

**YAKIT HÜCRELERİ İÇİN BİPOLAR KOMPOZİT TABAKA
HAZIRLANMASI**

Oğuzhan AKINÇ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EKİM 2008
ANKARA**

Oğuzhan AKINÇ tarafından hazırlanan YAKIT HÜCRELERİ İÇİN BİPOLAR KOMPOZİT TABAKA HAZIRLANMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Nursel DİLSİZ
Tez Danışmanı, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Bekir Zühtü UYSAL
Kimya Müh. Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Nursel DİLSİZ
Kimya Müh. Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Metin GÜRÜ
Kimya Müh. Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Tuncer ÇAYKARA
Kimya Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Süleyman TEKELİ
Malzeme Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Oğuzhan AKINÇ

YAKIT HÜCRELERİ İÇİN BİPOLAR KOMPOZİT TABAKA HAZIRLANMASI
(Yüksek Lisans Tezi)

Oğuzhan AKINÇ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ekim 2008

ÖZET

Yeni enerji teknolojisi kapsamında, yakıt hücreleri sahip olduğu pek çok olumlu özellik ile ön plana çıkmaktadır. Yakıt hücreleri, yakıt ve oksitleyicinin bileşimine, yakıtın dolaylı veya direk yoldan verilmesine, kullanılan elektrot ve elektrolit cinsine, çalışma sıcaklığına bağlı olarak farklı gruplar altında toplanabilir. Bu gruplar içinde basit yapısı, yüksek verimi, çevre dostu çalışma özellikleri olması nedeniyle, Proton Değişim Membran Yakıt Hücresi, günümüzde üzerinde en çok çalışma yapılan ve gelecekte de en çok kullanım alanı bulacağına inanılan yakıt hücrelerinin başında gelmektedir.

Yakıt hücresi içerisinde bulunan bipolar tabaka, çok-fonksiyonlu karaktere sahip proton değişim membran yakıt hücreleri için anahtar bileşendir. Yakıt gazının ve havanın uniform şekilde dağılımını, hücreden hücreye elektrik akımının aktarılmasını, aktif alandan ısının giderilmesini ve gazların sızmasını sağlar. Bipolar tabakalar aynı zamanda yakıt hücresinin hacmi, ağırlığı, performansı ve fiyatı üzerinde de büyük etkiye sahiptir. Bu nedenle bipolar tabakaların yapımında kullanılacak uygun malzemelerin bulunması için araştırmalar yoğun şekilde devam etmektedir.

Yürütülen bu çalışma ile PEM Yakıt Hücrelerinde kullanılmak üzere, yüksek mekanik mukavemet ve termal dayanım ile elektrik iletkenliğine sahip, hafif kompozit bipolar tabaka hazırlanması amaçlanmıştır. Yapılan çalışma ile polipropilen matrise %10, 15, 20, 25, 30 oranlarında grafit katılarak kompozit bipolar tabaka hazırlanmıştır. Hazırlanan kompozit malzemelerden elektriksel iletkenliği en yüksek olan numune %30 katkılı numunedir. Mekanik ve termal karakterizasyon testleri sonucunda en iyi sonuç veren %20 grafit katkılı numuneye %0,5 oranında karbon nano fiber (CNF) katılmıştır. Karbon nano fiber katılmamış olan %20 grafit katkılı numunenin elektrik iletkenliği $141,60 \text{ (ohm.cm)}^{-1}$ olarak tespit edilmiş, bu numuneye %0,5 oranında karbon nano fiber katıldıktan sonra iletkenliğin $192,10 \text{ (ohm.cm)}^{-1}$ 'e yükselmiştir. %20 grafit katkılı numune 30,18 MPa ile en yüksek çekme dayanımını göstermiştir. %0,5 CNF katkısı ise malzemenin çekme dayanımının 22,99 MPa düşürürken malzemenin uzama miktarını artırmıştır. SEM mikrografları ve termogravimetrik analizlerde incelenen numunelerin tümü değerlendirildiğinde, %20'lik grafit katkısının tek başına dayanım ve termal özellikler açısından diğer numunelere göre daha dayanıklı olduğunu ortaya koymuştur. CNF katkısı ise özellikle elektrik iletkenliğinin artması yönünde büyük etkiye sahiptir.

Bilim Kodu : 912.1.092
Anahtar Kelimeler : PEM, bipolar tabaka, polipropilen, grafit, yakıt hücresi
Sayfa Adedi : 88
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Nursel DİLSİZ

**PRODUCTION OF COMPOSITE BIPOLAR PLATE FOR
THE FUEL CELLS
(M.Sc. Thesis)**

Oğuzhan AKINÇ

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
October 2008**

ABSTRACT

In the scope of new energy technologies, fuel cells draw attention due to their many useful features. Fuel cells could be grouped under several titles according to their fuel and oxidizer composition, feeding the fuel directly or indirectly, type of electrode and operating temperature. In these different groups, Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFC) are the one in the lead that have many studies are being made on them today and that is believed to have many usage areas in the future, due to its simple structure, high efficiency and environment friendly operating features.

Bipolar plates are the key component of proton exchange membrane fuel cells with multifunctional characters. They distribute fuel gas and air uniformly, conduct electrical current from cell to cell, removal of the heat from the active area and prevent leakage of gases. Bipolar plates have also significant effect on volume, weight, performance and cost of the fuel cell. Due to these significant effects, a huge research is going on the worldwide in order to determine the suitable materials to produce bipolar plates.

The aim of this study is to prepare light composite bipolar plates for the PEM Fuel Cells that has high mechanical strength and thermal durability. Graphite is added to the polypropylene to prepare bipolar plate in 10%, 15%, 20%, 25% and 30% ratios in this study. The highest electrical conductivity value is achieved with the 30% graphite added composite sample. 0,5% carbon nano fiber (CNF) is added in addition to 20% graphite added sample, which has the best results according to the thermal and mechanic tests related to the other samples. 20% graphite added sample's, which has no CNF, electrical conductivity is $141,60 \text{ (ohm.cm)}^{-1}$ and then CNF is added to this sample in 0,5% and the electrical conductivity had increased to $192,10 \text{ (ohm.cm)}^{-1}$. 20% graphite added sample has the highest tensile strength related to the other graphite added samples with 30,18 MPa. 0,5% CNF addition has lowered the tensile strength to 22,99 MPa, but the amount of strain has increased. When all the SEM micrographs and thermogravimetric analysis of the samples are taken into account 20% graphite added sample has the best mechanical and thermal durability related to the other samples. CNF addition has an influence on electrical conductivity.

Science Code : 912.1.092
Keywords : PEM, bipolar plate, polypropylene, graphite, fuel cells
Page Number : 88
Advisor : Prof. Dr. Nursel DİLSİZ

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli hocam Prof. Dr. Nursel DİLSİZ'e ve kıymetli tecrübelerinden yararlandığım Prof. Dr. Bekir Zühtü UYSAL ve Prof. Dr. Metin GÜRÜ'ye içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatımın ve tüm yaşamımın her döneminde maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli aileme teşekkürlerimi ve sonsuz sevgilerimi sunarım.

Kimya Mühendisi Umut Burak DALBUDAK, Yusuf Cumhuri ACUNER, Nagihan DEMİRCİ ve Çetin ÇAKANYILDIRIM'a analizlerimde yardımcı oldukları için teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışma hayatım esnasında devam ettirdiğim tez çalışmamda bana her türlü desteği sunan Betül DOĞRU'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, çalışmalarım süresinde Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı'nın (2001K120590) sayılı projesi kapsamında kurulan laboratuvarı kullanmama imkan tanıyan Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi ve Devlet Planlama Teşkilatı'na teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince her türlü araştırma ve deneysel çalışma imkanı sunan Gazi Üniversitesi Temiz Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezine sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. YAKIT HÜCRELERİ VE BİPOLAR TABAKALAR.....	2
2.1. Yakıt Hücresi	2
2.1.1. Yakıt hücresi nedir?.....	2
2.1.2. Yakıt hücresi tarihçesi	2
2.1.3. Yakıt hücresi önemi	3
2.1.4. Yakıt hücresinin kullanım alanları	4
2.1.5. Yakıt hücresi çeşitleri.....	6
2.2. Bipolar Tabakalar.....	15
2.2.1. Bipolar tabakaların özellikler	15
2.2.2. Gaz difüzyon kanalları	16
2.2.3. Bipolar kompozit malzeme üretim şekilleri.....	20
3. KOMPOZİT MALZEMELER.....	23
3.1. Kompozit Malzemelerin Özellikleri	23

	Sayfa
3.2. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları	24
3.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	26
3.3.1. Yapılarını oluşturan malzemelere göre kompozitler	27
3.3.2. Yapım şekillerine göre kompozitler.....	30
3.4. Perkolasyon Teorisi	32
4. BİPOLAR KOMPOZİT TABAKANIN KARAKTERİZASYONU	34
4.1. Elektrik İletkenliği	34
4.2. Mekanik Karakterizasyon.....	35
4.2.1. Çekme testi	35
4.2.2. Üç noktadan eğilme testi	38
4.3. Yüzey Karakterizasyonu	40
4.3.1. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)	40
4.4. Termal Karakterizasyon	41
4.4.1. Termogravimetrik analiz (TGA)	42
5. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI	43
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	47
6.1. Malzemeler	47
6.2. Kalıp Tasarımı	48
6.3. Numunelerin Hazırlanışı	49
6.4. Karakterizasyon	50
6.4.1. Elektriksel iletkenlik	50
6.4.2. Mekanik karakterizasyon	51
6.4.3. Yüzey karakterizasyonu	52

	Sayfa
6.4.4. Termal karakterizasyon	53
7. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA.....	54
7.1. Elektriksel İletkenlik Sonuçları	54
7.2. Mekanik Karakterizasyon.....	57
7.2.1. Çekme testi sonuçları	57
7.2.2. Üç noktadan eğme testi sonuçları	60
7.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Mikrografları	60
7.4. Termogravimetrik Analiz (TGA) Termogramları	63
8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	67
KAYNAKLAR	70
EKLER	73
EK-1 Mekanik karakterizasyon sonuçları	74
EK-2 Yüzey karakterizasyonu sonuçları	77
EK-3 Termal karakterizasyon sonuçları	85
ÖZGEÇMİŞ.....	88

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Yakıt hücresi çeşitleri ve özellikleri.....	15
Çizelge 4.1. Çekme testi numunesinin boyutları	36
Çizelge 4.2. Üç noktadan eğilme testi numunesinin boyutları	38
Çizelge 6.1. Polipropilen matrisin özellikleri	48
Çizelge 6.2. Grafitin özellikleri.....	48
Çizelge 6.3. Çekme testi numune boyutları	52
Çizelge 7.1. Farklı oranlarda hazırlanan numunelerin katkı miktarları ve iletkenlikleri.....	55
Çizelge 7.2. Huang ve arkadaşlarının iletkenlik çalışmaları	56
Çizelge 7.3. Farklı oranlarda hazırlanan numunelerin çekme dayanımları, çekme uzamaları ve young modülleri	58
Çizelge 7.4. TGA analiz sonuçları.....	64

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Alkali yakıt pilinin şematik gösterimi	7
Şekil 2.2. Fosforik asit yakıt hücresi şematik gösterimi	9
Şekil 2.3. Katı oksitli yakıt pili şematik gösterimi	10
Şekil 2.4. Proton Değişim Membranlı yakıt pili şematik gösterimi	12
Şekil 2.5. Eriyik karbonatlı yakıt pili şematik gösterimi	14
Şekil 2.6. İğne tipi akış kanalı.....	17
Şekil 2.7. Düz-paralel akış kanalı.....	17
Şekil 2.8. Serpentin akış kanalı.....	18
Şekil 2.9. Birleştirilmiş akış kanalı	19
Şekil 2.10. Metalden yapılan akış kanalı.....	19
Şekil 2.11. Sıradan kanal ve iç içe geçmiş kanal karşılaştırması	20
Şekil 2.12. Enjeksiyonla kalıplama.....	22
Şekil 3.1. Kompozit malzemedeki dolgu maddesinin hacimsel oranı ile iletkenliğin değişimi.....	33
Şekil 4.1. Çekme testi numunesi.....	36
Şekil 4.2. Çekme gerilimi-çekme gerinimi tipik eğrileri	37
Şekil 4.3. Üç noktadan yükleme şeması	38
Şekil 4.4. Eğilme gerilimi-eğilme gerinimi tipik eğrileri.....	39
Şekil 6.1. İletkenlik ölçümü yapılan numunelerin boyutları.....	51
Şekil 6.2. Çekme testi numunesi.....	51
Şekil 7.1. Farklı yüzdelerdeki takviye elemanının iletkenliğe etkisi	54
Şekil 7.2. CNF katkılı numunelerin elektriksel iletkenliklerinin değişimi.....	51

Şekil	Sayfa
Şekil 7.3. Farklı oranlarda hazırlanan numunelerin çekme dayanımları.....	58
Şekil 7.4. Farklı oranlarda hazırlanan numunelerin young modülleri.....	59
Şekil 7.5. PP numunesi için TGA ve DTGA termogramı	65
Şekil 7.6. PP20GR numunesi için TGA ve DTGA termogramı	65
Şekil 7.7. PP20GR0,5CNF numunesi için TGA ve DTGA termogramı.....	66

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Sıkıştırma ile kalıplama için kullanılan sıcak presin görüntüsü ...	21
Resim 6.1. Kalıp tasarımı.....	48
Resim 6.2. Numunenin görünümü	49
Resim 6.3. Keithley 2400 iletkenlik ölçüm cihazı görüntüsü.....	51
Resim 7.1. PP20GR SEM mikrografı (x500 büyütme)	60
Resim 7.2. PP20GR0,5CNF SEM mikrografı (x500 büyütme).....	61
Resim 7.3. PP15GR SEM mikrografı (x500 büyütme)	62
Resim 7.4. PP25GR SEM mikrografı (x500 büyütme)	62
Resim 7.5. PP30GR SEM mikrografı (x500 büyütme)	63

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
A_0	Alan, cm^2
D	Kıskaçlar arası mesafe, mm
F	Kuvvet, kN
G	Ölçüm uzunluğu, mm
I	Akım
L	Dar kısmın uzunluğu, mm
LO	Tüm uzunluk, mm
P	Yük, N
R	Pervaz yarıçapı, mm
RO	Dış yarıçap, mm
T	Kalınlık, mm
V	Voltaj
W	Dar kısmın genişliği, mm
WO	Tüm genişlik, mm
l_0	Numunenin ilk boyu, mm
l_i	Numunenin kuvvetten sonraki boyu, mm
ϵ_b	kırılmada çekme uzaması
L_0	Orijinal ölçün uzunluğu
L_1	Numunenin boyu, mm
b	Numunenin eni, mm
L_m	Mesnetler arası uzaklık, mm
d	numunenin derinliği, mm
ϵ	Gerinim, cm
R	Direnç

Simgeler**Açıklama** ρ

Özdirenç

 σ İletkenlik, (ohm.cm)⁻¹T_{max}

Bozunma sıcaklığı, °C

Kısaltmalar**Açıklama****AFC**

Alkali Yakıt Hücresi

CNF

Karbon Nano Fiber

DTGA

Türevsel Termogravimetrik Analiz

GR

Grafit

MCFC

Eriyik Karbonatlı Yakıt Hücresi

MEA

Membran Elektrot Topluluğu

NASA

Amerika Uzay Araştırmaları Birimi

PAFC

Fosforik Asitli Yakıt Hücresi

PEMFC

Proton Değişim Membran Yakıt Hücresi

PP

Polipropilen

PP10GR

%10 Grafite katkı numune

PP15GR

%15 Grafite katkı numune

PP20GR

%20 grafit katkı numune

PP25GR

%25 grafit katkı numune

PP30GR

%30 grafit katkı numune

PP20GR0,5CNF

%20 grafit ve %0,5 CNF katkı numune

PP0,5CNF

%0,5 CNF katkı numune

PP1CNF

%1 CNF katkı numune

PVDF

Polivinilidiflorür

SEM

Taramalı Elektron Mikroskobu

SOFC

Katı Oksitli Yakıt Hücresi

TGA

Termogravimetrik Analiz

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji elde etmek için ağırlıklı olarak fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Bu fosil yakıtların en çok kullanılanı ise petrol ve türevleridir. Yapılan araştırmalar göstermektedir ki fosil yakıt rezervleri teknolojinin gelişmesi ile hızlı bir şekilde azalmaktadır. Ancak, bu kadar yoğun bir şekilde kullanılan fosil yakıtların çevreye verdiği zarar çok yüksektir. Yüksek emisyon değerleri, çevreyi kirletici nitelikte olması gibi sebeplerle beraber, rezervlerin azalıyor olması göz önüne alındığında insanoğlu yeni, daha temiz ve daha uzun süre dayanacak bir sistemin arayışlarına başlamıştır.

İhtiyacın karşılanması amacıyla yapılan araştırmalarda daha çevreci ve geri kazanılabilir enerji projeleri öne çıkmaktadır. Yenilenebilir ve temiz enerji sistemlerinin en önemli örneklerinden biri olan yakıt hücreleri fikri de bu şekilde ortaya çıkmıştır.

Yakıt olarak hidrojenin kullanılması ve enerji elde edilmesi neticesinde açığa su/su buharı çıkışının olması, yakıt hücresinin son derece çevreci bir enerji kaynağı olduğunu göstermektedir. Ayrıca hidrojen, geri kazanılabilir ve uygun çevrimle sisteme tekrar beslenebilir özelliktedir.

Bu kapsamda yapılan çalışmalar ve gelişmelerin incelenmesi neticesinde, yakıt hücrelerinin en büyük ve en maliyetli parçalarından biri olan bipolar tabaklar bu çalışmada ele alınmıştır.

Bu yüksek lisans çalışması ile PEM Yakıt Hücrelerinde kullanılmak üzere, yüksek mekanik mukavemet ve termal dayanım ile elektrik iletkenliğine sahip, hafif kompozit bipolar tabaka hazırlanması amaçlanmaktadır.

Bu amaçla polimer matrisli, grafit takviyeli kompozit bir sistem öngörölmüş olup, farklı kompozisyonlarda üretilen bipolar tabakaların termal, mekanik, yüzey ve elektrik iletkenliği karakterizasyonları karşılaştırılmıştır.

2. YAKIT HÜCRELERİ VE BİPOLAR TABAKALAR

2.1. Yakıt Hücresi

2.1.1. Yakıt hücresi nedir?

Yakıt hücreleri, verimli, ekonomik, sessiz ve çevre ile uyumlu enerji üretiminde kullanılan, yakıt gazlarındaki kimyasal enerjiyi; düşük enerjili, minimum hareketli parçalar içeren ve hava kirliliğine sebep olmayan elektrokimyasal bir proseste elektrik enerjisine dönüştüren bir tür pildir [1].

2.1.2. Yakıt hücresinin tarihçesi

Yakıt hücreleri ilk defa 19. Yüzyılın sonunda geliştirilmiştir. İlk pratik yakıt hücreleri Apollo uzay programı için 1960'larda yapılmıştır. Günümüzde de hala uzay projelerinde yakıt hücrelerinin kullanımı devam etmektedir. 1839 yılında Sir William Grove seyreltik sülfürik asit çözeltisine daldırılmış iki platin elektrottan oluşmuş bir sistemde hidrojen ve oksijen üretmeyi başarmıştır [1].

Daha sonraki yıllarda Grove, önceki çalışmasında kullandığı sistemden elli tanesini birleştirerek oluşturduğu bir sistem ile daha fazla elektrik akımı üretmeyi başarmıştır [1].

Yakıt hücresi terimi ilk olarak 1889'da Ludwing Mond ve Charles Langer tarafından Grove'un çalışmaları tekrarlanarak ortaya konmuştur. Mond ve Longer oksijen kaynağı olarak havayı, hidrojen kaynağı olarak da endüstriyel kömür gazını kullanarak 1,5 Watt güç üreten ve %50 çalışma verimine sahip bir yakıt hücresi geliştirmişlerdir. 1894'de Wilhwm Oswald kömür türevli yakıtlar ile çalışan bir elektrokimyasal hücre yapmıştır. 1932'de Francis T. Bacon ilk başarılı yakıt hücresini geliştirmiştir. 1952'de Bacon ve arkadaşları 5 kW'lık güç üreten bir yakıt hücresi yapmışlardır. Aynı yılın sonlarında Harry Karl Ihring 20 beygir gücünde bir yakıt hücresiyle çalışan traktör tasarlamıştır.

Bu buluş günümüzdeki modern yakıt hücresiyle çalışan makinelerin başlangıcı olmuştur [1].

2.1.3. Yakıt hücresinin önemi

Yeni bir bin yıla girerken yakıt pilinin dünya çapında araçların kullanımında inanılmaz şekilde artacağı ve enerji için dünya çapında rağbet göreceği tahmin edilmektedir. Enerji stoklarımızı korumak, çevremizi korumak ve yaşam kalitesini düzeltmek üzere dünyanın enerji ihtiyaçları için teknolojiden yeterince yararlanmak gerekmektedir. Arabalar, evler ve enerji santralleri için yeterli çok yönlü bir teknolojiye ihtiyaç vardır. Çevremize verilen zararları tersine döndürmeye yardım edebilecek yeterince temiz bir teknoloji gereklidir. O teknoloji yakıt pilleridir [1].

Yakıt hücreleri, konvansiyonel güç üretim sistemlerine göre aşağıdaki üstünlüklere sahiptir.

- Çevresel kirlilik oranı düşüktür.
- Enerji üretim verimi oldukça yüksektir.
- Farklı yakıtlarla çalışabilir (Doğal gaz, LPG, Metanol ve Nafta).
- Egzoz ısısı yeniden kazanılabilir.
- Modüler yapıdadır.
- Montaj süresi kısadır.
- Çok yüksek miktarda soğutma suyu (deniz suyu gibi) gerektirmez.
- Güvenilir bir sistemdir.
- İşletim karakteristiği uygulamada kolaylıklar sağlar.
- Geleceğe yönelik olarak gelişme potansiyeli oldukça yüksektir.
- Katı atık ve gürültü problemi yoktur.

2.1.4. Yakıt hücrelerinin kullanım alanları

- Uzay Çalışmaları/Askeri Uygulamalar
- Evsel Uygulamalar
- Sabit Güç Üretim Sistemi/Yüksek Güç Üretim Sistemi Uygulamaları
- Taşınabilir Güç Kaynağı Uygulamaları
- Atık/Atık Su Uygulamaları
- Taşıt Uygulamaları

Uzay çalışmaları/askeri uygulamalar

Yakıt hücrelerinin ilk uygulanma alanı, uzay çalışmalarıdır. ABD'de NASA'nın çalışmaları kapsamında Apollo, Gemini, ve Space Shuttle uzay gemilerinde H₂-O₂ yakıt hücresi birbirine bağlı 3 ünite olarak kullanılmıştır.

Stratejik bir önemi olan enerji kaynakları, ülkelerin politikalarında önemli bir yer tutmaktadır. Yakıt çeşitliliği ve veriminden dolayı, askeri amaçla kullanılacak en iyi yakıtlardan biri yakıt hücresidir. Gerek askeri araçlarda, gerek ısı ve elektrik ihtiyacı durumunda kolay kullanımıyla askeri yönden yakıt pilleri iyi bir alternatiftir [2].

Evsel uygulamalar

Sessiz çalışan yakıt hücreleri, evlerde veya apartmanlarda ısıtma ve elektrik ihtiyacını sağlamak için kullanılacak bir alternatiftir. Bu tipte kullanılacak yakıt hücreleri, propan ve doğal gazdan üretimi sağlayarak elektrik üretmekte ve oluşan ısı geri kazanılarak ısıtma sistemlerinde kullanılmaktadır

Taşınabilir güç kaynağı uygulamaları

Telekomünikasyon, bilgisayar, görüntü teknolojileri, alarm sistemlerinde yakıt hücresi uygulamaları söz konusudur. Bu tip uygulamalar üzerinde çalışmalar sürmektedir. Minyatür yakıt hücreleri pazara çıktıkları zaman, cep telefonu sahipleri cep telefonlarını uzun süre şarj etmeden kullanabileceklerdir. Bu tip yakıt hücreleri metanol ile çalışabilen, çok küçük boyutta üretilen hücrelerdir [2].

Atık/atık su uygulamaları

Atık su ve atıkların işlenmesi sırasında yanma reaksiyonları sonucunda oluşan emisyonları azaltmak ve oluşan metan gazından güç elde etmek için yakıt hücreleri kullanılmaktadır [2].

Taşıt uygulamaları

Elektrikli taşıtlar 2000'li yılların yeni-temiz alternatif uygulamaları arasında ön sırada yer almaktadır. Elektrikli taşıtlar:

- Enerjiyi doğrudan hattan alarak (tren, trolleybüs, tramvay, metro gibi)
- Enerjiyi depolanmış bir sistemden kullanarak (akülü taşıtlar, ultra kapasitörlü taşıtlar)
- Taşınabilir bir sistemden anında enerji üreterek (yakıt hücreli taşıtlar, güneş pilli-fotovoltaik pilli taşıtlar)
- Hibrit elektrikli taşıtlar (benzin-yakıt hücresi, motorin-yakıt hücresi taşıtları) şeklinde uygulamadır.

Bu uygulamalar içinde yakıt hücreli elektrikli taşıtlar pek çok avantaj ile öndedir ve geleceğin otomotiv teknolojisi içinde hidrojen kullanan yakıt hücreli elektrikli taşıt uygulaması çok büyük alan kaplayacaktır [2].

2.1.5. Yakıt hücresi çeşitleri

Elektroliti dışında tüm yakıt hücrelerinin tasarımı neredeyse aynıdır. Kullanılan elektrolit malzeme çeşidine göre 5 çeşit yakıt hücresi tanımlayabiliriz [2].

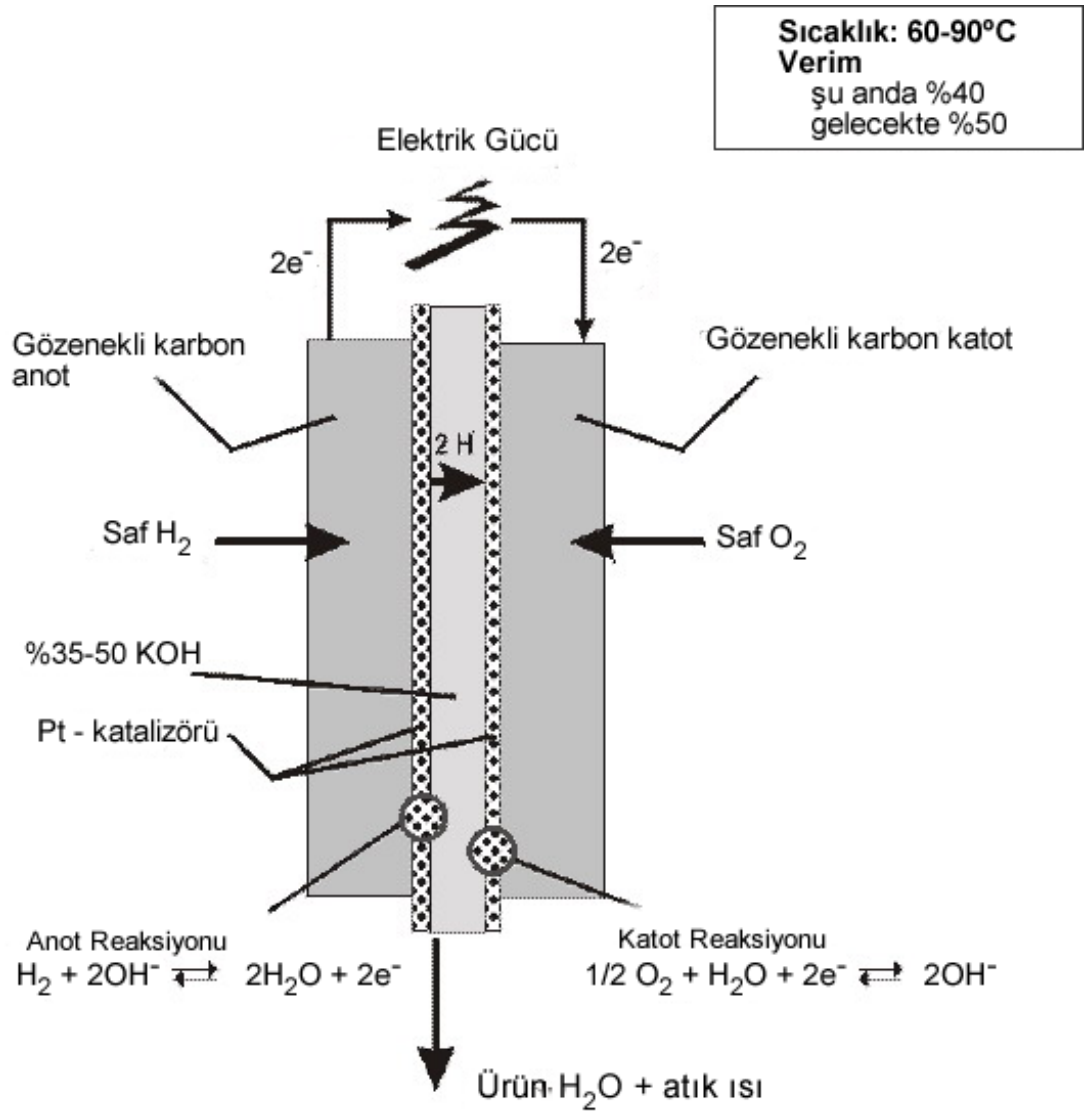
- 1- Alkali yakıt hücresi (AFC)
- 2- Fosforik asitli yakıt hücresi (PAFC)
- 3- Katı oksitli yakıt hücresi (SOFC)
- 4- Proton değiştirici membran yakıt hücresi (PEMFC)
- 5- Eriyik karbonatlı yakıt hücresi (MCFC)

Alkali yakıt hücresi (AFC)

Bu yakıt hücresinde elektrolit olarak KOH kullanılır. Alkali elektrolitlerde oksijen indirgeme kinetiği asit elektrolitlerden daha hızlıdır ve soy metal olmayan elektro katalizörlerin kullanılabilmesi AFC'yi ekonomik yapmaktadır. Ancak elektrolitin CO₂ gibi asidik safsızlıkların ortamda bulunmasına izin vermemesi, emisyon oranından dolayı sorun yaratır [2].

Alkali sistemler oda sıcaklığında çok iyi çalışır ve diğer tüm yakıt sistemleri arasında en yüksek voltaj verimine sahiptirler. Ayrıca birçok malzeme ile iyi uyum sağlayabildiğinden AFC'ler uzun işletim ömrüne sahiptir [2].

AFC'ler güvenilir sistemlerdir ve küçük hacimde nispeten yüksek güçler elde edebilmektedirler. Güç yoğunlukları 100 - 200 mW/cm² arasında değişmektedir. Maliyetler ise ulaştırma sektörü için 50 - 100 \$/kW değerlerine ulaştırılmaya çalışılmaktadır [2].



Şekil 2.1. Alkali yakıt pilinin şematik gösterimi [2]

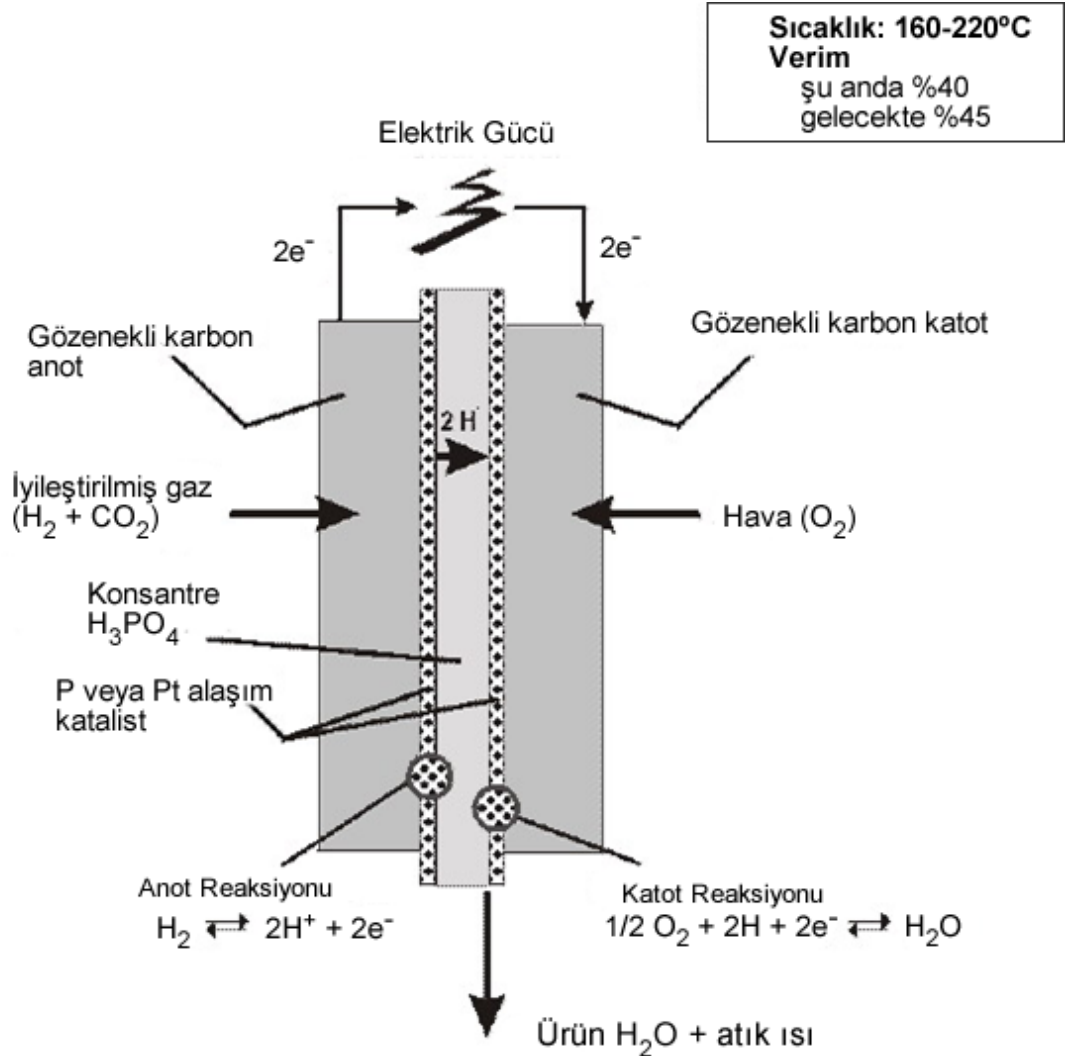
Fosforik asit yakıt hücresi (PAFC)

Elektrolitik olarak fosforik asidin kullanıldığı bu yakıt pilinde bağıl olarak temiz yakıtlar (doğalgaz, LPG gibi) veya gazlaştırıcıdan alınan temizlenmiş kömür gazı kullanılır. Pazara en yakın iki uygulama üzerinde durulmaktadır. Bunlar güç santralleri ve kojenerasyon üniteleridir. PAFC'inde soy metal elektro katalizör kullanmak gerekmektedir. Bu dezavantajına rağmen fosforik asit bir elektrolit olarak mükemmel ısıl, kimyasal ve elektrokimyasal kararlılık gibi

avantajlar sağlamaktadır. Ayrıca PAFC'ler atık ısıdan yararlanabilme açısından çok avantajlıdır [2].

PAFC sistemleri yeryüzündeki uygulamalarda en çok gelişme gösteren sistemlerdir. Çoğunlukla apartmanlar, alışveriş merkezleri gibi yerlerde elektrik üretmek amacıyla kullanılmaktadırlar. PAFC'ler 250 W'dan 200 kW'a kadar, 24 V'luk elektrik jeneratörü şeklinde ticari olarak piyasaya sunulma aşamasındadır. Yakıt olarak doğalgaz kullanan 200 kW'lık bir PAFC sisteminde yatırım maliyeti 287 \$/kW'dır [2].

PAFC'ler sabit bir çıkış seviyesinde en iyi verimde çalışabilmektedirler. Hibrit bir sistem ile ivmelenmenin gerektirdiği yüksek güç gereksiniminin başka araçlarla karşılanması durumunda daha iyi performans göstermektedir. PAFC'lerin en güzel uygulamaları ağır yük taşıtları ya da lokomotiflerde olacaktır [2].

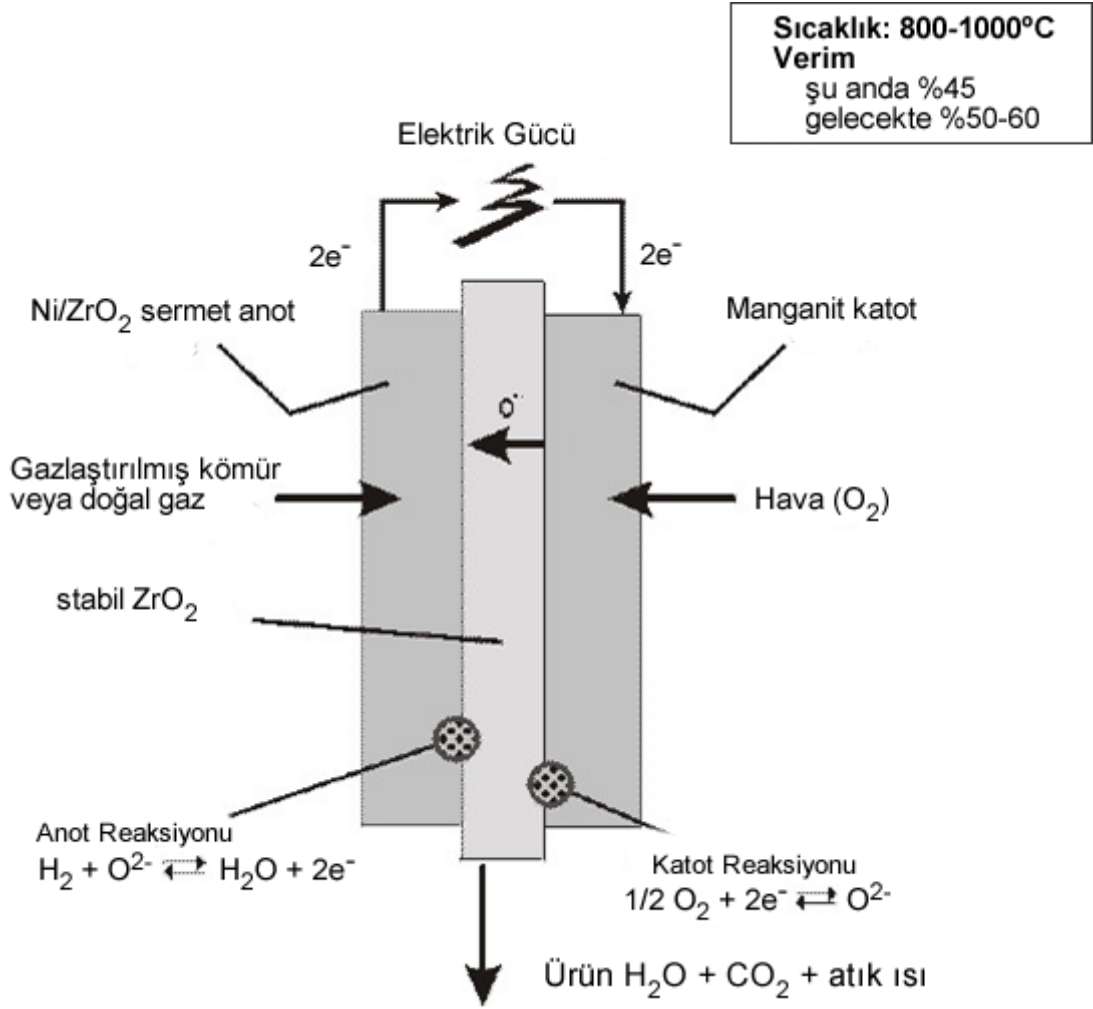


Şekil 2.2. Fosforik asit yakıt hücresi şematik gösterimi [2]

Katı oksitli yakıt hücresi (SOFC)

SOFC'ler katı haldeki yakıt pilleridir. Hücre malzemelerinin çoğu özel seramik ve nikelten oluşmaktadır. Çalışma sıcaklığı 1 000 °C civarındadır. Yakıt olarak CO ile birleşmiş halde hidrojen kullanılmaktadır ve reaksiyon ürünü olarak da su buharı ve CO₂ çıkmaktadır.

SOFC'ler kojenerasyon ünitesi olarak hem elektrik hem de ısının kullanılabilceği yerlerdir. Böylece toplam sistem verimi %50 - 55 mertebesine ulaşabilmektedir. Şu anda hesaplanan yatırım maliyetleri 1 500 \$/kW mertebesindedir [2].



Şekil 2.3. Katı oksitli yakıt pili şematik gösterimi [2]

Proton değişim membran yakıt hücresi (PEMFC)

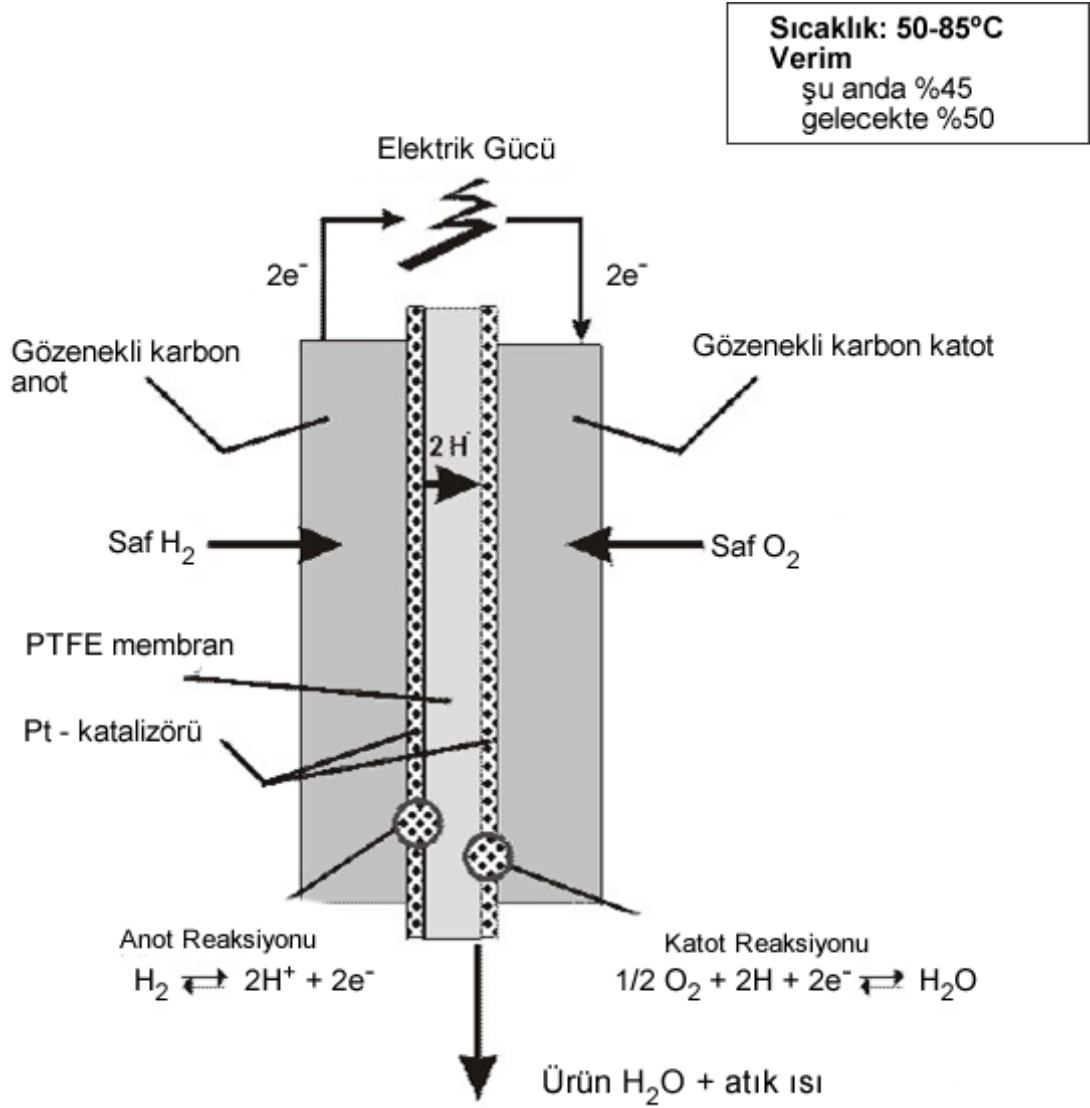
PEMFC'ler 1960'ların başında General Electric tarafından icat edilmiştir. Katı polimer elektrolitli yakıt hücresi olarak da adlandırılır. Bu tip yakıt hücrelerinde proton (hidrojen iyonu) geçirebilen membranlar kullanılmaktadır.

PEM yakıt hücresi, platin ile kaplanmış iki elektrotun arasına preslenmiş proton ileten bir membrandan oluşur. Buradaki membran anottan katoda doğru hidrojen iyonlarının taşınmasını sağlar. Bipolar tabaklar üzerinde bulunan gaz difüzyon kanalcıkları mevcuttur. Bu kanallar elektrik akımını toplama görevini de üstlenir. PEM'lerin çalışma sıcaklığı 80 - 90 °C gibi çok

düşük sıcaklıklarda ve çalışma basınçları da 1 - 8 atm basınç arasındadır. Bu tip yakıt hücreleri belli bir nem oranında hidrojen ve oksijen ile çalışabilmektedir [2].

PEM'ler 350 mW/cm^2 gibi yüksek bir güç yoğunluğuna sahiptir ve şu anda ticari olarak 100-500 W güç aralığında elde edilebilir durumdadırlar. Yatırım maliyetleri de 5 000 - 13 000 \$ arasında değişmektedir. Membran ve katalizör maliyetlerindeki düşüş ile ve seri üretime geçilmesi durumunda bu maliyetler 10 - 20 kat aşağıya inebilecektir [2].

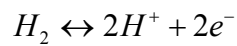
Yüksek güç yoğunluğu, hızlı ve çabuk marş yapabilme ve değişken güç çıkışına uygun olması PEM'lerin ulaşım alanında kullanılabilmesini uygun kılmaktadır [2].



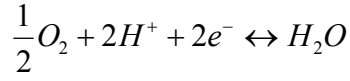
Şekil 2.4. Proton Değişim Membranlı yakıt pili şematik gösterimi [2]

Yakıt hücresi çalışma mekanizması suyun elektrolizinin tam tersidir. Yakıt hücresi için reaksiyon formülü şu şekildedir:

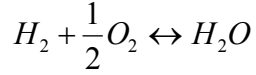
Anotta;



Katotta;



Toplam Reaksiyon;

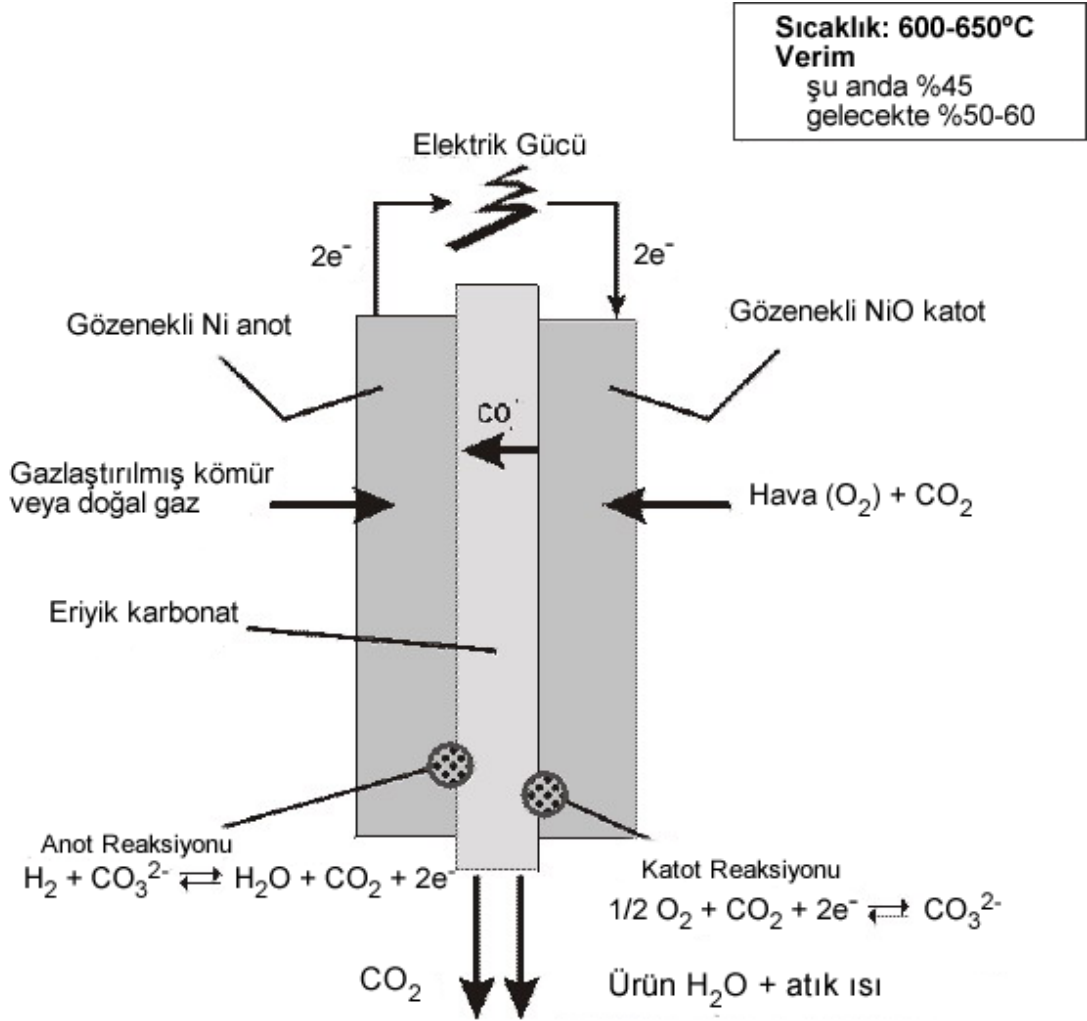


Bu reaksiyon sonucunda elektrik, su ve bir miktar ısı açığa çıkar. Açığa çıkan bu ısı miktarı evsel veya herhangi bir uygulama için kullanılarak yakıt hücresinden elde edilen toplam verim arttırılabilir.

Eriyik karbonatlı yakıt hücresi (MCFC)

MCFC'ler 600 - 650 °C sıcaklıkta çalışır ve son dönemlerde geliştirilen ikinci jenerasyon yakıt pillerindedir. Anotta CO₂'ce zengin gaz ürün ve H₂O üretimi sağlanır, CO₂ katota giren hava ile karıştırılmak üzere gönderilir.

MCFC işletim sıcaklığı yüksek olması nedeniyle değerli atık ısı, proses ısı ve kojenerasyon amaçlı olarak kullanılabilir. En önemli avantajları hücre içindeki kendi atık ısı desülfürizasyondan geçmiş metanın anot odasında hidrojene dönüştürülmesi için doğrudan kullanılabilmektedir. MCFC'ler için hedeflenen yatırım maliyeti 1 000 \$/kW seviyesindedir [2].



Şekil 2.5. Eriyik karbonatlı yakıt pili şematik gösterimi [2]

Yakıt hücrelerinin karşılaştırılması

Yakıt hücreleri ürettikleri ısı, kullandıkları elektrolit, ürettikleri güç gibi verilerle karşılaştırılabilirler. Aşağıdaki çizelgede yukarıda anlatılan 5 adet yakıt pilinin özellikleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 2.1. Yakıt hücresi çeşitleri ve özellikleri

Parametre	Alkali Yakıt hücresi	Fosforik Asit Yakıt hücresi	Katı Oksit Yakıt hücresi	Erimiş Karbonatlı Yakıt hücresi	Proton Değiştirici Membranlı Yakıt hücresi
Çalışma sıcaklığı (°C)	80 – 250	150 – 220	650 – 1000	600 – 700	50 – 120
Platin Kullanımı	Yok	Var	Yok	Yok	Var
Güç Yoğunluğu (W/Kg)	35 – 105	120 – 180	15 – 20	30 – 40	350 – 1500
Verim (%)	42 – 73	40 – 47	45 – 50	50 – 57	40 – 60
Atık Isı Kullanımı	Yok	Sınırlı	Var	Var	Yok
Yakıt Kaynağı	Saf H ₂	İşlenmiş Metanol, Doğal Gaz	Doğal Gaz	Doğal Gaz	İşlenmiş Metanol, Doğal Gaz

2.2. Bipolar Tabakalar

Bipolar tabakalar yakıt hücresinin iki yanında duran iletken tabaklardır ve yığın sistemde bir sonraki hücre için anot ve katot görevi görürler. Bipolar tabakalar metal, karbon veya iletken polimer kompozit (genellikle karbon katkılı) malzemelerden üretilir.

2.2.1. Bipolar tabakaların özellikleri

Bipolar tabakaların yakıt hücresinde birçok görevi vardır:

- Hücreler arasındaki gazların (reaksiyon gazları ve çıkan suyun) ayrımını sağlar.
- Anot ve katot arasında iletken bir alan oluşturur.
- Reaksiyona girecek gazlar için akış alanı mevcuttur.

- Hücreyi sağlam tutacak yapıdadır.
- Isının hücreden uzaklaştırılmasını sağlar.
- Yüksek elektrik iletkenliği vardır.
- Korozyona dayanıklıdır.
- Yüksek miktarda üretime uygundur.
- Gaz akış kanalları gazın etkin ve homojen dağılımı sağlar.

Bipolar tabakaların önemi

Bipolar tabakalar,

- Yakıt hücresinin ağırlığının %80'i
- Yakıt hücresinin maliyetinin %45'u
- Yakıt hücresinin performansının %35'ini sağlar.

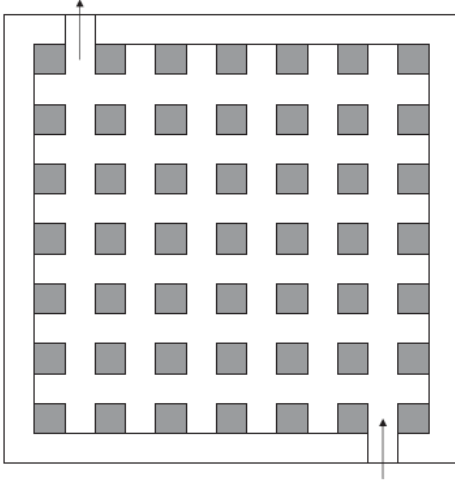
2.2.2. Gaz difüzyon kanalları

Bipolar tabakalarda en çok kullanılan gaz difüzyon kanalı tipleri şunlardır:

- İğne tipi akış kanalı
- Düz-paralel akış kanalı
- Serpentin akış kanalı
- Birleştirilmiş akış kanalı
- Metalden yapılan akış kanalı
- İç içe geçmiş akış kanalı

İğne tipi akış kanalı

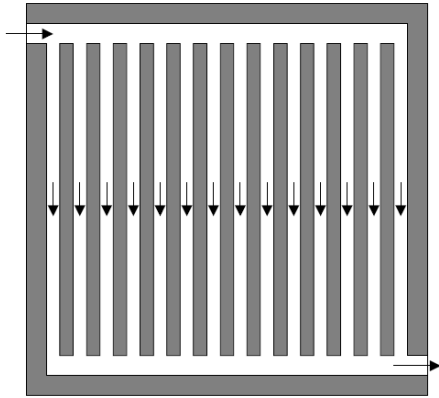
Bu tip kanal yapısında katot ve anot tabaka üzerinde dairesel veya kare iğne yapıları vardır. Reaksiyona girecek olan gazlar aslında seri-paralel bağlı bir ağ oluşturan iğneler arasından akar. Bu tip yapıda düşük basınç düşüşü söz konusudur. Burada gazlar düşük bir direnç altında akarlar.



Şekil 2.6. İğne tipi akış kanalı [3]

Ancak bu yapının en büyük dezavantajları su gideriminin zor olması, gaz dağılımının eşit olmaması ve buna bağlı olarak performansın düşmesidir [3].

Düz-paralel akış kanalı

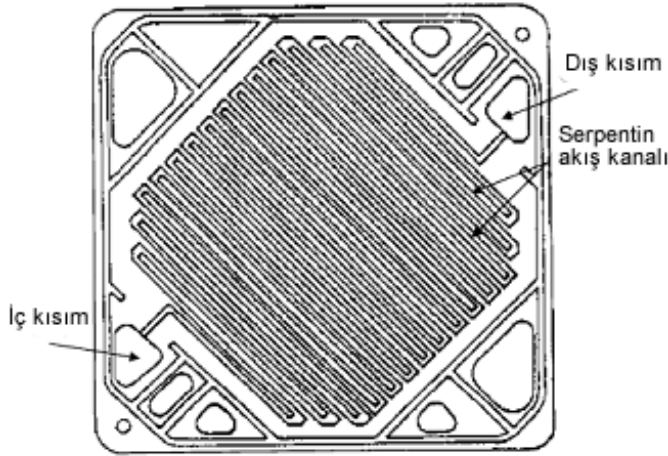


Şekil 2.7. Düz-paralel akış kanalı [3]

Bu yapıdaki kanal tipi uzun süreli kullanımda düşük ve kararlı olmayan akım elde edilmesine sebep olur. Gaz en düşük dirence sahip yerden akar ve su damlaları düzensiz şekilde elde edilir. Gaz dağılımı su giderim sorununa da bağlı olarak düşüktür.

Gazın en kısa yoldan akması sebebiyle düşük basınç düşüşü söz konusudur. Gazın en az dirençli yolu seçerek yön değiştirmesi parçalar üzerinde zararlı etkiye sahiptir [3].

Serpentin akış kanalı



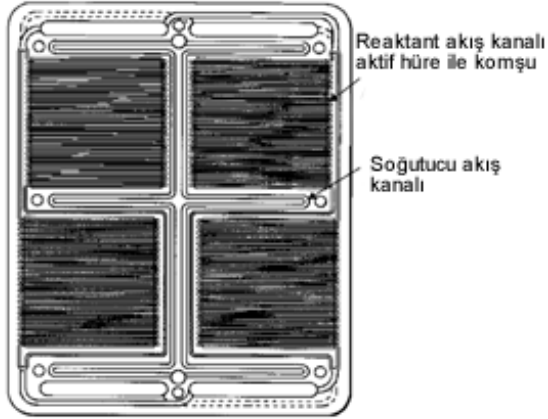
Şekil 2.8. Serpentin akış kanalı [3]

Su taşmasını önlemek için sürekli tek yönlü akış tipi tercih edilmiştir. Bu akış ile sürekli olarak aktif katman üzerinden akış olacağı için durgun akış engellenmiştir.

Uzun akış yolu sebebiyle giriş ve çıkış arasında konsantrasyon dağılımı oluşumu gözlenmiştir. Basınç düşüşünün yüksek olması gaz fazında ayrılacak olan suyun miktarının artmasını sağlamaktadır [3].

Birleştirilmiş akış kanalı

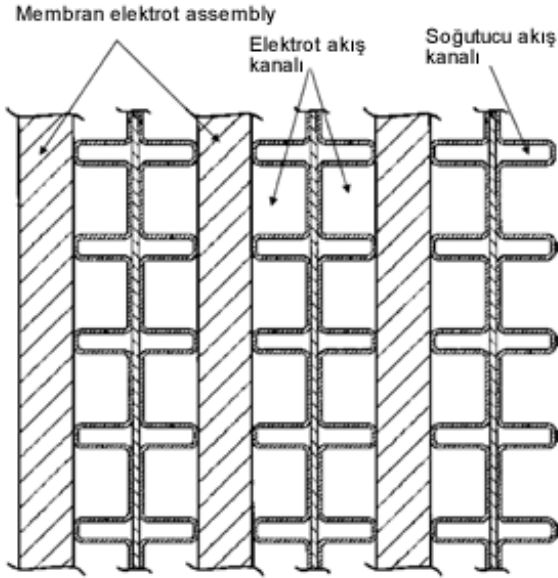
Soğutucu akışkanın aktığı alan ve gazın aktığı alan aynı bölümde birleştirilmiştir. Gaz akış alanı MEA'nın aktif alanlarına denk gelirken, soğutucu akış kanalı ise aktif alan çevresindedir.



Şekil 2.9. Birleştirilmiş akış kanalı [3]

Bu şekilde ek bir soğutucu cihazına gerek duyulmasına engel olunurken, yakıt hücresi yüzeyi boyunca eşit bir sıcaklık dağılımı gözlenmesine de engel olunmaktadır [3].

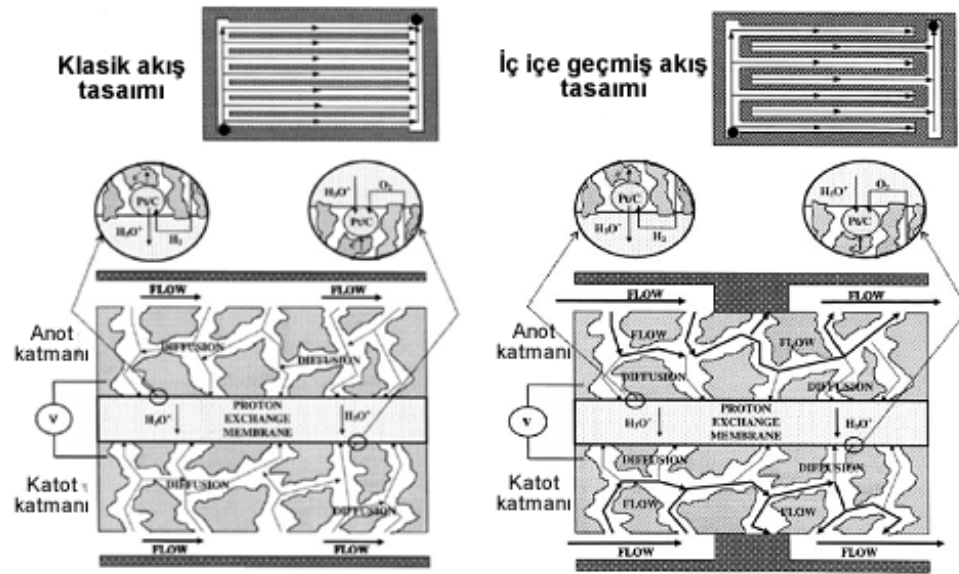
Metalden yapılan akış kanalı



Şekil 2.10. Metalden yapılan akış kanalı [3]

Grafit kompozit katmanlar yerine tercih edilebilen bir yapıdır. Metalin istenen akış şekline göre şekillendirilmesini temel alır. Soğutucu akışkan içten akarken, gaz dıştan akmaktadır [3].

İç içe geçmiş akış kanalı



Şekil 2.11. Sıradan kanal ve iç içe geçmiş kanal karşılaştırması [3]

Klasik tasarımda destek katmanda haps kalan suyun giderilmesi zordur. Bu yöntemde ise gazın destek katmana geçmesi ve destek katmandaki suyun dışarı alınması zorla/baskıyla yapılmaktadır.

Yüksek basınç altında yüksek verim elde edilmektedir. Yüksek basınç düşmesi ve zorlamalı akış bu sistemin en belirgin özellikleridir. Bu sebeple de büyük ebatlı yakıt hücrelerinde kullanımı tercih edilmez [3].

2.2.3. Bipolar kompozit malzeme üretim şekilleri

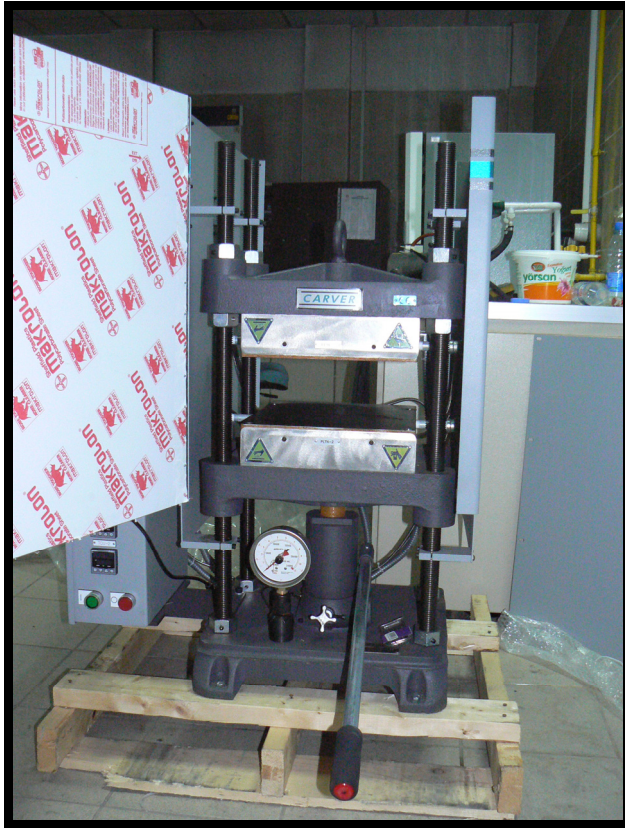
Bipolar kompozit malzemelerin üretiminde iki yöntem öne çıkmaktadır. Bu yöntemler aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

- Sıcak Pres
- Enjeksiyonlar Kalıplama

Sıcak presle kalıplama

Kompozit oluşturacak olan malzemeler öncelikli olarak ergitme ile ön karıştırmaya tabi tutulur. Söz konusu kompozit oluşturulurken matris malzemenin çözücü içerisinde çözümler karıştırılması da mümkündür. Karışım işlemi gerçekleştirildikten sonra malzemenin şeklini alabilmesi amacıyla uygun formdaki kalıba dökümü gerçekleştirilir.

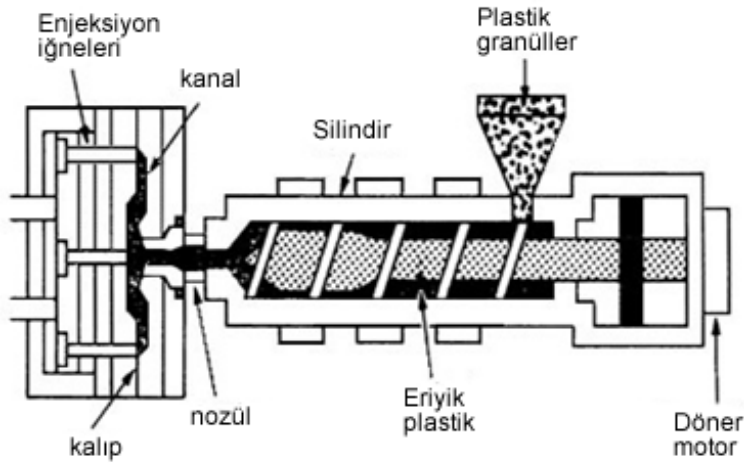
Kalıp içerisindeki malzeme sıcak pres içerisinde yüksek sıcaklıkta eriyik fazda kalarak kalıbın şeklini alır. Presleme işleminin tamamlanması neticesinde istenen kalıp elde edilmiş olur.



Resim 2.1. Sıkıştırma ile kalıplama için kullanılan sıcak presin görüntüsü

Enjeksiyonla kalıplama

Kompozit oluşturulacak olan malzemeler sonsuz vidalı bir ekstrüzyon cihazına beslenir. Malzemenin yapısına göre sıcaklık ve zaman ayarlanır ve malzemenin ekstrüzyon cihazı içerisinde sonsuz vida yardımı ile homojen karışımı sağlanır. Homojen karışım elde edilen malzeme ekstrüzyon cihazının ucunda bulunan kalıp içerisinde enjekte edilerek kalıplama işlemi gerçekleştirilir.



Şekil 2.12. Enjeksiyonla Kalıplama sisteminin çizimi

3. KOMPOZİT MALZEMELER

İki ya da daha fazla sayıdaki, aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemede toplamak amacıyla, makro düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemeler kompozit malzeme olarak adlandırılırlar [4].

Kompozit malzemeler çoğunlukla, matris ve takviye elemanı olmak üzere iki bileşenden meydana gelmektedir.

Matris; takviye elemanlarını bir arada tutan, takviye elemanları arasında gerilim aktarımını sağlayarak mekanik yapının oluşumunu dolaylı olarak etkileyen ve takviye elemanlarını fiziksel ve kimyasal dış etkilerden koruyarak kompozit yapının bir sistem olarak ortaya çıkmasını sağlayan ana yapıdır. Matrislere örnek olarak polimer, seramik ve metaller verilebilir. Takviye elemanları; elyaf, tabaka ve pul gibi ana yapının içerisine gömülen bileşenlerdir. Bunların temel fonksiyonu gelen yükü taşımak ve matrisin rijitlik ve dayanımını arttırmaktır [4].

3.1. Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Kompozit malzeme ile aşağıdaki bazı özellikler sağlanabilmektedir [4]:

- Yüksek dayanım
- Yüksek rijitlik
- Yüksek yorulma dayanımı
- Mükemmel aşınma direnci
- Yüksek sıcaklık kapasitesi
- İyi korozyon direnci
- İyi ısı iletkenliği
- Düşük ağırlık
- Çekicilik ve estetik görünüm

Bütün bu özellikler aynı zamanda oluşmaz ve herhangi bir uygulama için böyle bir gereksinime ihtiyaç da yoktur. Ayrıca yukarıda belirtilen bu özellikler için gerekli şartlar, uygun matrisi ve takviye eleman çifti, üretim tekniği, optimizasyonu, bileşenlerin dayanım özellikleri ve diğer faktörler göz önüne alınarak üretim yapılırsa istenilen özelliği elde etmek mümkündür. Uygun matris/takviye elemanı seçiminin, sistemin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine etkisi büyüktür. Çünkü kompozit içerisinde matrisler tarafından yükün takviye elemanına iletilmesinde matris ile takviye elemanı arasındaki ara yüzey bağının da kuvvetli olması gerekmektedir. Ara yüzey bağının kuvvetli olması ise bileşenlerin uyumuna ve matrisin ıslatabilirlik özelliğine bağlıdır.

Bunun yanında üretim tekniği seçimi dışında takviye elemanlarının matris içerisinde homojen dağılımının da matris alaşımı ve takviye elemanı çiftlerinin uygun seçimine bağlıdır. Kompozitler karma malzeme olduklarından bu şartları sağlamak ve elde etmek için en iyi matris ve elyaf çifti seçilmelidir [4].

Kompozit malzemelerinin bu avantajlarının yanında bazı dezavantajları da mevcut olup bunlar da;

- Üretimin güçlüğü,
- Pahalı olması,
- İşlenmesinin güç olması yanında maliyetin yüksek oluşu ve gerekli yüzey kalitesinin elde edilemeyişi,
- Diğer malzemeler gibi geri dönüşümünün olmayışı,
- Kopma uzamasının az oluşu gibi faktörler şeklinde sayılabilir.

3.2. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Kompozit malzemelerin başlıca kullanım alanları ve bu alanlarda sağlanan avantajlar şu şekilde sıralanabilir:

Şehircilik

Bu alanda kompozitler, toplu konut yapımında, çevre güzelleştirme çalışmalarında (heykel, banklar, elektrik direkleri v.s.) kullanılmaktadır. Üreticinin çok sayıda standart ürünü kısa zamanda imal edebilmesi, montajdan tasarruf ve ucuz maliyet imkanları, kullanıcıya da yüksek izolasyon kapasitesi, hafiflik ve yüksek mekanik dayanım imkanları sağlamaktadır [8].

Ev Aletleri

Masa, sandalye, televizyon kabinleri, dikiş makinesi parçaları, saç kurutma makinesi gibi çok kullanılan ev aletlerinde ve dekoratif ev eşyalarında kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Bu şekilde komple ve karışık parça üretimi, montaj kolaylığı, elektriksel etkilerden korunum ve hafiflik gibi avantajlar sağlamaktadır [8].

İş Makineleri

İş makinelerinin kapakları ve çalışma kabinleri yapımında da kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Bu şekilde üretimde kullanılan parça sayısı azaltılabilmekte, tek parça üretim mümkün olmaktadır. Ayrıca elektrik izolasyon malzemelerinden de tasarruf sağlanmaktadır [8].

Havacılık Sanayi

Havacılık sanayisinde kompozitler, gün geçtikçe daha geniş bir uygulama alanına sahip olmaktadır. Planör gövdesi, uçak modelleri, uçak gövde ve iç dekorasyonu, helikopter parçaları ve uzay araçlarında başarıyla kullanılmaktadır. Daha hafif malzemeyle atmosfer şartlarına dayanım ve yüksek mukavemet sağlanmaktadır [8].

Otomotiv Sanayi

Bu alanda kompozitlerden oluşan başlıca ürünler; otomobil kaportası parçaları, iç donanımı, bazı motor parçaları, tamponlar ve oto lastikleridir [8].

Elektrik ve Elektronik Sanayi

Kompozitler, başta elektriksel izolasyon olmak üzere her tür elektrik ve elektronik malzemenin yapımında kullanılmaktadır [8].

İnşaat Sektörü

Cephe korumaları, tatil evleri, büfeler, otobüs durakları, soğuk hava depoları, inşaat kalıpları birer kompozit malzeme uygulamalarıdır. Tasarım esnek ve kolay olmakta, nakliye ve montajda büyük avantajlar sağlamaktadır. İzolasyon problemi çözülmekte ve bakım giderleri azalmaktadır [8].

Tarım Sektörü

Seralar, tahıl toplama siloları, su boruları ve sulama kanalları yapımında kompozitler özel bir öneme sahiptirler. Kompozit malzemelerden yapılan bu örnekler istenirse ışık geçirgenliği, tabiat şartlarına ve korozyona dayanıklılık, düşük yatırım ve kolay montaj gibi avantajlar sağlamaktadır [8].

3.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler yapılarını oluşturan malzemeler ve yapım metotlarına göre iki ayrı şekilde sınıflandırılmıştır.

3.3.1. Yapılarını oluşturan malzemelere göre kompozitler

Fiber ve matris olarak kullanılabilen malzemeler amaca uygun olarak çok çeşitli olabilmektedirler. Fakat genellikle cam, seramik, plastik ve metaller kullanılmaktadır.

Plastik - plastik kompozitler

Fiber olarak kullanılan plastik yük taşıyıcı bir özelliğe sahip iken, matris olarak kullanılan plastik esneklik verici, darbe emici ya da istenen amaca göre kullanılan plastiğin özelliğine sahip olmaktadır. Kullanılabilecek plastik türleri de iki ayrı grupta incelenebilir:

Termoplastikler

Bu tür plastikler ısıtıldığında yumuşar ve şekillendirildikten sonra soğutulduğunda sertleşir. Bu işlem sırasında plastiğin mikro yapısında bir değişiklik olmaz. Genellikle 5-50 °C arasında kullanılabilirler. Bu gruba giren plastikler naylon, polietilen, polistren, karbonflorür akrilikler, selülozikler, viniller sayılabilir.

Termoset plastikler

Bu tür plastikler ise ısıtılıp şekillendirildikten sonra soğutulduklarında artık mikro yapıda oluşan değişim nedeniyle eski yapıya dönüşüm mümkün olmamaktadır. Bu grubun belli başlı plastikleri ise polyesterler, epoksiler, alkitler, aminler olarak verilebilir [8].

Plastik – cam elyaf kompozitler

İsteğe göre termoplastikler veya termoset plastikten oluşan matris ve cam liflerin uygun kompozisyonundan üretilmektedir. Mekanik ve fiziksel özellikleri

nedeniyle cam lifler birçok durumda metal, asbest, sentetik elyaf ve pamuk ipliği gibi liflere tercih edilebilirler. Ancak cam elyafı kompozitler, büyük kuvvetleri iletmelerine rağmen camın kırılma olmasından dolayı çok düşük dirençlidirler.

Bu tür malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, kullanılan plastik reçineler uygun seçilerek arzu edilen şekle sokulabilir. Plastik reçineler de termoplastik ve termoset türünde olmaktadır. Termoset plastikler, fiberlerinde düzgün yönelmesi ile yüksek mukavemete ulaşabilirler. Cam elyaf takviyeleri ile en çok kullanılan plastik reçineler, polyesterlerdir. Polyesterlerinde bu amaçla kullanılan birçok türü mevcuttur [8].

Plastik – metal fiber kompozitler

Endüstride çok kullanılan metal fiber takviyeli plastikten oluşan kompozitler oldukça hafif ve mukavim bir ürün olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kompozitler, metal fiberlerin (bakır, bronz, alüminyum, çelik vb.), polietilen ve polipropilen plastiklerini takviyelendirmesi amacı ile elde edilmekte ve kullanılmaktadır. Özellikle deformasyon yönünden takviyelendirme yaygın olarak kullanılmakta ve iyi bir verim alınmaktadır [8].

Plastik – köpük kompozitler

Bu tür kompozitlerde plastik, fiber olarak görev yapmakta; Köpük ise matris, reçine konumunda olmaktadır. Köpükler, hücreli yapıya sahip, düşük yoğunlukta, gözenekli ve doğal halde bulunduğu gibi, büyük kısmı sentetik olarak elde edilmiş hafif maddelerdir. Köpük, hücre yapısına göre sert, kırılma, yumuşak ya da elastik olabilmektedir. Matris olarak kullanılan bu köpük türleri, kullanılan plastiğin çeşitlenebilmesiyle değişik özellikte kompozitlerin oluşumunu sağlar [8].

Metal matrisli kompozitler

Metallerin ve metal alaşımlarının birçoğu yüksek sıcaklıkta bazı özellikleri sağlamalarına rağmen kırılğan olmaktadır. Fakat metalik fiberler ile takviye edilmiş metal matrisli kompozitler her iki fazın uyumlu çalışması ile yüksek sıcaklıkta da yüksek mukavemet özelliklerini vermektedir.

Bakır ve alüminyum matrisli, Wolfram ve Molibden fiberli kompozitler ve Al-Cu kompoziti bize bu kompozisyonu en iyi veren örneklerdir. Bu tip kompozitler, matrisin özelliklerini iyileştirdiği gibi bu özelliklere daha ekonomik ulaşılmasını sağlar. Fiberlerin malzemeyi kuvvetlendirme derecesi, yüzeysel boşlukların olmayışına bağlıdır. Böylece teorik duruma yaklaşılabılır. Fiberlerin çaplarına ve matrisle olan adezyon kuvvetinin niteliğine bağlı olarak belli bir kritik uzunluktan daha kısa olmalıdır. Bu kompozitlerde metal matris içine gömülen ikinci faz, sürekli lifler şeklinde olabildiği gibi gelişi güzel olarak dağıtılmış küçük parçalar halinde de olabilmektedir [8].

Seramik kompozitler

Metal veya metal olmayan malzemelerin bileşiminden oluşan seramik kompozitler, yüksek sıcaklıklara karşı çok iyi dayanım göstermekle birlikte rijit ve gevrek bir yapıya sahiptirler. Ayrıca elektriksel olarak çok iyi bir yalıtkanlık özelliği gösterirler. Üç ayrı grupta toplanan seramik kompozitler şu şekilde sıralanabilir:

- *Seramik-Seramik Sistemi:* İki seramik fazın karışmasından oluşmaktadır. Örnek olarak saf çini verilebilir.
- *Seramik-Cam Sistemi:* Yaşamımızın her alanında kullanılan porselen, bir seramik cam kompozitidir. Kuartz fiberlerin bir cam matris içersine çini ile birlikte hamurlanıp yerleştirilmesiyle oluşmuştur.
- *Seramik-Metal Sistemi:* Bu tür kompozitler, çok fazlı bir yapıya sahiptirler.

Bir metal faz, bir seramik faz, bir gözenek fazı ve daha çok karmaşık formlarda seramik ve metalin ilave fazlarından meydana gelmiştir. Endüstride kullanılan ve elmas olarak adlandırılan kesme aletleri en iyi örneklerdir. Bir kobalt matris içine dağılmış tungsten karpit parçalarından oluşan bu kompozit malzeme büyük bir dayanım sağlamaktadır [8].

3.3.2. Yapım şekillerine göre kompozitler

Karışık malzeme ve sinterleme

Endüstride kullanılan çok çeşitli karışık kompozit malzeme vardır. İnce bir kalıp kumun bir plastik malzeme ile bağlanması ve plastiğin yüksek sıcaklıkta polimerize olmasından yararlanılarak dökümcülükte kullanılan kalıp malzemeleri ortaya çıkmıştır. Zımpara taşı taneleri de cam ve reçine tarafından bağlanarak zımparalar oluşturulmuştur [8].

Karışık malzemelerin birleştirilmesinde bir başka yöntem de sinterlemedir. Sinterleme, küçük parçaları (çoğu kez metalleri) yüksek sıcaklıkta, basınç altında birbirine bağlama ile gerçekleşir. Sinterleme olması için ya bir sıvı faz meydana gelmeli ya da katı halde yayınma ile parçaların arasında bir bağ oluşmalıdır.

Sıvı fazlı sinterlemede bağlayıcı metal erir ve karbür taneleri arasında sürekli bir faz oluşur. Fakat sinterlemeden sonra kristalleşir, kuvvetli ve rijit bir yapı meydana getirir. Küçük parçaları birbirine bağlamada reçine kullanıldığı zaman aynı şekilde tanelerin yüzeyini kaplaması gerekir. Kristalleşme yerine, reçine polimerize olur ve akışkanlığını kaybederek kuvvetli bir bağ yapar. En çok kullanılan sinter metodu, cam sinterlemesi adı da verilen silisli malzemenin pişirilmesidir. Tuğla, porselen, buji veya benzer silisli maddeler bu yöntemle elde edilir. Bir miktar sıvı, solidus sıcaklığının üzerine kadar ısıtılır. Meydana gelen bu silikat sıvı bir camdır ve kristalleşmeden oda

sıcaklığına kadar soğutulur. Kristalleşmeyen bu bağın viskozitesi çok yüksektir. Sonuçta çok sert ve kuvvetli bir bağ oluşur [8].

Katı sinterlemede ise, gereken yayınmanın çabuk olması için solidus sıcaklığının biraz altında olması istenir. Birçok toz metal parça ve dielektrik seramik malzeme katı sinterleme ile yapılır. Ayrıca volfram ve kolumbiyum gibi refrakter metaller bu malzemeleri içinde ergitecek potaların ve kalıpların pratik olarak mümkün olmamasından dolayı katı sinterleme ile şekillendirilir [8].

Sinterlemeden önce parçacıklar arasında iki yüzey vardır. Yüzeydeki atomların yalnız bir taraflarında atom olduğu için yüzeyler yüksek enerji yerleridir. Çünkü iki parça birbirine çok yakın görünse bile aralarındaki açıklık birçok atom alacak kadar geniştir ve atomlar arası çekim kuvveti buralarda çok zayıftır. Ancak sinterleme işleminde, yüksek sıcaklıkta yeterli zaman verilirse atomlar yayınma ile hareket eder ve parçalar arasındaki noktalara genişlerler. Bu şekilde iki ayrı yüzey yerine iki parça arasında ortak bir yüzey meydana getirirler. Oluşan ortak yüzeyde atomların yakın komşuları olduğundan, önceki yüzeylerin her ikisinden de alçak enerjide olurlar [8].

Yüzey kaplamaları

Birçok uygulamada aşınmaya dayanıklı, çok sert yüzeyi olan malzeme aranır. Böyle bir yüzey elde etmenin yolu metal yüzeylerini aşınmaya dayanıklı bir malzeme ile kaplamaktır. Metal üzerine bir tabak şeklinde bağlanmış boya veya seramik yüzey kaplama bir kompozit malzeme oluşturur [8].

Kaplamanın ana malzemeye yapışabilmesi için yüzey tabakası ile yüzey altı malzeme arasında bir süreklilik olmalıdır. Her iki malzeme birbirine benzer özellik taşıyorsa bağlar da, mikro yapı içerisindeki bağlar gibi olur. Galvaniz kaplama, bu şekilde çelik malzemeye yapışır. Kaplama ile alttaki malzeme birbirine benzemeyen yapıya sahiptirler, genel olarak astar tabaka

kullanılır. Örnek olarak boyanın cam üzerine iyi yapışması için öncelikle cam üzerine silikon yayılır. Çünkü silikonun yapısal özellikleri hem cama hem de boya taşıyıcılarına benzemektedir. Yüzey kaplamada kullanılan bir diğer yöntem ise alaşım elementlerinin dışarıdan yüzey tabakasına yayılması ile yapılır [8].

Lif takviyesi

Malzeme mekanik özelliklerini yükseltmek için malzeme yapısı içine çok sert ve ince fazların serpilmesi yöntemidir. Bu tür kompozitler ana fazdan beklenen bazı özelliklerin elde edilmesi ya da geliştirilmesi amacıyla üretilirler. Ana faz (matris), ikincil fazlarla (fiber) belirli doğrultularda takviyelendirilir. Böylece mukavemet, korozyon ve aşınma direnci, ısı izolasyonu, rijitlik ve ağırlık gibi özelliklerde daha verimli hale getirilir. Örnek olarak, saf alüminyum çekme mukavemeti $1\ 000\ \text{kg/cm}^2$ kadarken, alüminyum alaşımındaki $4\ 000\ \text{kg/cm}^2$ 'den fazladır. Aynı şekilde ferritin çekme mukavemeti $2\ 800\ \text{kg/cm}^2$ olduğu halde ferrit içine serpilmiş çok ince karbür tanelerinin oluşturduğu karışım $14\ 000\ \text{kg/cm}^2$ 'lik bir çekme mukavemetine sahiptir [8].

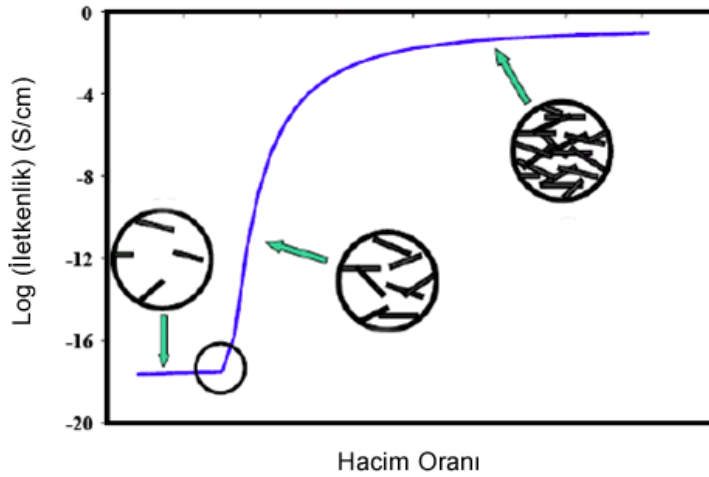
Bu arada cam takviyeli plastik, kord beziyle takviyeli otomobil lastiği ve demir ile takviyeli betondan söz edilebilir. Bu tür kompozitlerde hem fiber hem de matris malzeme yeterince büyük olduklarından, her birinin etkisini ayrı ayrı hesaplayıp, bu hesapları kompozit malzeme üzerinde birleştirmek gerekmektedir [8].

3.4. Perkolasyon Teorisi

İngiliz mühendis Simon Broadbent ve matematikçi John Hammersley rastgele ağlarla ilgili matematiksel bir teorem oluşturmuşlardır. Bu çalışma için küçük boşluklara sahip bir taşın suya batmış şeklini model olarak kullanmışlardır.

Yaptıkları çalışmada komsu iki boşluğun birbirlerine bağlantılı olması olasılığını “p” olarak adlandırmışlardır. Farklı boyutlardaki taşlarla denemelerini sürdürmüşlerdir. Broadbent ve Hammersley, taş suya tamamen battığında en içteki boşlukların ıslanması olasılığı ve bu olasılığın “p” ile olan bağlantısının nasıl kurulacağı sorusuna cevap aramışlardır.

Seçtikleri taşın boyutunu az miktarda artırınca, kritik bir “p” değeri olduğunu görmüşlerdir. Bu kritik değer altına az miktarda bile inilse akışta bir değişim gözlenmiştir. Bu kritik değer eşik noktasıdır ve bu eşik noktası en ideal taş boyutudur (Mathematics of Random Connections, Amsterdam, 2005).



Şekil 3.1. Kompozit malzemedeki dolgu maddesinin hacimsel oranı ile iletkenliğin değişimi. (Clingerman, M. L., “Development and Modelling of Electrically Conductive Composite Materials”, Michigan Technological University, 2001)

Perkolasyon teorisi iletken kompozit malzemelerde iki şekilde kullanılır. Bunlar en ideal film kalınlığı ve en ideal parçacık yoğunluğudur. Film kalınlığı arttıkça iletkenlik artar; ancak bir eşik değerinden sonra iletkenlik daha fazla artmaz bu eşik değerindeki film kalınlığı ideal film kalınlığıdır. Şekil 3.1’de gösterildiği üzere parçacık yoğunluğu arttıkça iletkenlik artar ve yine bir eşik değerinden sonra iletkenlik daha fazla artmamaktadır.

4. BİPOLAR KOMPOZİT TABAKANIN KARAKTERİZASYONU

4.1. Elektrik İletkenliği

Elektriksel iletkenlik kavramını açıklamadan önce Ohm Yasası bilinmelidir.

$$V = I \cdot R \quad (4.1)$$

R dirençli bir cismin uçları arasında V voltajı uygulanmış ise, o dirençten geçen akım I kadar olur. Bu eşitlikte kullanılan R maddenin bir özelliği olarak kullanılamaz, çünkü R maddenin geometrisine de bağlıdır.

Bu bakımdan, elimizdeki bir malzemenin geometrisine bağlı olmayan ve onun malzemenin bir özelliği olan öz direnci kullanırız. Direnç ile öz direnç arasındaki ilişkiyi veren eşitlik aşağıdaki gibidir.

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (4.2)$$

Eş. 4.1 ve Eş.4.2 bir arada değerlendirildiğinde;

$$\frac{V}{l} = \frac{I}{A} \cdot \rho \quad (4.3)$$

ifadesini elde edilir ve düzenlenmesi halinde;

$$\varepsilon = J \cdot \rho \quad (4.4)$$

olarak Ohm Yasasının bir başka formu ortaya çıkar.

Bu noktada dikkat edilmesi gereken husus ρ 'dur. ρ 'nun tersi yani öz direncin tersi iletkenliktir. İletkenlik σ ile gösterilir ve birimi $(\text{ohm.cm})^{-1}$ dir [10].

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (4.5)$$

4.2. Mekanik Karakterizasyon

Mekanik özellikler, maddelerin çekme, sıkıştırma gibi dış kuvvetler karşısında gösterdikleri tepkilerin tamamını kapsar. Polimerlerin mekanik özellikleri; kimyasal ve fiziksel yapılarına, işleme yöntemlerine, kullanım koşul (sıcaklık gibi) ve sürelerine bağlıdır. Polimerlerden üretilen malzemelerin çekme dayanımı, vurma dayanımı, sıkıştırma dayanımı, sertlik türü mekanik özellikleri, standart koşullarda veya malzemenin kullanılacağı koşullara yaklaştırılmış laboratuvar ortamında yapılan testlerle ölçülür. Test sonuçlarından iki temel bilgi elde edilir; polimerin test yapılan koşullara benzer ortamlarda, test edilen mekanik özellik açısından kullanılıp kullanılmayacağı anlaşılır ve farklı malzemelerin benzer mekanik özellikleri karşılaştırılabilir [11].

4.2.1. Çekme testi

Malzemeler uygulamada yüklere veya kuvvetlere maruz kalırlar. Uygulanan bu yüklerin malzemedeki kalıcı deformasyona yol açmaması için ya belli bir değerin altında olması ya da bu yüklere dayanıklı uygun bir malzeme kullanılması gerekmektedir. Çekme testinde numuneye kendi uzunluğu boyunca tek eksen üzerinde kırılana kadar çekme kuvveti uygulanır. Yapılan test neticesinde malzemenin gerilme-gerinim ilişkisi ortaya çıkarılır. Gerilme;

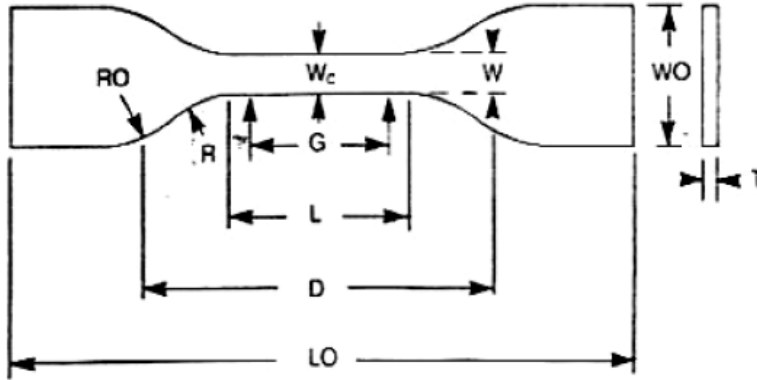
$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (4.6)$$

Gerinim ise;

$$\epsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (4.7)$$

Bu denklem Hooke kanunu olarak, ϵ ise elastisite modülü olarak bilinir. Burada l_0 numunenin ilk boyu, l_i ise kuvvet uygulandıktan sonraki anlık boyudur. Oldukça düşük gerinim hızı seviyelerinde çekmeye tabi tutulan metallerin büyük bir bölümü için elastik bölgede gerilme-gerinim ilişkisi aşağıdaki gibidir [11]:

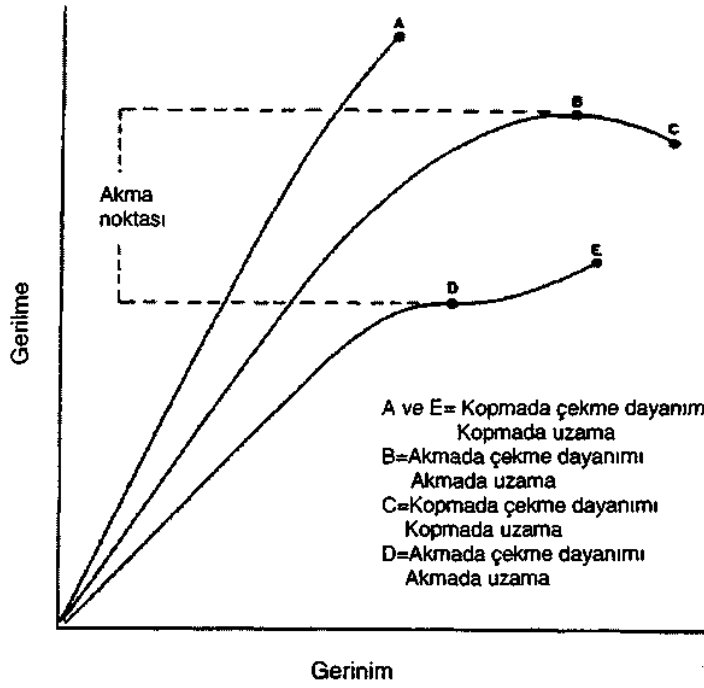
$$\sigma = E \epsilon \quad (4.8)$$



Şekil 4.1. Çekme testi numunesi [12]

Çizelge 4.1. Çekme testi numunesinin boyutları [12]

W	Dar kısmın genişliği, mm
L	Dar kısmın uzunluğu, mm
LO	Tüm uzunluk, mm
G	Ölçüm uzunluğu, mm
D	Kıskaçlar arası mesafe, mm
R	Pervaz yarıçapı, mm
RO	Dış yarıçap, mm
WO	Tüm genişlik, mm
T	Kalınlık, mm



Şekil 4.2. Çekme gerilimi-çekme gerinimi tipik eğrileri [12]

Çekme dayanımı: numunenin dayanabileceği maksimum gerilmedir. Çekme gerilimi, numunenin ilk kesitindeki birim alanına herhangi bir anda düşen yük miktarıdır. Çekme dayanımı değerleri gerilim-uzama grafiklerinden kolayca okunabilir [12].

Kırılmada çekme uzaması: kırılma noktasında meydana gelen boyut değişimi uzama olarak adlandırılır. Kırılmada çekme uzaması Eş. 4.9'da gösterildiği gibi hesaplanır.

$$\varepsilon_b = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (4.9)$$

Burada;

ε_b = kırılmada çekme uzaması

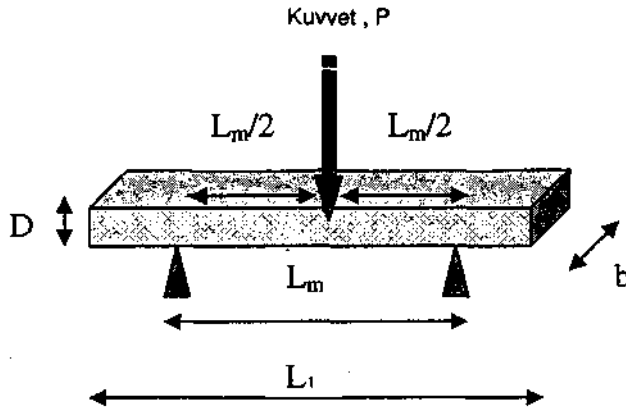
L_0 = orijinal ölçüm uzunluğu

ΔL = deformasyon sonucu numunenin boyundaki değişim ($L-L_0$)

Yüzde çekme uzaması ise, ε_b değerinin 100 ile çarpılması ile elde edilir [12].

4.2.2. Üç noktadan eğilme testi

Eğilme (esneme) testinde, çubuk şeklinde bir numune mesnetlerin ortasına yerleştirilir. Daha sonra örneğin ortasına, standart bir başlıkla ve belirli bir hızla; örnek kırılana kadar yük uygulanır. Çubuğun kırılmasına neden olan güç, örneğin en yüksek eğilme gücü olarak kayıt edilir.



Şekil 4.3. Üç noktadan yükleme şeması [13]

Çizelge 4.2. Üç noktadan eğilme testi numunesinin boyutları [13]

L_1	Numunenin boyu, mm
b	Numunenin eni, mm
D	Numunenin derinliği, mm
L_m	Mesnetler arası uzaklık, mm

Eğilme dayanımı: numuneye basma kuvveti uygulandığında elde edilen maksimum gerilme değeridir. Eş. 4.10'da gösterildiği gibi hesaplanır:

$$\sigma_f = 3PL / 2bd^2 \quad (4.10)$$

Burada;

σ_f = eğilme gerilmesi, MPa

P = yük, N

L = mesnetler arası uzaklık, mm

b = numunenin eni, mm

d = numunenin derinliği, mm

Eğilme modülü: numuneye uygulanan gerilmenin karşılık gelen uzamaya oranıdır. Gerilme-uzama eğrisinin eğiminden elde edilebileceği gibi, Eş. 4.11'de gösterildiği gibi hesaplanabilir [13].

$$E_b = L_m^3 m / 4bd^3 \quad (4.11)$$

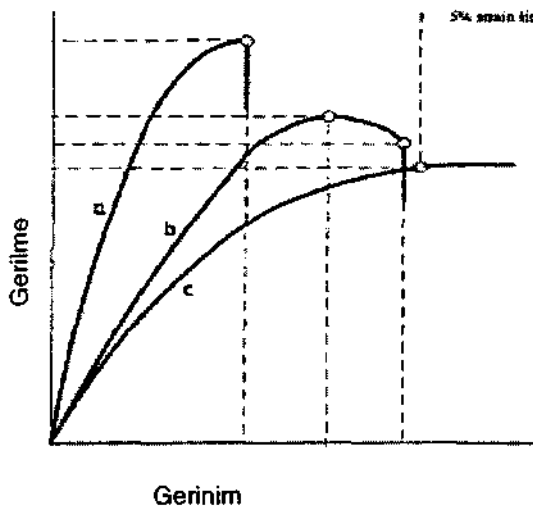
Burada ;

E_B = Eğilme modülü, MPa

L_m = mesnetler arası uzaklık, mm

d = numunenin derinliği, mm

m = yük-uzama eğrisinin düz olan kısmına çizilen teğetin eğimi, N/mm



Şekil 4.4. Eğilme gerilimi-eğilme gerinimi tipik eğrileri [13]

a eğrisi: akmadan önce kırılan numuneler

b eğrisi: akma gösterip daha sonra %5 gerilme limitinden önce kırılan numuneler

c eğrisi: %5 gerilme limitinden önce akma ve kırılma göstermeyen numuneler

4.3. Yüzey Karakterizasyonu

Kompozit yapının mukavemetinde önemli unsur elyaf ile matris arasındaki bağın yapısıdır. Kompozit malzemelerde kırılma yüzeylerinin incelenmesine dayanarak; takviye sistemi ile matris sistemi ara yüzeyi, matris içindeki partikül dağılımı ve matrisin takviye sistemini ıslatabilirliği hakkında bilgiyi taramalı elektron mikroskopisi yöntemini kullanarak elde edebiliriz.

4.3.1. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Taramalı Elektron Mikroskobunda (SEM) görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir [14].

Modern sistemlerde bu algılayıcılardan gelen sinyaller dijital sinyallere çevrilip bilgisayar monitörüne verilmektedir [14].

Yüksek enerjili demet elektronları numune atomlarının dış yörünge elektronları ile elastik olmayan girişimi sonucunda düşük enerjili Auger elektronları oluşur. Bu elektronlar numune yüzeyi hakkında bilgi taşır ve Auger Spektroskopisinin çalışma prensibini oluşturur. Yine yörünge elektronları ile olan girişimler sonucunda yörüngelerinden atılan veya enerjisi azalan demet elektronları numune yüzeyine doğru hareket ederek yüzeyde toplanırlar. Bu elektronlar ikincil elektron olarak tanımlanır. İkincil elektronlar

numune odasında bulunan sintilatörde toplanarak ikincil elektron görüntüsü sinyaline çevrilir. İkincil elektronlar numune yüzeyinin 10 nm veya daha düşük derinlikten geldiği için numunenin yüksek çözünürlüğe sahip topografik görüntüsünün elde edilmesinde kullanılır [14].

Mikroskopta bir seferde 10 mm yüksekliğinde 9 mm çapında 4 adet numune incelenebilmektedir. Mikroskopta yapılacak incelemelerde numuneler genellikle inorganik ve organik olarak iki grupta toplanabilir. Ayrıca inorganik numuneler de metal ve metal-olmayanlar şeklinde iki gruba ayrılabilir. Metal numuneler iletken oldukları için yüzeyleri kaplama yapılmadan incelenebilir. Ancak metal olmayan yalıtkan numunelerin yüzeyleri en fazla 20 nm mertebesinde iletkenliği sağlayan altın veya karbon ile kaplanması gerekmektedir. Karbon kaplama genellikle X-ışınları ile yapılacak analizlerde uygulanır. Yüksek çözünürlüğe ve kontrasta sahip numune görüntüsü elde etmek için, incelenecek numuneler metal olsa bile yüzeylerine altın kaplama işlemi uygulanmaktadır [14].

4.4. Termal karakterizasyon

"Termal Analiz", bir maddenin kontrollü biçimde ısıtılması ya da soğutulması sırasındaki fiziksel özellik değişimlerinin sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçülmesi ve yorumlanmasıdır [14].

Tam bir termal analiz sisteminde maddenin ağırlık kaybı, dönüşüm sıcaklıkları ve enerjileri, boyut değişimleri, viskoelastiklik özellikleri gözlenir. Bu ölçümler kimyasal tepkimelerin ve dinamik özelliklerin aydınlatılması, bileşim analizi, ürün kalite kontrolü açısından faydalı olur. Termal analizin en geniş uygulandığı alanlar arasında seramik malzeme, plastikler, yakıtlar, toprak ve kil endüstrisi sayılabilir [14].

4.4.1. Termogravimetrik analiz (TGA)

Bu analiz tekniği bir maddenin sıcaklığındaki değişim sırasında meydana gelen dönüşümlerdeki ağırlık değişimlerini kantitatif olarak verir. Ağırlık değişimi yüksek sıcaklıklarda fiziksel veya kimyasal bağların kopması veya oluşumu sonucunda meydana gelir. Bu esnada ortaya çıkacak uçucu maddeler sistemden ayrılacağı için ağırlıkta azalma kaydedilir. TGA verileri çeşitli kimyasal tepkimelerin mekanizması ve termodinamiğini aydınlatılabileceği gibi oluşan ürünler hakkında da fikir verir [14].

Termogravimetrik yöntemden elde edilen bilgiler, DSC yönteminden elde edilen bilgilere oranla daha sınırlı olup, bunun başlıca nedeni sıcaklık değişiminin maddenin kütlesinde bir değişim oluşturması gerektiği içindir. Enerji değişimi yaratan dönüşümler (fiziksel veya kimyasal) mutlaka bir ağırlık değişimi yaratmayabilir. Böyle bir değişim prosesinin DSC termogramı alınabileceksen, termogravimetrik incelemede hiçbir şey gözlenmeyecektir. Saf bir katı maddenin ergimesi buna örnektir. Ergime sırasında dışarıdan enerji absorplanır fakat hiçbir ağırlık değişimi olmaz. Ancak bunun aksi doğrudur. Yani genellikle her ağırlık değişim prosesinde mutlaka bir enerji değişimi de olur. Bu esnada absorplanan veya serbest kalan enerji miktarı veya DSC yoluyla ölçülebilir [15].

Termogravimetrik yöntemlerin uygulamalarının yoğunlaştığı en önemli alan, polimerlerle ilgili çalışmalar olarak gösterilebilir. Termogramlar, hazırlanan çeşitli polimer ürünleri için bozunma mekanizmaları hakkında bilgi verir. Bunlara ek olarak, bozunma şekilleri her bir polimer için karakteristik olduğundan, bunların tanınmalarında da kullanılabilir [15].

5. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Wu ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, yeni bir araştırma olan devamlı-üçlü yapı kullanarak, yüksek elektrik iletkenliğe ve yüksek gerilme direncine sahip karbon-doldurulmuş polimer karışımı üretilmesi hakkında bilgi sunmuştur. Polietilen tereftalat (PET)/polivinilidin florit (PVDF) karışımı ile doldurulmuş karbon nano-tüp (CNT) kullanılarak, enjeksiyon kalıplama ile düşük maliyetli devamlı-üçlü yapı denemesi yapmışlardır. PET/PVDF ile doldurulmuş CNT elektrik iletkenliğinde %2500 gelişim sağlarken, gerilim direncinde %36 ve PET ile doldurulmuş CNT ile yapılan çalışmaya göre de %320 daha başarılı sonuçlar göstermektedir. Bu araştırma göstermiştir ki, düşük maliyetli, yüksek iletkenliğe ve dayanıma sahip yakıt hücrelerinde kullanıma uygun bipolar tabakalar üretilebilir [16].

Hermann ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, bipolar tabakaların (BT), çok-fonksiyonlu karaktere sahip proton değişim membran yakıt hücreleri için anahtar bileşeni olduğunu vurgulamışlardır. Yakıt gazının ve havanın uniform şekilde dağılımını, hücreden hücreye elektrik akımının aktarılmasını, aktif alandan ısının giderilmesini ve soğutucular ve gazların sızmasını sağladıklarını belirtmişlerdir. BT aynı zamanda yakıt hücresinin hacmi, ağırlığı ve ücreti üzerinde de büyük etkiye sahip olduğunu vurgulamışlardır. Bu nedenle BT yapımı için kullanılacak uygun malzemelerin bulunması için dünya üzerinde kuvvetli bir araştırma söz konusudur. Kullanılan malzemelerden bazıları: gözeneksiz grafit, kaplamalı metal tabakalar, polimer kompozitler vb. Bu çalışma, kullanılan değişik malzemelerin özelliklerine bağlı olarak yapılan bir incelemeyi sunmaktadır [17].

Cho ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, polimer elektrolit membran yakıt hücresi (PEMFC) için bipolar levha malzemesine alternatif olarak, iki tip karbon kompoziti tanımlanmıştır. Güncel olarak kullanılan grafit ve yeni tanımlanmış karbon kompozitlerinin elektriksel ve fiziksel özellikleri

yığın ve kontak direnç, yoğunluk, su absorpsiyonu, bükülme dayanımı, gaz sıkışması ve akış kanalının derinlik sapması cinsinden değerlendirilmiştir. Test sonuçları karbon kompozitlerinin, PEMFC bipolar levha malzemesi için uygun olduğunu göstermiştir. Tek hücre testlerinde, karbon kompozit bipolar levhalar iyi bir başlangıç ve grafit bipolar levhalarla kıyaslandığında daha uzun performans göstermiştir. Aynı bileşik tozundan iki farklı karbon kompozit üretilmiştir. Kompozit A sıcak presleme yöntemi ile elde edildikten sonra gaz difüzyon kanalları üzerine açılmıştır. Kompozit B ise direk olarak kalıplama yöntemi ile elde edilmiştir. İki kompozit tabakanında kalınlığı 2mm. Bileşik tozu %90 grafit, %10 doymamış polimer ve az miktarda da organik çözeltiler ve eklerden oluşmaktadır. Yapılan testler sonucunda, istenen elektriksel ve fiziksel özellikleri göstermiştir. Kompozit B, A'ya göre az da olsa daha iyi bir performans göstermiştir [19].

Joseph ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, paslanmaz çelik proton değişim membranlarda kullanılan bipolar tabakaların yakıt hücresi çalışma ortamında korozyona uğraması dışında neredeyse tüm önemli gereksinimlerini karşılamaktadır. Metal oksit oluşması temas direncine öncülük etmektedir ve metal çözünmesi membran elektrot demetinin (membran electrode assembly) bozunmasına sebep olmaktadır. Paslanmaz çelik tabakanın korozyona dayanıklı ve iletken katman ile kaplanması ile bu problemler çözülebilir. Bu çalışmada 304 paslanmaz çelik, iletken birer polimer olan polianilin (PANI) ve polipirol (PPY) ile elektrokimyasal olarak kaplanmıştır. Polimerizasyon ve polimerlerin tortu bırakması için devirli voltmetre kullanılmıştır. Polimer kaplı paslanmaz çelik tabakalar PEM yakıt hücresi çalışma koşulları altında korozyon ve temas direnci için test yapılmıştır. Test sonucunda kabul edilebilir bir temas direncinde, korozyon direncinde gelişim görülmüştür [20].

Huang ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, yüksek elektrik iletkenlikli ekonomik bipolar levhalar üretmek için bir metot ve mekanik özellikler incelenmiştir. Grafit taneciklerden meydana gelen termoplastik kompozit

malzemeler, wet-lay prosesine bağı olarak üretilen karbon fiberler veya cam ve termoplastik fiberler yüksek formable kağıt üretimi için kullanılır. Wet-lay kompozit levhalardan oluşan polifenilen sülfid 200-300 S/cm in-plane iletkenliğine, 57 MPa gerilme dayanımına, 96 MPa bükülme dayanımına ve 81 J/m çarpma dayanımına sahiptir. Wet-lay kağıtların kullanılması polimer içeren farklı bileşenlerin seçimini mümkün kılar [21].

Mighri ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, proton değişim membran yakıt hücrelerinde kullanılmak üzere yüksek iletkenliğe sahip, hafif ve ucuz bipolar tabakalar geliştirilmesini amaçlamışlardır. Bipolar tabakaların üretilmesi için karbon doldurulmuş polipropilen, PP, polifenilen sülfid ve PPS enjeksiyon ve sıkıştırma ile kalıplama yöntemleri ile kullanılmıştır. Yüklemeler %60 grafit, iletken siyah karbon (carbon black) ve karbon elyaf yapısında yapılmıştır. Üretilen malzemelerin yakıt hücrelerinde bipolar tabaka olarak kullanılması için iyi kimyasal kararlılığa, yeterli akışkanlığa ve iyi elektrik ve termal iletkenliğe gereksinimi vardır. Metalik/polimer kompozit oluşturmak için alüminyum tabaka üzerine gaz akış kanallarını hazırlayarak iki farklı başarılı tasarım elde edilmiştir. Bir başka şekilde ise iletken polimer kompozitin direk enjeksiyon kalıplama ile hazırlanışıdır. İlk tasarım için, sırasıyla tabaka hacim dirençleri 0.2 ve 0.1 Ohm-cm olan iletken üst-kalıplamalı (overmolded) tabaka olarak PP ve PPS bazlı karışımlar kullanılmıştır. İkinci tasarımda ise düşük hacim direncine sahip (yaklaşık 0.06 Ohm-cm) PPS bazlı karışımdan yapılmış enjeksiyon kalıplamalı tabakalar kullanılmıştır [22].

Del Rio ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, karbon siyahı (CB) ve polivinildin florür (PVDF) bileşimleri, hem elektriksel hem de mikro yapıda (DSC ve DMA) elde edilir ve karakterize edilmiştir. Bunun yanı sıra, bu maddelerin elektrokimyasal performansları, bipolar tabaka formunda; test edilmiş, bu amaç için üretilmiş ve geleneksel yakıt hücrelerinin yapısına katılmıştır. Karbon siyahı ve PVDF'nin birleşmesiyle oluşan polimer kompozit maddelerin elektriksel iletkenliği; tartışmaya açık bir sonuç olan, yaklaşık 2,4 S/cm olarak belirlenmiştir ki, bu sonuçtan malzemenin termik olarak

işletmeye ve geleneksel polimer teknolojileri alanında uygulanmak üzere, Şekil vermede uygun olduğu anlaşılmaktadır [24].

Yan ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, PEM yakıt hücrelerinde bipolar tabakaların hem ağırlıkça hem de kapladığı hacim olarak büyük önemi var olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca yakıt hücresi maliyeti üzerinde de etkisi vardır. Yakıt hücreleri için düşük fiyatlı ve düşük ağırlıklı bipolar tabaka geliştirilmesi için çalışma yapılmıştır. Bu amaçla daha ucuz bir malzeme olan genişletilmiş grafit tabaka üretim metodu ve malzemesi kullanılmıştır. Tabakaların daha yüksek elektrik iletkenlikleri ve düşük yoğunlukları vardır ve direk olarak yakıt hücrelerinde bipolar tabaka olarak kullanılabilirler. 1 ve 10 kW'lık yakıt hücreleri için genişletilmiş grafit bipolar tabaklar başarılı bir Şekilde hazırlanmıştır. Bipolar tabakanın dokunma direnci üzerinde çalışma yapılmıştır ve yakıt hücresinin elektrokimyasal performansı test edilmiştir. Bu test sonucunda başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Yakıt hücresi demeti içindeki her bir hücreye dağılan voltajın eşit olduğu tespit edilmiştir [25].

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Malzemeler

Matris malzeme olarak Kovalent Lab firmasından temin edilen Polipropilen (PP) kullanılmıştır. Bu malzemenin özellikleri aşağıda verilmektedir:

Çizelge 6.1. Polipropilen matrisin özellikleri

Molekül ağırlığı	19 600
Erime noktası	160 - 165 °C
CAS Numarası	9003-07-0
Yoğunluğu	0,9 g/cm ³
Tipik M _n	5.400
Viskozitesi	23,000 Poise (190 °C)
Fw	42,08
T _g	-10 °C

Takviye elemanı olarak toz halinde grafit kullanılmıştır. Grafitin (GR) özellikleri şu şekildedir:

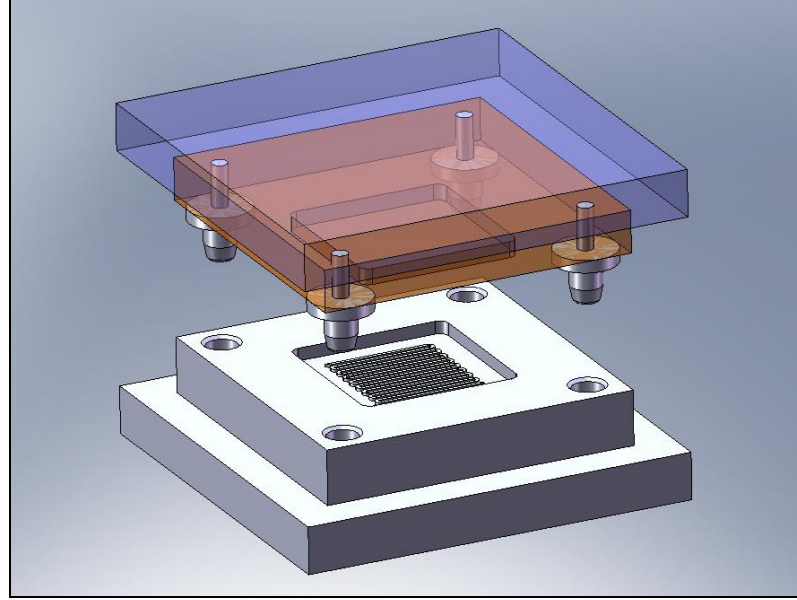
Çizelge 6.2. Grafitin özellikleri

Yoğunluğu	1,9 g/cm ³
CAS Numarası	7440-44-0
Yapısı	Kristal, -300 mesh %99

Ayrıca kompozit malzemenin dayanımının artırılması amacıyla polipropilen-grafit kompozitine %0,5 oranında karbon nano fiber (CNF) katkısı yapılmıştır.

Kalıp ayırıcı olarak ORAPI – Engineered Solutions Worldwide firmasının silikon bazlı kayganlaştırıcı kalıp ayırıcısı kullanılmıştır.

6.2. Kalıp Tasarımı



Resim 6.1. Kalıp tasarımı

Bipolar tabakanın üretimi esnasında kullanılması planlanan kalıbın tasarımı Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Kalıpcılık Anabilim Dalında görev yapan Araştırma Görevlisi Onuralp Uluer tarafından hazırlanmıştır.

Hazırlanan kalıp tasarımına uygun olarak üretilen kalıpta daha sonradan bazı modifikasyonlar yapılarak iç bölümde yer alan gaz difüzyon kanallarını oluşturacak kısım modüler hale getirilmiştir. Böylelikle bipolar tabaka ebadında hem gaz difüzyon kanallı hem de kanalları olmayan iki tarafı da düz yapıda numuneler elde edilebilmektedir.

Kalıbın kullanımı neticesinde elde edilecek olan numunenin görüntüsü yine Sayın Onuralp Uluer tarafından hazırlanmış olup aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.



Resim 6.2. Numunenin görünümü

6.3. Numunelerin Hazırlanışı

Deneyisel çalışmada kullanılmak üzere numuneler hacimce hazırlanmıştır. Malzemeler %10 (PP10GR), %15 (PP15GR), %20 (PP20GR), %25 (PP25GR) ve %30 (PP30GR) olarak hazırlanmıştır. Numuneler homojen bir karışım sağlanabilmesi amacıyla 165 - 170 °C sıcaklıkta 45 dakika süreyle karıştırılmıştır. Polipropilenin ergimesinden sonra grafit takviyesi ilave edilmiştir.

Grafit takviyesinden sonra malzemeler homojen karışım elde edilebilmesi amacıyla sabit sıcaklıkta 10 dakika süreyle karıştırılmıştır. Malzemenin kalıba yapışmasını önlemek amacıyla kalıp silikon katkılı kalıp ayırıcı ile kaplanmıştır. Karışım malzemenin dökülünce donmasını engellemek amacıyla ısıtılmış olan kalıba dökülmüştür.

Karakterizasyon çalışmaları yapılabilmesi amacıyla malzemeler çekme ve basma deneylerine uygun numune kalıplarına dökülmüştür. Kalıpların yapısı sebebiyle çekme ve basma numune kalıpları sıcak pres yerine 165 °C sıcaklıkta 10 dakika süreyle etüvde bekletilmiştir.

Etüvden çıkarılan malzeme soğuduktan sonra kalıptan çıkarılmış ve karakterizasyon testlerine tabi tutulmuştur.

Ayrıca malzemenin dayanımının artırılması amacıyla karbon nano fiber katkısı yapılmıştır. %20 grafit katkısı yapılmış olan kompozit malzemeye %0,5 oranında karbon nano fiber (PP20GR0,5CNF) katılmıştır. Dayanım etkisinin gözlenebilmesi amacıyla %0,5 (PP0,5CNF) ve %1 (PP1CNF) karbon nano fiber içeren bir kompozit malzeme hazırlanarak karbon nano fiberin etkisi incelenmiştir.

6.4. Karakterizasyon

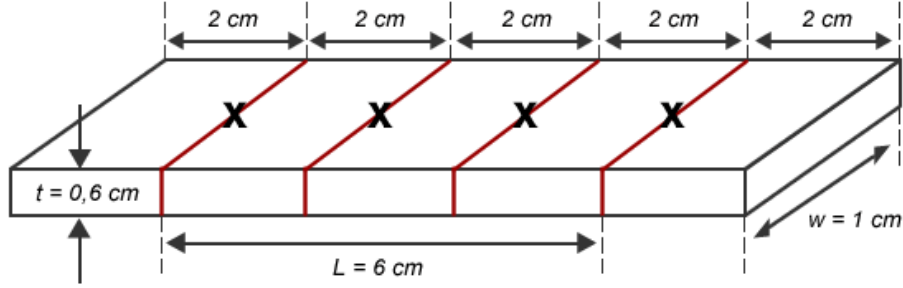
6.4.1. Elektriksel iletkenlik

Hazırlanan grafit ve CNF katkılı numunelerin elektriksel iletkenlikleri Keithley 2400 SourceMeter model iletkenlik ölçüm cihazı ile oda sıcaklığında numuneler hazırlandıktan bir gün sonra 4-noktadan ölçülmüştür. Kontrol amacıyla ölçümlerden tam bir ay sonra ölçümler tekrarlanmıştır.



Resim 6.3. Keithley 2400 iletkenlik ölçüm cihazı görüntüsü

İletkenlik ölçümleri $I = 0,10 \mu\text{A}$ ve $C = 2,10 \text{ V}$ olarak seçilen ölçüm parametrelerine göre ayarlanmış olan iletkenlik cihazı ile ölçüldü.

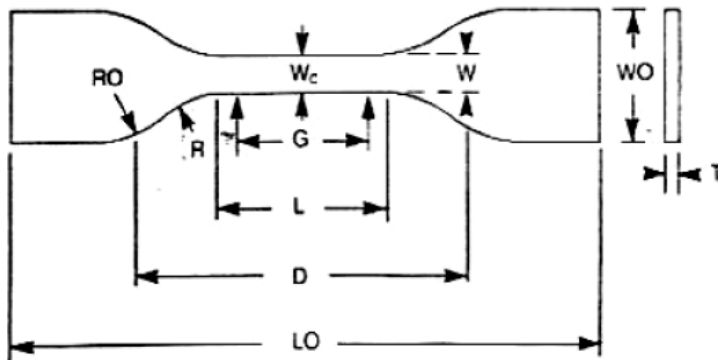


Şekil 6.1. İletkenlik ölçümü yapılan numunelerin boyutları

İletkenlik ölçümleri Şekil 6.1'de boyutları verilmiş olan numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Numunelerin iletkenlik ölçümleri 4 noktadan yapılmış olup, her bir nokta Şekil 6.1'de gösterilen "X" ile işaretli noktalardan yapılmıştır.

6.4.2. Mekanik karakterizasyon

Çekme testleri Shimadzu Autograph test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çekme numunelerini testleri 1 mm/dak çekme hızı ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Çekme testlerinde kullanılan numunenin örnek görüntüsü ve boyutları Şekil 6.1'de ve Çizelge 6.3'de verilmektedir.



Şekil 6.2. Çekme testi numunesi [13]

Çizelge 6.3. Çekme testi numune boyutları

W	Dar kısmın genişliği, mm	6
L	Dar kısmın uzunluğu, mm	33
LO	Tüm uzunluk, mm	25
G	Ölçüm uzunluğu, mm	115
D	Kıskaçlar arası mesafe, mm	25
R	Pervaz yarıçapı, mm	80
RO	Dış yarıçap, mm	14
WO	Tüm genişlik, mm	25
T	Kalınlık, mm	4

Tüm mekanik testler oda sıcaklığında ve numune üretiminden bir gün sonra gerçekleştirilmiştir. Her numune grubu için 5 numune test edilmiş ve bunların aritmetik ortalamaları kullanılmıştır. Standart sapmalar ise Eş. 6.1'e göre hesaplanmıştır.

$$S_s = \sqrt{\frac{\sum X^2 - n\bar{X}^2}{n-1}} \quad (6.1)$$

S_s : hesaplanan standart sapma

X : tek gözlemin değeri

n : gözlem sayısı

\bar{X} : gözlem setlerinin aritmetik ortalaması

Test sonucunda çekme dayanımı, çekme uzaması ve elastik modülü değerleri elde edilmiştir.

6.4.3. Yüzey karakterizasyonu

Grafit ve CNF katkılı numunelerin çekme testi sonucunda kopma yüzeylerinin incelemeleri JEOL-Sirius 55/5600 SEM mikroskobu kullanılarak x250, x500 ve

x1000 büyütme aralığında çekilmiştir. Grafit ve CNF katkılı numunelerin mikrografları alınmadan önce yüzeyleri daha iyi görüntü alınması amacıyla ince bir altın tabaka ile kaplanmıştır.

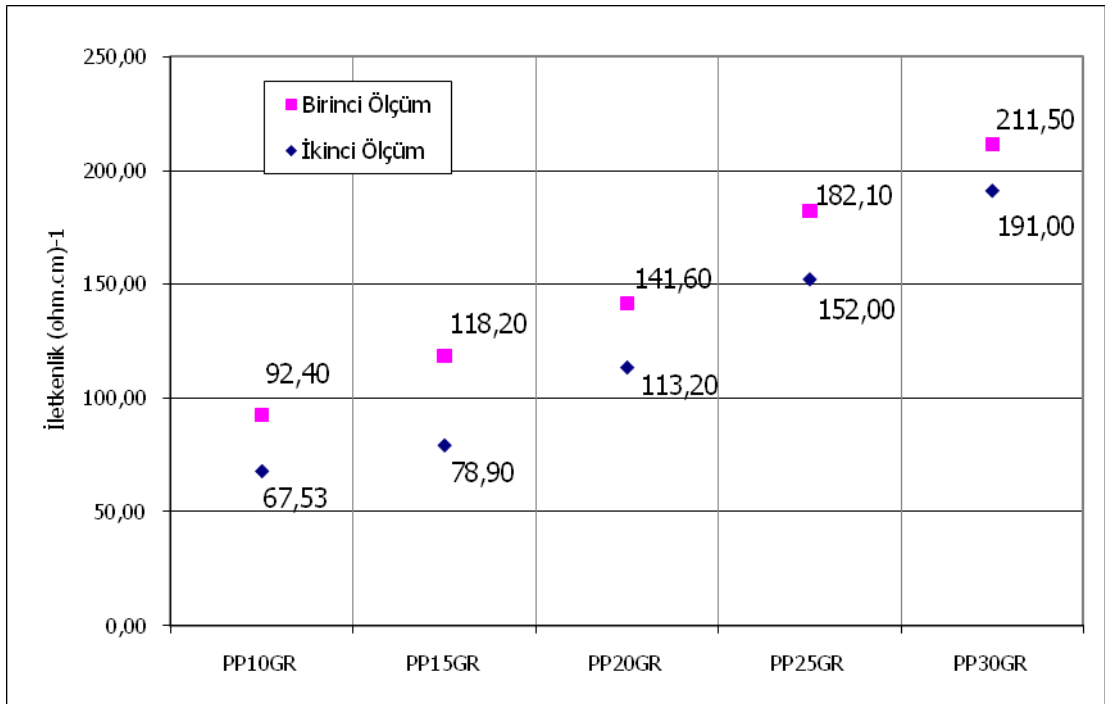
6.4.4. Termal karakterizasyon

TGA analizleri için Setaram Setsys Evolution 1750 cihazı kullanılmıştır. Tüm analizler, azot atmosferinde gerçekleştirilmiştir. Analizler 10 °C/dak ısıtma hızıyla ve 25 °C'den 700 °C'ye kadar olan sıcaklık aralığında gerçekleştirilmiştir. Alınan termogram sonuçlarına göre grafit ve CNF katkılı kompozit numunelerin termal özellikleri belirlenmiştir.

7. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

7.1. Elektriksel İletkenlik Sonuçları

Hazırlanan numunelerin elektriksel iletkenlikleri 2 farklı zamanda ölçülerek kontrol edilmiştir. 2 ölçüm arasında 1 aylık bir zaman geçmiştir.



Şekil 7.1. Farklı yüzdelerdeki takviye elemanının iletkenliğe etkisi

Söz konusu ölçümlerin ikincisinde elde edilen iletkenlik değerleri, ilk ölçümlere göre daha düşüktür. Bu durumun polimer yapısındaki yaşlanma ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde elektrik iletkenliği değerli ölçülmüştür. Yapılan ölçümler neticesinde en iyi değer PP30GR numunesinde (%30'luk katkıda) elde edildiği görülmüştür. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda daha geniş bir aralıkta sonuçların elde edilebilmesi amacıyla %40 grafit katkısı denenmiştir. Ancak %40'luk grafit katkısı yapılması halinde malzemenin yüksek oranda katılaştığı, elastikiyetini

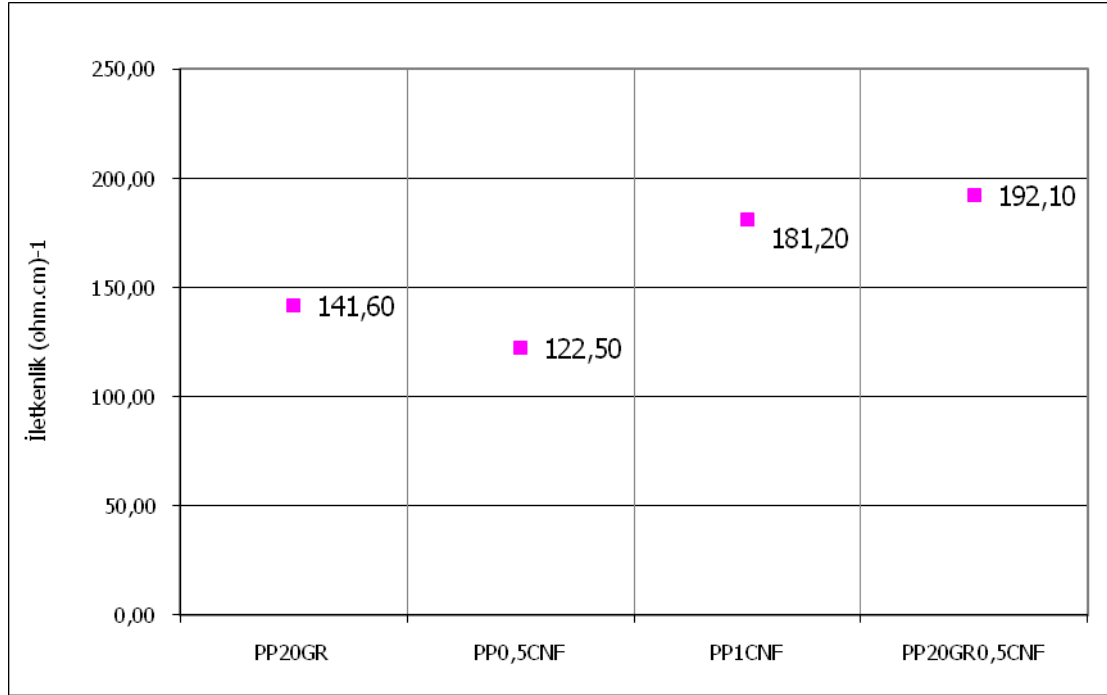
kaybettiği ve karışımın homojen bir şekilde gerçekleştirilemeyeceği gözlemlenmiştir. Bu sebeplerden ötürü %40 grafit katkılı numune çalışmaları bu tez çalışmasına yansıtılmamıştır.

%20'lik grafit katkılı (PP20GR) malzemeye ayrıca %0,5 oranında CNF (PP20GR0,5CNF) katılmıştır. Değişimin gözlemlenebilmesi amacıyla %0,5 (PP0,5CNF) ve %1 (PP1CNF) CNF katkılı malzemeler de hazırlanmış ve inceleme gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 7.1'de elde edilen numuneler için yapılmış olan 4 noktadan elektriksel iletkenlik ölçüm sonuçları verilmiştir. Ölçümler Keithley 2400 SourceMeter marka iletkenlik ölçüm cihazı ile numuneler hazırlandıktan bir gün sonra ölçülmüştür.

Çizelge 7.1. Farklı oranlarda hazırlanan numunelerin katkı miktarları ve iletkenlikleri

Numune	% Grafit	% Karbon Nano Fiber	İletkenlik (ohm.cm) ⁻¹
PP10GR	10	-	92,40
PP15GR	15	-	118,20
PP20GR	20	-	141,60
PP25GR	25	-	182,10
PP30GR	30	-	211,50
PP20GR0,5CNF	20	0,5	192,10
PP0,5CNF	-	0,5	122,50
PP1CNF	-	1	181,20



Şekil 7.2. CNF katkılı numunelerin elektriksel iletkenliklerinin değişimi

Literatür çalışmalarının incelendiğinde polipropilene grafit ve karbon nano fiberin bir arada katılarak kompozit elde edilmesinin bipolar tabaka üretiminde çalışılmadığı gözlenmiştir. Söz konusu çalışmalar için literatürde polipropilenden farklı matrislerin kullanıldığı gözlenmiştir.

Huang ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışma neticesinde PVDF, PET ve PPS'ye grafit katkısı yapılmış ve elektrik iletkenlikleri incelenmiştir. Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar Çizelge 7.2'de verilmiştir.

Çizelge 7.2. Huang ve arkadaşlarının iletkenlik çalışmaları

Polimer	% Grafit	% Fiber	İletkenlik (ohm.cm) ⁻¹
PVDF	74	-	119
PET	65	7 Grafit Fiber	230
PPS	70	6 Karbon Fiber	271

Çizelge 7.2 değerlendirildiğinde farklı yüzdelerde grafit ve fiber katıldığı anlaşılmakta olup, fiberler grafit ve karbon fiberlerdir. Yapılan çalışmada kullanılan karbon fiberin parçacık boyutu nano seviyesinde değildir ve polimerler farklı üreticilerden temin edilmiştir. Çizelge 7.1’de verilen veriler ile Çizelge 7.2’deki sonuçlar kıyaslandığında grafit katkısının iletkenliği artırdığı belirlenmiştir. Fiber ilavesinin iletkenliği artırdığı iki çalışma sonucunda da ortaya konmuştur.

Deneysel çalışmada kullanılan polimerin yapısı ve parçacık dağılımı göz önüne alındığında, perkolasyon teorisine göre parçacık miktarının belirli bir sınır değerini üzerine çıkmasından sonra iletkenlik artmaya başlamaktadır.

Polipropilen içerisine katılan grafit miktarının artması ile iletkenliğin arttığı gözlenmiştir. %10 grafit katkısı yapılmış olan PP10GR numunesinde parçacık mesafesinin az olması sebebiyle iletkenlik azalmaktadır. Ayrıca bu durum malzemede oluşacak olan direnci artırmaktadır. Bununla beraber bu durum sonucunda malzemenin mekanik mukavemetinin de düşük olması beklenmektedir.

Aynı şekilde, numuneler içerisindeki grafit miktarı arttıkça malzemenin iletkenliği artmakta ve boşluklar azalmaktadır. Bu sayede de malzemede oluşacak olan direnç azalmaktadır.

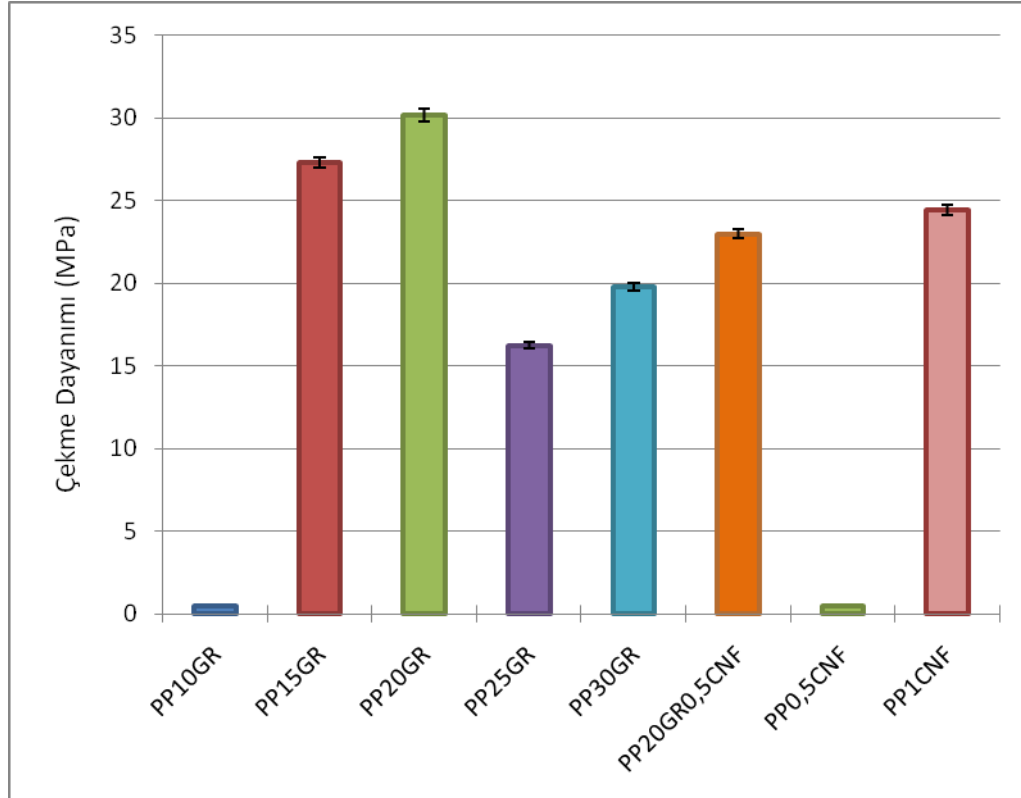
7.2. Mekanik Karakterizasyon

7.2.1. Çekme testi sonuçları

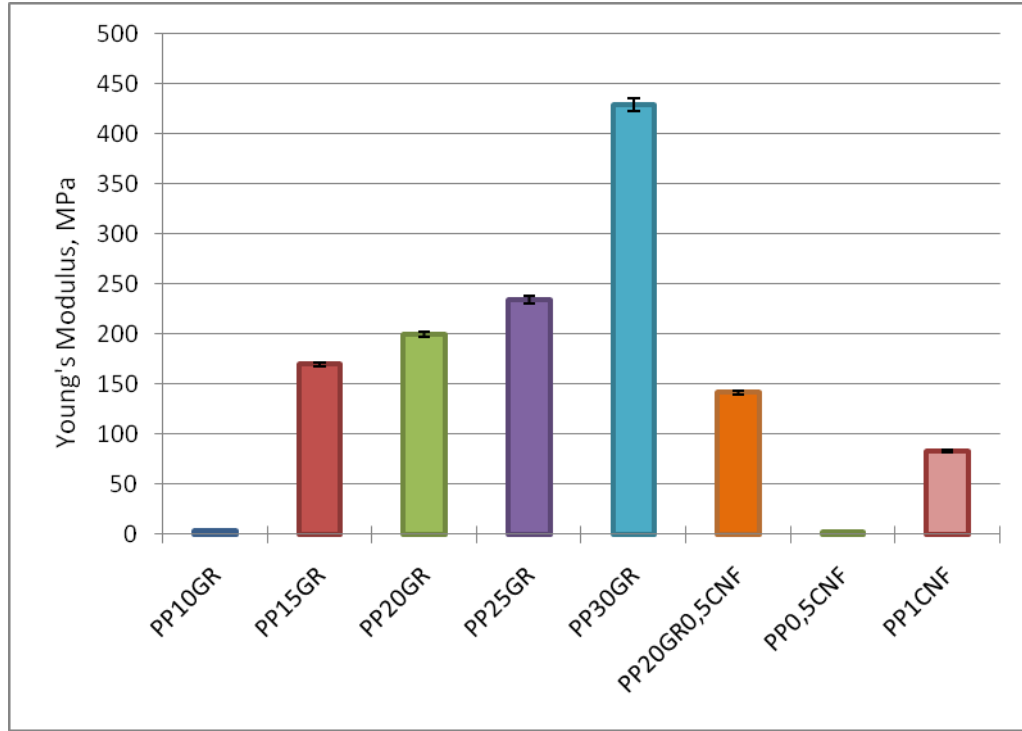
Çekme testi sonucunda çekme dayanımı, young modülü ve kopmadaki çekme uzaması değerleri elde edilmiş ve bu değerler doğrultusunda aşağıdaki grafikler elde edilmiştir. Ayrıca bu değerlerin ayrıntıları Ek-1’de tablolar halinde verilmektedir.

Çizelge 7.3. Farklı oranlarda hazırlanan numunelerin çekme dayanımları, çekme uzamaları ve young modülleri

Numune Adı	Maks. Çekme Dayanımı, MPa	Maks. Uzama, %	Young's Modulus, MPa
PP10GR	0,49 ± 0,01	14,11 ± 0,62	3,51 ± 0,11
PP15GR	27,31 ± 0,23	16,11 ± 0,14	169,54 ± 1,48
PP20GR	30,18 ± 0,2	15,12 ± 0,23	199,68 ± 1,74
PP25GR	16,23 ± 0,17	6,92 ± 0,1	234,56 ± 1,15
PP30GR	19,78 ± 0,27	4,61 ± 0,17	429,05 ± 10,44
PP20GR0,5CNF	22,99 ± 0,2	16,27 ± 0,19	141,33 ± 0,5
PP0,5CNF	0,47 ± 0,01	18,12 ± 0,18	2,58 ± 0,03
PP1CNF	24,46 ± 0,32	29,69 ± 0,41	82,37 ± 0,43



Şekil 7.3. Farklı oranlarda hazırlanan numunelerin çekme dayanımları



Şekil 7.4. Farklı oranlarda hazırlanan numunelerin young modülleri

Çizelge 7.1, Şekil 7.3 ve Şekil 7.4'de elde edilen test sonuçları değerlendirildiğinde, sadece grafit katkısı yapılan numuneler içinde en iyi sonucu %20 grafit katkılı PP20GR numunesinde elde edildiği ve en yüksek çekme dayanımını (30,18 MPa) gösterdiği gözlenmiştir. Ayrıca, bu numuneye yapılan %0,5 oranında CNF katkısı (PP20GR0,5CNF) değerlendirildiğinde, CNF'nin lif yapısı sebebiyle uzamaya daha elverişli olduğu gözlenmiştir. PP20GR0,5CNF numunesinin çekme dayanımı (22,99 MPa) CNF katılmamış olana göre (PP20GR 30,18 MPa) %23,82 daha düşüktür. Bu da göstermektedir ki CNF katkısı malzemenin uzama miktarını artırırken, numunenin dayanımını düşürmektedir.

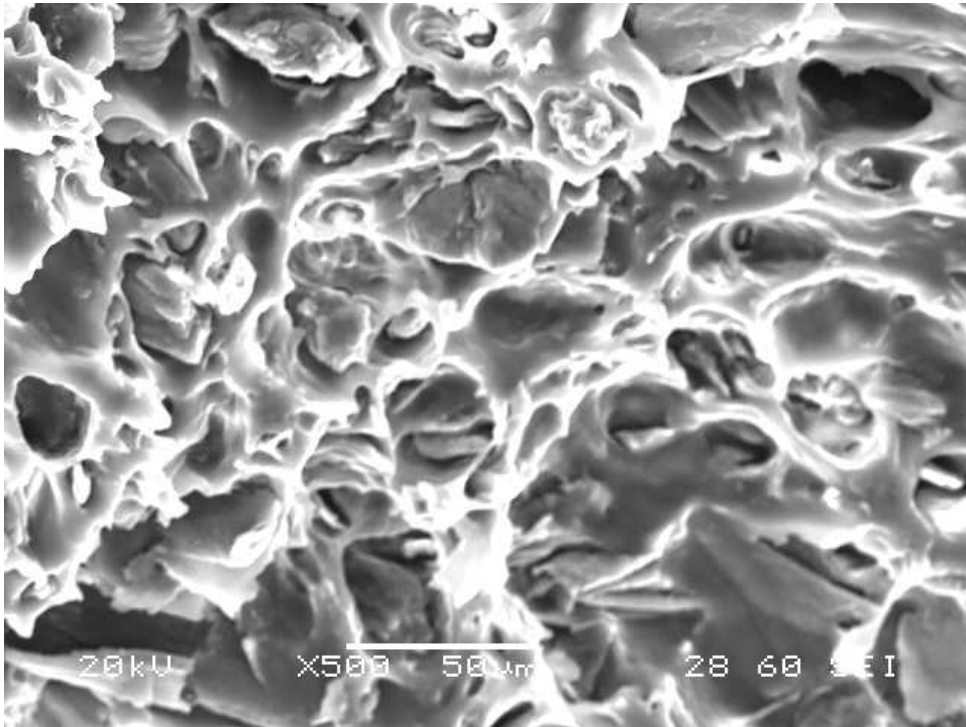
Bu durumun başlıca sebebi malzemenin içerisindeki fiberlerin yönlenmesidir. Malzeme içerisinde fiberlerin çekme yönünden farklı yönlenmesi durumunda malzemenin dayanımı düşmektedir. SEM mikragrafları incelendiğinde fiberlerin yönlenmesinin çekme yönüne dik olduğu bu sebeple de malzemenin çekme dayanımının düşmüş olabileceği düşünülmektedir.

7.2.1. Üç noktadan eğme testi sonuçları

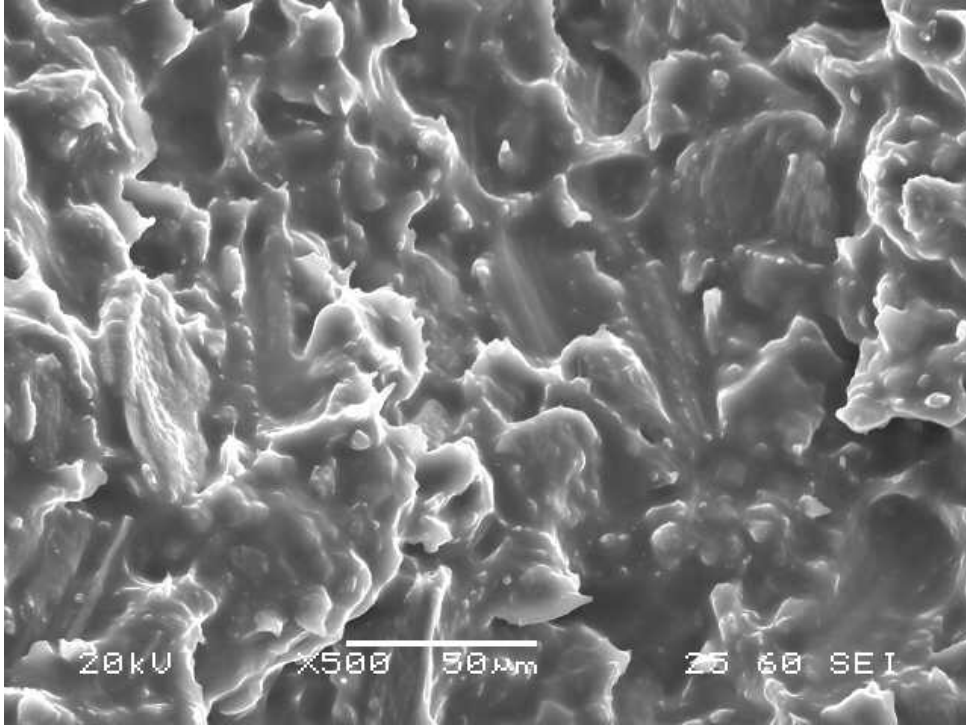
Elde edilen malzemelerin esnek yapısı sebebiyle 3 noktadan eğme testi ile ölçüm elde edilememektedir. Malzemenin esnek yapısı söz konusu ölçümlerin yapılmasına engel olmakta ve malzemenin kırılma noktası tespit edilememektedir.

7.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Mikrografları

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yapılan inceleme neticesinde %20 grafit katkılı numune (PP20GR) ile %20 grafit ve %0,5 CNF katkısı yapılmış olan numunelerin (PP20GR0,5CNF) yüzey karşılaştırmalarına yer verilmiştir. Diğer malzemelerin SEM ile elde edilmiş görüntüleri Ek-2'de verilmektedir.



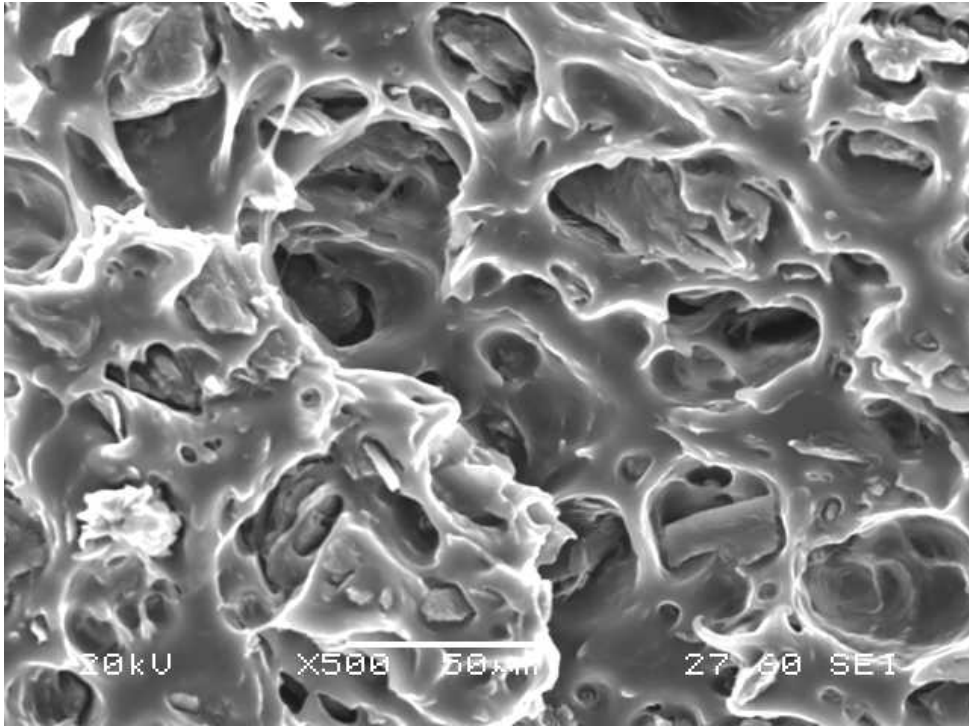
Resim 7.1. PP20GR SEM mikrografı (x500 büyütme)



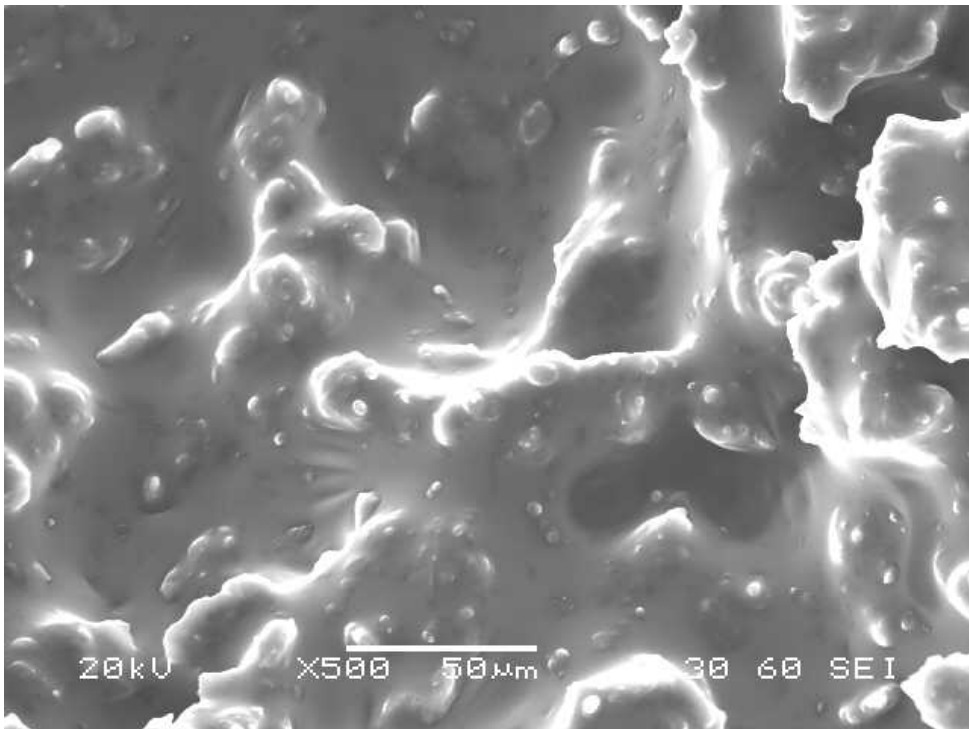
Resim 7.2. PP20GR0,5CNF SEM Mikrografı (x500 büyütme)

Yapıların incelenmesi neticesinde sadece grafit katkısı yapılmış olan numunede (PP20GR) daha gözenekli ve ağ yapısı gözükmemektedir. Ancak, bu malzemeye %0,5 oranında CNF katkısı yapıldığında (PP20GR0,5CNF) numunenin daha az gözenekli, homojen ve sıkı bir dağılıma sahip olduğu gözlenmiştir.

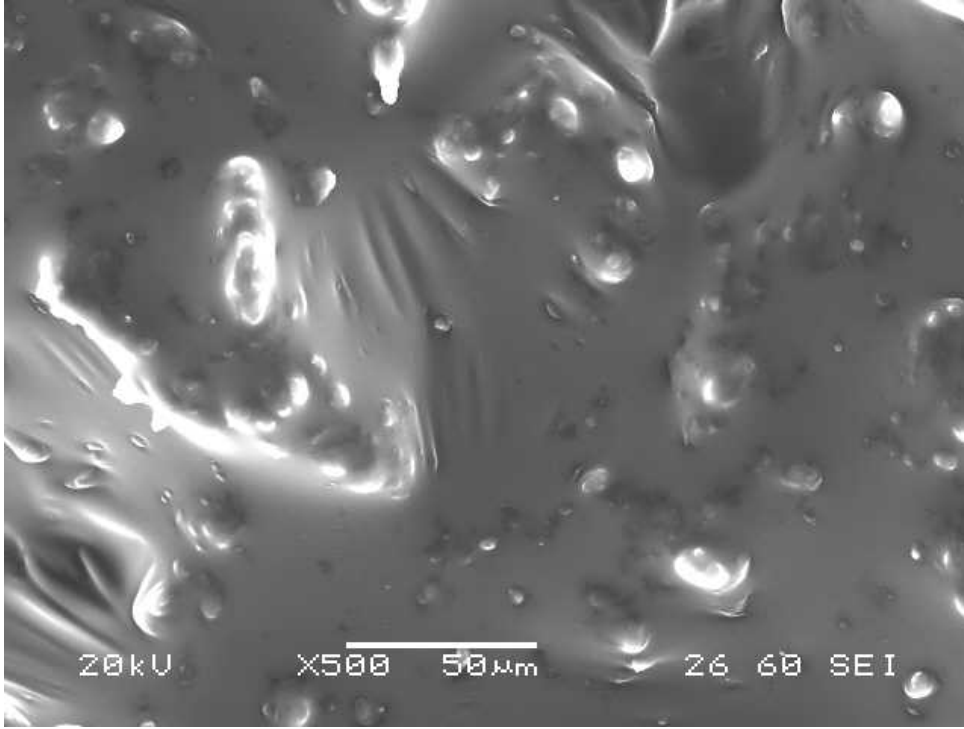
CNF katkısının malzemenin boşluklu yapısını doldurduğu belirlenmiştir. %15 ve %20 grafit katkılı numunelerin sünek ve tok yapıda olduğu gözlenmiştir. Çekme testi sonucunda %25 ve %30 grafit katkılı malzemelerin kırılma yapıda olduğu belirlenmiştir. Malzemenin SEM mikrografları incelendiğinde malzemenin esnek yapıda olmadığı görülmektedir.



Resim 7.3. PP15GR SEM mikrografı (x500 büyütme)



Resim 7.4. PP25GR SEM mikrografı (x500 büyütme)



Resim 7.5. PP30GR SEM mikrografı (x500 büyütme)

Bu durum göstermektedir ki, kompozit malzeme içerisindeki grafit miktarının artması, polipropilenin sağladığı esnekliğin azalmasına ve sert yapıdaki grafitin etkisinin artmasına sebep olmaktadır.

7.4. Termogravimetrik Analiz (TGA) Termogramları

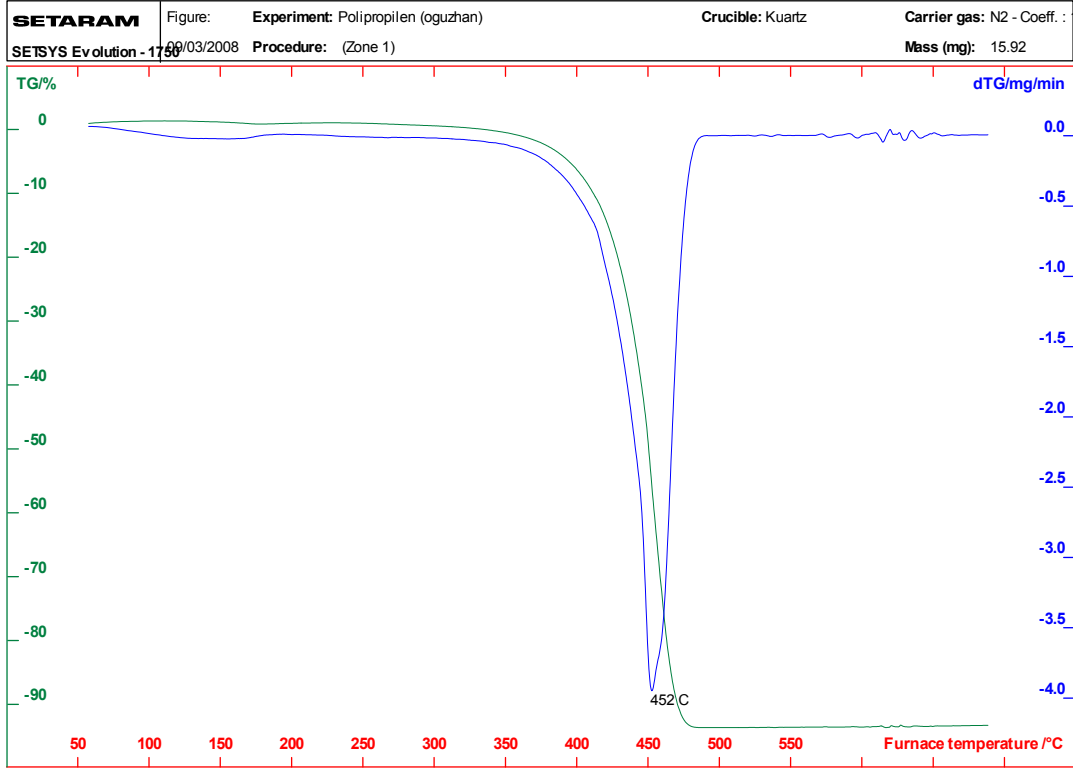
TGA (termogravimetrik analiz) verileriyle çok çeşitli polimerik malzemelerin termal kararlılığı hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir. Malzeme, zamana bağlı olarak sabit ve bilinen bir sıcaklık artışına maruz bırakılmakta ve bu şekilde istenen sıcaklığa kadar ısıtılması sağlanmaktadır. Malzemede sıcaklığa bağlı olarak kütle kaybı görülmektedir. TGA eğrisinin türevinin alınmasıyla elde edilen DTGA verisi ile belirlenmiş olan sıcaklık aralığında hangi sıcaklıkta malzemenin kaç basamakta termal bozunmaya uğradığı tespit edilebilmektedir. Numunelerin TGA termogramları N_2 ortamında, $10^\circ C/dak$ sıcaklık artışına göre alınmıştır.

Çizelge 7.4. TGA analiz sonuçları

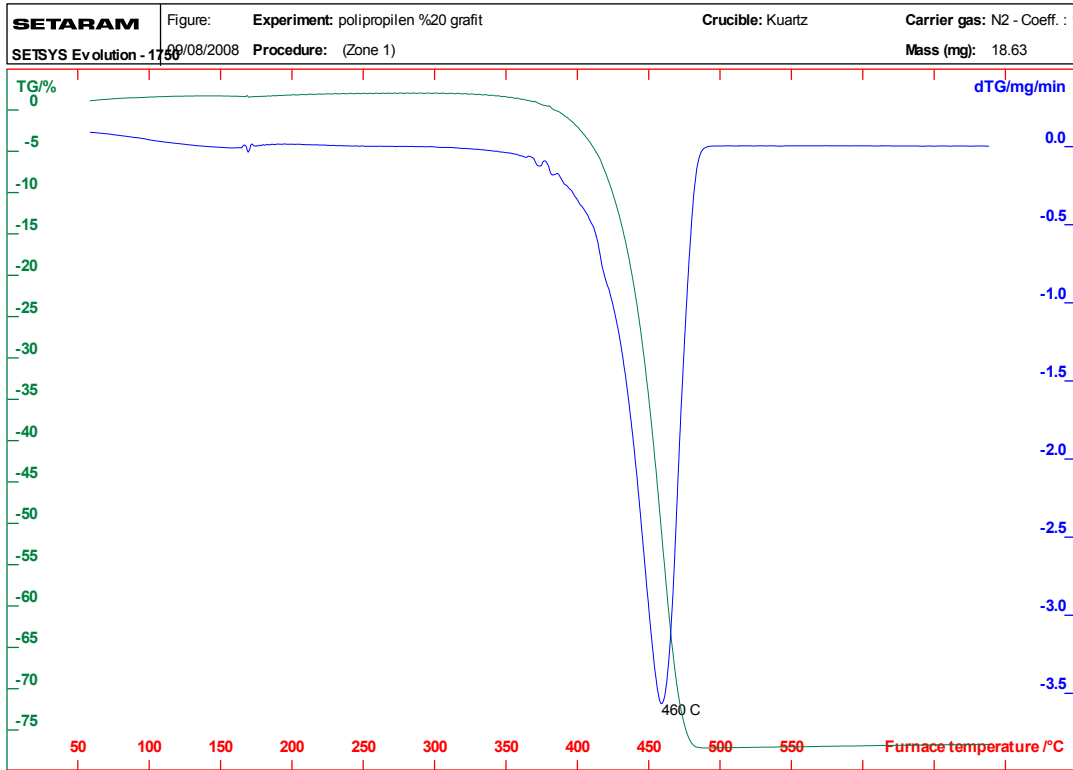
Numune Adı	Bozunma Sıcaklığı (T_{max}), °C	Kalan Madde Miktarı, %
PP	452	4,50
PP10GR	456	12,33
PP15GR	458	17,03
PP20GR	460	21,30
PP25GR	458	22,91
PP30GR	459	31,48
PP20GR0,5CNF	460	23,39
PP0,5CNF	457	3,12
PP1CNF	456	5,10

Malzemenin bozunma sıcaklığı, orijinal numuneye göre ne kadar artarsa malzemenin o kadar termal dayanım kazandığı anlaşılmaktadır. Ancak grafit katkısı malzemenin orijinal numuneye göre bozunma sıcaklıklarında büyük bir artışa sebep olmamıştır. En yüksek artış %20 grafit katkısı yapılmış olan PP20GR numunesinde gözlenmiştir. Aynı oranda artış %20 grafit ve %0,5 CNF katkılı PP20GR0,5CNF numunesinde de gözlenmiş olup, bu oranda CNF katkısının hiçbir etkisi olmamıştır.

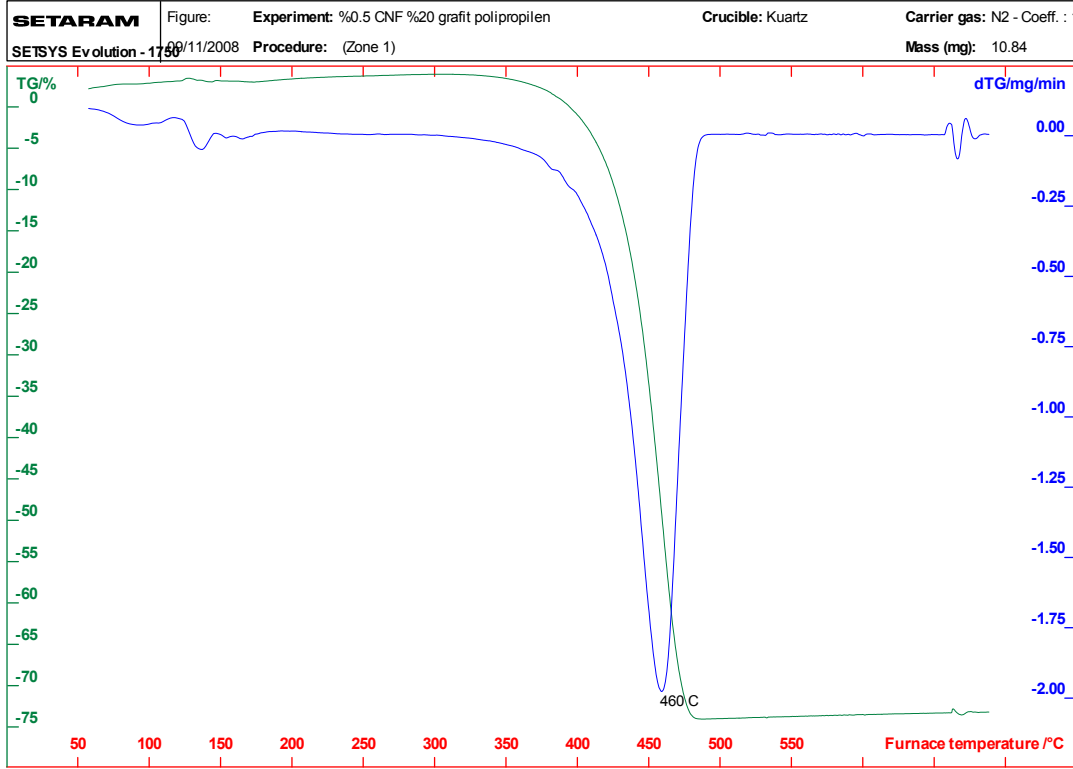
Bununla birlikte Çizelge 7.2. incelendiğinde kalan madde miktarının grafit katkısı arttıkça arttığı ortaya çıkmıştır. CNF ve grafit katkıların bir arada yapıldığı PP20GR0,5CNF numunesinde kalan madde miktarının CNF katkısı ile arttığı gözlemlenmiştir. PP20Gr ve PP25GR numuneleri arasında kalan madde miktarında büyük bir değişiklik olmamakla beraber PP25GR ile PP30GR arasında büyük fark oluşmuştur. Bunun nedeni grafit ve CNF'nin karbon yapılı malzemeler olmasıdır. Karbon yapılı malzemelerin yüksek sıcaklıkta yanması ve kompozit içerisindeki miktarının artması kalan madde miktarının da artmasına sebep olmuştur. Ölçüm sonucunda elde edilen diğer termogramlar Ek-3'te verilmektedir.



Şekil 7.5. PP numunesi için TGA ve DTGA termogramı



Şekil 7.6. PP20GR numunesi için TGA ve DTGA termogramı



Şekil 7.7. PP20GR0,5CNF numunesi için TGA ve DTGA termogramı

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yürütülen bu çalışma ile PEM Yakıt Hücrelerinde kullanılmak üzere, yüksek mekanik mukavemet ve termal dayanım ile elektrik iletkenliğine sahip, hafif kompozit bipolar tabaka hazırlanması amaçlanmaktadır. Bu amaçla yapılan çalışmada elastik özellikle termoplastik polipropilen matrisinde grafit takviye elemanı katılarak kompozit elde edilmiştir.

Deneysel çalışma ile %10, 15, 20, 25, 30 oranında grafit katkılı malzemeler hazırlanmış ve karakterizasyon çalışmaları yürütülmüştür. Bu karakterizasyon çalışmaları sonucunda malzemelerin elektriksel iletkenliklerinin değişimi incelenmiştir. Elektriksel iletkenliğin iletken yapıda bir malzeme olan grafit katkısı ile doğru orantılı olarak artması beklenmektedir.

Yapılan çalışma neticesinde grafit katkısının elektriksel iletkenlik değerini artırdığı gözlenmiştir. %30'luk katkıda (PP30GR) en yüksek elektriksel iletkenlik değerine ($211,50 \text{ (ohm.cm)}^{-1}$) ulaşılmış olup, her bir numunenin bir ay sonra ölçümü tekrarlanmıştır.

Bir ay sonra gerçekleştirilen ölçümlerde malzemelerin elektriksel iletkenlik değerlerinde düşme gözlenmiş olup, bir ayın sonunda %30 katkılı malzemenin halen en yüksek iletkenlik değerine ($191,00 \text{ (ohm.cm)}^{-1}$) sahip olduğu gözlenmiştir.

Söz konusu ölçümlerin ikincisinde elde edilen iletkenlik değerleri, ilk ölçümlere göre daha düşüktür. Bu durumun polimer yapısındaki yaşlanma ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Polimerin yaşlanması bu çalışma kapsamında değerlendirilmemiş olup, bu çalışma neticesinde elde edilen iletkenlik değerleri ileriki zamanda gerçekleştirilecek polimer yaşlanmasına ilişkin çalışmalar için bir ön çalışma niteliğinde olacağı düşünülmektedir.

Ayrıca CNF katkısının malzeme üzerindeki etkisinin belirlenebilmesi amacıyla %20'lik grafit katkılı malzeme (PP20GR) üzerinde değişikliğe gidilmiştir. %20'lik katkılı malzemeye ayrıca %0,5 oranında CNF katılmış (PP20GR0,5CNF), kıyaslamanın iyi yapılabilmesi amacıyla da polipropilene sadece %0,5 (PP0,5CNF) ve %1 CNF (PP1CNF) katkısı yapılmış olan iki numune daha hazırlanmıştır.

%20 grafit ve %0,5 CNF katkı sağlanmış olan (PP20GR0,5CNF) malzemenin PP20GR numunesine göre daha yüksek bir elektriksel iletkenliğe sahip olduğu görülmüş olup, CNF katkısı malzemenin elektrik iletkenliğini %35,66 oranında artırmıştır. Grafitin kompozit yapıya olan katkısı CNF'nin düşük boyuttaki parça yapısının katkısı ile birleşmesi ile iletkenlik yükselmiştir. Ayrıca, malzeme arasında boşlukların dolması ve buna bağlı olarak parçacıklar arasındaki mesafenin azalması (perkolasyon teorisine göre) direnci düşürmüştür. Bu sayede iletkenlik artmıştır.

Bu numunelerin SEM fotoğrafları incelendiğinde CNF katkısının malzeme arasındaki olası gözenekleri doldurduğu ve malzemenin daha sağlam bir yapıya kavuştuğunu göstermektedir. Bu sayede, direnç oluşturacak alanların azaldığı ve katkı maddelerinin elektriksel iletkenliğini yükselttiği anlaşılmaktadır.

%0,5 sadece CNF katkısı incelendiğinde, bu miktardaki CNF'nin polipropilen içerisinde yeterince dağılmadığı ve parçacıklar arası mesafenin çok olması sebebiyle mekanik mukavemetin düştüğü düşünülmektedir.

Malzemelerin mekanik dayanımları incelendiğinde, polipropilenin esnek yapısı sebebiyle, üç noktadan eğme testi gerçekleştirilememiştir.

Ancak malzeme üzerinde yapılan çekme testleri incelendiğinde %20 grafit katkılı PP20GR numunesinde en yüksek çekme dayanımı elde edildiği belirlenmiş olup, bu değere karşılık malzemenin hissedilir miktarda

(%15,115) uzama gösterdiği görülmektedir. SEM fotoğraflarının incelenmesi ile de malzemenin ağ şeklindeki yapısının buna katkısı olduğu görülmektedir.

Dayanımı artırmak amacıyla yapılan CNF katkısı incelendiğinde, %0,5 CNF katkısının PP20GR0,5CNF numunesinin çekme dayanımını artırmadığı (22,99 MPa), aksine %23,82 oranında düşürdüğü ancak malzemenin uzama miktarında %7,12 PP20GR numunesine göre artış sağladığı belirlenmiştir.

Bu da göstermektedir ki, nano boyuttaki malzeme ve lif yapısı uzama üzerinde büyük etkiye sahiptir. Malzemenin kopma yüzeyinin SEM fotoğrafları incelendiğinde CNF katkısı ile malzemenin daha homojen bir yapıya sahip olduğu görülmektedir.

Malzemenin termal bozunma sıcaklığının belirlenebilmesi amacıyla yapılan termogravimetrik analizleri neticesinde grafit katkısının artması ile numunenin kalan madde miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Bununla beraber %20 grafit ve %0,5 CNF katkısının bir arada yapıldığı PP20GR0,5CNF numunesi ile sadece %20 grafit katılmış olan PP20GR numuneleri karşılaştırıldığında, bozunma sıcaklıklarının aynı olduğu; ancak CNF katkısının malzemenin kalan madde miktarını artırdığı gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışma neticesinde elde edilen numunelerin yakıt hücresi çalışma koşullarındaki verimlerinin tespit edilebilmesi amacıyla yakıt hücresi testi gerçekleştirilebilir.

Ayrıca, bipolar tabakaların mobil uygulamalarda kullanılabilmesi amacıyla hafif olmaları büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla malzemenin ağırlığının azaltılması yönünde çalışmalar yapılabilir. Bu kapsamda, elde edilecek olan numunelerin kalınlıklarına göre elektriksel iletkenlikleri ve mekanik mukavemetleri incelenerek kalınlığın malzeme dayanımı ve iletkenliği üzerine etkisi belirlenebilir. Bu durum neticesinde optimum kalınlık, ağırlık ve iletkenlik değerleri tespit edilebilir.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Hacettepe Üniversitesi, "Proton Değişimi Nedir"
<http://yunus.hacettepe.edu.tr/~yilser/yakitpili.htm> (2008).
2. Hoogers, G., "Fuel Cell Technology Handbook 1st ed.", **CRC Press**, Florida, 2.2-2.38 (2002).
3. İnternet: Waterloo Üniversitesi, Bipolar Plates of PEMFC - Review of Flow Fields (Channels) Design.
http://watcar.uwaterloo.ca/pdf/bipolar_plate.pdf (2006).
4. Şahin, Y., "Kompozit Malzemelere Giriş", **Gazi Kitabevi**, Ankara, 1-3, 8-16 (2000).
5. Ersoy, H.Y., "Kompozit Malzeme", **Literatür Yayıncılık**, İstanbul, 11-15, 95-105 (2001).
6. Saçak, M., "Polimer Teknolojisi", **Gazi Kitabevi**, Ankara, 221-224 (2005).
7. Saçak, M., "Polimer Kimyası", **Gazi Kitabevi**, Ankara, 85-87 (2002).
8. İnternet: Maltepe Üniversitesi, Kompozit Malzemeler
<http://akademik.maltepe.edu.tr/~aliozcan/kompozit%20malzemeler.pdf> (2008).
9. Heinzl, A., Mahlendorf, F., Niemzig, O., Kreuz, C., "Injection moulded low cost bipolar plates for PEM fuel cells", **Journal of Power Sources**, 11: 35-40 (2004).
10. Zor M., "Modern Fizik", **Anadolu Üniversitesi Yayınları**, Eskişehir, 95-97 (1991).
11. İnternet: TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, "Metallerin Temel Mekanik Özellikleri"
<http://www.etu.edu.tr/~onderefe/courses/muh100/bolum10.ppt> (2007).
12. American Society for Testing and Materials, "D638M-91a Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics", 1993 Annual Book of ASTM Standards Vol 08.01 Plastics (1), **ASTM International**, Philadelphia, 174-182 (1993).
13. American Society for Testing and Materials, "D790M-92 Standart Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials", 1993 Annual Book of ASTM Standards Vol 08.01 Plastics (1), **ASTM International**, Philadelphia, 284-292 (1993).

14. Toğul, T., "İnstrumental Analiz", **Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü**, 101-117 (1995).
15. Skoog, D.A., Holler, F.J., Nieman, T.A., "Principles of Instrumental Analysis", 5th ed., **Saunders College Publishing**, London, 546-553, 798-807 (1998).
16. Wu, M., Shaw, L.L., "A novel concept of carbon-filled polymer blends for applications in PEM fuel cell bipolar plates", **International Journal of Hydrogen Energy**, 30: 373-380 (2005).
17. Hermann A., Chaudhuri T., Spagnol P., "Bipolar plates for PEM fuel cells: A review", **International Journal of Hydrogen Energy**, 30: 1297-1302 (2005).
18. Li, X., Sabir, I., "Review of bipolar plates in PEM fuel cells: Flow-field designs", **International Journal of Hydrogen Energy**, 30: 359-371 (2005).
19. Cho, E.A., Jeon, U.-S., Ha, H.Y., Hong, S.-A., Oh, I.-H., "Characteristics of composite bipolar plates of polymer electrolyte membrane fuel cells", **Journal of Power Sources**, 125: 178-182 (2004).
20. Joseph S., McClure J.C., Chianelli R., Pich P., Sebastian P.J., "Conducting polymer-coated stainless steel bipolar plates for proton Exchange membrane fuel cells (PEMFC)", **International Journal of Hydrogen Energy**, 30: 1339-1344 (2005).
21. Huang, J., Baird, D.G., McGrath, J.E., "Development of fuel cell bipolar plates from graphite filled wet-lay thermoplastic composite materials", **Journal of Power Sources**, 150: 110-119 (2005).
22. Mighri, F., Huneault, M. A., Champagne, M. F., "Electrically Conductive Thermoplastic Blends for Injection and Compression Molding of Bipolar Plates in the Fuel Cell Application", **Polymer Engineering and Science**, 44-9: 1755-1765 (2004).
23. Scholta, J., Rohland, B., Trapp, V., Focken, U., "Investigation on novel low-cost graphite composite bipolar plates", **Journal of Power Sources**, 84: 231-234 (1999).
24. Del Rio, C., Ojeda, M.C., Acosta, Escudero, M.J., Hontañon, E., Daza, L., "New polymer bipolar plates for Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells: Synthesis and Characterization", **Journal of Applied Polymer Sciences**, 83: 2817-2822 (2002).

25. Yan, X., Hou, M., Zhang, H., Jing, F., Ming, P., Yi, B., "Performance of PEMFC stack using expanded graphite bipolar plates", **Journal of Power Sources**, 160: 252-257 (2006).
26. Zhang, J., Zou, Y.W., He, J., "Influence of graphite particle size and its shape on performance of carbon composite bipolar plate", **Journal of Zhejiang University**, 6A(10): 1080-1083 (2005).
27. Şahin, Y., "Kompozit Malzemelere Giriş", **Gazi Kitabevi**, Ankara, 1-3, 8-16 (2000).
28. Knox, C.E., "Handbook of Composite Materials", **Van Nostrand Reinhold**, New York, 136-137 (1982).
29. İnternet: Harran Üniversitesi, "Kompozit Malzemeler".
http://eng.harran.edu.tr/~emin/kompozit_malzemeler.htm (2007).
30. Akovalı, G., Pulat, E., Alyürük, K., "Temel ve Uygulamalı Polimer", **Tümka**, Ankara, 374-375 (1984).
31. Dai K., Xu X.B. and Li Z.M., "Electrically Conductive Carbon Black (CB) Filled insitu Microfibrillar PET/PE Composite with A Selective CB Distribution", **Polmag: Polymer Journal**, 48: 849-859 (2007).

EKLER

EK-1 Mekanik karakterizasyon sonuçları

Çizelge 1.1. PP10GR numune grubu için çekme testi sonuçları

Numune Adı	Maks. Çekme Dayanımı, MPa	Maks. Uzama, %	Young's Modulus, MPa
PP10GR-1	0,491	13,380	3,668
PP10GR-2	0,504	14,848	3,396
PP10GR-3	0,499	14,608	3,417
PP10GR-4	0,483	13,660	3,532
PP10GR-5	0,495	14,060	3,518
Ortalama	0,494	14,111	3,506
Sapma	0,01	0,62	0,11

Çizelge 1.2. PP15GR numune grubu için çekme testi sonuçları

Numune Adı	Maks. Çekme Dayanımı, MPa	Maks. Uzama, %	Young's Modulus, MPa
PP15GR-1	27,434	16,036	171,079
PP15GR-2	27,135	16,020	169,382
PP15GR-3	27,039	15,996	169,034
PP15GR-4	27,595	16,156	170,803
PP15GR-5	27,360	16,344	167,403
Ortalama	27,313	16,110	169,540
Sapma	0,23	0,14	1,48

Çizelge 1.3. PP20GR numune grubu için çekme testi sonuçları

Numune Adı	Maks. Çekme Dayanımı, MPa	Maks. Uzama, %	Young's Modulus, MPa
PP20GR-1	30,002	14,952	200,656
PP20GR-2	29,987	14,900	201,253
PP20GR-3	30,360	15,196	199,792
PP20GR-4	30,424	15,464	196,742
PP20GR-5	30,120	15,065	199,947
Ortalama	30,179	15,115	199,678
Sapma	0,20	0,23	1,74

EK-1 (Devam) Mekanik karakterizasyon sonuçları

Çizelge 1.4. PP25GR numune grubu için çekme testi sonuçları

Numune Adı	Maks. Çekme Dayanımı, MPa	Maks. Uzama, %	Young's Modulus, MPa
PP25GR-1	16,244	6,924	234,601
PP25GR-2	16,369	6,996	233,973
PP25GR-3	16,303	6,980	233,572
PP25GR-4	15,941	6,740	236,511
PP25GR-5	16,276	6,952	234,117
Ortalama	16,227	6,918	234,555
Sapma	0,17	0,10	1,15

Çizelge 1.5. PP30GR numune grubu için çekme testi sonuçları

Numune Adı	Maks. Çekme Dayanımı, MPa	Maks. Uzama, %	Young's Modulus, MPa
PP30GR-1	19,691	4,664	422,188
PP30GR-2	19,410	4,380	443,141
PP30GR-3	20,100	4,804	418,410
PP30GR-4	19,723	4,516	436,734
PP30GR-5	19,980	4,704	424,754
Ortalama	19,781	4,614	429,045
Sapma	0,27	0,17	10,44

Çizelge 1.6. PP20GR0,5CNF numune grubu için çekme testi sonuçları

Numune Adı	Maks. Çekme Dayanımı, MPa	Maks. Uzama, %	Young's Modulus, MPa
PP20GR0,5CNF-1	22,978	16,244	141,457
PP20GR0,5CNF-2	22,874	16,152	141,618
PP20GR0,5CNF-3	23,326	16,608	140,452
PP20GR0,5CNF-4	22,825	16,132	141,492
PP20GR0,5CNF-5	22,974	16,220	141,638
Ortalama	22,995	16,271	141,331
Sapma	0,20	0,19	0,50

EK-1 (Devam) Mekanik karakterizasyon sonuçları

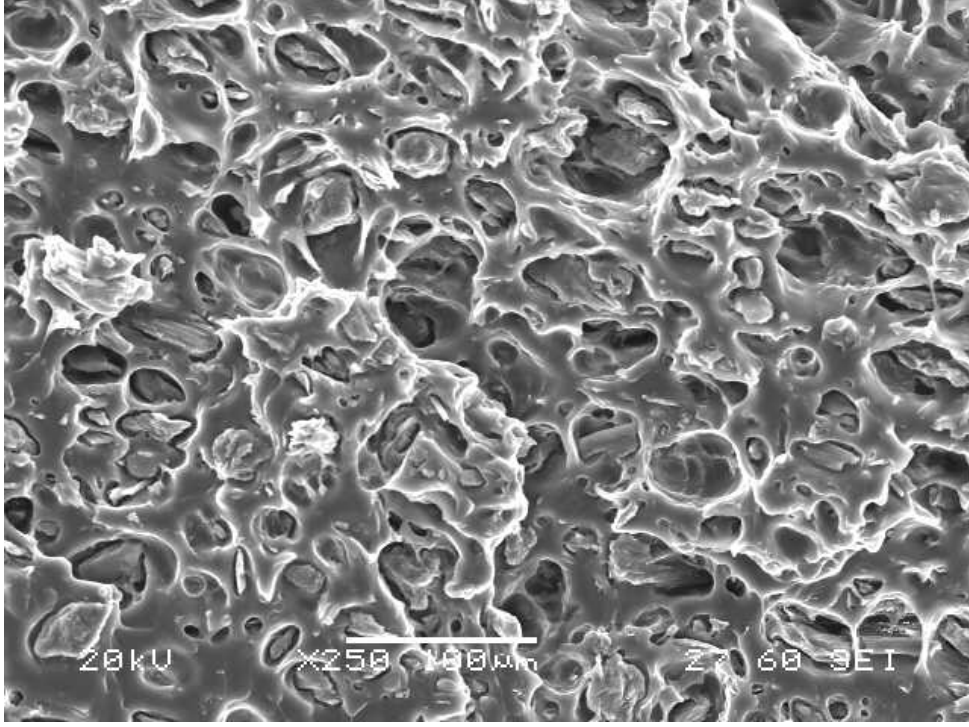
Çizelge 1.7. PP0,5CNF numune grubu için çekme testi sonuçları

Numune Adı	Maks. Çekme Dayanımı, MPa	Maks. Uzama, %	Young's Modulus, MPa
PP0,5CNF-1	0,474	18,088	2,621
PP0,5CNF-2	0,458	18,004	2,543
PP0,5CNF-3	0,462	18,028	2,563
PP0,5CNF-4	0,478	18,448	2,593
PP0,5CNF-5	0,469	18,048	2,597
Ortalama	0,468	18,123	2,583
Sapma	0,01	0,18	0,03

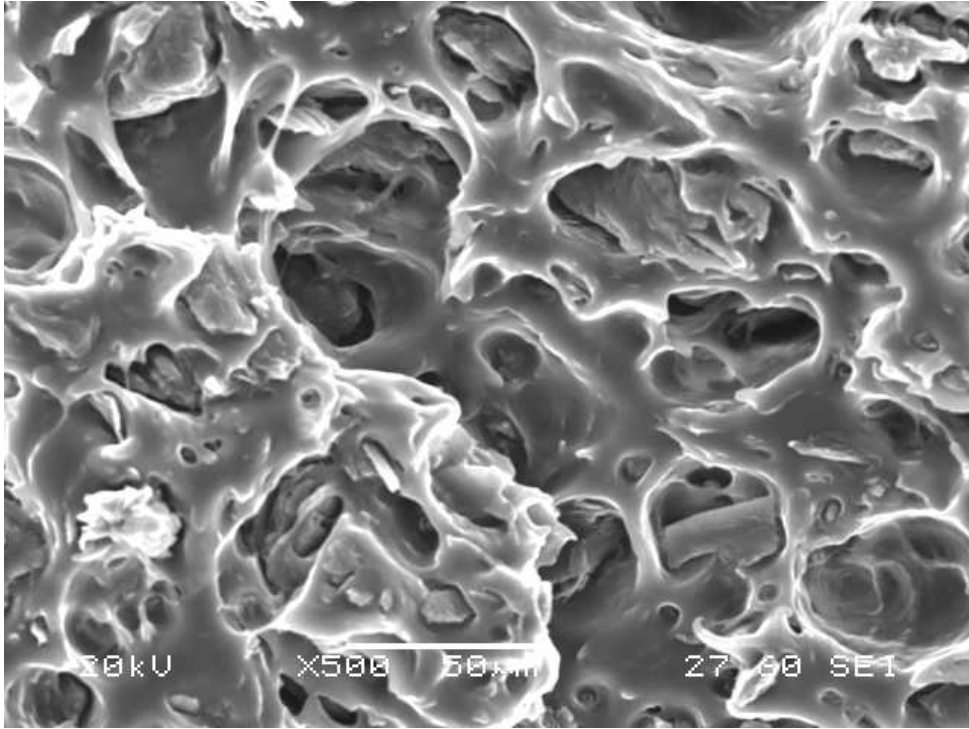
Çizelge 1.8. PP1CNF numune grubu için çekme testi sonuçları

Numune Adı	Maks. Çekme Dayanımı, MPa	Maks. Uzama, %	Young's Modulus, MPa
PP1CNF-1	24,584	29,744	82,651
PP1CNF-2	24,138	29,136	82,847
PP1CNF-3	24,168	29,580	81,702
PP1CNF-4	24,926	30,272	82,341
PP1CNF-5	24,460	29,716	82,313
Ortalama	24,455	29,690	82,371
Sapma	0,32	0,41	0,43

EK-2 Yüzey karakterizasyonu sonuçları

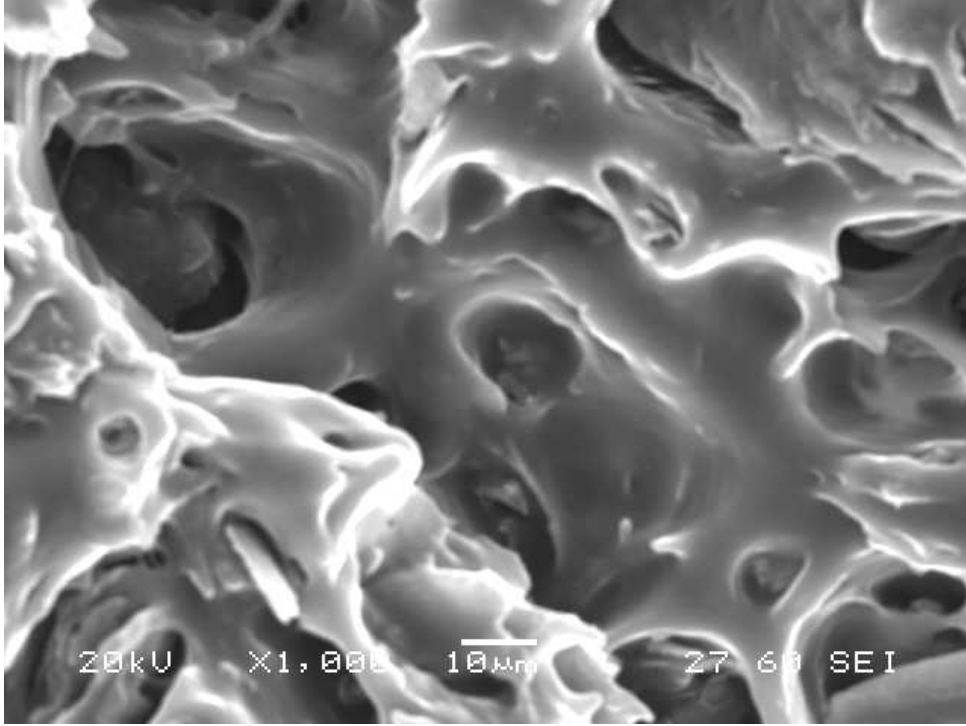


Resim 2.1. PP15GR SEM mikrografi (x250 büyütme)

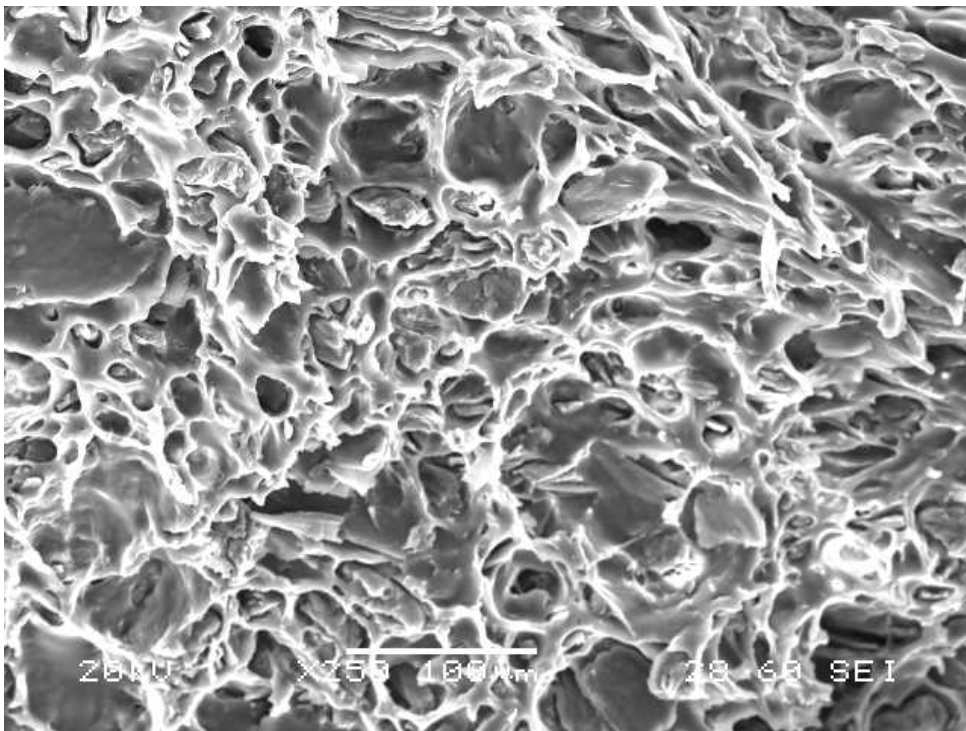


Resim 2.2. PP15GR SEM mikrografi (x500 büyütme)

EK-2 (Devam) Yüzey karakterizasyonu sonuçları

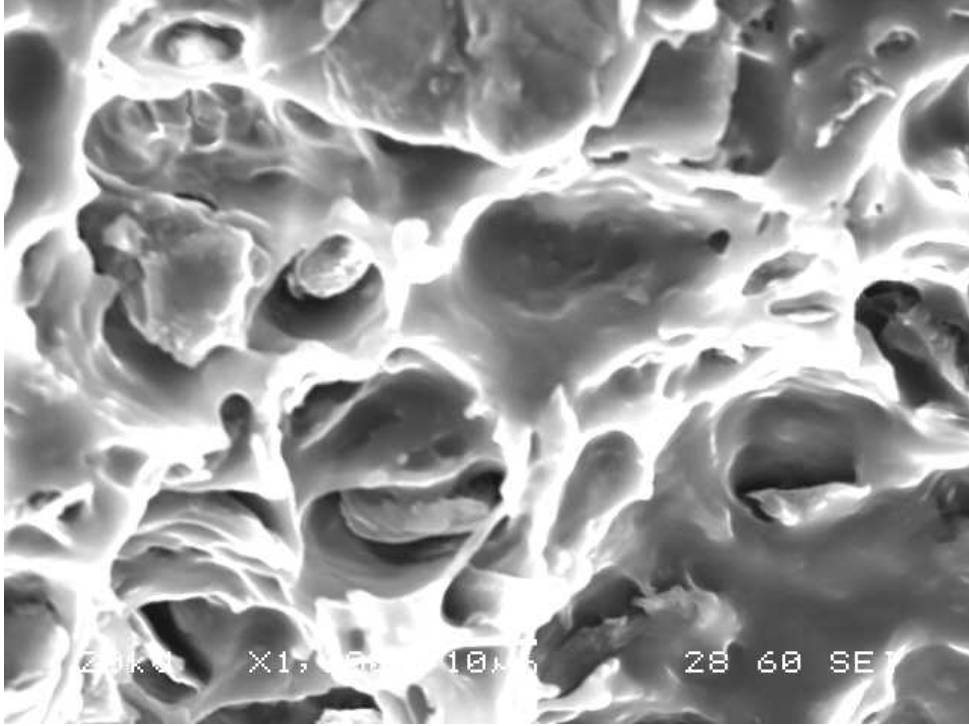


Resim 2.3. PP15GR SEM mikrografi (x1 000 büyütme)

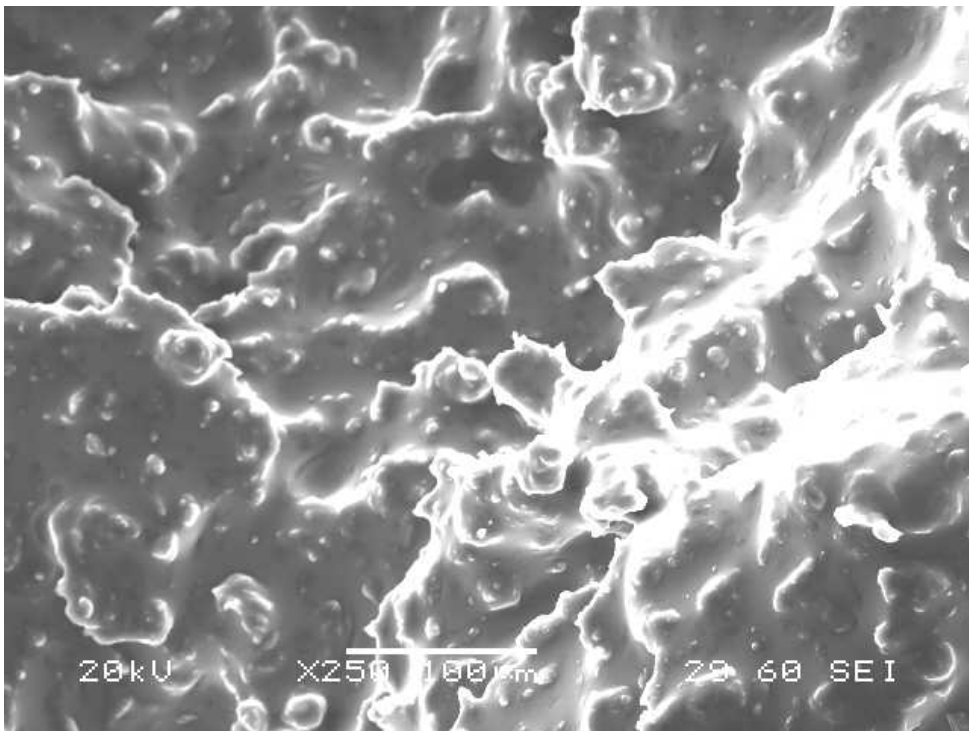


Resim 2.4. PP20GR SEM mikrografi (x250 büyütme)

EK-2 (Devam) Yüzey karakterizasyonu sonuçları

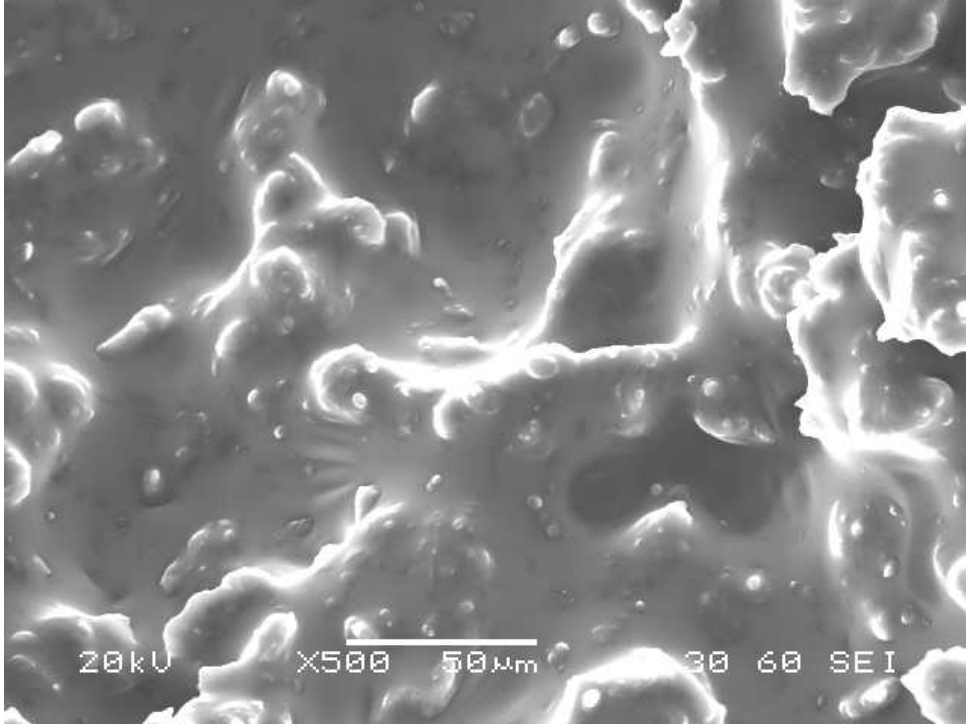


Resim 2.5. PP20GR SEM mikrografı (x1 000 büyütme)

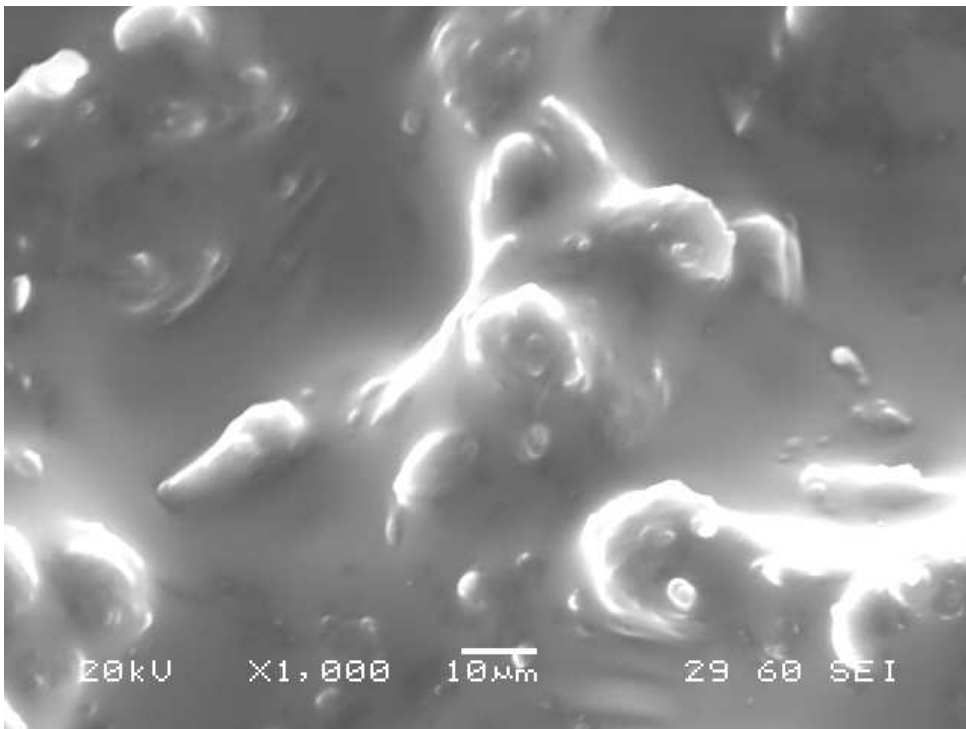


Resim 2.6. PP25GR SEM mikrografı (x250 büyütme)

EK-2 (Devam) Yüzey karakterizasyonu sonuçları

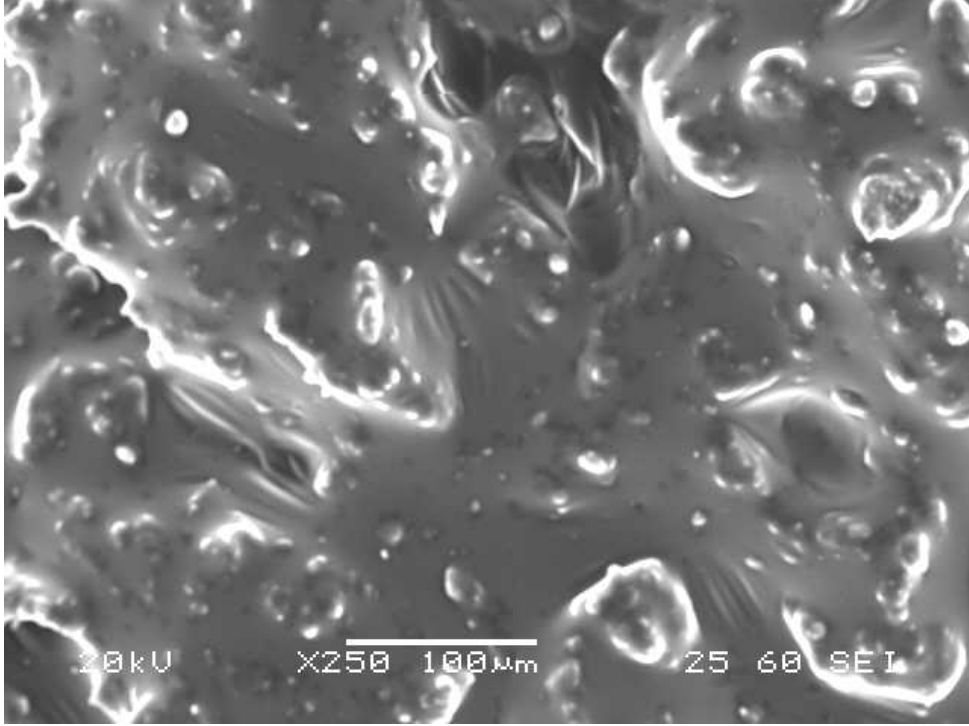


Resim 2.7. PP25GR SEM mikrografı (x500 büyütme)

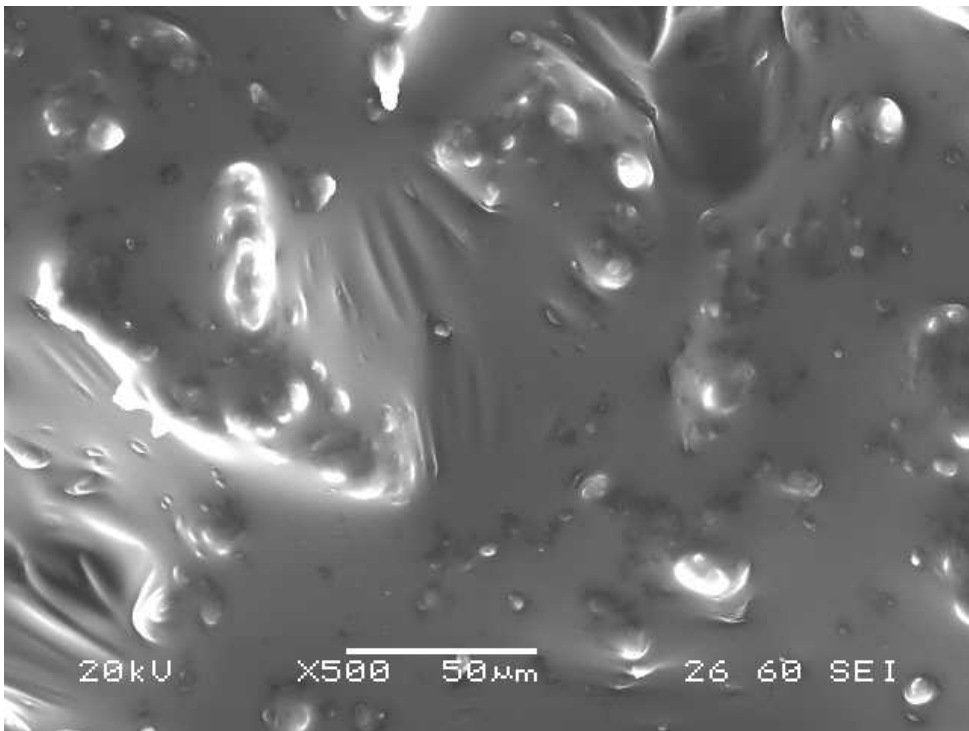


Resim 2.8. PP25GR SEM mikrografı (x1 000 büyütme)

EK-2 (Devam) Yüzey karakterizasyonu sonuçları

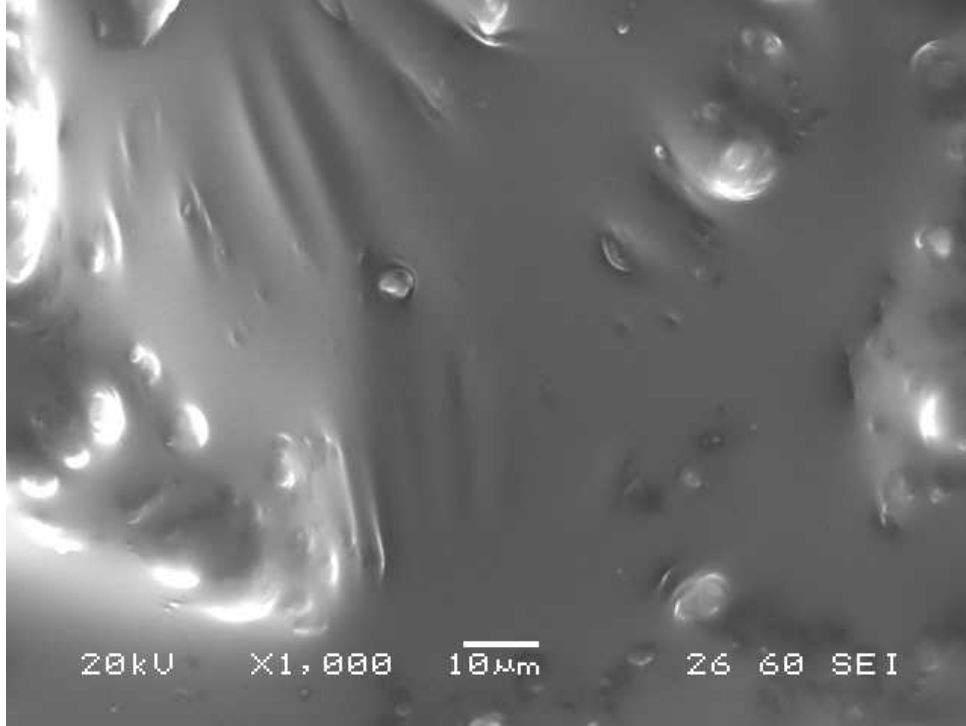


Resim 2.9. PP30GR SEM mikrografı (x250 büyütme)

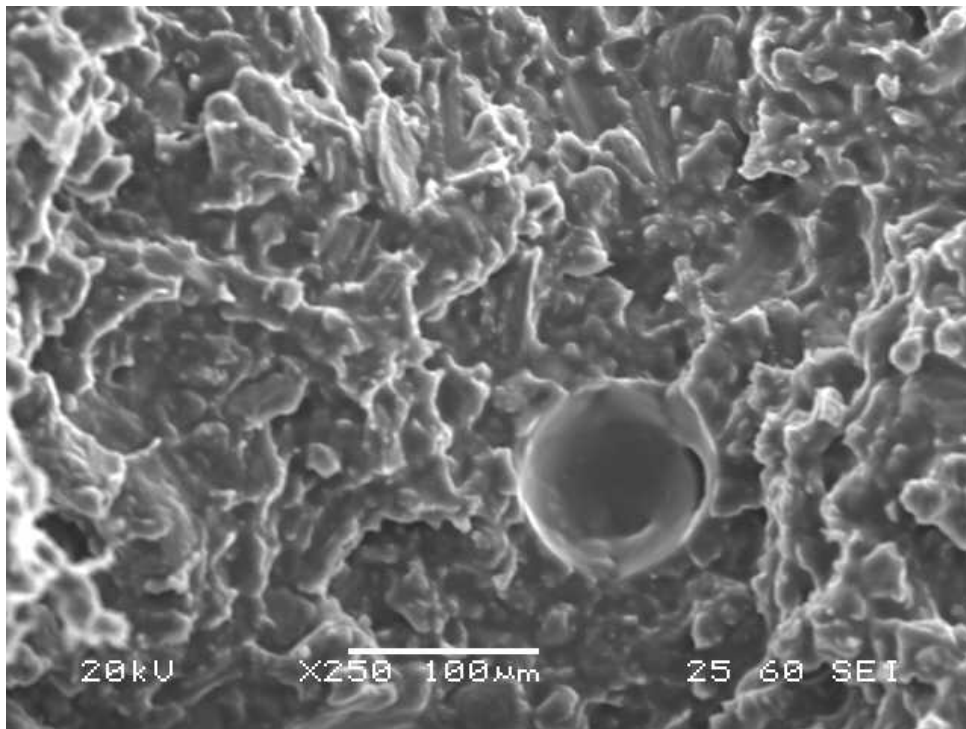


Resim 2.10. PP30GR SEM mikrografı (x500 büyütme)

EK-2 (Devam) Yüzey karakterizasyonu sonuçları

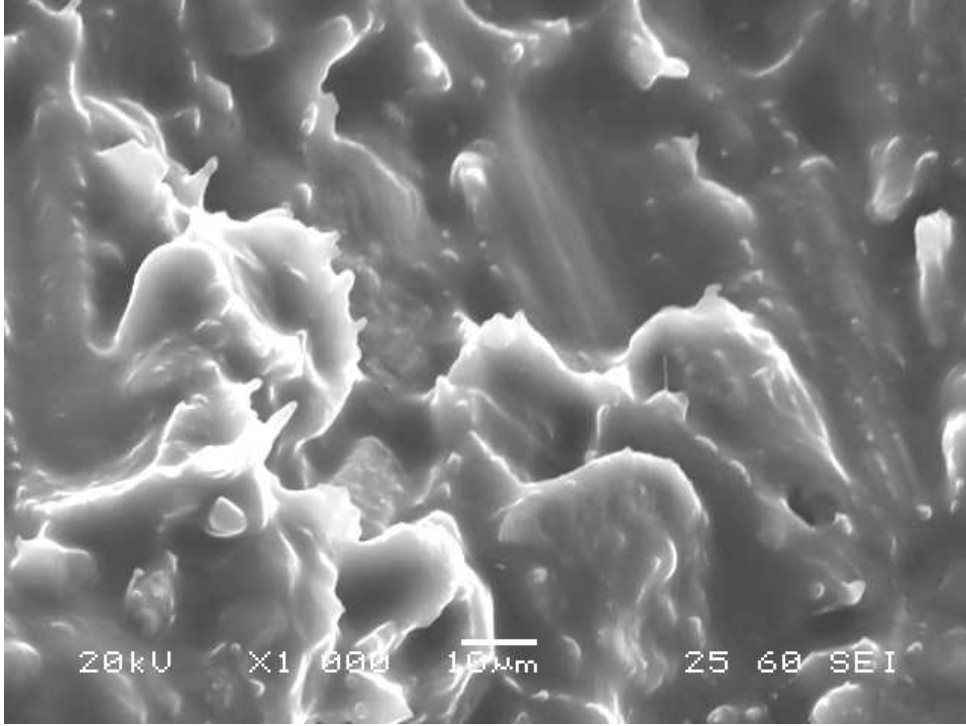


Resim 2.11. PP30GR SEM mikrografı (x1 000 büyütme)

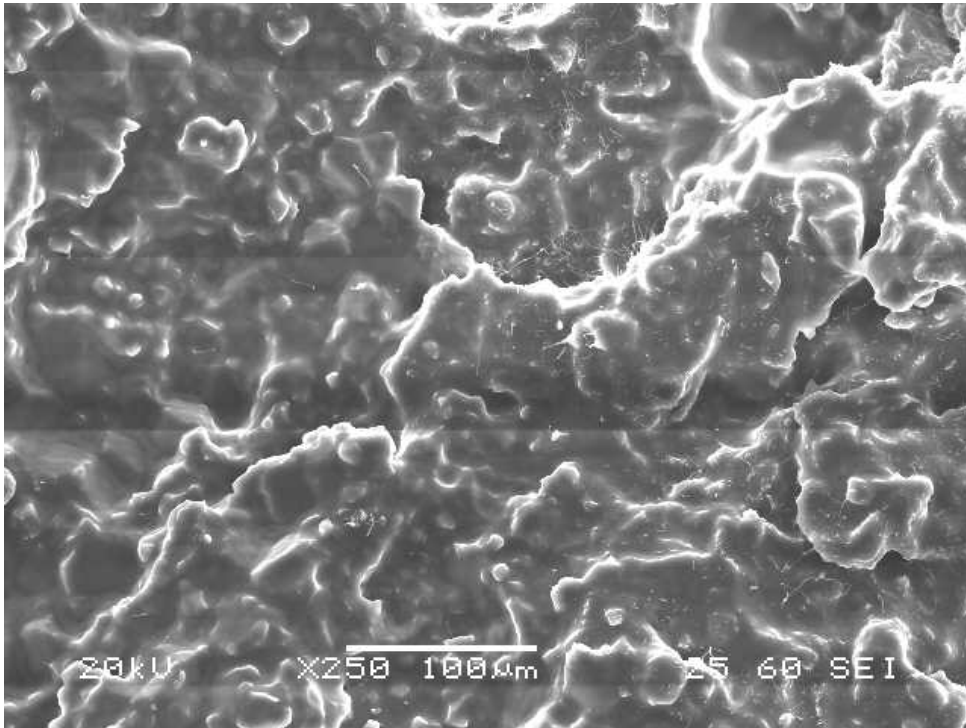


Resim 2.12. PP20GR0,5CNF SEM Mikrografı (x250 büyütme)

EK-2 (Devam) Yüzey karakterizasyonu sonuçları

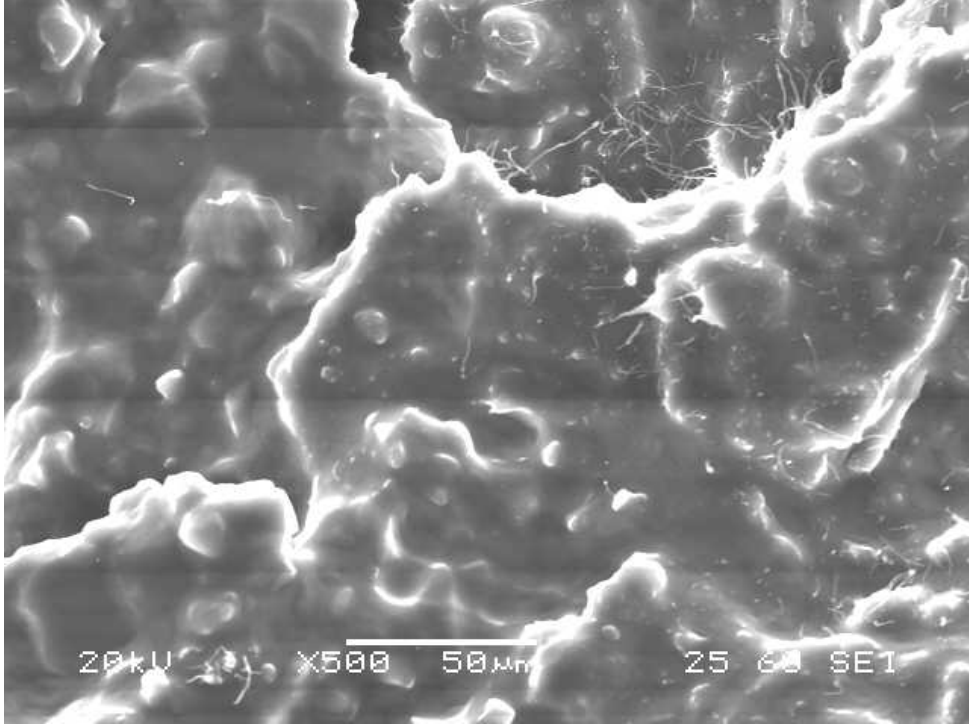


Resim 2.13. PP20GR0,5CNF SEM mikrografı (x1 000 büyütme)

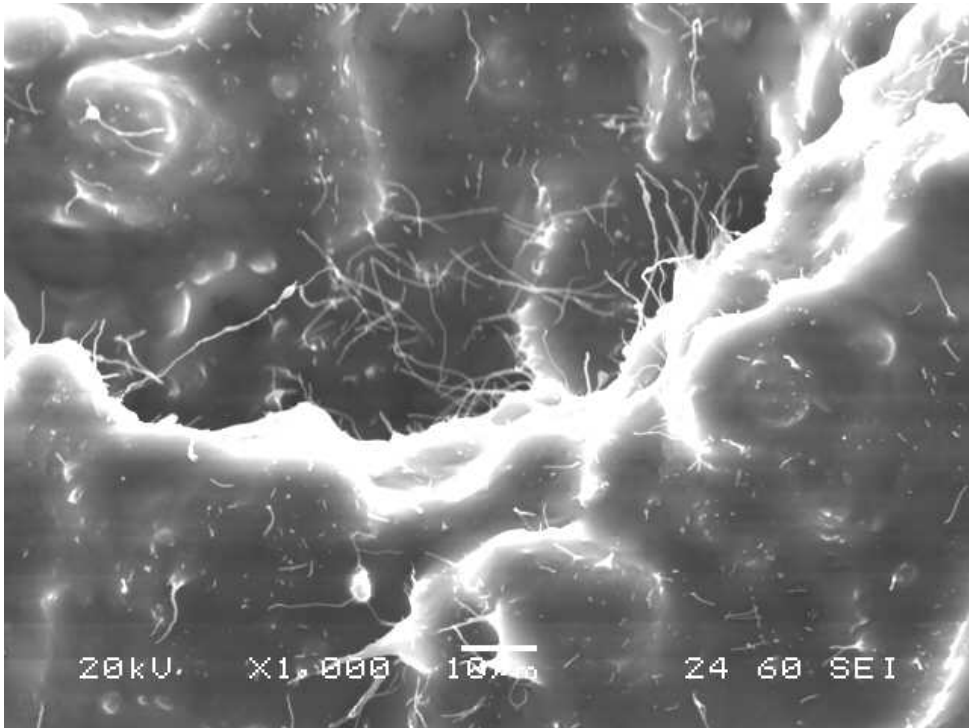


Resim 2.14. PP1CNF SEM mikrografı (x250 büyütme)

EK-2 (Devam) Yüzey karakterizasyonu sonuçları

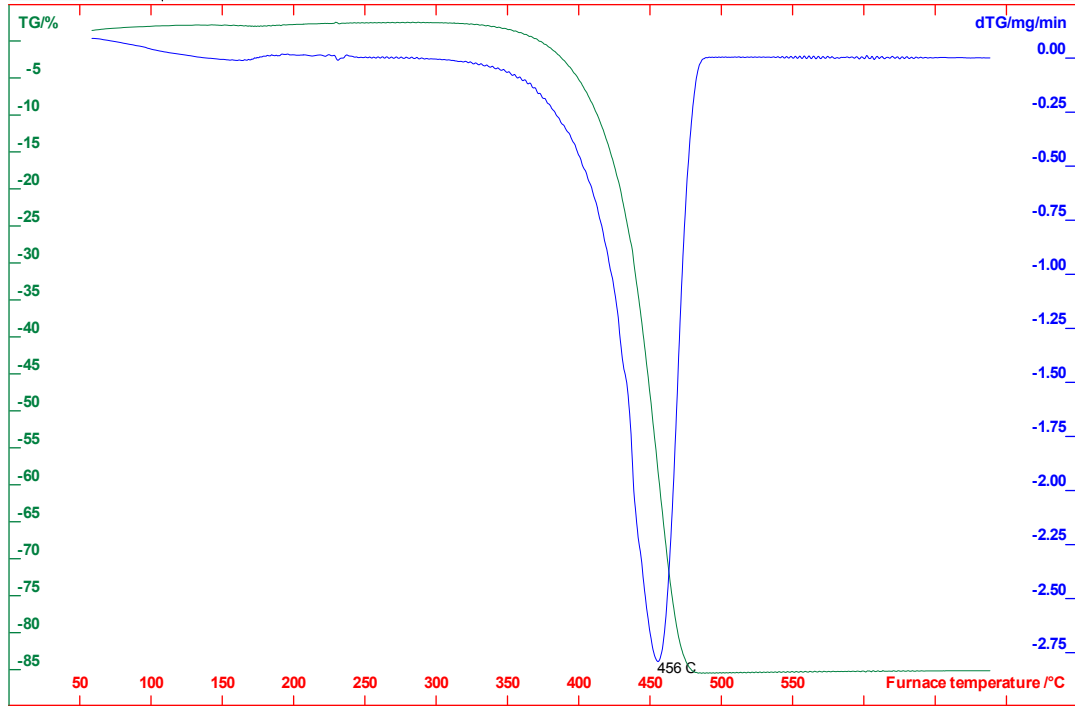


Resim 2.15. PP1CNF SEM mikrografi (x500 büyütme)

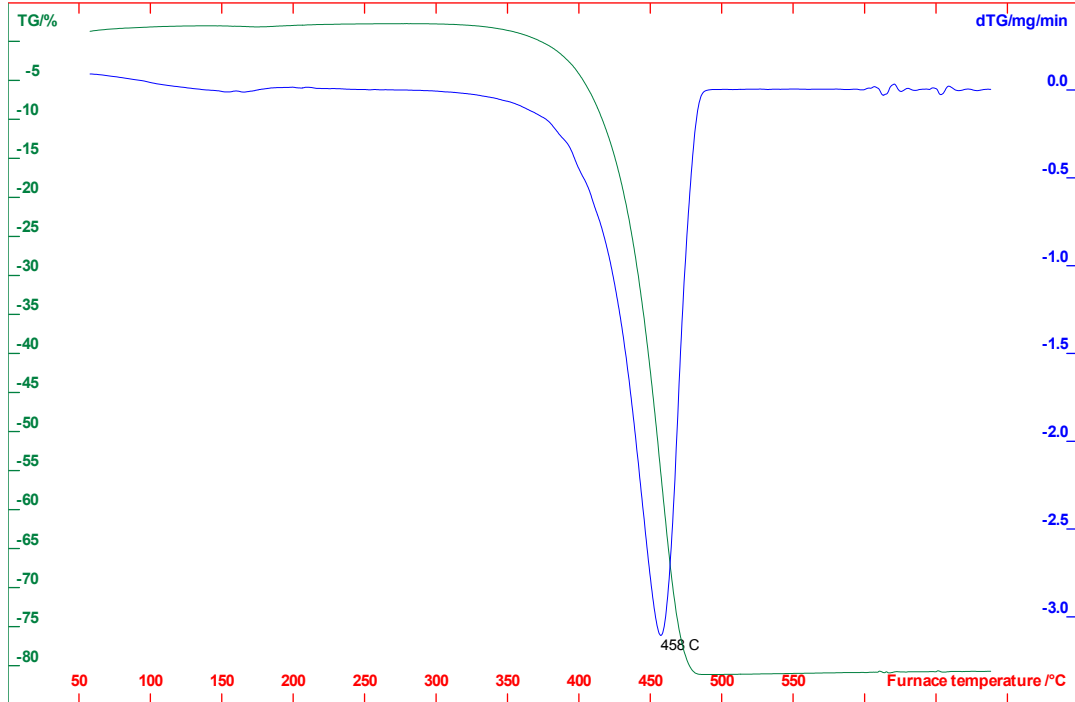


Resim 2.16. PP1CNF SEM mikrografi (x1 000 büyütme)

EK-3 Termal karakterizasyon sonuçları

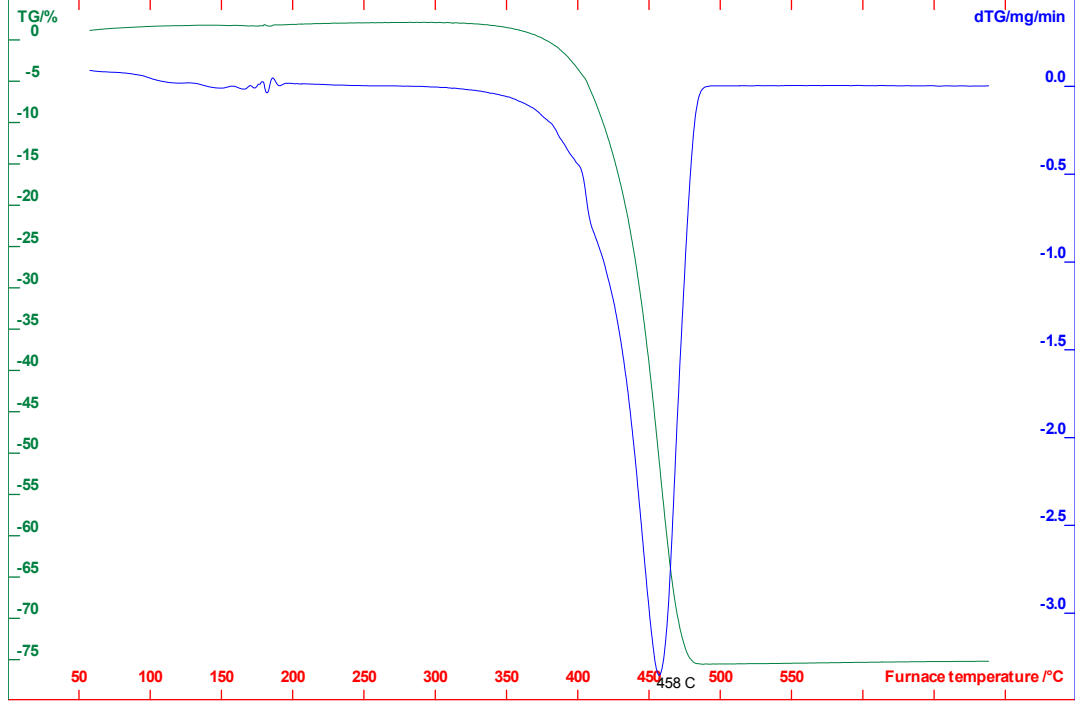


Şekil 3.1. PP10GR numunesi için TGA ve DTGA termogramı

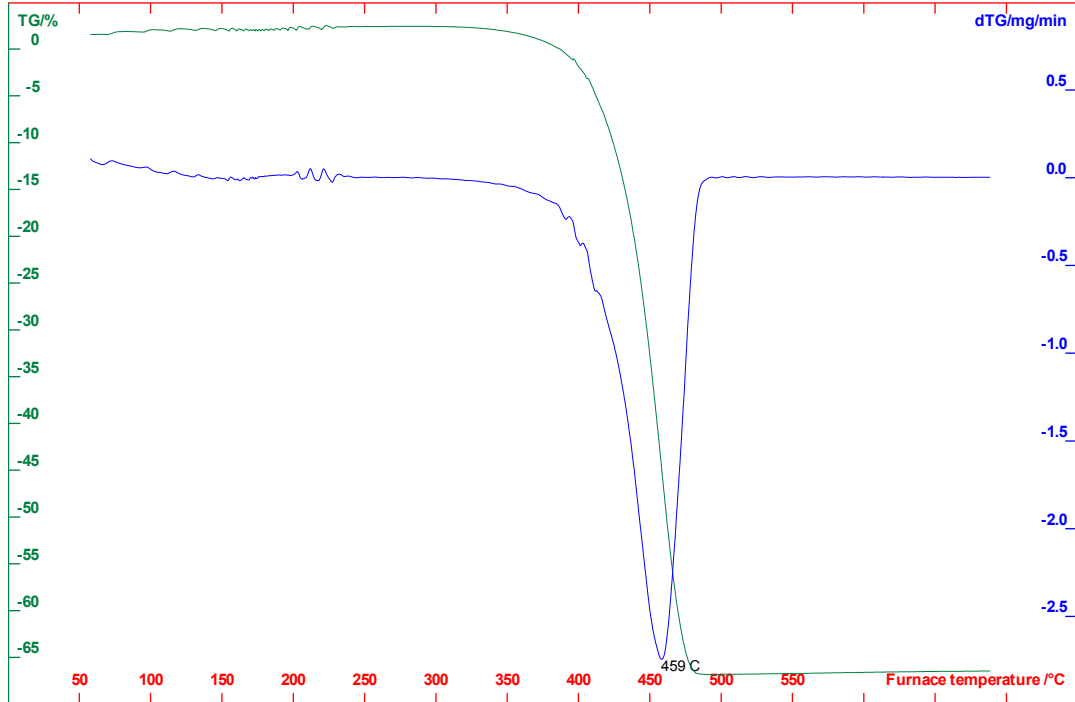


Şekil 3.2. PP15GR numunesi için TGA ve DTGA termogramı

EK-3 (Devam) Termal karakterizasyon sonuçları

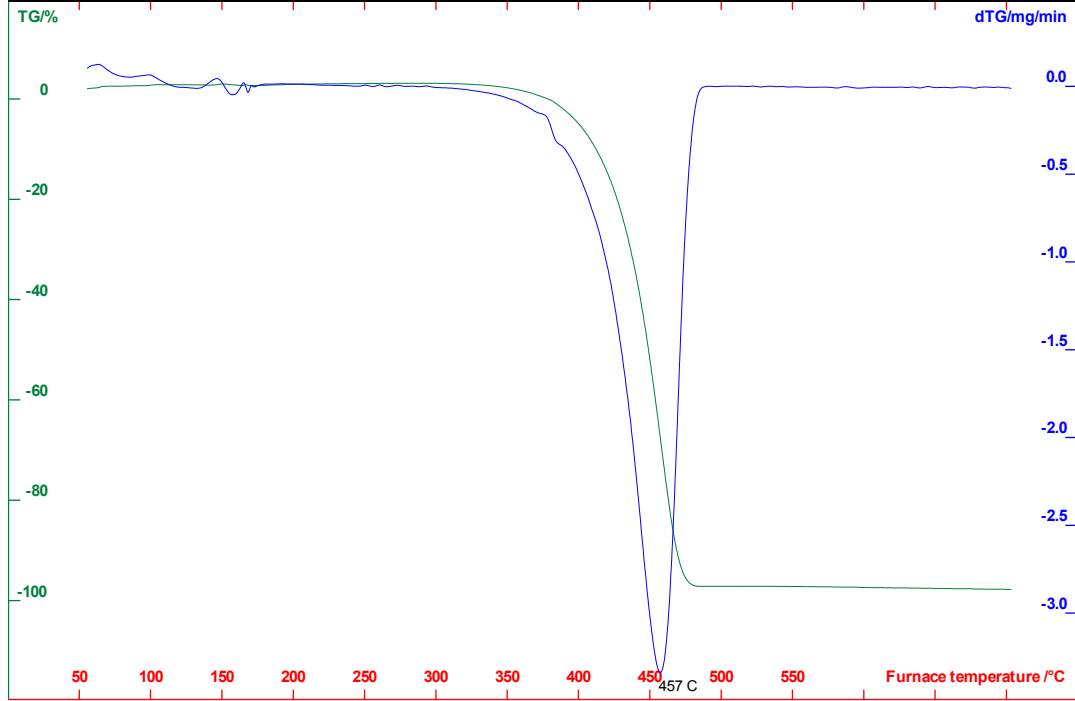


Şekil 3.3. PP25GR numunesi için TGA ve DTGA termogramı

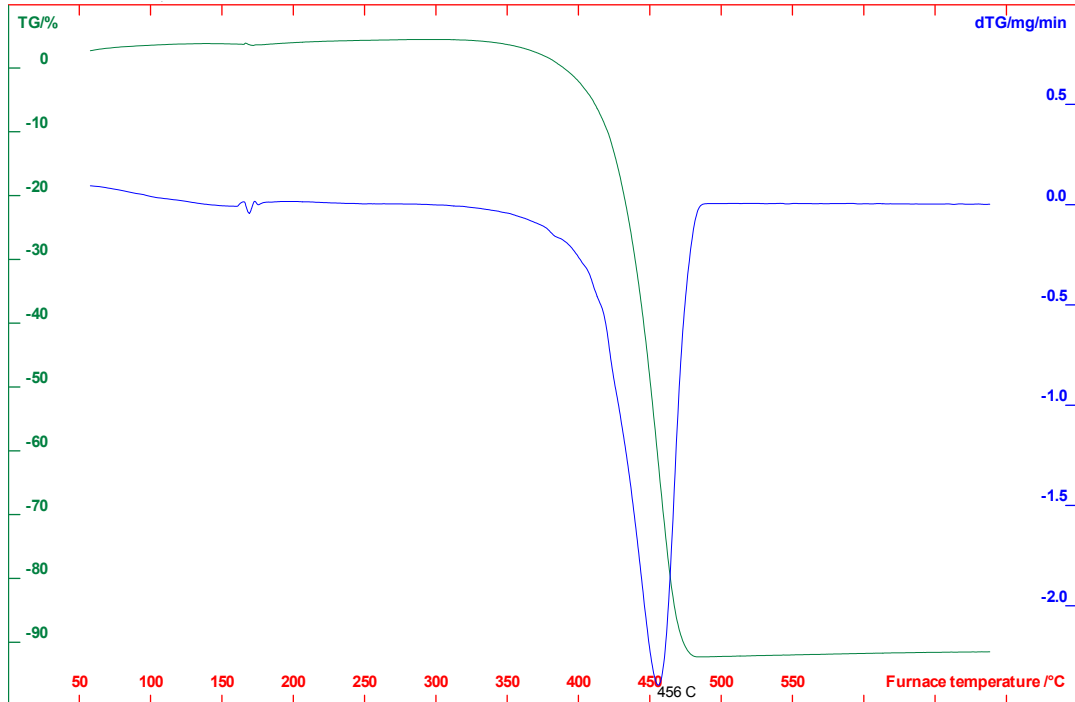


Şekil 3.4. PP30GR numunesi için TGA ve DTGA termogramı

EK-3 (Devam) Termal karakterizasyon sonuçları



Şekil 3.5. PP0,5CNF numunesi için TGA ve DTGA termogramı



Şekil 3.6. PP1CNF numunesi için TGA ve DTGA termogramı

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AKINÇ, Oğuzhan
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 01.01.1984 Ankara
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (312) 284 34 03
e-posta : oguzhanakinc@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi / Kimya Müh. Bölümü	2005
Lise	TED Ankara Koleji Lisesi	2001

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2007	T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı	Uzman Yard.

Yabancı Dil

İngilizce (TOEFL CBT:233)
Almanca

Hobiler

Grafik Tasarım, Dijital Video, Sinema, Taekwondo, Tenis