



Bor Nitrür (BN) ve Tungsten Karbür (WC) Dolgulu Epoksi Reçine Kompozitlerin Radyasyon Geçirgenliği, Termal Özellikleri ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Raziye AKSOY

ORCID 0009-0005-9783-4689

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Nusret KAYA

Eylül,2023

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Raziye AKSOY tarafından hazırlanan **Bor Nitrür (BN) ve Tungsten Karbür (WC) Dolgulu Epoksi Reçine Kompozitlerin Radyasyon Geçirgenliği, Termal Özellikleri ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi** başlıklı bu çalışma tarafımızca okunmuş olup, yapılan savunma sınavı sonucunda kapsam ve nitelik açısından başarılı bulunarak jürimiz tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

ONAYLAYANLAR:

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Nusret KAYA
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

Jüri Üyeleri:

Doç. Dr. Burak GÜLTEKİN
Ege Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa CAN
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

Savunma Tarihi: 07.09.2023

Yazarlık Beyanı

Ben, **Raziye AKSOY**, başlığı **Bor Nitrür (BN) ve Tungsten Karbür (WC) Dolgulu Epoksi Reçine Kompozitlerin Radyasyon Geçirgenliği, Termal Özellikleri ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi** olan bu tezimin ve tezin içinde sunulan bilgilerin şahsıma ait olduğunu beyan ederim. Ayrıca:

- Bu çalışmanın bütünü veya esası bu üniversitede Yüksek Lisans derecesi elde etmek üzere çalıştığım süre içinde gerçekleştirilmiştir.
- Daha önce bu tezin herhangi bir kısmı başka bir derece veya yeterlik almak üzere bu üniversiteye veya başka bir kuruma sunulduysa bu açık biçimde ifade edilmiştir.
- Başkalarının yayımlanmış çalışmalarına başvurduğum durumlarda bu çalışmalara açık biçimde atıfta bulundum.
- Başkalarının çalışmalarından alıntıladığımda kaynağı her zaman belirttim. Tezin bu alıntılar dışında kalan kısmı tümüyle benim kendi çalışmamdır.
- Kayda değer yardım aldığım bütün kaynaklara teşekkür ettim.
- Tezde başkalarıyla birlikte gerçekleştirilen çalışmalar varsa onların katkısını ve kendi yaptıklarımı tam olarak açıkladım.

Tarih: 07.09.2023

Bor Nitrür (BN) ve Tungsten Karbür (WC) Dolgulu Epoksi Reçine Kompozitlerin Radyasyon Geçirgenliği, Termal Özellikleri ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

ÖZ

X-ışını veya gama-ışını elektromanyetik radyasyon veya nötron partikül emisyonları gibi yüksek enerjili radyasyonlar, sağlık ve havacılık gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Şimdiye kadar, istenmeyen radyasyonları azaltmak veya absorbe etmek için beton, polimer kompozitler, kurşun gibi ağır metaller, kurşun oksit/tungsten/kalay kompozitleri vb. dahil olmak üzere bir dizi koruyucu malzeme çeşitli çalışmalarda ve teorik araştırmalarda kullanılmıştır. Bu malzemeler arasında tungsten, yüksek erime noktası, yüksek enerji eşiği püskürtme için minimum erozyon, yüksek termal iletkenlik ve düşük şişme gibi özellikleri sayesinde dikkat çekmektedir. Ayrıca, yüksek yoğunlukları ve avantajlı mekanik nitelikleri nedeniyle, tungsten kompozit malzemeler, yüksek gama radyasyonu koruma uygulamaları için kullanılmaktadır.

Bu çalışmada metal işleme tezgahlarından elde edilen tungsten karbür ve bor nitrürün farklı oranlarda katkılanarak epoksi kompozitleri üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin termal kararlılıkları ve gama radyasyonuna karşı davranışları Cs-137, gama radyoizotop kaynağı kullanılarak incelenmiştir. Son olarak, elde edilen tüm sonuçlar değerlendirilmiş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler:Tungsten karbür, radyasyona dayanıklı malzeme, hekzagonal bor nitrür

Investigation of Radiation Permeability, Thermal Properties and Mechanical Properties of BoronNitride (BN) and Tungsten Carbide (WC) Filled Epoxy Resin Composites

Abstract

High-energy radiation such as X-ray or gamma-ray electro magnetic radiation or neutron particle emissions are used in many fields such as health care and aviation. Until now, concrete, polymer composites, heavy metals such as lead, lead oxide/tungsten/tin composite etc. Have been used to reduce or absorb unwanted radiation. A number of protective materials, including among these materials, tungsten stands out due to its high melting point, high energy threshold, minimum erosion for sputtering, high thermal conductivity and lows welling. Also, due to their high density and advantage out mechanical properties, tungsten composite materials are used for high gamma radiation shielding applications.

In this study, epoxy composites were produced by adding different ratios of tungsten carbide and boron nitride obtained from metal working benches. The thermal stability of the produced composites and their behavior against gamma radiation were investigated using Cs-137, gamma radio isotope source. Finally, all the obtained results were evaluated and compared with each other.

Keywords: Tungsten carbide, radiation resistant material, hexagonal boron nitride

Teşekkür

Yüksek lisans çalışmamda bilgisini ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Nusret KAYA'ya, tez yazımımı aşaması boyunca destek ve bilgisiyle yardımcı olan hocam Sayın Öğr. Gör. Dr.Merve KARAMAN'a, desteği ve güler yüzüyle güzel bir çalışmalarında destek Nefise DEMİR'e, tez çalışmam sürecinde dostluğuyla hep yanımda olan arkadaşlarım Meltem SARGIN, Işıkhan KÖSEM ve Ülfet ÇİFTÇİ'ye

Çalışmam için imkân sağlayan sevgili Prof. Dr. Günseli YAPRAK hocam ve Doç Dr. Berkay CAMGÖZ'e

Tez çalışmamı destekleyen Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) 'a

Tez çalışmam boyunca çalışmalarımı gerçekleştirme imkanı sağlayan İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı'na ,

Analizlerimi gerçekleştirme imkânı sunan Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü'ne ve Enstitü araştırmacı lisans öğrencilerine,

Mükemmel fikirlere sahip olan yeğenim Ali Efe AKSOY'a

Son olarak her zaman yanımda olan aileme sonsuz teşekkür ederim.

RAZİYE

İçindekiler

Yazarlık Beyanı	ii
Öz.....	iii
Abstract	iv
Teşekkür	v
Bölüm 1	1
GİRİŞ	1
1.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	3
1.1.1. Matris Malzemeleri	4
1.1.1.1. Termoset Matrisler	5
1.1.2. Takviye Elemanı	6
1.2.1.1 Sürekli Fiber Takviyeli Kompozitler	7
1.2.1.2 Kısa Fiber Takviyeli Kompozitler	7
1.2.1.3 Parçacık Takviyeli Kompozitler	7
1.1.3. Epoksi Reçine	8
1.1.4. Termoplastik Matrisler	9
1.1.5. Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler	10
1.1.5.1. Karbürler	14
1.1.5.1. Tungsten Karbür	15
1.1.5.3. Hekzagonal Bor Nitrid	18
1.2. Kompozit Malzemelerin Üretim yöntemleri	21
1.2.1 El Yatırma Yöntemi	21
1.2.2 Püskürtme Yöntemi	21
1.2.3 Elyaf Sarma Yöntemi	21
1.2.4 Reçine Transfer Kalıplama	21
1.2.5 Profil Çekme/ Pultrüzyon	22
1.2.6 Hazır Kalıplama	22
1.2.7 Vakum Infüzyon	22
1.3. Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları	22
1.3.1. Kompozit Malzemelerin Avantajları	22
1.3.2 Kompozit Malzemelerin Dezavantajları	23
1.4. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları	24
1.5. Radyasyon	25

1.5.1. Foton ve madde etkileşimi.....	25
1.5.1.1.Fotoelektrik Olayı.....	26
1.5.1.3.Çift oluşumu	26
1.5.1.4. Soğurma Katsayısı (Toplam)	26
1.5.2.Radyasyondan Korunma	27
1.5.3.Radyasyon Dedektörleri	27
1.5.3.1.Gama Radyasyonu Kaynakları	28
Bölüm 2	29
Materyal ve Yöntem	29
2.1. Kullanılan Malzemeler	29
2.1.1.Tungsten Karbür	29
2.1.2.Hekzagonal Bor Nitrür	31
2.1.3.Epoksi Reçine	32
2.2. Kompozit Malzemelerin Üretimi	32
2.2.1. Kalıpların Hazırlanması.....	32
2.2.2. Kompozitlerin Üretimi	33
2.3. Kompozitlerin Karakterizasyonu	35
2.3.1.Eğme(Basma) Cihazı.....	35
2.3.2.DSC	35
2.3.3.TGA.....	36
2.3.4.XRD	37
2.3.5.SEM.....	38
Bölüm 3	39
Sonuçlar ve Tartışma	39
3.1. Malzeme Karakterizasyonu Sonuçları.....	39
3.1.1. Parçacık Boyutu Analizi.....	39
3.1.2.TGA Analizleri	39
3.1.2. XRD Analizleri	41
3.1.4. SEM Analizleri	43
3.2. Mekanik Test Sonuçları	45
3.2.1. Üç Nokta Eğme Sonuçları	45
3.3. Radyasyon Geçirgenliği Sonuçları	47
4.Kaynaklar	52

Şekiller Listesi

Şekil 1. Kompozit Malzeme Bileşenleri.....	2
Şekil 2. Parçacıkların geometrik ve uzamsal özelliklerinin şematik gösterimleri bileşiklerin özelliklerini etkileyebilecek dağılmış faz.....	3
Şekil 3. Kompozitler İçin Farklı Takviye Tipleri.....	4
Şekil 4. Epoksi Grubu.....	8
Şekil 5. WC kesici takımın tarihi gelişimi.....	16
Şekil 6. WC - Co Sistemine Ait Denge Diyagramı.....	17
Şekil 7. WC-Co Karbürün Farklı Co ve WC için Sıcaklığa Sertlik Değişimi.....	17
Şekil 8. Hekzagonal Bor Nitrür ve Grafitin Yapısı.....	18
Şekil 9. Radyasyondan Korunmanın Üç Temel Yolu.....	27
Şekil 10. İyonlaştırıcı Radyasyonların Giriciliklerinin Karşılaştırılması.....	28
Şekil 11. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan silikon kalıplar.....	32
Şekil 12. WC Parçacıklarının Partikül Dağılımı Eğrisi.....	39
Şekil 13. Kompozitlere ait TG A Grafiği.....	40
Şekil 14. Kompozitlere ait DTG Grafiği.....	41
Şekil 15. Kompozitlere ait XRD Grafiği.....	42
Şekil 16. Kompozitlere ait DSC Grafiği.....	43
Şekil 17. dolgulu kompozitlerin kırılan yüzeyinden 2000x yakınlaştırılmış yüksek çözünürlükteki SEM görüntüleri.....	44
Şekil 18. Kompozitlerin kırılmalarına ait eğme grafiği.....	45
Şekil 19. Kompozitlerin modülüs değerlerine ait eğme grafiği.....	46
Şekil 20. X ve Gama ışınlarının soğrulmaları.....	47
Şekil 21. Kompozitlerin Radyasyon Geçirgenliği.....	50

Tablolar Listesi

Tablo 1. Metal, Seramik ve Plastiklerin Karşılaştırılması.....	4
Tablo 2. Cam Lif Bileşimi.....	6
Tablo 3. Bazı Termoplastik malzeme özellikleri ve diğer malzemeler ile karşılaştırılması.....	9
Tablo 4. Bazı ileri teknoloji seramiklerin özellikleri.....	12
Tablo 5. Bazı ileri teknoloji seramiklerinin kullanım alanları.....	13
Tablo 6. Tablo: Sert malzemelerin özellikleri.....	15
Tablo 7. hBN ‘ün Fiziksel Özellikleri.....	19
Tablo 8. h-BN, grafit, Al ₂ O ₃ ve AlN özellikleri.....	20
Tablo 9:Tungsten Karbür (WC) Genel Özellikleri.....	30
Tablo 10. hBN ‘ün Fiziksel Özellikleri.....	31
Tablo 11.Üretilen kompozitlerin kodları ve bileşim oranları.....	33
Tablo 12. DSCQ-2000 Analizinin Kısaca Özeti.....	36
Tablo 13. TGA SDT Q600 Analizinin Kısaca Özeti.....	37
Tablo 14. XRD Panalytical Analizinin Kısaca Özeti.....	37
Tablo 15. SEM Carl Zeiss 300 VP Analizinin Kısaca Özeti.....	38
Tablo 16. Kompozitlere ait I ve I ₀ değerleri.....	47
Tablo 17. Kompozit malzeme kalınlıkları.....	48

Kısaltmalar Listesi

DSC Diferansiyel Taramalı Kalorimetre

TGA Termogravimetrik Analiz Cihazı

XRD X-Işını Difraksiyonu

SEM Taramalı elektron mikroskobu

EDS Enerji Dağılım Spektroskopisi

DTG Diferansiyel Termal Termogravimetrik

7WC1HBN % 70 WC(Ağırlıkça), %10 HBN(Ağırlıkça) içeren %20(Ağırlıkça)
Epoksi Dolgulu Kompozit

6WC2HBN % 60 WC(Ağırlıkça), %20 HBN(Ağırlıkça) içeren %20(Ağırlıkça)
Epoksi Dolgulu Kompozit

5WC3HBN %50 WC(Ağırlıkça), %30 HBN(Ağırlıkça) içeren %20(Ağırlıkça)
Epoksi Dolgulu Kompozit

4WC4HBN %40 WC(Ağırlıkça), %40 HBN(Ağırlıkça) içeren %20(Ağırlıkça)
Epoksi Dolgulu Kompozit

Semboller Listesi

WC	Tungsten Karbür
HBN	Hekzagonal Bor Nitrür
hBN	Hekzagonal Bor Nitrür
WC-Co	Tungsten Karbür Kobalt
Ee	Einstein fotoelektrik bağıntısı
Hv	Foton Enerjisi
I _b	Bağlanma Enerjisi
I	Soğurucudan çıkan radyasyonun şiddeti yoğunluğunu
I ₀	Soğurucuya giren radyasyonun şiddeti yoğunluğunu
μ	Toplam radyasyon geçirgenlik katsayısı
PE	Poli Etilen
PA	Poliamid
PP	Polipropilen
Al ₂ O ₃	Alümina
ZrO ₂	Zirkonya
SiC	Silisyum Karbür
MgO	Magnezya
ZrC	Zirkonyum Karbür
BN	Bor Nitrür
AlN	Alüminyum Nitrür

TiN	Titanyum Nitrür
ZrN	Zirkonyum Nitrür
CdS	Kadmiyüm Sülfür
ZnS	Çinko Sülfür
Mo ₂ Si	Molibden Silisit
WSi ₂	Tungsten disilisit
TiB ₂	Titanyum Diborür
ZrB ₂	Zirkonyum Diborür

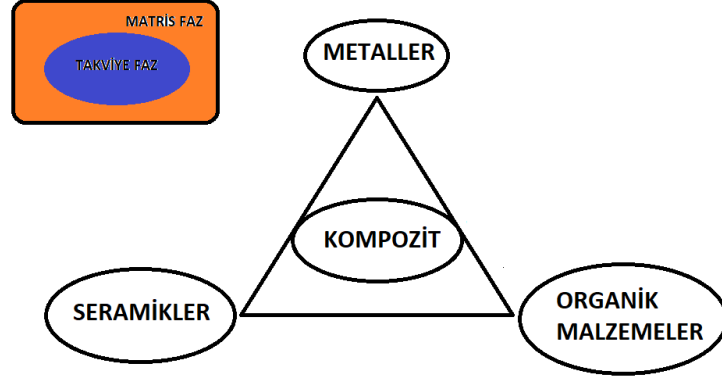
Bölüm 1

GİRİŞ

İnsan ihtiyaçlarının karşılama amacıyla bilim ve teknolojiye ilerlemeler sayesinde farklı özelliklere sahip malzemeler bulunmaya devam edilmekte ve araştırılmaktadır. Yakın geçmişteki ihtiyaçlar, hafif ama yüksek dayanımlı malzemeye olan taleplerin artmasıyla kompozit malzemeler ile ilgili çalışmalar bu doğrultuda artış göstermiştir. Kompozit malzemeler insanların keşfettiği bir şey olmayıp doğa da kendiliğinden olan malzemelerdir. İnsanlar bu malzemelerden ilham alıp çeşitli kompozit malzeme üretimlerine başlamıştır. Ağaç, lignin, selüloz fiberlerden meydana gelen kompozit malzemeler örnek olarak verilebilir. Bu doğal kompozit örneklerinin aksine insan yapımı ileri kompozit malzemeler doğal kompozit malzemelerinden daha güçlü ve serttir[1].

Çok eski tarihlerde, kompozit malzemeleri ev yapımı esnasında saman içine kerpiç blokların eklenmesiyle kullanılmıştır. Günümüzde ise çok farklı ihtiyaçlara hitap edecek şekilde geleneksel malzemelerin yetersiz olduğu durumlarda özel malzeme olarak kullanılmaktadır.

En basit haliyle malzemeler; metal, seramik ve organik malzeme olmak üzere üç ana başlıkta incelenir. Bu başlıklardaki malzemelerin diğerlerine göre olumlu ve olumsuz yönleri bulunmaktadır. Yapılan araştırmalar ışığında, malzemelerin olumlu özelliklerini bir arada toplayabilecekleri yeni bir malzeme olan kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir[2].



Şekil 1. Kompozit Malzeme Bileşenleri[2].

Katı malzemeler, başlıca kimyasal özelliklerine ve atom yapısına dayanarak metaller, seramikler ve polimerler olmak üzere üç temel kategoriye ayrılmıştır. Çoğu malzeme ayrı bir gruba veya başka bir gruba girer. Buna ek olarak, iki veya daha fazla farklı malzemenin özel olarak üretilmiş bileşimleri de vardır. Başka bir kategori ise yarı iletkenler, biyomalzemeler, akıllı malzemeler ve nanomühendislik malzemeleri gibi yüksek teknoloji uygulamalarında kullanılan gelişmiş malzemelerdir[1].

Zamanla üretim süreçlerindeki zorluklar ve yüksek maliyetleri de göz önünde bulundurarak, günümüzde termoplastik kompozitler bu malzemelerin yerini almıştır. Termoset malzemeni alternatifi olarak özel mühendislik termoplastik malzemeler almıştır. Bu durumun başlıca nedeni termoplastik malzemelerin daha avantajlı olmasıdır. Bu avantajlar aşağıda listelenmiştir.

- Yüksek toklukta olan malzemedir,
- Yüksek çalışma sıcaklığında yüksek verimli üretim sağlama,
- Yüksek termal ve mekanik kararlılık,
- Karmaşık olmayan üretim prosesi,
- Geri kullanıma elverişlilik ve hataların minimize edilebilir düzeyde kalması,
- Reçine malzemelerin geri dönüşüme uyum sağlayabilir olması,
- Yorulma ve çatlamaya karşı dirençli yapıda olması,

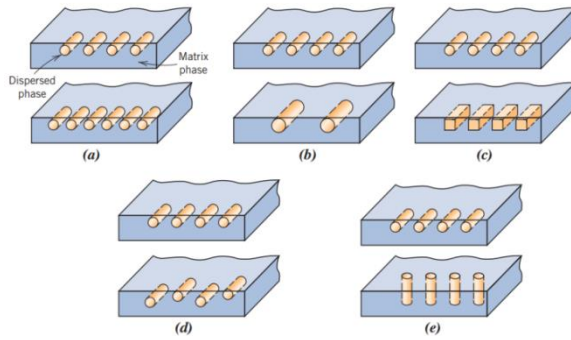
-Kürleme prosesi ihtiyacının olmadığından soğutma deposu kullanılmaması

-Depolama alan için ayrıcalıklı bir alan ihtiyacının olmaması

-Uzun hammadde ömrü[3].

-İnsan üretimi olmalıdır.

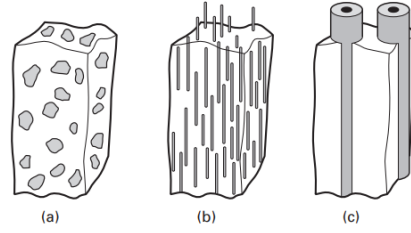
En az iki malzemeden oluşmalıdır ve farklı bileşimlerde kimyasal olarak birbirinden farklı malzemeler olmalıdır. Bileşen malzemeler üç boyutlu olarak birleşmiş olmalıdır. Üretilen kompozit malzeme bileşenlerinden farklı bir özelliği ortaya çıkarmalıdır[4].



Şekil 2. Parçacıkların geometrik ve uzamsal özelliklerinin şematik gösterimleri bileşiklerin özelliklerini etkileyebilecek dağılmış faz: (a) konsantrasyon, (b) boyut, (c) şekil, (d) dağıtım ve (e) yönelme[1].

1.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzeme ana bileşenlerinden olan matris ve takviye elemanlarından oluşmaktadır. Takviye elemanın geometrik yapısı kompozitin sınıflandırılmasında en önemli unsurdur. Temel olarak kompozit malzemeler reçine ile diğer bileşenlerin belirli bir kombinasyon ile sürekli, kırılmış, tabaka gibi fiber malzemelerinden oluşmaktadır. Takviyenin şekilsel görünümü kompozit malzemenin özelliklerini ve üretim yönteminde önemli bir etkidir. Kompozit malzemelerin farklı takviye tipleri Şekil 3'te şematik olarak verilmiştir.



Şekil 3. Kompozitler İçin Farklı Takviye Tipleri: (a) partikül takviyesi, (b) kısa elyaf desteği, (c) sürekli elyaf desteği[5].

1.1.1. Matris Malzemeleri

Kompozit malzemede üretiminde, seramik, metal ve polimer (termoset ve termoplastik) malzemeler matris olarak kullanılır. Bunlar matrislerdir. Üretilen kompozit malzemelerin çoğunda polimer matrisli malzeme tercih edilmektedir. Metal matrisli malzemelerin büyük çaplı üretimleri maliyet açısından yüksek ve çalışma şartları oldukça zordur. Seramik matrisler, kırılğan özelliklere sahip olduğundan dolayı dayanım özellikleri bakımından düşüktür. Bu yüzden kullanım alanları yüksek ısı gerektiren uygulamalarla sınırlıdır[6]. Metal, seramik ve plastiklerin özellikleri karşılaştırmalı olarak Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Metal, Seramik ve Plastiklerin Karşılaştırılması[7].

Düşük:A, Orta:B, Yüksek:C, Kötü: D

Malzeme Grubu	Yoğunluk	Dayanım	Tokluk	Isıl Kararlılık	Biçimlendirme	Birleştirme
Metaller	B-C	B	C	B	B	B
Seramikler	A-C	C	A	C	D	D
Plastikler	A-C	A	A	A	C	C

Kompozit malzemeler içinde fiberler, takviye fazı olarak fiberlerden gelen yüklere dayanım gösterirler. Fiberlerin matristen sıyırma mukavemetinin iyi ya da kötü olması durumu fiber ile matrisin yapışma kuvvetine bağlıdır. Bu yüzden fiber ve matris arasındaki yapışma kuvveti fiber-matris seçiminde ki önemli bir parametredir[1].

Polimerler sıcaklık altındaki davranışları ile termoset ve termoplastik olarak iki gruba ayrılır. Polimer matrisli kompozitlerde matris fazı polimerin çeşidine göre termoplastik veya termoset olarak iki gruba ayrılır.

Termosetler kalıcı bir biçimde şekillendirilir ve sertleştikten sonra yeniden eski haline döndürülemez fakat çok yüksek sıcaklıklarda bozunurlar. Termoplastik malzemeler yapı içinde kendi aralarında zayıf Van der Waals bağı kurarlar. Termosetler matris olarak termoplastiklerden çok tercih edilirler. Şekil verilebilen termoplastik, parçalama işlemi sonrası ısıtılarak yeniden şekillendirilebilir.

1.1.1.1. Termoset Matrisler

Termoset malzemeler kompozit üretiminde tercih edilen matris malzemesidir. Kompozit malzeme üretilirken fiber ve matris malzeme bir araya getirilir daha sonra, bu malzemenin istenilen halde şekillenebilmesi için ısı veya katalizörden yardımıyla istenilen özelliklere getirilir. Böylece kompozit malzemenin katı bir hal alması sağlanır. Isıtma işlemi boyunca polimerizasyon tepkimesi başlar ve sıvı fazda bulunan termoset malzeme rijit bir malzeme olur. Polimerizasyon tepkimesinde moleküller birbirine çapraz bağ kurar ve uzun zincirlerin yeniden bir form oluşturma eğilimi gözlemlenir. Aynı zamanda bu reaksiyona kürlenme denir. Polimerizasyon işlemi bittiğinde termoset malzemeler tekrar ısı işlemi ile yumuşamaz ve erimezler. Termoset malzemeler mükemmel termal kararlılığa, yüksek kimyasal ve yüksek elektriksel dirence sahiptirler[8].

Termoset malzemeler ve termoplastik malzemelere avantajları şöyle sıralanabilir:

- Yüksek kullanım sıcaklığı
- Daha iyi mekanik özellik
- Sertliği ve rijitliği oldukça fazla
- Yüksek kullanım sıcaklığı
- Mükemmel estetik görünüş
- Düşük viskozite

-Kimyasal çözücülere karşı direnç[9].

1.1.2.Takviye Elemanı

Genellikle takviye elemanları fiber,kılcal kristal,ince plakalar, partikül formlarında kullanılmaktadır[10]. Takviye malzemeleri cam lifler, karbon lifler ve polimer lifler olarak sınıflandırılmaktadır.

Cam Lifler

Cam lifler, istenilen mükemmel özellikler ve uygun fiyatı nedeniyle plastik malzemeleri güçlendirmede en yaygın kullanılan malzemelerdir.[11]. Cam life ait bileşenler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Cam Lif Bileşimi[11]

Malzeme	Silika	Kalsiyum Oksit	Alüminyum Oksit	Bor Oksit	MagnezyumOksit
Cam Lif	54	17,5	14	8	4,5

Cam lif malzemeler, yüksek sıcaklığa dayanıklı bir malzemelerdir. Aynı zamanda görünür ışıktaki şeffaf olduğu için, kompozit malzemenin rengini alır.

Karbon Lifler

Karbon lif malzemeleri kimyasal inertlik ve boyutsal olarak kararlı olması nedeniyle olumlu özelliklere sahiptir.Bu malzemenin dezavantajı pahalı maliyeti söylenebilir[11]

Polimer Lifler

Polimer lifler diğer malzemelerin sağlamlığını arttırmak için tercih edilebilecek yeterince sertlik ve sağlamlık özelliklerine sahip değildir. Karbon lifler, diğer lif malzemelerle karşılaştırıldığında en iyi malzemedir[11].

Fiber(takviye) malzemeleri genellikle polimer ve seramiktirler. Polimer esaslı kompozit malzemelerde birçok fiber malzemesi kullanılmaktadır. Kullanım yeri

değişikliğine göre en uygun fiber seçiminin yapılması iyi bir malzeme üretmenin ilk adımıdır[12].

Takviye malzemeleri sürekli ve kısa takviye malzemesi olarak iki ana sınıfa ayrılır.

1.2.1.1 Sürekli Fiber Takviyeli Kompozitler

Sürekli fiber takviyeli kompozitler, üretimi en çok tercih edilen ve kullanımı en çok olan malzeme türüdür. Kompozit malzeme sistemi, metal, polimer veya seramik gibi malzemelerin bir matrisle birleştirilmesiyle bir araya getirilir. Bir kompozit malzemenin mukavemeti ve sertlik gibi özellikleri, kompozit malzemeyi bir araya getiren matris ve takviye elemanının sadece bireysel özellikleri ile değil, aynı zamanda uzunluk-çap oranı olarak tanımlanan boyutsuz bir miktara bağlıdır[13]. Fiberler takviye elemanı, gerekli maksimum şartları sağladıkları için önemli bir takviye sınıfıdır. Bu malzemeler kompozitleri ısıya daha dayanıklı hale getirmek amacıyla kullanılmıştır. Fiberlerde, çeşitli faktörlerden dolayı ideal performansın altında sonuçlanan kompozit malzeme özellikleri de görülmüştür. Performans, uzunluk, şekil, yön, ile bir fiber kompozitin mekanik özellikleri kıyaslanabilir[13].

Fiber takviyeli yapı elemanlarının yüklenmesi en az bir veya iki eksenliden fazladır. En az iki yönden yüklenen kompozitlerde, fiberler farklı yönde yerleştirilir ya da dokumalar hali ile kullanım söz konusudur. İki boyutlu takviye, kompozit malzeme en az iki yönde dayanıklılık gösterir, üç boyutlu takviye kompozit malzemenin mekanik dayanımı her üç yönde artar[14].

1.2.1.2 Kısa Fiber Takviyeli Kompozitler

Kısa fiberlerin çapı yaklaşık 1,5 μm ve uzunluğu 0,5-6 mm aralığında değişmektedir. Kısa fiberlerin verimi, sürekli fiberlerden daha düşüktür. Sürekli fiber takviyeli kompozit malzemelerde fiberler homojendir. Kısa fiber takviyeli kompozit malzemelerde ise rastgele yapıdadır[1].

1.2.1.3 Parçacık Takviyeli Kompozitler

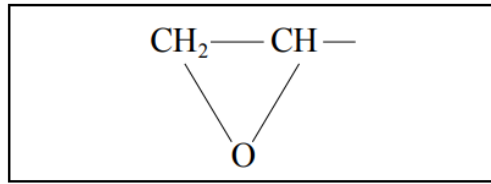
Parçacık takviyeli kompozit malzemelerde parçacık ve matris arasında olan bağ moleküler ya da atomik boyutlarda olabilmektedir. Takviye veriminin yüksekliği, matris malzemenin içindeki homojen ve eşit olarak dağılmasına bağlıdır. Ayrıca

matris ve takviye malzemesinin hacimleri arasındaki oran kompozit malzemenin mekanik özellikleri üzerinde etkilidir [1].

1.1.3.Epoksi Reçine

'Epoksi' terimi aynı şekilde önceden bağlanmış 2 tane karbon atomuna bağlı 1 tane oksijen atomu bağlanmasıyla oluşan kimyasal bir gruptur. En basit epoksi grubu '1,2-epoksi' olarak bilinen 3 parçalı zincir yapısıdır[7]. Epoksi grubuna ait moleküler gösterim Şekil 4'te verilmiştir.

Epoksi reçineler birçok iyi özelliği sayesinde geniş uygulama alanına sahiptir. Epoksi reçinelerin özellikleri tek bir grup sınıflandırma yapılamayacak kadar geniştir. Epoksi reçinelerin çalışma sıcaklığı 70-200°C aralığında değişmektedir. Epoksi reçinenin fiziksel özellikleri uygulanan üretim yöntemine göre değişebilmektedir. Bu üretim yöntemleri sırasında etkileyen faktörler sırasıyla epoksi reçinenin kürlenme oranı, katalizör malzeme seçimi ve uygulanan işlem sıcaklığı önemli faktörlerdendir[8].



Şekil 4. Epoksi Grubu[7].

Epoksi reçinenin olumlu özelliklerinden biri de, malzeme özelliklerini iyileştirme esnasındaki düşük çekme payıdır. Epoksi reçineler yüksek mekanik özelliklere, yüksek elektrik izolasyon ve iyi kimyasal dayanıma sahiptir. Endüstriyel uygulamalarda epoksiler; boya, cila, yapışkan ve dolgu macun gibi kullanım alanları vardır.

Epoksi reçinelerin poliestere reçinelerden farkı, epoksilerde katalizör yerine sertleştirici ile iyileştirilir. Kullanılan sertleştirici genelde amin'dir. Bu sertleştiriciler epoksi reçinenin iyileştirilmesinde aktif rol oynar.

Kullanılan sertleştiricinin türü, üretilen kompozit malzemenin özelliklerini belirleme de aktif bir role sahiptir. Burada diğer önemli husus epoksi ve sertleştiricinin karışım oranının doğru şekilde karışmasıdır. Sertleştirici ve epoksi doğru oranda karışmazsa,

tepkimeye girmeyen reçine veya sertleştirici matris malzemenin içinde kalır, bu durum kompozit malzemeyi tamamen etkileyecek olan bir faktördür[7].

1.1.4. Termoplastik Matrisler

Termoplastik matrisler oda sıcaklığında katı halde bulunan bir malzemedir. Bu malzemelerde moleküller arası zincirler en zayıf bağ olan Van der Waals bağlarıyla birbirine bağlıdır. Termoplastik malzemeler, sert yapıya sahip değildir. Isıya maruz kaldığında yumuşarlar ve viskoziteleri düşer. Malzemenin bu özellikleri bu malzemelerin daha ekonomik olmasını sağlar. Ayrıca kolay şekil alabilen malzemelerdir[6].

Tablo 3. Bazı Termoplastik malzeme özellikleri ve diğer malzemeler ile karşılaştırılması[6].

Malzeme Türü	Poli Etilen (PE)	Poliüretan	Poliamid(PA)	Polipropilen(PP)
Yoğunluk(g/cm³)	0,95	09,2	1,14	0,90
Elastik Modül(MPa)	1000	22	700	1400
Çekme Dayanımı(MPa)	30	14-34	70	35
Kopma Uzaması(%)	10-1200	100-650	300	10-500
Termal İletkenlik	0,48	0,33	0,25	0,12
Isıl Genleşme Katsayısı	60-110	100-220	70-120	80-100

Ergime Sıcaklığı(°C)	---	---	260	175
-----------------------------	-----	-----	-----	-----

Termoplastik Malzemelerin Başlıca Özellikleri

- Düşük çekme dayanımı ve düşük sertlik.
- Düşük rijitlik
- Sünekliği yüksektir.
- Oda sıcaklığında kuvvet etkisi altında sünme ve zamana bağlı olarak değişimleri gözlemlenebilir.
- Bu malzemelerin yoğunluğu metal ve seramik malzemelere göre düşüktür.
- Termal uzama katsayısı yüksektir.
- Düşük ergime sıcaklığına sahiptir.
- Yalıtkan elektrik özelliğine sahiptir[6].

1.1.5. Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler

Seramik malzeme metalik olmayan veya yarı metalik elementlerden oluşan inorganik bileşiklerdir. Element atomları; iyonik bağlanma, kovalent bağlanma ve iyonik-kovalent bağlanma mekanizmalarının biri ile bir arada tutulur.

Çoğu seramik malzemedede, karışık yani iyonik-kovalent bağlanmanın farklı oranlarda bağlanması sonucu oluşur. Bu oran elektronegatiflik farklarına bağlıdır. Seramik malzemeler çok az elektrik ve termal iletkenlik özelliğine sahiptir. Genel olarak çok sert ve gevrektiler.

Seramik malzemeler mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri bir arada olduğu mükemmel bir bileşime sahiptir.

- Seramik malzemeler oldukça sert malzemelerdir.

- Düşük yoğunluğa sahiptirler.
- Elastik modülleri yüksektir.
- Farklı aşınma davranışları karşısında yüksek dayanım gösterirler.
- Elektriksel iletkenliği çok düşük malzemelerdir.
- Termal iletkenlik özellikleri de düşüktür.
- Yüksek termal kararlılığa sahiptirler ve aynı zamanda yüksek refrakter malzemedir.
- Korozyon dirençleri oldukça yüksektir.

Geleneksel seramikler, kil kaolen ve feldspat gibi çeşitli minerallerin şekillendirilip ve yüksek sıcaklıkta pişirilmesiyle oluşur. Yapıda silikatlar, alimünatlar ve metal oksitlerde bulunabilir.

İleri teknoloji seramikler ise oksitler, karbürler ve nitrürlerden oluşmaktadır. Aynı zamanda gelişmiş seramikler katma değeri yüksek malzemelerdir.

Seramik matrisli kompozitler karbür veya oksit oluşan matris ve dağılmış faz ile birleşmesinin sonucunda hazırlanan bir malzemedir. Geleneksel seramiklerin tokluğunu arttırmak üzere tasarlanmış olan seramik matrisli kompozit malzemelerin en büyük dezavantajıdır[15].

Seramik malzemeler farklı oranlarda kristal ve cam yapı fazı içerir. Bu farklı oranlardaki bileşim miktarı ve dağılımı seramik malzemenin özelliğini belirleyen en önemli faktörlerdendir. Bu sebeple seramik malzemelerin geliştirilme ve istenilen özelliği elde etme hususunda çalışmalar ilgi konusudur.

İleri teknoloji seramikler önemli gelişmeler sonucu ortaya çıkmıştır. İleri teknoloji seramikler yepyeni uygulama alanları da açmıştır. Bu malzemelerin birçok avantajlı özelliği farklı endüstri alanlarında çeşitli kullanımlara sahiptir. Bu özellikler ısı ve korozyon dayanımı, üstün yüzey özellikleri, hafiflik ve sertlik olarak sıralanabilir (Tablo 4) [4].

Tablo 4. Bazı ileri teknoloji seramiklerin özellikleri[4]

Malzeme	Ergime Sıcaklığı(°C)	Yoğunluk(g/cc)	Mukavemet(MPa)	Elastik Modül(GPa)	Sertlik(Kg /mm ²)	Tokluk(K _{IC})
Pencere Camı	500	2,2	48	7,2	650	0,5
Al ₂ O ₃	2050	3,96	250-300	36-40	1000-1600	4,5
ZrO ₂	2700	5,6	113-130	17-25	1200	6-9
SiC	3000	3,2	310	40-44	2800	3,4
Si ₃ N ₄	1900	3,24	410	30,7	1300	5,0
WC	2700	15,7	350-550	54-70	2000	5-8

Geleneksel ve ileri teknoloji seramikler arasında farklılıklar vardır. Bu farklılıklar kullanılan hammadde, kullanılan üretilen yöntemi ve mikro yapısı olarak büyük farklılık içerir. Geleneksel seramiklerin hammaddeleri doğal maddelerdir. İleri teknoloji seramiklerin hammaddeleri ise istenilen özellikte yapay olarak üretilmiştir. Yapay hammadde üretimi için ileri teknoloji yöntemler tercih edilir. İleri teknoloji seramiklerin ince tozlardan üretilmekte ve boyutları 1µm'nin altındadır. Bu durum ileri teknoloji bir seramiğin mekanik özelliklerinin geleneksel bir seramiğe göre çok üstün olmasını sağlar.

Mühendislik seramikleri ve yapısal seramikler olarak iki sınıfa ait İleri teknoloji seramikleri vardır. Mühendislik seramiği tanımı, elektrik, optik, optoelektronik ve manyetik terimlerini içeren seramiklerdir. Bu malzemeler tasarım ve proses yönünden tercih edilmesi yüksek olan malzemelerdir.

Yapısal seramikler yüksek sıcaklığa dayanıklıdır ve özel yapı seramiklerin ısı motorları ve enerji santralleri için kullanımı mevcuttur. Bu malzemeler enerji

tasarrufunda etkilidirler[4]. Bazı ileri teknoloji seramiklerinin kullanım alanları Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5. Bazı ileri teknoloji seramiklerinin kullanım alanları[4].

Türü	Atomik Bağ Türü	Örnekler	Özellikleri
Oksitler	İyonik Bağ	Al ₂ O ₃ Cr ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ MgO LiAl ₂ SiO ₆ ZrO ₂	Sert aşındırıcı Sürtünme özellikleri iyi Çok sert
Karbürler	İyonik Bağ	ZrC NbC VC TiC	Elastik Modülü yüksek
	Kovalent Bağ	WC SiC B ₄ C	Yüksek sıcaklıklarda kullanım
Nitrürler	Kovalent Bağ	BN TiN AlN Sialon	Yoğunluğu düşük Yüksek sıcaklığa uygun Çok sert

		Si_3N_4	Sürünme direnci yüksek
Borürler	Kovalent Bağ	ZrB_2 LaB_6	Yüksek iletkenlik Yüksek sürünme özellikleri

İleri teknoloji seramikler başlıca şöyle sıralanabilir:

-Oksitler; Alümina (Al_2O_3), Zirkonya (ZrO_2), Magnezya(MgO).

-Karbürler; Silisyum Karbür (SiC), Tungsten Karbür (WC), Zirkonyum Karbür (ZrC)

-Nitrürler; Bor Nitrür (BN), Alüminyum Nitrür (AlN), Titanyum Nitrür (TiN), Zirkonyum Nitrür (ZrN)

-Sülfürler; Kadmiyum Sülfür(CdS),Çinko Sülfür(ZnS)

-Silisitler; Molibden Silisit (Mo_2Si), Tungsten disilisit(WSi_2)

-Borürler; Titanyum Diborür (TiB_2),ZirkonyumDiborür(ZrB_2)

-Fosfürler; Bor Fosfür (BP)[16].

1.1.5.1.Karbürler

Karbür seramik grubunda tungsten karbür(WC), silikon karbür (SiC), titanyum karbür(TiC), vb. yer alır.

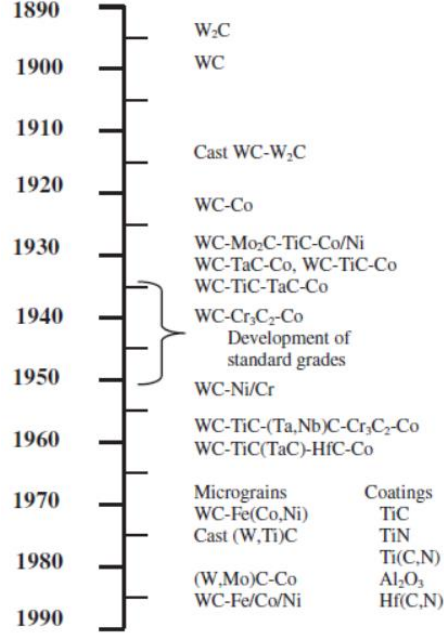
Bazı sert malzemelerin özellikleri Tablo 6'da verilmiştir. WC , TiC , TaC sertlik ve aşınma açısından kullanılabilir malzeme olduğundan kesme aletlerinde kullanılabilir. WC tipik olarak karbürize tozlarıyla üretilir[17].

Tablo 6. Tablo: Sert malzemelerin özellikleri[18].

Faz	Yoğunluk(g/cm³)	ErgimeNoktası (°C)	Sertlik(H V)	Elastik Modülü(kN/mm²)	Elektrik Direnci(μΩ cm)
WC	15,72	2776	3250	720	17
TiC	4,93	3087	2800	470	52
TaC	14,48	3985	1550	560	15
SiC	3,22	2760	2600	480	10 ⁵
Cr₃C₂	6,68	1810	2450	400	75

1.1.5.1.Tungsten Karbür

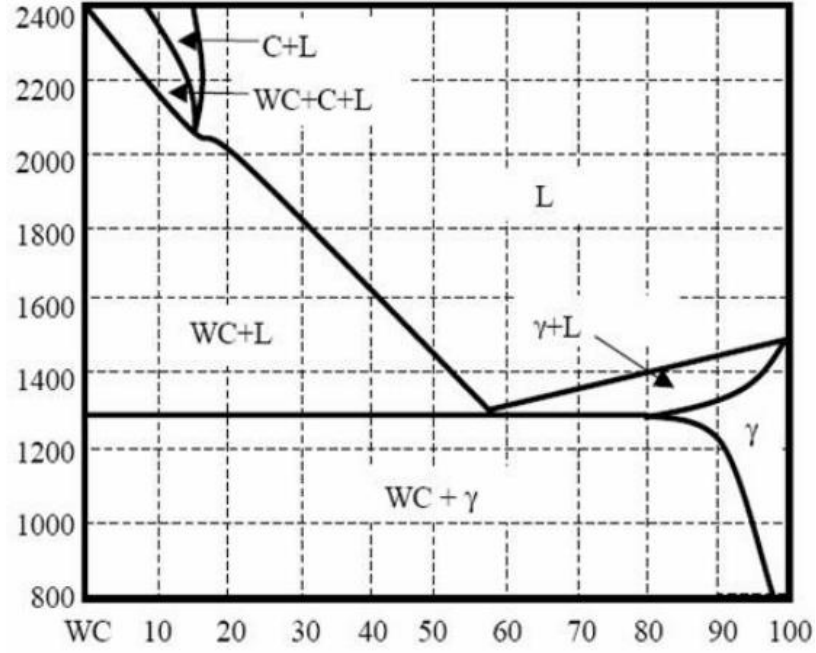
WC-Co metalik kobalt ile WC tanelerinden oluşur. Aşınmaya karşı en dirençli malzemedir. Ayrıca ilk ticari sement karbür WC-Co 'dir[19].WC kesici takımın tarihi gelişimiŞekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. WC kesici takımın tarihi gelişimi[20].

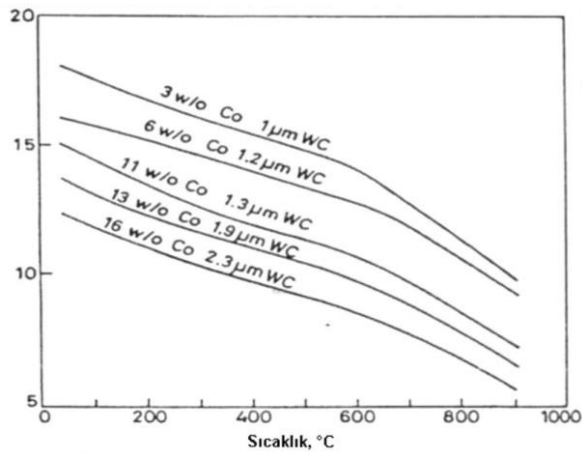
Elmasın yüksek maliyetli olmasından dolayı yerine WC-Co kullanılmaya fikri ortaya çıkmıştır. WC-Co, takım çeliklerine karbür fazı eklenmesiyle farklı kullanıma sahip olmuştur. WC-Co özellikle kesici takım uçlarında kullanımından dolayı sanayide büyük kullanım alanına sahip bir malzeme olmuştur.

WC'in tek başına kullanılmama nedeni; WC'nin gevrek bir malzeme olması ve sinterlemesi çok zor olmasıdır[19]. WC taneleri kobalt fazı ile bir arada tutulur ve malzemenin bu sayede tokluğu artar. WC-Co'ün başlıca üretim yöntemi belirli oranda WC ve kobalt tozlarının sıvı fazda sinterlenmesiyle oluşan bir malzemedir. WC-Co'in mekanik özelliklerini içerdiği kobalt miktarı etkiler[19]. WC-Co sistemine ait denge diyagramı Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. WC - Co Sistemine Ait Denge Diyagramı(X eksen:%Ağırlıkça Co bileşimi, Y eksen: Sıcaklık(°C) [19].

Genel olarak WC-Co birleştiğinde kobalt miktarının artmasıyla tokluğun arttığı bilinir fakat bu durumun olumsuz sonucu da malzemenin sertliğinin düşmesidir. İri taneli WC kesici takım,ince taneli WC'e kıyasla daha serttir. Aynı zamanda iri tane yapısında WC-Co kesme takımlarının basma mukavemetleri diğer türlerine göre küçüktür[20].WC-Co karbürün farklı Co ve WC için sıcaklığa bağlı sertlik değişimiŞekil 7'de verilmiştir.



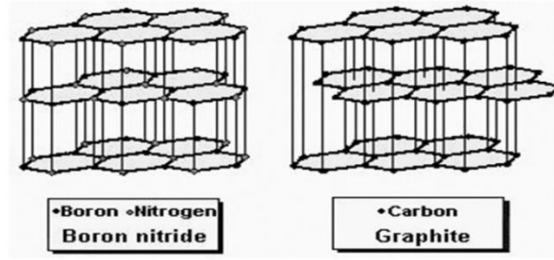
Şekil 7. WC-Co Karbürün Farklı Co ve WC için Sıcaklığa Bağlı Sertlik Değişimi(X Eksen: Sıcaklık (°C), Y Eksen: Vickers Sertliği (HV,GPa)[20].

1.1.5.3.Hekzagonal Bor Nitür

HBN'in yapısı 1951 yılında ilk olarak Pease tarafından keşfedilmiştir. HBN yumuşak ve tabakalı bir yapıdan oluşur.Aynı zamanda HBN "beyaz grafit" olarak da isimlendirilmektedir[21].Hekzagonal bor nitür ve grafitin yapısıŞekil 8'de verilmiştir.

Bor nitür (BN) oksit olmayan seramikler sınıfındadır. BN düşük yoğunluk ve düşük dielektrik sabitine sahiptir. Bunların yanı sıra yüksek ısı iletkenlik ve mükemmel ısı dayanımı ve kimyasal kararlığa sahiptir. Bu özelliklerden dolayı elektronik, optik ve mekanik uygulamalarda kullanımı tercih edilmektedir[21].

Bor nitürün farklı kristal formları mevcuttur. hBN'de bor atomları ve azot atomları kovalent bağlar ile bağlanır. Kristal yapıdaki en küçük birim iki boyutlu zincirlerden oluşmaktadır. Bu levhalardaki birimler arası Van der Waals bağı ile en az üç katmanlı üç boyutlu yapıyı oluşturur[21].



Şekil 8.Hekzagonal Bor Nitür ve Grafitin Yapısı[22].

BN'ün özellikleri hammadde malzemesinin başlangıç özellikleri ve üretim koşullarına göre değişmektedir.Bu farklılıklar temel olarak B_3N_3 halkalarının yoğunlaşmış sistemdeki fazı ve kristalinite gibi özelliklere bağlıdır.

Malzemenin refrakter özelliği gibi yüksek özelliklerden daha uzun ömürlü ürünlerin çıkmasını sağlar. Aynı zamanda hBN zehirli olmayan, çok kolay işlenebilen bir malzemedir. hBN kompozit malzemede katkı malzemesi olarak kullanıldığında malzemenin termal şok dayanımı, işlenebilirliği, elektriksel özelliklerini iyileştirmek ve sürtünmeyi azaltmak amacıyla kullanılabilir[21]. hBN'ün fiziksel özellikleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. hBN 'ün Fiziksel Özellikleri[21].

Özellik	Hekzagonal Bor Nitrür(hBN)
Yoğunluk(g/cm ³)	2,27
Sertlik(Vickers,GPa)	1,3-1,5
Young's Modülü (GPa)	36,5
Termal İletkenlik(W/cm.K)	0,627
Termal Genleşme(K ⁻¹)	3,24x10 ⁻¹
Dielektrik Sabiti	4-5
Aşındırıcılık	Yok

Bor ve nitrojenin özel yapıştırma özellikleri nedeniyle birçok farklı yapıda bor nitrür(BN) yapısı mevcuttur. BN'in kristal yapıları ve özellikleri birbirinden farklı özelliklere sahiptir. h-BN yapıdaki B ve N atomları altıgen halkalardan oluşmuştur. Halkayı oluşturan atomlar arasındaki kovalent bağ çok güçlüdür. Bunun aksine atomik düzlemler arasındaki Van der Waals bağları çok zayıftır[23].

hBN'in bazı önemli özellikleri grafit, alümina (Al₂O₃) ve Alüminyum nitrür (AlN) ile karşılaştırıldığı tablo aşağıda verilmiştir (Tablo 8).

Tablo 8. h-BN, grafit, Al₂O₃ ve AlN özellikleri[23].

	h-BN	Grafit	Al₂O₃	AlN
Teorik Yoğunluk(g/cm ³)	2,27	2,1-2,2	3,98	3,26
Erime Noktası(°C)	3000	3700	2015	220
Dielektrik Sabiti	4,2	-	9,7	10
Dielektrik Gücü	35	-	9	14
Çalışma Sıcaklığı	1000	330	1700	1350
	3000	1650	2000	
	700	-	-	

h-BN'ün mükemmel özelliklerinden dolayı elektronik devrelerdeki yalıtkanlar, soğutucular, metal işleme alanında hammaddeler ve seramik katkı malzemeleri olarak endüstride farklı kullanımlara sahiptir.

h-BN yüzey kaplama işlemlerinde yapışmaz, oksitlenmez olduğu için tercih edilir. Kaplama uygulamalarında form verme işlemi ve döküm işlemleri uygulanır. Bu kaplamalar; cam, plastik ve kauçuk endüstrisinde ve ayrıca metal endüstrisinde kullanılır. hBN kaplamalar mükemmel kullanım kolaylığına sahipken, kaplama içermeyenlerden kullanım sıcaklığı düşüktür.

hBN gelişmiş seramik kompozitlerde kullanılır. Ayrıca nitrür oksit, borür veya karbür seramiklere eklenebilir[23].

1.2. Kompozit Malzemelerin Üretim yöntemleri

1.2.1 El Yatırma Yöntemi

Dokuma halinde veya kırılan elyaflarla hazırlanmış takviye kumaşları kalıp üzerine elle yatırma yöntemi ile katmanların içine nüfuz ederek şekil verilir. Takviye kumaşına elyaf yatırılmadan önce kalıp temizlenir. Daha sonra jelkot malzeme sürülür. Jelkot malzeme serleştikten sonra elyaf katlara yerleştirilir. Kompozit malzemenin hazırlanması aşamasında reçine malzemesi en son eklenir. Son işlemden elyaf ve reçinenin etkileşiminin çok iyi olması gerekmektedir[24].

Elle yatırma tekniğinde en çok kullanılan polyester ve epoksi reçineler de farklı kullanım amacıyla tercih edilen malzemelerdir. Elle yatırma düşük maliyetli işlemler için uygun bir yöntemdir. Fakat elle yatırma yönteminde yoğun bir çalışma ve özen gereklidir[24].

1.2.2 Püskürtme Yöntemi

Püskürtme yöntemi makine ile yapılır ancak mantığı elle yatırma yöntemine benzerdir. Kırılmış elyaf malzeme kalıp yüzeyine sertleştirici epoksi karışımı püskürtülür. Daha sonrasında yüzeyin bir rulo ile düzeltilerek ürünün son hali hazırlanmış olur[24].

1.2.3 Elyaf Sarma Yöntemi

Bu yöntem sürekli elyaf lifler, reçine ile ıslatılır, bir makara yardımıyla çekilir dönen kalıp üzerine sarılması işlemlerini kapsayan bir yöntemdir. Sürekli liflerin farklı açılarda sarılması farklı mekanik özelliklerde ürünlerin elde edilmesini sağlar. Belli sayıda ki elyaf katı sarılmasıyla son ürün sertleşir[24].

1.2.4 Reçine Transfer Kalıplama

Reçine transfer kalıplama işlemi, üretim aşamasında parçalar hızlı üretilmekte ve uzun ömürlü olmaktadır. Bu yöntemde iki parçalı kalıp kullanmak en önemli şarttır. Kalıbın kompozit malzeme ile yapılması çelik kalıp maliyetine göre daha düşük olmasını sağlamaktadır[24].

1.2.5 Profil Çekme/ Pultruzyon

Bu yöntem düşük maliyetli üretim yöntemi olmasının yanı sıra sürekli sabit kesitli kompozit profil ürünlerin üretilbildiği seri üretim yöntemidir. Sürekli takviye malzemesi reçine banyosundan geçer. Banyo işleminden geçen malzeme 120-150 °C'ye kadar değişen sıcaklıkta olan şekillendirme kalıbından geçtikten sonra sertleşmesi gerçekleştirilir. Sürekli elyaf kullanıldığı için takviye malzemesi yönünde yüksek mekanik mukavemet elde edilir[24].

1.2.6 Hazır Kalıplama

Hazır kalıplama, kompozit malzemelerin sıcak pres kalıplarla ürüne dönüştürülmesidir. Bu yöntem ile kompleks şekillerin üretilmesi gibi avantajları bulunmaktadır. Ayrıca ürünün alt ve üst yüzeyi de kalıp ile şekillenmektedir. Diğer kompozit malzeme üretim tekniklerinde elde edilemeyen delik benzeri karışık şekiller bu yöntem ile elde edilebilir. Bu yöntemin dezavantajı maliyetli olması ve kalıpların buzdolabı gibi soğuk ortamda saklanması gerekliliğidir. Hazır kalıplama yönteminde genelde iki çeşit kalıplama yöntemi kullanılmaktadır. Fakat kullanılan malzeme içeriğine göre bu yöntemler çeşitlilik gösterebilir [24].

1.2.7 Vakum İnfüzyonu

Kompozit malzeme ilk olarak kalıba yerleştirilir. Daha sonra vakum torbası en üst katmanda yer alacak şekilde yerleştirilir. En son uygulamada kürlenme için tüm bileşenler fırına yerleştirilir. Kompozit malzemelerde meydana gelen tamir işlemleri için vakum torbalama yöntemi tercih edilir[24].

1.3. Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları

1.3.1. Kompozit Malzemelerin Avantajları

Kompozit malzemeler yüksek mukavemete sahip ve düşük ağırlıklı olarak üretilirler. Kompozit malzemelerin diğer malzemelerden avantajlar şöyle sıralanabilir:

1. Tek bir kompozit malzeme, birçok metalik malzemenin alternatifi olabilir. Kompozit malzemeler yüksek sertliğe sahiptir.
2. Yüksek mukavemet/yoğunluk oranına sahiptir. Bu oran alaşım oranlarınının 3-5 katı kadardır.

3. Yorulma dayanımları yüksektir.
4. Korozyon dağılımları yüksektir.
5. Kompozit malzemelerin tasarımı geniş tasarım aralığına sahiptir ve bu malzemelerin boyutsal kararlılıkları da yüksektir.
6. Kompozit malzemenin ses ve titreşim özellikleri metaller ile karşılaştırıldığında kompozit malzemelerin bu özellikleri daha iyidir.
7. Kompozit malzemeler motorlarda kullanılabilen hidrolik sıvılar, yağlar ve çözücülere karşı inert bir davranış sergiler[25].

1.3.2 Kompozit Malzemelerin Dezavantajları

Kompozit malzemeler olumlu yönlerinin yanında olumsuz özelliklere de sahiptir. Bu özellikleri şu şekilde sıralayabiliriz:

1. Kompozit malzemelerin ağırlık bazında çelik ve alüminyumla kıyaslandığında 5-20 kat daha maliyetlidir.
2. Kompozit malzeme ısı dayanımı takviye ve matris malzemesinin ısı dayanımına bağlıdır. Bu yüzden matris malzemesinin ısıl dayanımı kompozit malzemedeki sıcaklık dayanımını belirleyen en önemli faktördür.
3. Kompozit malzemenin neme maruz kalması malzemenin özelliklerini ve boyutsal kararlılığında etkiyen bir faktördür.
4. Kompozit malzemenin üretimi boyunca takviye ve matris malzemesi arasında etkileşim ve bağlanma gerçekleşir.
5. Mühendislik malzemeleri homojen ve izotropik yapıya sahiptir. Homojen yapı içinde benzer özellik gösterir ve yapının içinde konum değişikliğinden dolayı farklılık göstermez. İzotropik yapı malzemenin özellikleri bir nokta içinde yöne bağlı olarak özelliklerde bir değişiklik olmamaktadır.
6. Kompozit malzemeler genellikle heterojen anizotropik yapıya sahiptir. Anizotropik bir yapıda bir noktada tüm yön için farklı özelliklere sahiptir yani özellikler benzer değildir. Bu tür malzemelerde özellikler yöne bağlı olarak değişir. Kompozit malzemelerin heterojen ve anizotropik yapıya sahip olmaları nedeniyle tasarımları ve yapılacak olan analizleri içinde oluşabilecek istenmeyen özelliklere sahip olabilirler. Mikro mekanik analizde mikroskobik ölçeklerde kompozitin matris ve takviye malzemesinin tekli yapılarından yola çıkılarak kompozit malzemenin özellikleri incelenebilir.

7. Makro mekanik analiz sırasında kompozit malzeme içinde dağılımın her yerde eşit olduğu kabul edilir ve analizler bu varsayım üzerine yapılır. Mikro ve makro mekanik analizler ile kompozit maksimum verimde tasarlanmaya çalışılır. Gerilme ve şekil değişimi arasındaki bağıntı Hooke kanunu ile verilir. Tabakalı kompozitlerin mekanik davranışlarının analizi Hooke bağıntısı ile izotropik, ortotropik ve anizotropik durumlar için de çözümlenebilir[25].

1.4. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Kompozit malzemelerin birçok sektörde kullanımı mevcuttur. Bu sektörlerin örnekleri şöyle sıralayabiliriz:

-Ev aletleri; (masa, sandalye,televizyon kabinleri vb.) örnek verilebilir.

-Elektrik elektronik sanayi; Kompozit malzemeler elektronik sanayide hem hammadde hem de üretim malzemesi olarak kullanılır.Burada bu malzemelerin en büyük avantajı izolasyon sağlamalarıdır.

-İş makineleri; Koruma kapakları ve çalışma kabinlerinde kullanıma sahiptir.

-İnşaat sektörü; İnşaat sektöründe kompozitlerin sağladığı izolasyon ve aynı zamanda bakım giderlerini azaltmıştır.

-Uzay ve havacılık sanayi; Kompozit malzeme ile uzay ve havacılık sanayide daha hafif malzemeyle atmosfer şartlarında dayanım sağlamaktadır. Verimlilik artması şartıyla aynı zamanda hızda artış ve yakıt giderindeki azalışlarında iyileştirmeler beklenir[4]. Özellikle havacılık sanayide hafiflik özelliklerinin yanı sıra yüksek mekanik özelliklere katkılarından dolayı tercih edilir[24].

-Denizcilik sanayi; Yelken direği, yat, tekne arkasıplatform, yelkenli gövdesi gibi farklı kullanımları mevcuttur.

-Spor araçları; Kompozit malzemelerin kullanım alanları arasında spor araç ve gereçlerinde yer almaktadır. Bu malzemelere örnek olarak;

-Su kayağı; Termoplastik prepreg,Su kaydırakları, sörf tahtaları;CTP

-Golf spor gereçleri;Karbon fiber malzemesi ve Epoksi (Örnek; tenis raketi ve epoksi)

Sağlık;Tekerlekli sandalye

Ulaşım alanında kullanım; Traktör kaportası, kabin malzemeleri, toplu taşıma araçları koltukları

Otomotiv; pedallar; %40 Cam+ poliamid 6, fitre kutusu; %35CAM+ poliamid 66, cam sileceği; %30 Cam+PBT[24].

Kompozit malzemeler otomotiv sektöründe birbirinden farklı özelliklere sahip olmasından dolayı tercih edilmektedir.

Bunlar,

-Düşük maliyete sahip olmaları

-Üretim hızının yüksek olması

-Hafif olması

-Tasarımının kolay bir şekilde yapılabilmesi

-Isıya dayanımının iyi olması gibi nedenlerden dolayı uygulama da önemli bir yere sahiptir[26].

1.5. Radyasyon

1.5.1. Foton ve madde etkileşimi

Ortamda bulunan atomlar fotonlar tarafından elektron ve çekirdek yardımıyla etkileşim sağlarlar. Bu etkileşimden kütle ve yük söz konusu değildir. Ortamda etkileşme mekanizmaları yüklü parçacıklardan çok farklıdır.

Soğurma katsayısı üç ayrı etkileşme mekanizması fotoelektrik etki, compton etkisi ve çift oluşumu olayları ile ilgili soğurma katsayıları sırasıyla μ_p , μ_c , μ_{pp} 'nın toplamıdır.

$$\mu = \mu_p + \mu_c + \mu_{pp}$$

1.5.1.1.Fotoelektrik Olayı

X ışınları veya gama ışınları bir atom üzerine düştüğünde, orbital elektronlarının herhangi birisi ile enerjisinin tamamını aktarması sonucunda elektron üzerinden elektron kopmasına fotoelektrik etki denir. Atomdan kopan elektrona fotoelektron denir.

Einstein fotoelektrik bağıntısı;

$$E_e = h\nu - I_b$$

I_b : Bağlanma enerjisi (elektron koparmak için gerekli enerji)

$h\nu$: foton enerjisi [27].

1.5.1.2.Compton Saçılması Olayı

Foton enerjisi büyük olduğunda foton yörünge elektronu ile saçılması sonucunda aralarında bir etkileşim gerçekleşir. Foton, enerjisini bir kısmını atomik elektronlara aktarılır. Bu etkileşim sırasında daha küçük enerji saçılır. Böylelikle elektron (geri tepen elektron) ise kazandığı kinetik enerji ile yörüngeden ayrılır [27].

1.5.1.3.Çift oluşumu

Yüksek foton enerjili etkileşimlerde meydana gelen yük alanı etkisi ile artı ve eksi yüklü atomlar meydana gelir. Bu olay foton soğurulması ile meydana gelen bu etkileşime çift oluşumu olarak adlandırılır [27].

1.5.1.4. Soğurma Katsayısı (Toplam)

Her etkileşimde lineer soğurma katsayısı, tesir kesitleri ile birim hacimdeki soğurucu atom sayısı N_0 ile çarpımıdır. A ve ρ sırası ile soğurma atom ağırlığı ve soğurma yoğunluğu olmak üzere

$$N_0 = \frac{A \rho}{A}$$

$$\mu_1 = N_0 \sigma_P + N_0 \sigma_C + N_0 \sigma_{PP}$$

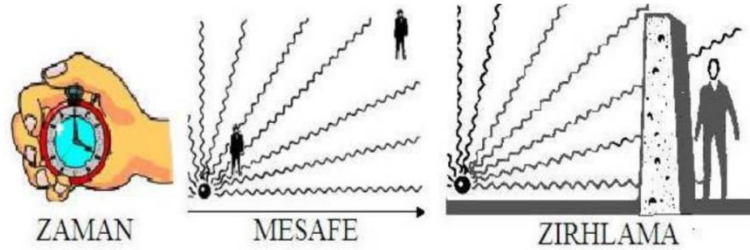
Radyasyonun madde ile etkileşiminde ortamın yoğunluk etkisini sabit bir değer olarak almak için hesaplamalarda kütle soğurma katsayısı $\mu_m = \mu_1 \rho$ tercih edilir.

Ortamın kütle soğurma katsayısı;

$$\mu_m = C_1 \mu_m^1 + C_2 \mu_m^2 + \dots + C_n \mu_m^n [28]$$

1.5.2. Radyasyondan Korunma

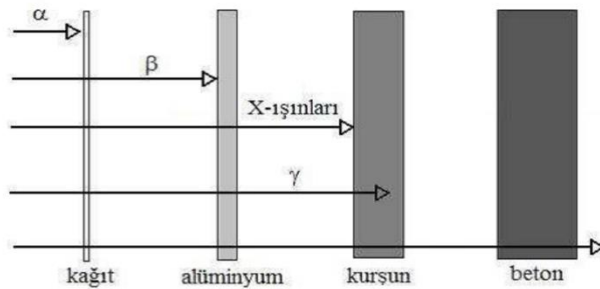
Radyasyonun canlılar üzerinde sebep olduğu hasarların yeni nesillere aktarıldığı bilinmektedir. Bu sebeple çeşitli kaynaklardan yayılan radyasyonun kontrolü ve radyasyondan korunmanın yolları üzerinde durulmalıdır [27]. Radyasyondan korunmanın üç temel yolu şematik olarak Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Radyasyondan Korunmanın Üç Temel Yolu [29]

1.5.3. Radyasyon Dedektörleri

Radyasyon insan duyu organıyla algılanamaz. Bu nedenle radyasyon tespiti için radyasyon dedektörleri olarak adlandırılan cihazlar tasarlanmıştır. Radyasyon ölçümünde kullanılan 3 tip dedektör tipi vardır. Bu dedektör tipleri sırasıyla; gazlı, yarı iletken ve sintilatör dedektörler olarak adlandırılır [27]. İyonlaştırıcı radyasyonların giriciliklerinin karşılaştırılmasına ilişkin görsel Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. İyonlaştırıcı Radyasyonların Giriciliklerinin Karşılaştırılması [29]

İyonlaştırıcı radyasyonların içinde giriciliği en yüksek olan gama ışını ile çalışılmıştır.

1.5.3.1.Gama Radyasyonu Kaynakları

Gama ışınları yayan kaynaklar endüstride çokça kullanılmaktadır.Kaynakların kullanım amaçları sahip oldukları enerji, yarı ömür ve maliyet gibi faktörlere göre değişmektedir[27].

Gama ışınları düşük enerjiye sahip ve yüksek enerjiye sahip ışınlar olarak tanımlanmaktadır.

Düşük enerjili $E_{\gamma} < 200 \text{ keV}$ ' den küçük enerjiye sahip olan enerjidir. $E_{\gamma} > 0.5 \text{ MeV}$ ' den büyük enerjiye sahip olan yüksek enerji olarak tanımlanır.

Bölüm 2

Materyal ve Yöntem

Tez çalışması kapsamında 7WC1HBN, 6WC2HBN, 5WC3HBN,4WC4HBN ve Epoksi kompozit malzemesi üretildi ve karakterize edildi. Üretilen kompozit malzemelerin bileşimlerinin değişimi ile mekanik ve termal özelliklerinde iyileşmeler gözlemlendi ve ayrıca radyasyon geçirgenliği incelendi.

Üretilen kompozit malzemelerdeki tungsten karbür metal işleme tezgahlarındaki atıktır. Çalışmada atık malzemedeki, farklı bileşim oranlarına sahip, radyasyona dayanıklı, kompozit malzemeler üretilmiştir. Kompozit bileşimindeki değişime bağlı mekanik özelliklerdeki değişimler incelenmiştir. Ayrıca malzemenin karakterizasyon analizleri ile malzemenin yapısı hakkında ayrıntılı bilgi elde edilmiştir. SEM analizinin yanı sıra, SEM EDS görüntüleri ile yapısal bileşimi tespit edilmiştir.

2.1. Kullanılan Malzemeler

2.1.1. Tungsten Karbür

Kesici takımlarda abrasif eleman olarak tungsten karbür çeşitli tungsten içeren mikro yapılarda yer alabilir. WC-Co hem sert bir malzeme hem de toklukta benzersiz yapıya sahip olan bir malzemedir. Tungsten karbürün yüksek sertliğinde yararlanmak ve tokluğu artırmak için tungsten karbürü bağlamak için metal bağlayıcılar kullanılır. Bu sayede çoğu kesme işleminde bu malzemedeki yararlanır.

Bu çalışmada metal işleme tezgahlarından atık olarak ayrılan tungsten karbür, içerdiği kirlilikten arındırılarak kompozit üretiminde kullanılmıştır. Tungsten karbürü ait özellikler Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9:Tungsten Karbür (WC) Genel Özellikleri

Özellik	
Erime Noktası °C	2870
Kaynama Noktası °C	6000
Yoğunluk g/cm ³	15,63
Basma Mukavemeti MPa	4200-5850
Malzeme Sertlik	2600
Elastisite Modül GPa	520-600
Kristal Yapı	Hekzagonal
Lattice Parametre	a= 0,2907 c= 0,2837
Erime Noktası °C	2870
Kaynama Noktası °C	6000
Yoğunluk g/cm ³	15,63
Basma Mukavemeti MPa	4200-5850
Sertlik Hv	2600

Elastisite Modülü GPa	520-600
Kristal Yapısı	Hekzagonal
Lattice Parametresi	a= 0,2907 c= 0,2837

2.1.2.Hekzagonal Bor Nitrür

Düşük yoğunluğa sahip bir malzeme olan bor nitrür, oksit olmayan seramikler grubundadır. hBN'ye ait fiziksel özellikler Tablo 10'da verilmiştir. Yüksek ısı ve kimyasal dayanıma sahiptir. hBN kompozitlerde malzemenin termal şok dayanımı, işlenebilirliği ve elektriksel özelliklerini iyileştirmek için katkı malzemesi olarak kullanılır. Bu tez çalışmasında kompozit malzemenin dolgu malzemesi olarak kullanılan hBN'ün farklı oranlarda eklenmesi ile malzemenin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Tablo 10. hBN 'ün Fiziksel Özellikleri[21]

Özellik	Hekzagonal Bor Nitrür(hBN)
Yoğunluk(g/cm ³)	2,27
Sertlik(Vickers,GPa)	1,3-1,5
Young's Modülü (GPa)	36,5
Termal İletkenlik(W/cm.K)	0,627
Termal Genleşme(K ⁻¹)	3,24x10 ⁻¹
Dielektrik Sabiti	4-5

2.1.3.Epoksi Reçine

Epoksi birçok olumlu özelliğe sahip bir malzemedir. Epoksi reçinenin fiziksel özelliği uygulan üretim yöntemi ve kullanım amacına göre değişiklik gösterir. Tez kapsamında üretilen kompozit malzeme matris malzeme olarak kullanılan epoksi reçine, Hitachi firmasından temin edilmiştir.

2.2. Kompozit Malzemelerin Üretimi

Takviye malzemesi kompozit malzemenin bir arada durmasını ve daha iyi mekanik özelliklere sahip olmasını sağlar. Kompozit malzemenin üretiminde dikkat edilmesi gereken en önemli konulardan biri bileşenlerin çok iyi karışmasını sağlamaktır. Matris malzeme ile takviyenin iyi karışımı sağlandıktan sonra el yatırma yöntemiyle şekil verilmiştir.

2. 2. 1. Kalıpların Hazırlanması

Kompozit malzemenin üretimi için elle yatırma yöntemi kullanılmıştır. Kompozit malzeme üretilmeden önce silikon ve belli orandaki sertleştirici karıştırılarak 10x10x2 mm olacak şekilde kalıplar üretilmiştir. Kullanılan kalıplar Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 11. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan silikon kalıplar

Silikon, sertleştirici ile karıştırıldı. Oluşan kalıbın şeklini koruyabilmesi için 90 °C’ de 1,5saat süreyle etüvde şekil alması için bekletildi.Şeklini koruduğu gözlenen kalıp, kompozit malzeme üretimi için kullanıma hazır olarak saklandı.

2.2.2. Kompozitlerin Üretimi



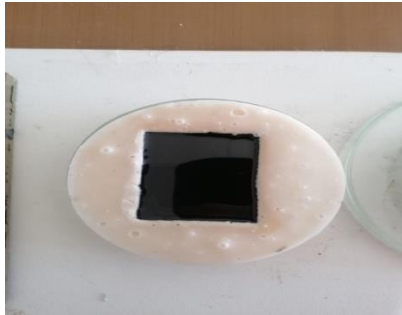
Tez çalışması kapsamında ağırlıkça % epoksi oranı sabit tutulup, farklı % ağırlıkça oranlarda WC/HBN kullanılarak 4 farklı kompozit üretildi. Üretilen kompozitlerin özelliklerinin değişimini kıyaslayabilmek için, katkı kullanılmadan epoksi kompozitler üretildi. Çalışmada üretilen kompozitler, verilen kodları ve bileşim oranları Tablo 11’de özetlenmiştir.

Tablo 11.Üretilen kompozitlerin kodları ve bileşim oranları

Kompozit	WC(%Ağırlıkça)	HBN(%Ağırlıkça)	Epoksi(%Ağırlıkça)
7WC1HBN	70	10	20
6WC2HBN	60	20	20
5WC3HBN	50	30	20
4WC40HBN	40	40	20
Epoksi	0	0	100

5 gram sertleştirici, 15 gram epoksi reçine çok iyi şekilde karıştırılıp silikon kalıplara döküldü ve1 saat etüvde bekletildi.

Etüvde bekleme süresi ve etüv sıcaklığı kompozit malzemenin özelliklerini etkilediği bilindiğinden optimum süre ve sıcaklık değerlerinin belirlenmesi için denemeler yapıldı.

Süre	Sıcaklık	Kurutma için kullanılan cihaz	Elde edilen Sonuç	
1 saat	90°	Etüv	Kötü mukavemet/homogen olmayan görünüm	
1 saat	170°	Vakumlu Fırın	Hava boşluklu kötü yüzey	
1 saat	150°	Etüv	İyi mukavemet/Homogen görünüm	

Elde edilen sonuçlara göre optimum sıcaklık 150° olarak belirlenmiştir.

2.3. Kompozitlerin Karakterizasyonu

2.3.1. Eğme(Basma) Cihazı

Basma deneyi, çekme deneyinin tam tersi olan bir deney sistemidir. Basma testi, çekme testinin yapıldığı cihazda yapılır. Basma deneyi sırasında eşit bir gerilim dağılımı elde etme amacı ile daha çok düzkesitli olmayan numuneler kullanılır.

Uygulanan basma yüküne karşı numune boyundaki azalma cihazı bağlı olan bilgisayar ile grafik olarak kaydedilir. Basma deneyinde, çekme deneyinde olduğu gibi gerçek ve mühendislik gerilme ve birim şekil değiştirmeleri arasında benzer bağlantılar geçerlidir.

Merkezi araştırma ve uygulama laboratuvarlarında bulunan çekme basma test cihazı 300 kN ve 20 kN olmak üzere 2 adet yük hücreğine sahiptir.

Her numune yaklaşık 10 mm uzunluğundaki her bir numune için ayrı ayrı 3 nokta eğme deneyi gerçekleştirilmiştir. Mesnetler arası mesafe 300 mm'dir. Numune genişliği 2 mm ve yükleme hızı 1kN'u geçmeyecek şekildedir.

İstenilen uzunlukta (300 mm) mesnetler arası mesafe ayarlandıktan sonra numuneler mesnetlerin üzerinde ortalanmış olarak yerleşir. Çekme cihazının üst çenesi ve numune ile çok hafif temas sağlanana kadar yani ışık huzmesi geçecek kadar aşağı doğru indirilmiş şekilde durur. Çekme cihazını kontrol eden program ile kuvvet ve uzama bilgileri sıfırlanmış ve deney bu şekilde tekrar etmiştir. Deney numune kırılıncaya kadar cihaz tarafından kuvvet uygulanmasıyla gerçekleştirilir.

Eğme(bükülme) analizi için MTS EM Flexure cihazında 20 kN kapasiteli olacak şekilde 3 nokta eğme aparatı ile deneyler yapılmıştır.

2.3.2.DSC

DSCanalizi termal analiz cihazları sınıfında yer alır. Bu cihaz belli bir referans noktası ile numuneden gelen veya uzaklaşan ısı farkının sıcaklığa ve zamana bağlı olarak numune ve referans arasında meydana gelen sıcaklık farkını eşitlemek için numuneye verilen enerji miktarını değiştirmektedir. Böylece numunede meydana gelen faz değişimlerinin sonucuna göre ısı transfer miktarı hakkında bilgi vermektedir.

Bu çalışmada test için DSC 2000 modeli 7WC1HBN, 6WC2HBN, 5WC3HBN, 4WC4HBN ve %100 Epoksi kompoziti için DSC analizi yapılmıştır. DSC eğrileri, RSC90 ile kalori modeli ile DSC Q20’de elde edilmiştir. Her test için her numuneden alınan 10 mg miktarında numunenin uygun yerleştirilmesi yapılarak $10\pm 0,5$ mg olarak analizi yapıldı. Soğutma hızı $10\text{ }^{\circ}\text{C/dk}$ ile $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’dir. Denge sıcaklığı 50°C ’dir. Nitrojen gaz akış hızı ve oksijen gaz akış hızı 40 ml/dk ’dır. Her DSC analizi yaklaşık 1 saatte tamamlanmıştır. Elde edilen sonuçların verileri cihazda kurulu olan TA yazılımı ile sağlanmıştır. DSC analizine ilişkin özellikler Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12. DSCQ-2000 Analizinin Kısaca Özeti

Cihaz	TA Q-2000 DSC
Numune Miktarı	$10\pm 0,5$ mg
Gaz	Nitrojen, Oksijen
Akış Hızı	40 ml/dk
Sıcaklık Aralığı	$10\text{ }^{\circ}\text{C}-300^{\circ}\text{C}$
Ramp Hızı	-50°C

2.3.3.TGA

Numunelere ait TGA analizi SDT Q600 TGA modeli kullanılmıştır. 10’ar mg olarak tartılan numuneler alümina pan içine sıkıştırılmıştır. Sıcaklık aralığı $100^{\circ}-600^{\circ}$ olup nitrojen gaz akış hızı 100ml/dk ’dır. TGA’ya ilişkin özellikler Tablo 13’te verilmiştir.

Tablo 13. TGA SDT Q600 Analizinin Kısaca Özeti

Cihaz	SDT Q600
Numune Miktarı	10±0,5 mg
Gaz	Nitrojen
Akış Hızı	100 ml/dk
Sıcaklık Aralığı	54.35 °C-1480°C
Ramp Hızı	10°C/min- 600°C

2.3.4.XRD

Kompozitlere ait XRD verileri X-ışınları Kırınımı, Panalytical XRD cihazı ile elde edilmiştir(Tablo 14).

Tablo 14. XRD Panalytical Analizinin Kısaca Özeti

Cihaz	PanalyticalXrd
X-Ray tüp gücü	4Kw(max 60Kw, max 100Ma)
Anot Malzeme Seçenekleri	Cu,Co ,Cr, Fe,Mo,Mn,Ag
Dedektör boyutu	256 x256 piksel
Dinamik menzil	10 ¹⁰

Maksimum açısal hız	15 °/ sn
Konfigürasyonlar	Dikey gonyometre, teta-teta ve alfa-1

2.3.5.SEM

Kompozitlere ait SEM görüntüleri Carl Zeiss 300 Vp SEM cihazı ile elde edilmiştir. Her numunenin 2 farklı bölgesi için 10µm, 20µm ve 100µm yakınlaştırılmış görüntüleri toplanmıştır. Ayrıca 4WC4HBN,7WC1HBN ve epoksi kompozitleri EDS analizi eZAF Smart Quant Results programından yararlanılarak yapılmıştır. Tablo15'te SEM analizine ilişkin özellikler verilmiştir.

Tablo 15. SEM Carl Zeiss 300 VP Analizinin Kısaca Özeti

Cihaz	SEM Carl Zeiss 300 VP
Kamera	IR Aydınlatmalı CCD kamera
Görüntüler	Yüksek çözünürlük(%85 kalite)
Dedektör	C2D, VPSE
Mikroskop	1.2nm (15kV ve 30Kv), 2nm(1Kv'da)

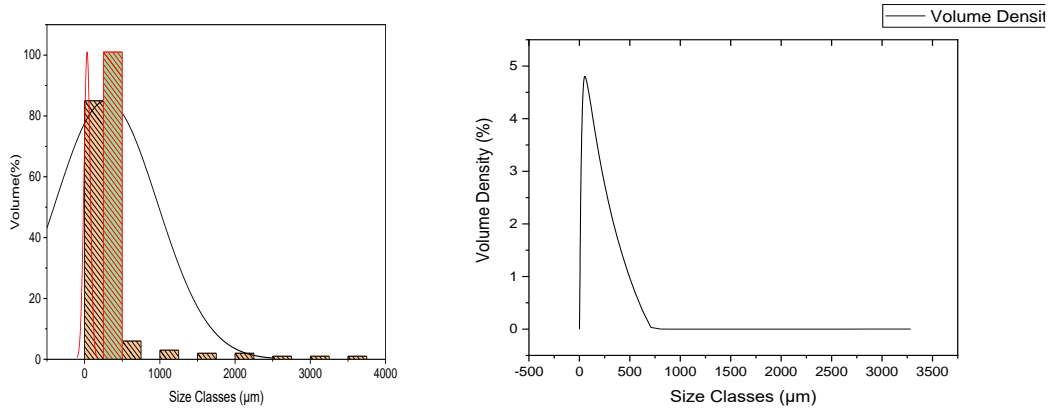
Bölüm 3

Sonuç lar ve Tartışma

3.1. Malzeme Karakterizasyonu Sonuçları

3.1.1. Parçacık Boyutu Analizi

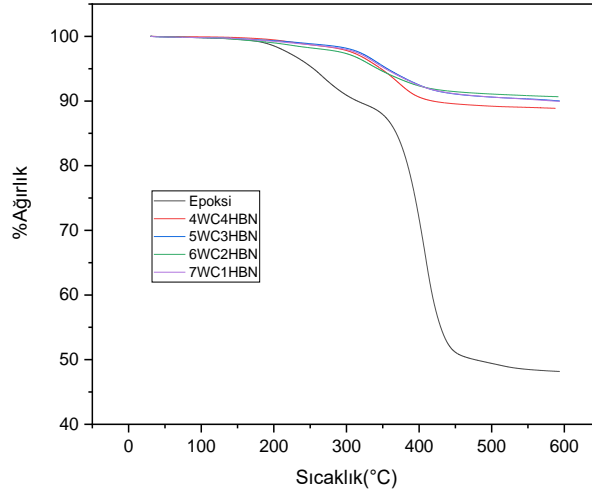
Geri dönüştürülmüş WC parçacıklarının partikül boyutu dağılım eğrisi Şekil 12’de gösterilmektedir. Bu eğriye göre, geri dönüştürülmüş WC partiküllerinin partikül hacmi dağılımı tek modlu bir gauss dağılımı göstermektedir. Hacim dağılımına göre partiküllerin ortalama boyutu 5 µm’dir (D50) ve partiküllerin %50’si 5 µm’den küçüktür. Ayrıca, D10 ve D90 sırasıyla 2,5 µm ve 11,5 µm olarak elde edilmiştir. Grafik ayrıca 100 µm’den küçük bazı büyük partiküllerin varlığını da göstermektedir.



Şekil 12. WC Parçacıklarının Partikül Dağılımı Eğrisi

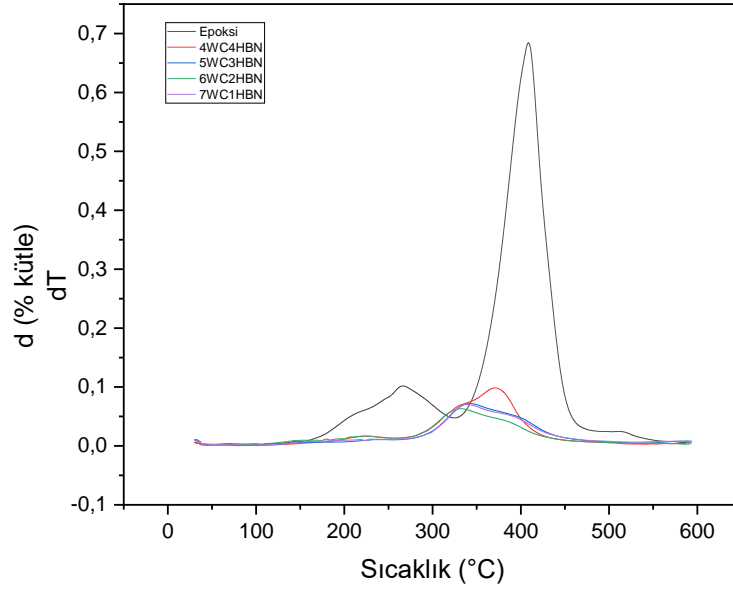
3.1.2. TGA Analizleri

Kompozitlerin termal kararlılığını belirlemek için TGA analizi gerçekleştirilmiştir. Her bir kompozit 10 mg ağırlıkta olup, analizin gerçekleştiği sıcaklık aralığı 50°C-600 °C’dir. TGA analizine ilişkin grafikler sırasıyla Şekil 13’te verilmiştir.



Şekil 13.Kompozitlere ait TGA grafiği

Grafikten elde edilen verilere göre sadece epoksi reçine kullanılarak hazırlanan numunenin 600°C'de ağırlığının %51'ini kaybettiği görülmektedir. HBN/WC hibrit dolgulu epoksi kompozitler için değerler %22-10 aralığında değişmektedir. Kompozitteki dolgu miktarı ile ağırlık kaybındaki azalışın ters orantılı olduğu görülmüştür. Burada HBN/WC dolgu miktarının artması ile epoksinin termal kararlılığının arttırdığı görülmektedir. Kompozitlere ait bozunmaya başlama sıcaklığı 285°C olarak belirlenmiştir. Bu değer saf epoksi için 185°C'dir. Epoksi ve kompozitlere ilişkin DTG grafiği Şekil 14'te verilmiştir.



Şekil 14. Kompozitlere ait DTG Grafiği

Bu grafikler incelendiğinde epoksi kompozit malzemesinin iki basamaklı termal bozunmaya, HBN/WC dolgulu kompozit malzemelerinin ise tek basamaklı bozunmaya sahip olduğu görülmektedir.

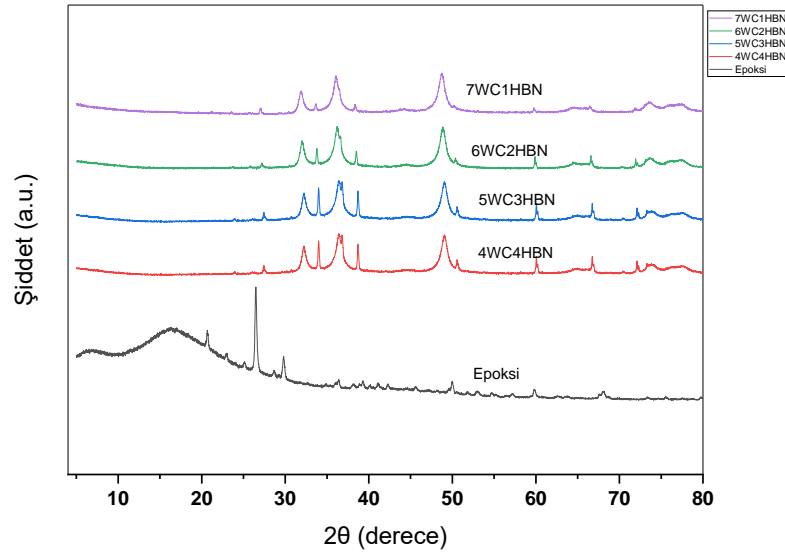
Epoksi için maksimum kütle kaybı sıcaklık değerleri sırasıyla 265 ve 407°C olarak bulunmuştur. 4WC4HBN kompozit malzemesi için 370°C'dir. 5WC3HBN kompozit malzemesi için 336°C'dir. 6WC2HBN kompozit malzemesi için 336°C'dir. 7WC1HBN kompozit malzemesi için 328°C'dir. TGA ve DTG analiz sonuçları ve grafikten okunan değerler kompozit malzemedeki dolgu miktarının artışı T_g (camı geçiş sıcaklığı) ve T_m (termal bozunma) değerini düşüren bir faktör olmuştur.

3.1.2. XRD Analizleri

Farklı bileşimdeki kompozit malzemelerin WC, HBN ve epoksi faz bileşimlerinin esas olarak XRD analizi ile belirlenmiştir. Numunelerin tipik XRD sonuçları Şekil 15'de verilmiştir.

XRD grafiklerinde büyük arka plan tümseği, amorf veya nanokristal faz varlığını gösterir[30]. Kompozitlerdeki değişen dolgu miktarı ile elde edilen daha WC çözünmesi/termal ayrışma derecesi, XRD grafiğinde WC piklerinin azaltılmış göreceli yoğunlukları ile görülmüştür.

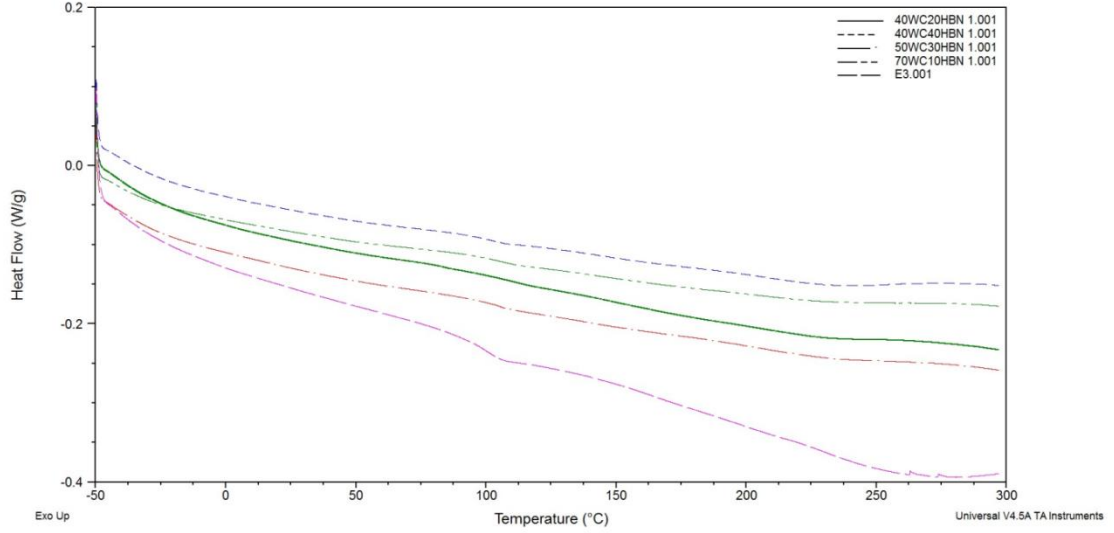
hBN'ün belirgin özelliği, 26.6°'de görülen ana yansıma zirvesinin (002) yoğunluğunun, artan hBN ilaveleriyle artmasıdır[31]. Bu pik, değişen dolgu miktarında hBN'den sonra açıkça görülebilir. hBN tepe noktası görünür hale gelir gelmez, 28° ve 35°'de iki ek tepe daha görünür.



Şekil 15. Kompozitlere ait XRD Grafiği

3.1.3. DSC Analizleri

7WC1HBN, 6WC2HBN, 5WC3HBN, 4WC4HBN ve Epoksi kompozit malzemelerinin termal geçiş sıcaklıkları DSC termogramında Şekil 16'da verilmiştir. Malzemeler epoksi tabanlı olduğu için ergime sıcaklığı T_m gözlemlenmemiştir. Malzemelerin kürlenme sıcaklıkları 100 °C civarında olduğu saf epoksi analizinden anlaşılmıştır. Kompozit malzemeler de polimer miktarı azaldığı için bu geçiş tam olarak gözlemlenememiştir. Malzemelerin termal bozunma noktasına ulaşamadığı için malzemelerin bozunma sıcaklıkları belirlenememiştir. Tungsten karbür miktarı arttıkça DSC termogramın da grafik yukarıya doğru kaymıştır. Bu tarz epoksi malzemeler için yapılan testlerle yaklaşık aynı sonuçlar elde edilmiştir.



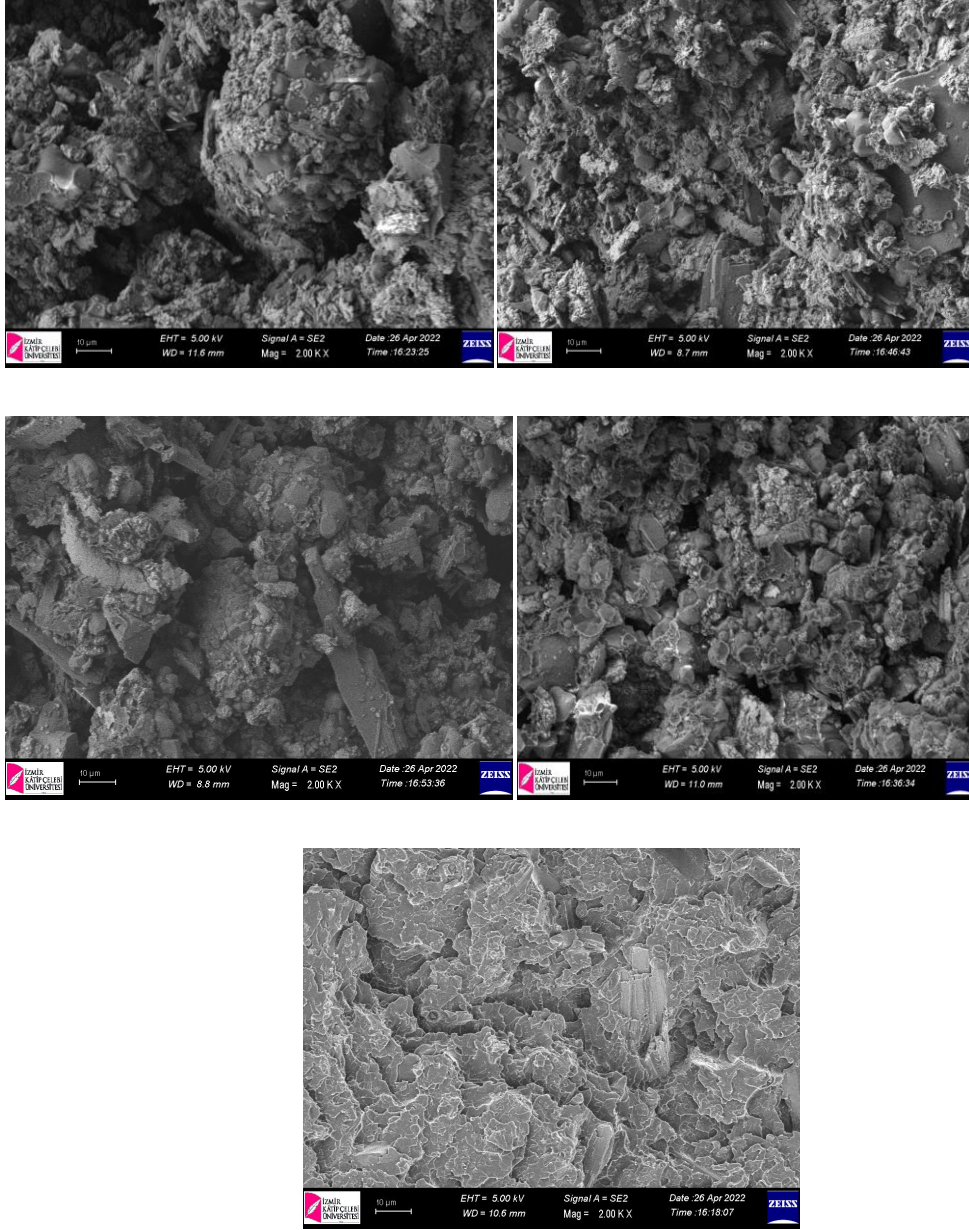
Şekil 16. Kompozitlere ait DSC Grafiği

3.1.4. SEM Analizleri

SEM analizi yüzeyin morfolojik özellikleri hakkında bilgi verir. Kompozit numunelerin yüzeyleri bir tarama elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak yüzeysel görüntüleri çalışıldı. Çalışmada kullanılan 5 farklı oranda WC ve HBN dolgululu epoksi kompozit malzemenin farklı açılardan alınan SEM görüntüleri Şekil 17’de verilmiştir.

SEM görüntüleri dolgu malzemelerinin etkileşiminin dolgu eklenmemiş epoksi’ye göre dağılımının daha iyi olduğunu göstermiştir. Eklenen matris malzemenin oranının WC ve HBN malzemesinin değerleri yakın olduğunda etkileşimin daha iyi olduğu görülmektedir.

7WC1HBN de WC malzemesinin oranının yüksek olması kompozit malzemedeki dağılımının iyi olmadığını göstermektedir. 6WC2HBN kompozit malzemedeki dağılımının bir önceki kompozit malzeme bileşim oranına göre daha iyi olduğunu göstermektedir. 4WC4HBN kompozit malzemesi, kompozit malzeme bileşim oranının en iyi dağılım görüntüleri elde edilmiştir.



Şekil 17. a)7WC1HBN, b)6WC2HBN, c)5WC3HBN, d)4WC4HBN e)Epoksi dolgulu kompozitlerin eğme testi ile kırılan yüzeyinden 2000x yakınlaştırılmış yüksek çözünürlükteki SEM görüntüleri

Kompozit malzemedeki dolgu miktarındaki değişim kompozit malzemenin yapısındaki dağılımda en büyük etken olmuştur. Bu durum kompozit malzemenin elle yatırma yöntemi ile üretilmiş olmasından dolayı homojen bir yapıda olmamasından kaynaklı olduğu kanısına varılmıştır. Kompozit malzemenin homojen yapısına bir etken yapıdaki artan WC parçacıklarının oranındaki artış homojen bir kompozit malzeme yapısı oluşturmuştur.

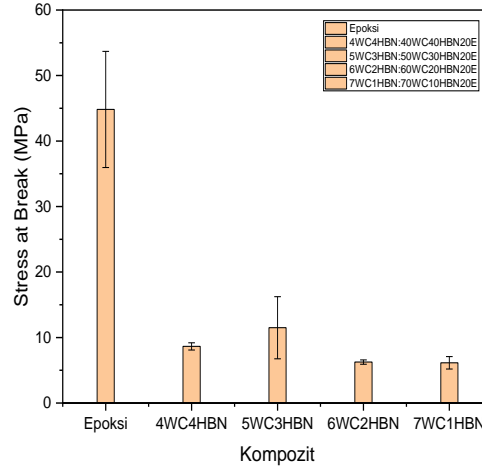
3.2. Mekanik Test Sonuçları

3.2.1. Üç Nokta Eğme Sonuçları

Matris ve takviye malzeme arasındaki arayüzey bağı bir kompozit malzemede önemli noktalardandır. Yükün matristen elyaflara dengeli aktarılması kompozitin tabakalar arası kırılma tokluğunu etkileyen en önemli faktördür. Kırılma tokluğu bükülme dayanımı ile arasında doğrudan bir ilişki vardır.

Şekil 19 ve Şekil 20’de ki veriler incelendiğinde kompozit malzemedeki takviye miktarındaki oranlarda değişim kompozitin eğilme özelliklerini de etkilediği anlaşılmaktadır. Yapılan deneyler sonucunda takviye miktarının artması malzemedeki mekanik özelliklerin artmasını sağlamıştır.

Takviye malzemesi olmayan epoksi kompozitte yüzeyde bir uçtan diğer uca gerçekleşen tam kırılmalar meydana gelmiş dolayısıyla eğilme mukavemeti düşüktür. Takviye malzemelerinden oluşan kompozitin yüzeyinde kırılmalar düzensiz şekilde olmuştur.

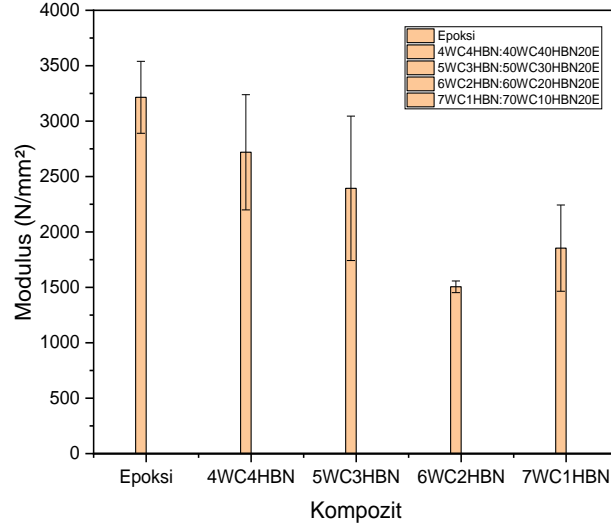


Şekil 18. Kompozitlerin kırılmalarına ait eğme grafiği

Şekil 18 dolgu maddesi ağırlık fraksiyonunun HBN ve epoksi dolgulu WC kompozitlerin eğilme dayanımları ve modülleri üzerindeki etkisini göstermektedir.

Şekil 19’da görüldüğü gibi, kompozitlerin eğilme mukavemeti değerleri epoksi kompozitinkinden daha düşüktü. Kompozit malzemelerin içinde 6WC2HBN

kompozit malzemesinde dolgu miktarına karşı en düşük modülüs değişimi görülmüştür.



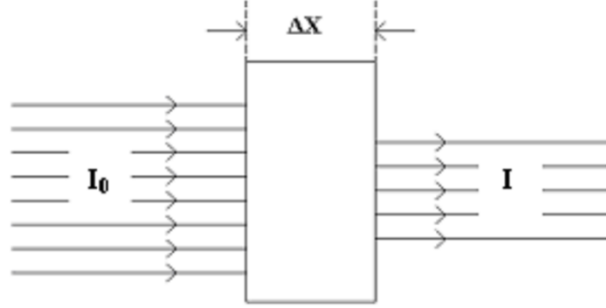
Şekil 19. Kompozitlerin modülüs değerlerine ait eğme grafiği

Kompozit malzemedeki mekanik mukavemeti arttırmak için malzemeye silan eklenmiştir. Üretim aşamasında 150°C' sıcaklıkta etüvde malzemenin yüzeyinde gözle görünür derecede çatlaklar oluşmuştur. Bu durum sonucunda kompozit malzeme üretimine silanlama yapılmadan devam edilmiştir.

Mekanik analiz sonuçları üzerinden SEM görüntüleri ilişkilendirildiğinde de iki verinin birbirini ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. SEM görüntülerinde polimer kısmının azalması mekanik analiz noktasında eğilme dayanımının azalması ve elastik modülün belli bir miktar artması gözlemlenmiştir.

3.3. Radyasyon Geçirgenliği Sonuçları

Radyasyon geçirgenliği analizi Cs-137, 662 keV' şartlarında gerçekleştirilmiştir. Geçirgenlik testi için basit gösterim Şekil 20'de verilmiştir.



Şekil 20. X ve Gama ışınlarının soğrulmaları[32]

Hesaplama da kullanılan denklem,

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x}$$

$\mu(\text{cm}^{-1})$ cinsinden hesaplanır. Kompozitlere ait I ve I_0 değerleri Tablo 16'te verilmiştir.

Tablo 16. Kompozitlere ait I ve I_0 değerleri

Kompozit	I	I_0
7WC1HBN	7136	8089
6WC2HBN	7299	8013
5WC3HBN	7050	7812
4WC4HBN	7219	7702

Epoksi	7114	7579
--------	------	------

I soğurucudan çıkan, I_0 da soğurucuya giren radyasyonun şiddeti yoğunluğunu göstermektedir. Kompozit malzemenin kalınlık ölçümleri değerleri aşağıdaki Tablo 17’te verilmiştir.

Tablo 17. Kompozit malzeme kalınlıkları

Kompozit	Kalınlık =x(cm)
7WC1HBN	0,42
6WC2HBN	0,39
5WC3HBN	0,50
4WC4HBN	0,37
Epoksi	0,64

1. 7WC1HBN kompozit malzemesinin toplam geçirgenlik katsayısı $\mu(\text{cm}^{-1})$ hesabı;

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x}$$

$$\frac{7136}{8089} = e^{-\mu(0,42)}$$

$$\mu = 0,298\text{cm}^{-1}$$

2. 6WC2HBN kompozit malzemesinin toplam geçirgenlik katsayısı $\mu(\text{cm}^{-1})$ hesabı;

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x}$$
$$\frac{7299}{8013} = e^{-\mu(0,39)}$$

$$\mu = 0,240 \text{ cm}^{-1}$$

3. 5WC3HBN kompozit malzemesinin toplam geçirgenlik katsayısı $\mu(\text{cm}^{-1})$ hesabı;

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x}$$
$$\frac{7050}{7812} = e^{-\mu(0,50)}$$

$$\mu = 0,205 \text{ cm}^{-1}$$

4. 4WC4HBN kompozit malzemesinin toplam geçirgenlik katsayısı $\mu(\text{cm}^{-1})$ hesabı;

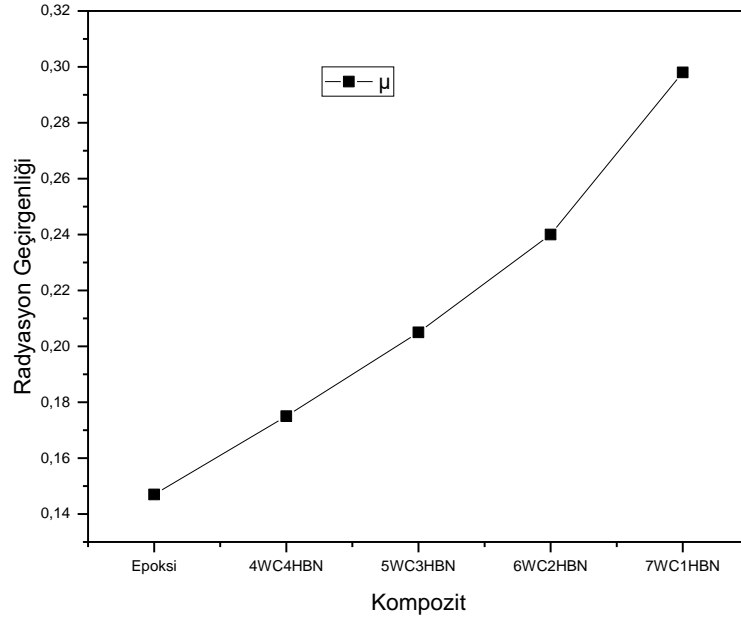
$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x}$$
$$\frac{7219}{7702} = e^{-\mu(0,37)}$$

$$\mu = 0,175 \text{ cm}^{-1}$$

5. Epoksi kompozit malzemesinin toplam geçirgenlik katsayısı $\mu(\text{cm}^{-1})$ hesabı;

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x}$$
$$\frac{7114}{7579} = e^{-\mu(0,64)}$$

$$\mu = 0,147 \text{ cm}^{-1}$$



Şekil 21. Kompozitlerin Radyasyon Geçirgenliği

Değişen dolgu oranlarına bağlı olarak kompozitlerin radyasyon tutuculuk katsayıları μ değerleri Şekil 21’de verilmiştir. Artan WC oranı ile radyasyon tutuculuk katsayısının arttığı anlaşılmıştır.

Şekil incelendiğinde 7WC1HBN değeri ne kadar radyasyon tutuculuğunda görülen doğrusal artıştaki eğim bu katkı oranının aşılmasıyla birlikte daha dik bir eğim ile yükselmeye başlamıştır. Diğer ifade ile o nokta eğim açısının artış gösterdiği noktadır. Bu farklılık WC’nin geçirgenliğinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

Gelecekteki Çalışma

Teknolojinin hızlı gelişmesi tarım, nükleer tıp, güç üretim sistemleri, nükleer tesisler gibi alanların yaygınlaşmalarına yol açmakta, bu da canlıların X, Gamma ışınları gibi radyasyona maruz kalma sürelerini ve frekanslarını arttırmaktadır. Dolayısıyla düşük maliyetli, hafif ve toksik olmayan radyasyon koruma ve azaltma malzemelerine duyulan gereksinim de artmaktadır. Bu malzemeler bu tezde incelenen mekanik dayanıklılık, termal özellikler açılarının yanı sıra kimyasal direnç açısından da incelenmek durumundadır. Araştırmalar nötronları durduracak malzeme bulmak için olacaksa onları en çok yavaşlatan bileşenin hidrojen atomu olduğu dikkate alınarak ilerlemeye çalışmalıdır. Basit gibi görünse de X ışınlarına karşı korunmada partikül büyüklüğünün ve kompozit hazırlama metodunun da büyük elementlerin radyasyonu yavaşlatma katsayısı üzerinde büyük etkisi olduğu da unutulmamalıdır.

4.Kaynaklar

- [1] H. Ford, *Materials science and engineering*, vol. 14, no. 1. 1974. doi: 10.1016/0025-5416(74)90116-5.
- [2] K. ALİ İHSAN and H. Turgut, “Atık Kâğıtlardan Geri Atık Kağıtlardan Kazanılmış Liflerden Kompozit Malzeme Üretim Olanaklarının Araştırılması,” pp. 236–239, 2015.
- [3] A. Tatlid, “Production and Characterization of Carbon Fiber Reinforced Polyetherimide Composites,” 2020.
- [4] Y. İ, “SiC İlaveli Alümina Seramik Kompozitler,” 2007.
- [5] M. Meyers *et al.*, *Mechanical behavior of materials*, vol. 46, no. 12. 2009. doi: 10.5860/choice.46-6830.
- [6] “Darbe Altındaki Elyaf Takviyeli Kompozit Tüpün Sonlu Elemanlar Modellenmesini ile İncelenmesi,” 2007.
- [7] K. İ. T. Yapıların, Ü. İ. Lmes, and İ. Özelli, “El Yatırma Yöntemi ile Elyaf Takviyeli Kompozit Yapıların Üretilmesi ve Özellikleri,” *El Yatırma Yöntemi ile Elyaf Tak. Kompoz. Yapıların Üretilmesi ve Özellikleri*, no. 141102820040090, 2007.
- [8] H. BAL, “Thermal and Mechanical Properties of Continuous Fiber Reinforced Thermoplastics,” 2009.
- [9] D. G. Wilms, “Table of Contents Table of Contents,” *Eur. Univ. Inst.*, no. 2, pp. 2–5, 2012.
- [10] N. Milazzo *et al.*, “Karma Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Üretimi, Mekanik Özellikler ve İşlenebilirliklerinin İncelenmesi,” *Phys. Rev. A*, vol. 100, no. 1, pp. 1612–1616, 2008.
- [11] U. M. D. E. C. D. E. Los, “Plastik Matrisli Kompozit”.
- [12] Callister W Rethwisch D, “Fundamentals of Material Sciences and Engineering an Integrated Approach,” 2012.
- [13] S. Y. Fu and B. Lauke, “Effects of fiber length and fiber orientation distributions on the tensile strength of short-fiber-reinforced polymers,” *Compos. Sci. Technol.*, vol. 56, no. 10, pp. 1179–1190, 1996.
- [14] U. M. D. E. C. D. E. Los, “Ön Gerilimli Karbon Elyaf Takviyeli Kompozit Üretimi İçin Sistem Tasarımı, İmalatı ve Kompozit Malzeme Üretimi”.
- [15] K. Mohammadi *et al.*, “Seramik Matrisli Radyasyon Zırh Malzemelerinin Hazırlanması ve Zırhlama Performanslarının Araştırılması,” *Adv. Drug Deliv. Rev.*, vol. 135, no. January 2006, pp. 989–1011, 2017.
- [16] T. Çerezci, “Nikel Partikül Takviyeli Alumina Seramik Kompozitlerin Sentezi Ve Karakterizasyonu,” p. 117, 2008.

- [17] G. M, “Fundamentals of Modern Manufacturing,” 2016.
- [18] “Çeliklerde Difüzyonla Karbür Kaplama Teknolojisi.pdf.”
- [19] F. Değirmenci, “Wc-Co Semente Karbürlerin Üretimi ve Karakterizasyonu,” *İstanbul Tek. Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü*, p. 1,18,24,31,62, 2008.
- [20] C. S. Pazos, “Karbür Kesici Takımların Süper Alaşım Talaşlı İmalat Performanslarına Borlama İşleminin Etkisi,” *Anal. Micro-Earthquakes San Gabriel Mt. Foothills Reg. Gt. Pomona Area As Rec. By a Tempor. Seism. Deploy.*, vol. 1, no. hal 140, p. 43, 2014.
- [21] kue tradisional khas Aceh, “Hidroksiapatit(HA)-Hekzagonal Bor Nitrür(hBN)Kompozitlerinin Elektroforetik Birikim(EPD)Yöntemi ile Metal İmplantların Kaplanması,” *Ayay*, vol. 8, no. 5, p. 55, 2019.
- [22] “July 2015,” *TAPPI J.*, vol. 14, no. 7, 2015, doi: 10.32964/tj14.7.
- [23] H. E. Çamurlu, “Carbothermic Production of Hexagonal Boron Nitride,” no. November, p. 124, 2006.
- [24] L. Y. Mayıs, “İ Stanbul Tİ Caret Odası,” 2004.
- [25] C. Marmara, D. Tekst, P. Dani, M. A. N. Prof, and M. Akalin, “Bor lifi takviyesinin polimer esasli kompoz i t yüzeylerin mekanik özelliklerine etkileri,” 2009.
- [26] M. BULUT, “Türkiyede Kompozit Malzeme Üretimi Ve Kompozit Malzeme Sektörünün Genel Değerlendirilmesi,” *Yüksek Lisans Bitirme Projesi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, pp. 0–95, 2014.
- [27] M. Kavgacı, “Bazı İnce Filmlerin Sentezi, Radyasyon Geçirgenliği, Antibiyotik Giderim ve Antimikrobiyal Özelliklerinin İncelenmesi,” 2022.
- [28] P. D. G. Yener, *Nükleer Radyasyon Fiziği I*. İzmir: Ege Üniversitesi, 2005.
- [29] Ş. B. Temircik, “Yapı malzemelerinin radyasyon geçirgenliği ve mühendislik özelliklerinin araştırılması,” 2015.
- [30] S. Matthews, J. Ansbro, C. C. Berndt, and A. S. M. Ang, “Thermally induced metallurgical transformations in WC-17Co thermal spray coatings as a function of carbide dissolution: Part 2 - Heat-treated coatings,” *Int. J. Refract. Met. Hard Mater.*, vol. 96, no. November 2020, p. 105486, 2021.
- [31] L. Feng *et al.*, “Creating Hierarchical Pores by Controlled Linker Thermolysis in Multivariate Metal-Organic Frameworks,” *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 140, no. 6, pp. 2363–2372, 2018.
- [32] C. Başyigit and A. Kaçar, “Bazı Yapı Malzemelerinin Radyasyon Tutuculuk Özellikleri,” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, vol. 10, no. 2, p. 310, 2006.

Özgeçmiş

Adı Soyadı: Raziye Aksoy

Eğitim:

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı,
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Yüksek Lisans

İş Deneyimi:

2022-2023 Yılpar Ambalaj (Kalite Güvence Mühendisi)

2019 Oyak Çimento Beton ve Kağıt Grubu (Stajyer Mühendis)

2018 Qua Granite (Stajyer Mühendis)

Konferans Bildirileri:

1. 7th International Student Sciences Congress