksijen ihtiyacı (LOİ) ile yanma özelliklerinin tayini.....	36
2.7.5. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC).....	37
2.7.6. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	38
2.7.7. İletkenlik testi.....	39
2.8 Kaynak Özetleri.....	39
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	42
3.1. Materyal.....	42
3.1.1. Atık PET.....	42
3.1.2. Mermer Tozu.....	42
3.2. Yöntem.....	43
3.2.1. Ekstruzyon Sistemi.....	43
3.2.2. Sıcak pres ile kalıplama.....	45
3.2.3. Kompozit örneklerinin hazırlanması.....	46
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	47
4.1 Mermer Partikül Boyutunun Kompozit Malzemenin Mekanik Özelliklerine Etkisi... ..	47
4.2. Mermer Tozu İçeren Kompozit Malzemenin Yanma Özelliklerinin İncelenmesi... ..	51
4.3. Termal iletkenlik.....	53
4.4. PET/Mermer Tozu Kompozit Malzemelerin Yapı Analizi.....	53
4.5. PET/Mermer Tozu Kompozit Malzemelerin Termal Özellikleri.....	65
5. SONUÇLAR.....	67
KAYNAKLAR.....	68
EKLER.....	70
ÖZGEÇMİŞ	82

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının yapılmasında her türlü yardımlarını esirgemeyen, çalışmalarında bana daima yol gösteren engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım değerli danışmanım Doç. Dr. Filiz KAR hocama teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca deney düzeneklerinin hazırlanmasında ve parça imalatında atölye imkânlarını kullanarak büyük emek harcayan Elazığ Şeker Fabrikası Mekanik Atölye ve Boru hane Ustabaşısı ve personeline ve Fırat üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Atölye Ustabaşısı ve personeline teşekkür ederim.

Laboratuvar imkânlarını kullanarak tezimde yardımcı olan F.Ü. Teknoloji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Niyazi ÖZDEMİR'e Sayın Yrd. Doç. Dr. Soner BUYTOZ'a, Fizik Bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. Canan CANBAY'a ve Tunceli Üniversitesine atanan Yrd. Doç. Dr. Yakup SAY'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu süre boyunca beni her zaman destekleyen eşime teşekkür ederim.

Mehmet Emin ÇİNAR

2016

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ATIK PET VE MERMER TOZUNUN KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

Mehmet Emin ÇİNAR

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Filiz KAR

Gün geçtikçe artan sanayileşme, kentleşme ve teknolojik gelişmeler doğal kaynakların tükenmesi ve çevre kirliliği problemlerinin artmasına neden olmuştur. Özellikle atıkları düzenli bir şekilde bertaraf edebilmek için yeterli alanı bulunmayan ülkeler için atıkların değerlendirilmesi veya bertaraf atık miktarının ve hacminin azalması yönünde büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bu amaçlar doğrultusunda, hem kaynakları koruma hem de çevre kirliliğini önleme amacıyla birçok çalışma yapılmakta ve projeler geliştirilmektedir. PET şişeler özellikle alkolsüz içecekler sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır ve fiziksel veya kimyasal geri kazanım işleminden geçirilerek yeniden kullanılabilir. PET

Son zamanlarda, çevre mevzuatı ve tüketici bilincinin artması atıkların yeniden değerlendirilmesi konusuna olan ilgiyi arttırmıştır. Polimer kompozitler düşük ağırlık, düşük maliyet, işlem ve şekillendirme kolaylığı ile korozyon direnci gibi özelliklerinden dolayı pek çok uygulamalar için oldukça caziptir.

Bu çalışmada atık PET (Polietilen teraftalat) şişeler ve mermer tozu kullanılarak kompozit malzeme üretimi hedeflenmiştir. Bu sayede hem bu atıklardan kaynaklanan kirlilik azaltılacak hem de mermer tozunun düşük maliyeti, yanmazlık ve yüksek mekanik özellikleri, PET'in özellikleri ile birleştirilerek daha yüksek özelliklere sahip ancak daha düşük maliyetli yeni bir malzeme üretimi yapılacaktır. Bu amaçla, PET atıklarından elde edilen parçacıklar, mermer tozu ile vidalı bir karıştırıcıda (ekstruder) karıştırılarak kompozit malzeme üretilmesi ve bu malzemenin mekanik, termal ve morfolojik özelliklerine etkisi incelenmiştir.

Haziran 2016 82 sayfa

Anahtar Kelimeler: Geri Dönüşüm, Atık PET, PET'in Geri Dönüşümü, Kompozit Malzeme, Mermer Tozu

ABSTRACT

Master Thesis

EVALUATION OF PET WASTE AND MARBLE DUST IN PRODUCTION OF COMPOSITE MATERIAL

Mehmet Emin ÇİNAR

Fırat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Chemical Engineering

Supervisor: Doç. Dr. Filiz KAR

The increasing industrialization, urbanization and the technological development have caused to increase depletion of the natural resources and environmental pollution's problem. Especially, for the countries which have not enough space recycling of the waste eliminating waste on regular basis or decreasing the amount and volume of waste have provided the important advantages. There are lots of studies and projects to develop both protect resources and prevent environmental pollution. PET bottles are commonly used in beverage industry and can be reused after physical and chemical recycling processes. Usage areas of recycled PET have been developed rapidly.

Recently environmental, legislative and consumer pressures have led to an increase of interest in reusing polymers from waste. Polymer composites are attractive for variety of applications due to many features including low weight, low cost, ease of processing and shaping, and corrosion resistance. Fillers are typically added to enhance chemical and/or physical properties of polymers.

In this study, composite materials will be produced using the waste PET (polyethylene terephthalate) bottles and the marble dust. Thus both the reduction of pollution caused by waste and the low cost of marble dust, flame retardancy properties, high mechanical properties, combined with PET in features lower cost but higher mechanical properties a new materials will be achieved. For this purpose, the particles obtained from PET waste and marble dust were mixed in a screw (extruder). The production of composite materials, its chemical and mechanical possibilities and usage possibilities of composite materials as a new material in industry were investigated.

Keywords: Recycling, Waste PET, Composite material, Marble dust

SİMGELER DİZİNİ

σ	Gerilim
ε	Gerinim
TFA	Terafitalik Asit
EG	Etilen Glikol
DMT	Dimetil Terafitalat
BHET	Bis(hidroksietil) teraftalat
PD	Polimerizasyon Derecesi
SSP	Kararlı. Hal Polimerizasyonu
LOI	Limit Oksijen İhtiyacı.
DSC	Diferansiyel Taramalı. Kalorimetri
SEM	Taramalı. Elektron Mikroskobu
PSO,PSU	Polisülfonlar
PEEK	poli(etereterketon)
TiB ₂	titanyum borit
Al ₄ C ₃	karpit
RTM	reçine transfer kalıplamasın
SRIM	Yapısal Reaksiyon Enjeksiyon Kalıplama

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. PET'in sentezi.....	4
Şekil 2.2 Değişik kimyasal yollarla PET'in geri dönüşümü.....	7
Şekil 2.3 Metanoliz prosesi.....	8
Şekil 2.4. Kompozitler ve diğer bazı maddelerin karşılaştırmalı (a) yoğunluk ve (b) kopma dayanımları (Saçak 2005).....	12
Şekil 2.5. Kompozitlerin gruplandırılması (Saçak, 2005).....	13
Şekil 2.6. (a) lif ve (b) tanecik takviyeli kompozit.....	13
Şekil 2.7. Kalıp işleme basamakları(Gay vd., 2003).....	20
Şekil 2.8. Kompozit malzemelerin üretim yöntemlerinin sınıflandırılması (Mazumdar, 2002).....	21
Şekil 2.9. Prepreg hazırlama.....	22
Şekil 2.10. El yatırma düzeneği (Gay vd., 2003).....	23
Şekil 2.11. Yaş elle yatırma ile kompozit üretimi.....	23
Şekil 2.12. Vakum torbalama yöntemiylakompozit üretimi (a) katmanlar (b) vakum uygulama.....	24
Şekil 2.13. Püskürtme yöntemi ile kompozit üretimi.....	25
Şekil 2.14. Hazır kalıplama düzeneği(Gay vd., 2003).....	27
Şekil 2.15. Reçine geçişli kalıplama. (a) ön şekillendirilmiş dokumanın kalıba alınması, (b) kalıba reçine alınması (c) sertleştirme (d)kalıptan ürünün alınması (Saçak, 2005).....	28
Şekil 2.16. Elyaf sarma yöntemi ile kompozit üretimi.....	29
Şekil 2.17. Fılament sarma yöntemiyle kompozit üretiminde mandrele lifin sarılma biçimleri.....	29
Şekil 2.18. Tabakalı kompozit (Mazumdar, 2002).....	30
Şekil 2.19. Yapısal reaksiyon enjeksiyon kalıplama (SRIM) gösterimi.....	31
Şekil 2.20. Profil çekme yöntemi ile kompozit üretimi.....	31
Şekil 2.21. Enjeksiyon kalıplama.....	33
Şekil 2.22. Tipik bir polimer malzemenin gerilim-gerinim davranışı.....	35
Şekil 2.23. Üç Noktadan Eğme Testinin Çalışma Prensibi.....	35
Şekil 2.24. Vickers Sertlik Ölçme Deney Düzeneği.....	36

Şekil 2.25. Polimerler için tipik bir DSC eğrisi.....	38
Şekil 3.1 Ekstrüzyon sistemi.....	43
Şekil 3.2 Ekstrüzyon sisteminde kullanılan sonsuz vidanın şematik görünümü.....	44
Şekil 3.3 Pres ile kalıplama.....	45
Şekil 3.4 Hidrolik pres cihaz ile kalıplama işleminin şematik görünümü.....	46
Şekil 4. 1. Atık PET ve mermer tozu karışımlarının maksimum gerilmesinin mermer tozu oranı ile değişimi.....	47
Şekil 4. 2. Atık PET ve mermer tozu karışımlarının maksimum uzamasının mermer tozu oranı ile değişimi	48
Şekil 4. 3. Atık PET ve mermer tozu karışımlarının kopma enerjisinin mermer tozu oranıyla değişimi.....	49
Şekil 4. 4. Atık PET ve mermer tozu karışımlarının üç nokta eğme sonuçlarının mermer tozu oranıyla değişimi.....	49
Şekil 4.5. Atık PET ve mermer tozu karışımlarının üç nokta eğme sonuçlarının mermer tozu oranıyla değişimi.....	50
Şekil 4. 6. Atık PET ve mermer tozu karışımlarının sertliğinin mermer tozu oranıyla değişimi.....	51
Şekil 4. 7. Yanma testi deney esnasında numune görüntüleri.....	52
Şekil 4. 8. Atık PET ve mermer tozu karışımlarının yanma özelliklerinin mermer tozu oranıyla değişimi.....	52
Şekil 4. 9. Atık PET ve mermer tozu karışımlarının termal iletkenlikleri.....	53
Şekil 4.10. Atık PET örneklerine ait SEM görüntüleri.....	54
Şekil 4.11. % 5 mermer tozu oranı (100 mesh elek üstü) için SEM görüntüleri.....	55
Şekil 4.12. % 10 mermer tozu oranı (100 mesh elek üstü) için SEM görüntüleri.....	56
Şekil 4.13. % 15 mermer tozu oranı (100 mesh elek üstü) için SEM görüntüleri.....	57
Şekil 4.14. % 20 mermer tozu oranı (100 mesh elek üstü) için SEM görüntüleri.....	58
Şekil 4.15. %25 mermer tozu oranı (100 mesh elek üstü) için SEM görüntüleri	59
Şekil 4.16. 100 mesh elek altı % 5 mermer tozu oranı.....	60
Şekil 4.17. 100 mesh elek altı % 10 mermer tozu oranı.....	61
Şekil 4.18. 100 mesh elek altı % 15 mermer tozu oranı.....	62
Şekil 4.19. 100 mesh elek altı % 20 mermer tozu oranı.....	63
Şekil 4.20. 100 mesh elek altı % 25 mermer tozu oranı.....	64
Şekil.4.21. Mermer oranına göre termal özelliklerin değişimi	65

Şekil.4.22. Mermer oranına göre termal özelliklerin değişimi.....66



TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Plastik ve diğer malzemelerin ısı kapasiteleri (Mella, 2005).....	6
Tablo 2.2. Türkiye’de Mermer Rezerv Miktarları.....	9
Tablo 2.3. Termoset ve termoplastiklerin maksimum sıcaklık değerleri (Mazumdar, 2002).....	17
Tablo 2.4. Metal matrislerle kullanılan takviye malzemeleri (Saçak, 2005).....	18
Tablo 3.1 Elazığ sunta mermer tozunun fiziksel özellikleri(Elmad Mermer).....	42
Tablo 3.2 Ekstrüzyon sisteminde kullanılan sonsuz vidanın boyut ölçüleri.....	44



1. GİRİŞ

Plastikler hayatımızın her alanında çok fazla miktarda kullanılmaktadır. Son yarım yüzyılda polimer kimyasındaki gelişmeler, gelişen ve değişen toplumun yaşam tarzı tüketim alışkanlıkları gibi nedenlere bağlı olarak, polimerleri günlük yaşantımızda ve endüstrinin hemen her dalında kullanılan malzemeler haline getirmiştir. Plastiklerin üretiminin ve kullanımının bu denli yaygınlaşması beraberinde birçok çevre sorununun ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu durum plastiklerin geri dönüşümünü ve tekrar kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Polimerlerin geri dönüşümünde; metanoliz-hidroliz ile PET 'i oluşturan ham maddelerin geri kazanılması, kullanılmış PET'lerin elyaf haline getirilmesi, PVC kalıplanmasında dopt yağı olarak kullanılması gibi çok farklı yöntemler kullanılmaktadır.

Dünyada ve ülkemizde PET, su, meşrubat gibi sıvı gıdaların ambalajlanmasında çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. PET' in kabul edilmiş geri kazanım ve değerlendirme yöntemleri değişik şekillerde uygulanmaktadır (Chanda ve Roy, 2007; Evstatiev vd., 2002). Bunlardan biri de plastiklerin geri dönüşümünde kompozit malzeme üretmektir. Kompozit malzemelerin oluşumunda insan ve doğanın yapısı etkili olmuştur. Endüstride birçok alanda kullanılan polimer kompozitler, uzun süreli kullanıma olan yatkınlığı, birim kütle başına yük taşıma özelliklerinin yüksek olması ve karmaşık geometrilere biçimlendirilebilmesi gibi üstün özellikleri nedeniyle havacılık, uzay uygulamaları, otomobil sanayi, deniz araçları gibi alanlarda kullanılırlar. Polimer üretiminin amaca yönelik olarak kullanılabilmesi için fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyi bir şekilde denetlenmesi gerekmektedir, bu da ancak iyi bir kontrol sistemiyle mümkündür. (Saçak, 2004, Saçak, 2005).

Türkiye değişik jeolojik kuşakların yer aldığı bir bölgede yer alan ve bu kuşakların farklı taşlar içermesi sebebiyle zengin doğal taş rezervlerine sahip bir ülkedir. Söz konusu Alp kuşağı çok çeşitli ve büyük miktarda mermer rezervini bulundurmaktadır. Ancak, jeolojik rezerv içinde işletilebilir rezervin oranı ülke geneli içinde tam olarak belli değildir.

Türkiye jeolojik yapısı, mermer çeşitliliği ve rezerv büyüklüğü ile dünya doğal taş piyasasında önemli bir yere sahiptir. Ülkemiz 5 milyar metreküp olan toplam mermer rezervi ile dünya rezervlerinin %40'ı gibi yüksek bir orana sahiptir. Sahip olunan bu yüksek oranlı mermer rezervler açısından Türkiye hiçbir zaman sıkıntı çekmeyecek ülkeler arasında yer almaktadır.

Ülkemizdeki bu mermerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan tozu değerlendirmek ve plastik atıkları çevreden uzaklaştırmak amacıyla bu iki malzemedен oluşacak bir kompozit malzeme üretiminin faydalı olacağı düşüncesiyle bu çalışma yapılmıştır.



2. TEMEL BİLGİLER

2.1. PET (Polietilen Teraftalat)

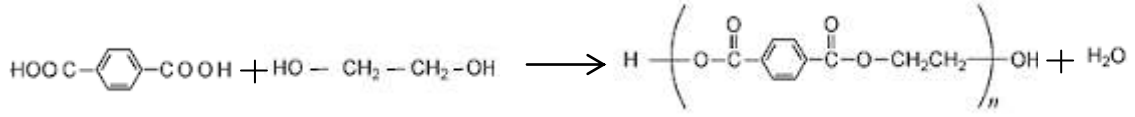
PET uzun zincirli bir polimer olan polyester ailesine ait polietilen tereftalat için kullanılan bir kısaltmadır. İlk olarak, esnek ambalajın kullanımlarına ek olarak, video, çekim ve X ışını filmler için kullanılmıştır. 1970'lerin başında şişirme teknikleriyle PET hafif, sert, kırılmaz şişeler üretilmiştir (Sinha, vd. 2010). Mükemmel gerilme ve darbe mukavemeti, kimyasal direnç, berraklığı, işlenebilirlik, renk yeteneği ve makul ısıl stabiliteye sahip olduğundan çok yaygın kullanılmaktadır. Birçok küresel şirket farklı ticari isimler altında saf PET üretirler (Awaja F. ve Pavel D., 2005).

2.1.1. PET'in sentezi

Polyesterler bir metal katalizörü varlığında, asitler ve alkollerin reaksiyona sokulması suretiyle sentezlenirler. Bunu katı fazda cereyan eden ikinci bir polimerizasyon reaksiyonu takip eder.

Düşük molekül ağırlıklı polimerler (oligomerleri) ile (bishidroksietil-tereftalat (BHET)) birlikte ısıtıldığında birinci ürün, bir monomerdur. Karışım daha sonra, daha ileri tepkime için fazla etilen glikolun dışarı damıtıldığı PET'i oluşturur(Şekil 2.1). Bu aşamada PET viskoz eriyik bir sıvıdır. Bu ekstrüde edilir ve camsı amorf bir malzemenin oluşturulması için soğutulur. Bazı PET'ler dimetil esteri (DMT) kullanılarak imal edilmiştir. Gerekli olan yüksek molekül ağırlıklı PET, düşük sıcaklıklarda katı halde gerçekleştirilen ikinci bir polimerizasyon aşaması ile imal edilmektedir. Bu işlem asetaldehit, glikol ve su gibi, bütün uçucu kirleri temizlemek için ucuz bir yöntemdir. İyi mekanik özellikler için yüksek molekül ağırlığı, sertlik ve basınç altında kırılma ve esneklik veren sünme direnci çok önemlidir.

Polimer oluştuktan sonra kirleticilerden arındırmak çok zordur bu nedenle başlangıç malzemelerinin saflığı önemli bir faktördür. Tereftalik asit, tekrar kristalleştirme ile saflaştırılırken vakum damıtma işlemleri kolayca etilen glikölü saflaştırır. Bu tür yüksek saflıkta ve yüksek molekül ağırlıklı malzemelere gıda ambalaj uygulamaları için ihtiyaç vardır. Katalizörler reaksiyonları hızlandırmak ve ekonomi sağlamak için son derece düşük konsantrasyonlarda kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan katalizör antimon trioksittir. Ayrıca titanyum, germanyum, kobalt, manganez, magnezyum ve çinko tuzları da kullanılır. Katalizörler azda olsa polimer matrisine veya polimer zincirinde kapsüllenmiş olarak kalır.



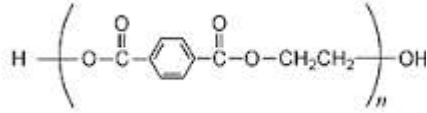
Tereftalik Asit

Etilen Glikol

Oligomer [n= 2 to 4]

Su

1. katalizör 285 °C
2. Katı faz polimerizasyon 280 °C



Polietilen Tereftalat [n= 130 - 150]

Moleküler ağırlık 25000

Şekil 2.1. PET'in sentezi

2.1.2. PET 'in fiziksel ve kimyasal özellikleri

PET ilginç fiziksel özellikler (morfoloji) gösterir. PET, en saf haliyle, amorf cam benzeri bir maddedir. Katkı maddelerinin etkisi ile kristallliği geliştirilir. Ayrıca polimer eriyiğinin kristalinitesi ısıtılıp soğutulduğunda geliştirilebilir. PET, bir yarı kristalin polimer olarak kabul edilir ve 72°C üzerinde ısıtıldığında katı cam benzeri bir durumdan lastik, elastik forma dönüşür. Polimer molekül zincirleri uzatılmış bir doğrultuda lifler, filmler ve şişeler oluştururlar. Oldukça yüksek geçiş sıcaklığından dolayı PET'in enjeksiyon işleminden sonra soğutma esnasında sınırlı miktarda bir kristalleşme oluşabilir. Bu tip dökümler şeffaf, amorf ve değersizdir. Eğer malzeme hızlı bir şekilde soğutulursa, hala gerilmiş halde duran polimer zincirlerinin yönlenişleri bozulmadan dondurulur. Eğer PET 72°C üstündeki sıcaklıklarda gerilmiş biçiminde tutulduğu takdirde bu formların her biri arasında yavaş geçişlerle PET ile aynı temel kimyasal formülleri olan farklı ürünler, geniş bir yelpazede oluşur.

Şimdiye kadar açıklanan PET basit bir üründür. Ancak, çeşitli ambalaj uygulamaları için ürün geliştirmeye yönelik pek çok değişiklik yapılabilir. Genellikle değişiklikler farklı kristal şekilleri oluşturma şeklindedir. Örneğin uygun bir ko-monomer ilavesi ile (izoftalik asit (IPA) veya 1, 4-sikloheksandimetanol kristalleşme hızı yavaşlatılarak daha kalın levhalar ve şişeler (yeniden doldurmaya elverişli kaplar) üretmek mümkündür. Fırına dayanıklı kapların üretimi için yüksek sıcaklıkta deformasyonu engelleyen ve kristalleşme

hızını uzatan kimyasalların (çekirdekletirici) ilavesi gerekir. Bu durum, ayrıca molekül ağırlığının artmasına neden olur. Cam gibi şeffaf oluşu, kırılmaz oluşu ve hafif oluşu sebebi ile PET pek çok gıda ürününde tercih edilen ambalaj durumuna gelmiştir.

2.2. Polimerlerin Geri Dönüşümünün Sınıflandırılması

Polimerlerin geri dönüşümü dört kategoride sınıflandırılabilir. Birincil, ikincil, üçüncül ve dördüncül geri dönüşüm.

2.2.1. Birincil geri dönüşüm

Kirlenmemiş tek tip atıkların temiz geri dönüşümü çok daha ucuz ve popülerdir. Gıda ambalajı olarak kullanılan polimerlerin geri dönüşümü endüstriyel hurda olarak kullanılır ve tüketiciye herhangi bir zarar vermez. Bu atıklar saf madde ile karıştırılarak ikinci sınıf malzeme üretiminde kullanılabilir.

2.2.2. Mekanik geri dönüşüm (İkincil Geri Dönüşüm)

Bu dönüşümde polimer kirleticiden temizlendikten sonra ekstrüzyonla yeniden işlenir. Mekanik geri dönüşüm atıklardan ayırma, boyut küçültme, filtrasyon, eritme ve plastik malzemenin iyileştirme işlemlerini içerir. Temel polimer işlem sırasında değişmez. Bu tür geri dönüşümün başlıca dezavantajı her döngüde ürün özelliklerinin bozulmasıdır. Geri dönüştürülmüş reçinenin molekül ağırlığı suyun varlığının neden olduğu zincir kesme reaksiyonları nedeniyle azalır ve asidik yabancı maddeler ortaya çıkar. İkincil geri dönüşüm, dönüşüm tesisine giren atık üzerinde çok az ya da hiçbir kontrolün olmamasından dolayı gıda ile temas eden ürünlerin ambalajlanamaması gibi bazı sorunlar yaratır.

2.2.3. Kimyasal geri dönüşüm (Üçüncül Geri Dönüşüm)

Fiziksel geri dönüşümden farklı olarak, kimyasal geri dönüştürme oligomer/monomerle sonuçlanan saflaştırma ve yeniden kullanılacak rejenere ambalaj malzemesinin depolimerizasyon ile oluşmasını kapsar. Monomerler sonra re-polimerize olur ve rejenere/yenilenmiş polimer yeni ambalajlama için şekillendirilir. Yenilenmiş polimer veya monomer ya da ikisi saf malzemelerle harmanlanabilir. Yenilenme prosesi; distilasyon, kristalizasyon ve ek kimyasal reaksiyon gibi farklı saflaştırma işlemlerine ek olarak çeşitli monomer/polimer saflaştırma basamakları içerebilir.

2.2.4. Enerji geri kazanım (Dördüncül Geri Dönüşüm)

Plastik atıkların enerji içeriği yakma yoluyla elde edilebilir. Toplama, ayırma ve plastik atıkların ayrılması zor veya ekonomik açıdan uygun olmayan, ya da zehirli atık içeren ve işlemek için tehlikeli olduğunda, en iyi atık yönetimi seçeneği atıkta depolanan kimyasal enerjiyi kurtarmak için yakma şeklindedir. Bu işlem plastik içindeki hidrokarbonları dönüştürmek için kontrollü bir şekilde özel reaktörler kullanarak hava varlığında karbondioksit ve su haline dönüştürme amacıyla yapılır. Kızgın buhar şeklinde, atık plastikleri yakarak üretilen ısı, türbin jeneratörleri ile elektrik üretilerek konut ve endüstriyel binaları ısıtma için kullanılabilir. Yakma tesislerinde atık olarak biriken eriyik kalıntı toksisite açısından tehlike arz etmeyecek duruma getirildikten sonra düzenli depolama yoluyla bertaraf edilebilir.

Polimerler aslında yüksek değerli enerji kaynakları olmasına rağmen, bu yöntem, yaygın (polimerler içeren klor durumunda) dioksinler gibi hava yoluyla bulaşan toksik maddelerin sebep olduğu sağlık riski nedeniyle ekolojik kabul edilemez. Atık plastik yakılması durumunda sıfır emisyon olması mümkün değildir.

Belediye katı atığının temiz bir şekilde yakılması İsveç ve Almanya (toplam MSW (kentsel katı atık) nin %50'si), Danimarka(%65), İsviçre (%80) ve Japonya(%70) gibi ülkelerde geniş kabul görmüştür. Zorlu emisyon yönetmeliklerine rağmen Almanya da 50 cop yakma birimi çalışmaktadır. Aşağıda çeşitli malzemelerin ısı kapasiteleri görülmektedir.

Tablo 2.1. Plastik ve diğer malzemelerin ısı kapasiteleri (Mella, 2005)

Malzeme	Isı kapasitesi (MJ/kg)	Malzeme	Isı kapasitesi (MJ/kg)
PVC	18	Ağır yağ yakıtı	41
PE	27	Kömür	26
PET	46	Doğal gaz	36
PS	41	Öğütülmüş fosil	10
ABS	35	Kağıt	17

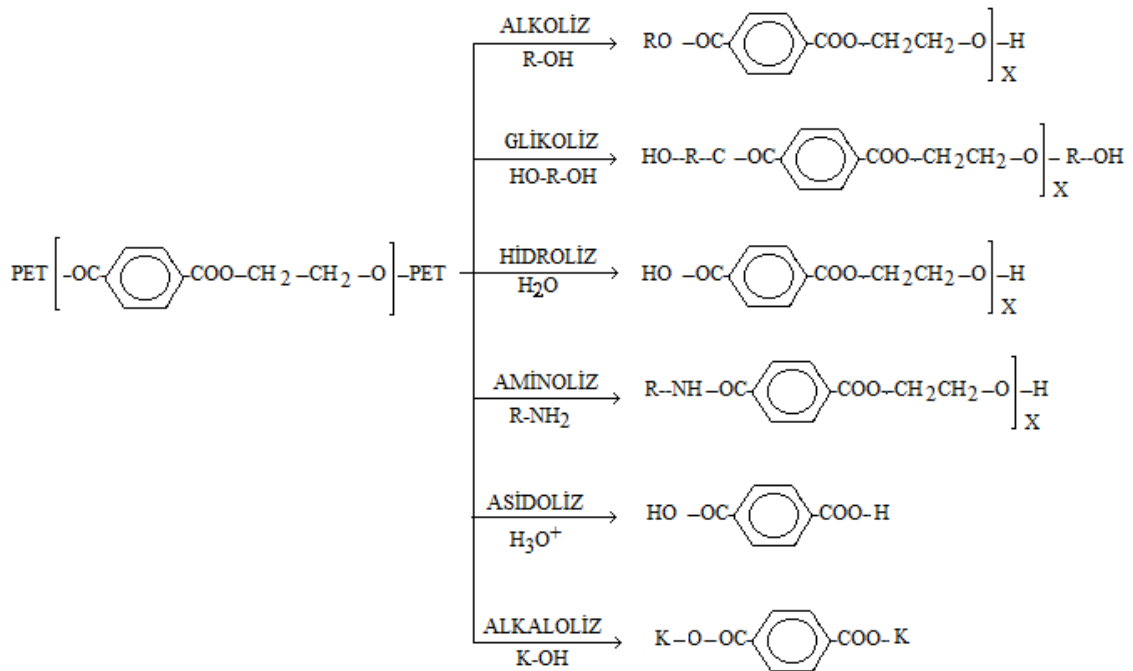
Plastikler çöpe atıldığı zaman çürümeden, paslanmadan, çözünmeden ve biyolojik olarak bozulmadan doğada uzun yıllar kalmaktadır. Bazı plastikler, doğada 700 yıl bozulmadan kalabilmektedir. Suyun ve toprağın kirlenmesine neden olmaktadır. Sulardaki canlılara zarar vermekte ve hatta ölümlerine neden olmaktadır. İlk PET geri dönüşüm projesi 1976 yılında St. Jude Polymers adında bir şirket tarafından başlatılmıştır.

Plastiklerin niteliğinin önceden belirlenmeden ve bu niteliklere göre ayırımları yapılmaksızın yeniden kullanıma sokulması önemli ikincil ürün sorunları yaratabilecektir. Üstelik plastiğin yeniden üretiminin enerji ve çevre maliyeti çok yüksek olabilmektedir. Yeniden kullanım sırasındaki bozunma işlemleri toksik ve kanserojen birçok maddenin çevreye yayılmasına neden olabilmektedir.

Amerikan Plastik Konseyi'nin 2002 yılındaki toplantısında PET geri dönüşümünün tekrar hızlandırılması başlığı tartışılmıştır. 2002 yılı Ulusal Tüketici Plastik Geri Dönüşüm Raporu'na (National Post-Consumer Plastic Recycle Report) göre 1994'te PET geri dönüşüm hızı %38 iken, 2002 yılında %20'ye kadar düşmüştür. YYPE geri dönüşüm hızı 1994 yılında %12'den 2002'de %24'e yükselmiştir. Avustralya'da her yıl 80 bin ton PET ürününün 25 bin tonu (%31) geri dönüştürülerek tekrar kullanılmaktadır. Türkiye'deki katı atıklarda plastikler, ağırlıkça %5-9, hacimce ise %15-20 oranında bulunmaktadır.

2.3. PET'in Kimyasal Geri Dönüşüm Teknikleri

Dünyanın geri dönüşüme en uygun polimerleri poliesterlerdir. Geri dönüşümlü PET genellikle elyaflar, filmler, köpükler, tabakalar, şişeler vb şeklinde kullanılır: Böylece, PET için kimyasal geri dönüşüm süreçleri aşağıdaki gibi incelenebilir: (1) hidroliz, (2) glikoliz, (3) metanoliz ve (4) diğer işlemler. PET'in kimyasal geri dönüştürme teknikleri aşağıda ayrıntılı olarak ele alınmıştır.



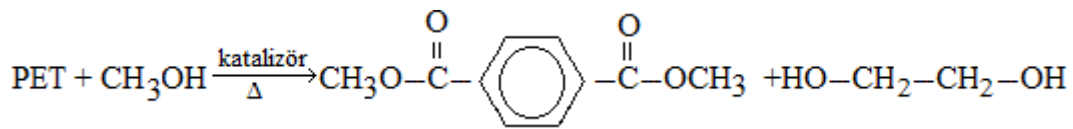
Şekil 2.2 Değişik kimyasal yollarla PET'in geri dönüşümü

2.3.1. Glikoliz

Glikoliz yönteminde PET ürün glikoliz parçalanması işlemiyle depolimerize edilerek oligomerlerine, bi-hidroksil etilen tereftalat (BHET)'a kadar ayrılır. Geri dönüşümlü PET fazla glikol ile muamele edilirse, bir transesterifikasyon reaksiyonu gerçekleşir. Yüksek molekül ağırlıklı PET'in kısa zincirli bileşenlerine dönüştürülmesi bir katalizör varlığında örneğin propilen glikol (PG) gibi bir glikol ile ısıtılması sonucu elde edilir. Tipik katalizörler aminler, alkoksitler ya da asetik asit metal tuzlarıdır. Bu glikoliz reaksiyonu, 1,5/1 PG / PET oranı ile 200 °C'de 8 saatlik bir süre içinde gerçekleşir. Başlıca ürün olarak bis-hidroksietil tereftalat, bis-hidroksipropil tereftalat ve karma EG / PG tereftalat diesterleri, ayrıca bazı serbest EG ve PG bulunmaktadır. Reaksiyon, elde edilen poliollerin bozulmasını önlemek için azot ortamında gerçekleştirilir. Bu reaksiyon koşulları altında, ortaya çıkan poliölün ortalama molekül ağırlığı 480 ve hidroksil sayısına 480 dir. Daha yüksek bir molekül ağırlığı olan poliöl arzu ediliyorsa, PG / PET oranı düşürülür. Glikoliz reaksiyonu daha yüksek hidroksil numarasına sahip bir poliöl üreten gliserol ya da dietilen glikol veya dipropilen glikol kullanılarak da yapılabilir (Kılınç, 2004).

2.3.2. Metanoliz

PET basınç altında ve 200 °C'de metanol ile işleme sokulmaktadır. Bu, molekülün depolimerizasyonuna neden olur. Meydana gelen ürünler dimetil tereftalat ve etilen glikoldür. DMT destilasyon ve kristalizasyon ile saflaştırılır ve tekrar PET üretimi için kullanılabilir hale gelir. Bir kere saflaştırılmış etilen glikol antifreeze ve PET üretimi gibi çeşitli uygulamalarda kullanılabilir. Metanoliz prosesi aşağıdaki reaksiyona göre yürür.



Şekil 2.3. Metanoliz prosesi

2.3.3. Hidroliz

PET su ve asit veya baz işlemleri vasıtasıyla hidrolize edilir. Böylece tereftalik asit ile etilen glikol elde edilir. Bunlar tekrar kullanımlarından önce saflaştırılmalıdırlar. Ticari hidroliz glikoliz ve metnolize göre fazla uygulama alanı bulamamıştır.

2.3. 4. Aminoliz

Farklı aminler kullanılarak PET atıklarının depolimerize edilmesi olarak tanımlanmaktadır. Elde edilen ürünler özellikle epoksi ve ürethan reçine sektöründe kullanılmaktadır. Ancak yaygın ticari uygulaması yoktur.

2.3.5 Amonoliz

Genellikle etilen glikol ortamında, susuz amonyak kullanılarak işlem gerçekleştirilmektedir. Teraftalamid'den elde edilen diaminler çeşitli poliamidlerin eldesinde kullanılmaktadır (Tayyar ve Üstün, 2009).

2.4. Mermer

Mermer, metomorfizma olayı sonucunda kalker ve dolomitik kalkerlerin kristalleşmesiyle meydana gelmiş bileşimdir. Bileşimlerinin %90-98'i kalsiyum karbonattan (CaCO_3) oluşmaktadır. Düşük oranda magnezyum karbonat (MgCO_3) içermektedir. Kalsiyum karbonat kristallerinden oluşan mermerlerde esas mineral 'Kalsit' tir. Aynı zamanda az miktarda silis, silika, feldspat, demiroksit, mika, ve organik maddeler de bulunabilir. Renkleri genellikle beyaz ve grimsidir, yabancı maddeler nedeniyle sarı, pembe, kırmızı, mavimsi, esmerimsi ve siyah gibi çok farklı renklerde görülmektedir. Mikroskop altında incelendiğinde, birbirine iyice kenetlenmiş kalsit kristallerinden oluştuğu görülür (Anonim, 1996).

Tablo 2.2. Türkiye'de Mermer Rezerv Miktarları

	m^3	ton
Bilinen rezervler	589.000.000	1.590.000.000
Muhtemel Rezervler	1.545.000.000	4.171.000.000
Mümkün Rezervler	3.027.000.000	8.172.000.000
Toplam Potansiyel	5.161.000.000	13.934.000.000

Mermer TRB1 Bölgesi içerisinde bulunan Elazığ için önemli bir kalkınma unsurudur. Milli düzeyde ülke kalkınması için önemli yere sahip olan maden ve mermer sektörü, yerel düzeyde de Elazığ için ilin diğer sektörlerdeki durumu düşünüldüğünde daha

da öncelikli hale gelmektedir. İlin mermer konusundaki potansiyeli azımsanmayacak seviyededir. Bunda hem rezerv hem de çeşit bakımından Elazığ'ı ön plana çıkaran doğal taş mermer türlerinin etkisi vardır. Elazığ Türkiye mermer rezervlerinin %8'ine sahiptir. Bu büyük bir mermer ihracatçısı olan Türkiye içerisinde önemli bir rezerv oranıdır. Rezerv miktarının yanı sıra Elazığ, dünya çapında üne sahip olan ve dünya literatüründe Rosso Levanto olarak bilinen Elazığ Vişnesi isimli renkli mermer türüne sahiptir ki bu doğal taş Elazığ'ı hem Türkiye içerisinde hem de dünya çapında mermer konusunda hatırı sayılır bir yere taşıma potansiyelini sunmaktadır. Elazığ'da üretimi yapılan başlıca mermer türleri şu şekildedir.

- Elazığ Vişne:

Elazığ için mermer sektörünün ana unsuru Elazığ Vişne taşıdır. Elazığ'ın Alacakaya İlçesi civarında yataklara sahip olan bu mermer türü, Türkiye'de üretilen ilk renkli mermer türlerinden birisi olması ve dünyada da şu an itibari ile sadece Elazığ'da üretiliyor olması nedeniyle, Elazığ'ın kalkınmasında önemli bir potansiyele sahiptir.

- Sarı Traverten:

Traverten türü mermer türleri ülkemizde sıkça rastlanan mermer türlerindendir. Elâzığ sınırları içerisinde de çeşitli traverten türleri mevcuttur. Kendi özelliğine istinaden, kalite ve ticari değerini belirlemede kriter olan bazı hususlar dikkate alındığında, Elâzığ'da üretimi yapılan Sarı Traverten hem Türkiye'de çok fazla yerde bulunan bir tür olmaması hem de taşıdığı özellikler (renk, su yolları yapısı, blok yapısı vb.) sebebiyle Elâzığ için ekonomik potansiyele sahip bir diğer mermer türüdür.

- Onyx:

Kullanım alanlarının genelde lüks mekânlar olması ve üretiminin de sınırlı ve zor şartlarda yapılıyor olması bu mermer türünü çok rağbet gören ve yüksek fiyatlardan alıcı bulan bir mermer türü yapmaktadır.

- Elazığ Sunta:

Yapısı itibari ile suntayı andırdığı için bu şekilde isimlendirilen bu mermer türü yine Elâzığ'da üretimi yapılan bir başka mermer türüdür. Son yıllarda özellikle homojen yapısı nedeniyle dünya çapında ilgi gören bir çeşit olan Elâzığ Sunta da Elâzığ için önemli bir

potansiyel olma özelliği göstermektedir. Elazığ Suntaya yönelik ilgi bu taşın fiyatlarının da yükselmesi sonucunu doğurmaktadır(Fırat Kalkınma Ajansı Elazığ Mermer Raporu Kışman ve Kan, 2011).

Mermer tozu, en küçük boyutlu mermer atıklarıdır. Mermer işleme tesislerinde blokların ve plakaların kesilmesi esnasında açığa çıkan ve büyük çoğunluğu 1 mm altında olan mermer tanecikleridir Kesme işleminin suyla yapılması nedeniyle bu atıklar direkt olarak suya karışır ve çamur halinde çöktürme havuzlarından veya kek olarak arıtma tesislerinden alınır. Atık ürünlerin depolanması ya da doğal çevreye atılması çevre kirliliğine ve doğal kaynakların kirlenmesi gibi sorunlara neden olabilmektedir. Günümüzde, atık ve artık olarak ortaya çıkan malzemelerin yeniden kullanımı ve geri dönüşümü konusunda yoğun olarak çalışılmaktadır. Bu çalışmalarda atıklardan yeni ürünler elde edilmesi veya bunların katkı maddesi olarak kullanılması amaçlanmaktadır. Atıkların yeniden kullanımı veya geri dönüşümü; sınırlı olan doğal kaynakların kullanımını azaltarak, doğanın tahrip edilmesini önlemekte, Üretimde verimliliği artırmakta ve atık depolanması sonucu oluşacak çevre problemlerini en aza indirmektedir. Türkiye’de yıllık 3.450.000 ton işlenen mermerden 980.000 ton mermer tozu ortaya çıktığı ifade edilmektedir.

Bu çalışmada Elazığ sunta mermer tozu kullanılmıştır.

2.5. Kompozitler

Kompozitler, farklı maddelerin istenilen amaca yönelik, belli düzende bir araya getirilmesiyle hazırlanan malzemelerdir. Kompoziti oluşturan maddelerin arasında birincil kimyasal etkileşimler olmaz ve çoğu kez kompozitteki bileşenlerin birbirleriyle temas ettiği noktalar çeşitli optik cihazlarla ayırt edilebilir. Kompozit malzemeleri hazırlamadaki temel amaç değişik maddelerin iyi özelliklerini tek bir madde altında birleştirebilmektir.

En basit kompozit malzeme, takviye edici ve matris adı verilen iki bileşenden oluşur. Takviye edici, kompozitin mekanik dayanıklılığını sağlar ve çoğu zaman kompozit içerisindeki oranı %10’u geçtiğinde etkisi gözlenir (Saçak, 2004, Saçak, 2005).

Kompozitin matris bileşeninin üç temel görevi vardır. Bunlar takviye maddesini bir arada tutma, takviye ediciyi dış etkilere koruma ve ayrıca kompozitin şeklini belirlemektir. Bir kompozitin kullanım sıcaklığı matrisin kullanım sıcaklığı ile sınırlıdır. Matris malzeme kompozit boyunca sürekli faz halindedir, takviye edici genellikle

kompozitin kesikli fazıdır. İdeal bir matris malzemesi başlangıçta düşük vizkoziteli bir yapıda iken daha sonra takviye elemanlarını sağlam ve uygun bir şekilde çevreleyebilecek katı forma kolayca geçebilmelidir.

Polimer kompozitler uzay araçlarındaki metal parçaların yerine, daha hafif ve dayanıklı olan başka malzemeler kullanılması amacıyla geliştirilmişlerdir. Polimer kompozitlerinin metallerden üstün oldukları noktalar şunlardır;

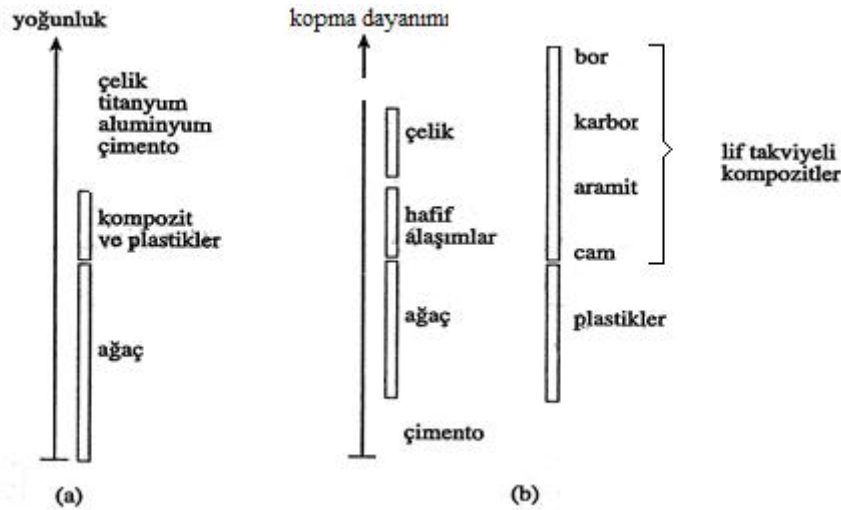
Spesifik dayanıklılık: cam lif takviyeli çoğu kompozit vurma dayanımı, çelik ve titanyum gibi metallerle karşılaştırılabilir düzeydedir.

Fiyat: kompozitler metallere göre genelde daha ucuzdur.

İşlenebilirlik: polimer kompozitlerinin işlenmeleri ve şekillendirilmeleri metallere göre daha ekonomiktir.

Kullanım yeri: kompozit bileşenlerin oranları ayarlanarak farklı özelliklerde ve değişik yerlerde kullanılabilir ürünler hazırlanabilir şeklinde sıralanabilirler.

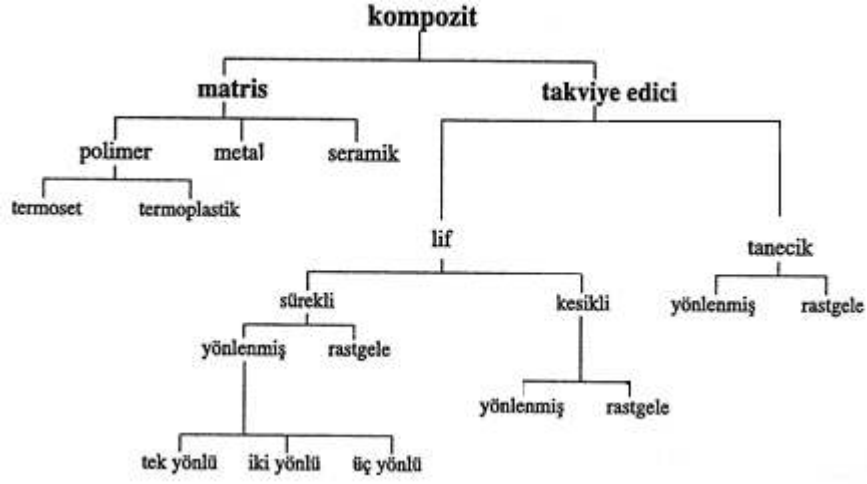
Şekil 2.4'te kompozitlerle birlikte diğer bazı malzemelerin yoğunluk ve kopma dayanımları görülmektedir. Kompozitler metallerden daha hafif olmakla birlikte, çelikten daha yüksek kopma dayanımı gösterebilirler (Saçak, 2005).



Şekil 2.4. Kompozitler ve diğer bazı maddelerin karşılaştırmalı (a) yoğunluk ve (b) kopma dayanımları

2.5.1. Kompozitlerin sınıflandırılması

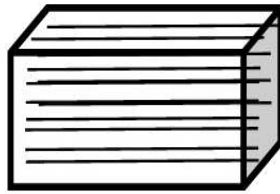
Kompozit malzemeler Şekil 2.5.'te görüldüğü gibi sınıflandırılmaktadır



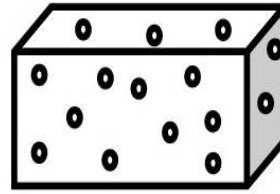
Şekil 2.5. Kompozitlerin gruplandırılması (Saçak, 2005)

Kompozitlerde matris malzemesi olarak polimerler, metaller ve seramikler kullanılır.

Takviye edici açısından kompozitleri takviye edicinin geometrik şekline göre tanecik takviyeli ve lif takviyeli olmak üzere iki gruba ayrılır (Şekil 2.6).



(a)



(b)

Şekil 2.6. (a) lif ve (b) tanecik takviyeli kompozit

Tanecik takviyeli kompozitlerde, takviye için kullanılan malzeme pul, pelet, granül, küre veya kırıntı şeklinde olabilir.

Lif takviyeli kompozitlerde lif boyu kesitinin en az 100 katı kadardır. Lifler esnek malzemelerdir ancak lifin mekanik dayanımı matristen yüksek olmalıdır. Liflerin en önemli özelliklerinden birisi kompozit yapı içerisindeki yönlerinin kontrol edilebilir

olmasıdır. Günümüzde üretilen kompozitlerin %90 ı, lif takviyeli kompozitlerdir (Saçak, 2005).

Polimerlere maliyeti düşürmek amacıyla dolgu maddeleri adı verilen kireç, kil, karbon siyahı, odun unu, kabuklar, saplar vb. tanecikli malzemeler karıştırılabilir. Ayrıca polimerleri bazı etkilerden korumak amacıyla antioksidan, alev geciktiriciler gibi katkı maddeleri kullanılır. Bu katkıların katıldığı polimerler kompozit değildir.

2.5.2. Matrislerin sınıflandırılması

Polimerler, metaller ve seramikler kompozitlerde matris olarak kullanılan malzemelerdir. Polimerler kompozit malzeme üretiminde önemlidir ve kompozitlerin büyük bir kısmı polimer matrislerden yapılır.

2.5.2.1. Polimer matrisli kompozitler

Polimer kompozitler, korozyona dirençli, uzun süreli kullanımlara uygun, işlenmeleri kolay, hafif, karmaşık geometrilerde şekillendirilebilen, birim kütle başına yük taşıma kapasiteleri yüksek malzemelerdir. Bunun yanı sıra polimer matrisli kompozitler, metal ve seramik matrisli kompozitlere göre sıvı etkileşimine daha yatkındırlar. Bu nedenle otomotiv sanayinde ve makine parçalarında, sıvılarla temas halindeki malzemelerin üretiminde polimer matrisli kompozitler daha çok tercih edilirler.

Matris malzeme seçimi sırasında mekanik özellikler, geniş bir sıcaklık aralığında boyutsal kararlılık, sıvılardan etkilenmeme göz önünde bulundurulması gereken en önemli noktalaradır.

Mekanik özellikler olarak yüksek germe modülü, yüksek kopma dayanımı gibi özelliklere bakılır. Polietilen, polistiren gibi termoplastikler, bir dereceye kadar bu özellikleri karşılar. Termosetlerin ve bazı yüksek performans termoplastiklerin mekanik özellikleri daha iyidir.

Termoplastikler yapıları gereği, belli sıcaklıklardan sonra yumuşamaya başlarlar. Yüksek performanslı termoplastikler ve bazı mühendislik plastikleri yüksek sıcaklıklara dayanabilirler. Termoset plastikler ise boyutsal kararlılık açısından üstündürler (Saçak, 2005).

Otomobil, uçak ve makine parçaları gibi çeşitli alanlarda kullanılan kompozitler, benzin, mazot, antifriz gibi sıvılarla temas halindedir. Kompozitin temas ettiği sıvıların matrisle etkileşime girmemesi, matrisi çözmemesi, şişirmemesi gerekir. Metal ve

seramikler genellikle sıvılara polimerlerden daha dayanıklıdır. Termosetler sıvılara direnç açısından termoplastiklerden üstündürler.

Polimer matrislikompozitler, termoset ve termoplastik matrisli kompozitler olmak üzere ikiye ayrılır. Ticari açıdan en önemli termoset matrisler, doymamış poliesterler, epoksitler ve fenoliklerdir. Kompozit üretiminde kullanılacak termoset polimer genellikle içerisine sertleştirici katkı ve dolgu maddeleri karıştırılmış düşük viskoziteli sıvı halindedir. Termoset malzemeler kimyasal direnç ve bazı mekanik özellikleri bakımından termoplastiklerden üstündür. Ancak bazı yönlerden daha zayıf kalırlar:

- Kalıplama süresinin uzun olması
- Sıvı halde oda sıcaklığında uzun süre depolanamamaları
- Düşük darbe dayanımları
- Geri dönüştürülememeleri

Termoplastik malzemeler ise, ısı etkisiyle eritilerek yeniden şekillendirilebilirler. Yüksek ve düşük yoğunluklu polietilen, polipropilen, polistiren, poli(etilen terafitalat), poli(vinil klorür) ticari olarak en çok kullanılan termoplastik polimerlerdir. Termoplastiklerin en önemli avantajı kullanım sonrası ısıtılarak şekillendirilebilme özelliği (geri dönüşümlü) olmasıdır. Bunun yanında termoplastik matrisler,

- Oda sıcaklığında çok uzun süreler depolanabilme
- İşleme süresinin kısalığı
- Yeniden şekillendirilebilme
- Onarım kolaylığı

Özelliklerinden dolayı termosetlerden üstündürler.

2.5.2.1.1. Termoset matrisler

Termoset matrisli kompozitlerin üretiminde epoksitler, doymamış poliesterler, fenolikler, vinil esterler, termoset poliimitler, polibenzimidazoller kullanılabilir. En önemli ticari matris termosetler ise doymamış poliesterler, epoksitler ve fenoliklerdir (Saçak, 2005).

Epoksitler, önemli termoset matrislerdir. Epoksitler, kolay işlenmeleri, ucuzlukları ve lifleri iyi ıslatmaları nedeniyle kullanıma yatkındırlar. Ancak kırılgan olmaları ve su

adsorbsiyonunun yüksek oluşu zayıf taraflarıdır. Liflerle takviye edilmiş epoksitlerin mekanik dayanımı, kimyasal direnci, atmosfer koşullarına dayanımı ve elektrik yalıtımı doymamış poliestерlerden daha iyidir. Aramit lif takviyeli kompozitleri geniş sıcaklık aralıklarında dayanıklı olduklarından uçak kanat ve gövdelerinin ön kısımlarında kullanılırlar. Roket motorları, filament sarma tekniği ile epoksit kompozitleri ile kaplanarak korunur.

Doymamış poliestерler, ucuzdur ve kür zamanları hızlıdır. Ancak kürlendirme sırasındaki hacim büzülmesi epoksitlerden yüksektir. Cam liflerle takviye edilmiş matrisler inşaat ve yapı sektöründeki düz ve oluklu levha yapımında kullanılır. Endüstride korozyona uğramadıklarından boru, tank ve depo yapımında kullanılırlar.

Fenolikler, en çok fenol ve formaldehitten hazırlanır. Fenolik reçineler kırılmandır. Cam liflerle yapılan takviye polimerin kırılma dayanıklılığını azaltır ve ısı ve alev dayanıklılığını artırır. Genel olarak uçak iç parçaları fenolik reçineli kompozitlerden üretilmektedir.

Vinil ester reçineleri, doymamış poliestерlerin kolay uygulama ve düşük fiyat özellikleri ile epoksitlerin iyi ısı ve mekanik özelliklerini bir araya getirmek için geliştirilmişlerdir. Cam liflere iyi yapışırlar ve boru, tank, kap yapımı ve kaplamalarda kullanılırlar.

Termoset poliimidler, yüksek ısı reçinesidir. Kullanım derecesi 315 °C'ye kadar ulaşmaktadır. Poliimidler kimyasal açıdan inert, ısıya ve çevre koşullarına dayanıklı polimerlerdir. Bu üstün özellikleri nedeniyle otomobil ve elektronikte cam, metal gibi malzemelerin yerine kullanılırlar. Lif takviyeli kompozitler hazırlanırken lifler sıvı haldeki polimerle ıslatılır ve zincir uçlarındaki fonksiyonel gruplar üzerinden çapraz bağlanma gerçekleştirilir.

2.5.2.1.2. Termoplastik matrisler

Termoplastik polimerlerin vurma dayanımı termosetlerden iyidir. Ancak, sıvılardan etkilenmeleri ve uzun süreli yüklenmelerde boyutlarının değişmesi polimerik kompozitlerde kullanımını sınırlar (Saçak, 2005).

Polieter eter keton (PEEK), polimerin doğal rengi gri-kahverengi arasında değişir. PEEK'in camsı geçiş sıcaklığı 143 °C, erime sıcaklığı 335 °C ve maksimum kullanım sıcaklığı 250 °C'dir. Enjeksiyon, ekstrüzyon gibi yöntemlerle eritilerek şekillendirilir. PEEK'ler epoksitlerin yerine kullanılabilecek termoplastik polimerlerdir. Kırılmaya karşı epoksitlerden elli kat daha dayanıklıdırlar ve epoksitlerden çok daha az nem tutarlar.

Kimyasallara karşı dirençlidirler. Havacılık, uzay ve teknik parçaların yapımında kullanılırlar (Saçak, 2005).

Polisülfonlar (PSO,PSU), polimerin camsı geçiş sıcaklığı 185 °C, kullanım sıcaklığı 165 °C'dir. 300-400 °C lerde işlenir. Bazlara, tuz çözeltilerine ve hidrolize dayanıklıdır. Klorlu hidrokarbonlar, ketonlar ve polar çözücülerde şişer veya çözünür.

Polifenilsulfon, polimerin camsı geçiş sıcaklığı 150 °C'dir. Yüksek sıcaklıklara, kimyasallara dayanıklıdır ve vurma dayanımı yüksektir.

Polietherimid(PEI), yüksek derecede sürekli kullanıma uygundur. Mukavemetleri yüksektir ve kimyasallara dirençlidirler. Maliyetleri yüksektir. Füze ve uçak, uzay araçlarının motor parçaları gibi sıcaklığa dayanımın gerektiği yerlerde kullanılırlar.

Tablo 2.3. Termoset ve termoplastiklerin maksimum sıcaklık değerleri (Mazumdar, 2002).

Malzemeler	Maksimum Kullanılan sıcaklık (°C)
Termosetler	
Vinil Ester	230-320
Polyester	150-250
Fenolikler	80-125
Epoksi	70-150
Cynate Ester	60-150
Bismaleimid	60-150
Termoplastikler	
Polietilen	50-80
Polipropilen	50-75
Asetal	70-95
Nylon	75-100
Polyester	70-120
PolifenilenSulfid	120-220
Polietereterketon	120-250
Teflon	200-260

2.5.2.2.Metal matrisli kompozitler

Bir metalik fazın bazı takviye malzemeleri ile eritme, sıcak presleme ve difüzyon kaynağı gibi ileri teknikler uygulanarak metal matrisli kompozitler yapılabilir. Dış etkilere ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı olmalarından dolayı otomotiv, uzay araçları ve elektronik

aletlerin yapımında bu kompozitlerden yararlanılır. İşlenme zorluğu, yüksek yoğunluklu olmaları lif metal ara yüzey korozyonuna açık olmaları olumsuz yönlerini oluşturur.

Tungsten alaşımından yapılan liflerle takviye edilmiş metal alaşım kompozitleri 1000°C gibi yüksek sıcaklıklara dayanabilmektedir. Bu kompozitler jet motoru yapımında kullanılmaktadır.

Alüminyum ve alaşımları metal matrisler içinde en önemli matrislerden biridir. Hafif olmaları ve korozyona karşı dirençli olmaları önemli özelliklerindendir. Alüminyum genelde karbon liflerle takviye edilir. İşlenme sıcaklığı 500 °C nin üzerinde olduğundan bu sıcaklıkta alüminyum karbon ile reaksiyona girerek alüminyum karpit (Al_4C_3) oluşturur. Bu kompozitin mekanik özelliklerinin zayıflamasına neden olur. Bunu önlemek ve aynı zamanda karbon liflerin alüminyum ile ıslanma özelliklerini geliştirmek için karbon lifler titanyum borit (TiB_2) ile kaplanır.

Alüminyum dışında titanyum, magnezyum, bakır gibi metallerde kompozit yapımında kullanılmaktadır. Aşağıdaki tabloda metal matrislerde kullanılan bazı takviye malzemeleri verilmiştir.

Tablo 2.4. Metal matrislerle kullanılan takviye malzemeleri (Saçak, 2005)

Metal Matris	Takviye Malzemesi
Alüminyum	Grafit, alümina, bor, silisyum karpit lifler, silisyum karpit, bor karpit tanecikler
Titanyum	Silisyum karpit, kaplanmış bor lifler, titanyum karpit tanecikleri
Bakır	Silisyum karpit, grafit lifler, bor karpit tanecikler
Magnezyum	Grafit, alümina lifler silisyum karpit, titanyum karpit, bor karpit tanecikler

2.5.2.3.Seramik matrisli kompozitler

Seramik kompozitler $Li_2O_2-Al_2O_3-SiO_2$, SiO_2 , $BaO-SiO_2-Al_2O_3-Si_3N_4$ (SiC), gibi seramik matrislerden hazırlanır. Takviye edici olarak daha çok Al_2O_3 , SiC , Si_3N_4 gibi maddeler kullanılır. Seramikler içerisinde oluşabilecek boşluklardan dolayı kırılma gösterirler. Bunun için takviye lifleri ile matris malzeme arasındaki bu boşluklar bağlayıcı malzeme ile doldurularak daha esnek bir yapıya kavuşturulur. Erime sıcaklıkları yüksek, ısı ve elektrik iletkenlikleri düşüktür. Seramik kompozitler katmanlı zırhlar gibi çeşitli askeri amaçlı parçalar ile uzay araçları parçalarının yapımında kullanılırlar.

2.5.3. Polimer matrisli kompozitlerin kullanım alanları

Havacılık ve askeri amaçlı: Lif takviyeli kompozitler, havacılık ve askeri uygulamalarda hafiflikleri ve birim kütleleri başına yüksek yük taşıma özellikleri nedeniyle tercih edilirler. Uçak kanatları, gövdeleri, ticari ve askeri helikopter pervaneleri polimerik kompozitlerden yapılır. Karbon veya aramit takviyeli epoksit kompozitleri uçak ağırlığının %70 ine kadar çıkabilmektedir.

Otomotiv sanayi: Otomobillerin dış yüzeylerinde kullanılan parçalarda darbe dayanımı ve iyi görünüş gibi özelliklerinden dolayı polimer esaslı kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Motor kaputu, tampon, kapıların dış paneli ve otomobildeki bazı iç aksamlar kompozitlerin sık kullanıldığı aksamlardır.

Spor malzemeleri: Kompozitlerin yaygın kullanıldığı ve potansiyel kullanım yerlerinin artacağı önemli bir alan spor malzemeleridir. Tenis raketleri, hokey sopaları, sörfler, balık oltaları, golf sopaları, kar ve su skileri kompozitlerden yapılan spor malzemelerine örneklerdir. Kompozitlerin ağırlığı azaltma, titreşimlere dayanma ve tasarım esnekliği gibi özellikleri spor malzemeler için kompozitleri çekici yapan noktalardır.

Uzay uygulamaları: Lif takviyeli kompozitlerin uzay araçlarında kullanılmalarının en önemli nedeni hafif olmalarıdır. Lif takviyeli kompozitlerin uzay araçlarında kullanılmasının bir diğer nedeni de geniş sıcaklık aralıklarında boyutsal kararlılıklarını korumalarıdır. C-tipi cam takviyeli epoksiler uydularda ve uzay teleskoplarında kullanılmaktadır.

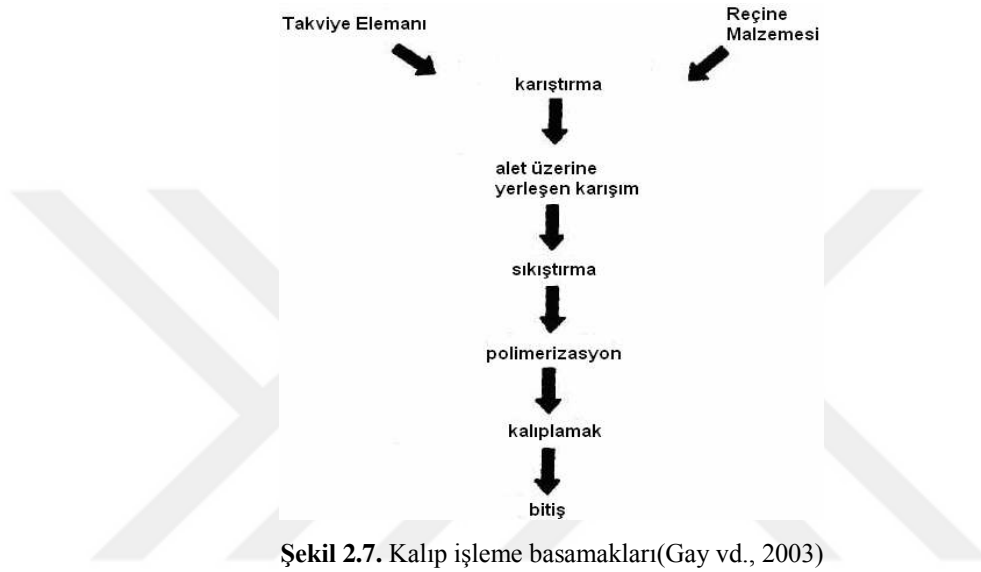
Deniz araçları: Kompozit malzemeler hafif, dayanıklı ve estetik görüntüleri sebebiyle yatlar ve yolcu gemilerindeki kamara donanımları ile tekne yapımında tercih edilirler.

2.6. Kompozit Malzeme Üretimi

Takviye malzemesi ile reçine malzemesinin karışımında oluşan yeni malzemede matris malzemesi sertleşene kadar malzeme kompozit olamaz. Matris sertleştikten sonra malzeme kompozit malzeme olabilir. Bununla birlikte oluşan malzemeyi değiştirmek mümkün değildir. Buna karşılık metal alaşımlı bir yapıyı ısıl işlemle değiştirmek mümkündür (Gay vd., 2003).

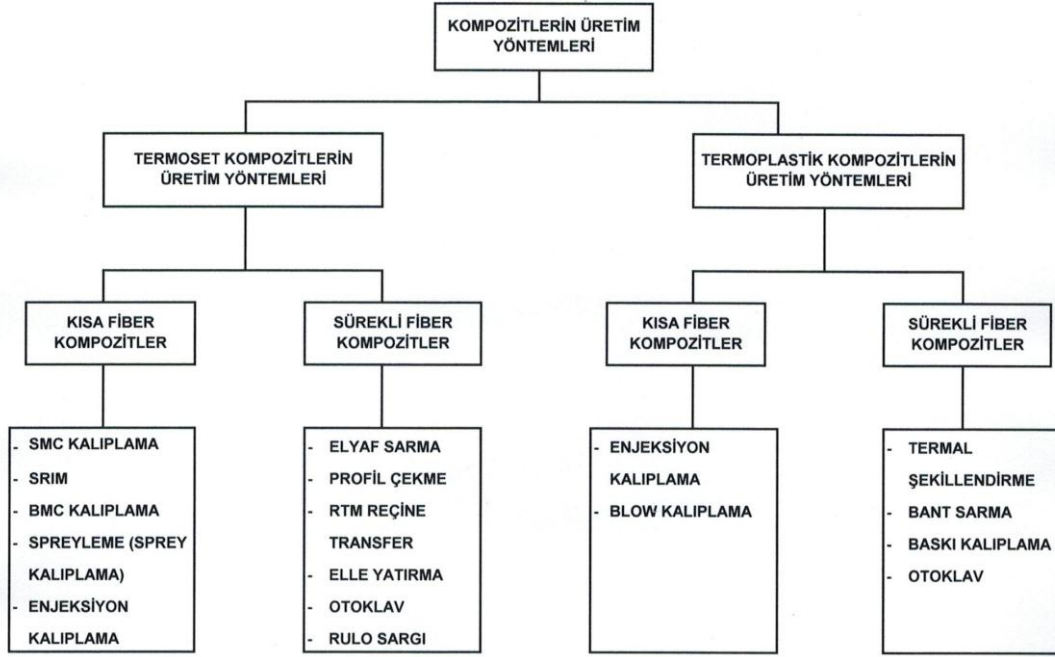
Polimer matrisli kompozitlerde, reçine polyester olduğundan malzeme polimerize

edilmek zorundadır. Katılaştırma işlemi boyunca bir katkı malzemesi ile karıştırılan reçine, malzeme polimerize edilirken malzeme sıvı halden katı hale geçer (Gay vd., 2003). Kompozit malzemelerin üretim işlemleri kalıplama yöntemleri ile olmaktadır. Bütün kalıplama işlemlerinin basamakları Şekil 2.7’ de gösterilmiştir. Kalıplama yöntemleri çeşitleri malzemenin yapısına, malzemelerin sayısına ve malzemenin maliyetine bağlıdır. Kalıplama malzemesi; metal, polimer, ağaç, ve alçı olabilir (Gay vd., 2003).



Şekil 2.7. Kalıp işleme basamakları (Gay vd., 2003)

Kompozit malzemelerin üretimi reçine malzemesine göre iki kısımda görülür. reçineli kompozit malzeme ve termoplastik reçineli kompozit malzemelerdir. Şekil 2.8’de kompozit malzemelerin üretim sınıflandırması görülmektedir.



Şekil 2.8. Kompozit malzemelerin üretim yöntemlerinin sınıflandırılması (Mazumdar, 2002).

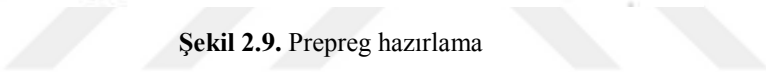
2.6.1. Termoset matrisli kompozitlerin üretimi

Termoset matrisli kompozitlerin birçok üretim yöntemleri vardır. Bu üretim yöntemlerinden bazıları aşağıda açıklanmıştır. Termoset matrisli kompozit malzemesinin üretiminde matris malzemesi genellikle epoksi, doymamış polyester ve vinil ester içerir.

2.6.1.1. Prepreg

Prepreg polimer matris içerisine yerleştirilmiş lif veya dokumadan oluşan tabaka halindeki ara ürüne verilen addır (Saçak, 2005). Kompozit üretiminde kullanmak amacıyla hazırlanır. Genellikle %42 oranında reçine içerir. Laminasyon sırasında bir miktar reçine akışı ile beraber %60 lık hacimsel bir lif oranı elde edilir ki, buda havacılık endüstrisi için standart bir değerdir (Mallick, 1988).

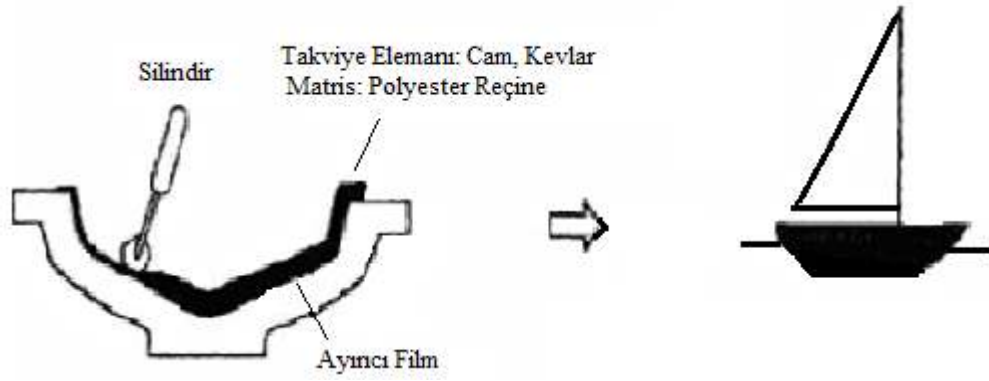
Prepreg malzemelerin sonradan şekillendirilmesi, daha çok elle yatırma, filament sarma, sıkıştırarak kalıplama ve reçine transfer kalıplama yöntemleri ile yapılır. Şekillendirme sırasında prepreg tabakasından üretilecek malzeme boyutuna uygun bir parça kesilir ve belirtilen yöntemlerden birisi ile şekillendirilir (Saçak, 2005).



2.6.1.2.Elle yatırma

Kayık teknesi, tanklar, bina panelleri, araçlarda şoför kabini ve çamurluk gibi büyük boyutlu yapısal parçalı için yaygın olarak kullanılan en basit bir yöntemdir. Genellikle, keçe, dokuma biçimdeki elyaflar takviye elemanı olarak seçilir. Fakat ek dayanım ve elastik modülü kazandırmak için belirli konumlarda dokuma şeklindeki elyaflar yanında sürekli cam ve karbon elyaflar da yerleştirilir.

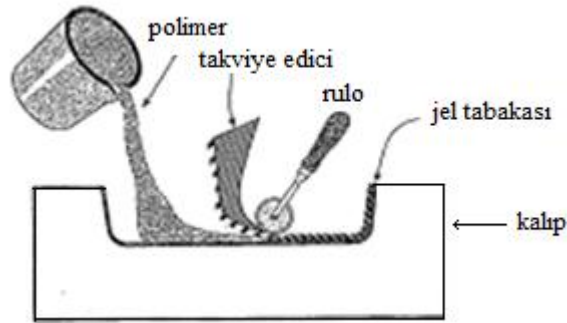
22



Şekil 2.10. El yatırma düzeneği (Gay vd., 2003)

Yaş yatırma

Yaş yatırma en kolay elle yatırma yöntemidir. Kalıp üzerine yağlayıcı ve ardından katkı maddeleri karıştırılmış matris polimer sürülür. Polimer belli bir kıvama kadar kurutulur ve üzerine takviye lifler veya dokumalar yerleştirilir. Daha sonra yeniden polimer sürülür. Bir rulo yardımıyla polimer liflere iyice emdirilir. Daha kalın kompozit hazırlamak için yeniden takviye edici serilir ve üzerine polimer dökülür. İstenilen kalınlığa gelinceye kadar işlemler tekrarlanır Şekil 2.11. Sertleştirme uygun çapraz bağlayıcılar kullanılarak oda sıcaklığında veya fırında yapılır.

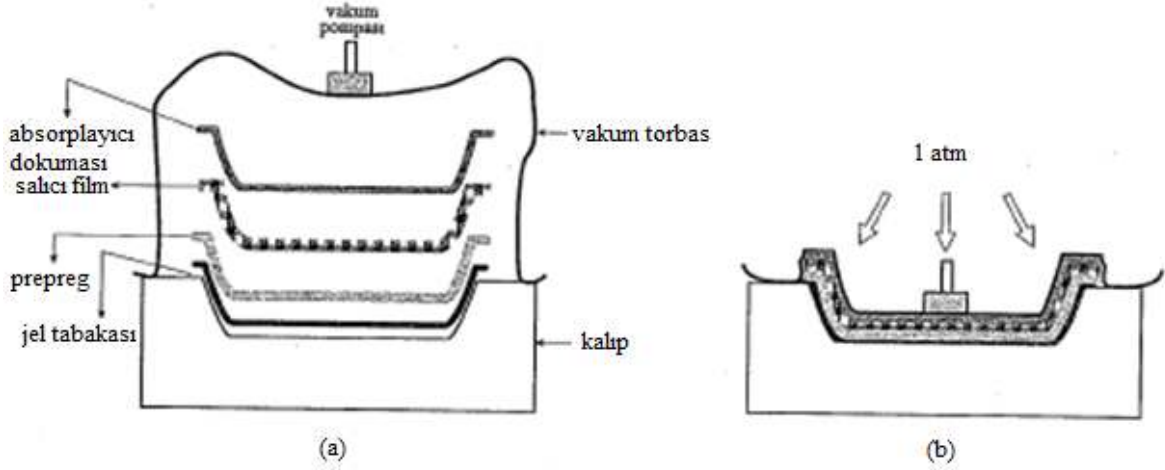


Şekil 2.11. Yaş elle yatırma ile kompozit üretimi

Vakum torbalama

Vakum torbalama yöntemi Şekil 2.12’de gösterilmiştir. Kalıp yüzeyine önce bir yağ tabakası sürülür. Daha sonra kalıba uygun boyutta bir prepreg kesilerek kalıba yerleştirilir. Prepregin üzerine hava ve diğer uçucu bileşenlerin geçişine izin veren ve matrisin dışarı çıkmasını önleyen bir dokuma konur. Son olarak ısıya dayanıklı ve tüm sistemi örten

polimerik bir film vakum torbası yerleştirilir. Kalıp ısıtılırken sistemdeki hava vakumla çekilir. Böylece kalıp içerisindeki malzeme dışarıdan 1 atm ile sıkıştırılırken reçine sertleştirilir.



Şekil 2.12. Vakum torbalama yöntemiyle kompozit üretimi (a) katmanlar (b) vakum uygulama

Otoklav torbalama

Kompozit malzemenin içerisinde kalabilecek boşluklar ürün kalitesini düşürürler. Yaş yatırmada rulo ve fırça ile hava kabarcıkları etkili bir şekilde yok edilemez. Vakum torbalamada da aynı şekilde hava kabarcıklarının alınması için 1 atm basınç yeterli değildir.

Otoklav yöntemi malzeme içerisindeki boşlukları en aza indiren ve 1 atm den büyük basınçlarla kompozitin sıkıştırıldığı bir yöntemdir. Vakumla torbalama sistemine benzer şekilde hazırlanan kompozit otoklav içerisine alınır. Dışarıdan otoklava gaz verilerek kompozit üzerine yüksek basınç uygulanır ve aynı anda ısıtma yapılarak pişirim tamamlanır. Yöntem pahalı olmakla birlikte yüksek kalitede kompozit üretimi için uygundur.

2.6.1.3. Püskürtme Yöntemi

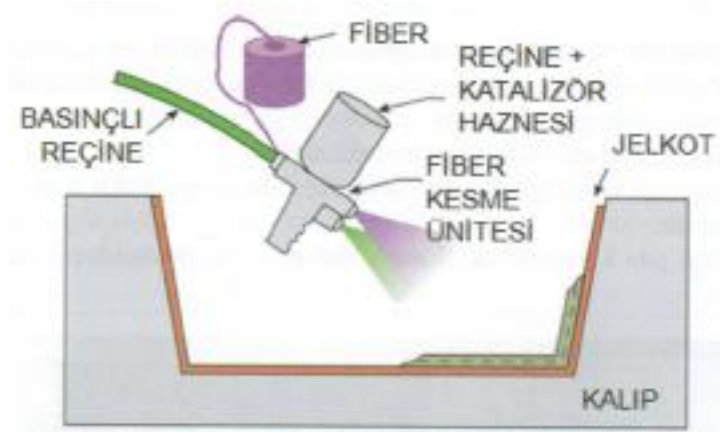
Püskürtme yöntemi elle yatırma yönteminin aletli şekli olarak kabul edilebilir. Bu yöntemde reçine ve takviye lifleri birlikte kalıp yüzeyine püskürtülür (Şekil 2.13). Püskürtme tabancasında, sertleştirici ve reçineyi püskürten ve lifleri kırpan bir sistem bulunur. Kaplama kalınlığı istenilen düzeye geldiğinde tabanca durdurulur ve malzeme yüzeyi rulo ile düzeltilir. Ana malzemeyi püskürtmeden önce kalıp içerisine silikon sürülür daha iyi yüzey elde edilir.

Açık kalıplama düşük ve orta hacimdeki tekneler ve kayıklar, tanklar, duş ünitesi gibi parçalar püskürtme yöntemi ile hazırlanır. Poliester ve cam filmler sık kullanılan takviye elamanlarıdır. Özgül dayanım için örgü elyaflar da ilave edilebilir. Reçine olarak yine polyesterler kullanılır. Bu metot parça karmaşıklığı fazla ise faydalıdır. Bu tekniğin avantajı, basit, maliyeti düşük olması, taşınabilir aygıt ve parça boyutu sınırlamasının olmamasıdır (Şahin, 2000).

Püskürtme işlemi genel olarak aşağıdaki işlem kademesi uygulanarak yapılır.

- Kalıp yüzeyi bir kalıp ayırıcı madde ile kaplanır.
- Kalıp yüzeyine jelkot yapılır ve sertleşmesi beklenir.
- Fiberler bir el tabancasında kıyılır ve katalizör /sertleştirici ile karıştırılan bu fiberler, bir kalıba püskürtülerek üretim gerçekleştirilir.
- Belli bir kalınlık değeri elde edildikten sonra malzeme genellikle oda sıcaklığında kürlemeye bırakılır (Töre, 2011).

Püskürtme prosesi yüksek ısı ve basınç ihtiyacı olmadığından oldukça ekonomiktir.



Şekil 2.13. Püskürtme yöntemi ile kompozit üretimi

2.6.1.4. Hazır kalıplama

Baskı kalıplama bünyesinde cam elyafı, reçine, katkı ve dolgu malzemeleri içeren kalıplamaya hazır, SMC(tabaka kalıp bileşeni), BMC(hacimli kalıp bileşeni) kalıplama bileşimleri olarak adlandırılan kompozit malzemelerin sıcak pres kalıplarla ürüne dönüştürülmesidir. Karmaşık şekillerin üretilebilmesi, metal parçaların bünye içine gömülebilmesi, farklı cidar kalınlıkları gibi avantajları bulunmaktadır. Ayrıca ürünün her iki yüzey özellikleri iyi olan kompozitler hızlı bir şekilde üretilebilmektedir. Diğer kompozit malzeme üretim tekniklerinin olanak vermediği delik gibi komplike şekiller elde edilebilmektedir. Iskarta oranı düşüktür. Bu yöntemin dezavantajları kalıplama bileşimlerinin buzdolaplarında saklanmaları gerekliliği, kalıpların metal olmasından dolayı diğer kalıplardan daha maliyetli olması ve büyük parçaların üretimi için büyük ve pahalı preslere ihtiyaç olmasıdır. Malzemenin kalıba yerleştirilmesi, kalıplama hızını sınırlayan aşamadır.

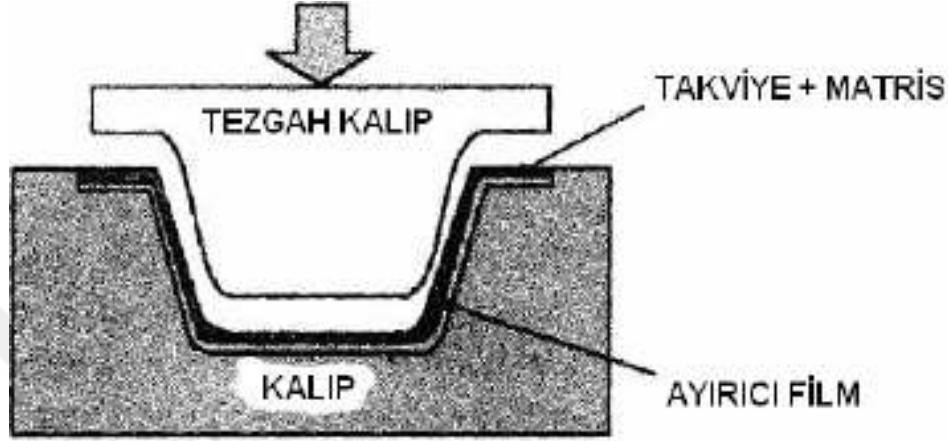
Baskı kalıplama yönteminde kullanılan bileşimler içeriklerine göre çeşitlilik göstermekle beraber en çok iki tür hazır kalıplama bileşimi kullanılmaktadır. Hazır kalıplama pestili / SMC (sheet moulding composites); SMC takviye malzemesi olarak kırılmış lif ile dolgu malzemesi içeren bir reçinenin önceden birleştirilmesi ile oluşan pestil biçiminde malzemedir. Sürekli lifler, 25-50 mm kırılmış olarak ve kompozitin toplam ağırlığının %25-30 oranında kullanılır. Genellikle 1m genişliğinde ve 3mm kalınlığında üretilir. Hazır kalıplama hamuru / BMC (bulk moulding composites); BMC takviye malzemesi olarak kırılmış lif ve dolgu malzemesi içeren bir reçinenin önceden birleştirilmesi ile oluşan hamur biçiminde malzemedir.

Hazır kalıplama bileşimlerinin avantajları;

- Çok geniş tasarım esnekliği
- Düzgün yüzey
- Kolayca laklanabilme, boyanabilme ve kalıp içinde yüzeyin kaplanabilmesi
- Geri dönüştürülebilme ve hazırlığında geri dönüşümü malzeme kullanabilme
- Metal gömme parçaların yerleştirilmesi ile montaj kolaylığı
- Yüksek alev dayanımı
- Sıcaklık dayanımı
- Soğukta kırılgan olmama enjeksiyon kalıplama (injection moulding)

Bu yöntem RTM'ye benzer bir yöntemdir. Farklılığı reçine/elyaf karışımının kalıp dışarısında karışmış ve eritilerek basınç altında boş kalıp içine enjekte ediliyor

olmasındadır. Sadece düşük viskoziteye sahip termoset reçineler bu yöntem de kullanılabilir. Diğer yöntemlere göre daha hızlıdır. Çocuk oyuncaklarından uçak parçalarına kadar birçok ürün bu yöntemle üretilmektedir. Şekil 2.14. de hazır kalıplama düzeneği görülmektedir (Philips, 1989).



Şekil 2.14. Hazır kalıplama düzeneği(Gay vd., 2003)

2.6.1.5.Reçine transfer kalıplama

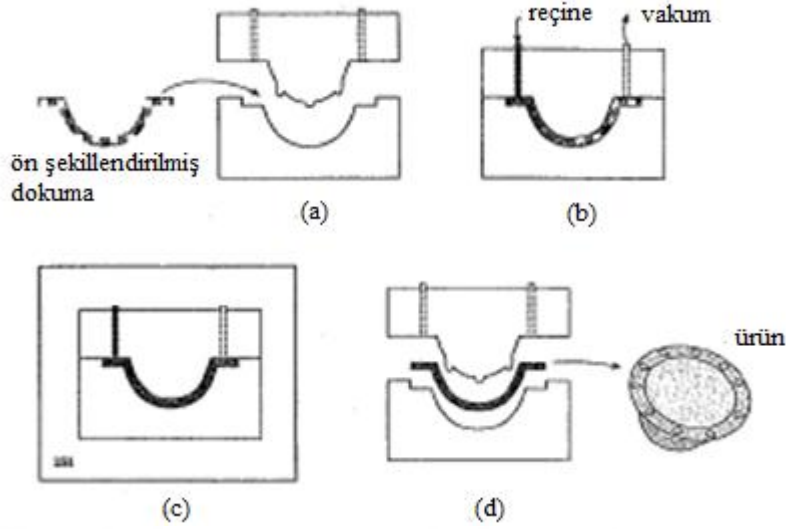
Bu yöntemde önce takviye malzemesi enjeksiyon kalıp ünitesine yerleştirilir ve ısıtılmış kalıp içerisine uygun miktarda termoset plastikler enjekte edilir. Uygulanan basınç ve sıcaklıkla kontrol edilir ve kalıplanacak ürüne bağlı olarak çevrim 45 s ve 120 s arasında değişir (Şahin, 2000).

Reçine transfer kalıplamada genellikle bir bağlayıcı yardımıyla önceden şekillendirilmiş lifler veya dokumalar kullanılır. Kalıbın şekli verilmiş parça kalıp üzerine yerleştirildikten sonra kalıbın diğer parçası kapatılarak reçine gönderilir(Şekil 2.15).

Reçine transfer kalıplamada reçine enjeksiyon hızı, lif veya dokumanın kalıp içerisindeki konumunu bozmamak için düşük tutulur. Uygulanan basınç düşüktür. Birçok uygulamada vakumla kalıp içerisindeki hava ve oluşabilecek gazlar uzaklaştırılır. Bu yöntemde takviye malzemesinin konumu kalıplama sırasında pek bozulmaz (Saçak, 2005).

Bu yöntemle küçük ve karmaşık parçalar (uçak, otomobil) yanında sandalye, kabin duvarları, sıra, bank, su tankları gibi büyük parçalar da üretilir.

Poliester, epoksiler ve vinil esterler, poliüretanlar ve fenolikler yaygın kullanılan matris polimerlerdir.



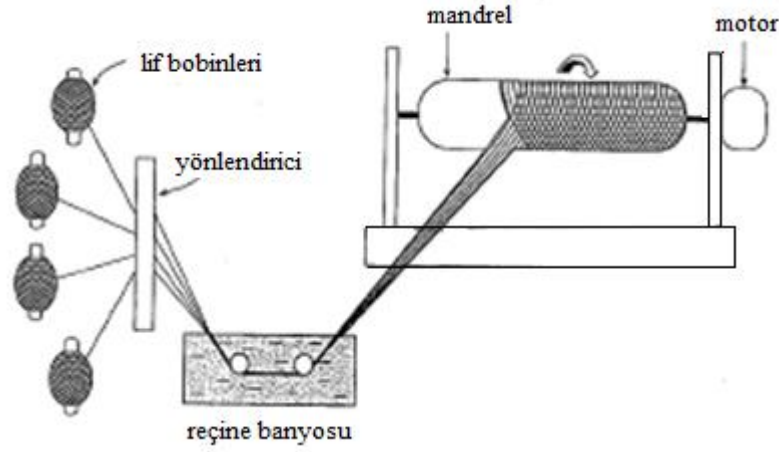
Şekil 2.15. Reçine geçişli kalıplama. (a) ön şekillendirilmiş dokumanın kalıba alınması, (b) kalıba reçine alınması (c) sertleştirme (d)kalıptan ürünün alınması (Saçak, 2005)

2.6.1.6. Elyaf sarma

Lif sarma yöntemi, lif besleme, reçine banyosundan geçirme, mandrele sarma ve kür etme olmak üzere dört adımdan oluşan bir kompozit üretim yöntemidir. Bu yöntem özel biçime sahip ürünlerin seri üretimine uygundur. Elyaf sarma yöntemi sürekli elyaf liflerinin reçine ile ıslatıldıktan sonra bir makaradan çekilerek dönen bir kalıp üzerine sarılmasıdır. Sürekli liflerin farklı açılarla kalıba sarılmasıyla farklı mekanik özelliklerde ürünler elde edilebilir. Yeterli sayıda elyaf katının sarılmasından sonra ürün sertleşir. Ardından döner kalıp ayrılır (Philips, 1989).

Bazı uygulamalarda lifler yerine şerit halindeki prepregler kullanılır. Kuru sarma adı verilen bu yöntemde mandrel boyutlarında kesilen prepreg parçası doğrudan mandrel yüzeyine yerleştirilerek sıkıştırıldıktan sonra sertleştirilir. Yaş sarma daha yaygın kullanılmaktadır.

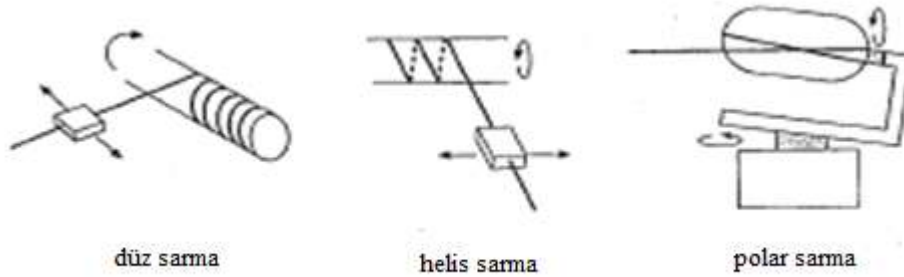
Lifin mandrele sarım biçimi kompozitin mekanik özelliklerini belirler. Bu yöntemle yapılan ürünler, füze boruları, petrol nakli için borular, yat direkleri, uçak su tankları vb. ürünlerdir. Şekil 2.16'da elyaf sarma şekli verilmiştir.



Şekil 2.16. Elyaf sarma yöntemi ile kompozit üretimi

Şekil 2.17’de görüldüğü gibi lifler amaca göre mandrel silindirik ve yarı silindirik döndürülerek düz, helis veya polar geometrilerde sarılabilirler. Düz sarmada mandrel dönerken lif besleyici sistem mandrel eksenine 90° olacak şekilde hareket eder.

Helis sarma, mandrelin dönme hızı ve lif besleyicinin açısal hızı kontrol edilerek yapılır. Polar sarma, kap, tank gibi malzemelerin yüzleri ile birlikte alt ve üst tabanının da takviyesi gerektiğinde uygulanan bir lif sarma yöntemidir. Polar sarmada mandrel iki yönde hareket eder (Saçak, 2005).



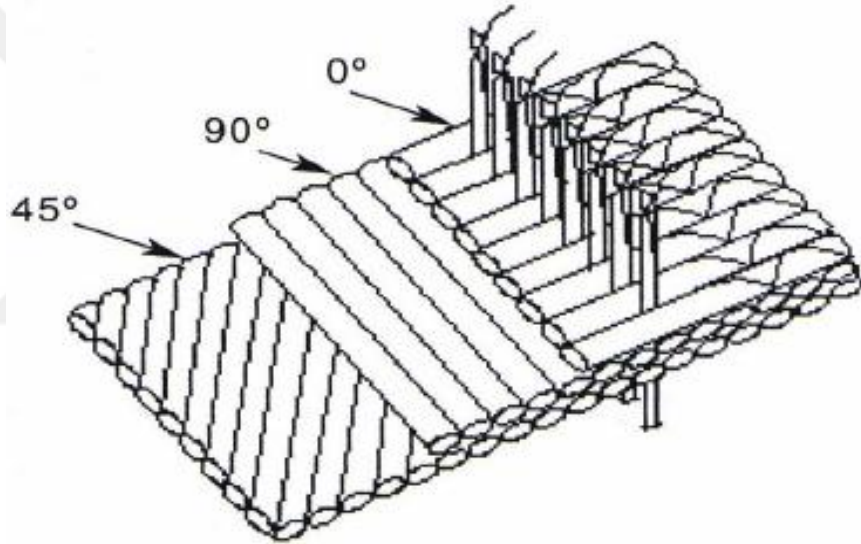
Şekil 2.17. Filament sarma yöntemiyle kompozit üretiminde mandrel lifin sarılma biçimleri

Filament sarma tekniğinde genelde epoksi, fenolikpoliester ve vinil ester reçine matrisler ve cam, aramit, karbon lifler kullanılır. Bu yöntem tanklar, kaplar gibi silindirik malzemelerin yapımına uygundur.

2.6.1.7.Tabakalı birleştirilme

Polimer matris içine yerleştirilmiş lif veya dokumadan oluşan tabaka halindeki ara ürüne endüstride Pregreg adı verilir. Açık yapılar şekillenmiş kalıp yüzeyi ile ısıtılmış zımba arasında sıcak presleme usulü ile uygun şekilde üretilir. Ön gömülmüş elyaf (pregreg)'lerin reçine ile doyurulması ile preslenir veya sarılarak üretilir. Mandrel üzerine veya levha arkasına şerit yerleştirilmelidir. Tabakayı elle tutulabilir hale getirmek için kısmi ısıtma işlemi yapılarak levha arkası daha sonra kaldırılır. (Şahin, 2000).

Bu prepregler bilgisayarla kontrollü lazer veya su jeti ile kesilerek yaprak şeklinde levhalar oluşturulur, ve bunlar kalıp içerisinde belirli yönde (şekil 2.17) yerleştirilerek istif edilir. Örneğin, 0° , 90° , $0^\circ/90^\circ$, $0^\circ/45^\circ$, $45^\circ/45^\circ$ vb. şeklinde paralel olarak tabakalanır (Şahin, 2000).

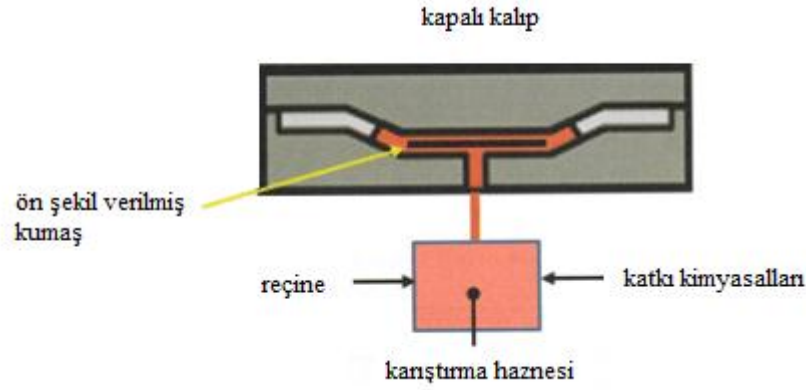


Şekil 2.18. Tabakalı kompozit (Mazumdar, 2002)

2.6.1.8.Yapısal reaksiyon enjeksiyon kalıplama (SRIM)

SRIM yöntemi reçine transfer kalıplama (RTM) yöntemine benzerdir. Bu işlemle yapısal olarak daha mukavemetli parça elde edilmesi amaçlanır. Bu işlemde reçine kalıp içine enjekte edilmeden hemen önce katkı kimyasallarıyla karıştırılarak kalıp içine basınçlı olarak enjekte edilir. Kalıp içine serimi yapılan takviye malzemesi ile birlikte kürlenir. Şekil 2.19 'da işlem uygulaması görülmektedir (Töre, 2011).

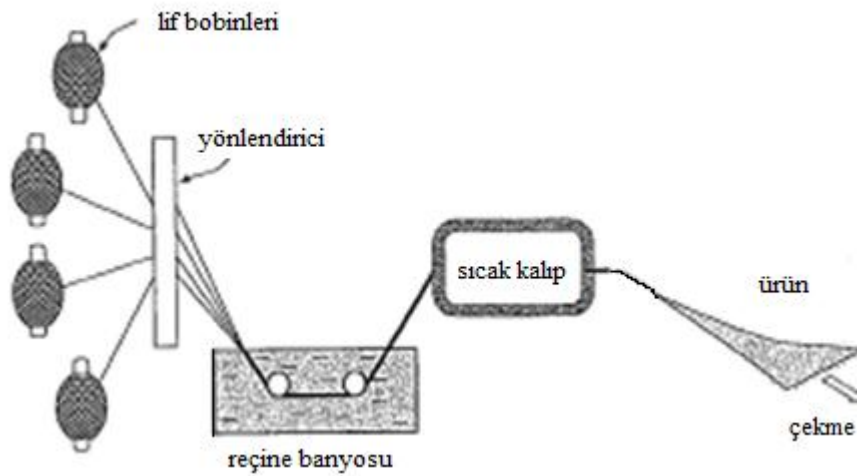
SRIM prosesi yüksek hacimli düşük maliyette üretim gereken alanlarda kullanılır. Genellikle otomotiv endüstrisindeki araba iç ve dış parçaların imalatında kullanılır. Tamponlar, göğüs panelleri, pikapların taşıyıcı kabin kısımları gibi parçaların üretimi için kullanılmaktadır.



Şekil 2.19. Yapısal reaksiyon enjeksiyon kalıplama (SRIM) gösterimi

2.6.1.9.Profil çekme (Pultrüzyon)

Pultrüzyon yöntemi, ekstrüzyon yöntemine benzetilebilir. Sabit kesitli kompozit profillerin imalatında kullanılır. Bu işlemde fiberler reçine banyosunda ıslatıldıktan sonra ısıtılmış kalıp içerisine gönderilirler. Reçine ve fiber kalıptan geçerken kürlenme (polimerleşme) işlemi gerçekleşir. Profil çekme kalıpları alüminyum veya çelik ten üretilmektedir. Şekil 2.20’de işlem uygulaması gösterilmektedir.



Şekil 2.20. Profil çekme yöntemi ile kompozit üretimi

Bu yöntemle kompozit yapıda borular, profiller, levhalar hazırlanır ve bu malzemeler istenilen uzunlukta kesilerek olta kamışı, golf sopası, pencere kasası, merdiven vb. ürünler elde edilir.

Epoksi, vinilester, poliester ve fenolikler en yaygın kullanılan matris polimerlerdir. Üretimde sürekli lifler kullanıldığı için lif doğrultusunda mekanik özellikleri iyidir. Dokumalar kullanılarak diğer yöndeki mekanik özellikleri geliştirilebilir.

2.6.1.10.Otoklav

Termoset kompozit malzemelerin performanslarını artırmak için elyaf/reçine oranını artırmak ve malzeme içinde oluşabilecek hava boşluklarını tamamen gidermek gerekmektedir. Bunun sağlanması için malzemeye yüksek ısı ve basınç uygulanır. Torba kalıplama yöntemindeki gibi sızdırmaz bir torba ile elyaf/reçine yatırmasına basınç uygulanabilir. Fakat 1 atmosferden fazla düzenli ve kontrol edilebilir bir basıncın uygulanabilmesi için dışsal basınç ihtiyacı duyulur. Bu uygulama için, otoklav yönteminde de uygulanan ve kompleks şekillerde en çok kontrol edilebilen metot, dışarıdan sıkıştırılmış gazın kompozit malzemenin içinde bulunduğu kaba verilmesidir. Otoklav kesin basıncın, ısının ve emişin kontrol edilebildiği basınçlı bir kaptır. Torba Kalıplama yöntemi ile benzerdir. Fırın yerine bir otoklav kullanılır. Böylece özel amaçlar için yüksek kalitede kompozit üretebilmek için kür şartları tam olarak kontrol edilebilir. Bu yöntem diğerlerine oranla daha uzun sürede uygulanır ve daha pahalıdır.

2.6.2. Termoplastik matrisli kompozitlerin üretimi

Termoplastik matris kompozitlerin termoset matrisli kompozitlere göre birçok avantaj ve dezavantajları vardır (Chawla, 1987).

Termoplastik kompozitlerin avantajları:

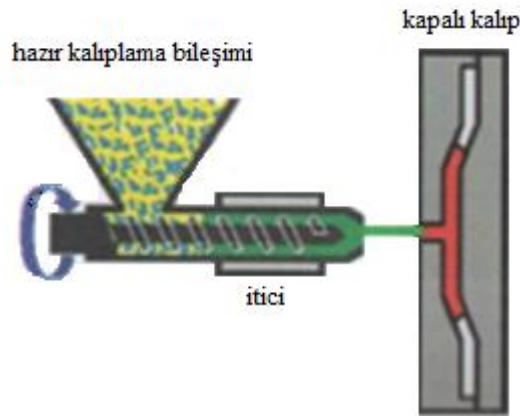
- Soğutma ihtiyaçları yoktur
- Parçalar ısı tarafından birleştirilebilir
- Parçalar tekrar kalıba sokulabilir ve geri dönüşüm sağlanabilir
- Termoplastikler, termosetlerden daha iyi dayanıklı ve dirençlidir.

Termoplastik matrisli kompozitlerin dezavantajları:

- Termosetler den daha fazla sıcaklıkta üretilirler
- Termoplastikler dijittirler. Yani onlarda kısmi kür edilmiş epoksilerin yapışkanlığı yoktur.

2.6.2.1.Enjeksiyon kalıplama

Çok yüksek üretim miktarlarında çok büyük hacimli kompleks parçalar üretmek için tekli veya çok parçalı kalıplar kullanılarak cam elyaf takviyeli plastiklerden yüksek hacim oranlı bir metottur. Farklı termoplastik malzemelerle çok değişik mekanik, kimyasal, elektriksel ve ısıl özellikler elde edilebilir. Bu işlem normal plastik kalıplamak için kullanılan işleme benzer ancak cam elyaf ihtiva eden ve onları dağıtan besleyici deposu mevcut bulunmaktadır. Topak elde etmek için polimer tanecikler ve kırılmış elyaflar karıştırılır ve vidalı bir karıştırıcıda ısıtılır. Çok delikli kalıp aracılığıyla çekilir. Bu deliklerden geçirilen kırılmış elyaflar %50 hacim oranlı çok ince dağılmış boyu 1 mm olan küçük tanecikler topaklar haline dönüşür. Tanecikler enjeksiyon makinesine gönderilir ve daha sonra soğuk kalıp içine enjekte edilir. Plastik kalıpta katılaştığında kalıp ayrılarak parça çıkarılır. Elyaf takviyeli enjeksiyon kalıplama, normal enjeksiyon kalıplamadan daha yüksek basınç (200 MPa) ve daha uzun çevrim zamanı (2 dak) gerektirir. Dişliler, valf gövdeleri, otomobil aygıtı panelleri ve yüksek boyutsal kararlılığa sahip ve tasarımı karışık parçalar üretilir (Şahin, 2000).



Şekil 2.21. Enjeksiyon kalıplama

2.7. Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu

Kompozit malzemeler karakterize edilirken çekme mukavemeti, üç nokta ve sertlik testi gibi mekanik testler, yanmazlık testi, diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve iletkenlik testleri yapılır.

2.7.1. Malzemenin çekme özellikleri

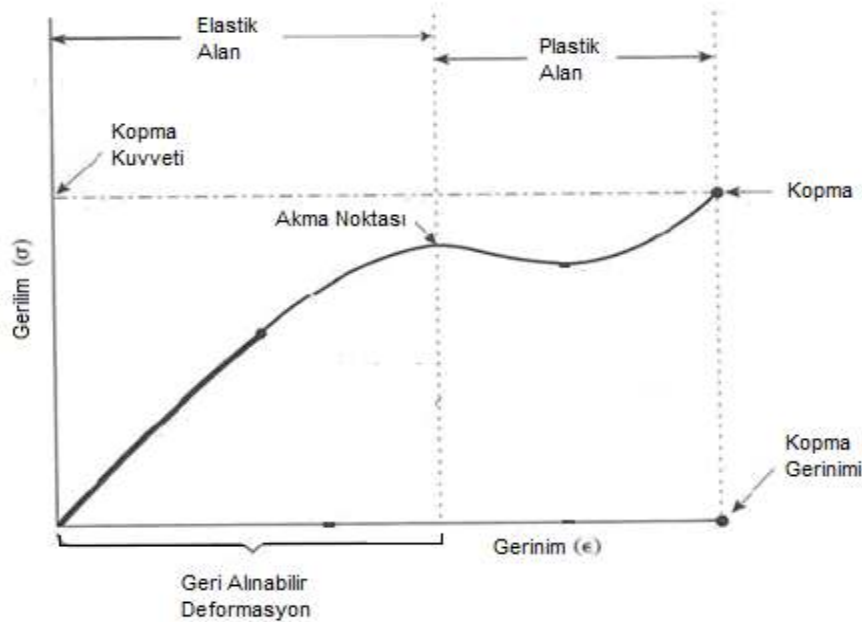
Çekme, malzemenin birim alanı başına uygulanan kuvvet türünden verilir. Gerilim (σ) adı verilen bu değer, aşağıdaki bağıntıda gösterildiği gibi kuvvetin (F), malzemenin birim alanı (A_0) başına uygulanan kısımdır

$$\sigma = F / A_0$$

Gerilimin genel birimi kuvvet/alan dır. Sayısal değerleri için ise çoğu kez Pa (Pascal, N/m²), Mpa (106 Pa), Psi (lb/in²) türü birimler kullanılır. Yüklemin Malzeme boyutlarında yaptığı değişikliklere gerinim (ϵ) adı verilir (deformasyona karşılık gelir). Malzemeler çekme geriliminde uzama ile boyutlarını değiştirerek deformasyona uğrarlar. Ayrıca gerinim tanımı, malzeme boyutundaki değişimin (Δl), malzemenin ilk boyutuna (l_0) oranı şeklindedir.

$$\epsilon = \Delta l / l_0$$

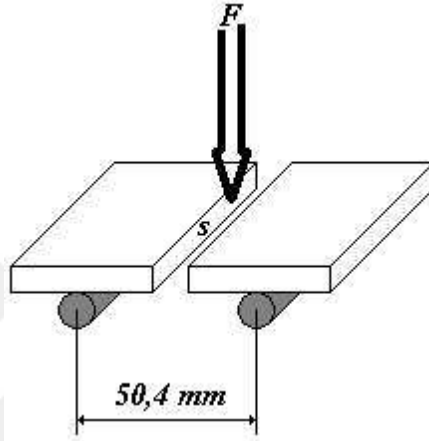
Gerinim birimsizdir, ancak uygulamada cm/cm, m/m türü birimlerle kullanılır. Çekme mukavemeti testleri ASTM D638-91a (Standard Test Method For Tensile Properties of Plastic) standardına uygun olarak yapılmıştır. Tipik bir polimerin gerilim gerinim davranışı şekil 2.22’de verilen grafik şeklindedir. Çekme mukavemeti (MPa), malzemenin dayanabildiği maksimum gerilim kuvveti grafik üzerinden hesaplanır. Aynı şekilde malzemenin kopması için uygulanan maksimum kuvvet ve bu kuvvetin sonucunda malzemenin uğradığı deformasyon da grafik üzerinden hesaplanabilir(Ahrabi, 2009)



Şekil 2.22. Tipik bir polimer malzemenin gerilim-gerinim davranışı

2.7.2. Üç Noktadan eğme testi

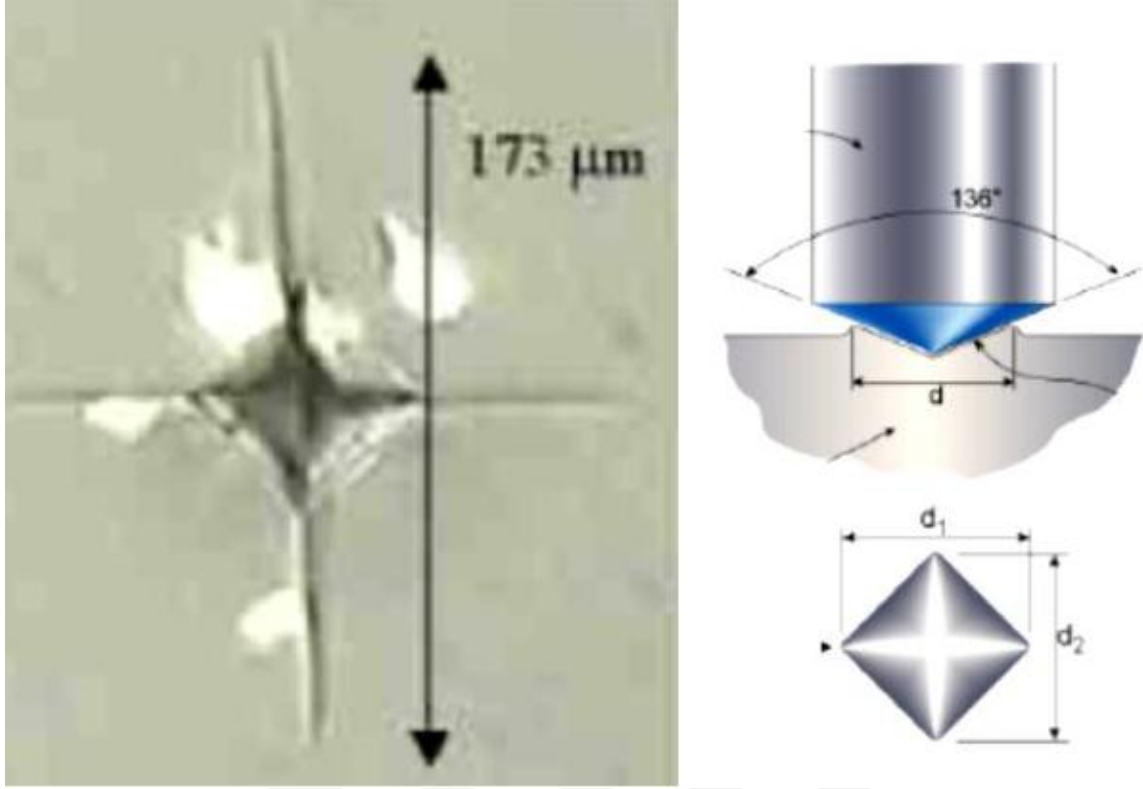
Çekme mukavemeti testi ile benzer çalışma prensibine sahip olan üç nokta eğme testi ASTM D 790–03 standardına uygun olarak yapılmıştır. Sabit köprü şeklinde duran malzemenin üzerine uygulanan kuvvetin birim alan başına maksimum miktarının tespit edilmesi şeklindedir. Malzeme iki adet silindir üzerine yatay şekilde yerleştirilir ve üçüncü silindir tarafından kuvvet uygulanarak birim alan üzerine etkiyen kuvvet bulunur (Şekil 2.23).



Şekil 2.23. Üç Noktadan Eğme Testinin Çalışma Prensibi

2.7.3. Vickers sertlik deneyi

Bu deney yönteminde baskı elemanı olarak tepe açısı 136° olan elmas kare piramit kullanılır (Şekil 2.24). F yükü ile malzemeye bastırılan piramit ucun bıraktığı dörtgen izin köşegenleri ölçülerek hesaplanan ortalama köşegen uzunluğu formülde yerine konarak sertlik değerleri bulunur. Vickers sertliği yüke bağlı değildir. Ölçme hatalarını azaltmak ve heterojen yapılarda ortalama değer elde edebilmek için yükü ve dolayısıyla izi büyötmek faydalıdır. Ancak köşegen uzunluğu sertliği ölçülen parça veya tabaka kalınlığının en çok üçte ikisi kadar olmalıdır. Yük 1-120 kgf arasında değişebilir. Normal yük olarak 30 kgf seçilebilir. Vickers yönteminde büyük piramit açısından dolayı az derinliklere rağmen geniş diyagoneller elde edilir. Yüklü numune üzerinde kalma süresi yaklaşık 20 saniyedir. Bu süre sonunda baskı ucu numune üzerinden kaldırılır ve deney bitirilir.



Şekil 2.24. Vickers Sertlik Ölçme Deney Düzenegi

2.7.4. Limit oksijen ihtiyacı (LOİ) ile yanma özelliklerinin tayini

Atmosferin %21'i oksijenden ve geri kalanı N_2 , CO_2 , su vs. oluşmaktadır. Oksijen hariç geri kalan kısım (N_2 , CO_2 , su vs.) yanmayı desteklemez. LOİ değeri, belirli deney şartlarında yanmakta olan bir numune üzerine, yanmanın devamını sağlamak için, $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta gönderilen oksijen-azot gazları karışımındaki oksijenin hacimce yüzdesi için mümkün en küçük konsantrasyondur. Bir başka deyişle, LOİ değeri, oksijen-azot atmosferi içerisinde bir alevi başlatmak ve arttırmak için gerekli olan minimum oksijen konsantrasyonunun ölçüsüdür.

LOİ testi, malzemelerin yanmasını devam ettireceği atmosferde minimum oksijen miktarını belirler. Deney numunesi, içerisinden yukarı doğru bir oksijen ve azot karışımı geçen şeffaf bir baca içine düşey olarak yerleştirilir. Baca sıcaklığa dayanıklı bir cam borudan oluşur ve yüksekliği en az 450 mm ve çapı en az 95 mm olacak şekilde tercih edilir. Deney numunesinin üst ucu tutuşturulur ve arkasından deney numunesinin yanma davranışı gözlenerek yanmanın devam süresi veya yanan deney numunesi uzunluğu, bu tür bir yanma için önceden belirlenmiş sınır değerlerle karşılaştırılır.

Farklı oksijen konsantrasyonlarında, bir seri deney numunesi kullanılarak yapılan deneylerle, yanmanın devam etmesi için gerekli en küçük oksijen konsantrasyonu değeri hesaplanır.

LOİ değeri, hacimce yüzde cinsinden aşağıdaki bağıntıdan hesaplanır:

$$LOİ = C_f + k \cdot d$$

C_f : son oksijen konsantrasyonu değeri

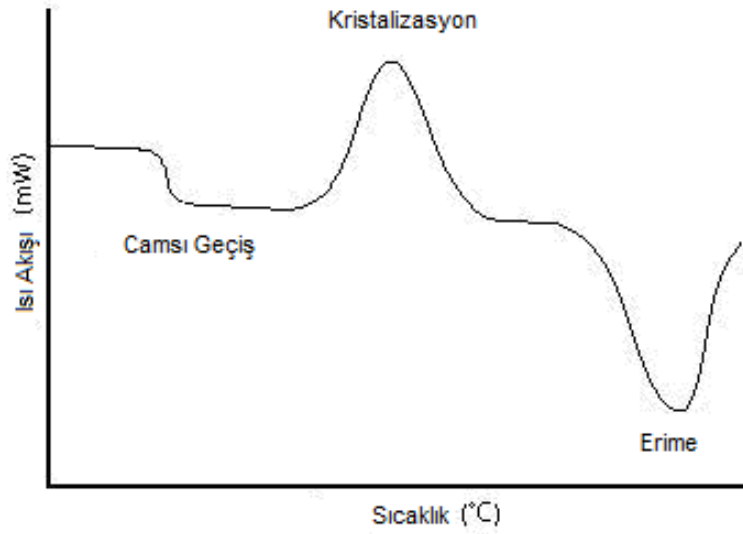
K : sabit

d : uygulanan ve kontrol edilen ve kontrol edilen oksijen konsantrasyon seviyeleri arasındaki fark

2.7.5. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC)

Diferansiyel Taramalı Kalorimetri veya DSC termal analizde kullanılan termo analitik bir yöntemdir. Numune ve referansın sıcaklığını arttırmak için verilmesi gereken ısı miktarı sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçülür. Numune ve referans deney süresince aynı sıcaklıkta tutulmaya çalışılır. DSC analizi için sıcaklık programı genellikle numune tutucunun sıcaklığının zamana karşı lineer bir şekilde artacak şekilde dizayn edilmiştir. Numune faz değiştirme gibi fiziksel bir dönüşüme gidiyorsa referansla aynı sıcaklıkta tutabilmek için numuneden daha az veya daha çok ısı akışı olacaktır. Daha az veya daha çok ısı akışı işlemin endotermik veya ekzotermik olmasına göre değişir.

DSC'nin temel uygulama alanları ekzotermik ayrışma, erime gibi faz değişimleri üzerindeki çalışmalardır. Bu geçişler enerji değişimi veya ısı kapasitesi değişimleri içerir ve DSC tarafından büyük bir hassasiyetle ölçülebilir. DSC deneylerinden ısı akışının zamana veya sıcaklığa göre çizilen eğrisi (Şekil 2.25) elde edilir.



Şekil 2.25. Polimerler için tipik bir DSC eğrisi

2.7.6. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Taramalı Elektron Mikroskobu veya SEM (Scanning Electro Microscopy) çok küçük bir alana odaklanan yüksek enerjili elektronlarla yüzeyin taranması prensibiyle çalışır. En sık kullanıldığı biçimiyle, yüzeyden yayılan ikincil (secondary) elektronlarla yapılan ölçüm, özellikle yüzeyin engebeli (topografik) yapısıyla ilişkili bir görüntü oluşturur.

Bir cismi milyon mertebesinde diğer bir deyişle nano boyutlarda büyütüp, ekranda görebilmek ve buradan fotoğrafını almak mümkündür. Meselâ, bu kadar büyütmeyle bir kristal şebekesindeki atomların dizilişini görmek mümkündür. En iyi optik mikroskoplarda ise bu büyütme ancak birkaç bin defa olmaktadır. Optik mikroskoplarda görüntünün elde edilmesinde ışık kullanılırken, elektron mikroskoplarında, ışık yerine elektron kullanılır. Elektronun dalga boyu, ışığa göre birkaç bin defa daha küçük olduğu için, bu mikroskopa daha ayrıntılı görüntüler elde etmek mümkündür. Bazı elektron mikroskoplar, 0,2 nanometre (nm)'lik cismi net gösterebilmekteyken, en iyi optik mikroskoplar 250 nm'lik bir güce sahiptir. Bir nanometre, 10 Angström olup, 10-10 metreye karşı gelir.

2.7.7. İletkenlik testi

Atık PET ve mermer tozu karışımlarının termal iletkenlikleri KO2-PRO (DECAGON:DEVİCES) marka iletkenlik ölçüm cihazı ile yapılarak ISO ve CEN Standartlarına göre yapılan sınıflandırmada: ·

1. (Isı iletkenlik katsayısı) $> 0,065 \text{ W/mK}$ ise “yapı malzemesi”
2. (Isı iletkenlik katsayısı) $< 0,065 \text{ W/mK}$ ise “ısı yalıtım malzemesi”

olarak değerlendirilir. Isı yalıtım malzemeleri, bitişik yapı malzemelerinin ısı iletim direncini artırmak veya dışarıya kaçan ısı miktarını azaltmak amacı ile kullanılırlar.

2.8. Kaynak özetleri

Avila A. F.ve Duarte M. V., (2003) yeşil renkli PET şişeler üzerinde çalışmışlardır. Şişe ve kapaklar çoğu kez birlikte atıldığından parçacıklı bir kompozit malzeme oluşturmuşlardır. PET ve HDPE ağırlık fraksiyonları sırasıyla 80/20, 70/30, 60/40 ve 50/50 oranlarındadır. 50/50 oranındaki PET ve HDPE, arasındaki yapışma problemlerinden dolayı iptal edilmiştir. Bu çalışmada vida çapı 25 mm, L/D oranı 24 olan 24 rpm dönme hızında tek vidalı bir ekstruzyon makinesi kullanılmıştır. İki dizi test gerçekleştirilmiştir Her iki test için, 30 mm çapında ve 35 mm yüksekliğinde olan, silindirik örnekler sıcak sıkıştırma ile imal edilmiştir. Birincisi basınç gerilme testleri, ikincisi sertlik ve işlenebilirlikleri incelenmiştir.

Li vd. (1998) atık pet ile kömür santralinden çıkan uçucu kül kompoziti üzerinde çalışmışlardır. Isıtmalı bir kap içinde elle karıştırılıp eritilen PET içerisine ağırlık olarak % 0, 10, 20, 30, 40, 50 oranlarında kül eklenmiştir. Daha sonra karışım önceden ısıtılmış kalıplara boşaltılarak kalıplamıştır. Basınç dayanımı, su emme ve ürün yoğunluğu özellikleri test edilmiştir. Uçucu külün, PET'in erime ve karışmasını hızlandırdığı, termal ayrışmasını azalttığını, kalıplama işlemi sırasında malzemenin çekme mukavemetini azalttığı ve son ürünün özelliklerini geliştirdiğini gözlemlemişlerdir. Basınç dayanımı yapı malzemeleri için çok yüksek çıkmıştır. Uçucu kül ilavesi 31-53% oranında ilave edilerek hazırlanan kompozitin basınç dayanımı maksimum oranda artmıştır. Su emme kapasitesinin tüm örnekler için önemsiz olduğu gözlemlenmiştir. Mikro yapı ve bir bağlama mekanizması taramalı elektron mikroskopisi (SEM) ve X-ışını difraksiyonu (XRD) analizi ile araştırılmıştır.

Uçucu kül içeriğinin artması ile basınç dayanımı 61 den 93 MPa'a artmıştır. Uçucu kül içeriği %53 oranında olduğunda kompozit malzemenin sıkışma mukavemeti, % 50

yükselmiştir. Uçucu kül içeriği, %10'dan %50'ye çıkarıldığında basınç mukavemeti oranında 80-93 MPa arasında değişmektedir ki bu inşaat malzemeleri için standartların üzerindedir. Bu kompozit malzeme düşük bir yoğunluğa ve yüksek bir basınç direncine sahip olduğundan potansiyel olarak alternatif bir hafif yapı malzemesi olarak kullanılabilir.

Rahmanie vd. (2013) % 5 atık pet, % 10 çimento ve % 15 kum ile yapılan betonun etkisini araştırmışlardır. Bu amaç için, oranlar çimento, farklı su ile küp ve silindirik örnekler üretilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda taze betonun fiziksel özellikleri PET partiküllerini içeren taze betonlar düşük işlenebilirlik ve düşük yoğunluğa sahip olduğunu göstermektedir. PET parçacıkları ile hazırlanan beton, geleneksel betona göre esnekliği ve çekme mukavemeti açısından daha düşük değerdedir.

De Moura Giraldi vd. (2005) yaptıkları çalışmada cam elyafı ile enjeksiyonla kalıplanmış dönüştürülmüş polietilen tereftalat'ın mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışılan kompozit özellikleri DMTA, bükülme mukavemeti, Young modülü ve darbe direnci gibi testlerle analiz edilerek tanımlanmıştır. Kompozitlerin Young modülü ve darbe direnci geri dönüşümlü PET matristeki cam elyafı ilavesi ile artmıştır.

Shen vd. yaptıkları çalışmada PET'e ağırlıkça %6 oranında sentetik fluoromica kili ilave etmişlerdir. Daha sonra bu karışımı L/D oranı 25 ve 16 mm vida çapında (RHEOMEX OS PTW16) birlikte dönen çift vidalı, sıcaklık bölgeleri 265, 275, 275, 270, 270, 265 ° C olan bir ekstruderde karıştırılmasıyla kompozit malzeme üretmişlerdir. Ekstruderin vida hızı 120 rpm ve beslenme oranı % 7 dir. Çıkan kompozit kırpıntılarını su banyosunda soğutmuşlar ve Dr. Collin P200P levha pres makinesinde 2.5 dakika boyunca 260 ° C 'de 1 mm kalınlığında bir çelik kalıp içinde sıkıştırılarak, kalıplamışlar. Su soğutmalı kalıp kasetleriyle 76*76*1mm lik kalıplar elde edilmiştir. Üretilen plakalara TEM, DSC, XRD, çekme testi, oksijen bariyer testi uygulamışlar ve saf PET ile kıyaslamışlardır. Kil ilavesinin çekme modülü dayanımını arttırdığı görülmüştür.

Paci ve La Mantia (1999) yaptıkları çalışmada atık PET içinde atık toplama sırasında kalabilecek PVC nin viskoziteye etkisini incelemişlerdir. Bunun için tüm numuneler önceden 170 °C'de 4 saat kurutulmuş ve çalışma azot ortamında yapılmıştır. PET içerisine 0-2000 ppm arasında PVC olması durumunu farklı sıcaklık ve dönme hızlarında incelemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda pet içerisinde kalabilecek PVC'nin viskoziteyi düşürdüğü sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca sıcaklığın arttırılması ve dönme hızının düşürülmesinin de viskoziteyi düşürdüğü tespit edilmiştir

Torres vd. (2000), yaptıkları çalışmada, tüketim sonrası polietilen teraftalat şişeler ile bunların saf reçinelerinin termal özellikleri (cam geçiş, erime noktası ve kristalliliğini) ve mekanik özelliklerini (Young modülü, kopma uzaması ve darbe dayanımı) karşılaştırılmışlardır. Çalışmalarında üç tip malzeme kullanılmıştır. Saf PET, geri dönüşümlü PET ve işlenmemiş PET. Deneyler sonucunda geri dönüşümlü PET'deki safsızlıkların varlığının saf ve geri dönüştürülmüş numunelere farklı termal ve mekanik özellikler kattığı gözlemlenmiştir. Bu üç tip malzemeye DSC, termal analiz, vizkozite, kristallenebilirlik ve mekanik testler yapılarak safsızlıkların bunlar üzerindeki negatif etkisi ortaya konmuştur.

Pawlak ve diğerleri Avrupa'daki değişik geri dönüşüm firmalarından (GTX HANEX Plastik, Polonya, Replastic Co., İtalya'dan Rilat ve PTM 3 Ekogeminex, Polonya) temin ettikleri PET şişeleri ayrı ayrı analiz etmişler ve bu atıkların bünyesinde bulunan farklı renk pigmentleri içeren PVC gibi kirleticilerin geri dönüşüme etkilerini incelemişlerdir. Ekstruzyon işlemini tek burgulu ekstrüderde gerçekleştirmişlerdir ($D=19$ $L/D=25$) Yabancı maddeler ve bunların tanımlanması, içeriğinin tayini birkaç tekniğin bir kombinasyonu ile gerçekleştirilmiştir (Diferansiyel tarama kalorimetrisi (DSC), Fourier kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ve termogravimetri (TGA) dönüşümü). Mineral dolgu maddeleri ve geri dönüşüm malzemeleri pigment içeriği termogravimetri vasıtasıyla (TGA) ile tespit edilmiştir. Geri dönüşüm malzemeleri kimyasal bileşimi ATI Mattson Infinity FTIR 60 aparatı üzerinde kızılötesi spektroskopisi dönüşümü Fourier vasıtasıyla incelenmiştir. Dinamik viskozite Brabender 12 mm kullanarak, Extruder homojenizasyon sırasında ölçülmüştür. Mekanik Test için örnekler enjeksiyonla kalıplama ile plastik test standartlarına uygun olarak, bir forma 100 mm gerilim uzunluğuna (ASTM D 638) hazırlanmıştır. Battenfeld 30 gr enjeksiyon kalıplama makinesi kullanılmıştır. Enjeksiyon sıcaklığı 270 ° C olarak ayarlanmıştır. Karışımların mekanik özellikleri Instron çekme makinesi kullanılarak incelenmiştir. Tüm testler 23 °C'lik çevre sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Sonuçta PET'in başarılı bir şekilde geri dönüşüm parametreleri belirlenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Atık PET

Bu çalışmada üretilen kompozit malzemenin matris bileşenini, atık su şişelerinden elde edilen PET oluşturmaktadır. Çalışmada kullanılan atık PET şişeleri, hazır yıkanıp kırpıntı haline getirilmiş bir şekilde Adana’da yerel bir atık toplama firmasından temin edilmiştir. PET kırpıntıları etüve konularak; 170 °C sıcaklık ve 4 saat süre boyunca kurutulmuştur. Kurutulan PET kırpıntıları deneylerde kullanılmak üzere ağzı kapalı kaplarda muhafaza altına alınmıştır.

3.1.2. Mermer tozu

Bu çalışmada üretilen kompozit malzemenin takviye elemanı olarak, Elazığ bölgesinin Elmad Mermer firmasından mermer kesme işlemi sonucu çıkan çamur kurutulup tekrar öğütülerek elek analizine tabi tutulmuştur. 50 mesh /100 mesh ve 100 mesh altı olmak üzere iki fraksiyon için çalışma yapılmıştır. Her iki mermer fraksiyonları ekstruzyon sistemine beslenmeden önce etüvde 105 °C sıcaklık ve 4 saat süre boyunca kurutulmuştur. Mermer tozunun analizi Tablo 3.1’de verilmiştir.

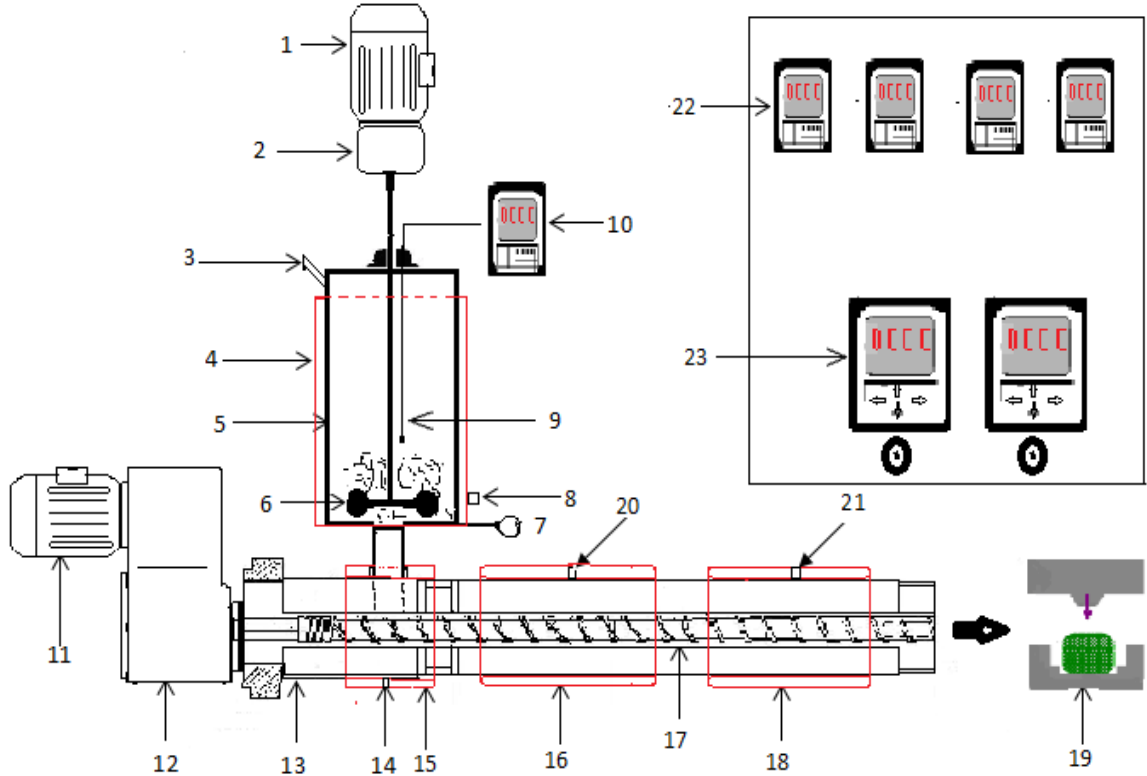
Tablo 3.1. Elazığ sunta mermer tozunun fiziksel özellikleri(Elmad Mermer)

Sertlik	3-4 Mohs
Birim hacim ağırlığı	2,51 gr/cm ³
Ağırlıkça su emme %	2,06
Gözeneklik %	5,15
Tek Eksenli Basma dayanımı	780 kgf/cm ²
Çekme dayanımı	58kgf/ cm ²
Eğilme dayanımı	148kgf/cm ²
Darbe dayanımı	12kgf/ cm ²

3.2. Yöntem

3.2.1. Ekstrüzyon sistemi

PET/mermer tozu kompozit malzeme üretimi için özel olarak tasarlanmış vidalı bir karıştırıcı (ekstruder) kullanılmıştır. Ekstruder makinesinin şekli Şekil 3. 1’de verilmiştir. Atık PET kırıntıların ısıtılarak erimesi ve mermer tozu ile karışması karıştırıcılı ısıtmalı tip bir reaktör içinde gerçekleştirilmiştir. Reaktörün sıcaklığı, bir ısı çift ve bir PID kontrol ediciyle sağlanmıştır.

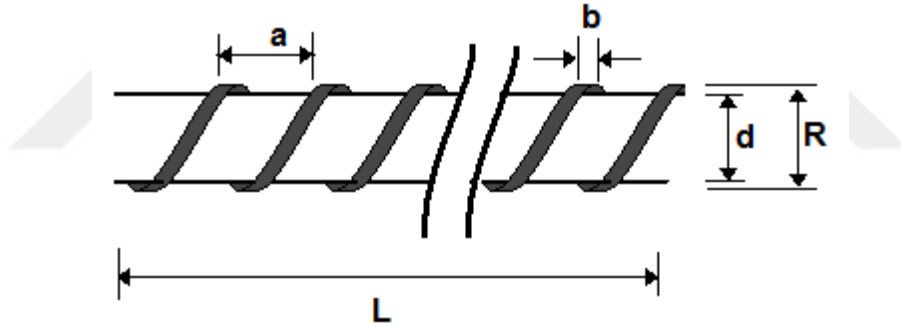


- | | |
|---|---------------------------------------|
| 1 Reaktör karıştırma motoru | 2 Reaktör karıştırıcı dişli Kutusu |
| 3 Azot gazı girişi | 4 Reaktör ısıtıcı rezistans |
| 5 Reaktör | 6 Karıştırıcı bıçaklar |
| 7 Vana | 8, 14, 20 21 Isıçift yuvası |
| 9 Reaktörün iç sıcaklığını ölçen ısı çift | 10 Sıcaklık göstergesi |
| 11 Ekstruder Motoru | 12 Dişli Kutusu |
| 13 Kovan | 15, 16, 18 Kovan ısıtıcı rezistanslar |
| 17 Sonsuz vida | 19 Pres makinesi |
| 22. PID Kontrol elemanı | 23. Motor devir ayarı |

Şekil 3.1 Ekstrüzyon sistemi

Reaktöre beslenen PET bir süre karıştırılıp ısıtılmış PET eriyik hale gelmeye başlayınca mermer tozu ilave edilerek homojen bir karışım sağlanıncaya kadar karıştırılmıştır. Reaktörün içerisinde erimiş PET 'in oksidasyonunu engellemek için azot gazı beslenmiştir. Reaktörün çıkışında yerleştirilmiş olan bir vana ile malzeme istenilen kıvamdaki karışım vana açılarak kovanın içine beslenmiştir. Kovanın içinde bulunan sonsuz vida yardımıyla eriyik haldeki karışım dışarıya doğru hareket ettirilmiştir. Sonsuz vidanın, Şekil 3.2’de şematik görünümü ayrıntılı şekilde ölçüleri verilmiştir. Kovanı ısıtmak için mika tip ısıtıcı rezistanslar kullanılmıştır. Isıtıcı rezistanslar bir PID kontrol ediciye bağlanarak istenilen düzeyde ısıtma sağlanmıştır.

Sonsuz vidanın arka ucu bir motora bağlanmıştır. Böylece vidanın dönme hızı gerektiğinde yükselterek veya düşürerek kontrol edilebilmektedir. Sonsuz vida, karışımı ileri doğru hareket ettirmenin yanında sürekli döndürerek, mermer parçacıklarının erimiş PET içerisinde homojen bir şekilde dağılmasını sağlamıştır.

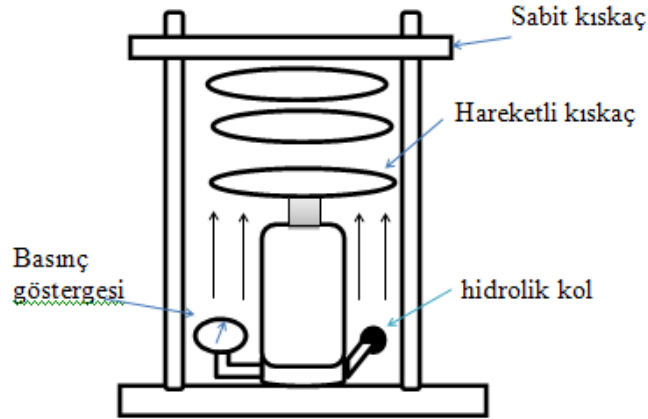


Şekil 3.2 Ekstruzyon sisteminde kullanılan sonsuz vidanın şematik görünümü

Tablo 3.2. Ekstruzyon sisteminde kullanılan sonsuz vidanın boyut ölçüleri

L- vida uzunluğu, mm	500
R- vidanın dış çapı, mm	20
d- vidanın iç çapı, mm	12,5
a- hatfe boşluğu, mm	20
b- hatfe kalınlığı, mm	3

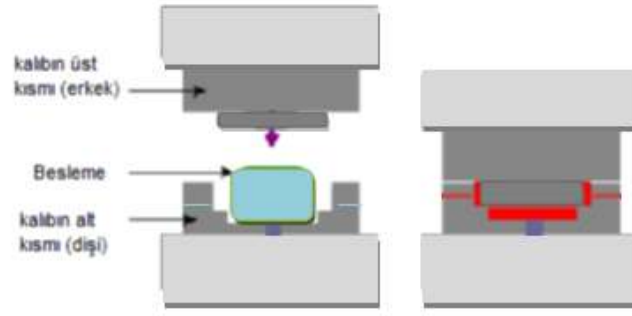
3.2.2. Sıcak pres ile kalıplama



Şekil 3.3. Pres ile kalıplama

Ekstruzyon sisteminin çıkışından alınan kompozit örnekleri, 3 ton kapasiteli tezgah üstü bir hidrolik pres kullanılarak levha haline getirilmiştir. Hidrolik pres cihazı; üst kısmı sabit, alt çene hareket edebilen metal bir yüzey ile basınç göstergesi ve hidrolik koldan oluşmaktadır (Şekil 3.3). Metal kalıplar ve kompozit kırpıntıları 270°C ye ısıtılarak hidrolik preste preslenmişlerdir.

Bu çalışmada, bir dişi ve bir erkek kısımdan oluşan, Ø125 x 4 mm ebadında bir kalıp kullanılmıştır. Buradaki standart mekanik testlerde kullanılan kalınlık 4 mm olduğundan kalıplar 4mm olacak şekilde dizayn edilmiştir. Kalıp içerisine kompozit örnekler yerleştirilerek, 270°C'ye ayarlanmış bir etüvde bekletilmiş ve daha sonra hidrolik pres çeneleri arasında sıkıştırılarak preslenmiştir (Şekil 3.4). kalıpta her iki yanda kanallar açılarak fazla malzemenin buradan akması sağlanarak 4mm kalınlığında malzeme üretimi sağlanmıştır. Pres cihazından alınan kalıp oda sıcaklığında soğuttuktan sonra açılarak levha şeklindeki kompozit örnekleri çıkarılmıştır. Levha şeklindeki malzemeler plastik kesici bıçaklar kullanılarak testlerde verilen standart ölçülere uygun şekilde kesilmiştir.



Şekil 3.4 Hidrolik pres cihaz ile kalıplama işleminin şematik görünümü

3.2.3. Kompozit örneklerinin hazırlanması

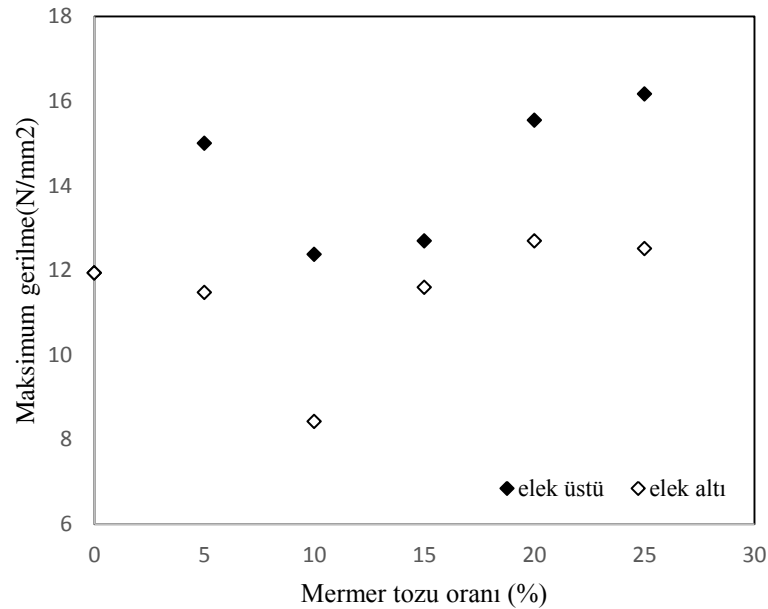
Sisteminin parametrelerini belirlemek için birçok deney yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda ürünün özelliklerini etkileyen parametreler; reaktör sıcaklığı, geçiş bölgesinin sıcaklığı ve vida hızı olarak belirlenmiştir. Daha sonra bu parametrelerin ürün özellikleri üzerindeki etkilerin minimuma indirmek için ön denemeler yapılmıştır. Yapılan ön denemeler sonucunda PET parçacıkların, 280 °C itibaren erimeye başladığı gözlemlenmiştir. Literatür araştırmalarında ise PET'in işleme sıcaklığının artmasıyla nihai ürünün çekme dayanımı, sertlik, gibi fiziksel özelliklerinde azalma olduğu bilinmektedir (Scheirs 1998). Ayrıca ekstruzyon sisteminde, eriyik haldeki PET'in işlenmesi için gereken akışkanlık da sağlanmalıdır. Yapılan denemeler sonucunda, PET'in mermer tozu ile homojen şekilde karışması ve gereken akışkanlığın sağlanması için ideal sıcaklık 290 °C olarak saptanmıştır.

Ürün özelliklerini etkileyen bir başka faktör ise sonsuz vida bölgesinin (kovan) sıcaklığıdır. Bu bölgedeki ısıtmanın amacı, eriyik halde reaktörden çıkan malzemenin donmadan bu bölgeden geçişini sağlamaktır. Bu amaç doğrultusunda, yapılan deneyler sonucunda geçiş bölgesi için minimum sıcaklık 210°C olarak belirlenmiştir. Reaktörden çıkan akışkan haldeki malzemenin, geçiş bölgesinde kalma süresi vida hızı ile ayarlanabilmektedir. Çok düşük vida hızı, malzemelerin homojen karışma açısından verimli bir sonuç vermemekle birlikte çok uzun süre sıcaklığa maruz kalmadan dolayı ürünün mekanik özelliklerinde (çekme dayanımı, sertlik vs.) azalma meydana gelmektedir. Aynı şekilde yüksek vida hızında, karışım sonsuz vida bölgesinden hızlı şekilde çıkacağından, yetersiz homojenizasyonla birlikte kovan çıkışında daha yüksek sıcaklığa maruz kaldığı için fiziksel özelliklerinde azalma oluşmaktadır (Vergnes vd. 1998). Yapılan ön denemeler sonucunda ideal vida hızı 45 devir/dakika olarak saptanmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

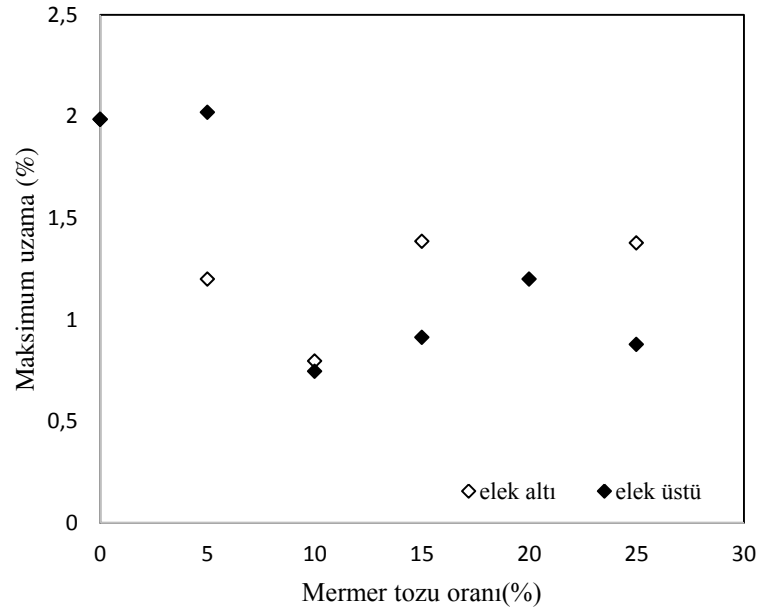
4.1. Mermer Tozu Oranının ve Partikül Boyutunun Malzemenin Mekanik Özelliklerine Etkisi

Malzemenin partikül boyutundan bağımsız olarak malzemenin uzaması mermer tozu oranı arttıkça azalmıştır. 50/100 mesh elek üstü partikül boyutuna sahip numunelerin daha büyük gerilme mukavemetine sahip olduğu görülmüştür. Mermer tanecik boyutunun kompozit malzemenin çekme özelliklerine etkisini incelemek üzere çekme mukavemeti testi uygulanmıştır Çekme mukavemetinin mermer tanecik boyutuna göre değişimi Şekil 4.1’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü 100 Mesh altı fraksiyonların çekme mukavemetleri birbirine yakın çıkmıştır. Aynı şekilde 50/100 mesh aralığındaki fraksiyonlardaki değerler de %10 ve %15 mermer tozu oranları hariç birbirine yakındır. Buradan mermer partikül boyutunun maksimum gerilme mukavemeti üzerine 100 mesh altı tanecik boyutunda kullanılan mermer tozu için çok fazla bir değişimin olamadığı ancak 50/100 mesh aralığındaki mermer tozunun kullanıldığı deneylerde saf atık PET’in kullanıldığı numunelere göre artış olduğu görülmektedir. % 10 ve %15 mermer tozu oranındaki numunelerdeki sapmaların numuneler dökülürken oluşabilecek döküm hatasından kaynaklanabileceği düşünülmüştür.



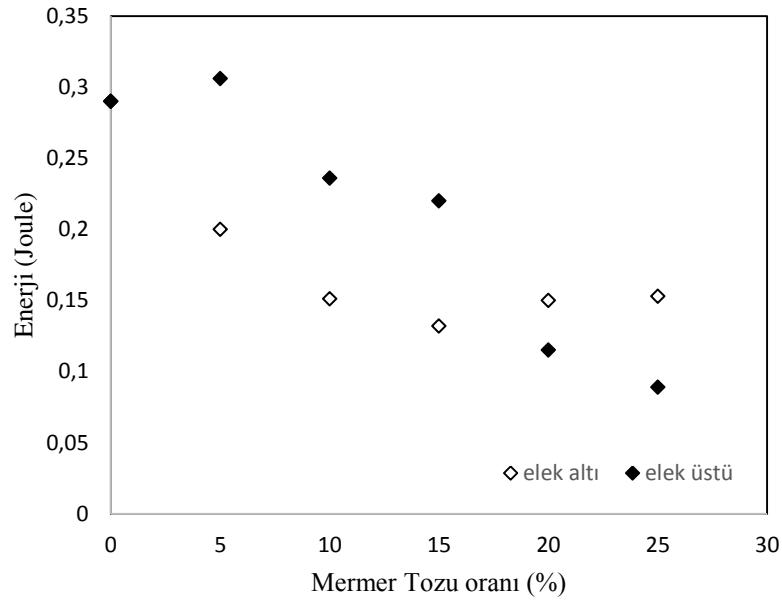
Şekil 4. 1. Atık PET ve mermer tozu karışımlarının maksimum gerilmesinin mermer tozu oranıyla değişimi

Şekil 4. 2 te mermer tozu oranına göre maksimum uzama yüzdesine bakılmıştır. 50/100 mesh elek üstü iri taneli mermer tozu fraksiyonunda mermer tozu oranı artarken maksimum uzama yüzdesinde düşüş görülmektedir. 100 mesh altı mermer tozu fraksiyonlarında ise mermer tozu oranındaki değişimlerden fazla etkilenmediği görülmüştür.



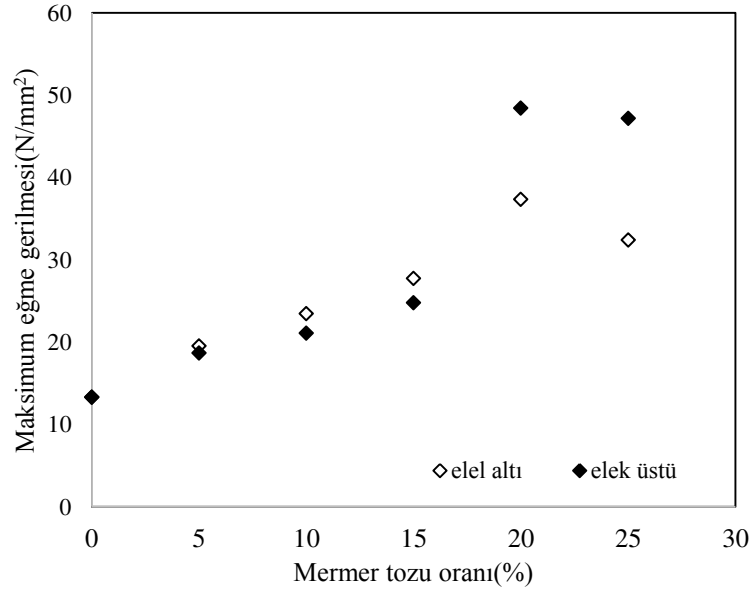
Şekil 4. 2. Atık PET ve mermer tozu karışımlarının maksimum uzamanın mermer tozu oranıyla değişimi

Malzemenin kopma gerilmesi Şekil 4.3 da görülmektedir. Hem 50/100 mesh hem de 100 mesh altı tane boyutundaki numunelerde mermer tozu oranı arttıkça kopma enerjisinde düşüş olduğu görülmüştür.

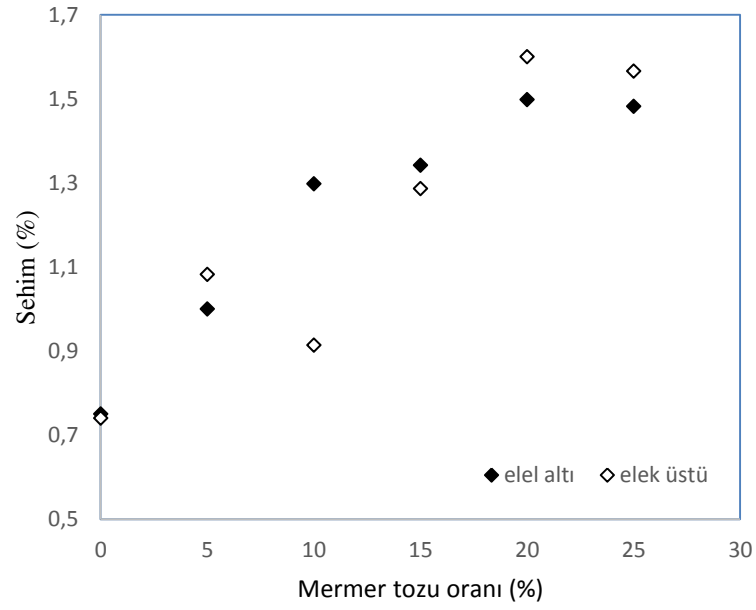


Şekil 4.3. Atık PET ve mermer tozu karışımlarının kopma enerjisinin mermer tozu oranıyla değişimi

Mermer tozu oranı arttıkça üç nokta eğme gerilmesinde artış olduğu, partikül boyutu küçük olan 100 mesh altının üç nokta eğme testi sonuçlarının azda olsa daha iyi olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.4).

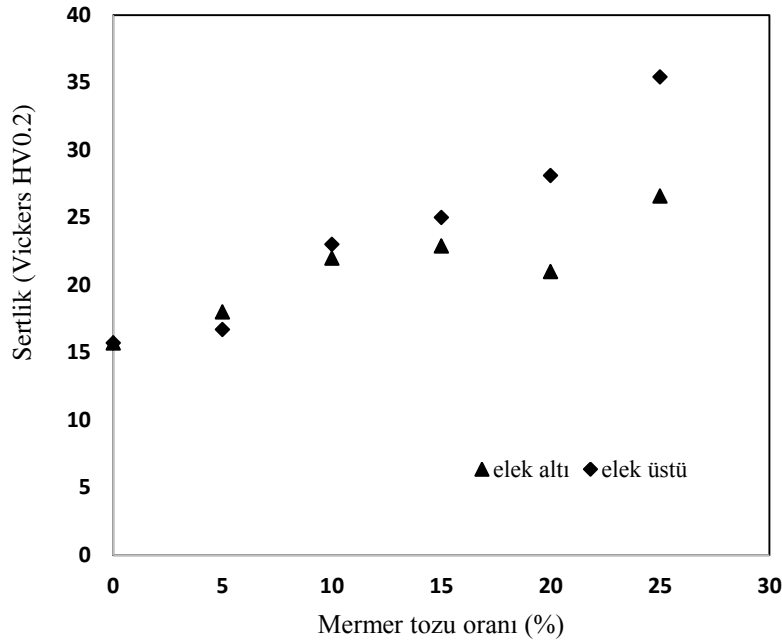


Şekil 4. 4. Atık PET ve mermer tozu karışımlarının üç nokta eğme sonuçlarının mermer tozu oranıyla değişimi



Şekil 4. 5. Atık PET ve mermer tozu karışımlarının üç nokta eğme sonuçlarının mermer tozu oranıyla değişimi

Mermer tanecik boyutunun kompozit malzemenin sertlik özelliklerine etkisini incelemek üzere Vickers sertlik testi uygulanmıştır. Şekil 4.6'da malzemenin sertlik ölçümleri yapılmıştır. Mermer tozu oranı arttıkça sertlik artmaktadır. %25 Mermer tozu oranında sertlik 35 Vickers olmuştur. Aynı şekilde 100 Mesh elek altı fraksiyonlarda da mermer tozu oranıyla sertlik artışı olmuştur. Ancak daha küçük partiküllü mermer tozu karışımındaki malzemenin sertliği %25 Mermer tozu oranı için 25 Vickers olmuştur. Yani daha büyük partiküllü taneciklerin sertliğe etkisinin daha fazla olduğu söylenebilir.



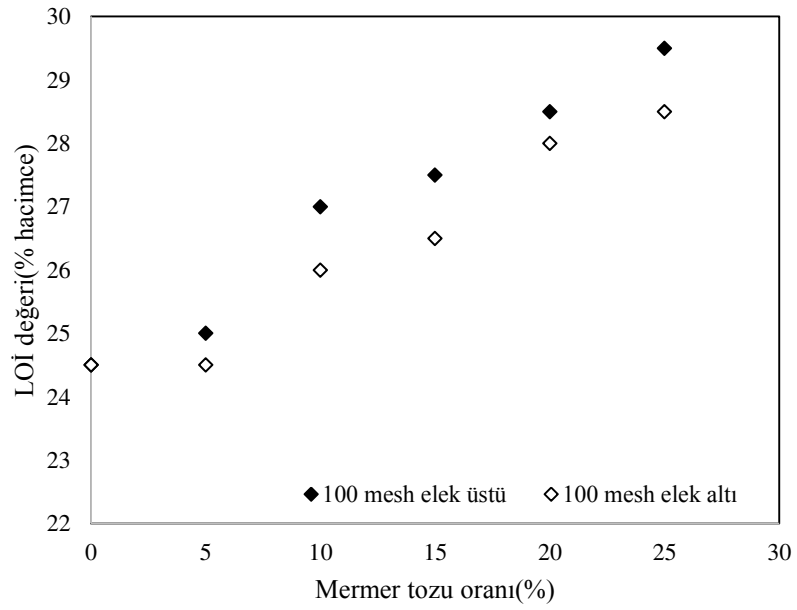
Şekil 4. 6. Atık PET ve mermer tozu karışımlarının sertliğinin mermer tozu oranı ile değişimi

4.2. Mermer Tozu İçeren Kompozit Malzemenin Yanma Özelliklerinin İncelenmesi

Yanma testleri EN ISO 4589-2 (TS 11162-2) standardına uygun olarak yapılmıştır. Deneyler esnasında numune görüntüleri Şekil 4.7’de verilmiştir. Kompozit malzemenin yanma özellikleri, mermer oranı ve tanecik boyutuna göre iki aşamada incelenmiştir. Mermer oranının yanma özelliklerine etkisini incelemek üzere ağırlıkça % 5, 10, 15, 20 ve 25, 100 mesh elek altı ve 50/100 mesh elek üstü mermer tozu kullanılarak, malzemeler hazırlanmıştır. Yapılan yanma deneyleri sonucunda, numunelerin LOİ (limit oksijen ihtiyacı) değerleri % hacimce cinsinden hesaplanmıştır (Şekil 4.8). Numunelerdeki mermer oranı arttıkça (100 mesh elek üstü için) LOİ değerleri de artmıştır. LOİ değeri, atık PET içeren numune için 24-25 (% hacimce) iken ağırlıkça %10 mermer içeren numune de %26-27’e ve ağırlıkça % 25 mermer tozu içeren numune de %29-30’a yükselmiştir. Bu sonuç mermer oranının artması ile malzemenin yanmazlık özelliklerinde iyileşme olduğunu göstermektedir.



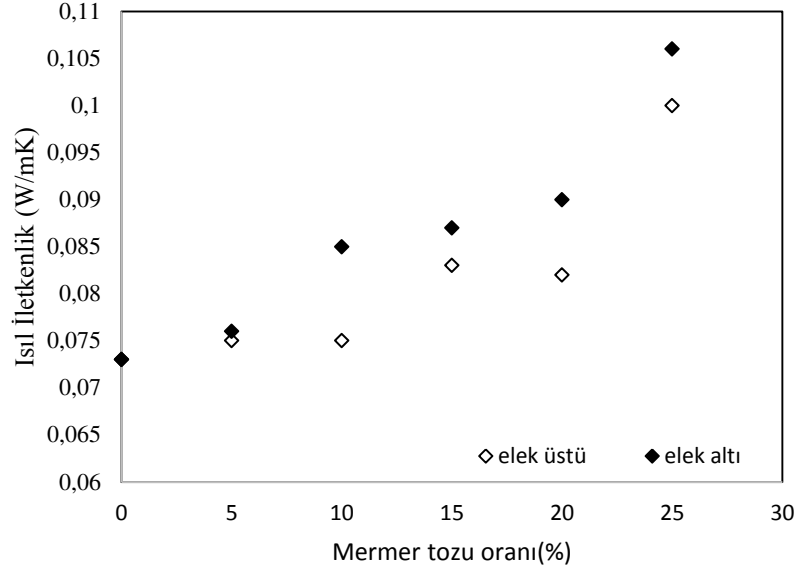
Şekil 4.7. Yanma testi deney esnasında numune görüntüleri



Şekil 4. 8. Atık PET ve mermer tozu karışımlarının yanma özelliklerinin mermer tozu oranıyla değişimi

4.3. Termal iletkenlik

Atık PET ve mermer tozu karışımlarının termal iletkenlikleri KO2-PRO (DECAGON:DEVİCES) marka iletkenlik ölçüm cihazı ile yapılarak sonuçlar Şekil 4.9 ‘da verilmiştir.



Şekil 4.9. Atık PET ve mermer tozu karışımlarının termal iletkenlikleri

ISO ve CEN Standartlarına göre yapılan sınıflandırmada: ·

1. (Isı iletkenlik katsayısı) $> 0,065$ W/mK ise “yapı malzemesi”
2. (Isı iletkenlik katsayısı) $< 0,065$ W/mK ise “ısı yalıtım malzemesi”

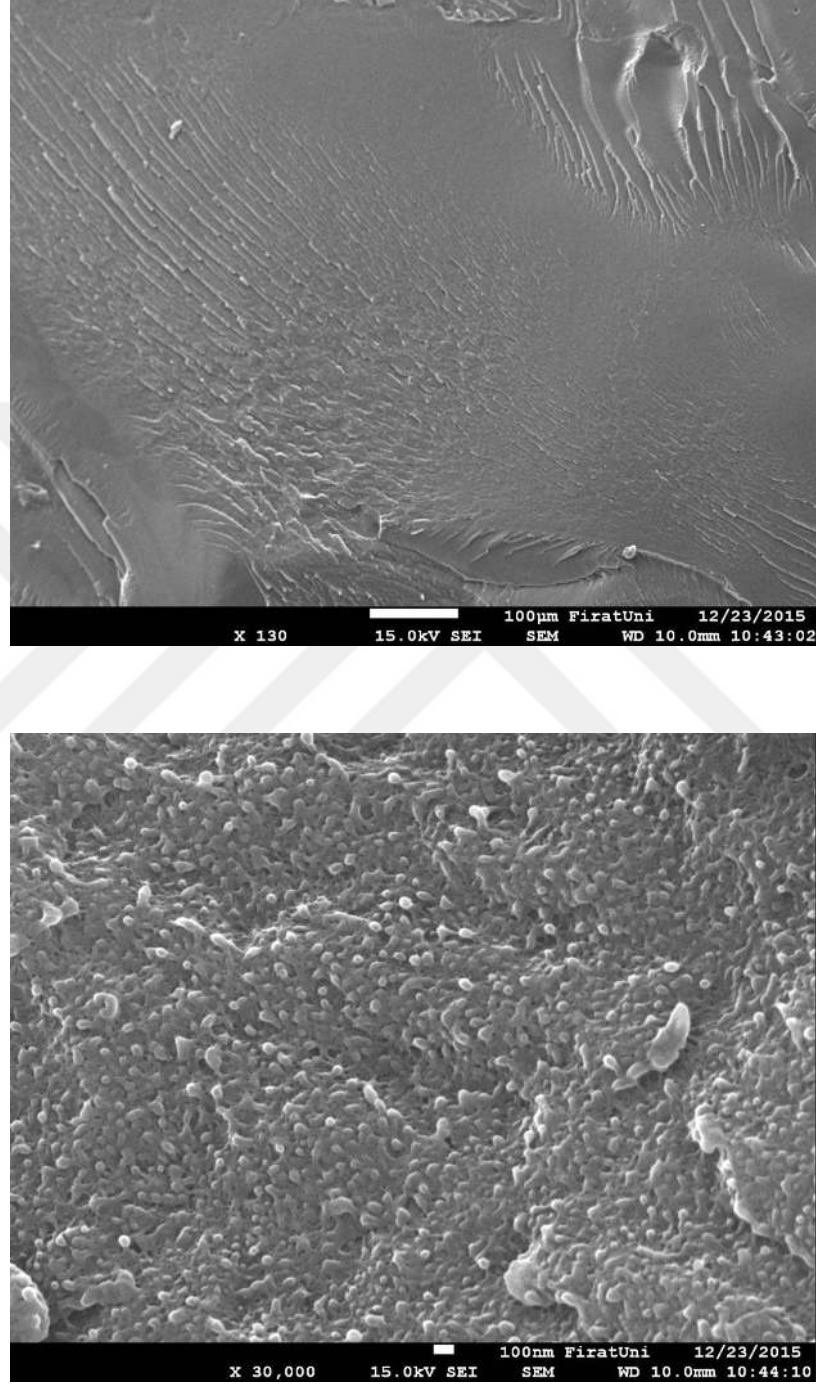
olarak değerlendirilir. Isı yalıtım malzemeleri, bitişik yapı malzemelerinin ısı iletim direncini artırmak veya dışarıya kaçan ısı miktarını azaltmak amacı ile kullanılırlar.

Şekil 4.9 da görüldüğü üzere her iki mermer tanecik boyutunda mermer tozu oranı arttıkça termal iletkenliğinde artış olmuştur. Her iki durumda ve gerek sade atık PET numunesinde iletkenlik $0,065$ W/mK olduğundan üretilen kompozit malzemenin yapı malzemesi olarak kullanılması mümkündür.

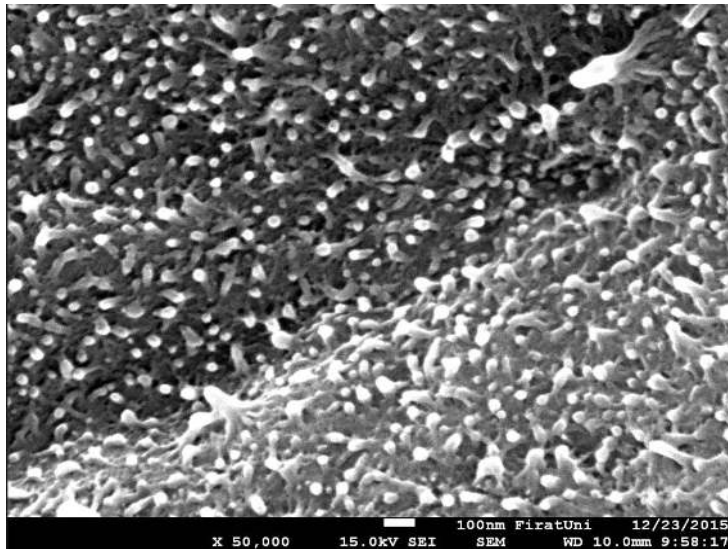
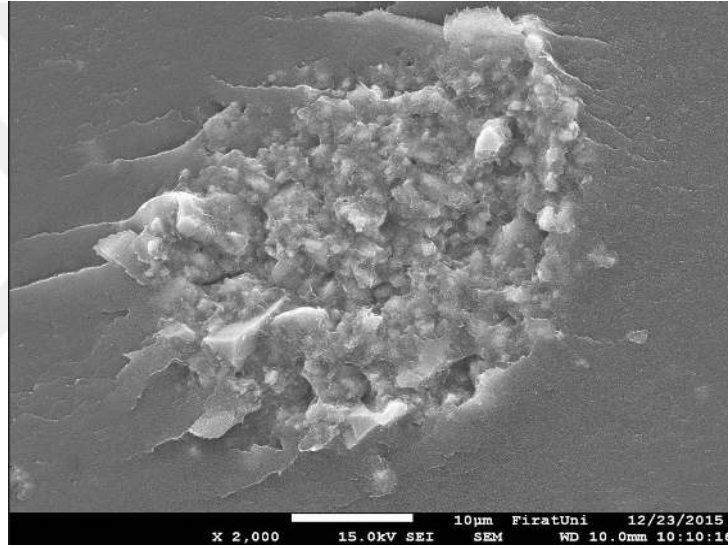
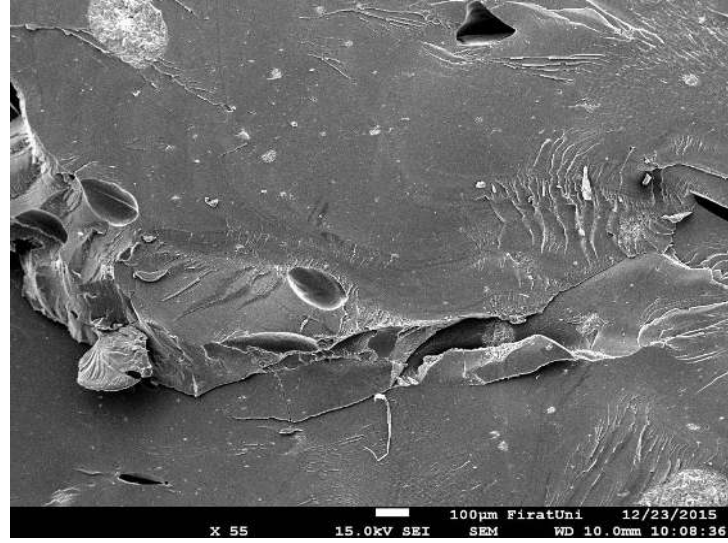
4.4. PET/Mermer Tozu Kompozit Malzemelerin Yapı Analizi

Yapı analizi, kompozit örneklerin SEM görüntüleri çekilerek gerçekleştirilmiştir. SEM görüntülerinde, mermer partiküllerin, PET yüzeyi ile olan etkileşimi ve PET içindeki homojenasyonu incelenmiştir. Bunun için atık PET örnekleri yanında 50/100 mesh üstü ve 100 mesh altı mermer fraksiyonu ile ağırlıkça % 5, 10, 15, 20, 25 mermer tozu içeren

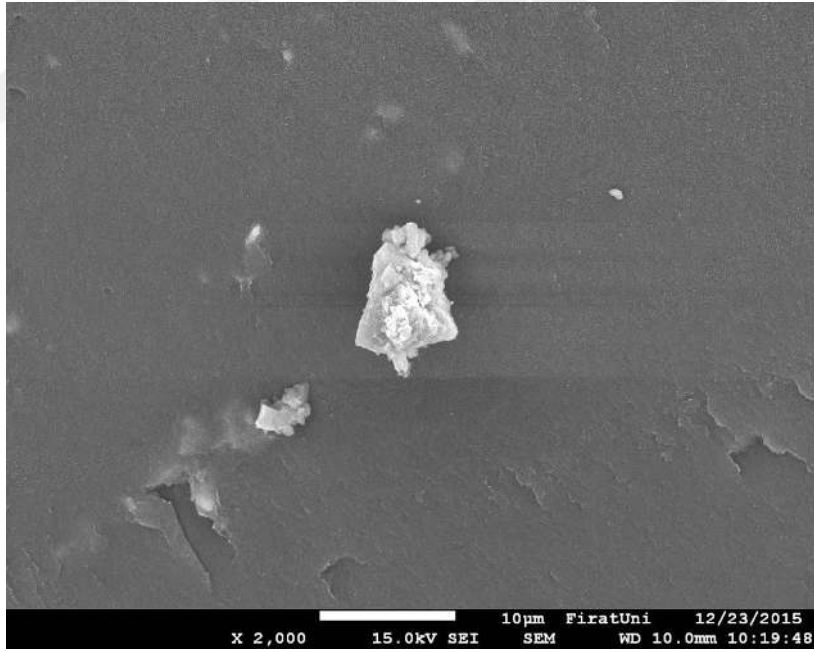
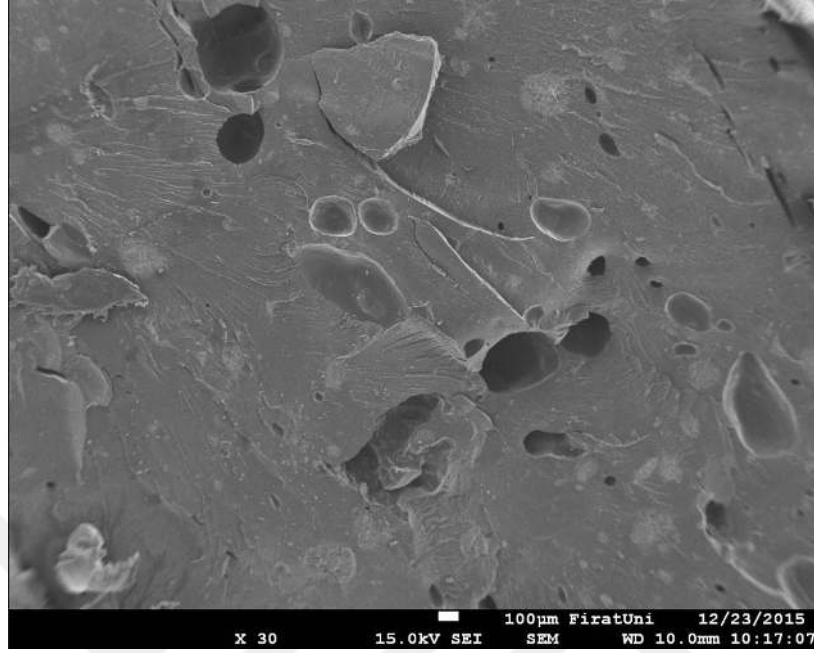
örnekler hazırlanmıştır. Atık PET örneklerin SEM görüntüleri Şekil 4.10.'de verilmiştir. Farklı mermer tozu içeren örneklerin SEM görüntüleri Şekil 4.11-20'de verilmiştir.



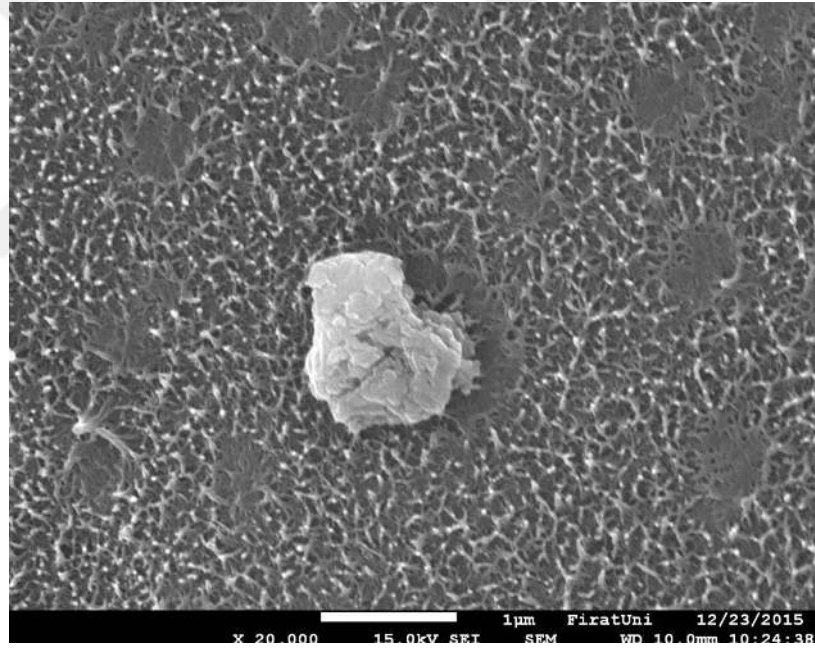
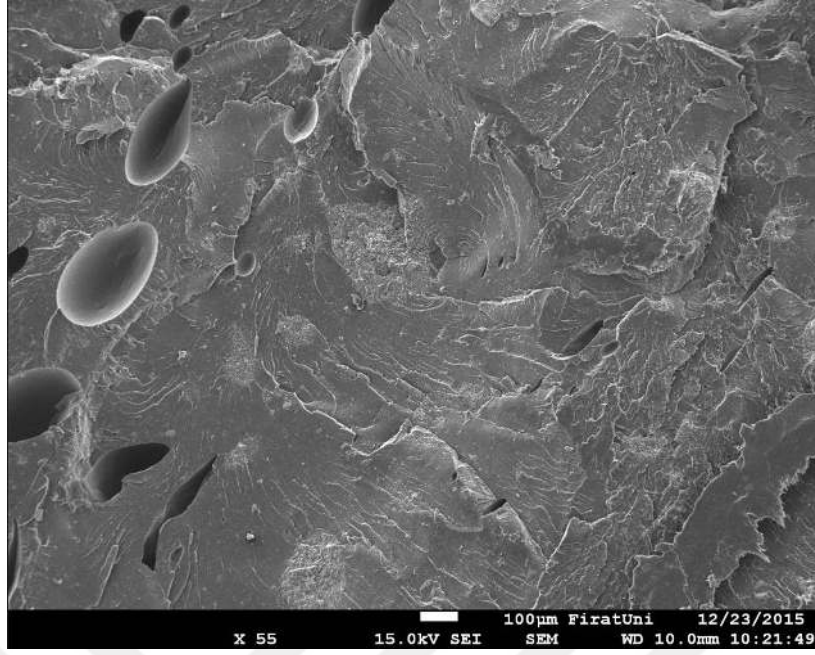
Şekil 4. 10. Atık PET örneklerine ait SEM görüntüleri



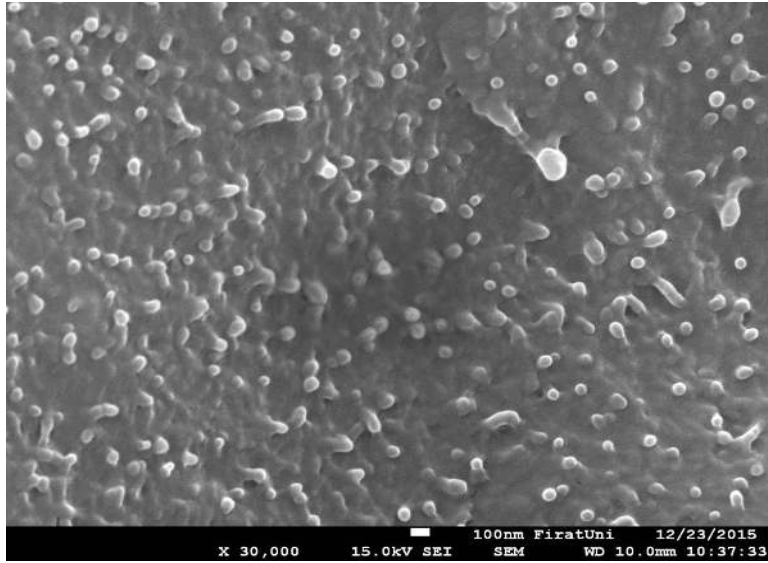
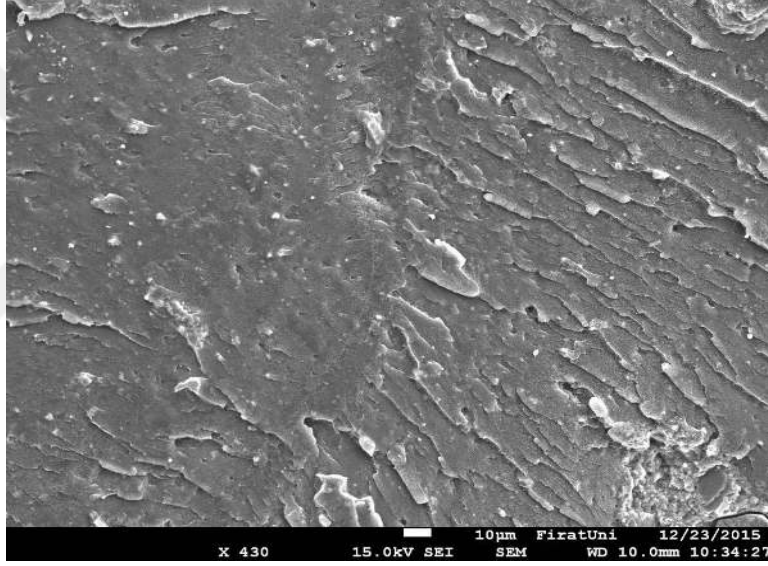
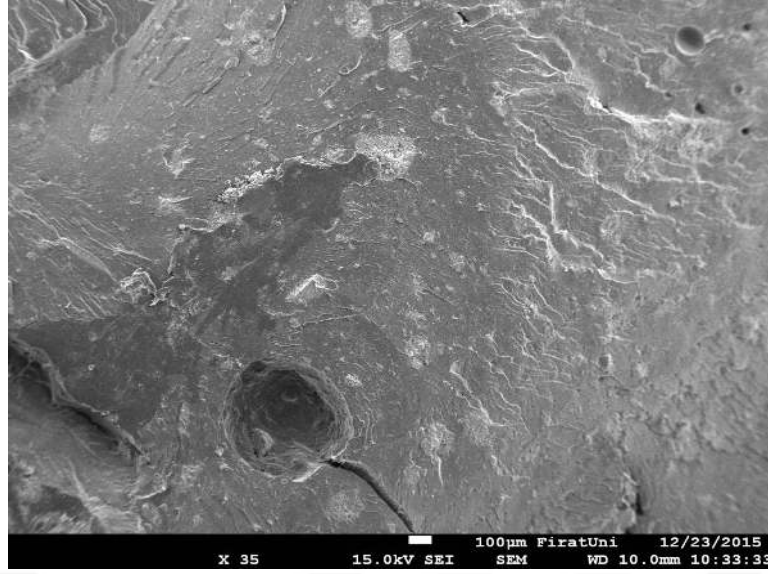
Şekil 4. 11. % 5 mermer tozu oranı (100 mesh elek üstü) için SEM görüntüleri



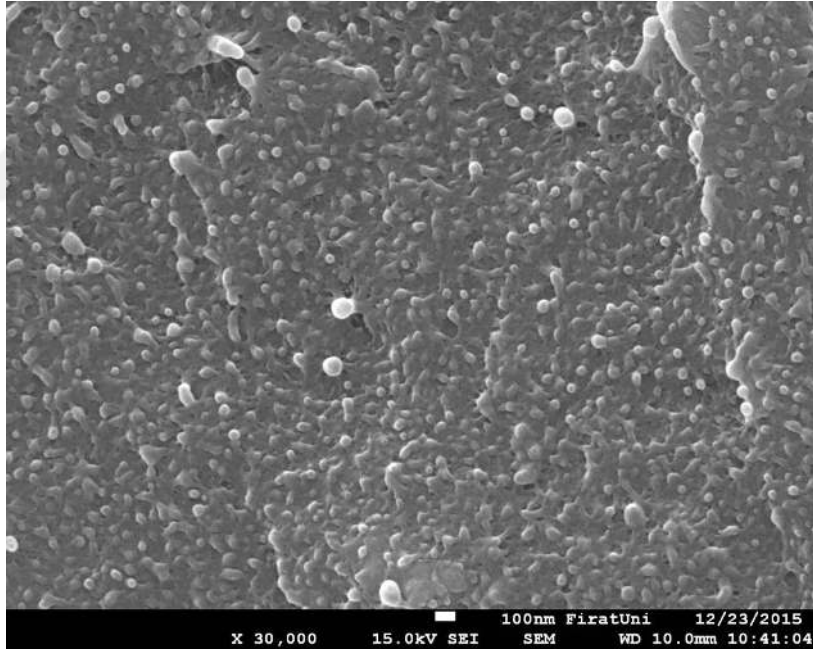
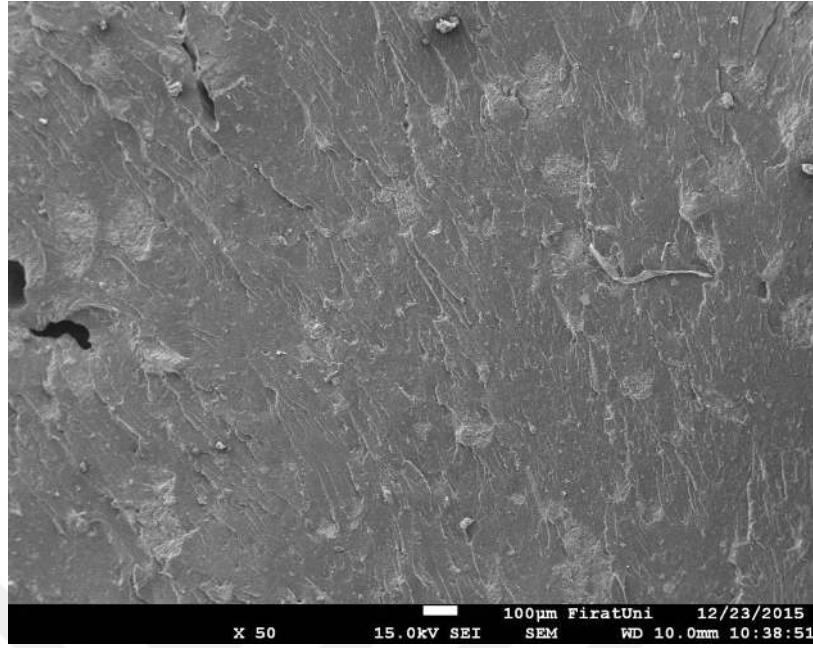
Şekil 4. 12. % 10 mermer tozu oranı (100 mesh elek üstü) için SEM görüntüleri



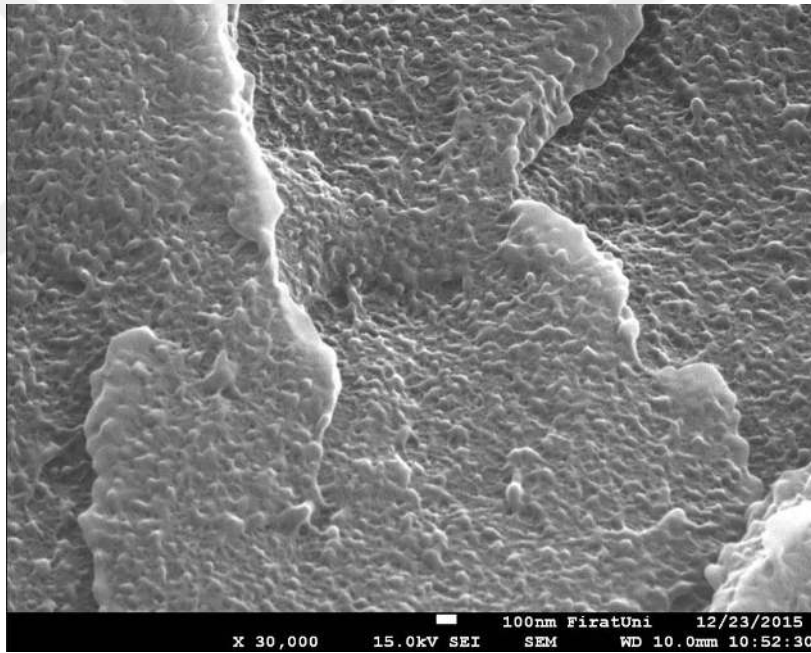
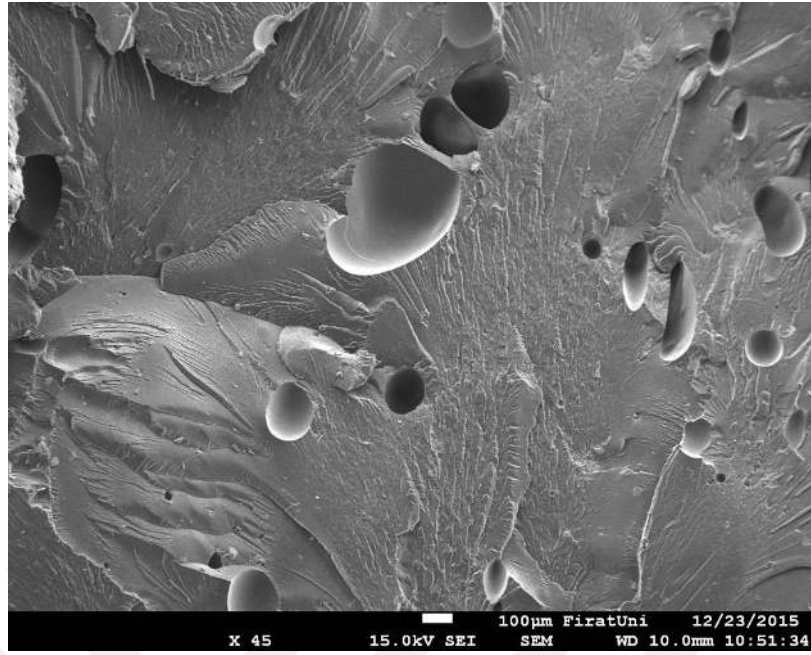
Şekil 4. 13. % 15 mermer tozu oranı (100 mesh elek üstü) için SEM görüntüleri



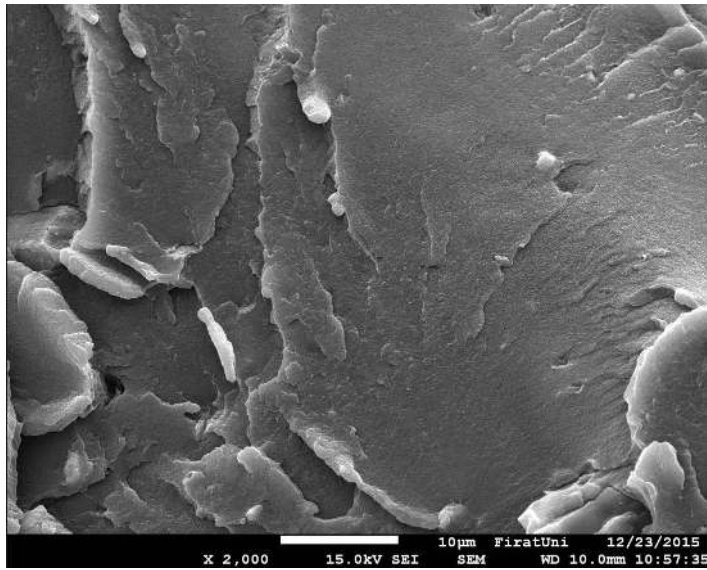
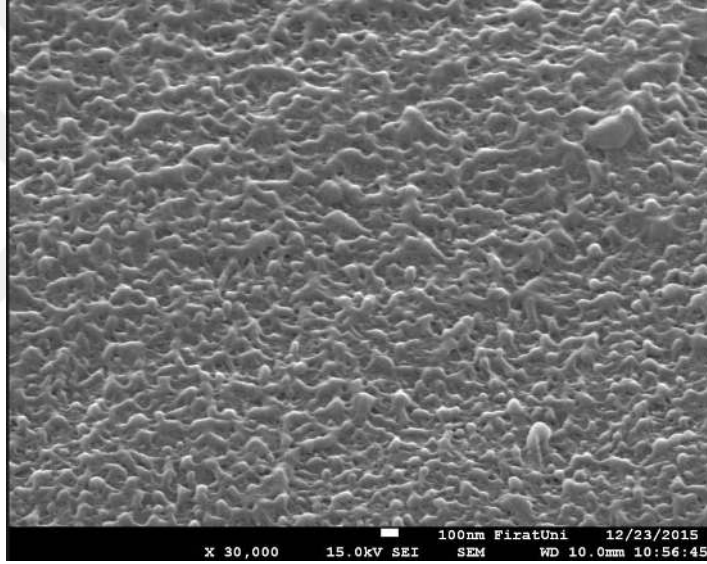
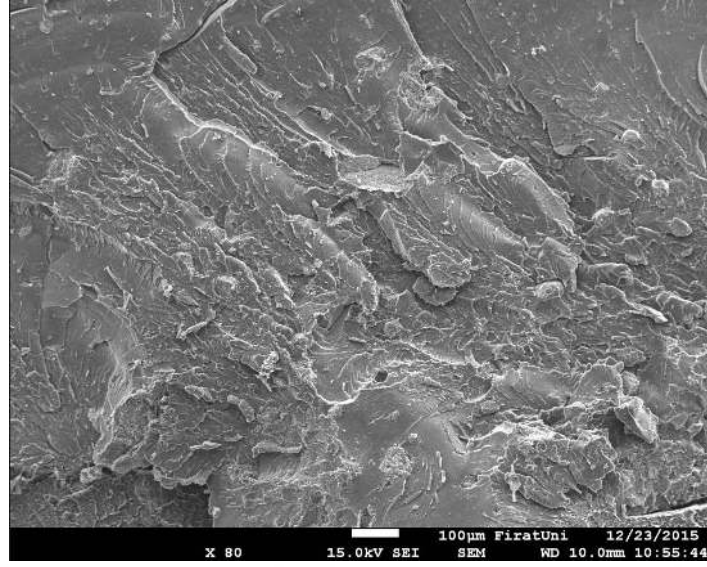
Şekil 4. 14. % 20 mermer tozu oranı (100 mesh elek üstü) için SEM görüntüleri



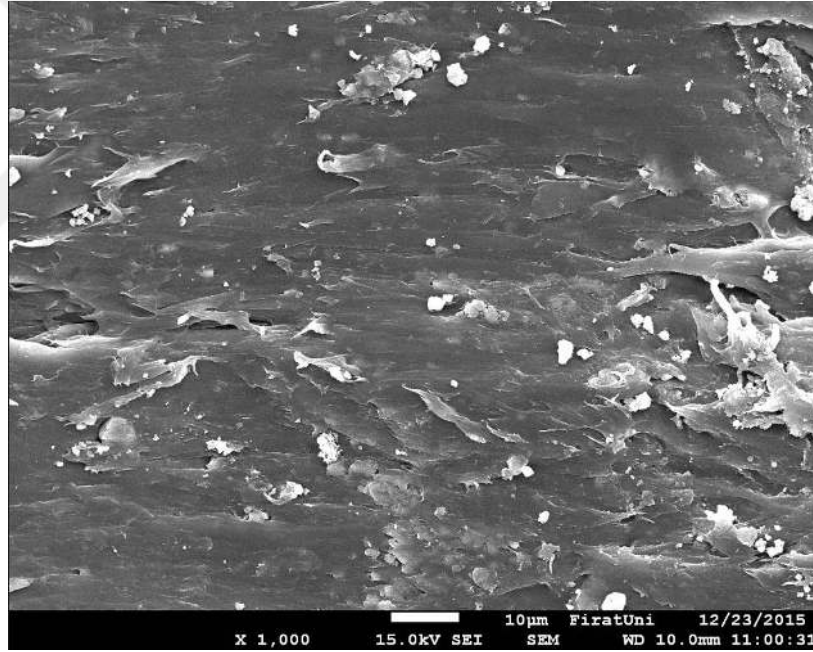
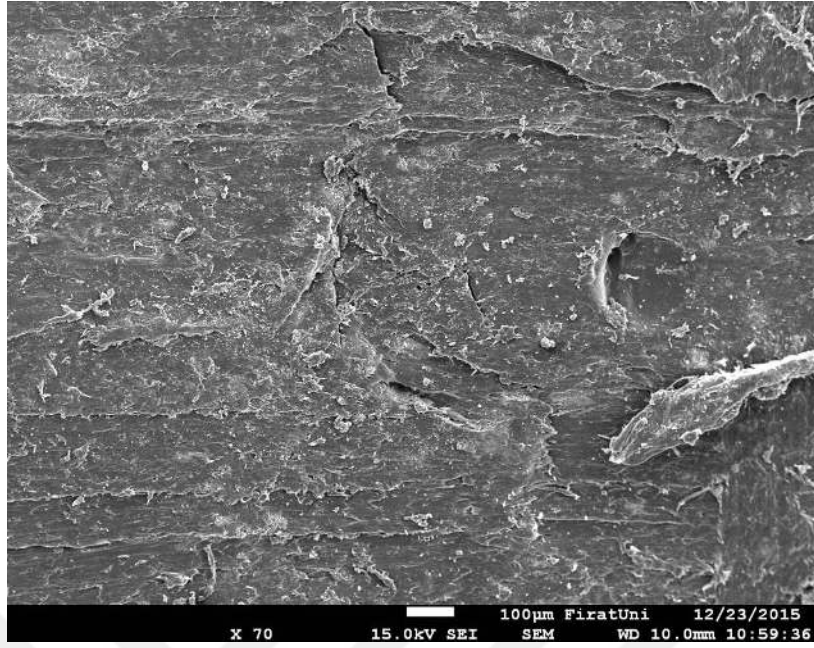
Şekil 4. 15. % 25 mermer tozu oranı (100 mesh elek üstü) için SEM görüntüleri



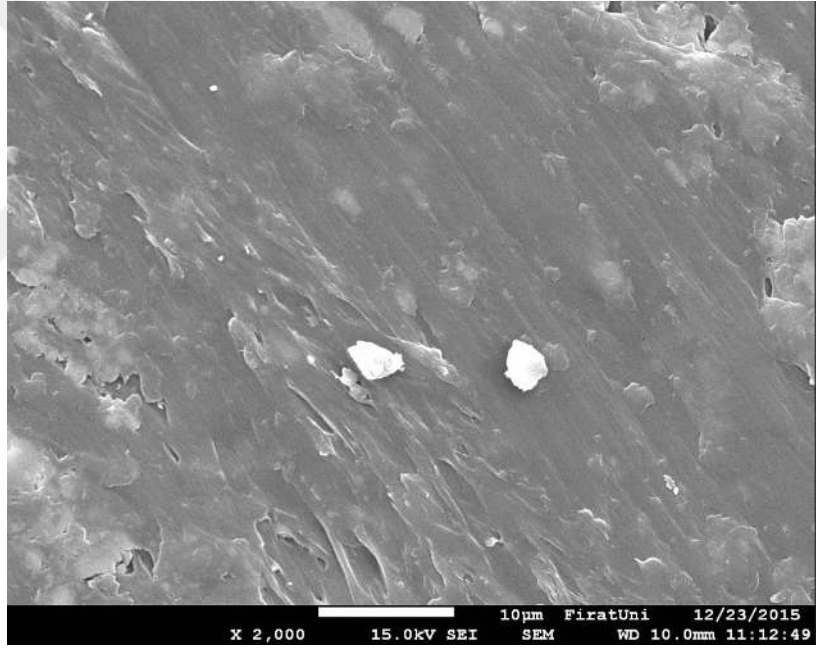
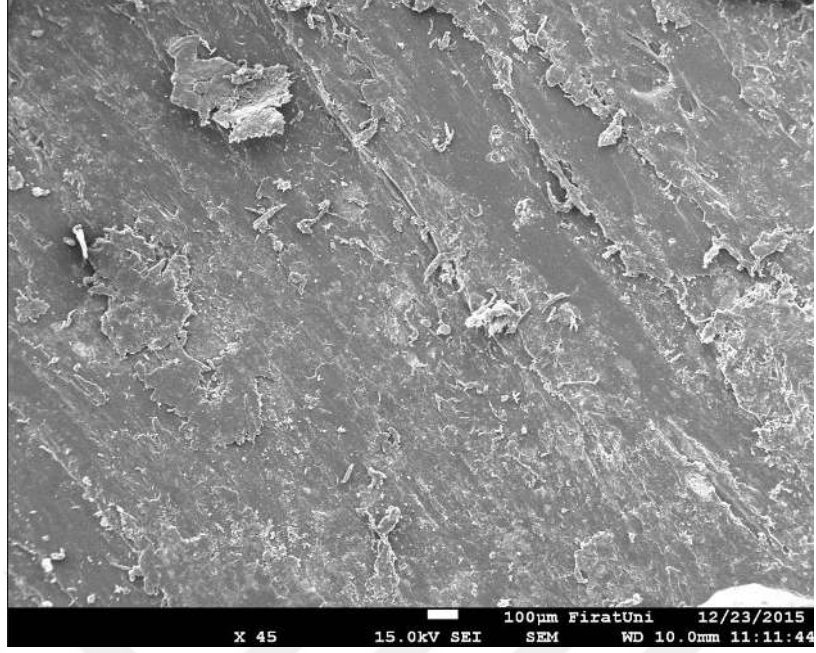
Şekil 4. 16. 100 mesh elek altı % 5 mermer tozu oranı



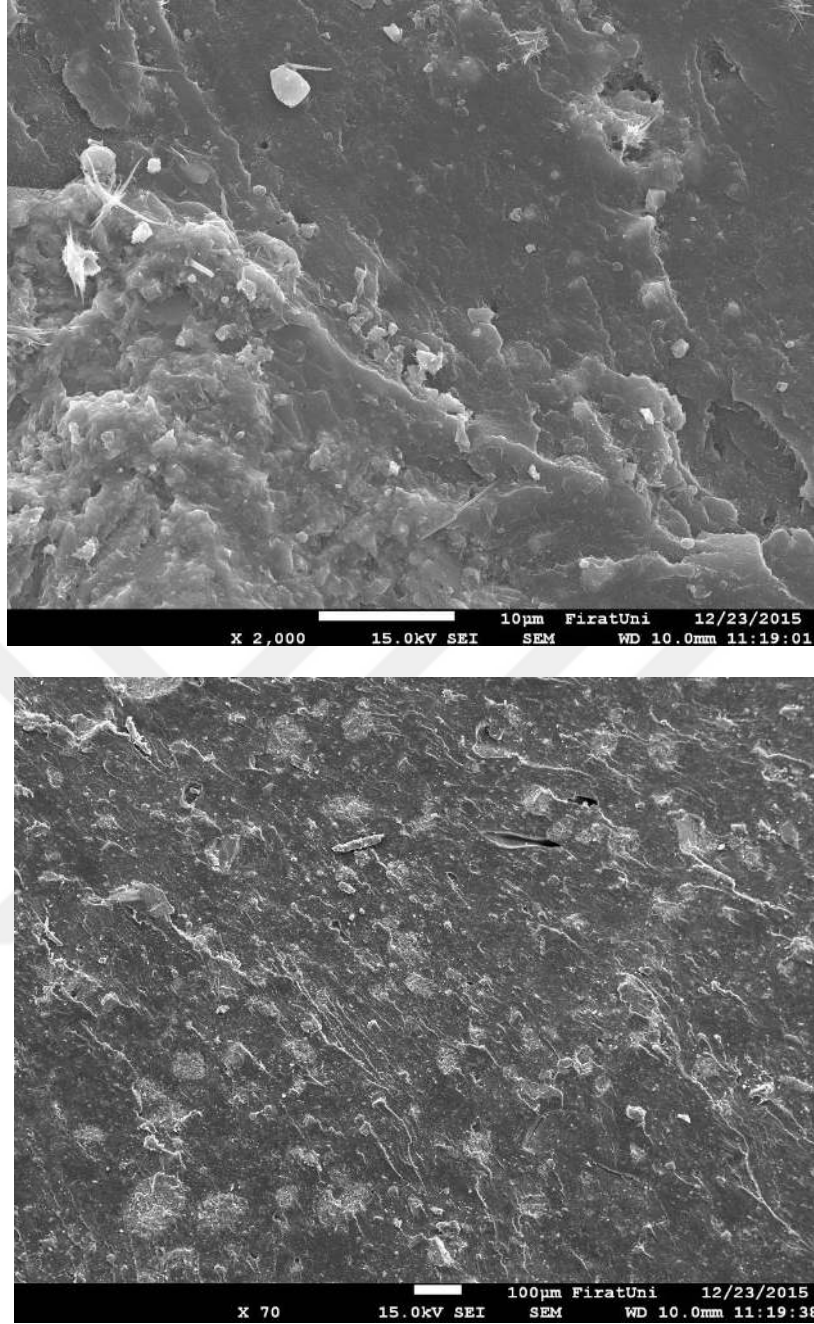
Şekil 4.17. 100 mesh elek altı % 10 mermer tozu oranı



Şekil 4.18. 100 mesh elek altı % 15 mermer tozu oranı



Şekil 4.19. 100 mesh elek altı % 20 mermer tozu oranı



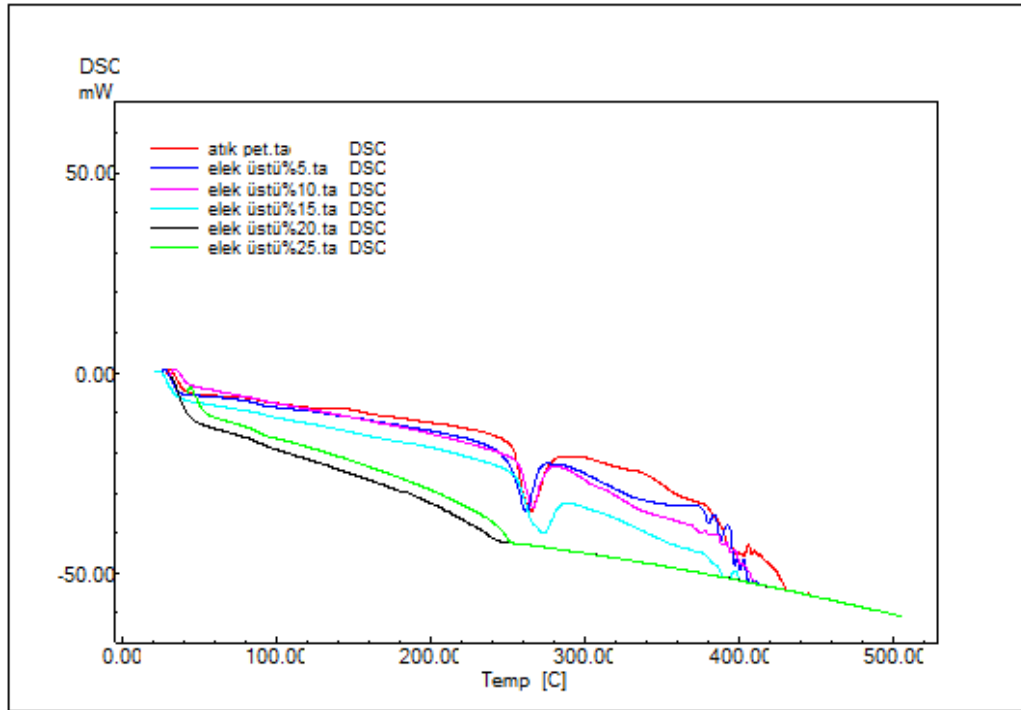
Şekil 4.20. 100 mesh elek altı % 25 mermer tozu oranı

Yapı analizi için, levha halindeki kompozit örneklerin mekanik testler sonucunda kalan parçacıklardan kırılan parçalar kullanılmıştır. Bu parçaların yüzeyinde oluşan çukur veya yükseklik, SEM görüntülerinde gölgeler şeklinde ortaya çıkmıştır. Daha yakından çekilen SEM görüntülerinde mermer parçaların PET yüzeyi ile olan etkileşimi incelenmiştir. Bunun sonucunda, mermer parçacıkları ve PET arasındaki çekim kuvvetinin iyi olduğu görülmüştür.

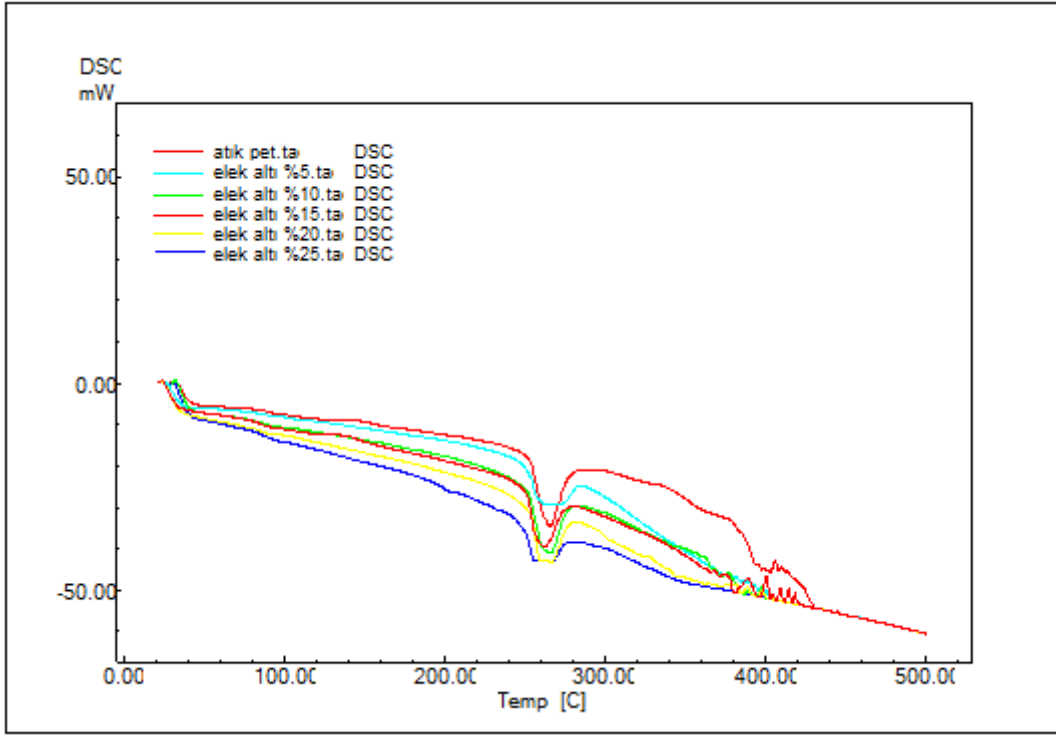
Daha uzak çekim görüntülerinde ise mermer parçacıkların PET içerisindeki dağılımı incelenmiştir. Mermer parçalarının PET içerisinde homojenasyonun sağlandığı gözlenmiştir.

4.5. PET/Mermer Tozu Kompozit Malzemelerin Termal Özellikleri

PET, oldukça yüksek erime sıcaklığına sahip bir malzemedir. PET' i işleyebilmek için erime sıcaklığının üzerinde bir sıcaklığa çıkmak gerekir. Yüksek sıcaklık ve geri dönüşüm sırasında tekrar işleme dolayısıyla PET zincirinde oluşacak hasarlardan dolayı mekanik özelliklerinde zayıflama olabileceği gibi erime noktasında bir miktar düşme olabilir. DSC sonuçlarında görüldüğü üzere mermer oranı ve tanecik boyutunun malzemelerin erime ve bozunma sıcaklıklarını etkilemediği gözlenmiştir. Bu da mermer tozunun termal özelliklerine olumsuz bir etkisinin olmadığı anlamına gelmektedir. Şekil 4.21 ve 4.22'de mermer oranı ve tanecik boyutuna göre termal analiz sonuçlarının karşılaştırmaları verilmiştir.



Şekil 4.21. Mermer oranına göre termal özelliklerin değişimi



Şekil 4.22. Mermer oranına göre termal özelliklerin değişimi

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada Adana ilindeki yerel bir atık toplama firması tarafından toplanıp yıkanmış ve küçük parçalar haline getirilmiş atık pet ile mermer fabrikalarından çıkan mermer tozundan kompozit malzeme üretilmiş ve elde edilen ürünün özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Kompozit malzemenin yanmaya karşı olan direnci yapılan test sonuçlarında incelendiğinde, mermer oranının artması ile malzemenin yanmazlık özelliklerinde önemli bir gelişme olduğu gözlenmiştir. LOİ (limit oksijen ihtiyacı) değeri, atık PET içeren numune için 24-25 (% hacimce) iken ağırlıkça %25 mermer tozu içeren numune de 29-30'a yükselmiştir.

Kompozit malzemenin yapısındaki mermer oranının artmasıyla, Vickers cinsinden sertlik değerleri de artmıştır. En düşük sertlik değeri atık PET örneği için 15 Vickers civarında iken mermer oranı ağırlıkça %25 olduğu örnekte 50/100 Mesh için 35 Vickerse yükselmiştir. 100 Mesh altı için %25 Mermer oranı için 25 Vickers olmuştur. Özellikle belli bir orandan (%25 Mermer tozu) sonra partikül boyutundan sertliğin daha fazla etkilendiği gözlenmiştir.

100 Mesh altı fraksiyonların çekme mukavemetleri birbirine yakın çıkmıştır. Aynı şekilde 50/100 mesh aralığındaki fraksiyonlardaki değerler de birbirine yakındır. Buradan mermer partikül boyutunun maksimum gerilme mukavemeti üzerine çok fazla bir etkisinin olmadığı anlamına gelmektedir.

Mermer tozu oranı arttıkça üç nokta eğme gerilmesinde artış olduğu, partikül boyutu küçük olan 100 mesh altının üç nokta eğme testi sonuçlarının azda olsa daha iyi olduğu gözlenmiştir.

Malzemenin termal iletkenliği hem 50/100 mesh hem de 100 mesh altı partikül boyutu için mermer tozu oranı arttıkça artmıştır. Butün numunelerin atık PET dahil iletkenlik değeri 0,065 W/mK den büyük olduğundan üretilen kompozit malzemenin yapı malzemesi olarak kullanılması uygundur.

SEM görüntülerinde mermer parçaların PET yüzeyi ile olan etkileşimi incelenmiştir. Bunun sonucunda, mermer parçacıkları ve PET arasındaki çekim kuvvetinin iyi olduğu görülmüştür. Mermer parçalarının PET içerisinde iyi bir şekilde dağıldığı gözlenmiştir.

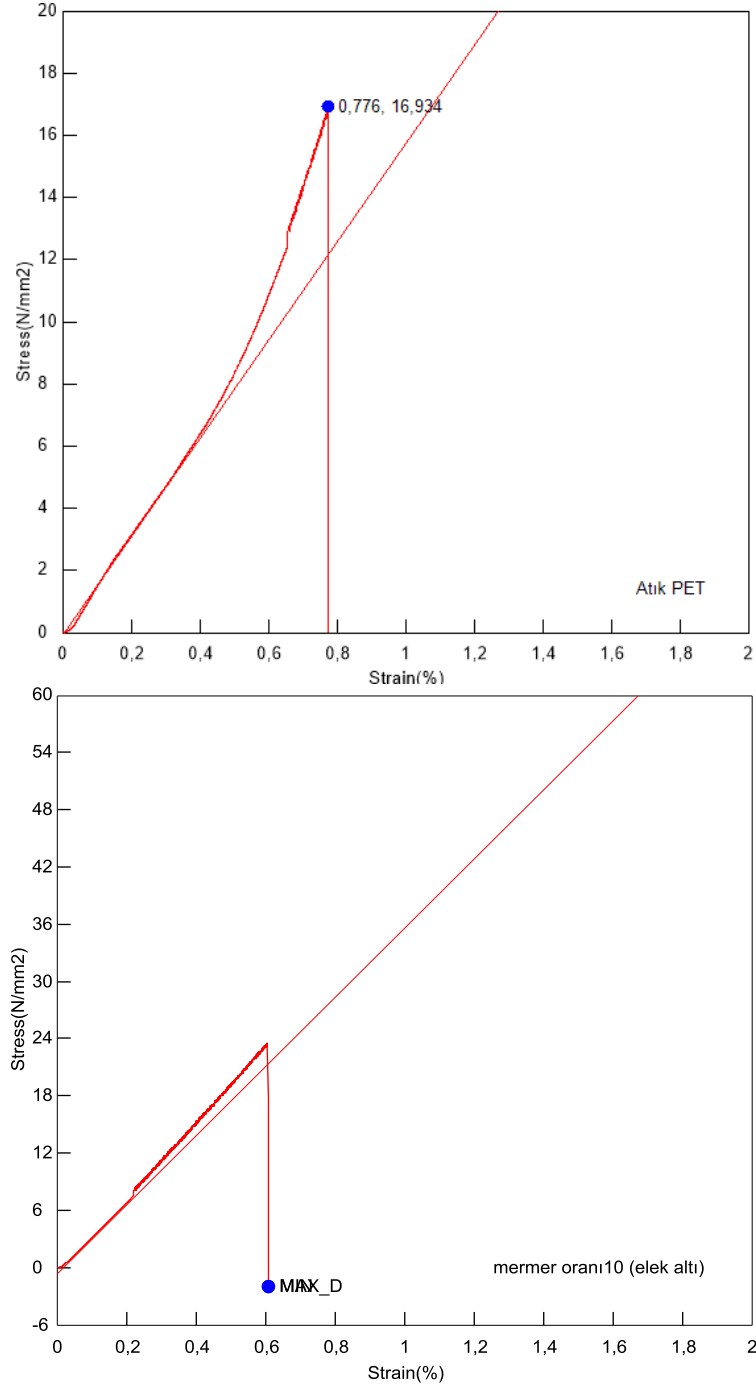
KAYNAKLAR

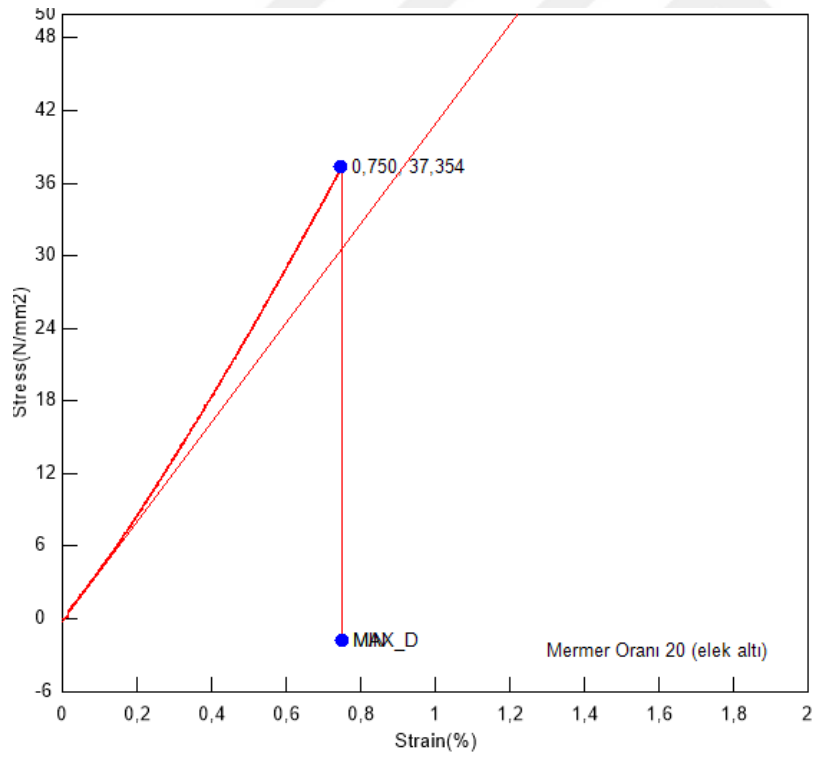
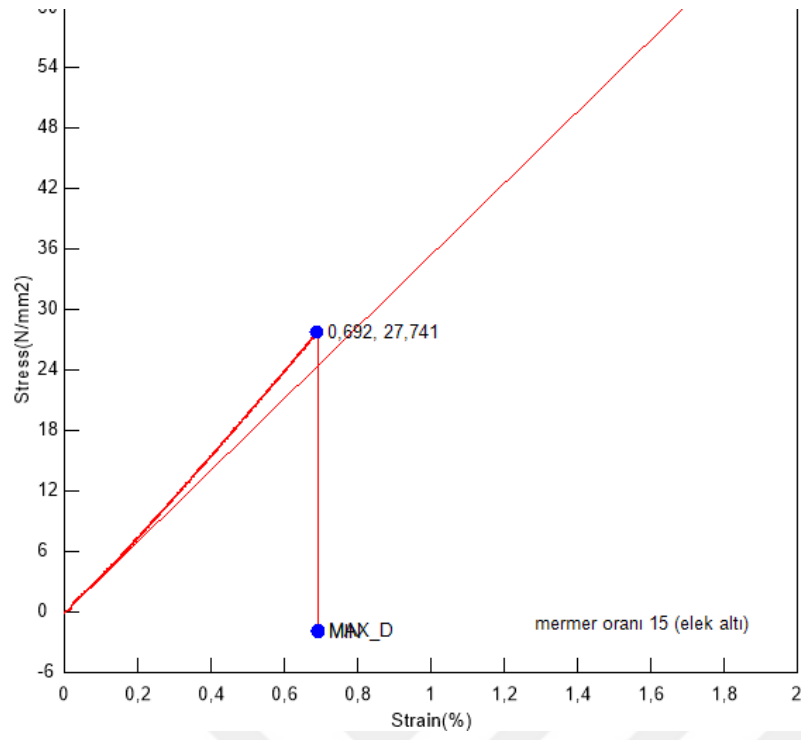
1. Ahrabi, A.Z. 2009. Pet Atıkları Kullanılarak Kompozit Malzeme Üretiminin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
2. Anonim. 1996. DPT, Madencilik Özel ihtisas Komsiyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri Çalışma Grubu Raporu, Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Ankara
3. Avila A. F. and Duarte M. V. 2003. A mechanic alanalysis on recycled PET/HDPE composites. Polymer Degradation and Stability 80, 373–382
4. Awaja, F. and Pavel, D. 2005. Recycling of PET. European Polymer Journal 41, 1453–1477
5. Bizarria M. T. M., De M. Giralddi A. L. F., De Carvalho C. M, Velasco J. I., D'avila M. A and Mei L. H. I. 2007. Morphology and Thermo mechanical Properties of Recycled PET–Organoclay Nanocomposites. Journal of Applied Polymer Science Vol. 104, 1839–1844
6. Chanda, M. and Roy, S. K. 2007 Plastics technology handbook - CRC Press - Boca Raton Florida
7. Chawla, K.K., 1987. Composite Materials Science and Engineering. 140-283s Springer Verlag New York Inc
8. De Moura Giralddi, A.L.F., Cardoso De Jesus, R. and Innocentini Mei, L.H. 2005. The influence of extrusion variables on the interfacial adhesion and mechanical properties of recycled PET composites. Journal of Materials Processing Technology 162–163, 90–95
9. Evstatiev M., Fakirov S. , Krasteva B., Friedrich K., Covas J. A. and Cunha A. M. 2002, Recycling of poly(ethylene terephthalate) as polymer-polymer composites. Polymer Engineering & Science. Vol. 42, 826–835
10. Gay, D., Hoa S.V., Tsai S. W., 2003. Composite Materials Design and Applications. 3–27, Paris
11. Kılınç M. 2004 Processing And Characterization Of Poly(Ethylene Terephthalate) Based Composites ODTÜ Kimya Mühendisliği yüksek lisans tezi)
12. Li Y, White D.J. and Lee Peyton, R. 1998. Composite material from fly ash and post-consumer PET. Resources, Conservation and Recycling 24, 87–93
13. Mallick, P.K. 1988 Fiber Reinforced Composites. Marcel Dekker, INC., New York and Bassel

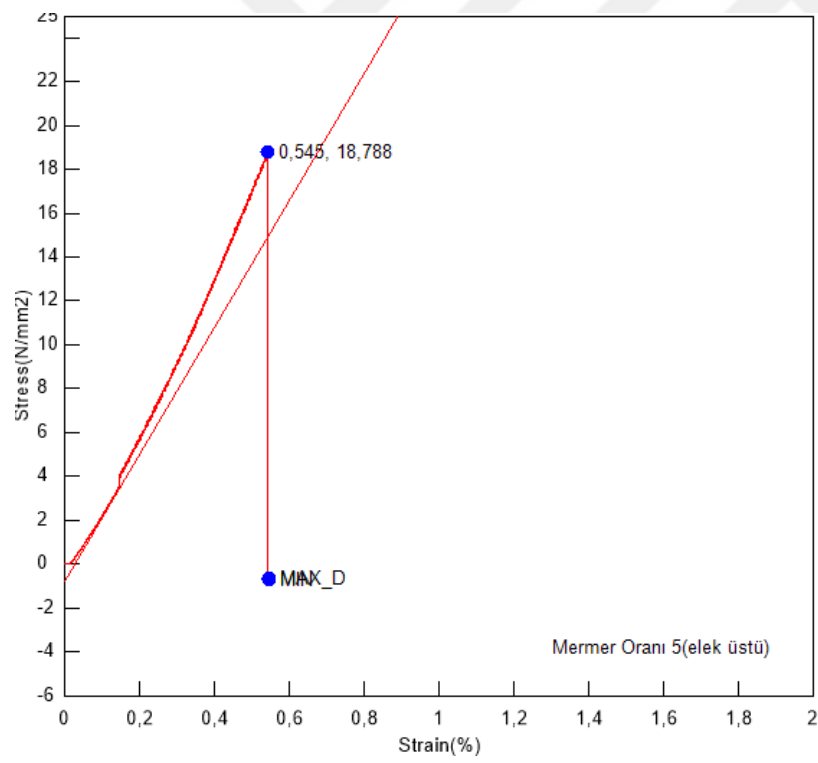
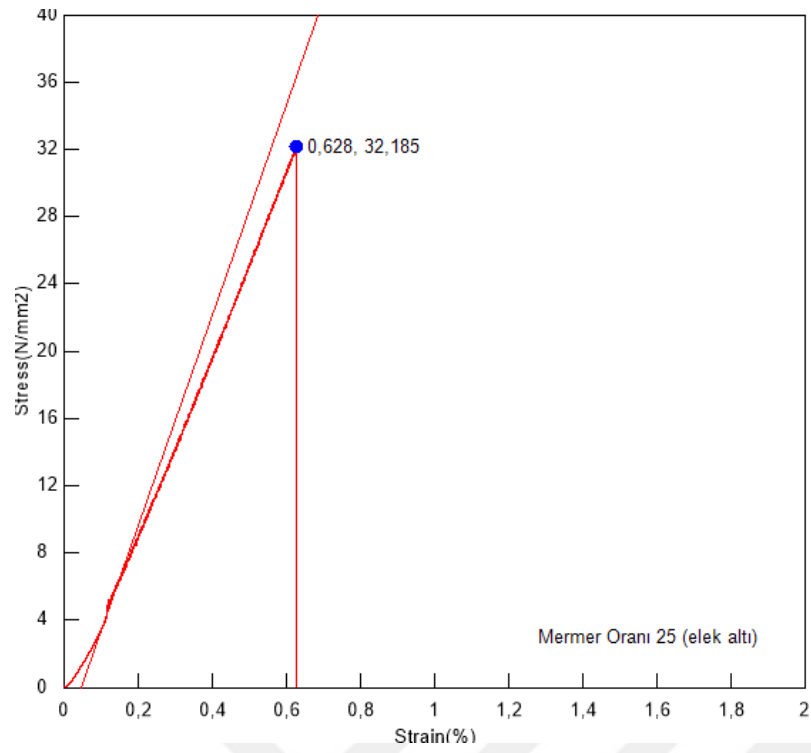
14. Mazumdar, S.K. 2002. Composites Manufacturing, Materials, Products and Process Engineering. CRC Press New York
15. Mella, J. Y. , 2005, 'Recycling of Polymers' Department of Process and Environmental Engineering. Mass and Heat Transfer Process Laboratory.
16. Paci, M. and La Mantia, F.P. 1999. Influence of small amounts of polyvinylchloride on the recycling of polyethylene terephthalate. Polym. Degrad. Stab.,63, 11-14.
17. Philips, N. L., 1989. Design with Advance Composite Materials, Springer-Verlag The Design Council, Great Britain
18. Rahmani, E., Dehestani, M., Beygi, M.H.A., Allahyari, H., Nikbin, I.M. 2013. On the mechanical properties of concrete containing waste PET particles. Construction and Building Materials 47, 1302–1308
19. Saçak, M. 2005. Polimer Teknolojisi Gazi Kitapevi Ankara
20. Scheirs, J. 1998. Polymer recycling, science, technology and application. John Wiley and Sons Ltd.
21. Shen Y., Harkin-Jones E., Hornsby P., McNally T., Abu-Zurayk R. 2011. The effect of temperature and strain rate on the deformation behaviour, structure development and properties of biaxially stretched PET-clay nanocomposites. Composites Science and Technology. 71, 758-764
22. Sinha, V., Patel, M. R. and Patel, J. V. 2010. Pet Waste Management by Chemical Recycling: A Review. J Polym Environ 18, 8–25
23. Şahin, Y. 2000 Kompozit Malzemelere Giriş Gazi Kitapevi Ankara
24. Tayyar A. E., Üstün S. 2010. Geri Kazanılmış Pet'in Kullanımı Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt 16, Sayı 1, Sayfa 53-62
25. Torres, N. Robin J.J. and Boutevin, B. 2000. Study of thermal and mechanical properties of virgin and recycled poly(ethylene terephthalate) before and after injection molding. European Polymer Journal, 36, 2075-2080
26. Töre, C. 2011. Kompozit Malzeme Temelleri Polimer Matrisli MMO/552 Ankara
27. Vergnes, B. Della valle, G. and Delamare, C. 1998. A global computer software for polymer flows in corotating twin-screw extruder. Polym Eng Sci., 38, 1781–92
28. <http://www.me.iitb.ac.in/~ramesh/ME338/comp.pdf> 13 Nisan 2013
29. [http://kisi.deu.edu.tr/cesim.atas/4_%20%C3%9Cretim%20prosesleri\(2\).pdf](http://kisi.deu.edu.tr/cesim.atas/4_%20%C3%9Cretim%20prosesleri(2).pdf) 10 Nisan 2013
30. www.fka.org.tr/ContentDownload/mermer_raporu.pdf 03 Temmuz 2015

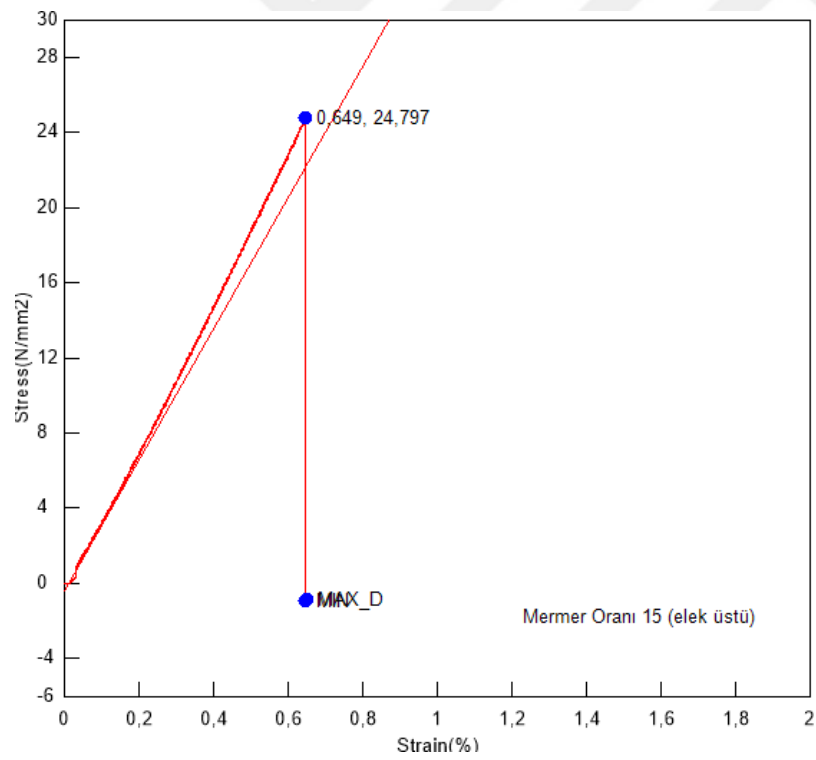
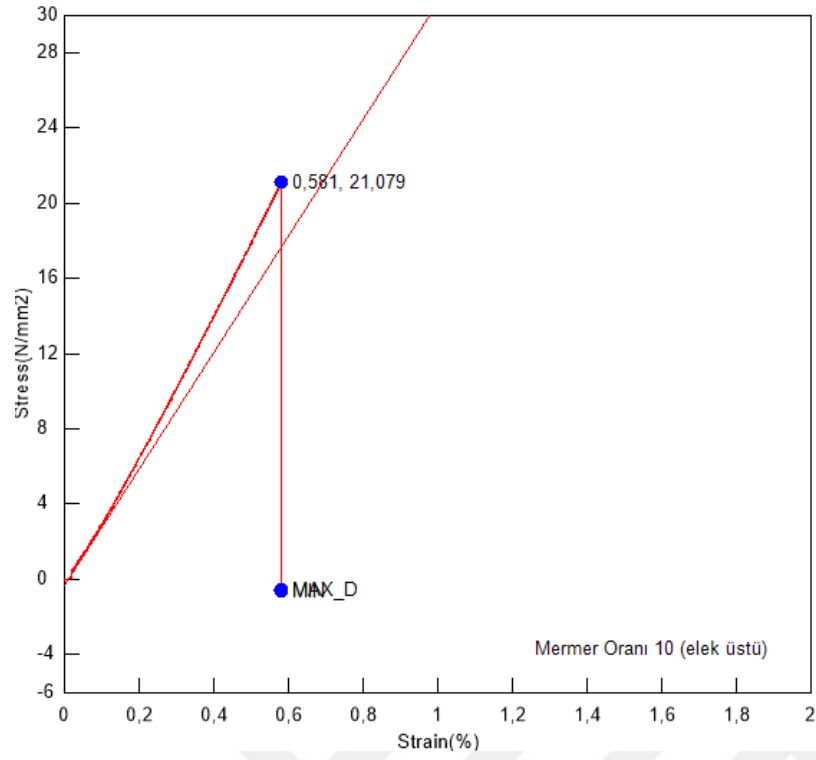
EKLER

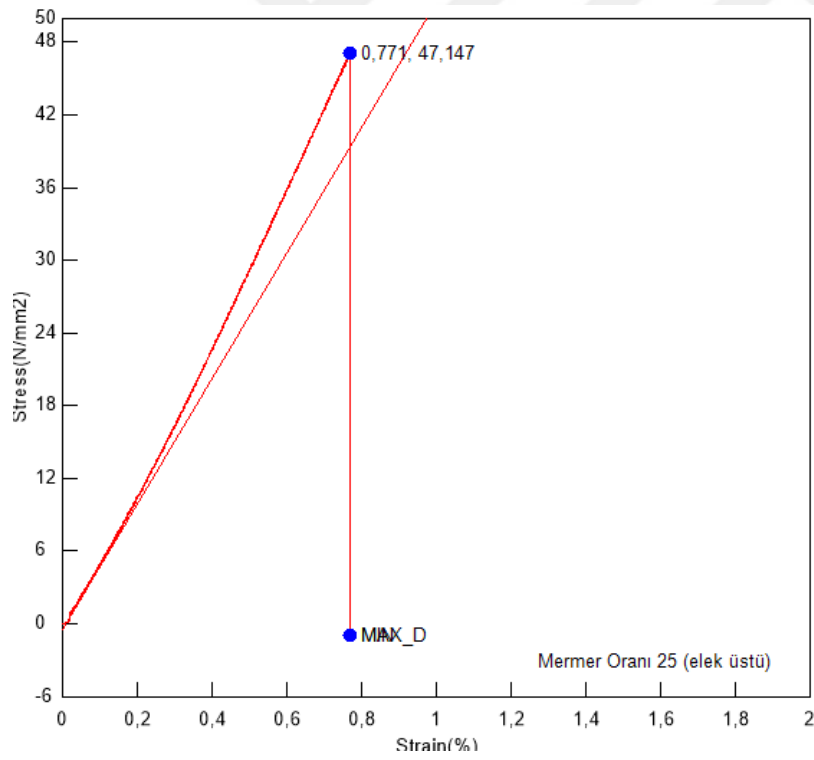
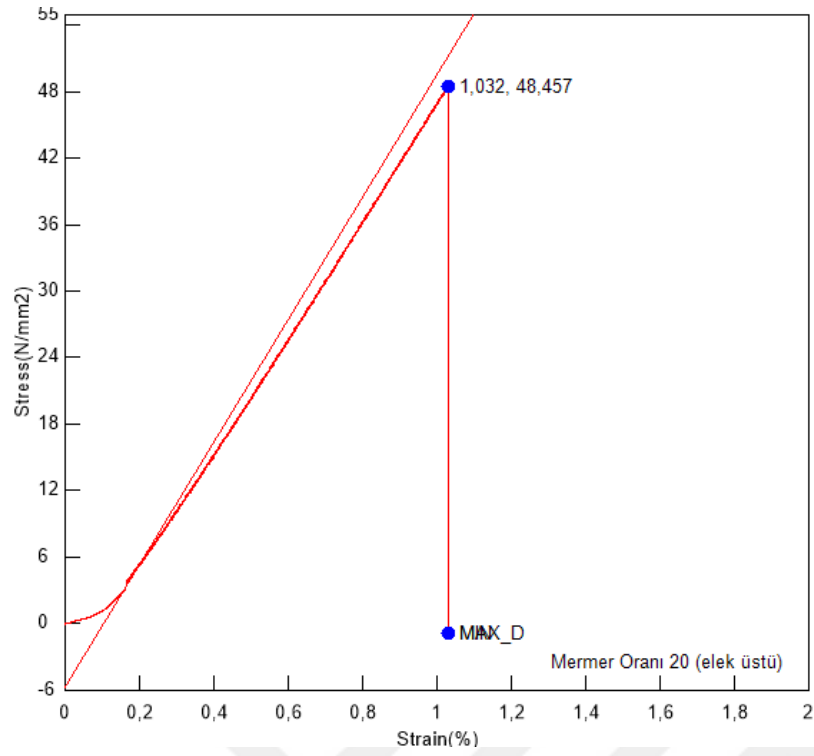
1. Üç noktadan eğne test sonuçları



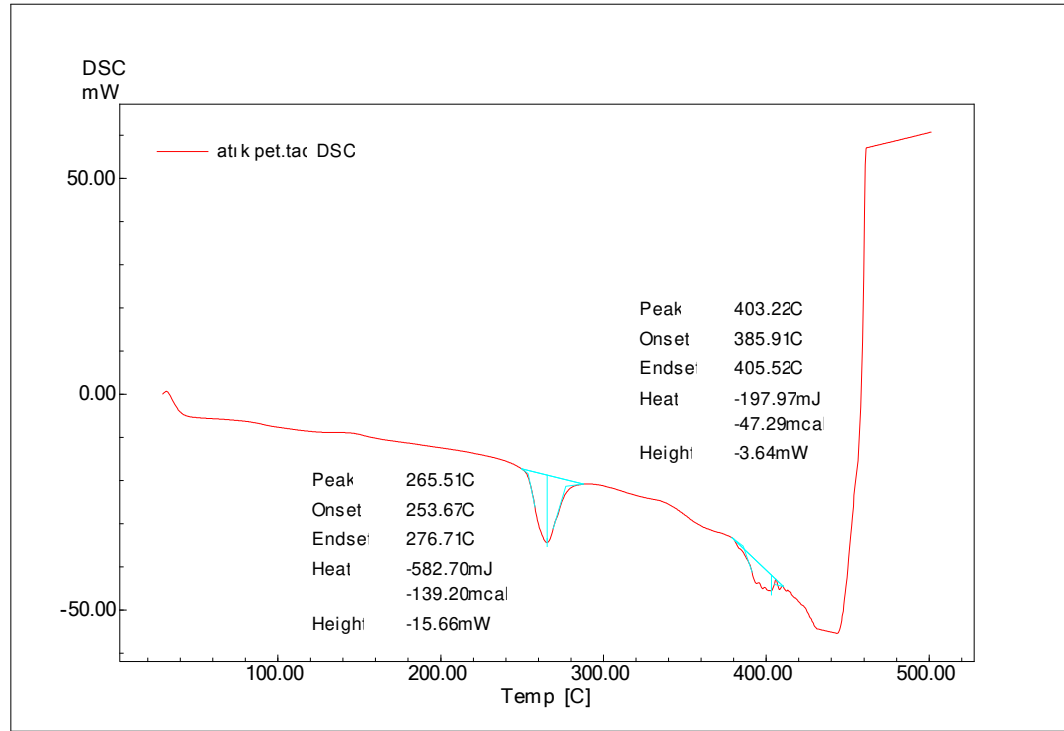




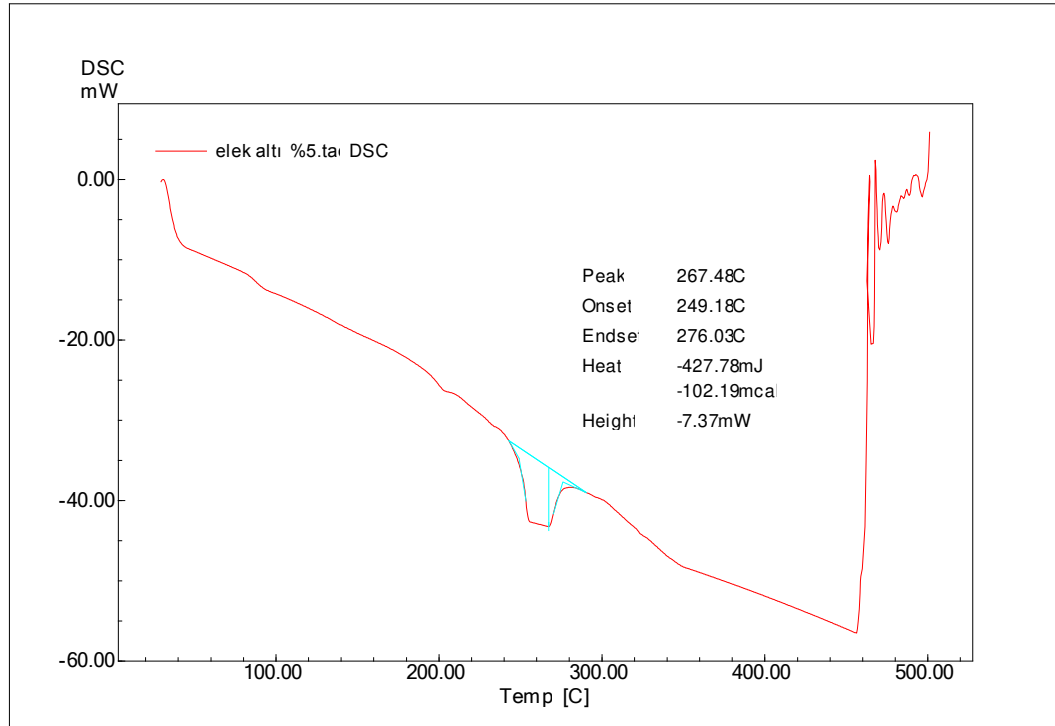


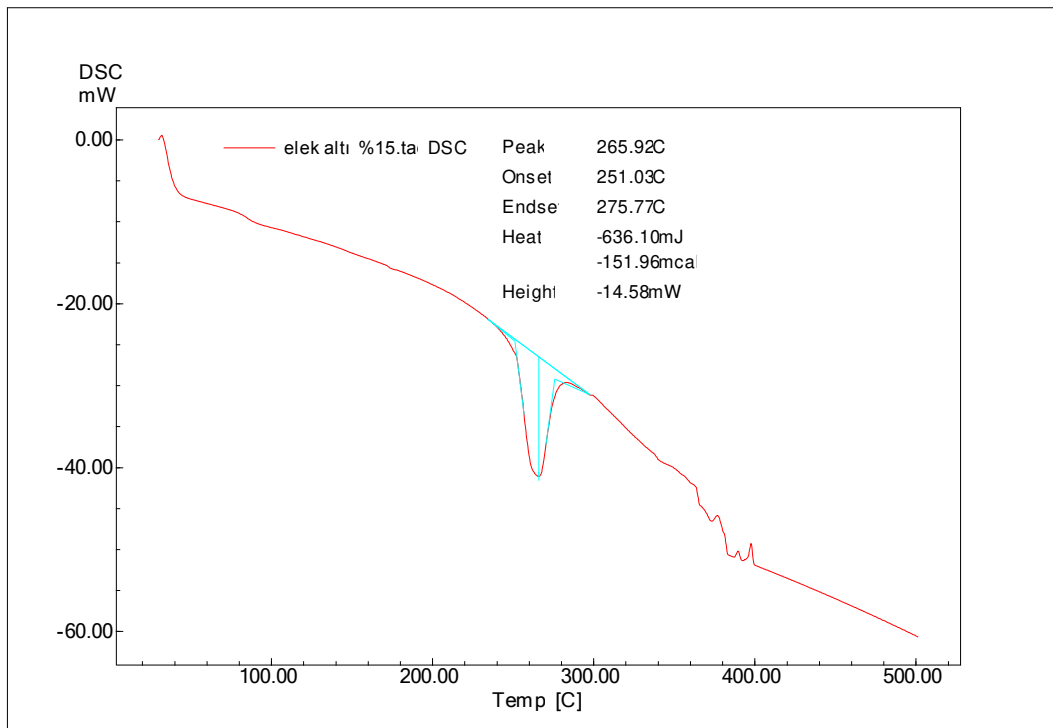
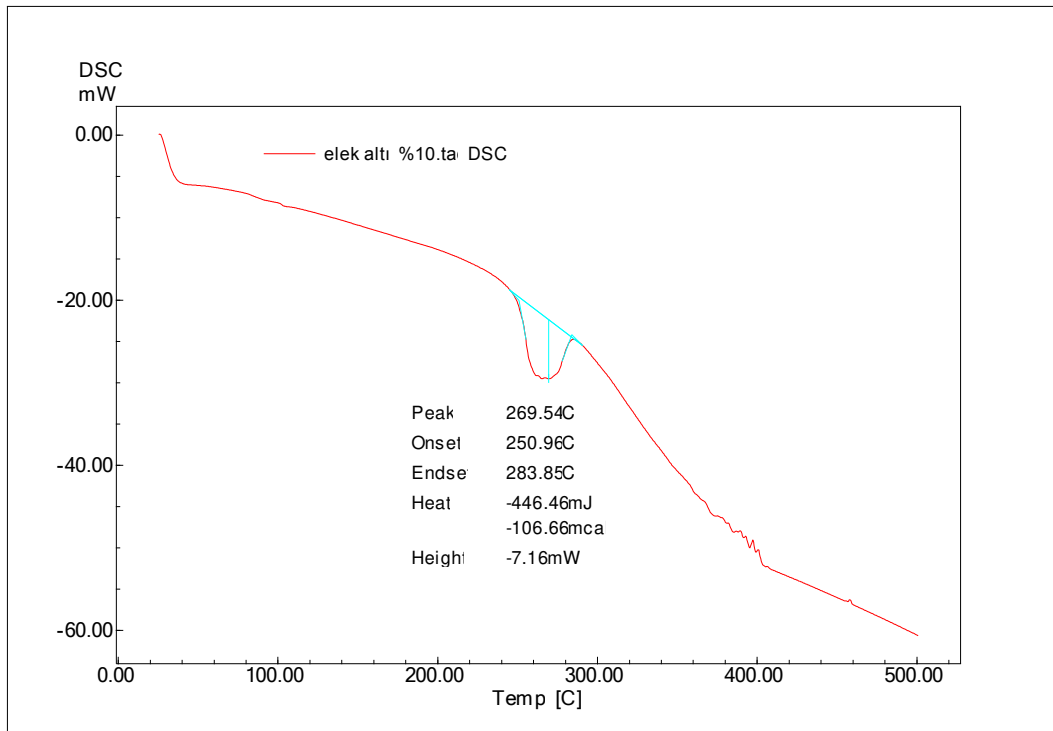


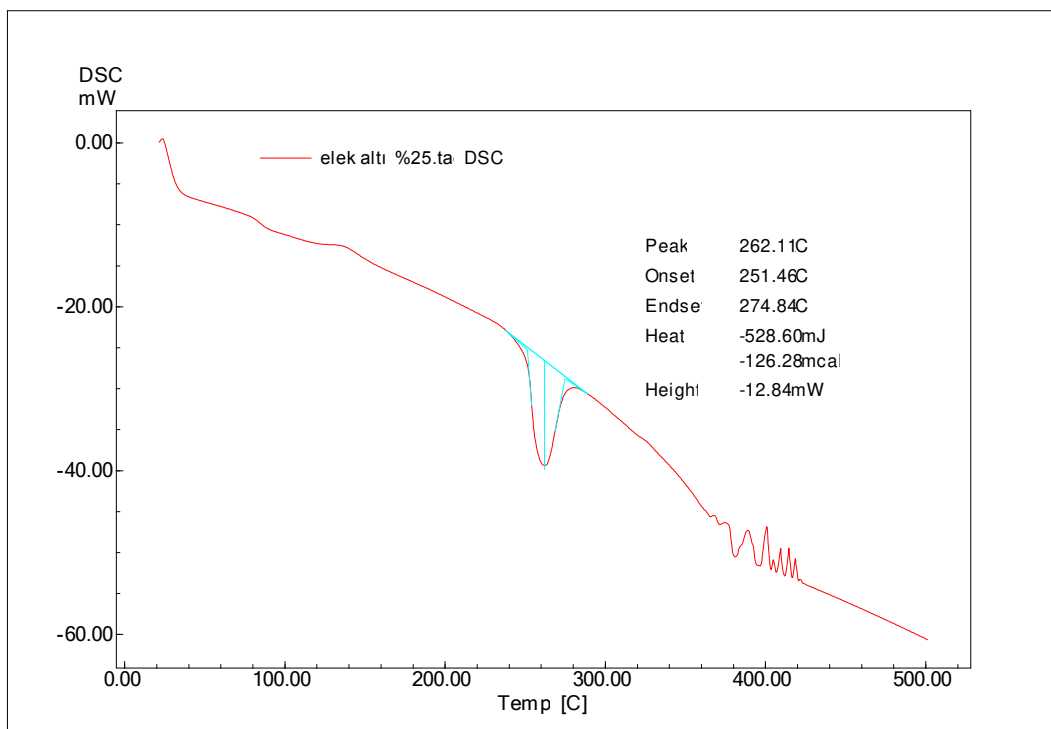
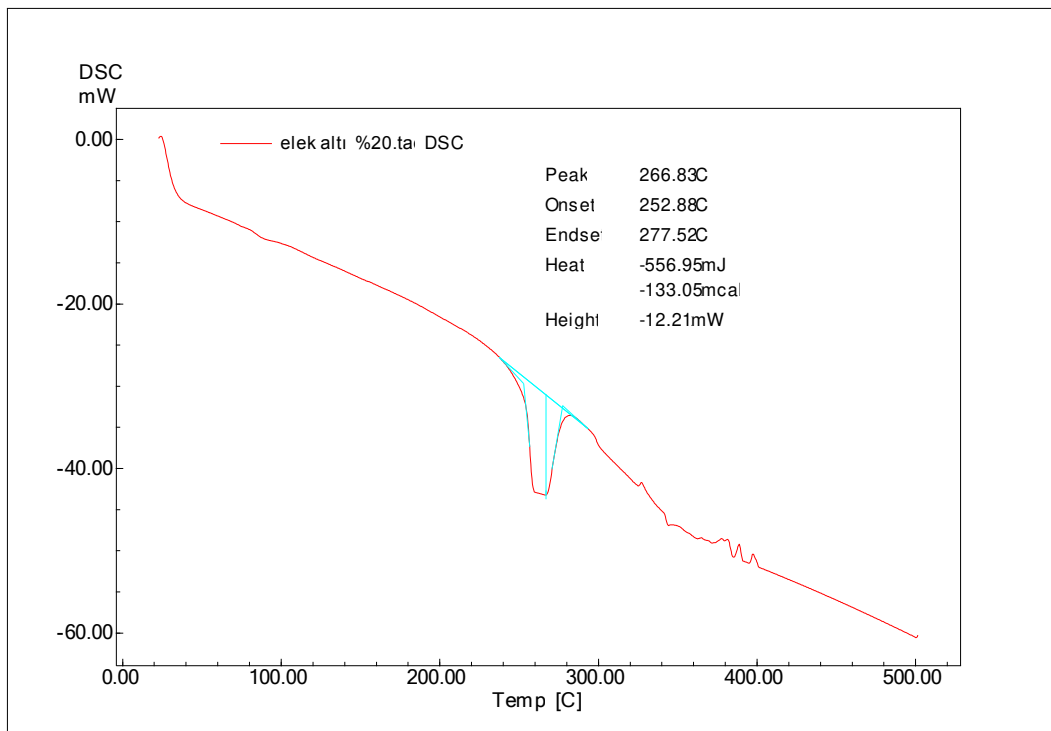
2. DSC sonuçları

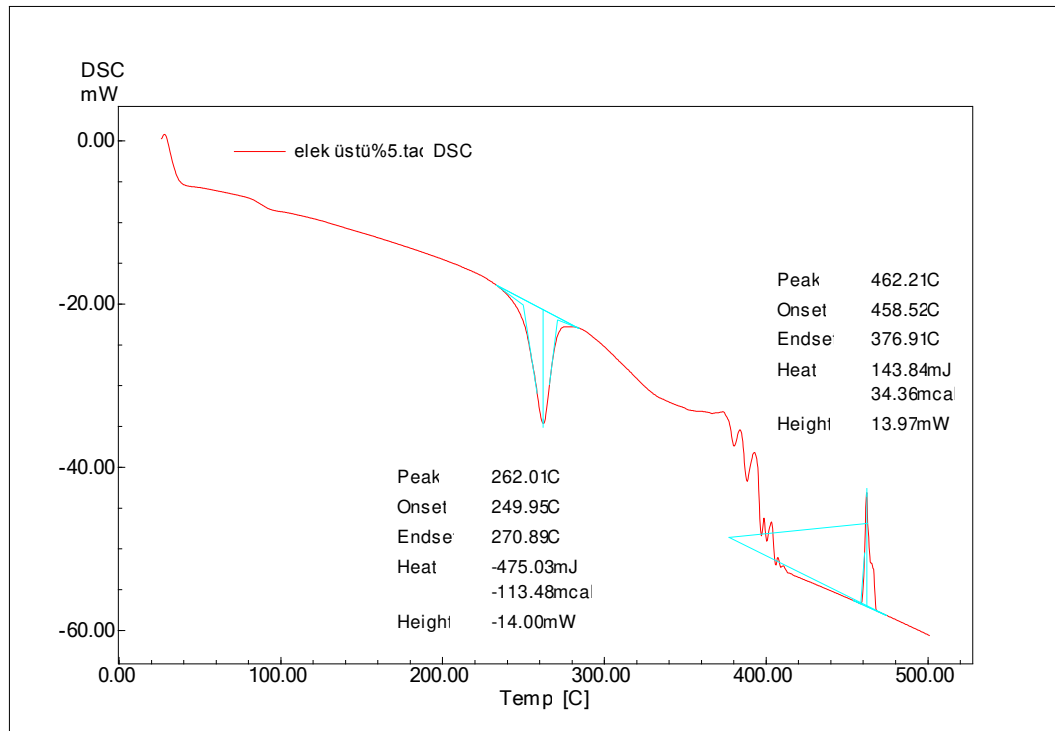
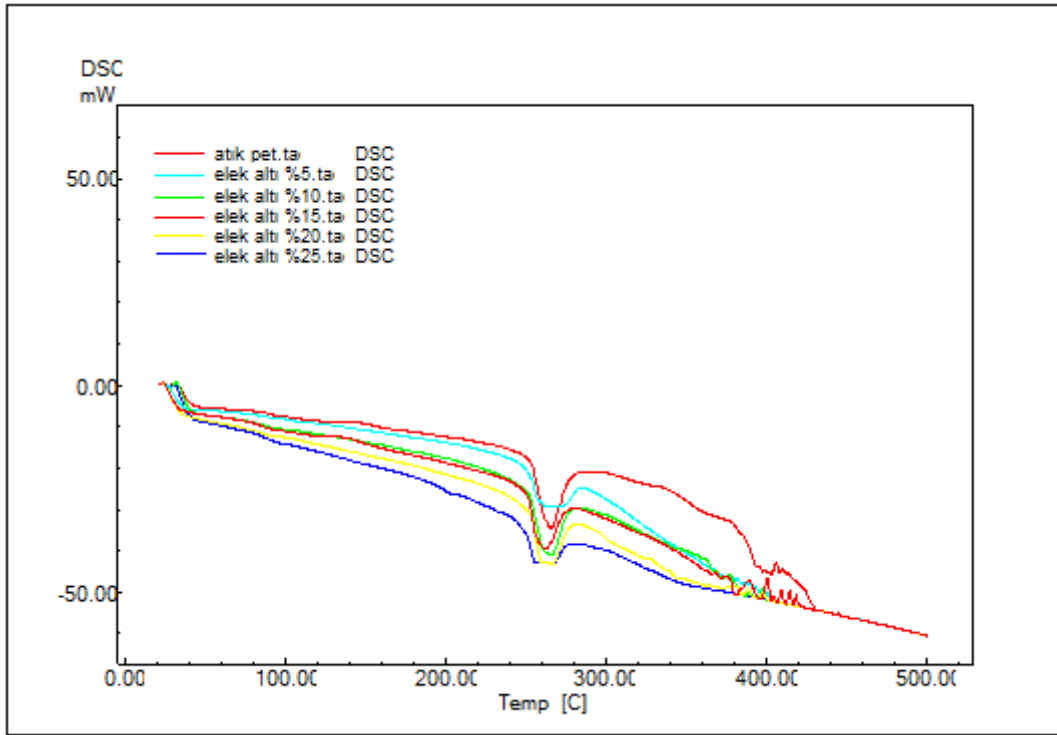


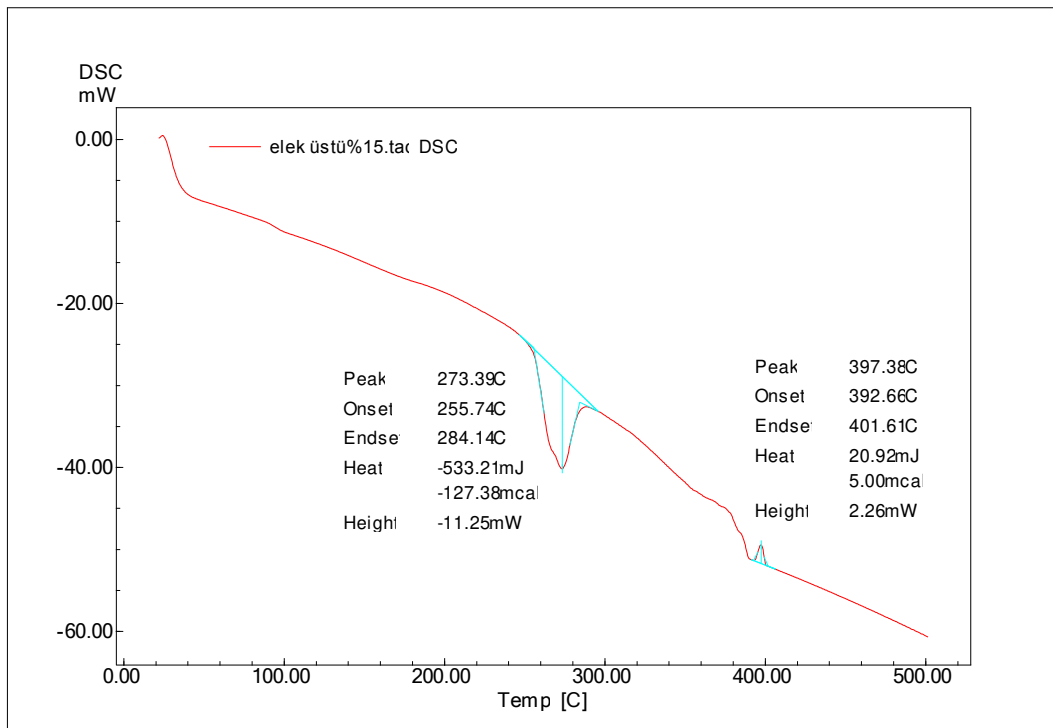
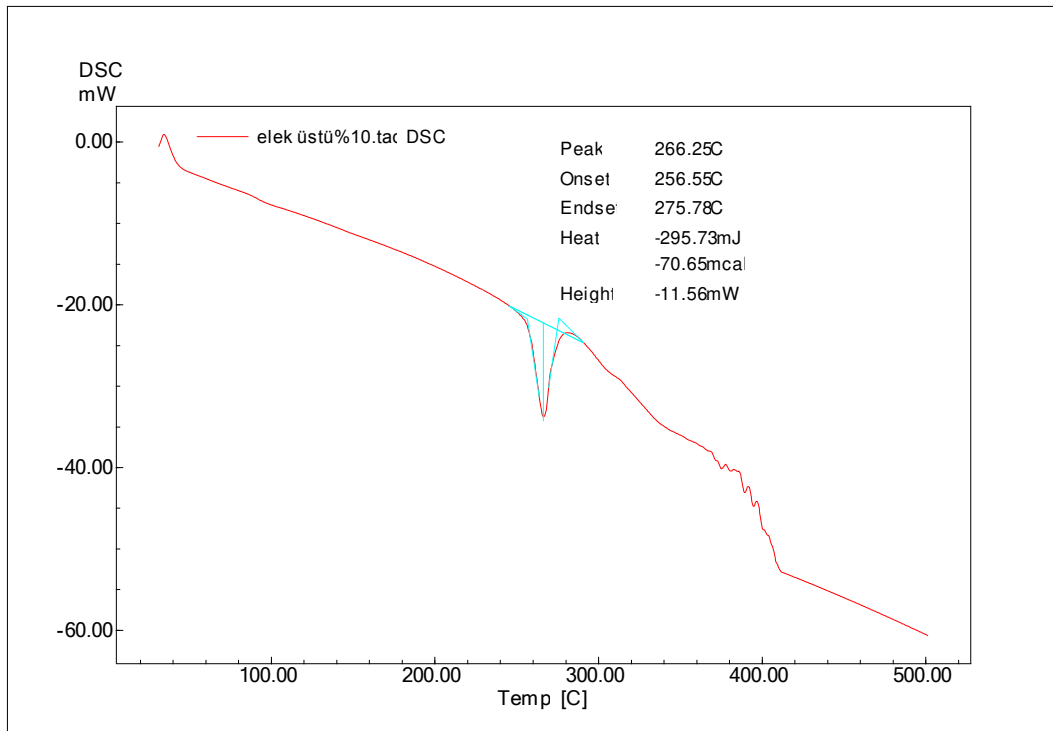
3.

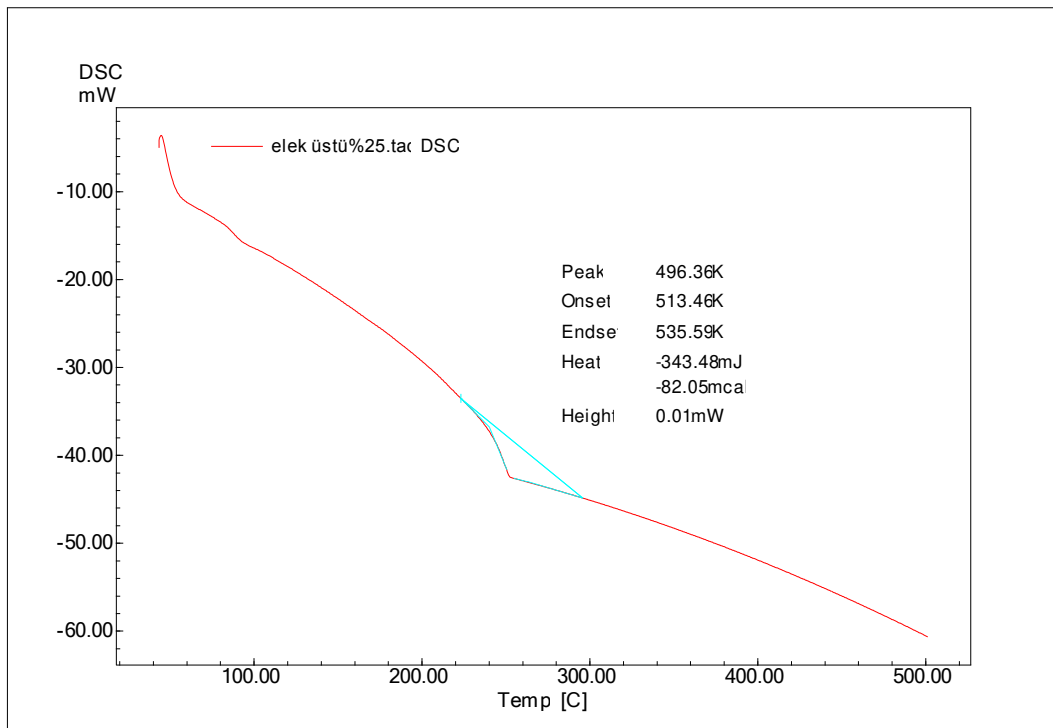
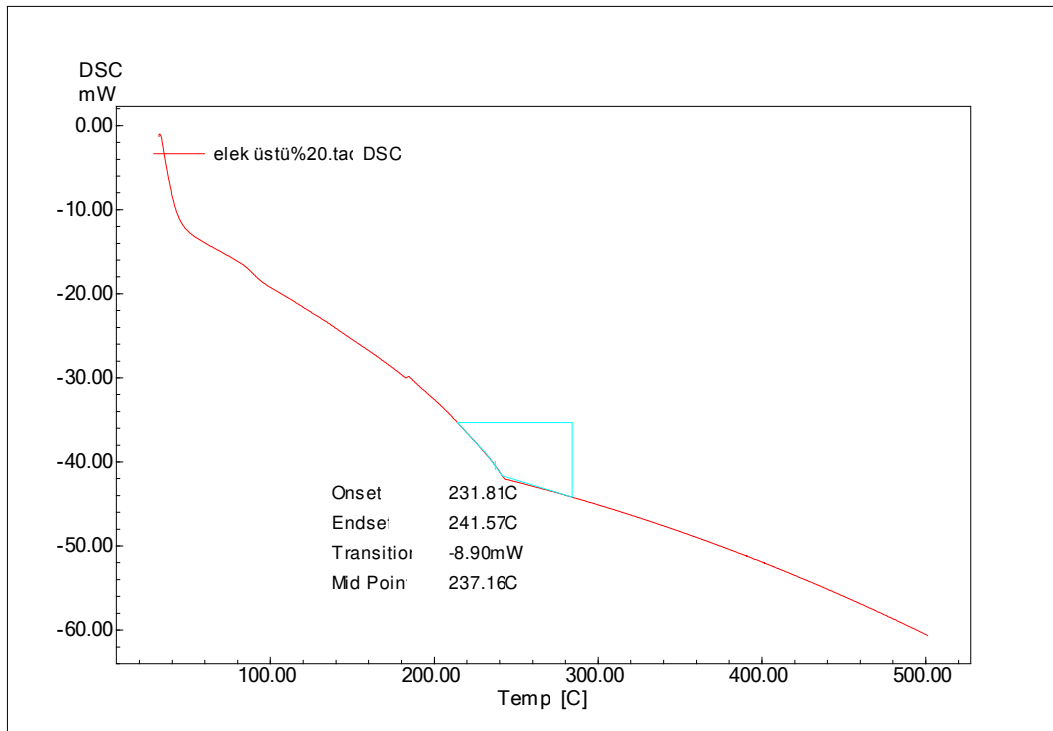


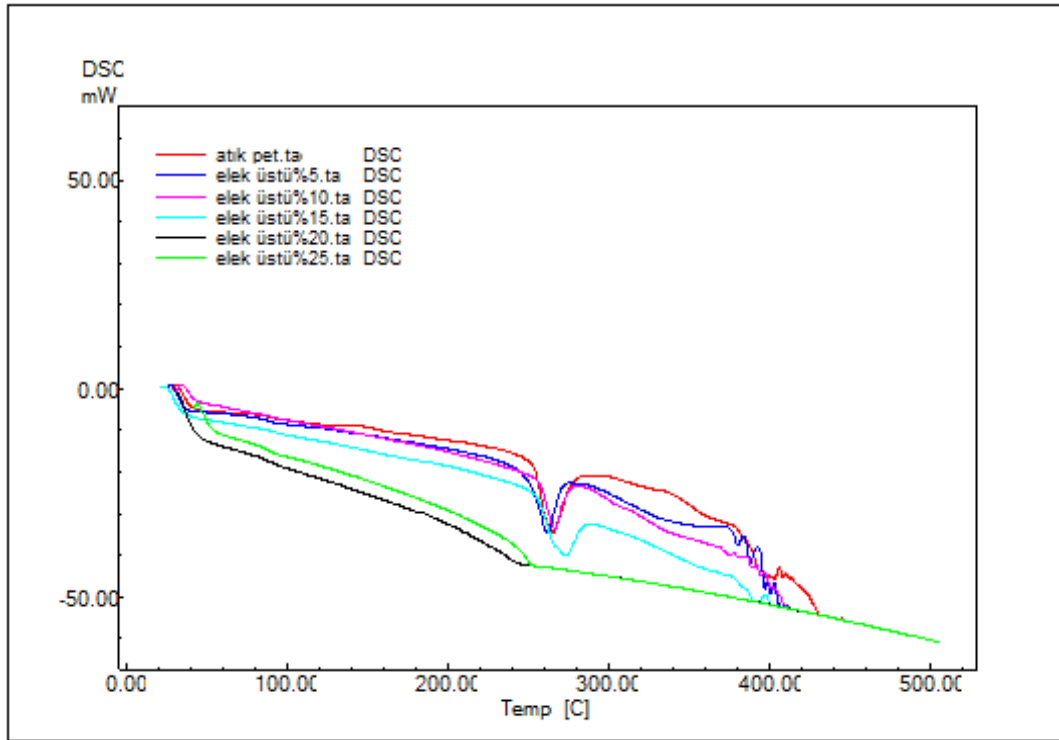












ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet Emin ÇİNAR

Doğum Yeri : Çermik/Diyarbakır

Doğum Tarihi: 23.12.1976

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Çermik Lisesi, (1990-1993)

Lisans : İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü (1993-1998)

Yüksek Lisans : Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı (2011-)

İş Deneyimi:

Diyarbakır Bilim Sanayi ve Teknoloji İl Müdürlüğü Mühendis (2015-.....)

Elazığ Şeker Fabrikası Mühendis (2008-2015)

Kırşehir Şeker Fabrikası Mühendis(2006-2008)

Özel sektör Mühendis(2000- 2006)

Askerlik Yedek Subay (1998-2000)