

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SERAMİK YÜZEYLERDE İSTENİLEN YÜZEY DOKUSUNUN
ELDE EDİLMESİ İÇİN GEREKLİ LAZER PARAMETRELERİNİN
BELİRLENMESİ

FATMA GÖLBAŞI

KOCAELİ 2022

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SERAMİK YÜZEYLERDE İSTENİLEN YÜZEY DOKUSUNUN
ELDE EDİLMESİ İÇİN GEREKLİ LAZER PARAMETRELERİNİN
BELİRLENMESİ

FATMA GÖLBAŞI

DOÇ.DR. TİMUR CANEL

Danışman, **KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**

PROF.DR. YUSUF ATALAY

Jüri Üyesi, **SAKARYA ÜNİVERSİTESİ**

PROF.DR. ERDOĞAN TARCAN

Jüri Üyesi, **KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**

Tezin Savunulduğu Tarih: 24.01.2022

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmada,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

☒ Bu tez çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

☒ Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....

Fatma GÖLBAŞI

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır.

Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan “Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.

☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.

☒ Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

.....
Fatma GÖLBAŞI

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda danışmanım olan saygıdeğer hocam Doç. Dr. Timur Canel' e tezi hazırlamamda benimle tecrübelerini paylaşması, bakış açımı geliştirmesi, her zaman sabırla yardım etmesi ve yol göstermesi sebebiyle kendisine teşekkürlerimi sunarım.

3D optik profilometre çalışmaları için Dr. Sinan Fidan'a, CO₂ lazerini kullanmalarına izin veren Dr. Satılmış Ürün'e ve olumlu destekler için Prof. Dr. Tamer Sınmazçelik'e teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman yanımda olan ve hiçbir zaman benden desteklerini esirgemeyen, bana güvenen ve inanan, haklarını ödeyemeyeceğim sevgili aileme minnettarım.

Mart – 2022

Fatma GÖLBAŞI



İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ.....	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. SERAMİKLER.....	2
2.1. Dental Seramikler.....	3
2.2. Tam Seramikler.....	4
2.2.1. Cam-matriks Seramikler.....	4
2.2.2. Polikristalin Seramikler.....	4
2.2.3. Rezin-matriks Seramikler.....	4
2.3. Seramiklerin Özellikleri.....	5
2.3.1. Genel Özellikler.....	5
2.3.2. Mekanik Özellikler.....	5
2.3.3. Elektriksel Özellikler.....	5
2.4. Seramiklerin Kullanım Alanları.....	5
3. BOR KARBÜR.....	7
3.1. Bor Karbürün Kristal Yapısı.....	10
3.2. Bor Karbürün Kimyasal Özellikleri.....	11
3.3. Bor Karbürün Mekanik Özellikleri.....	11
3.4. Bor Karbürün Kullanım Alanları.....	11
4. LAZERLER.....	13
4.1. Genel Bilgiler.....	13
4.2. Lazer Tipleri.....	17
4.2.1. Kullanılan Aktif Maddelere Göre Lazerler.....	17
4.2.1.1. Gaz Lazerler.....	17
4.2.1.2. Katı-Hal Lazerleri.....	17
4.2.1.3. Yarı İletken Lazerler.....	18
4.2.1.4. Boya Lazerler.....	18
4.2.2. Elektromanyetik Spektruma göre Lazerler.....	19
4.2.3. Kullanılan Zaman Aralığına Göre Lazerler.....	19
4.3. Lazerlerin Kullanım Alanları.....	19
4.4. Lazerle Kullanılan Malzemeler.....	21
4.5. Lazerlerle Malzeme İşleme.....	21
4.6. Karbondioksit Lazer.....	22
5. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ.....	24
5.1. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Teknikleri.....	24
5.1.1. Optik Yöntem.....	24
5.1.2. Temas Yöntemi.....	24
5.1.3. Mekanik Yöntem.....	24
5.1.4. X Işını Yöntemi.....	24
5.1.5. Elektron Mikroskopi Yöntemi.....	24

5.1.6. Yüzey Dinamometresi Yöntemi	24
5.1.7. Replika Yöntemi.....	25
5.1.8. İzleyici Uçlu Cihazlar	25
5.1.9. Elektro Fiber Optik Yöntemi.....	25
6. HİDROFOBİKLİK.....	26
7. TAGUCHİ.....	28
8. BOR KARBÜRÜN LAZERLE İŞLENMESİ VE TAGUCHİ YÖNTEMİNİN KULLANILMASI.....	31
9. DENEY.....	35
9.1. Kullanılan Malzeme ve Analiz	35
9.2. Taguchi Yöntemi.....	35
9.3. Deneysel Çalışma ve Sonuçlar.....	36
9.4. Hidrofobiklik için 9. Saniyedeki Temas Açısı.....	38
9.5. Hidrofobiklik için İlk 9 Saniyede Temas Açısı Değişimi.	41
9.6 Regresyon Denklemleri	44
9.7. Doğrulama Deneyleri	45
10. SONUÇLAR.....	47
KAYNAKLAR.....	49
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	55
ÖZGEÇMİŞ.....	56

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. İki küre modeli	7
Şekil 3.2. İkili Denge Diyagramı	9
Şekil 3.3. Bor karbür elementer hücrenin eşkenar dörtgen yapısı	10
Şekil 4.1. Lazerlerin Temel Elemanları	14
Şekil 4.2. Çarpışma ile enerji transferi.....	22
Şekil 4.3. CO_2 titreşim modları	23
Şekil 6.1. Hidrofilik ve Hidrofobik yüzeylerde temas açısı	26
Şekil 9.1. İşlenmiş seramik yüzey üzerindeki su damlasının yandan görüntüleri;	39
Şekil 9.2. Hidrofobiklik için lazer parametrelerinin 9. saniyede temas açısı üzerindeki Ana Etki Grafikleri.	41
Şekil 9.3. Su damlası damlatıldıktan ilk dokuz saniyedeki temas açısı değişimi. Minimum değişim deney 8 ile elde edilmiştir.	42
Şekil 9.4. Hidrofobiklik için lazer parametrelerinin ilk 9 saniyede temas açısındaki değişim üzerindeki Ana Etki Grafikleri.	43
Şekil 9.5 Doğrulama deneylerinin sonuçları: maksimum temas açısı için;	45

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Bor karbürün genel özellikleri	8
Tablo 4.1. Lazer tipleri ve uyumluluk özellikleri	15
Tablo 4.2. Endüstride kullanılan lazerlerin karakteristik özellikleri	20
Tablo 4.3. Lazer güç yoğunluğuna göre uygulama alanı	20
Tablo 7.1. Dört parametre üç farklı seviye için Taguchi deney düzeneği	30
Tablo 9.1. Parametreler ve seviyeleri.....	36
Tablo 9.2. Taguchi Metoduna göre düzenlenmiş deney setleri.....	37
Tablo 9.3. Ölçülen temas açısı değerleri, değişimleri S/N oranları.....	38
Tablo 9.4. Taguchi Metoduna göre Hidrofobiklik için 9. Saniyedeki Temas Açısının ANOVA tablosu.	39
Tablo 9.5. Taguchi Metoduna göre Hidrofobiklik için ilk 9 Saniyedeki Temas Açısındaki değişimin ANOVA tablosu.	42
Tablo 9.6. Hesaplanan regresyon denklemleri sonuçları, deneysel sonuçlar ve yüzde farklılıkları.	44

SERAMİK YÜZEYLERDE İSTENİLEN YÜZEY DOKUSUNUN ELDE EDİLMESİ İÇİN GEREKLİ LAZER PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Bor karbür seramik yüzeyin hidrofobiklik veya hidrofiliklik özellikleri, yüzeyin pürüzlülüğünü ve dolayısıyla temas açısını manipüle ederek kontrol edilebilir. Bu çalışmada bor karbür yüzeyinin ıslanabilirliği, lazerin farklı parametreleriyle kontrol edilmeye çalışılmıştır. Yüzeyin hidrofobikliği temas açısı ölçümleri ile kontrol edilmiştir. Temas açısı ölçümünde, su damlacığı lazerle işlenmiş yüzeye düştükten sonra 9. saniyede ölçülmüştür. Ayrıca damlacık düştükten sonraki ilk 9 saniyedeki temas açısındaki değişim incelenmiştir. Daha hidrofobik bir yüzey için en büyük temas açısının damlacık düştükten sonraki 9. saniyede ve temas açısında zamanla en küçük değişikliğin olması hedeflenmiştir. Lazer tarama hızı, gücü, frekansı ve örtüşme hızının işlem görmüş yüzeyin temas açısı üzerindeki etkileri Taguchi yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. İncelenen her parametrenin sonucu ne ölçüde etkilediği hesaplanmıştır. Tarama hızı ve örtüşme oranı, en etkili iki parametre olarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçları doğrulamak için yapılan doğrulama testlerinin sonuçları, Taguchi yöntemi ile tahmin edilen sonuçlarla oldukça uyumlu olduğundan, Taguchi yöntemi lazer parametrelerinin optimize edilmesinde güvenilir bir yöntem olarak kabul edilebilir.

Anahtar Kelimeler: Doku Islatma, Lazerler, Seramik Mühendisliği, Yüzey Modifikasyonu.

DESIRED SURFACE TEXTURE ON CERAMIC SURFACES REQUIRED LASER PARAMETERS TO ACHIEVE DETERMINATION

ABSTRACT

Hydrophobicity or Hydrophilicity properties of boron carbide ceramic surface can be controlled by manipulating the roughness of the surface and thus the contact angle. In this study, the wettability of the boron carbide surface was manipulated by laser with different parameters. The contact angle was measured at 9th seconds after the droplet was dropped onto the laser-treated surface. Also, the change in contact angle in the first 9 seconds after the droplet was dropped was examined. For a more hydrophobic surface, it was aimed to have the largest contact angle at 9th seconds after the droplet was dropped and the smallest change with time in contact angle. The effects of laser scan speed, power, frequency and overlap rate on the contact angle of the treated surface were investigated using the Taguchi method. It was calculated to what extent each examined parameter affected the result. The effectiveness rates of the two most effective parameters which were scan speed and overlap rate were obtained. Since the results of the verification tests performed to confirm the results obtained are quite compatible with the results predicted by the Taguchi method, the Taguchi method can be regarded as a reliable method in optimizing laser parameters.

Keywords: Texture Wetting, Lasers, Ceramic Engineering, Surface Modification.

1. GİRİŞ

Bu tez çalışmasında Bor Karbür (B_4C) seramik yüzeyi CO_2 lazer ile işlenerek, yüzeyin hidrofobikliğini arttırmak için gerekli lazer parametreleri optimize edilmiştir. Bu amaçla $3cm \times 3cm$ 'lik yüzey alanına sahip Bor Karbür (B_4C) seramik yüzeyi pürüzlendirilmiş ve bu yüzeylerin kontakt açıları ölçülmüştür. Uygulanan lazer parametrelerinin, işlenen yüzeylerin pürüzlülük oranlarına ve kontakt açılarına etkileri incelenmiştir. Seramik yüzeylerini pürüzlendirme işleminde kullanılan CO_2 lazerin dört parametresi üç farklı seviyede incelenmiştir. Parametre optimizasyonunda ilk olarak Taguchi metodu kullanılmış ve daha sonra yüzey yanıt yöntemi ile tekrar optimizasyon yapılmıştır. Her iki yöntemle elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. İki farklı optimizasyon yöntemi sonucunda elde edilen optimum parametrelerle yapılan doğrulama deneyleri sonucunda uygulanan iki optimizasyon yöntemi karşılaştırılmış ve yöntemlerin uygulanabilirliği ispatlanmış ve hangi yöntemin optimizasyon işleminde daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir.

Çalışmanın deneysel kısmında lazerle işleme yapılan seramik yüzeylerin oluşturdukları pürüzlülükler dikkate alınmıştır. Lazer ışını ile seramik malzemenin etkileşimi sırasında yüzeyin homojen olmaması veya aşırı enerji aktarımı gibi sebeplerden dolayı, işlenen yüzeyde veya yakın bölgelerde yanma, çatlak ve kabarcık oluşumu gibi istenmeyen deformasyonlar oluşabilir.

Lazerle malzemenin yüzeyinin pürüzlendirilmesinde çok sayıda parametrenin kullanılması ve bu parametrelerin de birkaç seviyesinin incelenmesi çok sayıda deneyin yapılmasını gerektirir. Deney sayısının artması deney maliyetini arttırmasının yanında daha fazla zaman harcanmasına sebep olmaktadır. Deney sayısını azaltarak, az sayıda deneyle en verimli sonuçların elde edilebilmesi için bazı istatistiksel yöntemlere ihtiyaç duyulur. Hem zamanı hem de maliyeti azaltmak için optimizasyon yöntemleri uygulanabilir. Yüzeylerin işlenmesinde kullanılan dört parametre ve bunların üçer seviyeleri için yapılması gereken (3^4) = 81 deney yerine Taguchi metodunda 9 deney ve bir tane de doğrulama deneyi olmak üzere 10 deneyle optimum parametreler elde edilebilir. Böylelikle teorik kısımda tamamlanmış olacaktır.

2. SERAMİKLER

Seramik terimi, köken itibariyle Yunanca ‘topraktan yapılmış’ anlamına gelen keramos sözcüğünden gelmektedir ve Türkçe’ye Fransızca’dan “Seramik” olarak iletilmiştir (Hacıoğlu, 2014).

Seramikler; metalik ya da yarı metalik oksitler, fosfat, sülfat ya da diğer inorganik bileşenlerden meydana gelen inorganik, nanometalik materyallerdir (Anusavice ve diğ., 2012).

Seramik malzemeler yüksek ergime sıcaklığı, yüksek sıcaklık dayanımı, kimyasal kararlılık, yüksek sertlik, yüksek dayanıklılık, aşınmaya karşı yüksek direnç, yüksek oksidasyon direnci, düşük elektrik ve ısı iletkenliği, metallere göre daha hafif olmaları ve ham madde olarak bol miktarda bulunmaları gibi özellikleri nedeniyle günümüzdeki önemli malzeme gruplarından birini oluşturmaktadırlar. Tüm bu iyi özelliklerinin yanında gevrek yapıda olmaları seramikler için önemli bir dezavantajdır. Seramik malzemeler geleneksel seramikler ve ileri teknoloji seramikler olarak iki bölümde incelenebilir (Karaoğlu, 2008).

İleri teknoloji seramikler kimyasal bileşimlerine göre oksitler, karbürler, nitritler, olarak sınıflandırılabilirler. Bu sınıflandırmada karbürler arasındaki malzemelerden biri de bor karbürüdür (Karaoğlu, 2008).

Malzeme biliminin gelişmesi ile birlikte istenen özelliklerde sıcaklığa karşı dayanıklı, aşınma direnci oldukça yüksek, az maliyetli alaşımlar ve kompozit malzemeler meydana gelmiştir. Malzeme bünyesinde olmayan fakat sonradan kazandırılabilen özelliklerle birlikte malzemelere yüzeysel uygulama yöntemleri ile daha kaliteli özellikler kazandırılmıştır (Çocalak, 2019).

Seramikler, mikro ve hassas mühendislikte de önemli bir malzeme haline gelmekte ve elektronik parçaların üretiminde önemli bir yer edinmektedir. Malzemelerle ilgili beklentiler her geçen gün artmakta, daha yüksek sertlik ve sıcaklık gibi değerler istenmektedir. Ancak seramiğin sertliği arttıkça daha kırılgan hale gelmektedir ve klasik üretim metotları ile işlenmesi daha da zorlaşmaktadır. Çatlaklar ve gerilimler nedeniyle parçanın zayıflamasını önlemek için, mekanik yöntemlerde düşük hızlar

kullanılmaktadır. Takımlar abuk aşınmakta ve genellikle parça kalitesini korumak için ek çalışmalar gerekli olmaktadır. Ancak tüm bunlara rağmen, lazer ile işleme son derece avantajlı durumdadır.

İleri seramik malzemeler zırh sistemlerinde yüksek mekanik özelliklerinden (yüksek basma mukavemeti, sertlik, rijitlik gibi) dolayı 1960'lı yıllardan günümüze artarak devam eden bir kullanım alanına sahiptir. Oksit ve karbür seramikleri arasında alümina (Al_2O_3), bor karbür (B_4C) ve silisyum karbür (SiC) en çok tercih edilen zırh seramikleri olarak karşımıza gelmektedir. Seramik zırh bileşenleri hem fiyat hem de performansları göz önüne alınarak uygun şartlar altında tercih edilmektedirler (Yıldız, 2019).

2.1. Dental Seramikler

Dental seramik; silikat cam, porselen, cam seramik ve yüksek kristalin katıları içeren bir terimdir. Genellikle silika (Silikondioksit), silisyum oksit (SiO_2) veya çeşitli silikatlar formundadırlar (Anusavice ve diğ., 2012). Seramiklerde en çok kullanılan silika formu kuartztır. Feldpar, kuartz ve kaolinin belirli oranlarda karışımı ve yüksek ısılarda fırınlanması ile meydana gelen seramiklerin birçoğu bir kristal faz ve bir cam matrisi fazi içermektedir. Silikat camlar, merkezlerinde yer alan ve görece olarak daha büyük olan dört adet oksijen anyonuna bağlanan iki değerlikli katyondan meydana gelen silika içerikleri açısından nonsilikat camlardan farklılık göstermektedir. Bu silikon yapı; polimerik tip ($(SiO_2)_n$) zincirleri meydana getirmek için diğer tetrahedral yapılara (SiO_4) düzensiz şekilde bağlanmaktadır (Anusavice ve diğ., 2012).

Son 50 yılda, metal- seramik restorasyonlar en çok kullanılan restorasyonlar olsa bile daha estetik restorasyonların arayışı hızlanmıştır. Bu durum estetik uyum ve mekanik performans özellikleri açısından başarılı olan tam seramik materyallerin geliştirilmesine neden olmuş (Bonfante ve Gracis, 2014) ve tam seramik restorasyonların restoratif tedavide kullanımı ise popüler hale gelmiştir (Li ve diğ., 2014). Günümüzde tam seramik restorasyonlar, metal-seramik sabit protezlere alternatif olarak anterior ve posterior alanda günlük kullanıma girmiştir (Ferencz, 2014).

2.2. Tam Seramikler

Seramikler ve seramik benzeri restoratif malzemeler 3 gruba ayrılarak sınıflandırılabilir (Gracis ve Bonfante 2014);

2.2.1. Cam-matriks Seramikler

Bilgisayar destekli tasarım/bilgisayar destekli üretim (CAD/CAM) materyalleri, başarılı CAD/CAM uygulamalarında önemli bir rol oynamaktadır. Materyallerin çalışılabilirlik, iyi detay verme, estetik, bitim işlemlerinin kısa süreli olması ve uzun ömürlülük gibi özellikleri CAD/CAM restorasyonların uzun dönem başarısında belirgin önem taşımaktadır (Zimmerman ve diğ., 2013).

CAD/CAM sistemleri temel olarak 3 yapı içerir. Bunlardan ilki, preparasyonun intraoral veya ekstraoral olarak taranarak verinin toplanmasıdır. İkincisi yapı CAD, yani restorasyonun bilgisayarda 3 boyutlu olarak planlanması ve tasarımını sağlar. Üçüncü yapı CAM ise, sanal olarak hazırlanmış restorasyonun üretiminin gerçekleştirilmesidir (Çelik, 2013).

- . Feldspatik seramikler
- . Sentetik seramikler
- . Cam infiltre seramikler

2.2.2. Polikristalin Seramikler

- . Alümina seramikler
- . Stabilize zirkonya seramikler
- . Zirkonya ile güçlendirilmiş alümina seramikler
- . Alümina ile güçlendirilmiş zirkonya seramikler

2.2.3. Rezin-matriks Seramikler

Kompozisyonlarının büyük bir çoğunluğu rezin bir matriks içerisine gömülmüş cam ya da oksit seramikten meydana gelen bu materyaller, yapısal olarak seramik tanımlamasına uymamalarına karşın günümüzde rezin matriks seramikler ismi ile seramik sınıflamasına dahil edilmişlerdir (Bonfante ve Gracis, 2014; Gracis ve diğ., 2014). Bu gruplandırma materyalin dayanım ve adeziv simantasyon gibi özellikleri

açısından hekimin belirli bir materyali tercih etmesini kolaylaştırmaktadır (Bonfante ve Gracis, 2014).

2.3. Seramiklerin zellikleri

2.3.1. Genel zellikler

- . Düşük yoğunluk
- . Yüksek sertlik
- . Yüksek mekanik mukavemet
- . Boyutsal kararlılık
- . Aşınma dayanımı
- . Korozyon dayanımı (kimyasal etkilere karşı)
- . Havada bozunma dayanımı
- . Yüksek sıcaklık dayanımı
- . Düşük ya da termal iletkenlik
- . İyi bir elektrik izolasyonu
- . Dielektrik ve ferroelektrik özellikler

2.3.2. Mekanik zellikler

- . Yoğunluk
- . Mukavemet
- . Porozite

2.3.3. Elektriksel zellikler

- . Elektriksel direnç
- . Elektriksel geçirgenlik
- . Dielektrik kayıp faktörü

2.4. Seramiklerin Kullanım Alanları

Seramik malzemeler; işlevsel, dekoratif, sanatsal, sanatsal hedeflenerek üretilen seramik, çini, cam eserlerin yanı sıra tuğla, kiremit, pencere camı, duvar, yer karoları-vitrifiye (lavabo, klozet vb. banyo seramikleri) gibi mimari yapı, inşaat gereçleri, yemek-çay-kahve takımları vb. sofr/mutfak eşyaları, diş, kemik vb. protezler, sağlık

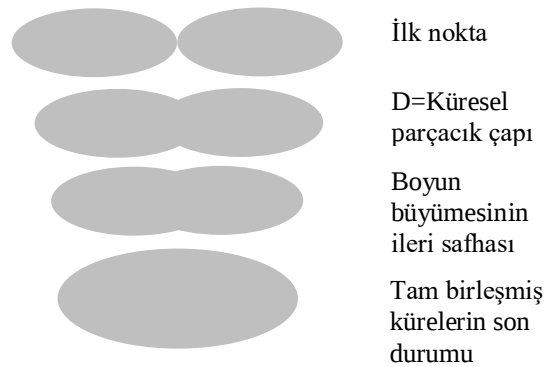
gereçleri-ilaçlar, sabun/deterjan gibi temizlik ürünleri, elektrik-elektronik-teknolojik makine/ekipman parçaları, insan ve araç/taşıt zırhları gibi mühendislik gereçleri, refrakterler ve bazı uzay teknolojileri gereçleri vb. şeklinde hemen hemen hayatımızın bir çok alanında kullanılmaktadır.



3. BOR KARBÜR

Bor karbür, elmas ve kübik bor nitrürden sonra en sert üçüncü malzemedir. B_4C , düşük yoğunluk ($2,52 \text{ g/cm}^3$), yüksek sertlik (31,5 GPa) ve yüksek aşınma direnci gibi özellikleriyle ön planda olan bir malzemedir. Bu özelliklerinden dolayı balistik, nükleer ve havacılık gibi alanlarda kendine geniş bir kullanım alanına sahiptir. Tüm bu iyi özelliklerinin yanı sıra düşük sinterlenebilirlik ve düşük kırılma tokluğu gibi özellikleri B_4C 'nin kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır. Bor karbürün özelliklerini geliştirmek amacıyla yapısına çeşitli katkıları yapılmaktadır. Literatürdeki çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda, çeşitli borürlerin (TiB_2 vb.), karbürlerin (SiC vb.), oksitlerin (Al_2O_3 vb.) ve çeşitli elementlerin (Al, B, Ti vb.) B_4C 'ye sinterleme katkısı olarak ilave edildiği birçok çalışma mevcuttur. Son dönemde de bu katkı malzemelerine karbon nanomalzemeler olarak tanımlanan karbon nanotüp (CNT) ve grafen nanoplaka (GNP) malzemeleri de eklenmiştir. Yapılan bu ilavelerle ilgili yapılan çalışmaların sonuçları incelendiğinde, bu katkıların B_4C 'nin sinterleme gidişatını geliştirdiği ve çeşitli mekanizmalar yardımıyla kırılma tokluğunda artış sağladığı belirlenmiştir (Apak, 2018, Yavaş ve diğ., 2015).

Sinterleme, serbest ve ince boyutlu toz partiküllerinin ergime sıcaklığının yarısının üstündeki bir sıcaklıkta ($<2/3T_{erg}$) gerçekleştirilen, partiküllerin yüzey alanının küçüldüğü ve temas noktalarının arttırılarak gözenek hacminin azaltıldığı bir ısıtma işlemidir. Bu bağlanma, ergime sıcaklığının altında katı halde atom hareketleri ile meydana gelebilir. Bazı durumlarda sıvı faz oluşumu ile birlikte gerçekleşir. Mikroyapı ölçeğinde bağlanma temas eden parçacıklar arasında boyun oluşumuyla birlikte kendini gösterir (Kang, 2005, Saritas ve diğ., 2007). Bu durum Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. İki küre modeli (Saritas ve diğ., 2007)

Sinterlemenin basamakları nokta teması ile başlayan ve parçacıklar arası bağ gelişimini gösteren iki küre sinterleme modeli ile şematik olarak gösterilebilir (Şekil 3.1). Boyun oluşumu ve büyümesi parçacıklar arası temas noktasında tane sınırı oluşturur. Eğer süre yeterli ise iki parçacık birleşerek sonunda büyük bir parçacık oluşturur. Uzun süre sinterleme iki parçacığın tamamen birleşerek çapı başlangıç çapının 1.26 katı olan bir küresel parçacık oluşturmaya yol açar. Preslenmiş ham parça içinde her bir parçacığın birçok komşusu vardır. Böylece, her bir parçacığın birden fazla değişik noktada bağ oluşur (Saritas ve diğ., 2007).

Sinterleme, yüksek sıcaklıkta atomların yayılımı ve ufak parçacıkların yüzey enerjisinin azalmasıyla gerçekleşir. Toz üretimi malzemeye enerji vererek yüzey alanı ya da yüzey enerjisi yaratma işlemidir. Sinterlemeyle birlikte katı-gaz ara yüzeylerin eliminasyonu sonucu bu yüzey enerjisi giderilir (Saritas ve diğ., 2007 ve Akın, 2010).

Bor karbür, metalik olmayan sert malzemeler sınıfı içerisinde yer alan, elmas ve kübik bor nitrürün ardından bilinen en sert üçüncü malzeme olma özelliği taşıyan ileri teknoloji seramik bir malzemedir. Bor karbür bileşiği ilk olarak 1858 yılında keşfedilmiştir. Daha sonrasında ise 1883 yılında Jolly ve 1894 yılında Moisan sırasıyla B_3C ve B_6C bileşiklerini tanımlamışlardır. B_4C stokiyometrik bileşimi ise 1934 yılında bulunmuştur (Thevenot, 1991).

Bor karbür düşük yoğunluk, yüksek sertlik, yüksek aşınma direnci, yüksek ergime sıcaklığı, yüksek nötron absorpsiyon kesiti gibi birçok üstün özelliklere sahiptir. Bor karbürün genel özellikleri Tablo 3.1.'de verilmiştir. Ayrıca, bor karbür yüksek mukavemet/yoğunluk oranına sahip olup kimyasal olarak en kararlı bileşiklerden biridir (Göller, 1992).

Tablo 3.1. Bor karbürün genel özellikleri (Yavas, 2014)

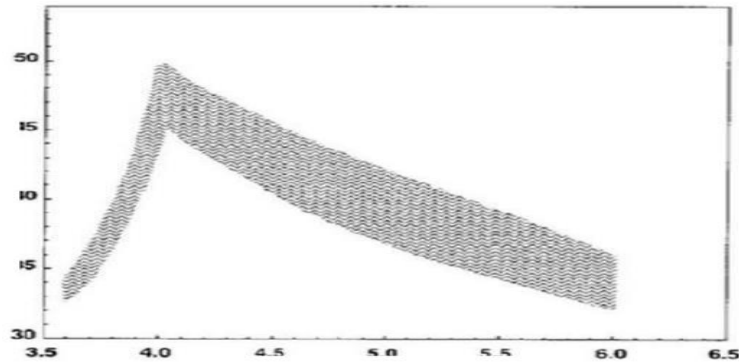
Özellik	Değer
Yoğunluk (g/cm^3)	2,52
Ergime sıcaklığı ($^{\circ}C$)	2445
Kristal yapı	Rombohedral

Tablo 3.1. (Devam) Bor karbürün genel özellikleri (Yavas, 2014)

Sertlik (Knoop 100g) (kg.m^{-2})	2900 – 3580
Vickers mikrosertliği (GPa)	31,5
Kırılma tokluğu ($\text{MPa.m}^{1/2}$)	2,9 – 3,2
Elastisite modülü (GPa)	400 – 450
Kayma modülü (GPa)	186,5
Eğme mukavemeti (MPa) (25°C'de)	345
Çekme mukavemeti (MPa)	155
Elektriksel iletkenlik (25°C'de) (S)	140

Literatür incelendiğinde bor/karbon oranı 3,8 ile 10,04 arasında değişiklik göstermektedir. Teknik bor karbür için bu oran 3,9-4,3 arasında olurken tipik bor karbür için bu oran 4,0-4,1'dir (Yavaş, 2014).

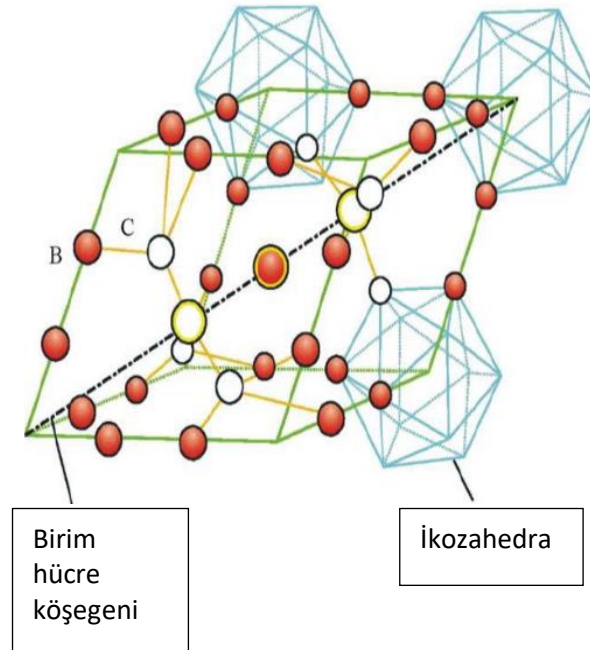
Değişen karbon oranı bor karbürün mekanik özelliklerini ciddi ölçüde etkilemektedir. Şekil 3.2.'deki bor karbürün sertliği ve B/C oranı arasındaki ilişkiyi gösteren grafik incelendiğinde malzemenin sertlik değerinin B/C oranı 4 iken maksimum olduğu görülmektedir (Yavaş, 2014).



Şekil 3.2. İkili Denge Diyagramı (Yavaş, 2014)

3.1. Bor Karbürün Kristal Yapısı

Bor karbürün kristal yapısı için en çok kabul alan kristal yapı, birim hücrenin köşelerinin 12 atomlu ikozahedralar tarafından işgal edildiği rombohedral yapıdır. Rombohedral yapının en uzun köşegeni (C-B-C) doğrusal zinciri şeklinde birbirine bağlanmış üç atom içerir. Her bir zincirin son elemanı da kovalent bağlarla 3 farklı ikozahedranın bir atomuna bağlanmış durumdadır. Genellikle ikozahedralar 11 bor atomu ve 1 karbon atomundan meydana gelir. Bu ikozahedral yapılar bor atomunun valans elektronundaki eksikliği tamamlamak için ihtiyacı olan 3 adet kovalent bağı sağlamak için oluşmaktadır. İkozahedrallardaki atomların altısı polar konumlarda iken diğer altısı ekvatorial konumlarda bulunur. Polar konumlardaki atomlar diğer ikozahedralara iki kovalent bağla birim hücrenin köşelerinden doğrudan bağlanırken, ekvatorial konumlardaki atomlar ise diğer ikozahedralara 3 adet kovalent bağ ile doğrudan veya zincir yapısı ile bağlıdırlar. İkozahedraların çoğu $B_{11}C$ yapısında olup C atomları polar konumlarda bulunmaktadır. Karbon içeriğine göre B_{12} ya da $B_{10}C_2$ yapısında ikozahedralar da mevcuttur ve Şekil 3.3.'de gösterilmiştir (Suri ve diğ., 2010).



Şekil 3.3. Bor karbür elementer hücrenin eşkenar dörtgen yapısı (Alp, 2011)

3.2. Bor Karbürün Kimyasal Özellikleri

Bor karbür kimyasal olarak en kararlı bileşiklerden biridir (Göller, 1992). Bor karbürün standart meydana geliş entalpisi 9,3-17,1 kcal/mol arasındadır. Bor karbür asit ve bazlarla genellikle reaksiyon vermez. HF-H₂SO₄ ve HF-HNO₃ karışımlarında çok uzun zaman dilimlerinde yavaşça çözünüm gösterir. Sıcak ortamlarda HNO₃- H₂SO₄-HClO₄ gibi asitlerle oksitlenebilir. Oksitlenme sonucunda bor karbür partiküllerinin yüzeylerinde B₂O₃, HBO₃ veya H₃BO₃ filmi meydana gelir. 1000°C'nin üstündeki sıcaklıklarda bor karbürün demir, titanyum, zirkonyum, nikel, alüminyum ve silisyum gibi metallerle reaksiyona girmesi sonucunda çeşitli borür ve karbürlerin elde edilmesi mümkündür. Çoğu nitrür ve karbürler ergimeden direk buharlaşarak bozunmaya maruz kalırken bor karbür 2450°C'de ergiyerek sıvı faz meydana getirir (Karabas, 2006). Bor karbür 200-300°C'deki su buharına karşı dayanıklıdır (Alp 2011).

3.3. Bor Karbürün Mekanik Özellikleri

Bor karbür diğer sert malzemeler ile kıyaslama yapılmak istenirse elmasın sertliği 70-120 GPa arasında, nitrülenmiş çeliğin sertliği ise yaklaşık 21 GPa olarak verilmektedir (Yavas, 2014). Bor ve karbon arasındaki kuvvetli kovalent bağdan dolayı bor karbürün sertliği yüksektir (Apak, 2018).

Bor karbür üstün aşınma direncine sahip bir malzemedir. Bilinen en sert malzemeler ile mukayese edildiğinde elmas 0,613 ile relatif çizelgede en yüksek değere sahipken B₄C 0,422, SiC ise 0,314 değerine sahiptir. Azot gazı ortamında mukavemet değeri 1500°C'ye kadar oda sıcaklığındaki değerini koruyabilir. Spesifik mukavemet olarak adlandırılan mukavemet/yoğunluk oranına bakıldığında bor karbür ideal bir malzeme olarak karşımıza gelmektedir (Karabaş, 2006).

Tüm bu iyi mekanik özelliklerinin haricinde kırılma tokluğunun düşük olması (2,9-3,2 MPa·m^{1/2}) bor karbürün kullanımı açısından bir olumsuzluk oluşturmaktadır (Yavaş, 2014).

3.4. Bor Karbürün Kullanım Alanları

Bor karbür özelliklerinden dolayı uygulamada kendisine geniş kullanım alanı bulmaktadır. Yüksek sertlik, mukavemet ve düşük yoğunluğu sayesinde balistik zırh

uygulamalarında da tercih edilmektedir. Bor karbür esaslı zırh sistemleri geleneksel sistemlere oranla çok daha hafif olduğu için tank ve helikopter gibi sistemlerin hareket ve manevra kabiliyetini arttırmaktadır. Yüksek nötron absorpsiyon kesiti sayesinde nükleer reaktörlerdeki kontrol çubuğu olarak kullanılabilir. Bor karbürün nötron absorblama yeteneği yapısındaki bor izotopundan kaynaklandığı için bu amaçla kullanılacak bor karbürün yüksek oranda bor içermesi gerekmektedir (Karabaş, 2006). Yüksek sertlik, aşınma direnci ve elmasa göre uygun fiyatlı olmasından dolayı aşındırıcı cihazların nozüllerinde bor karbür kullanımı mevcuttur (Apak, 2018). Özellikle yapısında karbon bulunan magnezya-karbon refrakterlerinde karbonun oksitlenmesini frenlemek amacıyla antioksidan olarak kullanılmaktadır (Karabaş, 2006). Yüksek orandaki bor içeriği nedeniyle diğer bor bileşiklerinin üretimi gibi alanlarda bor karbür çokça kullanılmaktadır. Sahip olduğu yüksek Seebeck katsayısı sayesinde olağanüstü bir termoelektrik malzemesidir (Suri ve diğ., 2010). Bor karbür yüksek sıcaklık yarı iletkeni olan bir malzemedir ve termoçiftlerde elektrod olarak kullanılmaktadır (Kuzenkova ve diğ., 1979). Elektrod malzemesi olarak kullanılabilecek metallere mukayese edildiğinde metallerin hızlıca özelliklerini kaybettikleri ortamlarda bor karbür yapısını korumaktadır (Apak, 2018). Bor karbür uzay mekiklerinde dış yüzey koruyucu olarak da kullanılmaktadır (Alp, 2011).

4. LAZERLER

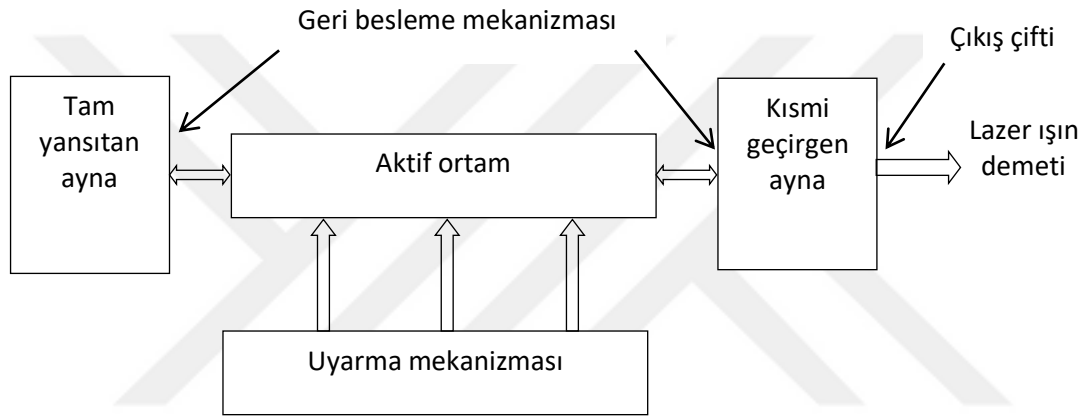
4.1. Genel Bilgiler

Etkilenmiş ışımada olayında uyarılmış atomlar üzerine gönderilen bir ışın demeti, atomların aynı frekansta fotonlar yayınlamaya gelen ışımaya daha fazla güçlendirmesine yol açar. Bu etkiden yararlanan lazer aygıtında, belirli bir frekanstaki ışımaya güçlendirilmiş olarak ortaya çıkar (Zafiratos ve diğ., 2008). Lazer sözcüğü ‘‘Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation’’ kelimelerinin baş harflerinden oluşmuştur (Zafiratos ve diğ., 2008). Lazer cihazlarının temel prensibi bir ışık kaynağından çıkan foton enerjisinin belirli bir ortamdan geçirilmesi yoluyla, bu ortamın atomlarındaki elektronların dönüş hızını arttırmak ve bu şekilde gelen ışınlardan çok farklı dalga boyunda, tek bir doğrultuda hareket eden yeni bir ışın elde etmektir (Boyras, İ. ve Yıldız, A., 2016).

Etkilenmiş ışımada atomlardaki yük salınımları dış kaynağın frekansı ile eş uyumludur. Başka bir deyişle, geçiş sırasında yayınlanan ışımaya ile onu etkileyen ışımaya aynı fazda olur. Yayınlanan fotonların bu eşyumu (coherence) sonucu oluşan ışık dalgası sinüs bir dalga olur. Bu durum normal ışık kaynaklarından gelen ışığın yapısından farklıdır; bir lambadaki atomların yayınladığı fotonlar birbirlerine göre rastgele fazlarda olurlar. Ayrıca, etkilenmiş ışımada oluşan fotonların tümünün etkileyen ışımaya ile aynı yönde ilerlediği de gösterilebilir. Bu uzayda eşyumu özelliğiyle lazer ışığı demeti uzayda çok belirgin bir yönde yayılır (Zafiratos ve diğ., 2008).

Lazer ışınlarını meydana getirmek için radyasyon emisyonu sağlayacak aktif bir ortam (katı, sıvı, gaz), enerji kaynağı, elektron hareketlerini hızlandırmak için rezonans ayna sistemi ve fiber-optik bir iletken gereklidir (Boyras, İ. ve Yıldız, A., 2016). Einstein'e göre atomlar ve moleküller sürekli bir osilasyon durumunda bulunurlar. Bu osilasyon enerji yönünden uyarılmış durumdadırlar. Uyarılmış atomların bazıları 8-10 saniye gibi çok kısa sabit duruma geçer ve bu esnada bir foton enerjisi açığa çıkar. Meydana gelen bu foton enerjisi lazer ortamının iki ucuna konulan rezonans aynalar arasında gidip gelmesi sağlanarak amplifiye edilir. Bu aynalardan biri yarı geçirgen olduğu takdirde meydana gelen enerji buradan çıkıp yeni bir ışık şeklinde boşlukta yol alır. Meydana gelen bu ışık fiziksel özellikleri farklı olan lazerdir (Snyder ve diğ., 1988).

Kısaca kendiliğinden salınım yapan atom, rastgele bir salınım yapacağından, uyumlu bir dalga üretemez. Ancak uyarılmış salınım yapan atom, aynı frekanslı dalga üretebileceğinden, uyumlu dalga üretilmiş olur. Lazer ışığının oluşmasında iki temel durum vardır (Morova, 2021). Bunlardan ilki aktif ortam olduğunda atomların kendiliğinden salınım yapabilmesidir. İkincisi ise, uyarılmış atomların sayısının taban durumuna doğru ilerlemiş atomların sayısından fazla olması durumudur. Bu durumda uyarılmış salınımdan dolayı bir ucundan giren ışın demeti daha fazla yoğunlaşmış olarak aktif ortamın diğer ucundan çıkar. Böylece optik kazanç sağlamış olur. Lazeri oluşturan temel elemanlar Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Lazerlerin Temel Elemanları (Serway ve Beichner, 2011)

Genel olarak lazerler;

- Uyumluluk (Coherence)

Frekansı, fazı ve doğrultusu aynı olan iki dalga birbiriyle uyumlu (Coherence) olan dalgalar olarak tanımlanır. Uyumlu olan dalgaların her biri sinüzoidal olup, belli bir genliğe ve dalga boyuna sahiptirler. Lazer ortamından dışarıya çıkan dalgaların maksimum genliği ve dalga uzunluğu sabit kalmaktadır. Eğer tutarlı olan iki dalga formu dondurulmuş gibi düşünülürse, onların sinüzoidal hareketlerinin aynı durumunda oldukları görülecektir. Bu dalgalardan birisi durdurulduğu anda zirve noktasında ise diğeri de zirve noktasında olacaktır. Kısmi tutarlılığın bu çeşidi, zamansal uyumluluk olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir çeşidi ise, Yan uyumluluk olarak tanımlanmaktadır. Yan tutarlı olan dalgalar lazerin ön tarafından bakıldığında iki dikey çizgi olarak görülecektir. Bu çizgiler her zaman dikey olacak; fakat bunlar arasındaki mesafe ise hep

sabit kalacaktır. Tablo 4.1.'de yaygın olarak kullanılan lazerlerin uyumluluk mesafesi verilmiştir (Wilson ve Hawkes, 1987). Lazerlerin kendilerine ait farklı uyumluluk özellikleri bulunmaktadır.

Tablo 4.1. Lazer tipleri ve uyumluluk özellikleri (Wilson ve Hawkes, 1987)

Lazer tipi	Tipik uyumluluk uzunluğu
He-Ne Tek modlu	<1000
He-Ne Çok modlu	0,1-0,2
Argon Çok modlu	0,02
Nd:YAG	$1*10^{-2}$
Nd:Cam	$2*10^{-4}$
GaAs	$1*10^{-3}$
Yakut	$1*10^{-2}$

- Uzaklaştıkça dağılma (Divergence)

Lazerden çıkan ışık bir demet şeklindedir. Lazer ışığı başka ışıklar gibi çok geniş bir bölgeye yayılmaz. Çünkü lazer yalnız birbirine paralel olan demetler üretir. Fakat bu kesin bir paralellik değildir. Her zaman az da olsa bir eğilme vardır. Bu eğilmeye difraksiyon denir (Driscoll ve Vaughn, 1978).

- Yoğunluk (Intensity)

Birim alana gönderilen enerji miktarı ya da güç miktarı olarak ifade edilir.

- Yönlendirilebilirlik (Directionality)

Işık kaynağı olarak günlük hayatta kullandığımız lambalardan her yönde ışık yayılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan ışık kaynakları bu şekilde ışık yaymaktadır. Yönlendirilebilirlik, lazer ışığının karakteristik özelliklerinden biri olup bir yönde dar bir hünide yayılımı söz konusudur. Işığın yönlendirilebilirliğinin oldukça paralel olması,

ışığın bir araya leke şeklinde toplanabilmesini sağlamaktadır. Lazer ışınları oldukça uzun bir mesafeyi sabit genişlikte bir ışık demeti olarak alır, bu mesafeden sonra genişlemeye başlar. Yapılan çalışmalardan elde edilen genişliğin sabit olduğu mesafenin formülü Denklem (4.1)' de verildiği gibidir (Ready, 1971).

$$D_m = \frac{d_0^2}{4\lambda} \quad (4.1)$$

Denklemde d_0 : Optik çukur aynalar arasındaki mesafedir.

Bazı uygulamalarda optik sistemler kullanılarak lazer çıkış demetinin yönlendirilebilirliği geliştirebilir. Bu tip lazer sistemlerinden biri ile lazer ışığının aydaki lekesi 1,5 mil yarıçapında olmuştur (Schawlow, 1969).

- Hızlı olma

Zaman kaybı olmadan kısa sürede işlem yapabilme olanağı sağlar.

- Tek renkli olma (Monochromatic)

Lazer ışık kaynakları tek renklidir (Born, 1980). Fakat gauss dağılımından dolayı mutlaka farklı frekanslarda bileşenleri de vardır. Lazer ışınının kalitesi diğer bileşenlerin azlığı ile belirlenir. Ama mutlaka diğer bileşenler vardır. Beyaz ışık, görünebilir tayftaki renklerin çoğunu veya tamamını kapsar. Renkler, görünebilir dalga boyundaki belli aralıktaki ışınları içerir. Yeşil trafik lambası komşusu olan sarı ve mavi bölgelerdeki dalga boyundaki ışınları kısmi olarak yayar. Lazer ışın demeti bir dalga boyundadır (O'Shea ve diğ., 1977).

- Hassas olma

Geniş ölçme skalasına sahiptir.

- Temiz olma

İşlem sırasında veya sonrasında etrafta kalıntı bırakmaz.

gibi özelliklere sahiptir.

4.2. Lazer Tipleri

4.2.1. Kullanılan Aktif Maddelere Göre Lazerler

4.2.1.1. Gaz Lazerler

Gaz lazerlerin yaydığı ışıkların dalga boyu 630 ila 1000 nm arasında değişiklik göstermektedir. Gaz lazerlerde ışığın radyasyon şekli sürekli veya darbeli modda olabilir. Gaz lazerleri darbeli modda çalıştırılarak mor ötesi dalga boyu bölgesinde çok yüksek güçte ışık demeti elde edilebilir (Weber, 2019). Atomik gaz lazerlerde nötr bir atomun elektronik enerji seviyeleri arasındaki geçişler kullanılırken iyonik gaz lazerlerde iyonize bir atomun elektronik enerji seviyeleri arasındaki geçişler kullanılır. Moleküler olan gaz lazerlerde ise aktif moleküllerin titreşim ve dönme enerji düzeyleri arasındaki geçişler kullanılır.

- Helyum-Neon lazer

1 m uzunluğunda cam bir tüple, içinde yaklaşık olarak 1 torr basınçta He ve 0.1 torr basınçta Ne gazlarından meydana gelir. Cam tüpün her iki ucunda yüksek yansıtıcı özelliğe sahip aynalar, hassas biçimde birbirine paralel olarak yerleştirilip yüksek voltaj uygulanarak elde edilir.

- Argon lazer

He-Ne lazerinden farklı olan Ar^+ lazeri, bir kez iyonlaşmış atomun iki enerji seviyesi arasındaki geçişe göre çalışır. Bir kez iyonize olmuş Ar^+ atomları için, her bir atomdan bir elektron kaldırılması gerektiğinden, yüksek enerjili elektronlar kullanılır.

- Helyum-Kadmiyum
- Karbondioksit lazer
- Bakır (CVL) lazer

4.2.1.2. Katı-Hal Lazerleri

Katı-Hal lazerler, genellikle kristal veya cam gibi katı malzemeden yapılmış olan çubuk kullanmaktadır. Çubuk, her iki tarafı özel olarak parlatılmış olan silindir şeklindedir.

Burada çubuğu oluşturan temel malzeme cam veya kristal malzemedir (Tarakçıoğlu ve Özcan, 2004).

- Yakut lazer
- Nd:YAG lazer
- Nd:cam lazer
- Alexandrite lazer
- Titanyum lazer
- Krom lazer

4.2.1.3. Yarı İletken Lazerler

Yarı iletken lazerler de bir p-n eklemi aktif ortamı meydana getirir. Böylece lazer ışını elde etmede sağlanması gereken öteki şartlar, iyon nüfusunun terslemesi ve optik geri beslemesidir. Uyarılmış salınma meydana getirmek için, birçok elektron ve boş hollerin bir arada bulunduğu bir aygıt bölgesi bulunma zorunluluğu vardır. Bu yüksek derecede katkılandırılmış n ve p tipi maddelerden meydana gelen bir ekleme, pozitif yönde gerilim uygulanmasıyla oluşur. Böylece p-n tipi maddede Fermi seviyesi değerlik bandının içinde bulunur (Altındağ, 2011).

- Diyot lazer
- Excimer lazer

4.2.1.4. Boya Lazerler

Boya (Dye) lazerler (sıvı gaz lazerler olarak da bilinirler). Lazer cihazların başka bir tipidir. Çalışma skalaları 190 dan 11000 nm ye kadar uzanır. Kullanılan boyanın cinsine göre çok farklı tipleri vardır. Yüksek ışık yoğunluklu lambalarla optik pompalı olarak çalışırlar (Tarakçıoğlu ve Özcan, 2004).

Sıvı lazerlerin en önemli özelliklerinden biri istenilen frekans bölgesindeki çalıştırılması gerçekleştirilebilir. Bu lazerlerin çok sayıda molekül yapısı olduğundan çok sayıda elektron uyarılma seviyeleri de vardır. Her bir uyarılma seviyesi ise çoklu sayıda titreşim seviyelerine sahiptir. Bütün bu seviyeler üst üste binerek bir araya gelebilirler. Çukur içerisine yerleştirilmiş olan dalga uzunluğunu seçmeye olanak sağlayan alet istenilen dalga boyu uzunluğunu seçerek dışarıya iletilmesini sağlar. Boyaların miktarını

ve karışım oranını değiştirerek görünür dalga boyundaki ışınların tayfı yakalanabilir. Rhodamine 6G yaklaşık olarak kırmızı ışık bölgesi üzerinde 200 nm bir bant genişliğinde ayarlanabilir (Tarakçıoğlu ve Özcan, 2004).

4.2.2. Elektromanyetik Spektruma göre lazerler

- Kızılötesi Lazerler
- Görünür Bölge Lazerleri
- Morötesi Lazerler

4.2.3. Kullanılan Zaman Aralığına Göre Lazerler

- Sürekli Dalgalı Lazerler
- Atımlı Lazerler
- Ultra-kısa atımlı Lazerler

4.3. Lazerlerin Kullanım Alanları

Lazerin uygulama alanlarından biri uzun mesafelerin hassas olacak bir şekilde lazer kullanılarak ölçülmesidir. Bu uygulama dünya üzerindeki farklı noktaların ay üzerindeki bir noktaya olan uzaklıklarını astronomik fizik amaçlar için mümkün olduğu kadar hassas ölçmeye sahiptir. Böyle bilgiler daha güvenilir daha gerçekçi deprem tahminleri yapma da ve Dünya-Ay sisteminin hareketleri hakkında daha fazla bilgi sahibi olmamızı sağlar. Bu yöntem sayesinde yeryüzünde ulaşılamayan noktaların uzaklıklarını ölçmede de kullanılır (Tarakçıoğlu ve Özcan, 2004).

Lazer cerrahisi günümüzde kullanışlı bir yöntem olarak karşımıza gelmektedir. Lazer bıçağı'nın geleneksel yöntemlere üstünlüğü, lazer ışığının aynı zamanda hem kesip hem kesip hem de yakarak pıhtılaşmayı gerçekleştirdiği için kan kaybını önemli ölçüde azaltmasıdır. Lazer ışın demeti fiber optik kablolar yardımıyla da taşınabilir. Bu sayede büyük cerrahi müdahaleye gerek duyulmadan vücudun doğal kanallarından içeriye fiber optik kablo sokularak iç organlarda dolaştırılıp vücudun iç bölgelerindeki özel konumlara lazer ışın demeti yönlendirilebilir. Örneğin; ülseri mide bölgesi ağızdan girilen fiber optik endoskopa taşınabilir (Tarakçıoğlu ve Özcan, 2004).

Lazer ışın demetlerinden faydalanılarak metal ve diğer malzemelerin hassas bir şekilde kesilmesi, delinmesi, kaynatılması gibi işlemler de gerçekleştirilmektedir.

Endüstride kullanılan lazerlerin karakteristik özellikleri Tablo 4.2.'de verilmiştir. Lazerlerin güç yoğunluğuna göre kullanım alanları ise Tablo 4.3.'te verilmiştir.

Tablo 4.2. Endüstride kullanılan lazerlerin karakteristik özellikleri (Tarakçıoğlu ve Özcan, 2004)

Lazer tipi	Verim	Dalga boyu(nm)	Sürekli gücü(W)	Odak tepe gücü (W)	Üretim uygulaması
CO_2	>10	10600	>1000	10^8	Kesme, delme, markalama, kaynak, vb. ısıtma işlemi
He-Ne	<0.1	633	0.002d	10^{-3}	Ayarlama dalga kılavuzu
Nd:Cam	>1	1060	>1000	10^9	Delme, kaynatma
Nd:Yakut	<0.5	694	0.05	10^8	Del, delme
Nd.YAG	>10	1060	>100	10^9	Kesme, delme, markalama, kaynak, vb. ısıtma işlemi

Tablo 2.3. Lazer güç yoğunluğuna göre uygulama alanı (Tarakçıoğlu ve Özcan, 2004)

Güç yoğunluğu (W/cm^2)	Materyalin tepkisi	Tipik uygulaması
$<10^4$	Isınma	Isıtma, ısıtma işlemleri
10^4-10^6	Erime	Kaynak
10^6-10^8	Buharlaştırma	Kesme, delme

4.4. Lazerle Kullanılan Malzemeler

- Sertleştirilmiş malzemeler
- Seramikler
- Alaşımlar
- Kompozit malzemeler

4.5. Lazerlerle Malzeme İşleme

Yüksek atım enerjisi uygulanarak, malzemenin ablasyon ile çıkarılması, yani lazer uygulanan bölgede meydana gelen hızlı erime ve buharlaşma lazer ile işleme olarak adlandırılabilir (Eskizara, 2020).

Lazer ile dokulandırma, literatürdeki diğer dokulandırma yöntemleri göz önünde bulundurulduğunda, az hasarlı yüzey topografyası sağlama ve işlemin gerçekleştiği bölgenin altında daha az yapısal bozulmaya neden olma konularında avantajlara sahiptir (Eskizara, 2020).

Titreşimli haddeme (Vibro Rolling), Reaktif iyon aşındırma (Reactive ion etching), aşındırıcı jet işleme (Abrasive jet machining) ve Lithography and Litografi ve anizotropik dağlama (anisotropic etching) gibi mekanik ve ısı yöntemlerle yüzeyler işlenebilir. Fakat bu uygulamaların hemen hepsi dezavantajlara sahiptir. Lazerlerin compact olması, fazladan mekanik malzemelere ihtiyaç duyulmaması, malzeme aşınması olmaması ve birçok malzemeye uygulanabilmesi gibi sebeplerden dolayı malzeme işlemede sıkça tercih edilmektedir.

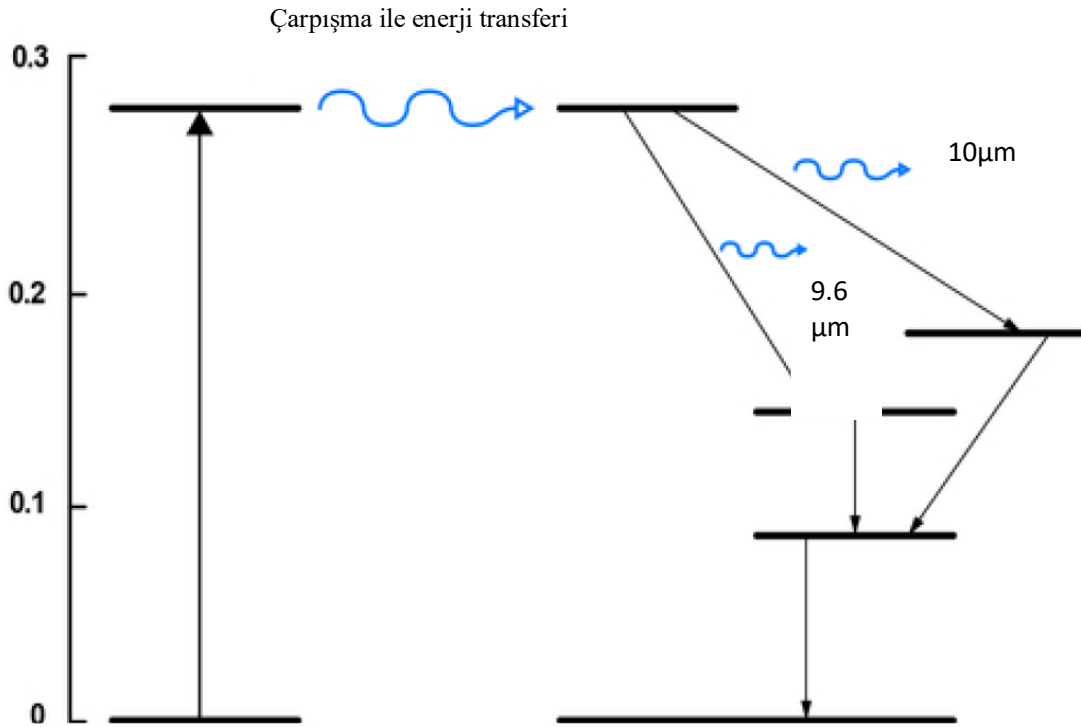
Günümüzde mühendislik uygulamalarında yüzeyleri tekstüre etmek için kullanılan en iyi yöntem lazer yüzey tekstüredir (Etsion, 2005). Özellikle mikro ölçekli yüzey işlemlerinde, lazerler malzemeye temas etmeden, diğer yöntemlerin olumsuzlukları ile karşılaşmadan yüksek hassasiyette ve tekrarlanabilir işlemler yapabilir.

Lazerle malzeme işlemede işlenecek malzemenin yapısına göre lazer seçimi yapılır. Buradaki seçimde en önemli parametre lazer ışının dalgaboyu ve şiddetidir. Lazer ışını malzeme üzerine gönderildiğinde malzeme önce ısınır daha sonra yapısal bozulmalar başlar ve sırasıyla erir ($\sim 1450^\circ$) ve buharlaşır ($\sim 3000^\circ$).

Yapısal bozulma renk değiştirme ile yumuşamaya kadar olan değişimlerdir. Daha sonra erime başlar. Lazerle malzeme işlemede lazerin enerjisi, frekansı, dalgaboyu, şiddeti, tarama hızı, ortam gazları gibi birçok parametre vardır ve bu parametreler farklı işlemlerde ve farklı malzemelerde sonuşta elde edilecek olan ürünü farklı etkiler.

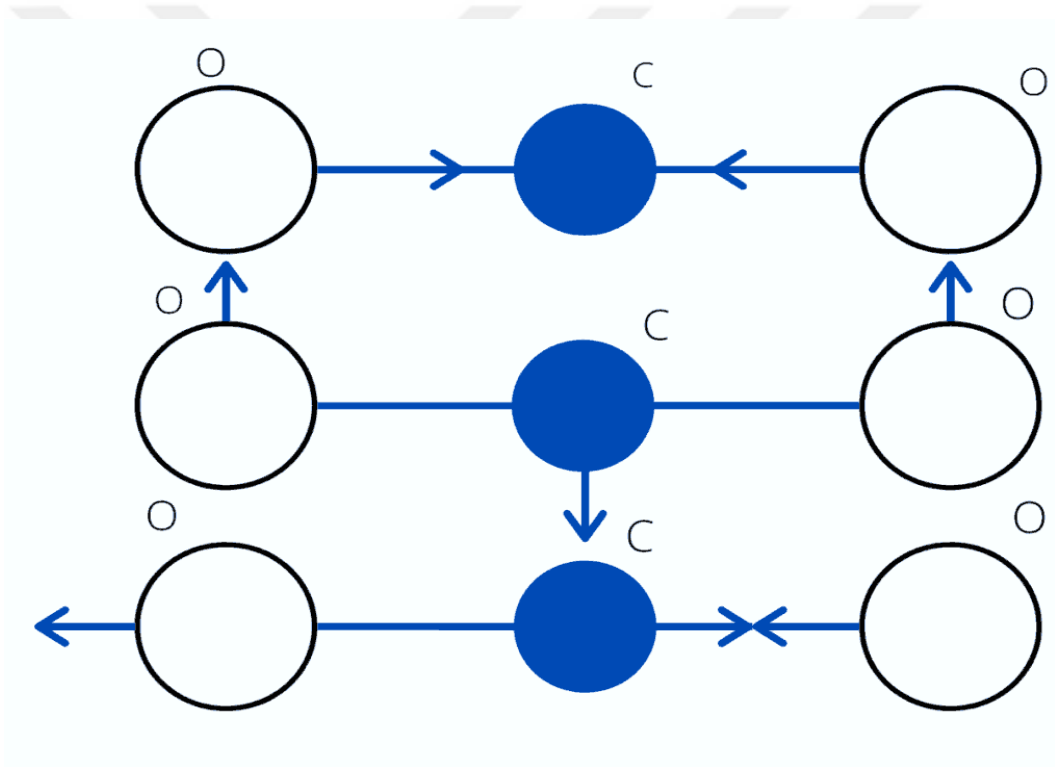
4.6. Karbondioksit Lazer

CO_2 lazerlerin çıkış gücünün geniş sınırlar arasında değişebilmesi ve maliyetinin makul olması nedeniyle kullanım alanı oldukça geniştir. Bunun sebeplerinden biri de CO_2 lazerler kaynak kalitesinin ve hızının yüksek olmasıdır. Gaz lazerleri arasında gücü en yüksek lazer CO_2 lazeridir. Sürekli dalga veren lazer türüne girer. Ayrıca, bu lazerler herhangi bir lazerden daha verimlidir. Gaz lazerleri arasında da moleküler gaz lazeri sınıfına girer. CO_2 lazerine ait enerji düzeyleri şekil 4.2.'de gösterilmiştir.



şekil 4.2. Çarpışma ile enerji transferi (Weber, 2019)

CO_2 lazeri, He-Ne lazerinde He'nin yaptığı işi yapan iki gaz içerir. Bunlar Azot (N) ve Helyum (He) dur. Bu önemli karakteristikler, diğer tip lazerlerde, lazer olayının geçtiği, atom ve iyonların bulunduğu ortamdaki farklı bir özellik taşıyan, moleküler gaz lazerleri sınıfında olmasıdır. CO_2 lineer bir moleküldür. Karbon atomu ortada ve Oksijen atomları dışarda olmak üzere bir doğru boyunca yer alır. Bu durumda ağırlık merkezi sabittir. CO_2 molekülü için olabilecek üç titreşim hali vardır. Bunlardan ilki Oksijen atomları doğruya dik olarak titreşirler, buna bükülme modu denir. İkincisi Oksijen atomları, bulundukları doğru boyunca birbirlerine ters yönde titreşirler, buna simetrik mod denir. Üçüncüsü ise Oksijen atomları, bulundukları doğru boyunca aynı yönde titreşirler, buna da asimetrik mod denir ve Şekil 4.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. CO_2 titreşim modları (Weber, 2019)

CO_2 lazerlerinin diğer lazerlerden daha verimli yapan sebepleri, lazer geçiş seviyeleri arasındaki farkın küçük olması; iki düzey arasındaki geçiş için gerekli olan enerjinin, elektrik deşarj içindeki elektronların ortalama kinetik enerjilerinden küçük olması ve son olarak da lazer geçişinin üst seviyesinin ömrünün alt seviyesininkinden yaklaşık on kez daha büyük olması iyi bir ters nüfus dağılımının sağlanması, şeklinde sıralanabilir.

5. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Normal yüzey çizgisinin altında veya üstünde beliren düzensiz ve dengesiz sapmalar meydana getiren oluşuma yüzey pürüzlülüğü denmektedir (Turan, 2014).

5.1. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Teknikleri

5.1.1. Optik Yöntem

Materyal üzerine yansıtılan ışının geliş açısı ile ışının yansıma açısı aynı olmalıdır. Kullanılan materyalin pürüzlü olan yüzeylerinde ışının dağılımı optik sensörler yardımı ile ölçülerek bu şekilde yüzeyin pürüzlülüğü elde edilir (Güvercin, 2018).

5.1.2. Temas Yöntemi

Materyalin üzerinde gezdirilen bir parçanın sürtünme katsayısı bilinen parça yüzeyine göre elde edilen değerlerin karşılaştırılmasıdır (Güvercin, 2018).

5.1.3. Mekanik Yöntem

Materyal yüzeyinde; yüzeyin içine doğru 1 mikron yer değiştirmesi esasına dayanan yaklaşık 0,5kg kütleli çelik bir bilyenin kullanılması ile yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesidir (Güvercin, 2018).

5.1.4. X Işınını Yöntemi

Mikroskopta incelenen materyalin yüzeyindeki pürüzlülüklerinde küçük açılarla gönderilen x ışınlarının 0,00254-0,508 mikron arasındaki pürüzlülüğünün değerleri ölçülür (Güvercin, 2018).

5.1.5. Elektronik Mikroskopu Yöntemi

Materyalin yüzeyindeki en küçük davranışlarını ölçmek için kullanılır (Güvercin, 2018).

5.1.6. Yüzey Dinamometresi Yöntemi

İki farklı materyali bir biri üzerine temas ettirerek uygulanan bu kuvvet dinamometre ile ölçülerek yüzey pürüzlülük kalitesi hakkında bilgi edinilir (Güvercin, 2018).

5.1.7. Replika Yöntemi

Materyalin durumundan dolayı ölçüm yapılacak yüzeye ulaşamadığında materyalin yüzeyine selüloz ve asetat filmi asetonla yumuşatılarak yüzey sertleşene kadar temizlenip yüzeye bastırılırsa elde edilen kalıp materyal yüzeyi hakkında %80 oranında bilgi verir (Güvercin 2018).

5.1.8. İzleyici Uçlu Cihazlar

Elektronik cihazın çok sivri bir izleyici ucunun materyal üzerindeki herhangi bir yüzeyinde değerlendirme uzunluğu boyunca hareket ettirilerek hareket esnasında oluşan titreşimlerin makro düzeyde büyütülüp hareketli bir şerit üzerine verilerin aktarılması yapılır ya da elektronik cihazlar yardımıyla yorumlanmasıyla oluşur (Güvercin, 2018).

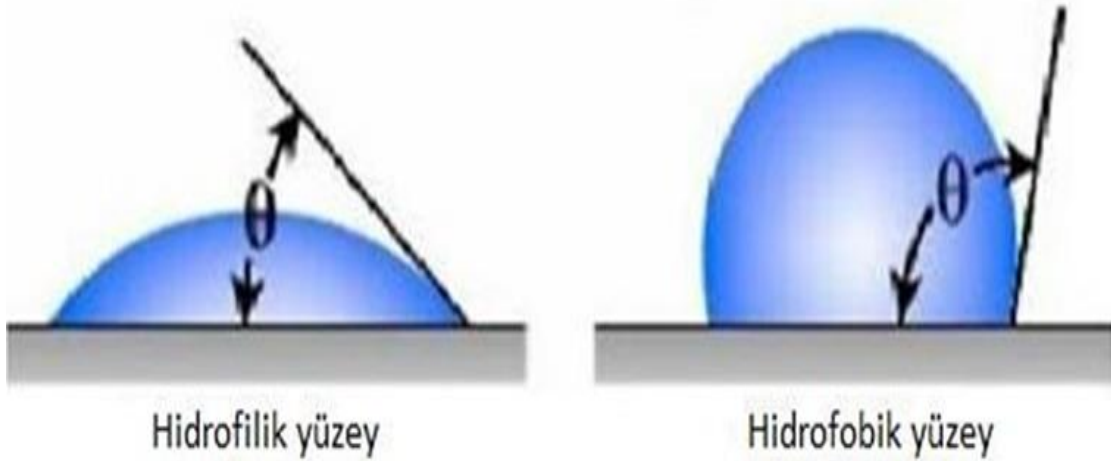
5.1.9. Elektro Fiber Optik Yöntemi

Materyal hareketli bir tabloya bağlanarak x, y yönünde yatay konuma getirilir. Sonra fiber optik algılayıcıyla yüzeye dik ışın gönderilir. Materyaldeki pürüzlülük derecesine göre dağılan ışınlar foto algılayıcılar tarafından yorumlanarak pürüzlülük değeri bulunur (Güvercin, 2018).

6. HİDROFOBİKLİK

Kimyanın önemli bir özelliği olarak, bir yüzeyin ıslanabilirliği temel ve endüstriyel uygulamalarda büyük bir önem taşımaktadır (Zhi ve diğ., 2017). Yüzey ıslanabilirliğinin kontrolü ile ıslak zeminlerde kullanılacak olan seramiklerin tasarlanmasında, otomotiv ve havacılıkta, kendi kendini temizleyebilen camlarda oldukça önem taşır.

Yüzey ıslanabilirliğini belirleyebilmek için denge temas açısı ölçümleri yapılmalıdır (Çağlar, 2016). Bir sıvı damlası katı bir yüzey üzerine temas ettiğinde, temas açısının 90° ’den büyük olduğu yüzey ıslatılamayan yüzeydir. Islatılabilen yüzey, hidrofilik ıslatılamayan yüzey hidrofobik yüzey olarak adlandırılır (Ordu, 2012). Bu durum Şekil 6.1.’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Hidrofilik ve Hidrofobik yüzeylerde temas açısı (Çağlar, 2016)

Bir yüzeyin süper hidrofobik özellik göstermesi için yüzey enerjisinin düşük olması ve yüzeyin pürüzlü olması gibi iki temel faktöre gereksinim duyulmaktadır (Ordu, 2012). Süper hidrofobik yüzeylerin yapışmama, kirlenmeme ve kendi kendini temizleme özellikleri bulunmaktadır ve bu özelliklerinden dolayı birçok biyolojik ve endüstriyel uygulamalarda kullanılması beklenmektedir (Özen, 2011). Katı yüzey üzerindeki sıvı damlasının temas açısı 150° ’den büyük olan yüzeyler süper hidrofobik yüzeyler olarak adlandırılmaktadır (Söz, 2015). Birinci yöntemde hidrofobik bir maddeden pürüzlü yüzey sentezlenebilmektedir. İkinci olarak ise pürüzlü hidrofilik bir yüzeyin kimyasal

olarak nodifiye edilmesi veya üzerine hidrofobik bir malzeme uygulanmasıdır. Süper hidrofobik özellik kazandıracak boyutta yüzey pürüzlülüğü oluşturabilmek için yapay yollarla plazma aşındırma, lazer aşındırma, kimyasal aşındırma, elektro kimyasal reaksiyon ve çöktürme, elektrospining, kimyasal buhar çöktürme, litografi sol-jel işlemi, çözelti dökme, tabaka tabaka ve koloidal birleşme gibi birçok farklı metod kullanılabilmektedir (Ordu 2012).

Kendi kendini temizleyebilen ve hidrofobik ve hidrofobik yüzeye en güzel örnek, bataklıkta yetişen nilüfer çiçeği diğer bir adıyla lotus bitkisidir (Canbolat, 2014). Bu bitkide rastgele dağıtılmış halde mikro ve nano çıkıntılar yapıya süper hidrofobluğu sağlamakta ve yüksek temas açısı kazandırmaktadır (Özen, 2011). " Lotus etkisi" olarak bilinen, yüzeylerin kendi kendini temizleme özelliği günümüzde tekstil ve boya sanayi başta olmak üzere pek çok endüstri alanında yeni uygulamalar ve gelişmeler sağlamaktadır (Barsbay ve Güven, 2010).

7. TAGUCHİ

Taguchi yöntemi adını yaratıcısı olan Dr. Genichi Taguchi'den almıştır (Güvercin 2018). Taguchi yöntemi, süreç değişkenliklerinin azaltılmasını içeren işlem parametrelerini optimize etmek için kullanılan basit ve sağlam bir tekniktir. Taguchi optimizasyon yöntemi, optimize edilmesi için gerekli olan çok sayıda deney yerine az sayıda deney yaparak optimum sonuca ulaşmamızı sağlar. Taguchi yöntemiyle yapılan ayrıntılı analiz ve değerlendirmeler sonucunda deney sayısını önemli ölçüde azaltmak mümkündür. Ayrıca Taguchi yöntemi, yüksek kaliteli sistem tasarımı için son derece yararlı olan deneysel bir tasarım tekniğidir (Alpay 2020).

Taguchi yöntemi, kalite özelliklerini belirlemek için de bazı fonksiyonlar kullanır. Kayıp fonksiyon değerleri de bir sinyal-gürültü (S/N) oranına dönüştürülür. Genel olarak, S/N oranı analizinde; “Nominal en iyi”, “En büyük en iyi” ve “En küçük en iyi” olmak üzere üç farklı kalite özelliği vardır.

Taguchi deney basamakları:

1. Faktörlerin seçilmesi ve aralarındaki uyumların değerlendirilmesi
2. Faktörlerin düzeylerinin belirlenmesi
3. Doğru ve dengeli tasarımın tercih edilmesi
4. Faktörlerin ve aralarındaki etkileşimlerin dengeli deney sistemindeki kolonlarla eşleşmesi
5. Deneylerin daha önceki basamaklarda planlanan biçimde gerçekleştirilmesi
6. Sonuçların elde edilmesi
7. Doğrulama deneylerinin yapılması (Somekawa ve Higashi, 2003)

Bu yedi adımın sırayla meydana gelmesi sonucunda proses ya da ürün için en iyi performansın sağlanacağı deney parametreleri oluşturulacak, deneyde kullanılan faktörlerin kalite değeri üzerindeki tesiri öngörülebilecek ve en iyi deney parametreleri sonucunda oluşacak kalite değeri tahmin edilebilecektir (Taylan, 2009).

Optimizasyon aşamasını sonuçlandırmak için hesaplanan sinyal/gürültü oranları kullanılarak varyans analizi yapılır. Varyans analizinin amacı, incelenen faktörlerin seçilen çıktı değerini ne ölçüde etkilediğini elde etmektir. Ayrıca elde edilen sonuçların istatistiksel güvenilirliği de varyans analizi ile test edilir.

Denklem (7.1)'e göre SST değeri (karelerin toplamı) hesaplanır. SST, sinyal-gürültü oranının toplam değişkenliğini belirtir (Ahmad ve diğ., 2018).

$$SS_T = \sum_{i=1}^n (n_i - n_m)^2 \quad (7.1)$$

Burada;

n_i , ölçülen en boy oranlarından hesaplanan sinyal/gürültü oranı (S/N),

n_m , ölçülen en boy oranlarından hesaplanan sinyal/gürültü (S/N) oranının ortalama değeri,

n = deney sayısıdır.

Denklem (7.2)'ye göre SS_T değeri her faktörün karelerinin toplamından oluşur ($SS_T = SS_A + SS_B + SS_C$) (Taylan, 2009).

$$SS_A = \sum_{i=1}^{k_A} n_{Ai} (n_{Ai} - n_m)^2 \quad (7.2)$$

Burada;

k_A , A faktörünün seviye sayısı,

n_{Ai} , i seviyesindeki A faktörünün deney sayısı,

η_A , i düzeyinde A faktörünün S/N oranı,

η_m , ortalama S/N oranı.

Bir sonraki adımda F testi yapılır. F testi, her bir deney faktörünün deney sonucunu ne ölçüde etkilediğini gösterir. Yapılan F testinde; Her bir bileşen (SS_i) için karelerin (SS_T) toplamında, karelerin toplam değeri o bileşenin serbestlik derecesine bölünür ve ortalama karelerin toplam değeri belirlenir.

Taguchi yönteminde öncelikle parametreler belirlenir. Sonrasında bu parametrelere ait seviyeler tespit edilir ve deney düzeneği Tablo 7.1.'deki gibi oluşturulur (Taylan, 2009).

Tablo 7.1. Dört parametre üç farklı seviye için Taguchi deney düzeneği (Taylan, 2009)

DENEY	FAKTÖR 1	FAKTÖR 2	FAKTÖR 3	FAKTÖR 4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Sinyal-gürültü oranında, sinyal istenen gerçek değeri, gürültü ise ölçülen değerlerde istenmeyen faktörleri ifade eder. Deneylerin en iyi sonuçlarını belirlemek için üç temel kategori vardır: Daha küçük-daha iyi karakteristik, Daha büyük-daha iyi özellik ve nominal- en iyi. Bu karakteristikler Denklem (7.3), (7.4) ve (7.5)'te ifade edilmişlerdir (Taylan, 2009):

(a) Daha Küçük-Daha İyi-karakteristiği:

$$\frac{S}{N_i} = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{ij}^2 \right] \quad (7.3)$$

(b) Daha Büyük-Daha İyi-karakteristiği:

$$\frac{S}{N_i} = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_{ij}^2} \right] \quad (7.4)$$

(c) Nominal Değer-Daha İyi-karakteristiği:

$$\frac{S}{N_i} = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{ij} - m)^2 \right] \quad (7.5)$$

y_{ij} , n m , sırasıyla ölçülen değerler, deneme sayısı ve nominal değerdir.

8. BOR KARBÜRÜN LAZERLE İŞLENMESİ VE TAGUCHİ YÖNTEMİNİN KULLANILMASI

Seramik malzeme olarak sıklıkla kullanılan bor karbür (B_4C), bor ve karbon içeren bir bileşiktir. Bor karbür seramikler birçok üstün özelliklere sahip olduğu için birçok alanda başarılı uygulamalara sahiptir. Düşük yoğunlukları ve sıkıştırmada güçlü olmaları nedeniyle zırh malzemesi olarak kullanılabilirler (Holmquist ve Johnson, 2006). Benzer şekilde yüksek sertlik ve tokluğa sahip olduklarından aşınmaya karşı oldukça dirençlidirler ve yüksek basınç altında kullanılan nozullarda kullanılırlar (Hashish 1994). B_4C 'nin yüksek elastik modülü, yüksek erime noktasına ve düşük yoğunluğa sahip olduğu için otomotiv dişli gibi uygulamalarda aşınmaya dayanıklı kaplamalar olarak kullanılır (Siniawski, 2003). Nükleer reaktörler ve enerji roketleri gibi yüksek dayanıklılık gerektiren birçok alanda da kullanılır (Yilbas ve Karatas, 2014).

Tüm bu üstün özelliklere ek olarak, alaşımın özelliklerinden ve üretim yöntemlerinden kaynaklanan karo yüzeyinde yapısal düzensizlikler ve bölgesel kusurlar birçok uygulamada istenmeyen durumlara yol açmaktadır. Bor karbür seramiklerin bazı üstün özellikleri beraberinde işleme zorluğunu da getirmektedir. Yüzey tekstüre işlemlerinde sıklıkla tercih edilen kaplama işlemleri, yüksek vakum ve sıcaklıklar gibi ek koşullar gerektirir. Bu da endüstriyel uygulamalarda maliyetlerin ve işlem süresinin artmasına neden olabilir (Roucoules ve diğ., 2002 ve Holmberg ve diğ., 1998). Yüzey tekstüre işlemi, malzemelerin yüzeylerine üstün özellikler katmak için kullanılmaktadır. İslanabilirlik, aşınma direnci, sürtünme katsayısı, yapıştırma koşulları vb. gibi tribolojik özelliklerler, yüzey tekstüre ile iyileştirilebilir (Perveen ve Feng, 2017; Etsion, 2005). Bir yüzey üzerinde pürüzlendirme veya desen oluşturma, yüzey tekstüre işlemi olarak kabul edilebilir. Yüzeyin pürüzlülüğü ve bu desenlerin şekil, derinlik gibi geometrik özellikleri yüzeyin özelliklerini belirler. Yüzey pürüzlülüğünü kontrol etmek, ıslanabilirliği (Perveen ve Feng, 2017 ; Kubiak ve diğ. 2011 ; Raeesi ve diğ., 2013), sürtünmeyi (Kubiak ve diğ., 2011 ve Menezes ve diğ., 2009 ve Kubiak ve Mathia, 2009), birleştirme ve yapıştırmayı (Somekawa ve Higashi, 2003 ve Borruto ve diğ., 1998), vb. etkilediğinden büyük öneme sahiptir. Preslemenin büyük çoğunluğu estetik görünüm gereksinimlerinin yanı sıra özel yüzey işlemleri gerektirir. Ayrıca aşınma direncini arttırmak veya bir korozyondan koruma bariyeri sağlamak ve ıslanabilirliği, sürtünme ve bağlanma özelliklerini iyileştirmek amacıyla yüzey texture

kullanılmaktadır. Yüzeyler tornalama, taşlama, honlama gibi mekanik yöntemlerle veya kimyasal yöntemlerle pürüzlendirilebilir. Mekanik yöntemlerle yüzey pürüzlendirmesinin temel dezavantajlarından biri pürüzlendirmede kullanılan parçaların aşınmasıdır. Malzemelerin aşınması da elde edilen yüzeyin özelliklerinin sürekliliğini olumsuz etkiler. Kimyasal yöntemde kimyasal reaksiyonları kontrol etmenin zorluğunun yanı sıra, kullanılan kimyasalların çevre kirliliğine etkisi de önemlidir. Bir yüzeyin sürtünme ve yapışma gibi performans özellikleri büyük ölçüde yüzeyin pürüzlülüğü ile ilgilidir. Pürüzsüz ancak cilalanmamış bir yüzey ile sürtünmede azalma elde edilebilir (Kubiak ve Mathia, 2009). Bu nedenle, istenen sürtünme özelliklerine sahip bir yüzey elde etmek için yüzeyin pürüzlülüğü kontrol edilmelidir. Borruto ve diğerleri tarafından yapılan deneyler ayrıca ıslanabilirliğin yüzeylerin sürtünme katsayısını etkilediğini göstermiştir (Borruto ve diğ., 1998). Yüzeyin istenen çalışma kombinasyonunu elde etmek için optimum pürüzlülük belirlenebilir (Bulatov ve diğ., 1997). Vengudusamy ve diğerleri, yüzey pürüzlülüğünün kayan çelik-çelik temasların sürtünme özellikleri üzerindeki etkisini araştırdılar ve pürüzlülüğün sürtünme üzerinde bir etkisi olduğu sonucuna vardılar, ancak dış yüzeyler sıcaklık ve basınç gibi özellikler, sürtünme özelliği daha karmaşık hale geldi (Kubiak ve diğ. 2011). Yüzey pürüzlülüğü ayrıca yüzeylerin yapışmasını da etkiler (Somekawa ve Higashi, 2003). Hirose vd. ön işlem parametreleri olarak yüzey pürüzlülüğünün HIP (sıcak izostatik presleme) yapıştırma üzerindeki etkisini araştırdı (Hirose ve diğ., 2006). Cardella vd. HIP bağlanmasını sağlamak için yapıştırma yüzeyinin birkaç mikrometre pürüzlülüğe sahip olması gerektiğini göstermiştir (Cardella ve diğ., 2004). Islanabilirlik yüzey enerjisi ve morfoloji ile ilişkili olduğundan, istenen ıslanabilirliğe sahip yüzeyler yüzey pürüzlülüğü kontrol edilerek elde edilebilir (Pang ve diğ., 2017). Tekstüre desenlerin derinliğindeki azalma, yüzeylerin hidrofobik özelliğini artırır (Pang ve diğ., 2017). Sıvıların yüzeylerle etkileşimlerinin özellikleri, bir malzeme yüzeyinin ıslanabilirliği hakkında bilgi verir. Temas açısına bağlı olarak katı yüzeylerin ıslanabilirlik özellikleri hakkında bilgi alınır. Sıvı ile yüzey arasındaki temas açısı, bir yüzeyin hidrofobiklik veya hidrofiliklik derecesini verir (Ahmad ve diğ., 2018). Temas açısı arttıkça yüzeyin hidrofobik yüzeye doğru değiştiği ve temas açısı azaldıkça yüzeyin hidrofilikliğe doğru değiştiği varsayılabilir. Temas açısı ölçülerek pürüzlülüğün yüzeylerin ıslanabilirliği

üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Wenzel, pürüzlü yüzey alanındaki artış hızı ile temas açısı arasındaki ilişki Denklem (8.1)' olduğu gibi açıklamıştır (Wenzel, 1936);

$$\cos\theta = r \cos\theta_i \quad (8.1)$$

Burada θ temas açısı, r gerçek yüzeyin geometrik yüzeye oranı olarak tanımlanan pürüzlülük faktörüdür, θ_i bir sıvının pürüzsüz bir yüzeyle yaptığı temas açısı olarak tanımlanan içsel temas açısıdır.

Yüzey tekstüre etme için birçok teknik olmasına rağmen, Lazer Yüzey Tekstüre (LST) lazerlerin istenilen alana hassas enerji uygulayabilmesi, iş parçası imalatını ortadan kaldırması gibi önemli avantajlara sahip olması nedeniyle birçok endüstriyel alanda tercih edilmektedir (Etsion, 2005). Diğer kaplama yöntemleriyle karşılaştırınca, LST, döküm sonrası yüzeyde oluşan mikro çatlak gibi kusurları bir ölçüde azaltabilmektedir. Kabarcıklara çok benzeyen ancak boyutları daha küçük olan köpürme gibi yüzey kusurları da LST ile giderilebilir. İstenilen özelliklere sahip yüzeylerin işlenmesi için uygun lazer parametreleri kritik öneme sahiptir. Lazer gücü, tarama hızı, frekans ve örtüşme oranı, lazer işlemede pürüzlülük üzerinde etkili parametrelerdir (Caliganano ve diğ., 2013; Rafiee ve diğ., 2020). İstenilen yüzeye ulaşmak için daha verimli lazer parametreleri bulunmalıdır. Lazerde malzeme işlemede birçok parametre ve seviye olduğundan, geleneksel tasarımla optimum lazer parametresini belirlemek çok maliyetli ve zaman alıcıdır. Optimum lazer parametreleri, daha az denemeyle Taguchi Yöntemi ile elde edilebilir (Yilbas, 1987; Yang ve Tarng, 1998).

Bu çalışma, lazer parametrelerinin, Bor Karbür (B₄C) seramiklerin yüzey temas açısı ve pürüzlülüğü üzerindeki etkisini araştırmayı ve daha etkili lazer parametrelerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu çalışmada, ilk olarak su damlatıldıktan 9 saniye sonra ölçülen temas açıları dikkate alınmıştır. Hidrofobik bir yüzey için gerekli olan optimum lazer parametrelerini elde etmek için Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Daha iyi hidrofobik yüzey elde etmek için temas açısı için "ne kadar büyük o kadar iyi karakteristik" kullanılmıştır. Aynı zamanda, incelenen lazer parametrelerinin hidrofobiklik üzerindeki etkililik oranları hesaplanmıştır.

Daha sonra, ilk 9 saniyedeki temas açısındaki değişiklik incelenmiştir. Bunun için temas açısı su damlatıldıktan sonra 9 boyunca saniyede bir ölçüldü. Toplam 10 ölçüm yapıldı. İlk 9 saniyede en az temas açısı değişikliğine sahip yüzey hidrofobik yüzey olarak tanımlandı. İlk 9 saniyede temas açısı değişikliği ile yapılan hesaplamalar sonucunda hidrofobik bir yüzey elde etmek için gerekli lazer parametreleri incelenmiştir. Daha iyi bir hidrofobik yüzey elde etmek için, temas açısındaki değişiklik için "ne kadar küçük o kadar iyi özellik" kullanılmıştır. Sadece 9. saniyedeki ölçüm sonuçları ve ilk 9 saniyedeki değişim sonuçları ile elde edilen optimum lazer parametreleri karşılaştırıldı. Temas açısının zaman içindeki değişimi, sıvının yüzey tarafından emilmesi gibi yüzey konfigürasyonundaki değişikliklerle yakından ilgilidir (Yasuda ve diğ., 1994). Moleküler boyut ve sıvı polaritesi gibi sıvı özellikleri ve tip ve doku gibi yüzey özellikleri su ile yüzeyin etkileşim özelliklerini belirler (Lam ve diğ., 2001).

9. DENEY

9.1. Kullanılan Malzeme ve Analiz

2.5*2.5 cm²'lik Bor Karbür (B₄C) seramik yüzeyler farklı parametrelerle C₂O lazer ile işlenmiştir. Lazer tarama hızı 5, 25 ve 45 mm/s olarak ayarlandı ve dalga boyu 10600 nm olan lazerin gücü sırasıyla 65, 91 ve 117 W olarak ayarlandı. Lazer malzeme etkileşimi sırasında ortaya çıkan duman ve buharı ortamdan uzaklaştırmak ve lazer ışınının oluşan plazma bulutu ile etkileşime maruz kalmasını önlemek için, lazer ışınının malzeme ile etkileşime girdiği alana düşük basınçlı bir hava akımı uygulandı. Bunun dışında denemelerde koruyucu gaz kullanılmadı. Lazer frekansı 10, 30 ve 50 kHz olarak ayarlandı. Yüzey taraması sırasında tarama çizgileri farklı oranlarda üst üste binmiştir. Örtüşme oranları %20, 40 ve 60 olarak ayarlandı. Plakalar üzerindeki spot boyutu lens kullanılarak 180 µm olarak ayarlanmıştır. Sistemik hata oranını ve yüzey düzensizliklerinden kaynaklanan farklılıkları azaltmak için üç yüzey aynı parametrelerle işleminden geçirildi. Temas açısı ölçümleri, KSV Optik temas açısı ve yüzey gerilim ölçer ile yapılmıştır. Lazerle işlenmiş yüzeylerin pürüzlülüğünü incelemek için yüzeyler NANOVA PS-50 temassız lazer profilometre ile tarandı. Temas açısı ve yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi ve hesaplanmasında her set için 3 denemede elde edilen yüzeylerin ortalaması dikkate alınmıştır.

9.2. Taguchi Yöntemi

Daha hidrofobik ve daha hidrofilik yüzey elde etmek için optimum koşulları belirlemek amacıyla deneyleri tasarlamak için ilk olarak Taguchi'nin yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemde performansı yönlendiren işlem parametreleri belirlenir ve en iyi sonuçları alacak koşulları tanımlamak için bu parametreleri etkileyen faktörler araştırılır. Bu yöntem bazı metallerde, alaşımlarda ve polimerlerde yaygın olarak kullanılmıştır. Pan vd. (Cardella ve diğ., 2004), Taguchi'nin analitik yöntemini kullanarak Mg alaşımlı ince plaka alın kaynağının optimizasyonu üzerinde çalışmışlardır. Gaitonde vd. (Chen ve diğ., 2004) çapak boyutunu en aza indirmek amacıyla işlem parametrelerinin en iyi kombinasyon değerlerini elde etmek için Taguchi metodunu kullanmışlardır. Masmiati ve Philip (Borruto ve diğ., 1998), Taguchi yöntemini kullanarak bazı termoplastik polimerlerin delinmesi üzerine deneyler planlamışlardır. El-Taweel ve El-Axir (Bulatov,

ve diğ., 1997), Taguchi tekniği ile bilyeli parlatma işleminin bir analizini ve optimizasyonunu yapmışlardır.

9.3. Deneysel Çalışma ve Sonuçlar

Deney tasarımında Taguchi L9 ortogonal dizini kullanılmıştır. Lazer tarama hızı, ışın gücü, frekans ve örtüşme oranı kontrol faktörleri olarak kullanılmıştır. Lazer işleme parametrelerini optimize etmek ve parametrelerin etkinlik oranlarını belirlemek için her faktör için 3 seviye seçildi. Düzey olarak incelenen lazer parametreleri ve faktör olarak parametre değerleri Tablo 9.1.'de verilmiştir. Yüzey 65 W'dan daha düşük güçte ve 45 mm/sn'den daha hızlı tarama hızında etkilenmemiştir. 120 W'dan daha yüksek güç değerlerinde ve 5 mm/sn'den daha yavaş bir tarama hızında aşırı büyük ve düzensiz yüzey pürüzlülüğü gözlemlendi. Bu nedenle lazer gücü 65 ile 117 W arasında ayarlandı. Aynı nedenlerle lazer tarama hızı 5 ile 45 mm/s arasında sınırlandırıldı.

Tablo 9.1. Parametreler ve seviyeleri

	1	2	3
Tarama hızı (mm/s)	5	25	45
Lazer gücü (w)	65	91	117
Frekans (kHz)	10	30	50
Örtüşme Oranı (%)	20	40	60

Taguchi yöntemine göre, daha hidrofobik bir yüzey için daha küçük değer hedeflenmektedir. Bundan dolayı Denklem (7.3)'te verilen daha küçük-daha iyi karakteristiği tercih edilmiştir. Daha hidrofobik bir yüzey için daha büyük değerler hedeflenmektedir. Bundan dolayı Denklem (7.4)'te verilen daha büyük-daha iyi karakteristiği tercih edilmiştir.

Her faktör için ortalama S/N oranı hesaplanmıştır. Bu hesaplamalardan türetilen her faktör için en büyük sinyal-gürültü oranı en iyi deney sonucunu vermektedir.

Tablo 9.2. Taguchi Metoduna göre düzenlenmiş deney setleri

Deney no	Tarama hızı (mm/s)	Lazer gücü (w)	Frekans (kHz)	Örtüşme oranı (%)
1	5	65	10	20
2	5	91	30	40
3	5	117	50	60
4	25	65	30	60
5	25	91	50	20
6	25	1117	10	40
7	45	65	50	40
8	45	91	10	60
9	45	117	30	20

Taguchi L9 ortogonal dizisine göre Tablo 9.2.'de verilen 9 deney gerçekleştirilmiştir. Deneysel hatayı azaltmak için her deney seti için aynı parametrelerle üç deneme yapılmıştır. Temas açısı ölçümü için seramik yüzeyde oluşan olukların yandan görünüş görüntüleri kullanılmıştır. Bu ölçüm sonuçları optimizasyon hesaplamalarında kullanılmıştır. Taguchi optimizasyonunda istenen ve istenmeyen faktörlerin değerleri sırasıyla sinyal (S) ve gürültü (N) ile temsil edilmektedir.

B₄C seramik yüzeyi için temas açısının kontrol edilerek daha büyük bir hidrofobik yüzey anlamına gelen daha büyük bir temas açısı elde etmek için daha büyük olan daha iyi karakteristik kullanılmıştır. Daha hidrofobik bir yüzey için ilk 9 saniyede temas açısında daha az değişiklik meydana gelmesi istendiğinden, ilk 9 saniyedeki temas açısı değişikliği için ne kadar küçükse o kadar iyi özellik kullanılmıştır. Varyans analizini kullanarak, hangi parametrelerin, sonucu hangi oranda etkilediğinin belirlenmesi, optimum parametrelerin elde edilmesi kadar önemlidir. S/N'nin varyansı hesaplanmıştır ve toplam kareler toplamı (SST) elde edilmiştir (Göller, 1992).

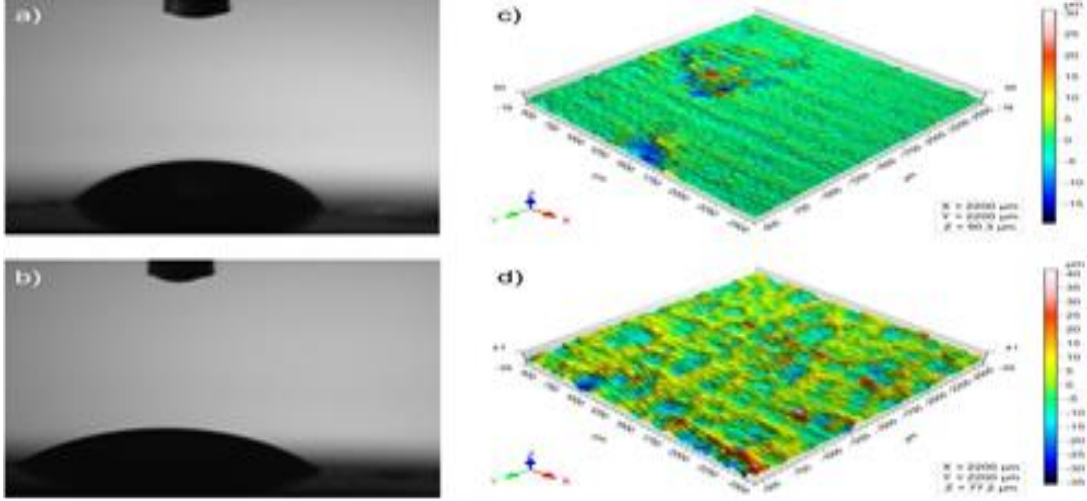
Su damlasının sağ ve sol taraftaki yüzeyle temas açılarının ortalaması alınmıştır. Su damlamasından sonraki 9. saniyede hidrofobik için temas açıları ölçülmüştür. Daha sonra ilk 9 saniyedeki temas açısı değişiklikleri ölçülmüştür. Ölçülen temas açıları, temas açısı değişiklikleri ve bunların S/N'leri Tablo 9.3.'te listelenmiştir.

Tablo 9.3. Ölçülen temas açısı değerleri, değişimleri S/N oranları

Deney no	9. saniyedeki temas açısı		Temas açısının ilk 9 saniyedeki değişim miktarı	
	Derece	S/N	%	S/N
1	53.98	34.53	18.15	-25.94
2	52.45	34.35	17.44	-24.92
3	63.97	35.94	14.18	-23.25
4	65.28	36.24	12.40	-22.21
5	56.66	35.05	22.65	-27.11
6	59.71	35.51	14.11	-24.45
7	68.48	36.62	15.29	-23.83
8	61.49	35.77	13.26	-22.45
9	63.04	35.86	10.68	-22,11
Ortalama S/N		35.54		-24.03

9.4. Hidrofobiklik için 9. Saniyedeki Temas Açısı

Lazerlele işlenmiş yüzeye bir su damlası damlatıldıktan 9 saniye sonra ölçülen olan temas açısının maksimum olması amaçlandığından, ANOVA hesaplamasında "Daha büyük-Daha iyi" karakteristiği kullanılmıştır. En iyi ve en kötü sonuçlar sırasıyla 7. ve 2. Deney setleri ile elde edilmiştir. Deney 7 ile elde edilen yüzeyde temas açısı 68.48° olarak ölçülürken, 2. deney 2 ile elde edilen yüzeyde temas açısı 52.45° olarak ölçülmüştür. Bu deneylerle elde edilen işlenmiş seramik yüzey üzerindeki su damlasının yandan görüntüleri sırasıyla Şekil 9.1.a'da ve Şekil 9.1.b de verilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünü değerlendirmek için, her noktanın yükseklik farkını ifade eden aritmetik ortalama yükseklik (Sa) değeri dikkate alınmıştır. En iyi ve en kötü sonuçların elde edildiği yüzeylerin profilometre görüntüleri sırasıyla Şekil 9.1.c ve Şekil 9.1.d'de verilmiştir. Bir çizginin (Ra) aritmetik ortalama yüksekliğinin uzantısı olan aritmetik ortalama yükseklikler, incelenen seramik yüzey gibi düzensiz yüzeylerde daha detaylı ve doğru sonuçlar verir. Çünkü Sa yüzeydeki bölgesel kusurların etkilerini de içerir. Aritmetik ortalama yükseklikler profilometre görüntülerinden elde edilmiştir. Aritmetik ortalama yükseklikleri incelenen seramik yüzeyin $2*2 \text{ cm}^2$ 'si içindeki noktaların yüksekliğinin mutlak değerinin ortalamasına sahiptir. En iyi sonucu veren deney 7'nin Sa değeri 1,72, en kötü sonucu veren deney 2'nin Sa değeri 5,41 olarak ölçülmüştür.



Şekil 9.1. İşlenmiş seramik yüzey üzerindeki su damlasının yandan görüntüleri;
 (a) Deney 7 (maksimum temas açısı 68.48°)
 (b) Deney 2 (minimum temas açısı 52.45°)
 (c) Deney 2 ve (d) Deney 7 ile elde edilen lazerle işlenmiş yüzeylerin 3 boyutlu yüzey topografyaları.

İşlemlerdeki ve ölçümlerdeki hata oranını azaltmak için aynı lazer parametreleri kullanılarak 3 tane yüzey elde edilmiş ve her birinin yüzeylerinden ölçümler yapılmıştır. Her deney setinin sonuçları S/N'leri Tablo 9.3.'te listelenmiştir. İstatistiksel güvenilirlik, toplam kareler toplamının hesaplanmasıyla test edilmiştir. ANOVA sonuçları Tablo 9.4.'te listelenmiştir. En yüksek seviyeler lazer tarama hızı için “3. seviye-(45 mm/s)”, lazer gücü için “1. seviye-(65 W)”, frekans için “3. seviye-(50 kHz)” ve örtüşme oranı için “3. seviye-(% 60)” olarak elde edilmiştir. Optimum kombinasyon için beklenen S/N ve temas açısı sırasıyla “37.31” ve “71.22°” olarak hesaplanmıştır.

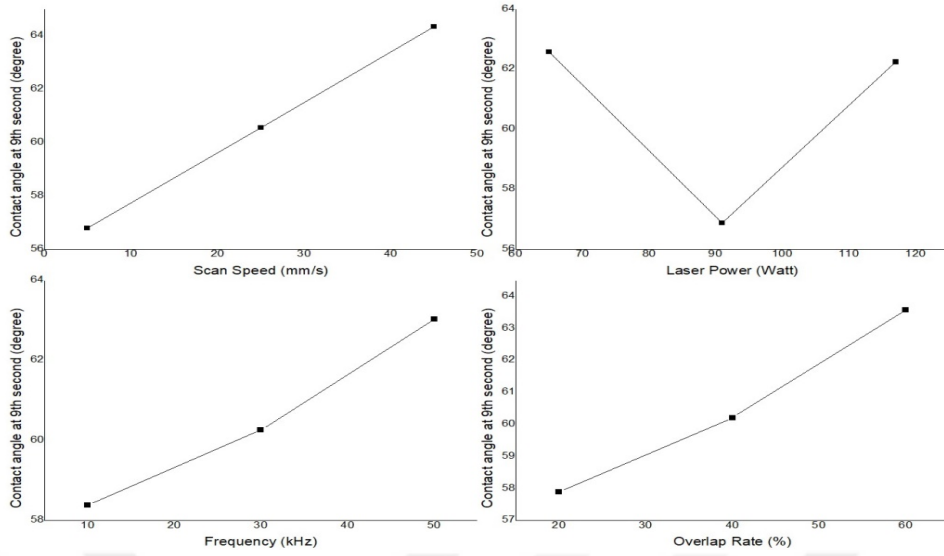
Tablo 3.4. Taguchi Metoduna göre Hidrofobiklik için 9. Saniyedeki Temas Açısının ANOVA tablosu.

Ortalama S/N									
Faktörler	1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye	Serbestlik derecesi	SS_i	Varyans	Faktör etkisi	Optimum seviye	Optimum değer
Tarama hızı	34.94	35.60	36.09	3	1.98	0.66	42.46	3	45mm/s

Tablo 9.4. (Devam) Taguchi Metoduna göre Hidrofobiklik için 9. Saniyedeki Temas Açısının ANOVA tablosu.

Güç	35.80	35.06	35.77	3	1.06	0.35	22.75	1	65 W
Frekans	35.27	35.49	35.87	3	0.56	0.19	11.96	3	50 kHz
Örtüşme oranı	35.15	35.49	35.99	3	1.06	0.35	22.84	3	% 60
Toplam		35.54		12	4.65		100		
Optimum S/N									37.11
Optimum temas açısı (derece)									71.22

Hidrofobiklik için damlacık damlatıldıktan sonra 9. saniyedeki temas açısı için en etkili parametre % 42.46 ile lazer tarama hızı olarak bulunmuştur. İkincisi, % 22,84 ile örtüşme oranıdır. Lazer gücü üçüncü etkili parametredir ancak örtüşme oranından çok küçük oranda azdır. İncelenen parametrelerden en az etkili olan ise % 11.96 ile lazer frekansıdır. Hidrofobiklik için 9. saniyedeki temas açısı için ana etki grafikleri Şekil 9.2.'de gösterilmiştir.

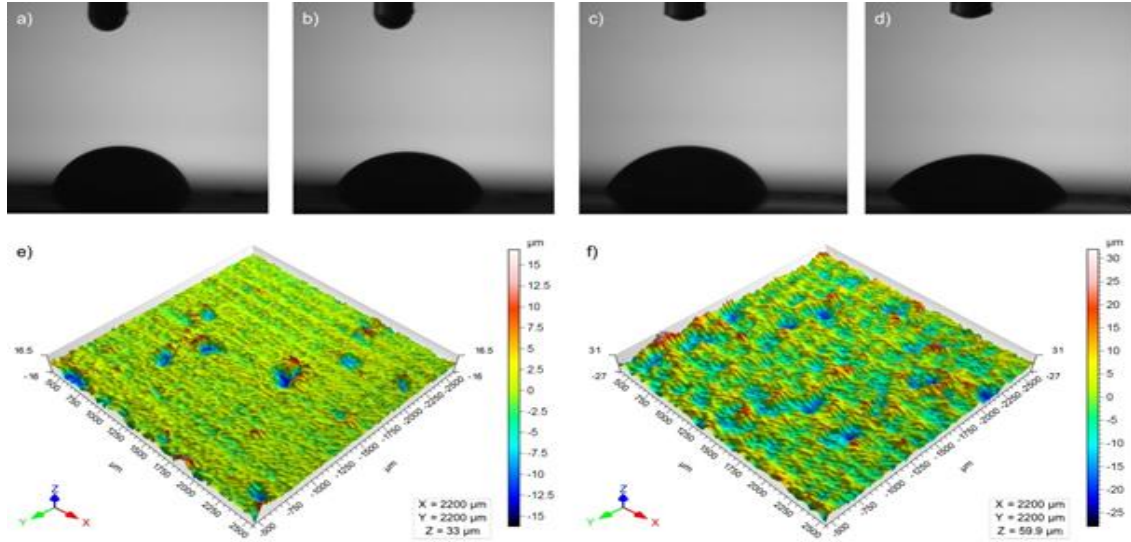


Şekil 5.2. Hidrofobiklik için lazer parametrelerinin 9. saniyede temas açısı üzerindeki Ana Etki Grafikleri.

Tarama hızı ve temas açısı arasındaki kesin doğrusal ilişki Şekil 9.2.'de verilen ana etki grafiklerinde açıkça görülebilir. Ayrıca, temas açısı ile hem frekans hem de örtüşme oranı arasında neredeyse doğrusal bir ilişki vardır. Ancak lazer gücü 65'ten 91 Watt'a çıkarılırken temas açısı azaldı ancak lazer gücü 117 Watt'a çıkarıldığında temas açısı aynı oranda artmıştır.

9.5. Hidrofobiklik için İlk 9 Saniyede Temas Açısı Değişimi

Lazerle işlenen yüzeye damlacık damlatıldıktan sonraki ilk 9 saniyedeki temas açıları her saniye ölçülmüş ve her saniyedeki değişimler hesaplanmıştır. ANOVA hesaplamasında “Daha küçük-Daha iyi” karakteristiği kullanılmıştır. En iyi ve en kötü sonuçlar sırasıyla deney 9 ve deney 5'te elde edilmiştir. İlgili deneylerin sonuçlarından elde edilen görüntüler Şekil 9.3.'te verilmiştir. Minimum değişim Şekil 9.3.a ve 9.3.b'de görüldüğü gibi deney 9'da % 10.68 olarak hesaplanmıştır. Şekil 9.3.c ve 9.3.d'de görüldüğü gibi maksimum değişim deney 5'te % 22.68 olarak hesaplanmıştır. En iyi ve en kötü sonuçların elde edildiği yüzeylerin profilometre görüntüleri sırasıyla Şekil 9.3.e'de ve Şekil 9.3.f'de verilmiştir. En iyi sonucu veren deney 9' un aritmetik ortalama (Sa) yükseklikleri 1,87 en kötü sonucu ise deney 5'in Sa değeri 7,13 olarak ölçülmüştür.



Şekil 9.3. Su damlası damlatıldıktan ilk dokuz saniyedeki temas açısı değişimi. Minimum değişim deney 8 ile elde edilmiştir.

(a) İlk damlacık

(b) 9. Saniyedeki (son) damlacık (örnek. 9).

Maksimum değişim için (c) ve (d) (deney 5).

(e) Deney 9 ve (f) Deney 5 ile elde edilen lazerle işlenmiş yüzeylerin 3 boyutlu yüzey topografyaları.

Hidrofobiklik için ilk 9 saniyedeki Temas Açısı Değişimi ($\Delta\theta$) için ANOVA tablosu Tablo 9.5.'de verilmiştir. En yüksek seviyeler lazer tarama hızı için "3. seviye-(45 mm/s)" olarak elde edilmiştir. Lazer gücü için "2. seviye-(117 W)", frekans için "2. seviye-(30 kHz)" ve örtüşme oranı için "3. seviye-(% 60)". Optimum kombinasyon için beklenen S/N ve temas açısı değişimi sırasıyla "-19.70" ve "% 9.66" olarak hesaplanmıştır.

Tablo 9.5. Taguchi Metoduna göre Hidrofobiklik için ilk 9 Saniyedeki Temas Açısındaki değişimin ANOVA tablosu.

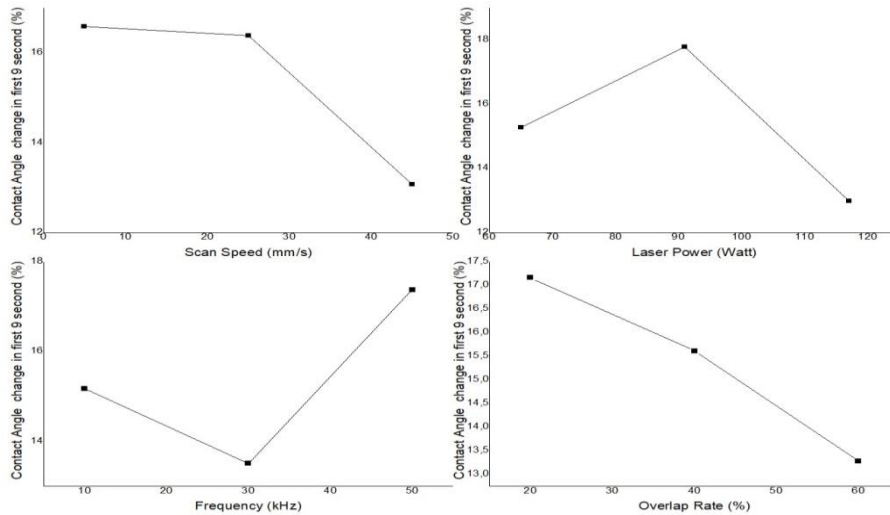
Ortalama S/N									
Faktörler	1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye	Serbestlik derecesi	SS_i	Varyans	Faktör etkisi	Optimum seviye	Optimum değer
Tarama hızı	-24.70	-24.59	-22.80	3	6.83	2.28	28.23	3	45mm/s
Güç	-23.99	-24.83	-23.27	3	3.64	1.21	15.06	1	117 W
Frekans	-24.28	-23.08	-24.73	3	4.36	1.45	18.02	3	30 kHz

Tablo 9.5. (Devam) Taguchi Metoduna göre Hidrofobiklik için ilk 9 Saniyedeki Temas Açısındaki değişimin ANOVA tablosu.

Örtüşme oranı	-25.05	-24.40	-22.64	3	9.36	3.12	38.69	3	% 60
Toplam				12	24.19		100		
Optimum S/N									-19.70
Optimum ($\Delta\theta$) (%)									9.66

Hidrofobiklik için 9 saniyede temas açısı değişimi için en etkili parametre % 38,69 oranında lazer örtüşme oranı olarak bulunmuştur. İkincisi ise % 28,23 oranında tarama hızıdır. Frekans, % 18.02 oranı ile üçüncü etkili parametredir. Lazer gücü % 15.06 oranı ile incelenen parametreler arasında en az etkili olanıdır.

Hidrofobiklik için 9 saniyedeki temas açısı değişiminin ana etki grafikleri Şekil 9.4.'te gösterilmektedir. Tarama hızı 5'ten 25 mm/sn'ye artırıldığında, temas açısı değişimi çok yavaş azalmıştır, ancak tarama hızı 25'ten 45 mm/sn'ye çıkarıldığında, açı değişimi çok hızlı bir şekilde azalmıştır. Lazer gücü 65'ten 91 W'a çıkarılırken değişim miktarı artmıştır, ancak lazer gücü 117 W'a çıkınca değişim hızla azalmıştır. Frekansın temas açısı değişimi üzerindeki etkisi, lazer gücü ile zıt davranış göstermektedir. Temas açısındaki değişim, örtüşme oranıyla neredeyse doğrusal olarak azalmıştır.



Şekil 9.4. Hidrofobiklik için lazer parametrelerinin ilk 9 saniyede temas açısındaki değişim üzerindeki Ana Etki Grafikleri.

9.6 Regresyon Denklemleri

Regresyon denklemi, ANOVA'dan elde edilen sonuçları kullanarak temas açısındaki tarama hızı, gücü, frekansı ve örtüşme oranını ilişkilendirir. 31 Hidrofobiklik için 9. saniyede Temas Açısı için regresyon denklemi Denklem (9.1)'de verildiği gibi elde edilmiştir;

$$\text{Temas Açısı} = 47.27 + 0.1884 \times (\text{Tarama Hızı}) - 0.0064 \times (\text{Güç}) + 0.1160 \times (\text{Frekans}) + 0.1422 \times (\text{Örtüşme Oranı}) \quad (9.1)$$

İlk 9 saniyede Temas Açısındaki Değişim için regresyon denklemi ise Denklem (9.2)'de verildiği gibi elde edilmiştir;

$$\Delta\theta = 23.79 - 0.0879 \times (\text{Tarama Hızı}) - 0.0440 \times (\text{Güç}) + 0.0549 \times (\text{Frekans}) - 0.0969 \times (\text{Örtüşme Oranı}) \quad (9.2)$$

İlk 9 saniyedeki Temas Açısındaki değişimin Regresyon denklemleri kullanılarak elde edilen ve deneyler ile elde edilen sonuçları Tablo 9.6.'da verilmiştir.

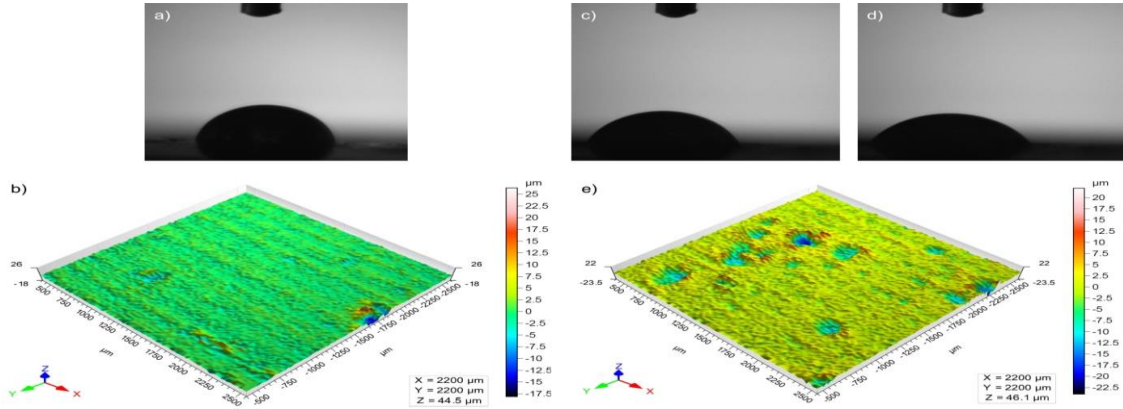
Tablo 9.6. Hesaplanan regresyon denklemleri sonuçları, deneysel sonuçlar ve yüzde farklılıkları.

Deney no	9. Saniyedeki temas açısı			İlk 9 saniyede temas açısındaki değişim		
	Deneysel derece	Hesaplanan derece	Fark (%)	Deneysel derece	Hesaplanan derece	Fark (%)
1	53.98	51.80	4.03	18.15	19.10	5.23
2	52.45	56.80	8.29	17.44	17.12	1.85
3	63.97	61.80	3.40	14.18	15.13	6.71
4	65.28	63.58	2.61	12.40	14.57	17.44
5	56.66	60.04	5.97	22.65	18.40	18.78
6	59.71	58.08	2.74	14.11	13.12	7.04
7	68.48	66.82	2.42	15.29	15.84	3.65
8	61.49	64.86	5.47	13.26	10.57	20.32
9	63.04	61.36	2.72	10.68	14.40	34.81

9. saniyedeki temas açısı için regresyon denklemi ile elde edilen sonuçlar Tablo 9.6.'da görüldüğü gibi deneysel sonuçlarla oldukça uyumludur. Özellikle deney 9'da olduğu gibi regresyon denklemi ile elde edilen bazı sonuçlar ile deneysel sonuçlar arasında büyük bir fark vardır. Deneylerden elde edilen sonuçlar ile regresyon denklemi ile elde edilenler arasında en büyük farklılığa sahip deneylerin, aynı tarama hızları ve örtüşme oranını kullanan deneyler olduğu görülmektedir. Şekil 9.4.'teki ana etki grafiklerinden, temas açısındaki değişimin artan tarama hızı ve artan örtüşme oranı ile azaldığı görülmektedir. Bu deneylerle elde edilen yüzeylerin yüzey topografyasından da görülebileceği gibi yerel yüzey kusurları ortaya çıkmıştır. Bu kusurların nedeni bor ve karbürün farklı erime ve yumuşama sıcaklıklarına sahip olması ve ayrıca üretim sırasında alaşıma karışan ve yüzeyin hemen altında kalan gazlar olabilir.

9.7. Doğrulama Deneyleri

Taguchi optimizasyon yöntemi, doğrulama deneyleri ile test edilebilir. Sonuçlar, Taguchi Yöntemi'nin önerdiği parametrelerle yapılan doğrulama deneyleri ile doğrulanmıştır. ANOVA tablolarında önerilen parametrelerle yapılan doğrulama deneylerinin sonuçları, beklenen sonuçlarla oldukça uyumludur.



Şekil 9.5. Doğrulama deneylerinin sonuçları: maksimum temas açısı için;

- a) Temas açısı
- b) profilometre görüntüsü.
- c) ve d) İlk 9 saniyede Temas açısındaki değişim.
- e) Yüzeyin profilometre görüntüsü.

Taguchi Yöntemi, maksimum temas açısı elde etmek için, tarama hızı, güç, frekans ve örtüşme oranı için sırasıyla 45 mm/s, 65 W, 50 kHz ve % 60 parametreleri ile yapılacak deney sonucunda temas açısının 71.22° olarak elde edilebileceğini öngörmüştür. Yapılan doğrulama deneyi sonucunda, Temas açısı, Şekil 9.5.a'da görüldüğü gibi 73.81° olarak elde edilmiştir. Doğrulama deneyi ile elde edilen yüzeyin Şekil 9.5.b'de görülen profilometre görüntüleri ile hesaplanan aritmetik ortalama yüksekliği (Sa) 1.58 olarak elde edilmiştir.

Taguchi Yöntemi, Temas açısında minimum değişimi elde etmek için, tarama hızı, güç, frekans ve örtüşme oranı için sırasıyla 45 mm/s, 117 W, 30 kHz ve % 60 parametreleri ile yapılacak deney sonucunda temas açısındaki değişimin % 9.66 olarak elde edilebileceğini öngörmüştür. İlk 9 saniyedeki temas açısı değişimi, Şekil 9.5.c ve 9.5.d'de görüldüğü gibi doğrulama deneyi ile % 8,58 olarak elde edilmiştir. Doğrulama deneyi ile elde edilen yüzeyin Şekil 9.5e'de görülen profilometre görüntüleri ile hesaplanan aritmetik ortalama yükseklikleri (Sa) 2.08 olarak elde edilmiştir. Onay deneylerinin sonuçları, Taguchi tasarımına göre yapılan dokuz deneyin sonuçlarından daha iyi sonuçlar vermiştir.

10. SONUÇLAR

- 9. saniyedeki temas açısı ile ilk 9 saniyedeki temas açısı değişikliği arasında bir ilişki gözlemlenmiştir. Her iki çalışmada da, tarama hızı ve örtüşme oranı en etkili iki parametre birlikte düşünülmelidir. Çünkü malzemeye ısı transfer hızı bu iki parametre ile doğrudan ilişkilidir.
- En büyük temas açısı ve zaman içinde en az temas açısı değişimi için gerekli lazer parametreleri elde edilmiştir. İncelenen parametreler arasında en büyük temas açısı için en etkili parametreler ve zaman içinde temas açısındaki en az değişim için en etkili parametrelerin sırasıyla % 42,46 ile tarama hızı ve % 38,69 ile örtüşme oranı olduğu görülmüştür.
- Daha büyük temas açısı ve daha az açı değişikliği elde etmek çalışmanın iki ana amacıdır. Ana etki grafiklerinden de görülebileceği gibi, her iki çalışma için en etkili iki parametre olan tarama hızı ve örtüşme oranının artmasıyla daha büyük temas açısı ve daha az açı değişikliği elde edilmiştir.
- 9. saniyedeki temas açısı ve ilk 9 saniyedeki temas açısının değişimi incelendiğinde, en etkili parametrelerden ikisi olan tarama hızı ve örtüşme oranı için araştırılan ana etki grafikleri her biri ile hemen hemen uyumludur. Küçük farklılıklar, seramik yüzey üzerindeki pürüzlülüğün homojen olmayan dağılımından kaynaklanmaktadır. Bu küçük farklılıkların temel nedeni, yüzeye aşırı ısı transferinden dolayı seramik yüzeydeki pürüzlülük dağılımının homojen olmaması ve bunun da mikro kusurlara neden olabilmesidir. Seramiğin farklı yapısı nedeniyle yüzey, lazer ışınından gelen ısıdan farklı oranlarda etkilenmiştir.
- Temas açısı yalnızca pürüzlülükle açıklanamaz. Yüzeyin temizliği ve yüzey enerjisi gibi parametreler de temas açısını etkiler. Bor karbür birçok malzemeye göre daha yüksek yüzey enerjisine sahip olduğu için güçlü bir moleküler çekiciliğe sahiptir. Bu yüksek yüzey enerjisi, hareketsiz temas açısı ve hareketli temas açısı davranışında küçük farklılıklara neden olabilir. Çünkü, zamanla temas açısının değişmesi, zaman içindeki yüzeyin değişimi ile yüksek oranda ilişkili olmasına rağmen, statik ve dinamik etkileşimlerin farkı, sabit temas açısı ve hareketli temas açısı ölçümlerinde küçük bir fark olarak ortaya çıkmaktadır.
- Yüzeyin ıslatılabilirliğin araştırılması için, temas açısı ve temas açısının zaman içindeki değişimi birlikte incelenmelidir.

- Sadece 9 deneyle tutarlı sonuçlar elde edilebildiğinden ve doğrulama deneylerinin sonuçları, Taguchi Yönteminin önerdiği sonuçlar ile oldukça uyumlu olduğundan Taguchi yöntemi benzer çalışmalar için güvenilir bir yöntem olarak kabul edilebilir.



KAYNAKLAR

- Ahmad D, Boogaert I. van den, Miller J, Presswell R, Jouhara H. (2018). Hydrophilic and Hydrophobic Materials and Their Applications. *Energ Sources Part A*, 40(22), 2686-2725.
- Akın, İ. (2010). ZrB₂ Esaslı Kompozitlerin Spark Plazma Sinterleme (SPS) Yöntemi ile Üretimi ve Karakterizasyonu. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 315363.
- Alp, E. (2011). Düşük Sıcaklıkta Bor Karbür Üretimi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 372886.
- Alpay, Y. O. (2020). Kızılötesi Isıtma ile Kürlenmiş Karbon Fiber Katkılı Kompozit Malzemede Taguchi Yöntemi Kullanılarak Optimum Kür Çevriminin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce, 625947.
- Altındağ, T. (2011). Yarı İletkenlerde Optik Kazancın Uyarlamalı Sinirsel-Bulanık Çıkarım Sistemi Kullanılarak Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 299572.
- Anusavice, K. J., Shen, C., Rawls, H. R. (2012). *Philips' Science of Dental Materials* (12). Holland: Elsevier INC.
- Apak, B (2018). Production and Characterization of spark Plasma Sintered Boron Carbide Ceramic Composites Suitable for Ballistic Use. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 496322.
- Barsbay, B., Güven O. (2010). Selüloz Esaslı Kendi Kendini Temizleyen Süper Hidrofobik Yüzeyler. 3. *Ulusal Polimer Bilim ve Teknolojisi Kongresi ve Sergisi*, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 12-14 Mayıs.
- Bonfante, E. A. and Gracis, S. (2014). *High-Strength Ceramics, Interdisciplinary Perspectives*. (1) Quintessence: Chicago.
- Born, M. (1980). *Principle of Optics (6th edition)*. Pergamon Press, İngiltere: Oxford.
- Borruto A., Crivellone G., Marani, F. (1998). Influence of surface wettability on friction and wear tests. *Wear*, 222(1), 57-65.
- Boyras, İ., Yıldız. A., (2016) Lazer Çeşitleri ve Yüksek Yoğunluklu Lazer Kullanımı. *Journal of Contemporary Medicine* 6(1) 104-109.
- Bulatov, V.P., Krasny V.A., Schneider, Y.G. (1997). Basics of machining methods to yield wear-and fretting-resistive surfaces, having regular roughness patterns. *Wear*, 208(1-2), 132-137.

- Caliganano, F., Manfredi, D., Ambrosio, E. P., Iuliano, L., Fino, P. (2013). Influence of Process Parameters on Surface Roughness of Aluminum Parts Produced By DMLS. *Int Adv Manuf Technol*, 67(9-12), 2743-2751.
- Canbolat, Ş., Kılınç, M., Gürbüz, N. R., Kut, D. (2014). Tekstil Uygulamalarında Biyomimetik Yaklaşımlar. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 13(25), 91-111.
- Cardella, A., Rigal, E., Bedel, L. (2004). The manufacturing technologies of the European breeding blankets. *J. Nuclear Materials*, (329-333), 133-140.
- Chen, W., Liu, Z., Schroers, J. (2004). Joining of Bulk Metallic Glasses İn Air. *Acta Materialia*, (62), 49-57.
- Çağlar, A. (2016). Elektronik Yüzey Malzemelerinde Hidrofobik Özellikler. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale, 424053.
- Çelik, G., Sarı, T., Üşümez, A. (2013). Bilgisayar Destekli Diş Hekimliği ve Güncel CAD-CAM Sistemleri. *Cumhuriyet Dental Journal*, 16(1), 74-82.
- Çocalak, H. H. (2019). Seramik ve Seramik-Karbon Kaplı Fren Disklerinin Frenleme Performansına Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Tarsus Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mersin, 607599.
- Driscoll, W. G. And Vaughn, William, eds. (1978). *Handbook of optics. (1)*. Newyork: Mc GrawHill Book Company.
- Eskizara, H. B. (2020). Doku Oluşturulmuş Silicili Kesici Takım İle Tornalamada Doku Özelliklerinin İşleme Performansına Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 620592.
- Etsion I. (2005). State of the Art in Laser Surface Texturing. *Journal of Tribology*, 127(1), 248-253.
- Ferencz, J. (2014). *High-Strength Ceramics, Interdisciplinary Perspectives (1)* United States: Quintessence Publishing.
- Göller, G. (1992). Bor Karbür Oluşum Koşullarının Belirlenmesi ve Toz Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 21969.
- Gracis, S., Thompson, V. P., Ferencz, J. L., Silva, N. R. F. A., Bonfante, E. A. (2014). A new classification system for all-ceramic and ceramic-like restorative materials. *The International Journal of Prosthodontics*, 28(3), 227-235.

- Güvercin, S. (2018). Optimum Yüzey İşleme Parametrelerinin ANP ve Taguchi yöntemleri ile Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Amasya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Amasya, 510967.
- Hacızade, F. (2014). Seramik alanında kullanılan terim ve kavramlarda Türkçenin durumu. *Selçuk Üniversitesi Türkiyat Araştırmaları Dergisi*, (35), 39-54.
- Hashish, M. (1994). Observations of Wear of Abrasive-Waterjet Nozzel Materials. *Journal of Tribology*, 116(3), 439-444.
- Hirose, T., Shiba, K., Ando, M., Enoda, M., Akiba, M. (2006). Joining Technologies of Reduced Activation Ferritic/Martensitic Steel for Fabrication. *Fusion Engineering and Design*, 81(1-7), 645-651.
- Holmberg, K., Matthews, A., Ronkainen, H. (1998). Coatings Tribology-Contact Mechanisms and Surface Design. *Tribology International*, 31(1-3), 107-120.
- Holmquist, T.J., Johnson, G. R. (2006). Characterization and evaluation of boron carbide for plate-impact conditions. *Journal of Applied Physics*, 100(9), 1-13.
- Kang, S. J. L. (2005). *Sintering, densification, grain growth and microstructure* (1), England: Butterworth Heinemann England.
- Karabaş, K. (2006). Bor Karbür Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 202454.
- Karaçay, E. (2008). Bor Karbür Üretimi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 233923.
- Kubiak, K. J., Mathia, T. G. (2009). Influence of Roughness on Contact Interface in Fretting Under Dry and Boundary Lubricated Sliding Regimes. *Wear*, 267(1-4), 315-321.
- Kubiak, K. J., Wilson, M. C. T., Mathia, T. G., Carval, P. (2011). Wettability Versus Roughness of Engineering Surfaces. *Wear*, 271(3-4), 523-528.
- Kuzenkova, M. A., Kislyi, P. S., Grabchuk, B. L., Bodnaruk, N. I. (1979). The Structure and Properties of Sintered Boron Carbide. *Journal of Less-Common Metals*, 67(1), 217-223.
- Lam, C. N. C., Kim, N., Hui, D., Kwok, D. Y., Hair, M. L., Neumann, A. W. (2001). The Effect of Liquid Properties to Contact Angle Hysteresis. *Colloids Surf A: Physicochem Engineering Aspects*, 189(1-3), 265-278.
- Li, R. W. K., Chow, T.W., Matinlinna, J. P. (2014). Ceramic Dental Biomaterials and CAD/CAM Technology: *State of The Art. Journal of Prosthodont Research*, 58(4), 208-2016.

- Menezes, PL., Kishore, S., Kailas, V. (2019). Influence of Surface Texture and Roughness Parameters on Friction and Transfer Layer Formation During Sliding of Aluminium Pin on Steel Plate. *Wear*, 267(9-10), 1534-1549.
- Morova, Y. (2021). Femtosaniye Lazer ile İşlenen Yapıların Katıhal Lazerlerde Uygulamaları ve Üst Çevrim Pompalı $Tm^{3+}:KY_3F_{10}$ Lazerleri. Doktora Tezi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 675588.
- O' Shea, D. C., Callen, W. R., Rhodes, W. T. (1977). *Introduction to Lasers and Their Applications* (1). Wesley: Addison.
- Ordu, F. (2012). Metalik Yüzeylerde Kimyasal İşleme Yöntemi ile Hidrofobik Yüzey Oluşturulması. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 307667.
- Özen Cansoy, C. E. (2011). Mikro Desenli Süperhidrofobik Yüzeylerde Yüzey Pürüzlülüğü ile Su Temas Açısı İlişkisi. Doktora Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 290193.
- Pang, M., Liu, X., Liu, K. (2017). Effect of Wettability on The Friction of A Laser-textured Cemented CarbideS in Dilute Cutting Fluid. *Advances in Mechanical Engineering*, 9(12), 1-9.
- Perveen, A., Feng, L. (2017). Effect of Texturing on the Friction Characteristic of Carbide and Steel Material by Grinding Process. *Materials Science Forum* (887), 83-88.
- Raeesi, B., Morrow, NR., Mason, G. (2013). Effect of Surface Roughness on Wettability and Displacement Curvature in Tubes of Uniform Cross-Section. *Colloids Surf A: Physicochem Engineering Aspects* (436), 392-401.
- Rafiee, K., Naffakh-Moosavy, H., Tamjid, E. (2020). The Effect of Laser Frequency on Roughness, Microstructure, Cell Viability and Attachment of Ti6Al4V Alloy. *Materials Science and Engineering:C*. (109), 110637.
- Ready, J. F. (1971). *Effects of High Power Laser Radiation* (1). New York: Academic Press.
- Roucoules, V., Gaillard, F., Mathia, TG. (2002). Lanteri P, Hydrophobic Mechanochemical Treatment of Metallic Surfaces Wettability Measurements as A Means of Assessing Homogeneity. *Advances in Colloid and Interface Science* 97(1-3), 179-203.
- Saritas, S., Turker, M., Durlu, N. (2007). *Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri, Toz Metalurjisi* (5). Ankara: Türk Toz Metalurjisi Derneği Yayınları.
- Schawlow, A. L. (1969). *Lasers and Light: Readings from Scientific American* (1). San Francisco: W.H. Freeman.

- Serway, R. A., Beichner R. J. (2011). *Fizik 3* (5) Ankara: Palme Yayıncılık.
- Siniawski, MT, Harris, SJ, Wang, Q., Liu, S. (2003). Wear İnitiation of 52100 Steel Sliding Against A Thin Boron Carbide Coating. *Tribology Letters* (15), 29-41.
- Snyder-Mackler, L., Bork, CE. (1988). Effect of Helium-Neon Lase Irradition on Peripheral Sensory Nerve Latency. *Physsical Therapy*, 68(2), 223-225.
- Somekawa, H., Higashi, K. (2003). The Optimal Surface Roughness Condition on Diffusion Bonding. *Materials Transactions*, 44(8), 1640-1643.
- Söz, Ç. (2015). New Processes and Critical Parameters for The Preparation of Superhydrophobic Polymer Surface. Doktora Tezi, Koç Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 397230.
- Suri, A. K., Subramanian, C., Sonber, J. K., Murthy, T. S. R. C. (2010). Synthesis and consolidation of boron carbide: a review. *International Materials Review*, 55(1), 4-40.
- Tarakçıoğlu, N., Özcan, M. (2004). *Lazerler ve Materyal İşleme Uygulamaları* (1). Ankara: Atlas Akademik Yayıncılık.
- Taylan, D. (2009). Taguchi Deney Tasarımı Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 234158.
- Thevenot, F. (1991). A. Review on Boron Carbide. *Key Engineering Materials*, (56-57), 59-88.
- Turan, A. (2014). AISI 1040 Çeliğinin Tornalanmasında Kesme Kuvvetlerinin ve Titrşimlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce, 377387.
- Weber, M. J. (2019). *Handbook of Lasers* (1) America: CRC Press.
- Wenzel, R. N. (1936). Resistance of Solid Surfaces to Wetting By Water. *Industrial and Engineering Chemistry*, 28(8), 988-994.
- Wilson, J., Hawkes, J. B. F. (1987). *Laser Principles and Applications* (1) Newyork: Prentice Hall.
- Yang, W. H., Tarng, Y. S. (1998). Design Optimization of Cutting Parameters for Turning Operations Based on The Taguchi Method. *Journal of Materials Processing Technology*, 84(1-3), 122-129.
- Yasuda, T., Okuno, T., Yasuda, H. (1994). Contact Angle of Water on Polymer Surfaces. *Langmuir*, 10(7), 2435-2439.

- Yavas, B., Sahin, F., Yucel, O., Goller, G. (2015). Effect of Particle Size, Heating Rate and CNT Addition on Densification, Microstructure and Mechanical Properties of B4c Ceramics, *Ceramics International*, 41(7), 8936-8944.
- Yavaş, B. (2014). Monolitik ve Takviyeli Bor Karbür Seramiklerinin Spark Plazma Sinterleme (SPS) Yöntemiyle Üretimi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 352324.
- Yıldız, B. K. (2019). Zırh Uygulamaları İçin Alümina Seramiklerin Sert Seramik Katkılar ve Metal Faz İle Takviyelendirilerek Üretilmesi ve Karakterizasyonu. Doktora Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 601911.
- Yilbas, B. S. (1987). Study of Affecting Parameters in Laser Hole Drilling of Sheet Metals. *Journal of Engineering Materials and Technology*, 109(4), 282-287.
- Yilbas, B. S., Karatas, C. (2014). Laser Treatment of Boron Carbide Surfaces: Metallurgical and Morphological Examinations. *Journal of Alloys and Compounds*, (603),125-131.
- Zafiratos, C. D., RTaylor, J., Dubson M. A. (2008). *Modern Fizik* (2) Ankara: Okutman Yayıncılık.
- Zhi, J., Zhang, L. Z., Yan, Y., Zhu, J. (2017). "Mechanical Durability of Superhydrophobic Surfaces: The Role of Surface Modification Technologies". *Applied Surface Science*, (392), 286-296.
- Zimmerman, M., Mehl, A., Reich, S. (2013). New CAD-CAD Materials and Blocks for Chairside Procedure. *International Journal of Computerized Dentistry*, 16(2),173-181.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Canel T., **Gölbaşı F.**, Gezer Z. (2021). Investigation of the change of Molten Zone and Heat Tint Width of the Laser-Cratered Groove on Dual-Phase Steel with respect to Laser Scanning Speed, Online Oral Presentation. *4th International Conference on Life and Engineering Sciences*, Fenerbahçe Üniversitesi, İstanbul, 23-25 Eylül 2021.

Canel T., **Gölbaşı F.**, Gezer Z. (2021). The Effect of CO_2 Laser Scan Speed on Properties of Groove Created on Stainless Steel Plate. *Eastern Anatolian Journal of Science*, (7)2, 23-27.

Canel T., **Gölbaşı F.**, Gezer Z. (2021). The effects of laser machining parameters on roughness and contact angle for boron carbide ceramic surface. *Materialwiss. Werkstoffech*, (52)1382-1393, 202100170.



ÖZGEÇMİŞ

İlk orta ve lise öğrenimini İstanbul’da tamamladı. 2013 yılında girdiği İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü’nden 2017 yılında mezun oldu. 2016-2017 yılları arasında İstanbul Üniversitesi Hasan Ali Yücel Eğitim Fakültesi Pedagojik Formasyon Eğitimi tamamladı. 2019 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı.

