

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK AKIMI DESTEKLİ SİNERLEME YÖNTEMİYLE
WC-Co-TiC SERMETİNİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Caner KOCABAŞ

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Özkan ÖZDEMİR

Eylül 2019

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ


ELEKTRİK AKIMI DESTEKLİ SİNERLEME YÖNTEMİYLE
WC-Co-TiC SERMETİNİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

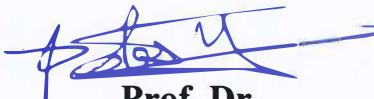
YÜKSEK LİSANS TEZİ

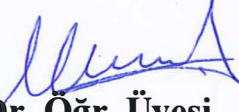
Caner KOCABAŞ

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 13/02/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr.
Özkan ÖZDEMİR
Jüri Başkanı


Prof. Dr.
Ahmet ATASOY
Üye


Dr. Öğr. Üyesi
Mehmet UYSAL
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Caner KOCABAŞ

30.09.2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Özkan ÖZDEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım Dr. Öğr. Üyesi Nuri ERGİN'e teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLOLAR LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY	xi

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
-------------	---

BÖLÜM 2.

KOMPOZİT MALZEMELER.....	4
2.1. Giriş	4
2.2. Kompozit Malzemelerin Yapısı ve Oluşumu	6
2.2.1. Matris (Sürekli Faz) malzemeleri	7
2.2.1.1. Epoksi reçine matrisler	8
2.2.1.2. Polyester reçine matrisler	9
2.2.1.3. Vinylester reçine matrisler	9
2.2.1.4. Fenolik reçine matrisler	9
2.2.1.5. Silikon reçineler.....	10
2.2.1.6. Metal matrisler.....	10
2.2.2. Takviye (Donatı, Pekiştirici Fazı) malzemeleri.....	10
2.2.2.1. Cam elyaflar	11
2.2.2.2. Asbest elyaflar	16
2.2.2.3. Karbon elyaflar	18
2.2.2.4. Aromid elyaflar	20
2.2.2.5. Bor elyaflar	21
2.2.2.6. Alümina elyaflar	21
2.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	21
2.3.1. Polimer matrisli kompozit malzemeler.....	22
2.3.1.1. Polimer matrisli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri.....	24
2.3.1.2. Polimer matrisli kompozit malzemelerin kullanım alanları	28
2.3.2. Metal matrisli kompozit malzemeler.....	29
2.3.2.1. Metal matrisli kompozitlerde kullanılan matris malzemeleri.....	29
2.3.2.2. Metal matrisli kompozitlerde kullanılan takviye malzemeleri...	30

2.3.2.3. Metal matrisli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri	31
2.3.2.4. Metal matrisli kompozit malzemelerin kullanım alanları	32
2.3.3. Seramik matrisli kompozit malzemeler	32
2.3.3.1. Seramik matrisli kompozitlerde takviye malzemeleri	33
2.3.3.2. Seramik matrisli kompozit malzemelerin kullanım alanları	33
2.3.4. Sermet kompozit malzemeler	34

BÖLÜM 3.

ELEKTRİK AKIMI DESTEKLİ SİNTERLEME	36
3.1. Giriş	36
3.2. ECAS Tekniğinin Tarihsel Gelişimi	37
3.3. ECAS Prosesinin Sistem Parametreleri	40
3.4. ECAS Yönteminin Sınıflandırılması	44
3.4.1. Elektrik deşarj sinterlemesi	44
3.4.2. Dirençle sinterleme (RS)	45

BÖLÜM 4.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	47
4.1. Giriş	47
4.2. Üretim Aşamasında Kullanılan Cihaz Ve Ekipmanlar	48
4.2.1. Elektrik güç kaynağı (Redresör)	48
4.2.2. Şekillendirme Kalıpları	49
4.2.3. Taşıyıcı gövde	50
4.2.4. Gezegenel bilyalı değirmen	51
4.3. Deneyleerde Kullanılan Tozlar	52
4.4. WC-Co-TiC Sermetlerinin Üretim Prosesi	52
4.5. Yoğunluk Ölçümleri	53
4.6. X-Işınları Difraksiyon Analizi	54
4.7. Metalografik İncelemeler	54
4.8. Mikrosertlik Ölçümleri	54
4.9. Korozyon Ölçümleri	54

BÖLÜM 5.

DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEMELER	56
5.1. Kullanılan Tozların Özellikleri	56
5.2. Metalografik İncelemeler	57
5.3. X-Işınları Difraksiyon Analizi	61
5.4. Yoğunluk Ölçümleri	62
5.5. Sertlik Ölçümleri	63
5.6. Korozyon Özellikleri	65

BÖLÜM 6.

GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	70
6.1. Genel Sonuçlar	70

BÖLÜM 7.

GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	72
7.1. Sonuçlar	72

7.2. Öneriler.....	73
KAYNAKLAR	74
ÖZGEÇMİŞ.....	78



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Amper
AC	: Alternatif Akım
DC	: Doğru Akım
E_{corr}	: Korozyon Potansiyeli
ECAS	: Elektrik Akımı Destekli Sinterleme
EDS	: Elektrik Deşarj Sinterlemesi
ESR	: Elektro Cüruf Ergitme
FAPA	: Alan Aktiveli Basınç Destekli Yanma Sentezi
FAPACS	: Elektrik Alanı Destekli Yanma Sentezi
FAPAS	: Basınç Destekli Elektrik Alan Aktive Edilmiş Sinterleme
FAST	: Elektrik Alan Aktive Edilmiş Sinterleme Tekniği
FGM	: Fonksiyonel Kademeli Malzeme
FRC	: Fiber Takviyeli Seramik
HEHR	: Yüksek Enerji Yüksek Hız
HP	: Sıcak Presleme
I	: Akım
I_{corr}	: Korozyon Akımı
MA	: Akım Yoğunluğu
MMK	: Metal Matrisli Kompozit

P ² C	: Plazma Basıncılı Sinterleme
PAS	: Plazma Aktivasyon Sinterlemesi
PECS	: Darbeli Elektrik (Pulse) Akımı İle Sinterleme
PC	: Darbeli Akım
PCPS	: Darbeli Akımlı Basınç Sinterleme
PDS	: Pulse Deşarj Sinterlemesi
PM	: Toz Metalurjisi
R _P	: Polarizasyon Direnci
RS	: Direnç Sinterleme
SPS	: Spark Plazma Sinterlemesi
V	: Voltaj
XRD	: X-Işınları Difraksiyonu
ρ	: Yoğunluk

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1: Kompozit malzemelerde bulunan yapıların şematik gösterimi	6
Şekil 2.2: Fiberglas oluşumunda kullanılacak çeşitli cam takviye formları	7
Şekil 2.3: TiAlC ile güçlendirilmiş magnezyum matrisinin elektron mikroskobu görüntüsü	8
Şekil 2.4: Elyaf Türleri.....	11
Şekil 2.5: Cam elyaf ve cam elyaf örnekleri	12
Şekil 2.6: Cam elyafların mekanik lif çekme yöntemi ile üretiminin şematik gösterimi	14
Şekil 2.7: Cam elyafların üretiminde kullanılan pnömatik lif çekme yöntemi	15
Şekil 2.8: Cam elyaf üretimi şematik gösterimi.....	16
Şekil 2.9: Asbest liflerine ait makro ve mikroyapı görüntüsü	17
Şekil 2.10: Asbest lifi türleri	17
Şekil 2.11: Krizotil (beyaz asbest)	17
Şekil 2.12: Asbest türleri a) amosit, b) tremolit c) aktinolit d) antofilit e) krokidolit.....	18
Şekil 2.13: Karbon elyaf üretiminde PAN ve zift proseslerinin şematik gösterimi.....	19
Şekil 2.14: Bor elyafın basma mukavemeti ve esneme katsayısının karşılaştırılması....	21
Şekil 2.15: Matris malzeme cinsine göre korozyon malzemelerin sınıflandırılması	22
Şekil 2.16: PMK malzemelerin üretim yöntemlerinin sınıflandırılması.....	24
Şekil 2.17: Elle yatırma yöntemi.....	25
Şekil 2.18: Püskürtme yöntemi	26
Şekil 2.19: Elyaf sarma düzeneği.....	26
Şekil 2.20: Prepreg'in şematik gösterimi	27
Şekil 2.21: RTM yönteminin şematik gösterimi ve yöntemin akım şeması	27
Şekil 2.22: Pultrüzyon tekniği ile kompozit malzeme şekillendirilmesi.....	28
Şekil 2.23: MMK malzemelerin üretim yöntemlerinin şematik gösterimi	32
Şekil 3.1: ECAS tekniğinin diğer yöntemlerle enerji tasarrufu açısından karşılaştırılması.....	37
Şekil 3.2: 1900-2008 yılları arası ECAS tekniği üzerine alınan patent sayıları.....	38
Şekil 3.3: ECAS ile üretilen a)fonksiyonel ve b)yapısal malzeme gruplarının patent sayıları.	39
Şekil 3.4: ECAS prosesinin şematik görünümü	40
Şekil 3.5: ECAS değişkenlerinin şematik gösterimi	42
Şekil 3.6: Tipik elektrik akımı karakteristikleri (a) DC, (b) AC, (c) pulsed DC, (d) pulsed DC + DC.	43
Şekil 3.7: RS prosesinin farklı isimlerle gösterimi.	45
Şekil 3.8: RS tekniğinde tercih edilen akım tiplerinin yüzde dağılımları.	46
Şekil 4.1: Numune üretiminde kullanılan redresör	49
Şekil 4.2: ECAS prosesinde kullanılan kalıpların şekli ve boyutları	50
Şekil 4.3: Taşıyıcı gövdenin şematik görünümü.....	51
Şekil 4.4: Deneysel çalışmalarda kullanılan gezegensel değirmen.....	52

Şekil 4.5: Üretilen numunelerin şekil ve boyutları	53
Şekil 5.1: WC-Co tozunun SEM-EDS analizi	56
Şekil 5.2: TiC tozunun SEM-EDS analizi	57
Şekil 5.3: Numunelerin SEM Mikrografları	58
Şekil 5.4: WC-Co numunesinin noktasal EDS analizi.....	59
Şekil 5.5: WC-Co + %5TiC numunenin noktasal EDS analizi.....	60
Şekil 5.6: WC-Co + %7,5TiC numunenin noktasal EDS analizi.....	60
Şekil 5.7: WC-Co + %10TiC numunenin noktasal EDS analizi.....	61
Şekil 5.8: Numunelerin XRD paternleri.....	62
Şekil 5.9: Üretilen numunelerin nispi yoğunlukları.....	63
Şekil 5.10: Üretilen numunelerin sertlik değerleri.....	64
Şekil 5.11: Üretilen numunelerin ısıtılma işlem sonrası %3.5 NaCl çözeltisindeki Tafel eğrileri.....	65
Şekil 5.12: Numunelerin ağırlık %3.5 NaCl çözeltisi içindeki SEM görüntüleri a) WC-Co, b) WC-Co + %5TiC, c) WC-Co + %7,5TiC, d) WC-Co + %10TiC.....	66
Şekil 5.13: WC-Co numunesinin elektrokimyasal korozyonu sonrası noktasal EDS analizi	67
Şekil 5.14: WC-Co + %5TiC numunesinin elektrokimyasal korozyonu sonrası noktasal EDS analizi	67
Şekil 5.15: WC-Co + %7,5TiC numunesinin elektrokimyasal korozyonu sonrası noktasal EDS analizi.....	68
Şekil 5.16: WC-Co + %10 TiC numunesinin elektrokimyasal korozyonu sonrası noktasal EDS analizi.....	68

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1: Bazı elyaf veya liflerin (pekiştirici/takviye) özellikleri [13].	11
Tablo 2.2: Cam elyaf türlerine ait özellikler [15]	13
Tablo 2.3: Cam elyafların mekanik özellikleri [12]	13
Tablo 2.4: Çeşitli hammaddelerden üretilmiş karbon liflerinin özellikleri [19]	19
Tablo 2.5: Karbon liflerinin karakteristik özellikleri ve uygulama alanları [19]	20
Tablo 2.6: Matris malzemesi türüne göre kompozit malzemelerin takviye elemanları ve yapının şekli [6]	22
Tablo 2.7: MMK malzemelerde takviye elemanlarından beklenen özellikler [26]	31
Tablo 2.8: WC tabanlı sermetlerin bazı mekanik özellikleri [29]	35
Tablo 5.1: Tüm numunelerin deneysel olarak tespit edilen yoğunlukları	62
Tablo 5.2: Üretilen numunelerin sertlik değerleri	64
Tablo 5.3: Numunelerin %3.5 NaCl çözeltisi içindeki Tafel analiz sonuçları	66

ELEKTRİK AKIMI DESTEKLİ SİNERLEME YÖNTEMİYLE WC-Co-TiC SERMETİNİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

ÖZET

Anahtar kelimeler: Sermetler, WC-Co, Elektrik Akımı Destekli Sinterleme, Elektrokimyasal Korozyon

Co metali ile birbirine bağlı tungsten karbür seramiklerinden meydana gelen WC-Co

kompozitleri, yüksek sertlik ve aşınma direnci ile ön plana çıkan, en çok bilinen ve en yaygın kullanılan semente karbürlerdir. WC-Co malzemeler günümüzde kesici takım, zırh malzemesi, yüksek enerjili zırh delici gibi birçok uygulamada kullanım alanı bulmaktadır. Bu malzemelerin üretimlerinde birçok yöntem kullanılmakla birlikte daha çok geleneksel TM ve ileri TM teknikleri tercih edilmektedir. İleri TM tekniklerinden biri de elektrik akımı destekli sinterleme tekniğidir. ECAS yöntemi; ısıtma hızının yüksek ve işlem süresinin kısa olması sayesinde ince tane boyutuna sahip, yüksek nispi yoğunluklu, üstün özelliklerde malzeme üretimine olanak sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasında, WC-Co ve WC-Co malzemesine %5, %7,5 ve %10 oranlarında TiC ilave edilerek ECAS tekniği ile DC akım kullanılarak 600-4500A akım aralığında 6 dakikada numune üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen numunelerin karakterizasyon çalışmaları kapsamında Archimed prensibiyle yoğunlukları, mikrosertlik testleri yardımıyla sertlik değerleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile mikroyapıları, x-ışın paternleri ve kantitatif noktasal EDS analizleri ile faz yapıları ve elektro-kimyasal korozyon çalışmaları ile korozyon özellikleri belirlenmiştir.

SYNTHESIS OF WC-Co/TiC CERMETS BY ELECTRIC CURRENT ACTIVATED SINTERING

SUMMARY

Keywords: Cermets, WC-Co, Electric current supported sintering, electrochemical corrosion

WC-Co made of tungsten carbide ceramics interconnected with Co metal composites are the most widely used and widely used cemented carbides, which stand out with their high hardness and wear resistance. Nowadays WC-Co materials are used in many applications such as cutting tool, armor material, high energy armor piercing. Although many methods are used in the production of these materials, more traditional TM and advanced TM techniques are preferred. One of the advanced TM techniques is electric current assisted sintering technique. ECAS method; due to the shorter duration of the heating rate is high and has a fine grain size, high relative density, allows for the production of superior material properties.

In this study, 5% of WC-Co and WC-Co material, and adding 7.5% of 10% TiC in the range from 600 to 4500 using the DC current with the current art ECAS 6 minutes, the sample was produced. In the characterization studies of produced samples, the density with Archimed principle, hardness values with the help of microhardness tests, microstructure by scanning electron microscopy (SEM), x-ray patterns and quantitative EDS analysis, phase structures and electro-chemical corrosion studies and corrosion properties were determined.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

İnsanlık tarihinin başlangıcından günümüze kadar konforlu hayat standardının elde edilmesi çabası ve her geçen gün yaşam standartlarının artmasıyla beraber ihtiyaç duyulan gereksinimlerin değişmesi, yeni malzemelerin geliştirilmesini zorunlu kılmış ve önemli teknolojik atılımlara sebep olmuştur. Dünya tarihi incelendiğinde geçiş dönemleri olarak kabul edilen taş devri, maden çağı, endüstri devrimi, atom çağı, silikon devri ya da içinde bulunduğumuz teknoloji çağının temelleri malzeme teknolojisindeki atılımlara dayanmaktadır. Taş devri sonrası metallerin şekillendirilmesiyle maden çağı, saf metallere ilave edilen alaşımların kullanımı ile endüstri devrimi, radyoaktif malzemelerin kullanılmasıyla birlikte ulaşılan atom çağı, iletkenlerin ve polimerik malzemelerin etkin kullanımı ile başlatılan elektronik devrimi ve günümüzde geleneksel malzemelere alternatif olarak geliştirilen kompozit malzemelerin kullanımı ile uzay ya da teknoloji çağı, malzeme teknolojisindeki atılımlara birer örnek teşkil etmektedir [1,2].

Son yıllarda malzeme teknolojisi, oldukça hızlı bir gelişim ve değişim süreci içerisinde. Otomotiv, enerji, savunma, iletişim ve uzay-uçak endüstrisi gibi birçok ana sanayi kolunda çağdaş yaşamın gerektirdiği şartlar göz önüne alınarak güvenilirlik ve ekonomik zorluklar ile çevresel kaygılar, mevcudun ötesinde üstün özelliklere sahip yeni malzemelere olan gereksinimi arttırmaktadır. İleri teknoloji sistemlerine metaller, seramikler ve polimerler gibi geleneksel malzemelerin doğal özellikleri ile ulaşamayacağı bilinmektedir. Metallerin sınırlı yüksek sıcaklık özellikleri, seramiklerin gevrek karakterleri ve polimerlerin düşük ergime dereceleri gibi sınırlandırıcı özelliklerini ortadan kaldırmak için alışlagelmiş klasik malzemelere alternatif olarak kompozit malzemeler geliştirilmiştir [3].

Kompozitler, aralarında fiziksel veya kimyasal farklılıklar bulunan en az iki veya daha fazla geleneksel malzemenin farklı yöntemlerle makro düzeyde bir araya getirilmesiyle oluşturulan kompleks yapıları malzemelerdir. Yapısal olarak kompozitler; matris (ana) fazı, takviye fazı ve ara yüzey olarak üç bileşenden meydana gelmektedir. Bu yapılardan

takviye malzemesi, kompozit malzemenin yük taşıma ve mukavemet özelliklerini karşılamaktadır. Matris ise malzemede plastik deformasyona geçişte oluşma ihtimali bulunan çatlak ilerlemesini önlemekte ve kompozit malzemelerde kopmanın geciktirilmesini sağlamaktadır. Böylece takviye fazını planlanan şekilde bir arada tutarak tahribatı önlemektedir. Genellikle gevrek karakteristik sergilemesine rağmen ara yüzey bağı, matris ile takviye elemanı arasında bağlayıcılık görevi yapmaktadır. Matris fazı malzemeye uygulanan bir kuvveti ara yüzey vasıtasıyla takviye faza iletmekte ve dağıtmaktadır [4]. Böylece bileşenlerin üstün özellikleri ön plana çıkmakta ve zayıf özellikleri diğer bileşenler vasıtasıyla ortadan kaldırılarak mükemmel fiziksel ve mekanik özelliklere ulaşılmaktadır [5]. Oluşumlarında çok sayıda farklı malzeme kullanılabilen kompozitlerin sınıflandırılmasında net sınırları belirlemek mümkün olmamakla birlikte bu malzeme grubu; yapıyı oluşturan malzemenin cinsine, yapı bileşenlerinin şekline ve yapıdaki formlarına göre sınıflandırılmaktadır [6].

Çok geniş bir alanı kapsayan kompozit malzemelerin içerisinde yer alan sermetler; seramik (ser) ve metal (met) malzemelerden oluşmuş, genellikle seramik malzemelerin sertlik ve yüksek sıcaklık direnci ve metallerin plastik olarak deforme edilebilme özelliklerinin birleştirilmesiyle oluşturulan kompozit malzemelerdir. Bu malzemeler yüksek ergime noktasına sahip ve seramikleri ıslatabilirlikleri yüksek olan nikel, molibden veya kobalt gibi metallerin matris içerisinde dağılmış oksit, borür, nitrür veya karbür formundaki seramiklerle oluşturdukları yapılar olup yüksek aşınma ve korozyon dirençleri ile ön plana çıkmaktadır. Tungsten karbür, kobalt bağlayıcı fazı ile sinterlenerek üretilen ve en yaygın kullanılan sermettir. 1920’li yıllarda kesici takım ucu olarak geliştirilen WC-Co sisteminin plastik deformasyonunda bağlayıcı fazın etkisinin yanı sıra sürekli rijit bir WC iskelet yapısı mevcut olup 600°C’ye kadar kararlılığını korumakta ve yüksek aşınma ve korozyon direnci ile dikkat çekmektedir [6]. WC-Co grubu malzemelerin üretimleri yakın bir zamana kadar geleneksel toz metalurjisi (TM) teknikleri ile yapılmakta olup günümüzde yüksek mekanik özellikler elde etmek amacıyla basınç altında sinterlemeye imkan tanıyan Sıcak Presleme (HP), Spark Plazma Sinterleme (SPS), Elektrik Akımı Destekli Sinterleme (ECAS) gibi TM teknikleri ile yapılmaktadır. ECAS tekniği, ön şekillendirilmiş veya şekillendirilmemiş tozların kalıp içerisinde elektrik akımı geçirilerek, üretimi gerçekleştirilecek tozların elektrik akımına maruz bırakılmak suretiyle Joule etkisi ile sinterlenmesi prensibine dayanan bir TM yöntemidir.

Diğer toz metalurjisi yöntemleri ile karşılaştırıldığında ilk yatırım maliyeti oldukça düşük olan bu teknik, kısa işlem süresinde malzeme üretimine ve düşük maliyetlerle yüksek yoğunluklu ürün eldesine olanak sağlamaktadır [7].

Bu tez çalışmasında, WC-Co ve farklı oranlarda TiC içeriğine WC-Co-TiC tozlarının elektrik akımı destekli sinterleme yöntemiyle üretimi amaçlanmıştır. Böylece geleneksel TM yöntemleriyle ürün eldesinde karşılaşılan dezavantajların ortadan kaldırılması ve kısa işlem süresi sayesinde üretim maliyetlerinin azaltılması ön görülmüştür. Üretimi gerçekleştirilen numuneler mikroyapı (taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve faz analizinden (x-ışın paternleri, kantitatif noktasal ve çizgisel EDS) oluşan metalografik incelemeler, yoğunluk (Archimed prensibi), mikrosertlik ve elektro-kimyasal korozyon testleri yardımıyla karakterize edilmiştir.

BÖLÜM 2. KOMPOZİT MALZEMELER

2.1. Giriş

Birbiri içerisinde çözünmeyecek en az iki veya daha fazla malzemenin bir araya getirilmesiyle oluşturulan yeni malzemeler kompozit olarak adlandırılmaktadır [6]. Kompozit malzemelerin oluşturulmasındaki ana tema, kompoziti meydana getiren bileşenlerin tek başına sağlayamadığı özellikleri, uygun bileşenler bir araya getirerek kazandırmaktır. Kelime anlamı olarak birden fazla parçadan meydana gelen kompozit malzemelerde, bileşenler çoğunlukla özelliklerini korumakla beraber isteğe bağlı olarak dayanım, hafiflik, esneklik, maliyet gibi yeni özellikleri de beraberinde getirmektedir [8]. Geniş bir tanımla, ihtiyaca cevap verecek nitelikte bir malzeme elde etmek için, kimyasal bileşenleri birbirinden farklı, makro düzeyde birbirini çözmeyen, oluşumu gerçekleştikten sonra kendine özgü özelliklerinin yanı sıra yeni ve üstün özelliklere ulaşmayı sağlayan iki ya da daha fazla malzemenin birleştirilmesi sonucu oluşan yeni malzemeye kompozit denilmektedir. Ancak birleştirilmiş her malzeme kompozit olarak değerlendirilmemektedir. Kompozit malzemelerde dikkat edilmesi gereken en önemli hususlarda biri bileşenlerin birbiri içerisinde makro anlamda çözünürlüğünün olup olmamasıdır. Yapıda bir karışım söz konusu ise ve malzemeler birbiri içerisinde çözünüyorsa bu malzeme kompozit malzeme değil bir alaşımdır. Bakır, kalay gibi makro ölçüde birbirini çözen metaller kompozit olarak değerlendirilmemektedir [9].

Bir blokta çamur ve saman birleştirdiğinde, iki malzemenin özellikleri de birleştirilir ve hem sıkmaya hem de yırtılmaya veya bükülmeye karşı güçlü bir tuğla elde edilmiş olunur. Daha teknik bir ifadeyle, hem iyi basınç dayanımı hem de iyi çekme dayanımı söz konusudur. İyi bilinen bir başka kompozit betondur. Burada agrega (küçük taşlar veya çakıl) çimento ile birbirine bağlanmaktadır. Beton, sıkıştırma altında iyi bir dayanıma sahiptir ve kompozite metal çubuklar, teller, ağ veya kablolar eklenerek (bu nedenle betonarme oluşturarak) daha kuvvetli hale getirilmektedir. Karbondan elde edilen grafen

bakır ile birleştirilerek kompozit elde edildiğinde bakırdan 500 kat daha mukavim bir malzeme elde edilmiştir. Benzer şekilde, grafen nikel kompozitinin, 180 kat nikelden daha büyük bir güce sahip olduğu bildirilmiştir. Fiberglas ise cam elyafı veya elyafı ile güçlendirilmiş polimerden imal edilmektedir. Günümüzde basitçe geliştirilmiş, güç veya diğer mekanik özellikler dışındaki fonksiyonel özellikleri ile ön plana çıkan birçok kompozit yapılmaktadır. Bu kompozitler; transistörler, güneş pilleri, sensörler, dedektörler, diyotlar ve lazerler dahil olmak üzere çok çeşitli elektrikli cihazlarda, ayrıca pas önleyici ve antistatik yüzey kaplamaları yapmak için kullanılmaktadır [1].

Bir malzemenin kompozit olabilmesi için bazı şartları taşıması gerekmektedir:

- İnsan yapısı olmaması,
- Bileşenlerin birbirinden net bir ara yüzeylerle ayrılmış olması,
- Birbirinden farklı bileşenlerin üç boyutlu bir araya getirilmiş olması,
- Oluşturulan malzemenin bileşenlerinden daha üstün özelliklere sahip olması,

Bu bağlamda kompozit malzemelerin, heterojen bir mikroskobik özellik göstermesi ancak homojen bir makroskobik davranış sergilemesi beklenmektedir [10].

Kompozit malzemelerin tarihçesi incelendiğinde geçmişi binlerce yıl öncesine dayandığı, ilk çağlarda insanların gevrek karakterli malzemelere bitkisel veya hayvansal lifler ilave ederek kırılma direncini ortadan kaldırdığı bilinmekte ve bunun örnekleri olan saman ve çamurun birleştirilmesi ile elde edilen kerpiçlerden evlerin yapıldığı görülmektedir. Geçmişten günümüze taşıtların, evlerin, evde kullanılan gereçlerin, günümüzde uzay ve uçak teknolojilerinin yapımı ve geliştirilmesinde kompozit malzemeler kullanılmış ancak mühendislik konusu olarak 1940'lı yıllarda kompozit malzeme kavramı ortaya çıkmıştır. Modern kompozitin üretimi 1930'lu yıllarda Amerika'da cam elyafın bulunması ile hayata geçmiştir. 1950'li yıllarda liflerle takviye edilmiş sentetik reçineler sanayide kullanılmaya başlamıştır. En çok bilinen ve en çok kullanılanı "cam lifi donatılı polyester reçinesi kompoziti" olmuştur. Ülkemizde "fiberglas" ismiyle bilinen bu malzeme küçük ebatlı tekne yapımında, su depolarında ve çatı levha malzemesi olarak kullanım alanı bulmuştur. Ülkemizin ilk yerli otomobili olup, seri üretimi yapılan "Anadol" marka otomobilin kaportası da bu malzemelerden elde edilmiştir. Geçmişte oldukça eskilere dayanan kompozit malzemeler tarih boyunca kullanılmış olup günümüzde de ileri teknoloji ürünleri için vazgeçilmez unsurlardır.

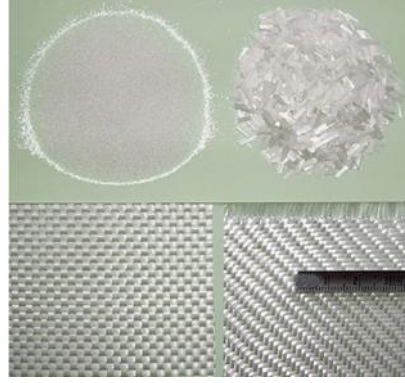
2.2. Kompozit Malzemelerin Yapısı ve Oluşumu

Malzemeler genel olarak metaller, seramikler ve polimer malzemeler olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır. Bu malzemeleri sınırlandıran ve bu malzemelere avantaj sağlayan bazı üstün özellikler bulunmaktadır. Günümüz gereksinimlerini karşılamak için bir malzemeden elde edilemeyen üstün özellikleri birden fazla malzemeyi bir araya getirip makro düzeyde birleştirerek kompozit malzemeler üretilmektedir. Kompozit malzemeler Şekil 2.1’de de görüldüğü gibi iki yapıdan oluşmaktadır.



Şekil 2.1: Kompozit malzemelerde bulunan yapıların şematik gösterimi [11]

Kompozit malzemeler genel olarak «matris» ismi verilen bir ana malzeme ve bunun içine dağılmış «takviye elemanı (fiber, elyaf)» adı verilen daha mukavim bir malzemeden oluşmaktadır [6]. Takviye ve ana malzeme olarak genellikle seramikler, polimerler ve metaller kullanılmaktadır [2]. Bu yapılardan takviye malzemesi, kompozit malzemenin yük taşıma özelliğini ve mukavemet özelliklerini sağlamakta, matris ise malzemede plastik deformasyona geçişte oluşma ihtimali bulunan çatlak ilerlemesini önlemekte ve kompozit malzemede kopmanın geciktirilmesini sağlamaktadır. Matris yapı fazı bir kuvvet uygulandığında oluşan gerilmeyi ara yüzey vasıtasıyla takviye faza iletmekte ve dağıtmaktadır. Böylelikle takviye faz yapı içinde planlandığı şekilde tutularak tahribatı önlemektedir. Kompozit malzemelerde yükü taşıyan kısım takviye elemanı olmasına rağmen takviye elemanının işlevini yerine getirebilmesi için matris malzemelerin mekanik özellikleri takviye elemanı kadar büyük önem arz etmektedir [2]. Kompozit malzemelerin yapısında yer alan bir diğer kısım ara yüzeydir. Gevrek karaktere sahip olan ara yüzey, matris ile takviye elemanı arasında bağlayıcılık görevi yapmakta olup gerilmeye maruz kaldığında kırılmadan yükü takviye fazına iletmektedir. Ara yüzey kompozitlerin elastik modülünü etkileyen en önemli etkidir ve malzemenin mukavemetini ara yüzey bağının özellikleri belirlemektedir [4].



Şekil 2.2: Fiberglas oluşumunda kullanılacak çeşitli cam takviye formları [1]

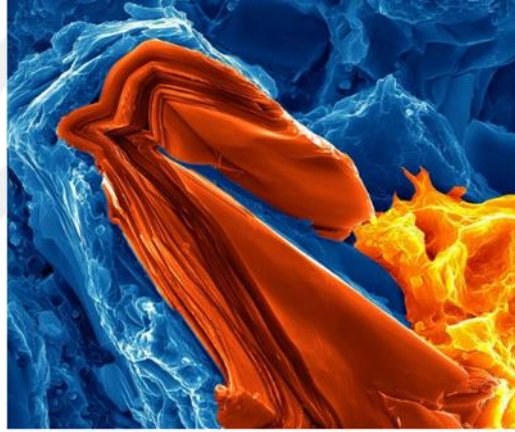
2.2.1. Matris (Sürekli Faz) malzemeleri

Kompozit malzemeleri oluşturan yapılardan biri olan matris yapısının kompozit malzeme içerisinde 3 temel fonksiyonu bulunmaktadır. Bu fonksiyonlar; takviye elemanlarını bir arada tutmak, oluşturulan yükü takviyelere dağıtmak ve takviyeleri çevrede oluşabilecek etkilerden korumak şeklindedir. Matris malzemesinin başlangıçta düşük viskoziteye sahip olması, daha sonra takviyeleri bir arada sağlam bir şekilde tutacak rijit formda olması beklenmektedir. Ayrıca matris gelen gerilmeyi tüm takviye elemanlarına eşit yük olacak şekilde dağıtımını sağlamaktadır. Bir kompozit kesme yükü altındaki bir gerilmeye maruz kaldığında malzemenin dayanım özelliklerini matris ile takviye elemanı arasındaki yapışma özellikleri belirlemektedir ve kompozit yapının mukavemeti takviye ile matrisin bağ kuvvetlerine bağlıdır [10]. Matris ile takviye arasındaki bağ kuvveti ve kesme mukavemeti çok yüksek ise sistemde oluşacak bir çatlak yön değiştirmeden ilerleyecek ve kompozit malzeme gevrek bir özellik sergileyecektir. Bağ mukavemetinin çok düşük olduğu durumlarda ise, takviyeler boşlukta gibi davranacak ve kompozit zayıflayacaktır. Bağ mukavemetinin orta seviyede olduğu durumlarda ise, takviyeden veya matristen başlayan enlemesine bir çatlak ara yüzeye dönüp takviye yönü doğrultusunda ilerleyecek ve kompozit malzeme sünek bir kopma sergileyecektir.

Matris malzemesi epoksi, polyester, vinylester ve fenolik reçineler kullanılmaktadır. Mukavemetin ön planda olmadığı durumlarda polyester reçinesi, ileri kompozit ürünlerinin üretiminde de genellikle epoksi reçinesi tercih edilmektedir. Mühendislik uygulamalarında uygun bir matris malzemesi seçilerek, ısıya dayanıklılık, kimyasallar kararlılık ve korozyon dayanımı gibi özelliklerin ön planda olduğu uygulamalar için

malzeme seçimi yapılmaktadır. Birçok modern kompozit için, matris olarak termoset veya reçineler kullanılmaktadır [1].

Termosetler hazırlandıklarında sıvı halde olup ısıtıldıklarında sertleşme özelliğine sahiptirler. Bu malzemelerde yüksek sıcaklarda yumuşama olmayacağından geri dönüşümleri zordur ve kimyasal aşınmalara karşı yüksek direnç sergilemektedir. Uygulamada seramik, karbon ve metaller bazı özel amaçlar için kompozit malzemeler içerisinde matris olarak kullanılmaktadır. Malzemelerin ısı eşanjörleri gibi yüksek sıcaklıklara maruz kaldığı uygulamalarda seramik matsiler tercih edilirken, sürtünme ve aşınmanın ön planda olduğu rulman ve dişli gibi uygulamalarda karbon tercih edilmektedir [1].



Şekil 2.3: TiAlC ile güçlendirilmiş magnezyum matrisinin elektron mikroskobu görüntüsü [1]

2.2.1.1. Epoksi reçine matrisler

İki veya daha fazla epoksit ihtiva eden bileşenlerden oluşan epoksiler, Polifenol'ün epikloridin ile bazik ortamda reaksiyonu sonucu elde edilmektedir. Eposilere kür işlemleri uygulandığında 150-200°C'ye sıcaklık dayanımı artırılabilirken, büzülme miktarı %2'nin altına düşürülebilmektedir. Kopma mukavemetlerinin yüksek olması, elyaf yapılarında yüksek bağ mukavemetine sahip olmaları, yüksek aşınma direncine sahip olmaları, uçucu olmamaları ve kimyasal dirençlerinin yüksek olması, değişken sıcaklarda sertleşebilme özelliğine sahip olmaları, Epoksi reçine matrislerinin kullanımında avantaj sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, polyesterle karıştırıldığında pahalı olmaları ve polyestere

oranla yüksek viskoziteye daha az uygun olmaları gibi bazı dezavantajlar göstermektedir. Epoksi matrisler uçak sektöründe yaygın olarak kullanılmakla birlikte genellikle karbon elyaflarla birlikte kullanımı tercih edilmektedir [10].

2.2.1.2. Polyester reçine matrisler

Bu matris grubu dibazik asitlerin, dihidrik alkoller (glikol) ya da dihidrik fenollerle karışımı sonucu şekillendirilirler. Polyesterler genel olarak polyester bileşeninin doymuş asitle ya da alternatif malzeme olarak glikolle modifikasyonu esasına dayanmaktadır. Ayrıca kür işlemi sayesinde matrisin sünekliği artırılarak yüksek kopma mukavemeti elde edilmektedir. Polyester reçine matrisler, kompozit malzemelerin yapısında kullanılan bir diğer yapının yani takviyelerin nemini uzaklaştırabilmeyi sağlayan düşük vikozeiteye sahip olmaları, maliyetlerinin düşük olması ve iyi çevresel dayanıma sahip olmaları nedeniyle uygulamada avantaj sağlamaktadır.

2.2.1.3. Vinylester reçine matrisler

Vinylester reçine matrisler polyesterlere benzer özelliklerde olup en önemli avantajları matris ve takviye arasındaki bağ mukavemetinin yüksek olmasıdır [10]. Polyesterle glikolün bir kısmını kullanmak yerine doymamış hidrosilik ilavesi ile geliştirilirler. Korozyonun ön planda olduğu servis şartlarında kullanımları için donatılı plastik bileşenlerden yararlanılmaktadır. Bu malzemelerin kimyasal kararlılığı yüksek olduğundan kimya endüstrisinde, boru iletim hatlarında ve depolama ünitelerinde tercih edilmektedir.

2.2.1.4. Fenolik reçine matrisler

Fenolik reçine matrislerin kullanımı çok eski zamanlara dayanmaktadır. Fenolik reçine matrislerde sertleşme ısı enerjisiyle sağlanmaktadır. Fenolik reçinelerin termal ve elektriksel özellikleri, suya ve alkaliler dışındaki kimyasallara karşı kararlılıkları oldukça iyidir. Bu reçineler 300 °C'ye kadar sürekli, asbest fiberlerle takviye edilmeleri halinde kısa süreliğine 1000 °C'ye kadar kullanılabilirler [10].

2.2.1.5. Silikon reçineler

Bu reçine grubu, alışlagelmişin aksine sistemlerinde karbon yerine inorganik esaslı silikonlar barındırmaktadır. Silikon reçinelere yapılacak küçük müdahalelerle bu malzemeler mekanik ve elektriksel özelliklerini 250°C'ye kadar koruyabilmektedirler. Silikon esaslı reçinelerin kullanımlarını kısıtlayan, diğer reçinelere göre mekanik dayanımlarının düşük olması ve maliyetinin nispeten yüksek olmasıdır. Silikon reçineler süpersonik arabalarda kullanım alanına sahiptirler [10].

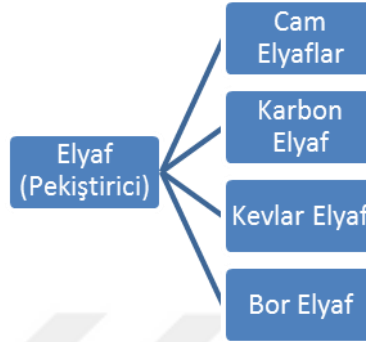
2.2.1.6. Metal matrisler

Metal matrisli kompozit malzemeler yüksek dayanım özellikleri ile ön plana çıkan ve yapısal taşıyıcılık bakımından polimer matris malzemesine göre daha iyi özellik sergileyen malzemelerdir. Yüksek maliyetli ve zor bir üretim sürecine sahip olmalarına rağmen metal matris, kompozitlerin yüksek tokluk özelliği sergilemelerine olanak sağlamakta ve bu özellikleri ile yüksek sıcaklık uygulamaları için tercih sebebi olmaktadır. Metal matrisli kompozitlerde matris malzemesi olarak çoğunlukla gümüş, alüminyum, titanyum, nikel, bakır gibi metaller kullanılmaktadır. Ergiyik haldeki matris içerisine takviye elemanları döküm, karıştırma, presleme, elektroliz yoluyla kaplama, haddeleme yöntemleriyle birleştirilerek üretilmektedir. Metal matris içinde 300°C sıcaklığa kadar özelliğini koruyan elyaf bor ve borsic elyaf kullanılmaktadır [10].

2.2.2. Takviye (Donatı, Pekiştirici Fazı) malzemeleri

Matris malzeme içinde yer alan elyaf takviyeler diğer bir deyişle donatıcı fazları, sistemin temel mukavemet elemanlarını oluşturmaktadır. Bu malzemelerin elastik modülü, sertliği ve kimyasal korozyon direnci yüksek olup yoğunlukları düşüktür. Günümüzde en önemli takviye malzemeleri olan sürekli elyaflar modern kompozitlerin elde edilmesinde önemli yer almaktadır [9]. Takviye elemanının matris içerisindeki dağılımı ve dağılım şekli kompozit malzemenin mukavemetini belirleyen önemli bir unsurdur. Matris içerisinde uzun elyafların birbirine paralel olacak şekilde dizilmeleri aynı doğrultuda mukavemeti arttırırken, dik doğrultuda dizilmeleri mukavemeti düşürmektedir. İki boyutlu yerleştirilmiş elyaflarla her iki yönde de eşit mukavemet elde edilirken, kısa elyafların homojen dağıtılmasıyla izotrop bir yapı elde edilmektedir. Elyafların mekanik özellikleri,

kompozit yapının mukavemeti belirleyen önemli bir etkidir. Ayrıca, elyafların uzunluk/çap oranları arttıkça matrisin elyaflara ilettiği yük miktarı artmaktadır. Elyaf yapının kusursuzluğu mukavemet değerlerini doğrudan etkilemektedir [13].



Şekil 2.4: Elyaf Türleri [13].

Tablo 2.1: Bazı elyaf veya liflerin (pekiştirici/takviye) özellikleri [13].

Malzeme	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Elastisite modülü (N/mm ²)
Cam Lifi	2,54	2410	70000
Karbon Lifi	1,75	3100	220000
Kevlar Lifi	1,46	3600	124000

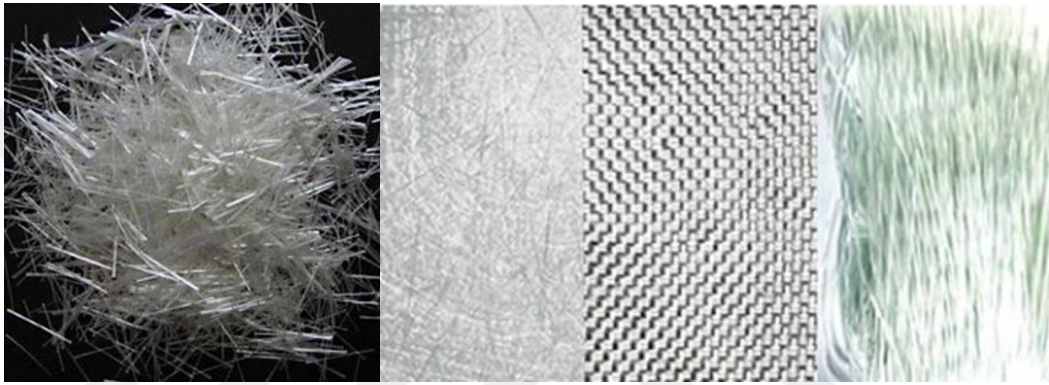
En eski elyaf tiplerinden biri olan cam elyaflara alternatif olarak son zamanlarda bor, karbon, silisyum karbür ve aramid elyaflar geliştirilmiştir [12]. İnce çaplı elyafların, kütleli yapıda olanlara oranla yapısal hata olasılıkları daha azdır. Dolayısıyla daha üstün mekanik özellikler elde edilmektedir.

2.2.2.1. Cam elyaflar

Silis kumu, kireçtaşı, asitborik, Al ve Mg karışımından elde edilmektedir. Cam elyafların elde edilmesi çok eskilerden beri bilinmektedir. Mısır ve Roma dönemlerinde gemi gövdelerinde halat biçiminde camdan yapılmış süsler kullanılmıştır. Tarihi 18. yüzyıla dayanan ve sürekli gelişen cam elyafların üretimi, 20. yüzyılda Almanya’da Hager kardeşler ve F. Rosenganth, ABD’de Harford ve Stafford tarafından geliştirilmiş ve merkezkaç kuvveti prensibine dayanan iplik çekme yöntemi ile seri üretime dönüştürülmüştür. 1931’de yoğun araştırmalar sonucunda Amerikan Owens-Illinois Cam Firması, 1938’de

Corning Glass firmasıyla birleşerek, Owens-Corning Fiberglass firmasını kurmuş ve üç farklı yöntemle cam pamuğu ve cam ipliği seri üretimine geçilmiştir [10].

Cam elyaflar kompizit malzeme üretiminde en sık kullanılan takviye elemanlarıdır. Sahip oldukları üstün özelliklerinin yanı sıra, ekonomik bir takviye elemanıdır. Farklı matrislerle kullanılmasına rağmen, temel kullanım alanı cam takviyeli plastik (CTP) sanayiidir. Cam elyafların ticari üretimi 1930'lu yıllarda İngiltere'de başlamış ve plastik malzemelere katılmasıyla 1950'lerde kullanıma sunulmuştur [10].



Şekil 2.5: Cam elyaf ve cam elyaf örnekleri [10]

Cam elyafları, A (Alkali camı), C (korozyon camı), E (elektrik camı), S (mukavemet camı) şeklinde sınıflandırılmaktadır. A (alkali camı), yüksek oranda alkali içeren ve düşük elektriksel yalıtkanlık özelliği sergileyen bir camdır. Yüksek kimyasal kararlılığa sahip en yaygın cam tipidir [12]. C (korozyon camı), adından da anlaşılacağı gibi bu cam elyaf türlerinin kimyasal çözeltilere karşı direnci çok yüksektir. E (elektrik camı), moleküler yapısı “Kalsiyum Oksit /Alümina Borasilkat” esaslıdır. En çok %2 mertebesinde alkali içerir. Geniş kullanım alanına sahiptir. Mukavemetin ön planma olması istendiği ve yüksek elektriksel iletkenliğe ihtiyaç duyulan alanlarda, nispeten ucuz olduğu için tercih edilmektedir [14]. E camı çoğunlukla nemli ortamlar için geliştirilmiş bir kompozittir. S (mukavemet) camının çekme mukavemeti, E camına kıyasla %33 daha yüksektir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda yüksek yorulma direnci sergilemekte ve havacılıkta ve uzay endüstrisinde kullanım alanı bulmaktadır.

Tablo 2.2: Cam elyaf türlerine ait özellikler [15]

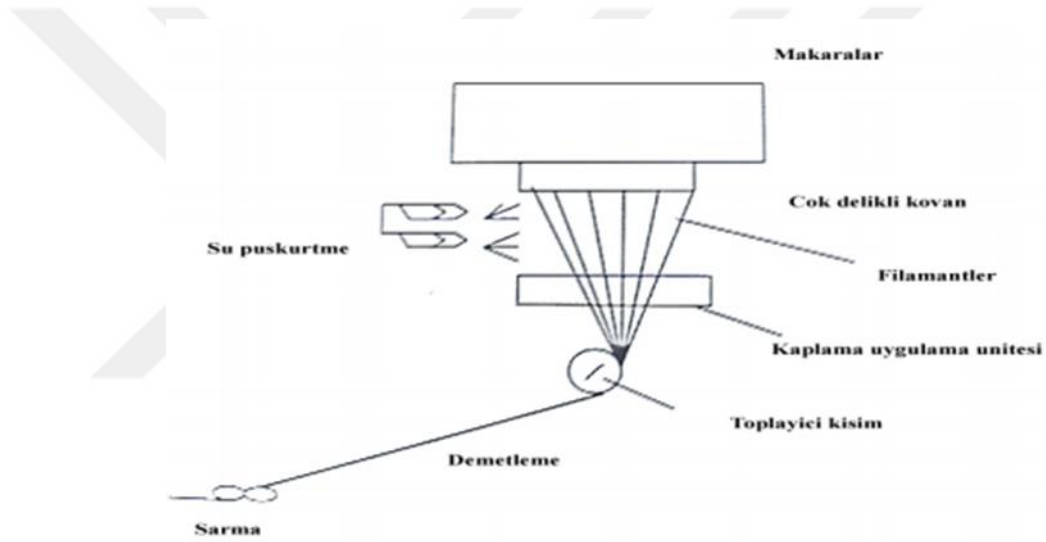
Cam Tipi	Özellikleri
A	Yüksek alkali oranı, Maliyeti düşük
C	Kimyasal kararlılık
E	Elektriksel özellikler
L	Radyasyona karşı kurşun içeriği
M	Yüksek elastik modül
S-2	Yüksek çekme mukavemeti
W-2	Paneller için yarı şeffaf
AR	Alkali dayanımı
R	Yüksek çekme mukavemeti

Tablo 2.3: Cam elyafların mekanik özellikleri [12]

Özellikler	Cam Tipi			
	A	C	E	S
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2,5	2,49	2,54	2,48
Elastik Modül (GPa)	-	69	72,4	85,5
Çekme Mukavemeti (MPa)	3033	3033	3448	4585
Isıl Genleşme Katsayısı	8,6	7,2	5	5,6
Yumuşama Sıcaklığı	727	749	841	970
Katki Malzemeleri (%)				
SiO ₂	72	64,4	52,4	64,4
Al ₂ O ₃ ,Fe ₂ O ₃	0,6	4,1	14,4	25
CaO	10	13,4	17,2	-
MgO	2,5	3,3	4,6	10,3
Na ₂ O, K ₂ O	14,2	9,6	0,8	0,3
B ₂ O ₃	-	4,7	10,6	-
BaO	-	0,9	-	-

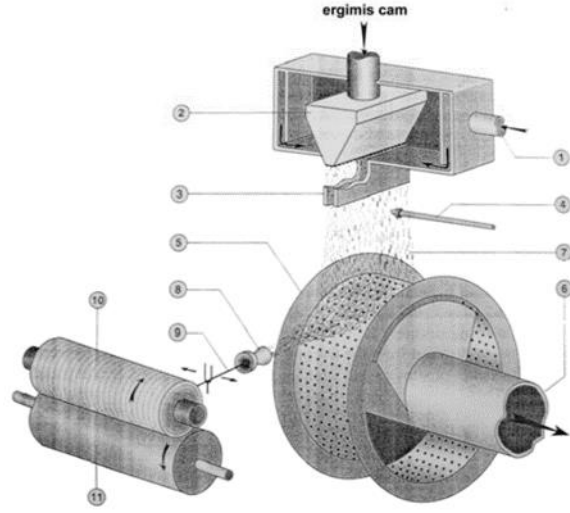
Cam elyaf üretimi çoğunlukla dikdörtgen prizma şeklindeki fırınlarda yapılmaktadır. Geleneksel cam üretim fırınlarına benzeyen bu fırınlarda ekstra bir ısıtıcı da mevcuttur. Fırını ısıtmak için kullanılan enerji olarak elektrik veya fuel oil kullanılmaktadır. Cam elyaf ve ürünleri; cam üretimi; elyaf çekimi, cam elyaftan mamül olarak üç aşamada üretilmektedir. İlk aşamada; belirlenen hammadde bileşimi çok ince formda öğütülerek homojen bir şekilde karıştırılmaktadır. Sonrasında yaklaşık 1550°C'de hazır bulunan ergitme fırınına yüklenmektedir. Karışım fırın içerisinde yavaşça sıvı hale gelmektedir. Erimiş cam, platin/rodyum alaşımından yapılmış ve elektrik enerjisi kullanılarak +0.5°C , -0.5 °C tolerans ile 1250°C de kontrol edilen kovanlara(bushings) beslenir veya cam mermer blok haline veya cam çubuk haline getirilerek oda sıcaklığında soğutulur ikinci bir kullanım için temiz konteynerlerde depolanmaktadır. İkinci aşamada; cam elyafın çekimi yapılmaktadır. Rodyum platin alaşımı kullanılarak üretilen kovanlara yüklenen eriyiğin 50-70 m/s gibi yüksek bir hızda kovan deliklerden akıtılarak cam lifler elde

edilmektedir. 9 ile 20 mikron çapında çekilen cam lifleri bir mandrel üzerine sarılarak “kek” adı verilen bir bobin üzerinde toplanmaktadır. Üçüncü aşamada; cam elyafların eldesi sağlanmaktadır. Kovadaki deliklerden ayrılan eriyiğin akma esnasında üzerine su püskürtülerek kısa sürede belli bir sıcaklığa soğutulması yapılarak cam flaman haline getirilmesi sağlanmaktadır. İpliksi haldeki flamanların bir tambur üzerinden geçirilerek yüzeyi kaplanmaktadır. Bu işlem “apreleme” olarak adlandırılmaktadır. Cam elyafların üretim yöntemlerinden biri olan mekanik lif çekme yönteminde kovan çıkışında filamanlar mekanik olarak çekilip, sarılmaktadır. Şekil 2.6’da yöntem şematik olarak gösterilmektedir. Bu teknik cam fiberi yönteminde en çok tercih edilen yöntemdir [13].



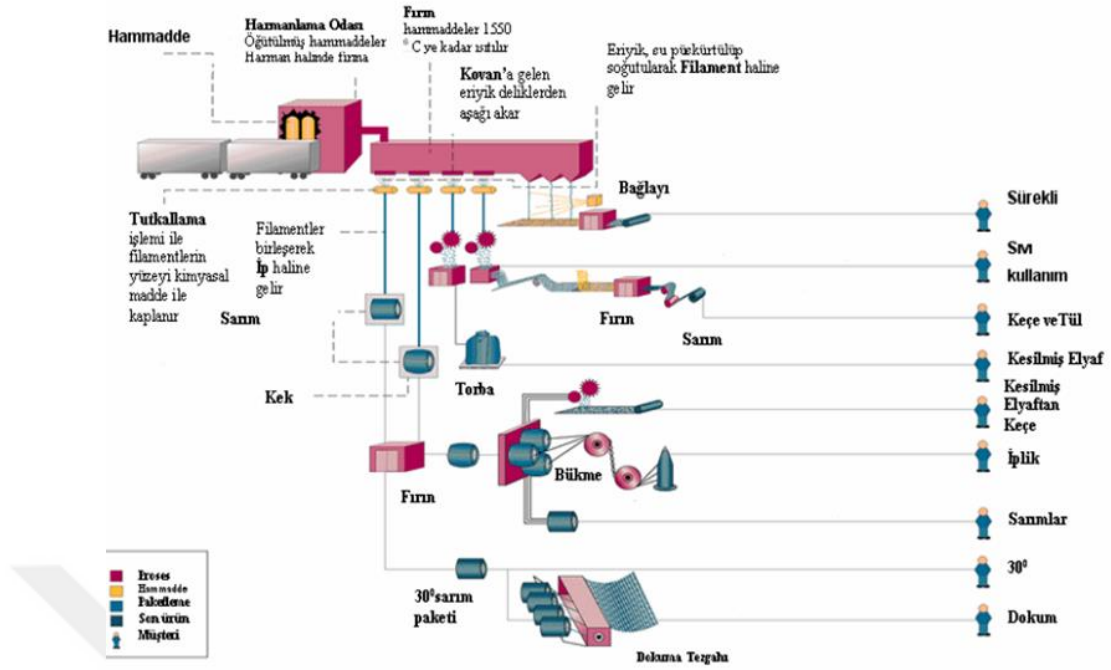
Şekil 2.6: Cam elyafların mekanik lif çekme yöntemi ile üretiminin şematik gösterimi [13]

Pnömatik lif çekme yöntemi cam elyafların üretiminde kullanılan diğer bir yöntemdir. Bu yöntemde sıcak elyaflar, içinden vakum geçen delikli bir tambura püskürtülmekte ve boyları 5 ila 80 mm arasında değişen süreksiz elyaflar elde edilmektedir [13].



- (1) Basınçlı hava girişi;
- (2) Joule etkisi ile ısıtılmış kovan;
- (3) etekler;
- (4) spray boyutunu ayarlayan aparat;
- (5) delikli tambur;
- (6) tambur vakumu;
- (7) akan fiberler;
- (8) fiberler için toplama çemberi;
- (9) iplik;
- (10) şekillendirme makarası;
- (11) sarım makarası şeklinde ifade edilmektedir.

Şekil 2.7: Cam elyafların üretiminde kullanılan pnömatik lif çekme yöntemi [13]



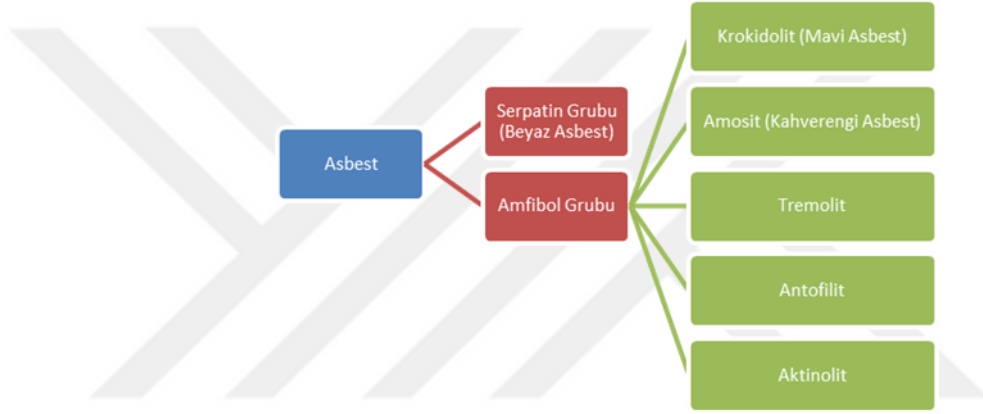
Şekil 2.8: Cam elyaf üretimi şematik gösterimi [13]

2.2.2.2. Asbest elyaflar

Asbest, lifli yapıya sahip doğal bir mineraldir. Yanmazlık özelliği sergileyen esasen magnezyum silikat olan bu ürünün birçok çeşidi mevcuttur. Asbest liflerinin boyları, genellikle 0,8 mm ila 19-20 mm arasında değişmekte ve çapları 0,01 mm'ye kadar küçülebilmektedir. Bu elyafların 3000 N/mm² nin üzerinde çekme mukavemetine ulaştığı bildirilmektedir. Asbest liflerinin özellikle alkali ortam başta olmak üzere korozyon dayanımları iyidir [10]. Mineralin adı eski Yunanca yanmaz anlamına gelen “Asbestino” kelimesinden gelmektedir [16]. Avrupa ülkeleri asbestos yerine Latince “lekesis” anlamındaki “Amiantos” kelimesini kullanmışlardır. Finlilerin 4.000 yıl önce antofillit asbest karışımını çanak, çömlek yapımında tercih etmişlerdir. Çinliler 3.000 yıl önce bu malzemeleri uzun lifler halinde giysiler yapmak için kullanmışlardır [17]. Asbest lifleri; yüksek sıcaklık dayanımına, aşınma ve oksitlenmeye karşı dirence, yüksek erime derecesine, kimyasal kararlılığa, düşük elektriksel geçirgenliğe, yüksek elastik modül ve yüksek sertleşebilirlik gibi benzersiz fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptir [16].



Şekil 2.9: Asbest liflerine ait makro ve mikroyapı görüntüsü [16]



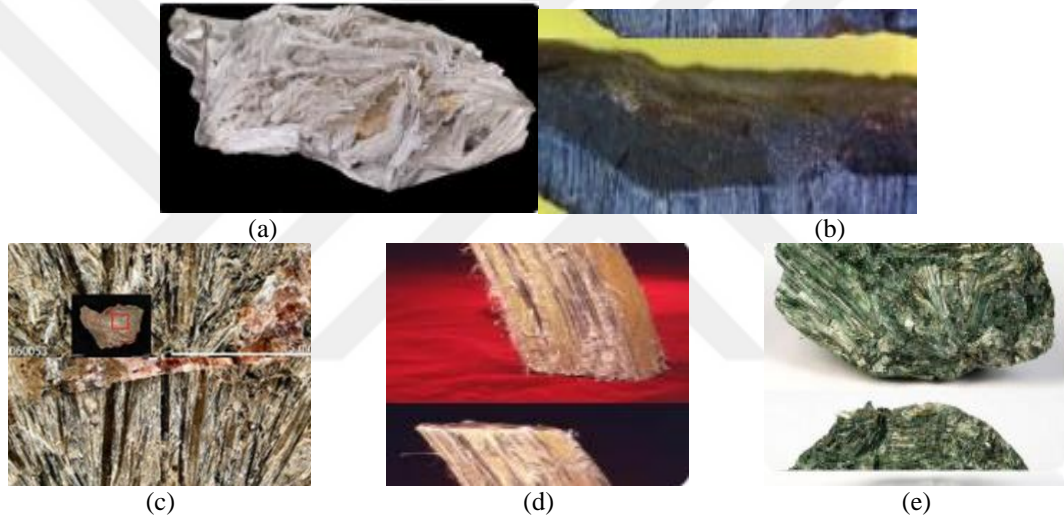
Şekil 2.10: Asbest lifi türleri [16]

Krizotil Asbest (Beyaz Asbest) [$Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$], en geniş kullanım alanına sahip olan çeşididir ve diğer asbest türlerine göre daha sünektir. Mukavemetli ve ipeksi bir yapıya sahip olup erime noktaları da yüksektir [16].



Şekil 2.11: Krizotil (beyaz asbest) [16]

Krizotil asbest ticari olarak uluslararası piyasalarda lif uzunluğuna göre 7 farklı sınıfta satışa sunulmaktadır. 1.Grup $>1,9$ cm, 2.Grup 1,91-1,32 cm, 3.Grup 1,32-0,6 cm şeklindedir. 1, 2 ve 3. grup asbestler lif uzunlukları en fazla olanlardır. Tekstil asbesti olarak da adlandırılırlar. İzolasyon malzemeleri de bu grup asbestlerden yapılmaktadır. 4.Grup 0,6-0,4 cm aralığında olup, basınca dayanıklı asbestli çimento borularında kullanılmaktadır. 5. Grup 0,4-0,2 cm, 6. Grup 0,2-0,1 cm ve 7. Grup 0,1 cm aralığındadır ve 5. grup asbest, asbestli çimento levhalarının üretiminde; 6. grup asbest, asbestli çimento üretiminde; 7. grup asbest ise fren balataları gibi malzemelerin imalinde kullanılmaktadır [18].

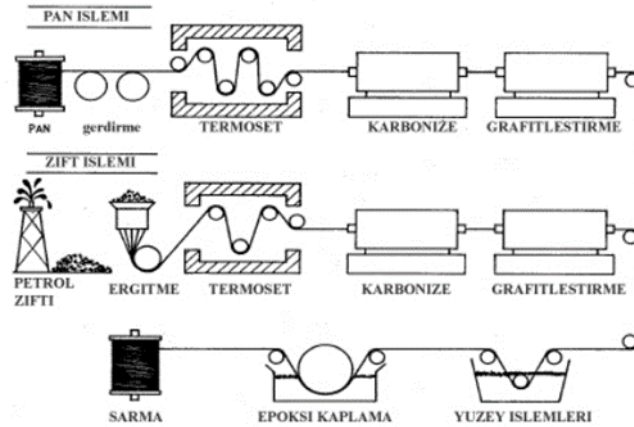


Şekil 2.12: Asbest türleri a) amosit, b) tremolit c) aktinolit d) antofilit e) krokidolit [16]

2.2.2.3. Karbon elyaflar

Karbon elyaflar düşük yoğunlukları, yüksek çekme mukavemeti ve yüksek elastik modülü gibi özellikleri sayesinde kompozitlerin üretiminde önemli ölçüde kullanılan bir lif türü olup, 1960'lı yılların ikinci yarısından beri kullanılmaktadır. Sahip olduğu üstün özelliklerinin dışında oldukça pahalı olan karbon fiberler sıradan uygulamalardan daha çok özellikle savunma amaçlı giysiler, uzay ve havacılık uygulamaları için tercih edilmektedir [10]. Karbon lifler, ısıtılmak suretiyle bünyesindeki organik kökenli hammaddelerin uzaklaşması sonucu karbon atomlarından oluşmuş filamentler elde edilmesi esasına göre üretilmekte ve kristalizasyon işlemi sonrası yüksek mukavemete

sahip lifler elde edilmektedir. Karbon fiberden imal edilmiş kompozitler 1020 çeliğinden 5 kat daha mukavemetli ve ağırlığı 1/5 kadardır [19]. Karbon elyaflar çoğunlukla Zift ve PAN (Poliakrilonitril) olarak iki malzemeden elde edilmektedir. Zift tabanlı karbon elyaflar nispeten daha düşük mekanik özellikler sergilemekte ve yapısal uygulamalarda pek tercih edilmemektedir. PAN matrisli karbon elyafları daha mukavemetli ve daha hafif olarak üretmek için sürekli çalışılmaktadır. Bu lifler öncelikle gerdirilerek 400°C'ye ısıtılmaktadır. İlk olarak organik malzemenin oksidasyonu meydana gelmektedir. Daha sonra 800°C gibi bir sıcaklıkta vakum altında karbonizasyon işlemi uygulanıp karbon dışındaki empüriteler sistemden uzaklaştırılır. Karbonizasyon işlemi takiben elyaflar %50 ile %100 arasında gerdirilerek 1100°C ile 3000°C sıcaklık aralığında grafitleştirme işlemine tabii tutulmaktadır. Son olarak epoksi-fiber bağıni kuvvetlendirmek maksadıyla epoksi ile kaplanmaktadır [13].



Şekil 2.13: Karbon elyaf üretiminde PAN ve zift proseslerinin şematik gösterimi [13]

Tablo 2.4: Çeşitli hammaddelerden üretilmiş karbon liflerinin özellikleri [19]

	Tip	Yoğunluk (gr/cm ³)	Gerilme dayanımı (GPa)	Germe modülü (GPa)	Uzama (%)	Elektriksel özdirenç (μOhm*m)
Rayon	50S	1,67	1,9	390	0,5	10
	75S	1,82	2,5	520	0,5	-
PAN	T800	1,80	5,6	290	1,9	13
	M50	1,91	2,4	490	0,4	7,6
İzotropik katran	T101F	1,65	0,8	33	2,4	150
	T201F	1,57	0,7	33	2,1	50
Mezofaz katran	P25	1,90	1,4	160	0,9	13
	P120	2,18	2,2	830	0,3	2,2
Tek kristal grafit		2,25	-	1000	-	0,4

Farklı hammaddeler kullanılarak elde edilen karbon liflerin bazı özellikleri Tablo 2.4'te gösterilmektedir. Mezofaz esaslı P120 kodlu karbon fiberlerin germe modülü T800 kodlu PAN esaslı karbon fiberlerden daha yüksektir. 75S kodlu rayondan elde edilmiş karbon fiberin gerilme mukavemeti ile poliakrilnitril esaslı M50 kodlu karbon fiberinki ile benzer özelliklere sahiptir [19].

Tablo 2.5: Karbon liflerinin karakteristik özellikleri ve uygulama alanları [19]

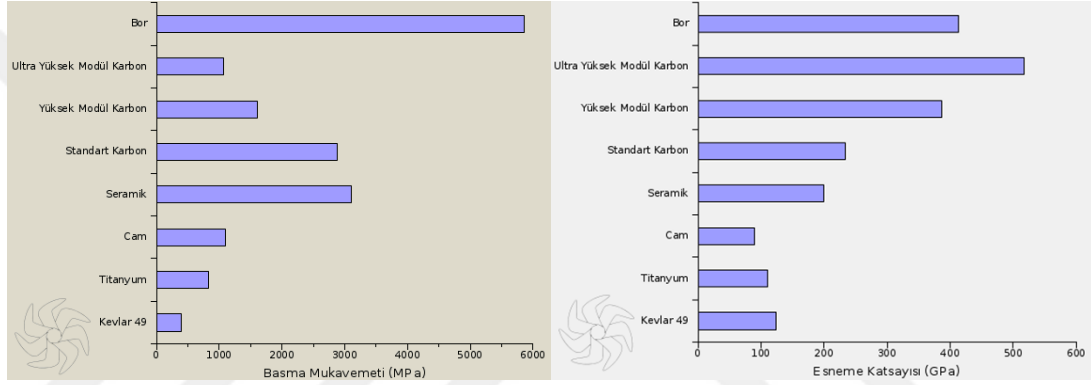
Fiziksel dayanım, özel tokluk ve düşük ağırlık	Uzay, yol ve liman yapımları, spor malzemeleri
Yüzey boyut stabilitesi, düşük termal uzama katsayısı ve düşük aşınma	Füze, uçak renleri, uzay antenleri ve destek yapılar, büyük teleskoplar
İyi mukavemet	İşitsel ekipmanlar, Hi-fi ekipmanları için hoparlör, pikap kolu, robot kolu
Elektriksel iletkenlik	Otomobil, elektronik ekipmanlar için kaplamalar, EMI ve RF koruyucu kılıf, fırçalar
X-ray geçirgenliği ve biyolojik hareketsizlik	Protez gibi tıbbi uygulamalar, araştırma ve X-ray cihazları, implantlar, tendonlar
Yorulma direnci, kendi kendini yağlama, yüksek sönüm	Tekstil makineleri
Kimyasal hareketsizlik, yüksek korozyon direnci	Kimya endüstri, nükleer alan, vafler, yelkenler, pompa bileşenleri
Elektromanyetik özellik	Zincir koparan büyük jeneratörler, radyolojik ekipmanlar

2.2.2.4. Aromid elyaflar

Aromid olarak isimlendirilen aromatik polyamidlerin yüksek sıcaklık dayanımları ve korozyon dirençleri oldukça yüksektir. Bu malzemelerin dezavantajları basma mukavemetlerinin düşük olmasıdır. Bu nedenle havacılık endüstrisinde karbon elyaflar ile hibrit kompozit olacak şekilde kullanılırlar [10]. Aromid elyaflar yüksek darbe, yorulma ve aşınma dayanımı, iyi kimyasal kararlılık ve düşük yoğunlukları gibi önemli özelliklere sahiptir [13]. Aromidler çoğunlukla polimer matrisli kompozitlerde takviye elemanı olarak kullanılmakta ve askeri alanda balistik koruma, doğa sporlarında koruyucu giysi, teknelerde yelken direği, havacılıkta gövde parçaları, otomotiv endüstrisinde balata ve fren kampanası gibi alanlarda uygulama alanı bulmaktadır.

2.2.2.5. Bor elyaflar

Esasen kompozit yapıya sahip olan bor elyaflar düşük yoğunluklarının yanı sıra mükemmel mekanik özellikleri ile dikkat çekmektedir. Bor elyaflar buhar çökelme yöntemi ile üretilmektedir. Cam elyaflarla karşılaştırıldığında 5 kat daha rijit olduklarından dokuma, işleme gibi uygulamalarla tekstil ürünü haline getirilmeleri zordur. Bor elyafların geçmişi 1960'lı yıllara dayanmaktadır ve yüksek mukavemetli malzemeler olmasına karşın pahalı malzemelerdir. Yüksek maliyete sahip olduklarından maliyetin göz ardı edilebileceği niteliğin ön planda olduğu uzay ve uçak sanayi ve spor malzemeleri üretiminde kullanılmaktadır [20].



Şekil 2.14: Bor elyafların basma mukavemeti ve esneme katsayısının karşılaştırılması [20]

2.2.2.6. Alümina elyaflar

Alümina elyaflar, 0,02 mm çapa sahip lif formundaki alüminanın SiO₂ ile kaplanmasıyla üretilmektedir. Basma mukavemetleri yüksek olan bu liflerin çekme mukavemetleri yeterince iyi değildir. Ayrıca, yüksek sıcaklıkta yüksek mukavemet sergilediklerinden uçak motor parçalarının yapımında kullanım alanı bulmaktadır.

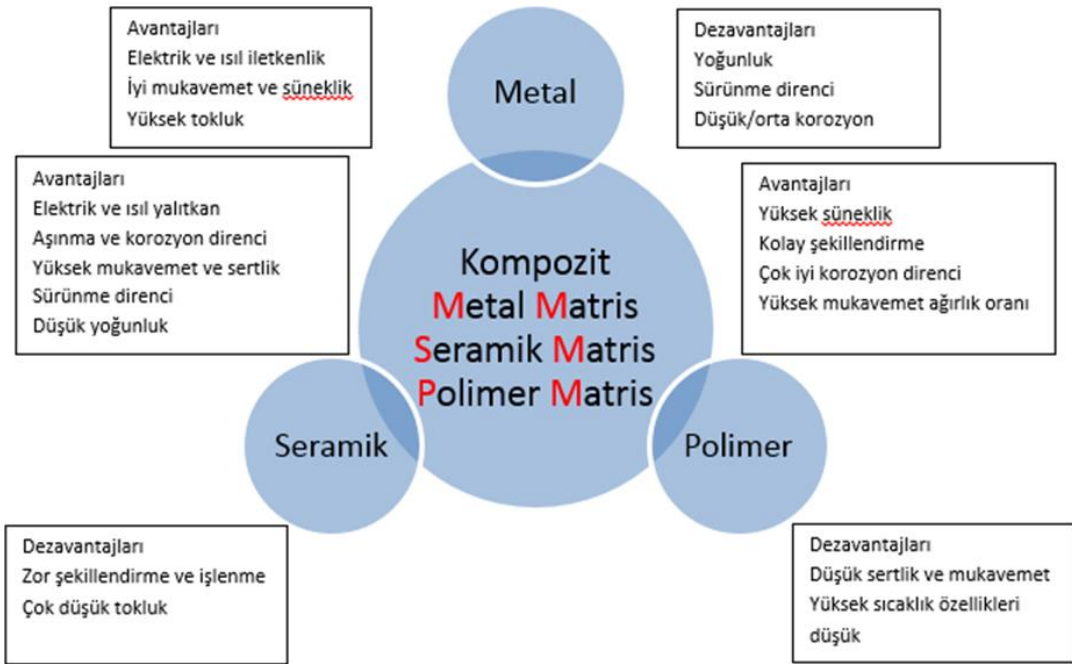
2.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Çok sayıda farklı malzeme kullanılarak elde edilen kompozitlerin net olarak sınıflara ayrılmasının mümkün olmadığı bildirilmekle birlikte bu malzemeleri genel olarak; yapılarını oluşturan malzemeler, yapı bileşenlerinin şekillerine göre ve yapıdaki malzemelerin formuna göre üç şekilde sınıflandırmak mümkündür.

Kompozitler genel itibariyle birleştirici kalıp görevi gören matris ve içine dağıtılmış sürekli veya süreksiz takviye elemanlarından meydana gelmektedir [6]. Matris malzemesinin türüne göre kompozit malzemeler; polimer, metal ve seramik matrisli kompozitler olarak 3'e ayrılır. Tablo 2.6'da kompozit malzemelerin matris türüne göre sınıflandırmasına bağlı olarak takviye elemanı ve kompozit yapının şekli görülmektedir.

Tablo 2.6: Matris malzemesi türüne göre kompozit malzemelerin takviye elemanları ve yapının şekli [6]

Matris malzemeleri	Takviye elemanı	Kompozit yapının şekli
Polimerler	Lifler	Tabakalar
Metaller	Granül	Kaplamalar
Seramikler	Whiskers	Film-folya
	Pudra	Honey-Combs (Bal peteği)
	Yonga	Filaman sarılmış yapılar



Şekil 2.15: Matris malzeme cinsine göre korozyon malzemelerin sınıflandırılması [6]

2.3.1. Polimer matrisli kompozit malzemeler

Polimer malzemeler, son yıllarda hızlı teknolojik gelişmeler göstererek teknolojik uygulamaların ve günümüz ihtiyaçlarının vazgeçilmezleri haline gelmiştir. Polimerlerin

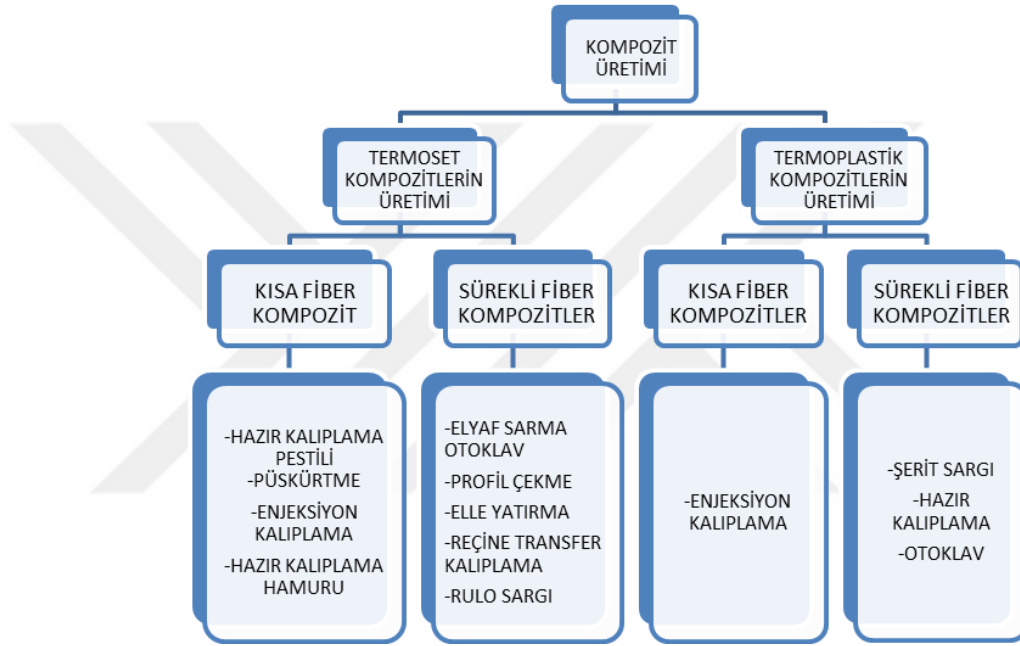
dezavantajları polimer matrisli kompozitler yapılarak ortadan kaldırılması planlanmakta ve mümkün olduğunca hafif, yüksek servis sıcaklığında kullanılabilen ve düşük maliyet özelliklerine sahip malzemelerin elde edilmesi hedeflenmektedir. Kullanım alanlarına bakıldığında en büyük payı otomotiv sektörü oluşturmaktadır. Otomobillerde %10 civarında kullanılan bu malzemeler tamponlar için vazgeçilmez unsurlardır. İleri teknoloji malzemeleri olarak yapay doku ve organlar gibi uygulamalarda, piezo elektrik sistemler gibi uygulamalarda seramik ve metalik malzemelerin yerine kullanılmaktadır. Polimer kompozitler parçacık dolgu kompozitler ve sürekli elyaf kompozitler olmak üzere iki ana kategoride incelenebilmektedir. Polimer matrisli kompozit malzemelerde kullanılabilecek plastik türleri termoset ve termoplastik olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Genel olarak polimer matrisli kompozitlerde kullanılan matris türü termosetler, termoplastikler ve kullanılan fiberler ise; cam, karbon ve aramid fiberler şeklindedir [13].

PMK'lerde en çok tercih edilen matris malzemesi termosetlerdir. Sıvı haldeyken ısıtılır ve kimyasal tepkimelerle rijit hale getirilirler. Termosetler üretimi gerçekleştirildikten sonra geri dönüşümü olmayan polimer türleridir. Termoset matrislerin elde edilmesinde epoksi, polyester, vinylester ve fenolik reçineler kullanılmaktadır. Termoset reçinelerin kimyasal dirençleri yüksek olup zor atmosfer şartlarında iyi kararlılık sergilerler. Mukavemetin ikinci planda olduğu uygulamalarda en çok tercih edilen matris malzemesi polyester reçinesidir. İleri teknoloji kompozitlerin elde edilmesinde ise genellikle epoksi reçinesi kullanılmaktadır [13].

PMK yapımında matris olarak kullanılan termoplastikler, bu alanda sınırlı uygulama alanı bulmasına rağmen çok fazla çeşitliliğine sahiptir. Düşük sıcaklıklarda rijit halde bulunan termoplastikler ısıtıldıklarında yumuşama özelliği sergilerler. Bu malzemelerin üstün kırılma tokluğu, hammaddesinin uzun raf ömrü ve geri dönüşüme yatkınlık gibi bir takım avantajları vardır. Ayrıca iyi darbe dayanımı ve yüksek sertlik özelliğine sahiptir. Bu malzemelerin üretim zorluğu ve yüksek maliyetli olması başlıca dezavantajlarıdır. Termoplastik matris malzemesi olarak en çok PA, PBT/PET, PP, ABS, SAN, SMA (StirenMaleikAnhidrit), PSU (Polisülfon), PPE (Poifenilen Eter) kullanılmaktadır.

2.3.1.1. Polimer matrisli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri

PMK malzemelerin sınıflandırılmasında olduğu gibi bu malzemelerin üretimi termoset ve termoplastik reçine türüne bağlı olarak iki farklı ana başlık şeklinde incelenmelidir. Termomatrisli kompozitlerin birçok üretim yöntemleri mevcuttur. Termoset matrisli kompozitlerin elde edilmesinde ise matris malzemesi genellikle epoksi, doymamış polyeester ve vinil ester içermektedir.



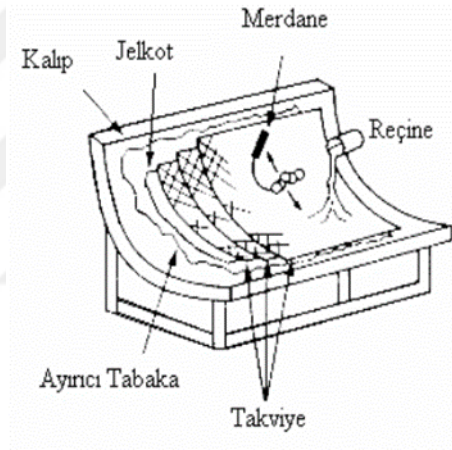
Şekil 2.16: PMK malzemelerin üretim yöntemlerinin sınıflandırılması [21].

- El yatırma (kontakt kalıplama) yöntemi

Düşük ve orta hacimli temas kalıplama yöntemi olup tekneler, tanklar, bina panelleri gibi büyük ebatlı yapısal uygulamalarda yaygın olarak kullanılan en basit yöntemdir. El yatırma tekniği, cam fiber takviyeli plastiklerin üretiminde bilinen en eski ve en basit yöntemlerden biridir (Mazumdar, 2002). Elle yatırma yöntemi parça üzerine yatırıldığı kalıbın şeklini aldığı için “temas kalıplaması” olarak da bilinmektedir. Şematik olarak verilen el yatırma yönteminde, hazırlanan kalıp içine viskozitesi yüksek olan reçine fırçayla sürülmektedir. Daha sonra elyaf demeti hazırlanarak dolgu maddeli reçine elyaflar üzerine emdirilmektedir. Bu şekilde istenilen yön, doğrultuda ve hacim

oranlarında arzulanan kalınlığa ulaşıncaya kadar işleme devam edilmektedir. Kalıptan çıkarılan son ürün belli bir sertliğe sahiptir ve sertleşme polimerizasyon sürecinin sonuçlanmasına bağlıdır. Elle yatırma yöntemi jelleşme, sertleşme ve olgunlaşma adı verilen işlem basamaklarından oluşmaktadır [22].

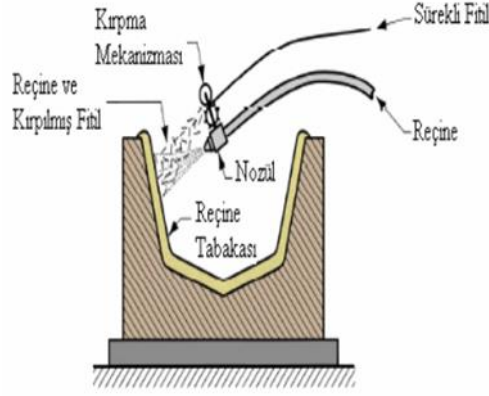
Katılaşma ve hızlandırıcı ilave edilen reçinenin pıhtılaşması olarak değerlendirilen Jelleşme işlemi, yaklaşık 5-10 dakika aralığında gerçekleşmektedir. Sertleşme, pıhtılaşan reçinenin kalıptan çıkartıldıktan sonra 3-4 saat sürede bekletilmesiyle meydana gelmektedir. Olgunlaşma, üretilen kompozit malzemenin maksimum ulaşabileceği sertliktir. Olgunlaşma işlemi, sisteme dahil edilen katkı maddelerine bağlı olarak saatler mertebesinde birkaç haftaya kadar değişen süreler olabilmektedir [6].



Şekil 2.17: Elle yatırma yöntemi [13]

- Püskürtme (Spray up) tekniği

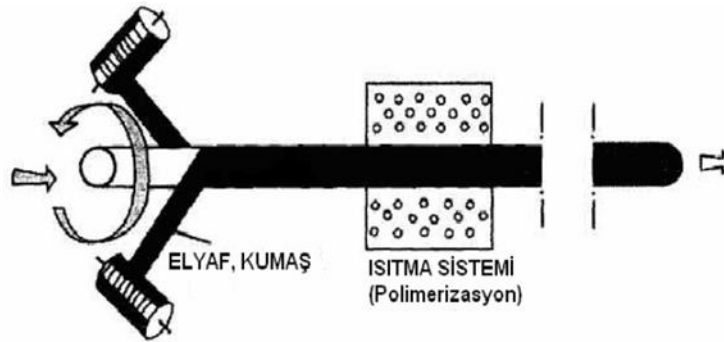
Bu teknikte sürekli beslenen fitil kesici bıçaklardan geçerek kırıldıktan sonra katalize edilmiş, reçine ile beraber jelkot uygulanmış kalıp yüzeyine püskürtülür ve oda sıcaklığında sertleşmeye bırakılır (Akdoğan, 2008). Püskürtme tekniği, elle yatırma tekniğinin aletli şekli olarak kabul edilmektedir. Reçine olarak polyesterler kullanılmakta ve parça karışıklığı fazla olduğunda faydalı bir yöntemdir. Bu teknik basit, maliyeti düşük, taşınabilir teçhizata sahip olması ve parça boyutu sınırlaması olmaması ile avantaj sağlamaktadır [6].



Şekil 2.18: Püskürtme yöntemi [6]

- Elyaf sarma yöntemi

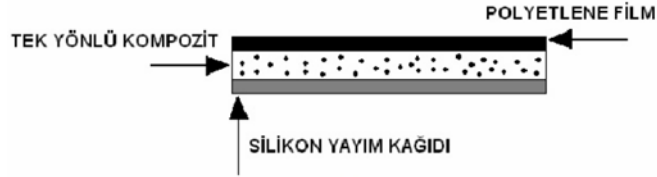
Elyaf sarma yönteminde, sürekli elyaf bağlayıcı ile karıştırılmak suretiyle önceden tasarlanan geometride dönme kuvveti ile sarılması yöntemine elyaf sarma tekniği adı verilmektedir [13]. Bu yöntem seri üretimine uygun olup sürekli elyaf liflerinin reçine ile karıştırılıp ısıtılması ve bir makara vasıtasıyla döner bir kalıba sarılması esasına dayanmaktadır. Ayrıca sürekli lifler farklı açılar ile sarıldığında mekanik özelliklerde farklılaşmaların olabileceği görülmektedir. Bu yöntemle füze boruları, petrol boru hatları, su tankları gibi mamuller üretilmektedir [23].



Şekil 2.19: Elyaf sarma düzeneği [21]

- Tabakalı birleştirme yöntemi

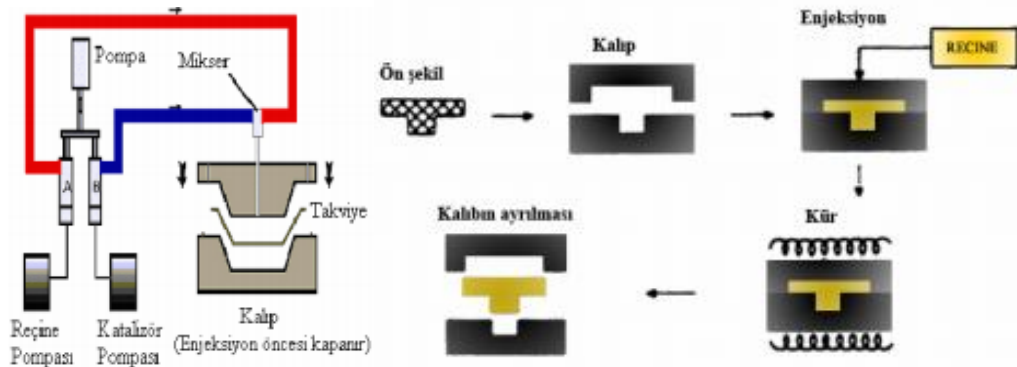
Vakum torbası yöntemi de dahil olmak üzere tabakalı birleştirme yöntemi torba tekniği kalıplama olarak da adlandırılmaktadır. Bu yöntemde, açık yapılar kalıp ve zımba arasında sıcak presleme usulü ile üretilmektedir [3].



Şekil 2.20: Prepreg'in şematik gösterimi [23]

- RTM (Reçine Transferli Kalıplama)Yöntemi

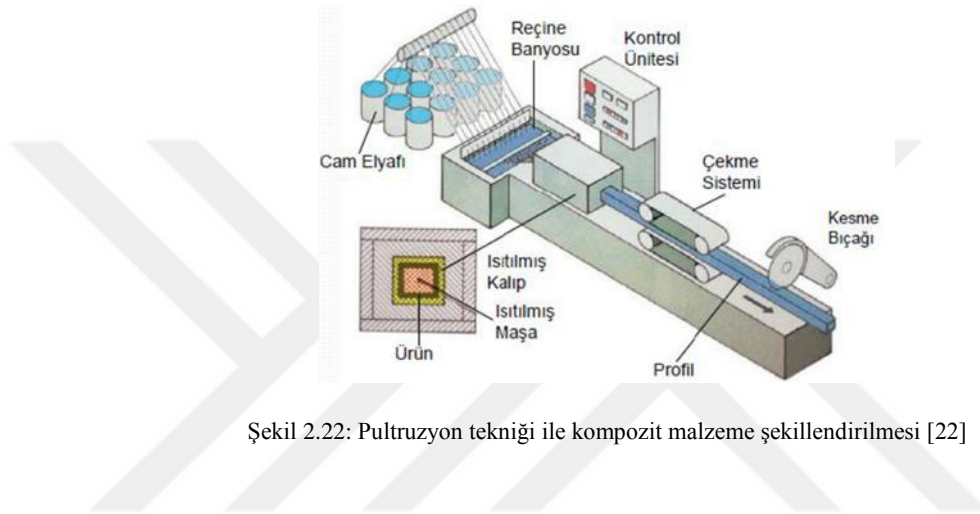
RTM sisteminde alt kalıba tüm takviye elemanları yerleştir ve üst zımba kapatılır. Daha sonra kapalı kalıba uygun bir ekipman vasıtasıyla reçine enjekte edilir. Bu yöntemde iki tarafı parlak yüzeylere sahip malzeme üretmek mümkündür (Akdoğan, 2008). Sıcaklık ve basıncın etkili olduğu bu teknikte matris malzemesi olarak termoset plastikler kullanılmaktadır. Son zamanlarda bu teknikle F1 arabalarının bazı parçaları hazırlanmakta ve karmaşık şekilli parçalar üretilmektedir [23].



Şekil 2.21: RTM yönteminin şematik gösterimi ve yöntemin akım şeması

- Pultruzyon yöntemi

Pultruzyon yöntemi Pull ve Extrusion işlemlerinin kompleks çalıştırılması sonucu geliştirilmiş, sabit kesite sahip ürünlerin sürekli üretilmesine imkan tanıyan seri üretim yöntemidir [13]. Pultruzyon metodunda ekstrüzyonun tersine üretilcek malzemenin hammaddesi kalıba çekilmektedir. Bu yöntem profillerin, çucukların, düz ve oluklu levhaların üretimine olanak sağlamaktadır [22].



Şekil 2.22: Pultruzyon tekniği ile kompozit malzeme şekillendirilmesi [22]

2.3.1.2. Polimer matrisli kompozit malzemelerin kullanım alanları

Oldukça geniş bir uygulama alanına sahip olan kompozit malzemelerin kullanım alanı bulmadığı bir endüstri kolu bulmak oldukça zordur. Bu malzemelerin en yoğun kullanıldığı uygulama alanlarının başında ulaşım endüstrisi gelmektedir. Bu kadar geniş kullanım alanına sahip olmaları hafifliğinin yanında mukavemet özelliklerinin de iyi olmasından kaynaklanmaktadır [23]. Otomotiv endüstrisinde bu malzemelerin hafifliğinden dolayı taşımacılıkta kullanılan araçlarda ciddi oranda yakıt tasarrufu sağlanmaktadır [11]. Spor ve eğlence endüstrisinde sahip oldukları özelliklerden dolayı golf sopaları, yarış tekneleri, tenis raketleri, balık oltaları, kayak takımları, bisiklet gibi ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır. Deniz endüstrisinde ise iyi korozyon direnci, hafiflik, dolayısıyla daha az yakıt tüketimi ve daha hızlı hareket olanağı gibi özelliklerinden ötürü gemi, yat, yolcu feribotları, deniz botları, can simidi vb. ürünlerin üretiminde tercih edilmektedir [24].

2.3.2. Metal matrisli kompozit malzemeler

Metal matrisli (MMK) kompozitler, tek bileşenli alaşımlarla ulaşılamayan özellikleri elde etmek için, en az biri metal olmak şartıyla iki veya daha fazla malzemenin bir araya getirilmesiyle oluşturulan, metal bir matris içerisine dağıtılmış sürekli veya kısa fiber, whisker veya partikül şeklinde takviye elemanlarından meydana gelen malzemelerdir. MMK malzemeler takviye elemanın cinsine göre partikül, whisker veya fiber olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır. Bu sistemlerin kendilerine özgü avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Partikül esaslı metal matrisli kompozitler rijit, izotropik ve düşük maliyetlidir. Ancak kırılma toklukları ve şekil değişme oranları düşüktür. Whisker veya kısa fiber MMK'ler daha mukavemetli ve daha pahalı malzemelerdir. Sürekli fiber MMK'ler yüksek elastik modül ve mukavemet özelliklerinin yanı sıra anizotropiktir ve üretim maliyetleri oldukça yüksektir [25].

2.3.2.1. Metal matrisli kompozitlerde kullanılan matris malzemeleri

MMK malzemeler için matris olarak çoğunlukla Al, Mg, Cu, Co, Ni ve alaşımları gibi düşük ergime sıcaklığı, düşük yoğunluk ve iyi ıslatabilme kabiliyeti gibi hafif metaller tercih edilmektedir. Yüksek performans için matris malzemesinden takviye elemanını iyi ıslatabilmesi, iyi ara yüzey bağı oluşturması ve kararlı bir yapı sergilemesi beklenmektedir [25].

Alüminyum ve alaşımları

Demir dışı metaller içinde Al gerek saf, gerekse alaşım formunda en çok kullanılan malzemelerden biridir. Saf alüminyumun oksijene olan afinitesinden dolayı döküm yöntemiyle elde edilmesi zordur veya düşük mekanik özellikler sergilemektedir. Alüminyum saf haldeyken sınırlandıran bu dezavantajlar alaşımlama yapılarak ortadan kaldırılabilmektedir. Al ve alaşımlarının bir çok uygulamada kullanılmasının en önemli sebebi düşük yoğunluk ve yüksek mukavemetin özelliklerinin bir arada bulunmasıdır. Ayrıca korozyon dayanımı yüksek, plastik deformasyon kabiliyeti iyi ve iyi elektriksel özelliklere sahiptir [26].

- Magnezyum ve alaşımları

Günümüzde fonksiyonel özellikleri düşük enerji ile minimum maliyetle elde etmek gereksinimlerimizi karşılamada büyük önem arz etmektedir. Bu bağlamda endüstriyel uygulamalarda ağırlık tasarrufu sağlamak için hafif mühendislik malzemelerine ilgi her geçen gün artmaktadır. Yoğunluğu 1.74 gr/cm³ olan magnezyum ağırlığı, alüminyumun üçte ikisi, demirin dörtte biri, bakır ve nikelin ise beşte biri mertebelerindedir. Yapısal uygulamalarda kullanılan en hafif metal olan Mg gelecek vaat eden bir malzemedir. Al kadar yüksek mukavemet sergilemese de alaşımlama ile mekanik özellikleri geliştirilmektedir [26].

- Titanyum alaşımları

Titanyum ve alaşımları, MMK malzemelerde matris malzemesi olarak oldukça yaygın kullanılmaktadır. Titanyumun oksijenle buluşması durumunda yüzeyinde ince bir TiO₂ film tabakası oluşarak, mükemmel korozyon direnci sergilemektedir [25]. Bunun yanı sıra titanyum, alüminyumdan daha sert ve mukavimdir. Özellikle mukavemetin özgül ağırlığa oranı çok yüksek olduğundan uzay-uçak endüstrisinin vazgeçilmez malzemeleridir [26]. Titanyum alaşımları matris malzemesi olarak tercih edildiğinde, takviye fazı ile iyi bir yapışma sağlamak ve böylece ara yüzey mukavemetini artırıcı bir özelliğe sahip olmaktadır [25].

- Bakır alaşımları

MMK malzemelerde matris malzemesi olarak elektronik sistemler için bakır ve alaşımlarının tercih edilmesinin nedeni iyi elektriksel iletkenliğe sahip olmasıdır. Bu tür uygulamalarda matris fazı içine grafit partikül takviye edilerek özellikle kontaktör yapımında kullanılacak düşük termal genleşme katsayısı olan iyi iletken malzemeler üretilmektedir [26].

2.3.2.2. Metal matrisli kompozitlerde kullanılan takviye malzemeleri

MMK malzemelerde kompozit malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerini, takviye elemanı, tercih edilen üretim yöntemi, takviye elemanlarının yapısal özellikleri ve üretim esnasında takviye elemanının matris tarafından ıslatılabilme kabiliyeti belirlemektedir. Dolayısıyla takviye malzemesinin seçiminin doğru yapılması ve özelliklerinin iyi

bilinmesi gerekmektedir [26]. MMK malzemelerden beklenen özellikler göz önünde bulundurularak belirlenen takviye elemanından beklenen genel özellikler Tablo 2.7’de verilmiştir.

Tablo 2.7: MMK malzemelerde takviye elemanlarından beklenen özellikler [26]

Takviye Elemanlarından Beklenen Özellikler
Yüksek elastik modül
Yüksek mukavemet
Düşük yoğunluk
Matris ile kimyasal uyumluluk
Üretim kolaylığı
Yüksek sıcaklıkta mekanik kararlılık
Ekonomiklik

MMK oluşturma ana nedeni, yüksek dayanıma sahip düşük yoğunluklu malzemeler üretme isteğidir. Bu özelliklere ulaşmak için genelde metal matris içine seramik faz ilave edilmektedir. Takviye malzemesi olarak en yaygın kullanılan malzeme olan alümina yüksek sıcaklık mukavemeti, yüksek rijitlik özelliğine sahiptir. Alüminanın takviye malzemesi olarak kullanıldığı en yaygın matris malzemesi alüminyum ve alaşımlarıdır [25]. MMK malzemelerin üretiminde takviye elemanı olarak kullanılan bir diğer eleman SiC’dür. Çoğunlukla karbon veya volfram altlık üzerine CVD ile kaplanarak üretilmektedir ve 1400°C kadar kullanım sıcaklığına sahiptir. MMK malzemelerin yapımında kullanılan takviye elemanlarından biri de yüksek çekme dayanımı ve düşük yoğunlukları ile karbon fiberlerdir. Yüksek spesifik dayanım ve spesifik modül değerlerine sahiptir [26].

2.3.2.3. Metal matrisli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri

MMK malzemeler; seramik, polimer ve metalik malzemelere göre üstün özelliklere sahip olması, bu malzemelerin yeni üretim prosesleri ile yeni özellikler kazandırılabilceği görüşünü doğurmuştur. Yüksek üretim maliyetine sahip olan bu malzemelerde üretim yöntemini; istenilen nihai özellikler, parçanın geometrisi, matris ve takviye elemanının türü belirlemektedir. Her prosesin bir takım sınırlılıkları ve avantajları vardır. MMK malzemelerin üretim yöntemlerini genel olarak katı faz üretim teknikleri, sıvı faz üretim

teknikleri ve diğer prosesler olarak sınıflandırılabilme mümkündür [26]. MMK malzemelerin üretim yöntemlerinin şematik gösterimi Şekil 2.28’de verilmiştir.



Şekil 2.23: MMK malzemeler üretim yöntemlerinin şematik gösterimi [26]

2.3.2.4. Metal matrisli kompozit malzemelerin kullanım alanları

80’li yıllarda özellikle havacılık sektöründeki gelişmeler uzay-uçak araçlarının üretimi için yüksek sıcaklıkta yüksek mekanik ve kimyasal kararlılık özelliğine sahip malzemelere olan ihtiyaç MMK malzemelerin ilgi odağı olmasını sağlamıştır. MMK malzemelerin elde edilmesi yüksek maliyetli olsa da yüksek teknolojiye dayalı gereksinimler için maliyet göz ardı edilmektedir [25]. Genel olarak metal matrisli kompozit malzemelerin, spor malzemelerinde (tenis raketleri, kayak sopaları, kayaklar, oltalar, golf sopaları); Tekstil sanayi (mekikler); Tıp (protez, tekerlekli sandalyeler); Elektrik (motor fırçaları, kablolar, elektrik kontakları, ev aletleri, akü plakaları); Otomotiv (motor blokları, pistonlar, biyeller, akü plakaları); Diğer (yataklar, kimyasal ekipmanlar, aşındırıcı takımlar) gibi çeşitli kullanım alanları mevcuttur [26].

2.3.3. Seramik matrisli kompozit malzemeler

Seramikler; yüksek sıcaklıkta yüksek kararlılık, ağırlık tasarrufu, yüksek kimyasal direnç, iyi aşınma mukavemeti gibi özellikleriyle oldukça ilgi çekici bir malzeme grubudur. Ancak bu malzemelerin en büyük dezavantajı gevrek karakterleri ve düşük çekme

mukavemetleridir. Dolayısıyla yapısal uygulamalar için uygun malzemeler olmaktan uzaktırlar. Seramiklerin dezavantajlarını ortadan kaldırmak, sahip oldukları özelliklerden yararlanmak ve tokluk özelliğini arttırmak amacıyla SMK malzemeler geliştirilmiştir [13].

2.3.3.1. Seramik matrisli kompozitlerde takviye malzemeleri

- Sürekli fiberler

SMK malzemelerde oluşabilecek bir çatlak bu malzemelerin özelliklerini kaybetmesine hatta kullanılmaz hale gelmesine sebebiyet vermektedir. Sürekli fiber SMK'lerde kompoziti oluşturan ana unsur olan matris fazında zayıflama olduğunda fiberler uygulanan yükü taşımaya devam edecek niteliktedir. Bu da sürekli fiberlerin tokluk değerlerinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Burada daha çok SiC ve Al₂O₃ fiberler tercih edilmekte, SiC kolay elde edilebilirlik açısından daha kolay olduğundan daha çok uygulama alanı bulmaktadır.

- Süreksiz fiberler

Süreksiz takviye elemanları; partikül, whisker ya da fiberler şeklinde olmakta, çoğunlukla cam, polikristalin seramik veya cam-seramik matrise ilave edilmektedir. Burada matris malzemesine uyum çok önemlidir ve en çok tercih edilen matris malzemesi alüminadır. Alümina dışında SiC, Si₃N₄, müllit ya da alümina silikat da kullanılmaktadır. Genel uygulama alanları ısı değiştiriciler gibi yüksek sıcaklığın ve korozyona dayanımın ön planda olduğu parçaların yapımıdır [13].

2.3.3.2. Seramik matrisli kompozit malzemelerin kullanım alanları

SMK sürekli fiber kompozitler, son yıllarda oldukça gelişme göstermiş ileri teknoloji malzemelerdir. Bu malzemelerin başlıca uygulama alanları türbin motorları, yüksek sıcaklık filtreleri, türbin disklerinde, ısı değiştirici ekipmanları, zırhlarda, petrol kimya borularında, separatörlerde, ısı işlem ekipmanlarında, eksoz valflerinde, fren diskleri gibi sektörlerdir. Süreksiz takviye malzemeleri ısı değiştiriciler, termal koruma sistemleri, korozyona dayanıklı parçalarda kullanım alanı bulmaktadır. Partikül takviyeli seramik

matrisli kompozit malzemeler uçakların alçak basınç türbinlerine ait yapısal parçalarında kullanılabilir [13].

2.3.4. Sermet kompozit malzemeler

Sermetler, seramik (ser) ve metal (met) malzemelerden oluşmuş, yaklaşık olarak eşitlenmiş ince taneli seramik sert faz taneciklerinin bir metal veya alaşım bağlayıcı matrisine gömülü olduğu yapısal malzemelerdir [27]. Genellikle bir seramiğin yüksek sıcaklık mukavemeti ve yüksek sertlik özellikleriyle, bir metalin şekillendirilebilme özelliklerinin optimal bir birleşimi şeklinde dizayn edilmektedir [28]. Sermet ile kompozit malzeme oluşumunda oksit, borür, nitrür veya karbür formundaki seramikleri bağlayıcı olarak bir metal kullanılmaktadır. Genelde kullanılan metaller, yüksek ergime noktasına sahip ve bu tür seramikleri ıslatabilirlikleri yüksek olan nikel, molibden veya kobalt metalleridir. Bu metallerin yanında, çözünürlük sınırları içinde bulunan diğer metaller de alaşımlandırma için kullanılabilir. Sermetlerin en yaygın kullanım alanı kesici takım uçlarıdır. Sermetler, yüksek aşınma ve korozyon dirençleri sayesinde tungsten karbür (WC) yerine testerelede ve diğer taşlama cihazlarında kullanılmaktadır. Titanyum nitrür (TiN), titanyum karbonitrür (TiCN), titanyum karbür (TiC) ve benzeri yapılar, düzgün bir şekilde hazırlanırlarsa tungsten karbür gibi öğütme ve taşlamada kullanılabilir. Daha kompleks malzemeler, Sermet 2 veya II olarak adlandırılırlar ve tungsten karbür gibi hem taşlama hem de öğütmede daha uzun çalışma ömrüne sahip olurlarsa kesici takım uçlarında kullanılmaktadırlar. Sermetler seramik-metal bağlantı contası olarak, vakum tüplerinde sızdırmazlık ara elemanı olarak, kimyasal, nükleer veya termo-iyonik enerjiyi elektriğe dönüştüren sistemlerde ve katı yakıt hücrelerinde kullanım alanı bulmaktadır. Dişçilikte dolgu ve protez malzemesi olarak değerlendirilmektedirler. Aşınma ve sürtünmeye dayanıklı malzemeler olduklarından fren ve balata mekanizmalarında tercih edilmektedir. Bazı sermet çeşitleri geleneksel uzay mekiği malzemeleri olan alüminyum ve diğer metallerden daha etkili bir şekilde yörüngedeki artık/atıkların ve mikrometeorların yüksek hızda darbelerine daha dayanıklı olduklarından uzay mekiği kalkını olarak da kullanılmaktadır. Ayrıca, sermetler yüksek sıcaklığa maruz kalan rezistörlerin (özellikle potansiyometrelerin), kapasitörlerin ve elektronik bileşenlerin üretiminde de tercih edilen malzeme grupları arasında yer almaktadır [29]. Sermet kompozit malzemelerin en çok bilinen ve en yaygın kullanılabildiği alanıdır.

tungsten karbür kobalttır. WC-Co malzemeler içeriğindeki kobalt miktarına bağlı olarak değişen mekanik özelliklere sahip olmakla birlikte oldukça yüksek sertlik ve aşınma direnci sergilemektedir. WC-Co tarihsel süreci incelendiğinde 1923 yıllarında kesici takım ucu olarak kullanıma sunulması, 1970’lerde yüzey serleştirme uygulamalarında kullanılması ve 1994’lerde nano kristalin semente karbürlerin üretimi ile ortaya çıkmaktadır. WC-Co’ın en önemli dezavantajı yüksek kesme hızlarından kaynaklanan yüksek sıcaklıklarda (600°C civarında) Co’nun oksitlenmesi ve WC’nin bozunması ile WC-Co bütünlüğünün bozulmasını takiben ani kırılma ile aşındırıcı ucun işlevini kaybetmesidir. Bu malzemelerin dezavantajları düşük sıcaklıkta sinterlenmeye olanak sağlayan alaşım ilaveleri ile ortadan kaldırılmaktadır [29].

Bu malzemeler, tokluk ve yüksek sertlik özelliğini bir arada bulundurmasından dolayı, tel çekme kalıpları, kesici ve delici uçlar, makine parçalarındaki conta halkaları gibi çeşitli endüstriyel alanlarda yaygın kullanıma sahiptir. Ayrıca ağaç kesme, deniz suyunda madencilik ve benzeri uygulamalar için aday malzemelerdir. Günümüzde korozif ortamda yüksek aşınma direncinin ön plana çıktığı uygulamalarda kullanılacak malzemelerin düşük maliyetli olmasının yanı sıra mükemmel mekanik ve korozyon direncine sahip olması istenir. WC-Co/Ni ve katkılı kombinasyonları, bu çalışma taleplerine cevap verecek nitelikte olduğu düşünülmektedir.

Tablo 2.8: WC tabanlı sermetlerin bazı mekanik özellikleri [29]

Malzeme Kodu	Metal İçeriği (ağ.%)		Yoğunluk (g/cm ³)	Elastik Modül (GPa)	Sertlik (HV10) (MPa)	Mukaveme t (MPa)	Kırılma Tokluğu (MPa \sqrt{m})
	Co	Ni					
WC			15.7	690	3400		5-7
WC-6Co	6		14.8	580-610	1550-1900	1620-3000	8-9
WC-8Co	8		14.5	560	1420	1950	13
WC-11Co	11		14.4		1350	2180	
WC-15Co	15		13.9	500	1150	2700	15.5
WC-20Co	20		13.7	480	920	2750	19
WC-6(3Y)ZrO ₂				515	2100		5
WC-6(2Y)ZrO ₂				485	2150		4
WC-10VC	12				1550		11.5
95WC-3TiC-2TaC						2200	8
86WC-6(3Y)ZrO ₂	8		13.6	625	1470		22
86WC-6(3Y)ZrO ₂		8	13.5	618	1480		27
WC-8Ni		8		560	1380	2500-3000	10.5
WC-8Ni-10cBN		8			2200	1650	

BÖLÜM 3. ELEKTRİK AKIMI DESTEKLİ SİNERLEME

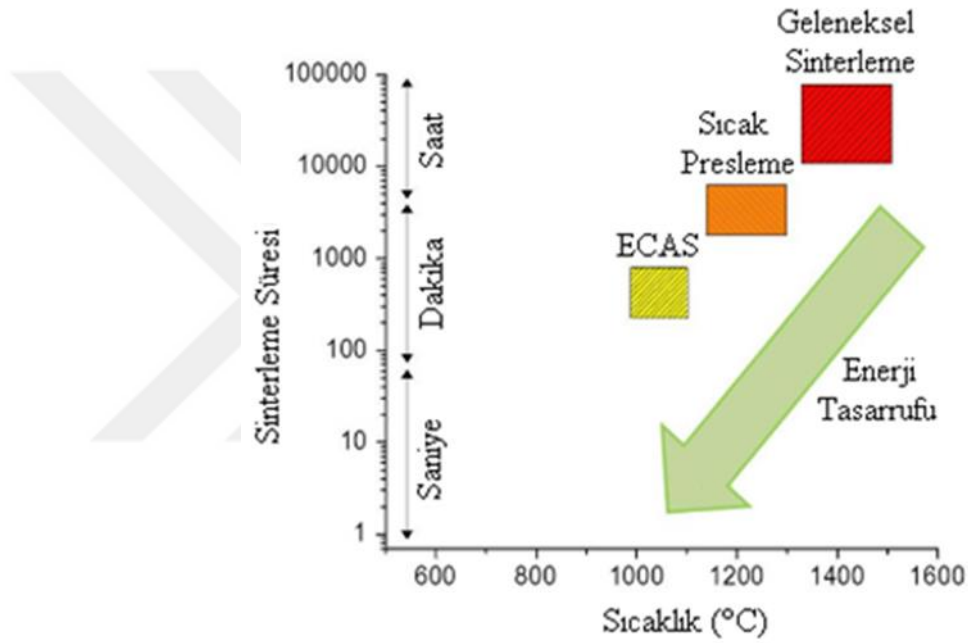
3.1. Giriş

Elektrik Akımı Destekli Sinterleme Yöntemi (ECAS), kolay elde edilemeyen veya geleneksel olarak üretimlerinde uzun süreli yüksek sıcaklık işlemleri gerektiren çeşitli malzemelerin hızlı sentezlenmesine olanak sağlayan teknolojik bir toz metalurjisi tekniğidir. Bu yeni sentezleme yaklaşımı, kalıp içerisinde önceden şekillendirilmiş veya şekillendirilmemiş toz formundaki malzemeler üzerinden belirlenen basınç altında ve istenilen zaman aralığında elektrik akımı geçirilmek suretiyle ürün eldesine imkan veren yeni bir üretim metodudur. Bu proseste üretilecek olan malzemelerin iletken veya yalıtkan oluşu göz önüne alınarak ısı, tozlardan veya kalıptan elektrik akımının geçirilmesiyle oluşan Joule etkisi sayesinde sağlanmaktadır. Üretimi gerçekleştirilecek malzemelerin ihtiva ettiği elementlerin cinsine, elementler arasındaki ekzotermik sıcaklığa ve prosesin işlem parametrelerine bağlı olarak sınıflandırılmakta ve darbeli elektrik akım sinterlemesi (PECS), kıvılcımlı akım sinterlemesi (SPS), plazma aktivasyon sinterlemesi (PAS) gibi farklı isimlerle de bilinmektedir. Sinterleme sıcaklığının düşük, ısıtma hızının yüksek ve işlem süresinin kısa olması sayesinde geleneksel yöntemlerle kolay elde edilemeyen nano boyuttaki yarı kararlı tozların, intermetalik bileşiklerin, fonksiyonel aşamalı malzemelerin (FGM), metal matrisli kompozitlerin (MMK) ve fiber takviyeli seramiklerin (FRC) sinterlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. ECAS tekniği bilinen toz metalurjisi metotları ile karşılaştırıldığında yüksek ısıtma hızı, düşük sinterleme sıcaklığı, ön şekillendirme ve koruyucu atmosfere gerek duyulmaması, minimize edilmiş yardımcı ekipman azlığı ve kısa işlem süresi sayesinde düşük maliyeti ile ön plana çıkan ekonomik bir prosestir [7].

ECAS tekniği ile düşük sinterleme sıcaklığı ve daha kısa işlem süresi sayesinde nano boyutundaki yarı kararlı tozlar ve küçük tane boyutuna sahip malzemeler teorik yoğunluğa yakın olarak üretilebilmektedir. İşlem süresinin kısa olması, arzu edilmeyen

reaksiyonların gerçekleşmesini önlemekte, istenmeyen faz dönüşümlerinin oluşmasını engellemekte ve malzemelerin homojen tane yapısıyla elde edilmesini sağlamaktadır [30].

Büyük yatırım maliyeti gerektirmeyen bu yöntem mümkün mertebe yardımcı ekipman gerektirmemektedir ve üretim esnasında malzeme kaybının olmaması sayesinde ekonomik bir tekniktir. ECAS tekniğinin diğer yöntemlerle enerji tasarrufu açısından karşılaştırılması Şekil 3.1’de verilmiştir.

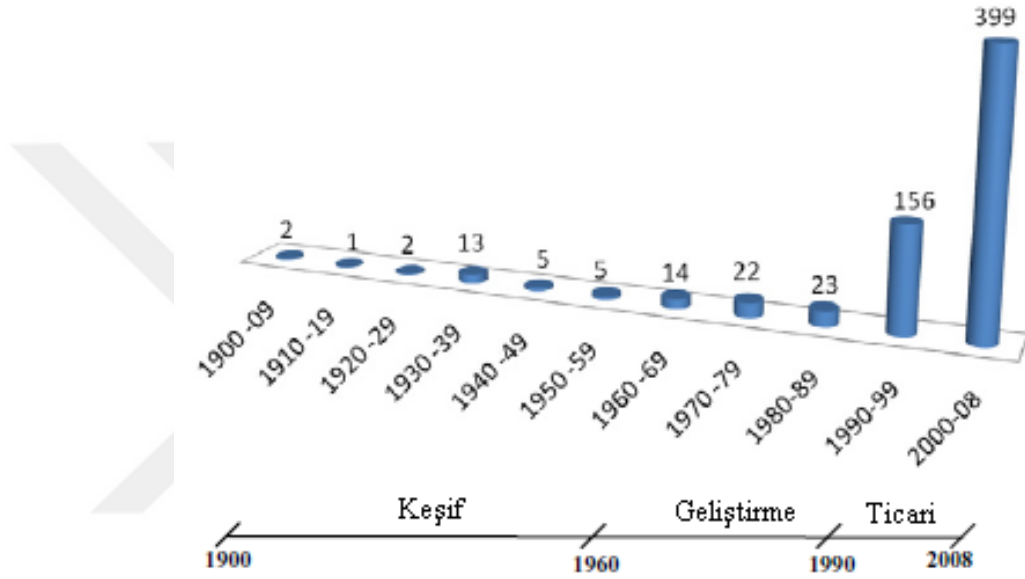


Şekil 3.1: ECAS tekniğinin diğer yöntemlerle enerji tasarrufu açısından karşılaştırılması [30].

3.2. ECAS Tekniğinin Tarihsel Gelişimi

Toz metalurjisi tekniklerinden biri olan ECAS tekniği son yıllarda bilimsel bir araştırma konusu ve yaygın kullanılan bir yöntem olmasına rağmen geçmişi 1900'lü yıllara dayanmaktadır. Partikül formundaki malzemelerin birleştirilmesinde elektrik akımının kullanılması düşüncesi çok eskilerden beri var olup, İngiltere’de 1906 yılında bu yöntemle üretilen W/Mo lamba flamaları ile literatüre geçmiştir. Daha sonra 1913 yılında ABD’de benzer yöntemle karbür nitrür üretilmiş, 1922 yılında oksit formundaki tozlar

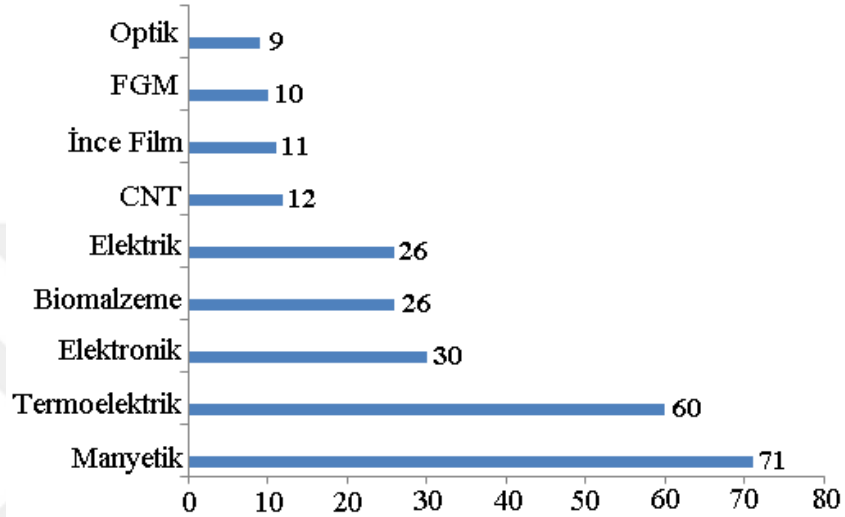
üzerine doğrudan akım gönderilerek tozların birleştirilmesi sağlanmış ve ilgili patent alınmıştır. 1927 yılında WC/Co tozları mekanik basınç ile birlikte doğru ve alternatif akımın aynı anda tatbik edilmesiyle birkaç dakikada sinterlenmesi gerçekleştirilmiş ve tam yoğun malzemeler elde edilen bu sistemin patenti Hoyt tarafından alınmıştır. 1933’de Taylor pulse DC ve AC akımlarının kombinasyonu ile WC/Co Sermet karbürlerini, birkaç saniye gibi kısa bir sürede elde ettiğini bildirmiştir.



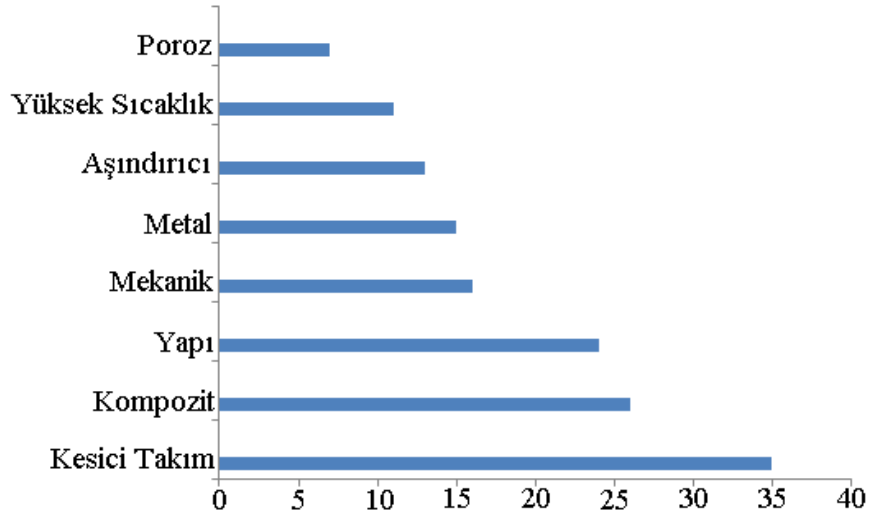
Şekil 3.2: 1900-2008 yılları arası ECAS tekniği üzerine alınan patent sayıları [30].

1944 yılında Cramer, DC veya AC akımın mekanik basıncın aynı anda uygulanmasıyla 1/60-1/15 gibi sürelerde metalik tozların sinterlenmesini sağlayan bir cihazın patentini almıştır. 1950’lerde basınçlı direnç sinterleme yöntemi olarak isimlendirilen bu proses 1960’lı yıllarında ECAS terimiyle kullanılmaya başlanmıştır. Bu yıllarda iki işlem adımından oluşan Spark Plazma Sinterleme (SPS) tekniği geliştirilmiştir. SPS tekniğinin birinci basamağında düşük basınç altında 15-30 sn. süreyle 500-1000 Hz frekanslı AC tatbik edilerek spark deşarjları oluşturulmuş, ikinci basamağında ise üretimi hedeflenen numunenin aynı veya biraz daha fazla basınç altında elektriksel olarak ısıtılması sağlanmıştır. SPS tekniği ile 1970’li yıllarda Al, Ti, Cu, Be, Ni, Fe ve bunların alaşımları, karbürler, borürler, oksitler, refrakter metaller ve berilitler gibi birçok malzemenin laboratuvar ortamında üretimi gerçekleştirilmiştir [7].

ECAS tekniği için 1900-1960 yılları keşif aşaması, 1960-1990 yılları arası gelişme aşaması ve 1990 yılları sonrası ticarileşme süreci olarak değerlendirilmektedir. 1900-2008 yılları arasındaki süreç incelendiğinde yayınlanan patent sayılarına bakılarak 1990'dan sonra yapılan çalışmaların arttığı söylenebilmektedir. ECAS tekniği ile üretilen yapısal ve fonksiyonel malzeme grupları üzerine alınan patentlerin sayıları Şekil 3.3'de verilmiştir.



(a)



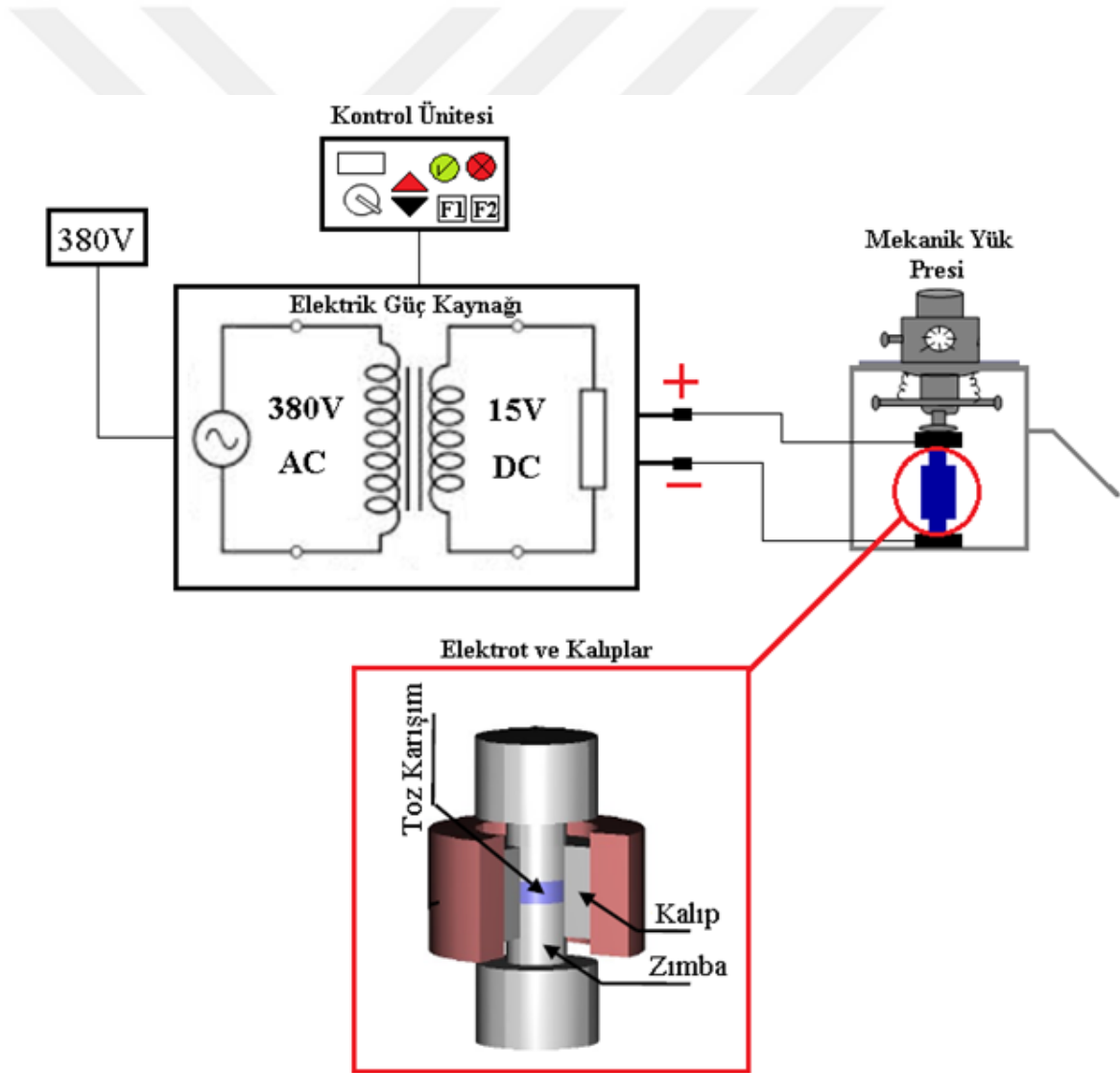
(b)

Şekil 3.3: ECAS ile üretilen a)fonksiyonel ve b)yapısal malzeme gruplarının patent sayıları [30].

1970-2006 yılları arasında ECAS ile ilgili çoğunluğu uzakdoğu ülkelerinin oluşturduğu 2000 civarında makale yayınlanmıştır. ECAS yöntemi ticarileştiğinden 2009 yılına kadar en çok bilimsel çalışma yaklaşık 550 yayın ile Japonya’da yapılırken ve bunu sırasıyla 380 yayın ile Çin, 270 yayın ile Kore, 130 yayın ile ABD ve 70 yayın ile Rusya izlemiştir.

3.3. ECAS Prosesinin Sistem Parametreleri

ECAS prosesinde mekanik basınç ile beraber elektrik akımı uygulanarak istenilen yoğunlukta spesifik ürünlerin sinterlenmesi sağlanmaktadır. Uygulanan elektrik akımı ve tatbik edilen mekanik basınç otomatik sistem üniteleri kontrol edilebilmektedir. ECAS prosesinin şematik görünümü Şekil 3.4’de verilmiştir.



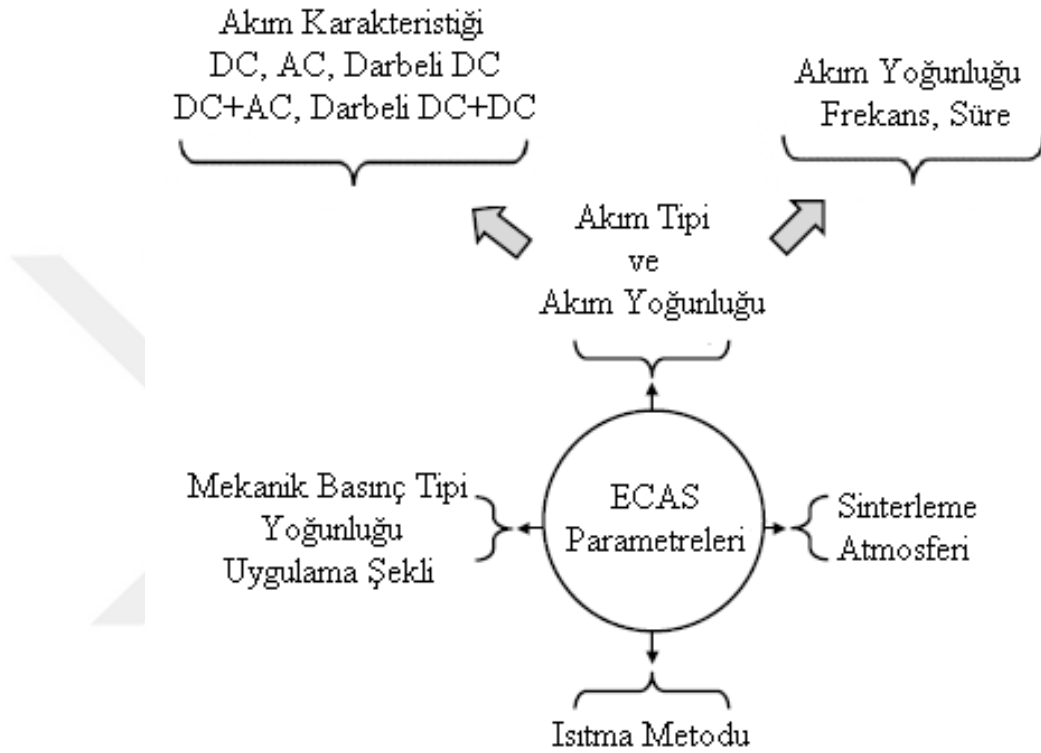
Şekil 3.4: ECAS prosesinin şematik görünümü [7].

Üretilecek malzemenin elektriksel özellikleri esas alınarak kalıp malzemesi iletken ya da yalıtkan olabilmektedir. Başlangıç malzemesi olarak kullanılacak tozların yalıtkan özellikte olması durumunda kalıp, elektrik akımının geçişini sağlamak amacı ile iletken olmak durumundadır. Hammadde olarak iletken toz kullanıldığında kalıpların iletken veya yalıtkan olması üretim kalitesini etkilememektedir.

Üretilecek malzemenin iletken olması durumunda toz partiküller, Joule etkisi ve kalıp ile proplar arasındaki sıcaklık ile ısınmakta, yalıtkan tozlar kullanılması durumunda ısınma ısı transferi ile sağlanmaktadır. ECAS tekniğinde kalıp malzemesi olarak seramik, çelik veya mekanik basıncın düşük olduğu yerlerde grafit kullanılmaktadır. Sistemi oluşturan bir diğer unsur olan proplar güç kaynağından aldığı elektrik akımını kalıp yüzeylerine iletmektedir. Üretim esnasında bölgesel olarak ısının en yüksek olduğu yer olan proplar, yüksek ergime derecesine sahip olması ve elektrik akımının minimum kayıplarla iletilmesini sağlaması amacıyla elektriksel direnci düşük malzemelerden imal edilmektedir. Bu malzemelerin üretimlerinde genellikle bakır ve alaşımları kullanılmasına rağmen yüksek ısı ve basınca ihtiyaç duyulan yerlerde paslanmaz çelik, 100MPa basınca kadar grafit malzemeler tercih edilmektedir. ECAS yönteminde elektrik güç kaynağı olarak tercih edilen akım tipi (doğru, alternatif veya kombinasyonları), akım yoğunluğu ve akımın uygulama şekline göre belirlenmektedir. İşlem esnasında elektrik akımı ile mekanik yükün aynı anda uygulanabilmesi için propları sabitleyen ve mekanik yük uygulayan geleneksel presler veya spesifik deneyler için izostatik presler kullanılmaktadır [30].

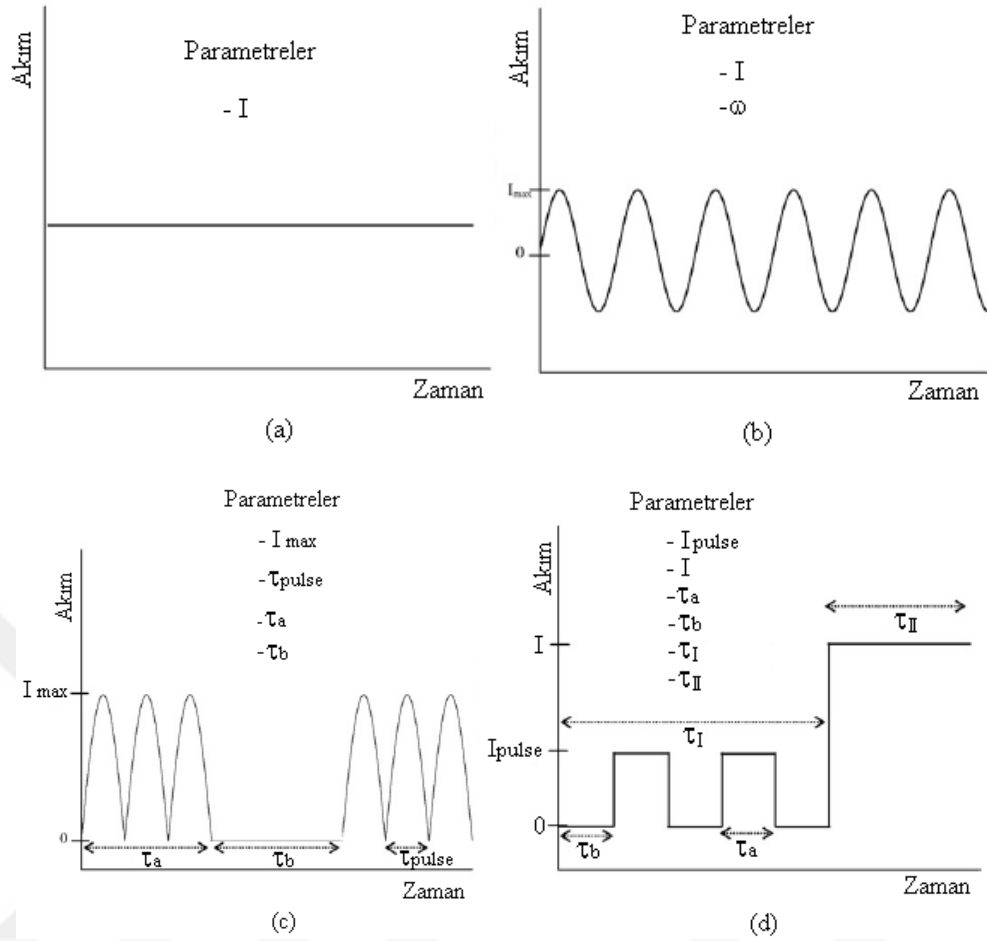
ECAS yöntemi diğer TM teknikleri ile karşılaştırıldığında, geleneksel yöntemde numuneler çoğunlukla koruyucu gaz ortamında harici ısıtıcılar yardımıyla fırın içerisinde ısıtılmakta ve böylece numunelerin dış yüzeylerinden iç yüzeylerine doğru ısı iletimi ile sağlanmaktadır. Dolayısıyla ısıtma hızı yavaş ve işlem süresi uzundur. Bunların yanı sıra numuneyi sinterleme sıcaklığına kadar ısıtmak için fırın iç hacminin ısınması gerekmektedir. Burada numuneye ısı dolaylı yoldan ulaştığından ısının büyük bir kısmı kaybedilmektedir. ECAS yönteminde enerji sarfiyatının minimum olduğu söylenebilmektedir. ECAS prosesine benzeyen bir diğer yöntem sıcaklık ve basıncın aynı anda tatbik edilmesi açısından sıcak (HP) preslemedir. Ancak sıcak presleme tekniğinde de enerji sarfiyatı fazla ve işlem süresi daha uzundur [7].

ECAS tekniği diğer TM yöntemlerine göre, elektrik akımını kısa sürede uygulayarak kısa sürede malzeme üretimine olanak sağlaması açısından ısının ve enerjinin etkili bir şekilde kullanımı ile ön plana çıkan bir prosestir. ECAS prosesi genel parametreleri şematik gösterimi Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5: ECAS değişkenlerinin şematik gösterimi [30].

ECAS prosesinde tatbik edilen basıncın büyüklüğü ve elektrik akımı altında uygulanıp uygulanmadığı, işlemin koruyucu atmosferde yapılıp yapılmadığı kadar önemli olan bir diğer parametre de akım karakteristiğidir. ECAS prosesinde; DC, AC, Pulsed DC, Pulsed DC + DC, AC + DC, düşük frekanslı AC + yüksek frekanslı AC veya pulsed DC kombinasyonları olmak üzere farklı akım tipleri kullanılmaktadır. ECAS prosesinde kullanılan elektrik akımı dalga tipleri Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6: Tipik elektrik akımı karakteristikleri (a) DC, (b) AC, (c) pulsed DC, (d) pulsed DC + DC [7].

Kullanılan akımın dalga tipi beraberinde farklı parametrelerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Sürekli DC kullanıldığında akım şiddeti etkin olan parametreyken, AC kullanıldığında maksimum akım şiddeti ve frekans etkin olan parametredir. Pulsed DC tercih edildiğinde işlem parametrelerini; max. akım şiddeti, pulsed süresi ve pulsed aktif-pasif olduğu zaman dilimi oluşturmaktadır. ECAS metodunda üretimi gerçekleştirilecek malzemenin özellikleri, sistem parametrelerinin dışında üretim kalitesini etkileyen diğer unsurdur. Malzemenin türü, elektriksel ve termal özellikleri, numune geometrisi ve hammadde olarak kullanılacak tozlarının partikül boyutu ikincil parametreler olarak kabul edilmektedir.

3.4. ECAS Yönteminin Sınıflandırılması

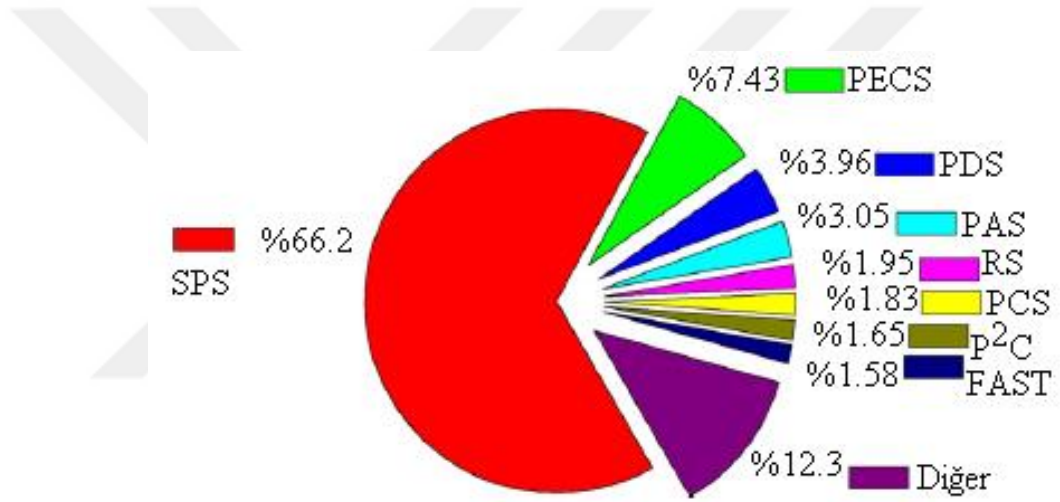
ECAS prosesi, uygulanan akım karakteristiğine bağlı olarak Dirençle Sinterleme (RS) ve Elektrik Deşarj Sinterlemesi (EDS) olarak 2 ana başlık altında sınıflandırılmaktadır. RS yüksek amper, düşük voltaj değerinde üretilecek numunelerin sentezlenmesinde tercih edilmekte ve akım tipi olarak DC, AC, pulsed DC veya bunların kombinasyonları kullanılmaktadır. EDS de ise kapasitörde biriken elektrik enerjisi saniyeler mertebesinde bulk haldeki numune üzerine boşaltılması suretiyle üretim işlemi gerçekleştirilmektedir. EDS'de elektrik enerjisi olarak, RS'ye göre daha yüksek amper ve voltaj değerlerine sahip pulsed elektrik akımı kullanılmaktadır. RS ile EDS arasındaki bir diğer önemli fark işlem süresi olup spesifik olarak EDS prosesinin işlem süresi genellikle 10-5-10-2 s aralığında değişirken, RS işlemi için bu süre 100-103 s'de mertebesindedir [7].

3.4.1. Elektrik deşarj sinterlemesi

Elektrik Deşarj Sinterlemesi (EDS), kapasitörde biriktirilen elektrik enerjisi yalıtkan tüpler içerisinde bulunan tozlara anlık boşaltılmak suretiyle sentezlenmesi prensibine dayanmaktadır. Geçici olarak uygulanan yüksek değerlikli elektrik akımı, partikül formundaki numunenin ısınmasına ve kendi kendine sinterlenmesine neden olmaktadır. Eş zamanlı olarak uygulanan bu akım, kuvvetli bir manyetik alanı beraberinde oluşturmaktadır. Bu da, şekillendirilen numunenin kalıp içerisinde rahat hareket etmesine ve işlem sonrası numunelerin kalıptan kolay çıkmasına imkan tanımaktadır. EDS prosesinde toplam kapasitör kapasitesi genellikle 25 mF ve şarj voltajı 30 kV değerliğinde olup, birkaç kondansatörden meydana gelmektedir. Kapasitör transformatör, doğrultma ve yumuşatma ünitesi kullanılarak şarj edilmektedir. Uygulanan akım yoğunluğu ve şiddeti sırasıyla 2800 MA/m² ve 90 kA'e mertebesine kadar çıkabilmektedir. Bu yöntem ile çubuk ve şerit formundaki birçok metalik malzeme sentezlenmesine rağmen ferro malzemelerin üretimlerinde bir takım sınırlılıklar bulunmaktadır. Partikül boyutu ve akım yönü, istenilen mekanik özellikleri elde etmek için temel etkenlerdir. Sarf edilen enerji miktarını, elektriksel değişkenler ve hammadde özelliklerinin yanı sıra kalıp tasarımı ve geometrisi de etkilemektedir. Yoğunluğu etkileyen en önemli parametre basınç olup, uygulanmadığı takdirde nispi yoğunluk oldukça düşmektedir [7].

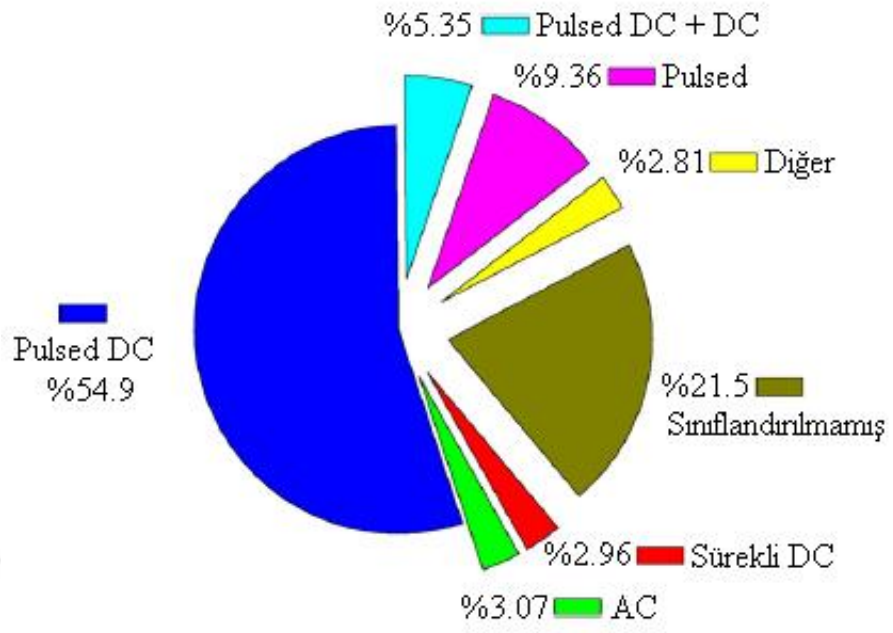
3.4.2. Dirençle sinterleme (RS)

RS yöntemi, bir asıra yakın zamandır bilimsel araştırma konusu olarak değerlendirilip birçok ticari uygulamada kullanım alanı bulmaktadır. EDS yöntemi ile karşılaştırıldığında, RS prosesinde EDS'den farklı olarak anlık değil sürekli akım uygulanmakta ve iletken veya yalıtkan kalıplar kullanılmaktadır. Nispeten daha uzun işlem süresine sahip olmasına rağmen proses kontrolü daha kolay olan bir üretim yöntemidir. RS prosesi akım tipine ve kullanılan ekipmanlara göre farklı isimlerle anılmaktadır. RS prosesinin farklı isimlerle tanımlandığını gösteren şema Şekil 3.7'da verilmiştir.



Şekil 3.7: RS prosesinin farklı isimlerle gösterimi [7].

RS prosesinde DC, AC, pulsed AC/DC veya bu akım tiplerinin kombinasyonları tercih edilmektedir. RS tekniği kullanılarak yapılan çalışmalarda tercih edilen akım tiplerinin yüzde dağılımları Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8: RS tekniğinde tercih edilen akım tiplerinin yüzde dağılımları [7].

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Giriş

Seramikler ile metallerin birleştirilmesiyle oluşturulmuş kompozit malzemeler olan sermetler, seramiklerin yüksek sıcaklık direnci ve sertlik gibi özelliklerini, metallerin ise plastik deformasyon özelliklerini optimum olacak şekilde tek bir malzemede toplamaktadır. Oluşum mekanizması incelediğinde oksit, borür, nitrür veya karbür formundaki seramikler, seramikleri ıslatabilme kabiliyetleri yüksek olan Ni, Mo, Co gibi metal bir bağlayıcı ile bir arada tutulmaktadır. Ayrıca bu malzemelerin özelliklerini geliştirmek için çözünürlük sınırları içinde bulunan diğer metaller de alaşımlandırma amacıyla kullanılabilir. Sermetler genel olarak yüksek aşınma ve korozyon dirençleri ile ön plana çıkan malzeme gruplarıdır.

Sermetlerin içerisinde en çok bilinen ve en yaygın kullanılan WC-Co içeriğindeki kobalt miktarına bağlı olarak değişen mekanik özelliklere sahip olmakla birlikte oldukça yüksek sertlik ve aşınma direnci sergilemektedir. Tarihsel süreci incelendiğinde ilk 1923 yılında kesici takım olarak değerlendirilen WC-Co günümüzde birçok alanda uygulama alanı bulmaktadır. WC-Co'nun en önemli dezavantajı yüksek kesme hızlarından kaynaklanan yüksek sıcaklıklarda (600°C civarında) Co'nun oksitlenmesi ve WC'nin bozunması ile WC-Co bütünlüğünün bozulmasını takiben ani kırılma ile aşındırıcı ucun işlevini kaybetmesidir. Bu malzemelerin dezavantajlarının düşük sıcaklıkta sinterlenmeye olanak sağlayan alaşım ilaveleri ile ortadan kaldırılabilir. Bu malzemelerin üretimlerinde birçok yöntem kullanılmakla birlikte daha çok geleneksel TM ve ileri TM teknikleri tercih edilmektedir. İleri TM tekniklerinden biri de elektrik akımı destekli sinterleme tekniğidir. ECAS yöntemi; ısıtma hızının yüksek ve işlem süresinin kısa olması sayesinde ince tane boyutuna sahip, yüksek nispi yoğunluklu, üstün özelliklerde malzeme üretimine olanak sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasında, WC-Co ve WC-Co malzemesine %5, %7,5 ve %10 oranlarında TiC ilave edilerek ECAS tekniği ile DC akım kullanılarak 600-4500A akım aralığında 6 dakikada numune üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen numunelerin karakterizasyon çalışmaları kapsamında Archimed prensibiyle yoğunlukları, mikrosertlik testleri yardımıyla sertlik değerleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile mikroyapıları, x-ışın paternleri ve kantitatif noktasal EDS analizleri ile faz yapıları ve elektro-kimyasal korozyon çalışmaları ile korozyon özellikleri belirlenmiştir.

4.2. Üretim Aşamasında Kullanılan Cihaz Ve Ekipmanlar

ECAS yönteminde sentezlenme işlemi mekanik basıncın ve elektrik akımının aynı anda tatbik edilmesi prensibine dayanmaktadır. Bu yöntemde kullanılan ekipmanlar; elektrik akımının elde edilmesini sağlayan redresör, üretim esnasında elektrik akımı ile aynı anda basıncın uygulamasını sağlayan pres, numunelerin ön şekillendirilmesi ve problar arasına sabitlenmesi için kullanılan kalıplardan oluşmaktadır. Elektrik güç kaynağı olarak kullanılan redresör, doğrultulmuş tam doğru akım sağlayacak şekilde MRS Elektrik Cihazları San. ve Tic. A.Ş firmasından temin edilmiştir.

4.2.1. Elektrik güç kaynağı (Redresör)

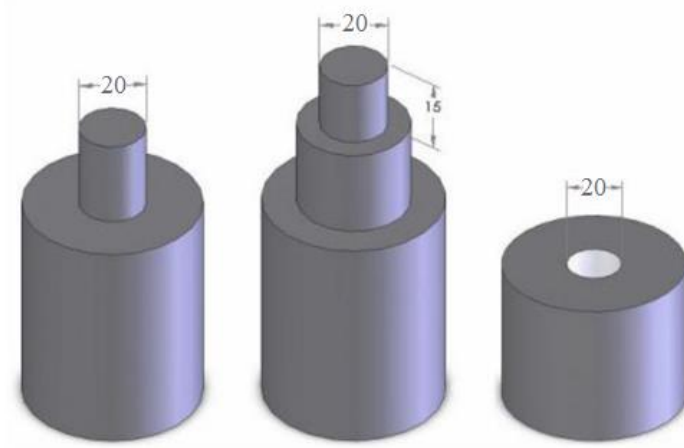
İstenilen aralık değerinde elektrik akımının elde edilmesini sağlayan redresör, 380V ve AC akım tipine sahip endüstriyel elektrik enerjisini insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde maksimum 30V ve 5000A değerlerinde tam doğrultulmuş doğru akıma çevirmektedir. Uygulanan enerji daha önceden belirlenen akım değerlerinde ve yeterli olacağı düşünülen sürelerde sürekli olarak tatbik edilmektedir. Üretim işlemi esnasında istenilen akım değerleri kontrol üniteleri vasıtasıyla ± 1 hassasiyette olacak şekilde kontrol edilebilmektedir.



Şekil 4.1: Numune üretiminde kullanılan redresör

4.2.2. Şekillendirme Kalıpları

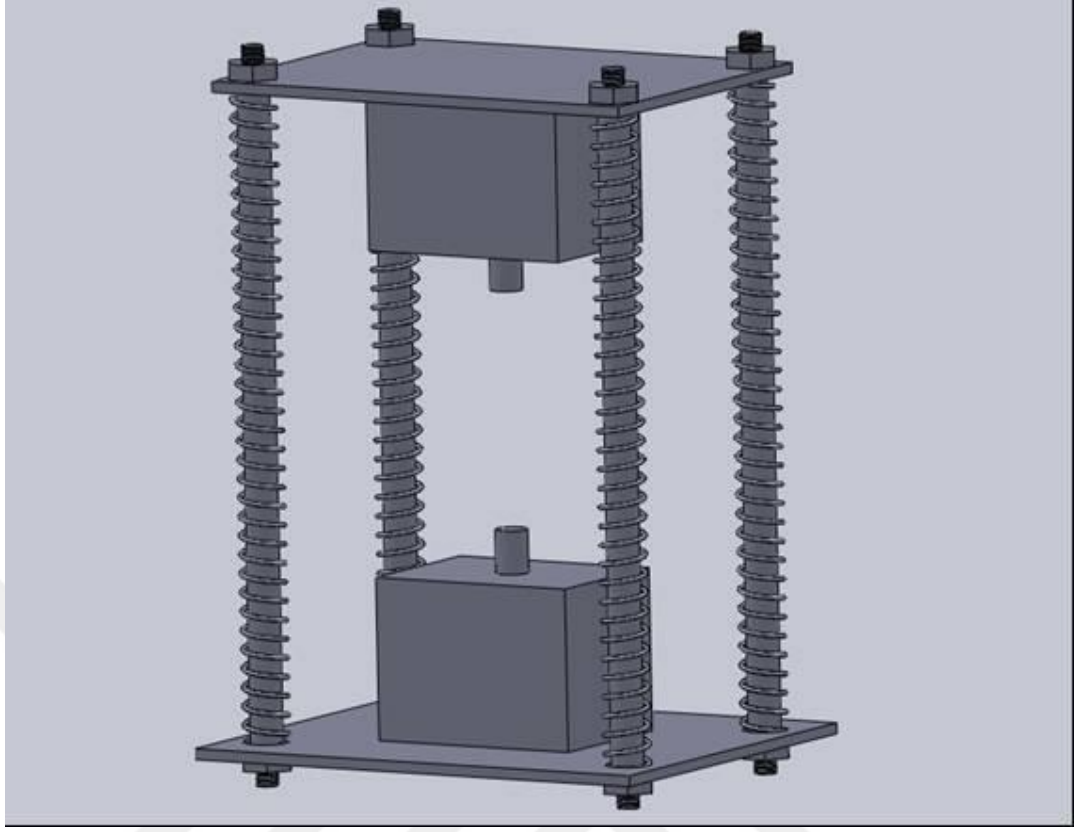
ECAS prosesinde işlem basamakları, yöntemi kullanan uzmanın tercihinine göre değişim gösterse de bu çalışmada ön şekillendirme ve sinterleme işlemi birbirini takip eden ayrı zaman dilimlerinde yapılmaktadır. Elde edilmesi planlanan numunelerin ön şekillendirme işlemi, önceden geometrisi belirlenen kalıplar vasıtasıyla yapılmakta ve bunu takiben şekillendirilen numune kalıp içerisindeyken elektrik akımına maruz bırakılmaktadır. Bu şartlar göz önüne alınarak kalıpların talaşlı imalatla elde edilebilirliği, uzun servis şartlarında kararlılığını koruması, ısıl işleme uygunluğu, yeterli tokluk ve mukavemet değerlerine sahip olması gibi özellikler değerlendirilerek kalıp malzemesi olarak DIN 2365 sıcak iş takım çeliği seçilmiştir. Kalıpların şematik görünümü Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2: ECAS prosesinde kullanılan kalıpların şekli ve boyutları

4.2.3. Taşıyıcı gövde

Taşıyıcı gövde sistemi bir arada tutan, üretim esnasında basınç uygulamak, (+) ve (-) kutuplara sahip elektrotları temas ettirmek için kullanılan, istenildiğinde kalıp içinde ve kalıp olmaksızın üretim yapmaya olanak sağlayan hareketli mekanik sistemdir. Belli periyotlarla üretim karakteristiğine bağlı olarak tasarımı değişen taşıyıcı gövde; elektrotlar ve iletim ünitesini bir arada tutan, elektrik kablolarının bağlı olmasını sağlayan ve istenildiğinde montaj kolaylığı sağlayan kompleks bir mekanizmadır. ECAS yönteminde üretilecek numune elektrotların (+) ve (-) kutupları arasına yerleştirilerek elektrik akımı ile ısıtılmaktadır. Isıya karşı dayanım göstermesi, oluşabilecek bozulmalarda değişim kolaylığı sağlayabilmesi ve bu özelliklere sahip olurken mümkün mertebe düşük maliyetli olması açısından elektrotlar vidalı sistemle bağlanacak şekilde paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Redresörden gelen ve güç iletimini sağlayan elektrik kabloları enerji kaybını minimize etmek amacıyla bakır baralara bağlanmıştır. Taşıyıcı gövdenin bir diğer görevi elektrotların ve elektrik kablolarının gövdeye temasını engelleyecek, istenildiğinde basınç uygulayacak ve gerektiğinde basıncı hızla düşürülüp numuneye müdahale edilebilecek şekilde tasarlanmıştır. Taşıyıcı gövdenin şematik gösterimi Şekil 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.3: Taşıyıcı gövdenin şematik görünümü

4.2.4. Gezegensel bilyalı değirmen

Geleneksel toz metalurjisi tekniklerinde olduğu gibi ECAS yönteminde de üretilecek malzemenin belirlenen stokiometrik bileşim oranına göre hazırlanarak homojen bir şekilde karıştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada karıştırma işlemi mekanik olarak yapılmış olup, Fritsch Planetary Mono Mill Pulverisette-6 model gezegensel bilyalı değirmen ile gerçekleştirilmiştir. 60 dakika süre ve 600 rpm kadar karıştırma hızına çıkabilen gezegensel değirmen WC'den imal edilmiş iç haznesi ve 10 mm çapında WC bilyeleri ile homojen karıştırmaya ve kontrollü olarak partikül boyutunun inceltmesine olanak sağlamaktadır.



Şekil 4.4: Deneysel çalışmalarda kullanılan gezegensel değirmen

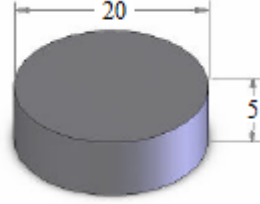
4.3. Deneyslerde Kullanılan Tozlar

WC-Co sermetine belirli oranlarda TiC ilavesi ile özelliklerindeki değişimin tespit edilmesi ve geliştirilmesi amaçlandığından bu çalışmada WC-Co tozu ve TiC tozları başlangıç malzemesi olarak kullanılmıştır. TM yöntemleri için hammadde olarak kullanılacak tozların özellikleri nihai ürünün özelliklerini etkilediğinden toz boyutları ve morfolojisi dikkate alınarak başlangıç malzemeleri seçilmiştir. Genel olarak belirlenen kompozisyon aralıkları sırasıyla WC-Co, WC-Co-%5 TiC, WC-Co-%10 TiC ve WC-Co-%10 TiC şeklindedir. Deneyslerde kullanılan tozlardan WC-Co tozu Goodfellow Cambridge Ltd. (İngiltere) ve TiC tozu Guangzhou Jiechuang Co. (Çin) Ltd. şirketlerinden temin edilmiştir.

4.4. WC-Co-TiC Sermetlerinin Üretim Prosesi

Bu tez çalışmasında, WC-Co ve WC-Co malzemesine %5, %7,5 ve %10 oranlarında TiC ilave edilerek uygun bileşimler oluşturulmuş ve homojen karışım elde etmek için gezegensel değirmende 1:30 toz:bilye oranında kuru ortamda 600 rpm hızda 25 dakika süre ile karıştırılmıştır. Karışımı yapılan tozlar yüksek yüzey kalitesine sahip bor nitür ile kaplanmış kalıplar içerisinde yerleştirilerek 300 MPa basınç altında şekillendirilmiştir.

Ön şekillendirilen numunelerin üretimleri DC akım kullanılarak 600-4500A akım aralığında 6 dakikada ECAS tekniği ile üretilmiş, kalıplar içerisinde alınan numuneler açık atmosferde soğutulmuştur. Metalografik, mekanik ve korozyon özelliklerini belirlemek için Şekil 4.5’ de verilen boyutlarda numuneler üretilmiştir.



Şekil 4.5: Üretilen numunelerin şekil ve boyutları

4.5. Yoğunluk Ölçümleri

Numunelerin yoğunluk ölçümleri, suyun kaldırma kuvvetine esasına göre Archimed prensibi kullanılarak RADWAG AS 60/220.R2 marka hassas ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Numunelerin yoğunlukları, numunenin kuru ağırlığı ve ölçüm yapılan sıvının sıcaklığı dikkate alınarak yoğunluğu bilinen bir sıvı içindeki ağırlığından tespit edilmektedir. Üretilen numunelerin yoğunlukları eşitlik 4.1’e ve nispi yoğunlukları eşitlik 4.2’e göre hesaplanmıştır.

$$\rho = \frac{W_k}{\frac{W_k - W_s}{d_s}} \quad (4.1)$$

ρ = bulk yoğunluk, gr/cm³

W_k = numunenin kuru ağırlığı, gr

W_s = numunenin saf su içindeki ağırlığı, gr

d_s = suyun yoğunluğu, gr/cm³

$$\% N.Y = \left(\frac{\rho}{d_T} \right) 100 \quad (4.2)$$

N.Y = nispi yoğunluk

d_T = teorik yoğunluk

4.6. X-Işınları Difraksiyon Analizi

ECAS tekniği kullanılarak elde edilen numunelerdeki fazları tespit etmek için RIGAKU D MAX 2200 PC marka x-ışınları difraktometresi kullanılmıştır. Analiz sırasında CuK_{α} ($\lambda=1,5418^{\circ}A$) ışın demetleri kullanılarak oluşan bileşiklerin tespitinde ASTM kartlarından yararlanılmıştır.

4.7. Metalografik İncelemeler

Üretimi gerçekleştirilen numunelerin ebatları dikkate alınarak karakterizasyon işleminin kolay yapılabilmesi için $180^{\circ}C$ sıcaklıkta ve 6 dakikada bakalite alma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bakalite alınan numuneler, standart numune hazırlama yöntemleri esas alınarak 60 mesh zımpara kademesinden 1200 meshe kadar SiC zımpara ile zımpara kademelerinden geçirilmiştir ve sonra $0,1 \mu m$ 'lık elmas pasta ile parlatılmıştır. Üretilen numunelerin yüzey morfolojilerinin incelenmesinde JOEL JSM-6600 model taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Farklı morfolojide gözlenen fazlardan noktasal EDS analizleri alınarak elementel değişimler tespit edilmiştir.

4.8. Mikrosertlik Ölçümleri

Metalografik olarak hazır hale getirilen numunelerin sertlik ölçümleri, FUTURE TECH. FM 700 model mikrosertlik cihazında Vickers sertlik ucu kullanılarak 10s süresince 500 gr N yük tatbik edilmek suretiyle gerçekleştirilmiştir. Sertlik değerleri 6 ayrı ölçümün ortalaması alınarak tespit edilmiştir.

4.9. Korozyon Ölçümleri

Korozyon, malzemelerin kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu özelliklerini kaybetmesi, bozulması veya işlevini yitirmesi olaydır. Korozyon korozif ortamın türüne göre gaz ortamında gerçekleşiyorsa “kimyasal korozyon” sulu bir ortamda gerçekleşiyorsa “elektrokimyasal korozyon” olarak tanımlanmaktadır. Metalin birim zamanda çözünme miktarı olarak tanımlanan korozyon hızı, kimyasal olaylarda kütle kaybı yöntemiyle belirlenirken; elektrokimyasal olaylarda ise Tafel ekstrapolasyon

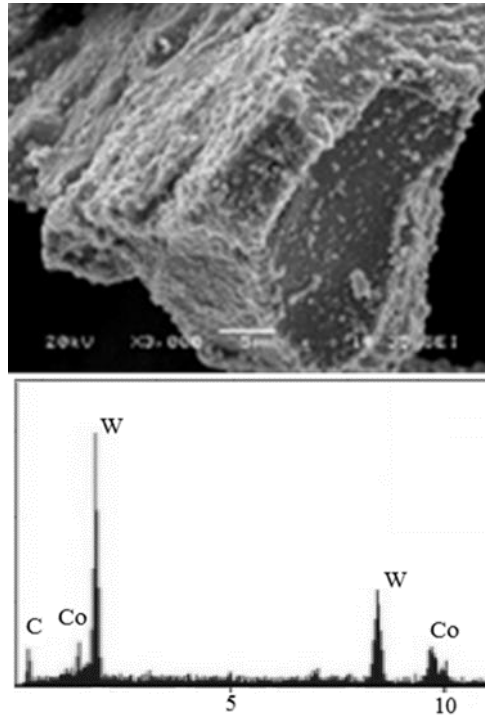
yöntemi, lineer polarizasyon yöntemi ve alternatif akım empedans ölçme ile belirlenmektedir.

Bu çalışmada, korozyon deneyleri Gamry marka bilgisayar kontrollü potansiyostat/galvanostat test cihazında oda sıcaklığında potansiyodinamik polarizasyon tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üç elektrot tekniğine yapılan deneylerde referans elektrot olarak doymuş Ag/AgCl, yardımcı elektrot olarak da grafit kullanılmıştır. Üretimi gerçekleştirilen numunelerin sadece 0,785 cm²'lik alanı korozyona uğratılmış, diğer kısımları izole edilmiştir. Korozyon solüsyonu olarak ağ.%3,5 NaCl çözelti ortamı tercih edilmiştir. Korozyon deneyleri sonrası korozyon akımı (I_{corr}), korozyon potansiyeli (E_{corr}) ve polarizasyon direnci (R_p) değerleri belirlenmiştir.

BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEMELER

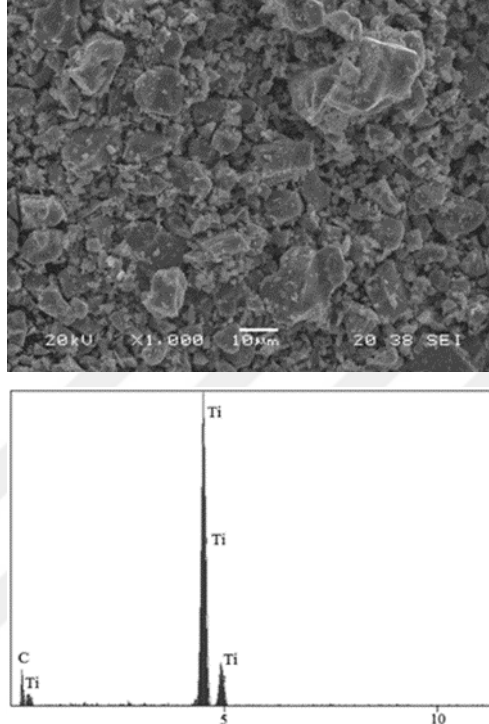
5.1. Kullanılan Tozların Özellikleri

Malzemelerin üretiminde toz metalurjisi tekniği tercih edildiğinde, elde edilen numunelerin özelliklerini ve kalitesini, genellikle başlangıç malzemesi olarak kullanılan tozların özellikleri belirlemektedir [31]. Hammadde olarak değerlendirilen tozların şekil ve boyutlarının belirlenmesi üretim süreci ve ürün kalitesi hakkında bilgi edinilmeyi sağlayacağından büyük önem arz etmektedir [32]. Bu çalışmada kullanılacak tozların morfolojilerinin belirlenmesi ve saklama koşullarına bağlı olarak yüzey alanı göz önüne alındığında kalıntı ihtiva etme ihtimali olan partiküllerin elementel içeriğinin tespit edilmesi amacıyla SEM-EDS analizleri yapılmıştır (Şekil 5.1-2).



Şekil 5.1: WC-Co tozunun SEM-EDS analizi

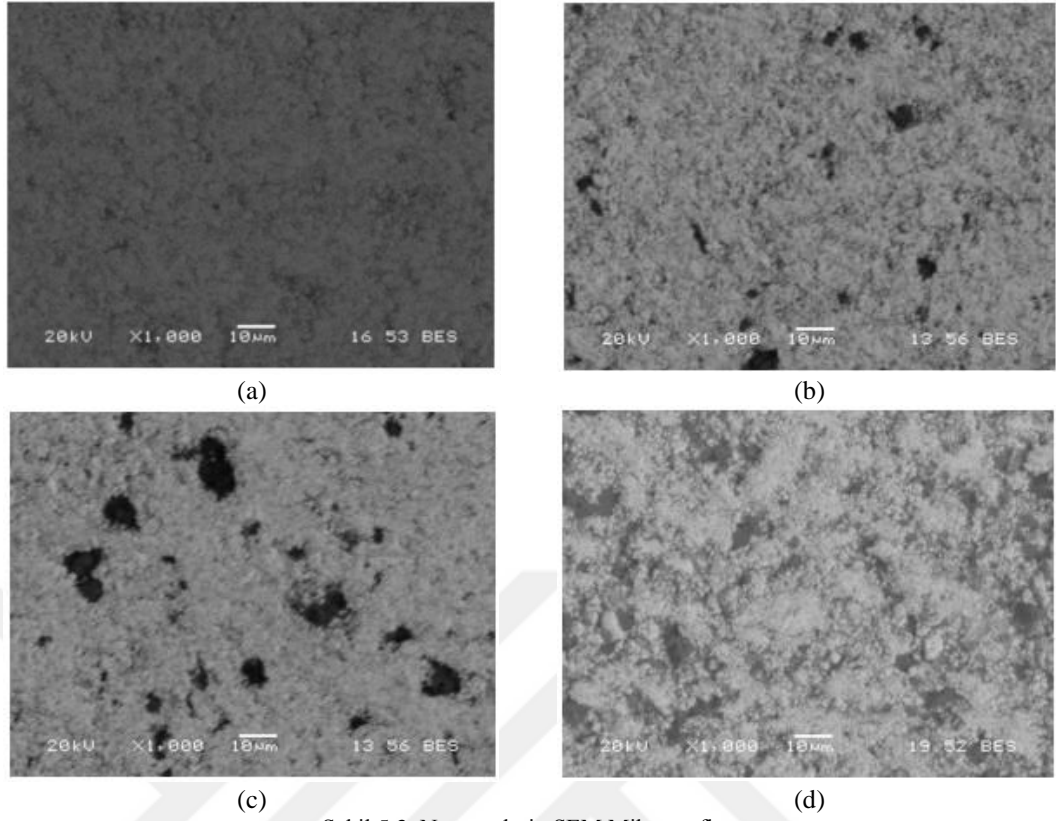
Başlangıç malzemesi olarak kullanılan tozlardan biri olan WC-Co tozu pürüzlü bir yüzeye ve düzensiz bir geometriye sahip olup, iri bir tane boyutunda ve keskin köşeli bir yapıdadır. TiC tozunun ise mekanik olarak öğütüldüğü, tane boyutu olarak geniş bir aralıkta değişim gösterdiği ve düzensiz bir morfolojide olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.2: TiC tozunun SEM-EDS analizi

5.2. Metalografik İncelemeler

Gezegensel değirmende 600 rpm hızda 25 dakika karıştırma işlemini takiben ECAS tekniği ile 600-4500A akım aralığında 6 dakika süre sonunda üretimi gerçekleştirilen WC-Co numunesinin ve %5, %7,5 ve %10 oranlarında TiC ilave edilmiş WC-Co numunelerinin SEM mikroyapı görüntüleri Şekil 5.3 (a-d)'de verilmiştir. SEM görüntülerinden WC-Co numunesinin homojen dağılıma sahip üniform bir yapıda olduğu görülmektedir. WC-Co malzemesine ilave edilen TiC partikülleri, matrise göre daha koyu renkte olup, yapıda net olarak gözlenmekte ve miktarlarının artması ile birlikte yapıdaki ikinci fazın varlığının buna paralel olarak arttığı görülmektedir. TiC ilaveli numunelerde, TiC partiküllerinin yapı içerisinde üniforma yakın olarak dağılmış olması matris ile uyumlu bir birleşme meydana getirdiğini göstermektedir.

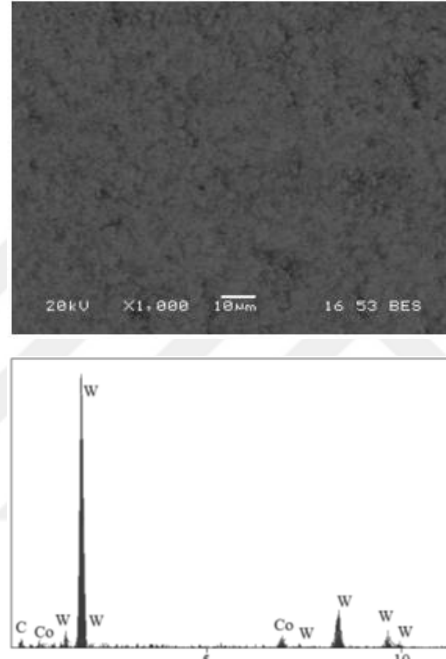


Şekil 5.3: Numunelerin SEM Mikrografları

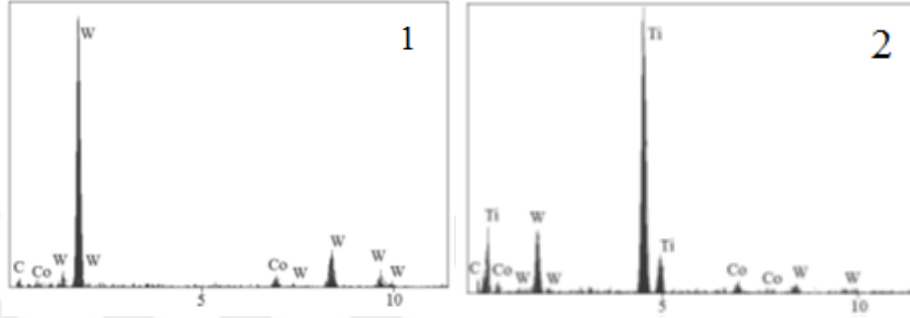
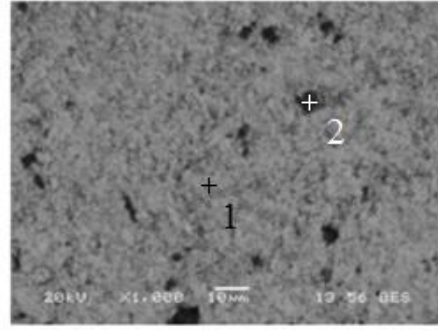
Özüdoğru ve arkadaşları [33] yaptığı çalışmada WC-Co semente karbürünü 50 MPa basınç altında şekillendirip, sıcak presleme (HP) ve spark plazma sinterleme (SPS) olmak üzere 2 farklı üretim yöntemiyle üretmişler ve özelliklerini incelemişlerdir. Elde ettikleri SEM görüntülerinden 1350°C ve 1425°C’de sıcak presleme yöntemiyle elde edilen numunelerin, çok sayıda ve büyük poroziteler içerdiği, bunun yanında Co fazının görevini yerine getiremediğini bildirmişlerdir. 1300°C ve 1375°C’de 2 dakika süreyle SPS yöntemiyle üretilen numunelerin mikroyapılarından kobaltın sıvı faza geçerek katılaştığını, WC tanelerini sardığını ve SPS yöntemi ile başarılı sonuçlar aldıklarını vurgulamışlardır. Laptev ve arkadaşları [34], WC-16Co numunesini farklı sıcaklıklarda sıcak presleme ile üretimini gerçekleştirip, mikroyapı ve yapıdaki porozite değişikliklerini incelemişlerdir. Sinterleme sıcaklığının artması ile beraber oluşan sıvı faz sayesinde, porozite boyutunda ve miktarında azalma olduğu, buna bağlı olarak yoğun bir mikroyapı elde edildiğini bildirmişlerdir. Bhaumik ve arkadaşları [35], bu çalışmaya benzer nitelikte bir çalışma olan WC-Co sistemindeki TiC ilavesinin özelliklerini incelemiştir. Sisteme ilave edilen TiC’ün mikroyapıda heterojen bir dağılım sergilediğini

belirtmişler, mikroyapısal heterojenliği ortadan kaldırmak için Ni ve Mo₂C ilave etmişlerdir.

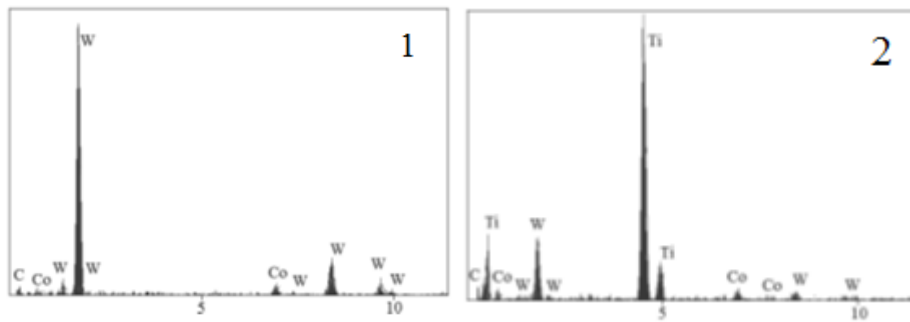
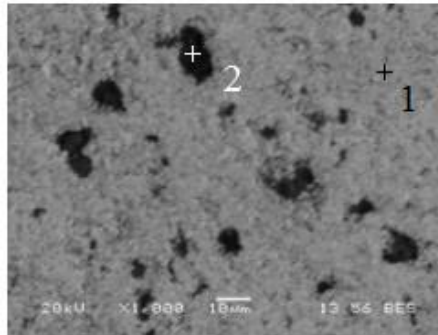
Numunelerde oluşan fazlar hakkında detaylı bilgi elde edebilmek için SEM noktasal elementel analiz incelemesi yapılmıştır. Analiz sonuçlarından katkısız WC-Co numunesinin istenen stokiometride olduğu belirlenmiştir. TiC takviyeli numunelerde ise genel olarak açık renkli kısım WC-Co bölgesini oluştururken, koyu renkli kısım TiC'ce zengin bölgeyi ifade etmektedir.



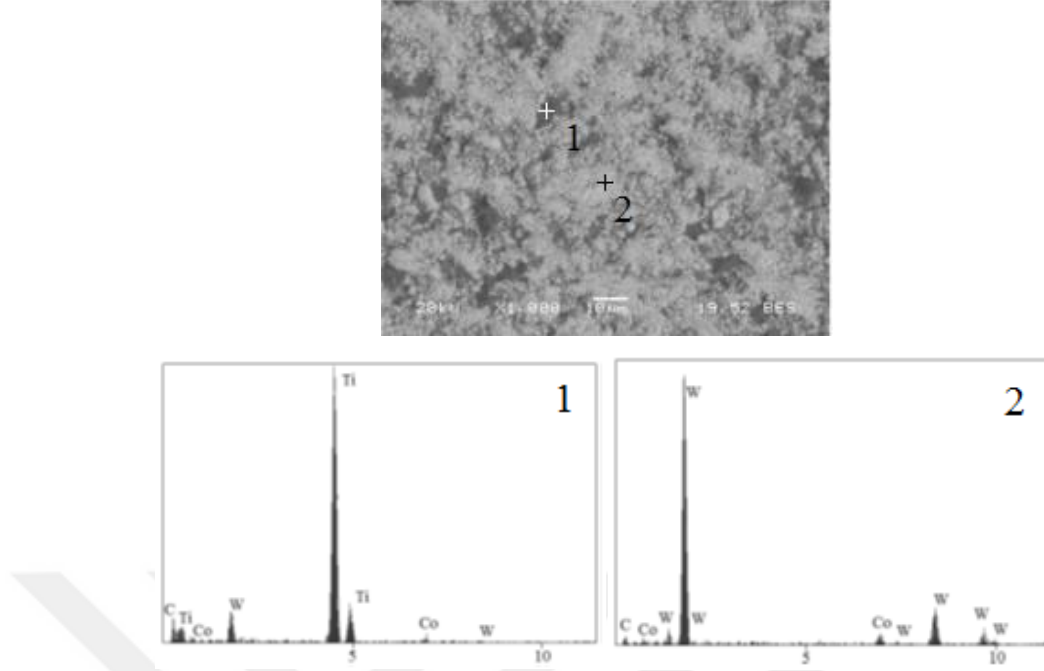
Şekil 5.4: WC-Co numunesinin noktasal EDS analizi



Şekil 5.5: WC-Co + %5TiC numunenin noktasal EDS analizi



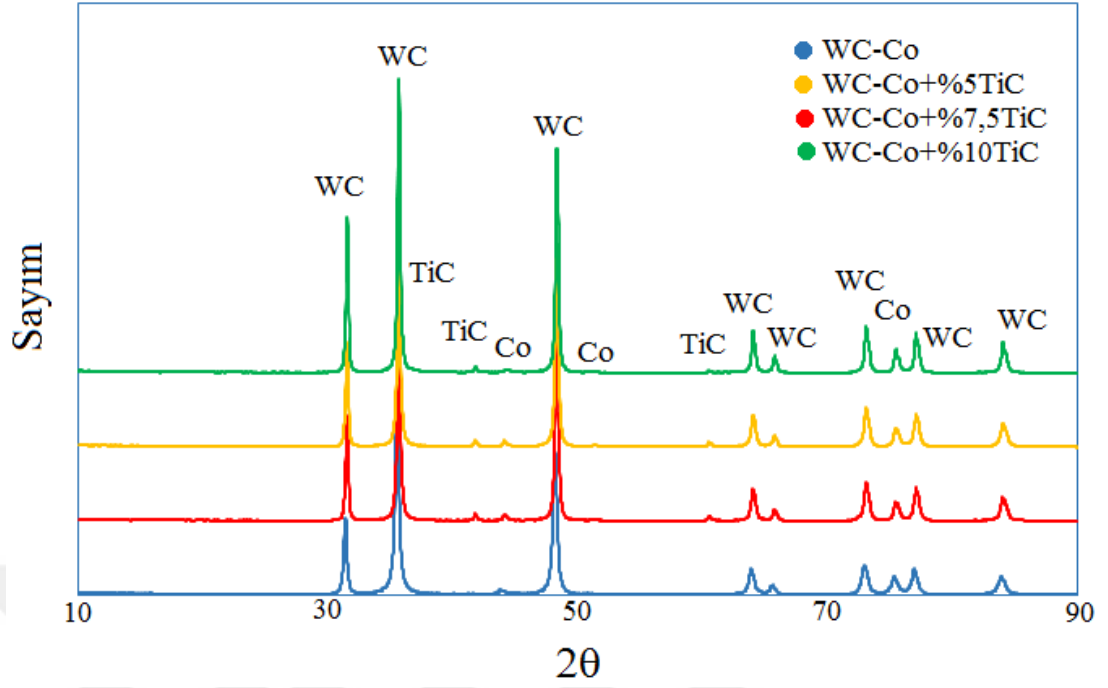
Şekil 5.6: WC-Co + %7,5TiC numunenin noktasal EDS analizi



Şekil 5.7: WC-Co + %10TiC numunenin noktasal EDS analizi

5.3. X-Işınları Difraksiyon Analizi

ECAS tekniği ile üretimi gerçekleştirilen WC-Co numunesinin ve %5, %7,5 ve %10 oranlarında TiC ilave edilmiş WC-Co numunelerinin faz yapılarını tespit etmek için x-ışınları difraksiyon analiz yöntemi kullanılmıştır. Katkısız WC-Co numunesinde WC ve Co pikleri tespit edilirken, TiC ilavesi ile TiC piki de net olarak görülmüştür. TiC miktarının artması ile beraber pik şiddetlerinde artmalar meydana gelirken, WC, TiC ve Co dışında herhangi bir faza rastlanmamıştır. Jeong-Han ve arkadaşları [36], PCAS prosesi ile üretimini gerçekleştirdikleri WC-Co ve bağlayıcısız WC malzemelerinin mekanik ve mikroyapı özelliklerine ısıtma işleminin etkisi üzerine yaptıkları çalışmada WC-10Co numunesinde WC ve Co piklerini tespit etmişlerdir. Benzer verileri Jianfeng ve arkadaşları da [37], farklı partikül boyutuna ve farklı Co içeriğine sahip bileşimlerin mikrodalga sinterlemesi ile üretimini kapsayan bir çalışmada elde ettiklerini bildirmişlerdir. Li Yajiang ve arkadaşları [38], WC-TiC-Co malzemesi üzerine yaptığı çalışmada YT758 ticari ismi ile bilinen WC-TiC-Co alaşımının XRD paternlerinden WC, TiC ve α -Co piklerini elde ettiklerini bildirmişlerdir. Yapılan bu çalışmada elde edilen XRD paternleri literatürle benzer nitelik sergilemektedir.



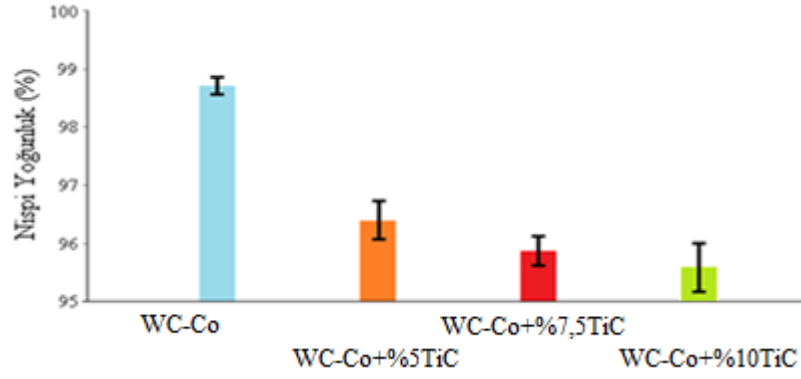
Şekil 5.8: Numunelerin XRD paternleri

5.4. Yoğunluk Ölçümleri

Numunelerin yoğunlukları suyun kaldırma kuvveti yani Archimed prensibine dayalı olarak kuru ağırlıkları ve saf suyun içinde ağırlıkları ölçülerek hesaplanmıştır. Ölçülen yoğunluklar Tablo 5.1’de verilmiştir. Üretilen numunelerin nispi yoğunluklarının %95’in üzerinde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.9). Yoğunluk incelemelerinden katkısız WC-Co numunesinin nispi yoğunluğu %98.77 olarak belirlenirken, nispi yoğunlukların TiC ilavesinin artmasıyla azaldığı ve WC-Co+%10TiC numunesinin yoğunluğunun %95.91 mertebelerinde olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 5.1: Tüm numunelerin deneysel olarak tespit edilen yoğunlukları

Malzeme	Nispi Yoğunluk %
WC-Co	98.77
WC-Co+%5TiC	96.42
WC-Co+%7,5TiC	95.91
WC-Co+%10TiC	95.33



Şekil 5.9: Üretilen numunelerin nispi yoğunlukları

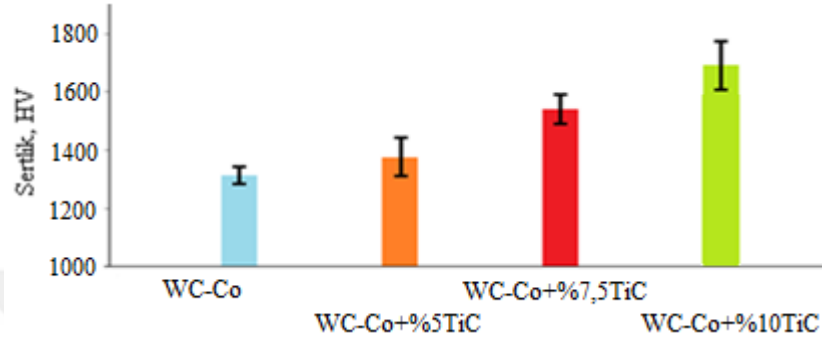
Sun ve arkadaşları [39], WC-11Co alaşımının ve bu alaşıma belirli oranlarda VC ve Cr_3C_2 ilave ederek SPS yöntemiyle üretimlerini gerçekleştirmişlerdir. Numuneler vakum altında 900 ile 1200°C sıcaklık aralığında 40 MPa basınç altında 5 dakika sürede sinterlenmiştir. Nispi yoğunlukların bileşim ve sinterleme sıcaklığına bağlı olarak %97 ile %100 aralığında değişim gösterdiğini bildirmişlerdir. Boxiang ve arkadaşları [40], WC-Co takım malzemesine VC/ Cr_3C_2 /TaC katkıları ilave ederek SPS yöntemiyle üretmişler ve 1250°C'de gerçekleştirilen sinterleme işlemi sonunda %98.8 nispi yoğunluğa ulaştıklarını bildirmişlerdir. Başka bir çalışmada Jian ve arkadaşları [41], lazer melting yöntemiyle WC-20Co numunelerinin üretimini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan bu çalışmada hammadde olarak 3D printer için hazırlanan WC-Co tozları kullanılmış ve nispi yoğunluk olarak %96 mertebelerine ulaşılmıştır. Lazer ergitme yönteminde toz metalürjisine kıyasla ergime işleminin de gerçekleştiği göz önüne alındığında benzer sonuçların elde edildiği söylenebilmektedir.

5.5. Sertlik Ölçümleri

Numunelerin mekanik özellikleri ile ilgili bilgi vermesi açısından önem teşkil eden sertlik değerleri mikrosertlik cihazında Vickers sertlik ucu kullanılarak belirlenmiştir. Numunelerin sertlik değerleri, metalografik olarak hazırlanmış numunelerden 500 gr yük altında 6 farklı ölçümün ortalaması alınarak tespit edilmiş (Tablo 5.2) ve bulunan sertlik değerleri Şekil 5.10'da verilmiştir. WC-Co numunesinin sertlik değeri 1299 Hv olarak belirlenirken, sertlik değerlerinin TiC miktarının artmasıyla paralel olarak arttığı gözlemlenmiştir.

Tablo 5.2: Üretilen numunelerin sertlik değerleri

Malzeme	Üretim Sonrası (HV0.5)
WC-Co	1299
WC-Co+%5TiC	1402
WC-Co+%7,5TiC	1581
WC-Co+%10TiC	1768

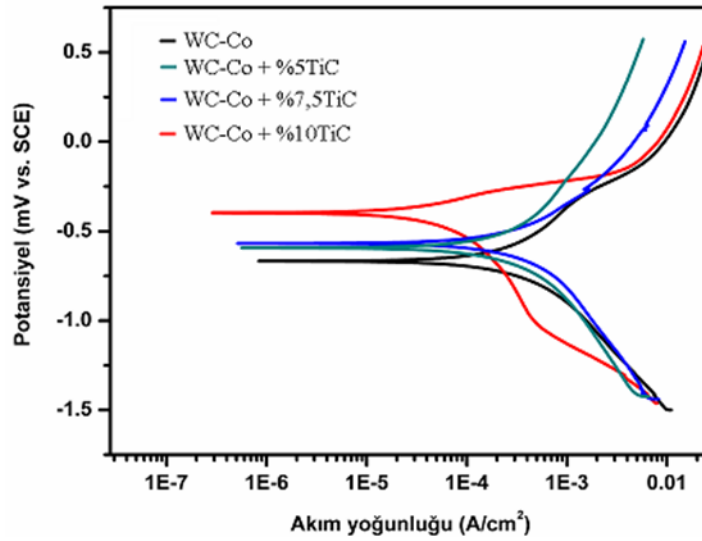


Şekil 5.10: Üretilen numunelerin sertlik değerleri

Özüdoğru ve arkadaşları [33] 50 MPa basınç altında 30 dakika süre ile sıcak presleme yöntemiyle elde edilen numuneleri için sinterleme sıcaklığı ve Co ilavesine bağlı olarak sertliğin değişimini incelemişler ve sertlik değerlerinin 900 ile 1300 Hv aralığında değişim gösterdiğini bildirmişlerdir. Dilay ve arkadaşları [42], mekanik alaşımlama yönteminin WC-%6Co sert metal sisteminin sinterleme davranışı üzerine etkisi alanında yaptığı çalışmada mekanik alaşımlama şartlarına bağlı olarak sertlik değerlerinin 1680-1770 Hv aralığında değişim gösterdiğini belirtmişlerdir. Satyanarayana ve arkadaşları [43], mikron altı boyuttaki WC-Co numunesinin sertliği üzerine yaptığı çalışmada tane boyutuna bağlı olarak sertlik değerlerinin 1617-2021 Hv aralığında değiştiğini bildirmişlerdir. Başka bir çalışmada Kyong ve arkadaşları [44], WC-TiC-Co alaşımının sıcak izostatik presle üretimini gerçekleştirmiş ve WC-TiC tane boyutunun mekanik ve mikroyapı özellikleri üzerine etkisini araştırmıştır. Katkısız WC-Co alaşımının sertliği 1400 Hv mertebelerindeyken, tane boyutu ve TiC içeriğine bağlı olarak 1500 ile 2200 Hv aralığında değişim göstermiştir. Yapılan çalışmada tespit edilen sertlik değerleri literatürde kabul gören aralıktadır.

5.6. Korozyon Özellikleri

Korozyon, malzemelerin çalışma ortamında kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyonlar neticesinde bozulup, özelliğine kaybetmesi ve işlevini yitirmesi olayıdır. Korozyon hızı, birim zamanda çözünen malzeme miktarı olarak tasvir edilmektedir. Korozyon hızı, kimyasal korozyonda kütle kaybı yöntemiyle, elektrokimyasal korozyonda ise Tafel ekstrapolasyon, lineer polarizasyon ve alternatif akım empedans ölçme yöntemleri ile tespit edilmektedir. Bu çalışmada numunelerin korozyon özellikleri, elektrokimyasal olarak Tafel bölgelerinin korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu ile belirlenmiştir. Korozyon testleri ağırlık %3.5 NaCl çözelti ortamında üç elektrot tekniği kullanılarak, -1V ve +1V aralığında 0,5 mV/sn tarama hızıyla Tafel eğrileri elde edilerek yapılmıştır. I_{corr} , E_{corr} ve korozyon hızları belirlenmiştir. WC-Co ve %5, %7,5 ve %10 TiC katkılı numunelerin korozyon potansiyelleri sırasıyla -0,724 mV, -0,501 mV, -0,609 mV ve -0,631 mV olarak ölçülmüştür. Bu potansiyele bağlı korozyon akım yoğunlukları ise Gamry cihazı kullanılarak sırasıyla 127,9 mA/cm², 54,38 mA/cm², 96,7 mA/cm² ve 109,12 mA/cm² olarak hesaplanmıştır. Tafel yaklaşımı kullanılarak elde edilen korozyon değerleri Tablo 5.3'de verilmiştir. Korozyon direncinin en iyiden en kötüye doğru sıralaması yapıldığında WC-Co+%10TiC, WC-Co+%7,5TiC, WC-Co+%5TiC ve katkısız WC-Co şeklindedir.

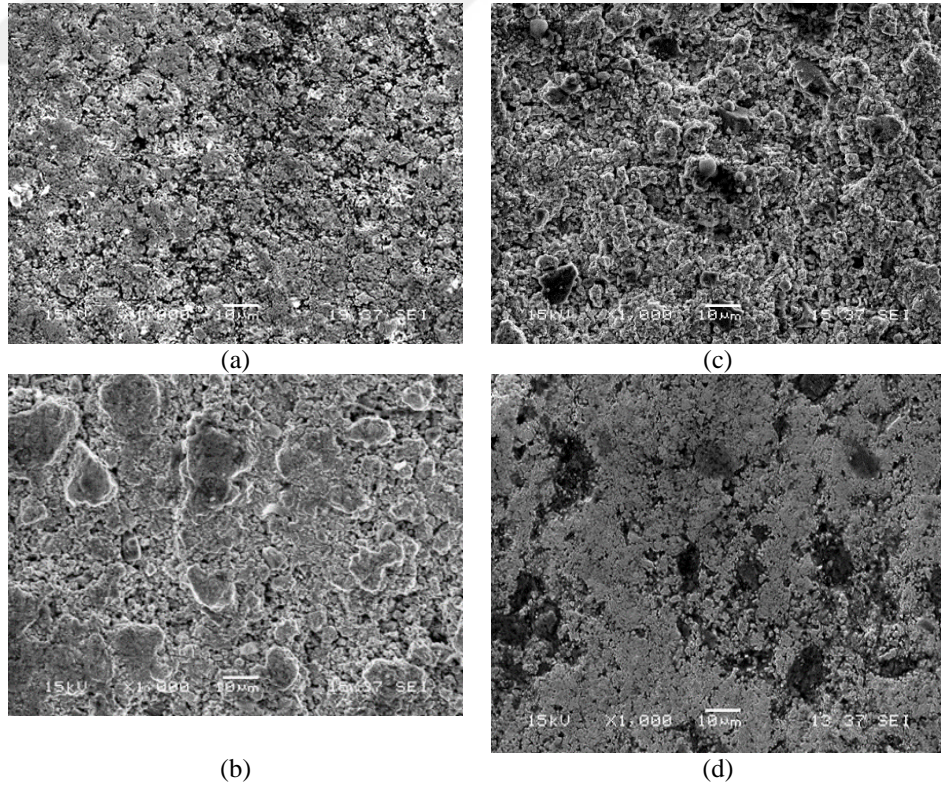


Şekil 5.11: Üretilen numunelerin ısıtılma işlem sonrası %3.5 NaCl çözeltisindeki Tafel eğrileri

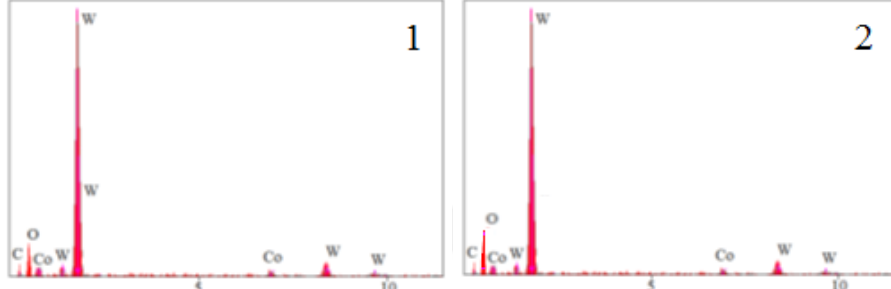
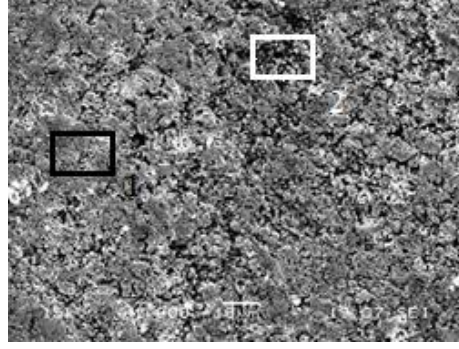
Tablo 5.3: Numunelerin %3.5 NaCl çözeltisi içindeki Tafel analiz sonuçları

Malzeme Türü	E _{corr} (mV)	I _{corr} (mA/cm ²)	Korozyon Hızı (mpy)
WC-Co	-0,724	127,9	96,25
WC-Co + %5TiC	-0,501	54,38	89,13
WC-Co + %7,5TiC	-0,609	96,7	87,64
WC-Co + %10TiC	-0,631	109,12	72,41

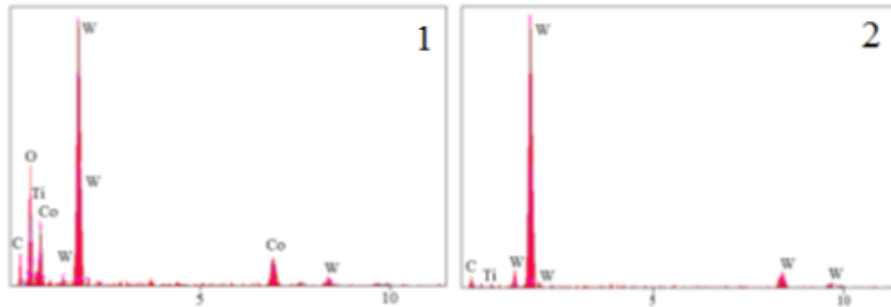
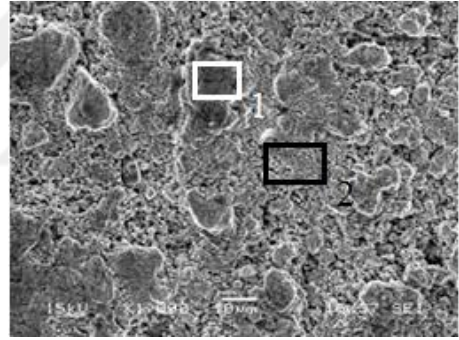
Numunelerin ağırlık %3,5 NaCl çözeltisi içerisinde gerçekleştirilen korozyon deneyleri sonrasında yüzeylerinde oluşan mikroyapı değişimleri Şekil 5.12(a-d) ve elementel analizleri SEM-EDS analiz incelemeleri ile gerçekleştirilmiş (Şekil 5.13-16). TiC katkısız WC-Co numunesinin katkılı olanlara kıyasla daha fazla korozyona uğradığı görülmüştür. TiC miktarı arttıkça numunelerin korozyondan daha az etkilendiği gözlenmiştir. Numunelerden alınan EDS analizlerinden WC-Co ve %5 TiC katkılı numunede oksijen içeriğine rastlanmıştır. Özellikle WC-Co+%5TiC numunesinde TiC partiküllerinin matris ile tam bir bağlanma içinde olmadığı düşünülmektedir. Bunun yanında %7,5 ve %10 TiC içeren numunelerde oksijen tespit edilememiştir.



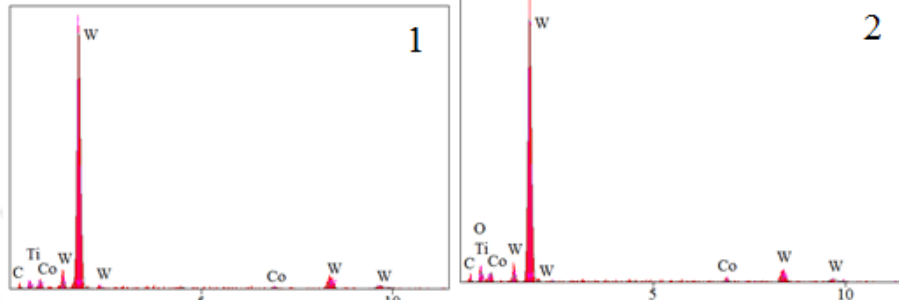
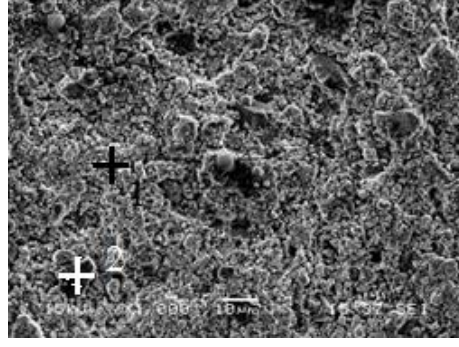
Şekil 5.12: Numunelerin ağırlık %3.5 NaCl çözeltisi içindeki SEM görüntüleri a) WC-Co, b) WC-Co + %5TiC, c) WC-Co + %7,5TiC, d) WC-Co + %10TiC



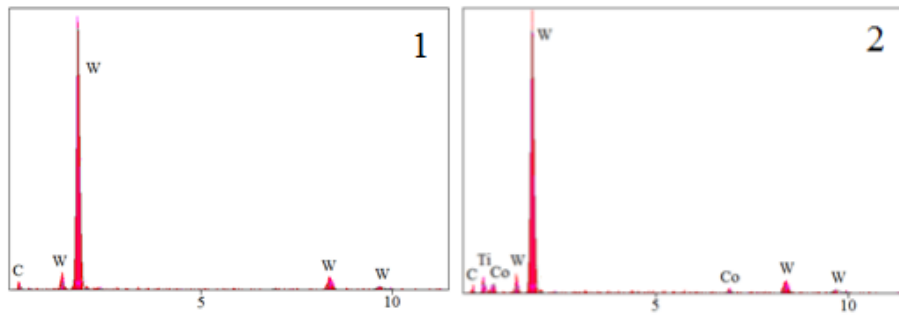
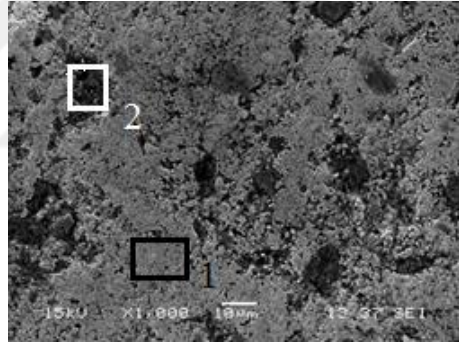
Şekil 5.13: WC-Co numunesinin elektrokimyasal korozyonu sonrası noktasal EDS analizi



Şekil 5.14: WC-Co + %5TiC numunesinin elektrokimyasal korozyonu sonrası noktasal EDS analizi



Şekil 5.15: WC-Co + %7,5TiC numunesinin elektrokimyasal korozyonu sonrası noktasal EDS analizi



Şekil 5.16: WC-Co + %10 TiC numunesinin elektrokimyasal korozyonu sonrası noktasal EDS analizi

Myalska ve arkadaşları [45], WC-17Co numunesinin yüzeyini termal sprey yöntemiyle nano boyutlu TiC tozları ile kaplayıp, TiC içeriğine bağlı olarak korozyon özelliklerini incelemiştir. Sisteme ilave edilen TiC miktarı %1, 3, 5 ve 7 oranında değişim

göstermekte, TiC içeriğinin artmasıyla korozyon direncinin arttığını ve katkısız WC-Co numunesinin ise sıralamada en düşük korozyon direnci sergilediği belirtilmiştir. Nan Lin ve arkadaşları [46], benzer bir çalışmayı alkali çözeltisi içinde gerçekleştirmişler, TiC miktarını %5, 10 ve 20 oranlarında ilave ederek korozyon davranışlarını incelemişlerdir. Elde edilen Tafel eğrilerinden TiC miktarının artması ile korozyon direncinin önemli ölçüde arttığını bildirmişlerdir. TiC içeriğine sahip alaşımların yüzeyinde TiO₂ bileşiği oluşarak alkali çözeltilere maruz kalan alanı azaltmak suretiyle korozyon işlemini önlediğini vurgulamışlardır.

Son yıllarda WC-Co özelliklerini geliştirmek için sisteme farklı oranlarda alaşım elementleri veya seramik katkıları ilave edilmektedir. Bu katkılardan biri olan TiC ilavesi hem mekanik hem de korozyon özelliklerini önemli ölçüde geliştirmektedir. Bu çalışmada incelenen yoğunluk, mikroyapı, sertlik ve korozyon deneyleri sonucunda elde edilen özellikler de bu yönde olup, literatürle benzer nitelik sergilemektedir.

BÖLÜM 6. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Genel Sonuçlar

Bu çalışmada, kobalt içeriğine bağlı olarak değişen mekanik özellikler sergileyen, 1923 yıllarından itibaren kesici takım ucu olarak kullanılan, 1970'lerden sonra yüzey sertleştirme uygulamalarında yer alan ve günümüzde korozif ortamda yüksek aşınma direncinin ön plana çıktığı uygulamalarda aday malzemeler olarak düşünülen WC-Co malzemesi, toz metalürjisine alternatif bir yaklaşım olan ECAS tekniği ile üretilmiştir. Çalışma kapsamında katkısız WC-Co ve WC-Co malzemesine %5, %7,5 ve %10 oranlarında TiC ilave edilerek TiC'ün özellikler üzerine etkisi incelenmiştir. Öncelikle kullanılacak tozların morfolojilerinin belirlenmesi ve saklama koşullarına bağlı olarak yüzey alanı göz önüne alındığında kalıntı ihtiva etme ihtimali olan partiküllerin elementel içeriğinin tespit edilmesi amacıyla SEM-EDS analizleri yapılmıştır. Özellikleri belirlenen tozların homojen karışımını sağlamak için gezegensel değirmende 1:30 toz:bilye oranında kuru ortamda 600 rpm hızda 25 dakika süre ile karıştırılmıştır. Karışımı yapılan tozlar yüksek yüzey kalitesine sahip bor nitrür ile kaplanmış kalıplar içerisine yerleştirilerek 300 MPa basınç altında şekillendirilmiştir. Ön şekillendirilen numunelerin üretimleri DC akım kullanılarak 600-4500A akım aralığında 6 dakikada ECAS tekniği ile üretilmiş, kalıplar içerisinden alınan numuneler açık atmosferde soğutulmuştur.

Elektrik akımı destekli sinterleme yöntemi kullanılarak üretimi gerçekleştirilen numunelerin karakterizasyon çalışmaları kapsamında Archimed prensibiyle yoğunlukları, mikrosertlik testleri yardımıyla sertlik değerleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile mikroyapıları, x-ışın paternleri ve kantitatif noktasal EDS analizleri ile faz yapıları ve elektro-kimyasal korozyon çalışmaları ile korozyon özellikleri belirlenmiştir.

SEM görüntülerinden WC-Co numunesinin homojen dağılıma sahip üniform bir yapıda olduğu, TiC ilaveli numunelerde TiC partiküllerinin yapı içerisinde üniforma yakın

olarak dağıldığı ve matris ile uyumlu bir birleşmede olduğu görülmüştür. XRD çalışmalarından katkısız numunede WC, Co pikleri elde edilirken, TiC ilave edilen numunelerde bu piklerin yanında TiC piki de belirlenmiştir. WC-Co, WC-Co+%5TiC, WC-Co+%7,5TiC ve WC-Co+%10TiC numunelerinin nispi yoğunlukları sırasıyla %98.77, %96.42, %95.91 ve %95.33 olarak hesaplanırken, mikrosertlik değerleri 1299 HV0.5, 1402 HV0.5, 1581 HV0.5 ve 1768 HV0.5 olarak belirlenmiştir. Ağ.%3.5 NaCl çözeltisi ile yapılan elektrokimyasal korozyon sonrası WC-Co, WC-Co+%5TiC, WC-Co+%7,5TiC ve WC-Co+%10TiC numunelerinin korozyon hızları sırasıyla 96.25 mpy, 89.13 mpy, 87.64 mpy ve 72.41 mpy olarak tespit edilmiştir. Genel olarak sonuçlar değerlendirildiğinde literatürle benzer nitelik sergilemekte, TiC ilavesinin artmasıyla sertlik değerlerinin arttığı, korozyon özelliklerinin iyileştiği ancak nispi yoğunlukların azaldığı belirlenmiştir.

BÖLÜM 7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Titanyuma %5-15 oranlarında hidroksiapatit ilavesi çalışılmıştır. Bu amaçla kompozit malzemeler geleneksel toz metalürjisi yöntemi ile üretilmiştir. Elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir;

Sinterleme sıcaklığının 800°C'den 1200°C'ye artışı ile tüm numunelerin yoğunluğu artmıştır. En yüksek yoğunluk değeri 1200°C'de sinterlenen Ti'de elde edilmiştir (%91 relatif yoğunluk). Ti'ye HA ilave edildikçe sinterlenebilme kabiliyeti azalmıştır ve porozite değerlerinde artış görülmüştür. Numunelerdeki porozite artışı, implantasyon sonrası yeni oluşan kemiklerin içe gelişimine, vücut sıvısı ve besinlerin geçişine imkan tanır. Fakat porozite artışı korozyona karşı daha hassas bir yüzey oluşturur.

Ti ve Ti-15HA numunelerinin XRD incelemelerine bakıldığında her numune için, α -Ti fazının yanında, TiO₂ fazı tespit edilmiştir. Ayrıca, 800 °C'de sinterlenen numunelerde HA ayrışmaya başlamıştır. HA fazının yanında trikalsiyum fosfat ve titanyum fosfat fazlarına rastlanmıştır. 1200 °C'de sinterlenen numuneye bakıldığında ise HA tamamen yok olmuştur. Ayrışma fazı olarak trikalsiyum fosfat ve Titanyum fosfat fazları görülmektedir. Termal analiz sonuçlarına bakıldığında literatürde olduğu gibi HA'nın 800 °C' den sonra ayrıştığını göstermektedir. Yaklaşık 1100°C'deki ekzotermik pik HA'nın β -TCP'ye dönüştüğünü bildirir. Termal analiz bulguları XRD analizi sonuçlarını doğrulamıştır. Trikalsiyum fosfat oluşumu, 1000°C ve üzeri sıcaklıklarda TixPy ve CaTiO₃ fazlarının oluşumunun habercisidir.

FESEM görüntüleri incelendiğinde Ti'un tek fazlı morfolojisinin yanı sıra Ti-15HA'nın Ti açısından zengin ve TixP fazına ait bölgenin yanı sıra Ca ve O'den oluşan trikalsiyum fosfat fazı bulunmaktadır.

Ti'nin sinterlenmiş mikroyapısı tek fazlıdır ve literatür ile uyumludur. Oluşturulan Ti-HA kompozitlerin mikroyapılarında homojen olarak HA partiküllerinin dağıldığı, fakat sinterlenmenin yeteri kadar iyi olmadığı görülmüştür.

Ti'ye HA'nın ilave edilmesiyle mekanik özellikler genel olarak azalmıştır. Buna neden olarak HA'nın ısı ve elektrik iletkenliğinin düşük olması görülebilir. Ayrıca Ti ve HA'nın termal genleşme farklılıkları da mekanik özellikleri düşürmesinin nedenlerindedir.

Korozyon analizine bakıldığında Ti'a HA ilave edildiğinde parçanın korozyona uğrama oranı artmaktadır. HA ilavesi porozite artışına neden olması yüzey alanını arttırdığı için korozyon direncinin düşmesine yol açar.

Ti ve Ti-15HA numuneleri için yapılan temas açısı testine göre; Ti'ye HA ilavesi ile yüzey hidrofobik özellikten, hidrofilik özelliğe değişmiştir. Bu değişim protein ve osteoblast hücreleri adhezyonu ve gelişimi için olumludur.

7.2. Öneriler

Sonraki yapılacak Ti-HA kompoziti çalışmalarında vücut ortamındaki davranışını yorumlamak için SBF ortamında bekletme, hücre testi, antibakteriyel test vb. testler önerilebilir. Ayrıca mekanik özelliklerin incelenmesi yapılacak aşınma testi ile genişletilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Prof. Williams, J. AM FAA FTSE, The science and technology of composite materials, Research School of Physics and Engineering, The Australian National University, Austrilian Academy of Science, 2011.
- [2] Dr. Öğretim Üyesi Kaya, A.İ., Turkchem, Kimya Sanayi Haber Portalı, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, 2008.
- [3] Şahin, Y., Kompozit Malzemelere Giriş. Seçkin Yayınevi, 2015.
- [4] Qu, J, The effect of slightly weakened interfaces on the overall elastic properties of composite materials Mechanics of Materials, 1993.
- [5] ÖZSARI A. R. B., Basınçlı İnfiltrasyon Yöntemi İle Üretilen AA2024 Ve AA6061 Matrisli, B4C Ve SiC Takviyeli Kompozitlerin Üretimi İçyapı, Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uşak Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018.
- [6] Prof. Dr. Zor, M., Kompozit Malzemelerle İlgili Genel Bilgiler Ders Notu. Dokuz Eylül Üniversitesi. 2009.
- [7] ORRU. R., LİCHERİ. R., LOCCİ A.M., CİNCOTTİ. A., CAO. G., Consolidation/Synthesis of Materials By Electric Current Activated/Assisted Sintering. Materials Science and Engineering R63., pp. 127-287., 2009.
- [8] Rosato, D. V., Designing with reinforced composites: Hanser Gardner Publications, 1997.
- [9] www.muhendisbeyinler.net, Erişim Tarihi: 06.08.2018.
- [10] www.bilgiustam.net, Erişim Tarihi: 03.08.2018.
- [11] Doç. Dr. Evcin, A., Polimer Malzemeler Ders notu, Afyon Kocatepe Üniversitesi, 2017.
- [12] www.insaatim.com, Erişim Tarihi: 01.07.2018.
- [13] Prof. Dr. Akdoğan Eker, A., Plastik matrisli kompozitler, 2008.

- [14] www.kompozithayalleri.com, Erişim Tarihi: 10.08.2018.
- [15] <https://www.besoglu.com/blog/cam-elyaf/>, Erişim Tarihi: 12.06.2018.
- [16] www.analitikcevre.com, Erişim Tarihi: 21.07.2018.
- [17] www.competenza.com, Erişim Tarihi: 19.07.2018.
- [18] www.mta.gov.tr, Erişim Tarihi: 11.08.2018.
- [19] Ar. Gör. Yük. Müh. Yaman, N., Prof. Dr. Öktem, T., Prof. Dr. Seventekin, N., Karbon liflerinin özellikleri ve kullanım olanakları, Ege Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği, 2007.
- [20] <http://uskudar.biz/malzeme-bilgisi/bor-elyaf%C4%B1.html>, Erişim Tarihi: 11.08.2018.
- [21] Gay, D., Hoa, S.V., Tsai S.W., Composite Materials Design and Applications, Paris, 2003.
- [22] Behzat Y., Polimer Matrisli Kompozitlerin Üretimi Ders Notları, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi Mühendisliği Anabilim Dalı, 2017.
- [23] Yıldızhan H., Polimer matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi Makine Anabilim dalı, 2008.
- [24] Mazumdar, S.K., Composites Manufacturing, Materials, Product, and Process Engineering, New York, 2002.
- [25] Prof. Dr. Ayşegül D.E., Metal Matrisli Kompozit Malzemeler ve Üretim Yöntemleri Ders Notları. 2017.
- [26] Doç. Dr. Onat, A., Makine ve metal teknolojileri bölümü, Metalurji programı, Kompozit malzemeler ders notu, Sakarya Üniversitesi, Sakarya MYO, 2015.
- [27] Zhang, S., Titanium Carbonitride-based Cermets: Processes and Properties. Materials Science and Engineering A, Vol.163, pp.141-148. 1993.
- [28] Can, A., AISI 5140 Çeliğinin Sermet PVD ile TiAlN – CVD ile TiN Kaplanmış Kesici Uçlarla Tornalanmasında Kesme Değişkenleri, Kaplama Cinsi ve Takım Aşınmasının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Deneysel İncelenmesi, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2003.

- [29] Özer, A., Tür Y.K., Tetragonal Zirkonya Katkılı Cr₃C₂-NiCr Sermet Kompozitlerin Karakterizasyonu ve Mekanik Özellikleri, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2013
- [30] GRASSO S., SAKKA Y., MAIZZA G., Electric Current Activated/Assisted Sintering (ECAS): a review of patents 1906-2008. *Sci. Technol. Adv. Mater.* 10, pp. 1-24, 2009.
- [31] GERMAN, R.M., RABIN, B.H., Enhanced sintering through second phase additions. *Powder Metallurgy* 28. pp.7-12, 1985.
- [32] HARDY, C., The fundamentals necessary to apply powder metallurgy. ASTM International. pp. 1-10. 1943.
- [33] ÖZÜDOĞRU R. E., WC-Co Sement Karbürlerin Üretimi Ve Karakterizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. 2008.
- [34] Laptev, A. V., Ponomarev, S. S. and Ochkas, L. F., Structural Features and Properties of Alloy 84% WC – 16% Co, obtained by Hot Pressing in the solid and Liquid Phases I: *Effect of the Temperature at Which the Specimens are Prepared on their Density and Structure*, *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 39, 11-12, 607-617. 2000.
- [35] Bhaumik, S. K., Upadhyaya, G. S. and Vaidya, M. L., *Properties and microstructure of WC-TiC-Co and WC-TiC-Mo₂C-Co(Ni) Cemented Carbides*, *Materials Science and Technology*, 7, 723-728. 1991.
- [36] Jeong-Han L., Ik-Hyun O., Jun-Ho J., Sung-Kil H., Hyun-Kuk P., Mechanical properties and microstructural evolution of WC-binderless and WC-Co hard materials by the heat treatment process. *Journal of Alloys and Compounds* 786, pp.1-10. 2019.
- [37] Jianfeng L., Jigui C., Pengqi C., Wenchao C., Chenlong W., Fabrication of WC-Co cemented carbides with gradient distribution of WC grain size and Co composition by lamination pressing and microwave sintering. *Ceramics International*, Vol.44, pp. 11225-11232. 2018.
- [38] Li Yajiang, Zou Zengda, Holly Xiao, Wang Juan, *Microstructure and XRD analysis in the brazing zone of a new WC-TiC-Co hard alloy*. *Materials Research Bulletin*, Vol. 37, pp.941-948. 2002.
- [39] SUN L., LIN C., JIA C., JIA X., XIAN M., *Change in relative density of WC-Co cemented carbides in spark plasma sintering process*. *Rare Metals*, Vol 27, pp. 74-77. 2008.

- [40] Boxiang W., Zhenhua W., Zengbin Y., Juntang Y., Jiheng J., *Preparation and properties of the VC/Cr₃C₂/TaC doped ultrafine WC-Co tool material by spark plasma sintering*. Journal of Alloys and Compounds, Article In Press, 2019.
- [41] Jian C., Miaojun H., Zak Z., Mark K., Wei L., Xin D., Zhe Z., Shaohua C., Shanghua W., Jianye L., Wenjun Q., Zhongping W., *Microstructure analysis of high density WC-Co composite prepared by one step selective laser melting*. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, Vol.84, 2019.
- [42] Dilay PEŞTRELİ, *Mekanik Alaşım Yönteminin WC-Co SERT Metal Sisteminin Sinterleme Davranışı Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.
- [43] Satyanarayana V. E., Chuanlong W., anga Leon L.S., Zheng C., *On the hardness of submicrometer-sized WC-Co materials*. Materials Science and Engineering A, Vol.628, pp.98-103. 2015.
- [44] Kyong H. L., Seung I. C., Byung K. K., Soon H. H., *Effect of WC/TiC grain size ratio on microstructure and mechanical properties of WC-TiC-Co cemented carbides*. International Journal of Refractory Metals & Hard Materials 24, Vol. 109–114. 2006.
- [45] Myalska H., Michalska J.K., Moskal G., Szymański K., *Effect of nano-sized TiC powder on microstructure and the corrosion resistance of WC-Co thermal spray coatings*. Surface & Coatings Technology 318, pp.270–278. 2017.
- [46] Nan L., Yuehui H., Chonghu W., Shaofeng L., Xiaohua X., Yao J., *Influence of TiC additions on the corrosion behaviour of WC-Co hardmetals in alkaline solution*. Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials 46, pp.52–57. 2014.

ÖZGEÇMİŞ

Caner KOCABAŞ, 08.09.1990 yılında Sakarya'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı. 2008 yılında Sakarya Fatih Anadolu Teknik Lisesinden mezun oldu. 2009 yılında Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi bölümüne girdi ve 2012 yılında mezun oldu. 2013 yılında Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. 2014 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümü mühendislik tamamlama programını 2015 yılında tamamlamıştır. 2018 yılında girmiş olduğu Vespro Mühendislik Mimarlık Danışmanlık Sanayi Ve Ticaret A.Ş. firmasında planlama ve koordinasyon biriminde görev yapmaktadır.