



T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GRAFEN KAPLI SİLİSYUM KARBÜR SERAMİKLERİN MEKANİK VE
BALİSTİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ALİŞAN ARASLI

Şubat 2022

T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GRAFEN KAPLI SİLİSYUM KARBÜR SERAMİKLERİN MEKANİK VE
BALİSTİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ALİŞAN ARASLI

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Doç. Dr. Serkan TOROS

Şubat 2022

Alişan ARASLI tarafından **Doç. Dr. Serkan TOROS** danışmanlığında hazırlanan “**Grafen Kaplı Silisyum Karbür Seramiklerin Mekanik ve Balistik Özelliklerinin İncelenmesi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği** Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Yusuf CÜNEDİOĞLU, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi,

Üye : Doç. Dr. Serkan TOROS, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi,

Üye : Doç. Dr. Murat DİLMEÇ, Necmettin Erbakan Üniversitesi

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/....../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/....../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

Prof. Dr. Murat GÖKÇEK

MÜDÜR V.

TEZ BİLDİRİMİ

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

Alişan ARASLI



ÖZET

GRAFEN KAPLI SİLİSYUM KARBÜR SERAMİKLERİN MEKANİK VE BALİSTİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ARASLI, Alişan

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman

: Doç. Dr. Serkan TOROS

Şubat 2022, 87 sayfa

Savunma Sanayi, balistik koruma ile balistik mühimmat üreticilerin birlerini geliştirerek olumlu rekabet ettikleri bir imalat sektörüdür. Balistik koruma sektöründe en önemli parametreler ağırlık ve balistik dayanımdır. Bu sebeple bu sektörde minimum ağırlıkta maksimum dayanım sağlayacak çözümler veya mevcut ağırlıktaki çözümlerin dayanımını artıracak fikirler üretilmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmada SiC balistik seramiğin ve balistik zırh panelinin yüzeylerine Grafen kaplanmış (transfer edilmiş), grafenin SiC seramiğin mekanik ve balistik özelliklerini etkileyip etkilemediği incelenmiştir. Yapılan üretim ve test çalışmaları sonucunda, grafenin SiC seramiğin mekanik ve balistik özellikleri olumlu etkilediği; sertlik, 3 nokta eğme ve balistik testler ile kanıtlanmıştır. SiC seramik yüzeyindeki grafenin katman sayısı ve grafenin, seramiğin tek veya çift yüzeyine transfer edilmesi gibi farklı parametrelerin silisyum karbür seramiğin mekanik özellikleri arasındaki ilişki irdelenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Silisyum karbür (SiC), toz metalürjisi, seramik, grafen, balistik

SUMMARY

INVESTIGATION OF MECHANICAL AND BALLISTIC PROPERTIES OF GRAPHEN COATED SILICON CARBIDE CERAMICS

ARASLI, Alişan

Niğde Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Serkan TOROS

February 2022, 87 pages

Defense Industry is a manufacturing sector in which ballistic protection and ballistic ammunition manufacturers compete positively by developing one. The most important parameters in the ballistic protection sector are weight and ballistic strength. For this reason, in this sector, solutions that will provide maximum strength at minimum weight or ideas that will increase the strength of existing weight solutions are tried to be produced. In this study, graphene coated (transferred) on the surfaces of SiC ballistic ceramic and ballistic armor panel, it was investigated whether graphene affects the mechanical and ballistic properties of SiC ceramic. As a result of the production and test studies, it was determined that graphene positively affected the mechanical and ballistic properties of SiC ceramic; It has been proven by hardness, 3-point bending and ballistic tests. The relationship between the mechanical properties of silicon carbide ceramics of different parameters such as the number of layers of graphene on the SiC ceramic surface and the transfer of graphene to the single or double surface of the ceramic has been examined.

Key words: Silicon carbide (SiC), powder metallurgy, ceramic, graphene, ballistic

ÖN SÖZ

Bu yüksek lisans çalışmamda, savunma sanayide personel ve araç (kara, deniz ve hava) koruma ürünlerinde (zırhlarında) yaygın olarak kullanılan Silisyum Karbür (SiC) balistik seramiğin, son yılların en gözde malzemelerden olan grafen ile etkileşimi incelenerek, savunma sanayi de kullanımı yorumlanmıştır. Benzer bir çalışmanın literatürde olmaması ve ülkemizde önemi ve üzerlerinde araştırması her geçen gün artan Silisyum Karbür seramiklerin ve grafenin aynı çalışmada birleştirilmesi bu çalışmayı daha katma değerli hale getirmektedir. Yapılan bu çalışma benzer konularda yapılacak araştırmalara ve araştırmacılara ışık tutacak ve ilk referans olacaktır.

Yüksek lisans tez çalışmamın yürütülmesi esnasında, çalışmalarına ışık tutan, bana yol gösteren, bilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bana her türlü desteği sağlayan danışman hocam, Sayın Doç. Dr. Serkan TOROS'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin başlangıcından tamamlanmasına kadar her konuda bana destek olan kıymetli dostum Meltem MUHSUROĞLU'na müteşekkirim. Silisyum Karbür seramiklerin analizlerinde desteğini esirgemeyen çalışma arkadaşım Emine YUMŞAK'a, Silisyum Karbür zırhların balistik testlerinin gerçekleşmesinde emek harcayan Uğur Fırat SOYLU ve Hakan UMUTLU'ya, grafenin sentez ve transfer sürecinde yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. Recep ZAN'a ve arkadaşım Ali ALTUNTEPE'ye teşekkür ederim.

Tezimi, tüm hayatım boyunca maddi ve manevi olarak yanımda olan aileme ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖN SÖZ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xiii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM I GİRİŞ	1
BÖLÜM II LİTERATÜR	3
2.1 Toz Metalürjisi	3
2.1.1 Toz metalürjisinin avantajları ve dezavantajları	3
2.2 Toz Metalürjisi İmalat Prosesleri	4
2.2.1 Toz üretimi	5
2.2.2 Presleme	6
2.2.3 Sinterleme	10
2.2.3.1 Katı hal sinterlemesi	12
2.2.3.2 Sıvı hal sinterlemesi	13
2.2.3.3 Geçici faz sinterleme	15
2.3 Toz Metalürjisinin Kullanım Alanları ve Üretilen Ürünler	15
2.3.1 Toz metalürjisinin savunma sanayide kullanımı	17
2.3.2 Savunma sanayinde kullanılan seramikler	18
2.3.2.1 Alümina (Al_2O_3)	18
2.3.2.2 Bor karbür (B_4C)	19
2.3.2.3 Silisyum karbür (SiC)	20
2.3.3 Balistik seramiklerin kullanım alanları	22
2.4 Balistik	22
2.4.1 Balistik türleri	23
2.4.2 Mühimmatlar	23
2.4.3 Balistik Test	24
2.4.4 Balistik test standartları ve koruma seviyeleri	25

2.5 Grafen.....	31
BÖLÜM III MATERYAL VE METOT.....	32
3.1 Üretim Parametrelerinin Tespiti ve Toz Metalürjisi İle Üretim	32
3.1.1 Silisyum karbür toz yarı mamulün üretilmesi.....	32
3.1.2 Presleme.....	34
3.1.3 Sinterleme	35
3.1.4 Yüzey temizleme.....	36
3.1.5 Silisyum karbür çubukların kullanımı.....	37
3.2 Grafen Üretimi ve Kaplamasının Yapılması.....	37
3.2.1 Grafenin sentezlenmesi	37
3.2.2 Grafen kaplamasının (transferinin) gerçekleşmesi	39
3.3 Laboratuvar Testleri ve Ölçümler.....	43
3.3.3 Silisyum karbür toz üretimi esnasındaki ölçümler ve analizler	43
3.3.4 Preslenmiş ürünlerin, boyutsal ölçümlerinin yapılması	46
3.3.5 Sinterlenmiş ürünlerin boyutsal ve ağırlık ölçümleri.....	46
3.3.6 Yüzeyi temizlenmiş seramik ürünlerin havada ve suda ağırlığının alınması ve yoğunluk hesabının yapılması	46
3.3.7 SiC seramiklerin mikro yapı analizlerinin yapılması.....	47
3.3.8 SiC seramik ile grafen kaplı sic seramik ürünlerin mekanik özelliklerinin tespit edilmesi	48
3.3.8.1 Sertlik testi.....	48
3.3.8.2 3 nokta basma testi.....	49
3.4 Balistik Test Gerçekleştirme.....	50
BÖLÜM IV BULGULAR.....	56
4.1 Üretimin ve testlerin yapılması.....	56
4.1.1 Silisyum karbür seramik tozun üretilmesi	56
4.1.2 Silisyum karbür seramik tozun preslenmesi	58
4.1.3 Silisyum karbür seramiklerin sinterlenmesi ve yüzey temizleme.....	62
4.1.4 Sertlik ve 3 nokta eğme testleri	69
4.1.4.1 Sertlik testi sonuçları.....	69
4.1.4.2 3 Nokta eğme testi sonuçları.....	72
4.1.5 Balistik test sonuçları	73
BÖLÜM V SONUÇLAR	76
KAYNAKLAR	79

EKLER.....	85
ÖZ GEÇMİŞ	87



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. %85,0-99,7 saflıkta alüminaların fiziksel ve mekanik özellikleri	19
Çizelge 2.2. Bor karbürün mekanik özellikleri	20
Çizelge 2.3. Silisyum karbür seramiğin tipik özellikler	21
Çizelge 2.4. Balistik test standartları	27
Çizelge 2.5. NIJ 0101.04 balistik seviyeler	28
Çizelge 2.6. TS EN 1522 balistik seviyeler	29
Çizelge 2.7. NIJ 0101.06 balistik seviyeler	29
Çizelge 2.8. Vpam balistik seviyeler	30
Çizelge 3.1. SiC çubuk grafen transfer detayı	42
Çizelge 3.2. Balistik test yapılacak zırh panellerinin özellikleri	50
Çizelge 3.3. Namlu özellikleri	52
Çizelge 3.4. Kullanılan mühimmat özellikleri	53
Çizelge 3.5. Çelik top düşürme mekanizma özellikleri	54
Çizelge 4.1. Kurutulmamış SiC tozlarının nem değeri ölçümleri	56
Çizelge 4.2. Paketlenmiş SiC tozların nem değerleri	57
Çizelge 4.3. Presleme sonrası boyutsal ölçümler	59
Çizelge 4.4. Sinter sonrası boyutsal ölçümler	62
Çizelge 4.5. SiC çubukların sinter sonrası ağırlıkları ve yoğunlukları	65
Çizelge 4.6. Grafen kaplamasız SiC çubukların sertlik değerleri	70
Çizelge 4.7. Tek yüzey tek kat kaplama SiC çubukların sertlik değerleri	71
Çizelge 4.8. Çift yüzey tek kat kaplama SiC çubukların sertlik değerleri	71
Çizelge 4.9. Yarı tek yüzey tek kat kaplama SiC çubukların sertlik değerleri	71
Çizelge 4.10. Yarı tek yüzey çift kat kaplama SiC çubukların sertlik değerleri	72
Çizelge 4.11. Grafen kaplamasız SiC çubukların 3 nokta eğme sonuçları	72
Çizelge 4.12. Tek yüzey tek kat kaplama SiC çubukların 3 nokta eğme sonuçları	73
Çizelge 4.13. Çift yüzey tek kat kaplama SiC çubukların 3 nokta eğme sonuçları	73
Çizelge 4.14. Balistik test sonrası ortam koşulları	74
Çizelge 4.15. Top düşürme testi sonuçları	75
Çizelge 4.16. Balistik atış mühimmat hızları	75
Çizelge 4.17. Roma plastilina kili üzerindeki penetrasyon miktarları	75

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Toz metalurjisi imalat aşamaları.....	5
Şekil 2.2. Toz üretiminde kullanılan makine tipleri	6
Şekil 2.3. Toz presleme aşamaları	7
Şekil 2.4. Tek yönlü preslenmiş bir iş parçasının yoğunluk dağılımı.....	8
Şekil 2.5. TM’de basınç ilişkisi	8
Şekil 2.6. Basınç ile paketlenme davranışı arasındaki ilişki.....	9
Şekil 2.7. Basınç ile paketlenme davranışı arasındaki ilişki.....	9
Şekil 2.8. Vakum sinter fırını.....	10
Şekil 2.9. Sinterlemede taneler arasında meydana gelen büzülme	11
Şekil 2.10. Sinterlemede taneler arasında meydana gelen büzülme	12
Şekil 2.11. Katı hal sinterlemesinde meydana gelen değişimler	12
Şekil 2.12. Katı hal sinter şematik görüntüsü	13
Şekil 2.13. Klasik sıvı faz sinterlemesinin kademelerine ait şematik diyagram.....	14
Şekil 2.14. Sıvı-Faz sinter şematik görüntüsü	15
Şekil 2.15. Sektörel bazda toz metalürjisinin yaygınlığı	16
Şekil 2.16. Toz metalürjisi yöntemi ile üretilmiş ürünler	17
Şekil 2.17. Çeşitli geometrilerde bor karbür seramikler	20
Şekil 2.18. Mühimmatlar	24
Şekil 3.1. Toz üretimi prosesleri	32
Şekil 3.2. Toz tartım cihazı	33
Şekil 3.3. Preslenmiş silisyum karbür çubuk	35
Şekil 3.4. Sinter fırın parametre grafiği	36
Şekil 3.5. Kumlama sistemi	36
Şekil 3.6. Yüzeyi temizlenmiş ve temizlenmemiş seramik çubuklar	37
Şekil 3.7. Grafen sentez süreci.....	38
Şekil 3.8. Grafen transfer aşamaları.....	40
Şekil 3.9. Balistik panel grafen transferi.....	40
Şekil 3.10. Nem ölçüm cihazı	43
Şekil 3.11. Nem ölçüm cihazı kullanımı.....	44
Şekil 3.12. Parçacık boyut analizi (PSD).....	44

Şekil 3.13. SiC parçacık boyut analizi (PSD).....	45
Şekil 3.14. XRD cihazı	45
Şekil 3.15. Silisyum karbür çubuğun ölçümlendiği bölgeler.....	46
Şekil 3.16. Havada ve suda ağırlık ölçüm mekanizması	47
Şekil 3.17. Kesme, zımparalama ve parlatma cihazları	47
Şekil 3.18. Bakalit cihazı ve bakalite alınmış silisyum karbür	48
Şekil 3.19. Optik mikroskop	48
Şekil 3.20. Sertlik ölçümü yapılan yüzey noktaları	49
Şekil 3.21. Vickers sertlik ölçümünün yapılması	49
Şekil 3.22. 3 Nokta basma test düzeneği	50
Şekil 3.23. Balistik test düzeneği.....	52
Şekil 4.1. Tane boyut ölçümü	57
Şekil 4.2. XRD analizi	58
Şekil 4.3. SiC çubuğun ölçüm alınan bölgeleri	58
Şekil 4.4. Silisyum karbür çubuğun mikro yapı görüntüsü	68
Şekil 4.5. Tane büyüklüğü analizi	69
Şekil 4.6. 3 noktadan sertlik ölçümü.....	70
Şekil 4.7. Balistik testi yapılmış zırh panelinin atış ve arka yüzeyleri	74
Şekil 4.8. Balistik test anı görüntüleri.....	74

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 2.1. Altıgen alümina seramik	18
Fotoğraf 2.2. Altıgen silisyum karbür seramik	21
Fotoğraf 2.3. Araç zırhlamada kullanılan balistik panel	22
Fotoğraf 2.4. Mühimmat ateşleme mekanizması	25
Fotoğraf 2.5. Balistik test yapılan panel	25
Fotoğraf 3.1. Basıma hazır silisyum karbür toz yarımamül	33
Fotoğraf 3.2. Toz pres makinesi	34
Fotoğraf 3.3. Kalıp ayırıcı	34
Fotoğraf 3.4. Silisyum karbür sinter fırını	35
Fotoğraf 3.5. Grafenin sentezlenmesi için kullanılan CVD sistemi	38
Fotoğraf 3.6. Grafen transferi gerçekleşmiş zırh paneli	41
Fotoğraf 3.7. Tek yüzey tek kat grafen transferi gerçekleşmiş SiC çubuk	42
Fotoğraf 3.8. Balistik test numuneleri	51
Fotoğraf 3.9. Atış için hazırlanan namlu	52
Fotoğraf 3.10. Mühimmatın hazırlanması	53
Fotoğraf 3.11. Top düşürme testinden sonra oluşan oyuk	54
Fotoğraf 3.12. Balistik teste hazır zırh paneli ve roma kili	55
Fotoğraf 4.1. Roma plastilina kili penetrasyon değerlerinin ölçümü	75

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
SiC	Silisyum karbür
Al ₂ O ₃	Alümina
B ₄ C	Bor karbür
(NH ₄) ₂ S ₂ O ₈	Amonyum permanganat
FeCl ₃	Demir klorür
D	Çap
ρ	Yoğunluk
g/cc	Gram/santimetreküp
CH ₄	Metan
H ₂	Hidrojen gazı
µm	Mikrometre

Kısaltmalar	Açıklama
PP	Bölgesel Deformasyon
CP	Komple Deformasyon
CVD	Kimyasal Buhar Biriktirme
TM	Toz Metalürjisi
XRD	X-Işını Kırınımı
PSD	Parçacık Boyut Analizi

BÖLÜM I

GİRİŞ

Dünya’da ve ülkemizde çok kritik bir öneme sahip Savunma Sanayi, en çok yatırım alan ve hızlı gelişen sektörlerin başında gelmektedir. Savunma sanayi diğer sektörlerin aksine daha dinamik gelişen ve gelişmekte olan bir sektördür. Bunun başlıca nedeni, savunma sanayinin temel ve birbirine çok zıt iki kolunun olmasıdır. Bunlar; Koruyucu sistemleri (insan, araç (kara-deniz-hava), yapı, robot koruma) üretenler ve mühimmat/delicileri üretenlerdir. Koruyucu sistemler, mühimmatları durdurma, mühimmatlar ise koruyucu sistemleri infilak etme veya delme üzerine görev edindiğinden dolayı bu iki savunma sanayi kolu bir biri ile sürekli olarak rekabet halindedir.

Mühimmat ve delicileri üreten firmaların yön bulma veya enerji ile ilgili problemleri olurken, koruyucuları üreten firmaların ise esas problemi ağırlıktır. Çoğu mühimmat için koruyucu sistemler geliştirilebilse bile ağırlık nedeni ile kullanımı kısıtlanmaktadır ve üretilen çözümler başarısız kalmaktadır. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte, yön kabiliyeti daha yüksek, kinetik enerjisi daha fazla ve öncekilere göre daha büyük zarar verme potansiyeline sahip mühimmatların veya delicilerin karşısında koruma ürünü olarak asırlardır kullanılan zırh çeliği hem yeterli korumayı sağlayamaz hale geldi hem de mevcut ağırlığı ile kullananlarda dezavantaj oluşturmaya başladı. Gelişen teknoloji ile uzun yıllardır kullanılan zırh çeliği yerini toz metalürjisi ile üretilen balistik seramiklere bırakmaya başladı. Balistik seramiklerin içinde bulunduğu çözümler, zırh çeliği çözümlerine göre aynı mühimmatı daha hafif şekilde durdurabilmektedir. Özellikle üretim kolaylığından ve koruma yeteneğinden dolayı en çok tercih edilen seramiklerin başında Silisyum Karbür gelmektedir. Yüksek aşınma direnci ve yüksek sertliğe sahip olan Silisyum Karbür (SiC) seramikler, yüksek sıcaklıklara ve kimyasallara karşı gösterdikleri dayanıklılık nedeni ile kullanımı çok yaygınlaşmıştır kullanılmaktadır (Saddow ve Agarwal, 2004). Yüksek sertliklerinden kaynaklı, yüksek enerjili darbelerdeki kırılma davranışları SiC gibi balistik seramiklere dezavantaj yaratmakta olup, bu dezavantajları engellemek için balistik seramikler ile Kompozit yapıların oluşturulmasıdır (Yılmaz, 2020).

Özellikle 2010 yılında Nobel Fizik ödülü alması ile günümüzdeki en popüler malzemelerden biri olan Grafen, yüksek dayanımı, yüksek elektrik iletkenliği ve yüksek optik geçirgenliği gibi özelliklere sahip olması nedeniyle bir çok kullanım alanı için önemli hale gelmiştir (Altuntepe, 2019) . Balistik seramikleri güçlendirmek için grafenin üstün mekanik özelliklerinden yararlanıldığına dair literatürde bir çok çalışma raporlanmıştır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde SiC tozunun üretilmesi esnasında grafen katkılmasının yapıldığı ve SiC+grafen yapılı tozların üretilerek Kompozit toz yapılarının oluşturulduğu görülmektedir (Fan vd., 2010). Grafen katkılı balistik tozların üretilmesi ile sağlanan mekanik özellik artışları ile ilgili literatürde bir sürü çalışma olsa da balistik seramiklerin yüzeylerine gerçekleşen grafen transferinin bu seramiklerin mekanik ve balistik özelliklerinde meydana getirdiği değişikliği gösteren bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu tez çalışmasında SiC balistik seramiğin yüzeylerine grafen transfer edilerek, SiC' in mekanik özelliklerinde değişim olup olmadığı incelenecek ve daha önce yapılmamış bir çalışma literatüre kazandırılacaktır.

BÖLÜM I

LİTERATÜR

2.1 Toz Metalürjisi

Tozların belirli ölçüde karıştırılıp, belirli bir basınç altında şekillendirilip, çeşitli katkı malzemeleri ile belirli bir sıcaklıkta sinterlenmesine toz metalürjisi denmektedir. Dünyadaki bilirliliğine bakıldığında Toz metalürjisi, dövme ve döküm gibi yaygın kullanılan imalat yöntemlerinden daha eski bir üretim metodu olup özellikle geri dönüşüm nedeni ile bu metotlara göre avantajlıdır (Ekici, 2010; Özgün, 2007; Angelo ve Subramanian, 2009). Toz metalürjisi Dünyanın her tarafından olduğu gibi ülkemizde de otomotiv sanayi başta olmak üzere, beyaz eşya, savunma sanayi, elektronik ve diğer birçok sektörde üretilen ürünleri için kullanılmaktadır (Bahadır, 2011).

2.1.1 Toz metalürjisinin avantajları ve dezavantajları

Toz metalürjisi ile üretim yapmak minimum tolerans ve düzgün yüzey ile özellikle zor geometrilere sahip ürünlerin üretilmesinde diğer imalat yöntemlerine göre büyük avantaj sağlar (Ekici, 2010). Toz Metalürjisinin sağladığı diğer avantajlar aşağıdaki gibi sıralanmaktadır (Url-8, 2020; Ekerer, 2007).

1. Yüksek üretim hızı
2. İşgücü ihtiyacının düşük olması
3. Üretim maliyetinin düşük olması
4. Karmaşık şekilli parçaların imalatındaki kolaylık
5. Malzeme kullanım oranının yüksek, malzeme kaybının düşük olması (döküm ve talaşlı imalat yöntemlerinde meydana gelen malzeme kaybı, toz metalürjisinde diğer imalat yöntemlerine göre neredeyse yoktur)
6. Yüksek ergime sıcaklığına sahip metallerin imalat kolaylığı
7. Yüksek yoğunluğa sahip parça üretimi
8. Üretilen ürünlerin sertlik ve aşınma direnci gibi mekanik özelliklerinin çok yüksek olması
9. Üretilmiş ürünlerin işlenebilirlik kabiliyetlerinin yüksek olması

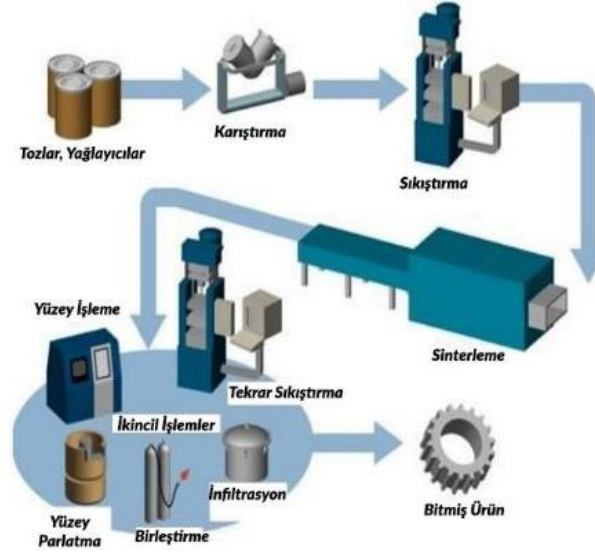
10. Üretilen ürünlerde rework (yeniden işleme) yapılmasına ihtiyaç duyulmaması
11. Üretilen ürünlerin geri dönüştürülebilir olması

TM çok fazla avantaja sahip olsada aşağıdaki belirtilen bazı dezavantajlara da sahiptir (Demirel, 2007; Şahin, 2018):

1. Tozların preslenmesi için yüksek kuvvetler uygulanmasından kaynaklı, presleme işleminde kullanılan kalıpların dayanımlarının çok yüksek olması gerekir. Bu nedenle TM’de kalıp maliyetleri fazladır.
2. Üretilen ürünlerin kalıptan çıkarılırken kırılması veya çatlaması
3. En/boy oranı çok büyük olan parçaların üretiminde zorluklar yaşanmaktadır.
4. Toz hazırlama işlemi sırasında üretilen tozun içerisine istenmeyen yabancı malzemelerin girmesi sonucu üretim verimliliklerinde düşüş yaşanmaktadır
5. Presleme işlemi sırasında kalıbın her bölgesine aynı basınç ve kuvvetin uygulanamaması nedeniyle parçanın yoğunluğu ve mikroyapısında farklılıklar görülebilmektedir.
6. Sinterleme işlemine kadar üretilmiş ürünlerin darbe dayanımının düşük olması
7. Yatırım bedellerinin çok yüksek olması

2.2 Toz Metalürjisi İmalat Prosesleri

TM yöntemi; toz üretimi, preslenme (sıkıştırma), sinterleme ve isteğe bağlı yüzey işlemleri olmak üzere 4 ana prosesten oluşur. Ana ve yardımcı TM prosesleri Şekil 2.1’de gösterilmektedir (Güven, 2011).



Şekil 2.1. Toz metalurjisi imalat aşamaları

2.2.1 Toz üretimi

TM imalat yönteminin ilk adımıdır ve bu proseste meydana gelecek hatalar presleme ve sinterleme aşamalarında oluşabilecek hatanın büyüklüğünü artırır. Böylelikle son ürünün görsel ve mekanik özellikleri etkilenmektedir (Bradbury, 1986). Tozlar saf halde nadiren kullanılır ve çoğunlukla diğer tozlar (metal veya metal olmayan tozlar) ile karıştırılarak kullanılır. Presleme işleminde istenilen kalitenin ulaşabilmesi için, toz üretimi; tozların uygun ağırlıklarda hazırlanması, karıştırılması (bağlayıcı ile) ve uygun nem değerlerine getirilmesi için ön işlemlerden oluşmaktadır (German, 2007).

Üretilen ürünlere göre farklı tozlar birbiri ile karıştırıldıkları esnada, tozların birbirini tutması ve preslenebilirliğinin artırılması için, karıştırma prosesi esnasında bağlayıcılar eklenir. Bağlayıcıların eklenmediği durumlarda ise, kuru toz üretimi gerçekleşir ve kuru tozlu bir yapının preslenebilirliği çok düşüktür. Bu tür üretimlerde yüksek fire oranları gözlenir. Bağlayıcıların eklenmesi ile tozların nemlilik oranları yükselir. Yüksek nem oranlarına sahip tozlar preslendiğinde, kalıplara yapışır ve kalıplardan sökülemezler. Presleme prosesinden maksimum verim alabilmek için, bağlayıcı ile karıştırılmış nemli tozlar belirli ısılardaki fırınlara verilir ve nem oranları istenilen seviyelere düşürülür. Nem seviyesi optimize edilmiş karışık metalik tozlar, presleme prosesi için paketlenir. Paketlemenin hava almayacak şekilde yapılması kritik öneme sahip olup, pakettikten sonra tozlarının nemliliğinin değişmesi, presleme verimini etkilemektedir. Presleme

verimini etkileyen bir diğerk değişken toz hammaddenin içerine karışabilecek istenmeyen üretim dışı maddelerdir (toz karıştırma, fırınlama veya paketleme aşamasında ürün içerisine karışabilecek ürünler, vb.). Toz üretiminde genel olarak Sprey Dryer ve Karıştırmalı tip olmak üzere şekil 2.2’de gsterilen 2 farklı makine kullanılır.



a) Spray dryer

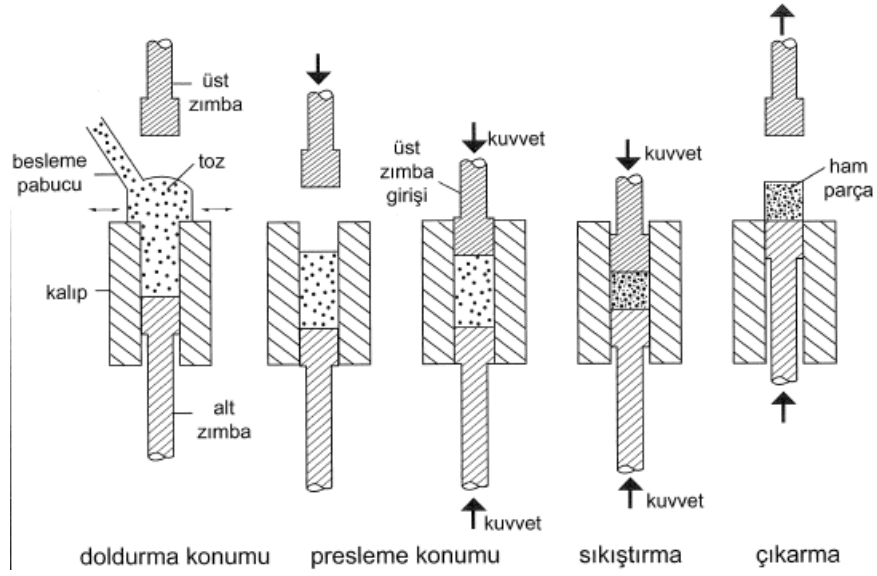


b) Karıştırmalı tip

şekil 2.2. Toz üretiminde kullanılan makine tipleri

2.2.2 Presleme

Toz halinde bulunan ürünü istenilen iş parçasının şekline getirebilmek için uygulanan Toz Metalurjisinin ikinci ana prosesi preslemedir (şekillendirme). Presleme prosesi temel olarak kalıplar içerisinde bulunan tozun belirli bir kuvvete maruz kalması ile gerçekleşir. Presleme işleminin temel amacı, sinterleme işleminde oluşabilecek deformasyonların ve üretim firelerinin (atlak ve kırık) önüne geçilmesinin istenmesidir. Bunun nedeni toz metalürjisi ile üretilmiş ürünler belirli bir sıcaklık grerek sertleştirildikleri için sinterleme işleminin sonras geri dnüştürülemezler. Bu sebeple doğru ve optimum seviyede hazırlanmış toz yarımamölün, mühendislik hesabına dayalı ve kararlı şekilde preslenmesi çok önemlidir. Presleme işlemi; toz yarımamölün pres kalıbına yüklenmesi, pres kounun (üst bölge) kalıp üzerine getirilmesi, sıkıştırma ve preslenmiş ürünün kalıptan çıkarılması olmak üzere şekil 2.3’de gsterilen toplam 4 alt işlemden oluşur (Dikici, 2010).



Şekil 2.3. Toz presleme aşamaları

Presleme sırasında kalıp içerisindeki toz yarımamülün üzerine etkiyen kuvvet nedeni ile toz parçacıkları arasındaki etkileşim büyük oranda artar (basınçla orantılı şekilde), mukavemet (dayanım) artar ve tozların arasında bulunan gözenekler (boşluklar) azalır. Üretilen ürünün fiziksel özelliklerine (kalınlık ve ağırlık) pres parametreleri değiştirilerek, presleme işlemi optimize edilir. Optimum kuvvetin altında preslenen ürünlerde tozlar bir biri ile yeterince yapışmayabilir ve bunun sonucunda preslenmiş ürün üzerinde (özellikle parça kenarlarında) toz dökülmeleri meydana gelebilir. Toz üretimi sırasında toz hammaddelerin içerisine bağlayıcı malzemeler eklenmiştir. Bu malzemeler preslenme esnasında, toz taneciklerini kuvvetin etkisiyle daha güçlü tutarlar ve preslenmiş ürünün kalıptan çıkarılması sırasında iş parçasının birleşik yapısının bozulmasını engeller. Benzer şekilde optimum kuvvetin üzerinde preslenmiş ürünlerde ise preslenmiş ürünün kalınlığında istenilenin dışında daralma (incelme) gözlemlenir (kalıp içerisinde bulunan toz %75 veya daha fazla oranda sıkışabilir).

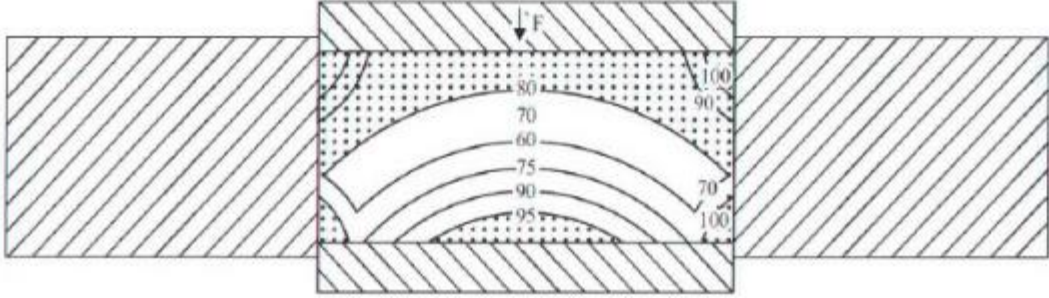
Toz yarı mamulün şekillendirme sırasında pres kalıbına temas eden yüzey bölgeleri iç kısmına göre daha yoğun bir yapıya sahiptir. Şekil 2.4’de tek yönlü preslenmiş bir iş parçasının yoğunluk dağılımı gösterilmektedir. Bu yoğunluk farkı, sinterleme sırasında farklı büzülme, içyapı çatlaklarına, görsel ve dış kusurlara neden olabilmektedir. İçyapıda oluşabilecek veya içyapıyı olumsuz şekilde etkileyebilecek bu hataların oluşmaması için aşağıdaki tanımlanmış 3 şartın beraber gerçekleşmesi gerekir.

- 1) Kalıba doldurulan tozların tamamen homojen dağılması gerekmektedir

2) Homojen bir sıkıştırma temin edilmelidir.

3) Parçanın kalıptan çıkarılması esnasında deformasyona uğramaması gerekir.

Preslenen malzemenin yoğunluğu, kalıba yerleştirilen tozun miktarına bağımlı olmayıp, tozun miktarı numenin kalınlığını etkilemektedir (Yıldırım, 2003).

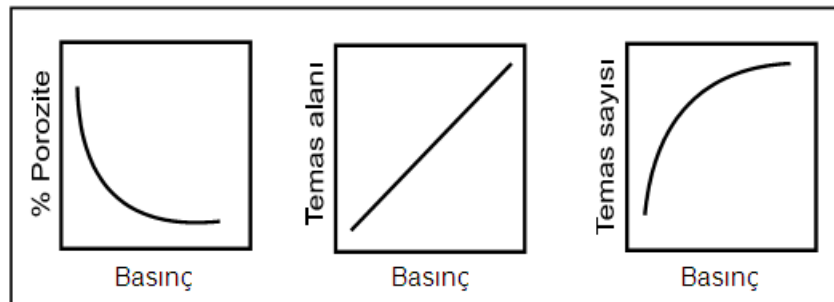


Şekil 2.4. Tek yönlü preslenmiş bir iş parçasının yoğunluk dağılımı

Genel olarak TM’de presleme verimini etkileyen 6 faktör vardır. Bu faktörler aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

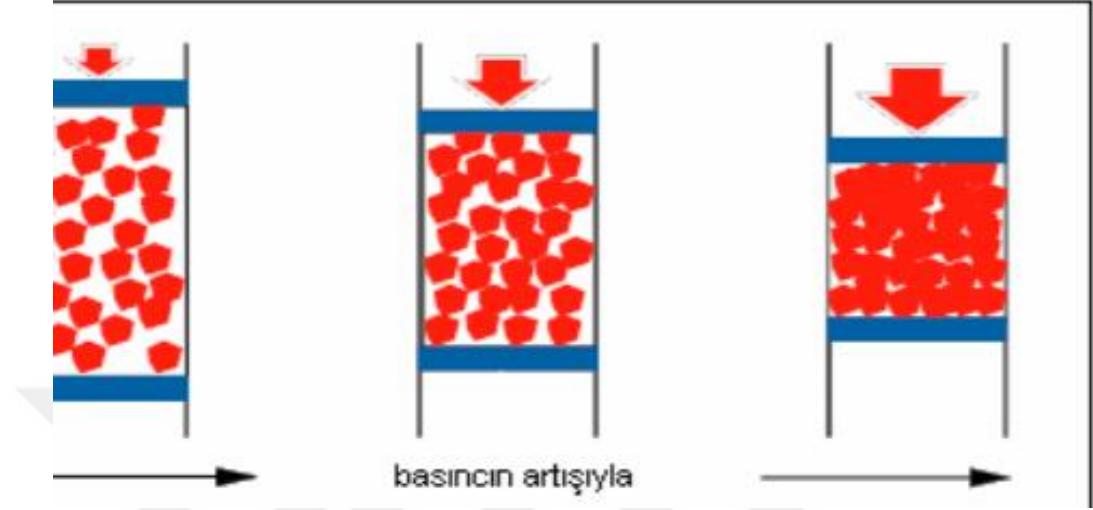
- Basınç
- Toz taneciklerinin büyüklüğü
- Toz taneciklerinin içerisinde yabancı malzemenin bulunması (Porozite)
- Tozun nemliliği
- Pres kalıbı
- Pres kalıp malzemesi

Paketleme (preslenmiş tozun bütünselliği) davranışını etkileyen en önemli parametre basınç olup, paketleme davranışı pres tonajı ile doğru orantılıdır. Basıncın diğer parametreler ile ilişkisi Şekil 2.5’de gösterilmektedir.



Şekil 2.5. TM’de basınç ilişkisi

Presleme sırasında oluşan boşlukların kalite problemi oluşturmamasından kaynaklı, tozların yüksek tonajlarda sıkıştırılması çok önemli olup, Şekil 2.6’da basıncın, paketleme davranışı üzerindeki etkisi gösterilmektedir (Ulutaş, 2014).



Şekil 2.6. Basıncın artışıyla paketleme davranışının değişimi

Daha iyi paketleme davranışının istenmesi nedeni ile toz presler yüksek tonajlarda üretilmekte olup en çok kullanılan pres tipi mükemmel sıkıştırma özelliğinden dolayı hidrolik tip preslerdir. Şekil 2.7’de toz metalürji yönteminde presleme işleminde kullanılan hidrolik pres gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Basıncın artışıyla paketleme davranışının değişimi

2.2.3 Sinterleme

Sinterleme prosesi, preslenmiş yarımamül ürünlere mukavemet kazandırmak amacı ile kontrollü bir kapalı bir ortamda (bir fırın içerisinde) yüksek sıcaklıklarda (1500 °C +) uygulanan bir ısıtım işlemi prosesisidir. Sinterleme prosesi, toz metalürjisinin en zor ve kararsız prosesisidir. Sinter fırınları sinterlenecek ürünlere göre atmosfer ortamında, vakum altında veya basınç altında çalışabilecek şekilde 3 farklı türde üretilmekte olup, örnek bir vakum sinter fırını Şekil 2.8’de gösterilmektedir.



Şekil 2.8. Vakum sinter fırını

Presleme prosesinde kuvvetin etkisi ile meydana gelen sıkışma sonucunda iş parçasında oluşan fakat tam olarak bağ yapısı oluşmamış mekanik bağlar, sinterleme prosesi ile birlikte bağlanarak güçlü ve kuvvetli metalik bağlara dönüşmekte ve üretilen ürünlerin mukavemeti büyük ölçüde artmaktadır. Sinterleme prosesinde; difüzyon, basınç ve ısıtımın etkisi ürünün içerisinde ki boşluğu kaldırılarak malzemenin mekanik özellikleri maksimum seviyeye çıkarmak hedeflenir. İç yapılarıdaki boşluğun sıfıra yaklaşması istenir. Sinterleme prosesi ısı ve kütle taşınımı olayına dayanmakta olup, kütle taşınımını kolaylaştırmak için mümkün olunan en optimum sıcaklıklarda çalışılmalıdır (Yıldırım, 2003). Tek bileşene sahip ürünlerin sinterlemesi metalin mutlaka ergime sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta (ergime noktasının %80’i) yapılırken, çok bileşenli ürünlerde genellikle ergime sıcaklığı en düşük olan bileşenin ergime sıcaklığının üstünde

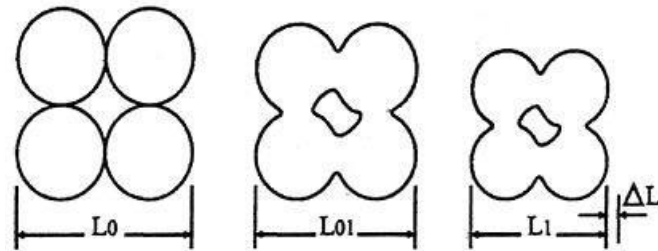
yapılmaktadır (ergime noktası en düşük olan malzemenin ergiyeceği şekilde). Sinterleme sıcaklığı sinterlenecek ürünlerin cinsine, şekline ve büyüklüğüne bağlı olarak değişmekle birlikte ana ürünün %70-%90'ı arasında değişmektedir (Bakar, 2009).

Sinterlenmeyi sağlayan itici güç; yüksek sıcaklıklarda yüzey enerjisinde meydana gelen azalmadır. Yüzey enerjisinde azalma meydana geldikçe difüzyon hızı artar ve özellikle karşılıklı atomların difüzyonu şeklinde olmak üzere, birbirleriyle temas halinde olan tozlar arasında bir boyun bölgesi oluşur ve tozlar birbirine nüfuz eder. Kingery, Berg ve Ashfay, taneler arasında meydana gelen bu kütle taşınımının, altı bölgede oluştuğunu belirtmektedirler (Yıldırım, 2003; Bakar, 2009). Bu bölgeler;

- 1- Yüzey Difüzyonu,
- 2- Yüzeyden Kafese Difüzyon,
- 3- Buhar Tasımını,
- 4- Temas Noktası Difüzyonu,
- 5- Temas Noktasından Kafese Doğru Difüzyon,
- 6- Dislokasyon veya diğer iç etkilerin boyun kısmında oluşturacağı değişim olup, sinterleme esnasında meydana gelen difüzyonun tesiriyle, taneler arasında meydana gelen büzülme ile cismin iç yapısında bulunan boşluklar, Şekil 2.9'da görüldüğü gibi hem küçülür hem de şekil değiştirir.

Bunlar;

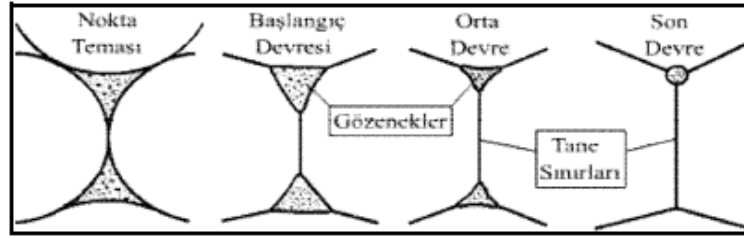
- a-) Boşluk morfolojisinin değişmesi,
- b-) Boşluk boyutlarının değişmesi,
- c-) Tane boyutlarının büyümesi (Grain Growth) şeklinde özetlenmiştir (Yıldırım, 2003).



Şekil 2.9. Sinterlemede taneler arasında meydana gelen büzülme

Diğer bir tabirle, sinterleme başlarken toz tanecikleri noktasal etkileşimde iken, sinterleme prosesinde (başlangıç, prosesin ortası ve son) meydana gelen büzülme işlemi

sonrasında nokta etkileşim bağlarının gelişimi Şekil 2.10'da verilmiştir (Somunkıran, 1999).

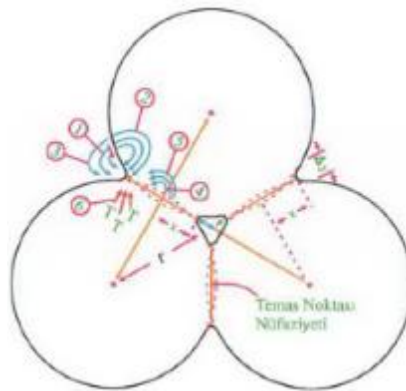


Şekil 2.10. Sinterlemede taneler arasında meydana gelen büzülme

Sinterleme prosesi katı, sıvı ve geçici faz sinterleme olmak üzere üçe ayrılır (Yıldırım, 2003; Bakar, 2009).

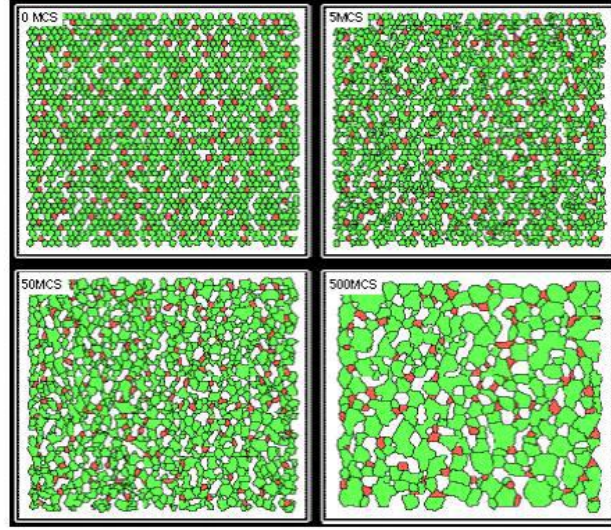
2.2.3.1 Katı hal sinterlemesi

Tek bir bileşene sahip ürünlerin sinterlenmesinde katı-hal sinterlemesi kullanılmakta olup; tek fazlı partiküllerden oluşan kompaktların sinterlenmesi sırasında mikro yapıda meydana gelen değişimler, parçanın boyutu ile beraber fiziksel ve mekanik özelliklerinde de değişimler meydana getirmektedir (Ekici, 2010). Katı faz sinterlemesinde bütün prensip, yayılma esasına dayanmaktadır. Bu proses için gerekli olan güç, boyun bölgesi ile tozun yüzeyi arasında meydana gelen serbest enerji veya kimyasal potansiyel farkı sonucunda ortaya çıkmaktadır. Meydana gelen difüzyonun etkisiyle oluşumları ve değişimleri Şekil 2.11'de göstermektedir.



Şekil 2.11. Katı hal sinterlemesinde meydana gelen değişimler

Tozların birbirine difüzyonu sonucu oluşan boyun bölgesindeki buhar basıncı düşük olmakta ve bu bölgeye doğru yayınma artmaktadır (Yıldırım, 2003; Bakar, 2009). Katı hal sinterlemesine ait şematik görüntü Şekil 2.12’de verilmektedir.



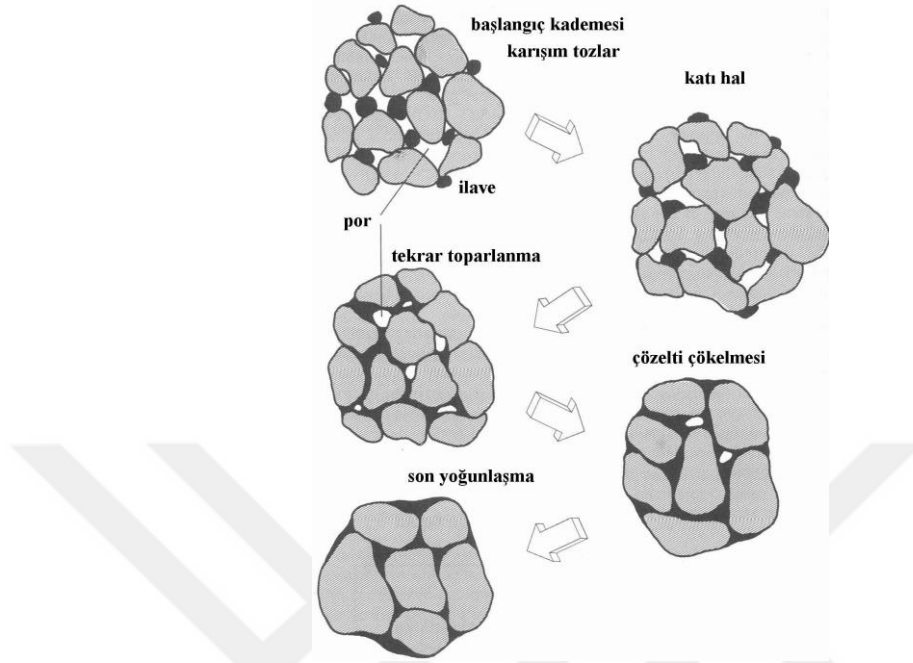
Şekil 2.12. Katı hal sinter şematik görüntüsü

2.2.3.2 Sıvı hal sinterlemesi

Bu proseste; karışımdaki fazlardan en az birisi sinterleme sıcaklığında sıvılaştığı için elde edilen malzemenin kullanım sıcaklığı sinterleme sıcaklığının altında olmak zorundadır. Sinterleme sıcaklığına erişince, sıvı faz, tozları ıslatır ve tozlar arasındaki ince kanallarda kapiler etkisi meydana gelerek tozların kolayca sinterlenmesi sağlanır. Teknik açıdan bakıldığında, hızlı sinterleme ve basınç gerektirmeden yoğunlaşmanın mümkün olması sebebiyle sıvı faz sinterlemesi oldukça tercih edilen bir sinterleme prosesidir. Başlangıçta karışım tozlar sıvının oluşacağı bir sıcaklığa ısıtılır. Isıtma sırasında, mikro yapıda mevcut olan kimyasal konsantrasyon gradyanının da etkisiyle, bir katı hal sinterlenmesi meydana gelir. Yine birçok sistemde katı hal difüzyonu, sıvının ilk oluştuğu ana kadar önemli miktarda yoğunlaşma meydana gelmesine neden olur. Yoğunlaşmanın daha fazla olması bir sonraki adıma yani meydana gelen sıvı miktarına bağlıdır. Bağlayıcı metal sıvı faza geçtikten sonra, sıvı faz sinterlemesi ile yoğunlaşma Şekil 2.13’de gösterildiği gibi üç temel kademede meydana gelir:

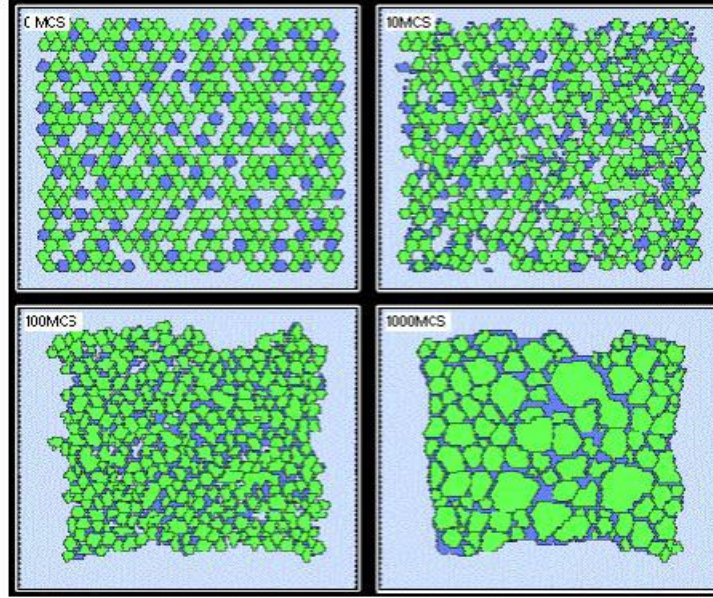
- 1) Sıvı akısının başladığı ve partiküllerin tekrar düzenlendiği başlangıç kademesi,
- 2) Daha sık bir paketlenmeyi sağlayan çözelti çökmesinin geliştiği ara kademe

3) Yoğunlaşma hızının katı hal sinterlemesi ile eşitlenerek nihai birleşmenin meydana geldiği son kademedir (Bahadır, 2021; Ekici, 2010)



Şekil 2.13. Klasik sıvı faz sinterlemesinin kademelerine ait şematik diyagram

Sıvı-faz sinterleme prosesinde, sinterleme sıcaklığındaki fazlardan biri viskoz haldedir. Bu durum, özellikle ergime noktaları birbirinden çok farklı malzemelerin sinterlenmesinde görülmektedir. Sıvı-faz, katı haldeki taneleri ıslatmakta ve taneler arasındaki ince kanallarda yüksek basınç meydana getirmektedir. Sıvı-faz sinterlemesinde sıvı fazın miktarı % 20'yi geçmez. Sıvı-faz sinterlemesinde, seramik tozlarının düşük sıcaklıkta ve kısa sürede sinterlenmesi mümkündür. Buna karşın; sıvı-faz sinterlenmesi ile üretilmiş malzemeler, yüksek sıcaklıkta kullanılmaya elverişli değildir (Exner, 1979). Sıvı-faz sinter şematik görüntüsü Şekil 2.14'de gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Sıvı-Faz sinter şematik görüntüsü

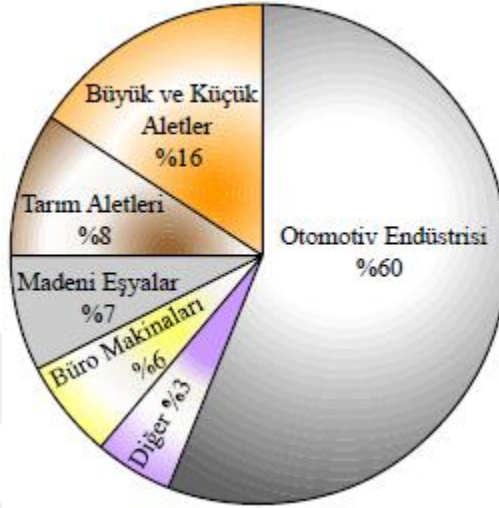
2.2.3.3 Geçici faz sinterleme

Sıvı faz sinterlemesinin iki farklı alternatifinden biri geçici sıvı faz sinterlemesidir. Yüksek ergime sıcaklığına sahip katı faz çözünme oranının yüksek olduğu durumlarda geçerli olan bu mekanizmada preslenmiş kompakt sinterleme sıcaklığına çıkartılırken sıvı faz oluşur ve kompakt sinterleme sıcaklığından sıvı faz iç yayınmayla katı ergiyiğe geçerek yok olur. Kompakt sinterleme sıcaklığında bekletilirken sürecin sonunda oluşan homojen bir katı ergiyik veya iki veya daha fazla katı fazdan oluşan heterojen bir alaşım olabilir. Sinterleme sırasında homojen katı bir alaşımın oluşumuna örnek olarak, alaşım katılaşma sıcaklığının altında sinterlenen %90 Cu ve %10 Sn karışımlarından oluşan kendinden yağlamalı yataklar, Al-Cu, Mg-Si alaşımları ve bazı AlNiCo magnetleri uygun örneklerdir. Değişik katı fazdan oluşan heterojen alaşımlara ise diş hekimliğinde kullanılan ve oda sıcaklığında sinterlenen gümüş, kalay ve civa amalgamları örnek verilebilir (Ekici, 2010).

2.3 Toz Metalürjisinin Kullanım Alanları ve Üretilen Ürünler

Toz metalürjisi ülkemiz başta olmak üzere tüm Dünya’da, özellikle karmaşık şekle sahip tüm sektörlerdeki ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır. Jet motor parçaları, dişli çarklar, yüksek sıcaklık filtreleri, uçak fren balataları, kaynak elektrotları, katalizörler, nükleer

güç yakıt elemanları, dişçilik ürünleri, zırh delici mermiler, personel, araç ve yapısal koruma ürünleri, vb. birçok ürünün üretildiği; otomotiv, savunma, havacılık, enerji, sağlık vb. bir çok sektörde TM yaygın olarak kullanılmaktadır. Endüstriyel ürünlerin dışında günümüzde evimizde kullandığımız birçok ürün bile TM yöntemi ile üretilmektedir (Şahin, 2018). Toz metalürjisinin kullanıldığı sektörlerin yüzdesel dağılımı Şekil 2.15’de verilmiştir (Özgün, 2007).



Şekil 2.15. Sektörel bazda toz metalürjisinin yaygınlığı

Şekil 2.16’da Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen bazı ürünler gösterilmektedir (Url-3, 2021).



Şekil 2.16. Toz metalürjisi yöntemi ile üretilmiş ürünler

2.3.1 Toz metalürjisinin savunma sanayide kullanımı

Savunma sanayi Dünya’da ve ülkemizde çok fazla yatırım yapılan ve hızlı gelişen sektörlerin başında gelmektedir. Savunma sanayiye ikiye ayırarak olursak, bir tarafta insanları ve sistemlerin koruyucularını üreten firmalar, diğer tarafta ise mühimmatları, patlatıcıları ve delicileri üreten firmalar yer almaktadır. Yüzeysel olarak yorumlanırsa, koruyucuları üreten firmaların başarısı, mühimmat vb. ürünleri üreten firmaların ürünlerinin, kendi ürünlere zarar verme oranı ile ölçülmektedir. Ters şekilde yorumlanırsa, mühimmat üreten firmaların başarısı ise koruyucu ürün üreten firmalarının ürünlerine zarar verme oranı ile ölçülür. Teknolojinin ve malzeme sektörünün gelişmesi ile savunma sanayi içerisindeki bu iki zıt alan sürekli bir biri ile rekabet etmekte ve zoraki olarak birbirlerini geliştirmektedirler. Dünya üzerinde üretilen tüm mühimmatlar için koruyucu ürünler oluşturulmuş ve bu ürünler yapıların, personellerin, araçların, sistemlerin ve günümüz dünyasında robotların korunmasında bile kullanılmaktadır. Fakat koruma ürünlerin en büyük dezavantajı ağırlıklarıdır. Her mühimmat için koruyucu ürün üretilbilse bile ürünlerin ağırlıkları kullanım için dezavantaj yaratmaktadır. Bu sebeple savunma sanayi de özellikle koruyucu ürünlerin birçoğu artık zırh çeliği kullanılarak değil, Toz Metalürjisi yöntemi ile üretilen balistik seramiklerin kullanılması ile üretilmektedir. Balistik seramikler, yüksek dayanımlarının yanında düşük ağırlık sunarak zırh çeliklerinin yerini hızlıca almıştır. Önceki yıllarda kullanılan çelik yelekler ve zırhlı

araçlar artık yüksek balistik özelliğe sahip seramiklerle üretilmektedir. Alümina, Silisyum Karbür, Bor Karbür seramikleri ve bu seramiklerin alaşımlanması ile oluşan Kompozit malzemeler ülkemizde Dünya’da savunma sanayi de yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu seramikler Bölüm 2.2’de anlatılan Toz Metalürjisi yöntemlerine göre seramik tozlarının çeşitli bağlayıcılar ile bağlanmasıyla üretilir.

2.3.2 Savunma sanayinde kullanılan seramikler

2.3.2.1 Alümina (Al_2O_3)

Ekonomik yapısı gereği kara ve deniz araçlarının zırhlanmasında kullanılır. Kullanıcının ağırlık gereksinimlerini karşıladığı müddetçe Alümina seramikler ile her türlü tehdide karşı çözüm oluşturulabilmektedir (Url-10, 2021). Fotoğraf 2.1’de alümina seramik gösterilmektedir.



Fotoğraf 2.1. Altıgen alümina seramik

Alümina, dış görünüş olarak beyaz bir tozdur. Ergime sıcaklığı $2050\text{ }^{\circ}\text{C}$, kaynama noktası ise $2080\text{ }^{\circ}\text{C}$ olan alümina yüksek sıcaklıklarda kimyasal maddelere ve mekanik yüklere karşı en dayanıklı refrakter malzemelerden biridir. Alüminanın molekül ağırlığı $101,96\text{ g/mol}$ reaktif indeksi $1,765$, olusum serbest enerjisi ise $-1582,4\text{ kJ/mol}$ ’dür. Toz Metalürjisi yardımı ile üretilen alümina tozları, preslendikten sonra atmosfer fırınlarında

sinterlenirler. Çizelge 2.1’de %85,0–99,7 saflıkta alüminaların fiziksel ve mekanik özellikleri verilmiştir (Bakar, 2009).

Çizelge 4.1. Çizelge 2.1. %85,0-99,7 saflıkta alüminaların fiziksel ve mekanik özellikleri

Alümina içeriği, (%)	85,0	95,0	99,7
Yoğunluk, g/cm ³	3-3,5	3,7	3,9
Dielektrik sabiti	8,5	9,2	9,0-10,1
Dielektrik mukavemeti, kV/mm	28	---	10-35
Hacim direnci, Ω .cm (600°C’de)	4×10^6	5×10^9	4×10^{10}
Termal iletkenlik, W/m °C	15	20	28-35
Termal genleşme katsayısı, $10^{-6} / ^\circ\text{C}$	(20-1000°C) 7	7,6	8
Maksimum kullanım sıcaklığı, °C	1300	1500	1700
Spesifik ısı, J/K kg	920	900	---
Eğme mukavemeti, MPa (20°C’de)	300	350	350
Basma mukavemeti, MPa (20°C’de)	1800	2000	2200-2600
Elastik modül, GPa	260-330	340-375	380-410
Poission oranı	0,22-0,25	0,23-0,26	0,24-0,27
Sertlik, HV1,0	800-1000	1200-1600	1500-2000

2.3.2.2 Bor karbür (B₄C)

Bor Karbür, elmastan sonra en sert malzemedir. Kimyasal ve mekanik korozyona karşı mükemmel dirence sahiptir. Çok düşük yoğunluğa (2,5 g / cm³) ve bu nedenle mükemmel bir direnç / ağırlık oranına sahiptir. Özellikle gelişmiş ülkelerde bu malzeme esas olarak personelin korunması ve helikopterlerin ve kargo uçaklarının zırhlanmasında kullanılmaktadır. Balistik koruma alanında bor karbür dünyadaki en ileri teknolojidir (Url-10, 2021). 1858 yılında bulunan Bor Karbür, dış görünüş olarak koyu siyah renge sahip olup, bor karbürden üretilmiş ürünler Şekil 2.17’de gösterilmektedir.



Şekil 2.17. Çeşitli geometrilere bor karbür seramikler

Düşük ağırlıkta yüksek dayanım sağlayan bor karbürün mekanik özellikleri Çizelge 2.2’de verilmektedir (Alkan, 2008).

Çizelge 2.2. Bor karbürün mekanik özellikleri

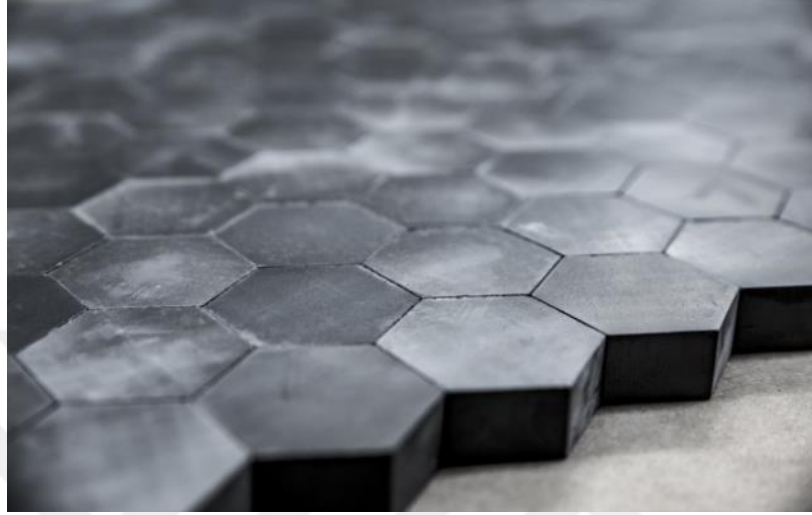
Özellik	Birim	Değer
Yoğunluk	g/cm^3	2.52
Sertlik (100 g. Knopp)	Kgf/mm^2	2900-3580
Vickers Mikrosertlik	GPa	31,5
Kristal Yapı		Rombohedral
Kırılma Tokluğu	$\text{MPa. m}^{-1/2}$	2,9-3,7
Ergime Sıcaklığı	$^{\circ}\text{C}$	2450
Isıl Genleşme	$^{\circ}\text{C}^{-1}$	5×10^{-6}
Elektrik iletkenliği (25 $^{\circ}\text{C}$ ’de)	S	140
Elastisite Modülü	(GPa)	450-470
Kayma Modülü	GPa	186,5
Çekme Mukavemeti	MPa	155
Basma Dayanımı	MPa	2855

2.3.2.3 Silisyum karbür (SiC)

Silisyum Karbür, her türlü tehdide karşı personelin korunması ve kara ve hava araçlarının zırhlanmasında kullanılır. Ağırlık ve maliyet açısından Alümina ve Bor Karbür malzemeler arasında yer almaktadır (Url-10, 2021).

Silisyum Karbür, dış görünüş olarak açık kahverengi bir toz olup, 1891 yıllarında Acheson tarafından bulunmuştur. Düşük termal iletkenliğe, düşük termal genleşme katsayısına, yüksek termal şok dayanımına, düşük yoğunluğa, yüksek sertliğe, yüksek

elastisite modülü, yüksek kırılma tokluğuna ve elmastan daha büyük reaktif indeks değerlerine sahip bir malzemedir (Gençkan, 2009). Fotoğraf 2.2’de silisyum karbür altıgen seramik gösterilmekte olup, SiC’ ün tipik özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir (Yılmaz, 2020).



Fotoğraf 2.2. Altıgen silisyum karbür seramik

Çizelge 2.3’te silisyum karbürün tipik özellikleri verilmiştir (Yılmaz, 2020).

Çizelge 2.3. Silisyum karbür seramiğin tipik özellikler

Ortalama yoğunluk (g/cm ³)	3,1-3,3
Su emiciliği (%)	0
Vickers sertliği (MPa)	2000-2600
Kırılma tokluğu (MPa.m ^{1/2})	2-5*
Eğme dayanımı (MPa)	≥350*
E-modülü (GPa)	~380-450*

*Üretim yöntemine bağlı olarak değişmektedir.

2.3.3 Balistik seramiklerin kullanım alanları

Balistik seramikler yüksek balistik dirençleri ve zırh çeliğine göre çok daha hafif çözümler sağlamaları nedeni ile (aynı balistik seviyeyi sağlamak için zırh çeliği, Silisyum Karbür seramiğe göre yaklaşık %60 daha ağırdır) personel koruma, araç koruma ve yapı korumada günümüzde sıklıkla kullanılmakta olup, gelişen teknoloji ile birlikte günden güne kullanımları yaygınlaşmaktadır.

Balistik seramikler ile üretilen araç korumada kullanılan balistik panel Fotoğraf 2.3’de gösterilmektedir.



Fotoğraf 2.3. Araç zırhlamada kullanılan balistik panel

2.4 Balistik

Yer çekimi ve atmosferik şartlar altında ateşlenen veya itilen cisimlerin, özellikle de şarapnel (parçacık), mermi ve roketlerin hareketlerini inceleyen bilim dalına balistik denir. Balistik bilimi genel anlamda merminin hareketini incelemek üzerine yoğunlaşmıştır. Başka bir deyişle, merminin ateşleme anından itibaren namı içindeki ve havadaki hareketi ve çarptığı hedef üzerindeki etkilerini incelemektedir (Özgültekin, 2012).

2.4.1 Balistik türleri

Balistiği genel anlamda üçe ayırmak mümkündür. Bunlar (Özgültekin, 2012):

- 1) İç Balistik: Kimyasal enerji kaynağını, gazın genişlemesini ve ortaya çıkan enerjinin kontrolünü ve yönlendirilmesini incelemektedir. Diğer bir tabir ile iç balistik; merminin ateşlenmesi ile namlu azına gelene kadar ki süreci inceler.
- 2) Dış Balistik: Mermi ve yanan barut gazları namluyu terk ettikten sonra, hedefe ulaşmaya kadar geçen sürede merminin uçuş hareketini ve bu harekete etki eden faktörleri inceleyen bölüme dış balistik denilmektedir.
- 3) Hedef Balistiği: Hedef balistiği, merminin hedef üzerindeki veya hedefin(zırhın) mermi üzerindeki etkileri ile ilgilenmektedir.

Tehdide göre koruma söz konusu iken ilgili malzeme seçiminde tehdidi oluşturan kinetik enerjili paracıkların hızları referans olarak kullanılmaktadır (Atapek, 2011).

2.4.2 Mühimmatlar

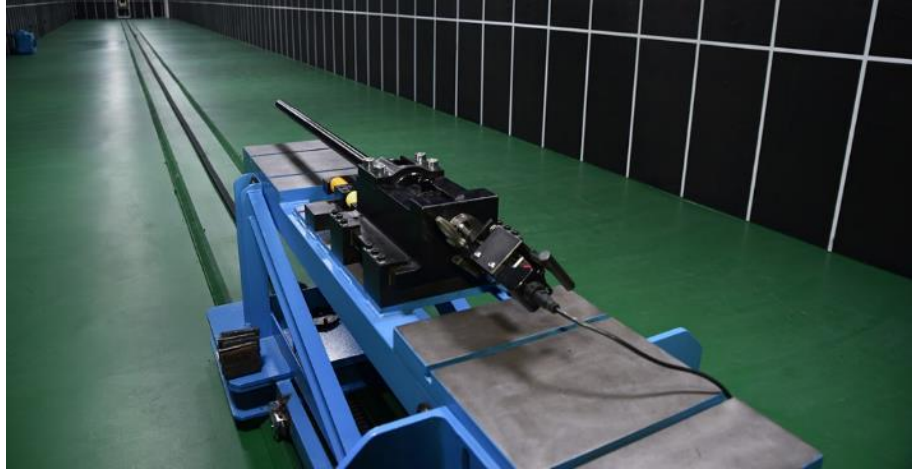
Ateşli silahlarda kullanılan fişek kovani, falya, barut tozu, kurşun veya mermiler dâhil, cephanenin kendisi veya bunu meydana getiren unsurlarına mühimmat denir (Resmi Gazete Sayısı 26514). Mühimmatlar, Avrupa standartlarında metrik ölçüm sistemiyle, Amerikan standartlarında ise kalibre ile isimlendirilmektedir. 1 kalibre 0,01 inç e eşittir. Metrik sistemde ise 1 kalibre 0,254 mm e eşittir. Mühimmat isimlendirilirken mermi çapı ve kovan boyu kullanılır (Url-6, 2021). Tabanca mühimmatı ve uzun namlu mühimmatı olarak isimlendirilen mühimmatlar Şekil 2.18’de verilmiştir.



Şekil 2.18. Mühimmatlar

2.4.3 Balistik test

Malzemelerin balistik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile yapılan testlere balistik testler denir. Malzemelerin balistik karakteristiğini ölçmek için kullanılan iki önemli test vardır. Penetrasyon derinliği (DOP) testi 1980'li yılların ortasından günümüze özellikle seramik malzemeler üzerine uygulanmaktadır. V50 koruma balistik limiti (PBL) her türlü malzeme üzerine uygulanabilen bir balistik dayanım testidir (Atapek, 2011). Balistik testler Mühimmatlar bölümünde açıklanmış mühimmatlar kullanılarak referans olarak alınan balistik standarda göre yapılır. Balistik testler genellikle standartların belirttiği çevresel koşullara sahip kapalı bir alanda, uzaktan kumanda ile genellikle insansız bir şekilde gerçekleştirilir. Balistik test odaları, balistik test düzeneği (silah simülatörü), mermi hız ölçümünün yapıldığı hız sensör bölümü ve balistik teste tabi tutulacak ürünün hedef alanı olmak üzere 3 kısımdan oluşur. Fotoğraf 2.4'de balistik test laboratuvarı içerisinde bulunan mühimmat ateşleme mekanizması, Fotoğraf 2.5'te ise balistik teste tabi tutulan bir seramik ürün bulunmaktadır. TS EN 1522 Standardına göre denet ortam koşullarının 18 ± 5 °C olması gerekmektedir.



Fotoğraf 2.4. Mühimmat ateşleme mekanizması



Fotoğraf 2.5. Balistik test yapılan panel

2.4.4 Balistik test standartları ve koruma seviyeleri

Balistik testler, istenen tehdit seviyesi ve türüne göre çeşitli namlu, mühimmat, hız mesafe ve atış şablonu kullanılarak yapılan, ürünün koruma sağlayıp sağlamadığı test edilen veya koruma seviyesi belirlemede kullanılan deneylerdir (Url-13, 2021). Balistik testler için referans alınan çeşitli standartlar mevcuttur. Balistik test standartları, ulusal ve uluslararası otoritelerin kendilerine tehdit olarak gördükleri mühimmatlara karşı savunma ve korunma seviyesi geliştirmeleri sebebiyle oluşturulmuşlardır. Amerika Birleşik Devletleri' nin kullandığı balistik standart Amerikan Ulusal Adalet Enstitüsü olarak bilinen NIJ National Institute of Justice devlet birimi tarafından hazırlanmaktadır. Rusya'

nın kullandığı balistik standart Bağımsız Devletler Topluluğu altında faaliyet gösteren GOST kuruluşu tarafından yayınlanmaktadır (Url-4, 2021). Almanya' nın kullandığı balistik test standartları VPAM olarak bilinen Balistik Malzeme ve Yapılar için Test Laboratuvarları Derneği tarafından hazırlanmaktadır. NATO devletlerinde kullanılan balistik test standartları STANAG olarak bilinen askeri standartlar birimi tarafından yayınlanmaktadır (Url-12, 2021). Avrupa Birliği ülkelerinin kullandığı balistik standart ise EN standartlarıdır ve Avrupa Standartlar birliğince yayınlanır. Çizelge 2.4'de uluslararası kullanılan balistik test standartlarından örnekler verilmiştir. Balistik test standartları, ürün türü ve kullanım amacına göre hazırlanmakta ve kullanılmaktadır.



Çizelge 2.4. Balistik test standartları

Personel Koruma Standartları <i>Personal Body Armour and Helmet Standards</i>		
NIJ 0101.04	Amerika	Ballistic Resistance of Personal Body Armor Standard
NIJ 0101.06	Amerika	Ballistic Resistance of Body Armor Standard
NIJ 0101.07	Amerika	Ballistic Resistance of Body Armor Standard
NIJ 0115.00	Amerika	Stab Resistance of Personal Body Armor
NIJ 0106.01	Amerika	Ballistic Helmet Standard
HOSDB 2017	İngiltere	Body Armour Standard
GostR50744-95	Rusya	Armoured Clothing Classification and General Technical Requirements
VPAM BSW 2006	Almanya	Ballistic Protective Vest
VPAM KDIW 2004	Almanya	Stab and Impact Resistance
VPAM HVN 2009	Almanya	Bullet Resistant Helmet with Visor and Neck Protection
STANAG 2920	NATO	Procedures for the Evaluation and Classification of Personal Armour Bullet and Fragmentation Threats
Balistik Malzeme Standartları <i>Ballistic Material/Equipment Standards</i>		
NIJ 0108.01	Amerika	Ballistic Resistant Protective Materials
VPAM PM 2007	Almanya	Bullet Resistant Plate Material
VPAM BRV 2009	Almanya	Bullet Resistant Vehicle
VPAM ERV 2010	Almanya	Explosive Resistant Vehicle
VPAM ARG 2012	Almanya	Materials and Structures to Avoid Bouncing and Rebounding Projectiles
EN 1522	Avrupa	Windows, Doors, Shutters and Blinds–Ballistic Resistance–Requirements and Classification
EN 1523	Avrupa	Windows, Doors, Shutters and Blinds – Ballistic Resistance – Test Method
EN 1063	Avrupa	Security Glazing Testing and Classification of Resistance against Bullet Attack
STANAG 4569	NATO	Protection Levels for Occupants of Logistic and Light Armoured Vehicles

Koruma seviyesi, balistik maksatlı üretilen bir ürünün uluslararası standartlar vasıtasıyla belirlenmiş çeşitli tehditlere karşı dayanımı gösteren bir özelliktir. Balistik alanda ürün tasarımı ve içeriği, istenen balistik koruma seviyesine göre belirlenmektedir. Çizelge 2.5,

Çizelge 2.6, Çizelge 2.7 ve Çizelge 2.8’de uluslararası balistik standartlarının balistik koruma seviyeleri tabloları örnekleri yer almaktadır.

Çizelge 2.5. NIJ 0101.04 balistik seviyeler

Test Variables					Performance Requirements						
Armor Type	Test Round	Test Bullet	Bullet Weight	Reference Velocity (± 30 ft/s)	Hits Per Armor Part at 0° Angle of Incidence	BFS Depth Maximum	Hits Per Armor Part at 30° Angle of Incidence	Shots Per Panel	Shots Per Sample	Shots Per Threat	Total Shots Req'd
I	1	.22 caliber LR LRN	2.6 g 40 gr.	329 m/s (1080 ft/s)	4	44 mm (1.73 in)	2	6	12	24	48
	2	.380 ACP FMJ RN	6.2 g 95 gr.	322 m/s (1055 ft/s)	4	44mm (1.73 in)	2	6	12	24	
IIA	1	9 mm FMJ RN	8.0 g 124 gr.	341 m/s (1120 ft/s)	4	44 mm (1.73 in)	2	6	12	24	48
	2	40 S&W FMJ	11.7 g 180 gr.	322 m/s (1055 ft/s)	4	44 mm (1.73 in)	2	6	12	24	
II	1	9 mm FMJ RN	8.0 g 124 gr.	367 m/s (1205 ft/s)	4	44 mm (1.73 in)	2	6	12	24	48
	2	357 Mag JSP	10.2 g 158 gr.	436 m/s (1430 ft/s)	4	44 mm (1.73 in)	2	6	12	24	
IIIA	1	9 mm FMJ RN	8.2 g 124 gr.	436 m/s (1430 ft/s)	4	44 mm (1.73 in)	2	6	12	24	48
	2	44 Mag SJHP	15.6 g 240 gr.	436 m/s (1430 ft/s)	4	44 mm (1.73 in)	2	6	12	24	
III	1	7.62 mm NATO FMJ	9.6 g 148 gr.	847 m/s (2780 ft/s)	6	44 mm (1.73 in)	0	6	12	12	12
IV	1	.30 caliber M2 AP	10.8 g 166 gr.	878 m/s (2880 ft/s)	1	44 mm (1.73 in)	0	1	2	2	2
Special	*	*	*	*	*	44 mm (1.73 in)	*	*	*	*	*

*User Specified

Panel = Front or back component of typical armor sample.

Sample = Full armor garment, including all component panels (F & B).

Threat = Test ammunition round by caliber.

Çizelge 2.6. TS EN 1522 balistik seviyeler

				g	mesafesi m	m/s
FB1	Yivli tüfek	22 LR	L/RN	2,6 ± 0,1	10 ± 0,5	360 ± 10
FB2	Tabanca	9 mm Luger	FJ ⁽¹⁾ /RN/SC	8,0 ± 0,1	5 ± 0,5	400 ± 10
FB3	Tabanca	357 Mag.	FJ ⁽¹⁾ /CB/SC	10,2 ± 0,1	5 ± 0,5	430 ± 10
FB4	Tabanca	357 Mag.	FJ ⁽¹⁾ /CB/SC	10,2 ± 0,1	5 ± 0,5	430 ± 10
	Tabanca	44 Rem. Mag.	FJ ⁽²⁾ /FN/SC	15,6 ± 0,1	5 ± 0,5	440 ± 10
	(Not)					
FB5	Yivli tüfek	5,56 × 45*	FJ ⁽²⁾ /PB/SCP1	4,0 ± 0,1	10 ± 0,5	950 ± 10
FB6	Yivli tüfek	5,56 × 45*	FJ ⁽²⁾ /PB/SCP1	4,0 ± 0,1	10 ± 0,5	950 ± 10
	Yivli tüfek	7,62 × 51	FJ ⁽¹⁾ /PB/SC	9,5 ± 0,1	10 ± 0,5	830 ± 10
	(Not)					
FB7	Yivli tüfek	7,62 × 51**	FJ ⁽²⁾ /PB/HC1	9,8 ± 0,1	10 ± 0,5	820 ± 10
L = Kurşun				FJ ⁽¹⁾ = Dışı tamamen çelik kaplı		
CB = Konik mermi				FJ ⁽²⁾ = Dışı tamamen bakır alaşımlı		
FJ = Dışı tamamen metal mermi						
FN = Kesik uçlu mermi						
HC1 = Sert çelik çekirdek, kütle (3,7 ± 0,1) g sertlik 63 HRC'den fazla						
PB = Sivri uçlu mermi						
RN = Yuvarlak uçlu mermi						
SC = Yumuşak çekirdek (kurşun)						
SCP1 = Çelik delicili yumuşak çekirdek (kurşun) (tip SS109)						
* [5,56 × 45] için belirtilen değerlere erişilebilmesi için tavsiye edilen namlu yiv adım boyu = (178 ± 10) mm'dir.						
** FB7 sınıfı için belirtilen değerlere erişilebilmesi için tavsiye edilen namlu yiv adım boyu = (254 ± 10) mm'dir.						
Not 1 - Bir noktaya tek atış yapılacağına, EN 1523:1998'in 6. Maddesi içinde tarif edilen atış doğruluğuna erişilebilmesi için, deney atış mesafesi düşürülebilir. Bu durumda, merminin hızını ölçmek mümkün olmayabilir.						
Not 2 - Deney numunesi, FB4 veya FB6 olarak sınıflanabilmesi için, her iki mermi çapındaki mühimmat ile denenmelidir.						

Çizelge 2.7. NIJ 0101.06 balistik seviyeler

TEST VARIABLES						PERFORMANCE REQUIREMENTS			SHOT REQUIREMENTS					
Armor Type	Test Round	Test Bullet	Bullet Mass	Conditioned Armor Test Velocity*	New Armor Test Velocity*	Hits Per Panel at 0° Angle	Maximum BFS Depth	Hits Per Panel at 30° or 45° Angle¹	Shots Per Panel	Panel Size	Panel Condition	Panels Required	Shots Required	Total Shots Required
IIA	1	9 mm FMJ RN	8.0 g (124 gr)	355 m/s (1165 ft/s)	373 m/s (1225 ft/s)	4	44 mm (1.73 in)	2	6	Large	New Conditioned	4	24	144
										Small	New Conditioned	2	12	
	2	.40 S&W FMJ	11.7 g (180 gr)	325 m/s (1065 ft/s)	352 m/s (1155 ft/s)	4	44 mm (1.73 in)	2	6	Large	New Conditioned	4	24	
										Small	New Conditioned	2	12	
II	1	9 mm FMJ RN	8.0 g (124 gr)	379 m/s (1245 ft/s)	398 m/s (1305 ft/s)	4	44 mm (1.73 in)	2	6	Large	New Conditioned	4	24	144
										Small	New Conditioned	2	12	
	2	.357 Magnum JSP	10.2 g (158 gr)	408 m/s (1340 ft/s)	436 m/s (1430 ft/s)	4	44 mm (1.73 in)	2	6	Large	New Conditioned	4	24	
										Small	New Conditioned	2	12	
IIIA	1	.357 SIG FMJ FN	8.1 g (125 gr)	430 m/s (1410 ft/s)	448 m/s (1470 ft/s)	4	44 mm (1.73 in)	2	6	Large	New Conditioned	4	24	144
										Small	New Conditioned	2	12	
	2	.44 Magnum SJHP	15.6 g (240 gr)	408 m/s (1340 ft/s)	436 m/s (1430 ft/s)	4	44 mm (1.73 in)	2	6	Large	New Conditioned	4	24	
										Small	New Conditioned	2	12	
III	1	7.62 mm NATO FMJ	9.6 g (147 gr)	847 m/s (2780 ft/s)	-	6	44 mm (1.73 in)	0	6	All	Conditioned	4	24	24
IV	1	.30 Caliber M2 AP	10.8 g (166 gr)	878 m/s (2880 ft/s)	-	1 to 6	44 mm (1.73 in)	0	1 to 6	All	Conditioned	4 to 24	24	24
Special	-	Each test threat to be specified by armor manufacturer or procuring organization.				Armor performance and shot requirements shall depend on armor type.								

*Target measurement velocity. Fair hit measurement velocities must be within ± 9.1 m/s (± 30 ft/s) of this value, as defined in Section 7.6.

¹Each armor that is to be shot at angles other than 0° shall be shot once at a 30° angle and once at a 45° angle.

Çizelge 2.8. Vpam balistik seviyeler

Test level	Type of weapon	Calibre	Ammunition and projectile			Test conditions	
			Type	Mass [g]	Manufacturer Type	shot distance [m]	Bullet velocity [m/s]
1	K/L	22 Long Rifle	L/RN	2,6 ± 0,1	Winchester	10 + 0.5	360 ± 10
2	K	9 mm Luger ⁵⁾	FMJ/RN/SC, tinned	8,0 ± 0,1	DAG, DM 41	5 + 0.5	360 ± 10
3	K	9 mm Luger ⁵⁾	FMJ/RN/SC, tinned	8,0 ± 0,1	DAG, DM 41	5 + 0.5	415 ± 10
4 ¹⁾	K	357 Magnum	FMJ/CB/SC	10,2 ± 0,1	Geco	5 + 0.5	430 ± 10
		44 Rem. Mag.	FMJ ³⁾ /FN/SC	15,6 ± 0,1	Speer	5 + 0.5	440 ± 10
5	K	357 Magnum	FM/CB	7,1 ± 0,1	DAG special	5 + 0.5	580 ± 10
6	L	7,62 x 39	FMJ/PB/FeC	8,0 ± 0,1 core 3,6	PS cold hardened	10 + 0.5	720 ± 10
7 ¹⁾	L	223 Rem. ²⁾	FMJ/PB/SCP	4,0 ± 0,1	MEN, SS 109	10 + 0.5	950 ± 10
		308 Win.	FMJ/PB/SC	9,55 ± 0,1	MEN, DM 111	10 + 0.5	830 ± 10
8	L	7,62 x 39	FMJ/PB/HCI	7,7 ± 0,1 core 4,1 hardness 65 HRC	BZ	10 + 0.5	740 ± 10
9	L	308 Win. ³⁾	FMJ/PB/HC	9,70 ± 0,2 core 4,0 ± 0,1 hardness 62 ± 2 HRC	MEN/CBC, FNB, P 80	10 + 0.5	820 ± 10
10	L	7,62 x 54 R	FMJ/PB/HCI	10,4 ± 0,1 core 5,3 hardness 63 HRC	B32	10 + 0.5	860 ± 10
11	L	308 Win. ³⁾	FMJ/PB/WC	8,4 ± 0,1 core 5,9	Nammo, AP 8	10 + 0.5	930 ± 10
12	L	308 Win. ³⁾	FMJ/PB/WC	12,7 ± 0,1 core 5,58 hardness 1330 HV 10	SWISS P AP	10 + 0.5	810 ± 10
13	L	50 Browning	FMJ/PB/HC	43,0 ± 0,5 core 35,0 hardness 55 ± 2 HRC	SWISS P penetrator	⁶⁾	930 ± 20
14	L	14,5 x 114 ⁴⁾	FMJ/PB/HCI	63,4 ± 0,5	B32	⁶⁾	911 ± 20
The rates of twist can be gathered from the dimension sheets (TDCC) of the C.I.P.							

2.5 Grafen

Doğada 3 boyutlu olarak bulunan grafitin 2 boyutlu haline, karbonun allotrobu olan grafen denilmektedir. 2004 yılında grafenin keşfi, 2010 yılında Nobel Fizik ödülüne layık görülmüştür (Url-2, 2021). Grafenin dünya üzerinde bilinen ve sentezlenen ilk iki boyutlu ve tek katmanlı malzeme olduğu bilinmektedir (Url -7, 2021). Kullanım alanları arasında mekanik, elektronik, termal ve optik özellikleri sebebiyle nanoteknoloji ürünü malzemelerde, nanoeletromekanik sistemlerde, mikro elektronik ürünlerde, sensör teknolojisinde, enerji sektörü cihazlarında ve diğer teknolojik ürünler vardır. Elektriksel özelliklerinden dolayı FET (Alan etkili transistör) üretiminde kullanılmaktadır ve daha uzun ömürlü pil üretimine uygunluğu görülmektedir. Ayrıca kullanıma uygulamaları arasında daha spesifik olarak, radyoaktif atıkların temizliğinin kolaylaştırılması, hızlı usb ler, daha spor ekipmanları, elektronik kağıtlar, biyosensör, su geçirmeyen kıyafetler, hafif uçak koruma ekipmanları, doku yenileme yardımcı malzemesi, tuzlu sudan içilebilir su dönüşümü, nöronlara doğrudan bağlanabilir biyonik cihaz üretimidir (Url-5, Url-9, 2021). Silisyum tabanlı elektronik ürünlerin geleceğinde olabileceği düşünülmektedir. Keşfedilmesinden bu yana üretimi için çeşitli sentez yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin bazıları, kimyasal buhar biriktirme (CVD), altlık üzerinde epitaksiyel büyüme, karbon nanotüplerin açılması, çözelti bazlı eksfoliyasyon, çeşitli eksfoliyasyonlar, keşfini sağlayan metot olan katman ayırma yöntemi ve yüksek miktartlı üretimine imkan veren en iyi yöntem olan kimyasal ayrıştırma yöntemidir. Atomik yapısı 2 karbona sahip üçgensel örgülü bir yapıdır (Dericiler, 2020).

BÖLÜM III

MATERYAL VE METOT

Çalışmamız üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İzlenen yöntemler ve bulgular detaylı olarak ilerleyen sayfalarda verilmiştir.

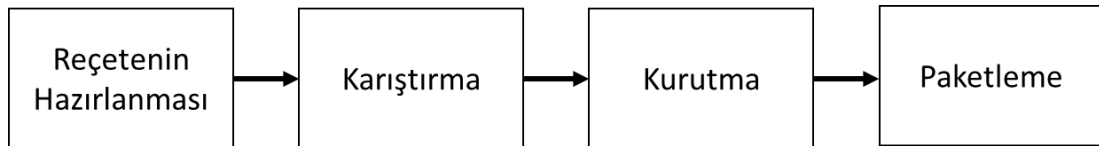
1. Aşama: Üretim parametrelerinin tespiti ve toz metalürjisi ile üretim
2. Aşama: Grafen üretimi ve kaplamasının (transferinin) yapılması
3. Aşama: Laboratuvar testleri ve ölçümler

3.1 Üretim parametrelerinin tespiti ve toz metalürjisi ile üretim

Bu bölümde toz metalürjisi yöntemi ile silisyum karbür seramiğin üretilmesi anlatılmaktadır.

3.1.1 Silisyum karbür toz yarı mamulün üretilmesi

Silisyum karbür toz üretimi çalışmanın ilk prosesini ve adımını oluşturmaktadır. Aynı zamanda toz metalürjisinin ilk adımı olan bu proses ana hatları ile Şekil 3.1’de gösterilen 4 farklı alt prosten oluşmaktadır. Toz üretimi sırasında meydana gelebilecek hatalar (yabancı madde karışımı, nem yanlışlığı, proses hataları, vb.) presleme ve sinterleme proseslerindeki kalitesel hataları artırarak son ürünün istenilen seviyede üretilmemesine neden olur.

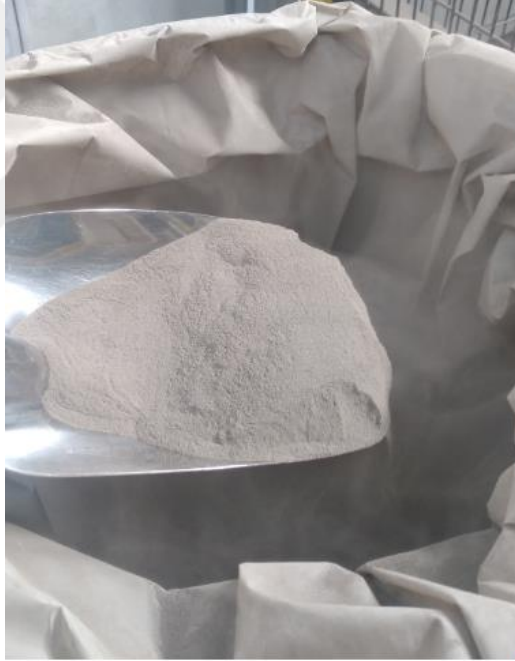


Şekil 3.1. Toz üretimi prosesleri

Belirli miktarlardaki silisyum karbür toz hammaddeler ve çeşitli toz ve sıvı bağlacılar hazırlandıktan sonra Şekil 3.2’de gösterilen karışma makinesi yardımıyla karıştırılmıştır. Karıştırılan seramik tozlar elek yardımı ile 0,55 µm boyutlara indirilerek yaklaşık 125 °C kurutulmuştur. Preslenebilecek, basıma hazır silisyum karbür tozu Fotoğraf 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Toz tartım cihazı



Fotoğraf 3.1. Basıma hazır silisyum karbür toz yarımamöl

3.1.2 Presleme

20 kg olarak istenilen nem seviyesinde paketlenmiş silisyum karbür tozu, Fotoğraf 3.2’de gösterilen hidrolik pres ile 100 bar da yaklaşık 10 saniye de soğuk (ısıtılmadan) şekilde preslenerek 12x7x95 mm ölçülerinde preslenmiş silisyum karbür çubuklara dönüştürülmüştür.



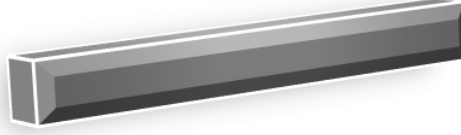
Fotoğraf 3.2. Toz pres makinesi

Presleme işlemi sırasında ölçüsel kalite probleminin (dökülme, yapışma, sıyrılma, çizilme, vb.) görülmemesi için kalıp yüzeylerine her 30 dakikada bir Fotoğraf 3.3’de gösterilen kalıp ayırıcı uygulanmıştır.



Fotoğraf 3.3. Kalıp ayırıcı

Presleme işleminde 150 adet Şekil 3.3'te gösterilen 12x7x95 mm Silisyum Karbür çubuk üretilmiştir.



Şekil 3.3. Preslenmiş silisyum karbür çubuk

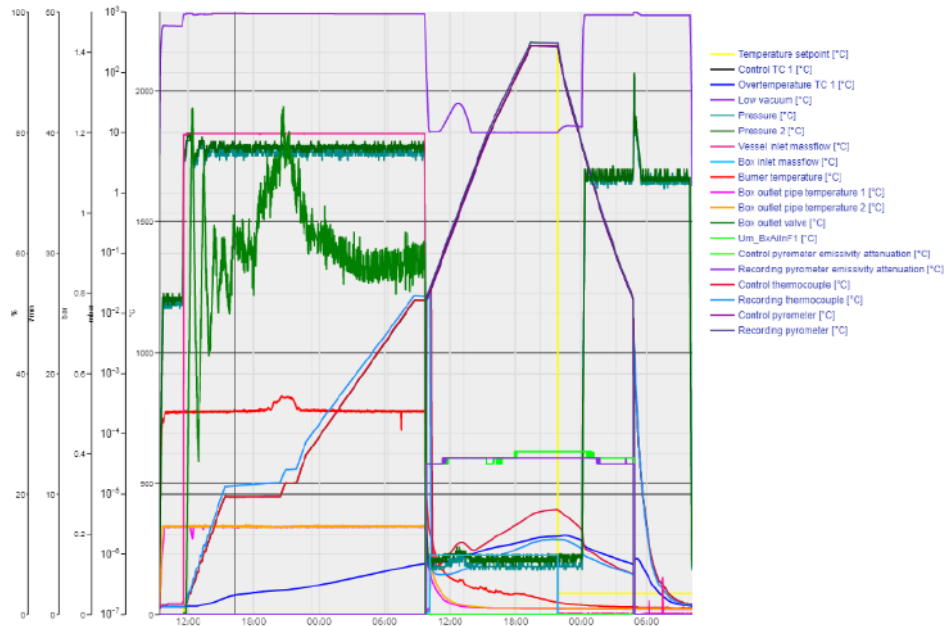
3.1.3 Sinterleme

Preslenmiş 150 Silisyum Karbür çubuğun, sinter tepsilerine dizildikten sonra Fotoğraf 3.4'te gösterilen sinter fırınında, vakum altında maksimum ısıtma noktası 2300 °C olacak şekilde farklı sıcaklıklarda toplam 80 saat kalarak sinterleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sinterleme işlemi ısıtma, sinterleme sıcaklığında bekleme ve soğutma olmak üzere 3 ana işlemde gerçekleşmiş olup, toplam sinterleme süresinin (80 saat) % 58 ısıtma, % 4 bekleme, %38 soğutma işlemi için harcanmıştır.



Fotoğraf 3.4. Silisyum karbür sinter fırını

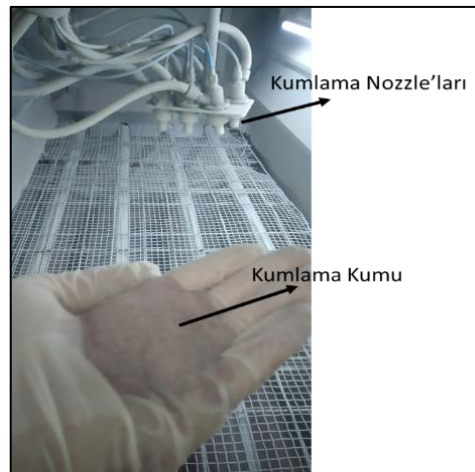
Sinterleme işlemi boyunca sinter parametreleri sürekli olarak sinter fırının parametre ünitesinden kontrol edilmiştir. Kontrol edilen parametre grafiği örneği Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Sinter fırın parametre grafiği

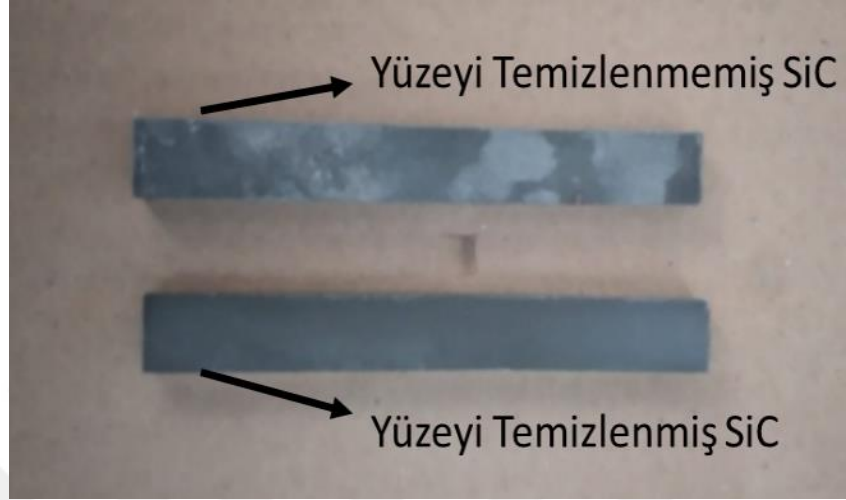
3.1.4 Yüzey temizleme

Sinterlenmiş SiC Çubuklar'ın sinterleme işlemi sırasında yüzeylerinde oluşan cürufları temizlemek için önce Garnet Kumlama kumu ile Şekil 3.6'da gösterilen kumlama sistemi yardımıyla ön yüzeyleri kumlanmış daha sonra tüm silisyum karbür çubuklar ters çevrilmiş ve arka yüzeylerinin kumlaması yapılmıştır. Kumlama işlemi her bir yüzeyde 5 toplam yaklaşık 10 dakikada tamamlanmıştır.



Şekil 3.5. Kumlama sistemi

Kumlama işleminin ardından silisyum karbür çubukların yüzeylerinde bulunan kumlama tozunun temizlenmesi için su altında ikinci bir yüzey temizleme işlemi yapılmıştır. Yüzeyleri temizlenmemiş ve temizlenmiş SiC çubuk resimleri Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.6. Yüzeyi temizlenmiş ve temizlenmemiş seramik çubuklar

3.1.5 Silisyum karbür çubukların kullanımı

Birbirinden farklı 150 Silisyum Karbür çubuk üretilmiş olup, boyutsal ölçümleri bir birine yakın SiC Çubukların 58 adedi mekanik testler, 50 adedi balistik testler için ayrılmıştır. 12x7x95 mm ölçülerinde üretilen SiC çubukların balistik testlerinin yapılması için balistik bir standart olmadığı için 50 adet SiC çubuk kullanılarak aynı konfigürasyona sahip 2 farklı balistik panel üretilmiştir.

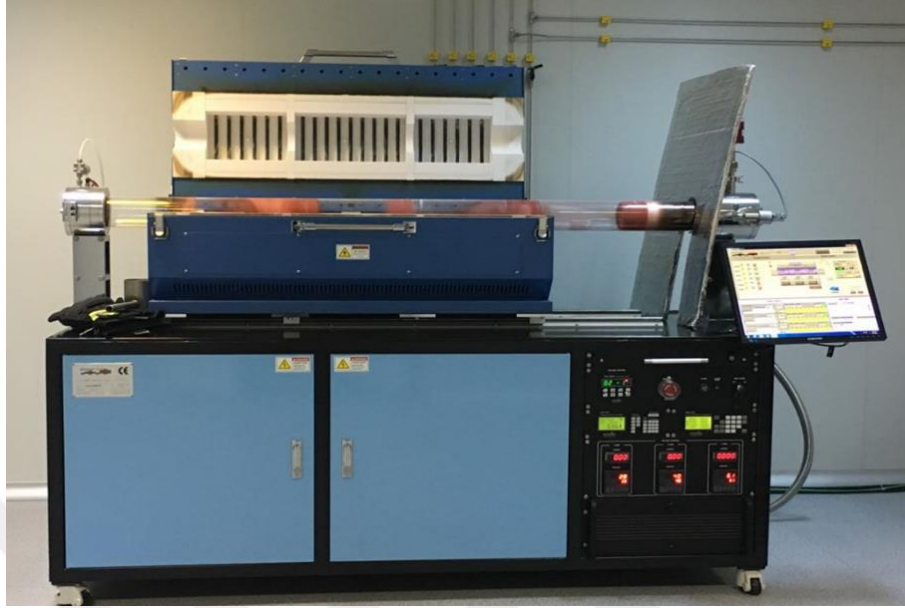
3.2 Grafen Üretimi ve Kaplamasının Yapılması

Bu bölümde grafenin sentezlenmesi, SiC çubuk ve panel üzerine kaplaması (transferi) anlatılmaktadır.

3.2.1 Grafenin sentezlenmesi

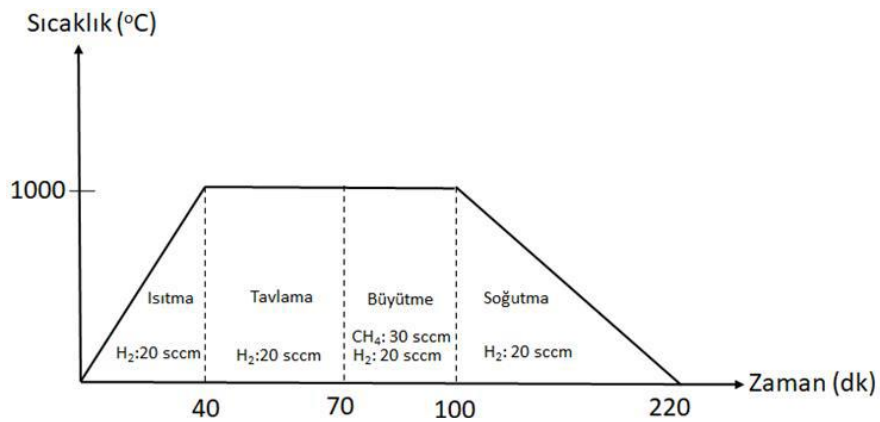
Grafen sentezi Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD) yöntemi ile yapılmıştır. Kullanılan CVD sistemi 3 bölme ve 6 gaz girişine sahip olup, kullanılan CVD sistemi Fotoğraf 3.5’te gösterilmektedir. Grafen sentezinde Metan (CH_4) ve Hidrojen (H_2) olmak üzere 2 temel

kaynak maddesi kullanılmıştır. Proseste gerekli karbon için kaynak olarak %99,99 saflıkta Metan gazı kullanılmış olup, hidrojen için ise %99,99 saflıkta Hidrojen gazı kullanılmıştır.



Fotoğraf 3.5. Grafenin sentezlenmesi için kullanılan CVD sistemi

Grafen sentezi için CVD fırın içerisinde bulunan kuartz tüpün çapı 10, uzunluğu 85 cm olup sentezleme prosesinin gerçekleşeceği fırın alanı yaklaşık olarak 25 cm boyutlarındadır. Grafen sentezinde düşük karbon yoğunluğu, ekonomiklik, vb. önemli özelliklerden kaynaklı alt-taş olarak bakır kullanılmıştır. Homojen tek ve çift kat grafen elde etmek için Grafen sentezi 4 aşamada gerçekleştirilmekte olup Şekil 3.7’de grafen sentezleme süreci ve parametreleri ana hatları ile gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Grafen sentez süreci

Genel olarak grafen sentezleme işlemleri özetlendiğinde; Ön temizleme işlemi uygulanan bakır alt-taş kuartz boru içerisine yerleştirilir. Ardından uygun görülen tavlama büyütme süreleri ve gaz oranları uygulanarak, CVD içerisinde grafen sentezleme işlemi gerçekleştirilir. İşlemin tamamlanmasının ardından hızla soğutma işlemi uygulanarak grafen sentez süreci tamamlanır (Altuntepe, 2019).

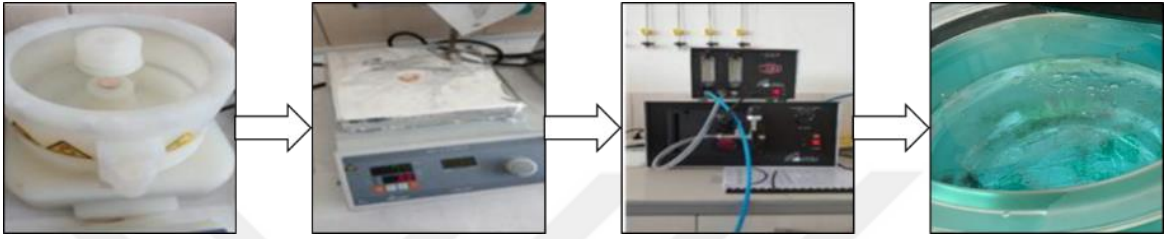
Isıtma, tavlama, büyütme ve soğutma olmak üzere 4 aşamada tamamlanan grafen sentezi 1000 °C sabit sıcaklıkta yaklaşık 10^{-1} mTorr vakum altında gerçekleştirilmiş olup, grafen sentezi için uygulanan gaz oranları ise 20 sccm H₂ 30 sccm CH₄ olarak belirlenmiştir.

3.2.2 Grafen kaplamasının (transferinin) gerçekleşmesi

Grafen sentezleme prosesi tamamlandıktan sonra, sentezlenmiş grafenin silisyum karbür seramik çubukların ve balistik panellerin yüzeylerine uygulanarak sağladığı özelliklerin tespitinden önce, grafenin bakır alt-taştan ayrılarak başarılı şekilde transferinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

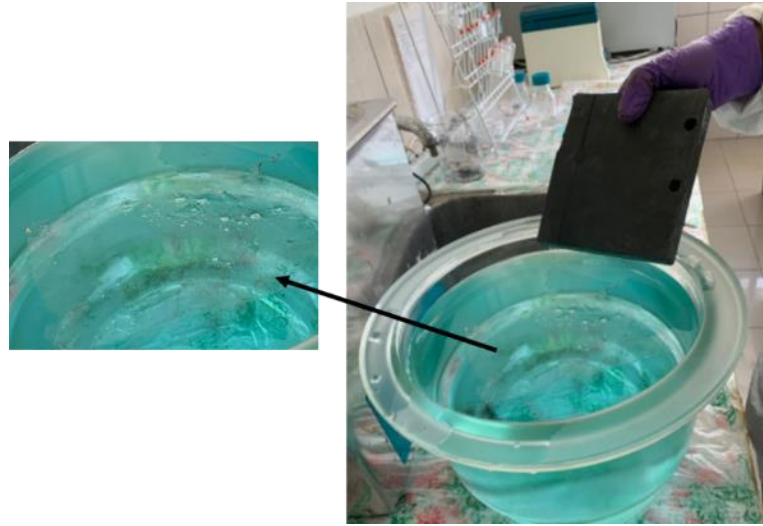
Sentezlenmiş grafenin bütünlüğünün bozulmadan transferin gerçekleşmesi için önceki yapılan çalışmalardan yararlanılmıştır. Bu kapsamda; Grafenin transferinin yapılması için “wet transfer” tekniği kullanılmıştır. Bu teknikte, transfer işlemi sırasında grafen havada asılı formda olduğu için eğer bu proses çok hassas ve özensiz yapılırsa, kırılma ve grafenin deforme olması ile sonuçlanabilir. Grafenin bütünlüğünün korunarak, kontamine olmadan ve en az kimyasal sarfiyatı ile transferin başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi transfer sırasındaki önemli adımlardan biridir. Transferin gerçekleştirilebilmesi için ilk olarak grafenin sentezi sırasında kullanılan alt-taş yüzeyinden (bakır yüzeyden) ayrıştırılmalıdır. Ayrıştırma işlemi sırasında grafen yüzeyinin deforme olmasını engellemek (grafen yüzeyinin korunması) amacıyla grafen yüzeyi poly methyl methacrylate (PMMA) adı verilen polimerle 90 sn 2500 rpm de çalışan döndürmeli kaplama cihazı kullanılarak kaplanmıştır. Kaplama sonrasında bakır yüzeyler üzerinde üretilen grafen 0.1 molar ammonium persulphate ((NH₄)₂S₂O₈) çözeltisi ve demir klorür (FeCl₃) çözeltisi ile üretildiği yüzeyden ayrıştırılmıştır. Bakır folyo (NH₄)₂S₂O₈ çözeltisi içinde çözüldükten sonra çözelti yüzeyinde bulunan grafen+polimer yapısı çözücü artıklarını uzaklaştırmak amacıyla birkaç kez saf su banyosundan geçirilmiştir. Daha sonra grafen, uygun görülen alt-taş üzerine daldırma (fishing) yöntemiyle transfer

edilmiştir. Grafenin alt-taş yüzeyine transferi sonrası alt-taş ısıtıcı tabla üzerinde yaklaşık 50-60 °C sıcaklıkta 3 dakika boyunca ısıtılmıştır. Bu ısıtma işlemindeki ana amaç alt-taş ve grafen arasındaki adezyonun (birbirinden farklı yüzeylerin birbirine yapışma eğilimi) artırılmasını sağlamaktır. Böylece grafen ve alt-taş arasında oluşması muhtemel boşluklar (buble) engellenebilecek ve kontak kusurları azaltılabilecektir (Altuntepe, 2019). Sentezlenmiş grafenin transferi sürecinde uygulanan adımlar Şekil 3.8’de gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Grafen transfer aşamaları

1 nanometre kalınlığında grafen içeren yapının balistik panel üzerine transferi Şekil 3.9’da gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Balistik panel grafen transferi

Transfer ve kurutma işlemlerinden sonra kullanılan polimer tabaka aseton ile grafenden uzaklaştırılmıştır. Polimer artıklarının yapıdan giderilmesi için aseton uygulaması birkaç defa tekrarlanmıştır. Grafen transferi gerçekleşmiş balistik zırh paneli Fotoğraf 3.6’da gösterilmektedir.



Fotoğraf 3.6. Grafen transferi gerçekleşmiş zırh paneli

29 farklı SiC ubuğun yüzeylerine; tek kat, çift kat ve çift yüzey tek kat olacak şekilde grafen transferi gerçekleştirilmiştir. SiC ubuk yüzeylerine transferi gerçekleşen Grafen detayları izelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. SiC çubuk grafen transfer detayı

Numune No	Transfer Yüzeyi	Transfer Detayı
37	Tek Yüzey	Tek Kat
40	Tek Yüzey	Tek Kat
49	Tek Yüzey	Tek Kat
58	Tek Yüzey	Tek Kat
65	Tek Yüzey	Tek Kat
83	Tek Yüzey	Tek Kat
86	Tek Yüzey	Tek Kat
91	Tek Yüzey	Tek Kat
94	Tek Yüzey	Tek Kat
19	Çift Yüzey	Tek Kat
25	Çift Yüzey	Tek Kat
27	Çift Yüzey	Tek Kat
44	Çift Yüzey	Tek Kat
47	Çift Yüzey	Tek Kat
52	Çift Yüzey	Tek Kat
61	Çift Yüzey	Tek Kat
68	Çift Yüzey	Tek Kat
95	Çift Yüzey	Tek Kat
2	Tek Yüzey	Yarı Tek Yarı Çift
15	Tek Yüzey	Yarı Tek Yarı Çift
22	Tek Yüzey	Yarı Tek Yarı Çift
30	Tek Yüzey	Yarı Tek Yarı Çift
33	Tek Yüzey	Yarı Tek Yarı Çift
72	Tek Yüzey	Yarı Tek Yarı Çift
73	Tek Yüzey	Yarı Tek Yarı Çift
76	Tek Yüzey	Yarı Tek Yarı Çift
81	Tek Yüzey	Yarı Tek Yarı Çift
138	Tek Yüzey	Yarı Tek Yarı Çift
147	Tek Yüzey	Yarı Tek Yarı Çift

Grafen transferi gerçekleşmiş Silisyum Karbür seramik çubuk Fotoğraf 3.7.'de gösterilmektedir.



Fotoğraf 3.7. Tek yüzey tek kat grafen transferi gerçekleşmiş SiC çubuk

3.3 Laboratuvar Testleri ve Ölçümler

Bu bölümde SiC çubukların üretim esnasında ve grafen kaplandıktan sonra yapılan testler ve alınan ölçümleri (nemlilik, tane boyutu, boyutsal ve ağırlıksal ölçümler, yoğunluk ölçümü, 3 nokta basma, sertlik, mikro yapı ve XR) içirmektedir. Ayrıca bu bölümde Grafen kaplanmış panellerin balistik testleri de anlatılmaktadır.

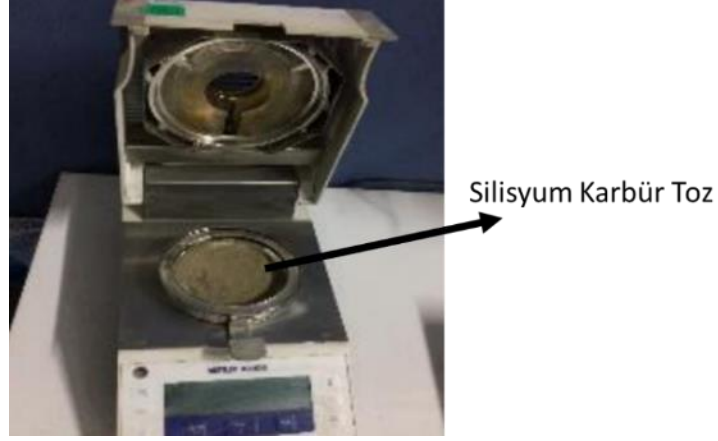
3.3.3 Silisyum karbür toz üretimi esnasındaki ölçümler ve analizler

Silisyum karbür toz üretimi yapılırken, üretimin kararlılığının tespit edilmesi için karıştırma prosesinden sonra her 10 dakikada bir prosesi tamamlanmış silisyum karbür tozun nemliliği Şekil 3.10'da gösterilen nem cihazı ile ölçülmüştür. Nem ölçümü için her seferinde 3.0 gram silisyum karbür tozu nem cihaz haznesine homojen şekilde yayılmıştır.



Şekil 3.10. Nem ölçüm cihazı

Kurutma işlemi tamamlanmış ve paketlenmiş Silisyum Karbür tozların presleme prosesine gönderilmeden önce, paketlenmiş tozun 10 farklı bölgesinden nem ölçümü Şekil 3.10'da gösterilen nem ölçüm cihazı ile alınmıştır. Nem ölçümü Şekil 3.11'de gösterildiği gibi yapılmıştır.



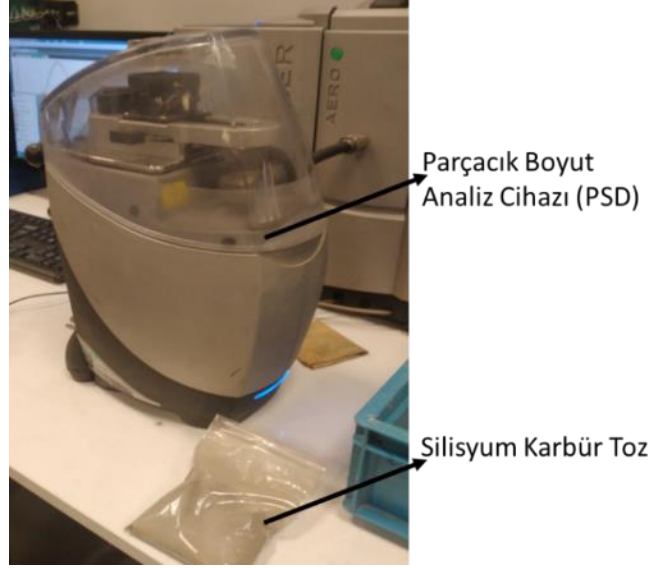
Şekil 3.11. Nem ölçüm cihazı kullanımı

Üretilmiş ve nem aralığı kontrol edilmiş silisyum karbür tozlar, presleme prosesine gönderilmeden önce tanecik boyutlarının tespiti (çapını, vb.) Şekil 3.12’de gösterilen Rigaku Thermo Plus Evo Tg8120 isimli Lazer ışıklı parçacık boyut analiz cihazında Şekil 3.13’de gösterildiği gibi, silisyum karbür toz içerisindeki malzemelerin detaylarını ve fazlarının tespiti Şekilde 3.14’te gösterilen Rigaku Ultima IV isimli XRD cihazı kullanımı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.12. Parçacık boyut analizi (PSD)

Lazer kırınım yönteminin temeli, tanelerin büyüklüğü ile ışınların kırılma açısı arasındaki ters orantı ilişkisine dayanmaktadır. Lazer kırınım yönteminde, tanelerin üzerine lazer ışınları gönderilmekte ve tanelere çarparak kırılan ve ileri yönde yansıyan ışınlar bir mercekten geçtikten sonra dedektörün üzerine düşmektedir. Dedektörün üzerine düşen ışınlar bir dönüştürücü vasıtasıyla sayısallaştırılarak bilgisayar aracılığıyla tane büyüklüğü ve yüzdesi hesaplanmaktadır (Orhan ve Özer, 2007). Silisyum Karbür tozunun Parçacık Boyut Analizi Şekil 3.13’de gösterildiği gibi yapılmıştır.



Şekil 3.13. SiC parçacık boyut analizi (PSD)

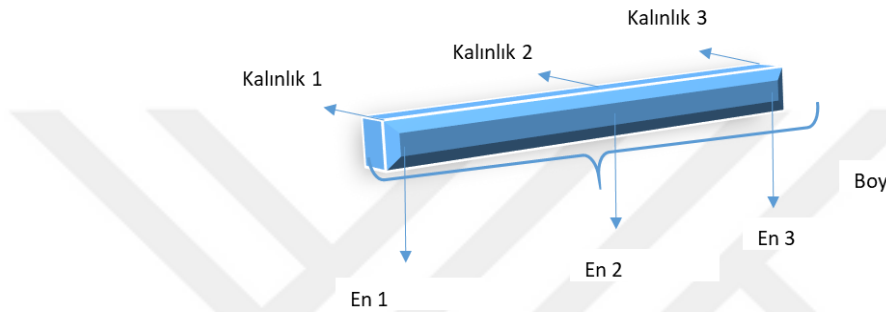
XRD yani, X-ışını difraksiyonu, malzemelerin kristallografik özelliklerinin ve içerdikleri fazların belirlenmesini sağlayan hasarsız analiz yöntemidir. Toz numunelere uygulanan X-ışını difraksiyonu sonucu kristal yapısının yanı sıra, tane boyutu ve tercihli yönlenme gibi özellikler belirlenebilir. Aynı zamanda, içerdği fazlar hakkında bilgi sahibi olunmayan numunelerin analizi sonucunda elde edilen verilerin ilgili veri tabanı ile karşılaştırılması sonucu numunenin içerdği fazlar belirlenebilir. Rietveld analizi gibi yöntemlerin kullanılmasıyla numunenin içerdği bileşiklerin göreceli olarak miktarsal oranları belirlenebilir (Url-1, 2021).



Şekil 3.14. XRD cihazı

3.3.4 Preslenmiş ürünlerin, boyutsal ölçümlerinin yapılması

Presleme işleminde 150 adet Silisyum Karbür çubuk üretilmiş ve her üretilen SiC çubuğun boyutsal ölçümleri Şekil 3.15'te gösterilen 7 farklı noktadan kumpas ile alınmıştır (3 en, 3 kalınlık, 1 uzunluk). Preslenen ürünün toz olmasından kaynaklı ölçüm yapılırken ki en önemli faktör, ürünlerin en ufak bir darbede kırılması veya preslenmiş toz yapının belirli bölgelerinden dökülmesidir. Bu sebeple ölçümler yüksek titizlikle alınmıştır.



Şekil 3.15. Silisyum karbür çubuğun ölçümlendiği bölgeler

3.3.5 Sinterlenmiş ürünlerin boyutsal ve ağırlık ölçümleri

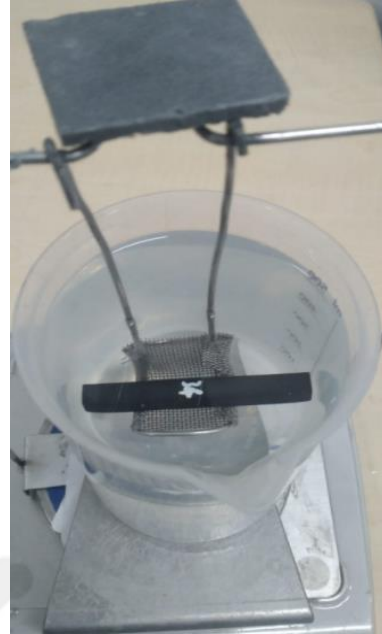
Yaklaşık 80 saat süren sinterleme işleminden sonra, silisyum karbür çubukların boyutsal ölçümlerinde meydana gelen değişikliklerin tespit edilebilmesi için, presleme anında Şekil 3.15'de gösterildiği gibi 7 farklı noktadan alınan boyutsal ölçümler kumpas yardımıyla yinelenmiştir (3 en, 3 kalınlık, 1 uzunluk). Sinterlenmiş seramiklerin bütünsel yapısı bozulamayacağı için preslenmiş seramiklerin ölçümü kadar hassas ölçülme zorunluluğu olmamıştır.

3.3.6 Yüzeyi temizlenmiş seramik ürünlerin havada ve suda ağırlığının alınması ve yoğunluk hesabının yapılması

Üretimi tamamlanmış 150 adet silisyum karbür çubuğun yoğunluk hesabı Arşimet yoğunluk hesabına göre yapılmıştır. 150 silisyum çubuğun numara sırasına göre ilk olarak havada ağırlıkları alınmış, daha sonra metal bir askı ile saf suya daldırılarak sudaki ağırlıkları incelenmiştir. Havada ve suda ağırlık hesapları Şekil 3.16'da gösterilen ölçüm mekanizması ile yapılmıştır.



a) Havada ağırlık ölçümü



b) Suda ağırlık ölçümü

Şekil 3.16. Havada ve suda ağırlık ölçüm mekanizması

3.3.7 SiC seramiklerin mikro yapı analizlerinin yapılması

Üretimi tamamlanmış silisyum karbür seramik çubukların iç yapılarının incelenmesi için mikro yapı analizi yapılmıştır. Mikro yapı analizi yapılmak üzere seçilen SiC çubuk Şekil 3.17 'de gösterilen kesme cihazında kesilmiş, zımparalama ve yüzey parlatma işlemleri yapılmıştır. Sabit ve hatasız ölçüm için Şekil 3.18'de gösterilen cihazda bakalite alınmış ve ürün mikro yapısı incelenmek üzere hazır hale getirilmiştir. Silisyum Karbür çubukların mikro yapı analizleri için Şekil 3.19'da gösterilen optik mikroskop kullanılmıştır.



a) Kesme cihazı



b) Zımparalama ve parlatma

Şekil 3.17. Kesme, zımparalama ve parlatma cihazları



a) Bakalit Alma Cihazı



b) Bakalite Alınmış SiC Çubuk Parça

Şekil 3.18. Bakalit cihazı ve bakalite alınmış silisyum karbür



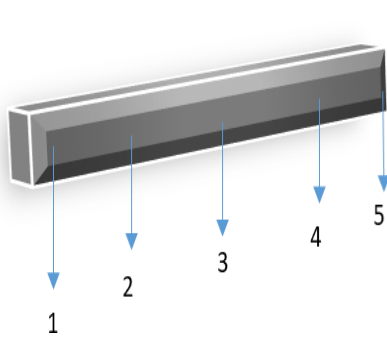
Şekil 3.19. Optik mikroskop

3.3.8 SiC seramik ile grafen kaplı sic seramik ürünlerin mekanik özelliklerinin tespit edilmesi

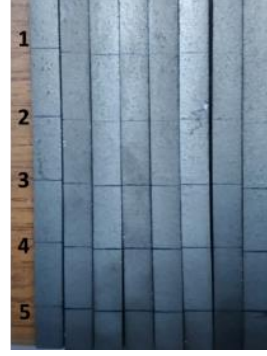
Bu bölümde SiC çubuklar ile Grafen kaplanmış SiC çubukların mekanik özellikleri sertlik ve 3 nokta basma testleri uygulanarak incelenmiştir.

3.3.8.1 Sertlik testi

Sertlik testleri Şekil 2.21' de gösterilen Vickers Sertlik Cihazı kullanılarak yapılmış olup her bir Silisyum Karbür çubuk yüzeyinin 5 farklı bölgesinden sertlik ölçümü alınmıştır. Sertlik ölçümünün alındığı bölgeler Şekil 3.20'de gösterilmiştir.



a) Sertlik ölçümü yapılan yüzey noktaları



b) Sertlik testi öncesi yüzey noktalarının işaretlenmesi

Şekil 3.20. Sertlik ölçümü yapılan yüzey noktaları



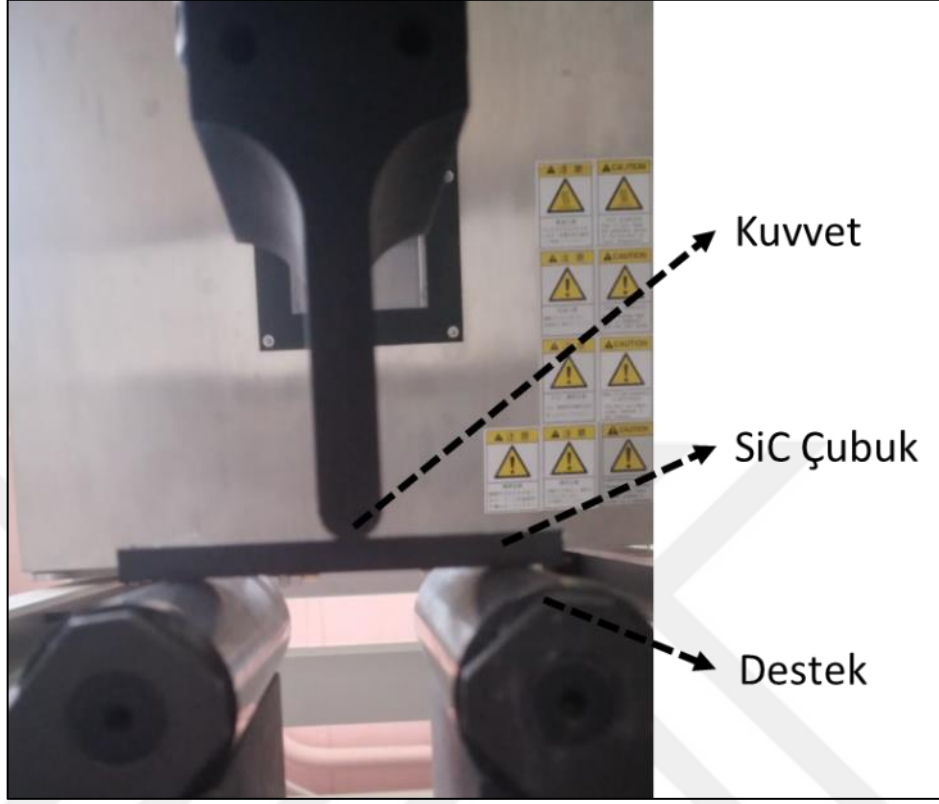
Şekil 3.21. Vickers sertlik ölçümünün yapılması

3.3.8.2 3 nokta basma testi

TS EN ISO 7438 nolu Standarda göre yapılan 3 nokta basma testi hazırlanan numunelerin 2 noktadan bilinen L kadar mesafeli olarak serbest bırakılarak tam orta noktasından yük uygulandığında, numune üzerinde meydana gelen gerilmeler ve deformasyon değerlerinin ölçüldüğü ve ilgili malzemenin eğilmeye karşı direncini gösteren bir testtir (3 Nokta Eğme Deneyi, 2016).

Yüzeylerine grafen kaplanmış Silisyum Karbür çubuklar ile kaplanmamış SiC çubukların yük altındaki davranışlarını inceleyerek, kopma noktalarını kıyaslamak amacı ile 3 nokta eğme testi yapılmıştır. Her bir Silisyum Karbür çubuk Şekil 3.22'deki gibi test düzeneğine, basma kuvvetinin SiC çubukların boyutsal olarak tam ortasına denk gelecek

şekilde yerleştirilmiştir. 3 Nokta Eğme Testi Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mekanik Laboratuvarında ki 100 kN shimatsu ortograf test cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.22. 3 Nokta basma test düzeneği

3.4 Balistik Test Gerçekleştirme

Bu tez kapsamında balistik koruma seviyesi ve balistik performans için iki farklı balistik test standart referans alınmıştır. Bunlar TS EN 1522 ve NIJ 0101.06 balistik standartlarıdır. TS EN 1522 Seviye FB7 ve NIJ 0101.06 Seviye III balistik koruma seviyesine göre Çizelge 3.2.' de verilen özelliklere sahip 2 adet SiC Zırh Paneli atış numuneleri üretilmiştir.

Çizelge 3.2. Balistik test yapılacak zırh panellerinin özellikleri

Balistik Test Numunesi	En-Boy(mm)	Ağırlık(g)	Özellik
Numune-1	135x150	754 gr $\pm$ 5 gr	Grafensiz
Numune-2	135x150	754 gr $\pm$ 5 gr	Grafen Kaplı

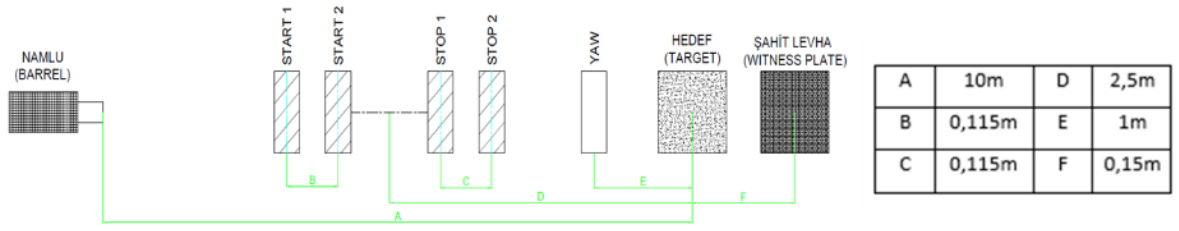
İstenen balistik koruma seviyesine sahip numuneler Fotoğraf 3.8.' de gösterilmiştir.



Fotoğraf 3.8. Balistik test numuneleri

Numune-1 olarak adlandırılan ürün grafen kaplama prosesi yapılmadan üretilen 135x150 mm lik atış numunesidir. Grafen kaplamanın etkisinin ölçülmesi için karşılaştırma amaçlı üretilmiş ve balistik teste tabi tutulmuştur. Numune-2 olarak adlandırılan ürün ise grafen kaplanarak üretilmiş 135x150 mm lik atış numunesidir. Grafenin etkisinin görülmesi için balistik teste tabi tutulmuştur.

Bu tez kapsamında, Nurol Teknoloji Balistik Test Laboratuvarında yapılan balistik testin düzeneği Şekil 3.23'te verilmiştir. Balistik test düzeneğinde ateşli silah olarak kullanılan namlu 50 m ye kadar uzaklaşabilen bir yapıya sahiptir. 9,19 kalibre den 14,5x114 kalibre olan mühimmatları atma kapasitesine sahiptir. İlgili balistik lab. NIJ 0101.06, NIJ 0101.04, STANAGC2920; 30 kalibre 22 kalibre ve 50 kalibre, STANAG 4569 Seviye 1,2,3,4, TS EN 1063, TS EN 1522 ve MIL-PRF-46103 balistik standartlarında akreditedir. Hız ölçüm düzeneği 2 adet START ve 2 adet STOP sensörüne sahip ışık bariyeri ile merminin hız ölçümünü yapabilmektedir. Hedef sehpa, 0 dereceden 180 dereceye kadar ayarlanabilen ve standartların talep ettiği 500x500 mm lik numunelere ilaveten 2x1,5 m lik standart dışı zorlama atışları da yapılabilir. Numunelerin ağırlığı ortalama olarak 65 kg olmakla birlikte yüksek ağırlık numunelerde sabitlenebilmektedir. Şahit levha olarak da 0,2 mm 0,5 mm kalınlığında özel folyolar kullanılabilir. STANAG 4569, STANAG 2920, TS EN 1063 ve TS EN 1522 balistik test standartlarında şahit levha istenmektedir. Şahit levhanın kullanım amacı, balistik test sonrası, numuneye yapılan atıştan sonra numunenin yani ürünün etrafına olan etkisini görmek içindir.

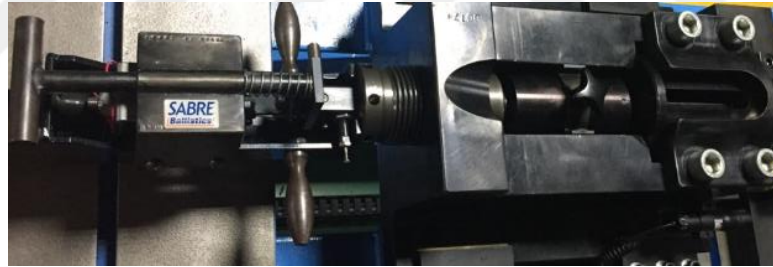


Şekil 3.23. Balistik test düzeneği

Test düzeneğinde mermi atma maksadıyla kullanılan namlunun özellikleri Çizelge 3.3’te de verilmiştir. Hazırlanan namlu ise Fotoğraf 3.9.’ da gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Namlu özellikleri

Namlu Bilgileri	
Kalibre (Caliber)	7,62X51
Üretici (Manufacturer)	SABRE BALLISTICS
Seri No (Serial)	4552
Uzunluğu (Length)	600
Yiv-Set Oranı (Twist Rate)	1/305



Fotoğraf 3.9. Atış için hazırlanan namlu

Balistik testin yapılması için kullanılan mühimmat tipi Çizelge 3.4’te verilmiştir. Mühimmatın hazırlanması Fotoğraf 3.10’ da gösterilmiştir. TS EN 1522 FB7 seviye mühimmatı olan 7,62x51 M61 olarak bilinen bu mühimmat ucu kurşun kaplamalı, sertleştirilmiş çelik çekirdekli, pirinç kasa içerisinde bakır kılıflı zırh delici mermiye sahip bir mühimmat türüdür.

Çizelge 3.4. Kullanılan mühimmat özellikleri

	Mühimmat Bilgileri	
	Tip	M61
	Tedarikçi	MKE
	Çekirdek Sertliği	60 HRC
	Mermi Ağırlığı	9,7g
	Barut Tipi/Miktarı	7,62 / 39,7 Gr



Fotoğraf 3.10. Mühimmatın hazırlanması

Balistik test düzeneği ve ortam koşulları öncelikli olarak balistik olarak istenen ya da beklenen koruma seviyesine ve standarda göre hazırlanır. Deney süresinden 12 saat öncesinde balistik test laboratuvarı ortam koşulları 18 ± 5 olacak şekilde koşullandırılmıştır. İstenen standart ve koruma seviyesine göre Çizelge 3.3’ de verilen özelliklere sahip namlu Fotoğraf 3.9’daki gibi ve Çizelge 3.4’ de özellikleri verilen tipte mühimmat Fotoğraf 3.10’daki gibi hazırlanmıştır.

Çizelge 3.2’ de özellikleri verilen ve Fotoğraf 3.8’ de gösterilen Numune-1 ve Numune-2’ ye numune boyutlarının 135x150 mm olması sebebiyle TS EN 1522 standardının FB7 seviyesine göre 820 ± 10 m/sn hız ile ve NIJ 0101.06 Seviye III koruma seviyesine göre 0° de tek atış yapılmıştır. Balistik testlerde uygulanan 0° atış, gerçek şartlarda olabilecek en zorlayıcı durumdur ve bu sebeple numunelere NIJ 0101.06 Seviye III’ de referans alınan zorlayıcı atış yapılmıştır. Bu tez kapsamında sentezi yapılan grafen malzemesinin SiC Zırh Paneline olan balistik etkisini görmek için NIJ0101.06 Seviye III’ de yer alan penetrasyon performansı kriterine göre balistik test uygulanmıştır. Bu test kapsamında travma değeri olarak adlandırılan balistik performans ölçütü NIJ 0101.06’ ya göre 44 mm dir. Travma değeri ölçümü için balistik test numunelerinin dışa gelecek yüzeylerine destek malzemesi olması için Roma Plastilina Kili olarak adlandırılan kullanılmıştır. Roma Plastilina Kili kullanımının amacı, balistik ürüne yapılan atış testleri sonrası zırhın

arkasında olacak insanı temsil etmesidir. Bu kil modelleme kili olarak da bilinmektedir (Url-11, 2021). Travma ölçümü için kullanılacak bu destek malzemesi için 500x500 mm ebatlarında bir sandığa kil doldurulmuştur. Hazırlanan bu kil sandığı 38°C' ye dereceye kadar ısıtıldıktan sonra kullanıma uygun hale gelmiştir. Hazır kil kütlesine top düşürme testi uygulanmıştır. Bu testin amacı, kilin atışta kullanımına uygun olup olmadığını kontrol etmek, kili bir nevi kalibre etmektir. Bu test kapsamında, hazırlanan kil kütlesi üzerine 2 m yükseklikten 5 ayrı bölgeye 63 mm çapında özellikleri Çizelge 5.'te verilen çelik top düşürme yapılmıştır.

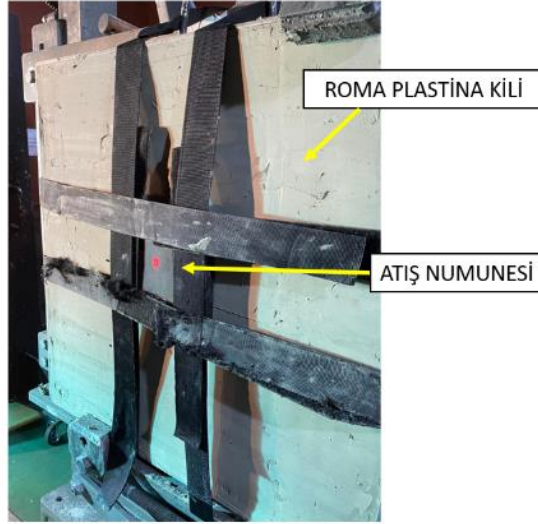
Çizelge 3.5. Çelik top düşürme mekanizma özellikleri

(a) Drop weight:	Steel sphere. ²
(b) Drop weight size:	63.5 mm $\pm$ 0.05 mm (2.5 in $\pm$ 0.001 in) in diameter.
(c) Drop weight mass:	1043 g $\pm$ 5 g (2.29 lb $\pm$ 0.01 lb).
(d) Drop height:	2.0 m (6.56 ft).
(e) Drop spacing:	Minimum of 76 mm (3.0 in) from fixture edge to indent edge and a minimum of 152 mm (6.0 in) between indent centers.

Ölçülen iz derinliği NIJ0101.06' ya göre 19 $\pm$ 2 mm olması gerekmektedir. Top düşürme testinden sonra oluşan iz şekli Fotoğraf 3.11.' da verilmiştir. İzin ölçümü dijital kumpas ile yapılmaktadır.



Fotoğraf 3.11. Top düşürme testinden sonra oluşan oyuk



Fotoğraf 3.12. Balistik teste hazır zırh paneli ve roma kili

Atış numunesi Fotoğraf 3.12’de gösterildiği gibi bağlandıktan sonra uzaktan kumanda kullanılarak TS EN 1522 FB7 koruma seviyesine göre 10 m mesafeden atış gerçekleştirilmiştir. Atış sırasında test düzeneğinde yer alan hız okuma sensörlerinden 2,5 m mesafeden hız değerleri okunmuş ve tüm atış hızlı kamera ile kayıt edilmiştir. Uygulanan balistik test boyunca alınan veriler deney veri formuna işlenerek balistik test tamamlanmıştır.

BÖLÜM IV

BULGULAR

4.1 Üretimin ve Testlerin Yapılması

4.1.1 Silisyum karbür seramik tozun üretilmesi

Silisyum karbür hammaddeler ve çeşitli bağlayıcılar ile üretilen Silisyum Karbür tozu 0,55 μm boyutlara indirilip 10 farklı bölgeden nem ölçümleri yapılmıştır. Alınan nem ölçümlerine göre kurutulmamış SiC tozlarının ortalama 6,67 g/m³ nem değerinde olduğu gözlemlenmiştir. Paketlenme öncesi nem değeri ölçümleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Daha sonra SiC tozları yaklaşık 120 °C kurutulduktan sonra, presleme prosesine gönderilmeden önce yine 10 farklı bölgeden preslenecek Silisyum karbür tozunun nem ölçümleri yapılmıştır. Alınan nem ölçümlerine göre SiC tozlarının ortalama 0,219 g/m³ nem değerlerinde olduğu gözlemlenmiş ve Çizelge 4.2.’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Kurutulmamış SiC tozlarının nem değeri ölçümleri

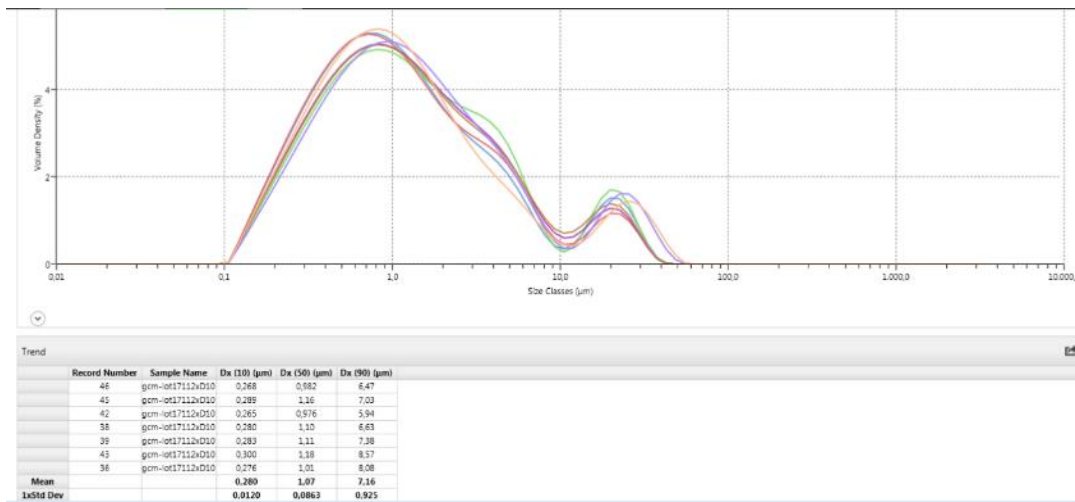
Nem Ölçüm No	Nem Değeri (g/m ³)
Nem Ölçümü 1	6,7
Nem Ölçümü 2	6,61
Nem Ölçümü 3	6,65
Nem Ölçümü 4	6,72
Nem Ölçümü 5	6,77
Nem Ölçümü 6	6,63
Nem Ölçümü 7	6,7
Nem Ölçümü 8	6,71
Nem Ölçümü 9	6,65
Nem Ölçümü 10	6,63

Çizelge 4.2. Paketlenmiş SiC tozların nem değerleri

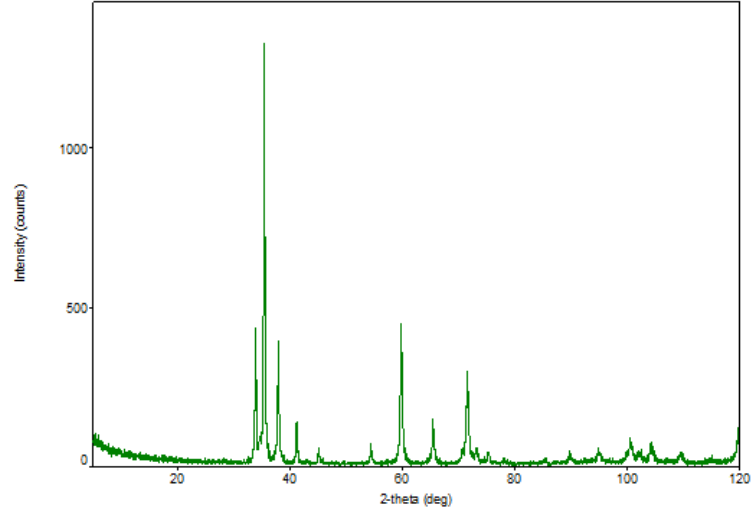
Kurutma Fırını Sonrası Nem Ölçümü	Nem Değeri (g/m3)
Nem Ölçümü 1	0,21
Nem Ölçümü 2	0,2
Nem Ölçümü 3	0,24
Nem Ölçümü 4	0,27
Nem Ölçümü 5	0,2
Nem Ölçümü 6	0,21
Nem Ölçümü 7	0,22
Nem Ölçümü 8	0,21
Nem Ölçümü 9	0,23
Nem Ölçümü 10	0,2

Nem ölçümü tamamlanmış SiC tozlarının (7 farklı bölgeden alınan) presleme prosesine gönderilmeden önce tane büyüklüğü analizi yapılmış ve analiz sonuçları Şekil 4.1’de verilmiştir. 7 farklı bölgeden alınan silisyum karbür tozların tane büyüklüğü ortalaması minimum 0,280 mikron gözlemlenirken, maksimum 7,16 mikron gözlemlenmiştir.

7 farklı toz bölgesinin tane büyüklüğü genel olarak ortalama 1,07 mikron ölçülmüş olup, üretilmiş tozun tane büyüklüğü preslenebilme kabiliyetinin yüksekliği ile olumlu şekilde ilişkilendirilmiştir. Ölçülen 7 farklı noktadaki tozun tane büyüklüğünün dengeli olduğu ve toz üretim prosesinin kararlı olduğu ayrıca tespit edilmiştir. Ek olarak presleme öncesi SiC tozlarına XRD analizi yapılmış ve tüm çıkarımlar tekrar doğrulanmıştır. XRD analizi Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Tane boyut ölçümü

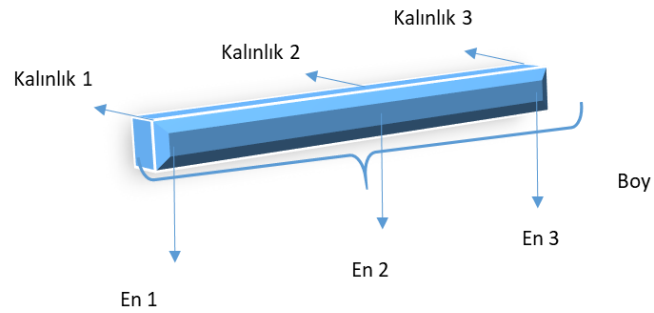


Şekil 4.2. XRD analizi

Nem, tane boyutu ve XRD analizleri incelenmiş ve SiC tozunun paketlenme davranışının olumlu olduğu yorumlanarak, presleme işlemi için tozlar paketlenmiştir.

4.1.2 Silisyum karbür seramik tozun preslenmesi

Presleme işleminde 12x7x95 mm ölçülerinde 150 adet Silisyum Karbür çubuk üretilmiş ve her üretilen SiC çubuğun boyutsal ölçümleri 7 farklı noktadan alınmıştır (3 en, 3 kalınlık, 1 uzunluk). Boyutsal ölçümlerin alındığı bölgeler Şekil 4.3’de, ölçüm sonuçları Çizelge 4.3’de gösterilmektedir.



Şekil 4.3. SiC çubuğun ölçüm alınan bölgeleri

Çizelge 4.3. Presleme sonrası boyutsal ölçümler

Numune No	En 1-Pres	En 2-Pres	En 3-Pres	Boy - Pres	Kal 1-Pres	Kal 2-Pres	Kal 3-Pres
1	11,9194	11,9072	11,944	95,12	7,09	7,14	7,17
2	11,895	11,9072	11,895	94,99	7,15	7,17	7,20
3	11,9194	11,9682	11,895	95,02	7,16	7,21	7,34
4	11,9316	11,9072	11,9194	94,85	7,27	7,22	7,23
5	11,9316	11,956	11,9438	95,10	7,14	7,09	7,02
6	11,8462	11,9438	11,9438	95,07	7,26	7,20	7,15
7	11,8584	11,9926	12,1634	95,21	7,11	7,25	7,15
8	11,8462	11,9194	11,9072	95,01	7,22	7,14	7,04
9	11,8584	11,9438	11,895	95,04	7,06	7,13	7,08
10	11,9072	11,9316	11,895	95,00	7,39	7,34	7,30
11	11,9194	11,956	11,8828	95,04	7,16	7,10	7,03
12	11,9438	11,9194	11,834	94,83	7,15	7,16	7,17
13	11,8462	11,9194	11,956	95,06	7,14	7,14	7,10
14	11,9194	11,9072	11,9316	94,96	7,12	7,10	7,09
15	11,9072	11,9316	11,9194	94,99	7,20	7,17	7,12
16	11,9194	11,9682	11,9804	95,10	7,14	7,10	7,07
17	11,956	11,9194	11,8706	95,07	7,19	7,09	7,09
18	11,895	11,9316	11,8828	95,05	7,17	7,16	7,09
19	11,9194	11,9072	11,9316	95,00	7,10	7,14	7,20
20	11,895	11,9316	11,9072	95,01	7,09	7,14	7,16
21	11,8828	11,9316	11,9438	95,06	7,10	7,13	7,14
22	11,8584	11,9194	11,895	94,94	7,13	7,16	7,17
23	11,9316	11,9072	11,8828	95,04	7,06	7,12	7,17
24	11,8828	11,9072	11,8828	94,91	7,13	7,19	7,17
25	11,895	11,9194	11,8706	94,88	7,09	7,17	7,20
26	11,834	11,9316	11,9072	95,04	7,10	7,09	7,19
27	11,9194	11,9316	11,8584	94,95	7,16	7,15	7,10
28	11,8828	11,9072	11,8828	94,89	7,05	7,05	7,17
29	11,8828	11,9194	11,895	94,97	7,21	7,16	7,08
30	11,8584	11,9194	11,8828	95,02	7,10	7,15	7,16
31	11,8706	11,9072	11,9438	94,93	7,19	7,16	7,13
32	11,9194	11,9316	11,895	95,01	7,07	7,13	7,17
33	11,9072	11,9316	11,9194	94,97	7,17	7,14	7,08
34	11,895	11,9194	11,9194	95,04	7,16	7,13	7,06
35	11,895	11,9194	11,895	94,89	7,13	7,17	7,19
36	11,9072	11,9316	11,9194	95,06	7,03	7,18	7,18
37	11,956	11,8828	11,9194	94,90	7,17	7,13	7,12
38	11,956	11,9072	11,9316	95,06	6,97	7,02	7,09
39	11,9072	11,9072	11,9194	94,94	7,19	7,14	7,13
40	11,9316	11,9438	11,9194	95,05	7,17	7,14	7,09
41	11,9194	11,9316	11,9072	95,02	7,09	7,09	7,16
42	11,8462	11,9072	11,895	95,01	7,19	7,22	7,26
43	11,9194	11,9194	11,895	95,05	7,25	7,29	7,36
44	11,8584	11,9316	11,895	94,91	7,14	7,20	7,21
45	11,9438	11,895	11,9438	95,04	7,02	7,03	7,12
46	11,9682	11,8584	11,8584	94,82	7,12	7,06	7,07
47	11,9194	11,9194	11,9072	94,93	7,19	7,19	7,22
48	11,8828	11,9438	11,9316	94,93	7,14	7,16	7,14
49	11,9072	11,9194	11,8828	94,95	7,19	7,17	7,12
50	11,9072	11,9194	11,9682	95,06	7,12	7,10	7,15
51	11,8828	11,9194	11,9072	95,05	7,17	7,13	7,06
52	11,9194	11,9072	11,8706	94,93	7,16	7,19	7,14
53	11,895	11,9072	11,8706	94,83	7,15	7,17	7,20
54	11,9316	11,9194	11,895	95,06	7,16	7,14	7,07

55	11,9194	11,9194	11,8706	94,85	7,23	7,22	7,20
56	11,9316	11,9438	11,9072	95,08	7,14	7,13	7,10
57	11,8828	11,8828	11,9316	94,97	7,19	7,17	7,14
58	11,9072	11,9438	11,895	95,05	7,12	7,15	7,19
59	11,895	11,9316	11,9316	95,06	7,06	7,13	7,19
60	11,8706	11,9316	11,9194	94,95	7,10	7,10	7,06
61	11,895	11,9194	11,9316	94,96	7,21	7,20	7,19
62	11,8828	11,9438	11,9194	95,04	7,15	7,17	7,17
63	11,9194	11,9438	11,9194	95,06	7,13	7,12	7,03
64	11,8828	11,9438	11,9072	95,11	7,22	7,25	7,16
65	11,8584	11,9438	11,895	94,97	7,13	7,15	7,08
66	11,9072	11,9682	11,895	95,13	7,15	7,15	7,07
67	11,9194	11,956	11,9438	95,04	7,15	7,01	7,05
68	11,9316	11,9438	11,9194	95,05	7,22	7,17	7,13
69	11,8584	11,9194	11,9316	94,99	7,17	7,17	7,16
70	11,9072	11,9316	11,9438	95,13	7,23	7,20	7,16
71	11,9072	11,9194	11,9316	95,01	7,19	7,12	7,04
72	11,956	11,9316	11,9804	95,04	7,08	7,10	7,19
73	11,9316	11,956	11,9194	95,05	7,10	7,21	7,20
74	11,9194	11,9804	11,9072	95,04	7,08	7,15	7,19
75	11,956	11,9804	11,9072	95,22	7,13	7,19	7,20
76	11,8584	11,9316	11,895	94,88	7,21	7,22	7,19
77	11,8828	12,017	11,9438	95,04	7,26	7,21	7,16
78	11,9316	11,8706	11,9682	95,07	7,10	7,13	7,20
79	11,9072	11,9194	11,895	95,07	7,07	7,09	7,10
80	11,9438	11,9316	11,9072	95,06	7,12	7,19	7,23
81	11,9072	11,9316	11,895	94,96	7,12	7,20	7,19
82	11,9316	11,956	11,9072	95,01	7,14	7,19	7,19
83	11,9072	11,9438	11,9316	94,97	7,20	7,14	7,09
84	11,9316	11,895	11,9072	95,06	7,16	7,19	7,26
85	11,8828	11,895	11,8828	94,77	7,27	7,23	7,16
86	11,8706	11,9316	11,8828	94,90	7,20	7,19	7,12
87	11,9194	11,895	11,9194	95,07	7,14	7,19	7,22
88	11,9194	11,9316	11,8828	95,11	7,19	7,21	7,20
89	11,8828	11,9682	11,9194	95,13	7,06	7,04	6,99
90	11,9682	11,9438	11,9072	95,01	7,14	7,14	7,16
91	11,956	11,9072	11,956	95,02	7,17	7,09	7,12
92	11,8828	11,9438	11,9316	94,97	7,20	7,19	7,16
93	11,9438	11,9804	11,8828	95,15	7,12	7,15	7,16
94	11,895	11,9072	11,956	94,93	7,17	7,16	7,14
95	11,895	11,9194	11,9194	95,01	7,25	7,22	7,17
96	11,9194	11,9682	11,8706	95,08	7,15	7,22	7,21
97	11,9072	11,9438	11,9438	95,04	7,21	7,17	7,15
98	11,956	11,9072	11,8828	95,16	7,12	7,15	7,17
99	11,9316	11,9072	11,8462	94,84	7,15	7,21	7,19
100	11,9072	11,9316	11,9194	94,97	7,20	7,23	7,27
101	11,9438	11,9438	11,956	95,04	7,22	7,16	7,10
102	11,8584	11,9072	11,9194	94,72	7,19	7,22	7,19
103	11,8462	11,9194	11,9194	94,85	7,21	7,20	7,17
104	11,8706	11,9072	11,9804	94,94	7,20	7,14	7,10
105	11,9926	11,9072	11,8828	95,08	7,13	7,17	7,15
106	11,9072	11,9194	11,9194	95,17	7,17	7,19	7,15
107	11,9072	12,0048	11,9194	95,18	7,19	7,14	7,09
108	11,9072	11,9682	11,9072	95,21	7,28	7,16	7,03
109	11,956	11,9438	11,956	95,15	7,34	7,29	7,33
110	11,9316	11,956	11,9194	95,15	7,13	7,09	7,04
111	11,895	11,9438	11,8828	94,88	7,16	7,20	7,21
112	11,956	12,0292	11,895	95,10	7,17	7,17	7,09

113	11,895	11,9438	11,9438	95,05	7,22	7,21	7,16
114	11,9438	11,9682	11,9438	95,10	7,10	7,15	7,17
115	11,9072	11,9926	11,8828	95,07	7,01	7,17	7,04
116	11,9072	11,956	11,9072	95,02	7,00	7,27	7,19
117	11,9804	11,9682	11,895	95,01	7,02	7,13	7,14
118	11,9194	11,956	11,9194	95,00	7,12	7,06	7,01
119	11,9316	11,9072	11,8706	94,84	7,20	7,21	7,22
120	11,9438	11,9316	11,895	95,01	7,16	7,16	7,20
121	11,9316	11,9072	11,956	95,01	7,19	7,15	7,12
122	11,9682	11,9194	11,9072	94,83	7,07	7,04	7,11
123	11,956	11,9438	11,9072	94,93	7,26	7,25	7,25
124	11,9194	11,9316	11,9804	95,06	7,16	7,14	7,12
125	11,9316	11,9804	11,895	95,01	7,14	7,22	7,21
126	11,9438	11,9316	11,956	94,99	7,28	7,21	7,13
127	11,9438	11,956	11,8706	95,11	7,16	7,23	7,23
128	11,9194	11,9194	11,9072	95,07	7,20	7,13	7,06
129	11,9438	11,9194	11,895	94,90	7,21	7,22	7,25
130	11,956	11,956	11,9194	95,02	7,21	7,22	7,12
131	11,8706	11,9438	11,9438	95,06	7,19	7,16	7,14
132	11,956	11,9072	11,8706	94,82	7,13	7,16	7,16
133	11,9194	11,9438	11,9194	95,02	7,16	7,12	7,08
134	11,956	11,9682	11,9072	95,06	7,32	7,26	7,19
135	11,895	11,9072	11,895	95,06	7,15	7,20	7,23
136	11,956	11,8828	11,8584	94,97	7,17	7,06	7,14
137	11,9804	11,9438	11,8584	94,95	7,28	7,13	7,12
138	11,9316	11,9438	11,9194	95,02	7,15	7,17	7,16
139	11,895	11,956	11,9072	95,08	7,20	7,17	7,09
140	11,8706	11,9316	11,8828	94,74	7,33	7,26	7,17
141	11,895	11,9438	11,9316	95,22	7,20	7,15	7,19
142	11,9804	11,9072	11,8706	94,91	7,09	7,15	7,15
143	11,9194	11,9316	11,9072	94,89	7,20	7,16	7,22
144	11,9072	11,9072	11,9072	94,96	7,29	7,16	7,07
145	11,895	11,9438	11,9316	95,04	7,15	7,14	7,08
146	11,9316	11,956	11,9194	95,11	7,16	7,14	7,08
147	11,956	11,8584	11,895	94,96	7,19	7,16	7,20
148	11,8706	11,9316	11,9438	95,02	7,17	7,17	7,12
149	11,956	11,9316	11,9316	95,22	7,22	7,28	7,28
150	11,9316	11,9438	11,9194	95,11	7,14	7,21	7,12

Preslenmiş 150 adet SiC çubuk incelendiğinde, en ölçülerinde -%0,9, kalınlık ölçülerinde +%1,5, boy ölçüsünde + %0,09 tolerans ile üretim yapıldığı gözlemlenmiştir. Tüm presleme süreci boyunca parçaların tek tek ölçülerek ilerlenmesi ve oluşabilecek kalite problemleri için proaktif önlem alınarak (kalıp ayırıcı kullanımı, vb.) ilerlenmesi üretilmiş ürünlerin tolerans aralığını çok düşük tutmuş olup, proses kararlılığı çok yüksektir.

4.1.3 Silisyum karbür seramiklerin sinterlenmesi ve yüzey temizleme

Preslenmiş 150 Silisyum Karbür çubuk 2300 ° C’de yaklaşık 80 saat süre sinter fırında kalarak sinterleme işlemleri gerçekleştirilmiş olup sinterleme sonrası tüm parçaların boyutsal ölçümleri presleme prosesi sonrasındaki gibi 7 farklı bölge için yinelenmiştir. 7 farklı bölge için tüm boyutsal ölçüm sonuçları Çizelge 4.4’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.4. Sinter sonrası boyutsal ölçümler

Numune No	En 1 - Sinter	En 2 - Sinter	En 3 - Sinter	Boy - Sinter	Kalınlık 1 - Sinter	Kalınlık 2 - Sinter	Kalınlık 3 - Sinter
1	9,77	9,76	9,79	78,16	6,01	6,05	6,08
2	9,75	9,76	9,75	78,05	6,06	6,08	6,1
3	9,77	9,81	9,75	78,08	6,07	6,11	6,22
4	9,78	9,76	9,77	77,94	6,16	6,12	6,13
5	9,78	9,8	9,79	78,14	6,05	6,01	5,95
6	9,71	9,79	9,79	78,12	6,15	6,1	6,06
7	9,72	9,83	9,97	78,23	4,1	4,23	4,24
8	9,71	9,77	9,76	78,07	4,91	4,95	4,95
9	9,72	9,79	9,75	78,09	4,13	4,18	4,19
10	9,76	9,78	9,75	78,06	6,26	6,22	6,19
11	9,77	9,8	9,74	78,09	6,07	6,02	5,96
12	9,79	9,77	9,7	77,92	6,06	6,07	6,08
13	9,71	9,77	9,8	78,11	6,05	6,05	6,02
14	9,77	9,76	9,78	78,03	6,03	6,02	6,01
15	9,76	9,78	9,77	78,05	6,1	6,08	6,03
16	9,77	9,81	9,82	78,14	6,05	6,02	5,99
17	9,8	9,77	9,73	78,12	6,09	6,01	6,01
18	9,75	9,78	9,74	78,1	6,08	6,07	6,01
19	9,77	9,76	9,78	78,06	6,02	6,05	6,1
20	9,75	9,78	9,76	78,07	6,01	6,05	6,07
21	9,74	9,78	9,79	78,11	6,02	6,04	6,05
22	9,72	9,77	9,75	78,01	6,04	6,07	6,08
23	9,78	9,76	9,74	78,09	5,98	6,03	6,08
24	9,74	9,76	9,74	77,99	6,04	6,09	6,08
25	9,75	9,77	9,73	77,96	6,01	6,08	6,1
26	9,7	9,78	9,76	78,09	4,01	4,08	4,08
27	9,77	9,78	9,72	78,02	6,07	6,06	6,02
28	9,74	9,76	9,74	77,97	4,08	4,11	4,13
29	9,74	9,77	9,75	78,04	6,11	6,07	6
30	9,72	9,77	9,74	78,08	6,02	6,06	6,07
31	9,73	9,76	9,79	78	6,09	6,07	6,04
32	9,77	9,78	9,75	78,07	5,99	6,04	6,08
33	9,76	9,78	9,77	78,04	6,08	6,05	6
34	9,75	9,77	9,77	78,09	6,07	6,04	5,98
35	9,75	9,77	9,75	77,97	6,04	6,08	6,09
36	9,76	9,78	9,77	78,11	4,28	4,27	4,21
37	9,8	9,74	9,77	77,98	6,08	6,04	6,03
38	9,8	9,76	9,78	78,11	5,91	5,95	6,01
39	9,76	9,76	9,77	78,01	6,09	6,05	6,04
40	9,78	9,79	9,77	78,1	6,08	6,05	6,01
41	9,77	9,78	9,76	78,08	4,01	4,06	4,11

42	9,71	9,76	9,75	78,07	6,09	6,12	6,15
43	9,77	9,77	9,75	78,1	6,14	6,18	6,24
44	9,72	9,78	9,75	77,99	6,05	6,1	6,11
45	9,79	9,75	9,79	78,09	5,95	5,96	6,03
46	9,81	9,72	9,72	77,91	4,09	4,08	4,06
47	9,77	9,77	9,76	78	6,09	6,09	6,12
48	9,74	9,79	9,78	78	6,05	6,07	6,05
49	9,76	9,77	9,74	78,02	6,09	6,08	6,03
50	9,76	9,77	9,81	78,11	6,03	6,02	6,06
51	9,74	9,77	9,76	78,1	6,08	6,04	5,98
52	9,77	9,76	9,73	78	6,07	6,09	6,05
53	9,75	9,76	9,73	77,92	6,06	6,08	6,1
54	9,78	9,77	9,75	78,11	6,07	6,05	5,99
55	9,77	9,77	9,73	77,94	6,13	6,12	6,1
56	9,78	9,79	9,76	78,13	6,05	6,04	6,02
57	9,74	9,74	9,78	78,04	6,09	6,08	6,05
58	9,76	9,79	9,75	78,1	6,03	6,06	6,09
59	9,75	9,78	9,78	78,11	5,98	6,04	6,09
60	9,73	9,78	9,77	78,02	6,02	6,02	5,98
61	9,75	9,77	9,78	78,03	6,11	6,1	6,09
62	9,74	9,79	9,77	78,09	6,06	6,08	6,08
63	9,77	9,79	9,77	78,11	6,04	6,03	5,96
64	9,74	9,79	9,76	78,15	6,12	6,14	6,07
65	9,72	9,79	9,75	78,04	6,04	6,06	6
66	9,76	9,81	9,75	78,17	6,06	6,06	5,99
67	9,77	9,8	9,79	78,09	4,05	4,14	4,17
68	9,78	9,79	9,77	78,1	6,12	6,08	6,04
69	9,72	9,77	9,78	78,05	6,08	6,08	6,07
70	9,76	9,78	9,79	78,17	6,13	6,1	6,07
71	9,76	9,77	9,78	78,07	6,09	6,03	5,97
72	9,8	9,78	9,82	78,09	6	6,02	6,09
73	9,78	9,8	9,77	78,1	6,02	6,11	6,1
74	9,77	9,82	9,76	78,09	6	6,06	6,09
75	9,8	9,82	9,76	78,24	6,04	6,09	6,1
76	9,72	9,78	9,75	77,96	6,11	6,12	6,09
77	9,74	9,85	9,79	78,09	6,15	6,11	6,07
78	9,78	9,73	9,81	78,12	6,02	6,04	6,1
79	9,76	9,77	9,75	78,12	5,99	6,01	6,02
80	9,79	9,78	9,76	78,11	6,03	6,09	6,13
81	9,76	9,78	9,75	78,03	6,03	6,1	6,09
82	9,78	9,8	9,76	78,07	6,05	6,09	6,09
83	9,76	9,79	9,78	78,04	6,1	6,05	6,01
84	9,78	9,75	9,76	78,11	6,07	6,09	6,15
85	9,74	9,75	9,74	77,87	6,16	6,13	6,07
86	9,73	9,78	9,74	77,98	6,1	6,09	6,03
87	9,77	9,75	9,77	78,12	6,05	6,09	6,12
88	9,77	9,78	9,74	78,15	6,09	6,11	6,1
89	9,74	9,81	9,77	78,17	5,98	5,97	5,92
90	9,81	9,79	9,76	78,07	6,05	6,05	6,07
91	9,8	9,76	9,8	78,08	6,08	6,01	6,03
92	9,74	9,79	9,78	78,04	6,1	6,09	6,07
93	9,79	9,82	9,74	78,18	6,03	6,06	6,07
94	9,75	9,76	9,8	78	6,08	6,07	6,05
95	9,75	9,77	9,77	78,07	6,14	6,12	6,08
96	9,77	9,81	9,73	78,13	6,06	6,12	6,11
97	9,76	9,79	9,79	78,09	6,11	6,08	6,06
98	9,8	9,76	9,74	78,19	6,03	6,06	6,08
99	9,78	9,76	9,71	77,93	6,06	6,11	6,09

100	9,76	9,78	9,77	78,04	6,1	6,13	6,16
101	9,79	9,79	9,8	78,09	6,12	6,07	6,02
102	9,72	9,76	9,77	77,83	6,09	6,12	6,09
103	9,71	9,77	9,77	77,94	6,11	6,1	6,08
104	9,73	9,76	9,82	78,01	6,1	6,05	6,02
105	9,83	9,76	9,74	78,13	6,04	6,08	6,06
106	9,76	9,77	9,77	78,2	6,08	6,09	6,06
107	9,76	9,84	9,77	78,21	6,09	6,05	6,01
108	9,76	9,81	9,76	78,23	6,17	6,07	5,96
109	9,8	9,79	9,8	78,18	6,22	6,18	6,21
110	9,78	9,8	9,77	78,18	6,04	6,01	5,97
111	9,75	9,79	9,74	77,96	6,07	6,1	6,11
112	9,8	9,86	9,75	78,14	6,08	6,08	6,01
113	9,75	9,79	9,79	78,1	6,12	6,11	6,07
114	9,79	9,81	9,79	78,14	6,02	6,06	6,08
115	9,76	9,83	9,74	78,12	4,24	4,23	4,17
116	9,76	9,8	9,76	78,08	4,21	4,26	4,28
117	9,82	9,81	9,75	78,07	5,95	6,04	6,05
118	9,77	9,8	9,77	78,06	6,03	5,98	5,94
119	9,78	9,76	9,73	77,93	6,1	6,11	6,12
120	9,79	9,78	9,75	78,07	6,07	6,07	6,1
121	9,78	9,76	9,8	78,07	6,09	6,06	6,03
122	9,81	9,77	9,76	77,92	4,09	4,13	4,16
123	9,8	9,79	9,76	78	6,15	6,14	6,14
124	9,77	9,78	9,82	78,11	6,07	6,05	6,03
125	9,78	9,82	9,75	78,07	6,05	6,12	6,11
126	9,79	9,78	9,8	78,05	6,17	6,11	6,04
127	9,79	9,8	9,73	78,15	6,07	6,13	6,13
128	9,77	9,77	9,76	78,12	6,1	6,04	5,98
129	9,79	9,77	9,75	77,98	6,11	6,12	6,14
130	9,8	9,8	9,77	78,08	6,11	6,12	6,03
131	9,73	9,79	9,79	78,11	6,09	6,07	6,05
132	9,8	9,76	9,73	77,91	6,04	6,07	6,07
133	9,77	9,79	9,77	78,08	6,07	6,03	6
134	9,8	9,81	9,76	78,11	6,2	6,15	6,09
135	9,75	9,76	9,75	78,11	6,06	6,1	6,13
136	9,8	9,74	9,72	78,04	4,19	4,12	4,08
137	9,82	9,79	9,72	78,02	6,17	6,04	6,03
138	9,78	9,79	9,77	78,08	6,06	6,08	6,07
139	9,75	9,8	9,76	78,13	6,1	6,08	6,01
140	9,73	9,78	9,74	77,85	6,21	6,15	6,08
141	9,75	9,79	9,78	78,24	6,1	6,06	6,09
142	9,82	9,76	9,73	77,99	6,01	6,06	6,06
143	9,77	9,78	9,76	77,97	6,1	6,07	6,12
144	9,76	9,76	9,76	78,03	6,18	6,07	5,99
145	9,75	9,79	9,78	78,09	6,06	6,05	6
146	9,78	9,8	9,77	78,15	6,07	6,05	6
147	9,8	9,72	9,75	78,03	6,09	6,07	6,1
148	9,73	9,78	9,79	78,08	6,08	6,08	6,03
149	9,8	9,78	9,78	78,24	6,12	6,17	6,17
150	9,78	9,79	9,77	78,15	6,05	6,11	6,03

Sinterlenmiş 150 adet SiC çubuğun boyutsal ölçümleri incelendiğinde, yaklaşık olarak en ölçülerinde %22, kalınlık ölçülerinde %18, boy ölçüsünde %21,7 küçülme (ölçüsel daralma-çekme) görülmüştür. 13 farklı seramik çubuğun kalınlıklarında yaklaşık %40

küçüldüğü fark edilmiş olup, bu durumun ilgili seramik çubukların basıldığı tozun tane boyutlarının çok büyük veya küçük olması, preslenme sırasında oluşabilecek basın kusurluluklardan veya sinter fırını içerisindeki sıcaklık akımının tüm noktalar için anlık homojen olmamasından kaynaklı olduğu yorumlanmıştır.

Sinterleme sonrası tüm SiC çubukların yüzeyleri Garnet kumlama kumu ile temizlenmiş daha sonra kum kalıntıları için basınçlı su ile sulu temizleme işlemi yapılmıştır. Temizlenen seramik çubukların hava ve suda ağırlıkları (su sıcaklığı 18 °C) alınarak Arşiment prensibine göre yoğunluk hesaplaması yapılmıştır. Yapılan ölçüm değerleri Çizelge 4.5'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.5. SiC çubukların sinter sonrası ağırlıkları ve yoğunlukları

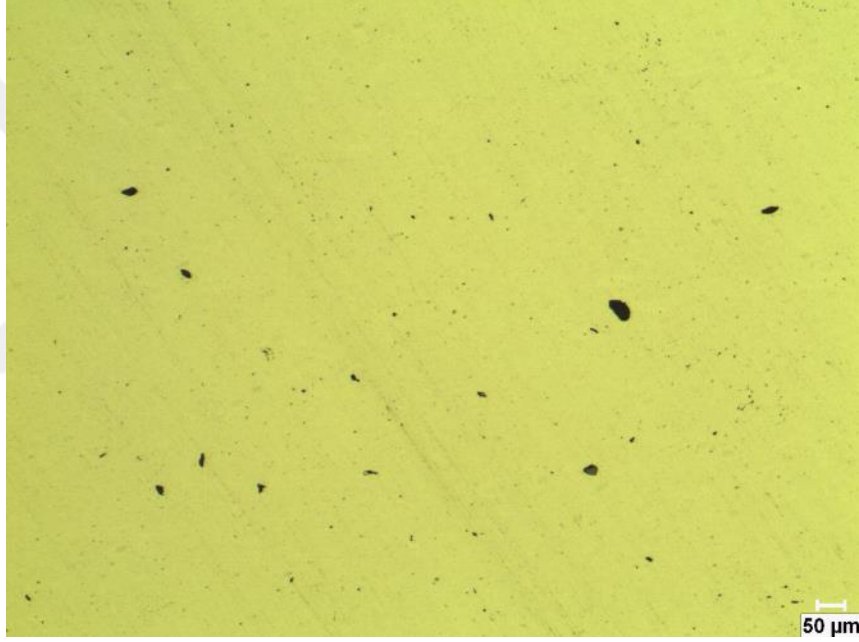
NUMUNE NO	AĞIRLIK (gr)		YOĞUNLUK (g/cc)
	HAVADA	SUDA	
1	13,45	9,23	3,18
2	13,59	9,29	3,16
3	13,55	9,23	3,13
4	13,59	9,25	3,13
5	13,42	9,19	3,17
6	13,55	9,18	3,10
7	9,30	6,32	3,12
8	10,97	7,44	3,10
9	9,31	6,35	3,14
10	13,83	9,47	3,17
11	13,44	9,17	3,14
12	13,55	9,18	3,10
13	13,52	9,18	3,11
14	13,50	9,18	3,12
15	13,54	9,19	3,11
16	13,42	9,2	3,18
17	13,37	9,23	3,22
18	13,51	9,23	3,15
19	13,53	9,21	3,13
20	13,49	9,24	3,17
21	13,50	9,23	3,16
22	13,59	9,22	3,11
23	13,46	9,15	3,12
24	13,53	9,24	3,15
25	13,53	9,24	3,15
26	9,09	6,21	3,15
27	13,52	9,23	3,15
28	9,13	6,25	3,17
29	13,54	9,21	3,12
30	13,47	9,17	3,13
31	13,49	9,24	3,17
32	13,44	9,15	3,13
33	13,49	9,17	3,12
34	13,47	9,22	3,16
35	13,54	9,25	3,15

36	9,49	6,47	3,14
37	13,51	9,2	3,13
38	13,37	9,21	3,21
39	13,53	9,25	3,16
40	13,51	9,23	3,15
41	9,01	6,19	3,19
42	13,61	9,24	3,11
43	13,85	9,41	3,12
44	13,55	9,27	3,16
45	13,39	9,19	3,18
46	8,96	6,11	3,14
47	13,59	9,24	3,12
48	13,51	9,19	3,12
49	13,49	9,17	3,12
50	13,50	9,24	3,16
51	13,46	9,25	3,19
52	13,52	9,25	3,16
53	13,55	9,23	3,13
54	13,44	9,17	3,14
55	13,62	9,26	3,12
56	13,42	9,16	3,15
57	13,51	9,25	3,17
58	13,55	9,2	3,11
59	13,41	9,16	3,15
60	13,45	9,15	3,12
61	13,59	9,24	3,12
62	13,57	9,34	3,20
63	13,45	9,18	3,15
64	13,59	9,25	3,13
65	13,49	9,19	3,13
66	13,52	9,21	3,13
67	9,09	6,17	3,11
68	13,62	9,27	3,13
69	13,47	9,2	3,15
70	13,64	9,29	3,13
71	13,43	9,15	3,13
72	13,37	9,16	3,17
73	13,52	9,21	3,13
74	13,44	9,2	3,17
75	13,59	9,21	3,10
76	13,54	9,16	3,09
77	13,59	9,33	3,19
78	13,44	9,2	3,17
79	13,46	9,15	3,12
80	13,55	9,21	3,12
81	13,55	9,23	3,13
82	13,57	9,18	3,09
83	13,46	9,23	3,18
84	13,58	9,21	3,10
85	13,58	9,23	3,12
86	13,45	9,19	3,15
87	13,50	9,17	3,11
88	13,56	9,19	3,10
89	13,34	9,19	3,21
90	13,52	9,22	3,14
91	13,46	9,21	3,16
92	13,54	9,19	3,11
93	13,52	9,24	3,15

94	13,50	9,22	3,15
95	13,66	9,24	3,09
96	13,53	9,22	3,13
97	13,50	9,2	3,14
98	13,42	9,15	3,14
99	13,52	9,22	3,14
100	13,64	9,23	3,09
101	13,56	9,23	3,13
102	13,51	9,22	3,14
103	13,56	9,22	3,12
104	13,51	9,21	3,14
105	13,49	9,22	3,15
106	13,54	9,16	3,09
107	13,46	9,23	3,18
108	13,50	9,24	3,16
109	13,82	9,37	3,10
110	13,45	9,21	3,17
111	13,52	9,25	3,16
112	13,56	9,26	3,15
113	13,54	9,25	3,15
114	13,52	9,21	3,13
115	9,32	6,32	3,10
116	9,43	6,41	3,12
117	13,50	9,16	3,11
118	13,39	9,16	3,16
119	13,55	9,23	3,13
120	13,54	9,19	3,11
121	13,48	9,16	3,12
122	9,06	6,17	3,13
123	13,64	9,37	3,19
124	13,46	9,19	3,15
125	13,56	9,18	3,09
126	13,60	9,23	3,11
127	13,54	9,22	3,13
128	13,45	9,24	3,19
129	13,58	9,27	3,15
130	13,55	9,23	3,13
131	13,54	9,22	3,13
132	13,41	9,25	3,22
133	13,49	9,22	3,15
134	13,69	9,36	3,16
135	13,57	9,23	3,12
136	9,14	6,19	3,09
137	13,40	9,25	3,22
138	13,52	9,17	3,10
139	13,49	9,18	3,13
140	13,57	9,21	3,11
141	13,56	9,25	3,14
142	13,39	9,23	3,21
143	13,57	9,19	3,09
144	13,49	9,25	3,18
145	13,40	9,16	3,16
146	13,50	9,21	3,14
147	13,53	9,2	3,12
148	13,50	9,17	3,11
149	13,72	9,36	3,14
150	13,51	9,15	3,09

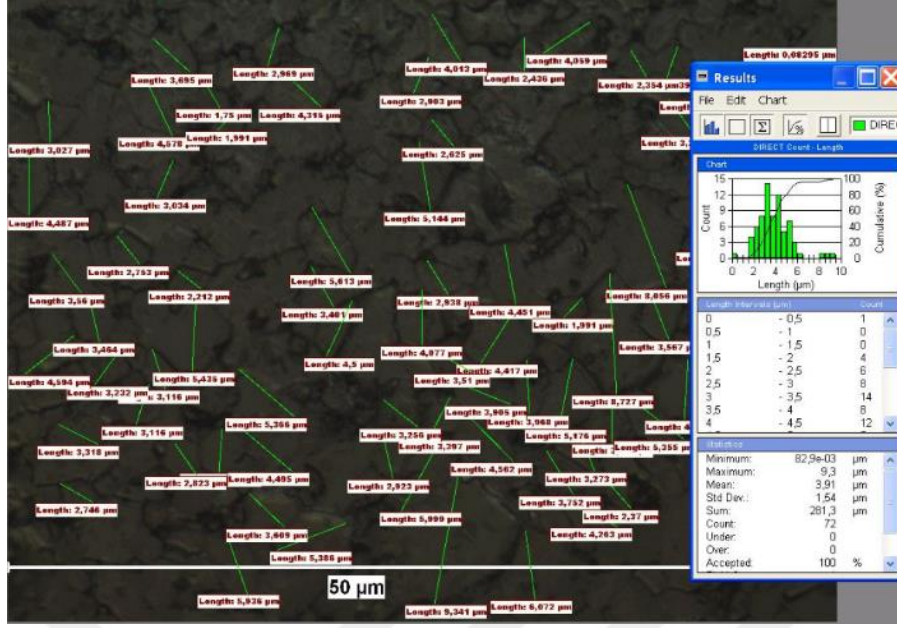
Üretimi tamamlanmış Silisyum Karbür seramiklerin yaklaşık ağırlık ortalaması havada 13,16 gram, suda 8,97 gram ve hesaplanan yaklaşık yoğunluk 3,14 g/cc' dir.

Sinterlenmiş Silisyum Karbür seramiklerden 17 numaralı numune alınmış, kesme cihazında kesildikten sonra parlatma işlemleri yapılarak, optik mikroskop altında farklı büyüklüklerde büyütülerek mikro yapısı incelenmiştir. İncelenen Silisyum Karbür mikro yapı görüntüsü Şekil 4.4'te verilmiş olup, mikro yapı incelendiğinde; sinterleme prosesinin kararlı olduğu, silisyum karbür çubukların sinterleme işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştiği gözlenmiş olup mikro yapı içerisinde porozite, laminasyon ve çatlakların gözlemlenmediği tespit edilmiş ve yapının homojen olduğu görülmüştür.



Şekil 4.4. Silisyum karbür çubuğun mikro yapı görüntüsü

Mikro yapısı tamamlanmış Silisyum Karbür seramikte dağlama prosesi gerçekleştirilmiş olup tane büyüklüğü tekrar optik mikroskop altında incelenmiştir. Tane büyüklükleri incelendiğinden Silisyum Karbür seramiklerin tane büyüklüklerinin bir birlerine yakın ve ister içinde olduğu gözlenmiş ve böylelikle sinterleme prosesinin başarılı olduğu yorumlanmıştır. Dağlama prosesi sonrasında optik mikroskopla incelenen tane boyutu analizi Şekil 4.5'te verilmiştir.



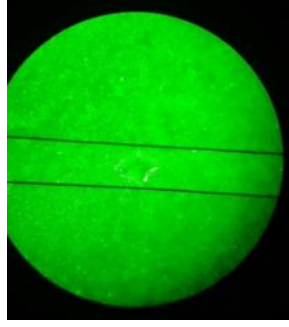
Şekil 4.5. Tane büyüklüğü analizi

4.1.4 Sertlik ve 3 nokta eğme testleri

Grafen kaplı ve kaplanmamış Silisyum Karbür seramiklerin sertlik ve 3 nokta eğme testi sonuçları bu bölümde verilmiştir.

4.1.4.1 Sertlik testi sonuçları

Üretilmiş SiC seramiklerden boyutsal ve yoğunluksal olarak bir birine benzeyen 58 çubuk üzerinde Vickers Sertlik testleri yapılmıştır. Her bir SiC çubuk için 5 farklı noktadan sertlik ölçümü yapılmış olup her bir Silisyum Karbür çubuk için 5 noktanın ortalaması alınarak final sertlik hesaplanmıştır. Orta bölgesinden sertlik ölçümü yapılan SiC Çubuğun görüntüsü Şekil 4.6’da verilmiştir. 58 Silisyum Karbür çubuğun 29 adedi grafen kaplamasız yani mevcut durumdaki Silisyum Karbür çubuktur. Bu çubukların sertlik sonuçları Çizelge 4.6’da gösterilmektedir.



Şekil 4.6. 3 noktadan sertlik ölçümü

Çizelge 4.6. Grafen kaplamasız SiC çubukların sertlik değerleri

Numune No	Kaplama Yüzeyi	Kaplama Açıklama	Sertlik (HV)
6	Kaplamasız	Kaplamasız	2456
13	Kaplamasız	Kaplamasız	2417
14	Kaplamasız	Kaplamasız	2358
16	Kaplamasız	Kaplamasız	2349
18	Kaplamasız	Kaplamasız	2317
20	Kaplamasız	Kaplamasız	2161
24	Kaplamasız	Kaplamasız	2317
31	Kaplamasız	Kaplamasız	2303
35	Kaplamasız	Kaplamasız	2241
39	Kaplamasız	Kaplamasız	2361
48	Kaplamasız	Kaplamasız	2270
57	Kaplamasız	Kaplamasız	2183
62	Kaplamasız	Kaplamasız	2342
69	Kaplamasız	Kaplamasız	2259
74	Kaplamasız	Kaplamasız	2174
82	Kaplamasız	Kaplamasız	2429
92	Kaplamasız	Kaplamasız	2408
97	Kaplamasız	Kaplamasız	2380
101	Kaplamasız	Kaplamasız	2441
111	Kaplamasız	Kaplamasız	2446
113	Kaplamasız	Kaplamasız	2461
120	Kaplamasız	Kaplamasız	2470
121	Kaplamasız	Kaplamasız	2161
123	Kaplamasız	Kaplamasız	2478
129	Kaplamasız	Kaplamasız	2317
130	Kaplamasız	Kaplamasız	2165
143	Kaplamasız	Kaplamasız	2263
145	Kaplamasız	Kaplamasız	2206
148	Kaplamasız	Kaplamasız	2457

9 adet Silisyum Karbür çubuğun tek yüzeyi tek kat kaplama yapılmış olup, sertlik değerleri Çizelge 4.7 'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.7. Tek yüzey tek kat kaplama SiC çubukların sertlik değerleri

Numune No	Kaplama Yüzeyi	Kaplama Açıklama	Sertlik (HV)
37	Tek Yüzey	Tek Kat Kaplama	2632
40	Tek Yüzey	Tek Kat Kaplama	2653
49	Tek Yüzey	Tek Kat Kaplama	2639
58	Tek Yüzey	Tek Kat Kaplama	2622
65	Tek Yüzey	Tek Kat Kaplama	2634
83	Tek Yüzey	Tek Kat Kaplama	2738
86	Tek Yüzey	Tek Kat Kaplama	2649
91	Tek Yüzey	Tek Kat Kaplama	2697
94	Tek Yüzey	Tek Kat Kaplama	2719

9 adet Silisyum Karbür çubuğun çift yüzeyi (alt ve üst yüzeyler) tek kat kaplama yapılmış olup, sertlik değerleri Çizelge 4.8’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.8. Çift yüzey tek kat kaplama SiC çubukların sertlik değerleri

Numune No	Kaplama Yüzeyi	Kaplama Açıklama	Sertlik (HV)
19	Çift Yüzey	Tek Kat Kaplama	2658
25	Çift Yüzey	Tek Kat Kaplama	2740
27	Çift Yüzey	Tek Kat Kaplama	2705
44	Çift Yüzey	Tek Kat Kaplama	2784
47	Çift Yüzey	Tek Kat Kaplama	2720
52	Çift Yüzey	Tek Kat Kaplama	2810
61	Çift Yüzey	Tek Kat Kaplama	2746
68	Çift Yüzey	Tek Kat Kaplama	2762
95	Çift Yüzey	Tek Kat Kaplama	2788

9 adet Silisyum Karbür çubuğun tek yüzeyinin yarısı tek kat grafen kaplama, diğer yarısı çift kat grafen kaplama yapılmış olup Çizelge 4.9’da tek kat kaplama Çizelge 4.10’da çift kat kaplama sertlik değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.9. Yarı tek yüzey tek kat kaplama SiC çubukların sertlik değerleri

Numune No	Kaplama Yüzeyi	Kaplama Açıklama	Sertlik (HV)
2	Yarı Tek Yüzey	Tek Kat Kaplama	2743
15	Yarı Tek Yüzey	Tek Kat Kaplama	2696
22	Yarı Tek Yüzey	Tek Kat Kaplama	2613
30	Yarı Tek Yüzey	Tek Kat Kaplama	2731
33	Yarı Tek Yüzey	Tek Kat Kaplama	2747
72	Yarı Tek Yüzey	Tek Kat Kaplama	2687
73	Yarı Tek Yüzey	Tek Kat Kaplama	2655
76	Yarı Tek Yüzey	Tek Kat Kaplama	2778
81	Yarı Tek Yüzey	Tek Kat Kaplama	2730
138	Yarı Tek Yüzey	Tek Kat Kaplama	2635
147	Yarı Tek Yüzey	Tek Kat Kaplama	2712

Çizelge 4.10. Yarı tek yüzey çift kat kaplama SiC çubukların sertlik değerleri

Numune No	Kaplama Yüzeyi	Kaplama Açıklama	Sertlik (HV)
2	Yarı Tek Yüzey	Çift Kat Kaplama	2815
15	Yarı Tek Yüzey	Çift Kat Kaplama	2792
22	Yarı Tek Yüzey	Çift Kat Kaplama	2790
30	Yarı Tek Yüzey	Çift Kat Kaplama	2827
33	Yarı Tek Yüzey	Çift Kat Kaplama	2801
72	Yarı Tek Yüzey	Çift Kat Kaplama	2869
73	Yarı Tek Yüzey	Çift Kat Kaplama	2833
76	Yarı Tek Yüzey	Çift Kat Kaplama	2785
81	Yarı Tek Yüzey	Çift Kat Kaplama	2845
138	Yarı Tek Yüzey	Çift Kat Kaplama	2801
147	Yarı Tek Yüzey	Çift Kat Kaplama	2795

4.1.4.2 3 nokta eğme testi sonuçları

Üretilmiş SiC seramiklerden boyutsal ve yoğunluksal olarak bir birine benzeyen 27 çubuğa 3 Nokta Eğme testi yapılmıştır. 27 Silisyum Karbür çubuğun 9 adedi grafen kaplamasız yani mevcut durumdaki Silisyum Karbür çubuktur. Bu çubukların 3 Nokta Eğme testi sonucu Çizelge 4.11’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.11. Grafen kaplamasız SiC çubukların 3 nokta eğme sonuçları

Numune No	Kaplama Yüzeyi	Kaplama Açıklama	Maksimum Kopma Kuvveti (N)	Maksimum Yer Değiştirme (mm)
14	Kaplamasız	Kaplamasız	534,375	0,173
39	Kaplamasız	Kaplamasız	687,5	0,149
48	Kaplamasız	Kaplamasız	568,75	0,111
57	Kaplamasız	Kaplamasız	700	0,228
69	Kaplamasız	Kaplamasız	650	0,1595
74	Kaplamasız	Kaplamasız	296,875	0,034
82	Kaplamasız	Kaplamasız	646,875	0,181
145	Kaplamasız	Kaplamasız	600	0,304
148	Kaplamasız	Kaplamasız	693,75	0,197

9 adet Silisyum Karbür çubuğun tek yüzeyi tek kat kaplama yapılmış olup, 3 nokta eğme testi sonuçları Çizelge 4.12 ’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.12. Tek yüzey tek kat kaplama SiC çubukların 3 nokta eğme sonuçları

Numune No	Kaplama Yüzeyi	Kaplama Açıklama	Maksimum Kopma Kuvveti (N)	Maksimum Yer Değiştirme (mm)
37	Tek Yüzey	Tek Kat Kaplama	718,75	0,351
40	Tek Yüzey	Tek Kat Kaplama	690,625	0,1645
49	Tek Yüzey	Tek Kat Kaplama	675	0,28
58	Tek Yüzey	Tek Kat Kaplama	646,875	0,229
65	Tek Yüzey	Tek Kat Kaplama	678,125	0,334
83	Tek Yüzey	Tek Kat Kaplama	693,75	0,347
86	Tek Yüzey	Tek Kat Kaplama	712,5	0,324
91	Tek Yüzey	Tek Kat Kaplama	643,75	0,228
94	Tek Yüzey	Tek Kat Kaplama	728,125	0,184

9 adet Silisyum Karbür çubuğun çift yüzeyi (alt ve üst yüzeyler) tek kat kaplama yapılmış olup, 3 nokta eğme testi sonuçları değerleri Çizelge 4.13’te gösterilmektedir.

Çizelge 4.13. Çift yüzey tek kat kaplama SiC çubukların 3 nokta eğme sonuçları

Numune No	Kaplama Yüzeyi	Kaplama Açıklama	Maksimum Kopma Kuvveti (N)	Maksimum Yer Değiştirme (mm)
19	Çift Yüzey	Tek Kat Kaplama	725,24	0,219
25	Çift Yüzey	Tek Kat Kaplama	749,17	0,354
27	Çift Yüzey	Tek Kat Kaplama	705,297	0,275
44	Çift Yüzey	Tek Kat Kaplama	775,58	0,295
47	Çift Yüzey	Tek Kat Kaplama	735,46	0,365
52	Çift Yüzey	Tek Kat Kaplama	743,03	0,299
61	Çift Yüzey	Tek Kat Kaplama	719,55	0,175
68	Çift Yüzey	Tek Kat Kaplama	747	0,255
95	Çift Yüzey	Tek Kat Kaplama	764,85	0,319

4.1.5 Balistik test sonuçları

Bu tez kapsamında 2 adet 135x150 mm lik atış numunesine Nurol Teknoloji Balistik Test Laboratuvarında balistik test uygulanmıştır. Yapılan balistik testlerin Nurol Teknoloji Balistik Test Laboratuvarı deney veri formları EK- A’ da verilmiştir. Balistik test uygulanan numune atış sonrası Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



a) Atış yüzeyi



b) Arka yüzey

Şekil 4.7. Balistik testi yapılmış zırh panelinin atış ve arka yüzeyleri

Bu testler sonucunda Numune-1 ve Numune -2 olarak adlandırılan atış numunelerinin balistik test ortam koşulları değerleri ölçülmüş ve Çizelge 4.14’ de verilmiştir.



a) Çarpma öncesi



b) Çarpma anı



c) Çarpmanın 0,1. saniyesi

Şekil 4.8. Balistik test anı görüntüleri

Çizelge 4.14. Balistik test sonrası ortam koşulları

Balistik Test No.	Balistik Test Numunesi	Sıcaklık	Nem
NTG-21-0241-1	Numune-1	20,2 °C	%48 RH
NTG-21-0241-2	Numune-2	19,6°C	%43 RH

Destek malzemesi olarak kullanılan ve atış sonrası travma değerlerinin ölçüleceği Roma Plastilina kilinin top düşürme testi değerleri Çizelge 4.15’de verilmiştir.

Çizelge 4.15. Top düşürme testi sonuçları

Balistik Test No.	Balistik Test Numunesi	Top Düşürme Değerleri mm				
		1	2	3	4	5
NTG-21-0241-1	Numune-1	18,28	17,69	17,89	18,03	19,01
NTG-21-0241-2	Numune-2	18,76	19,04	18,05	17,96	19,01

Numune-1 ve Numune-2 olarak adlandırılan atış numunelerine TS EN 1522 FB7 seviye balistik koruma seviyesi için yapılan tek atışın hız sensöründen okunan hız değerleri Çizelge 4.16’ da verilmiştir.

Çizelge 4.16. Balistik atış mühimmat hızları

Balistik Test No.	Balistik Test Numunesi	Hız-1 m/sn	Hız-2 m/sn	Sonuç
NTG-21-0241-1	Numune-1	833,04	832,82	PP
NTG-21-0241-2	Numune-2	829,79	828,87	PP

Numune-1 ve Numune -2 olarak adlandırılan atış numunelerine yapılan atış testi sonrası Roma Plastilina kili üzerinde oluşan penetrasyon dijital kumpas ile Fotoğraf 4.1’de gösterildiği gibi ölçülmüştür. Ölçülen travma değerleri Çizelge 4.17’de verilmiştir.

s Roma plastilina kili üzerindeki penetrasyon miktarları

Balistik Test No.	Balistik Test Numunesi	Penetrasyon mm			Sonuç
		1	2	3	
NTG-21-0241-1	Numune-1	43,19	43,20	43,24	PP
NTG-21-0241-2	Numune-2	35,55	35,58	36,04	PP



Fotoğraf 4.1. Roma plastilina kili penetrasyon değerlerinin ölçümü

BÖLÜM V

SONUÇLAR

Bu çalışmada, savunma sanayi de kullanılan en yaygın balistik seramiklerden Silisyum Karbür'ün ve Silisyum Karbür seramik kullanılarak üretilen zırh panellerinin yüzeylerine grafen transfer edilmiştir. Grafenli ve grafensiz Silisyum Karbür seramiklerin mekanik ve balistik özelliklerinde meydana gelen değişimler değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilmiş çıkarımlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Yaklaşık olarak 10 kg Silisyum Karbür tozu üretilmiş, paketlenme öncesi nem değeri ortalaması 0,219 g/m³ olarak tespit edilmiştir. Paketlenmiş SiC tozlarının ortalama tane büyüklüğü 1,07 mikron ölçülmüş olup kararlı toz üretimi gerçekleştirilmiştir.
- 12x7x95 mm $\pm 0,3$ mm referans boyutunda preslenen 150 Silisyum Karbür çubuğun, en ölçülerinde -%0,9, kalınlık ölçülerinde +%1,5 boy ölçülerinde +%0,09 tolerans gözlemlenmiş olup, referans toleranstan daha dar bir toleransta üretim yapılmıştır. Presleme sırasında standart aralıklarla kalıp ayırıcı kullanılması, preslenmiş ürünlerdeki kalite problemleri azalttığı tespit edilmiştir.
- Sinterlenmiş ürünlerin en ölçülerinde %22, kalınlık ölçülerinde %18, boy ölçülerinde %21,7 küçülme (ölçüsel daralma-çekme) ölçülmüş olup 137 SiC çubuğun sinterleme süreci başarılı şekilde tamamlanmıştır. Üretilmiş 150 SiC çubuktan 13 tanesinin kalınlık ölçülerinde %40 daralma gözlenmiş olup bu daralma miktarının toz tane boyutundaki farklılıklar, presleme ve sinter fırınındaki değişkenliklerden kaynaklı olabileceği yorumlanmıştır. Sinterleme sonrası seramik çubukların havada ağırlık ortalamaları 13,16 gram, suda ağırlık ortalamaları 8,97 gram, Arşimet prensibine göre hesaplanmış yoğunluk ortalamaları 3,14 g/cc olarak hesaplanmıştır. Kalınlık ölçülerinde %40 daralma gözlenen 13 seramik çubuğun yoğunluğu 3,13 g/cc ölçülmüştür. Tüm seramik çubukların yoğunluk sonuçları kalite spektlerinin içerisinde olup, yapılan mikro yapı incelemesi ile SiC çubuklarının homojen bir mikro yapıya sahip olduğu

gözlemlenmiş olup başarılı bir sinterleme prosesi gerçekleştirildiği netleştirilmiştir.

- 58 farklı Silisyum Karbür çubuk için sertlik testi yapılmıştır. Grafen kaplanmamış (transfer edilmemiş) SiC çubukların sertlik ortalaması 2330,67 HV, tek yüzeye tek kat grafen kaplanmış SiC çubukların sertlik ortalaması 2704,24 HV ölçülmüş olup, grafen kaplanmış SiC çubukların sertliği ortalama olarak %13,8 artış göstermiştir. Çift kat grafen kaplanmış 11 SiC çubuğun sertlik ortalaması, 2813,90 HV ölçülmüş olup, çift kat grafen kaplanmış ürünlerin sertlik ortalaması hiç kaplanmamışlara göre %17,2 bir kat grafen kaplanmışlara göre %3,9 artış göstermiştir. Ölçüm sonuçları baz alındığında, yüzeyleri grafen kaplanmış Silisyum Karbür seramiklerde kaplanmamış seramiklere göre sertlik artışı gözlemlenmiştir.
- 27 farklı Silisyum Karbür çubuk için 3 nokta eğme testi yapılmıştır. Çift yüzey tek kat grafen kaplanmış SiC çubukların dayanımı, tek yüzey tek kat grafen kaplanmış çubuklara göre %7,2 grafen kaplanmamış çubuklara göre %14,2 artmıştır.
- Silisyum Karbür çubuklar ile üretilmiş mevcut seramik zırh paneli ve grafen kaplanmış zırh paneline balistik test uygulanmıştır. Akredite balistik laboratuvarında TS EN 1522 FB7 koruma seviyesine zırh panellerine üzere yaklaşık 830 m/sn hıza sahip M61 mühimmat ile NIJ 0101.06 seviye 3 koruma seviyesine referans alınarak tek atış yapılmıştır. Atış sonucunda iki zırh panelide PP (başarılı) olup, mühimmatı tutmuştur. Ancak top düşüme testi ile kalibre edilmiş kil ile ölçülen travma değerleri incelendiğinde grafen kaplanmamış zırh panelinin travma değeri ortalama 43,19 mm olurken, grafen kaplı zırh panelinin travma değeri yaklaşık 35,55 mm ölçülmüştür. Ölçülen travma değerleri kıyaslandığında grafen kaplı zırh panelinin mühimmatın enerjisini grafen kaplı olmayan panele göre daha fazla sönmülediği ve grafenin balistik performansı artırdığı yorumlanmıştır.

- Silisyum Karbür çubuklar ve zırh paneli yüzeylerine transfer edilen grafenin mekanik ve balistik özelliklerde olumlu bir artış gösterdiği bu tez kapsamında gösterilmiştir. Fakat dış yüzeye kaplanmış olan grafenin, özellikle arazide kullanılacak zırh panelleri yüzeyine kaplanması seri üretimde pek mümkün olmayacaktır. Balistik seramiklerin mekanik ve balistik özelliklerini artırmak için grafenin toz üretimde katkı malzeme olarak kullanılması veya silisyum karbür tozları üzerinde büyütülerek sentezlenmesi yöntemleri seri üretimde kullanılacak ürünler için daha uygun olacaktır. Elde edilen ve yorumlanmış sonuçlar ilerleyen dönemde yapılacak çalışmalara ışık tutacaktır.



KAYNAKLAR

Alkan, M., Kendiliğinden ilerleyen yüksek sıcaklık sentezi yöntemi ile bor karbür tozu üretimi, Yüksek Lisans Tezi, **İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, s. 7-9, 2008

Altuntepe, A., Katkılı grafen sentezi ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, **Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde**, s. 1-2, 2019

Altuntepe, A., Katkılı grafen sentezi ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, **Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde**, s. 27-32, 2019

Angelo, P. C. ve Subramanian, R., (2009). Powder Metallurgy, **PHI Learning**, New Delhi, 2009.

Atapek, H., Bor katkılı bir zırh çeliğinin fiziksel metalürjik esaslar doğrultusunda geliştirilmesi ve balistik performansının değerlendirilmesi, Doktora Tezi, **Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kocaeli, s. 49, 2011

Atapek, H., Bor katkılı bir zırh çeliğinin fiziksel metalürjik esaslar doğrultusunda geliştirilmesi ve balistik performansının değerlendirilmesi, Doktora Tezi, **Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kocaeli, s. 50-51, 2011

Bahadır, A., Toz metalurjisi yöntemi ile a356 matrisli hibrit kompozit malzeme üretimi ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**, Karabük, s. 3-6, 2021

Bahadır, A., Toz metalurjisi yöntemi ile a356 matrisli hibrit kompozit malzeme üretimi ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**, Karabük, s. 23-25, 2021

Bakar, B., Alümina katkılı β silisyum karbürün sinterlenmesi ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, **İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, s. 7, 2009

Bakar, B., Alümina katkılı β silisyum karbürün sinterlenmesi ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, **İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, s. 21-28, 2009

Bradbury, S., Powder Metallurgy Equipment Manual, **U.S.A.**, 1986.

Demirel, M., Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen metal matrisli kompozitlerde Ni₃Al metallar arası bileşik takviyesinin aşınma davranışına etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, s. 59-61, 2007

Dericiler, K., Alternative Synthesis Methods and Applications of Graphene, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, s. 5-15, 2020

Ekerer, F., Alümina-sic partikül destekli t/m almatiksli kompozitlerin üretilmesi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, s. 17-19, 2007

Ekici, M., Alaşım elementleri ve sinterleme sıcaklıklarının TM ile üretilen çelik malzemelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, s. 1-5, 2010

Ekici, M., Alaşım elementleri ve sinterleme sıcaklıklarının TM ile üretilen çelik malzemelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, s. 25-28, 2010

Exner, H. E., Principles of single phase sintering, Volume 1, **Freund Publishing House**, Israel, 1979

Fan, Y., Wang, L., Li, J., Sun, S., Chen, F., L., Jiang, W., “Preparation and electrical properties of graphene nanosheet/Al₂O₃ composites”, **Carbon**, 48, 6, 1743–1749, 2010

Gençkan, D., Reaktif spark plazma sinterleme yöntemi ile b4c/sic kompoziti eldesi, Yüksek Lisans Tezi, **İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, s. 1-3, 2009

German, R.M., Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri 1. Basım”, Editör; Sarıtaş, S., Türker, M., Durlu, N., **Türk Toz Metalurjisi Derneği**, Ankara, 2007.

Güven, Ş., “Toz metalurjisi ve metalik köpükler”, **SDU Teknik Bilimler Dergisi**, 11 (2), 22-28, 2011

Harp Araç ve Gereçleri İle Silah, Mühimmat Ve Patlayıcı Madde Üreten Sanayi Kuruluşlarının Denetimi Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete Sayısı: 26514

NIJ0101.04, Ballistic Resistance of Personal Body, National Institute of Justice, Washington, 2000

NIJ0101.06, Ballistic Resistance of Personal Body, National Institute of Justice, Washington, 2008

Orhan M. ve Özer M., “Lazer kırınım yöntemiyle zeminlerin tane büyüklüğü dağılımının belirlenmesi: genel ilkeler ve örnek hazırlama yöntemi”, **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.**, 22 (2), 217-226, 2007

Özgültekin, S., Balistik zırhlarda kullanılan Kompozit malzeme kombinasyonlarının incelenmesi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, s. 2-5, 2012

Özgün, Ö., Toz metalurjisi ile üretilen alaşımlı çeliklerin mikroyapı ve mekanik özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, s. 3-4, 2007

Özgün, Ö., Toz metalurjisi ile üretilen alaşımlı çeliklerin mikroyapı ve mekanik özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, s. 5-8, 2007

Saddow, S. E., Agarwal, A., Advances in Silicon carbide processing and applications, Silicon carbide Overview, **Artech House**, 2004.

Somunkıran, İ., Demir Esaslı Molibden, Nikel, Bakır Katkılı Toz Metal Alaşımlarının Mekanik Özelliklerine Bakır Oranının Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, s. 23-30 1999

Şahin, O., TiB₂ ve B₄C takviyeli kompozitlerin toz metalurjisi yöntemiyle üretilirliğinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, **Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kırıkkale, s. 29-33, 2018

TS EN 1522, Pencere, Kapı, Panjur, Kepenk Mermi Direnci, Özellikler ve Sınıflandırma, TSE, 2001

Ulutaş, A., Bor takviyeli bakır kompozitinin toz metalurjisi yöntemi ile üretimi ve mekanik-elektriksel özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, s. 18-29, 2014

Url-1, https://www.atum.itu.edu.tr/tr/?page_id=309, Son Erişim Tarihi: 20 Eylül 2021

Url-2, <https://evrimagaci.org/grafen-nedir-malzeme-biliminin-nobel-odullu-basarisi-7568>, Son Erişim Tarihi: 25 Eylül 2021

Url-3, <https://www.epma.com/powder-metallurgy-products>, Son Erişim Tarihi: 18 Haziran 2021

Url-4, <https://tr.wikipedia.org/wiki/GOST>, Son Erişim Tarihi: 4 Eylül 2021

Url-5, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Grafen>, Son Erişim Tarihi: 6 Eylül 2021

Url-6, <https://gunvault.com/types-of-ammunition/>, Son Erişim Tarihi: 15 Ağustos 2021

Url-7, <https://fizikakademisi.com/2015/09/29/grafen-sentezi/>, Son Erişim Tarihi: 10 Eylül 2021

Url-8, <https://kar-tes.com.tr/blog/genel-bilgiler/toz-metalurjisi-nedir/>, Son Erişim Tarihi: 4 Haziran 2021

Url-9, <https://shop.nanografi.com.tr/grafen/?gclid=Cj0KCQiAgP6P-hDmARIsAPWMq6n63pzi4EYXcRzcVz1MndSaId94QF1ojKH3cnH8z-JbI>, Son Erişim Tarihi: 10 Ekim 2021

Url-10, <https://www.nurolteknoloji.com/ileri-teknik-seramikler>, Son Erişim Tarihi: 15 Temmuz 2021

Url-11, https://stringfixer.com/tr/Modelling_clay, Son Erişim Tarihi: 11 Ekim 2021

Url-12, <https://tr.wikipedia.org/wiki/STANAG>, Son Erişim Tarihi: 28 Eylöl 2021

Url-13, Balistik Testler <https://tr-test.com.tr/trtest/views/portalHeader/Balistik%20Testleri-44> Son Erişim Tarihi: 12 Eylöl, 2021

VPAM STANDARD, General basis for ballistic material, Cconstruction and product tests, VPAM APR 2006

Yıldırım, İ., Alümina ve Silisyum Karbür'ün mukavemet özellikleri üzerine üretim şartları ve bileşimin etkisi, Doktora Tezi, **İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, s. 14-16, 2003

Yıldırım, İ., Alümina ve Silisyum Karbür'ün mukavemet özellikleri üzerine üretim şartları ve bileşimin etkisi, Doktora Tezi, **İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, s. 19-22, 2003

Yılmaz, B., Zırh uygulamalarına yönelik grafen katkılı sic seramik kompozitlerin üretimi ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, **TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara**, s. 1-2, 2020

Yılmaz, B., Zırh uygulamalarına yönelik grafen katkılı sic seramik kompozitlerin üretimi ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, **TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara**, s. 3-4, 2020



EKLER

		DENEY VERİLERİ KAYIT FORMU		Yayın Tarihi: 09.04.2018 Doküman No: NT.BLG.FRM.026 Rev. No/Tarih: 2 / 14.11.2019 Sayfa :2/2						
Uygulanan Balistik Test Standardı		TS EN 1522 - N170101.06								
Uygulanan Balistik Test Standardının Seviyesi		TR7 / 1.2V3								
Tarih (gg.aa.yyyy)	06.12.2021	NUMUNE BİLGİLERİ								
Saat (ss:dd)	23:27	Numune Sahibi	Alihan ALAYLI							
Test No	Y16-2-0241-1	Numune Adı	Numune - 1							
Ortam Sıcaklığı (°C)	21.2°C	Seri Numarası	-							
Ortam Nemi (%Rh)	%68 RH	Ebat (mm) / Kütle (gr)	135x150 mm / 754 gram							
ŞARTLANDIRMA 10 GÜNLÜK PERİYOD ☐ 1 GÜNLÜK PERİYOD ☐		DÜŞÜRME TESTİ		DALDIRMA TESTİ						
ATIŞ DÜZENEGİ Atış Mesafesi (m) 10m Hız Okuma Mesafesi (m) 25m Namlu/Mühimmat 7.62x51 N62 Namlu Seri Numarası 4553 Barut Tipi / Miktarı 7.62 39.7 gr Çekirdek Kütlesi 9.7 gr		DESTEK MALZEMESİ Adı Kuma Plaketa Sıcaklığı (°C) Test Öncesi 38°C Test Sonrası Top Düşürme Değerleri (mm) Test Öncesi 18.28 17.69 17.89 18.03 19.01 Test Sonrası - - - - - Ortalama:								
ZİRH PANELİNİN DESTEK MALZEMESİ ÜZERİNE BAĞLANMA ŞEKLİ										
										
BİÇAK DÜŞÜRME TEST BİLGİLERİ										
Atış No	Enerji Seviyesi	Bıçak Tipi	Düşme				Polyart Kağıt Kesik Uzunluğu (mm)	Penetrasyon (mm)	Not	
			Açı (°)	Yükseklik (m)	Hız (m/s)	Enerji (J)				
1										
2										
3										
4										
5										
6										
ATIŞ TEST BİLGİLERİ										
Atış No	Hız (m/s)	Çarpma Hızı (m/s)	Penetrasyon (mm)			Sonuç (CP/PP) (S/NS)	Not			
1	833.04	832.82	43.19	43.2	43.24	PP				
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
Testi Yapan Personel İsim Soyisim		Sicil No		İmza						
U.F. SOYLU		2019-00625								
TEKNOLOJİ-SANAYİ VE MADENCİLİK YIC. A.Ş. BALİSTİK TEST LABORATUVARI Gebze Şubesi Oğulbeyi Cad. 3053 Cof. Hisar Osk39 Gölbaşı/ANKARA Tel: +90 312 615 55 11 Fax: +90 312 615 55 34 KAVAKLIDERE V.D. 632 001 2367										



DENEY VERİLERİ KAYIT FORMU

Yayın Tarihi: 09.04.2018
Doküman No: NT.BLG.FRM.026
Rev. No/Tarih: 2 / 14.11.2019
Sayfa :2/2

Uygulanan Balistik Test Standardı	TSEN 1522 - M10 0101-06		
Uygulanan Balistik Test Standardının Seviyesi	FB7 - J43		
Tarih (gg.aa.yyyy)	06.12.2021	NUMUNE BİLGİLERİ	
Saat (ss:dd)	01:03	Numune Sahibi	Alihan KAYILI
Test No	116-21-0241-2	Numune Adı	Numune - 2
Ortam Sıcaklığı (°C)	19,6 °C	Seri Numarası	-
Ortam Nemi (%Rh)	%64,3 RH	Ebat (mm) /Kütle (gr)	135 x 150 mm / 754 gram

ŞARTLANDIRMA 10 GÜNLÜK PERİYOD ☐ 1 GÜNLÜK PERİYOD ☐		DÜŞÜRME TESTİ ☐		DALDIRMA TESTİ ☐	
ATİŞ DÜZENEGİ		DESTEK MALZEMESİ			
Atış Mesafesi (m)	10 m	Adı	Sıcaklığı (°C)		
Hız Okuma Mesafesi (m)	2,5 m	Eme Plastik	Test Öncesi	38 °C	
Namlu/Mühimmat	7,62x51 M61	Test Sonrası			
Namlu Seri Numarası	4553	Top Düşürme Değerleri (mm)			
Barut Tipi / Miktarı	7,62 39,7 gr	Test Öncesi	18,76	19,04	18,05
Çekirdek Kütle	9,7 gram	Test Sonrası	-	-	-
		Ortalama:			

ZİRH PANELİNİN DESTEK MALZEMESİ ÜZERİNE BAĞLANMA ŞEKLİ		

BIÇAK DÜŞÜRME TEST BİLGİLERİ									
Atış No	Enerji Seviyesi	Bıçak Tipi	Düşme				Poliart Kağıt Kesik Uzunluğu (mm)	Penetrasyon (mm)	Not
			Açı (°)	Yükseklik (m)	Hız (m/s)	Enerji (J)			
1									
2									
3									
4									
5									
6									

ATİŞ TEST BİLGİLERİ						
Atış No	Hız (m/s)	Çarpma Hızı (m/s)	Penetrasyon (mm)		Sonuç (CP/PP) (S/NS)	Not
1	829,79	828,87	35,55	35,58	36,04	PP
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						

Testi Yapan Personel İsim Soyisim	Sicil No
U.F. SOYLU	2019-00625

TEKNOLOJİ SANAYİ VE MADENCİLİK TİC. A.Ş.
BALIŞIRAN TEST LABORATUVARI
Gölhisar Bulvarı
Oğultbey Mah. 3000 Cad. No:5 06630 Gölhisar ANKARA
Tel: +90 312 615 55 11 Faks: +90 312 615 55 34
KAVAKLIDERE Y.D. 612 604 2367

ÖZ GEÇMİŞ

Alişan ARASLI ./../.... tarihinde’da doğdu. İlk, ortaokulu ve lise eğitimlerini’ta tamamladı. 2017 yılında Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Makine Mühendisliği programını birincilik ile tamamlayıp “Makine Mühendisi” ünvanını aldı. Üniversite yıllarında 2 defa Erasmus+ programına katılan Araslı, yurt dışı eğitimleri ile mevcut yeteneklerini pozitif yönde ivmelemiş ve lisans eğitiminin son yılında DİTAŞ’ta profesyonel iş kariyerine Ar-Ge Test mühendisi olarak başlamıştır. Profesyonel iş hayatında, teorik bilgisini pratik ile harmanlayarak zenginleştirmiş ve DİTAŞ’ta sırasıyla üretim ve sürekli iyileştirme mühendisliği görevlerini üstlenmiştir. Aralık 2019’tan bu güne Türkiye’nin tek balistik seramik üreticisi Nurol Teknoloji Sanayi ve Madencilik Ticaret A.Ş.’de Sürekli İyileştirme Lideri olarak kariyerine devam etmektedir.

İyi bir mühendisin bulunduğu çevrede katma değer yaratacağına inanan Araslı, sürekli yeni şeyler öğrenerek, öğretilerini başkaları ile paylaşmaktan mutluluk duymaktadır. Kendini Global olarak zinde tutmak için yabancı dillerde eğitim alan Araslı, McKinsey & Company’nin 44 farklı ülke katılımcısı ile düzenlediği Forward programına kabul edilmiştir.

Araslı bireysel gelişimin, sanal ve spor ile harmanlanarak daha disiplinli bir kültür haline geldiğini savunuyor. Uzun yıllardır bağlama ve keman enstrümanlarını çalarken aynı zamanda Karate dalında siyah kuşak olan Araslı’nın Türkiye müsabakalarında madalyaları bulunmaktadır.

