T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOĞAL ELYAF İÇEREN POLİÜRETAN KOMPOZİTLER

SEMİH AKBAY
YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA ANABİLİM DALI

GEBZE
2019

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOĞAL ELYAF İÇEREN POLİÜRETAN KOMPOZİTLER

SEMİH AKBAY
YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
PROF. DR. FATMA YÜKSEL

GEBZE
2019

T.R.

GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

POLYURETHANE COMPOSITES CONTAINED NATURAL FIBERS

SEMİH AKBAY

A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE

DEPARTMENT OF CHEMISTRY

THESIS SUPERVISOR

PROF. DR. FATMA YÜKSEL

GEBZE

2019

GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ	**YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU**

GTÜ Fen Bilinleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 19/06/2019 tarih ve 2019/27 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 27/06/2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Semih AKBAY'ın tez çalışması Kimya Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE (TEZ DANIŞMANI)	: Prof.Dr. Fatma YÜKSEL
ÜYE	: Prof.Dr. Gönül YENİLMEZ ÇİFTÇİ
ÜYE	: Prof.Dr. Ali ERDOĞMUŞ

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

ÖZET

Gelişen dünyamızda sürekli artan nüfusun ihtiyacını karşılamak için sanayileşme her geçen gün önem kazanmaktadır. Sağlıktan gıdaya, birçok endüstriyel alanda kullanılan polimerleri, ulaşım için sıklıkla kullandığımız otomobil, tren, uçak, vapur gibi araçların yapımında da görmek mümkündür.

Poliol ve izosiyanatların reaksiyonuyla oluşan poliüretanlar araçların direksiyonunda, koltuklarında ve tamponlarında kullanılmaktadır. Bununla birlikte poliüretanlar evlerin pencerelerinde köpük olarak, dış cephe yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır. Poliüretanın yapısını oluşturan polimerin zincir şekline göre termoplastik ve termoset olarak adlandırılan bu poliüretan polimeri, takviye edici eklenerek kompozit oluşturmaya uygundur.

Kompozitler, birbiri içerinde karışmayan en az iki maddenin bir araya getirilmesi ile elde edilen en üstün özellikli malzemelerdir. Kompozit malzemelerin kullanım alanları oldukça geniştir. Örneğin uçakların yapımında hafif ve basınca dayanıklı olması amacıyla karbon elyaf takviyeli termoset kompozitler kullanılmaktadır. Otomotiv endüstrisinde tamponların üretiminde cam elyaf takviyeli poliüretan kompozitler kullanılmaktadır.

Bu tezin amacı; cam elyaf takviyeli kompozit malzemelere alternatif olabilecek, doğal elyaf takviyeli termoset poliüretan kompozit malzemelerin oluşturulmasıdır. Bu sayede daha az yoğunluklu ve çevre dostu poliüretan matrisli kompozit malzemelerin oluşturulması hedeflenmektedir. Keten, kenevir ve yün doğal elyafları mekanik özelliklerinin iyi olması nedeniyle tercih edilmiştir.

Tez çalışması kapsamında keten, kenevir ve yün elyaf takviyeli poliüretan kompozit malzemeler, poliüretan sistemi sabit tutularak ve takviye edici birimlerin değiştirilmesi ile hazırlanmıştır. Hazırlanan kompozit malzemelerin karakterizasyonu germe-çekme, sıcaklık dayanım, yoğunluk, FT-IR ve TGA analizleri yardımı ile yapılmıştır. Analiz sonuçları, cam elyaf takviyeli kompozit türevi ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Poliüretan Kompozit, Doğal Elyaf, Kompozit, Kenevir, Keten, Yün.

SUMMARY

In our developing world, industrialization is gaining importance in order to meet the needs of the ever increasing population. From health to food, it is possible to see the polymers used in many industrial areas in the construction of vehicles such as automobiles, trains, planes, and steamboats that we frequently use for transportation.

Polyurethanes formed by the reaction of polyols and isocyanates are used in the steering wheel, seats and bumpers of vehicles. However, polyurethanes are used as foam and exterior insulation material in the windows of the houses. This polyurethane polymer, which is called thermoplastic and thermoset according to the chain shape of the polymer forming the structure of the polyurethane, is suitable for forming composites by adding reinforcing.

Composites are the most superior materials obtained by combining at least two non-miscible materials. Uses of composite materials are quite wide. For example, carbon fiber reinforced thermoset composites are used in the construction of airplanes in order to be light and pressure resistant. In the automotive industry, glass fiber reinforced polyurethane composites are used in the production of bumpers.

The aim of this thesis; is the creation of natural fiber reinforced thermoset polyurethane composite materials which may be an alternative to glass fiber reinforced composite materials. In this way, it is aimed to form less dense and environmentally friendly polyurethane matrix composite materials. Flax, hemp and wool natural fibers have been preferred because of their good mechanical properties.

Within the scope of the thesis, linen, hemp and wool fiber reinforced polyurethane composite materials were prepared by keeping the polyurethane system constant and replacing the reinforcing units. Characterization of the prepared composite materials was done with the help of tensile-tensile, temperature resistance, density, FT-IR and TGA analyzes. The analysis results were compared with the glass fiber reinforced composite derivative.

Key Words: Polyurethane Composite, Natural Fiber, Composite, Hemp, Linen, Wool.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarında yardımımı esirgemeyen, her zaman destek veren değerli tez danışman hocam Sayın Prof. Dr. Fatma YÜKSEL'e vermiş olduğu emekleri için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve yüksek lisans eğitimimde maddi manevi destek veren, bana her zaman güvenen değerli babam ve sevgili anneme sonsuz teşekkür ederim.

Yapmış olduğum deneysel çalışmalarda bana destek sağlayan Pürplast Poliüretan Plastik Kimya SAN. TİC. A.Ş. firmasına ve değerli Yönetim Kurulu Başkanı Ümit ŞİŞMANOĞLU'na, firma bünyesinde yaptığım çalışmaları yakından takip ederek beni bilgi ve tecrübeleri ile destekleyen Genel Müdür Yardımcısı Volkan ÖZTUNÇ'a, analizlerde bana yardımcı olan Veli ESER'e ve tüm firma çalışanlarına teşekkür ederim.

Doğal elyafların teminini sağlayan ve doğal elyaflar hakkındaki engin tecrübe ve bilgilerini benimle paylaşan Sayın Hocam Doç. Dr. Şahane Funda ARSLANOĞLU'na teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışma arkadaşlarım Ar. Gör. Nuray Esra AKSAKAL'a, Ercan DUYGULU'ya ve Sevde DEMİR'e yardım ve dostlukları için teşekkür ederim.

Her zaman yanımda ve destek olan değerli arkadaşlarım Şeref AKBAY, Yasemin ÇOBAN, Nazike TÜRK, Yiğit KARATAŞ'a Onur EVCİL ve Mehmet NACAR'a çok değerli arkadaşlıklarından ve anlayışlarından dolayı teşekkür ederim.

2210 Yurtiçi Lisansüstü Burs Programı ile desteklerinden dolayı TÜBİTAK BİDEB - Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığına teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLOLAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER	3
2.1. POLİMERLER	3
2.2. Polimerlerin Sentezi	6
2.2.1. Basamaklı Polimerizasyon	6
2.2.2. Katılma Polimerizasyonu	7
2.3. Poliüretanlar	9
2.3.1. Termoplastik Poliüretanlar (TPU)	9
2.3.2. Termoset Poliüretanlar (PUR)	10
2.4. Kompozit	10
2.4.1. Kompozitlerde Matris Fazı	11
2.4.2. Kompozitlerde Takviye Fazı	12
2.5. Elyaflar	14
2.5.1. Doğal Elyaflar	14
2.6. Tez Çalışmasının Literatür Yeri	19
3. KULLANILAN MADDE VE CİHAZLAR	21
4. DENEYSEL KISIM	23
4.1. Elyafların Analizleri	24
4.1.1. Cam elyafın Analizleri	24
4.1.2. Keten Elyafının analizleri	25
4.1.3. Keten Kıtık Elyafının Analizi	256
4.1.4. Kenevir Elyafının Analizi	27
4.1.5. Yün Elyafının Analizleri	28

4.1.6. Yün Plak Elyafının Analizleri 29
4.2. Elyaflara Uygulanan Kurutma İşlemleri 30
4.2.1. Keten Elyafına Yapılan Kurutma İşlemleri 30
4.2.2. Keten Kıtık Elyafına Yapılan Kurutma İşlemleri 32
4.2.3. Kenevir Elyafına Yapılan Kurutma İşlemleri 33
4.2.4. Yün Elyafına Yapılan Kurutma İşlemleri 35
4.2.5. Yün Plaka Elyafına Yapılan Kurutma İşlemleri 36
4.3. Poliüretan Kompozitlerin Oluşturulması ve Analizleri 38
4.3.1. Saf Poliüretan Oluşturulması ve Analizleri 38
4.3.2. Cam Elyaf Takviyeli Poliüretan Kompozit Oluşturulması ve Analizleri 41
4.3.3. Keten Elyaf Takviyeli Poliüretan Kompozit Oluşturulması ve Analizleri 44
4.3.4. Keten Kıtık Elyaf Takviyeli Poliüretan Analizi 48
4.3.5. Kenevir Elyaf Takviyeli Poliüretan Kompozit Oluşturulması ve Analizleri 52
4.3.6. Yün Elyaf Takviyeli Poliüretan Kompozit Oluşturulması ve Analizleri 55
4.3.7. Yün Plak Takviyeli Poliüretan Kompozit Oluşturulması ve Analizleri 59
5. SONUÇ VE TARTIŞMA 63

KAYNAKLAR 65
ÖZGEÇMİŞ 67

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Kısaltmalar	**Açıklamalar**
Tg	Camsı geçiş sıcaklığı
Te	Erime sıcaklığı
cm	Santimetre
°C	Santigrat derece
g	Gram
dk	Dakika
N/m^2	Newton / metrekare
kg/m^3	Kilogram/ metreküp
%	Yüzde
FT-IR	Fouier Transform Infrared Spektrofotometre
TGA	Termogravimetrik Analiz
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No: **Sayfa**

1.1: Uçağın dış gövdesinde kullanılan kompozitler. 1
2.1: Bazı Polimer Örnekleri. 3
2.2: Farklı polimer zincirleri. 4
2.3: Polimerlerin ısı karşısındaki davranışları. 5
2.4: Poliüretanın kimyasal yapısı. 9
2.5: Elyaf takviyeli kompozitlerde elyafların yerleşim biçimleri. 13
4.1: Cam elyafa ait FT-IR spektrumu. 24
4.2: Cam elyafa ait termogramram. 24
4.3: Keten elyafa ait FT-IR spektrumu. 25
4.4: Keten elyafa ait termogram. 25
4.5: Keten kıtık elyafa ait FT-IR spektrumu. 26
4.6: Keten kıtık elyafa ait termogram. 26
4.7: Kenevir elyafa FT-IR spektrumu. 27
4.8: Kenevir elyafının termogramı. 28
4.9: Yün elyafının FT-IR spektrumu. 28
4.10: Yün elyafının termogramı. 29
4.11: Yün plak elyafına ait FT-IR spektrumu. 29
4.12: Yün plak elyafının Termogravimetrik analizi. 30
4.13: 100°C'de 3 gün boyunca kurutulan keten elyafa ait FT-IR spektrumu. 31
4.14: 100°C'de 3 gün boyunca kurutulan keten elyafının termogramı. 31
4.15: 100°C'de 3 gün boyunca kurutulan keten kıtık elyafa ait FT-IR spektrumu. 32
4.16: 100°C'de 3 gün boyunca kurutulan keten kıtık elyafa ait termogram. 33
4.17: 100°C'de 3 gün boyunca kurutulan kenevir elyafa ait FT-IR spektrumu. 34
4.18: 100°C'de 3 gün boyunca kurutulan kenevir elyafının termogramı. 34
4.19: 100°C'de 3 gün boyunca kurutulan yün elyafına ait FT-IR spektrumu. 35
4.20: 100°C'de 3 gün boyunca kurutulan yün elyafa ait termogramı. 36
4.21: 100°C'de 3 gün boyunca kurutulan yün plaka elyafa ait FT-IR spektrumu. 37
4.22: 100°C'de 3 gün boyunca kurutulan yün plaka elyafa ait termogram. 37

4.23: a) Poliüretan polimerinin oluşturulması b) ürün. 38
4.24: Poliüretan polimerinin SEM görüntüsü. 39
4.25: Poliüretana ait FT-IR spektrumu. 39
4.26: Poliüretana ait termogram. 40
4.27: Cam elyaf takviyeli poliüretan kompozitin oluşturulması. 41
4.28: Cam elyaf takviyeli poliüretan kompozitin SEM görüntüleri. 42
4.29: Cam elyaf takviyeli poliüretan kompozite ait FT-IR spektrumu. 43
4.30: Cam elyaf takviyeli poliüretan kompozitin termogramı. 43
4.31: Keten elyaf takviyeli poliüretan kompozitin oluşturulması. 45
4.32: Keten elyaf takviyeli poliüretan kompozitin SEM görüntüleri. 46
4.33: Keten elyaf takviyeli poliüretan kompozitin FT-IR spektrumu. 47
4.34: Keten elyaf takviyeli poliüretan kompozitin termogramı. 47
4.35: Keten kıtık elyaf takviyeli poliüretan kompozitin oluşturulması. 49
4.36: Keten kıtık elyaf takviyeli poliüretan kompozitin SEM görüntüleri. 50
4.37: Keten kıtık elyaf takviyeli poliüretan kompozitin FT-IR spektrumu. 51
4.38: Keten kıtık elyaf takviyeli poliüretanın termogramı. 51
4.39: Kenevir elyaf takviyeli poliüretan kompozitin oluşturulması. 53
4.40: Kenevir elyaf takviyeli poliüretan kompozitin SEM görüntüleri. 53
4.41: Kenevir elyaf takviyeli poliüretan kompozitin FT-IR spektrumu. 54
4.42: Kenevir elyaf takviyeli poliüretan kompozitin termogramı. 54
4.43: Yün elyaf takviyeli poliüretan kompozitin oluşturulması. 56
4.44: Yün elyaf takviyeli poliüretan kompozitin SEM görüntüleri. 57
4.45: Yün elyaf takviyeli poliüretan kompozitin FT-IR spektrumu. 58
4.46: Yün elyaf takviyeli poliüretan kompozitin termogramı. 58
4.47: Yün plak elyaf takviyeli poliüretan kompozitin oluşturulması. 60
4.48: Yün plak elyaf takviyeli poliüretan kompozitin SEM görüntüleri. 60
4.49: Yün plak elyaf takviyeli poliüretan kompozite ait FT-IR spektrumu. 61
4.50: Yün elyaf takviyeli poliüretan kompozitin termogramı. 61

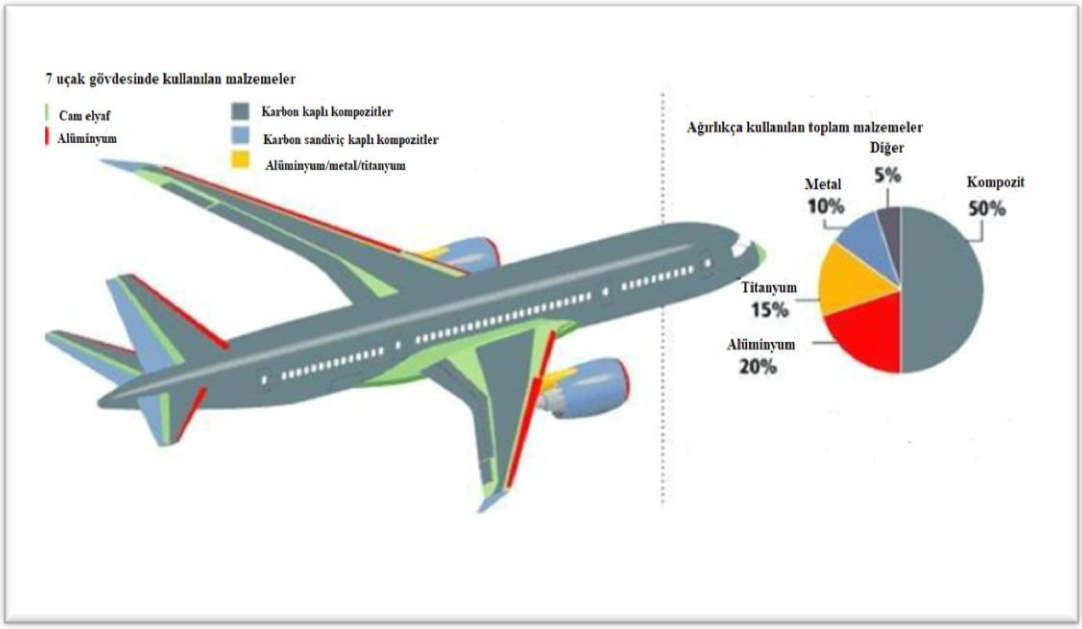
TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No:		Sayfa
2.1:	Bazı basamaklı polimerler ve monomerleri.	8
2.2:	Kompozit elemanları ve kompozit yapı tipleri.	11
2.3:	Doğal elyafların avantaj ve dezavantajları.	15
2.4:	Doğal elyafların kullanım alanları.	16
2.5:	Doğal Elyaf ile Cam Elyafın Karşılaştırılması.	16
2.6:	Bazı Bitki Kaynakları Doğal Elyafların Ağırlıkça Bileşenleri.	17
2.7:	Temizlenmiş yün elyafının kimyasal yapısı.	18
3.1:	Tez Kapsamında Kullanılan Malzemeler.	21
3.2:	Tez Kapsamında Kullanılan Cihazlar.	22
4.1:	Poliüretanın mekanik testleri.	40
4.2:	Cam elyaf takviyeli poliüretan kompozitin mekanik testleri.	44
4.3:	Keten elyaf takviyeli poliüretan kompozitin mekanik testleri.	48
4.4:	Keten kıtık elyaf takviyeli poliüretan kompozitin mekanik testleri.	52
4.5:	Kenevir elyaf takviyeli poliüretan kompozitin mekanik testleri.	55
4.6:	Yün elyaf takviyeli poliüretan kompozitin mekanik testleri.	59
4.7:	Yün plak elyaf takviyeli poliüretan kompozitin mekanik testleri.	62

1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler, bileşenlerinin üstün özelliklerini kullanmak amacıyla birbirileri içerisinde çözünmeyen en az iki farklı malzemenin atomsal alışveriş olmadan fiziksel olarak bir araya getirilmesi ile oluşturulan malzemelerdir [Saçak M. 2014].

Kompozitlerin kullanımı her geçen gün artmaktadır. Özellikle uçak ve uzay mekiği tasarımında kompozitlerin kullanımı hız kazanmıştır. Şekil 1.1'de bir uçağın dış gövdesinde kullanılan kompozitler gösterilmiştir [web1, 2018].



Şekil 1.1: Uçağın dış gövdesinde kullanılan kompozitler.

Kompozitlerin oluşturulması sırasında istenilen özelliklerin başlıcaları: polimer matris uyumu, kompozitin yapısında yüksek mukavemet, iyi elektriksel direnç, iyi gerilme modülü ve ekonomik olmasıdır. Bunların dışında insan sağlığına zarar vermemesi gibi çevresel şartlar da aranmaktadır. Son yıllarda cam insan sağlığını olumsuz etkilemesi nedeniyle bilim insanlarını cam elyafa alternatif olabilecek madde arayışına sokmuştur. Doğal elyafların çevreyi olumsuz etkilememesi, bolca üretilmesi ve maliyetlerinin düşük olması bu konudaki araştırmaların artmasına neden olmaktadır. Doğal elyaflar biyobozunurdur ve bu elyaflar büyürken sera gazı etkisini azaltıcı yönde etki etmektedir.

Doğal elyaf takviyeli kompozitlerin yoğunlukları, plastiklerin yoğunluğuna yakındır. Bu nedenle kompozitin ağırlığını arttırmadan daha iyi mekanik özellikler kazandırılabilir. Otomotiv endüstrisinde kullanılan cam elyaf takviyeli poliüretan kompozitlere göre daha hafiftir. Doğal elyaf takviyeli kompozit malzemelerin daha hafif olması ve böylece üretilen arabaların ağılığının düşmesi ile yakıt tasarrufu sağlanabilir [M.R, Siengchin et al. 2019; Y.BULUT ve ark. 2011].

Bu tezin amacı cam elyaf takviyeli poliüretan kompozit malzemelere alternatif olabilecek daha az yoğunluklu, çevre dostu, insan sağlığına zarar vermeyen poliüretan matrisli kompozit malzemeler oluşturulmasıdır. Bu tez kapsamında keten, kenevir ve yün doğal elyaflarının takviye edici olarak kullanıldığı termoset poliüretan kompozitler oluşturularak cam elyaf takviyeli muadilleri ile karşılaştırılmıştır. Keten kenevir ve yün doğal elyafları mekanik özelliklerinin iyi olması nedeniyle tercih edilmiştir. Tez kapsamında, iki farklı tür keten, iki farklı tür yün ve bir farklı tür kenevir elyafı olmak üzere toplam beş farklı doğal elyaf türü kullanılmıştır. Doğal keten ve kenevir elyaflarının içerisindeki nemi alabilmek için 100°C'de etüvde kurutulmuştur.

Bu tez kapsamında hazırlanan kompozit malzemelerin otomotiv sanayiinde kullanılma potansiyelleri yüksektir. Otomotiv sanayiinde kompozit malzemelerin hazırlanmasında oldukça fazla miktarda kullanılan cam elyafın yerine doğal elyafların kullanılması, çevre dostu araçların üretilmesi ve üretim maliyetlerinin düşürülmesini sağlayacaktır. Doğal elyaf içeren hedef kompozit malzemelerin kullanılması otomotiv sanayiinde yeni bir yaklaşımdır ve son yıllarda ileri gelen otomotiv markaları tarafından rağbet görmektedir. Ülkemiz, otomotiv sanayii orijinal ve yedek parça üretiminde ileri gelen ülkeler arasındadır. Bu tez çalışmasının katkısı; otomotiv sektöründe kolay üretilen, düşük yoğunluklu, kolay geri dönüşümü olan ve aşındırıcı olmayan araba parçalarının üretimine olanak sağlama potansiyeli bulunan doğal elyaf takviyeli poliüretan kompozitlerin üretimi ve yeni bir hammadde kaynağı sağlanmasıdır.

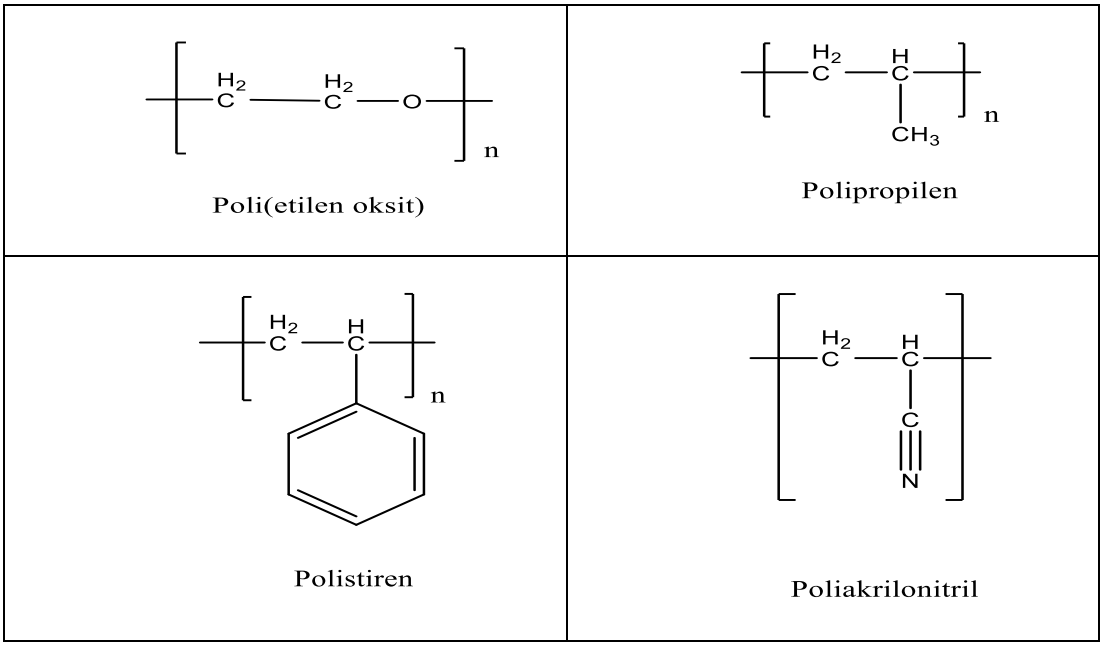
Bu tez çalışması otomotiv parça üretiminde lider isimlerden olan "PÜRPLAST POLİÜRETAN PLASTİK KİMYA SAN. TİC. A.Ş" Firması ile birlikte gerçekleştirilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Polimerler

Polimer kelimesi Yunanca'da çok anlamına gelen 'poly' ve parçalar anlamına gelen 'meres' kelimelerinden türetilmiştir. UIPAC'ın tanımlamasına göre polimer: dallanma noktaları, uçlar, küçük düzensizlikler iptal edilerek bir veya birden fazla monomer biriminin tekrarı ile oluşan molekülleri içeren yapılara polimer denir. Monomer moleküllerinin birleşerek polimer oluşturmasına polimerleşme, bu tür reaksiyonlara ise polimerizasyon reaksiyonları denir.

1920 yılında Staudinger bazı moleküllerin çok büyük olabileceğine dair görüşlerini belirmiştir. Polimer, kelime anlamı olarak ise Yunanca'da çok ve bölüm anlamına gelen "poly" ve "mer" kelimelerinden türetilmiş olup ilk defa 1827 yılında İsveçli bilim insanı J.J. Berzelius tarafından ortaya atılmıştır [Saçak M., 2014; Yüksel F. 2000].



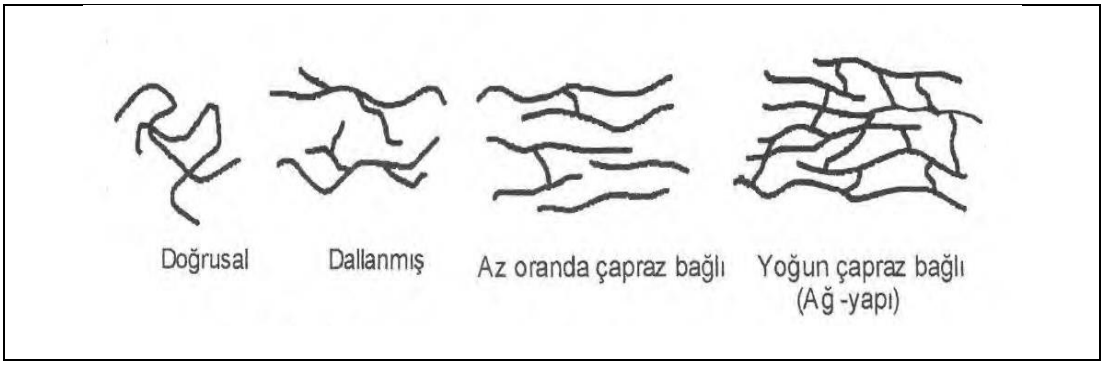
Şekil 2.1: Bazı Polimer Örnekleri.

Polimerlerin başka bir tanımı ise, çok sayıda monomerin birbirine kovalent bağlanarak oluşturduğu iri moleküllerin adıdır. Monomerlerden oluşan uzun polimer molekülü bir zincire, monomer molekülleri ise zincirleri oluşturan bir halkaya benzetilebilir. Genellikle polimer zinciri kavramı kullanılır. Polimerlerin ana

iskeletini oluşturan atom gruplarına ana zincir ve bu zincire bağlanmış atomlara yan grup denir. Örneğin polietilen oksit ana zincir üzerinde karbon atomlarıyla birlikte oksijende bulunurken, polistirende karbonlar dışındaki hidrojenler ve fenil, poliakrilonitrilde siyano, polipropilende ise metil yan grupları oluşturur.

Polimer zincir şekillerine göre fiziksel olarak üç şekilde bulunabilir.

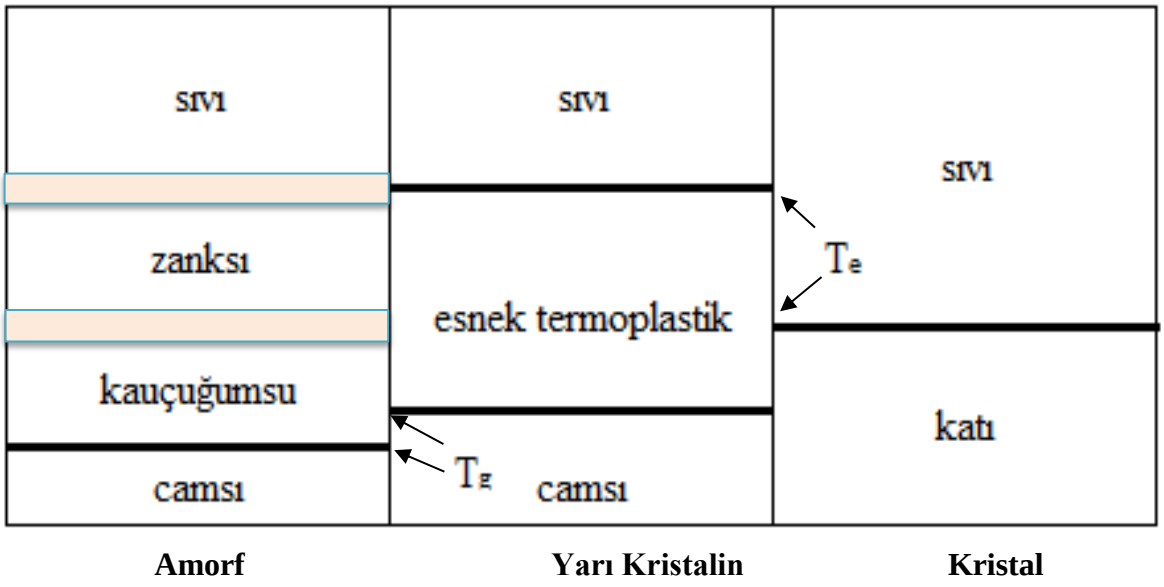
i) Doğrusal polimerler
ii) Dallanmış polimerler
iii) Çapraz bağlı polimerler olarak gruplara ayrılmaktadır.



Şekil 2.2: Farklı polimer zincirleri.

Polimerin ana zincir üzerine bağlı olan atomlara sadece yan grupların bağlı olmasıyla oluşan polimere doğrusal polimer denir [Saçak M. 1998]. Dal görünümünde olmasıyla polimer ana zincirine kovalent bağlarla bağlı atom gruplarının oluşturduğu polimerlere dallanmış polimer denir. Doğrusal ve dallanmış polimerler arasında london kuvvetleri, polar etkileşimler ve hidrojen bağları polimer zincirlerinin bir arada tutmasında etkilidir. Doğrusal ve dallanmış polimerler ısıyla şekil alabilmekte bu sayede ise tekrar tekrar kullanılmasına imkân sağlar.

Ana zincire bağlı, farklı uzunluklarda diğer zincirlerin ana zincire kovalent bağlanarak oluşturduğu polimerler ise çapraz bağlı polimerlerdir. Ağ- yapılı polimerlerde denilen çapraz bağlı polimerlerin içerisinde yoğun çapraz bağ içermeleri sebebiyle çözünebilme özellikleri yoktur. Isı ile şekil değiştiremezler. Çünkü eriyik hale gelebilmeleri için verilmesi gereken ısı, kovalent bağ yapılarının bozunması için gereken sıcaklıktan daha yüksek olduğu için çapraz bağlı polimerler eritilemezler. Şişme oranı ne kadar yoğun çapraz bağlıysa o kadar düşüktür. Şekil 2.3'de polimerlerin ısı karşısındaki davranışları incelenmektedir [Saçak M, 2014].



Şekil 2.3: Polimerlerin ısı karşısındaki davranışları.

Amorf polimerler düşük sıcaklıklarda camsı görünümünde, sert kırılgan yapıda olup ısıtıldıklarında yumuşamaya başlarlar. Polimer ısıtılıp, polimer zincirlerinin kısıtlı hareket etmeye başladığı camsı geçiş sıcaklığına (Tg) erişirler. Bu sıcaklıktan daha yüksek sıcaklığa çıkıldığında kauçuğumsu davranışa sahip olurlar. Isıtılmaya devam edildiğinde polimer zamksı bir görünüme sahip olur. Isıtılmaya devam edildiğinde erime sıcaklığına (Te) ulaşan polimer sıvı hale geçer. Kauçuğumsu, zamksı ve sıvı hallerine bürünen polimerin bu geçişler arasında kesin bir sıcaklık değeri olmadığı için tam bir erime sıcaklığından bahsedilemez.

Yarı kristal polimerlerde amorf ve kristal özelliği taşır. Camsı geçiş sıcaklığı altında polimer amorf polimer gibi sert, kırılgan olup camsı özelliği gösterir. Camsı geçiş sıcaklığı üzerinde esnek termoplastik özelliği göstererek yumuşamaya başlar. Erime sıcaklığına geldiğinde ise polimer sıvı hale geçer. Tg ve Te sıcaklıkları belirli bir sıcaklıktır.

Kristal polimerler Te sıcaklığına kadar serttir, Te sıcaklığından sonra polimer sıvı hale geçer. Kristal polimerlerde Tg sıcaklığı gözlenmez [Saçak M., 2015].

Polimer zincirleri arasında çapraz bağın olmadığı, doğrusal veya dallanmış zincirleri olan polimer türüne termoplastik denir. Termoplastiklerin en temel özellikleri ısıtıldığında erir ve bu sayede tekrar tekrar kullanılmasına imkân sağlar. Bunun dışında uygun çözücülerde çözünebilirler ve günlük yaşamımızda sıklıkla karşılaşabiliriz. Polietilen (PE), polipropilen (PP), polistiren (PS), polietilenteraftalat

(PET), polivinil klorür (PVC) gibi polimerler termoplastik polimerlere örnek olarak gösterilebilir.

Termoset polimerler, polimer zinciri içerisindeki çapraz bağlar bulunan ve bu yüzden çözücü içerisinde çözünemeyen polimerlerdir. Zincir içerisinde çapraz bağları yüzünden eritilemezler, çok yüksek sıcaklıklara çıkıldığında ise zincir içerisindeki bağlar kırıldığı için eritilemeden bozunurlar. Fenol-formaldehit (PF), melamin-formaldehit (MF), epoksitler (EP), doymamış poliester (UP, UPE) termoset polimerlere örnek olarak verilebilir. Günlük yaşantımızda ise elektrik fişi, priz, duy ve düğmeler, tava ve tencere sapları gibi ürünlerde termoset ürünleri karşımıza çıkmaktadır.

Elastikiyet, yük altında şeklini değiştirmesi ve yük kaldırıldığında ilk şekline dönebilmesinin bir ölçüsüdür. Eğer malzemeye uygulanan kuvvet ortadan kaldırıldığında hiç kuvvet uygulanmamış gibi ilk haline dönerse o malzeme tam elastik bir malzemedir. Bir polimerik ürün çekildiğinde yüksek oranda uzar ve kuvvet ortadan kaldırıldığında kalıcı bir deformasyon gerçekleşmeden ilk haline dönerse bu tür yüksek elastikiyet gösteren polimelere elastomer veya kauçuk denir. Doğal kauçuk en önemli elastomerlerden biridir. Sentetik elastomerlere örnek olarak stiren-bütadien kauçuğu en yaygın kullanılan elastomerlerden biridir. Bunun dışında bütil-kauçuğu (IIR), nitril kauçuğu (NBR), poliklorpren (CR) elastomerler de vardır. Elastomerler ambalaj malzemeleri, ayakkabı tabanı, hortum, taşıyıcı bant, araçların iç ve dış lastikleri yapımında kullanılmaktadır [Saçak M., 2014].

2.2. Polimerlerin Sentezi

Polimerlerin sentezlerinde genel işleyiş bakımından iki tür olmasına rağmen çok farklı kimyasal süreçlerden geçmektedirler. Genel işleyişleri;

i) Basamaklı polimerizasyon
ii) Katılma polimerizasyonu

2.2.1. Basamaklı Polimerizasyon

Basamaklı polimerizasyonun gerçekleşmesi için en az iki fonksiyonel grubun varlığı gerekmektedir. Reaksiyon adım adım ilerler bu yüzden de tepkime süresi uzundur. Reaksiyonun oluşumunda yüksek mol kütleli polimer zinciri oluşurken

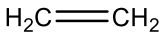
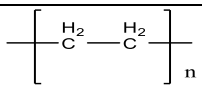
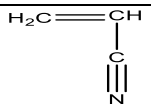
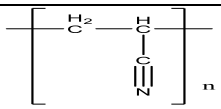
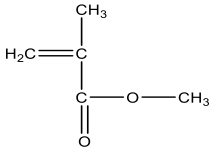
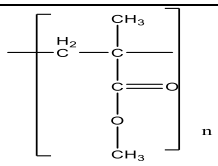
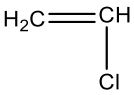
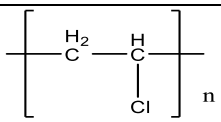
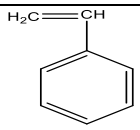
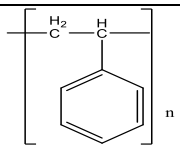
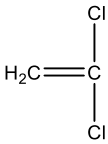
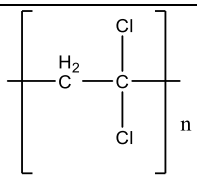
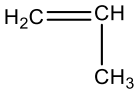
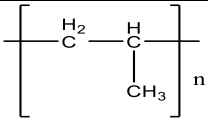
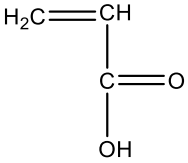
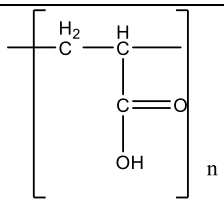
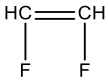
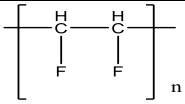
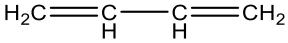
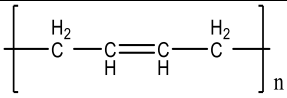
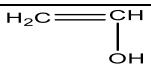
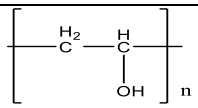
küçük bir kısımda ayrılır. Bu yöntem genellikle poliester, polikarbonat, poliüretan, poliamit ve polieter gibi polimerlerin üretim tekniğidir. Bu polimerizasyonlarla polimer zincirini oluşturan kimyasal bağlar sürekli tekrarlanmasıyla gerçekleşmektedir. Tablo 2.1'de bazı basamaklı polimerizasyonun monomer ve polimerleri verilmektedir [Saçak M., 2015].

2.2.2. Katılma Polimerizasyonu

Monomer moleküllerinin aktif merkez olarak adlandırılan bölgelerinde hızlı hızlı katılarak büyümesiyle oluşan tepkimeye katılma polimerizasyonu denir. Monomerler her zaman aktif zincire katılarak büyürler. Reaksiyon çok hızlı gerçekleştiği için bir anda yüksek mol kütleli polimer oluşmuş olur ama verimi daha çok yükseltmek için zaman gereklidir. Katılma tepkimelerinde genellikle reaksiyonun başlaması için başlatıcı kullanılması gerekmektedir. Katılma reaksiyonun en önemli dezavantajı da reaksiyonda yüksek mol kütleli polimer ve reaksiyona girmemiş olan momomerde bulunmaktadır. Polistiren, polietilen, polipropilen, poli(vinil klorür) gibi polimerler katılma reaksiyonuyla üretilirler. Katılma reaksiyonu üç aşamadan oluşur.

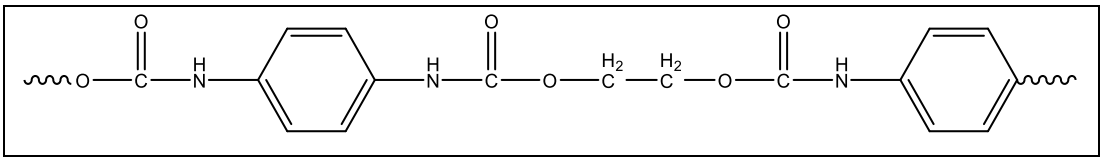
- Başlama
- Büyüme
- Sonlanma

Tablo 2.1: Bazı basamaklı polimerler ve monomerleri.

Momomer		Polimer	
	Etilen		Polietilen
	Akrilonitriil		Poliakrilonitril
	Metil metakrilat		Poli(meril metakrilat)
	Vinil klorür		Poli(vinil klorür)
	Stiren		Polistiren
	Vilinidien klorür		Poli(vinilidien klorür)
	Propilen		Polipropilen
	Aktilik asit		Poliakrilik asit
	Tetrafloroetilen		Poli(tetrafloro etilen)
	Bütadien		Polibütadien
	Vinil alkol		Poli(vinil alkol)

2.3. Poliüretanlar

Poliüretanlar, poliol ve diizosiyanatların kondenzasyon polimerizasyonuyla üretilen polimerlerdir. Polimer zinciri içerisindeki yinelenen gruplar üretanlardır (R-OCO-NH-R') ve Şekil 2.4'de ayrıntılı gösterilmiştir. Termoset poliüretan veya termoplastik poliüretan sentezlemek için kullanılan diaminler ve poliolleri değiştirerek polimer zincirini dallanmış zincirli veya çapraz bağlı poliüretan yapmak mümkün olmaktadır.



Şekil 2.4: Poliüretanın kimyasal yapısı.

1937 yılında diizosiyanatlarla poliollerin reaksiyonu ile sokarak poliüretan sentezini gerçekleştiren isim Otto Bayer'dir. Perlon adı verilen Bayer'in bu çalışması endüstride poliüretan bazlı sentetik elyafların üretiminde kullanılmasını sağlamıştır. Poliüretan yapıştırıcılar, kaplamalar ve köpük malzemelerin kullanımı ilk kez 1947 yılında Almanya'da kullanılmaya başlanmıştır. 1952 yılında Bayer esnek poliüretan köpüğü geliştirmesiyle yapı malzemeleri ve araba endüstrisinde yalıtım amacıyla kullanılabilme imkanı sağlaması ile poliüretanların kullanımı hızla artmıştır [Pişkin E., 2003 ; Saçak M., 1998]

Poliüretanlar ısıl özelliklerine göre ikiye ayrılır.

- Termoplastik poliüretan
- Termoset poliüretan

2.3.1. Termoplastik Poliüretanlar (TPU)

Termoplastik poliüretanlar aynı zamanda lineer poliüretanlar olarak da adlandırılırlar. Termoplastik elastomerler grubunun bir üyesidir. TPU sert ve yumuşak segmentlerden oluşurlar (Andrady A. L., 2003; Ionescu M., 2005).

Etilen glikol, 1,4-bütadiol, 1,6-hekzandiol ve hidrokinon bis (2-hidroksi) eter diizosiyanatlar ise en yaygın bileneni difenilmethandiizosiyanat (MDI) iken, hegzametil diizosiyanat (HDI) ve 3'3 Dimetil-4-4'-bifenil diizosiyanatlarda eklenerek sert kısımlar oluşturulur.

Yumuşak kısımların oluşması için gerekli olan bir poliester veya polieterin oligomerleridir. Termoplastik poliüretanlar otomotiv uygulamalarında, medikal uygulamalarda, film ve levhalarda sıklıkla kullanılmaktadır.

2.3.2. Termoset Poliüretanlar (PUR)

Poliüretanlar katalizör yardımıyla, düşük moleküler ağırlıklı oligomerik polioller ve diizosiyanatların reaksiyonuyla gerçekleşir. Polioller genellikle propilen glikol, etilen oksit blok kopolimeri ve poliester kopolimerleri kullanılır. Diizosiyanat olarak ise 2,4 ve 2,6 izomer toluen di-izosiyanat (TDI) karışımı veya hegzametilen diizosiyanat (HMDI) kullanılır. Katalizörler genellikle amin bazlı bileşiklerdir. Bunlar genellikle; trietilen diamin, trialkil diamin diazobisiklo oktan (DABCO) kullanılmaktadır [Ionescu M., 2005].

2.4. Kompozit

Kompozit kelimesi Fransızca karma anlamına gelen composite kelimesinden gelmektedir. Birbirleri içerisinde çözünmeyen iki ya da daha fazla malzemenin üstün özelliklerini birleştirerek daha üstün özellikte bir malzeme yapmak amacıyla bir araya getirilmesidir. Kompozit malzemelerin avantajları şunlardır.

- Yorulma dayanımlarının yüksek olması,
- Aşınma dayanımları,
- Korozyon dayanımları,
- Kırılma tokluğu,
- Yüksek sıcaklık özellikleri,
- Elektrik iletkenliği,
- Akustik iletkenlik,
- Ağırlık,
- Rijitlik,
- Uygun fiyat,
- Estetik görünüm,

Kullanım yerlerine göre istenilen özellikleri sağlaması (sağlamlık, nem, güneş ısınlarına direnç gibi) aynı zamanda termal kararlılık ve mekanik özelliklerinin yüksek olması gibi avantajları sayesinde uzay ve askeri amaçlı ürünlerin yapılması,

uzay mekiklerinde, otomobil sanayisinde kullanılan parçaların üretiminde, deniz araçlarının üretiminde ve spor malzemelerin yapımında, kompozit malzemeler sıkça kullanılmaktadır.

Kompozit malzemenin oluşturulması için matris ve takviye edici olarak iki ana malzeme vardır. Tablo 2.2'de matris ve takviye edici türleri görülmektedir.

Tablo 2.2**:** Kompozit Elemanları ve Kompozit Yapı Tipleri.

Matris Malzemesi	**Takviye Elamanları**	**Kompozit Yapının Şekli**
Polimerler	Elyaflar	Tabakalar
Metaller	Whiskers	Film-Folye
Seramikler	Pudra	Honey- Combs
	Yonga	Filament Sarılmış Yapılar
	Granül	Kaplamalar

2.4.1. Kompozitlerde Matris Fazı

Ürünün son şeklini aldığı ve takviye edici malzemesinin içerisinde tutarak dış ortamdan koruyan, yük altında olduğu durumda ise yükü takviye malzemesine aktaran malzemedir. Matris fazında aranılan özellikler şunlardır.

- Yüksek mukavemet,
- Yüksek elastik uzama,
- Yüksek kayma mukavemeti,
- Kimyasal ve çözücülere karşı direnç,
- Yüksek sıcaklıklara karşı dayanım,
- Takviye edici malzeme ile iyi bağ yapması,

Düşük çekme oranı gibi özellikler aranmaktadır [Callister W. D. 2013; Ulcay Y. Ve ark. 2002; Mazumdar S. K. 2002; Y.BULUT ve ark. 2011; Şahin Y. 2000].

2.4.1.1. Polimer Matrisler

Polimerler matrislerin yüksek germe modülü, yüksek kopma dayanımları gibi mekanik özelliklerinin iyi olması kolay işlenebilme ve kolaylıkla kompozit oluşturulması nedeniyle kompozit endüstrisinde sıklıkla kullanılırlar.

Polimer matrisler ısıl özellikleri ve kullanım alanlarına göre ikiye ayrılır.

- Termoplastik Matrisler: Düz zincirli yapıya sahip olmaları nedeniyle sıcaklıkla karşılaştığında belirli bir sıcaklığa kadar yapısını ve şeklini korurlar fakat yüksek sıcaklıklarda şekillerinde bozunma olur. Bu yüzden sıcaklığa dayanımı istenilen durumlarda polimer matrisler tercih edilmezler ve günlük yaşantımızda sıklıkla karşımıza çıkar. Polipropilen, polietilen ve poliüretan matrisler en yaygın kullanılan termoplastik matrislere örnek olarak verilebilir.
- Termoset Matrisler: Çapraz bağlı olması nedeniyle sıcaklığa karşı dirençleri termoplastik matrislere göre oldukça yüksektirler. Fenolikler, poliester reçineler termoset matrislere örnek verebiliriz.

2.4.1.2.Metal Matris

Metal matrisler polimerik matrislerin kullanılamadığı durumlarda kullanılır. Metal matrisler polimerik matrislere göre üstün özellikleri şunlardır:

- Seramik matrisler polimer matrislere göre daha yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır.
- Dış etkenlere daha dayanıklıdır.
- Çözücü ve kimyasallara karşı dayanımı polimer matrislere göre daha yüksek olması gibi avantajlara sahiptir.

2.4.1.3.Seramik Matris

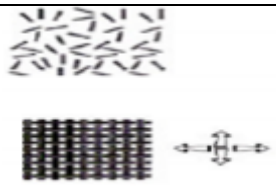
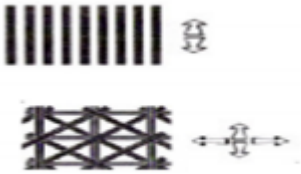
Seramik sıcaklık dayanımı yüksek, yüksek sertliğe ve yüksek modüle sahiptir. Seramik martisli kompozitler içerisinde boşluk olma olasılığı yüksektir ve bu boşlukların arasında takviye fazı bulunmaktadır. Alümina (Al_2O_3) - silisyum dioksit (SiO_2) gibi matrislerden hazırlanmaktadır [Mallick P.K. 2007; Saçak M., 2014].

2.4.2. Kompozitlerde Takviye Fazı

Matris fazın içinde bulunduğu, kompozit malzemede yükü taşıyan elemandır. Matris fazından aldığı yükü %70-80 oranında taşıyarak kompozitin dayanımını sağlar. Burada dikkat edilmesi gerek husus ise matris faz ile takviye edici fazın birbirine çok iyi uyum sağlaması ve kullanılan takviye edicinin yüksek dayanımı, rijitliği ve düşük yoğunluğu olmasıdır. Takviye ediciler tanecikli veya elyaf olarak ikiye ayrılır [Saçak M. 2014; Hancox N. L., Mayer R. M., 1994].

2.4.2.1.Elyaf Takviyeli Kompozitler

Özellikle uzay ve havacılık alanlarında kullanılan kompozitler, mekanik özelliklerinin üstün olması sayesinde üzerine aldığı yükü sabit tutmaya aynı zamanda hafif olmasıyla büyük avantaja sahiptirler. Kompozit içerisine yerleştirilen elyafların belli bir doğrultuda olması kompozitin çekme gibi yüklerde farklı yönlerde farklı çekme özelliklerini vermektedir. Bu sayede daha az çekme istenilen iyi durumlarda uygun şekilde elyafları yönlendirerek bu soruna çözüm getirilir. Aynı şekilde elyafların yönlendirilmesi değiştilerek vurma dayanımı, ısıl iletkenlik, ısıl genleşme gibi mekanik özellikleri de istenilen şekilde ayarlayabilir. Şekil 2.5'de kompozit içerisinde elyafın yerleşim biçimleri verilmektedir.

Kesikli	Sürekli Tek Yön	Üç boyutlu
		
Sürekli Düzlemsel İki Yönlü	Sürekli Düzlemsel Üç Yönlü	

Şekil 2.5: Elyaf Takviyeli Kompozitlerde Elyafların Yerleşim Biçimleri.

Elyaf takviyeli kompozitlerde başlıca kullanılan elyaflar; cam, karbon, aramit, bor ve doğal elyaflardır.

Cam elyafları ucuz ve mekanik özellikleri iyi olmasından dolayı endüstriyel alanda sıklıkla kullanılmaktadır. Cam elyafların kırılgan ve dış yüzeylere karşı hassas olması dezavantajlarındandır. Cam elyafların E-camı, C-camı R, S ve ya T camı gibi çeşitleri mevcuttur.

Karbon elyafı hafif ve mekanik özelliklerinin çok iyi olmasına karşın çok pahalıdır. Uzay araçları ve uçakların yapımında kullanılmaktadır.

Doğal elyaflar, üretimi kolay ve ucuzdur. Pamuk, keten, kenevir, sisal, yün, ramie, jüt ve odun gibi selülozik elyaflar tekstil endüstrisinde kullanılmakta olup bu elyaflar odun elyaflarıyla karıştırılarak kâğıt endüstrisinde de kullanılmaktadır.

Bor elyaflar havacılık ve uzay endüstrisinde kullanılır fakat pahalılardır [Saçak M., 2014].

2.4.2.2.Tanecik Takviyeli Kompozitler

Matris içerisindeki takviye ediciler parçalar halinde bulunmaktadır. Bunlar karbonatlar, kil, silika, tarımsal atıklar, metal tozları veya parçacıkları, pudra gibi örnekleri sayabiliriz. Tanecik takviyeli kompozitlerin yapımı ucuzdur ve kolaylıkla yapılabilirler [Callister W. D., 2013].

2.5. Elyaflar

En geniş kapsamda elyaf; makroskopik açıdan homojen yapıda olan, uzunluğu çapına kıyasla en az 100 kat büyük olan maddeler şeklinde tanımlayabilir. Kompozit endüstrisinde sıklıkla kullanılan elyaflar, kompozitin üzerine gelen yükü paylaşırlar. Elyafın doğru seçiminde, hacimsel oranı, uzunluğu ve yönelmesi gibi önemli faktörler mevcuttur. Bu faktörler kompozitin bazı karakteristik özelliklerini belirlemede etkilidir. Bu özellikler:

- Yoğunluk
- Yüzey gerilimi ve modülü,
- Çekme gerilimi
- Elektriksel ve termal kararlılığını
- Maliyet

Elyaflar üretildiği kaynağa göre 3'e ayrılır.

i) Doğal elyaflar,
ii) Yarı-Sentetik elyaflar,
iii)Sentetik elyaflar

2.5.1. Doğal Elyaflar

Doğal elyaflar elde edildikleri kaynaklara göre bitkisel ve hayvansal elyaflardır. Çoğunlukla elde edildikten sonra bazı ön işlemlerden (temizleme, ayıklama, kimyasal modifikasyon vb.) geçirilmesi gerekmektir. Doğal elyaflar tekstil endüstrisinde iplik yapımı, dokuma kumaş gibi kullanım alanlarına sahiptir. Akademik çalışmalarda ise ses izolasyonu sağlaması amacıyla betonlarda, kompozit malzemelerde takviye fazı olarak kullanılmaktadır. Doğal elyafların hayvan ve bitki kaynaklarından elde edilmelerinden dolayı yenilenebilirdir ve çevreci olmaları en

önemli avantajlarıdır. Kompozit endüstrisinde takviye edici malzeme olarak kullanılma potansiyeli olan doğal elyafların düşük mekanik özelliklerinden dolayı kullanımı oldukça düşüktür.

Doğal elyafların endüstriyel uygulamalar için takviye edici malzeme olarak kullanılması mümkündür. Jüt, keten gibi bitkiler birincil amacı elyafları elde etmek iken muz, ananas, mısır gibi doğal elyafların meyvelerinin yanında elyafları da yan ürün olarak kullanılabilir. Dünya genelinde yaygın olarak kullanılan doğal elyaflar; jüt, keten, kenevir, mısır, pamuk, rami, sisal, ananas, bambu vb. olarak sıralayabilir. Doğal elyafların avantaj ve dezavantajları Tablo 2.3'de gösterilmektedir.

Tablo 2.3: Doğal elyafların avantaj ve dezavantajları.

Avantajları	**Dezavantajları**
Düşük ağırlık	Düşük çekme dayanımı
CO_2 emisyonun düşük olması	Nem emme özelliği
Düşük maliyet	Düşük stabilite
Yüksek elektriksel özellikler	Isıya direncinin az olması
İyi termal özellik	Matris/ takviye fazı uyumunun zayıflığı
Biyobozunurluk	

Tablo 2.3'de de belirtildiği gibi doğal elyafların avantajlarının yanında dezavantajlarının küçümsenmeyecek ölçüde fazla olması endüstride kullanım imkânlarını kısıtlamaktadır. Doğal elyafların kullanım potansiyeli bulunan alanlar Tablo 2.4'de sıralanmıştır.

Tablo 2.4: Doğal elyafların kullanım alanları.

Endüstri	**Uygulama Alanı**
Havacılık	Kanat, kuyruk, helikopter fanları,
Otomotiv	Kapı pencere panjur ve çerçeveleri, cam çerçeveleri,
Denizcilik	Balık ağları, bot gövdeleri
Yapı ve İnşaat	Dolaplar, borular, su tankları
Spor ve eğlence eşyaları	Tenis raketi, kask
Elektronik uygulamaları	Bilgisayar ve cep telefonu kasaları,
Diğerleri	Tekstil, kağıt ve karton endüstrileri, kömür tozu taşıyan borular

Doğal elyaf ile cam elyafların bazı özellikleri Tablo 2.5'te karşılaştırılmıştır.

Tablo 2.5: Doğal Elyaf ile Cam Elyafın Karşılaştırılması.

	Doğal Elyaf	**Cam Elyaf**
Yoğunluk	Düşük	Doğal elyafa göre yaklaşık iki katı
Maliyet	Düşük	Doğal elyafa göre daha yüksek
Yenilenebilirliği	Var	Yok
Geri dönüşümü	Var	Yok
Enerji tüketimi	Düşük	Yüksek
CO2 emisyonu	Var	Yok
Makineleri aşındırma	Yok	Var
Solunduğunda sağlık riski	Yok	Var
İmha edilmesi	Biyobozunur	Biyobozunur değil

Doğal elyafın çevresel olarak üstün özelliklere sahip olması nedeniyle doğal elyaf takviyeli kompozitlerin otomotiv endüstri alanında kullanımı BMW, Audi, Mercedes ve Cambridge Industry gibi birçok Alman ve Amerikan otomotiv şirketleri önemsemekte ve bu alanda araştırmalar yapmaktadır [Mallick P.K. 2007; Siengchin M.R, et al. 2019 ; Jariwala H.. Jain P., 2019].

2.5.1.1.Doğal Elyafların Kimyasal İçerikleri

Doğal elyaflarda selüloz, hemiselüloz, lignin ve nem bulunmaktadır. Tablo 2.6'da bazı doğal elyafların içerisinde bulunan kimyasal içerikleri verilmiştir.

Tablo 2.6: Bazı Bitki Kaynakları Doğal Elyafların Ağırlıkça Bileşenleri.

	Keten	**Kenevir**	**Jüt**	**Rami**
Selüloz (%)	71	70,2 – 74,4	61,0-71,05	68,6 – 76, 2
Hemiselüloz (%)	18,6-20,06	17,9 – 22,4	13,06 – 20,4	13,1 – 16,7
Lignin (%)	22	3,7 – 5,7	12 – 13	0,6 – 0,7
Pektin (%)	2,3	0,9	0,2	1,9
Yağ (%)	1,7	0,8	0,5	0,3
Nem (%)	10	10,8	12,6	8

Selüloz bitki kaynaklı doğal elyaflarda bulunan başlıca bileşenlerden bir tanesidir. Selüloz 1-4 β D–glikopiranoz halkalarından oluşan yüksek molekül ağırlığına sahip bir polimer olup kristalin ve amorf bölgelerden oluşmaktadır. Kimyasal kararlılık ve mukavemetin artmasından kristalin bölgeler sorumludur. Amorf bölgeler ise su ve kimyasallarla etkileşime girmesine olanak sağlar. Elyaf içerisindeki selüloz miktarı arttıkça elyafın mukavemeti ve modül değeri artar.

Hemiselüloz, hücre duvarında selüloz ile birlikte bulunan dallanmış, düşük molekül ağırlıklı bir polisakkarittir. Hemiselüloz suda çözünmez buna karşın kostik sodaya karşı çok hassastır. Yapısında hidroksil ve karboksil grupları fazladır.

Fenolik bir polimer olan lignin, bitkilerde yapı destekleyici olarak görev yapar. Yapısında aromatiklik ve yüksek doymamışlık içerir. Selüloz ve hemiselülozu birbirine yapıştırır. Ayrıca kostik sodadan etkilenmez (Karaduman Y., 2009).

2.5.1.2.Doğal Elyaf Çeşitleri

i) Keten elyaf: Keten elyafları Linum usitatissimum bitkisinin saplarından elde edilir. Keten elyaflarının uzunluğu 20-75 cm uzunluğunda ortalama elyafın kalınlığı ise 0,025 mm'dir. Keten elyafları genellikle gömlek, ceket, pantolon, halat ve kâğıt yapımında kullanılmaktadır. Keten elyafı nem çekme özelliğinin iyi

olmasının yanında deterjan ve sıcak sudan etkilenmemektedir. Ayrıca düzgün yüzeye sahip olması nedeniyle kir tutmaz.

ii) Kenevir elyaf: Kendir adıyla da bilinen kenevir bitkisinden elde edilir. Elyafların uzunluğu bitkiye bağlı olarak 2 metre uzunluğuna kadar ulaşabilir. Ülkemizde 2019 yılı itibariyle 19 ilde denetimli olarak edilmesine izin verilen kenevir bitkisinin üretime son yılda ilgi artmıştır. Kenevir elyaflarından çuval, halat, çadır bezi yapılmaktadır.

iii) Yün elyaf: Koyunların kıllarından elde edilen yün hayvansal kaynaklı elyaftır. Koyun üretimi dünyanın çeşitli bölgelerinde olması ve çeşitli türleri olmasından ötürü kalite farklılıkları gözlenmektedir. Yün elyafları, koyunun cinslerine göre; merinos yünleri, crossbred (melez) yünleri ve asya yünleri olarak üçe ayırabiliriz. Genel olarak temizlenmiş yünün kimyasal içerikleri Tablo 2.7'de belirtilmiştir.

Tablo 2.7: Temizlenmiş yün elyafının kimyasal yapısı.

Kimyasal bileşen	İçerdiği oran
Keratin (Yün Proteini)	%33
Kir ve pislik	%26
Ter tuzları	%28
Yün vaksı	%12
Anorganik maddeler	%1

Yün elyafları serin tutması ve nem emme özelliği nedeniyle genellikle tekstil endüstrisinde pantolon, gömlek, iç çamaşırı yapımında kullanılmaktadır (Başer İ. 2002).

2.6. Tez Çalışmasının Literatür Yeri

Yingji Wu ve arkadaşları tarından yapılan bir çalışmada polietilen bir film sayesinde kenevir kompozitinin su absorbsiyonunu, mekanik testlerini, dinamik testlerini incelenmiş ve SEM görüntülerini almıştır [Wu Y. et al. 2018].

D. Mohana Krishnudu ve arkadaşları ise abutilon elyaflarını %5'lik sodyum hidroksitle muamele ederek, farklı ağırlıkta epoksi kompozitleri oluşturulmuştur. Oluşturulan kompozitlere SEM görüntüleri, mekanik, termal ve spektroskopik testleri yapılmıştır [Mohana Krishnudu D., Sreeramulu D. et al. 2019].

Tina Haghighatnia ve arkadaşlarının çalışmasında, kenevir elyafı ile çeşitli oranlarda poliüretan kompozit oluştururak mekanik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçları kenevir elyafının kritik uzunluğunu belirlemişlerdir [Haghighatnia T., Abbasian A. et al. 2017]

Kim Pickering ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ise kenevir elyafları kullanılarak poliaktik asitle kompozit oluşturulmuş ve mekanik testleri incelemiştir [Stoof D., et al. 2017].

Sanjay ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, kompozitlerde takviye edici olarak kullanılan doğal elyafların hazırlanması, üretim aşamaları ve karaterizasyonu yapılmış elyaflara yapılan kimyasal işlemler sonrasında elyaflarda meydana gelen kimyasal değişmeleri açıklamıştır [Siengchin M.R, et al. 2019].

Mokhothu ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada poliüretan ve polifurfuril alkol reçineleri kullanarak alev geciktirici işlemine tabii tutulmuş doğal elyafların kompozitlerini oluşturarak suya dayanıklılığı piyasa ürünü olan başka bir ürünle karşılaştırmıştır. Ayrıca oluşturulan kompozitlere termogravimetrik analiz yaparak ürünlerdeki nem kaybını gözlenmiştir [Mokhothu T. H. and John M. J., 2017].

Purnomo ve arkadaşlarının yaptığı araştırmada, doğal elyaf takviyeli kompozitlerin biyomedikal alanında yumuşak doku rekonstrüksiyonu için doğal elyaf takviyeli yapı iskelelerinin üretimi için çalışılmıştır [Purnomo, Setyarini P. H. et al. 2019].

Shakil Ahmed ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada jüt ve hindistan cevizi elyaflarını kullanarak ağılıkça sırasıyla 5, 10 ve 15 oranlarında polietilen matrisli kompozitler oluşturulmuş ve bu kompozitlere mekanik testler yapılmıştır [Ahmet S. et al. 2017].

Joski S. V. ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada doğal elyaf takviyeli kompozitleri, cam elyaf takviyeli kompozitlere göre karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırma sonucunda doğal elyaf takviyeli kompozitleri, cam elyaf takviyeli kompozitlere göre çevre dostu olması, ekonomik olması, düşük ağırlıklı olması ve kullanım ömürleri sonucunda doğal elyafların yakılmasıyla açığa çıkan enerjinin kullanılması gibi sonuçlara ulaşmışlardır [Joshi S. V., Drzal L. et al. 2004].

Li X. ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada doğal elyaflara alkali, silan, astilasyon, benzoksilasyon gibi farklı kimyasallar ile muamele edilerek modifikasyon işlemleri uygulamışlardır [Li X. et al. 2007].

3. KULLANILAN MADDE VE CİHAZLAR

Bu tez kapsamında kullanılan malzemeler ve kullanılan cihazlar tablo olarak verilmiştir.

Tablo 3.1: Tez Kapsamında Kullanılan Malzemeler.

Adı	**Tedarikçi Firma/ Kodu**	**Özelliği**
Poliol	Experimental Poyol 4-195 poliol komponent	Kimyasal
İzosiyanat	Voraforce TL 1600	Kimyasal
Cam Elyaf	3M/ M8630 225g/m^2	
Kenevir	Samsun Vezirköprü ilçesi/ Aşağı Narlı mahallesi	Doğal elyaf
Keten	19 Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi	Doğal elyaf
Yün	Kocaeli Gebze ilçesi/ Mollafenari mahallesi	Doğal elyaf
Yün Plak	İstanbul Malzeme Firması	Doğal elyaf

Tez çalışmasında kullandığımız cihazlar Tablo 3.2'de verilmektedir.

Tablo 3.2: Tez Kapsamında Kullanılan Cihazlar.

Cihazın Adı	**Cihazın Modeli**	**Bulunduğu Yer**
FT-Infrared Spektrofotometresi	Perkin Elmer	Gebze Teknik Üniversitesi
Termogravimetrik Analiz Cihazı	Mettler Toledo	Gebze Teknik Üniversitesi
Etüv	Thermo scientific	Gebze Teknik Üniversitesi
Vakum Etüvü	MMM Group Vacucell	Gebze Teknik Üniversitesi
Terazi	Kern 440	Gebze Teknik Üniversitesi
SEM	Philips XL 30 SFEG	Gebze Teknik Üniversitesi
Çekme-kopma uzaması	Zwick Roell Z005	PÜRPLAST
Yanma Testi	Yanma Test Kabini Yatay (STD 118 03)	PÜRPLAST
Yoğunluk	Kern CB 24 K 1 N(0-24000 g) terazi	PÜRPLAST
	Mitutoyo 300 mm %5 hassasiyetli kumpas	PÜRPLAST

4. DENEYSEL KISIM

Yapılan tez çalışmasında öncelikle temin edilen elyaflar hiçbir işlem görmeden FT-IR ve TGA analizleri yapılmıştır. Doğal elyafları karşılaştırmak için aynı analizler cam elyafları için de tekrarlanmıştır.

Doğal elyafların içersinde bulunan nem, kompozit oluştururken buharlaşarak kompozit malzemede hava kabarcıklarının oluşmasına sebep olabilmektedir. Bu ihtimali ortadan kaldırmak için doğal elyaflar etüvde 100°C'de üç gün boyunca kurutulmuştur.

Kompozit oluşturma işlemleri PÜRPLAST Poliüretan Plastik Kimya SAN. TİC. A.Ş. firmasında yapılmıştır. Kompozit malzemeler Stractural Reaction Injection Method (S-RIM) üretim metodu ile hazırlandı. Poliüretan sisteminde poliol ve izosiyanat farklı depolarda borular aracılığı ile kalıba enjeksiyon edildiği bölgeye gelerek kalıba enjekte edilmektedir. Kompozit malzemelerin oluşturulmasında 600mm X 250mm X 10mm boyutlarında kalıp kullanılmıştır. Poliüretan sistemi Experimental Poyol 4-195 poliol komponent (ticari poliol) ve Voraforce TL 1600 (ticari izosiyanat) karışım oranları sırasıyla 100/110 olacak şekilde toplam 500 g olarak ayarlanmıştır.

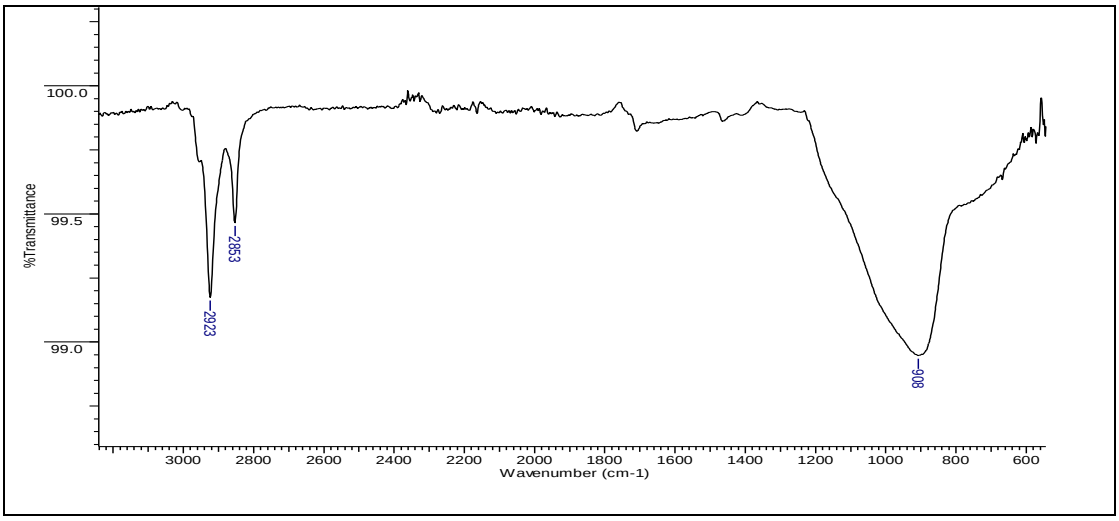
Karşılaştırma yapabilmek için kalıbın boyutlarında kesilmiş cam elyafın ağırlığı 33 g gelmektedir. Bu nedenle doğal elyafların ağırlıkları da 33 g olarak sabitlenmiştir. Her bir doğal elyaftan 33 g alınarak kalıp içerisine tek yönde (kalıbın boyu yönünde) elyafları elle yönlendirerek üzerine poliüretan sistemindeki poliüretan karışımı dökülerek 3 tarafından mengeneyle kalıba basınç uygulanmıştır. Reaksiyon süresi (kürlenme) 10 dakikadır. Kürlenme süresinden sonra kompozit malzeme kalıptan alınarak 1 gün bekletilmiştir. Stabil hale gelmiş olan kompozit malzemelere çekme-germe testi, sıcaklığa dayanım testi, homojenlik testi, yoğunluk testi, taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü, FT-IR ve TGA analizleri yapılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmaların ayrıntıları ve analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

4.1. Elyafların Analizleri

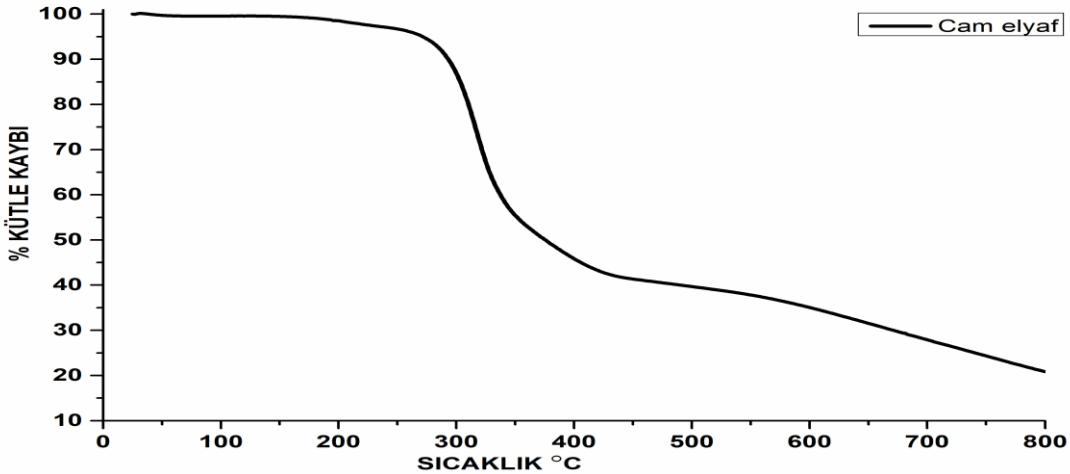
4.1.1. Cam Elyafın Analizleri

Ticari olarak temin edilen cam elyafa FT-IR ve TGA analizleri yapılmıştır.



Şekil 4.1: Cam elyafa ait FT-IR spektrumu.

2923 ve 2853 cm^{-1}'de görülen iki pik alifatik C-H gerilmelerine aittir. 908 cm^{-1}'de görülen pik ise Si-O bağlarının varlığını kanıtlamaktadır.

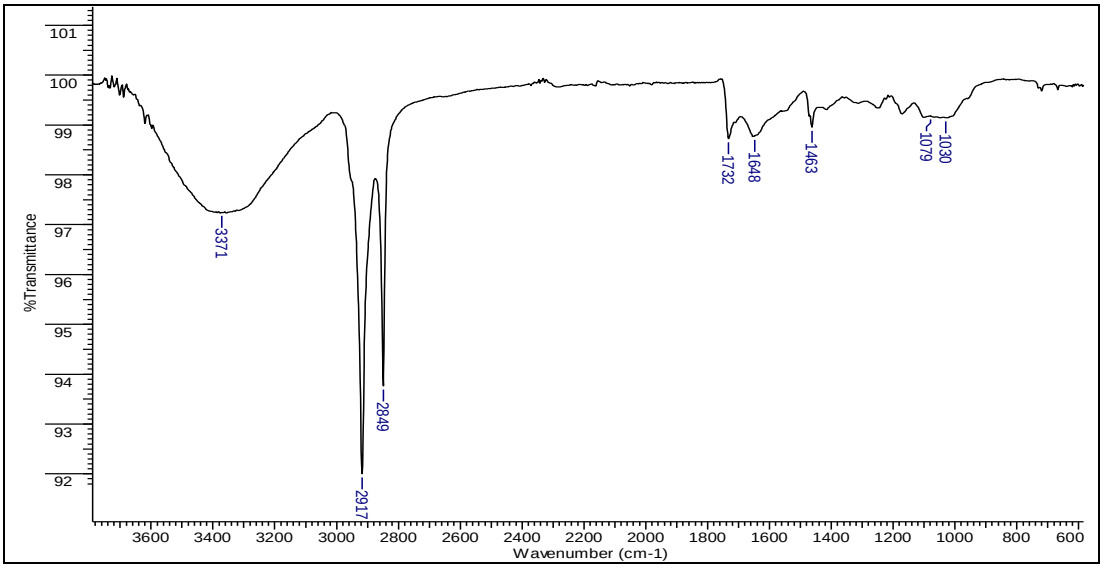


Şekil 4.2: Cam elyafa ait termogram.

Termogravimetrik analiz sonucuna göre 100 °C'ye kadar yaklaşık %2 kadar kayıp görülmektedir. Bu durum cam elyaf içerisindeki nemin buharlaşmasını göstermektedir. Cam elyafın ana bozunma sıcaklığı 282 °C - 350 °C arasındadır ve bozunmanın 900 °C'ye kadar devam ettiği termogramda görülen kütle kaybından anlaşılmaktadır. 900 °C sonunda kalan kül miktarı %16.21'dir.

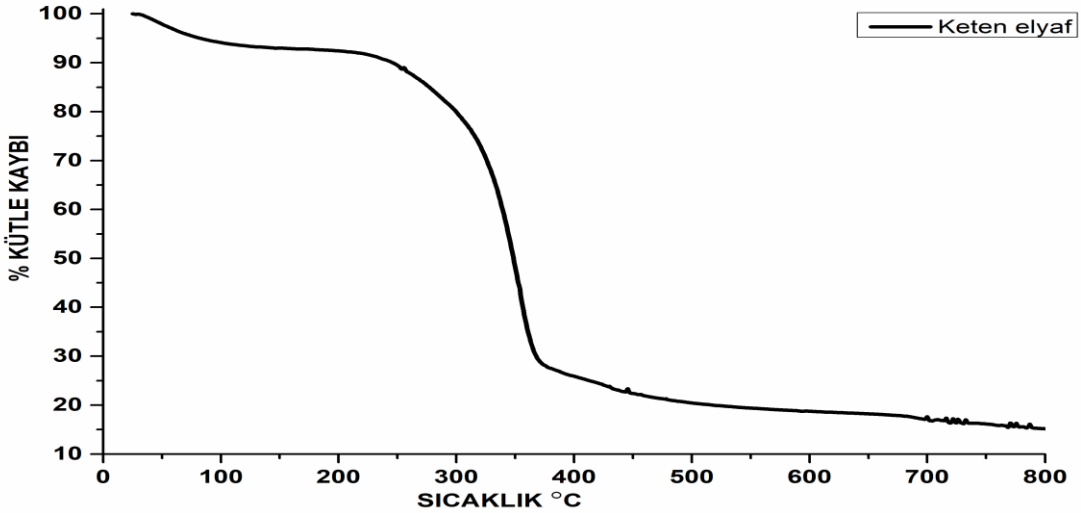
4.1.2. Keten Elyafının Analizleri

Temin edilen keten elyafına FT-IR ve TGA analizleri yapılmıştır.



Şekil 4.3: Keten elyafa ait FT-IR spektrumu.

Şekil 4.3'de görülen keten elyafa ait FT-IR spektrumunda 3371 cm^{-1}'de görülen yayvan pik O-H gerilmesine aittir. 2917-2850 cm^{-1} arasında görülen çoklu pik ise alifatik C-H gerilmesine aittir. 1732-1648 cm^{-1}'de görülen pikler ise karbonil (C=O) varlığını göstermektedir.



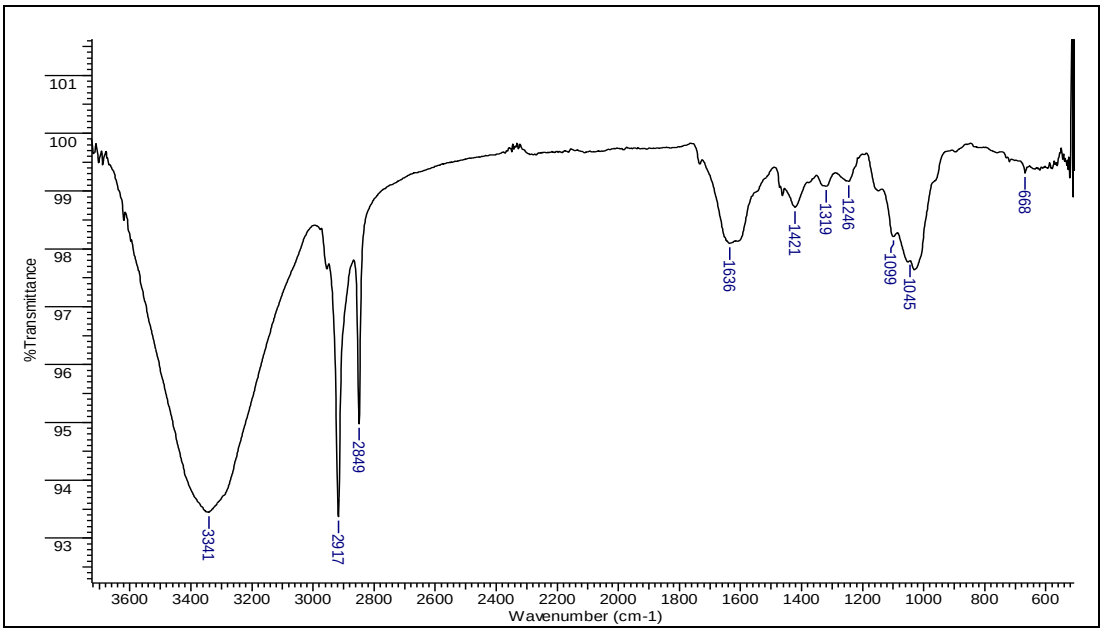
Şekil 4.4: Keten elyafa ait termogram.

Keten elyafa ait termogram Şekil 4.4'de görülmektedir. 100 °C'ye kadar görülen yaklaşık %7 kayıp keten elyafı içerisindeki nem miktarı buharlaşmasını göstermektedir. Keten elyafın ana bozunma sıcaklığı 312 °C - 372 °C arasındadır.

900 °C sonunda keten elyafının yaklaşık %86'lık kısmı kaybedilmiş ve %14'lük kısmı kül olarak kalmıştır.

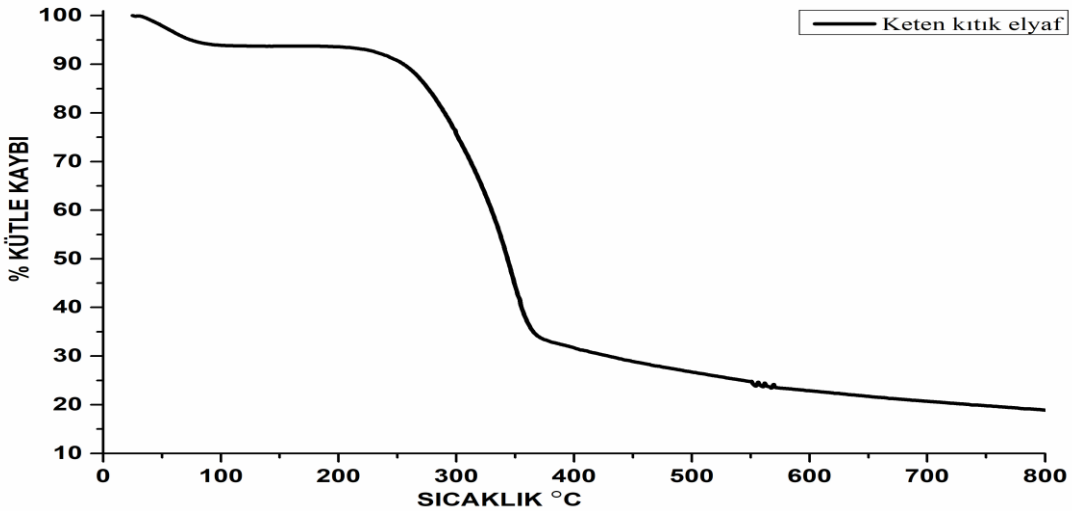
4.1.3. Keten Kıtık Elyafının Analizi

Temin edilen keten kıtık elyafına FT-IR ve TGA analizleri yapılmıştır.



Şekil 4.5: Keten kıtık elyafa ait FT-IR spektrumu.

Şekil 4.5'de görülen keten kıtık elyafa ait FT-IR spektrumunda 3341 cm^{-1}'de görülen yayvan pik O-H gerilmesine, 2915 cm^{-1} ve 2850 cm^{-1}'de görülen pikler ise alifatik C-H gerilmesine aittir. 1635 cm^{-1}'de C=O gerilmesine ait pik görülmektedir.

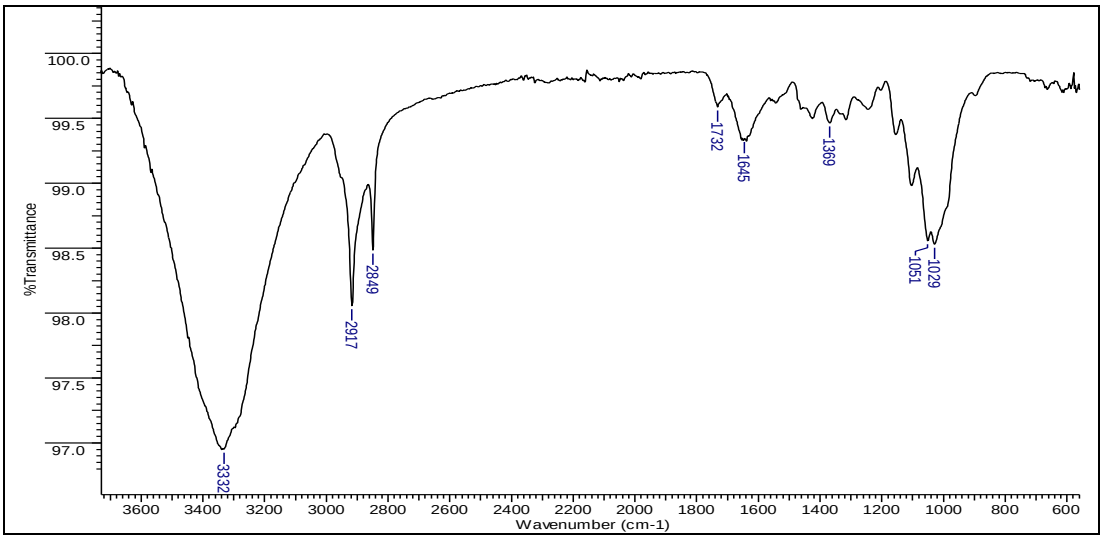


Şekil 4.6: Keten kıtık elyafa ait termogram.

Keten kıtık elyafa ait termogram Şekil 4.6'de görülmektedir. 100 °C'ye kadar kaybedilen kütle yaklaşık %6'dır ve keten kıtık elyafı içerisindeki suyun buharlaşmasına aittir. Kütle kaybının başladığı sıcaklık 303 °C'dir ve 365 °C'ye kadar devam etmektedir. 900 °C'ye kadar ısıtma sonucunda kalan kül miktarı %17'dir.

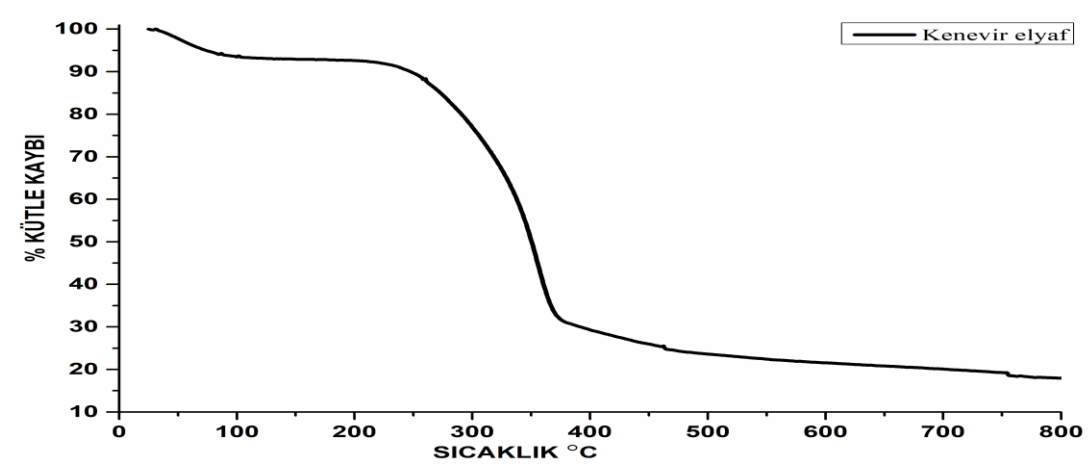
4.1.4. Kenevir Elyafının Analizi

Temin edilen kenevir elyafına FT-IR ve TGA analizleri yapılmıştır.



Şekil 4.7: Kenevir elyafa FT-IR spektrumu.

Şekil 4.7'de görülen kenevir elyafa ait FT-IR spektrumunda 3332 cm^{-1}'de görülen yayvan pik O-H gerilmesine, 2915 cm^{-1} ve 2850 cm^{-1}' de görülen pikler ise alifatik C-H gerilmesine aittir.

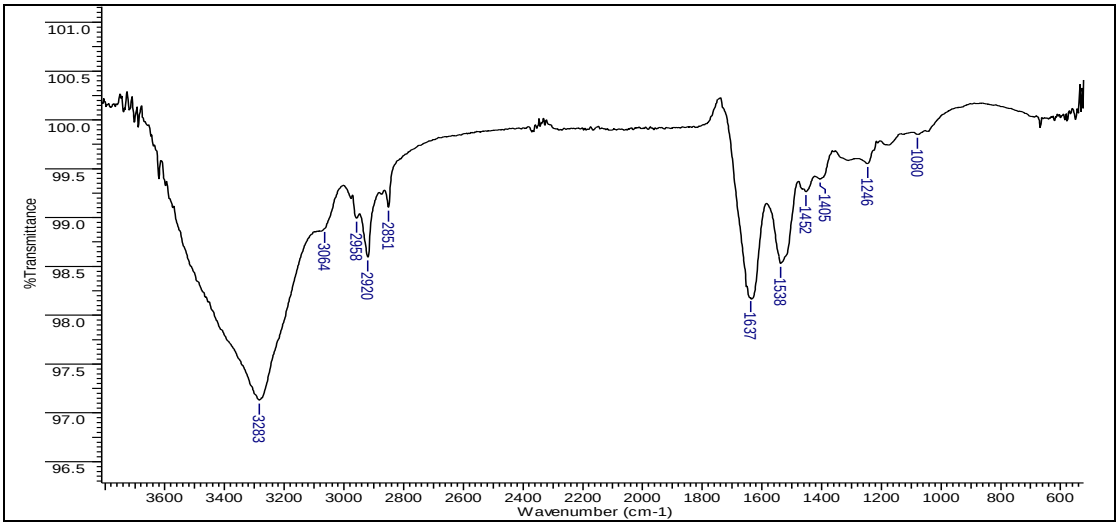


Şekil 4.8: Kenevir elyafının termogramı.

Kenevir elyafa ait termogram Şekil 4.8'de görülmektedir. 100 °C'ye kadar kaybedilen kütle yaklaşık %7'dir ve kenevir elyafı içerisindeki suyun buharlaşmasına aittir. Kütle kaybının başladığı sıcaklık 240 °C'dir ve 360 °C'ye kadar devam etmektedir. 900 °C'ye kadar ısıtılan elyafın kalan kül miktarı %16'dir.

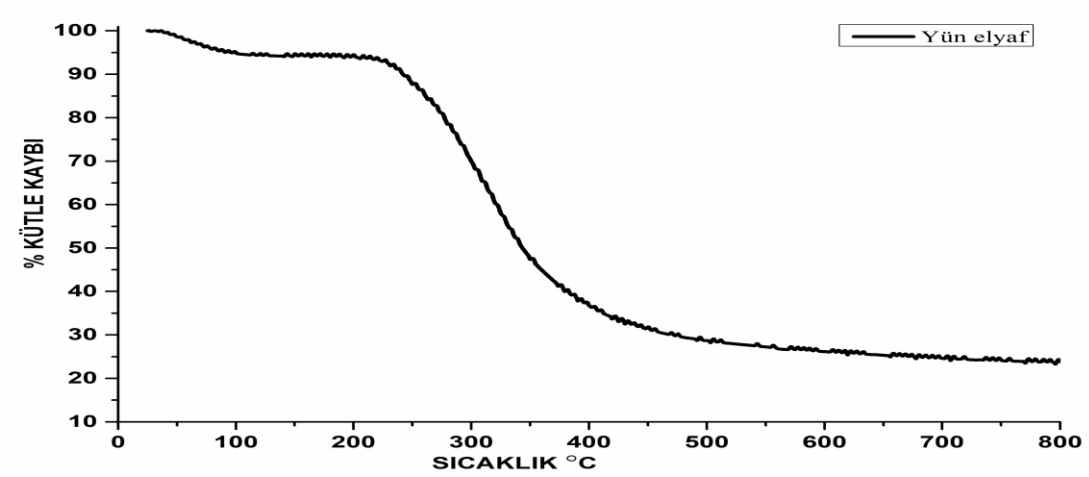
4.1.5. Yün Elyafının Analizleri

Temin edilen yün elyafına FT-IR ve TGA analizleri yapılmıştır.



Şekil 4.9: Yün elyafının FT-IR spektrumu.

Şekil 4.9'de görülen yün elyafa ait FT-IR spektrumunda 3283 cm^{-1}'de görülen O-H gerilmesine ait yayvan pik gözlenmektedir. 3064 cm^{-1} de görülen pik aromatik C-H gerilmesine, 2920 cm^{-1} ve 2850 cm^{-1}'de görülen pikler ise alifatik C-H gerilmesine aittir. 1637 cm^{-1}'de C=O gerilmesine ait pik görülmektedir.

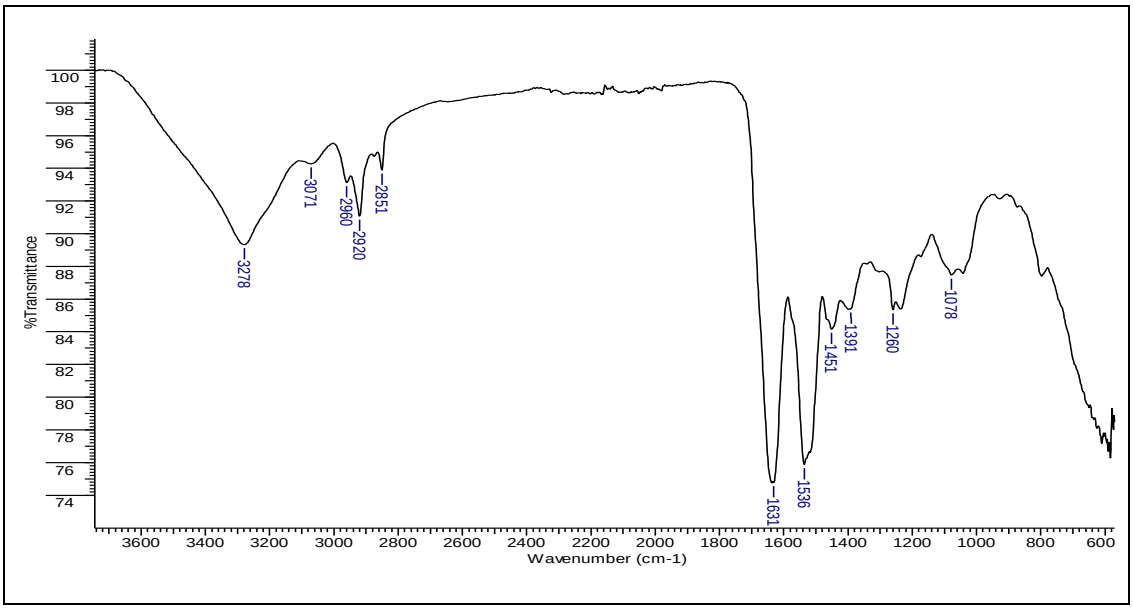


Şekil 4.10: Yün elyafının termogramı.

Yün elyafa ait termogram Şekil 4.10'de görülmektedir. 100 °C'ye kadar kaybedilen kütle yaklaşık %5.6'dir ve yün elyafı içerisindeki suyun buharlaşmasına aittir. Kütle kaybının başladığı sıcaklık 240 °C'dir ve 440 °C'ye kadar devam etmektedir. 900 °C'ye kadar ısıtılan elyafın kalan kül miktarı %16'dir.

4.1.6. Yün Plak Elyafının Analizleri

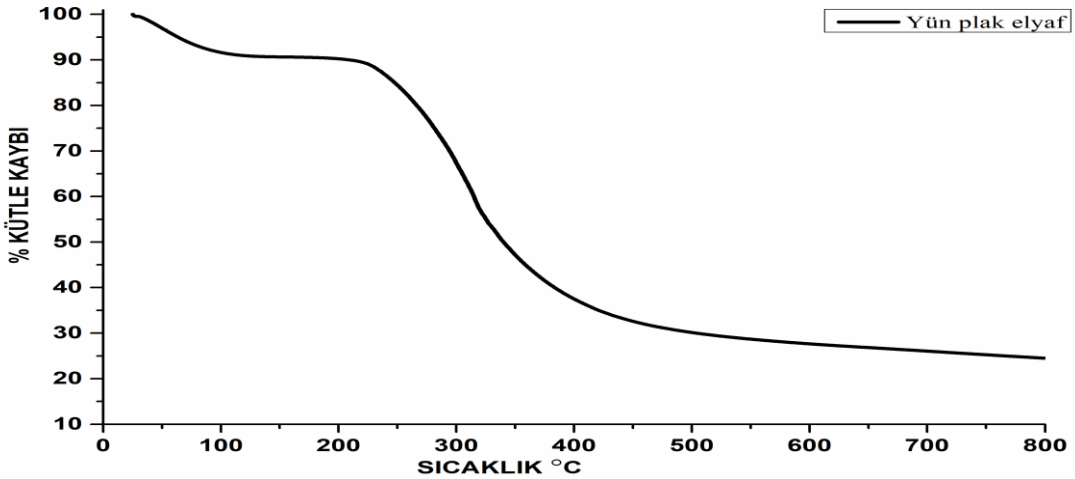
Temin edilen yün plak elyafına FT-IR ve TGA analizleri yapılmıştır.



Şekil 4.11: Yün plak elyafına ait FT-IR spektrumu.

Şekil 4.11'de görülen yün plak elyafa ait FT-IR spektrumunda 3278 cm^{-1}'de görülen yayvan pik O-H gerilmesi, 3071 cm^{-1}' de görülen aromatik C-H gerilmesi, 2920-2851 cm^{-1} arasında görülen çoklu pik ise alifatik C-H gerilmesi olarak

gözlenmektedir. 1631 cm^{-1}'de C=O gerilmesine ait pik görülmektedir.



Şekil 4.12: Yün plak elyafının termogramı.

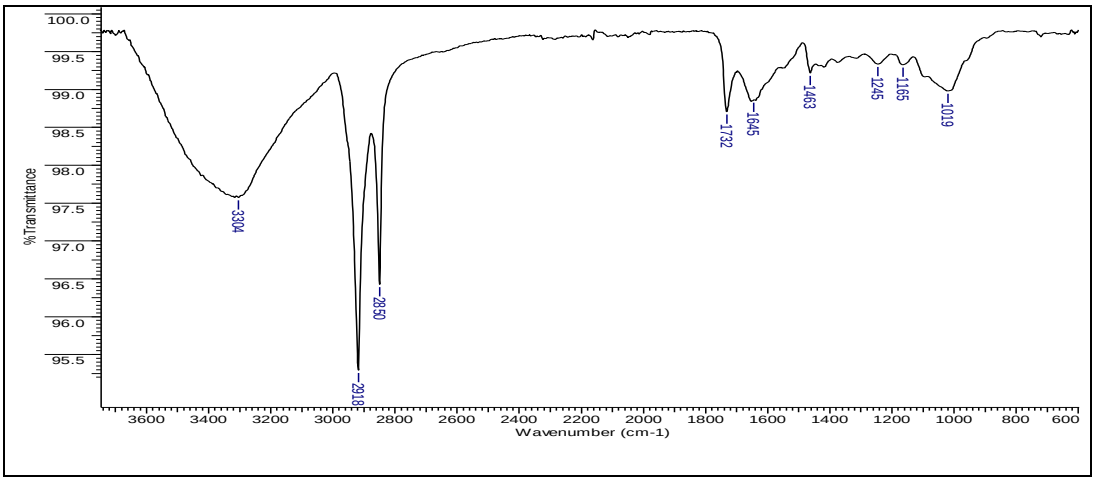
Yün plak elyafa ait termogram Şekil 4.12'de görülmektedir. 100 °C'ye kadar kaybedilen kütle yaklaşık %8.4'dür ve yün plak elyafı içerisindeki suyun buharlaşmasına aittir. Kütle kaybının başladığı sıcaklık 240 °C'dir ve 420 °C'ye kadar devam etmektedir. 900 °C ye kadar ısıtılan elyafın kalan kül miktarı %5'dir.

4.2. Elyaflara Uygulanan Kurutma İşlemleri

4.2.1. Keten Elyafına Yapılan Kurutma İşlemleri

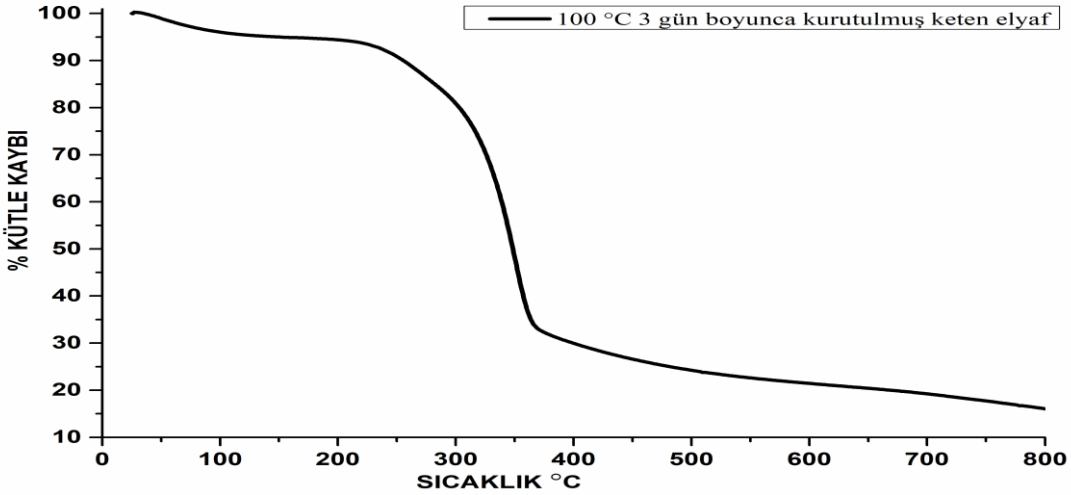
60 g doğal keten elyafı tartılarak 100 °C'de 3 gün boyunca etüvde kurutuldu. Kurutma işlemi sonrasında elyaflar tartıldı ve FT-IR spektrumu ve termogramı alındı.

- Kurutma işleminden önce elyafların ağırlığı: 60,254 g
- Kurutma işleminden sonra elyafların ağırlığı: 56,327 g
- Uzaklaştırılan nem miktarı: 3,927 gramdır.



Şekil 4.13:100 °C'de 3 gün boyunca kurutulan keten elyafa ait FT-IR spektrumu.

Şekil 4.13'de görülen keten elyafa ait FT-IR spektrumunda 3304 cm^{-1}'de görülen yayvan pik O-H gerilmesine aittir. 2918-2850 cm^{-1} görülen pikler ise alifatik C-H gerilmesine aittir. 1732-1645 cm^{-1}'de görülen pik ise C=O varlığını göstermektedir.



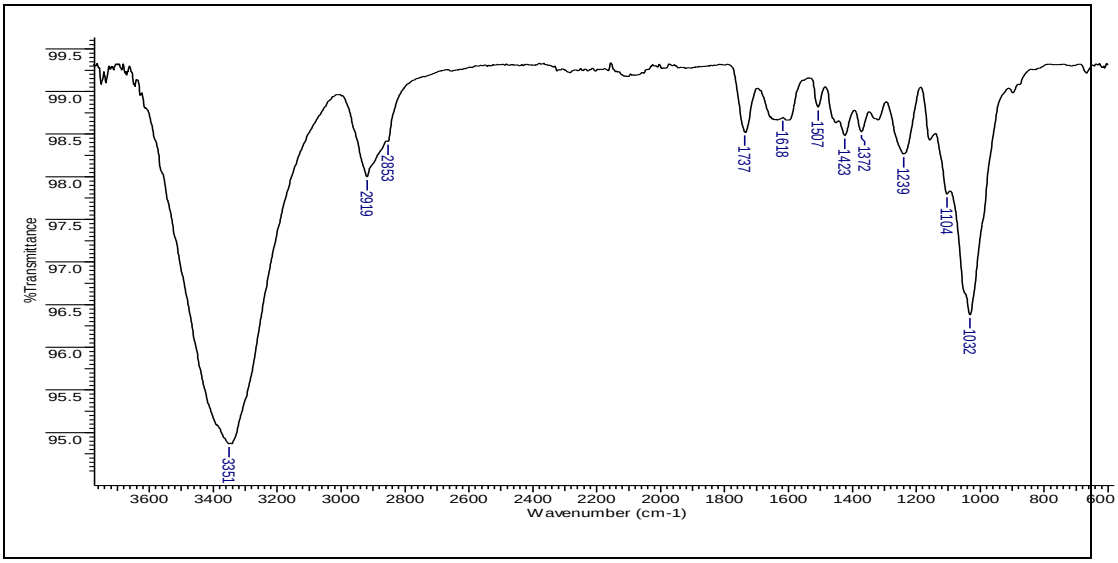
Şekil 4.14: 100 °C'de 3 gün boyunca kurutulmuş keten elyafının termogramı.

Kurutulmuş keten elyafa ait termogram Şekil 4.14'de görülmektedir. 100°C'ye kadar kaybedilen kütle yaklaşık %3.97'dir ve keten elyafı içerisindeki suyun buharlaşmasına aittir. Kütle kaybının başladığı sıcaklık 250 °C'dir ve 370 °C'ye kadar devam etmektedir. 900 °C'ye kadar ısıtılan elyafın kalan kül miktarı %12.68'dür.

4.2.2. Keten Kıtık Elyafına Yapılan Kurutma İşlemleri

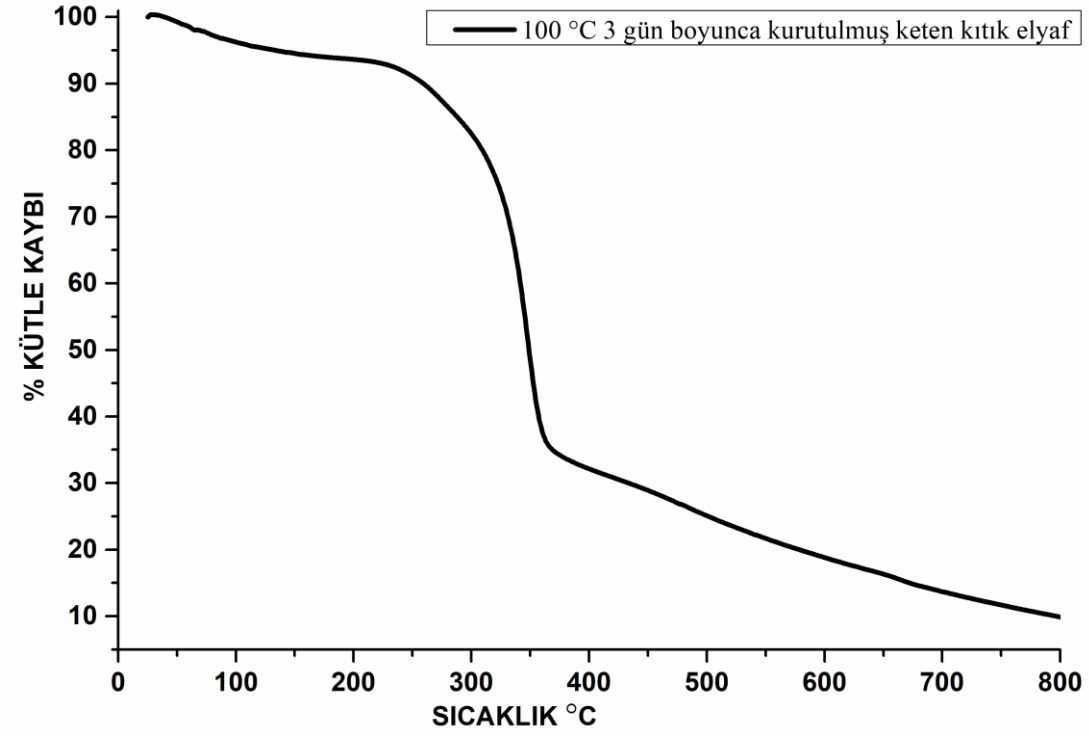
60 g doğal keten kıtık elyafı tartılarak 100 °C'de 3 gün boyunca etüvde kurutulmaya bırakıldı. Kurutulma sonucuna gören sonra elyaflar tartıldı ve FT-IR spektrumu ve termogramı alındı.

- Kurutma işleminden önce elyafların ağırlığı: 60,650 g
- Kurutma işleminden sonra elyafların ağırlığı: 56,064 g
- Uzaklaştırılan nem miktarı: 4,586 gramdır.



Şekil 4.15: 100 °C'de 3 gün boyunca kurutulan keten kıtık elyafa ait FT-IR spektrumu.

Şekil 4.15'te görülen işlem görmüş keten kıtık elyafa ait FT-IR spektrumunda 3351 cm^{-1} de görülen yayvan pik O-H gerilmesine, 2919 cm^{-1} ve 2853 cm^{-1} de görülen pikler ise alifatik C-H gerilmesine aittir. 1737 cm^{-1}'de C=O gerilmesine ait pik görülmektedir.



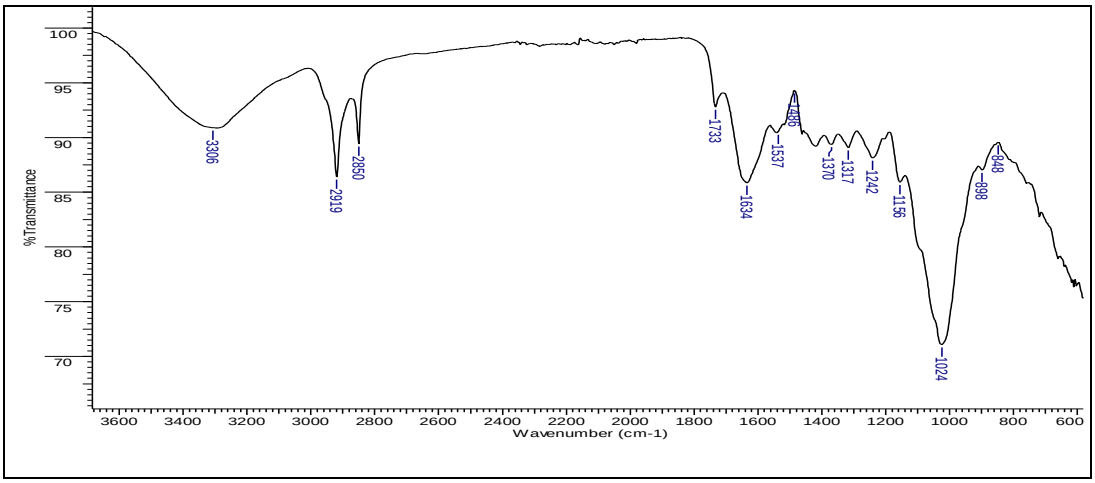
Şekil 4.16: 100 °C'de 3 gün boyunca kurutulmuş keten kıtık elyafa ait termogramı.

Şekil 4.16'da görülen termogramda 100 °C'ye kadar kaybedilen kütle yaklaşık %3.75'dir ve keten kıtık elyafı içerisindeki suyun buharlaşmasına aittir. Kütle kaybının başladığı sıcaklık 260 °C'dir ve 370 °C'ye kadar devam etmektedir. 900 °C'ye kadar ısıtma sonucunda kalan kül miktarı %7.19 'dur.

4.2.3. Kenevir Elyafına Yapılan Kurutma İşlemleri

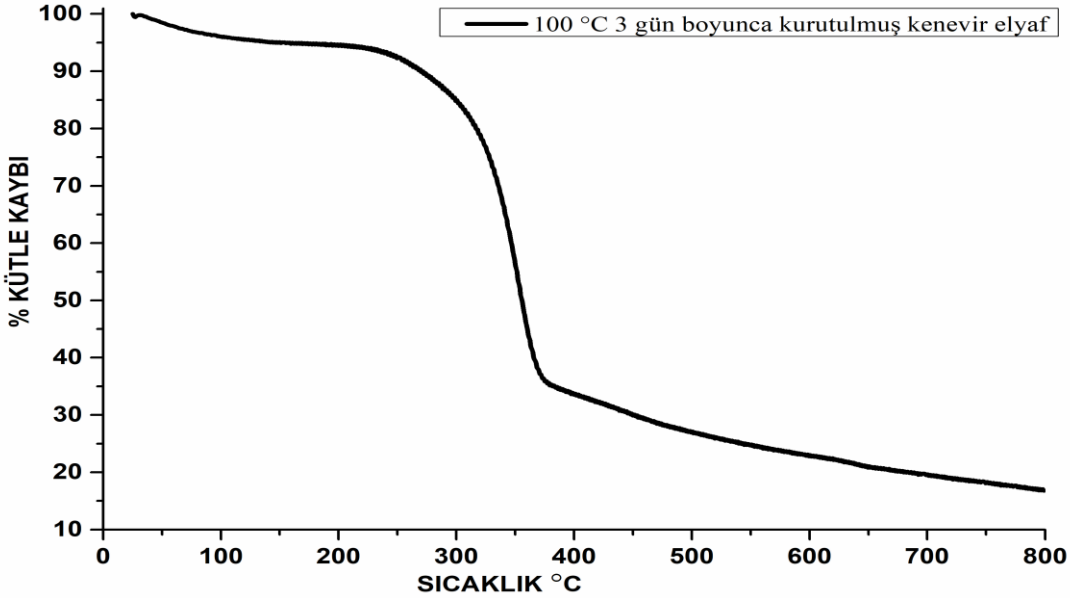
60 g doğal kenevir elyafı tartılarak 100 °C'de 3 gün boyunca etüvde kurutulmaya bırakıldı. Kurutulma sonucuna gören sonra elyafların tartılması, ardından ise FT-IR spektrumu ve termogramı alınmıştır.

- Kurutma işlemlerinden önce elyafın ağırlığı: 60,7020 g
- Kurutma işlemlerinden sonra elyafın ağırlığı: 56,8850 g
- Uzaklaştırılan nem miktarı: 3,817 gramdır.



Şekil 4.17: 100 °C'de 3 gün boyunca kurutulmuş kenevir elyafa ait FT-IR spektrumu.

Şekil 4.17'de görülen işlem görmüş kenevir elyafa ait FT-IR spektrumunda 3306 cm^{-1} de görülen yayvan pik O-H gerilmesine, 2919 cm^{-1} ve 2850 cm^{-1} de görülen pikler ise alifatik C-H gerilmesine aittir. 1733 cm^{-1}'de C=O gerilmesine ait pik görülmektedir.



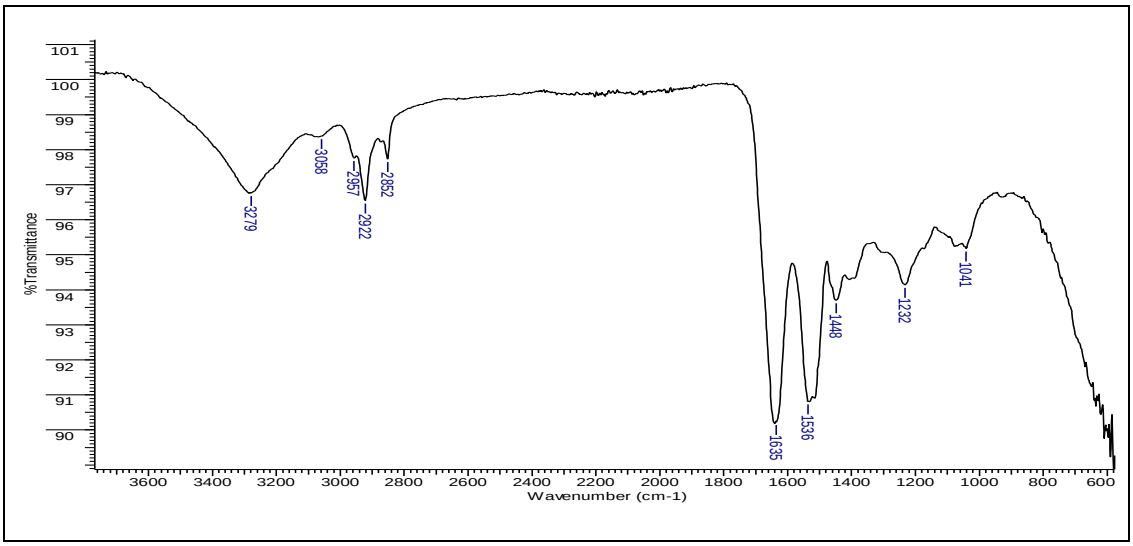
Şekil 4.18: 100 °C'de 3 gün boyunca kurutulmuş kenevir elyafının termogramı.

Kurutulmuş kenevir elyafa ait termogram Şekil 4.18'de görülmektedir. 100 °C'ye kadar kaybedilen kütle yaklaşık %3.32'dir ve kenevir elyafı içerisindeki suyun buharlaşmasına aittir. Kütle kaybının olduğu sıcaklık 270 °C'dir ve 380 °C'ye kadar devam etmektedir. 900 °C ye kadar ısıtılan elyafın kalan kül miktarı %17.34'dür.

4.2.4. Yün Elyafına Yapılan Kurutma İşlemleri

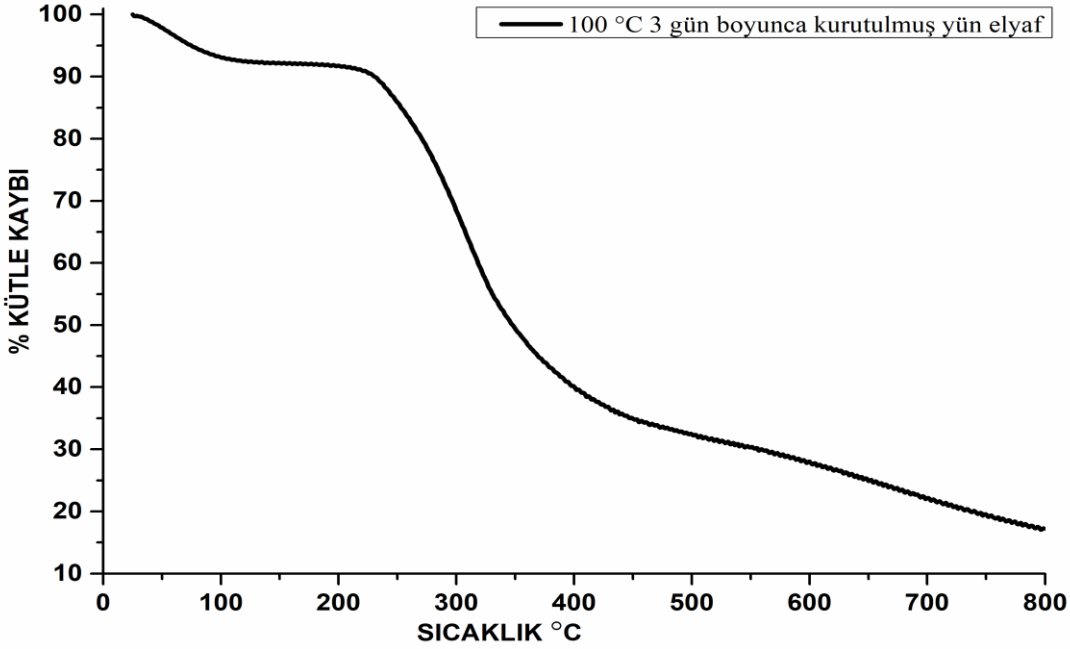
60 g doğal yün elyafı tartılarak 100 °C'de 3 gün boyunca etüvde kurutulmaya bırakıldı. Kurutulma sonucuna gören sonra elyafların tartılması, ardından ise FT-IR spektrumu ve termogramı alınmıştır.

- Kurutma işlemlerinden önce elyafın ağırlığı: 60.323g
- Kurutma işlemlerinden sonra elyafın ağırlığı: 59.323 g
- Uzaklaştırılan nem miktarı: 1.000 gramdır.



Şekil 4.19: 100 °C'de 3 gün boyunca kurutulmuş yün elyafına ait FT-IR spektrumu.

Şekil 4.19'da görülen kurutulmuş yün elyafa ait FT-IR spektrumunda 3279 cm^{-1}'de görülen O-H gerilmesine ait yayvan pik gözlenmektedir. 3058 cm^{-1}'de görülen pik aromatik C-H gerilmesine, 2922 cm^{-1} ve 2852 cm^{-1}'de görülen pikler ise alifatik C-H gerilmesine aittir. 1635 cm^{-1}'de C=O gerilmesine ait pik görülmektedir.



Şekil 4.20: 100 °C'de 3 gün boyunca kurutulmuş yün elyafa ait termogramı.

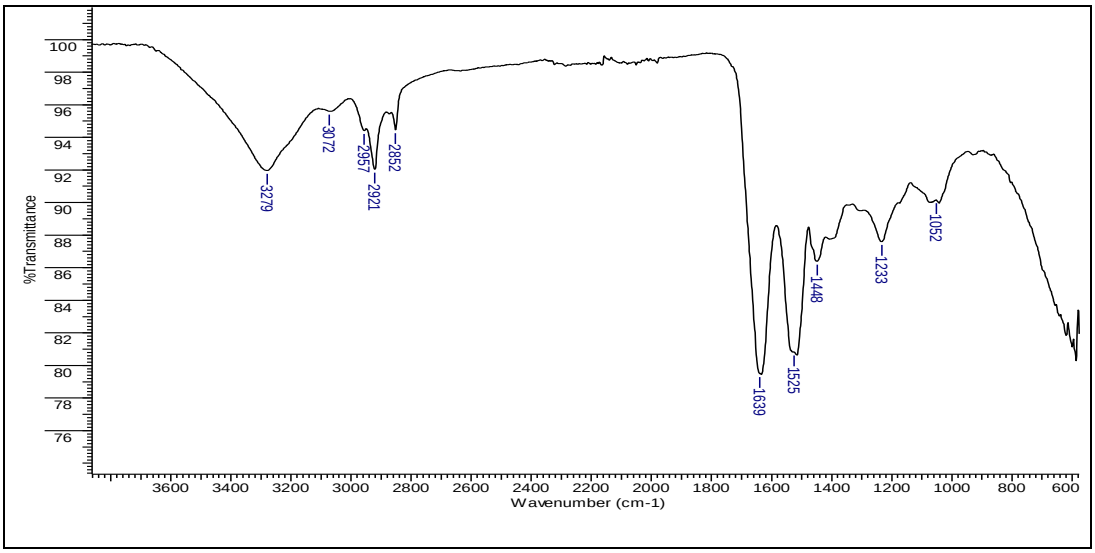
Kurutulmuş yün elyafa ait termogram Şekil 4.20'de görülmektedir. 100 °C'ye kadar kaybedilen kütle yaklaşık %6.9'dur ve yün elyafı içerisindeki suyun buharlaşmasına aittir. Kütle kaybının başladığı sıcaklık 240 °C'dir ve 472 °C'ye kadar devam etmektedir. 900 °C'ye kadar ısıtılan elyafın kalan kül miktarı %18.81'dur.

4.2.5. Yün Plaka Elyafına Yapılan Kurutma İşlemleri

Yün plakadan 49cm x 22,5 cm ebatlarında yün keçe kesilerek 100 °C sıcaklıkta etüvde 3 gün boyunca kurutulmaya bırakıldı. Belirli aralıklarla boyutsal değişimi incelendi. 3.gün sonunda FT-IR ve TGA analizleri yapılmıştır.

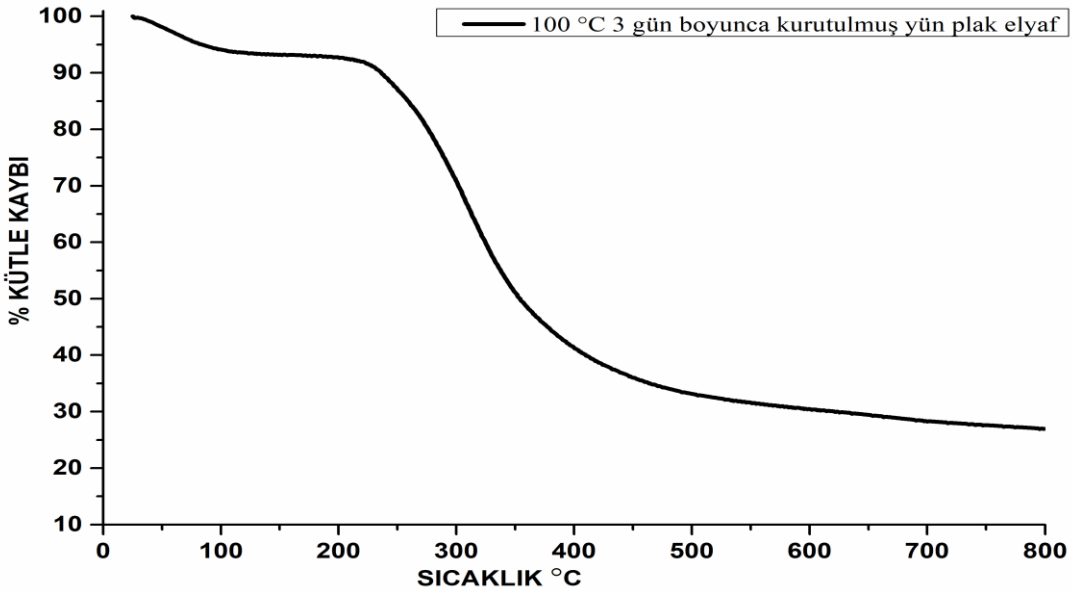
Boyutsal ölçümler:

- Başlangıçtaki boyutu: 49cm x 22,5cm
- 1.gün: 50cm x 22,5cm
- 2.gün:50,5cm x 22,5cm
- 3.gün:50,5cm x 22,5cm



Şekil 4.21: 100 °C'de 3 gün boyunca kurutulmuş yün plaka elyafa ait FT-IR spektrumu.

Şekil 4.21'de görülen kurutulmuş yün plaka elyafa ait FT-IR spektrumunda 3379 cm^{-1}'de görülen yayvan pik O-H gerilmesi, 3052 cm^{-1} de görülen aromatik C-H gerilmesi, 2921 cm^{-1} ve 2852 cm^{-1} arasında görülen pik alifatik C-H gerilmesi olarak gözlenmektedir. 1639 cm^{-1}'de C=O gerilmesine ait pik görülmektedir.



Şekil 4.22: 100 °C'de 3 gün boyunca kurutulmuş yün plaka elyafa ait termogram.

Kurutulmuş yün plaka elyafa ait termogram Şekil 4.22'de görülmektedir. 100 °C'ye kadar kaybedilen kütle yaklaşık %5.5'dir ve yün elyafı içerisindeki suyun buharlaşmasına aittir. Kütle kaybının başladığı sıcaklık 240 °C'dir ve 420 °C'ye

kadar devam etmektedir. 900 °C'ye kadar ısıtılan elyafın kalan kül miktarı %27.04'dur.

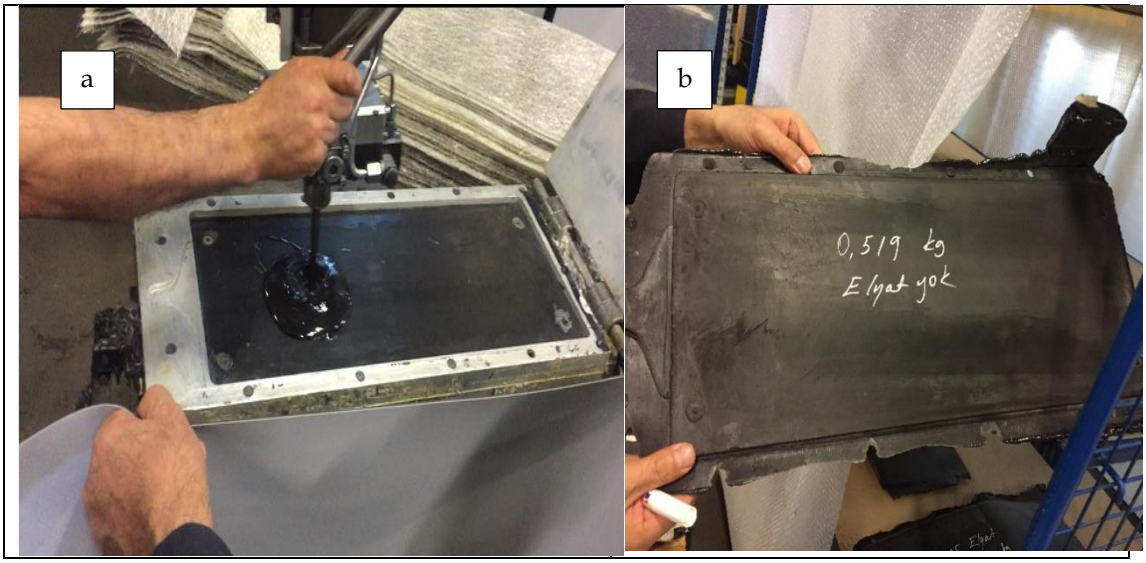
4.3. Poliüretan Kompozitlerin Oluşturulması ve Analizleri

Cam elyaf ve diğer temin ettiğimiz doğal elyafların takviye edici olarak kullanıldığı poliüretan matrisli kompozitler oluşturulmuştur. Oluşturulan bu kompozitlerin yoğunluk, çekme uzama, kopma, yanma, sıcaklık dayanım mekanik testleri, FT-IR sprektrumları, termogravimetrik analizleri ve SEM görüntüleri alınmıştır.

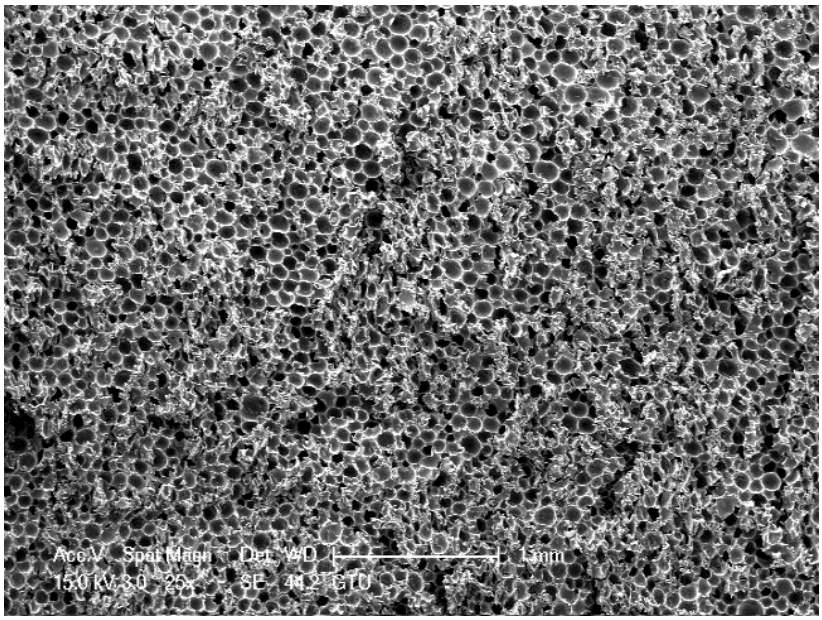
4.3.1. Poliüretan Polimerinin Oluşturulması ve Analizleri

S-RIM yöntemiyle otomattan 100/110 oranındaki 500 g poliol/izosiyanat sistem karışımı 600mm x 250mm boyutundaki kalıp içerisine enjekte edilerek kalıp kapatıldı. Basınç uygulamak için üç bölgesinden mengeneler sıkıldı. Ürünün şeklinin alabilmesi için 10 dakika kürlenmesi için beklenildi. Kalıp içerisindeki ürün soğutulup ve şeklini almasından sonra ürün bir gün dış ortamda bekletildi. Şekil 4.23'de poliüretanın oluşturulması ve elde edilen ürüne ait resimler bulunmaktadır.

Reaksiyon sonrasında oluşan kompozitten numuneler alarak numuneler FT-IR, TGA analizleri ve mekanik testler yapılmıştır.

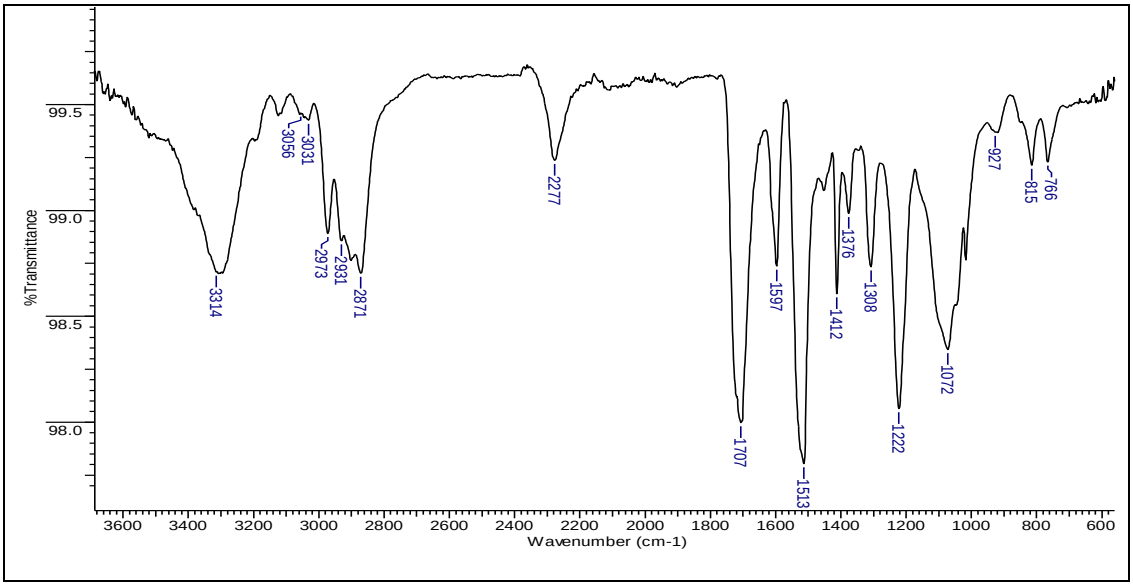


Şekil 4.23: a) Poliüretan polimerinin oluşturulması b) ürün.



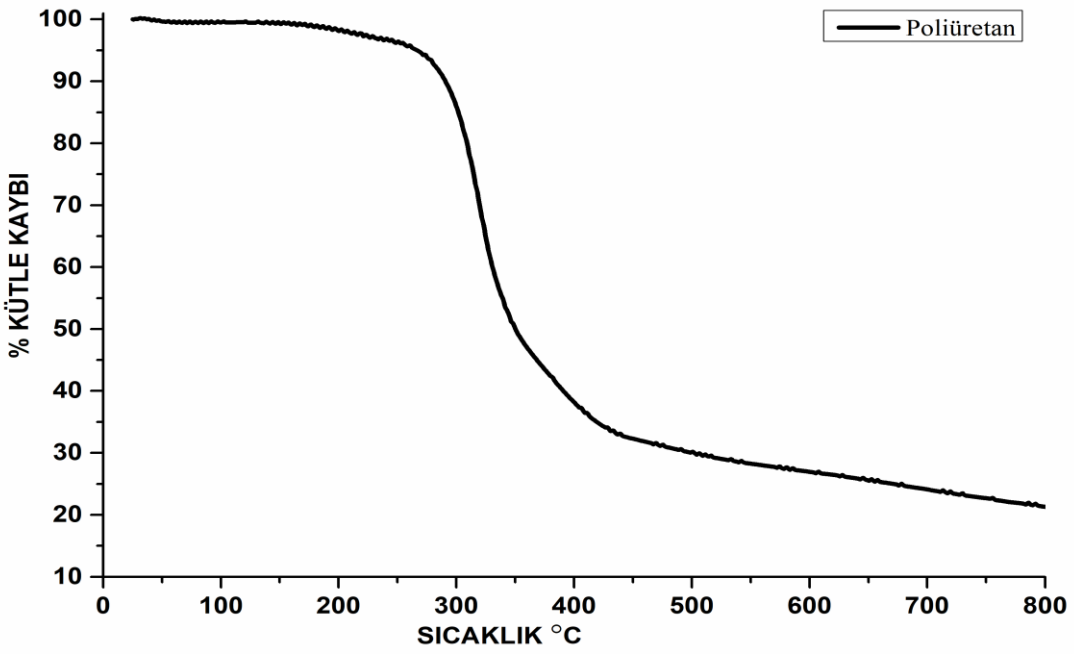
Şekil 4.24: Poliüretanın SEM görüntüsü.

Şekil 4.24'de poliüretan polimerinin SEM görüntüsü görülmektedir.



Şekil 4.25: Poliüretana ait FT-IR spektrumu.

Şekil 4.25'de görülen poliüretan polimerine ait FT-IR spektrumunda 3314 cm^{-1}'de pik N-H gerilmesi bandı görülmektedir. 3056 cm^{-1}'deki pik aromatik C-H gerilmesi ve 2973 - 2871 cm^{-1}'deki piklerinde ise alifatik C-H gerilmeleri görülmektedir. 2277 cm-1' O=C=N gerilmesine ait pik görülmektedir. 1707 cm^{-1}'de görülen pik C=O gerilmesine ait pik keton varlığını göstermektedir. 1072 cm^{-1}'de karşılaşılan pik ise C-O-C gerilmesini vermektedir.



Şekil 4.26: Poliüretana ait termogram.

Poliüretana ait termogram Şekil 4.26'da görülmektedir. 100 °C'ye kadar kaybedilen kütle yaklaşık %1'dir ve poliüretan içerisindeki suyun buharlaşmasına aittir. Kütle kaybının başladığı sıcaklık 310 °C'dir ve 420 °C'ye kadar devam etmektedir. 900 °C'ye kadar ısıtılan elyafın kalan kül miktarı %19.47'dir.

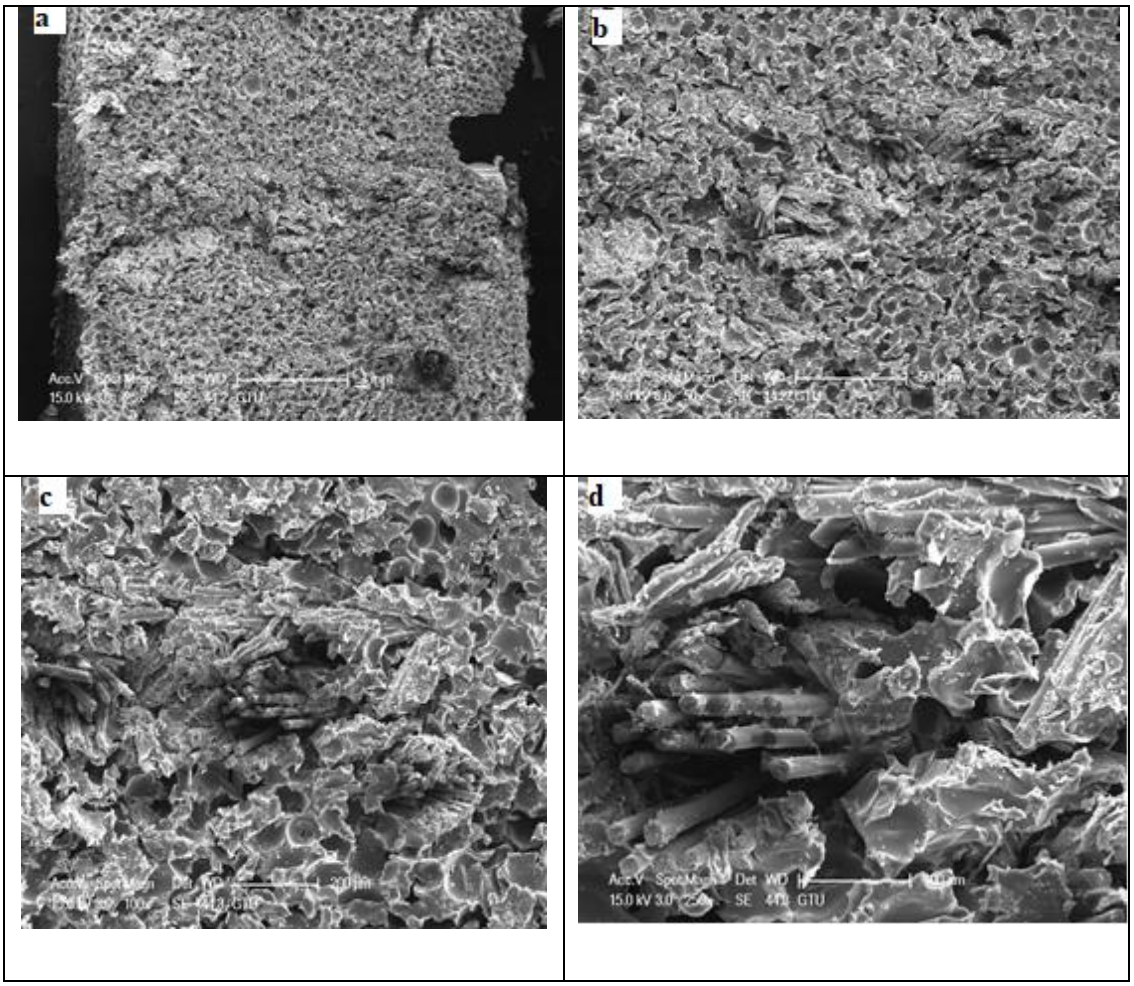
Tablo 4.1: Poliüretanın mekanik testleri.

Saf poliüretan		
Yoğunluk (kg/m^3)		270,74
Yanma Testi		Uygun
Çekme Testi	Kopma (N/mm^2)	3,22
	Uzama %	8,09
Sıcaklık Dayanım Testi	80 °C	Uygun
	90 °C	Uygun
	110 °C	Uygun

4.3.2. Cam Elyaf Takviyeli Poliüretan Kompozit Oluşturulması ve Analizleri

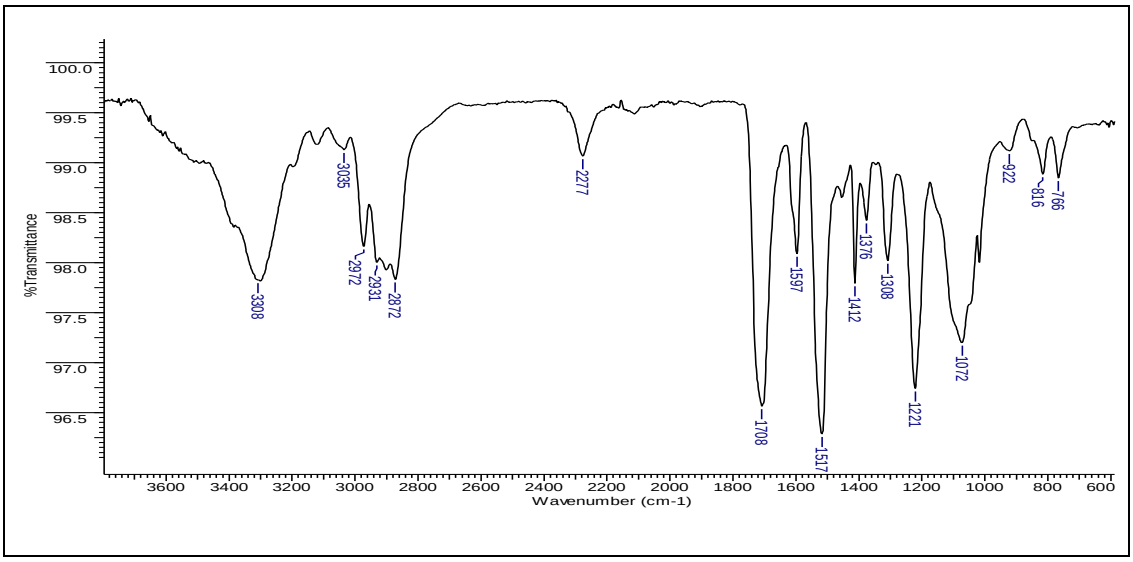
Kompozitin Hazırlanması: Örgü halinde bulunan 33g cam elyaf kalıbın ölçülerinde kesilerek kalıbın içerisine serildi S-RIM yöntemiyle otomattan 100/110 oranında 500 g poliol/izosiyanat sistem karışımı kalıp içerisine enjekte edilerek kalıp kapatıldı. Basınç uygulamak için üç bölgesinden mengeneler sıkıldı. Kürlenme süresi 10 dakikadır. Şekil 4.27'de cam elyaf takviyeli poliüretan kompozit görülmektedir.

Şekil 4.27: Cam elyaf takviyeli poliüretan kompozitin oluşturulması.



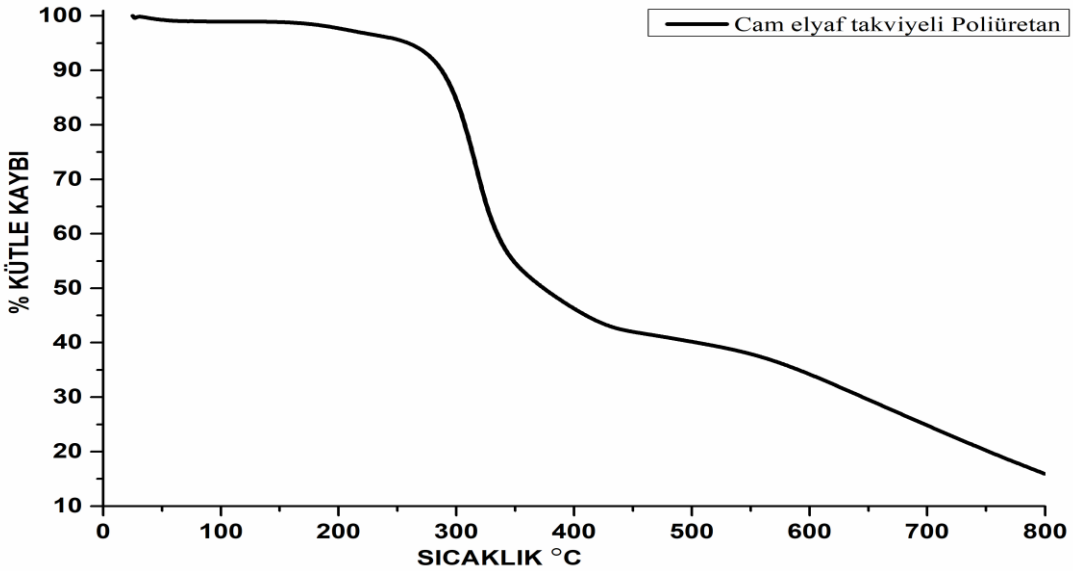
Şekil 4.28: Cam elyaf takviyeli poliüretan kompozitin SEM görüntüleri.
a) 1mm, b) 500µm, c) 200µm, d) 100µm

Şekil 4.28'de cam elyaf takviyeli poliüretan kompozitin SEM görüntüleri görülmektedir. Matris ve takviye fazın uyumunun görülmesi için dört farklı uzaklıktan görüntüler alınmıştır.



Şekil 4.29: Cam elyaf takviyeli poliüretan kompozite ait FT-IR spektrumu.

Şekil 4.29'de görülen cam elyaf takviyeli poliüretan kompozite ait FT-IR spektrumunda 3308 cm^{-1}'de görülen pik N-H gerilmesidir. 3005 cm^{-1}'deki pik ise aromatik C-H gerilmeleri ve 2972-2872 cm^{-1}'de görülen pikler alifatik C-H gerilmesi, 2277 cm^{-1}'de O=C=N gerilmesine ait pik görülmektedir. 1708 cm^{-1} dalga boyunda görülen pik ise keton varlığını gösteren C=O pikidir. 1072 cm^{-1}'de görülen pik ise C-O-C gerilmesidir.



Şekil 4.30: Cam elyaf takviyeli poliüretan kompozitin termogramı.

Cam elyaf takviyeli poliüretan kompozite ait termogram Şekil 4.30'da görülmektedir. 100 °C'ye kadar kaybedilen kütle yaklaşık %1.1'dir ve kompozit içerisindeki suyun buharlaşmasına aittir. Kütle kaybının başladığı sıcaklık 280 °C'dir

ve 440 °C'ye kadar devam etmektedir. 800 ° C'ye kadar ısıtılan elyafın kalan kül miktarı %17.37'dir.

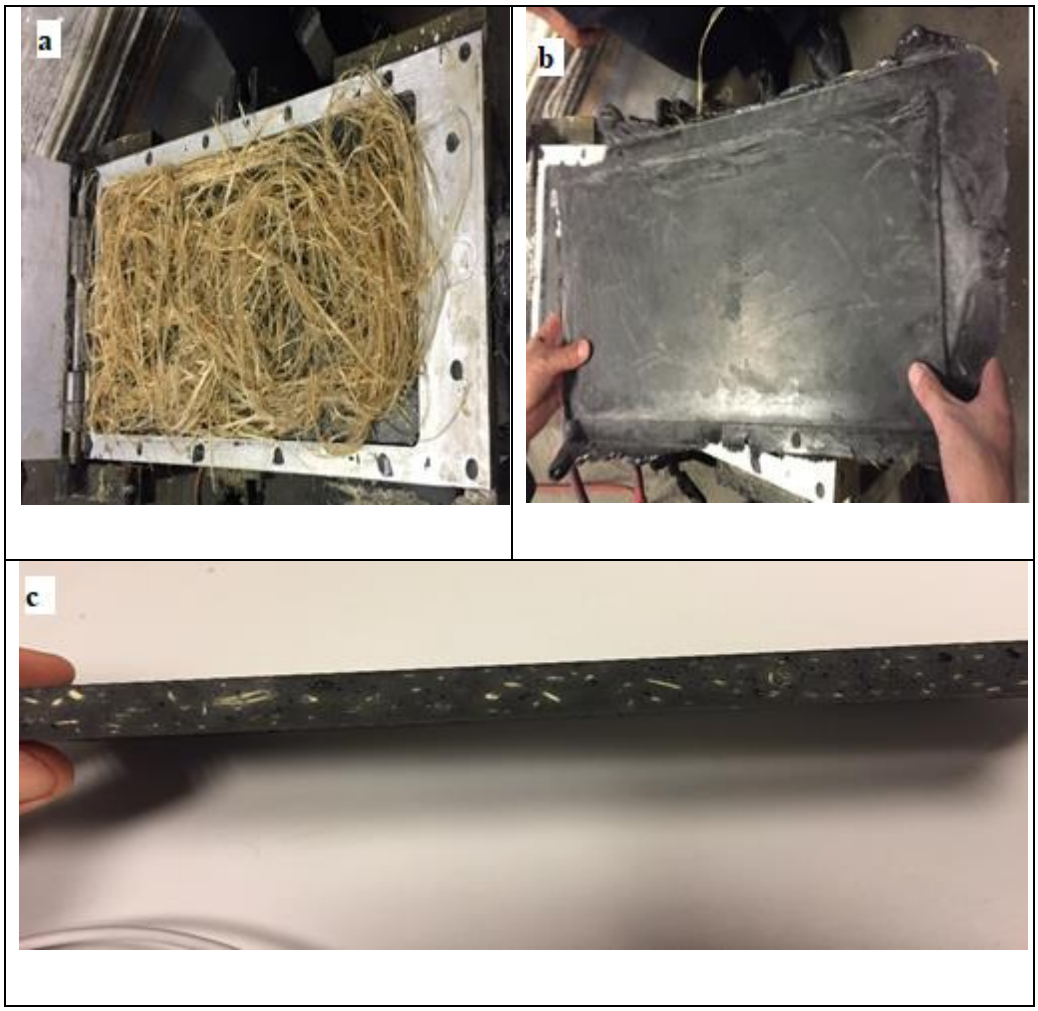
Tablo 4.2: Cam elyaf takviyeli poliüretan kompozitin mekanik testleri.

Cam elyaf takviyeli poliüretan kompozit		
Yoğunluk (kg/m^3)		296,64
Yanma Testi		Uygun
Çekme Testi	Kopma (N/mm^2)	5,96
	Uzama %	10,38
Sıcaklık Dayanım Testi	80 °C	Uygun
	90 °C	Uygun
	110 °C	Uygun

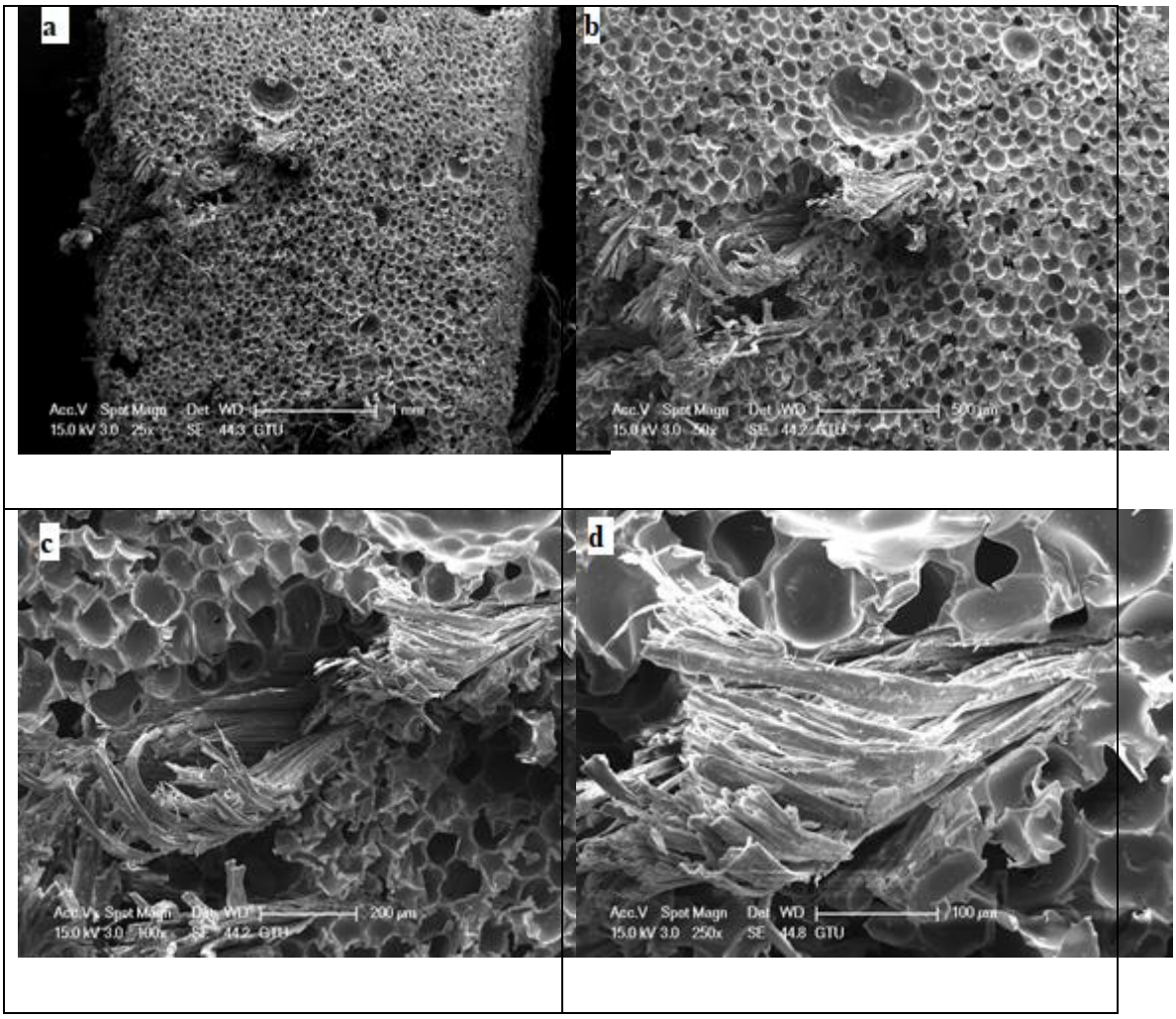
4.3.3. Keten Elyaf Takviyeli Poliüretan Kompozit Oluşturulması ve Analizleri

Kompozitin Hazırlanması: Keten elyafları 33 g alınarak kalıba homojen bir şekilde dağılımı sağlanmaya çalışıldı. S-RIM yöntemiyle otomattan 100/110 oranında 500g poliol/izosiyanat sistem karışımı kalıp içerisine enjekte edilerek kalıp kapatıldı. Basınç uygulamak için üç bölgesinden mengene ile sıkıldı. Ürünün şeklinin alabilmesi için 10 dakika kürlenmesi için beklenildi. Kalıp içerisindeki ürün soğutulup ve şeklini almasından sonra ürün bir gün dış ortamda bekletildi. Şekil 4.31'de keten elyaf takviyeli poliüretan kompozitin oluşturulması ve elde edilen ürünün resimi bulunmaktadır.

Reaksiyon sonrasında oluşan kompozitten numuneler alarak numuneler FT-IR, TGA analizleri ve mekanik testler yapılmıştır.

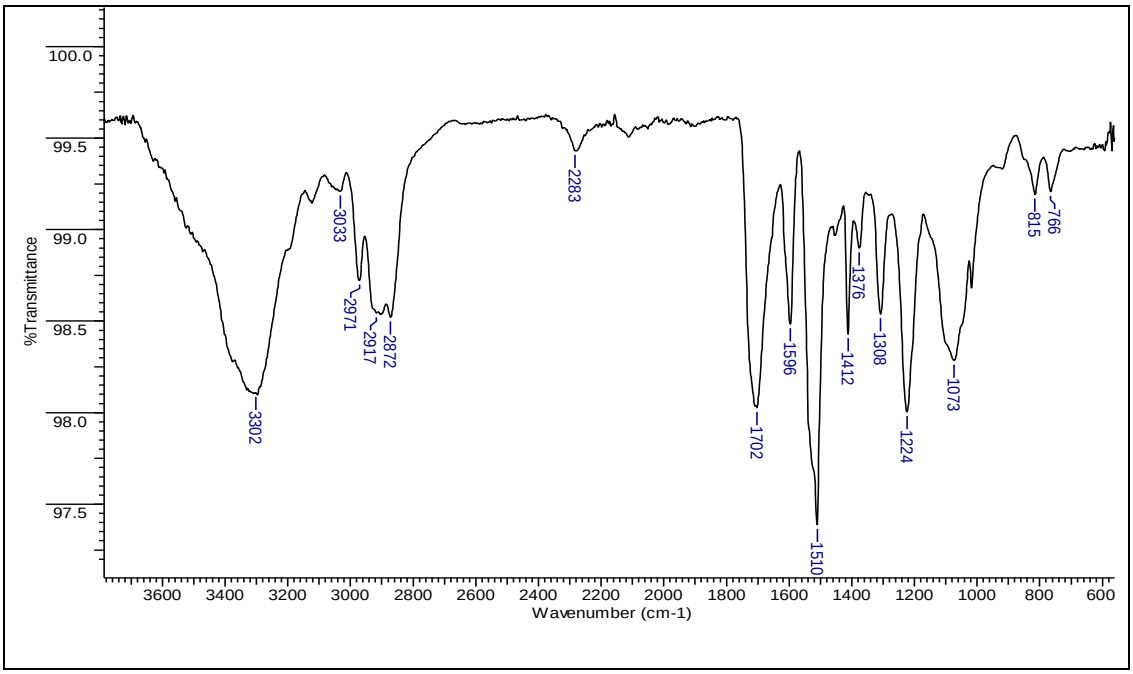


Şekil 4.31: Keten elyaf takviyeli poliüretan kompozitin oluşturulması.
a) elyafın kalıp içerisinde dağılımı, b)ürün, c)kompozitin enine kesiti



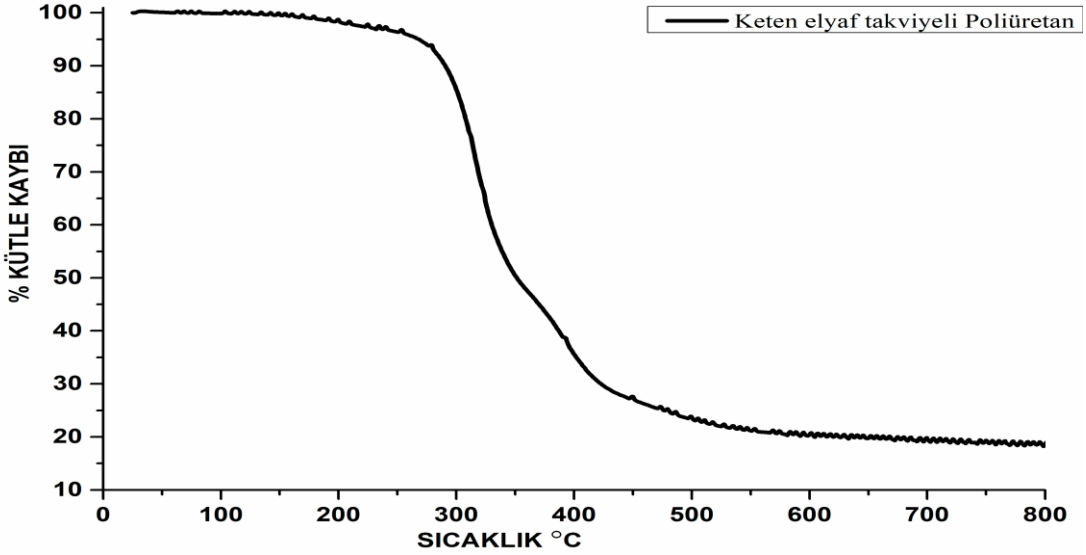
Şekil 4.32: Keten elyaf takviyeli poliüretan kompozitin SEM görüntüleri.
a) 1mm, b) 500µm, c) 200µm, d) 100µm

Şekil 4.32'de keten elyaf takviyeli poliüretan kompozitin SEM görüntüleri görülmektedir. Matris ve takviye fazın uyumunun görülmesi için dört farklı uzaklıktan görüntüler alınmıştır.



Şekil 4.33: Keten elyaf takviyeli poliüretan kompozitin FT-IR spektrumu.

Şekil 4.33'de görülen keten elyaf takviyeli poliüretan kompozite ait FT-IR spektrumunda 3302 cm^{-1}'de görülen pik N-H gerilmesidir. 3033 cm^{-1}deki pik ise C-H aromatik gerilmeleri ve 2913-2872 cm^{-1}' de görülen pikler alifatik C-H gerilmesi, 2283 cm^{-1}'de O=C=N gerilmesine ait pik görülmektedir. 1706 cm^{-1} dalga boyunda görülen pik ise keton varlığını gösteren C=O piktir. 1073 cm^{-1}' de ise C-O-C gerilmesini gösteren piktir.



Şekil 4.34: Keten elyaf takviyeli poliüretan kompozitin termogramı.

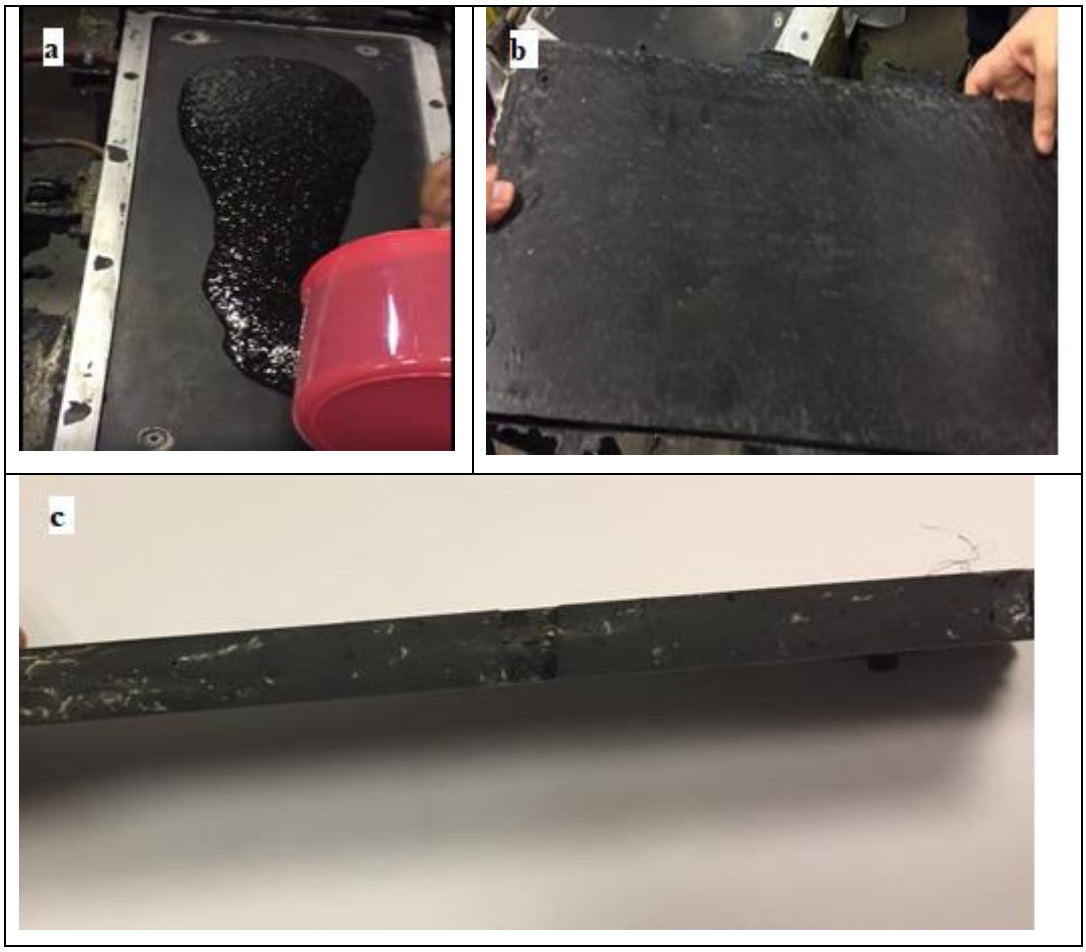
Keten elyaf takviyeli poliüretan kompozite ait termogram Şekil 4.34'de görülmektedir. 100 °C'ye kadar kaybedilen kütle yaklaşık %0.4'dür ve kompozit içerisindeki suyun buharlaşmasına aittir. Kütle kaybının başladığı sıcaklık 280 °C'dir ve 440 °C'ye kadar devam etmektedir. 900 °C'ye kadar ısıtılan elyafın kalan kül miktarı %18.57'dir.

Tablo 4.3: Keten elyaf takviyeli poliüretan kompozitin mekanik testleri.

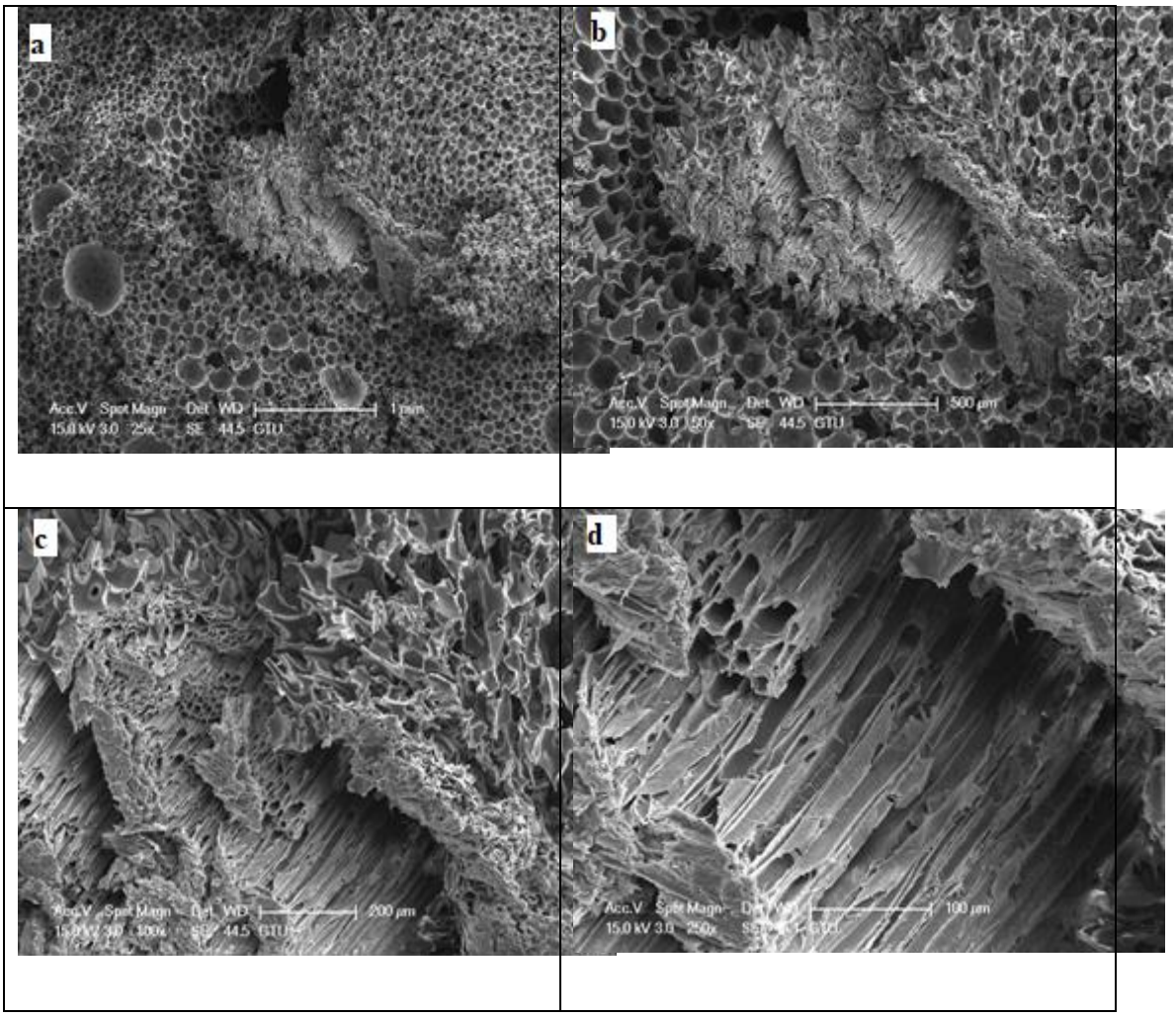
Keten elyaf takviyeli poliüretan kompozit		
Yoğunluk (kg/m^3)		295,52
Yanma Testi		Uygun
Çekme Testi	Kopma (N/mm^2)	2,95
	Uzama %	7,44
Sıcaklık Dayanım Testi	80 °C	Uygun
	90 °C	Uygun
	110 °C	Uygun

4.3.4. Keten Kıtık Elyaf Takviyeli Poliüretan Kompozitin Analizi

Kompozitin Hazırlanması: Bir kap içerisine 33 g keten kıtığı ve S-RIM sisteminden gelen otomattan 100/110 oranında 500g poliol/izosiyanat sistem karışımı enjekte edilerek karıştırıldı ve kalıba döküldü. Basınç uygulamak için üç bölgesinden mengene ile sıkıldı. Ürün şeklini alabilmesi için 10 dakika kürlenmesi için beklenildi. Kalıp içerisindeki ürün soğutulup ve şeklini almasından sonra ürün bir gün dış ortamda bekletildi. Şekil 4.35'de keten kıtık elyaf takviyeli poliüretan kompozitin oluşturulması ve elde edilen ürünün resmi bulunmaktadır.

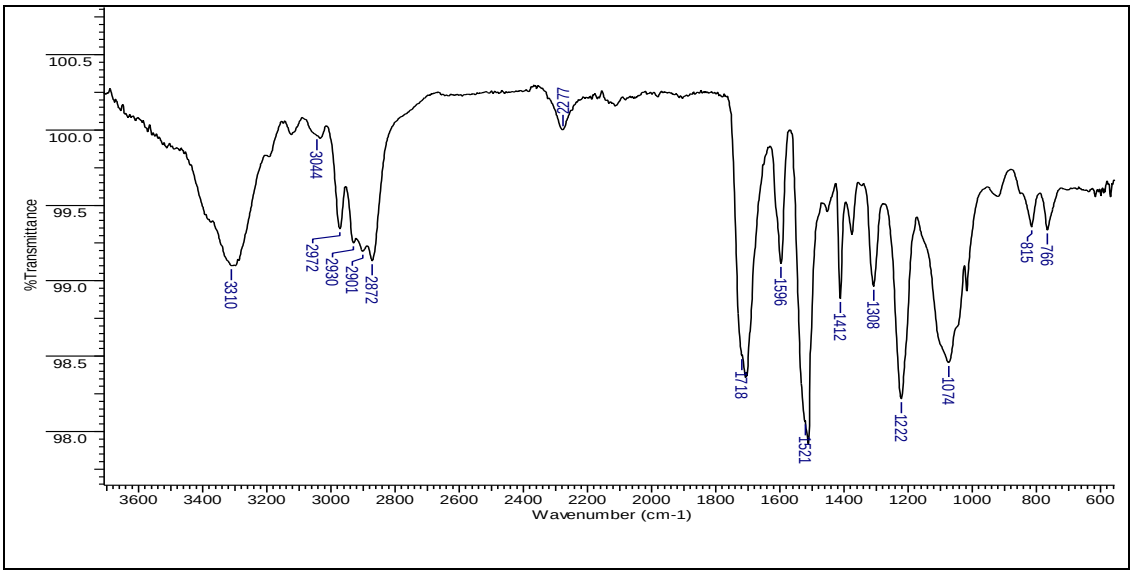


Şekil 4.35: Keten kıtık elyaf takviyeli poliüretan kompozitin oluşturulması.
a) elyafın kalıp içerisinde dağılımı, b)ürün, c)kompozitin enine kesiti



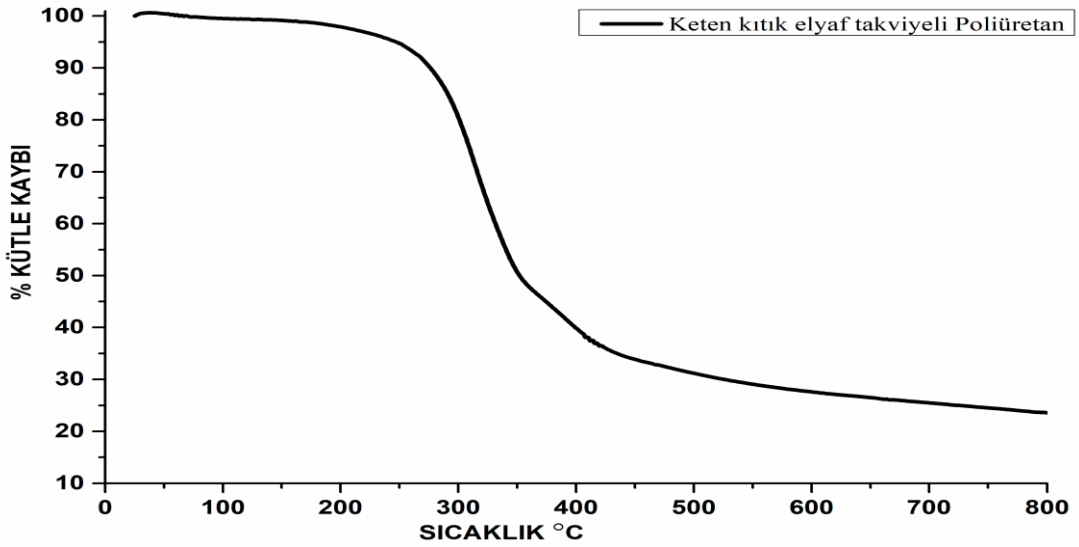
Şekil 4.36: Keten kıtık elyaf takviyeli poliüretan kompozitin SEM görüntüsü.
a) 1mm, b) 500µm, c) 200µm, d) 100µm

Şekil 4.36'de keten kıtık elyaf takviyeli poliüretan kompozitin SEM görüntüleri görülmektedir. Matris ve takviye fazın uyumunun görülmesi için dört farklı uzaklıktan görüntüler alınmıştır.



Şekil 4.37: Keten kıtık elyaf takviyeli poliüretan kompozitin FT-IR spektrumu.

Şekil 4.37'de görülen keten kıtık elyaf takviyeli poliüretan kompozite ait FT-IR spektrumunda 3310 cm^{-1}'de görülen pik N-H gerilmesidir. 3044 cm^{-1}'deki pik ise aromatik C-H gerilmeleri, 2972-2872 cm^{-1}'de görülen pikler alifatik C-H gerilmesi, 2277 cm^{-1}'de O=C=N gerilmesine ait pik görülmektedir. 1718 cm^{-1} dalga boyunda görülen pik ise keton varlığını gösteren C=O piktir. 1074 cm^{-1}' de karşılaşılan pik ise C-O-C gerilmesini gösteren piktir.



Şekil 4.38: Keten kıtık elyaf takviyeli poliüretanın termogramı.

Keten kıtık elyaf takviyeli poliüretan kompozite ait termogram Şekil 4.38'de görülmektedir. 100 °C'ye kadar kaybedilen kütle yaklaşık %1.5'dir ve kompozit içerisindeki suyun buharlaşmasına aittir. Kütle kaybının başladığı sıcaklık 280 °C'dir

ve 440 °C'ye kadar devam etmektedir. 900 °C'ye kadar ısıtılan elyafın kalan kül miktarı %21.86'dir.

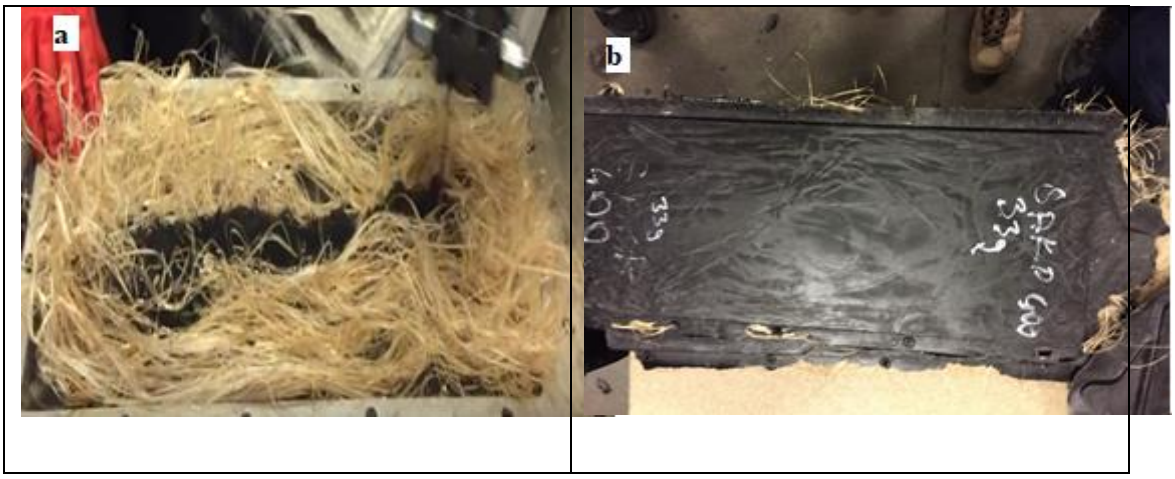
Tablo 4.4: Keten kıtık elyaf takviyeli poliüretan kompozitin mekanik testleri

Keten kıtık elyaf takviyeli poliüretan kompozit		
Yoğunluk (kg/m^3)		294,36
Yanma Testi		Uygun
Çekme Testi	Kopma (N/mm^2)	2,39
	Uzama %	7,92
Sıcaklık Dayanım Testi	80 °C	Uygun
	90 °C	Uygun
	110 °C	Uygun

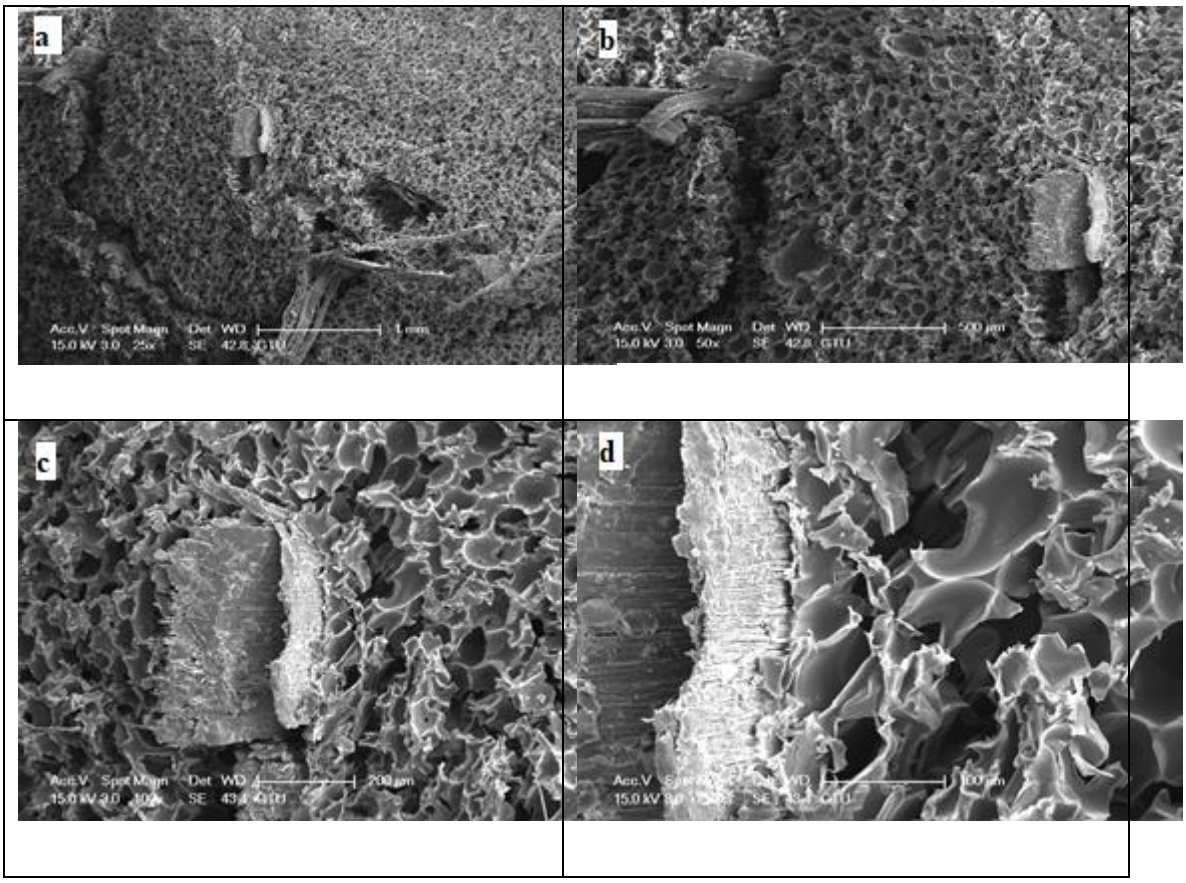
4.3.5. Kenevir Elyaf Takviyeli Poliüretan Kompozit Oluşturulması ve Analizleri

Kompozitin Hazırlanması: Kenevir elyafları 33 g alınarak kalıba homojen bir şekilde dağılımı sağlanmaya çalışıldı. S-RIM yöntemiyle otomattan 100/110 oranında 500g poliol/izosiyanat sistem karışımı kalıp içerisine enjekte edilerek kalıp kapatıldı. Basınç uygulamak için üç bölgesinden mengene ile sıkıldı. Ürün şeklini alabilmesi için 10 dakika kürlenmesi için beklenildi. Kalıp içerisindeki ürün soğutulup ve şeklini almasından sonra ürün bir gün dış ortamda bekletildi. Şekil 4.39'da kenevir elyaf takviyeli poliüretan kompozitin oluşturulması ve elde edilen ürünün resmi bulunmaktadır.

Reaksiyon sonrasında oluşan kompozitten numuneler alarak numuneler FT-IR, TGA analizleri ve mekanik testler yapılmıştır.

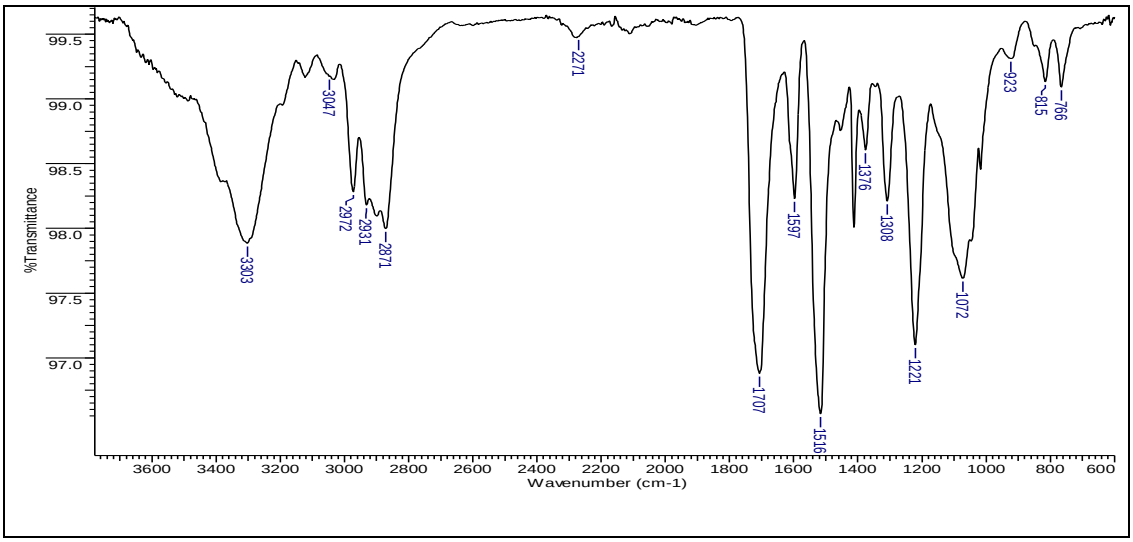


Şekil 4.39: Kenevir elyaf takviyeli poliüretan kompozitin oluşturulması.
a) elyafın kalıp içerisinde dağılımı, b)ürün



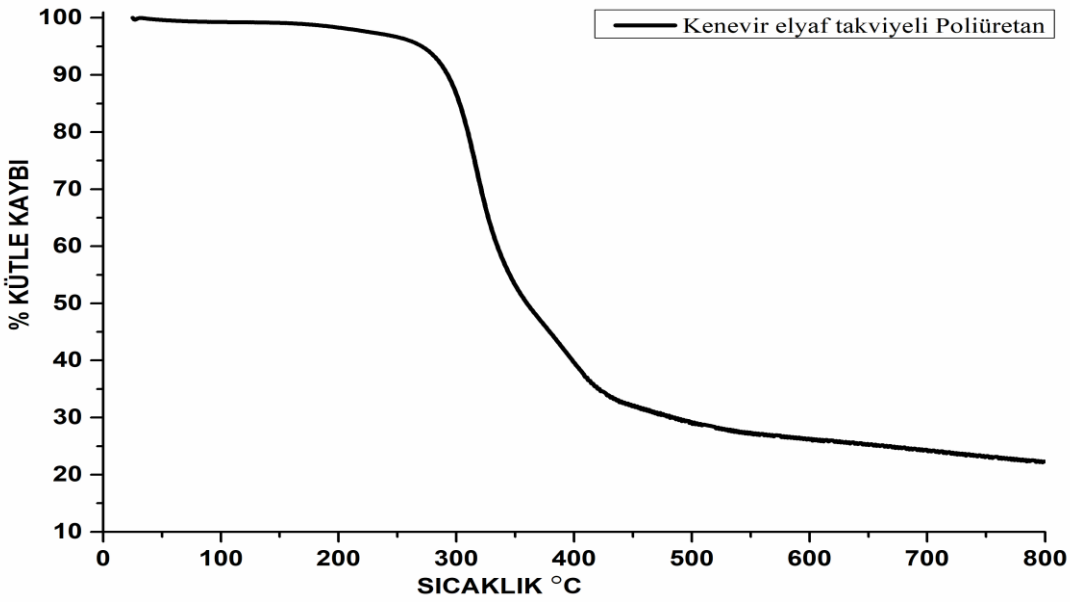
Şekil 4.40: Kenevir elyaf takviyeli poliüretan kompozitin SEM görüntüleri.
a) 1mm, b) 500µm, c) 200µm, d) 100µm.

Şekil 4.36'de keten kıtık elyaf takviyeli poliüretan kompozitin SEM görüntüleri görülmektedir. Matris ve takviye fazın uyumunun görülmesi için dört farklı uzaklıktan görüntüler alınmıştır.



Şekil 4.41: Kenevir elyaf takviyeli poliüretan kompozitin FT-IR spektrumu.

Şekil 4.41'de görülen kenevir elyaf takviyeli poliüretan kompozite ait FT-IR spektrumunda 3303 cm^{-1}'de görülen pik N-H gerilmesidir. 2872-2871 cm^{-1}'de görülen pikler alifatik C-H gerilmesi, 2277 cm^{-1}'de O=C=N gerilmesine ait pik görülmektedir. 1706 cm^{-1} dalga boyunda görülen pik ise keton varlığını gösteren C=O piktir.



Şekil 4.42: Kenevir elyaf takviyeli poliüretan kompozitin termogramı.

Kenevir elyaf takviyeli poliüretan kompozite ait termogram Şekil 4.42'de görülmektedir. 100 °C'ye kadar kaybedilen kütle yaklaşık %0.8'dir ve kompozit içerisindeki suyun buharlaşmasına aittir. Kütle kaybının başladığı sıcaklık 283 °C'dir

ve 440 °C'ye kadar devam etmektedir. 800 °C'ye kadar ısıtılan elyafın kalan kül miktarı %22.42'dir.

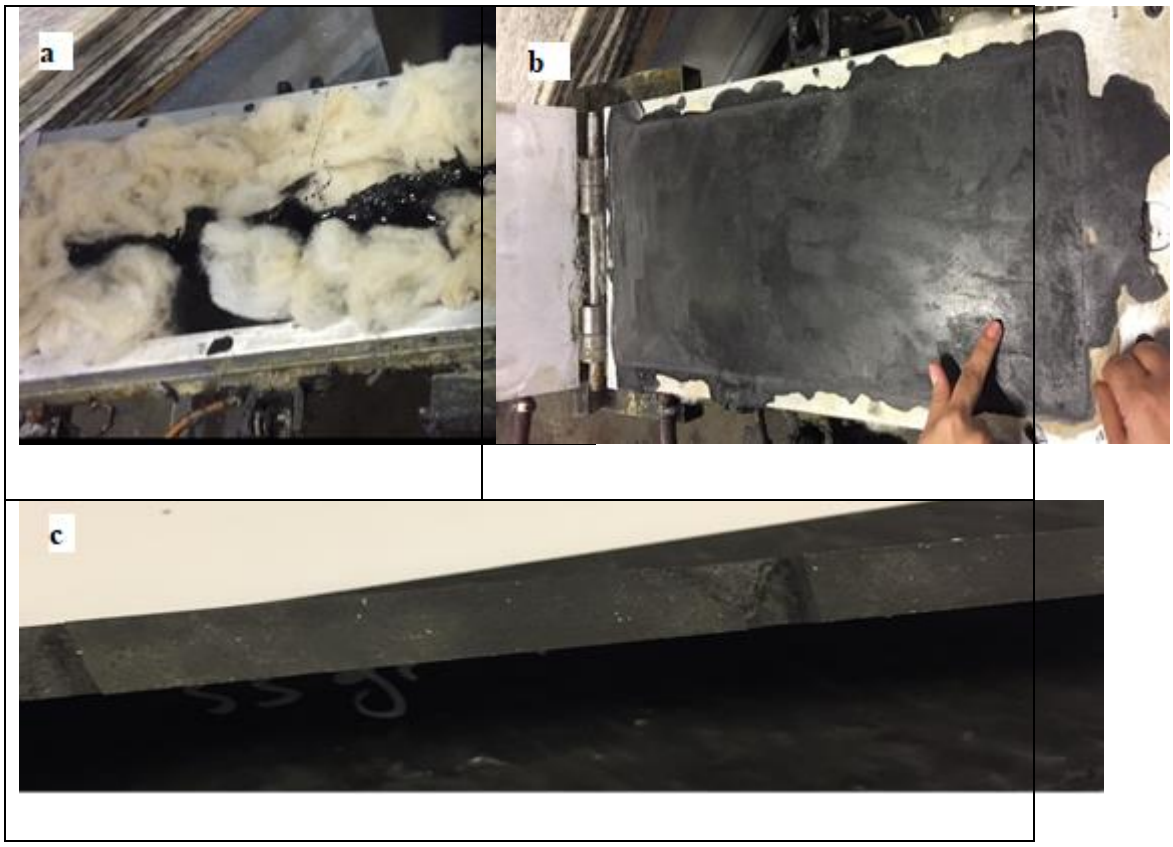
Tablo 4.5: Kenevir elyaf takviyeli poliüretan kompozitin mekanik testleri.

Kenevir elyaf takviyeli poliüretan kompozit		
Yoğunluk (kg/m^3)		331,33
Yanma Testi		Uygun
Çekme Testi	Kopma (N/mm^2)	4,86
	Uzama %	7,86
Sıcaklık Dayanım Testi	80 °C	Uygun
	90 °C	Uygun
	110 °C	Uygun

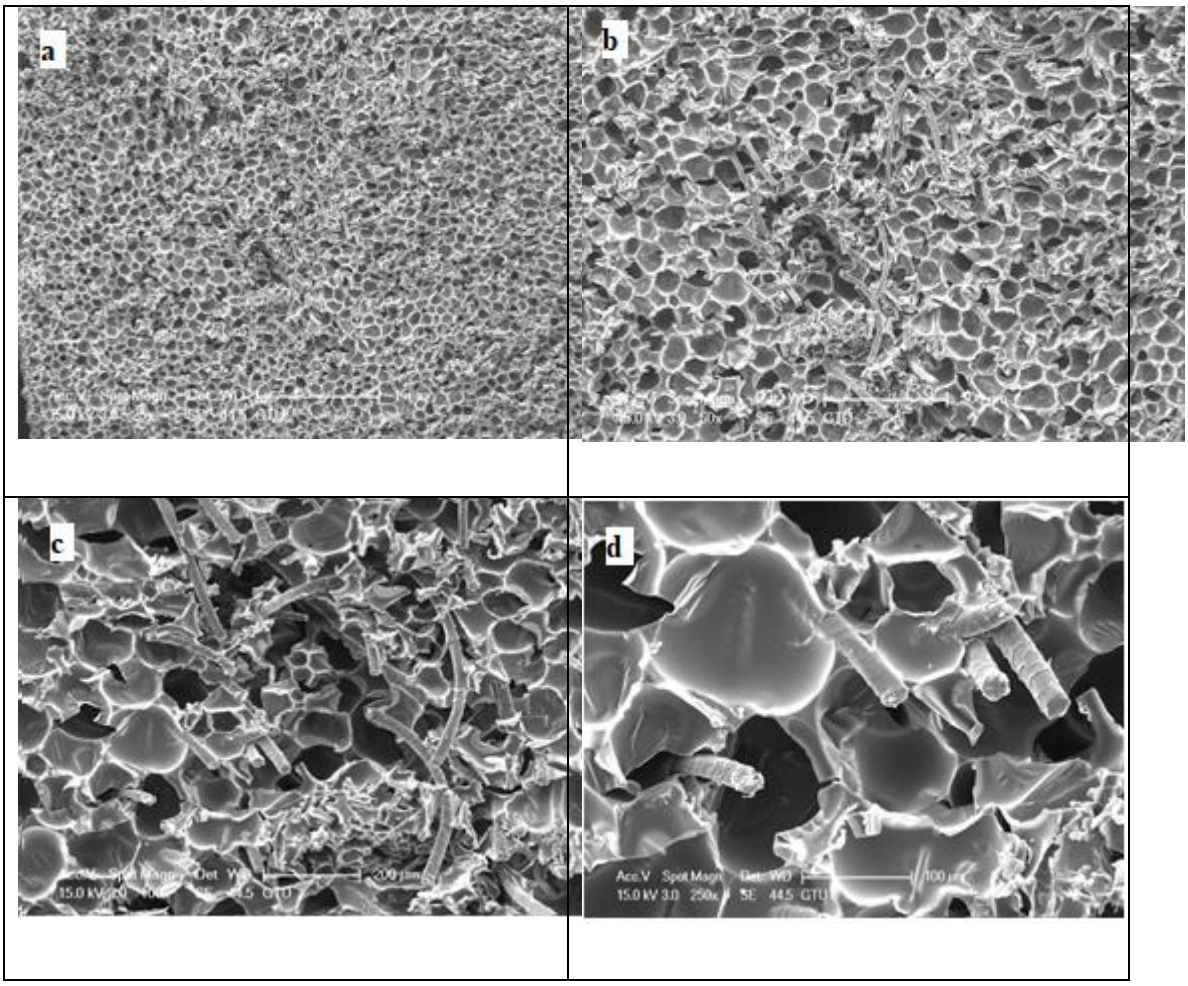
4.3.6. Yün Elyaf Takviyeli Poliüretan Kompozit Oluşturulması ve Analizleri

Kompozitin Hazırlanması: Yün elyafları 33 g alınarak kalıba homojen bir şekilde dağılımı sağlanmaya çalışıldı. S-RIM yöntemiyle otomattan 100/110 oranında 500g poliol/izosiyanat sistem karışımı kalıp içerisine enjekte edilerek kalıp kapatıldı. Basınç uygulamak için üç bölgesinden mengene ile sıkıldı. Ürün şeklini alabilmesi için 10 dakika kürlenmesi için beklenildi. Kalıp içerisindeki ürün soğutulup ve şeklini almasından sonra ürün bir gün dış ortamda bekletildi. Şekil 4.43'da yün elyaf takviyeli poliüretan kompozitin oluşturulması ve elde edilen ürünün resmi bulunmaktadır.

Reaksiyon sonrasında oluşan kompozitten numuneler alarak numuneler FT-IR, TGA analizleri ve mekanik testler yapılmıştır.

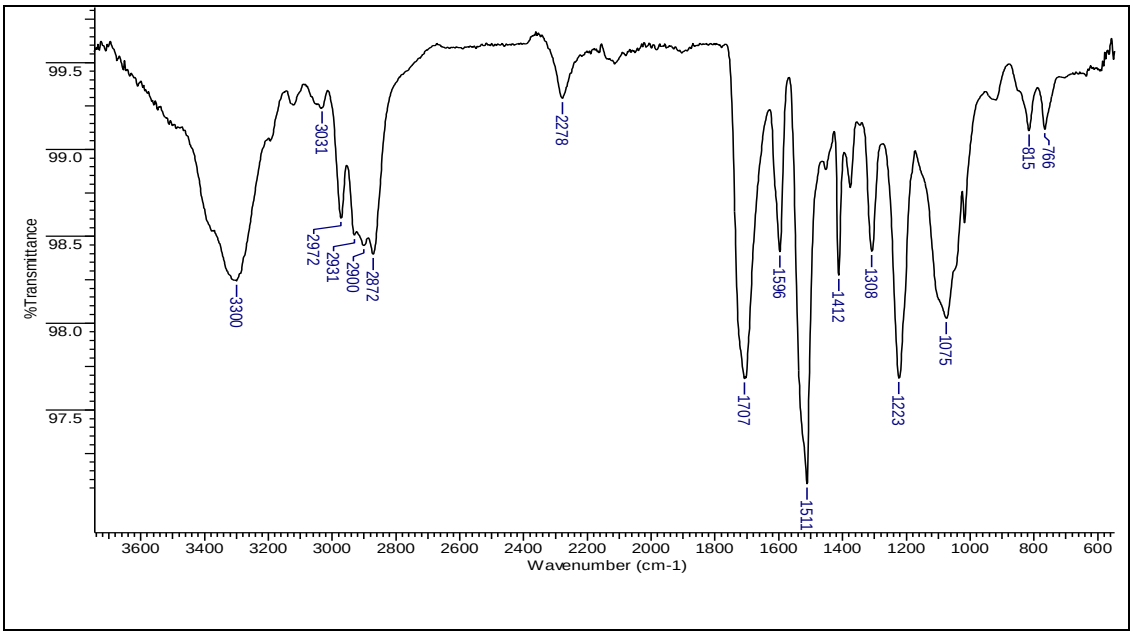


Şekil 4.43: Yün elyaf takviyeli poliüretan kompozitin oluşturulması.
a) elyafın kalıp içerisinde dağılımı, b)ürün, c)kompozitin enine kesiti



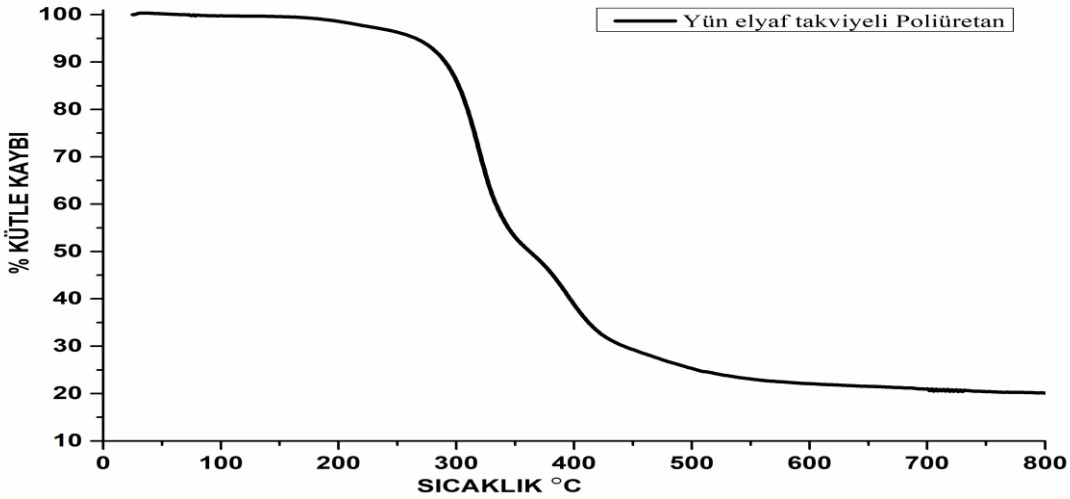
Şekil 4.44: Yün elyaf takviyeli poliüretan kompozitin SEM görüntüsü.
a) 1mm, b) 500µm, c) 200µm, d) 100µm.

Şekil 4.44'de yün elyaf takviyeli poliüretan kompozitin SEM görüntüleri görülmektedir. Matris ve takviye fazın uyumunun görülmesi için dört farklı uzaklıktan görüntüler alınmıştır.



Şekil 4.45: Yün elyaf takviyeli poliüretan kompozitin FT-IR spektrumu.

Şekil 4.45'de görülen yün elyaf takviyeli poliüretan kompozite ait FT-IR spektrumunda 3300 cm^{-1}'de görülen pik N-H gerilmesidir. 3031 cm^{-1} 'deki pik ise aromatik C-H gerilmeleri, 2972-2872 cm^{-1}'de görülen pikler alifatik C-H gerilmesi, 2278 cm^{-1}'de O=C=N gerilmesine ait pik görülmektedir. 1707 cm^{-1} dalga boyunda görülen pik ise keton varlığını gösteren C=O pikidir. 1075 cm^{-1}'de pik ise C-O-C gerilmesini göstermektedir.



Şekil 4.46: Yün elyaf takviyeli poliüretan kompozitin termogramı.

Yün elyaf takviyeli poliüretan kompozite ait termogram Şekil 4.46'da görülmektedir. 100 °C'ye kadar kaybedilen kütle yaklaşık %0.6'dır ve kompozit

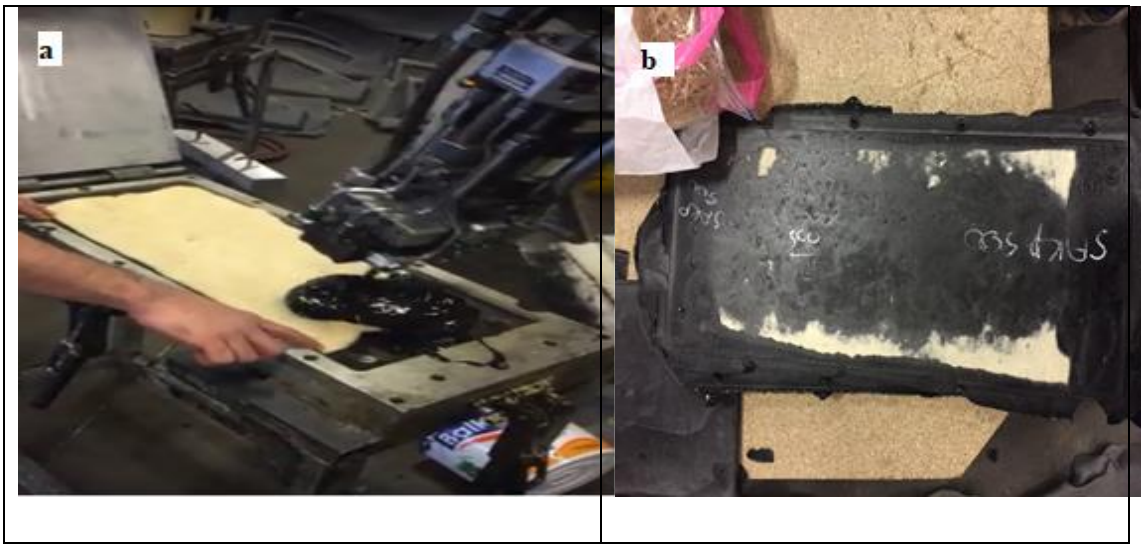
içerisindeki suyun buharlaşmasına aittir. Kütle kaybının başladığı sıcaklık 280 °C'dir ve 480 °C'ye kadar devam etmektedir. 900 °C'ye kadar ısıtılan elyafın kalan kül miktarı %19.40'dır.

Tablo 4.6: Yün elyaf takviyeli poliüretan kompozitin mekanik testleri.

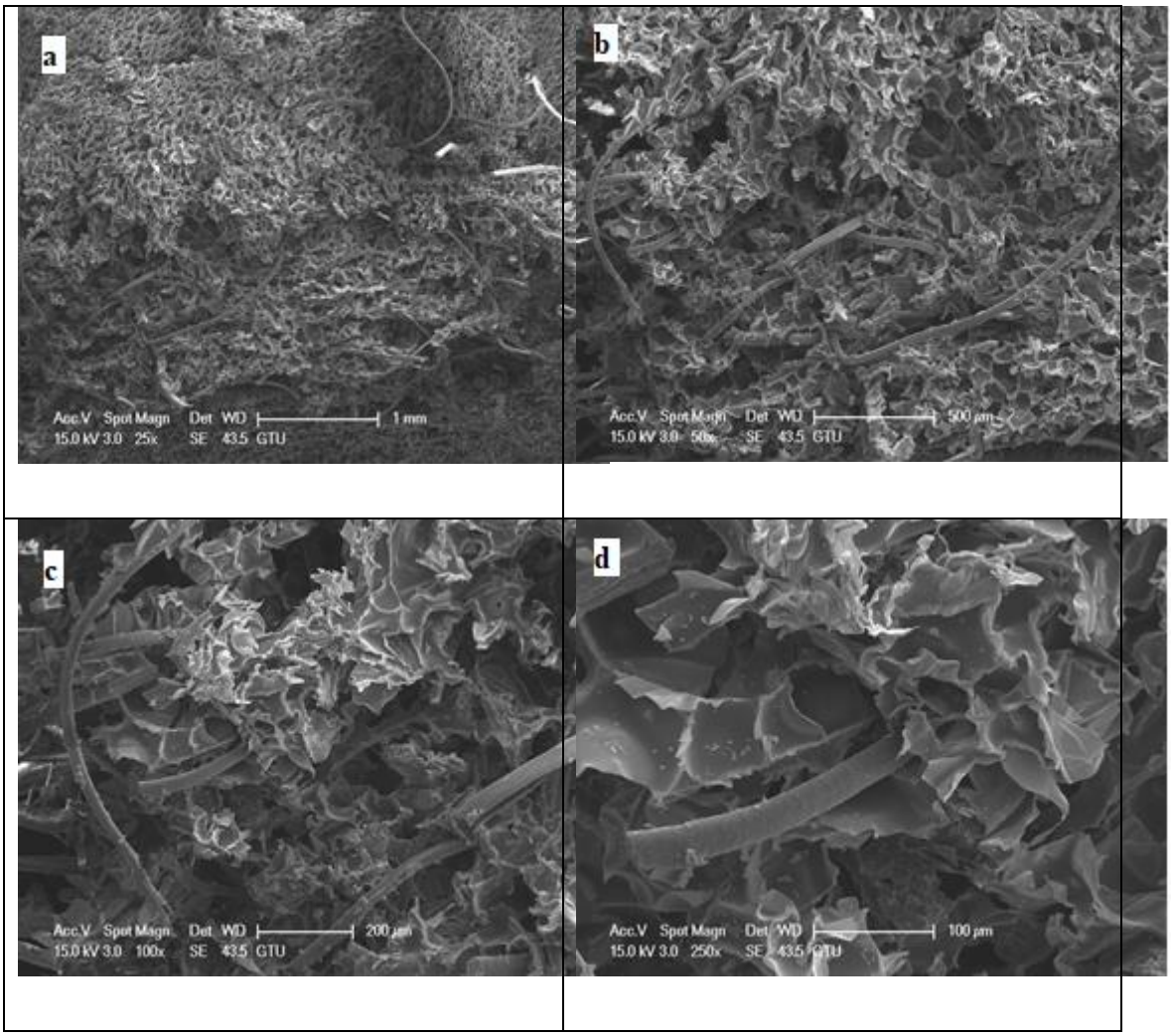
Yün elyaf takviyeli poliüretan kompozit		
Yoğunluk (kg/m^3)		314,37
Yanma Testi		Uygun
Çekme Testi	Kopma (N/mm^2)	4.43
	Uzama %	8.63
Sıcaklık Dayanım Testi	80 °C	Uygun
	90 °C	Uygun
	110 °C	Uygun

4.3.7. Yün Plak Takviyeli Poliüretan Kompozit Oluşturulması ve Analizleri

Kompozitin Hazırlanması: Yün keçe 45 g alınarak kalıbın içerisine serildi. S-RIM yöntemiyle otomattan 100/110 oranında 500 g poliol/izosiyanat sistem karışımı kalıp içerisine enjekte edilerek kalıp kapatıldı. Basınç uygulamak için üç bölgesinden mengeneler sıkıldı. Kürlenme süresi 10 dakikadır. Şekil 4.47'de yün plak elyaf takviyeli poliüretan kompozit görülmektedir.

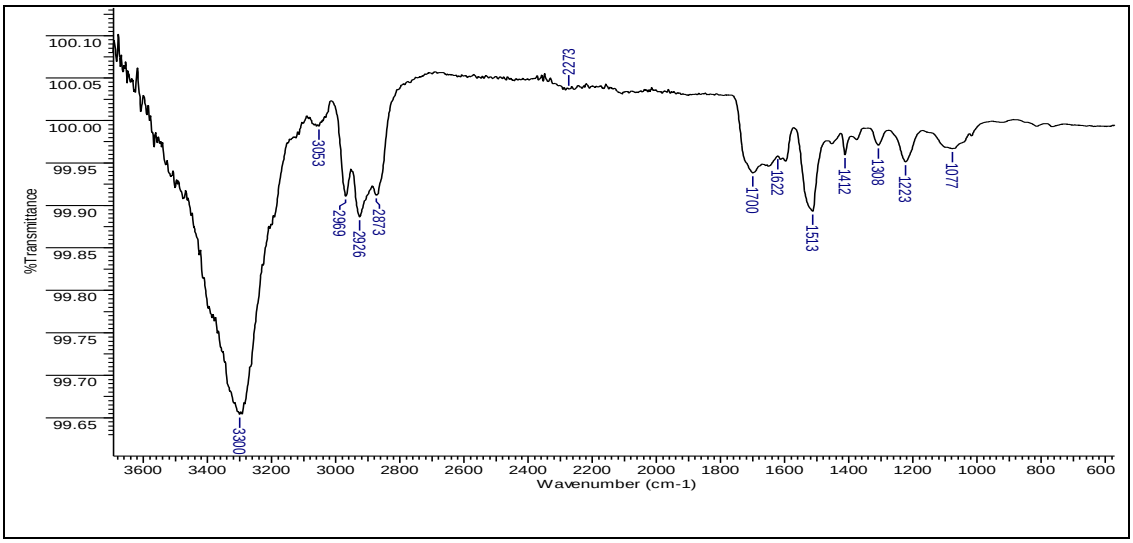


Şekil 4.47: Yün plak elyaf takviyeli poliüretan kompozitin oluşturulması.
a) elyafın kalıp içerisinde dağılımı, b)ürün.



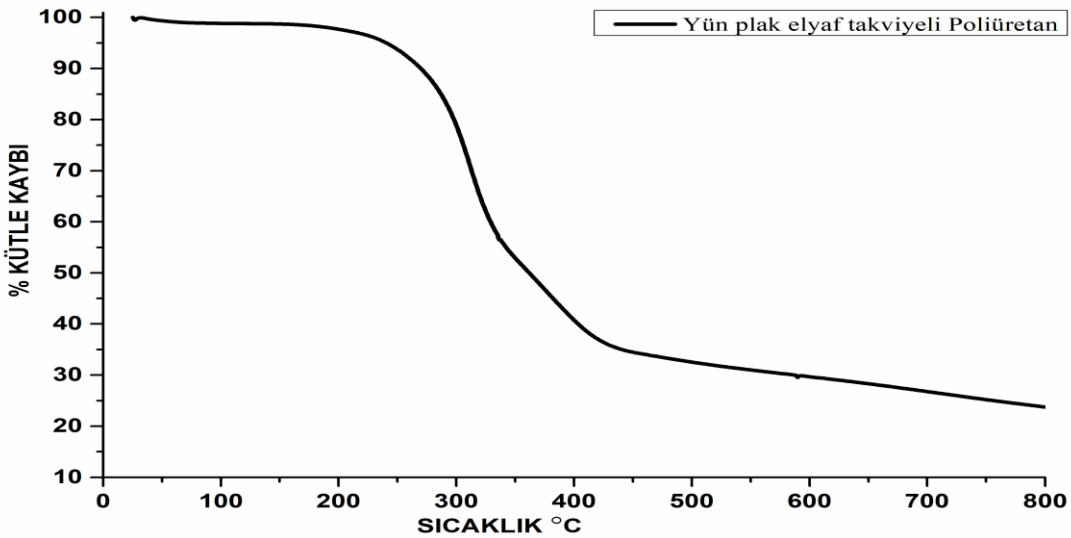
Şekil 4.48: Yün plak elyaf takviyeli poliüretan kompozitin SEM görüntüsü.
a) 1mm, b) 500µm, c) 200µm, d) 100µm.

Şekil 4.48'de yün plak elyaf takviyeli poliüretan kompozitin SEM görüntüleri görülmektedir. Matris ve takviye fazın uyumunun görülmesi için dört farklı uzaklıktan görüntüler alınmıştır.



Şekil 4.49: Yün plak elyaf takviyeli poliüretan kompozite ait FT-IR spektrumu

Şekil 4.49'da görülen yün plaka elyaf takviyeli poliüretan kompozite ait FT-IR spektrumunda 3300 cm^{-1}'de görülen pik N-H gerilmesidir. 3053 cm^{-1} 'deki pik ise aromatik C-H gerilmeleri, 2969-2873 cm^{-1}'de görülen pikler alifatik C-H gerilmesi, 2273 cm^{-1}'de O=C=N gerilmesine ait pik görülmektedir. 1700 cm^{-1} dalga boyunda görülen pik ise keton varlığını gösteren C=O pikidir. 1072 cm^{-1}'de karşılaşılan pik ise C-O-C gerilmesidir.



Şekil 4.50: Yün plak elyaf takviyeli poliüretan kompozitin termogramı.

Yün plak elyaf takviyeli poliüretan kompozite ait termogram Şekil 4.50'da görülmektedir. 100 °C'ye kadar kaybedilen kütle yaklaşık %0.1'dir ve kompozit içerisindeki suyun buharlaşmasına aittir. Kütle kaybının başladığı sıcaklık 270 °C'dir ve 440 °C'ye kadar devam etmektedir. 900 °C'ye kadar ısıtılan elyafın kalan kül miktarı %23.96'dır.

Tablo 4.7: Yün plak elyaf takviyeli poliüretan kompozitin mekanik testleri.

Yün plak elyaf takviyeli poliüretan kompozit		
Yoğunluk (kg/m^3)		294,42
Yanma Testi		Uygun
Çekme Testi	Kopma (N/mm^2)	3.33
	Uzama %	14.725
Sıcaklık Dayanım Testi	80 °C	Uygun
	90 °C	Uygun
	110 °C	Uygun

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında keten, kenevir ve yün doğal elyaflarının takviye edici olarak kullanıldığı termoset poliüretan kompozitler oluştularak, cam elyaf takviyeli muadilleri ile karşılaştırılmıştır. Doğal elyaf olarak iki farklı tür keten, iki farklı tür yün ve bir farklı tür kenevir elyafı olmak üzere toplamda beş doğal elyaf türü kullanılmıştır. Tez kapsamında kullanılan keten kıtık elyafı keten elyafı üretiminde uzun elyaf olarak elde edilemediği için tekstil endüstrisinde kullanılamayacak kalite olan ve bu nedenle üretim atığı kabul edilen elyaftır.

Doğal keten, kenevir ve yün elyaflarına işlem uygulamadan önce FT-IR ve TGA analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda doğal elyafların nem içeriğinin fazla olduğu gözlemlenmiş ve bünyelerindeki nemi azaltmak için 100 °C'de etüvde kurutma işlemine tabi tutulmuşlardır.

Doğal elyaf takviyeli kompozit üretimi şu şekilde olmuştur: 600mm x 250mm x 10mm ebatlarında olan kalıbın içerisine kullanılan doğal elyaf el ile dağıtıldıktan sonra 100/110 oranında poliol/izosiyanat karışımı dökülerek kalıp kapatılmış ve 10 dakika boyunca kürlenmesi için beklenmiştir. Keten kıtık elyafı takviyeli poliüretan kompoziti oluşturulurken doğal elyafın kompozit içerisine homojen olarak karıştırmak için aynı oranında poliol/izosiyanat karışımı önce karıştırılıp sonra kalıba dökülmüştür. Bu sistemde de kürlenme süresi 10 dakikadır.

Elde edilen doğal elyaf takviyeli kompozitlerin yapıları FT-IR ve TGA analizleri ve çekme-germe, sıcaklık dayanım ve yoğunluk testleri yardımı ile aydınlatılmıştır.

FT-IR spektrumları incelendiğinde doğal elyafların içeriğinde ağırlıklı olarak bulunan selüloz, hemi-selüloz ve lignin gibi kimyasal yapıların varlığından kaynaklanan bantlar gözlenmiştir.

TGA analizlerinde elyaf ve kompozitlerin 100 °C'ye kadar olan madde kaybı tespit edilerek içerisindeki nem miktarı ağırlıkça % olarak tespit edilmiştir. Doğal elyaflar ve kompozit malzemeleri, 900 °C'ye kadar sıcaklığa maruz bırakılarak termal bozunmaları incelenmiş ve kalan kül miktarı ağırlıkça % olarak tespit edilmiştir.

Oluşturulan tüm kompozitlerin matris-takviye edici faz arasındaki uyum SEM görüntüleri ile incelenmiştir.

Bu tez çalışması sonucunda elde edilen bulgulara göre doğal elyaf takviyeli poliretan kompozitlerin oluşturulmasında dikkat edilmesi ve geliştirilmesi gereken en önemli iki husus şunlardır:

1) Özellikle, doğal elyafların içerisinde bulunan selüloz ve diğer kimyasalların su tutma özellikleri nedeni ile nem miktarları fazladır. Elyafların bünyesinde bulunan su kompozit oluşumu esnasında buharlaşarak kompozit içinde hava kabarcıklarının oluşmasına neden olmaktadır. Kurutma işleminin kontrollü yapılması ile nemin tamamının uzaklaştırılması ve hava kabarcıklarının oluşumu engellenebilmektedir.

2) Oluşturulmuş olan kompozitlerin enine kesitlerin alınması sonucunda takviye fazının matris içerisinde homojen dağılmadığı tespit edilmiştir. Bu durum elde edilen kompozitlerin mekanik testlerinin yöne bağlı olarak değişim göstermesine neden olmaktadır. İleri dönemde yapılacak çalışmalarda elyafların eşit aralıklı ve iki yönlü olarak kompozit içine dağılımlarının sağlanması önerilmektedir.

Sonuç olarak bu tez çalışması sonucunda doğal elyaf takviyeli poliüretan kompozit malzemelerin cam elyaf takviyeli muadillerinin yerine otomotiv sanayiinde kullanılabilir nitelikte oldukları tespit edilmiştir. Bununla birlikte geliştirilmesi gereken hususlar da bulunmaktadır. Doğal elyafların otomotiv sanayisinde kullanımını geliştirmek amacı çalışmalarımız devam etmektedir.

KAYNAKLAR

Ahmed S., Ahsan A., Hasan M., (2017), Physico-mechanical properties of coir and jute fibre reinforced hybrid polyethylene composites. International Journal of Automotive and Mechanical Engineering., 14,3927-37.

Andrady A. L., (2003), “Common Plastic materials. In: Andrady, A.L. (Ed.), Plastics and the environment.” John Wiley & Sons, Inc., Hoboken. 77-122.

Başer İ., (1998), “Elyaf Bilgisi”, İkinci Baskı, Marmara Üniversitesi Yayınları.

Bulut Y., (2011), "Selüloz esaslı doğal elyafların kompozit üretiminde takviye edici malzemei olarak kullanımı" The Journal of Textiles an Engineer 82,26-35.

Callister W. D. Jr., Rethwisch D. G., (2013), " Materials Science and Engineering An Introdiction”, 9th Edition, CRC Press.

Haghighatnia, T., A. Abbasian, J. Morshedian (2017). "Hemp fiber reinforced thermoplastic polyurethane composite: An investigation in mechanical properties." Industrial Crops and Products 108, 853-863.

Hancox N. L. - Mayer R. M.,(1994) Design Data for Reinforced Plastics, Chapman & Hall, London.

Ionescu M., (2005), "Chemistry and technology of polyols for polyurethanes", Rapra Technology Limited, Shrewsbury.

Jariwala H., P. Jain (2019). "A review on mechanical behavior of natural fiber reinforced polymer composites and its applications." Journal of Reinforced Plastics and Composites 38(10), 441-453.

Joshi, S. V., Drzal L. T., Mohanty A. K., Arora S., (2004). "Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites?" Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 35(3), 371-376.

Karaduman Y., (2009), “Doğal Lif Destekli Polimer Kompozit Malzemelerin Otomativ Endüstrisinde Kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi.

Li, X., Tabil L. G., Panigrahi S., (2007). "Chemical Treatments of Natural Fiber for Use in Natural Fiber-Reinforced Composites: A Review." Journal of Polymers and the Environment 15(1), 25-33.

Mallick P. K, (2007), “Fiber-Reinforced Composites Materials, Manifucturing and Design” , Third Edition, CRC Press.

M.R, S., S. Siengchin, J. Parameswaranpillai, M. Jawaid, C. I. Pruncu, A. Khan (2019). "A comprehensive review of techniques for natural fibers as reinforcement in composites: Preparation, processing and characterization." Carbohydrate Polymers 207: 108-121.

Mazumdar S. K, (2002) "Composites Manufacturing Materials, Product and Process Enginering, CRC Press .

Mohana Krishnudu, D., D. Sreeramulu and P. V. Reddy (2019). "Alkali Treatment Effect: Mechanical, Thermal, Morphological, and Spectroscopy Studies on Abutilon Indicum Fiber-Reinforced Composites." Journal of Natural Fibers: 1-10.

Mokhothu, T. H., John M. J. (2017). "Bio-based coatings for reducing water sorption in natural fibre reinforced composites." Scientific Reports **7**(1), 13335.

Pişkin E., (2003), Polimerler II Mühendislik Polimerleri, İkinci Baskı, PAGEV Yayınları.

Purnomo P., Setyarini H., Cahyandari D., (2019). "Potential Natural Fiber-Reinforced Composite for Biomedical Application." IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 494, 012018.

Saçak M,. (1998) Polimer Kimyası, A.Ü.F.F. Döner Sermaye İşletmesi Yayınları.

Saçak M (2015), Polimer Kimyası, Yedinci Baskı, Gazi Kitapevi.

Saçak M (2014), Polimer Teknolojisi, Üçüncü Baskı, Gazi Kitapevi.

Şahin, Y., (2000), ”Kompozit Malzemelere Giriş”, Gazi Kitapevi, Ankara.

Stoof, D., Pickering K., Zhang Y., (2017). "Fused Deposition Modelling of Natural Fibre/Polylactic Acid Composites." Journal of Composites Science 1(1), 52 .

Ulcay Y., Akyol M., Gemci R., (2002), "Polimer Esaslı Elyaf Takviyeli Malzemelerin Arabirin Mukavemeti Üzerine Farklı Kür Metotlarının Etkisinin İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Cilt: 7, 1,93-116.

Web1(2018): https://www.appropedia.org/Composites_in_the_Aircraft_Industry, (Erişim tarihi: 12.06.2019).

Wu, Y., C. Xia, L. Cai, S. Q. Shi and J. Cheng (2018). "Water-resistant hemp fiber-reinforced composites: In-situ surface protection by polyethylene film." Industrial Crops and Products 112, 210-216.

Yüksel F., (2000) " Galyumun uygun ligandlarla komplekslerinin incelenmesi" Yüksek Lisans Tezi Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü.

ÖZGEÇMİŞ

1992 yılında İstanbul Üsküdar'da doğmuş olan Semih AKBAY ilköğretim ve lise eğitimini Gebze'de tamamlamıştır. 2015 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuş, 2017 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başlamıştır. "Doğal Elyaf Takviyeli Poliüretan Kompozitler" başlıklı tez çalışmasını PÜRPLAST Poliüretan Plastik Kimya SAN. TİC. A.Ş. firmasının desteği ve TÜBİTAK tarafından 2210-D Sanayiye Yönelik Yurtiçi Yüksek Lisans burs desteği ile gerçekleştirmiştir.