

**HİDROFOBİK DOLGU İÇEREN POLİMERİK  
KOMPOZİTLERİN UZUN DÖNEM SU EMME  
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nurten EKİN

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. M. Galip İÇDUYGU

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Aralık, 2014

Bu tez çalışması 113M116 numaralı proje ile TÜBİTAK ve 13.FEN. BİL.42 numaralı  
proje ile BAPK tarafından desteklenmiştir.

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HİDROFOBİK DOLGU İÇEREN**  
**POLİMERİK KOMPOZİTLERİN UZUN**  
**DÖNEM SU EMME DAVRANIŞLARININ**  
**İNCELENMESİ**

**Nurten EKİN**

**DANIŞMAN**

**Yrd. Doç. Dr. M. Galip İÇDUYGU**

**KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Aralık, 2014**

## TEZ ONAY SAYFASI

Nurten EKİN tarafından hazırlanan “Hidrofobik dolgu içeren polimerik kompozitlerin uzun dönem su emme davranışlarının incelenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 26/12/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği **Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Yrd. Doç Dr. Mehmet Galip İÇDUYGU

**Başkan** : Doç. Dr. Meltem DİLEK İmza  
Afyon Kocatepe Ü. Mühendislik Fakültesi,

**Üye** : Doç. Dr. Atilla EVCİN İmza  
Afyon Kocatepe Ü. Mühendislik Fakültesi,

**Üye** : Yrd. Doç Dr. Mehmet Galip İÇDUYGU İmza  
Afyon Kocatepe Ü. Mühendislik Fakültesi,

Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun  
...../...../..... tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....  
Prof. Dr. İbrahim EROL  
Enstitü Müdürü

**BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI**  
**Afyon Kocatepe Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**26/12/2014**

**Nurten EKİN**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### HİDROFOBİK DOLGU İÇEREN POLİMERİK KOMPOZİTLERİN UZUN DÖNEM SU EMME DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Nurten EKİN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Yrd. Doç. Dr. M. Galip İÇDUYGU

Bu çalışmada, hidrofobik nano-silika katkısının epoksi ve poliester temelli Fiber Destekli Polimerik Kompozitler (FDPK)'in su emme davranışı üzerine etkisi 11 ay boyunca örneklerin fiziksel, kimyasal, mekanik ve termal özellikleri takip edilerek araştırılmıştır. Cam ve karbon kumaş takviyeli kompozit malzemelerin içindeki nano-silika oranı değiştirilerek örneklerin su emme profilindeki gelişmeler takip edilmiştir.

Bu çalışmayı daha önceki çalışmalardan ayıran en büyük fark, kompozit malzemelerin uzun vadeli su emme davranışı üzerine hidrofobik nano dolguların etkisinin kimyasal, fiziksel, mekanik ve termal açıdan değerlendiren bir çalışma olmasıdır. Bildiğimiz kadarıyla literatürde kompozit malzemelerde hidrobik nano katkıların uzun süreli su emme davranışı üzerine etkisini kimyasal, fiziksel, mekanik ve termal boyutları ile inceleyen çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmayla, tanecik boyutunun, dolgu miktarını, reçine ve fiber türünün kompozit malzemenin su emme davranışı üzerine etkisi 11 ay boyunca örnekler saf su içine daldırılarak takip edilmiştir. Bu proje kapsamında elde edilen bulgular kompozit malzemelerde su hasarının önlenmesine ve diğer birçok uygulama için üstün özelliklerde yeni malzemelerin geliştirilmesine imkân sağlayacaktır.

Bu çalışmada iki farklı tanecik boyutuna sahip nano silika (Aerosil R812 ve Aerosil R972) farklı oranlarda poliester ve epoksi reçine ile birleştirilerek 15x15 cm boyutunda karolar üretilmiştir. Üretim; 20x20 cm boyutundaki paslanmaz çelik kalıp içine bir parça yapışmayan film, onun üzerin 15x15 cm kumaş tabakası ve bu katmaların üzerine

dolgu/reçine karışımı konularak gerçekleştirilmiştir. Karışımın üzerine yine bir tabaka fiber kumaş ve yapışmayan film konulduktan sonra 20x20 cm ebatlarındaki ikinci bir çelik plaka kalıp boşluğunun üzerine yerleştirilmiştir. Cam ve karbon fiber destekli örnekler 80 °C'de 1 saat kalıplanarak ve her bir örnekten iki adet üretilmiştir. Karoların 1x7 cm boyutlarında kesilmesiyle her bir örnekten toplam 48 adet test numunesi elde edilmiştir. Dolgu/reçine oranını ağırlıkça %3'ten başlayarak % 12'ye kadar artırılmış ve dolgu içeren örneklerin 3 nokta eğme dayanımı değerli dolgu içermeyen örneklerin 3 nokta eğme dayanımı değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Poliester matrisli kompozit malzemelere dolgu katkısının hem cam hem de karbon kumaş varlığında 3 nokta eğme dayanımını azalttığı, epoksi matrisli kompozitlerde ise bu etkinin kumaşın türüne göre değiştiği gözlenmiştir. Epoksi matrisli cam kumaş destekli kompozitlerde yapı içine dolgunun katılması 3 nokta eğme dayanımı değerini azaltırken, karbon kumaş destekli kompozitlerde ağırlıkça %3 ve %5 oranında nano silika katkısı mekanik özellikler üzerinde olumsuz bir etki yaratmamıştır. Bu yüzden analiz sayısı ve maliyetini kısıtlayabilmek için FTIR, SEM, DSC ve TGA analizleri yalnız %3 ve %5 oranında dolgu içeren epoksi matrisli karbon kumaş takviyeli kompozit örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Analiz ücreti gerektirmeyen su emme ve temas açısı ölçümleri için %3 ve %5 oranında dolgu içeren bütün örnekler plastik bir kap içinde su içinde daldırılmış ve her ayın sonunda test edilecek numunelerin ağırlık değişimleri ve temas açıları ölçülmüştür. Benzeri deneyler, su içinde bekletilmemiş ve dolgu malzemesi içermeyen karbon ve cam fiber destekli 4 farklı malzeme için de tekrar edilmiştir ve böylece nano silika katkısının su emme davranışı üzerine etkisi anlaşılmaya çalışılmıştır.

Sonuçlar su emme sonucu matris yapısının bozulduğunu ve hem dolgu maddesinin hem de kumaş liflerinin matristen koparak kompozitten ayrıldığını göstermektedir. Nano dolgu katkısının karbon kumaş takviyeli epoksi matris kompozitler dışında yapı içine konulması mekanik özellikleri olumsuz etkilemektedir. Dolgu oranının %5'in üzerinde çıkmasıyla benzeri etki karbon kumaş takviyeli epoksi kompozitlerde de görülmekte ve mekanik dayanım değerlerinde ciddi düşüşler meydana gelmektedir. Yüzeysel ölçüde dolgu

ve lif ayrılmalarının olması su emme ve temas açısı sonuçlarının değerlendirilmesini imkânsızlaştırmaktadır. Yalnız 11 ay sonundaki mekanik dayanım değerlerine bakıldığında %3'lük Aerosil R972 katkısının su hasarının engellenmesinde karbon kumaş takviyeli epoksi kompozitlerde en iyi sonucu verdiğini söylemek mümkündür.

**2014, xvi + 78 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Fiber destekli kompozit malzemeler, hidrofobik nanodolgular, kompozit malzemelerde su alımı

## **ABSTRACT**

M.Sc Thesis

### INVESTIGATION OF LONG-TERM WATER ABSORPTION BEHAVIOR OF POLYMER COMPOSITES CONTAINING HYDROPHOBIC FILLER

Nurten EKİN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Chemical Engineering

**Supervisor:** Asst. Prof. Dr. M.Galip İÇDUYGU

In this research, affect of hydrophobic nano silica fillers on water absorption properties of epoxy and poliester based FRPCs were investigated by following chemical, physical, mechanical and thermal properties of the samples during 11 months. The changes in water uptake profile of samples are followed by changing nano silica ratio in glass and carbon fiber reinforced composite materials.

The main difference which distinguishes the this study form the previous ones is that this study evaluates the affect of hydrophobic nano fillers on long term water absorption behavior of composite materials by considering chemical, physical, mechanical and termal aspects at the same time. As far as we know, there isn't much study in the literature focusing on the contribution of hydrophobic nano fillers on long term water absorption properties of composite material in the sense of chemical, physical, mechanical and thermal aspects. With this study, affect of particle size distribution, filler amount, types of resin and fiber on water absoption behavior of composite materials are studied by placing the samples into distilled water for 11 months. Data that was obtained in the course of this project would make it possible to lower the water damage in composite materials and to develop new materials with extraordinary properties.

In this study, two nano silicas (Aerosil R 812 and Aerosil R972) with different particle size distribution were combined with epoxy and poliester resins in different ratios and tiles in 15x15 cm dimensions are manufactured. Glass and carbon fiber reinforced composited are

prepared by using compression molding technique and 20 different tiles were molded. Production was carried out in a 20x20 cm stainless steel mold by placing one layer of release film, one layer of fiber fabric and filler/resin mixture in the mold cavity. After putting one layer of fiber fabric and release film onto filler/resin mixture, a second 20x20 cm steel plate was placed over the mold cavity. Both glass and carbon fibre supported samples were moulded at 80 °C for 1 hour and two tiles from each sample were prepared. By cutting each tile in 1x7 cm dimensions, total of 48 pieces from each set of sample were obtained. Filler / resin weight ratio is increased starting from 3% up to 12% and 3-point bending strength values of the samples containing filler were compared with the filler-free sample's 3-point bending strength values.

It was observed that, fillers reduce three point bending strength of poliester matrix composite materials in the presence of the carbon cloth and glass, while this effect vary with the type of fabric for epoxy matrix composites. In the glass fabric reinforced epoxy matrix composites, adding filler into the structure reduce three-point bending strength values, while 3% and 5% nanosilica addition does not have a negative effect on the mechanical properties of carbon fabric reinforced composites. Therefore, the number of analysis was limited with 3% and 5% filler containing carbon fabric reinforced epoxy matrix composite and FTIR, SEM, DSC and TGA analyzes were performed on these samples to reduce analysis cost.

Since water absorption and contact angle measurements do not require analysis fee, all samples containing 3% and 5% filler is immersed in water in a plastic container and at the end of each month mass changes and contact angles of the samples to be tested were measured. Similar experiments were repeated on 4 different filler-free carbon and glass fiber reinforced samples that were not immersed in water and affect of nano silica addition on the water absorption behavior of composite materials have tried to be understood.

As a result of water absorption, the matrix structure is deteriorated and both the filler and the fibers of fabric is removed from the composite by detaching the matrix. Nano fillers to be put into the structure of carbon fabric reinforced epoxy matrix composites outside of the contribution adversely affect the mechanical properties. With the advent of the filling rate of over 5% in the carbon fabric reinforced epoxy composite, similar effect is seen and

substantial reductions occur in mechanical strength values. The absence of filler and fiber separating surface is substantially the door on the evaluation of water absorption and the contact angle results. Only when we look at the mechanical strength values at the end of 11 months contribution of 3% Aerosil R972 carbon fabric reinforced epoxy composites in preventing water damage it is possible to say that for the best results.

**2014, xvi + 78 pages**

**Key Words:** Fiber reinforced composite materials, hydrophobic nanofillers, water uptake at composite materials

## TEŞEKKÜR

113M116 numaralı proje ile TÜBİTAK ve 13.FEN.BİL.42 numaralı proje ile BAPK tarafından desteklenen bu araştırma konusunun belirlenmesi, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazım aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. M. Galip İÇDUYGU'ya, araştırma ve yazım süresince maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen değerli eşim ve aileme, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma, ayrıca katkılarından dolayı DURATEK ve EVONİK firmalarına teşekkür ederim.

Nurten EKİN  
AFYONKARAHİSAR, 2014

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iv
TEŞEKKÜR .....	vii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Kompozit Malzeme.....	1
1.2 Kompozitlerin Sınıflandırılması .....	3
1.2.1 Metal Matrisli Kompozitler.....	3
1.2.2 Seramik Matrisli Kompozitler.....	4
1.2.3 Polimer Matrisli Kompozitler .....	5
1.2.3.1 Poliester Reçineler.....	6
1.2.3.2 Epoksi Reçineler .....	9
1.3 Kompozitlerde Kullanılan Takviye Malzemeleri .....	11
1.3.1 Fiber Takviyeli Kompozitler.....	13
1.3.2 Parçacık Takviyeli Kompozitler.....	18
1.3.3 Tabakalı Kompozitler.....	19
1.4 Polimerik Nano Kompozitler .....	19
2. LİTERATÜR ÖZETİ .....	23
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	30
3.1 Kullanılan Malzemeler.....	30
3.2 Yöntem.....	31
3.2.1 Su Emme Testleri .....	35
3.2.2 Temas Açısı Ölçümleri.....	35
3.2.3 Üç Nokta Eğme Dayanımı Testleri .....	35
3.2.4 FTIR Testleri .....	35
3.2.5 TG-DSC Ölçümleri .....	36

3.2.6 SEM Analizleri.....	36
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	37
4.1 Su Emme Testlerine Tabi Tutulmamış Örneklerin Üç Nokta Eğme Dayanımı Testleri .....	37
4.2 Kompozit Örneklerinin % Su Emme Davranışı.....	39
4.3 Kompozit Örneklerinin Temas Açısı Değerleri.....	45
4.4 Su İçinde Bekletilen Kompozit Örneklerinin Üç Nokta Eğme Dayanımı Değerleri .....	51
4.5 Kompozit Örneklerinin SEM Görüntüleri .....	54
4.6 Kompozit Örneklerinin TG-DSC Değerleri.....	57
4.7. Kompozit Örneklerinin FTIR Değerleri .....	67
5.SONUÇ.....	71
6.KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	78

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

SiC	Silikon Karbür
Al	Alüminyum
Mg	Magnezyum
Zn	Çinko
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	Silikon Nitrit
B <sub>4</sub> C	Boron Karbür
cBN	Kübik Bor Nitrür
TiC	Titanyum Karbür
TiB	Titanyum Bor
TiN	Titanyum Nitrit
AlN	Alüminyum Nitrür
SiO <sub>2</sub>	Silisyum Oksit
Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Antimon Oksit

### Kısaltmalar

---

FDPK	Fiber Destekli Polimerik Kompozit
MMC	Metal matrisli Kompozit
CMC	Seramik Matrisli Kompozit
PMC	Plastik Matrisli Kompozit
MEKP	Metil Etil Keton Peroksit
BPO	Benzoil Peroksit
DCPD	Disiklopentadien
SEM	Taramalı Elektron Mikroskopu
PS	Polistiren
PP	Polipropilen
PE	Polietilen
PVC	Polivinilklorür
PEEK	Polieter-eter keton
ABC	Akrilonitril-butadien-stiren
PAN	Poliakrilonitril
FTIR	Fourier Dönüşümlü Infrared Spektrofotometre
MPa	Mega Paskal
nm	Nanometre

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 1.1 Kompozit malzemenin genel tanımı .....	1
Şekil 1.2 Kompozit malzemelerde matris ve takviye fazı.....	2
Şekil 1.3 Polimerik kompozitlerde yapı bileşenleri .....	6
Şekil 1.4 Kompozit malzeme çeşitleri.....	12
Şekil 1.5 Polimer matrisli kompozit malzemelerin takviye türüne göre sınıflandırılması..	12
Şekil 1.6 Fiber şekilleri ve mümkün fiber dağılımları .....	15
Şekil 1.7 Özellikle polimerler için örülen değişik fiber örgü çeşitleri .....	17
Şekil 1.8 Nano kompozitler için kullanılan nano-dolgu çeşitleri.....	20
Şekil 1.9 Nanopartikül dağılım kalitesini anlatmak için yaygın olarak kabul edilen üç terimin örneklemeşi .....	21
Şekil 3.1 Örneklerin kalıplanmasında kullanılan sıcaklık kontrollü pres .....	31
Şekil 3.2 Kompozit örneklerinin hazırlanmasında kullanılan kalıp .....	32
Şekil 3.3 O-Ring ile çevrelenmiş olan kumaş ve reçine karışımının içine konulduğu bölüm .....	32
Şekil 3.4 Kumaş, dolgu/reçine sistemi kullanılarak hazırlanan örneğin pres işlemi öncesi fotoğrafı .....	33
Şekil 3.5 Presten çıkarılan örneğin resmi.....	33
Şekil 3.6 Su jetinde kesilerek hazırlanan test numuneleri.....	34
Şekil 4.1 Epoksi ve poliester temelli kompozitlerin üç nokta eğme dayanımı değerleri ...	37
Şekil 4.2 %5 üzerindeki dolgu oranlarında üç nokta eğme dayanımı değerleri.....	39

<b>Şekil 4.3</b> Dolgu içermeyen karbon ve cam elyafla takviye edilmiş epoksi ve poliester reçineler ile hazırlanmış numunelerin % su emme oranları .....	40
<b>Şekil 4.4</b> %3 ve %5 oranlarında Aerosil R812 ve Aerosil R972 türü nano-silika dolgu içeren cam elyafla takviye edilmiş epoksi reçine ile hazırlanmış numunelerin % su emme oranları.....	41
<b>Şekil 4.5</b> %3 ve %5 oranlarında Aerosil R812 ve Aerosil R972 türü nano-silika dolgu içeren cam elyafla takviye edilmiş poliester reçine ile hazırlanmış numunelerin % su emme oranları .....	42
<b>Şekil 4.6</b> %3 ve %5 oranlarında Aerosil R812 ve Aerosil R972 türü nano-silika dolgu içeren karbon elyafla takviye edilmiş epoksi reçine ile hazırlanmış numunelerin % su emme oranları .....	44
<b>Şekil 4.7</b> %3 ve %5 oranlarında Aerosil R812 ve Aerosil R972 türü nano-silika dolgu içeren karbon elyafla takviye edilmiş poliester reçine ile hazırlanmış numunelerin % su emme oranları .....	45
<b>Şekil 4.8</b> Dolgu içermeyen karbon ve cam elyafla takviye edilmiş epoksi ve poliester reçineler ile hazırlanmış numunelerin temas açıları .....	46
<b>Şekil 4.9</b> %3 ve %5 oranlarında Aerosil R812 ve Aerosil R972 türü nano-silika dolgu içeren cam elyafla takviye edilmiş epoksi reçine ile hazırlanmış numunelerin temas açıları.....	47
<b>Şekil 4.10</b> %3 ve %5 oranlarında Aerosil R812 ve Aerosil R972 türü nano-silika dolgu içeren cam elyafla takviye edilmiş poliester reçine ile hazırlanmış numunelerin temas açıları.....	48
<b>Şekil 4.11</b> %3 ve %5 oranlarında Aerosil R812 ve Aerosil R972 türü nano-silika dolgu içeren karbon elyafla takviye edilmiş epoksi reçine ile hazırlanmış numunelerin temas açıları.....	49

<b>Şekil 4.12</b> %3 ve %5 oranlarında Aerosil R812 ve Aerosil R972 türü nano-silika dolgu içeren karbon elyafla takviye edilmiş poliestere reçine ile hazırlanmış numunelerin temas açıları.....	50
<b>Şekil 4.13</b> Dolgu içermeyen epoksi matrisli karbon fiber takviyeli kompozit numunesinin eğme gerilimi .....	51
<b>Şekil 4.14</b> %3 812 dolgu içeren epoksi matrisli karbon fiber takviyeli kompozit numunesinin eğme gerilimi .....	51
<b>Şekil 4.15</b> %3 972 dolgu içeren epoksi matrisli karbon fiber takviyeli kompozit numunesinin eğme gerilimi .....	52
<b>Şekil 4.16</b> %5 812 dolgu içeren epoksi matrisli karbon fiber takviyeli kompozit numunesinin eğme gerilimi .....	52
<b>Şekil 4.17</b> %5 972 dolgu içeren epoksi matrisli karbon fiber takviyeli kompozit numunesinin eğme gerilimi .....	53
<b>Şekil 4.18</b> Su içinde bekletilmemiş %3 ve %5 oranlarında Aerosil R812 ve R972 içeren kompozit örneklerinin SEM görüntüleri.....	54
<b>Şekil 4.19</b> 11 ay saf su içinde kalmış dolgu içermeyen karbon fiber destekli epoksi matris kompozit örneklerinin a) su ile temas eden yüzey b) kırık yüzeyi c) kırık yüzeyindeki fiberlere ait SEM görüntüleri .....	55
<b>Şekil 4.20</b> 11 ay saf su içinde kalmış %5 Aerosil R812 içeren karbon fiber destekli epoksi matris kompozit örneklerinin a) su ile temas eden yüzey b) kırık yüzeyi c) kırık yüzeyindeki fiberlere ait SEM görüntüleri .....	55
<b>Şekil 4.21</b> 11 ay saf su içinde kalmış %5 Aerosil R812 içeren karbon fiber destekli epoksi matris kompozit örneklerinin a) su ile temas eden yüzey b) kırık yüzeyi c) kırık yüzeyindeki fiberlere ait SEM görüntüleri .....	55
<b>Şekil 4.22</b> 11 ay saf su içinde kalmış %3 Aerosil R972 içeren karbon fiber destekli epoksi matris kompozit örneklerinin a) su ile temas eden yüzey b) kırık yüzeyi c) kırık yüzeyindeki fiberlere ait SEM görüntüleri .....	56

<b>Şekil 4.23</b> 11 ay saf su içinde kalmış %5 Aerosil R972 içeren karbon fiber destekli epoksi matris kompozit örneklerinin a) su ile temas eden yüzey b) kırık yüzeyi c) kırık yüzeyindeki fiberlere ait SEM görüntüleri .....	56
<b>Şekil 4.24</b> Epoksi reçineye ait DSC-TG eğrisi.....	57
<b>Şekil 4.25</b> Karbon kumaş ait DSC-TG eğrisi.....	58
<b>Şekil 4.26</b> Aerosil R812'ye ait DSC-TG eğrisi.....	58
<b>Şekil 4.27</b> Aerosil R972'ye ait DSC-TG eğrisi.....	59
<b>Şekil 4.28</b> Su içinde bekletilmemiş dolgu içermeyen epoksi kompozitlere ait DSC-TG eğrisi .....	60
<b>Şekil 4.29</b> 9 ay su içinde bekletilmiş dolgu içermeyen epoksi kompozitlere ait DSC-TG eğrisi .....	60
<b>Şekil 4.30</b> Su içinde bekletilmemiş %3 812 içeren epoksi kompozitlere ait DSC-TG eğrisi .....	61
<b>Şekil 4.31</b> Su içinde 9 ay bekletilmiş %3 812 içeren epoksi kompozitlere ait DSC-TG eğrisi .....	62
<b>Şekil 4.32</b> Su içinde bekletilmemiş %5 812 içeren epoksi kompozitlere ait DSC-TG eğrisi .....	62
<b>Şekil 4.33</b> Su içinde 9 ay bekletilmiş %5 812 içeren epoksi kompozitlere ait DSC-TG eğrisi .....	63
<b>Şekil 4.34</b> Su içinde bekletilmemiş %3 972 içeren epoksi kompozitlere ait DSC-TG eğrisi .....	63
<b>Şekil 4.35</b> Su içinde 9 ay bekletilmiş %3 972 içeren epoksi kompozitlere ait DSC-TG eğrisi .....	64
<b>Şekil 4.36</b> Su içinde bekletilmemiş %5 972 içeren epoksi kompozitlere ait DSC-TG eğrisi .....	64

<b>Şekil 4.37</b> Su içinde 9 ay bekletilmiş %5 972 içeren epoksi kompozitlere ait DSC-TG eğrisi .....	65
<b>Şekil 4.38</b> Dolgu içermeyen epoksş matrisli karbon kumaş takviyeli kompozitin FTIR spektrumu .....	67
<b>Şekil 4.39</b> Dolgu içermeyen epoksi matrisli karbon kumaş takviyeli kompozit örneğinin 9 ay saf su içinde bekletildikten sonraki FTIR spektrumu .....	68
<b>Şekil 4.40</b> 3, %5, %7 ve %10 oranında Aerosil R812 içeren kompozit örneklerinin FTIR spektrumları .....	68
<b>Şekil 4.41</b> %3, %5, %7 ve %10 oranında Aerosil R972 içeren kompozit örneklerinin FTIR spektrumları .....	69
<b>Şekil 4.42</b> Su içinde bekletilmemiş kompozit örneklerinin FTIR spektrumları.....	70
<b>Şekil 4.43</b> Su içinde 11 ay bekletilmiş kompozit örneklerinin FTIR spektrumları.....	70

## ÇİZELGELER DİZİNİ

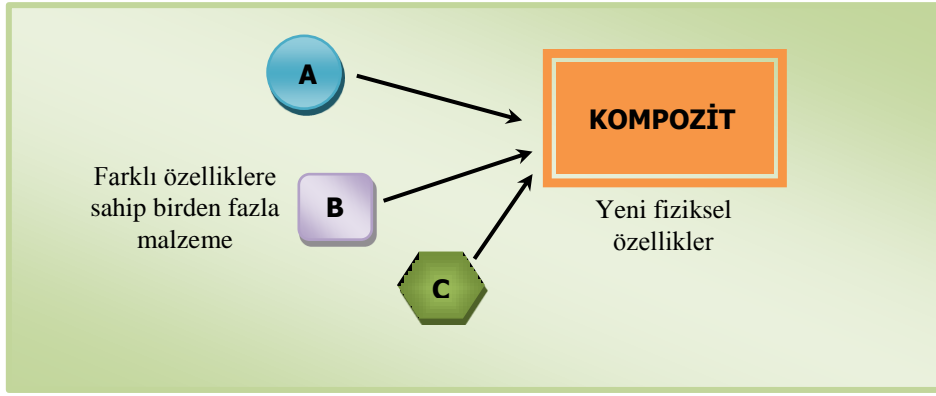
### Sayfa

Çizelge 1.1 Polimer matrisli kompozitlerin avantajları ve dezavantajları .....	5
Çizelge 1.2 Poliester reçinelerin avantajları ve dezavantajları.....	8
Çizelge 1.3 Epoksi reçinelerin avantajları ve dezavantajları .....	10
Çizelge 1.4 Bazı matris malzemelerinin uygulama sıcaklıkları .....	10
Çizelge 1.5 Cam türleri ve özellikleri .....	11
Çizelge 3.1 Karbon kumaşın bazı özellikleri .....	31
Çizelge 3.2 Numunelerin Kodlamaları.....	34
Çizelge 4.1 Kompozit örneklerine ait DSC piklerinin altında kalan alanlar.....	66

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Kompozit Malzeme

Kompozit malzeme, kimyasal bileşenleri farklı birbiri içerisinde pratik olarak çözünmeyen iki veya daha fazla malzemenin kullanım yerindeki aranan özellikleri verebilecek daha uygun malzeme oluşumu için makro seviyede birleştirilmesi sonucu meydana gelen malzemelerdir (Fikru 2009). Kompozit malzemenin yapımında kullanılan fazlar birbirinden tamamen farklıdır ve aralarında doğal olarak meydana gelebilecek herhangi bir kimyasal reaksiyon ya da faz değişimi söz konusu değildir. Kompozit malzeme tanımı şematik olarak Şekil 1.1’de görülmektedir.



Şekil 1.1 Kompozit malzemenin genel tanımı.

Kompozit malzemelerin mühendislik uygulamalarında seçilmesinin en büyük nedeni diğer malzemelere göre alışılmışın dışındaki bükülmezlik, mukavemet, ağırlık, yüksek sıcaklık performansı, korozyon direnci, sertlik ve iletkenlikten oluşan özelliklerin bulunmasıdır. Genel anlamda son ürün olan kompozit malzeme, kendisini oluşturan malzemelerin tek başlarına gösterdikleri yapısal davranışlardan daha iyi sonuçlar gösterir. En az iki malzemedен oluşan aralarında herhangi bir kimyasal bağ oluşturmaksızın oluşturdukları yeni malzeme grubunun temel mantığı yüksek elastiklik modüllü ve yükü taşıyan takviye fazını dokusunda bulunduran, takviye fazına göre düşük elastiklik modüllü, darbeleri absorbe eden matris fazının birlikte bulunmasıdır (Dokur 2009).

Kompozit malzemelerde iki faz bulunur:

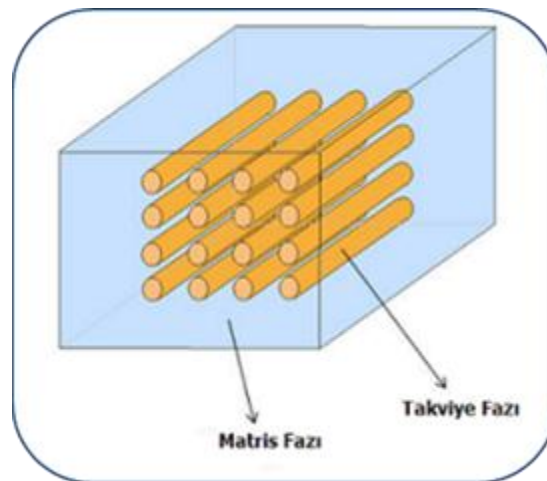
▪ **Matris Fazı**

Matris fazı birincil fazdır, sürekli bir karaktere sahiptir. Daha yumuşak daha az sert bir yapısı vardır. Bu özelliği sayesinde matris malzeme plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önleyici rol oynamakta ve kompozit malzemenin kopmasını geciktirmektedir.

▪ **Takviye fazı**

Matris fazı içinde gömülü olan hareketsiz formdaki ikincil fazdır. Bu ikinci faz dağılmış faz olarak da adlandırılır. Dağılmış faz matris fazından daha güçlüdür ve bu nedenle takviye fazı olarak adlandırılır. Takviye fazı olarak genellikle fiber kullanılmaktadır (Mahajan 2011).

Bu iki malzeme grubundan, matris olarak kullanılan malzemenin bir amacı da fiber malzemeleri yük altında bir arada tutabilmek ve yükü lifler arasında homojen olarak dağıtmaktır. Böylece fiber malzemelerde plastik deformasyon gerçekleştiğinde ortaya çıkacak çatlak ilerlemesi olayının önüne geçilmiş olur. Matris ve takviye fazından oluşan bir kompozit malzeme şematik olarak Şekil 1.2’de görülmektedir.



Şekil 1.2 Kompozit malzemedeki matris ve takviye fazı.

## 1.2 Kompozitlerin Sınıflandırılması

Genel olarak, kompozit malzemeler matris malzemesinin çeşidine göre üç gruba ayrılırlar. Bunlar:

- Metal Matrisli Kompozitler
- Seramik Matrisli Kompozitler
- Polimer Matrisli Kompozitler

### 1.2.1 Metal Matrisli Kompozitler (MMC)

Matris malzemesi olarak metal kullanılan kompozit malzemeler metal matrisli kompozitler olarak adlandırılırlar. Metal matrisli kompozitler monolitik metallere göre, daha yüksek spesifik modüle, daha yüksek özgül mukavemete, yüksek sıcaklıklarda daha iyi özelliklere ve daha düşük termal genişleme katsayısına sahiptir. Bu özellikleri sayesinde metal matrisli kompozitler geniş bir uygulama alanına sahiptir.

Deneysel çalışmalara bakıldığında çok farklı türlerin kullanıldığı göze çarpar. Son 45-50 yıldır MMC'ler ile ilgili pek çok araştırma yapılmış ve literatürde olumlu şekilde yer almıştır. Metal matris kompozitler geleneksel malzemelere karşı en büyük alternatiftir. Seramiklerin yüksek elastik modülü ile metallerin plastik şekil değiştirme özellikleri birleştirilerek aşınmaya dayanıklı, kırılma tokluğu ve basma gerilmesi yüksek malzemeler elde edilmektedir. Bu kompozitler yaygın olarak otomotiv, havacılık ve savunma sanayinde kullanılmaktadır.

Bununla birlikte, metal matrisli kompozitlerin en önemli dezavantajı, polimer matrisli kompozit malzemelere kıyasla daha yüksek yoğunluklarının ve dolayısıyla daha düşük spesifik mekanik özelliklerinin olmasıdır. Başka bir önemli zorluk ise, bu tür kompozitlerin üretimi için yüksek enerjiye ihtiyaç olmasıdır.

Havacılık sanayinin ilgisi öncelikle elyaf takviyeli alüminyum ve titanyum üzerinde yoğunlaşmıştır. Bor ve daha düşük bir ölçüde, silikon karbür (SiC), takviye malzemesi fiberler elyaflar olarak incelenmiştir. Bor ile takviyeli alüminyum alaşımlar kapsamlı

olarak çeşitli yöntemler ile üretilmiştir. Titanyum takviyeli SiC, bor (SiC ile kaplanmış) ve hatta berilyum kompresör bıçakları için kullanılmıştır.

İyi elastik modül özellikleri aralarındaki bağ zayıf olsa bile metal matris içinde elyaf ya da whiskerlerin tek yönlü dahil edilmesi ile elde edilebilir. Ancak, zayıf metal veya polimer matrisler yerine güçlü metal matrisler, iyi transvers modülü ve kayma gerilimi için gereklidir.

Karbon/grafit fiberler takviyeli metal matrisli kompozitler, ancak laboratuvar ortamında deneysel ölçekte elde edilmiştir. En basit üretim teknikleri bile yüksek sıcaklık gerektirmektedir ve yüksek sıcaklık fiber üzerinde zararlı etkilere neden olabilmektedir. En temel üretim teknikleri elyaf üzerinde zararlı etkilere sahip yüksek sıcaklıklar dahil, çünkü karbon / grafit elyaflar, yalnızca bir laboratuvar / deneysel ölçekte metal matrisler ile kullanılmaktadır. Ancak, bu konu üzerindeki araştırmalar kompozit potansiyeli açısından devam etmektedir (Deo 2011).

## **1.2.2 Seramik Matrisli Kompozitler (CMC)**

Matris malzemesi olarak seramik kullanılan kompozitler seramik matrisli kompozitler olarak adlandırılırlar. Seramik malzemeler çok sert ve kırılındırlar. Ayrıca yüksek sıcaklık dayanımlarına ve göreceli düşük yoğunluk özelliklere sahiptirler. Seramik malzemeler ısıl şok direnci ve tokluğu düşük malzemelerdir. Bu nedenle, seramik matris kompozit üretiminde ana hedeflerinden biri tokluğu artırmaktır.

Yaygın olarak kullanılan seramik matrisler malzemeleri; Al, SiC, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, B<sub>4</sub>C, cBN, TiC, TiB, TiN ve AlN'dir. Bu bileşikler değişik yapılarda olup amaca göre bir ya da bir kaçını beraber kullanılarak seramik matris kompozitler elde edilir. Sandviç zırhlar, çeşitli askeri amaçlı parçalar imali ile uzay araçları bu ürünlerin başlıca kullanım yerleridir. Seramik matrise ilave edilen karbon, seramik ve cam fiberler özellikle yüksek sıcaklık uygulamaları gibi özel şartlar için geliştirilmektedir. Seramik malzemelerin seramik fiberler ile takviye edilmesi durumunda, mukavemet yükselmekte ve tokluklar da artmaktadır. Alümina ve zirkonya esaslı seramik kompozitler üzerindeki son yıllardaki

çalışmalar, bu malzemelerin sadece roket başlığı, uzay araçları gibi uygulamalarda değil aynı zamanda insan vücudunda da biomalzeme olarak kullanılmaya başlanmasına sebebiyet vermiştir.

### 1.2.3 Polimer Matrisli Kompozitler (PMC)

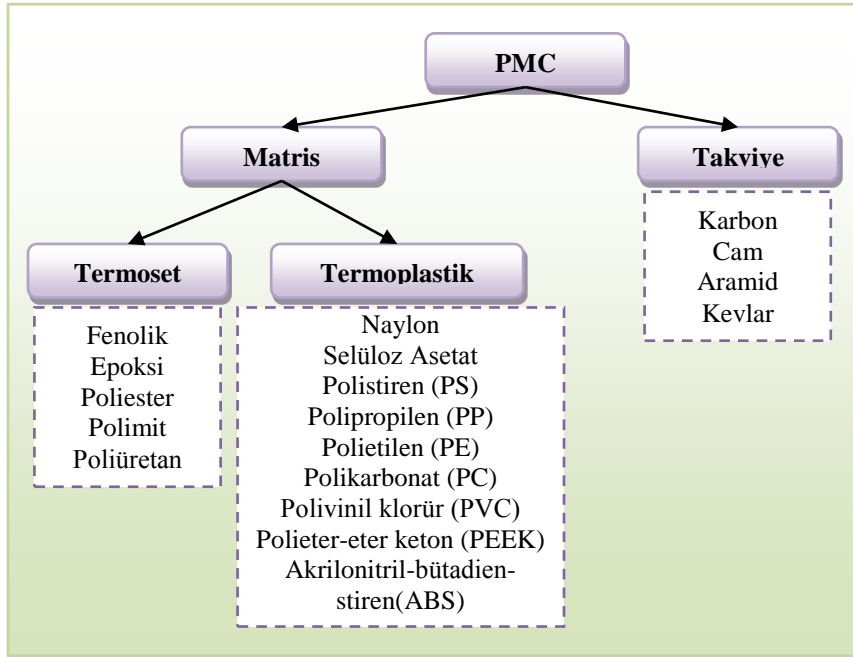
En sık kullanılan matris malzemesi çeşidi polimerlerdir. Genel olarak, polimerlerin mekanik özellikleri birçok işlem için yetersiz olmaktadır. Özellikle, metal ve seramiklere kıyasla polimerlerin mukavemet ve sertliği oldukça düşüktür. Diğer malzemelerin polimerlerle takviye edilmesiyle, bu tür sorunların üstesinden gelinmiştir. Polimer matrisli kompozitlerin üretimi, yüksek basınç ve yüksek sıcaklık gerektirmediğinden dolayı, üretilmeleri için kullanılan ekipmanlar basittir. Bu sebeple, polimer matrisli kompozitler çok hızlı geliştirilmiştir ve kısa bir süre içinde birçok uygulama için popüler olmuşlardır (Behara 2010).

Polimer matrislerin avantaj ve dezavantajları Çizelge 1.1’de özetlenmiştir.

**Çizelge 1.1** Polimer matrisli kompozitlerin avantajları ve dezavantajları

<b>Avantajları</b>	<b>Dezavantajları</b>
Düşük yoğunluk	Düşük aktarma gücü
İyi korozyon direnci	Düşük çalışma sıcaklığı limiti
Düşük ısı iletkenliği	
Düşük elektrik iletkenliği	
Saydamlık	
Estetik renk efekti	

Yaygın olarak kullanılan sürekli fiber takviyeli polimer matrisler termoset ve termoplastikler olarak iki gruba ayrılır. Bu kompozitlerin sürekli fiberlerle takviye edilmiş poliester ve epoksi reçine matrisli olanları en önemlileridir. Şekil 1.3’de Polimer matrisli kompozitlerin gruplandırılması ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 1.3 Polimerik kompozitlerde yapı bileşenleri.

Reçineler veya plastikler, termoset ve termoplastik olarak bilinen iki büyük gruba ayrılırlar. Takviyeli plastiklerin büyük bir çoğunluğu termosettir. Takviyesiz plastikler ise termoplastiktir. (İhtiyaç duyulursa termoplastiklere de takviye yapılabilir.) Termoplastik reçineler ısıtıldıklarında yumuşarlar ve ısıtılmış yarı sıvı haldeyken şekillendirilebilir veya kalıplanabilirler. Termoset reçineler bunun aksine ilk hallerinde genelde sıvıdır veya düşük ergime noktasındaki katılardır. Son ürüne yönelik olarak kullanıldığında termoset reçineler bir katalizörün, ısının ya da her ikisinin yardımıyla sertleşme aşamasına geçerler. Sertleşme tamamlandıktan sonra katı termoset reçineler orijinal sıvı hallerine döndürülemezler. Kompozitlerin ilk gelişmesi termosetler alanında olmuştur. Bununla birlikte, son zamanlarda takviyeli termoplastiklerin kullanımında da hızlı bir büyüme yaşanmaktadır.

### 1.2.3.1 Poliester Reçineler

Poliester reçineler, bir ester oluşturmak üzere kondenzasyon polimerizasyonu ile bir diasit ve bir dialkol reaksiyona sokulması ile oluşturulur. Ortoftalik poliesterler, maleik anhidrid ya da fumarik asit ile ftalik anhidrit birleştirilerek hazırlanır. İzofitalik ve tereftalik asit kombinasyonu, ortaftalik poliesterlere göre daha iyi termal stabilite,

kimyasal direnç ve mekanik özellik ile sonuçlanır, fakat maliyeti yüksektir. Tipik bir poliestere için tekrar birimlerinin sayı aralığı 10-100 arasındadır. Çift karbon-karbon bağları, doymamış bağlar olarak adlandırıldığı için, bu bağları içeren termoset poliestere, doymamış poliestere olarak adlandırılırlar.

Polimerizasyonun ardından, birimlerin sayısına bağlı olarak oldukça yüksek viskozitede sıvılar elde edilebilir. Daha sonraki işlemler için, poliestere solvent olarak da bilinen daha düşük molekül ağırlıklı stiren (en yaygın olanı) gibi monomerlerde çözdürülür. Genellikle ağırlığının %35-50'si kadar monomer içeren doymamış poliestere, metil etil keton peroksit (MEKP) ve benzoil peroksit (BPO) gibi organik peroksitler kullanılarak sertleştirilir. Başlatıcı karbon-karbon çift bağıyla reaksiyona girer ve yeni bir bağ ve başka serbest radikal oluşturur. Başlatıcıların tipik konsantrasyonları 1-2 yüzde civarındadır. Başlatıcının düşük ya da yüksek konsantrasyonda olması kötü özellikte tamamlanmamış bir çapraz bağla sonuçlanır.

Stiren ayrıca çapraz bağlanma reaksiyonunda da yer alırlar çünkü aktif karbon-karbon çift bağları içerirler ve poliestere molekül zincirleri arasında köprü vazifesi görürler. Çözücülerin dezavantajı uçucu olmalarıdır. Bundan dolayı, işlenmeleri esnasında buharları çevreye yayılır. Poliestere avantajı, çapraz bağlanma sonucu yan ürünler oluşmaz; bu durum kalıplanmalarını kolaylaştırır. Moleküllerin hareketliliği, molekül ağırlığı ve viskozite arttıkça azalır; serbest radikaller yeni çift bağlar bulmakta zorlanınca reaksiyon durur. Kütleme esnasında sıcaklık artışının olması moleküllerin hareketliliğini artıracaktır ve daha fazla serbest radikal oluşacaktır. Post kütleme reçinedeki Tg sıcaklığını artırır çünkü bu durum reaktif kısımları elimine ederek çapraz bağlanmanın tamamlanmasını sağlar. Kürlenmiş poliestere reçinelerin mekanik özellikleri monomer tipi ve miktarı, asitlik ve kütleme sıcaklığından etkilenir (Orozco 1999).

Poliester reçineler istenilen özelliklerin elde edilmesi ve hangi kalıplama yöntemiyle uyumlu olması isteniyorsa ona göre formüle edilirler. Poliestere çok yönlü oldukları için polimer zincirlerinin oluşumu sırasında modifiye edilebilme ve biçimlendirilebilme olanağı sayesinde kompozit endüstrisinin hemen hemen bütün bölümlerinde sınırsız kullanım alanına sahip olduğu görülmektedir.

**Çizelge 1.2** Poliester reçinelerin avantajları ve dezavantajları

<b>Avantajları</b>	<b>Dezavantajları</b>
Takviyelerin neminin kolayca dışarı atılabilmesine izin veren düşük viskozite	Kür sırasındaki yüksek egzotermik reaksiyon zayıf elyaf/matris bağı mukavemetine neden olur
Düşük maliyet	Sistem gevrekleşmeye eğilimlidir
Çeşitli uygulamalar için geniş bir sınır içinde kolay imal edilebilirlik	Çok seyreltik alkalilere bile zayıf kimyasal direnç gösterir
İyi çevresel dayanım	

Doymamış poliesterler temel yapıtaşlarındaki özelliklere göre sınıflara ayrılırlar. Örneğin; Ortoftalik (“orto”), izoftalik (“izo”), disiklopentadiyen (“DCPD”) ve bisfenolik (Bisfenol A) reçineler gibi. Buna ek olarak poliester reçineler “Genel Amaçlı Poliesterler” ve “Özel Amaçlı Poliesterler” adı altında kullanım amacına göre de sınıflandırılırlar.

### ***Genel Amaçlı Poliesterler***

“Genel amaçlı” terimi nispeten düşük maliyetli, yeterli mekanik ve elektrik performansı ve gayet iyi bilinen proses/imalat karakteristiklerini tanımlamaktadır. Hemen hemen bütün ortoftalik ve DCPD reçineleri ile bazı izoftalik reçineler bu gruba girerler. Genellikle genel amaçlı poliesterler orta ya da düşük viskoziteli olarak üretilirler ve sadece katalist ve hızlandırıcı eklenmesine gereksinim duyarlar. Genel amaçlı poliesterler, dolgu ve katkı malzemeleriyle birlikte kullanılarak işlenebilir bir reçine sistemini tamamlamaktadır. Yüksek maliyetli, üstün performans beklenmeyen uygulamalar hariç genel amaçlı poliesterler; tekneler, kamyon parçaları, mobilyalar, küvet ve duş teknelerini kapsayan geniş bir yelpazede açık kalıplama yöntemi ile (el yatırması/püskürtme v.b) üretilen son ürünlerde kullanılmaktadır.

### ***Özel Amaçlı Poliesterler***

Genellikle polimerin kimyasal yapısından dolayı yüksek performans istenen durumlarda kullanılır. Özel amaçlı poliesterlere ait parametreler, karşılıklı etkileşim içerisindedirler. Örneğin, Bisfenol A, daha geniş bir kimyasal dayanım sağlamak ve daha yüksek sıcaklıklara dayanım sağlamak amacı ile cam elyaf takviyeli plastik üretiminde kullanılmaktadır.

Özel amaçlı poliesterlere örnek şunlardır:

- Esneklik Kazandıran Poliesterler
- Kimyasal Dayanımlı Poliesterler
- Isı Altında Yük Dirençli Poliesterler
- Alev Geciktirici Poliesterler
- Işık Geçirgen Levha Poliesterleri

### **1.2.3.2 Epoksi Reçineler**

Epoksi reçineler kompozit parçaların üretiminde en yaygın kullanıma sahip reçinelerden biridir. Epoksi reçineler, spesifik performans özellikleri sağlamak üzere değişik şekillerde formüle edilebilirler veya diğer epoksi reçinelerle karıştırılabilirler. Proses gereklerini yerine getirmek için uygun sertleştirici ve/veya sertleştirici sistemi seçilerek sertleşme hızları kontrol altında tutulabilir.

Genellikle epoksi reçineler, bir anhidrit veya bir amin sertleştirici eklendiğinde sertleşme reaksiyonuna girer. Her sertleştirici farklı bir sertleşme profili gösterir ve son ürüne farklı özellikler katar. Tipik sertleşme maddeleri birincil ve ikincil aminler, poliaminler ve organik anhidritlerdir. Bu maddeler reçineye stokiometrik oranlarda eklenir ve sertleşme için ısı gerektirir. Kullanılan diğer sertleşme maddeleri arasında bor triflorid kompleksleri gibi katalitik sertleşme maddeleri de bulunur. Bu maddeler katalitik miktarlarda kullanılıp, az bir ısıya veya ısı sertleşmesine ihtiyaç gösterirler. Sertleşme sırasında hiçbir yan ürün meydana gelmez.

Epoksi reçineler öncelikle üstün mekanik özellikleri, korozif sıvılara ve ortamlara dayanımı, üstün elektriksel özellikleri, yüksek ısı derecelerine dayanım veya bu değerlerin bir kombinasyonu olarak yüksek performanslı kompozit ürünlerinin üretimi amacı ile kullanılmaktadır.

Epoksilerin avantajı ve dezavantajları Çizelge 1.3'deki gibi özetlenebilir.

**Çizelge 1.3** Epoksi reçinelerin avantajları ve dezavantajları

<b>Avantajları</b>	<b>Dezavantajları</b>
Kopma mukavemetleri yüksektir	Poliesterle karşılaştırıldığında pahalıdır
Elyaf yapılarla yüksek bağ mukavemeti sağlarlar	Poliestere oranla daha yüksek viskoziteye sahiptirler
Yüksek aşınma direncine sahiptirler. Uçucu değildirler ve kimyasal dirençleri yüksektir	
Düşük ve yüksek sıcaklıklarda sertleşebilme özelliğine sahiptirler	

**Çizelge 1.4** Bazı matris malzemelerinin uygulama sıcaklıkları

<b>MATRİS MALZEMESİ</b>	<b>Uzun süre maruz kalma limiti, °C</b>	<b>Kısa süre maruz kalma limiti, °C</b>
Doymamış poliester	70	100
Epoksi	125	200
Fenolik	250	1600
Poliamid	315	400
Alüminyum	300	350

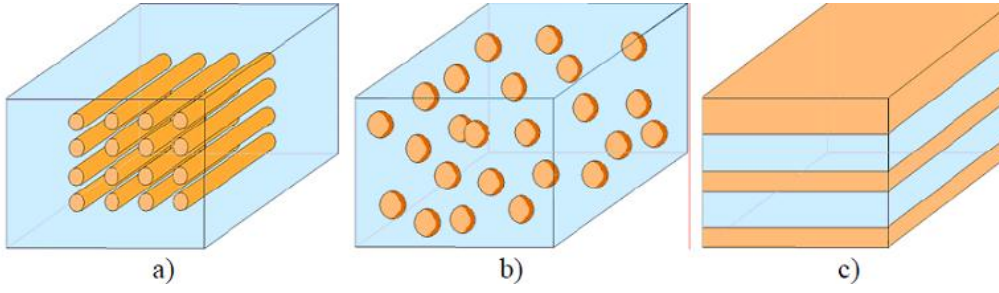
### 1.3 Kompozitlerde Kullanılan Takviye Malzemeleri

Kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak fiberler kullanılmaktadır. Fiberler mukavemet ve rijitlik sağlarlar. Birçok malzeme polimerlerin takviyesinde kullanılmaktadır. Bazı takviye malzemeleri ağaçtaki selüloz gibi kendiliğinden doğada var olan, ham, işlenmemiş ürünlerdir. Bununla birlikte, birçok ticari amaçlı takviye malzemesi endüstriyel olarak üretilmektedir. En çok kullanılan fiber türleri; cam fiber, karbon fiber, aramid fiber ve bor fiberlerdir. Bu takviye malzemeleri içinde en geniş ölçüde kullanılan takviye malzemesi cam elyafıdır. Diğer kompozit takviye malzemeleri ise, karbon elyafı (grafit elyafı), aramid, polietilen, poliester ve naylondur.

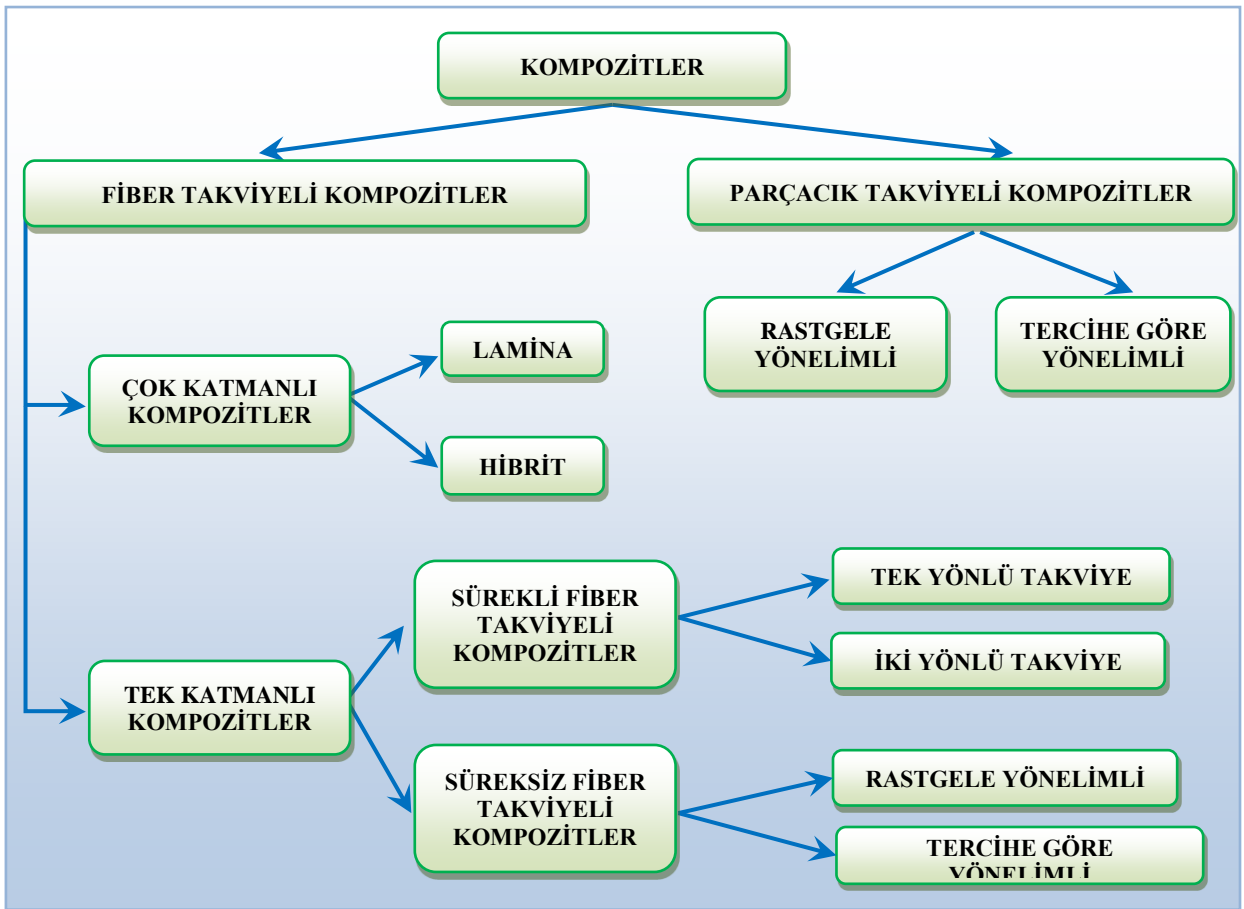
▪ **Cam Fiberler:** Cam fiberler orta maliyette olmasına karşın mekanik, kimyasal ve elektriksel özellikleri oldukça iyidir. Daha çok uçak panelleri, roket motorları, helikopter rotor pervaneleri, basınçlı kaplar ve spor malzemeleri yapımında kullanılırlar. Cam elyafın esasını silis-kum ( $\text{SiO}_2$ ) meydana getirmekle beraber belirli oranlarda sodyum, kalsiyum, alüminyum, bor ve demir gibi elementlerin oksitlerinden oluşur. Polimer esaslı kompozitlerde yaygın olarak kullanılan ve en ucuz olan takviye elemanıdır. Silis atomları üç boyutlu rastgele bağlanmış polihedra ağını oluşturmak için oksijen atomlarına kovalent bağla bağlanır. Farklı kimyasal bileşimlerinden oluşan cam elyafların tipleri ve özellikleri Çizelge 1.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 1.5 Cam türleri ve özellikleri

Cam Türleri	Özellikleri
A-camı	Yüksek alkali oranı-düşük maliyet
C-camı	Kimyasal dayanım (Yüzey tülleri)
E-camı	Elektriksel özellikler
L-camı	Radyasyona karşı kurşun içerir
M-camı	Yüksek elastik modül
S-2 camı	Yüksek çekme dayanımı
W-2 camı	Paneller için yarı şeffaf
AR-camı	Alkali dayanım
R-camı	Yüksek çekme dayanımı



Şekil 1.4 Kompozit Malzeme Çeşitleri: (a) Fiber takviyeli kompozit (b) Parçacık takviyeli kompozit (c) Katmanlı kompozit



Şekil 1.5 Polimer matrisli kompozit malzemelerin takviye türüne göre sınıflandırılması

Yüksek mukavemet ve ısı dayanımı için daha gelişmiş (özel amaçlar için geliştirilmiş) (metal ve metal oksitler gibi) takviye malzemeleri kullanılmaktadır. Başlıca takviye türleri fitil, öğütülmüş lifler, kırılmış lifler, kontinü keçe, kırılmış demetten keçe veya ısı ile şekil verilebilen keçeleri kapsamaktadır.

Çok Yönlü Takviye Malzemeleri, kontinü elyafın dokunarak, örülerek veya dikilerek kumaş veya levha şekline getirilmiş diğer türlerinden oluşmaktadır. Tek Yönlü Takviyeler; şeritleri, demetleri, tek yönlü kumaşları, tek veya çok uçlu fitilleri kapsamaktadır.

### **1.3.1 Fiber Takviyeli Kompozitler**

Takviyeli kompozitler, kendilerine özgü yüksek spesifik mukavemet ve sertlik sayesinde birçok endüstriyel uygulamada popüler olarak kullanılmaktadır. Mükemmel yapısal performansları dolayısıyla, kompozitler ayrıca tribolojik uygulamalarda da potansiyel kazanmaktadırlar. Fiber takviyeli kompozit malzemeler içerisinde yüksek mukavemete ve modüle sahip lifler içerir. Genel olarak, fiberleri çevreleyen matris malzemesi onları istenilen konum ve doğrultuda bir arada tutarken, fiberler ise ana yükü taşırlar. Lif takviyeli bir kompozit fiberlerin sürekli ve süreksiz oluşlarına göre iki gruba ayrılır.

#### **▪ Sürekli veya uzun fiber takviyeli kompozitler**

Sürekli ya da uzun fiber takviyeli kompozitler, sürekli lif formunda dağılmış faz takviyeli matristen oluşurlar. Sürekli fiber geometrik olarak, çok yüksek uzunluk-çap oranına sahip olmasına göre karakterize edilirler. Kütle halindeki malzemeye göre daha sağlam ve dayanıklıdırlar. Fiberler matris içindeki paketlenme şekillerine göre tekrar iki alt kategoriye ayrılırlar: (a) tek yönlü takviye ve (b) iki yönlü takviye. Tek yönlü takviyede, fiberler sadece tek bir doğrultuda yönlendirilmiştir. İki yönlü takviyede ise, lifler birbirlerine dik açı ile (çapraz-kat) ya da istenen açıda (açı katlı) olarak yönlendirilmiştir.

Yönlendirilme özelliklerinden dolayı diğer takviye elemanlarına göre daha üstün özelliklere sahiptirler. Kompozitin kullanıldığı yer ve üzerine gelen yüklemde çekme, basma ve eğilme gerilmeleri için istenilen dayanıma ulaşılabilir. Tek yönde çekme dayanımına maruz kalan bölgeler, yönlendirilmiş uzun elyaflar nedeniyle elyaf doğrultusunda maksimum performans gösterirler. Ancak elyaf eksenine dik doğrultuda

düşük özellikler elde edilir çünkü matriks dayanımı esas olmaktadır. Elyaf eksenine hem dik, hem de paralel kuvvet uygulandığında mekanik özellikleri iyileştirmek için değişik açılarda takviyelendirme yapılarak bu doğrultularda daha yüksek özelliklerin elde edilmesi mümkün olabilmektedir (Deo 2010).

#### ▪ Süreksiz veya kısa fiber takviyeli kompozitler

Bu kompozitler takviye elemanı olarak bünyelerinde kısa veya kırılmış fiber bulundurulur. Kısa fiberler çaplarına nazaran oldukça uzundurlar ve matriks içerisinde tek yönde bulunabilecekleri gibi gelişmiş güzel yerleşmiş de olabilirler. Bu tür kompozitler öncelikle anizotropik veya ortotropik yapı eğiliminde olup yarı izotropik yapıda da olabilirler.

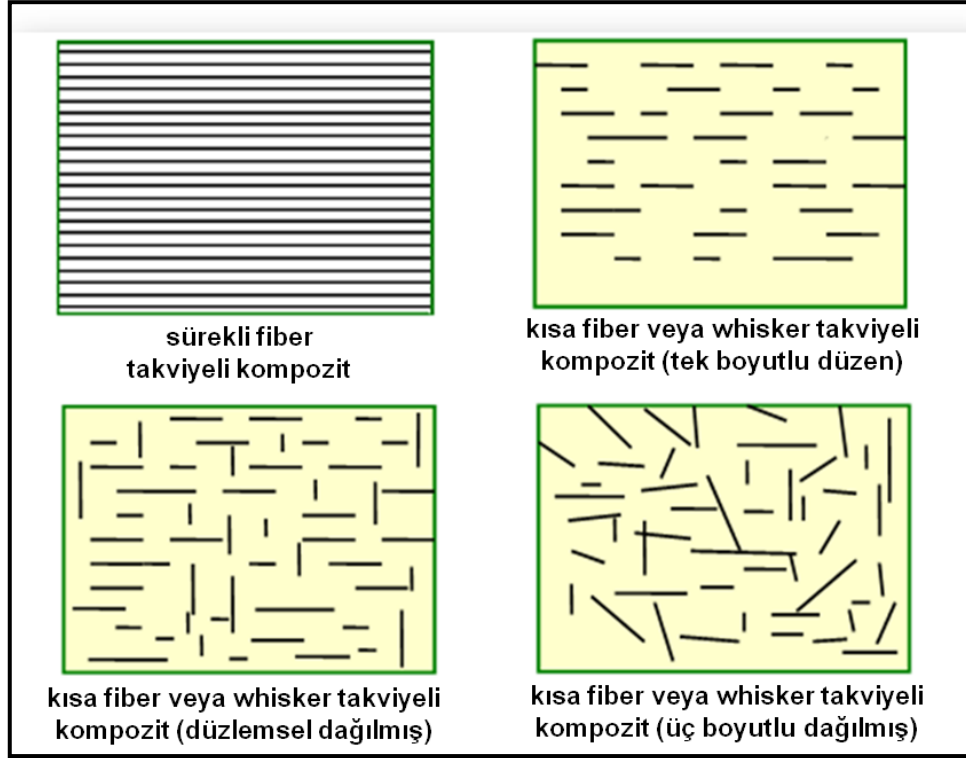
Kısa elyaf olarak adlandırılan elyaflar yaklaşık 1-5  $\mu\text{m}$  çapında ve 0,5-6 mm uzunluğunda üretilirler. Kısa elyaflı kompozitleri üretmek için en uygun olan metot sıkıştırılmalı döküm tekniğidir. Toz metalurjisi ve plazma püskürtmeli çökeltme metotları aracılığı ile de kısa elyaflı kompozitler üretilmektedir. Toz metalurjisi metodunda mekanik kuvvetlerden dolayı elyaflar hasar görebilmekle iken plazma püskürtme metodunda ise şekil ve ölçü faktörlerinin sınırlı olması sebebiyle üretilen kompozitin özelliği düşük olabilmektedir. Ancak sürekli elyaflara göre kısa elyaflı kompozitler, üretim işleminin hızlı ve maliyetinin düşük oluşu ve şekil verme yeteneğinin yüksek olması nedeni ile tercih edilirler.

Düşük maliyetli, karmaşık parçaların imalat kolaylığı ve izotropik doğa, tercih edilen bir kısa lifli kompozit malzemenin büyük ölçekli üretim için yeterlidir. Sonuç olarak, kısa fiber takviyeli kompozitler başarıyla hafif yüklü bileşen üretiminde yerini almıştır.

Bundan başka, süreksiz elyaf takviyeli kompozitler şu şekilde ikiye ayrılır: (a) tercihe göre yönelimli ve (b) rastgele yönelimli fiber kompozit. Tercihe göre yönelimli de, lifler daha önceden saptanmış bir yönde yönlendirilmiştir, buna karşılık rastgele yönelimli fiber kompozitlerde fiberler rastgele yönlendirilir. Kısa fiberlerin yönelimi, belirli bir düzlem üzerine lifin serpilmesi ya da fiber birikimi öncesinde veya sonrasında sıvı ya da

katı halde matris eklenmesi ile yapılabilir. Süreksizlikler anizotropik olan bir malzeme ancak rastgele takviye neredeyse izotropik özellikleri üretir (Patel 2008).

Sürekli veya uzun fiberli kompozitler ve süreksiz yani kısa fiber takviyelere ait şematik gösterim Şekil 1.6'da yer almaktadır.



Şekil 1.6 Fiber şekilleri ve mümkün fiber dağılımları

### Keçe ve Kumaşlar

Keçeler; genellikle birim alan ağırlığı, keçeyi bir arada tutan bağlayıcının miktarı ve türüne göre ifade edilmektedir. (Örneğin; 300-450 gr./m<sup>2</sup> kırılmış demetten keçenin birim alan ağırlığı 300-450 gr. olacaktır.) El yatırması gibi bazı kalıplama metotlarında, bağlayıcının çözülmesi gereklidir. Diğer proseslerde; özellikle pres kalıplamada, bağlayıcı, hidrolik kuvvetlere ve kalıplama sırasında, matris reçinenin çözme etkisine karşı direnç göstermelidir. Bu yüzden keçeler, çözülebilen ve çözilemeyen olarak bilinen iki kategori içerisinde üretilmektedir.

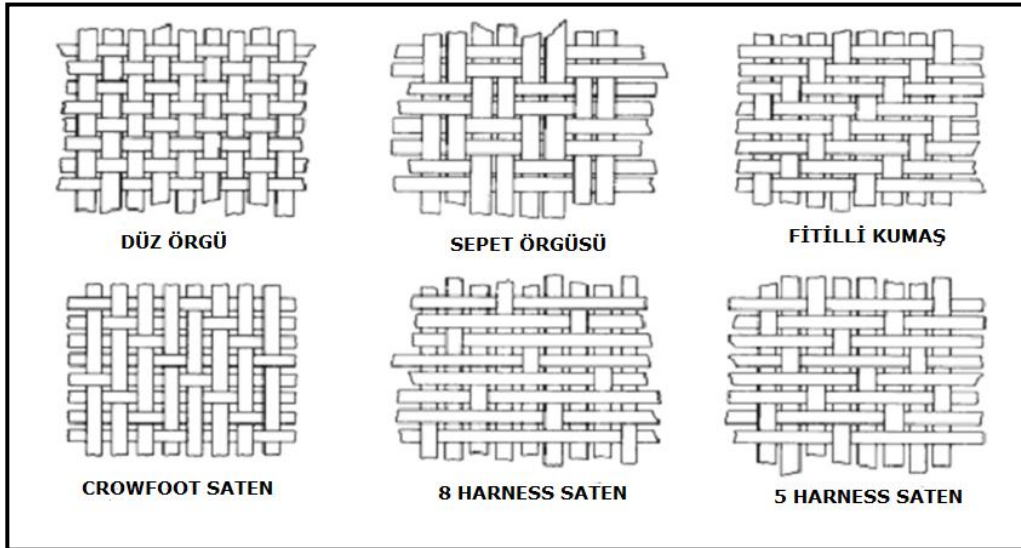
Çok sayıda bükümlü ve bükümsüz iplikler kullanılarak üretilen dokunmuş cam kumaşlar da mevcuttur. Kumaşlar yönlendirilmiş mukavemet ve yüksek elyaf oranı özellikleri sunmaktadır. Bu özellikler, yüksek teknoloji ile kompozit uygulamalarında aranan özelliklerdir.

“Kumaş” ifadesi; bütün düz tabakaları, rulolanabilen ürünleri, tam olarak kumaş olsun veya olmasın, kapsamaktadır. Kumaş’ın herhangi bir elyaf türü ile üretilmesi mümkündür. En yaygın olanları cam elyafı, karbon ve aramid’dir. Bu kumaş ürünlerinin genel özellikleri, düz tabaka ürünler halinde üretilmesidir. Tabaka şeklindeki ürünler elle işlenebilmeye, kesilebilmeye ve kalıba taşınabilmeye uygun olmalı, aynı zamanda kalıp şekline ve dönüşlerine uyacak biçimde, yeterince de esnek olmalıdır. Uygun şekilde tasarlanmış olan kumaş ürünlerde kumaşın reçine tarafından ıslatılması ve reçinenin lifler arasına nüfuz etmesi, kısa sürede gerçekleşir. Ayrıca, reçine uygulandığında kumaş kalıp içinde sürüklenmez, yerinde sabit olarak kalır. Kumaşlar hem elyaf oranı olarak, hem de takviyenin yerleşimi bakımından gerekli ürün özelliklerini karşılamaktadır. Bu beklentileri öğütülmüş lifler veya kırılmış elyaf ile karşılamak mümkün değildir. Ancak, nispeten pahalı bir ekipman kullanılarak kontinü demetlerin kalıba yerleştirilmesi ile benzer mukavemet değerlerine ulaşılabilir. Birçok kumaşta, elyafın devamlılık özelliği sayesinde mukavemet/ağırlık oranı, kesilmiş ve kırılmış elyaf türlerine oranla daha yüksektir. Dikişli keçe adı altında bilinen kumaş türlerinde, kumaşın yapısı içerisinde, elyafın farklı yönlerde yerleştirilebilme özelliği bulunmaktadır. Bu özellik, “kesme” ve “burkulma” yüklerine karşı dayanım açısından büyük bir avantaj sağlamaktadır.

▪ **Dokunmuş Kumaşlar:** Dokunmuş kumaşlar sıkı örülmüş cam elyafından bir plaka oluşturur. Cam fitillerinin bükümsüz olarak dokunmasıyla veya bobin üzerine sarılmadan önce tekstil bağlayıcı devamlı cam elyafının bükümlü hale getirilmesi ile elde edilen tekstil ipliklerinin dokunması ile elde edilen ürünlerdir. Cam lifleri kalıp üzerine yerleştirildikten sonra veya önce de reçine emdirilebilir. (Dokunmuş kumaşlar dokuma tipine göre farklı isimlerde tanımlanabilir.) Genellikle bir kumaşın, mekanik özellikleri, dokuma tarzından büyük ölçüde etkilenmektedir. Örneğin düz dokuma

kumaşlar çok sayıda atkı ve çözgüye sahip olup, daha düşük mekanik özelliklere sahiptir.

▪ **Dikilmiş Kumaşlar:** Bu tür kumaşlar “dokunmamış” (nonwoven) olarak adlandırılır. Takviye için kırılan elyaflar, takviye performansına katkıda bulunmayan çok ince poliester iplik ile dikilerek birleştirilir veya elyaf tabakalarının ikinci bir matriks tarafından nispeten, kıvrımsız bir pozisyonda bir arada tutulmasıyla elde edilen ürünler olarak da ifade edilebilir. Bu tür kumaşlar, eşit ağırlıktaki dokunmuş kumaşlarla karşılaştırıldığında daha yüksek performans ve mekanik değerlere sahiptir.



Şekil 1.7 Özellikle polimerler için örülen değişik fiber örgü çeşitleri

▪ **Towsheets:** Önce bir tabaka üzerine bir cam demetinin yayılması, sonra mekanik olarak veya yapıştırılarak birleştirilmesi ile “towsheet” elde edilir. Elyaf takviye çeşitleri arasında kabaca birbirine paralel bir şekilde sıraya dizilmeleri (aynı hizada olmaları) ve kıvrımsız olmaları nedeniyle en yüksek mekanik değerlere sahip ürünlerdir. Towsheets en pahalı elyaf türüdür. Plaka halindeki bu ürünler yapısal uygulamaların çoğunluğu için gerek duyulan çift katlı olma özelliğine sahiptirler. Towsheets’lerin birleştirilmesi, yani tabakalar halinde ve istenilen açılarda olması, homojen elyaf takviyesi özelliğinin elde edilmesini sağlar.

▪ **Keçeler:** Hareket eden bir konveyör band üzerine, kırılmış (kesikli) veya sürekli elyaf demetlerinin rastgele bir şekilde yerleştirildiği, bir üretim yöntemi olması nedeniyle düşük yoğunluğa sahip ürünlerdir. Lifler daha sonra, rulolanabilen bir ürün haline getirebilmek amacıyla, yapıştırılarak birleştirilmekte veya mekanik bir uygulamayla dikilmektedir. Takviyenin rastgele bir şekilde yığılmış olması, sıkı sarılmış bir ambalaj yapılmasına olanak vermez, lifler arasında hava kalır. Uygun yapıda bir kompozit oluşturulmasını sağlamak amacıyla, lifler arasındaki havanın reçine ile yer değiştirmesi sağlanır. Kompozitlerin en zayıf bileşeni reçine olduğundan, kompozit ürünlerde birim hacim başına daha fazla reçine düşmekte, bu da daha düşük mekanik özellikler elde edilmesine neden olmaktadır.

### **1.3.2 Parçacık Takviyeli Polimerik Kompozitler**

Takviye olarak kullanılan parçacıklar; seramikler, küçük mineral partikülleri gibi camlar, alüminyum gibi metal parçacıkları ve polimerler ile karbon siyahını içeren amorf maddeleri kapsar. Parçacıklar matrisin modülünü artırmak, kırılma direncini ise azaltmak için kullanılırlar. Parçacıklar ayrıca, kompozitlerin maliyetini düşürmek için de kullanılır. Takviye malzemeleri ve matrisler genel olarak ucuzdur ve kolaylıkla işlenebilirler. Seramik ve camların bazı kullanışlı özellikleri; yüksek erime sıcaklığı, düşük yoğunluk, yüksek dayanıklılık, sertlik, aşınma direnci ve korozyon dayanımıdır. Birçok seramik iyi elektrik ve ısı yalıtım malzemeleridir. Bazı seramiklerin özel özellikleri vardır; bazı seramikler manyetik malzemelerdir; bazıları piezoelektrik malzemelerdir ve birkaç özel seramik, çok düşük sıcaklıklarda bile süper iletkenlerdir. Seramik ve camlar büyük dezavantajı kırılma olmalarıdır. Parçacık takviyeli kompozitlere bir örnek, poli-izobütilen elastomerik bir polimer matrisi içinde karbon karası parçacıklarının sahip olan otomobil lastikleridir.

Polimer kompozit malzemeler, çeşitli mühendislik alanlarında geniş ilgi yarattı, özellikle havacılık uygulamalarında. Kompozitlerin farklı işlem koşullarında kullanışlı olmasını sağlamak amacıyla, fiber ve dolgu maddelerinin çeşitli kombinasyonları ile daha yeni kompozitlerin geliştirilmesi çalışmaları tüm dünyada devam ediyor (Tudu 2009).

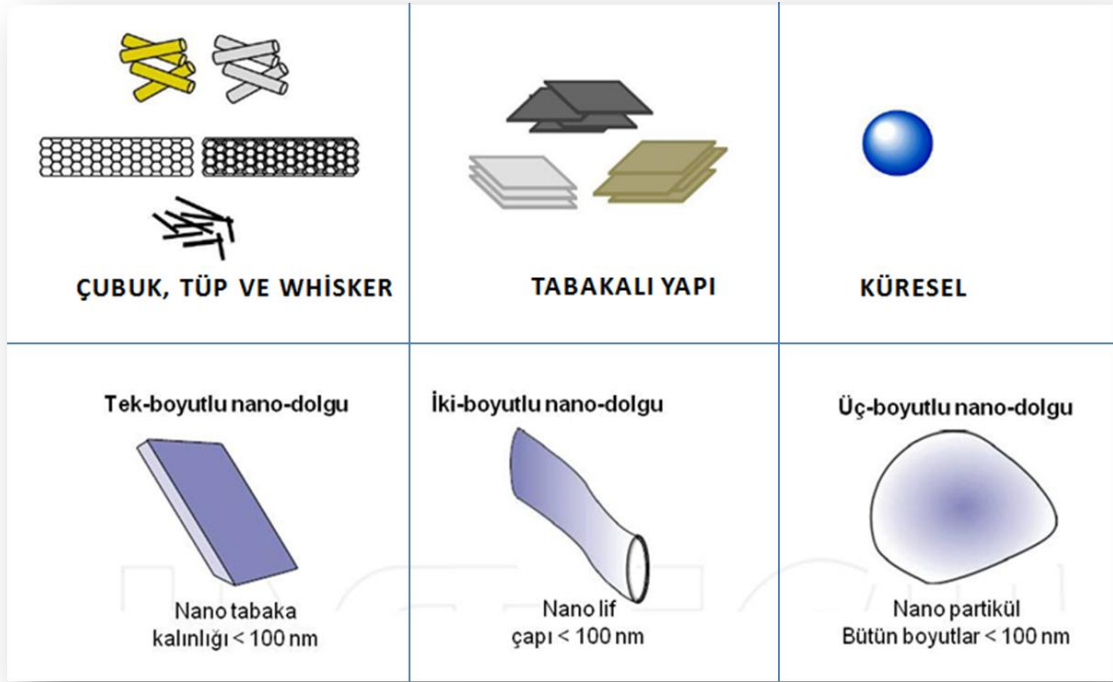
### **1.3.3 Tabakalı Kompozitler**

Tabakalı kompozitler matrisi bir arada tutan malzeme tabakalarından oluşmaktadır. Genel olarak, bu tabakalar takviye ile matris arasında iyi bir birleşme için alternatif olarak düzenlenmiştir. Bu tabakalar, fiber takviyeli kompozitin nihai kullanımına göre tek yönlü veya iki yönlü yönlendirilmiş olabilir. Tabakalı kompozitlerin farklı çeşitleri açı katlı, çapraz katlı ve simetrik tabakalı olanlarıdır. Aynı zamanda bir hibrid laminat, farklı yapı malzemelerinden ya da aynı malzemenin farklı takviye deseni kullanımı ile imal edilebilir. Laminat kompozit uygulamaların çoğunda, fiziko-mekanik ve termal davranışların iyi kombinasyon edilmesi nedeniyle suni elyaflar kullanılır (Deo 2010).

### **1.4 Polimerik Nano-Kompozitler**

Genel olarak polimerik nano-kompozitler, bir polimer matrisinin ve nanometre ölçeğinde en az bir boyutu olan parçacık halinde katkı maddelerinin kombinasyonu olarak tanımlanır. Geçtiğimiz on yıl içinde, polimerik nano-kompozitler nano partiküllerin sadece küçük bir miktar kullanılmalarıyla sağladığı sertlik ve mukavemet gibi üstün mekanik özellikler sayesinde hem akademik alanda hem de endüstride oldukça ilgi gömüştür. Polimerik nano-kompozitlerin geliştirilmiş özellikleri, mekanik performans, bariyer direnci, alev geciktiricilik, optik ve elektriksel özellikleri kapsamaktadır (Goffin 2010).

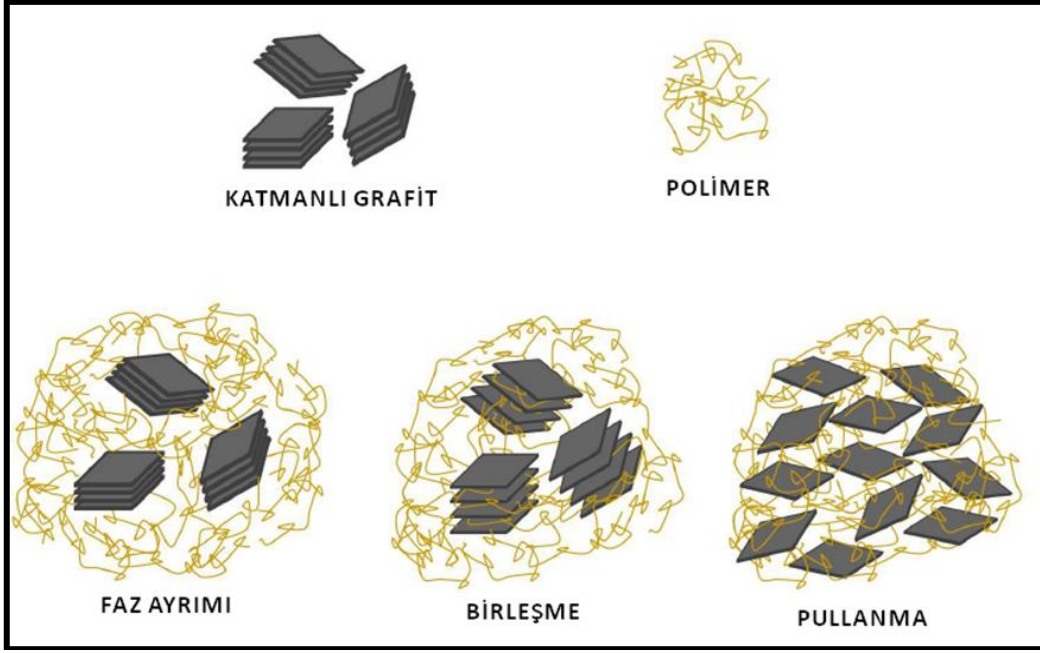
Nano-parçacık takviyeli kompozitler, dağılmış nano fazın nano boyut numaralarına göre üç kategoriye ayrılır (Şekil 1.8). Nano dolgular nanometre ölçeğinde tek boyutlu (ör. Kil, silika, grafit), iki boyutlu (ör. karbon nanotüp, whiskers, sepiolite) veya üç boyutlu (küresel parçacıklar içeren) olabilirler. Geometrik boyutlar elde edilmek istenen kompozit malzemenin son özelliklerini etkileyebilir. Bununla beraber, kompozit malzemede yüksek oranda performansa ulaşmak için, nano dolguların polimer matris içerisinde mükemmel şekilde dağılması gerekmektedir. Eğer, nano-dolgular arasında etkileşim ağır basıyor ise, matris içinde topaklanmalar meydana gelecektir ve bu durum kırılğan mikro-kompozit türü bir malzeme oluşmasına yol açacaktır.



**Şekil 1.8** Nano-kompozitler için kullanılan nano-dolgu çeşitleri

#### ▪ Nanopartikül Dağılımı

Bir nano-bileşiğin üretilmesi sırasında bilim adamlarının karşılaştığı ilk ana engel nanopartiküllerin muntazam bir şekilde dağılımını sağlamaktır. Van der Waals kuvvetleri ve polimer / nanopartikül yüzey enerji farkları, genellikle nanopartiküllerin birbirlerine karşı polimer matrise kıyasla daha fazla çekime sahip olmasına neden olur. Nanoparçacıklar arasındaki bu büyük çekim toplanma problemine yol açar. Şekil 1.9 dispersiyon kalitesinin yaygın olarak kullanılan üç tanımını göstermektedir.



**Şekil 1.9** Nanopartikül dağılım kalitesini anlatmak için yaygın olarak kabul edilen üç terimin örnekleme

Dağılımın ilk aşaması faz ayrımıdır. Bu durumda, polimer zincirlerinin tek tek grafit yaprakları arasına nüfuz etmesi mümkün değildir (takviye fazı). Faz ayrımı durumunda kompozit, efektif parçacık boyutları 100 nm 'den daha büyük olabileceğinden dolayı mikrokompzit olarak karakterize edilebilir. Katmanlı grafitin takviye verimliliği maksimize olmayacak ve dolayısıyla mekanik özellikleri sadece biraz artacak ya da hep birlikte bozulabilecektir.

Dağılımın ikinci safhasının birleşme morfolojisi sergileyen kompozit olduğu varsayılmaktadır. Bu durumda, polimer zincirleri tek tek grafit yaprakları (takviye fazı) arasına nüfuz edebilmektedir. Birleşim aşamasında etkili parçacık boyutları 100 nm altında olduğundan kompozit nanokompzit olarak karakterize edilebilir. Tabakalı grafitin takviye etkinliği, faz ayrılmış mikrokompzite kıyasla geliştirilmiştir. Dağılımın üçüncü aşaması tamamen pullanmış kompozit olarak kabul edilir. Bu durumda, polimer zincirleri tek tek grafit yaprakları (takviye fazı) arasında nüfuz edebilir ve sürekli bir polimer matrisi içinde bireysel grafit yaprakları tamamen dağılabilir.

Pullanma safhasında kompozit nanokompzit olarak adlandırılabilir ve tabakalı grafitin takviye etkinliği maksimum olur. Kil ve grafit gibi tabakalı yapıdaki nanopartiküllerin,

takviye etkinliğini maksimize etmek için pullanmaları gereklidir. Efektif partiküllerin kalınlıklarının küçülmesi pullanma derecesinin geliştirilmesi ile sonuçlanır. Bu nedenle, gelişmiş pullanma derecesi, daha büyük bir yüzey alanı-hacim oranı, düşük miktarda stres konsantrasyonlarına ve buna bağlı olarak yüksek performansta mekanik özellikler ile sonuçlanır.

▪ **Karbon Fiberler:** Karbon fiberler yüksek performanslı kompozit yapılarda en çok kullanılan takviye elemanlarıdır. Daha çok suni ipek ve poliakrilonitrilden (PAN) yapılırlar. Karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerin mukavemet ve rijitlikleri cam fiber takviyeli kompozitlere oranla büyük olması nedeniyle günümüzde kullanımları gittikçe artmaktadır. Uçaklarda roket lülelerinin ve türbin kanatçıklarının imalinde kullanılmaktadırlar.

▪ **Aramid Fiberler:** Aramid fiberler mukavemetlerinin yüksek olması nedeniyle çoğu uygulamada yer almaktadır. Bununla birlikte nemi tutabilme özellikleri ve matrikse iyi yapışamama gibi dezavantajları da vardır. Cam fiberden daha hafif fakat daha pahalıdırlar. Özellikle otomobil lastiklerinin imalinde kullanılırlar. Basma dayanımları düşük korozyon dayanımları yüksektir.

▪ **Bor Fiberler:** Bor fiberler ilk olarak 1960'larda kullanılmaya başlanmıştır. Yüksek modül ve yüksek mukavemete sahip olmalarına rağmen işleme zorluğu nedeniyle pahalıdırlar. Birleşmiş Milletler Hava Kuvvetlerinde F-15 ve Deniz Kuvvetlerinde F-145 uçaklarının her ikisinde de takviye elemanı olarak boron fiberler kullanılmaktadır.

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Kompozit malzemeler, havacılık ve uzay sektöründe 1970'lerden bu yana kullanılmaktadır. Havacılık sektöründe kullanılan geleneksel malzemelere kıyasla, hafif ve şekillendirme kolaylığına sahip olmaları, daha hafif uçakların sağlamış olduğu performans avantajları ordunun kompozit geliştirme programlarında itici güç olmaya devam etmektedir. Ticari şirketler içinse yakıt ekonomisi yanında, kompozit malzemelerin üretim ve bakım maliyetlerinin düşük olması büyük önem taşımaktadır.

Havacılık sektöründe "The Lear Fan", kompozit olarak tasarlanmış ilk uçaktır. Kapılar, kontrol paneli ve kanat parçaları gibi kompozit unsurlara ek olarak bu uçağın gövde ve pervanesi de kompozit malzemelerden üretilmiştir. Boeing ve Airbus uzun süreden beri uçaklarının birçok parçasında kompozit malzemeleri kullanmaktadır. Bu malzemeler yaygın olarak bagaj bölmeleri, yan duvarlar, zemin, tavan, kargo ve perdelerde kendilerine uygulama alanı bulmaktadır. Özellikle son yıllarda, uçakların (Boeing 787 Dreamliner and Airbus A350 XWB) dış parçaları da FDPK'ler kullanılarak inşa edilmeye başlanmıştır. Kompozit malzemeler Boeing 787'nin gövde ve kanatları içeren birincil yapısının %50'sini oluşturmaktadır.

Bir pilot projede, A300/A310 uçağı için karbon fiber kontrol kutusu üretilmiştir ve üretim maliyeti diğer malzemelere kıyasla %65-85 oranında düşürülmüştür. Askeri uygulamalarda kompozitler, savaş uçaklarının düşük sürtünme, düşük radar gözlenebilirlik ve yüksek hızda meydana gelen sıcaklığa karşı dayanıklılık gibi birçok gereksinimini karşılamaya olanak sağlamaktadır. Kompozitler karmaşık şekillerde kolaylıkla kalıplanabilmekte ve bu durum B-2 bombardıman uçaklarına gizli sağlanmasında büyük önem taşımaktadır. Özellikle, İngiliz Harrier (AV-8B) ve Osprey (V-22) gibi bazı dikey kalkış ve iniş yapabilen uçaklardan ağırlığa oldukça önemlidir ve kompozitler bu uçakların üretiminde önemli rol oynamaktadır. Deniz kuvvetlerinin kullandığı savaş uçaklarında F-18A'nın kanat yüzeylerinde grafit/epoksi sistem kullanılmaktadır. Grafit yüzeyler galvanik korozyonu önlemeye yarayan cam fiber bariyerle alüminyum çerçeveden ayrılmaktadır. Kompozit malzemeler, helikopter pervanelerinde de yaygın şekilde kullanılmakta ve gelişmiş aerodinamik yapı, iyi hasar

toleransı ve düşük maliyet gibi özelliklerin yanında helikoptere yüksek kaldırma kuvveti ve hız sağlamaktadır.

Kompozitlerin denizcilik uygulamalarında kullanımı 1960'lı yıllara kadar uzanmaktadır. Bu yıllarda İngiliz Savunma Bakanlığı, Bristol Aeroplane Plastik ile fiberglas takviyeli poliester bir mayın tarama gemisi tasarlamak, geliştirmek ve inşa etmek için anlaşmıştır. Kompozit malzemeler, 80'lerin sonlarında ABD deniz kuvvetlerince deniz altılarda kullanılmaya başlanmıştır. Metalik malzemelere karşı sağladığı ağırlık avantajı denizaltıların yüksek hızlarda gitmesine imkan sağlamıştır. Örneğin Amerikan nükleer denizaltısı SSN 711 "San Francisco" 7 Ocak 2005'de haritada görünmeyen bir kayalığa çarptığında saatte 56 km hızla gitmekte olduğu bilinmektedir. ABD deniz kuvvetleri DDG-51 sınıf destroyerler için kompozit malzeme kullanarak bir dümen geliştirmiş ve çelik dümen maliyetinin yaklaşık yarısına üretim gerçekleştirilmiştir. Askeri kullanımın yanı sıra, sivil uygulamalarda da kompozit malzemeler yaygın şekilde kullanılmış, Balmoral Glassfibre Firması yangın geciktirici reçineler kullanarak petrol endüstrisi için bir kurtarma gemisi geliştirmiştir. Sertifikasyon denemeleri sırasında, kurtarma gemisi 1150 °C'ye maruz kalırken gemi içerisindeki sıcaklık 27 °C'yi asla aşmamıştır. Kompozit malzemeler genellikle lüks yatların birçok parçasının inşasında da kullanılmaktadır. Dünyanın en büyük yat direğine sahip olan Mirabella V 'te karbon, aramid ve E-cam temelli kompozit malzeme kullanılmıştır. Karbon-fiber kompozit ve titanyum yapıya sahip olan L'Hydroptère isimli yat 2007 yılında iki dünya hız rekoru kırmıştır.

Ancak kompozit malzemelerde su ile temas sonucu meydana gelen hasarlar halen bir sorun oluşturmaya devam etmektedir. Literatürde FDPK lerde suyun yarattığı hasar üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. 60'ların sonlarında, Ashbee ve arkadaşları kompozit malzemelerde meydana gelen su hasar davranışını araştırmış ve 3 farklı reçine kullanarak hazırlanan 12 örnekte distile suyun neden olduğu hasarı incelemişlerdir. Aynı ekip ayrıca cam elyaf takviyeli doymamış poliester reçineler üzerinde su absorpsiyonu deneyleri yürütmüşlerdir (Ashabe ve Wyatt 1969, Ashabee *et al.* 1967). Çalışmalar göstermiş ki, örneklerde suya daldırdıktan sonra boyutsal bir değişim meydana gelmekte, matrisin içine su difüzyonu ile birlikte reçine şişmekte ve

ardından düşük molekül ağırlıklı maddelerin yapıdan ayrılması ile malzeme büzülmektedir. Bu boyutsal değişim sonucunda, lif/matris ara yüzünde bir ayrılma meydana gelmekte ve oluşan ozmotik basınç matris içinde çatlakların büyümesine sebep olmaktadır.

Su hasar mekanizması üzerinde; reçinenin, cam elyafın ve bağlayıcının yapısının yanında su absorpsiyon parametreleri de önemli rol oynamaktadır. Castaing ve arkadaşlarının yürüttüğü bir çalışmada, iki farklı kompozisyonda cam elyaf takviyeli poliestere reçine kullanılarak kaplama amaçlı bir malzeme üretilmiştir. 1,5/2/0,5 oranında maleik asit-propilen glikol-ortoftalik asit içeren reçine ile elde ettikleri kaplamanın su emme değerlerini 1/2/1 mol oranında maleik asit/propilen glikol/izoftalik asit içeren reçineden üretilen kaplamanın su emme değerleri ile karşılaştırmıştır. Düşük molekül ağırlığı, yüksek asit oranı ve asit gruplarının hidrofilik doğası nedeniyle ortoftalik temelli malzemelerin mekanik özelliklerindeki azalmanın izoftalik temelli malzemelerin mekanik özelliklerinde azalmadan çok daha belirgin olduğunu gözlemiştir (Casting ve Lemoine 1995).

Kompozit üretimde kullanılan fiberin yapısı Schutte tarafından 1995'te yayımlanan bir araştırmada değerlendirilmiştir (Schutte 1994). E-camın alkali özelliklerdeki metal oksitleri içerdiği ve higroskopik doğaya sahip olduğu belirlenmiştir. Ashbee'ye göre, fused silika fiberler, E ve C camla kıyaslandığında ihmal edilebilir miktarda suda çözülebilir safsızlık içermekte ve su içinde lif ve matris arasındaki ayrılma daha uzun zaman almaktadır (Ashabe ve Wyatt 1969). Sodyum borosilikat lif yüzeyini modifiye etmek için Al, Mg veya Zn kullanıldığında, ara yüzeyde meydana gelen bağıl bozulma oranları farklılık göstermekte ve bu eğilim aşağıdaki sırayı takip etmektedir: yüksek sodyum içeriği ile sodyum borosilikat > düşük sodyum içeriği ile sodyum borosilikat > sodyum magnezyum borosilikat > sodyum alüminyum borosilikat > sodyum çinko borosilikat (Schutte 1994).

Ashbee ve arkadaşları su absorpsiyonu deneylerinde kullandıkları parametrelerin, su içine daldırılan FDPK 'lerin son özelliklerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu bulmuşlardır. Distile su yerine tuz çözeltileri kullanarak ozmotik basınç etkisinin

düşürülebilmesi mümkündür (Ashabee *et al.* 1967). Benzeri etkiler vinilester temelli kompozitler mazlemeler üzerinde yapılan çalışmalarda da gözlenmiştir. Chu ve arkadaşları FDPK'lerin karşılaştırmalı bozulmalarını saf su, alkali ve beton sızıntı suyu çözeltilerinde araştırmışlardır (Ashabee *et al.* 1967). Alkali tuzların varlığında artan pH ile birlikte ileri derecede hidrolitik bozulma gözlemlenmiştir. Özellikle alkali ve sızıntı suyu çözeltilerinde, lif yüzeyi bozulması ve oyulması plastikleşmeye eşlik etmiştir. Birçok çalışmada, cam elyaf ve epoksi arasındaki bağlanmayı güçlendirmek için kullanılan silan-bağlayıcı maddelerin su içinde çözünebildiği gözlenmiştir. Kinlock' a göre cam elyaf/epoksi arayüzeyi üç tabaka içermektedir: kovalent bağlı fiber/kaplama, oligomer ve kaplama/epoksi arayüzleri. Oligomer fazının su ile reaksiyon sonucunda çözünen faz olduğu düşünülmektedir.

Karbhari'ye göre, su absorpsiyonu su adsorpsiyonuna eşlik etmektedir ve kompozit malzemede su hasarından bahsederken su emme terminolojisini kullanmak daha doğrudur (Kabhari 2004). Su emme mekanizmasını iki grupta toplanabilir; geri dönüşümlü prosesler (plastikleşme ve şişme) ve geri dönüşümü olmayan prosesler (hidroliz ve mikro çatlatma). Örneğin, suyun epoksi reçineyi plastikleştirdiği ve zayıflattığı bilinmektedir (Schutte 1994). Kompozitler farklı sıcaklıklar arasında termal döngüye maruz kaldıklarında, sıcaklık artmasına rağmen, çapraz bağlı ağdaki geri dönüşümü olmayan hasar nedeniyle absorplanan su miktarı azalabilmektedir (Suh *et al.* 2001). Bu gözlem, iki rakip prosesin polimerin su absorplama davranışını belirlediği, Flory'nin "İki Aşamalı Teorisi" ile açıklanabilir; su difüzyonu ve polimer gevşeme. Çalışmalar göstermektedir ki, matris ve fiberin su ile teması engellenmedikçe, su alımının verdiği hasarı önlemek mümkün değildir.

Doğada hayvan ya da bitkilerin kendilerini sudan soyutlamak için çeşitli stratejiler kullandığı bilinmektedir. Eğer bu stratejiler laboratuvar ortamında taklit edilebilirse, kompozit malzemeler üzerinde suyun yarattığı etkinin de ortadan kaldırılması mümkün olacaktır. Kompozit malzemelerin su emme davranışını geliştirmek amacıyla, çeşitli dolgu sistemleri kullanılması mümkündür. Örneğin, organik ve inorganik dolgular içeren bir kaplama poliüretan veya poliüre kullanılarak hazırlanmış ve hazırlanan kaplama Irak ve Afganistan'da kullanılan Kara Şahin helikopterlerinin pervanelerinde

kullanılmıştır. Afganistan'da %26.5 ve Irakta %30.5 olan pervane değiştirme oranları, bu kaplamanın kullanılmasıyla 52 helikopter üzerinde 31 000 saatlik deneme uçuşu sonrasında % 0'a dūřmüřtür. Dięer bir patentli çalışmada, Swei ve arkadaşları kompozit malzemelerin su dayanımını geliştirmek amacıyla ağırlıkça %0,1 ve % 45 oranlarında çeşitli metal oksitleri ve karbonlu malzemeleri kullanmışlardır (Swei *et al.* 2008). Periyodik izelge 1. gruptan 16. gruba kadar metallerin oksitlerini nanometreden mikrometreye kadar değişen farklı parçacık boyutlarındaki tozları bu amaçla tercih edilmiştir. Kompozit malzemelere bu dolgu maddelerinin eklenmesiyle gelişmiş termal ve mekanik özellikler malzemeler elde etmişlerdir. Su absorplama deney sonuçları řunu gösterdi; ağırlıkça %40 grafit içeren kompozitin su absorplama yūzdesi ağırlıkça %1 Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> eklenmesiyle %7,2'den %3,1'e dūřmüřtür.

Ancak katkıların kompozit yapı içindeki oranı ve tanecik boyutu būyūk önem taşımaktadır. Su emme özelliğini iyileştirmek kullanılan katkıların olumsuz etki yarattığı örneklerde literatūrde rastlanmaktadır. Örneęin, Girase ve arkadaşları, doymamış poliester reçinenin termal stabilitesini gūlendirmek için bismaleimid kullanmışlardır (Girase *et al.* 2012). Yapılan alışmalar, azalan çapraz baę yoğunluğunun yūksek zūcū absorpsiyonuna yol açtığını ve artan bismaleimid içeriğinin malzemenin mekanik özelliklerini azalttığını göstermiştir. Curtis ve arkadaşları, nano-dolgulu reçine kompozitler ile dental uygulamalarda kullanılan geleneksel kompozitlerin su emme ve dayanım özelliklerini birbiri ile kıyaslamışlardır (Curtis *et al.* 2008). Ağırlıkça %8 ve %40 oranlarında 5-20 nm ve 75 nm boyutlarında silika parçacıkları içeren iki farklı nano-dolgulu reçine kullanmışlardır. Malzemelerin su emme özelliği, 5200 cm<sup>-1</sup> dalga boyunda FTIR piklerinin şiddetini ölçerek takip edilmiştir. alışmaları göstermiştir ki; dolgularda yūzey alanı/ hacim oranının artmasıyla su emme değerleri artmakta ve bu ise dolgu/matris ara yūzeyinde bozulmalara sebep olmaktadır. Kontou ve arkadaşları tarafından Aerosil R972 ve Nanomer I30 varlığında polilaktik asit nanokompozitlerin hidrolitik bozulmasında nano dolguların rolū araştırılmıştır (Kontou *et al.* 2012). Her iki nano parçacığın hidrofobik doğaya sahip olmasına rağmen çok sayıda boşluk ve atlaklığın gözlenmesi, PLA yapısındaki bozulmanın matris ve nano dolgu arasındaki ara yūzeyde bozulmasının başlamış olabileceğini dūřūnūlmektedir.

Nano katkıların su emme profilinde pozitif etki yaptığı çalışmalarda bile mekanik özelliklerdeki azalış sorun olarak ortaya çıkabilmektedir. Su emme davranışına nano parçacık katkısının incelendiği yakın tarihli bir yayında, nano kil, hallosit nano tüp ve nano silisyum karbür katkısının su emme davranışını iyileştirdiği belirtilmektedir (H. Alamri 2012). Bu çalışmada Alamri ve arkadaşları %1 ile %5 arasında dolgu malzemeleri kullanarak %1.56 ile %2.09 arasında değişen su emme değerleri elde etmişlerdir. Ancak 130 günlük su emme deneyleri sonucunda mekanik özelliklerin azaldığı görülmektedir. Çalışmada kullanılan nano malzemelerin tanecik boyutu nano kil için 2-13 µm, hallosit nano tüp için 0.2–6.0µm ve nano silisyum karbür için <100 dir. Bu katkılar kompozit malzemelerin su emme değerini, nano dolgu içermeyen reçineye kıyasla ancak %2.34 ten %1.56 ya düşürebilmiştir ki bu durum kullanılan katkı oranlarının ve tanecik boyutunun mekanik dayanımda azalmaya engelleyecek nitelikte olmadığını göstermektedir. Benzeri bir çalışma %0.1-0.5 arasında değişen oranlarda dolgu malzemesi kullanılarak indirgenmiş grafit oksit ve karbon nanotüp varlığında gerçekleştirilmiştir (O Starkova *et al.* 2012). Çalışmada kullanılan nanotüpler 0.1 ile 10µm arasında değişen uzunluklara sahipken grafit oksit tabaklarının boyutlar 1-4 µm civarındadır. Sıcak saf suda gerçekleştirilen su emme deneylerin sonucunda katkı içermeyen epoksi reçinenin %5 olan su emme değerinin %1.5'e kadar düştüğü görülmektedir. Ancak hidrotermal işlem sonucunda örnekte tersinmez değişimlerin meydana geldiği, dolgu/matris ara yüzeyindeki yapışmanın azaldığı ve mikro çatlak oluşumunun gözlemlendiği belirtilmektedir.

Evonik firması halen farklı oranlarda Aerosil R812 ve R972 yi bazı reçinelerle birlikte reoloji ve tiksotropi kontrolü, çökmeyi engelleme ve son üründe aşınma direnci ve sertliği artırmak amacıyla kullanmaktadır. Ancak literatürde bu katkıların su emme davranışı üzerine etkisi konusunda detaylı bir çalışma bulunmamaktadır. Literatürde Aerosil R812'nin poliüretan reçinelerle birlikte kaplama amacıyla kullanıldığı bir çalışmada dolgu miktarının artmasıyla birlikte su emme miktarının azaldığı belirtilmektedir (F.Dolatzadeh *et al.* 2010). Ancak bu çalışmada, mekanik özelliklerdeki değişim takip edilmediği için su emme ile saptanan bu avantajın mekanik özelliklerde ne kadar kayba sebep olduğunu söylemek zordur. Literatürdeki çalışmalar genellikle

tanecik boyutunun etkisi genelde göz ardı edilmiştir. Ne reçine, ne de fiber türüne bağlı olarak kullanılan dolgunun etkisi tartışılmamıştır. Ancak dolgu malzemesini su emme davranışı üzerindeki etkisi anlaşılacak isteniyorsa, yüzeye yakın bölgelerde nano taneciklerin seçimli olarak fiber tabakası tarafında süzülmesinin yaratacağı etkinin mutlaka göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Ancak bu şekilde hidrofobik nano parçacıkların kompozitlerde su emme davranışı üzerine etkisi hakkında bir şey söylemek mümkün olacaktır.

Nano boyuttaki malzemenin kompozit matrisine eklenmesi ile ilgili çalışmaların sayısı son yıllarda önemli ölçüde artmıştır ve nano parçacıkların kompozit malzemeye eklenmesiyle kompozit bilimi için yeni bir dönemin başladığını söylemek mümkündür. Nano parçacık kullanımındaki esas fayda, bu boyuta inildiğinde yüzey alanının toplam hacme oranının artmasıdır. Artan yüzey alanı ile parçacığın yüzeyine yakın olan atomların sayısı katlanarak artmakta ve böylece yüzde fonksiyonel grupların yaratacağı etki mikro ve makro parçacıklara kıyasla önemli ölçüde etkin hale gelmektedir. Su emme özelliği dışında diğer birçok özelliğin kompozit malzemelerde değiştirilmesi bu katkılarla mümkün olacak ve gelişmiş özellikteki kompozitler kendilerine yeni uygulama alanları bulabilecektir. Kil nano parçacıkları, malzemeleri daha güçlü, daha hafif, daha dayanıklı ve genellikle şeffaf yapabilmesi nedeniyle ABD otomotiv endüstrisinde çoktandır kullanılmaktadır. Nano gözenekli silika en önemli nano dolgulardan biridir ve gelişmiş yalıtım malzemelerin üretiminde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Düşük yoğunluklu, yüksek gözenekli bu katı, buzdolapları ve derin donduruculardan boru izolasyonuna kadar birçok alandaki uygulamalarla, geniş bir sıcaklık aralığı içinde kullanılabilir. Mikroelektronik endüstrisinde giderek önemi artan, düşük elektrik sabitli yalıtım malzemesi olarak nano katkılı ürünler büyük ümit vaat etmektedir. Kaplamalar nano dolguların yaygın şekilde kullanıldığı önemli bir uygulamalardır. Özellikle nano-tabanlı self-assembling monolayerlardan yapılmış kaplamalar, cam için çizilmeye dayanıklı uygulamalardan kendi kendini temizleyen yüzeylere kadar birçok alanda kendilerine kullanım alanı bulabilmektedir. Bu çalışma ile elde edilecek bulguların yalnızca kompozit alanında değil nano malzemenin kullanıldığı birçok alanda yaygın bir etki yapması beklenmektedir.

### 3. GEREÇ VE YÖNTEM

#### 3.1 Kullanılan Malzemeler

##### ▪ Epoksi Reçine

Duratek firmasından temin edilen Duratek 1000 türü epoksi reçine DTS1100 türü sertleştirici kullanılmıştır. Bu reçinelerin özelliği su ile temas eden uygulamalar (tekne yapımı gibi) için üretilmiş olması ve yüksek çapraz bağ yoğunluğuna sahip olmasıdır.

##### ▪ Poliester Reçine

Baran Boya firmasında temin edilen izoftalik temelli poliester reçine kullanılmıştır.

##### ▪ Aerosil R812 ve Aerosil R972 nano silikalar

Dolgu malzemesi olarak EVONİK firmasından temin edilen ve 8 ile 12 nm parçacık büyüklüğüne sahip Aerosil R812 ve Aerosil R972 nano silikalar kullanılmıştır.

AEROSIL ® R 812, Hekzametildisilokzon ile son muamele bir dumanlı silikadır. Karmaşık sıvı sistemlerin reolojik kontrolünde ve suya dayanıklı, hidrofobik malzemelerin üretiminde kullanılır. Pigment stabilizasyonu, korozyona karşı koruma, anti-çökme ajanı, kaplama gibi uygulamalarda kullanıldığı bilinmektedir.

AEROSIL ® R 972 Dimetildikorosilan ile son muamele bir dumanlı silikadır. Bu, silikon kauçuk ve silikon dolgu malzemeleri, boyalar ve kaplamalar, baskı mürekkepleri ve toner, kablo bileşikler ve jeller, yapıştırıcılar ve bitki korunmasında kullanılır.

##### ▪ Karbon kumaş

Karbon kumaş Denizli ilinde bulunan Spinteks Tekstil İnşaat A.Ş firmasından satın alınmış olup Çizelge 3.1’de verilen özelliklere sahiptir.

##### ▪ Cam kumaş

Cam kumaş “kompozit.net” internet sitesinden alınmış olup, 80 g/m<sup>2</sup> ’ özelliğe sahip düz dokunmuş bir yapıya sahiptir.

**Çizelge 3.1** Karbon kumaşın bazı özellikleri

<b>Karbon Kumaş</b>	<b>Özellikleri</b>
Ağırlık	200 g/m <sup>2</sup> ±%3
Model	Düz
Eğrilik	5/cm
Atkı	5/cm
Genişlik	100/127 cm
İplik	Dowaksa Carbon A 38
Gerilme direnci	3800 MPA/552 KSI
Test yöntemi	ISO 10618
Kalınlık	0.20±%5

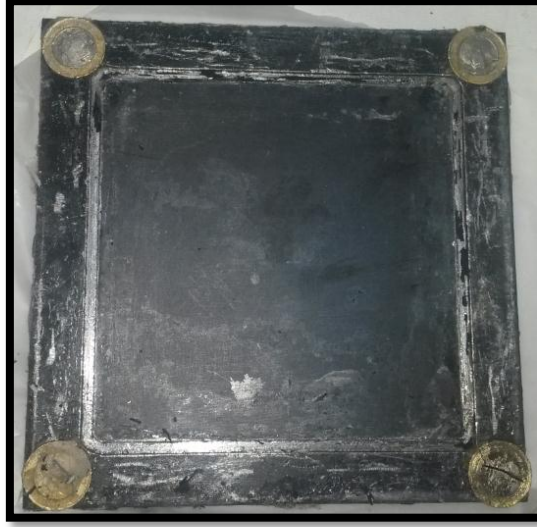
### 3.2 Yöntem

Kompozit örneklerinin 80 °C ve 5 ton basınç altında kalıplanabilmesi için ihtiyaç duyulan sıcaklık kontrollü pres TÜBİTAK tarafında sağlanan destekle satın alınarak Afyon Kocatepe Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü laboratuvarına kurulmuştur (Şekil 3.1).



**Şekil 3.1** Örneklerin kalıplanmasında kullanılan sıcaklık kontrollü pres

Numenelerin yüksek sıcaklık ve basınç altında şekillendirilmesi için kullanılacak olan paslanmaz çelik kalıplar freze kullanılarak proje önerisinde verilen modele uygun olarak hazırlanmıştır. 20x20 cm ebatlarında kesilen çelik plakaya 2.5 cm O-ring yerleştirilebilecek kare bir kanal açılmış ve O-ring ile çerçevelenen 15x15 cm ebatlarındaki bu alan kompozitin sıkıştırılarak kalıplanmasında kullanılmıştır (Şekil 3.2).



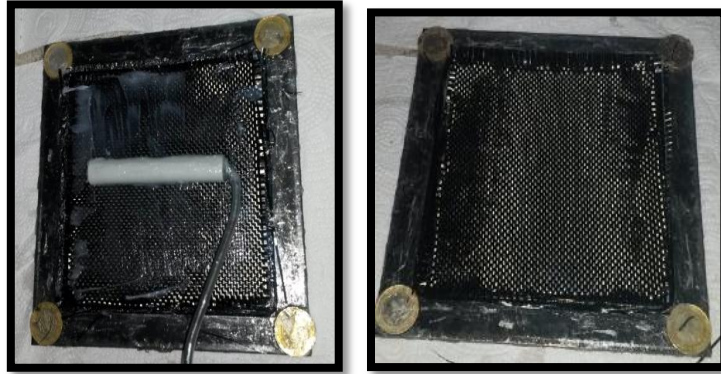
**Şekil 3.2** Kompozit örneklerinin hazırlanmasında kullanılan kalıp

Kalıpta kullanılan O-ringin çapı 0.5 cm dir ve bunun 0.2 cm si kalıba oyulmuş olan kanalın içine gömülmüştür. Bu kalıplamanın gerçekleştireceği 0.3 cm yüksekliğinde bir alan oluşturmaktadır. Ancak örneğin son kalınlığını belirleyen şey kalıp plakaları arasına yerleştirilmiş olan 0.3 cm kalınlığındaki metal parçalardır. Bu şekilde bütün numunelerin kalınlığının aynı olması sağlanmıştır (Şekil 3.3).



**Şekil 3.3** O-ring ile çevrelenmiş olan kumaş ve reçine karışımının içene konulduğu bölüm

Sınırlanan bu bölgenin tabanına önce bir parça 15x15 cm ebatlarında yapışmayan film ve onun üzerine 15x15 cm ebatlarında karbon veya cam fiber kumaş yerleştirilmiştir. Nano silika ve reçine farklı oranlarda karıştırılarak ve bu karışım fiber kumaşın üzerine eklenmiştir. Dolgu ve reçine karışımı kalıp boşluğuna rulo ile yayıldıktan sonra, bir parça 15x15 cm ebatlarında fiber kumaş ve yapışmayan film karışımının üzerine konulmuştur (Şekil 3.4).



**Şekil 3.4** Kumaş, dolgu/reçine sistemi kullanılarak hazırlanan örneğin pres işlemi öncesi fotoğrafı

Homojen bir karışım elde etmek için nano silika ve reçine her defasında aynı devir hızında 1 dakika boyunca mikser içinde karıştırılarak, başlatıcı kalıplama işleminden hemen önce mikser eklenerek kalıba konulmadan karışımın kurlaşması engellenmeye çalışılmıştır. Cam ve karbon fiber destekli örnekler, ısıtıcılı pres yardımıyla 80 °C'de 1 saat kalıplanmıştır (Şekil 3.5).



**Şekil 3.5** Presten çıkarılan örneğin resmi

Hazırlanan numunelerin kodlamaları Çizelge 3.2’de yer almaktadır.

**Çizelge 3.2** Numunelerin kodlamaları

REÇİNE + FİBER	Dolgu İçermeyen	Aerosil R 812		Aerosil R 972	
		%3 dolgu içeren	%5 dolgu içeren	%3 dolgu içeren	%5 dolgu içeren
<i>Epoksi+Cam</i>	DIEG	EPG8123	EPG8125	EPG9723	EPG9725
<i>Polyester+Cam</i>	DIPG	PEG8123	PEG8125	PEG9723	PEG9725
<i>Epoksi+Karbon</i>	DIEC	EPC8123	EPC8125	EPC9723	EPC9725
<i>Polyester+Karbon</i>	DIPC	PEC8123	PEC8125	PEC9723	PEC9725

İki farklı tanecik boyutuna sahip nano silika farklı oranlarında poliester ve epoksi reçine ile birleştirilerek 15x15 cm boyutunda üretilen kompozit örneği su jeti kullanılarak 1x7 cm boyutlarında test numunelerine dönüştürülmüştür (Şekil 3.4).



**Şekil 3.4** Su jetinde kesilerek hazırlanan test numuneleri

Her bir örnekten elde edilen test numunelerinde 5 tanesine su içine daldırmadan doğrudan üç nokta eğme testi uygulanmış olup, test sonunda kalan parçalar ise FTIR, SEM, DSC, TGA ve temas açısı analizlerinde kullanılmıştır. Kalan 55 örnek saf su içinde daldırılarak ve her bir ay sonunda bunlardan 5’i saf sudan çıkarılarak kimyasal, fiziksel, termal ve mekanik testlerine tabi tutulmuştur.

### **3.2.1 Su emme testleri**

Elde edilen bütün numunelerin 11 aylık süreç için suya daldırılmasından önce hassas terazide ağırlıkları ölçülmüştür. Her bir ay sonunda sudan çıkan numuneler tekrar hassas terazide tartılmıştır. Aradaki ağırlık artışı yardımıyla numunelerin % su emme oranları hesaplanmıştır.

### **3.2.2 Temas açısı ölçümleri**

Hazırlanan kompozit numunelerinin her birine ay sonunda Asılı Damla Metodu (Pendant Drop Method) yöntemi ile KUS Attension marka ve Teta Lite TL101 Optical Tensiometer modeli temas açısı ölçüm cihazı ile analizi yapılmıştır.

### **3.2.3 Üç nokta eğme dayanımı testleri**

Üç nokta eğme testleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümünde bulunan SHIMADZU AG-IS 100 kN üniversal test cihazında hizmet alımı yapılarak gerçekleştirilmiştir. Üç nokta eğme testleri 6.5 cm destek açıklığı kullanılarak 2 mm/dk lık bir hızda gerçekleştirilmiş olup ve sonuçlar 5 örneğin ortalaması alınarak elde edilmiştir.

### **3.2.4 FTIR testleri**

1x7 cm ebatlarındaki test numunelerinin FTIR analizleri hizmet alımı yapılarak İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezinde gerçekleştirilmiş, örnekler Perkin Elmer Spectrum One marka FTIR cihazı kullanılarak 680-4000  $\text{cm}^{-1}$  aralığında ATR aparatında analiz edilmiştir.

### **3.2.5 TG-DSC ölçümleri**

TG-DSC ölçümleri hava atmosferinde  $10^0\text{C/dk}$  ısıtma hızında Afyon Kocatepe Üniversitesi bünyesinde bulunan Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde NETZSCH STA 449F3 Jüpiter marka cihaz ile gerçekleştirilmiştir.

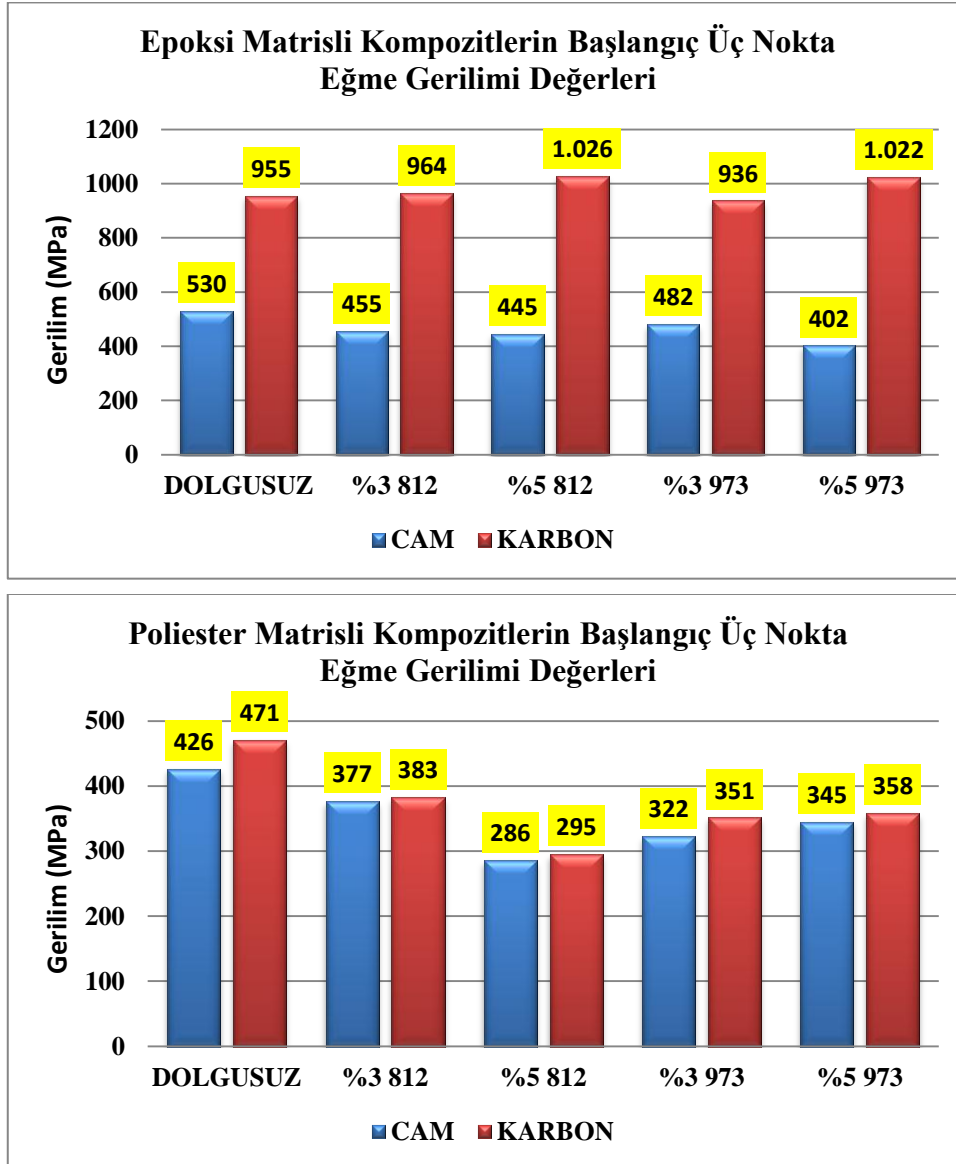
### **3.2.6 SEM Analizleri**

Kompozit numunelerinin SEM görüntüleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan LEO 1430 VP model SEM cihazı kullanılarak alınmıştır.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1 Su Emme Testlerine Tabi Tutulmamış Örneklerin Üç Nokta Eğme Dayanımı Testleri

Aşağıdaki şekilde dolgu içermeyen ve farklı oranlarda Aerosil R 812 ve R 973 içeren örneklerin 3 nokta eğme dayanımı değerleri verilmiştir.

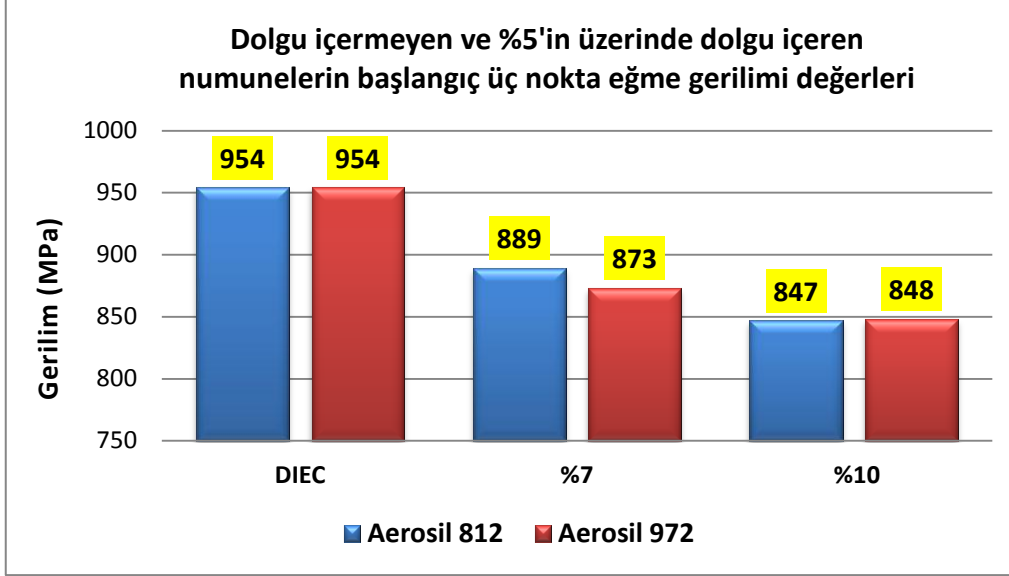


Şekil 4.1 Epoksi ve poliester temelli kompozitlerin üç nokta eğme dayanımı değerleri

Sonuçlar, poliester matrisli kompozitlere dolgu katkısının mekanik özellikleri zayıflattığını göstermektedir. Cam fiberli dolgu içermeyen örneğin 426 MPa olan 3 nokta eğme dayanımı değeri dolgu katılmasıyla (%3 812, %5 812, %3 972 ve %5 972 katılmasıyla) sırasıyla 377, 286, 322 ve 345 MPa değerlerine düşmüştür. Benzeri şekilde karbon fiberli dolgu içermeyen örneğin 471 MPa olan 3 nokta eğme dayanımı değeri dolgu katılmasıyla (%3 812, %5 812, %3 972 ve %5 972 katılmasıyla) sırasıyla 383, 295, 351 ve 358 MPa değerlerine düşmüştür.

Epoksi matrisli kompozitlerde ise cam fiber destekli kompozitlerin dolgu katkısıyla 3 nokta eğme dayanımı değerleri azalırken, karbon fiber destekli kompozitlerin 3 nokta eğme dayanımı değerleri ya aynı kalmış yada artmıştır. Cam fiberli dolgu içermeyen örneğin 530 MPa olan 3 nokta eğme dayanımı değeri dolgu katılmasıyla (%3 812, %5 812, %3 972 ve %5 972 katılmasıyla) sırasıyla 455, 445, 482 ve 402 MPa değerlerine düşmüştür. Ancak karbon fiber destekli kompozitlerde dolgu içermeyen örneğin 955 MPa olan 3 nokta eğme dayanımı değeri %3 ve %5 oranında Aerosil R812 katılmasıyla 964 ve 1026 MPa değerlerine yükselmiş benzeri şekilde %3 ve %5 oranlarında Aerosil R972 katılmasıyla sırasıyla 936 ve 1022 MPa lık 3 nokta basma dayanımı değerleri elde edilmiştir.

Epoksi matrisli karbon kumaş destekli kompozitlerdeki dolgu miktarının %5'in üzerine çıkmasıyla birlikte 3 nokta eğme dayanımı değerlerinde azalma başlamıştır. Dolgu içermeyen epoksi matrisli karbon kumaşlı kompozit için 954 MPa ola değer %7 oranında Aerosil R812 eklenmesiyle 889 MPa'a ve %10 Aerosil R812 eklemesiyle 847 MPa'ya düşmüştür. Benzeri şekilde %7 Aerosil R972 katkılı kompoziti 3 nokta eğme dayanımı değeri 873 MPa'a ve %10 katkılı kompozit için bu değer 848 MPa'a gerilemiştir. Söz konusu değerlere ilişkin grafik Şekil 4.2'de verilmiştir.

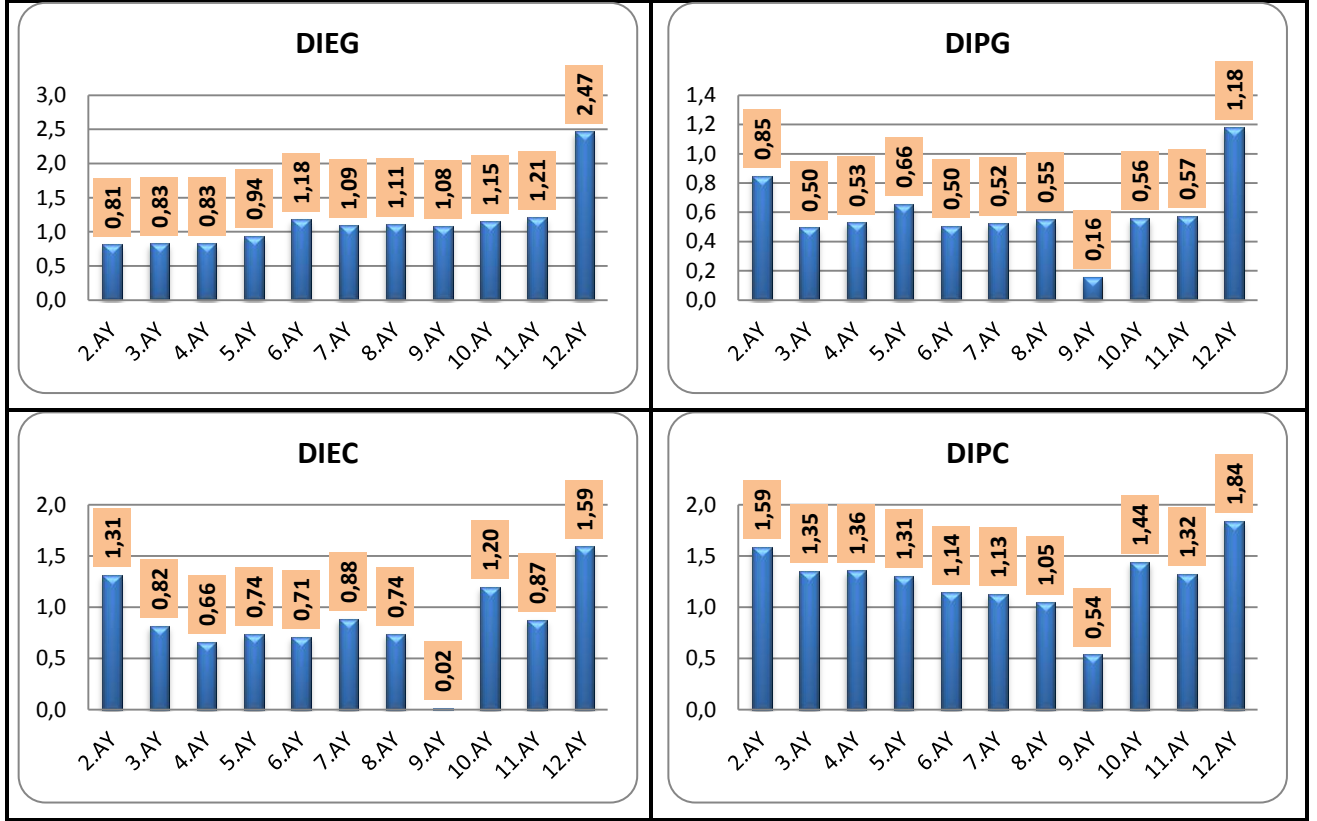


**Şekil 4.2** %5 üzerindeki dolgu oranlarında üç nokta eğme dayanımı değerleri

Bu yüzden yapılacak 3 Nokta eğme, SEM, DSC-TG ve FTIR ölçümleriyle endüstriyel olarak kullanımı daha mantıklı olan %3 ve %5 oranında dolgu içeren karbon fiber katkılı epoksi matris kompozitlerin su emme davranışının aydınlatılması tercih edilmiştir.

#### 4.2 Kompozit Örneklerinin % Su Emme Davranışı

Her ne kadar 3 nokta eğme dayanımı değerleri açısından bakıldığında hidrofobik nano dolgu katkısının yalnız epoksi matrisli karbon kumaş takviyeli kompozitler için mekanik dayanım değerlerini bozmadan %3 ve %5 oranlarında kullanılabileceği görülse de, poliester matris ve cam kumaş içeren kompozitlerin su emme davranışını azaltıp azaltmayacağına incelenmesinde oldukça önemlidir. Aşağıda 11 ay boyunca saf su içinde bekletilen dolgu içermeyen numunelerin % su emme değerleri verilmiştir (Şekil 4.3).



**Şekil 4.3** Dolgu içermeyen karbon ve cam elyafla takviye edilmiş epoksi ve poliester reçineler ile hazırlanmış numunelerin % su emme oranları.

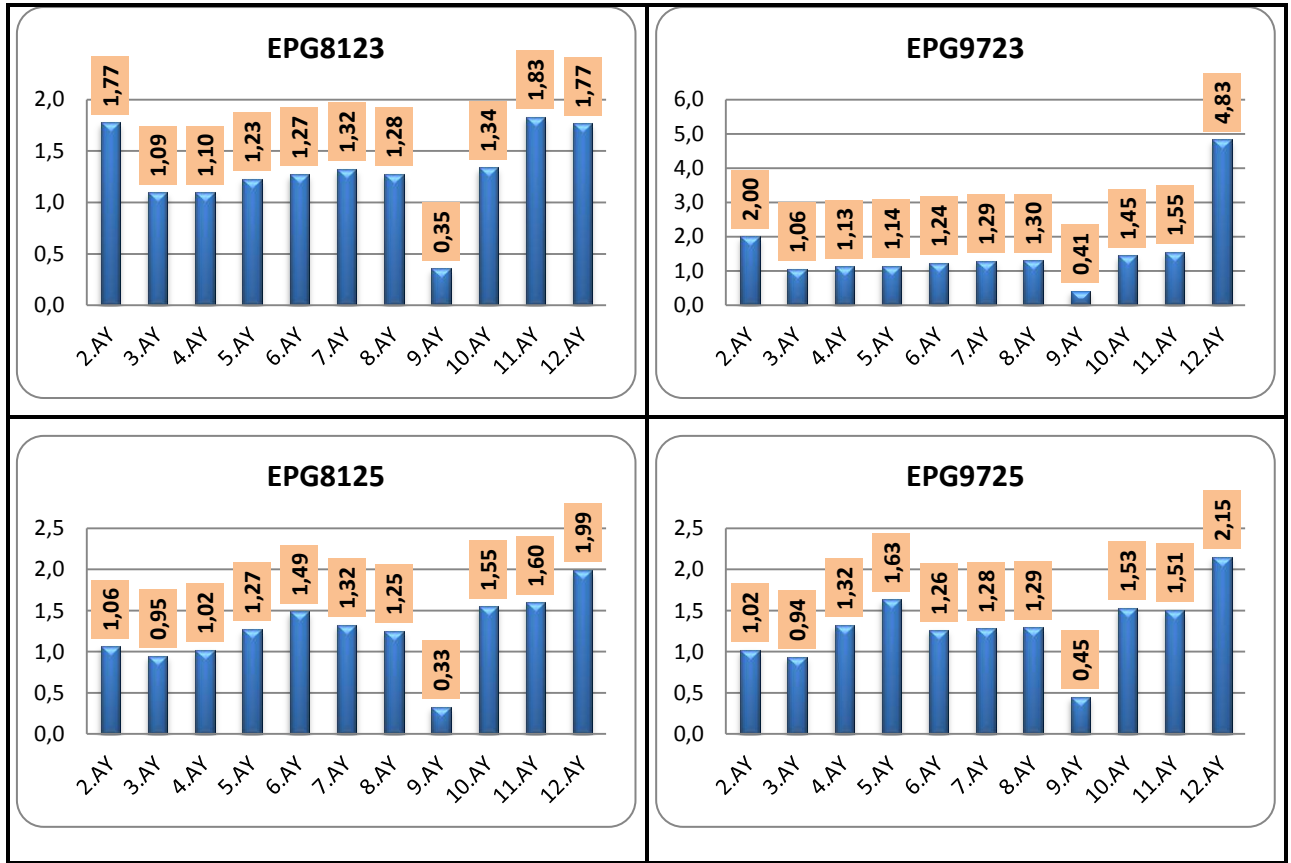
Karbon kumaş takviyeli örneklerin 2, 9 ve 12. ay verileri göz ardı edildiğinde su emme olayının 3. ay sonunda dengeye ulaştığını ve 0,83 gibi bir ortalama değere sahip olduğu görülmektedir. Cam kumaş takviyeli örneklerde ise % su emme değerlerindeki artış 12 ay boyunca devam etmiş ve 12. ay verisi göz ardı edilecek olursa 11 ay sonunda 1,21 gibi bir değere ulaşmıştır. Bu sonuçlar göz önüne alındığında cam kumaş takviyeli örneklerin % su emme değerinin karbon kumaş takviyeli örneklerin % su emme değerinden daha yüksek olduğu görülmektedir.

Örneklerde su emme olayının 2. ay sonunda dengeye ulaştığı ve denge değerinin 2, 9 ve 12. aylar göz ardı edilecek olursa cam kumaş takviyeli örnekler için 0.55 olduğu görülmektedir. Karbon kumaş takviyeli örnek için 2, 9 ve 12. ay değerler, göz ardı edilecek olursa ortalama değer 1.26'dır

Dolgu içermeyen kompozit örneklerinin % su emme değerleri değerlendirildiğinde poliester reçinelerin cam kumaşla, epoksi reçinelerin ise karbon kumaşla desteklendiği

kompozit malzemelerin su ile temasın söz konusu olduğu uygulamalar için daha uygun olduğu görülmektedir.

Su emme ve temas açısı ölçümleri için %3 ve %5 oranlarında iki farklı dolgu maddesi içeren örnekler hazırlanmıştır. Dolgu maddesi türünün ve dolgu maddesinin kullanım oranının kompozit malzemenin su emme ve temas açısı değerleri üzerindeki etkisi de incelenmiştir. % 3 ve % 5 oranlarında dolgu içeren, epoksi reçine ile hazırlanmış cam fiber takviyeli kompozit numunelerinin 11 aylık periyottaki % su emme oranlarındaki değişim ise Şekil 4.4'de verilmiştir.

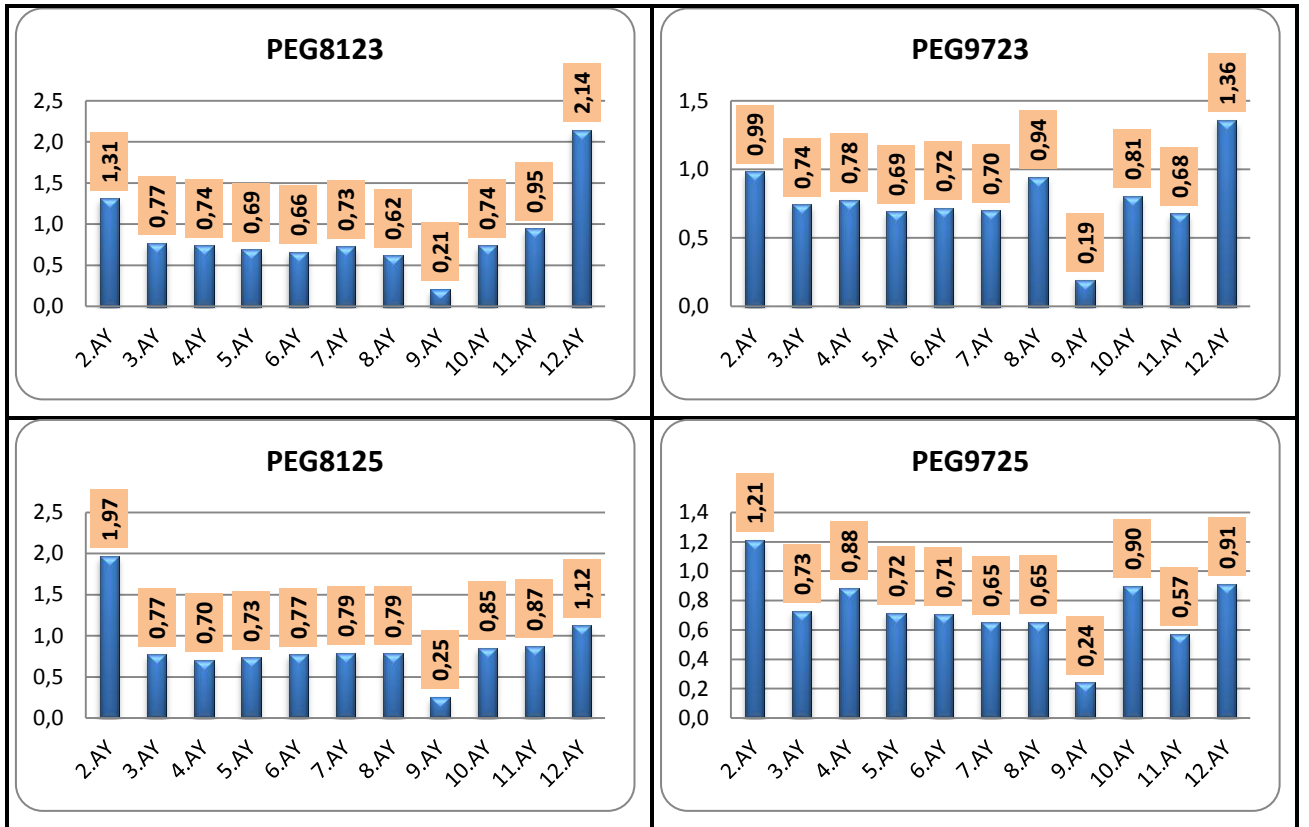


**Şekil 4.4** %3 ve %5 oranlarında Aerosil R812 ve Aerosil R972 türü nano-silika dolgu içeren cam elyafla takviye edilmiş epoksi reçine ile hazırlanmış numunelerin % su emme oranları.

Dolgu içermeyen örneklerde olduğu gibi bu örneklerde de 12 ay boyunca % su emme değerinde kısmi bir artış gözlenmektedir. Sapmaların olduğu 2, 9 ve 12. ay verileri göz ardı edilecek olursa 11. ay sonunda sırasıyla %3 Aerosil R812, %3 Aerosil R972, %5 Aerosil R812 ve %5 Aerosil R972 içeren örnek için % su emme değeri 1.83, 1.55, 1.60

ve 1,51'e ulaşmaktadır Dolgu içermeyen epoksi matrisli cam kumaş takviyeli kompozit örnekleri için 11.ay sonunda elde edilen 1.21 değeri göz önüne alındığında dolgu ilavesinin malzemenin su emme davranışı üzerine olumsuz etki yaptığı söylenebilir.

Aerosil R812 ve Aerosil R972 türü nano-silika miktarının % 3 ve % 5 oranlarında olduğu, poliester reçine ile hazırlanmış cam fiber takviyeli kompozit numunelerinin 11 aylık periyottaki % su emme oranlarındaki değişim ise Şekil 4.5'de verilmektedir.



**Şekil 4.5** %3 ve %5 oranlarında Aerosil R812 ve Aerosil R972 türü nano-silika dolgu içeren cam elyafla takviye edilmiş poliester reçine ile hazırlanmış numunelerin % su emme oranları.

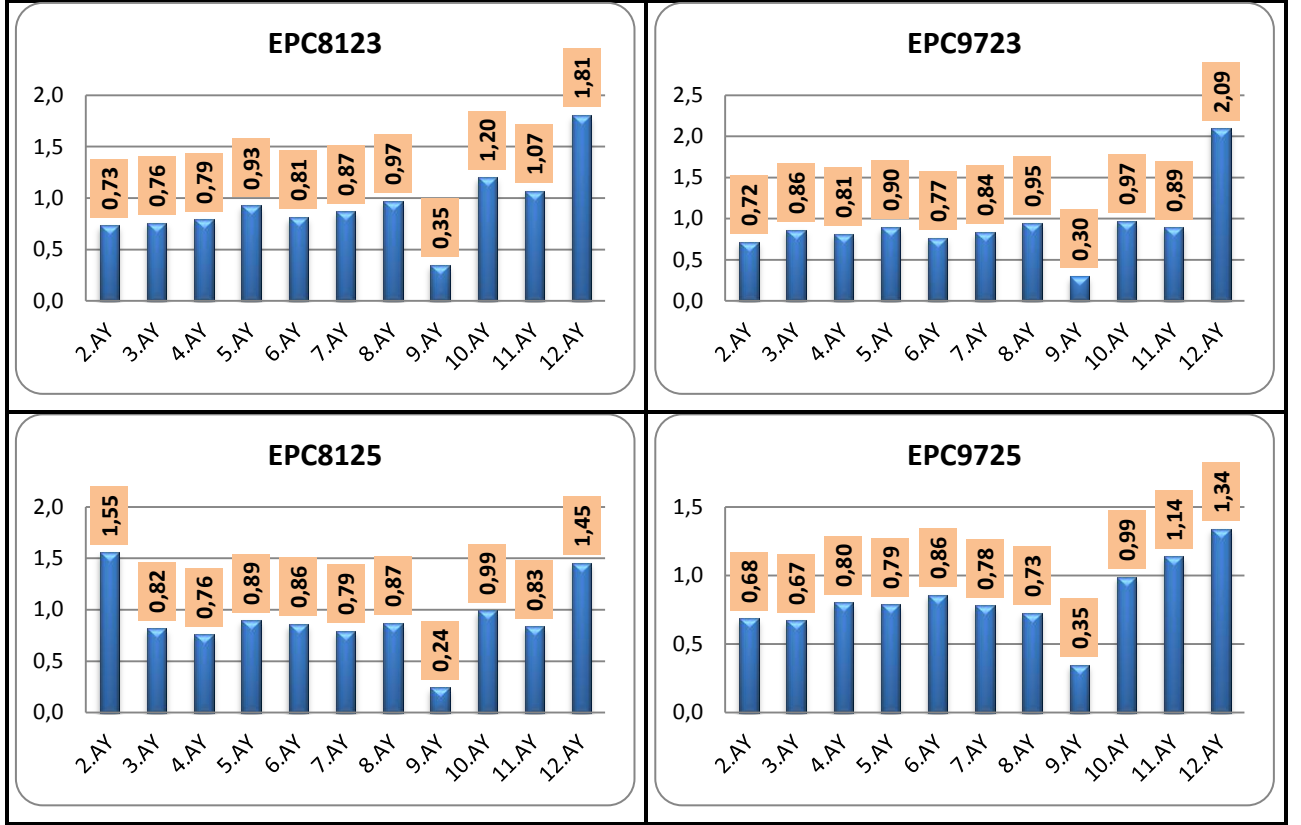
Cam kumaş takviyeli poliester matrisli kompozitlerde dolgu içermeyen numunelerde olduğu gibi 3. ay sonunda dengeye ulaşıldığı ufak dalgalanmalarla % su emme değerinin sabit kaldığı görülmektedir. Sapmaların olduğu 2, 9 ve 12. aylar göz ardı edilecek olursa sırasıyla %3 Aerosil R812, %3 Aerosil R972, %5 Aerosil R812 ve %5 Aerosil R972 içeren örnekler için 0.74, 0.75, 0.78 ve 0.73 değerlerine ulaşılmaktadır. Değerler kendi içinde değerlendirildiğinde %3 ve %5 lik dolgu oranlarının su emme değerleri açısından farklılık yaratmadığı görülmektedir. Sonuçlar dolgu içermeyen

poliester matrisli cam kumaş takviyeli kompozit örnekleriyle kıyaslandığında 0.55 olan % su emme değerinin 0.74'lere çıktığı gözlenmektedir. Bu dolgu ilavesinin kompozit örneklerinin su emme davranışı üzerinde olumsuz etki yarattığını göstermektedir.

Şekil 4.4 ve Şekil 4.5 karşılaştırıldığında poliester reçine kullanımında epoksi reçine kullanımına göre daha düşük değerlerde %su emme oranları ile karşılaşılmıştır. Dolgu içermeyen hallerinde ise aynı türden numunelerin poliester reçine ile hazırlanmış olanlarının epoksi reçine ile hazırlanmış olanlarına göre daha düşük % su emme değerleri elde edilmiştir. Şimdiye kadar verilmiş olan grafiklerden anlaşılıyor ki cam fiber takviyeli kompozit malzeme numunelerimizde nano-silika dolgunun varlığının % su emme oranları üzerinde bir etkisi bulunmamaktadır. Karbon fiber kullanılarak aynı şekilde hazırlanmış, epoksi reçine ve Aerosil R812 ile Aerosil R972 türü nano-silika kullanılmaları ile hazırlanan grafikler Şekil 4.6'da yer almaktadır.

Karbon kumaş takviyeli epoksi matrisli kompozitlerde dolgu içermeyen numunelerde olduğu gibi 3. ay sonunda dengeye ulaşıldığı ufak dalgalanmalarla % su emme değerinin sabit kaldığı görülmektedir. Sapmaların olduğu 2, 9 ve 12. aylar göz ardı edilecek olursa sırasıyla %3 Aerosil R812, %3 Aerosil R972, %5 Aerosil R812 ve %5 Aerosil R972 içeren örnekler için 0.92, 0.87, 0.85 ve 0.72 değerlerine ulaşılmaktadır.

Değerler kendi içinde değerlendirildiğinde %3 ve %5 lik dolgu oranlarının su emme değerleri açısından anlamlı farklılık yaratmadığı görülmektedir. Sonuçlar dolgu içermeyen epoksi matrisli karbon kumaş takviyeli kompozit örnekleriyle kıyaslandığında 0.83 olan % su emme değerinin anlamlı oranda değişmediği gözlenmektedir. Bu dolgu ilavesinin kompozit örneklerinin su emme davranışı üzerinde olumlu bir etki yaratmadığını göstermektedir.

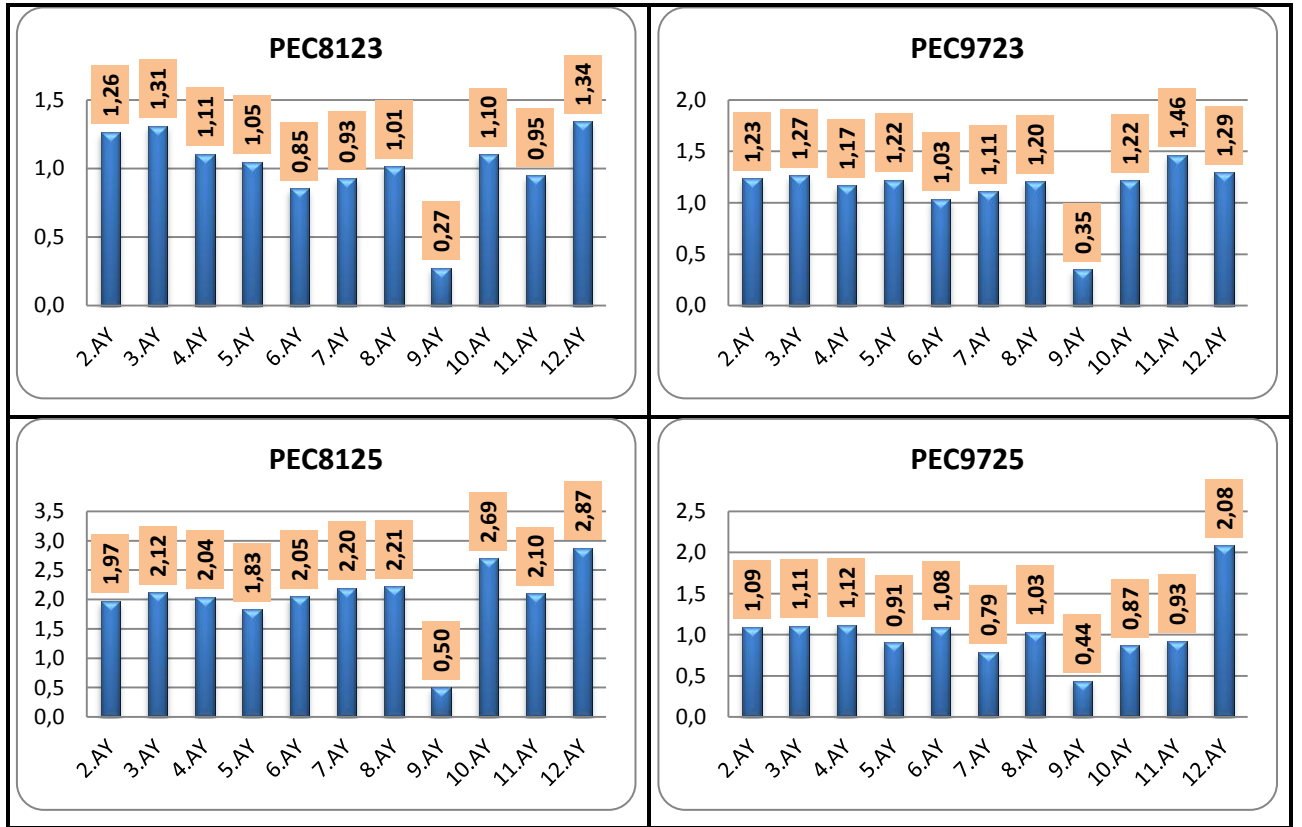


**Şekil 4.6** %3 ve %5 oranlarında Aerosil R812 ve Aerosil R972 türü nano-silika dolgu içeren karbon elyafla takviye edilmiş epoksi reçine ile hazırlanmış numunelerin % su emme oranları.

Karbon fiber takviyeli numunelerin matris malzemesi olarak poliester reçine kullanılmasında elde edilen grafikler de Şekil 4.7’de verilmiştir. Yine aynı şekilde dolgu miktarının ve türünün değişmesinde % su emme oranları çok etkilenmemiştir. Aynı numunelerin takviye malzemesi olarak cam kullanılanlarına göre karbon fiber takviyeli numunelerde daha yüksek değerlerde % su emme değerleri görülmüştür (Şekil 4.5 ve Şekil 4.7).

Karbon kumaş takviyeli poliester matrisli kompozitlerde dolgu içermeyen numunelerde olduğu gibi 3. ay sonunda dengeye ulaşıldığı ufak dalgalanmalarla % su emme değerinin sabit kaldığı görülmektedir. Sapmaların olduğu 2, 9 ve 12. aylar göz ardı edilecek olursa sırasıyla %3 Aerosil R812, %3 Aerosil R972, %5 Aerosil R812 ve %5 Aerosil R972 içeren örnekler için 1.04, 1.19, 2.03 ve 0.98 değerlerine ulaşılmaktadır. Değerler kendi içinde değerlendirildiğinde Aerosil R812 için dolgu oranının %3'ten %5 çıkmasıyla %su emme değerlerinde bir artış gözlenirken, Aerosil R972 için dolgu

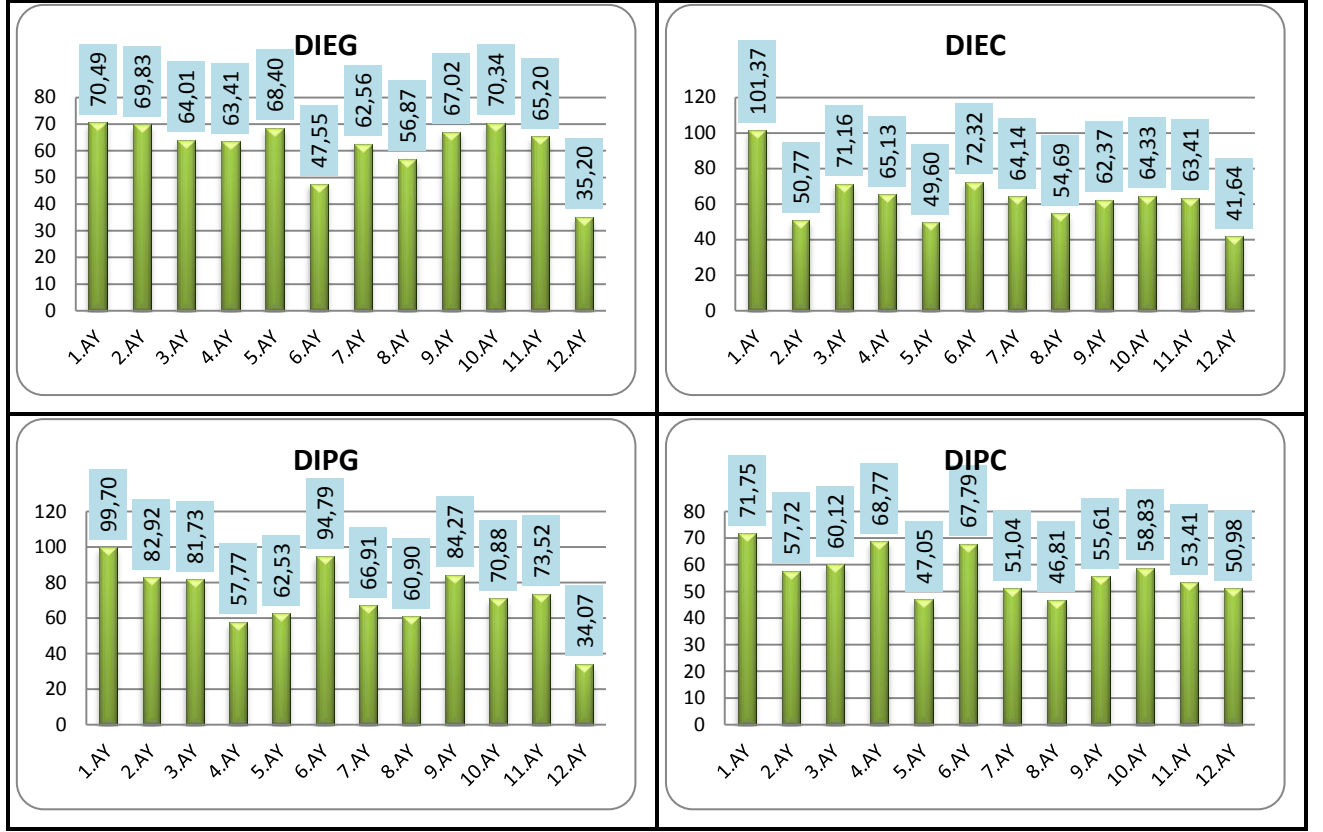
miktarının artmasıyla %su emme değerlerinde bir azalma söz konusudur. Yüksek dolgu oranlarında Aerosil R972' nin su emme özelliklerinin iyileştirilmesi için daha iyi bir dolgu olduğu görülmektedir. Sonuçlar dolgu içermeyen epoksi matrisli karbon kumaş takviyeli kompozit örnekleriyle kıyaslandığında 0.55 olan % su emme değerinde bir artış olduğu gözlenmektedir. Bu dolgu ilavesinin kompozit örneklerinin su emme davranışı üzerinde olumlu bir etki yaratmadığını göstermektedir.



Şekil 4.7 %3 ve %5 oranlarında Aerosil R812 ve Aerosil R972 türü nano-silika dolgu içeren karbon elyaf takviye edilmiş poliester reçine ile hazırlanmış numunelerin % su emme oranları.

### 4.3 Kompozit örneklerinin Temas Açısı Değerleri

Dolgu maddesi içermeyen, epoksi ve poliester reçine matrisli cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme numunelerinin temas açısı değerleri Şekil 4.8'de verilmiştir.



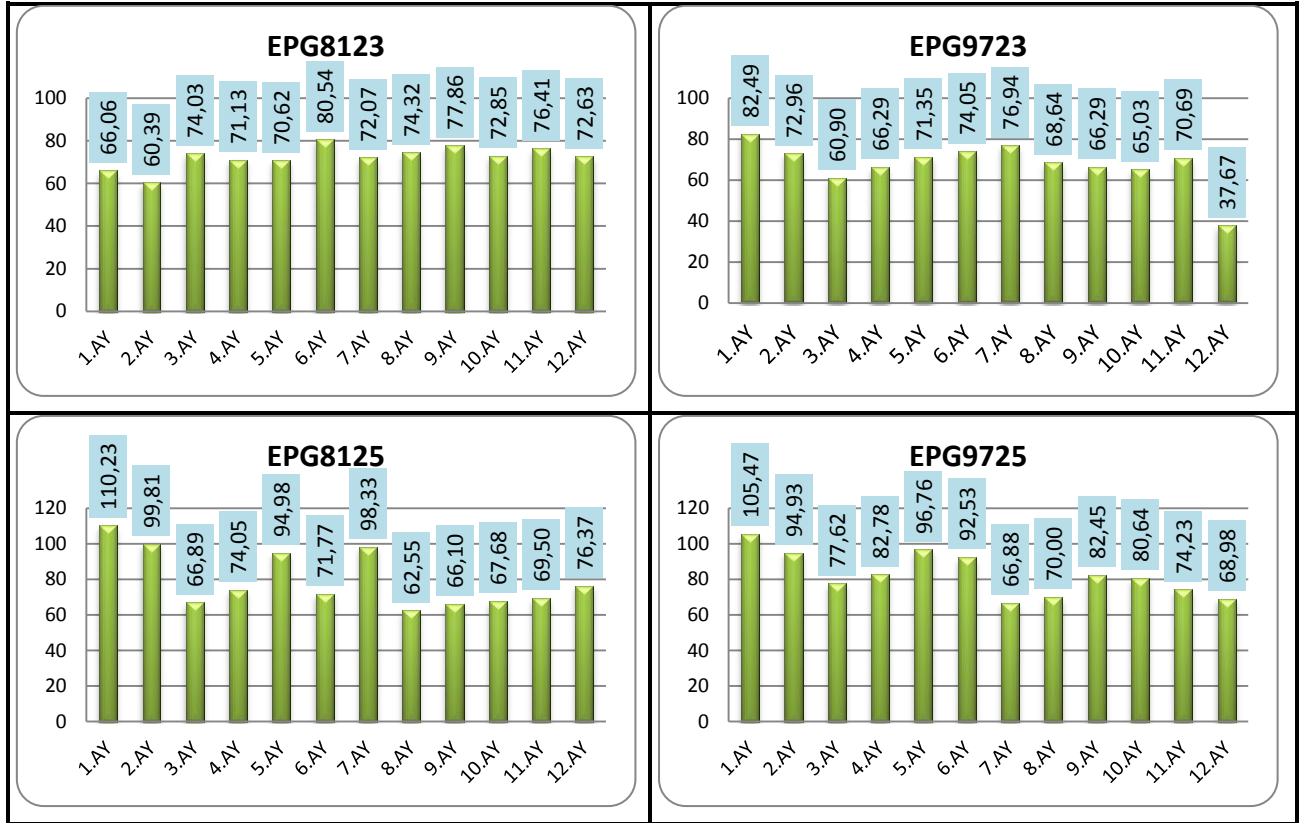
**Şekil 4.8** Dolgu içermeyen karbon ve cam elyafla takviye edilmiş epoksi ve poliester reçineler ile hazırlanmış numunelerin temas açıları.

Zamana bağlı düzenli bir artış ya da azalış gözlenmemektedir. Ortalama temas açısı değeri DIEG, DIEC, DIPG ve DIPC için sırasıyla 65.81, 63.41, 72.49, 57.49 dir.

Yukarıdaki temas açısı grafikleri incelendiğinde ise aylar arasında dalgalanma görülmektedir. Temas açısı ölçümünde yüzeyin pürüzsüz olmaması, kalıplama esnası sırasında oluşabilecek kirlilikler ya da malzeme de oluşabilecek kusurlar, değerler arasındaki dalgalanmalara yol açmış olabilir.

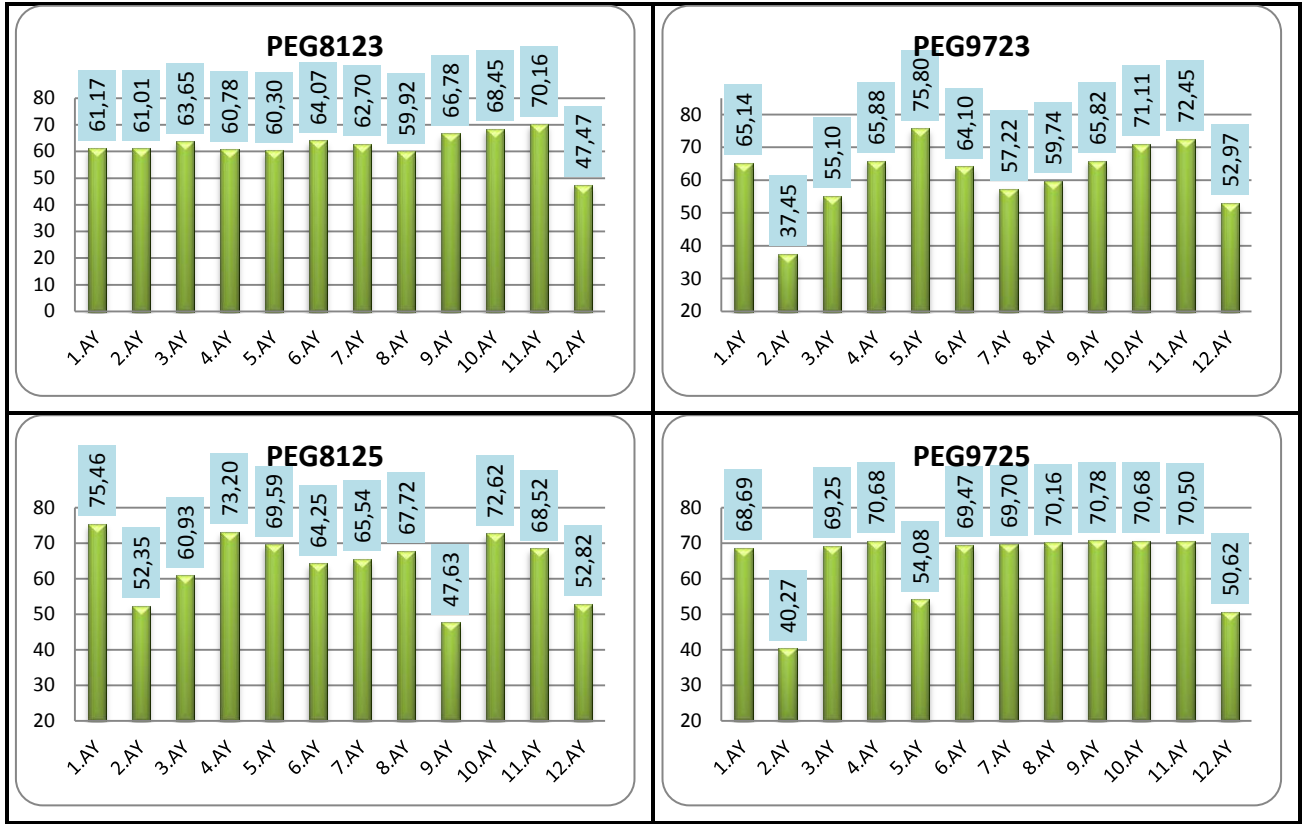
Aynı şekilde temas açısı değerleri Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de verilmektedir. Değerler arasındaki farklar çok büyük değildir ve ihmal edilebilir düzeydedir. Söz konusu grafiklerden çıkarılacak sonuç şudur ki, numunelerin suda kalma süresinin artmasıyla temas açısı değerlerinde değişim olmamaktadır.

Aynı şekilde numunelerin dolgu içermesi/içermemesi ya da epoksi reçine/poliester reçine içermesi gibi durumlarda temas açısı değerlerinde ihmal edilebilir düzeyde farklılıklar olmaktadır.



Şekil 4.9 %3 ve %5 oranlarında Aerosil R812 ve Aerosil R972 türü nano-silika dolgu içeren cam elyafla takviye edilmiş epoksi reçine ile hazırlanmış numunelerin temas açıları.

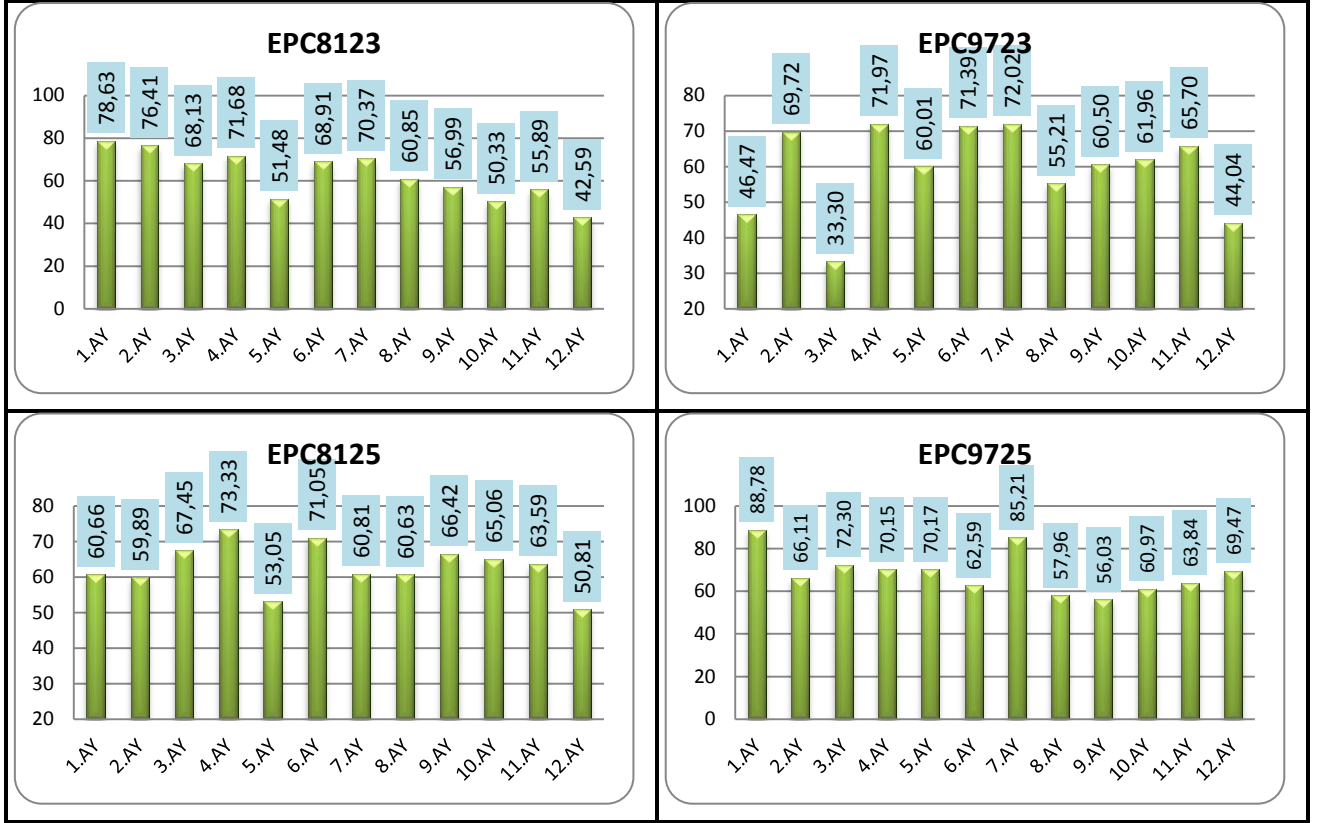
Dolgu içermeyen kompozit örneklerine benzer şekilde dolgu içeren cam kumaş destekli epoksi matrisli kompozitlerde de su emme sonucu temas açısı değerlerinde düzenli bir artış ya da azalış gözlenmemektedir. Ortalama temas açısı değerleri EPG8123, EPG9723, EPG8125 ve EPG9725 örnekleri için sırasıyla 72.41, 71.5, 79.85, 82.77 dir. Dolgu içermeyen örneklerle kıyaslandığında bu değerlerin daha yüksek olması dolgu içeren örneklerin beklendiği gibi daha hidrofobik olduğunu ve su emme sonucunda bu özelliklerini koruduklarını göstermektedir.



**Şekil 4.10** %3 ve %5 oranlarında Aerosil R812 ve Aerosil R972 türü nano-silika dolgu içeren cam elyafla takviye edilmiş poliester reçine ile hazırlanmış numunelerin temas açıları.

Dolgu içermeyen kompozit örneklerine benzer şekilde dolgu içeren cam kumaş destekli epoksi matrisli kompozitlerde de su emme sonucu temas açısı değerlerinde düzenli bir artış ya da azalış gözlenmemektedir. Ortalama temas açısı değerleri PEG8123, PEG9723, PEG8125 ve PEG9725 örnekleri için sırasıyla 63.54, 64.12, 68.65, 70.00 dir.

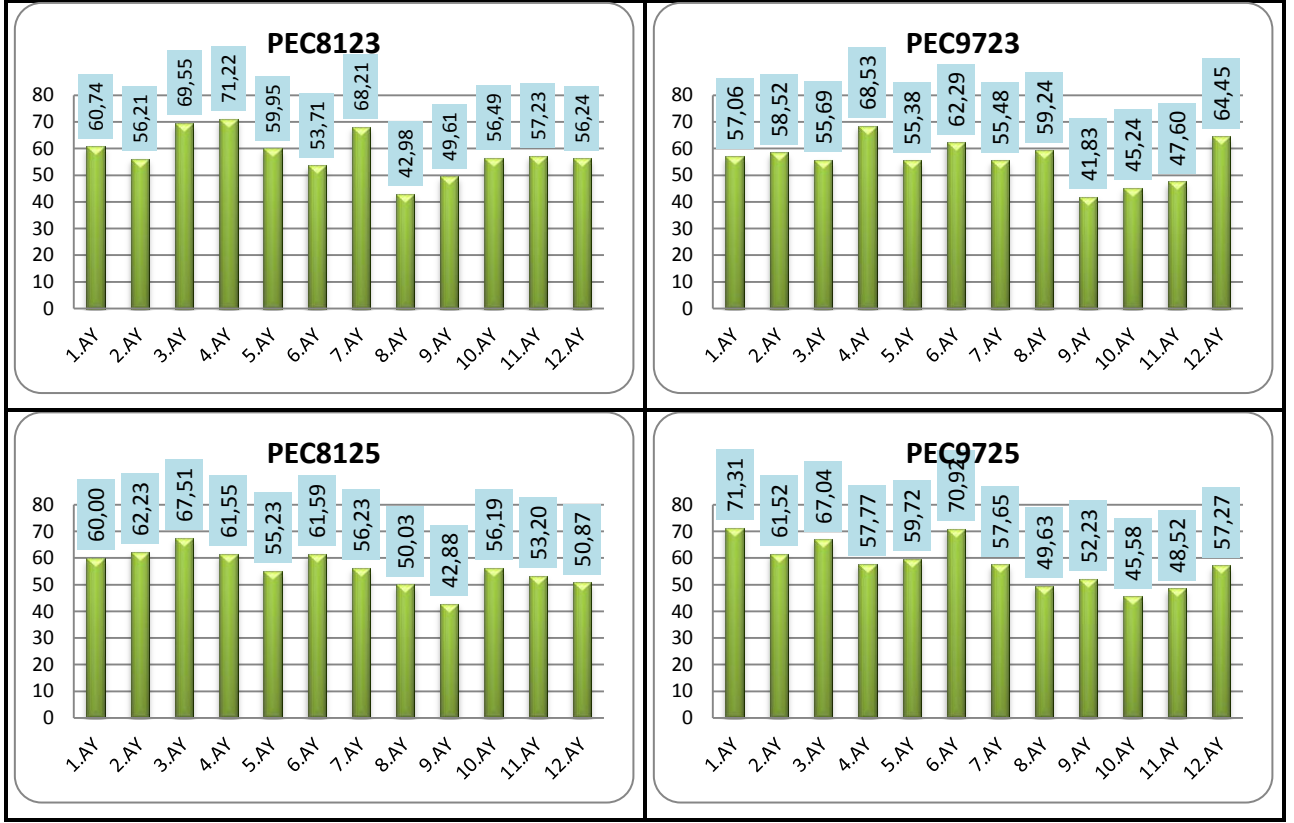
Dolgu içermeyen örneklerle kıyaslandığında cam kumaş destekli poliester matrisli kompozitlerin temas açısında anlamlı bir fark olmadığı görülmektedir. Beklenenin aksine hidrofobik dolguların katkısının örneklerde görülmemesinin sebebini kompozit örneklerinin yüzeyindeki pürüzlülüğün yüksek olmasıyla ilişkilendirmek mümkündür.



**Şekil 4.11** %3 ve %5 oranlarında Aerosil R812 ve Aerosil R972 türü nano-silika dolgu içeren karbon elyafla takviye edilmiş epoksi reçine ile hazırlanmış numunelerin temas açıları.

Dolgu içermeyen kompozit örneklerine benzer şekilde dolgu içeren cam kumaş destekli epoksi matrisli kompozitlerde de su emme sonucu temas açısı değerlerinde düzenli bir artış ya da azalış gözlenmemektedir. Ortalama temas açısı değerleri EPC8123, EPC9723, EPC8125 ve EPC9725 örnekleri için sırasıyla 62.69, 65.40, 62.73, 68.63 dir.

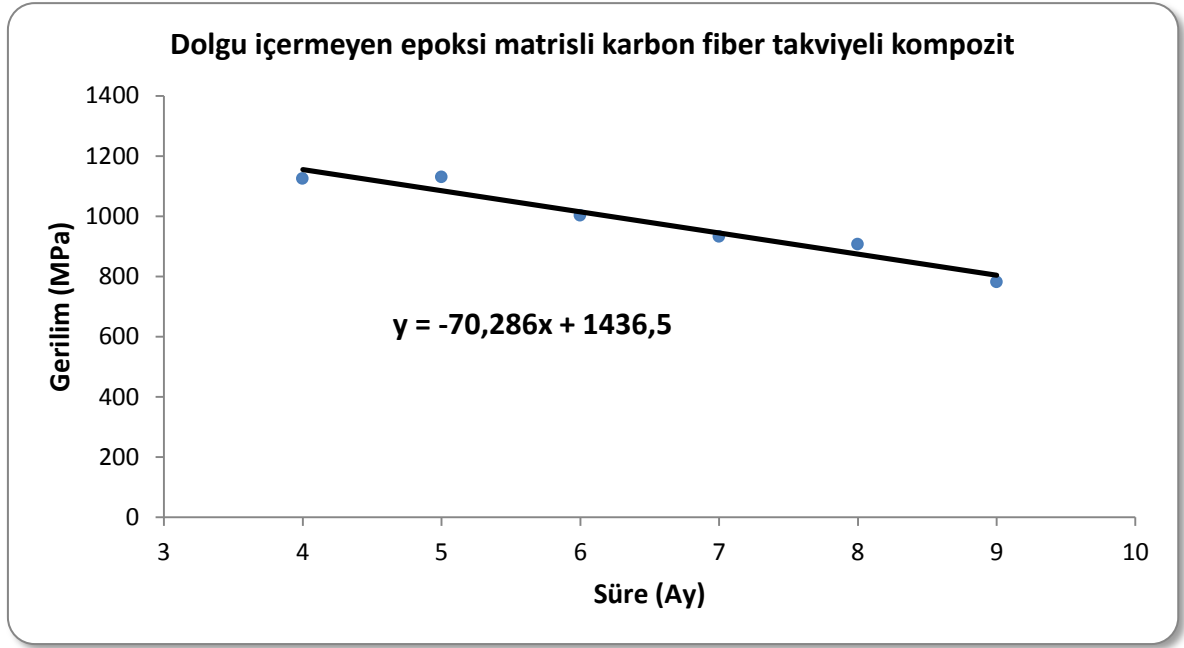
Dolgu içermeyen örneklerle kıyaslandığında karbon kumaş destekli epoksi matrisli kompozitlerin temas açısında anlamlı bir fark olmadığı görülmektedir. Beklenenin aksine hidrofobik dolguların katkısının örneklerde görülmemesinin sebebini kompozit örneklerinin yüzeyindeki pürüzlülüğün yüksek olmasıyla ilişkilendirmek mümkündür.



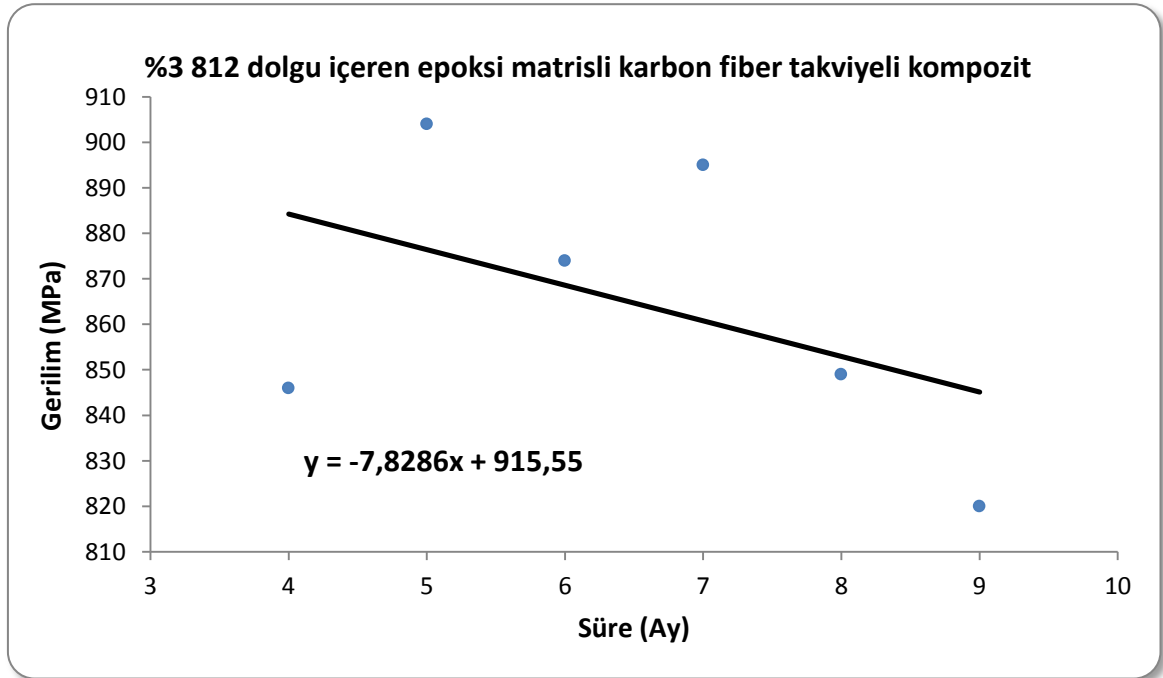
**Şekil 4.12** %3 ve %5 oranlarında Aerosil R812 ve Aerosil R972 türü nano-silika dolgu içeren karbon elyafla takviye edilmiş poliester reçine ile hazırlanmış numunelerin temas açıları.

Dolgu içermeyen kompozit örneklerine benzer şekilde dolgu içeren cam kumaş destekli epoksi matrisli kompozitlerde de su emme sonucu temas açısı değerlerinde düzenli bir artış ya da azalış gözlenmemektedir. Ortalama temas açısı değerleri PEC8123, PEC9723, PEC8125 ve PEC9725 örnekleri için sırasıyla 59.92, 57.22, 57.69, 58.26 dir.

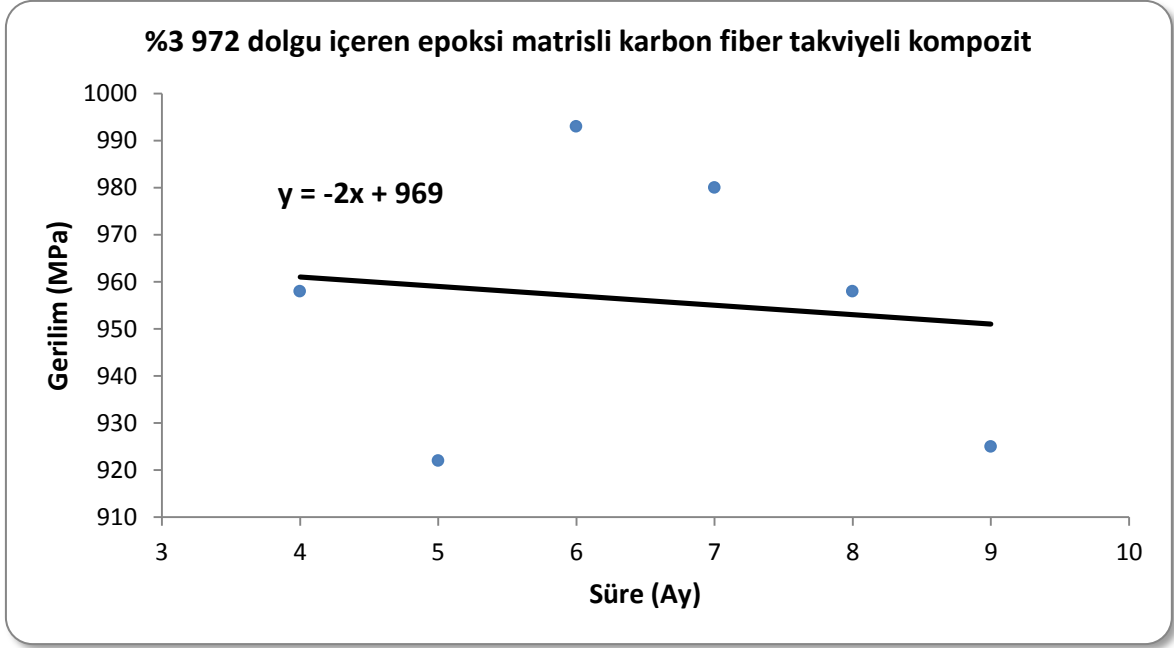
#### 4.4 Su İçinde Bekletilen Kompozit örneklerinin 3 Nokta Eğme Dayanımı Değerleri



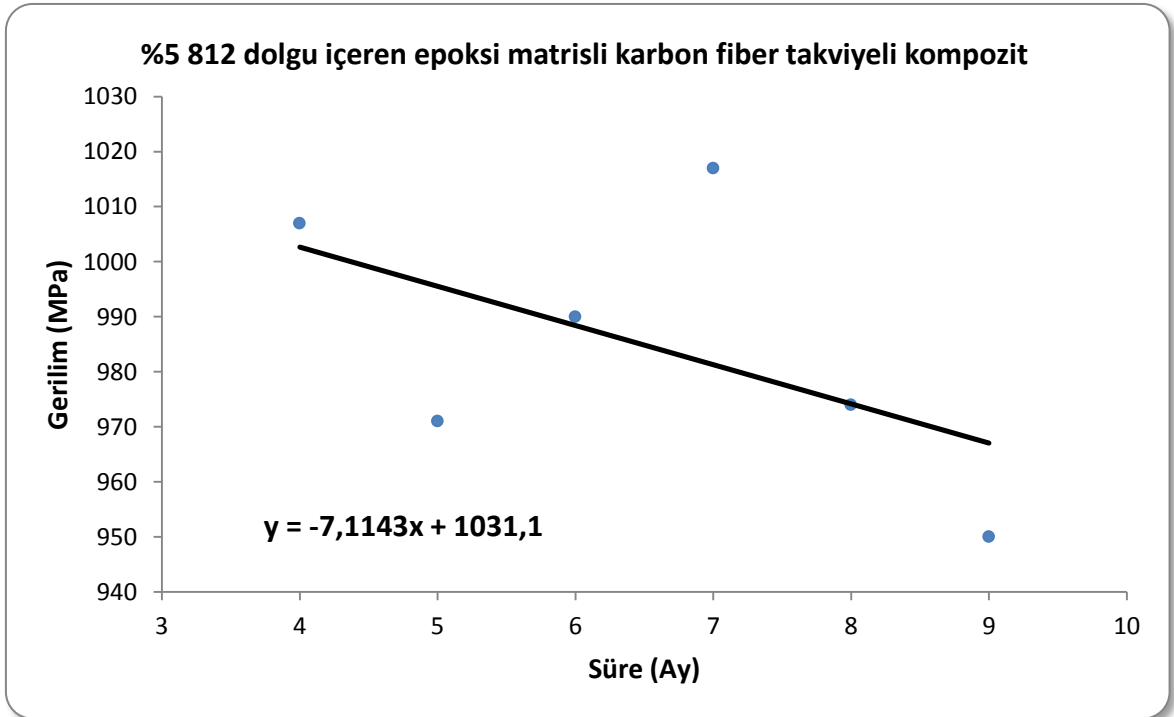
Şekil 4.13 Dolgu içermeyen epoksi matrisli karbon fiber takviyeli kompozit numunesinin eğme gerilimi.



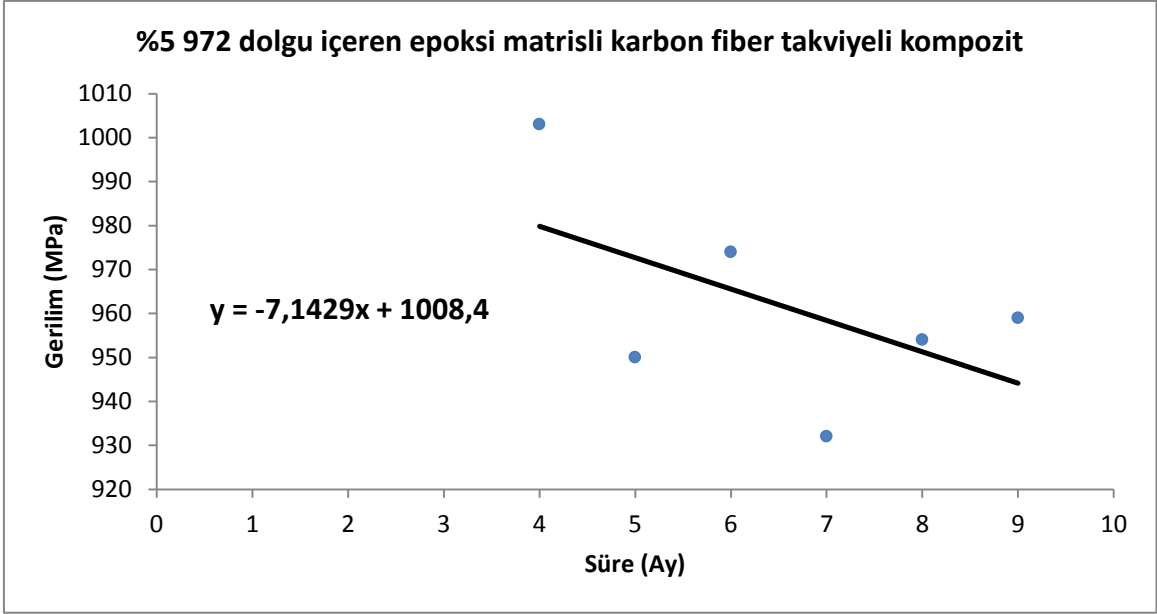
Şekil 4.14 %3 812 dolgu içeren epoksi matrisli karbon fiber takviyeli kompozit numunesinin eğme gerilimi.



Şekil 4.15 %3 972 dolgu içeren epoksi matrisli karbon fiber takviyeli kompozit numunesinin eğme gerilimi.



Şekil 4.16 %5 812 dolgu içeren epoksi matrisli karbon fiber takviyeli kompozit numunesinin eğme gerilimi.



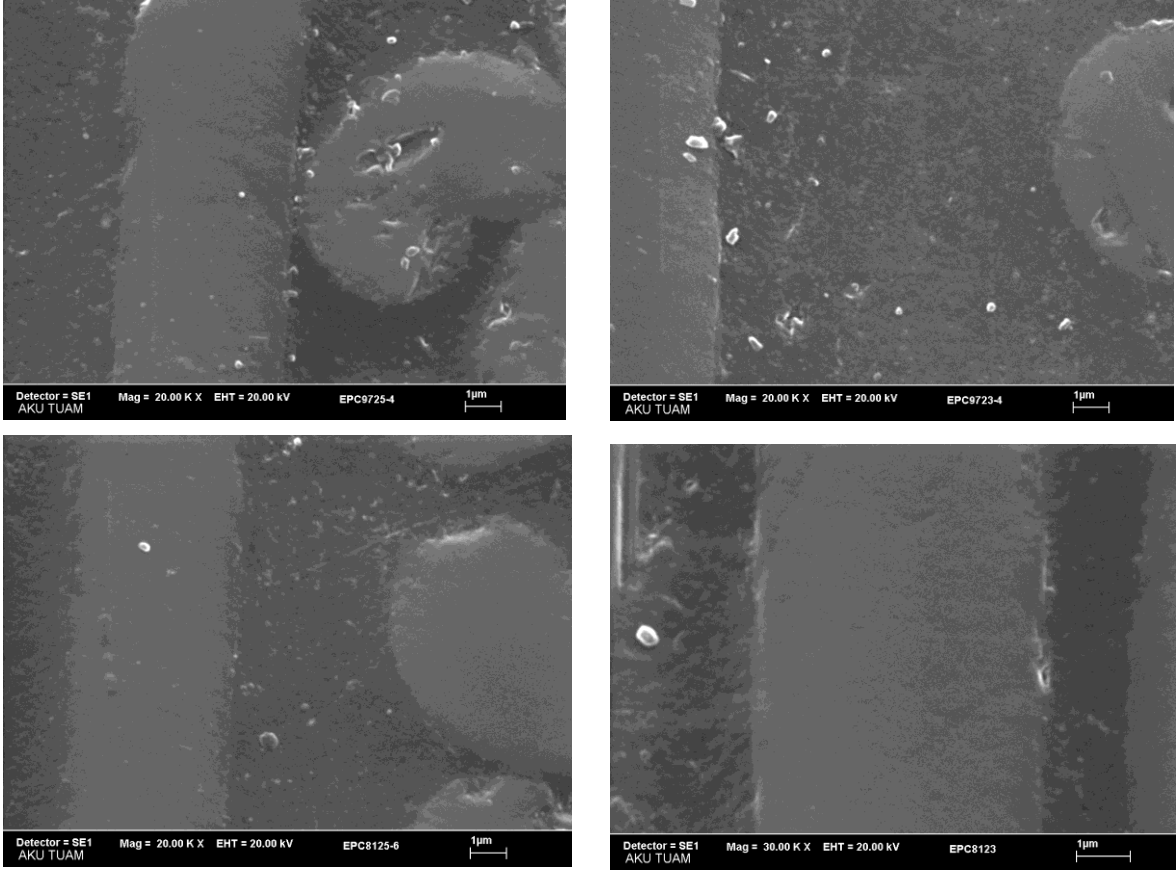
**Şekil 4.17** %5 972 dolgu içeren epoksi matrisli karbon fiber takviyeli kompozit numunesinin eğme gerilimi.

Aylara bağlı olarak mekanik dayanım değerlerindeki değişimi gösteren grafiklerde büyük dalgalanmalar görülse de, bütün grafiklerde genel eğilimin azalış yönünde olduğu görülmektedir. Bu su emme sonucu beklenen bir davranıştır. Örnekler arasında farklılık yaratan nokta mekanik dayanım değerlerindeki zamana bağlı değişim oranıdır.

Bu oranın mekanik dayanım-zaman grafiğinin eğiminden elde edilmesi mümkündür. Bu amaçla veriler bir doğru denklemine uydurulmuş ve bu doğrunun eğimi örneklerin su emme sonucu mekanik özelliklerindeki değişimi yorumlamak için kullanılmıştır.

Sonuçlar dolgu içermeyen örneğin mekanik özelliklerindeki zamana bağlı değişimin 70.29 MPa/Ay olduğunu göstermektedir. Bu değer dolgu katkısıyla birlikte EPC8123, EPC8125, EPC9723 ve EPC9725 numuneleri için sırasıyla 7.82, 7.11, 2.00 ve 7.14 değerlerine düşmüştür. Sonuçlar dolgu katkısıyla birlikte su emme sonucu mekanik özelliklerdeki azalmanın oldukça yavaşladığını göstermektedir. Sonuçlar kendi içinde değerlendirildiğinde Aerosil 812'nin %3 veya %5 oranında kullanılmasının önemli bir farklılık yaratmadığı görülmektedir. Ancak Aerosil 972'nin %3 oranında kullanılmasıyla hem %5 Aerosil 972 den hem de Aerosil 812'nin %3 ve 5'lik oranlarından daha etkin bir koruma sağlandığı görülmektedir.

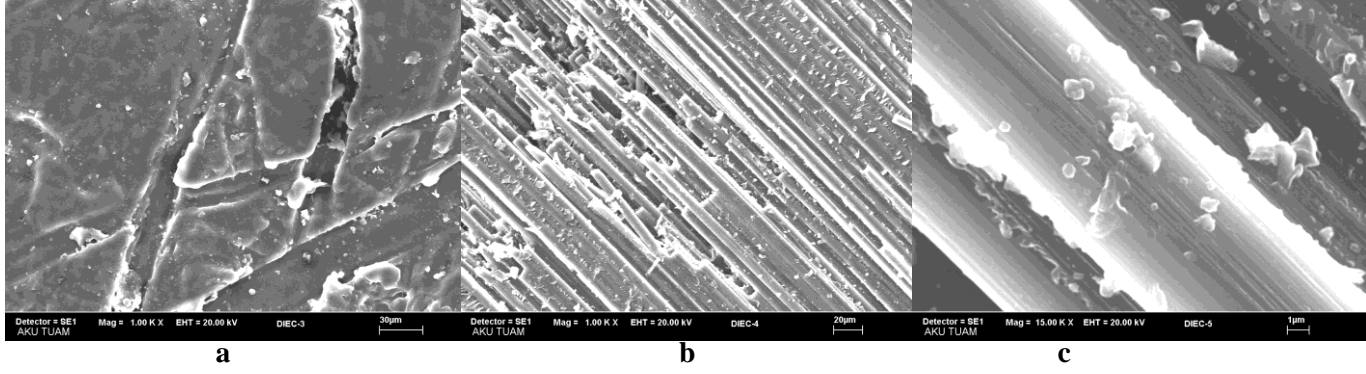
#### 4.5 Kompozit Örneklerinin SEM Görüntüleri



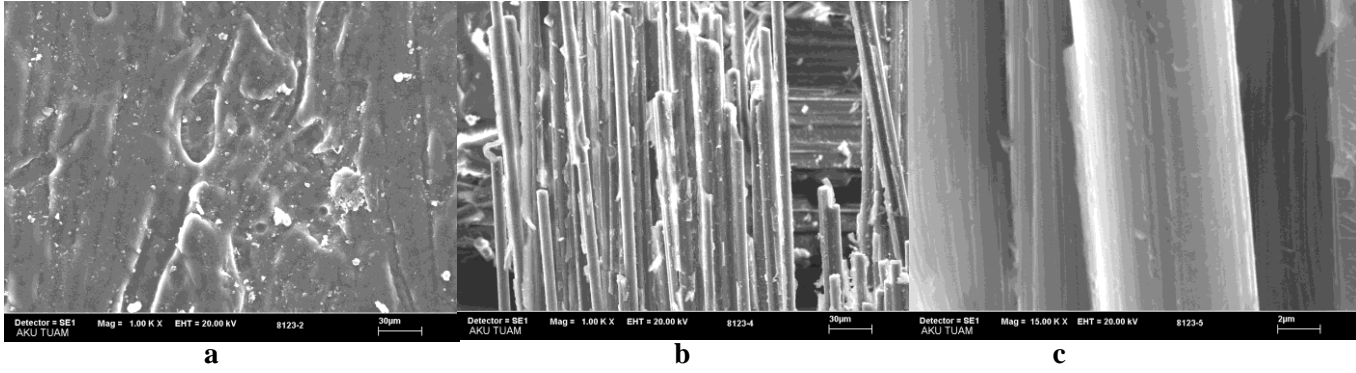
Şekil 4.18 Su içinde bekletilmemiş %3 ve %5 oranlarında Aerosil R812 ve R972 içeren kompozit örneklerinin SEM görüntüleri.

SEM görüntüleri su içinde bekletilmemiş örneklerde matris ve fiber arasında boşlukların olmadığını, üretim sırasında uygulanan 5 tonluk basıncın matris ve dolgu malzemesi karışımının fiber arasında homojen dağılımını sağlamak için yeterli olduğunu göstermektedir.

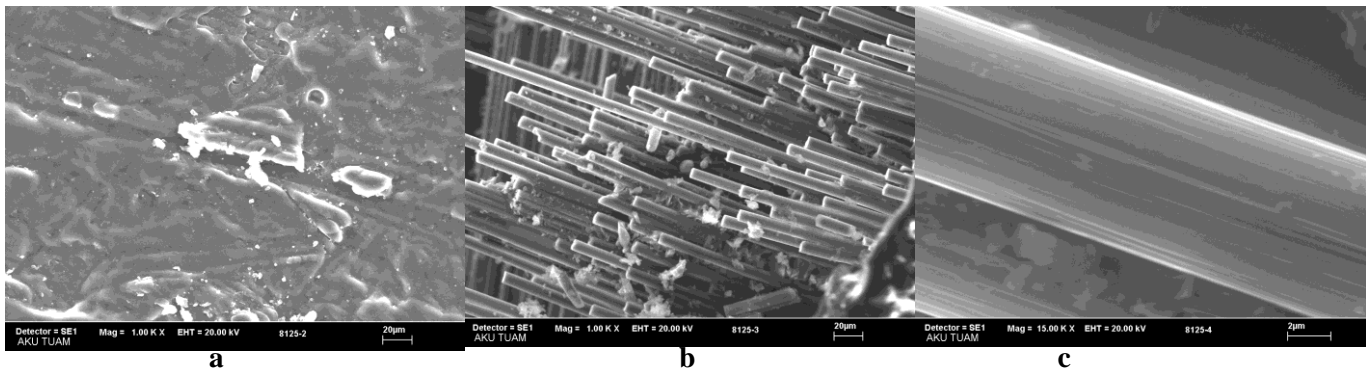
Şekil 4.19-38 saf su içinde 11 ay bekletilmiş olan örneklerin su ile temas eden yüzeylerine, 3 nokta eğme testi sonucu oluşan kırık yüzeylerine ve kırık içindeki fiber yüzeylerine ait SEM görüntülerini göstermektedir.



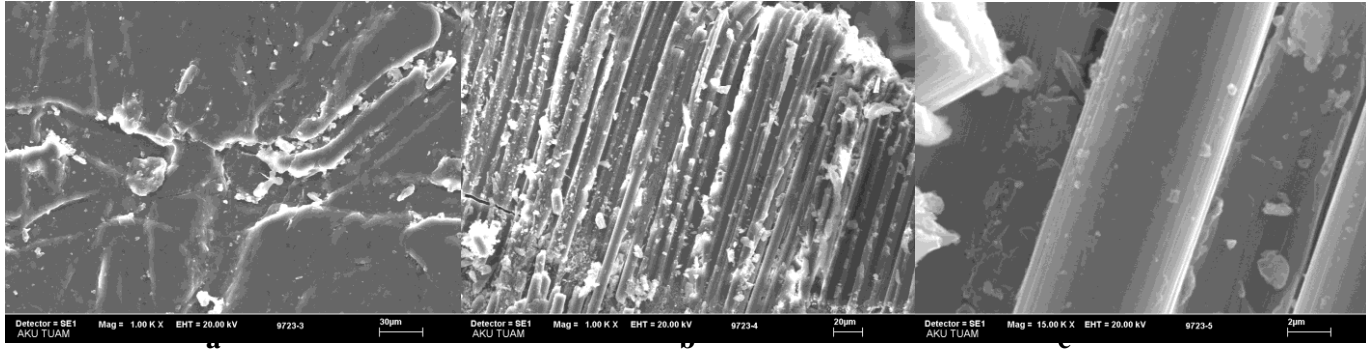
**Şekil 4.19** 11 ay saf su içinde kalmış dolgu içermeyen karbon fiber destekli epoksi matris kompozit örneklerinin a) su ile temas eden yüzey b) kırık yüzeyi c) kırık yüzeyindeki fiberlere ait SEM görüntüleri



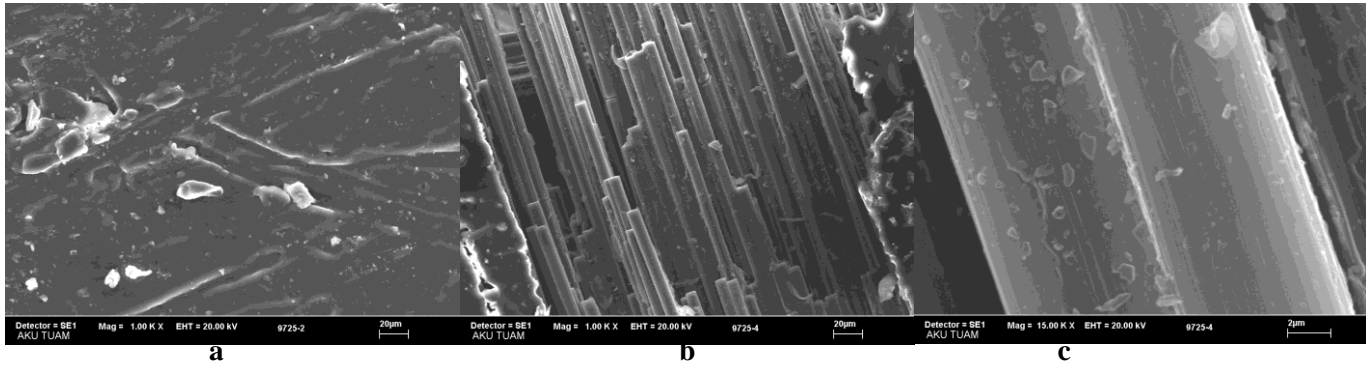
**Şekil 4.20** 11 ay saf su içinde kalmış %3 Aerosil R812 içeren karbon fiber destekli epoksi matris kompozit örneklerinin a) su ile temas eden yüzey b) kırık yüzeyi c) kırık yüzeyindeki fiberlere ait SEM görüntüleri



**Şekil 4.21** 11 ay saf su içinde kalmış %5 Aerosil R812 içeren karbon fiber destekli epoksi matris kompozit örneklerinin a) su ile temas eden yüzey b) kırık yüzeyi c) kırık yüzeyindeki fiberlere ait SEM görüntüleri



**Şekil 4.22** 11 ay saf su içinde kalmış %3 Aerosil R972 içeren karbon fiber destekli epoksi matris kompozit örneklerinin **a)** su ile temas eden yüzey **b)** kırık yüzeyi **c)** kırık yüzeyindeki fiberlere ait SEM görüntüleri



**Şekil 4.23** 11 ay saf su içinde kalmış %5 Aerosil R972 içeren karbon fiber destekli epoksi matris kompozit örneklerinin **a)** su ile temas eden yüzey **b)** kırık yüzeyi **c)** kırık yüzeyindeki fiberlere ait SEM görüntüleri

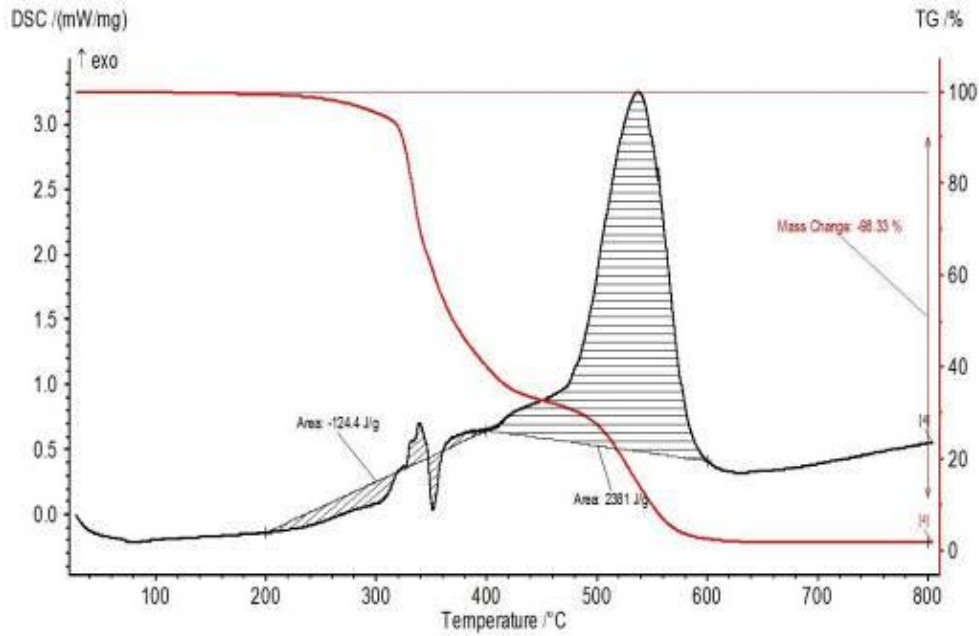
Örneklerin su ile temas eden yüzeylerinde benzeri hasarlara rastlanmaktadır. Fiberlere ait olduğu görülen izler, 11 ay sonunda yüzeyden hem matris malzemesinin hem de fiberlerin koparak ayrıldığını göstermektedir. Hasarın boyutu bütün örnekler için aynı seviyededir. Dolgu katkısının yüzeyde meydana gelen hasarın engellenmesine katkıda bulunmadığı görülmektedir.

Dolgu malzemesi yapı içinde yarattığı etki kırık yüzeyine bakıldığında görülmektedir. Dolgu içermeyen ve %3 oranında Aerosil R972 içeren kompozit örneklerinde kırık yüzeyindeki fiberlerin pürüzlü iken, diğer örneklerde kısmen temiz fiber yüzeyleri görülmektedir. Sonuçlar dolgu içermeyen ve %3 oranında Aerosil R972 içeren örneklerde matrisin fibere daha iyi bağlandığını, kırma işlemi sırasında bir kısım matris malzemesinin fiber üzerinde kaldığını göstermektedir. Diğer örneklerde ise matris malzemesi uygulanan kuvvet etkisiyle temiz bir fiber yüzeyi bırakacak şekilde ayrılmış,

ayrılma fiber matris ara yüzeyide gerçekleşmiştir. 11 aylık su absorpsiyonu sonucunda Aerosil R812'nin Aerosil R972'ye kıyasla matris-fiber ara yüzeyinde daha az etkili olduğu gözlemlenmektedir. Aerosil R972 oranının %3 ten %5'e çıkarılmasıyla yapıyı bir arada tutan bağlayıcı faz miktarında meydana gelen azalma kısmen daha temiz ayrılmış fiber yüzeyinin oluşmasına sebep olmuştur.

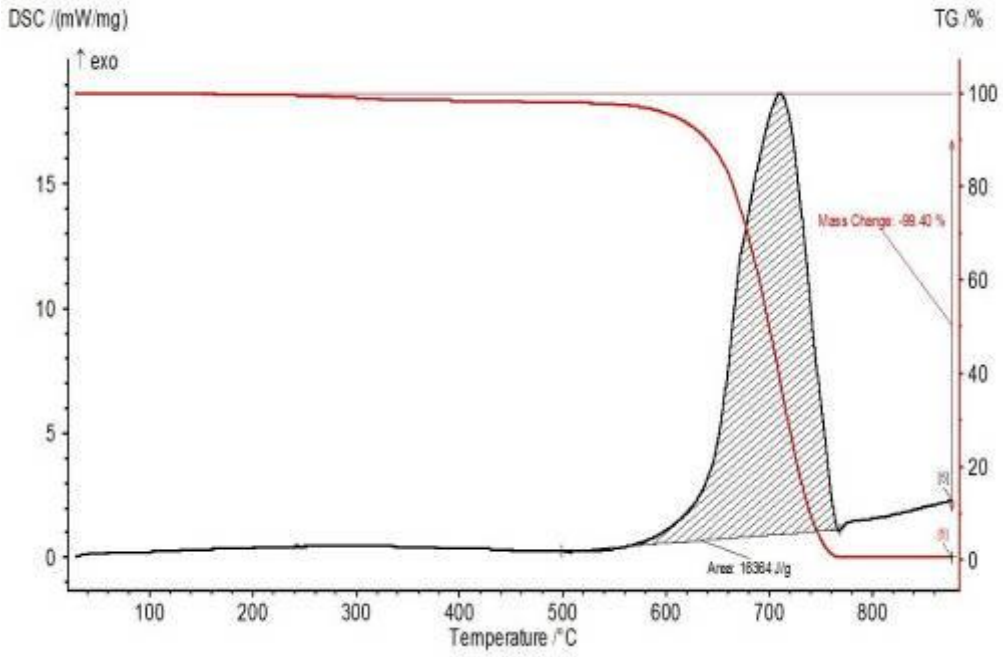
#### 4.6 Kompozit Örneklerinin TG-DSC Verileri

Aşağıdaki şekillerde epoksi reçine, Aerosil R812, Aerosil R972 ve karbon kumaşa ait TG-DSC eğrileri verilmiştir.



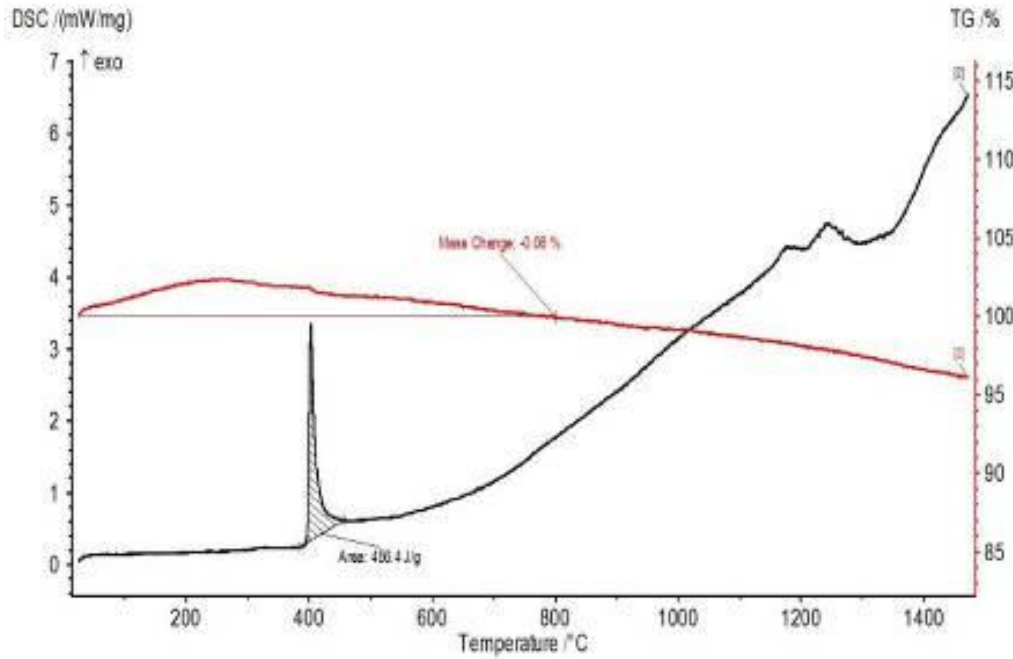
Şekil 4.24 Epoksi reçineye ait DSC-TG eğrisi

Şekil 4.24'de epoksi reçineye ait iki termal geçiş görülmektedir. 200°C de bozunmaya başlayan örneğin 800 °C de %98.33'lük kısmı yanarak uzaklaşmıştır. Alınan 34.525 mg örnekten yakma işlemi sonucunda kalan miktar 0.575 mg'dır.



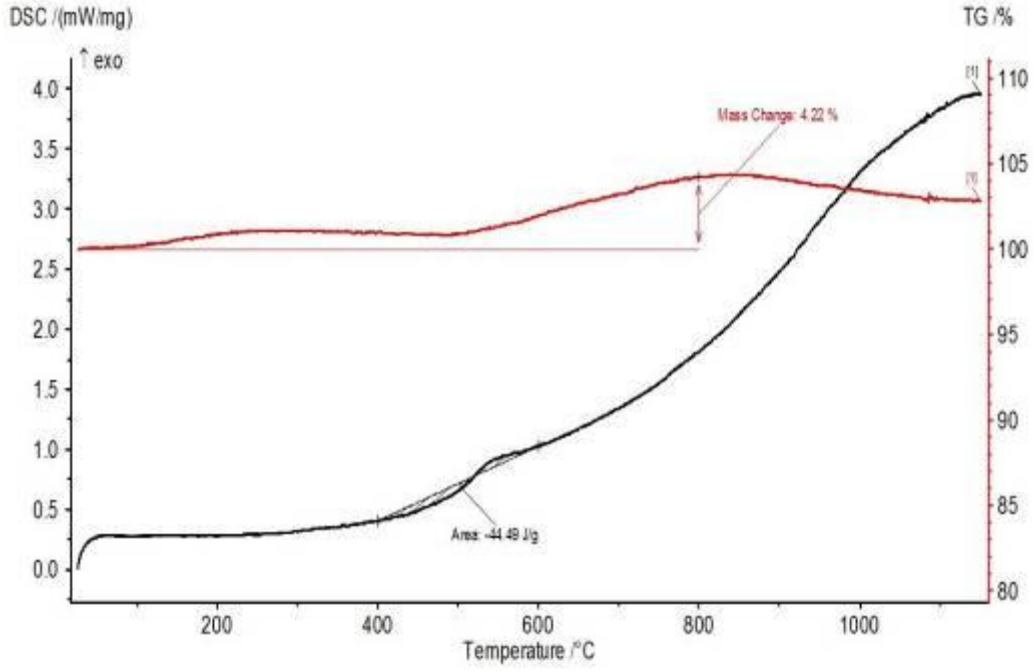
Şekil 4.25 Karbon kumaş ait DSC-TG eğrisi

Şekil 4.25 karbon kumaşın 600°C de bozunmaya başladığını ve 800 °C de tamamen bozunduğunu göstermektedir. Alınan örneğin %99.40 yanarak uzaklaşmıştır.



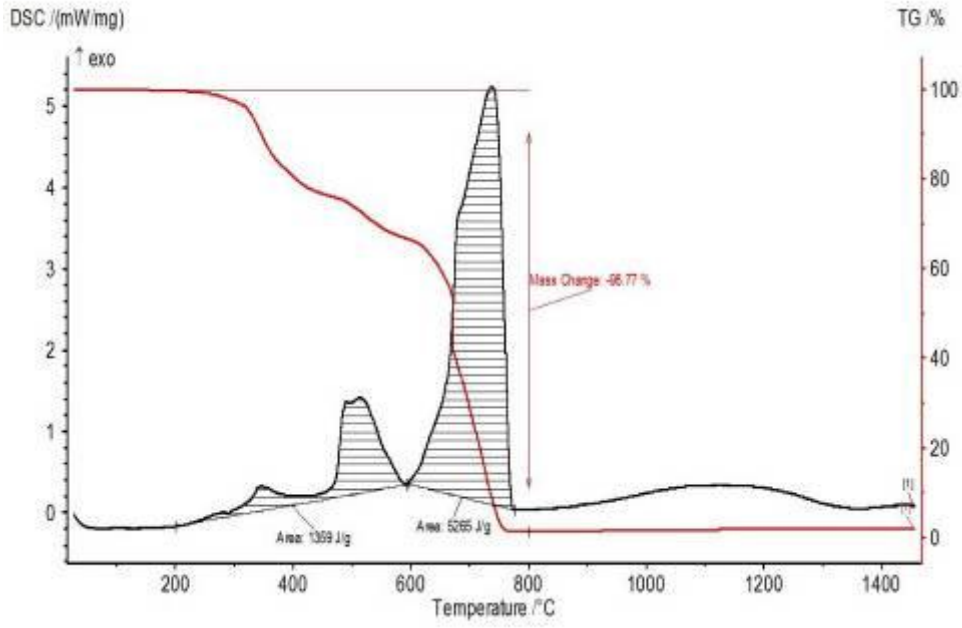
Şekil 4.26 Aerosil R812'ye ait DSC-TG eğrisi

Aerosil R812 üzerinde bulunan organik gruplar 400 °C’de bozunmaktadır. Yapıdaki değişim yüksek sıcaklıklara kadar devam etmektedir. Alınan 6.703 mg örneğin yakma işlemi sonucunda 800 °C’de kütlede %0.06 lık bir değişim meydana gelmektedir (Şekil 4.26).



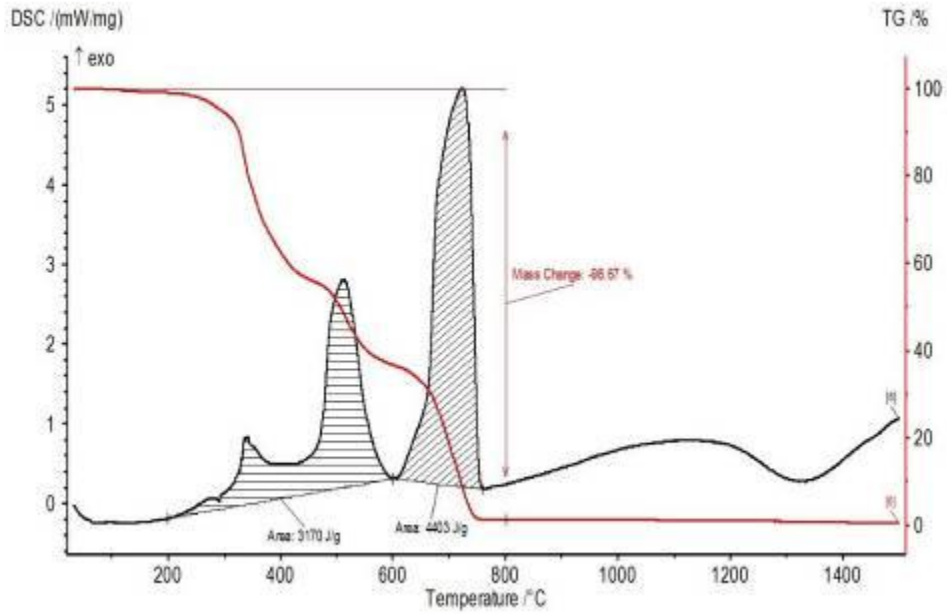
Şekil 4.27 Aerosil R972’ye ait DSC-TG eğrisi

Aerosil R972 üzerinde bulunan organik gruplar 100 °C’de havadaki oksijenle reaksiyon vermekte ve örneğin kütlesi armaya başlamaktadır. 800 °C’de örneğin kütlede %4.22’lik bir artış meydana gelmiştir. Bu artış yüksek sıcaklıklara kadar devam etmektedir (Şekil 4.27).

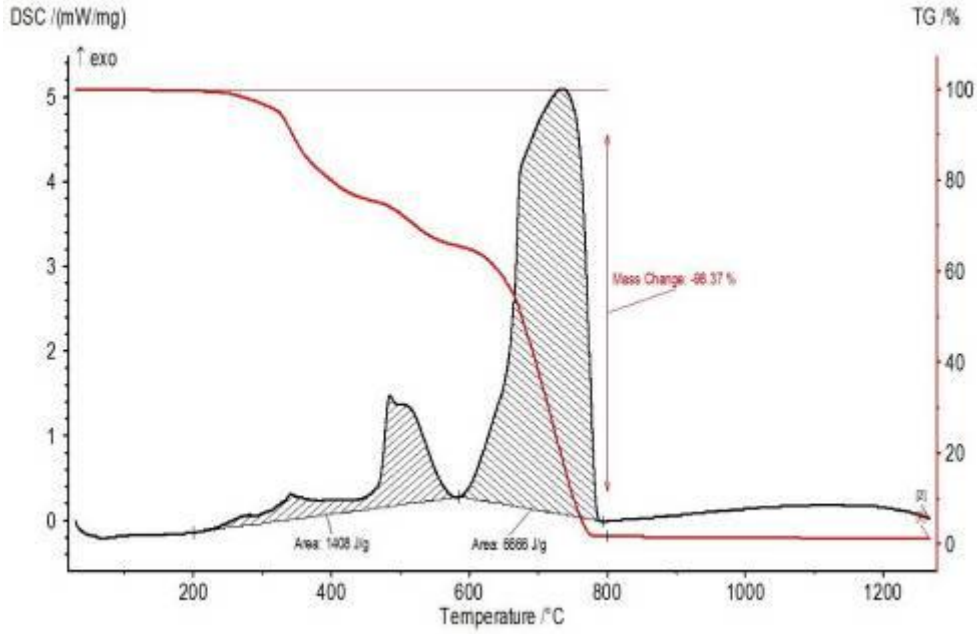


Şekil 4.28 Su içinde bekletilmemiş dolgu içermeyen epoksi kompozitlere ait DSC-TG eğrisi

Şekil 4.28 Su içinde bekletilmemiş dolgu içermeyen kompozit malzemenin 200°C de bozunmaya başladığını ve 800 °C de örneğin büyük bir kısmının yanarak uzaklaştığını göstermektedir. Meydana gelen kütle kaybı bu örnek için 800 °C %98.77 iken, aynı örnek 9 ay su içinde bekletildiğinde kütle kaybı %98.67 dir (Şekil 4.29).

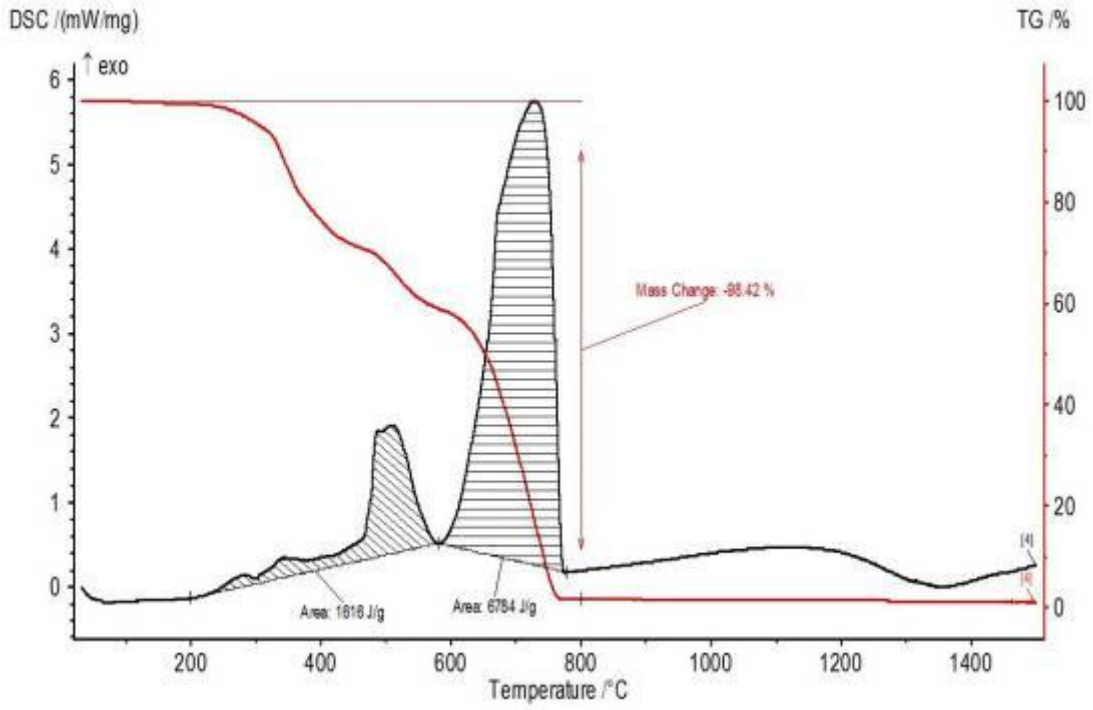


Şekil 4.29 9 ay su içinde bekletilmiş dolgu içermeyen epoksi kompozitlere ait DSC-TG eğrisi

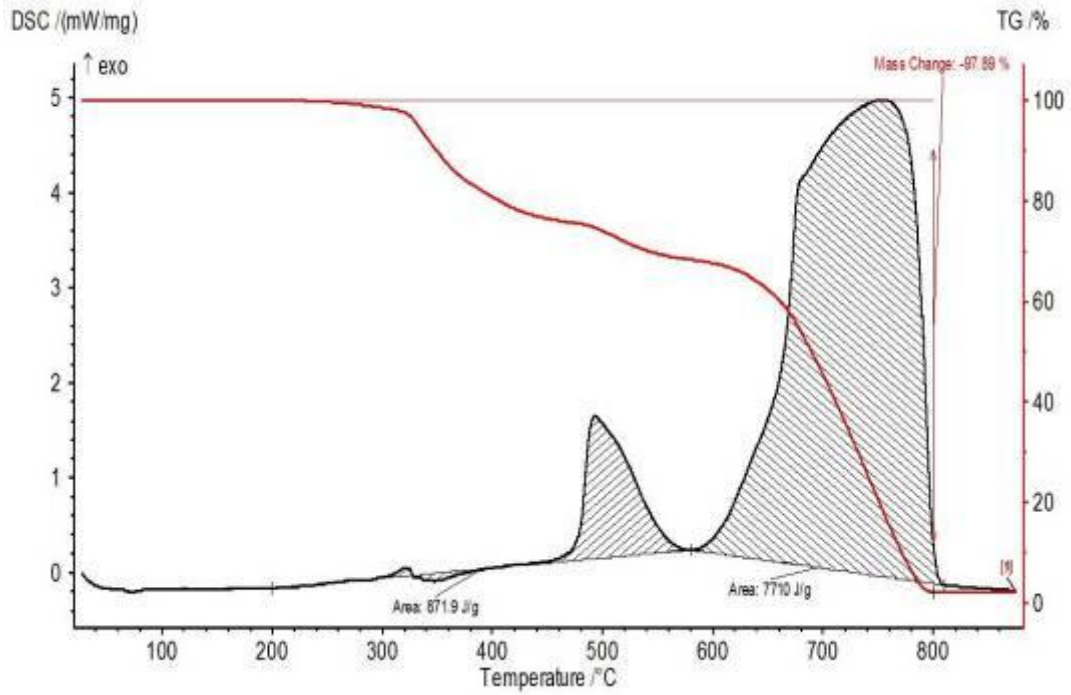


**Şekil 4.30** Su içinde bekletilmemiş %3 Aerosil R812 içeren epoksi kompozitlere ait DSC-TG eğrisi

Şekil 4.30 su içinde bekletilmemiş ve %3 Aerosil R812 içeren örneğin termal analiz sonuçlarını göstermektedir. Kompozit malzemenin 200 °C’de bozunmaya başladığını ve 800 °C’de %98.37’lik kısmın ortamdan uzaklaştığı görülmektedir. Aynı örneğin 9 ay saf su içinde bekletildikten sonra elde edilen termal analiz sonuçları Şekil 4.31’de verilmiştir. Termogravimetrik analiz sonucu alınan 40.946 mg örnekte %98.42’lik bir kütle değişimi olduğunu göstermektedir.

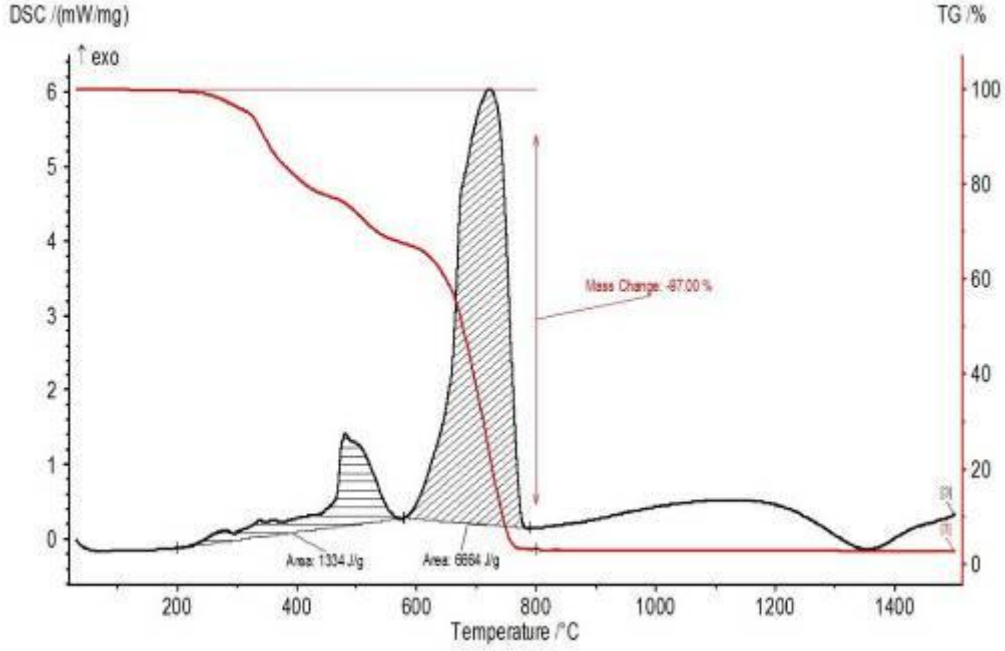


Şekil 4.31 Su içinde 9 ay bekletilmiş %3 Aerosil R812 içeren epoksi kompozitlere ait DSC-TG eğrisi

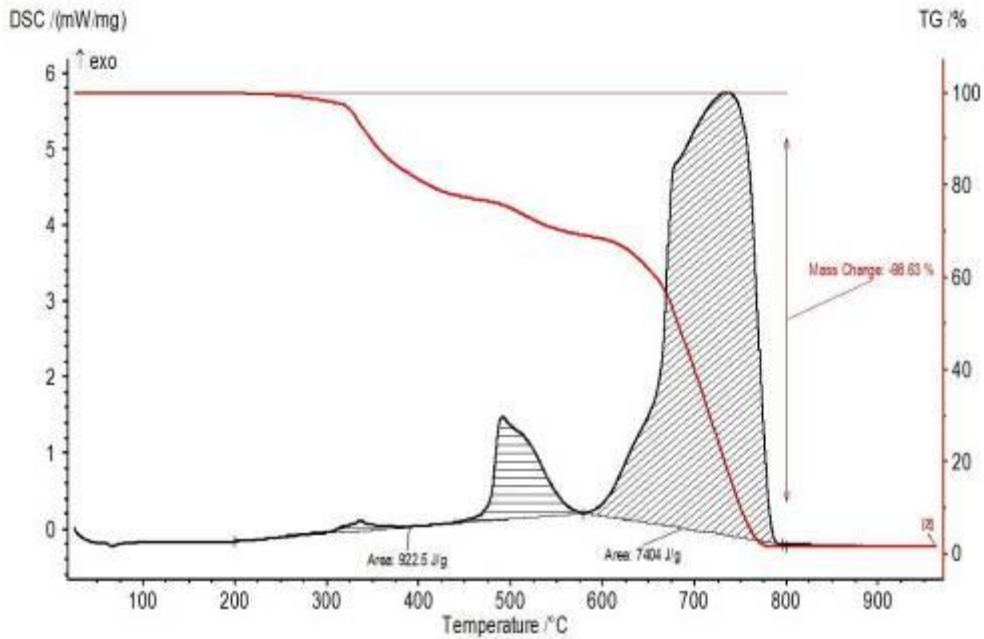


Şekil 4.32 Su içinde bekletilmemiş %5 R812 içeren epoksi kompozitlere ait DSC-TG eğrisi

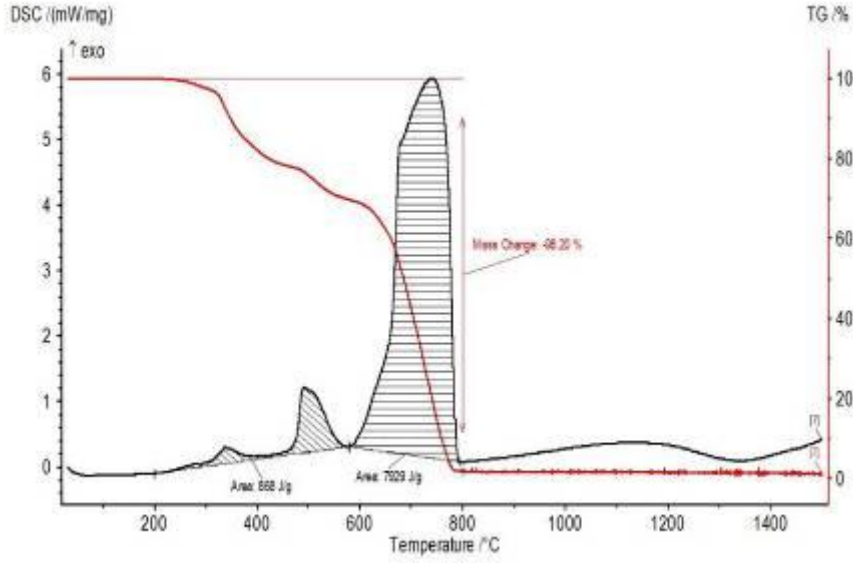
Şekil 4.32 su içinde bekletilmemiş %5 oranında Aerosil R812 içeren kompozit malzemenin 240 °C de bozunmaya başladığını ve 800 °C de % 97.89 oranında bozunduğunu göstermektedir. 9 ay saf su içinde bekletildikten sonra aynı örnekten yakma işlemi sonucunda uzaklaşan miktar % 2,5'tir (Şekil 4.33).



Şekil 4.33 Su içinde 9 ay bekletilmiş %5 R812 içeren epoksi kompozitlere ait DSC-TG eğrisi

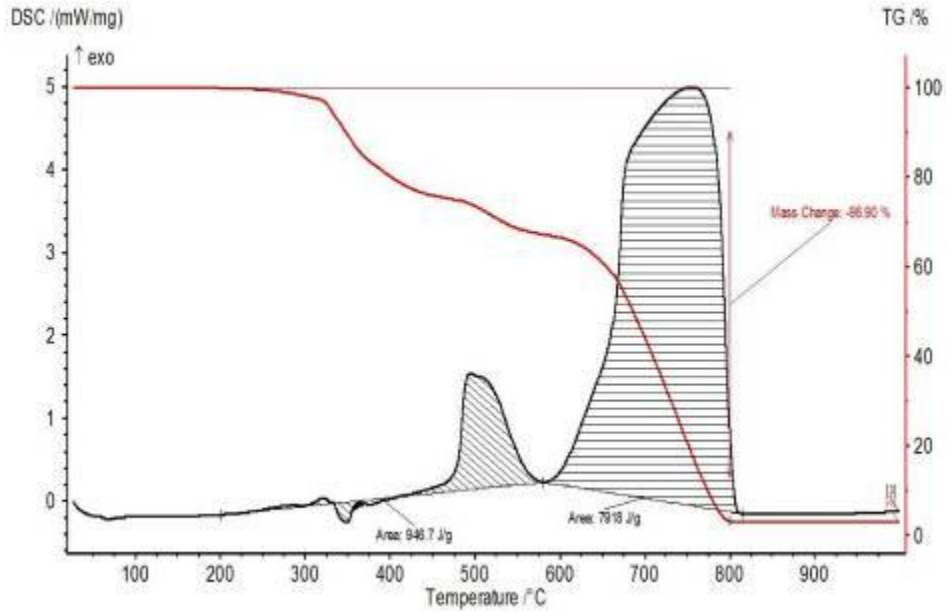


Şekil 4.34 Su içinde bekletilmemiş %3 R972 içeren epoksi kompozitlere ait DSC-TG eğrisi

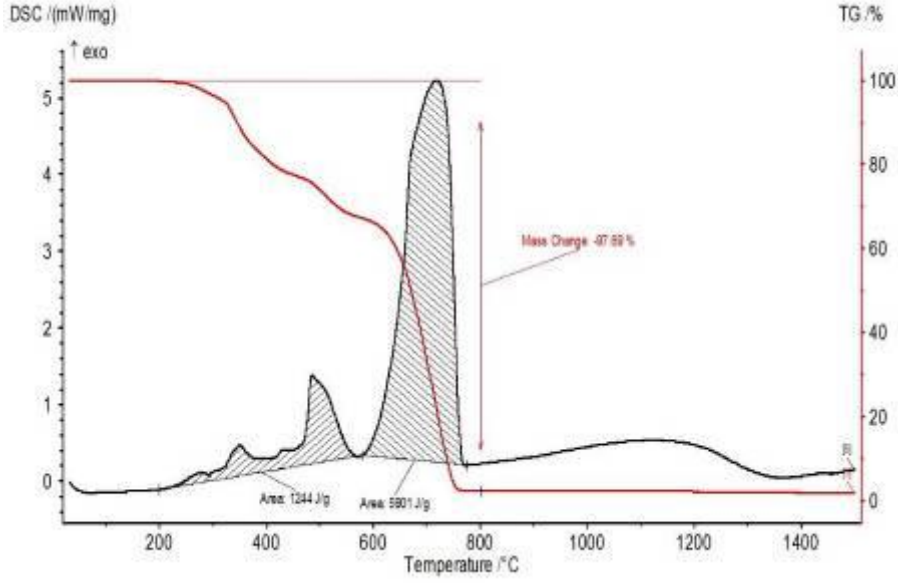


Şekil 4.35 Su içinde 9 ay bekletilmiş %3 R972 içeren epoksi kompozitlere ait DSC-TG eğrisi

Şekil 4.34 su içinde bekletilmemiş %3 Aerosil R972 içeren kompozit malzemenin 300°C de bozunmaya başladığını ve 800 °C de %98.63 bozunduğunu göstermektedir. Aynı örnek için 9 ay sonunda elde edilen termal analiz sonuçları Şekil 4.35’ de verilmiştir. Bu örnek için analiz sonucunda uzaklaşan miktarı %98.20 dir.



Şekil 4.36 Su içinde bekletilmemiş %5 R972 içeren epoksi kompozitlere ait DSC-TG eğrisi



**Şekil 4.37** Su içinde 9 ay bekletilmiş %5 R972 içeren epoksi kompozitlere ait DSC-TG eğrisi

Şekil 4.36 su içinde bekletilmemiş kompozit malzemenin 260°C de bozunmaya başladığını ve 800 °C de %96.90 oranında bozunduğunu göstermektedir. Örneğin 9 ay saf su içinde bekletilmesiyle bu rakam %1.63'e düşmektedir (Şekil 4.37).

Reçine ve karbon kumaşa ait DSC pikleri incelendiğinde 3 ayrı bölgede piklere rastlanmaktadır. Bu piklerden ilki epoksi reçinede 300-380 °C arasında gözlenen ekzotermik piktir. Epoksi reçine aynı zamanda 480-600 °C arasında ikinci bir ekzotermik pik vermektedir. Karbon kumaş ise 560-760 °C arasında ekzotermik bir pik vermektedir. Aerosil R812 için 400-500 °C arasında ve Aerosil R972 için 500-600 °C gözlenen pikler epoksi reçineye ait bu bölgedeki piklerle örtüşmektedir.

Epoksi matrisli karbon kumaş takviyeli kompozit örneklerinde bu üç bölgede pikler görülmektedir. Çizelge.8 Bu örneklere ait bu üç bölgedeki piklerin J/g cinsinden alanlarını göstermektedir.

Pik altında kalan alanlar kullanılarak kompozit örneklerinin içindeki reçine, dolgu maddesi ve karbon kumaş oranının hesaplanması mümkündür. Reçine içine %3 ve %5

oranlarında dolgu konularak hazırlanan kompozitlerde sırasıyla % 0.31-0.38 ve % 0.52-0.55 arasında değişen miktarlarda hidrofobik nano silika var olduğu görülmektedir. Örneklerdeki karbon kumaş oranı %87-89 arasında değişmektedir.

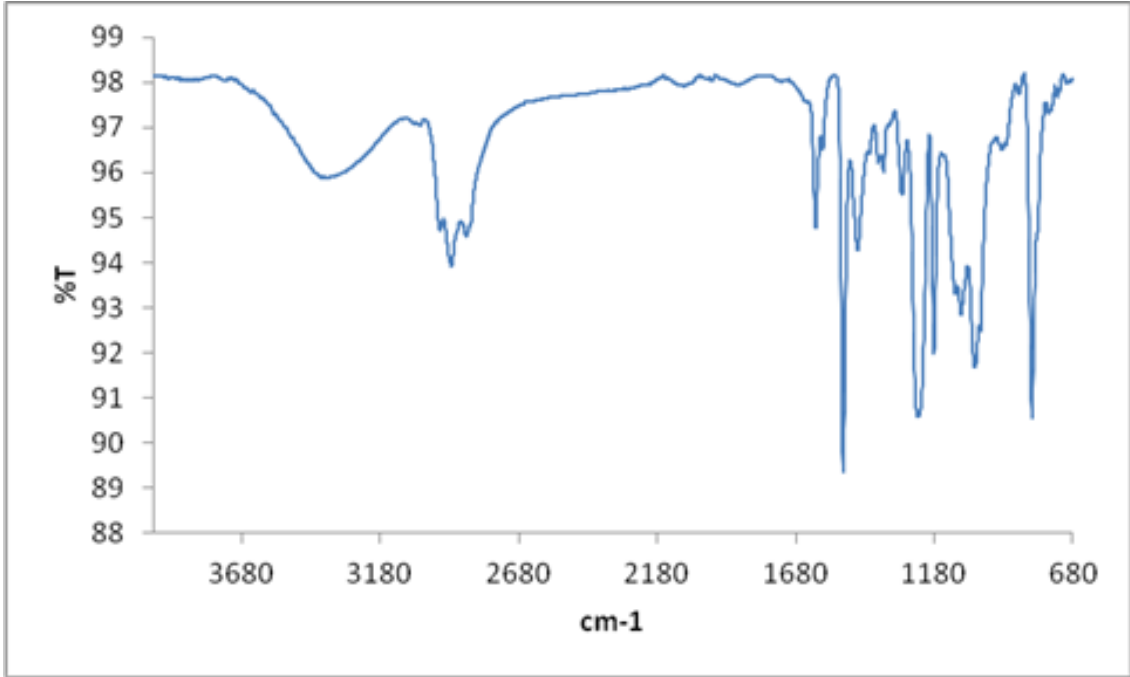
**Çizelge 4.1** Kompozit örneklerine ait DSC piklerinin altında kalan alanlar.

<b>ÖRNEK</b>	<b>Reçineye ait piklerin alanı</b>	<b>Piklerin toplam alanı</b>	<b>% Karbon Kumaş</b>	<b>% Reçine</b>	<b>% Dolgu</b>
<b>DIEC</b> (su içinde bekletilmemiş)	1065,45	6341,45	83,19	16,80	-
<b>DIEC</b> (9 ay su içinde bekletilmiş)	2105,40	6498,40	67,60	32,39	-
<b>EPC 8123</b> (su içinde bekletilmemiş)	983,86	7661,86	87,15	12,84	0,38
<b>EPC 8123</b> (9 ay su içinde bekletilmiş)	1249,95	8022,95	84,42	15,57	0,46
<b>EPC 9723</b> (su içinde bekletilmemiş)	841,02	8242,02	89,79	10,20	0,30
<b>EPC 9723</b> (9 ay su içinde bekletilmiş)	690,80	8619,80	91,98	8,01	0,24
<b>EPC 8125</b> (su içinde bekletilmemiş)	901,22	8600,22	89,52	10,47	0,52
<b>EPC 8125</b> (9 ay su içinde bekletilmiş)	822,25	7502,25	89,01	10,96	0,54
<b>EPC 9725</b> (su içinde bekletilmemiş)	973,00	8759,00	88,89	11,10	0,55
<b>EPC 9725</b> (9 ay su içinde bekletilmiş)	694,11	6532,11	89,37	10,62	0,53

Dokuz aylık su içinde bekletilen örneklerin TG-DSC eğrileri arasında görülen en büyük fark dolgu içermeyen örnekteki reçine oranında meydana gelen artıştır. Bu artışın kompozit içinden karbon kumaş ve doldu maddesinin ayrılarak bağıl olarak reçine miktarının artmasıyla açıklanabilir.

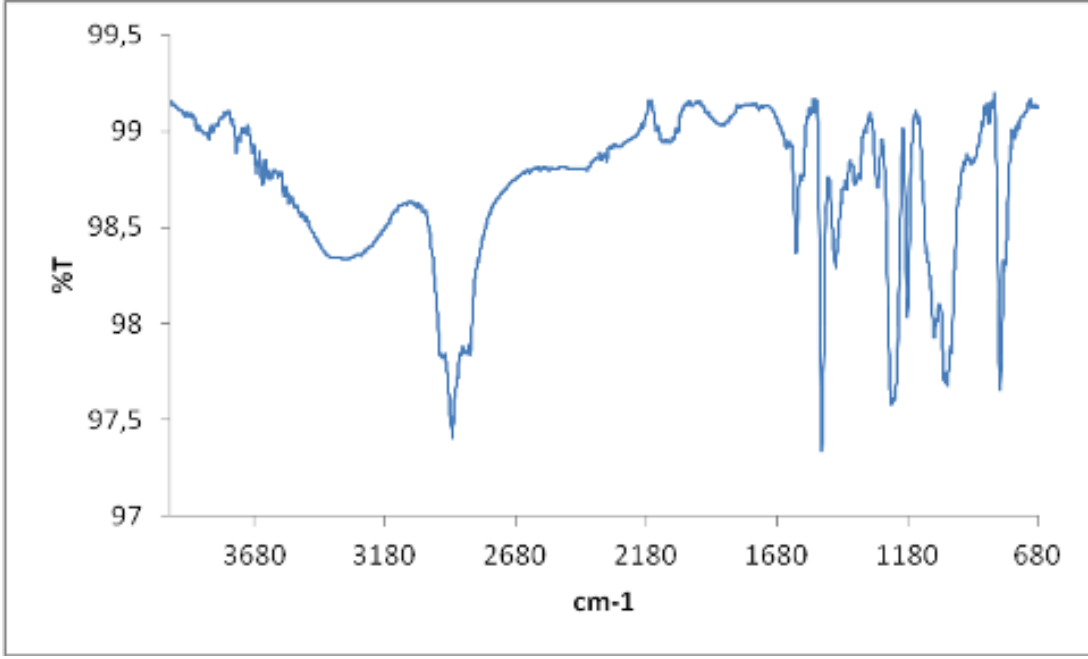
#### 4.7 Kompozit Örneklerinin FTIR Verileri

Şekil 4.38 dolgu içermeyen epoksi matrisli karbon fiber takviyeli kompozit örneğine ait FTIR spektrumunu göstermektedir.  $3386\text{ cm}^{-1}$  de görülen pik epoksi reçine üzerinde yer alan -OH gruplarına aittir.  $2922\text{ cm}^{-1}$  merkezli 3 ayrı pik ise reçine üzerindeki alifatik  $-\text{CH}_3$ ,  $-\text{CH}_2$  ve  $-\text{CH}$  gruplarını göstermektedir.  $1455$  ve  $1607\text{ cm}^{-1}$  de reçinede bulunan hoş kokulu C-C bağlarına ait pikler görülmektedir.  $1033\text{ cm}^{-1}$  ce  $1237\text{ cm}^{-1}$  de görülen pikler reçine üzerindeki ester bağlarına aittir.  $1082\text{ cm}^{-1}$  ve  $1295\text{ cm}^{-1}$  deki pikler ise sertleştirici ile reçine arasındaki çapraz bağlanma sonucu oluşan  $-\text{CN}$  bağlarına aittir.  $1508\text{ cm}^{-1}$  karbon fiber üzerindeki C=C bağlarını göstermektedir.



**Şekil 4.38** Dolgu içermeyen epoksi matrisli karbon kumaş takviyeli kompozitin FTIR spektrumu

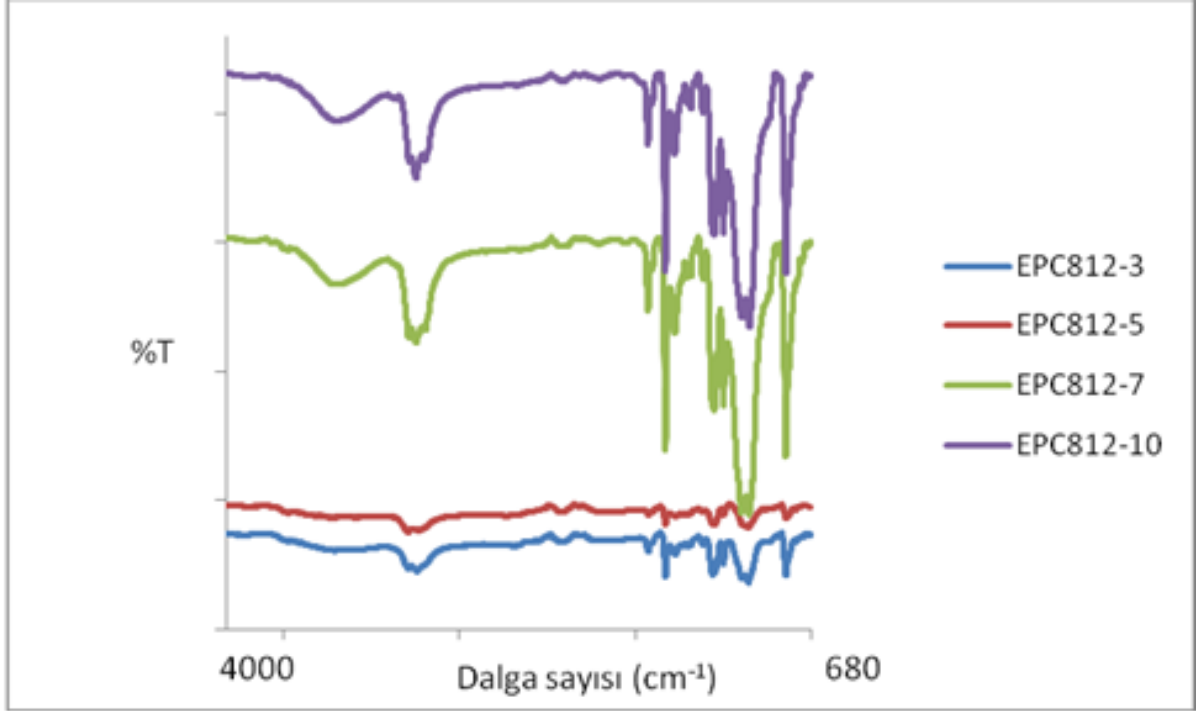
Şekil 4.39 dolgu içermeyen kompozit örneğinin 9 ay saf su içinde bekletildikten sonraki FTIR spektrumunu göstermektedir. Spektrumda reçineden gelen piklere kıyasla karbon fiberde kaynaklanan piklerin şiddetinde bir azalma görülmektedir. Bu ise saf suyun yüzeyde meydana getirdiği değişikliğin karbonfiber parçalarının koparak yüzeyden uzaklaşmasına sebep olabileceğini düşündürmektedir.



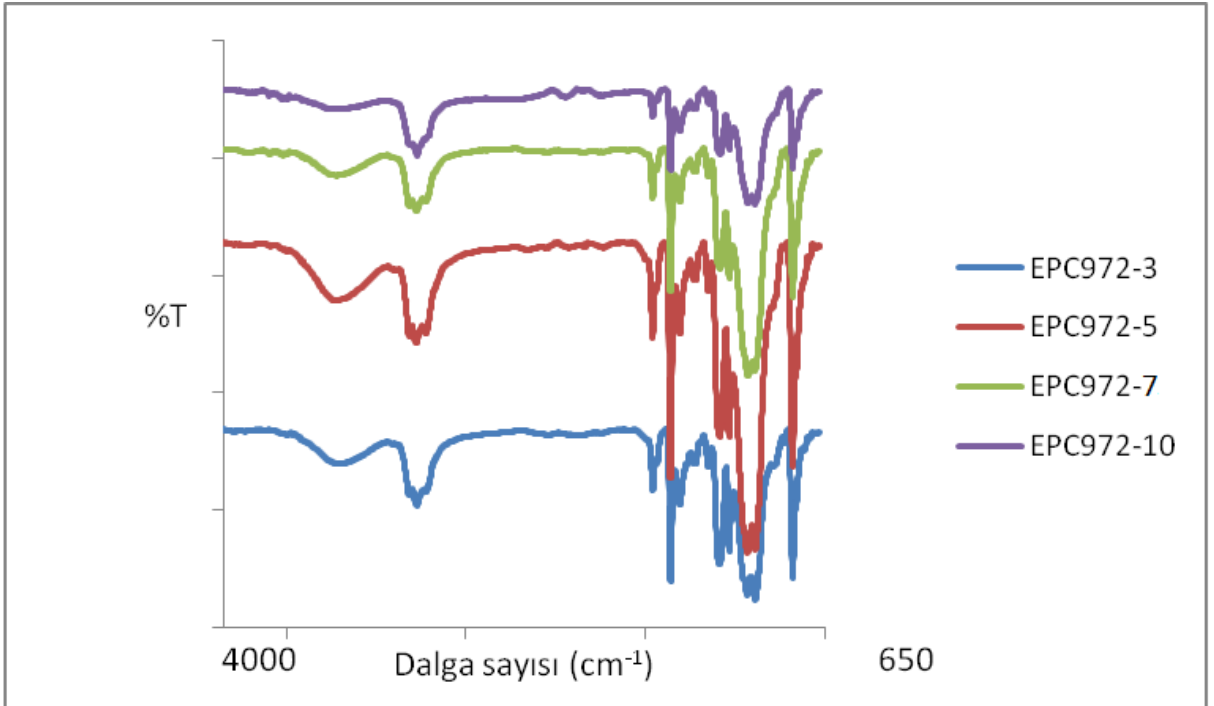
**Şekil 4.39** Dolgu içermeyen epoksi matrisli karbon kumaş takviyeli kompozit örneğinin 9 ay saf su içinde bekletildikten sonraki FTIR spektrumu

Kompozit örneklerinin içine Aerosil 812 ilavesiyle  $-CH_3$  ve  $-CH_2$  gruplarından kaynaklanan  $2980-2850\text{ cm}^{-1}$  arasındaki piklerin,  $-Si(CH_3)$  gruplarından kaynaklanan  $1230\text{ cm}^{-1}$  pikinin ve Si-O-Si bağlarından kaynaklanan  $1200-1000\text{ cm}^{-1}$  arasındaki piklerin şiddeti artmaktadır (Şekil 4.40). Benzeri şekilde kompozit örneklerinin içine Aerosil 972 ilavesiyle  $-CH_3$  ve  $-CH_2$  gruplarından kaynaklanan  $2980-2850\text{ cm}^{-1}$  arasındaki piklerin,  $-Si(CH_3)$  gruplarından kaynaklanan  $1230\text{ cm}^{-1}$  pikinin ve Si-O-Si bağlarından kaynaklanan  $1200-1000\text{ cm}^{-1}$  arasındaki piklerin şiddeti artmaktadır (Şekil 4.39).

IR spektroskopisinin limitlerinden dolayı  $368\text{ cm}^{-1}$  de görülmesi beklenen Si-Cl gerilme titreşimleri spektrumda gözlenememektedir.

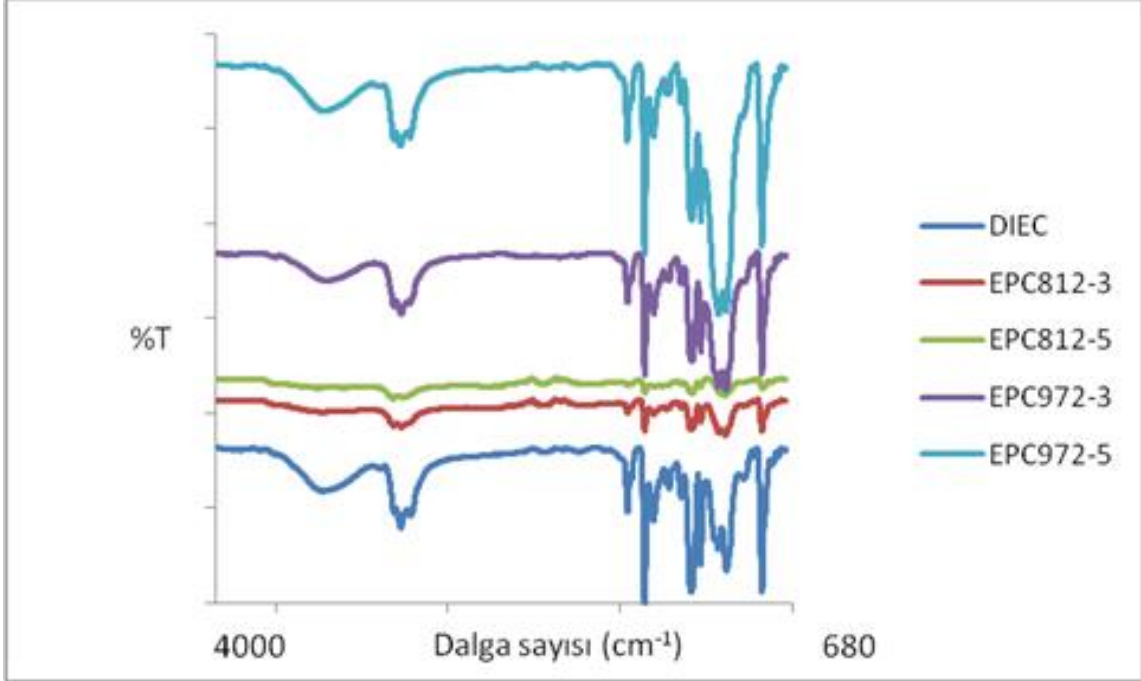


**Şekil 4.40** %3, %5, %7 ve %10 oranında Aerosil R 812 içeren kompozit örneklerinin FTIR spektrumları

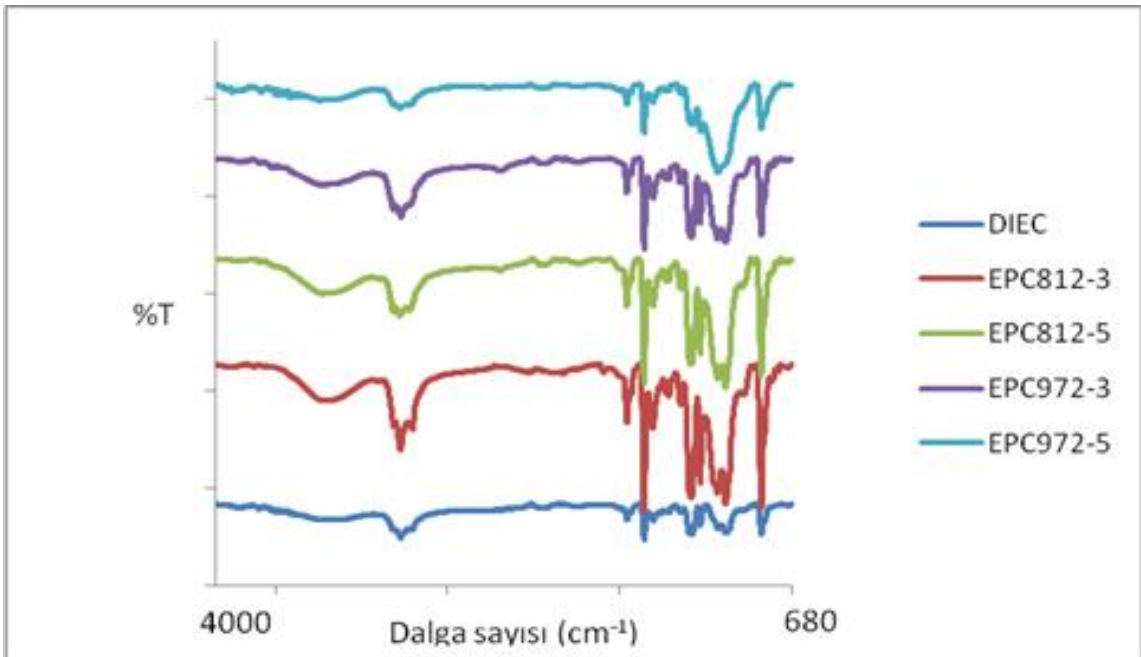


**Şekil 4.41** %3, %5, %7 ve %10 oranında Aerosil R 972 içeren kompozit örneklerinin FTIR spektrumları

ATR aparatı kullanılarak örneklerin yüzeylerinde yapılan ölçümler 9 ay süre ile saf su içinde bekletilen örneklerde dolgu maddesinden kaynaklanan piklerin şiddetinde azalma olduğunu göstermektedir. Bu azalmanın sebebinin saf suyun matris malzemeyi çözmesiyle nano dolguların matristen ayrılarak kompozit yüzeyinden ayrılması olduğu düşünülmektedir (Şekil 4.42 ve Şekil 4.43).



Şekil 4.42 Su içinde bekletilmemiş kompozit örneklerinin FTIR spektrumları



Şekil 4.43 Su içinde 11 ay bekletilmiş kompozit örneklerinin FTIR spektrumları

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada %12 ye varan oranlarda hidrofobik dolgu içeren kompozitlerin hazırlanması ve dolgu katkısının örneklerin su emme davranışı üzerine etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla iki farklı reçine, iki farklı fiber kumaş ve iki farklı dolgu malzemesi kullanılmış, örnekler ısıtılmalı preste 5 ton basınç altında şekillendirilmiştir. 15x15 cm boyutlarında hazırlanan örnekler, su jeti kullanılarak 1x7 cm boyutlarında test numunelerine dönüştürülmüş ve örnekler 11 ay boyunca saf su içinde bekletilmiştir. Örneklere dolgu eklenirken göz önünde bulundurulan en önemli kıstas dolgu katkısının örneğin mekanik dayanımında olumsuz etki yaratmamasıdır. Bu nedenle örnekler %3'den başlayarak % 5, 7 ve 10 dolgu içerecek şekilde sırayla hazırlanmış ve mekanik özelliklerinde azalmanın olduğu katkı oranının üzerindeki oranlara çıkılmamıştır. Dolgu içermeyen örneğe kıyasla mekanik dayanımda düşüşün gözlenmediği örnekler üzerinde FTIR, TG-DSC, SEM analizleri gerçekleştirilmiştir. %3 ve %5 oranlarında dolgu içeren tüm örneklerin su emme davranışı 11 ay boyunca hem % su emme hem de temas açısı ölçümleri yapılarak takip edilmiştir. Örneklere belirtilen analizler uygulanmış ve reçine, fiber, dolgu maddesi türüne bağlı olarak örneklerde meydana gelen değişimler yorumlanmıştır.

Hidrofobik nanosilika eklenen kompozit örneklerinin mekanik özellikleri değerleri değerlendirildiğinde poliester matrisli örneklerin kullanılan fiber ve dolgu türü ne olursa olsun dayanım değerlerinin azaldığı görülmektedir. Epoksi matrisli kompozitlerde ise dolgu türünden bağımsız olarak cam fiber kumaş kullanıldığında nano dolgu katkısıyla üç nokta eğme dayanımı değerleri azalırken, karbon fiber içeren kompozitlere %3 ve %5 oranlarında nano dolgu katkısının mekanik dayanımda önemli bir azalmaya sebep olmadığı görülmüştür. Bunun üzerindeki dolgu oranlarında (%7 ve %10) mekanik dayanım değerlerinde önemli bir azalma meydana gelmiştir.

%3 ve %5 oranlarında dolgu içeren kompozit örneklerinin %su emme değerleri iniş çıkışlı bir eğilim göstermektedir. Dolgu içermeyen cam fiber destekli epoksi kompozitin 11 ay sonundaki %su emme değeri 1.21 iken, bu değer %3 Aerosil R812, %5 Aerosil R812, %3 Aerosil R972 ve %5 Aerosil R972 içeren örnekler için sırasıyla 2.11, 1.60,

1.55 ve 1.50 dir. Cam fiber destekli poliester kompozitlerde de dolgu içermeyen örneğin 11 ay sonundaki %su emme değeri 0.57 iken, ortama %3 Aerosil R812, %5 Aerosil R812, %3 Aerosil R972 ve %5 Aerosil R972 ilavesiyle sonuçlar 0.95, 0.87, 0.68 ve 0.57 olarak gözlenmiştir.

Epoksi matrisli ve karbon kumaş takviyeli örneklere %3 Aerosil R812, %5 Aerosil R812, %3 Aerosil R972 ve %5 Aerosil R972 nano silika katkısıyla 0.87 olan % su emme değeri 11 ay sonunda sırasıyla 1.07, 0.83, 0.89 ve 1.44 olarak bulunmuştur. Benzeri şekilde karbon kumaş takviyeli poliester kompozitlerde 1.32 olan 11 ay sonundaki % su emme değeri %3 Aerosil R812, %5 Aerosil R812, %3 Aerosil R972 ve %5 Aerosil R972 nano silika katkısıyla sırasıyla 0.95, 1.46, 2.42 ve 0.93 olarak değişmektedir. Yalnız su emme değerleri değerlendirildiğinde hidrofobik nano dolgu katkısının su emme kompozit örneklerinin su emme davranışı üzerinde çoğunlukla olumsuz bir etki yaptığı görülmektedir.

Benzeri şekilde 11 ay saf su içinde bekletilen %3 ve %5'lik kompozit örneklerinin temas açısı değerleri de dalgalanmalı bir eğilim göstermektedir. Dolgu içermeyen cam fiber destekli epoksi kompozitin dolgu eklenmeden ölçülen 70,49'luk temas açısı değeri, %3 Aerosil R812, %5 Aerosil R812, %3 Aerosil R972 ve %5 Aerosil R972 içeren örnekler için sırasıyla 66,06; 110,23; 82,49 ve 105,47 olarak ölçülmüştür. Cam fiber destekli poliester kompozitlerde de dolgu içermeyen örneğin temas açısı değeri 99,7 iken %3 Aerosil R812, %5 Aerosil R812, %3 Aerosil R972 ve %5 Aerosil R972 ilavesiyle sonuçlar sırasıyla 61,17; 74,46; 65,14 ve 68,14 olarak değişmiştir.

Epoksi matrisli ve karbon kumaş takviyeli örneklere %3 Aerosil R812, %5 Aerosil R812, %3 Aerosil R972 ve %5 Aerosil R972 nano silika katkısıyla 101.37 olan temas açısı değeri sırasıyla 78,63; 60,66; 46,47 ve 88,78 olarak bulunmuştur. Benzeri şekilde karbon kumaş takviyeli poliester kompozitlerde 71,75 olan temas değeri açısı değeri %3 Aerosil R812, %5 Aerosil R812, %3 Aerosil R972 ve %5 Aerosil R972 nano silika katkısıyla sırasıyla 60,74; 60,00; 57,06 ve 71,31 olarak değişmektedir. Bu sonuçlar nano dolgu katkısının örneklerin temas açısı değerlerinde olumlu bir katkı yapmadığını göstermektedir.

Dolgu içermeyen cam kumaş destekli epoksi kompozitlerde 11 ay sonunda temas açısındaki değişim %7,5 iken %3 ve %5 oranlarında Aerosil R812 ve Aerosil R972 katılmasıyla 11 ay sonunda temas açılarında %14 ile %37 arasında değişen farklılıklar gözlenmiştir. Dolgu içermeyen karbon kumaş destekli epoksi kompozitlerin %37 olan 11 aylık temas açısı değişimi %3 ve %5 oranlarında Aerosil R812 ve Aerosil R972 katılmasıyla 11 ay sonunda %5 ile %41 arasında değişim göstermiştir. Epoksi matrisli kompozit malzemelere benzer şekilde karbon kumaş destekli poliester kompozitlerde de 11 ay sonunda temas açısındaki değişim %26 iken %3 ve %5 oranlarında Aerosil R812 ve Aerosil R972 katılmasıyla 11 ay sonunda temas açılarında %6 ile %32 arasında değişen farklılıklar gözlenmiştir. Cam kumaş takviyeli poliester kompozitlerde %26 olan 11 aylık temas açısı değişim değeri %3 ve %5 oranlarında Aerosil R812 ve Aerosil R972 katılmasıyla 11 ay sonunda %3 ile %15 arasında değişiklik göstermiştir. 11 ay sonundaki değerlere bakıldığında dolgu miktarı ve türüne bağlı olarak belirgin bir eğilimden bahsetmek mümkün değildir.

Üç nokta eğme değerlerine bakılarak yapılan 11 aylık değerlendirme, %su emme ve temas açılarında olduğu gibi dalgalı bir eğilimi göstermektedir. 11 ay sonunda dolgu içermeyen örnekteki karbon kumaş takviyeli epoksi kompozitlerde meydana gelen mekanik değerdeki azalış %18 iken bu değer %3 Aerosil R812, %5 Aerosil R812, %3 Aerosil R972 ve %5 Aerosil R972 nano silika içeren örnekler için sırasıyla %17, %7, %1 ve %6'dır. Bu sonuçlar Aerosil R972'nin Aerosil R812'ye kıyasla epoksi temelli karbon fiber takviyeli kompozitlerin su emme davranışı üzerinde daha olumlu etki yarattığını göstermektedir. Düşük oranlarda katılan Aerosil R972'nin su emme sonucu mekanik özelliklerde azalmanın önüne geçilmesinde daha etkili olduğu görülmektedir.

Epoksi matrisli karbon kumaş takviyeli örneklerin FTIR ve SEM analizleri su emme sonucu hem dolgu maddesinin hem de karbon lif parçalarının matristen ayrılarak uzaklaştığını göstermektedir. Bu % su emme, temas açısı ve 3 nokta eğme dayanımındaki dalgalanmaların sebebini de açıklamaktadır. Örnek yüzeylerinde karbon fiberin ve nano tozların homojen dağılmamasından kaynaklanan yapısal farklılıkların su emme sonucunda yüzeyden farklı miktarlarda karbon fiber ve nano tozun ayrılmasına sebep olması olasıdır. Benzeri gözlemlere literatürde de rastlanmış ve su emme sonucu

matris yapısındaki bozulmanın matris-dolgu maddesi ve matris-fiber arasındaki etkileşimi zayıflattığı belirtilmiştir (Kontou 2012, Starkova 2012).

Her ne kadar 3 nokta eğme dayanımı değerleri %su emme ve temas açısı ölçümleriyle desteklenemese de, karbon kumaş destekli epoksi matris kompozitlerinde su emme sonucu meydana gelen mekanik özelliklerdeki azalmanın nano dolgu katkısıyla azaltılmasının mümkün olduğu söylenebilir. Bu etki Aerosil R812'ye kıyasla Aerosil R972 de çok daha belirgindir.

Kompozit yüzeyinde meydana gelen kopmalar (dolgu ve destek malzemesi) su emme davranışının polimer matrisli kompozit malzemelerde tipik olarak görülen Fickian türü absorpsiyondan farklı olmasına sebep olmuştur.

Polimer matris kompozit malzemelerde su emme davranışının iyileştirilmesi için nano dolgu ve kumaş yüzeyinin matris ile kimyasal bağ yapacak şekilde modifiye edilmesi matris yapısı bozulsa da dolgu ve fiberin yapıdan ayrılmasını engelleyecek bir yöntem olarak kullanılabilir.

## 6. KAYNAKLAR

- Alamri H., Low I.M. (2012). Effect of water absorption on the mechanical properties of nano-filler reinforced epoxy nanocomposites. *Materials and Design*, **42**: 214–222
- Ashbee K. H. G., Wyatt R. C. (1969). Water damage in glass fibre/resin composites. *Proc. Roy. Soc. A.*, **312**:553-564
- Ashbee K. H. G., Frank F. C., Wyatt R. C. (1967). Water damage in poliester resins. *Proc. Roy. Soc. A.*, **300**: 415-419
- Behara, S. (2010). *Study On Mechanical Behaviour Of Polymer Based Composites With And Without Wood Dust Filler* National Institute of Technology/Mechanical Engineering Department, Rourkela
- Castaing Ph., Lemoine L. (1995). Effects of water absorption and osmotic degradation on long-term behavior of glass fibre reinforced polyester. *Polymer composites*, **16** (5): 349-356
- Curtis A. R., Shortall A. C., Marquis P. M., Palin W. M. (2008). Water uptake and strength characteristics of a nanofilled resin-based composite. *Journal of dentistry*, **36**: 186-193
- Deo, C. (2010). *Preparation and Characterization Of Polymer Matrix Composite Using Natural Fiber Lantana-Camara* National Institute of Technology/Mechanical Engineering Department, Rourkela
- Dokur, M. (2009). *Karbon Fiber Esashlı Polimerik Matrisli Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu* İstanbul Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- F. Dolatzadeh, S. Moradian, M. M. Jalili. (2010). Effect of Nano Silica on Moisture Absorption of Polyurethane Clear Coats as Studied by EIS and Gravimetric Methods. *Progress in Color, Colorants And Coatings*, **3**: 92-100
- Fikru, N. (2009). *Self-Healing Of Fiber Reinforced Polymer Composites* Louisiana State University / Department of Mechanical Engineering
- Girase R., Jaiswal R., Chaudhari L., Bhattacharya S., D'Melo D. (2012). Studies on unsaturated poliester composites for high-temperature applications. *Journal of*

*Vinyl&Additive Technology*, 46-51

- Goffin, A. (2010-2011). *Polymer Bionanocomposites Reinforced by Functionalized Nanoparticles: Impact of Nanofiller Size, Nature and Composition*. Université de Mons/ Faculté des Sciences, Bruxelles
- Hong, Shek C. Abrasion Resistant Coatings. United States Patent Application 20100249295
- Karbhari V.M. (2004). E-glass/vinylester composites in aqueous environments: Effect on shot-beam shear strength. *Journal of composites for construction*, 148-156
- Kinlock A. J. Structural adhesives: Developments in resins and primers. *Elsevier Applied Science Publishers*.
- Kontou E., Georgiopoulos P., Niaounakis M. (2012). The role of nanofillers on the degradation behavior of polylactic acid. *Polymer composites*, 282-294
- Mahajan, S. (2011). *Epoxy Layered Silicate Nanocomposites as Matrix in Fibre Reinforced Composites*. Thapar University/Department of Mechanical Engineering, India
- Orozco, R. (1999). *Effects Of Toughened Matrix Resins On Composite Materials For Wind Turbine Blades*. Montana State University/Chemical Engineering Department. Montana
- Patel, D. (2008). *A comparative study of effects on characteristic properties of FRP composites when exposed to distilled water, NaCl- water solution and sea water separately* National Institute of Technology/ Department of Metallurgical and Materials Engineering Rourkela
- Schutte C. L. (1994). Environmental durability of glass-fibre composites. *Materials Science and Engineering*. R13, 265-324
- Starkova O., Chandrasekaran S., L.A.S.A. Prado, Folke Tölle , Mülhaupt R., Schulte K.(2012). Hydrothermally resistant thermally reduced graphene oxide and multi-wall carbon nanotube based epoxy nanocomposites. *Polymer Degradation and Stability*, In Press, 1-8

- Strait L. H., Karasek M. L. Amateau M. F. Effect of seawater immersion on the impact resistance of glass fibre reinforced epoxy composites. *Journal of composite materials*, **26 (14)**: 2118-2133.
- Suh D., Ku M., Nam J., Kim B., Yoon S. (2001). Equilibrium water uptake of epoxy/carbon fibre composites in hygrothermal environmental conditions. *Journal of composites materials*, **35**: 264-278
- Swei G .S. Rushkin I. L., House D. W., Czubarow P. (2008). Water resistant composite materials. US patent, 0224366
- Tudu, P. (2009). *Processing and Characterization Of Natural Fiber Reinforced Polymer Composites*. National Institute of Technology/Mechanical Engineering Department, Rourkela

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Nurten EKİN  
Doğum Yeri ve Tarihi : Konya 25.03.1985  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim (Telefon/e-posta) : 0 543 782 5656 / nurtnekin@gmail.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Akşehir Anadolu Lisesi : 1999-2003  
Lisans : Ege Üni. Kimya Müh. : 2004-2009  
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üni. : 2012-...

### Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Oruçoğlu Yağ. San. Ve Tic. A.Ş. : 2010-2011  
Başar Çevre ve Danışmanlık Ltd. Şti. : 2011-2012  
Gümrük ve Ticaret Bakanlığı : 2013-...