

**KARBON ELYAF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİT
MALZEMELERİN FREZELEME İŞLEMİNDE
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI**

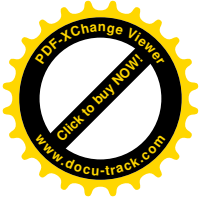
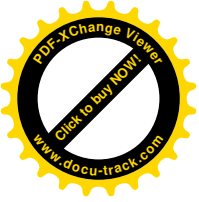
Şenol BAYRAKTAR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2011

ANKARA



Şenol BAYRAKTAR tarafından hazırlanan KARBON ELYAF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİT MALZEMELERİN FREZELEME İŞLEMİNDE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Yakup TURGUT

Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mahmut GÜLESİN

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Yakup TURGUT

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Tayfun FINDIK

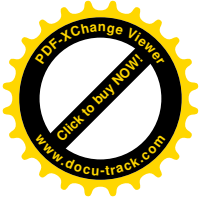
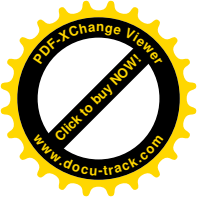
Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 20/12/2011

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

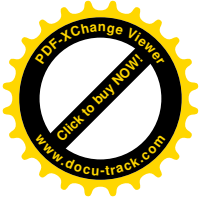
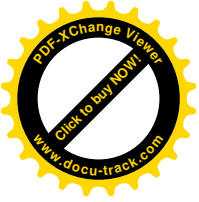
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



TEZ BİLDİRİMİ

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

Şenol BAYRAKTAR



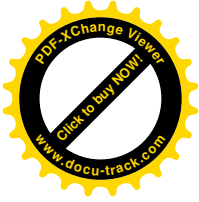
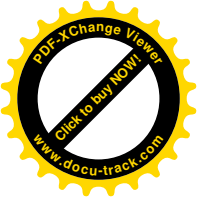
**KARBON ELYAF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİT
MALZEMELERİN FREZELEME İŞLEMİNDE
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Şenol BAYRAKTAR

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Aralık 2011**

ÖZET

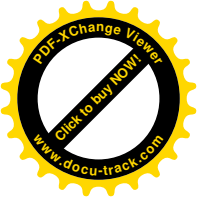
Bu çalışmada, karbon elyaf takviyeli polimer kompozit malzemenin parmak freze ile frezelenmesi deneysel olarak araştırılmıştır. Giriş parametreleri, devir sayısı, ilerleme ve kesici takım olarak belirlenirken, çıkış parametreleri kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey hasarları olarak belirlenmiştir. Çalışmada, deney seti Taguchi L_{18} ($6 \times 1 \times 3 \times 2$) ortogonal dizini esas alınarak deney düzeneği hazırlanmıştır. Deneylerde, 10 mm çapında 2, 3 ve 4 ağızlı 30° helis açılı kaplamalı karbür, 2 ağızlı 30° helis açılı kaplamasız karbür ve 3-4 ağızlı 45° helis açılı kaplamalı karbür olmak üzere altı farklı kesici takım kullanılmıştır. Kesme parametreleri olarak, üç farklı ilerleme (0,03-0,06-0,09 mm/diş) ve üç farklı devir sayısı (3800-4800-5800 dev/dak) kullanılmıştır. Kesme kuvvetleri dinamometre yardımıyla ölçülürken, yüzey pürüzlülüğü ölçümü için yüzey pürüzlülük cihazı kullanılmıştır. Deneyler sonucu, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey hasarı açısından kaplamasız kesici takımların daha iyi performans sergilediği tespit edilmiştir. Ayrıca kesici takımın ağız sayısı ve helis açısı arttıkça yüzey pürüzlülüğü ve yüzey hasarında artış olduğu tespit edilmiştir.



V

Deneylerde kullanılan kesme parametreleri içinden en uygun olanı Taguchi metodu ile belirlenmiştir. Bu parametreler içerisinde en etkin olanı, Varyans analizi (ANOVA) ile ilerleme faktörü olduğu tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 708.1.094
Anahtar Kelimeler : Polimer esaslı kompozit, Kesme kuvvetleri, Yüzey pürüzlülüğü, Taguchi, ANOVA
Sayfa Adedi : 99
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Yakup TURGUT



EXPERIMENTAL INVESTIGATING OF MACHINABILITY ON MILLING OF CARBON FIBRE REINFORCED POLYMER COMPOSITE MATERIALS

(M.Sc. Thesis)

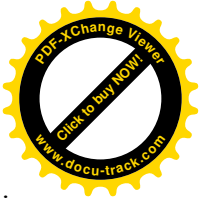
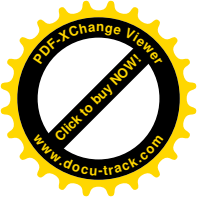
Şenol BAYRAKTAR

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

December 2011

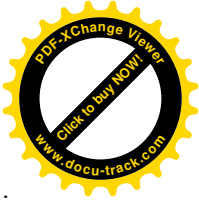
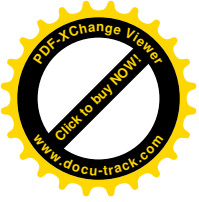
ABSTRACT

In this study, milling of the carbon fiber reinforced composite materials were investigated as an experimental with end mill cutting tool. The input parameters included the number of spindle speed, feed rates and cutting tools, while the output parameters were defined as the cutting force, surface roughness and surface damages. A test arrangement was made on the basis of Taguchi L_{18} ($6 \times 1 \times 3 \times 2$) orthogonal array. In the tests six different cutting tools, including the 2, 3 and 4 cutting edges 30° helix angled uncoated carbide and the 3 and 4 cutting edges 45° helix angled coated ones were used. The cutting parameters included three different feed rates (0,03-0,06-0,09 mm/tooth) and three different number of spindle speed (3800-4800-5800 rev/min). A dynamometer was used to measure the cutting forces, the surface roughness measurements were made by a surface roughness instrument. The comparative experiments revealed that the uncoated cutting tools had a better performance in terms of the cutting forces, surface roughness and surface damages. It was another determination that an increase in number of cutting edge and helix angle resulted an increase in of the surface roughness and damages.



Taguchi method was used to select the most appropriate cutting parameters used in tests. Using analysis of variance (ANOVA) within these parameters, feed rate factor was identified to be most effective one.

Science Code : 708.1.094
Key Words : Polimer based composite, Cutting forces, Surface roughness, Taguchi, ANOVA
Page Number : 99
Adviser : Assist. Prof. Dr. Yakup TURGUT

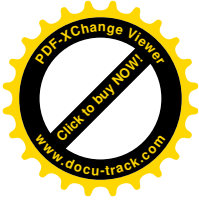
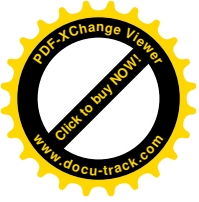


TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışmanım Yrd. Doç. Dr. Yakup TURGUT'a saygı ve şükranlarımı sunarım.

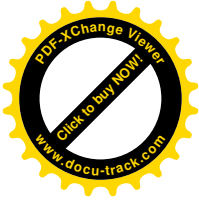
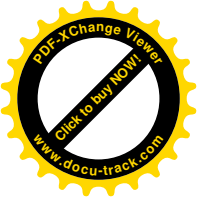
Kıymetli tecrübelerinden faydalandığım değerli hocam, Yrd. Doç. Dr. Alaattin KAÇAL ve deneysel çalışmalarımda katkı sağlayan değerli arkadaşım, Ramazan ÇAKIROĞLU'na ve maddi, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme teşekkür ederim.

Ayrıca 07/2010-18 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Başkanlığı'na ve çalışmalar için kullandığım cihaz ve teçhizatları ile bana katkıda bulunan Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim ABD'na da teşekkür ederim.

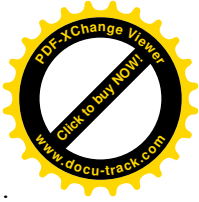
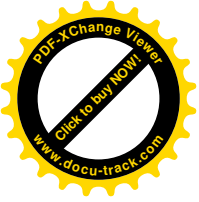


İÇİNDEKİLER

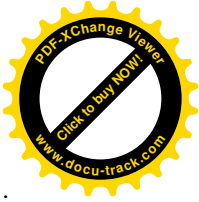
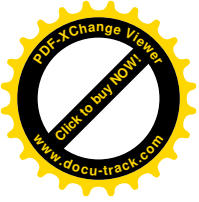
	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Frezede İşlenmesi İle İlgili Çalışmalar	5
2.2. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Delinebilirliği İle İlgili Çalışmalar	7
2.3. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Tornalanması İle İlgili Çalışmalar	11
2.4. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler İle İlgili Diğer Çalışmalar	14
2.5. Diğer Kompozit Malzemeler İle İlgili Çalışmalar	16
3. KOMPOZİT MALZEMELER.....	20
3.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	20
3.1.1. Elyaf (Lif) takviyeli kompozit malzemeler.....	22

**Sayfa**

3.1.2. Kılcal kristal takviyeli kompozit malzemeler	27
3.1.3. Parçacık takviyeli kompozit malzemeler	27
3.1.4. Plaka takviyeli kompozit malzemeler	28
3.1.5. Karma takviyeli kompozit malzemeler	28
3.2. Polimer Esaslı Kompozit Malzemeler	29
4. POLİMER ESASLI KOMPOZİT MALZEME ÜRETİM YÖNTEMLERİ	31
4.1. Elle Yatırma	32
4.2. Püskürtme	32
4.3. Elyaf Sarma	33
4.4. Reçine Transfer Kalıplama (RTM)	33
4.5. Profil Çekme	35
4.6. Hazır Kalıplama	35
4.7. Vakum Kalıplama	36
4.8. Otoklav	37
5. FREZELEME, İŞLENEBİLİRLİK ve YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	40
5.1. Frezeleme	40
5.1.1. Frezeleme işleminde oluşan kuvvetler	42
5.2. İşlenebilirlik	45
5.2.1. Kompozit malzemelerin işlenebilirliği	45
5.3. Kesme Kuvvetleri	47
5.3.1. Kesme modelleri	48
5.4. Yüzey Pürüzlülüğü	50
5.4.1. Yüzey yapısının özellikleri	52
5.4.2. Yüzey hatalarının incelenmesinde genel kurallar	55
6. DENEYSEL TASARIM VE TAGUCHI METODU	58
6.1. Taguchi Metodu	59
6.1.1. Sistem Tasarımı	61
6.1.2. Parametre Tasarımı	61
6.1.3. Tolerans Tasarımı	62

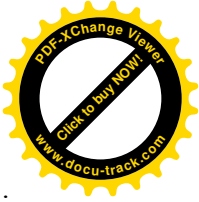
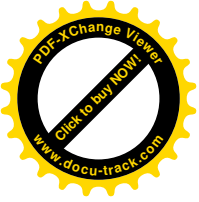


	Sayfa
6.2. Taguchi' nin Sinyal/Gürültü Oranları	63
6.3. Uygun Ortogonal Dizin Seçilmesi	64
6.4. Varyans Analizi (ANOVA)	65
6.5. Doğrulama Deneylerinin Yapılması	66
7. MALZEME VE METOD	67
7.1. Deney Numuneleri	67
7.2. Deneylerde Kullanılan Cihaz ve Donanımlar	68
7.3. Deneylerde Kullanılan Kesici Takım ve Kesme Parametreleri	70
7.4. Taguchi Deney Düzenegi	72
8. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	73
8.1. Ölçüm Sonuçları	73
8.2. Frezeleme Esnasında Oluşan Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi	74
8.3. Frezeleme Esnasında Oluşan Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi	75
8.4. Frezeleme Esnasında Oluşan Kesme Kuvveti ve Yüzey Pürüzlülüğünün Taguchi Metoduyla Analiz Edilmesi ve Değerlendirilmesi	81
8.5. Varyans Analizi (ANOVA) İle Parametrelerin Değerlendirilmesi	83
8.6. Doğrulama Deneyleri ve Sonuçları	84
9. SONUÇ VE ÖNERİLER	87
KAYNAKLAR	89
ÖZGEÇMİŞ	99



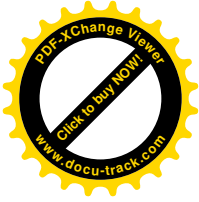
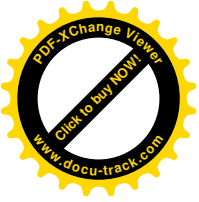
ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.1. İşleme izlerinin yönünün sembolik ifadesi	54
Çizelge 5.2. Pürüzlülük değerleri ve sınıf numaraları.....	55
Çizelge 7.1 Deney malzemesine ait ASTM D 792 yoğunluk test sonucu.....	67
Çizelge 7.2. Deney malzemesine ait mekanik özellikler	67
Çizelge 7.3. Deneylerde kullanılan cihaz ve donanım özellikleri	68
Çizelge 7.4 Kullanılan kesici takımlar.....	71
Çizelge 7.5 Deneylerde kullanılan kaplamalı karbür kesici takım kaplama özellikleri.....	71
Çizelge 7.6. Kesme parametreleri	71
Çizelge 7.7. Deney faktörleri ve seviyeleri	72
Çizelge 7.8. Taguchi L_{18} deney düzeni (Orthogonal Array)	72
Çizelge 8.1. Deneysel çalışmadaki girdilere bağlı olarak elde edilen çıktılar	73
Çizelge 8.2. Taguchi L_{18} deney tasarımına göre deney sonuçları ve sinyal/gürültü oranları	81
Çizelge 8.3. Kesme kuvvetine ait sinyal/gürültü oranları için ANOVA sonuçları....	83
Çizelge 8.4. Yüzey pürüzlülüğüne ait sinyal/gürültü oranları için ANOVA sonuçları	84
Çizelge 8.5. Kesme kuvveti için optimum parametreler	85
Çizelge 8.6. Yüzey pürüzlülüğü için optimum parametreler	85

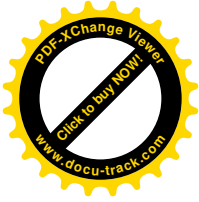
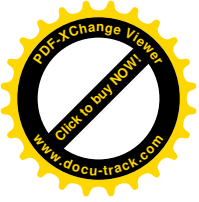


ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Takviye fazının şekline göre endüstriyel kompozitlerin sınıflandırılması	21
Şekil 3.2. Doğrusal yönlü elyaflarla takviye edilmiş kompozitlerin farklı Şekillerdeki takviye işlemi	22
Şekil 3.3. Karbon elyaf takviyeli polimer kompozit malzemenin yapısı	24
Şekil 4.1. Elle yatırma yöntemi	32
Şekil 4.2. RTM yöntemi	34
Şekil 4.3. Profil çekme yöntemi	35
Şekil 4.4. Vakum kalıplama	37
Şekil 5.1. Çevresel frezeleme, alın frezeleme	41
Şekil 5.2. Aynı yönlü frezeleme, karşıt yönlü frezeleme	41
Şekil 5.3. Alın frezelemede oluşan kuvvetler	43
Şekil 5.4. Eğik kesme işleminin şematik olarak gösterilmesi, çıkan talaş	48
Şekil 5.5. Dik kesmenin şematik olarak gösterilmesi	49
Şekil 5.6. Gerçek talaş oluşumu	50
Şekil 5.7. İşlenmiş bir yüzeyin yüzey karakteri	53
Şekil 5.8. Yüzey pürüzlülük özellikleri	55
Şekil 5.9. Takım uç yarıçapı ve ilerlemenin pürüzlülüğe etkisi	57
Şekil 7.1. Deney düzeneğinin şematik gösterimi	69
Şekil 7.2. Deneylerde kullanılan malzemeye ait teknik resim ölçüleri	69
Şekil 7.3. Kesici takım ilerleme ve dönme yönü	70
Şekil 8.1. Takım tipi ve ilerlemeye bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim	74



Şekil	Sayfa
Şekil 8.2. Takım tipi ve artan ilerleme değerine bağlı yüzey pürüzlülüğündeki değişim	75
Şekil 8.3. Deneylerde kullanılan tüm takımlara ait ilerleme-yüzey pürüzlülüğü ilişkisi	76
Şekil 8.4. Kesme kuvveti için S/N oranları ana etki grafiği.....	82
Şekil 8.5. Yüzey pürüzlülüğü için S/N oranları ana etki grafiği	82



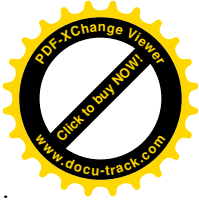
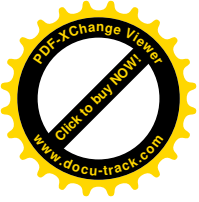
RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Karbon elyaf takviyeli malzeme, başlıca elyaf dokuma türleri, frezeleme işlemi uygulanmış karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme	23
Resim 3.2. Hasır biçiminde örülmüş cam elyaf tabakası	25
Resim 3.3. Karma takviyeli kompozit malzemenin yapısı	28
Resim 4.1. Elyaf sarma makinesi, elyaf sarma yöntemi	33
Resim 7.1. Deneylerde kullanılan malzemeye ait SEM görüntüsü.....	68
Resim 8.1.2 ağızlı 30° helis açılı kaplamasız karbür kesici takımlarla yapılan deneyler sonrası yüzey hasar görüntüsü.....	77
Resim 8.2. 2 ağızlı 30° helis açılı kaplamalı karbür kesici takımlarla yapılan deneyler sonrası yüzey hasar görüntüsü.....	77
Resim 8.3. 4 ağızlı 45° helis açılı kaplamalı karbür kesici takımlarla yapılan deneyler sonrası yüzey hasar görüntüsü	78
Resim 8.4. 4 ağızlı 30° helis açılı kaplamalı karbür kesici takımlarla yapılan deneyler sonrası yüzey hasar görüntüsü	78
Resim 8.5. 3 ağızlı 30° helis açılı kaplamalı karbür kesici takımlarla yapılan deneyler sonrası yüzey hasar görüntüsü	79
Resim 8.6. 3 ağızlı 45° helis açılı kaplamalı karbür kesici takımlarla yapılan deneyler sonrası yüzey hasar görüntüsü	79
Resim 8.7. Kesici takım uç bölgesi	80

SİMGELER VE KISALTMALAR

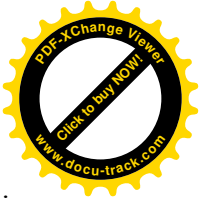
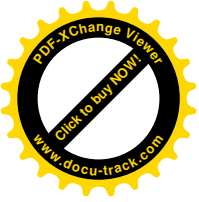
Bu çalışmada, kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
Z	İlerleme kuvvet faktörü
F_{cz}	Frezelemede ortalama kesme kuvveti (N)
F_{zz}	Frezelemede ortalama talaş kaldırma kuvveti (N)
F_{rz}	Frezelemede ortalama radyal kuvvet (N)
F_{fz}	Frezelemede ortalama ilerleme kuvveti (N)
Z_e	Frezelemede aynı anda talaş kaldıran kesici uç sayısı
F_a	Eksenel kuvvet (N)
B	Kesme genişliği (mm)
h_m	Ortalama talaş kalınlığı (mm)
k_s	Özgül kesme kuvveti (N)
F_n	Normal kuvvet (N)
k_v	Kesme hızı faktörü
k_γ	Talaş açısı faktörü
k_u	Takım aşınma faktörü
k_o	Takım malzemesi faktörü
F_c	Frezelemede kesme kuvveti (N)
F_r	Frezelemede radyal kuvvet (N)
F_t	Frezelemede teğetsel kuvvet (N)
α	Arka talaş açısı ($^\circ$)
V	Kesme hızı (m/dak)
v_c	Talaş kayma hızı (m/dak)
Φ	Kayma açısı ($^\circ$)
γ	Talaş açısı ($^\circ$)
R_a	Ortalama yüzey pürüzlülük değeri
f	İlerleme miktarı (mm/dev, mm/diş)



r	Takım uç yarıçapı (mm)
R_t	Maksimum yüzey pürüzlülük değeri
D	Freze tutucusu çapı (mm)
S	Standart sapma
V_a	A faktörünün serbestlik derecesi
K_a	A faktörünün seviye sayısı
V_t	Dizinin toplam serbestlik derecesi
N	Dizideki toplam deney sayısı

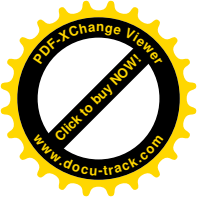
Kısaltmalar	Açıklama
ANN	Artificial Neural Network (Yapay Sinir Ağları)
ANOVA	Analysis Of Variance (Varyans Analizi)
ASTM D 792	Standart Test Methods for Density and Spesific Gravitiy
BMC	Bulk Molding Composite (Hazır Kalıplama Hamuru)
B₄C	Bor Karbür
C	Karbon
CBN	Cubic Boron Nitride (Kübik Bor Nitrür)
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Polymer (Karbon Fiber Takviyeli Polimer Kompozit)
CNC	Computer Numeric Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetim)
FEM	Finite Element Method (Sonlu Elemanlar Metodu)
HSS	High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)
MMK	Metal Matrisli Kompozit
Mpa	Megapascal
PAN	Polyakrilonitril
PCB	Printed Circuit Board (Baskı Devre Kartı)
PCBN	Poly Cyristaline Boron Nitride (Çok Kristalli Bor Nitrür)
PCD	Poly Cyristaline Diamond (Çok Kristalli Elmas)
RTM	Resin Transfer Molding (Reçine Transfer Kalıplama)



Kısaltmalar

Açıklama

SEM	Scanning Electron Microscopy (Tarama Elektron Mikroskopi)
SiC	Silisyum Karbür
SiO₂	Silisyumdioksit
SMC	Sheet Molding Composite (Hazır Kalıplama Pestili)
TGA	Thermo Gravimetric Analysis
TiC	Titanyum Karbür
TiN	Titanyum Nitrür
TS	Türk Standartları
WC	Tungsten Karbür

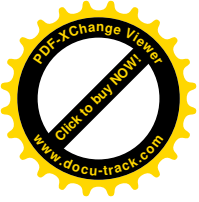


1. GİRİŞ

Malzemeler genel olarak metal ve metal olmayan malzemeler olarak iki ana gruba ayrılırlar. Bu iki grubun birbirlerine göre üstün ve zayıf yönleri vardır. Bu iki ana grubun yanında, aynı ya da farklı gruplardan iki veya daha fazla malzemenin, üstün özelliklerini tek bir malzemede toplamak ya da yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla, makro düzeyde birleştirilmesi ile oluşturulan malzemeler, karma (kompozit) malzeme olarak adlandırılır [1].

Kompozit malzemeler, şekil ve/veya kimyasal bileşimleri farklı, birbiri içerisinde pratik olarak çözünmeyen iki veya daha fazla makro bileşenin kombinasyonundan oluşan malzemeler şeklinde de tanımlanabilir. Bu tanımlamaya göre kompozit malzemeler, makro ölçüde heterojen karakterli bir yapıya sahip olup, iç yapıları çıplak gözle incelendiğinde (makroskobik muayene), yapı bileşenlerinin seçilip ayırt edilmesi mümkündür. Bu yapı bileşenleri birbirleri içerisinde çözünmezler, kimyasal olarak inert davranırlar [2].

Kompozit malzemeler aslında binlerce yıldan beri mevcuttur. Mısırdaki M.Ö. 2800 yıllarında arkeologlar lamine edilmiş tahta tabakalar bulmuşlardır. Bina yapımı içinde çamur içine karıştırılan saman çöpleri ile yapılan kerpiç de bir kompozit malzemedir. Alüminyum alaşımları son 75 yıldan beri uçak iskeleti olarak kullanılmıştır. Az oranda Cu, Mg ihtiva eden duraluminyum olarak adlandırılan bu alaşım saf Al kadar hafif olmamasına rağmen çok dayanımlı olduğu tesadüfen bulunmuş ve I. Dünya savaşı esnasında bu malzemeden birkaç uçak üretilmiştir. Kompozit malzemelerin gelişimi ise, II. Dünya savaşı esnasında mevcut malzemelerin tek başlarına teknoloji karşısında belli ihtiyaçlara cevap veremez hale gelmesi ile başlamış ve o zamandan beri bu malzemelerin üretimi ve mekanik özellikleri üzerine araştırma ve geliştirme faaliyetleri genişleyerek devam etmektedir. Bu gelişmeler için tahrik edici güç malzemelerde yüksek dayanım/yoğunluk ve yüksek elastik modülü/yoğunluk oranı elde etmek olmuştur [3].



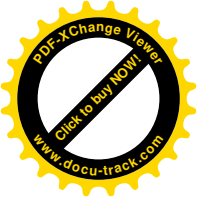
Kompozit malzemelerin günümüz teknolojisinde önemi hızla yükselmektedir. Özellikle plastik matrisli kompozit (PMK) malzemeler; uzay ve uçak sanayisinde, otomotiv endüstrisinde (piston, motor parçaları, fan ve kompresörde), spor ve deniz malzemelerinde; başka bir deyişle hafiflik, rijitlik, ısı direnci, yüksek mukavemet, iyi aşınma direnci gibi birçok özelliklerinden dolayı geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Temel olarak fazla ağırlık istenmeyen ancak mukavemetin fazla olması istenen yerlerde çelik ve benzeri metallerin yerine kompozit malzemeler kullanılmaktadır.

Bakalitin (resin) bulunması, polyester, epoksi, polyamid ve silikon gibi diğer resinlerin (matris) geliştirilmesine yol açmıştır. Ancak bu malzemelerin bazılarının çok kırılgan veya esnek olması onların tek başlarına kullanılmasını mümkün kılmamış, çeşitli dolgu maddeleriyle takviyesini gerektirmiştir. Yeni geliştirilen matrislere, takviye yöntemiyle arzulanan özellikleri kazandırmak II. Dünya Savaşı ve sonrası önemli bir araştırma konusu olmuş bu konuda pek çok deney ve uygulama yapılmıştır. Bu araştırma ve geliştirme çalışmaları, cam fiberin geliştirilmesini ve polyesterle birlikte kompozitin malzeme haline getirilmesini sağlamıştır. Cam fiber/polyester matrisli bu kompozitin çeşitli uçaklarda bal peteği ile sandviç yapı formunda kullanılmış ve istenilen sonuçlara ulaşılmıştır. Savaş sonrası polyesterlerin yerini epoksilerin almasına karşın cam fiberler günümüzde de mekanik özellikleri ve maliyet avantajları ile pazarda önemli yer tutmaktadır.

Bunların yanında kompozit malzemelerin bazı dezavantajlarını da göz ardı etmemek gerekir. Bunlar;

- a) İmalat güçlükleri,
 - b) Pahalı olması,
 - c) İşlenmede gerekli yüzey kalitesinin elde edilememesi,
 - d) Diğer malzemeler gibi geri dönüşümünün olmayışı,
- gibi faktörler sayılabilir [4].

Kompozit malzemelerin işlenmesi diğer malzemelere oranla daha zordur. Bu durum kesici takımlar açısından çok seçici olmayı gerektirir. Bu malzemelere en yaygın



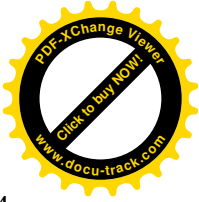
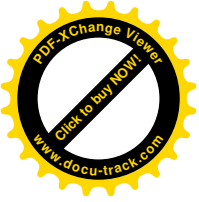
uygulanan talaş kaldırma işlemleri delme, parmak freze ile işleme gibi işlemlerdir.

Karbon lifli kompozitler son derece aşındırıcı oldukları halde örülmüş aramid lifli kompozitler, sünek ve işlenmeleri kolay malzemelerdir. Metaller gibi lifli kompozitlerin de değişik işleme karakteristikleri vardır. Bu lifin ve matrisin tipine ayrıca matrisin içerisindeki lif oranına bağlıdır. Tabakalı malzemelerde bilhassa daha kuru ve aşındırıcı tiplerde, tabakalar birbirinden ayrılırlar ve kesici kenar boyunca kırılırlar. İşleme esnasında çıkan toz ve kullanılacak kesme sıvısı da talaş kaldırma esnasında problem yaratabilir.

Kompozitler keskin bir kesici uç ile işlenmelidir. Kesici kenarın aşırı aşınması halinde lifler kesilmeyip kopacak, bu da tabakaların ayrılmasına neden olacaktır. Kompozitlerin işlenmesi için çok ince taneli sinterlenmiş karbür ve PCD takımlar kullanılır. Keskin bir kenara sahip bu takım malzemelerinde doğru bir geometrinin seçimi halinde takımın oluşturduğu basınçlar azalacak, çok daha hassas bir talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilecektir. Aramid lifli kompozitler için takımlar önce lif üzerine hafif bir ön yük uygulayacak, daha sonra lifleri kesecek ve en son olarak da talaş sıkışmasını engellemek için lifleri kesme bölgesinden uzaklaştıracak şekilde tasarlanır.

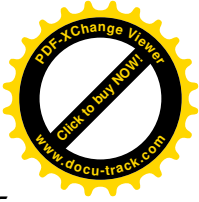
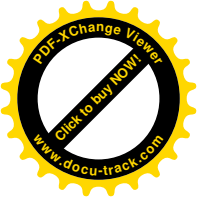
Kompozit malzemelerin işlenmesinde, doğru kesme verilerinin kullanılması şarttır. Her bir takım için ilerleme çok önemlidir, şöyle ki ilerlemenin doğru seçimi sayesinde hem takımın parçayı kesmesi yerine ezmesi engellenecek, hem de fazla kesmesinden dolayı liflerin kopmasının ve tabakaların ayrılmasının önüne geçilecektir [5].

Yapılan bu çalışmada karbon elyaf takviyeli kompozit malzemenin frezelenmesi esnasında, kesici takımın ve kesme parametrelerinin; yüzey hasarlarına, kesme kuvvetlerine ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi araştırılmıştır. Deneylerde, 45°-0°-90° elyaf açılı, 1,59 g/cm³ yoğunluğa sahip ve ağırlıkça elyaf yüzdesi %74,6 olan 15 mm kalınlığında karbon elyaf takviyeli polimer kompozit malzeme kullanılmıştır. 10 mm çapında 2 ağızlı 30° kaplamalı ve kaplamasız, 3 ve 4 ağızlı 30° ve 45° helis



açılı olmak üzere altı farklı karbür parmak freze kullanılmıştır. Kesme parametreleri olarak, tek kesme derinliğinde üç farklı ilerleme ile üç farklı devir sayısı kullanılmıştır. Yapılan kesme deneyleri sonrasında, yüzey hasarları incelenmiş, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapılmıştır.

Kesme parametreleri ve yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak Taguchi optimizasyonunda L_{18} ortogonal dizini kullanılarak deney seti hazırlanmıştır. Yapılan deneylerin doğruluğunu test etmek için Taguchi verilerinden elde edilen verilere bağlı olarak altı adet doğrulama deneyi daha yapılmıştır. En son da, elde edilen bu verilere bağlı olarak, kullanılan kesici takımların ve kesme parametrelerinin, yüzey hasarlarını, kesme kuvvetlerini ve yüzey pürüzlülüğünü nasıl etkilediği ortaya konmuştur.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde öncelikle elyaf takviyeli kompozit malzemeler ve diğer kompozit malzemelerle ilgili çalışmalara değinilmiştir.

2.1. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Frezede İşlenmesi İle İlgili Çalışmalar

Rusinek, yaptığı çalışmada, polimer matrisli karbon elyaf kompozit malzemenin frezelenmesinde devir sayısı ve ilerleme miktarının kesme kuvvetleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Deneylerde, 12 mm çapında elmas kaplı parmak freze kesici takım, 2000, 3500, 5000, 6500 ve 8000 devir ve 200, 270, 370, 520 ve 720 mm/dak ilerleme değerleri kullanılmıştır. Titreşim grafikleri incelendiğinde, devir sayısının artmasıyla kesme kuvvetlerinde azalma olduğu ve ilerleme değerlerinin artmasıyla kesme kuvvetlerinde artış olduğu belirtilmiştir. Yapılan deneylerde iki ana sonuç elde edilmiştir. Bunlardan birincisi, daha düşük ilerleme değerlerinin takım ömrünü, zaman ve ekonomik olarak olumlu etkilediği, ikincisi ise işleme esnasında titreşimlerin en aza indirilmesi için devir sayısının iyi ayarlanması gerektiğidir [6].

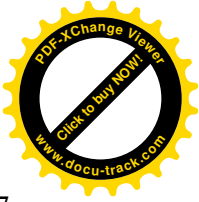
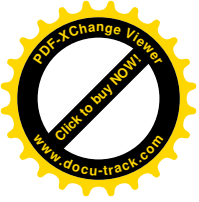
Davim ve Reis, yaptıkları çalışmada %55 elyaf oranına sahip 0°/90° açılı karbon elyaf takviyeli kompozit malzemenin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve yüzey hasarını, kesme hızı ve ilerleme parametrelerine bağlı olarak Taguchi metodu ile değerlendirmişlerdir. Deneylerde, 6 mm çapında 2 ve 6 ağızlı karbür kesici takım kullanılmıştır. Deneyler sonucunda, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey hasarı ile kesme hızı ve ilerleme miktarı arasında çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Artan ilerleme miktarı ve kesme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün arttığı gözlenmiştir [7].

Berger ve arkadaşları, elyaf takviyeli kompozit malzemelerin optimum şekilde işlenmesi üzerine deneysel çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada elyaf takviyeli malzemelerde üst ve alt tabakalarda oluşan delaminasyon miktarının 0,3 mm' den daha az olması için çalışmışlardır. 3,5 mm kalınlığında ve % 50,3 elyaf oranına sahip 16 tabakalı aramid elyaf takviyeli plaka, 3,5 mm kalınlığında % 47 elyaf oranına

sahip Dyneema yüksek yoğunluklu polietilen elyaf takviyeli malzeme ve takım ömrünü arttırmak için PCD ve karbür takımlar kullanılmıştır. Deneylerde 100-1000 m/dak aralığında kesme hızı değerleri, 0,1-15 m/dak aralığında ilerleme değerleri ve 13 farklı kesici takım kullanılmıştır. Delaminasyonu (yüzey hasarı) azaltmak için sabit kesme derinliğinde yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme miktarlarının kullanılması gerektiği, malzemedeki elyaf yüzdesi ve elyaf açılarının da optimum sonuçlar elde etmek için etkili olduğu belirtilmiştir. Deneylerde kompozit malzemenin yapısındaki elyafları sabitlemek için aramid/dyneema kompozit plaka üzerine alüminyum plaka sabitlenmiş, 190 m/dak kesme hızı ve 250 mm/dak ilerleme miktarı kullanarak malzemedeki delaminasyon miktarının 0,1 mm' nin altına düşürülmesi sağlanmıştır [8].

Denkana ve arkadaşları, tek yönlü titanyum tabakalı karbon elyaf takviyeli kompozit malzemede helisel delik büyütülmesi esnasında kesme kuvvetleri ve delik yüzey kalitesi üzerinde eksenel ve teğetsel ilerlemenin etkisini araştırmışlardır. Deneyler, 8 mm çapında ve 3 ağızlı 45° helis açılı karbür parmak freze ile 40 m/dak kesme hızı, büyütülecek delik çapı 10 mm, dış başına eksenel ilerleme 2-12 mikron ve teğetsel ilerleme 40-120 mikron aralıkları esas alınarak yapılmıştır. Malzeme olarak Henkel Hysol 9396 yapıştırıcı ile birbirine birleştirilmiş, üst tabaka kalınlığı 6 mm karbon elyaf takviyeli kompozit, alt tabaka kalınlığı ise 11 mm olan TiAlV4 malzemeden oluşan CFRP-Titanyum kullanılmıştır. Deneyler sonucunda, titanyum tabakada teğetsel ilerlemenin artmasıyla kesme kuvvetinin arttığı, eksenel ilerlemenin artmasıyla kesme kuvvetlerinin azaldığı gözlenmiştir. Karbon elyaf tabakada artan teğetsel ilerleme ile kesme kuvvetinin arttığı, artan eksenel ilerleme ile ise azaldığı gözlenmiştir. Sabit eksenel ve teğetsel kuvvetlerde titanyum tabakadaki delik çapının karbon elyaf tabakadaki delik çapına göre daha küçük çıktığı ve bu sonucun normal ilerleme kuvvetlerinde de aynı olduğu belirtilmiştir [9].

Kalla ve arkadaşları, çok yönlü ve tek yönlü karbon elyaf takviyeli kompozit malzemenin helisel işlenmesinde oluşan kesme kuvvetlerini yapay sinir ağıları yöntemini kullanarak araştırmışlardır. Helisel kesme için 2000 devir, 0,406 m/dak ilerleme miktarı, 0,5 mm kesme derinliği, 9,5 mm çapında 2 ağızlı ve 30° helis ve 16°

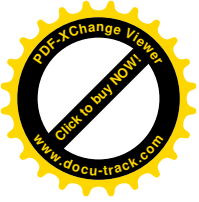


talaş açısına sahip kesici takım kullanılmıştır. Deneylerde, %60 elyaf oranına sahip tek yönlü $0^{\circ}/60^{\circ}$ elyaf açılı ve çok yönlü $60^{\circ}/0^{\circ}/120^{\circ}$ elyaf açılı malzemeler kullanılmıştır. 0° elyaf açılı malzemede, 0° - 60° ve 180° - 240° dalma açıları aralığı kullanıldığında kesme kuvvetlerinde artış olduğu gözlenirken aynı şartlarda 60° elyaf açılı malzemede ise kesme kuvvetlerinin 0° elyaf açılı malzemeye göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. $60^{\circ}/0^{\circ}/120^{\circ}$ elyaf açılı malzemede ise 0° - 120° ve 180° - 270° dalma açıları aralığında kesme kuvvetlerinde artış olduğu, ancak yaklaşık olarak 93° ve 220° dalma açılarında kesme kuvvetlerinde düşüş olduğu gözlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda deneylerde elde edilen verilerle yapay sinir ağları ile hesaplanan değerlerin birbirleriyle örtüştüğü vurgulanmıştır [10].

Erkan ve Işık, yaptıkları çalışmada cam elyaf takviyeli plastik kompozit malzemenin işlenmesinde farklı kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme ve takım geometrisi) yüzey pürüzlülüğüne olan etkisini araştırmışlardır. Deneyler için 8 mm çapında, 30° helis ve 10° talaş açılı, 2, 3 ve 4 ağızlı karbür parmak freze kullanılarak yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapılmıştır. Yapılan tüm kesme deneylerinde artan ilerleme miktarına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünde artış olduğu gözlenirken, en iyi yüzey kalitesinin 4 ağızlı karbür parmak frezede, en yüksek kesme hızı ve en düşük ilerleme değerleri ile elde edildiği belirtilmiştir. Ayrıca deneyler sonucunda, 2, 3 ve 4 ağızlı takımlarda çok az miktarda takım aşınması olduğu belirtilmiştir [11].

2.2. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Delinebilirliği İle İlgili Çalışmalar

Canpolat, CYCOM ve ISOVAL cam elyaf takviyeli plastik matrisli kompozit malzemelerin delinebilirliği ile ilgili deneysel çalışma yapmışlardır. Deneylerde 5, 10 ve 15 mm çapında HSS, TiN ve karbür matkaplar, 125, 250 ve 315 dev/dak kesme hızı, 0,056-0,112 ve 0,16 mm/dev ilerleme değerleri kullanılmıştır. Deneyler sonucunda devir sayısı ve ilerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığının görüldüğü ve HSS matkaplar ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı, TiN ve karbür matkaplarda azaldığı ve en iyi yüzey kalitesinin karbür matkaplarla elde edildiği sonucuna varılmıştır [4].



Shyha ve arkadaşları, karbon elyaf takviyeli malzemede küçük çaplı deliklerin delinmesinde matkap geometrisinin etkisini varyans analizi (ANOVA) ile takım aşınması ve delik giriş ve çıkışındaki kusurları ise Taguchi optimizasyonu esas alınarak grafiklerle açıklamaya çalışmışlardır. Deneylerde 1,5 mm çapında, 30° ve 24° helis açılı, 140° ve 118° uç açılı, adımli (stepped drill) ve normal (conventional twist drill) olmak üzere kaplamasız ve TiN kaplamalı karbür matkaplar kullanılmıştır. Kesme deneyleri ise 120x120x3 mm karbon elyaf takviyeli kompozit plaka kullanılarak, 3200 ve 9600 devir ve 0,1 ve 0,2 mm/dak ilerleme değerleri ile yapılmıştır. Deneyler sonucunda takım ömrünün aynı kesme şartlarında adımli (stepped drill) matkapta arttığı gözlenirken, TiN kaplamalı takımda azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca takım ömrünün matkap uç ve helis açısının artmasıyla arttığı gözlenirken, artan kesme hızına bağlı olarak azaldığı ve artan ilerleme miktarına bağlı olarak takım ömrünün arttığı gözlenmiştir. Kesme kuvvetlerinin adımli (stepped drill) ve TiN kaplamalı matkaplarda azaldığı, ilerleme ve matkap uç ve helis açısının artmasıyla arttığı gözlenirken, kesme hızının artmasıyla azaldığı gözlenmiştir [12].

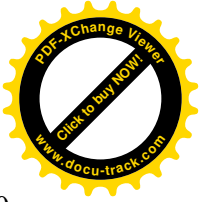
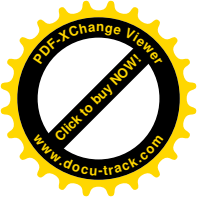
Davim ve arkadaşları, kompozit plakaların delinmesi esnasında oluşan delaminasyonu (delik hasarı), sayısal analiz tabanlı bir yaklaşım kullanarak araştırmışlardır. Deneylerde % 55 elyaf oranına sahip 0° ve 90° elyaf açılı, 3 mm kalınlığında karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme, 5 mm çapında (DIN 6537) helis açılı karbür matkap ve delikte oluşan hasarın ölçümü için 600 dpi çözünürlüklü tarama cihazı kullanmışlardır. Oluşan hasarlı yüzey çapının kullanılan matkap çapına oranıyla delaminasyon faktörleri hesaplanmıştır. Kesme parametreleri olarak 0,25-0,30-0,35 mm/dev ilerleme miktarı, 50, 60 ve 70 m/dak kesme hızı kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda oluşan delaminasyon faktörlerinin kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak sayısal analiz yaklaşımı kullanarak karşılaştırılması yapılmıştır. Artan kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak delaminasyon faktöründe artış olduğu gözlenmiştir [13].

Karnik ve arkadaşları, yapay sinir ağları (ANN) modeli kullanarak karbon elyaf takviyeli kompozit malzemenin yüksek hızlarda delinmesi esnasında delikte oluşan

delaminasyonun (delik yüzey hasarı) araştırmasını yapmışlardır. Deneylerde 5 mm çapında, 25° helis açılı, 130°, 115° ve 85° uç açılı karbür matkap ve 0°/90° elyaf açısına sahip elle yatırma yöntemiyle üretilen 2,5 mm kalınlığında karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme kullanılmıştır. Kesme deneyleri, 4000, 8000 ve 40000 devir ve 1000, 3000, 6000 ve 9000 mm/dak ilerleme değerleri kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. Deneyler sonucunda, devir sayısının artmasıyla delaminasyonda azalma görüldüğü ve daha büyük uç açısına sahip matkap kullanıldığında delaminasyonda artış olduğu gözlenmiştir. Ayrıca yüksek ilerleme değerlerinde takım kenarında yapışma olduğundan matkabin iyi kesme yapamadığını ve bu durumda delaminasyonun artmasına neden olduğunu belirtmişlerdir [14].

Davim ve Reis, otoklav yöntemiyle üretilmiş karbon elyaf takviyeli kompozit malzemenin delinebilirliği ile ilgili deneysel ve istatistiksel çalışma yapmışlardır. Deneyler, helisel kanallı 5 mm çapında 118° uç açısına sahip karbür (K10) ve “Brad&Spur” geometrisine sahip karbür (K10) matkaplar, 3 ve 5 mm kalınlığında % 55 elyaf oranına sahip 0° ve 90° elyaf açılı karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde belirlenen kesme hızı ve ilerleme değerlerine bağlı olarak bu değerler arttıkça çıkıştaki delik çapının girişteki delik çapından daha büyük olduğu gözlenmiştir. Elde edilen hasar ölçümleri, kullanılan kesme şartları ve takım geometrilerine bağlı olarak çoklu regresyon metoduyla yorumlanmıştır. Artan kesme hızı ve ilerleme değerleri ile kesme kuvvetlerinde artış olduğu ve Brad&Spur nokta uçlu matkapta daha büyük kesme kuvvetlerinin oluştuğu belirtilmiştir [15].

Davim ve Reis, karbon elyaf takviyeli kompozit plastik malzemelerin delinmesinde oluşan delaminasyonu (delik yüzey hasarı) araştırmak için deneysel çalışma yapmışlardır. Deneylerde, % 55 elyaf takviyeli, 0° ve 90° elyaf açılı kompozit malzeme, 5 mm çapında ve 118° uç açılı helisel HSS K10 matkap, dört kanallı karbür (K10) ve helisel karbür (K10) matkap kullanılmıştır. Deneyler sonucunda karbür (K10) matkabin dört kanallı karbür (K10) matkaba göre aynı şartlarda daha iyi performans gösterdiği ve dört kanallı karbür (K10) matkabin düşük kesme hızı ve yüksek ilerleme değerlerinde daha büyük hasara neden olduğu belirtilmiştir. HSS

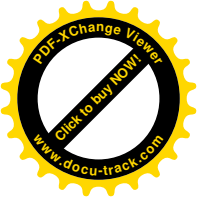


matkabın karbon elyaf takviyeli malzemenin delinmesinde karbür (K10) matkaba göre daha büyük delik hasarına (delaminasyon) yol açtığı belirtilmiştir [16].

Tsao ve Hocheng, kompozit malzemelerin delinmesi esnasında oluşan delaminasyon (delik yüzey hasarı) üzerinde takım aşınmasının etkisini araştırmak için deneysel çalışma yapmışlardır. Deneylerde 6 mm kalınlığında karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme, 6 mm çapında ve 118° uç açısına sahip HSS matkap kullanılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen ilerleme kuvvetinin, teorik olarak hesaplanan ilerleme kuvvetine oranı ilerleme kuvvet faktörü (Z) olarak belirtilmiştir. Buna bağlı olarak takımda oluşan aşınma miktarı arttıkça ilerleme kuvvet faktöründe artış olduğu gözlenmiştir. Ayrıca devir sayısının azalmasıyla ilerleme kuvvet faktörünün azaldığı ve artan ilerleme değerleri ile de arttığı gözlenmiştir [17].

Wang ve arkadaşları, elyaf takviyeli kompozit plastiklerin geleneksel ve vibrasyonlu delik delme işlemlerinde oluşan kesme kuvvetleri ile ilgili deneysel çalışma yapmışlardır. Deneyler, elektronik baskı devre kartı (PCB), cam ve karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme ve 0,5 mm çapında HSS karbür matkap kullanılarak, 50, 100 ve 150 mm/dak ilerleme ve 22000 devir kesme şartları altında yapılmıştır. Yapılan deneylerde vibrasyonlu delik delme işleminde geleneksel delik delme işlemine göre daha küçük kesme kuvvetlerinin oluştuğu ve vibrasyonlu delik delme işleminin elyaf takviyeli kompozit malzemeler için uygun olduğu belirtilmiştir. Aynı şartlarda karbür matkapla yapılan delik delme işleminde HSS matkaba göre daha düşük kesme kuvvetlerinin oluştuğu gözlenmiştir. Buna bağlı olarak yapılan deneyler sonucunda en iyi sonucun karbür matkaplarla elde edildiği gözlenmiştir [18].

Davim ve arkadaşları, elle yatırma yöntemiyle üretilmiş % 65 cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin delinmesinde matris (Viapal VUP 9731 ve ATLAC 382-05) yapılarının etkisini araştırmışlardır. Deneylerde kesme kuvveti, delaminasyon (yüzey hasarı) ve yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Kesici takım olarak 5 mm çapında nokta uçlu (Brad & Spur) karbür matkap ve 15 mm delme derinliği kullanılmıştır. Artan kesme hızı ve ilerleme değerleriyle her iki matrisli malzemede kesme kuvvetlerinde azalma görüldüğü, aynı kesme şartları altında Viapal VUP 9730 matrisli malzemede

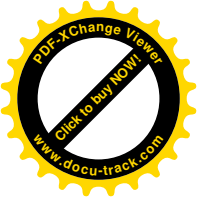


kesme kuvvetlerinin daha düşük olduğu belirtilmiştir. Nokta uçlu (Brad&Spur) matkapla yapılan delme deneylerinde Viapal VUP 9731 matrisli malzemede daha az yüzey hasarının (delaminasyon) olduğu belirtilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün her iki malzemede de kesme hızının artmasıyla azaldığı ve ilerleme değerlerinin artmasıyla arttığı gözlenmiştir. Ayrıca kesme hızının etkisinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisinin daha fazla olduğu belirtilmiştir [19].

Ekici ve Işık, cam elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin delinmesi esnasında oluşan yüzey hasarları ilgili deneysel araştırma yapmışlardır. Deneyler sonucunda oluşan delik hasar çapının matkap çapına oranı ile yüzey hasar faktörlerini hesaplamışlardır. Deneyler, 2, 3 ve 4 ağızlı, 60°, 90° ve 120° uç açısına sahip HSS matkaplar ile 50, 70 ve 90 m/dak kesme hızı, 0,06-0,12 ve 0,18 mm/dev ilerleme değerleri kullanılarak yapılmıştır. Aynı şartlarda kesici takımların tümüyle yapılan deneylerde artan kesme hızıyla yüzey hasar faktörünün azaldığı ve ilerleme değerlerinin artmasıyla yüzey hasar faktörünün arttığı gözlenmiştir. 50 m/dak kesme hızı ve 0,06 mm/dev ilerleme değerlerinde en az yüzey hasar faktörünün 2 ağızlı 60° uç açılı matkapta olduğu belirtilmiştir. Cam elyaf parçacıklarının takım ile iş parçası yüzeyi arasına girdiğinden dolayı kesici takımın kenar aşınması meydana geldiği belirtilmiştir [20].

2.3. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Tornalanması İle İlgili Çalışmalar

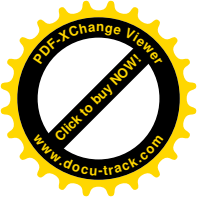
Ferreira ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, %35-40 elyaf oranına sahip karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme kullanarak değişik kesme şartları altında tornalama işlemi yapmışlardır. Deneylerde kaplamalı ve kaplamasız karbür, seramik, PCD ve CBN kesici takımlar kullanılmıştır. 50, 65, 80, 100, 120, 150, 200, 250 ve 310 m/dak kesme hızı, 0,05-0,1-0,12-0,15-0,2 ve 0,25 mm/devir ilerleme ve 1 mm sabit kesme derinliği kullanılmıştır. İşleme şartlarına bağlı olarak takım aşınması, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerlerine bakılmıştır. En iyi yüzey kalitesi ve en az takım aşınması, 200 m/dak kesme hızı ve 0,05 mm/devir ilerleme değerlerinde PCD takım ile hassas tornalama işleminde elde edildiği belirtilmiştir [21].



Kim ve arkadaşları, tornalama işleminde karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin işlenebilirliği ile ilgili deneysel çalışma yapmışlardır. Deneylerde 50 mm çapında S45C çeliğin etrafına 0°, 15°, 30°, 45° açılarla örülmüş karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme, 6° yan kenar açısına sahip kaplamasız tungsten karbür (K10) takım kullanılmıştır. Deneyler sonucunda sabit ilerleme miktarına bağlı olarak artan kesme hızı ve elyaf açısıyla takım aşınmasında artış olduğu, artan kesme hızına bağlı olarak en düşük yüzey pürüzlülüğü 0° ve 15° elyaf açılı kompozit malzemede olduğu, artan ilerleme miktarına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü en fazla 45° elyaf açılı tabakada olduğu gözlenmiştir. Ayrıca yapılan deneyler sonucunda yüzey pürüzlülüğü, kesme hızı ve takım aşınmasının elyaf açılarına bağlı olduğu da belirtilmiştir [22].

Santhanakrishnan ve arkadaşları, cam, karbon ve kevlar elyaf takviyeli polimer kompozitlerin işlenebilirlikleri üzerine deneysel çalışma yapmışlardır. Deneyler kuru işleme şartları altında karbür (P20, TiC kaplanmış, K20) ve HSS takımlarla yapılmıştır. Deneyler sonucunda en iyi yüzey, karbon elyaf takviyeli kompozit malzemede elde edilirken, en düşük yüzey kalitesi ise kevlar elyaf takviyeli kompozit malzemede elde edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda elyaf takviyeli kompozit malzemelerin işlenmesinde en iyi performansı K20 karbür takımların gösterdiği belirtilmiştir. Karbür takımlarla cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin işlenmesi esnasında takım yan yüzey ve burun bölgesinde kopmaların olduğu belirtilmiştir. Ayrıca bu takımlarla karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme işlenmesi esnasında krater aşınması meydana gelirken, kevlar elyaf takviyeli kompozit malzeme işlenmesi esnasında ise çentik aşınması olduğu belirtilmiştir [23].

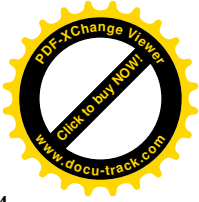
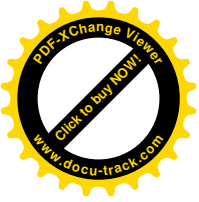
Sreejith ve arkadaşları, PCBN takımlar kullanarak karbon/fenolik kompozit malzemenin işlenmesinde sıcaklık ve kesme basıncının etkisini çoklu regresyon analizi kullanarak araştırmışlardır. PCD ve PCBN takımlar ile 25 mm çapında karbon fenolik kompozit malzeme kullanılarak kesme deneyleri yapılmıştır. Deneylerde kesme işlemi esnasındaki titreşim sinyalleri analiz edilerek bu sinyallerle takım durumu ve kesme şartları ile ilgili veriler elde edilmiştir. Sıcaklığın olduğu



bölgede kararlı bir kesme basıncı olduğu tespit edilmiş olup ve bu kesme basıncı çoklu regresyon analizi kullanılarak işleme parametrelerinin kontrolü sayesinde sıcaklığın hassas tahmininin yapılması sağlanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda sıcaklık-kesme basıncı ilişkisinde 0,1 mm/dev ilerleme değerinde 310°-340° sıcaklık aralığında PCBN takımlarla karbon/fenolik kompozit malzemenin işlenmesinde kritik sıcaklığın olduğu ve 340°'den sonra artan sıcaklığa bağlı olarak kesme basıncının arttığı belirtilmiştir [24].

Hocheng ve arkadaşları, tek yönlü karbon elyaf takviyeli kompozit plastiklerin işlenebilirliği ile ilgili deneysel çalışma yapmışlardır. Çalışmada, 0°, 45°, 90° elyaf açılı, %60 elyaf oranına sahip 250x50x4 mm ölçülerinde karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme ve tek ağızlı kare karbür uç takılmış 20 mm çapında kesici takım kullanılmıştır. Kesme parametreleri olarak, 500, 1500 ve 300 dev/dak devir sayısı, 31,4-94,2 ve 188,4 m/dak kesme hızı ve 0,05-0,17 mm/diş aralığında ilerleme değerleri ve 1 mm kesme derinliği kullanılmıştır. 90° elyaf açılı kompozit malzeme daha büyük kesme kuvvetlerine neden olduğundan dolayı daha düşük yüzey kalitesinin olduğu, artan ilerleme miktarı ve kesme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün arttığı ve artan diş başına ilerleme değerlerine bağlı olarak kesme kuvvetlerinde artış olduğu gözlenmiştir. Deneyler sonucunda 0,6 mm takım aşınması olduğu ve 188,4 m/dak kesme hızı ve 1 mm kesme derinliğinde 0° elyaf açılı kompozit malzeme için oluşan takım ömrü 16 dakika iken, 90° elyaf açılı kompozit malzemede 19 dakika olduğunu belirtmişlerdir [25].

Rahman ve arkadaşları, karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin işlenebilirliği ile ilgili çalışma yapmışlardır. Deneylerde kısa ve uzun elyaf yapısına sahip karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme, CBN (kübik bor nitrür), seramik ve WC (tungsten karbür) uç, 50, 75, 150, 250, 350 ve 450 m/dak kesme hızı, 0,1- 9 mm aralığında kesme derinlikleri kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda her iki malzemede de toz şeklinde talaşın olduğu ve bu toz talaşlardan dolayı takım ucunda krater aşınmasının olduğu gözlenmiştir. Tungsten karbür uçlarla yapılan deneylerde kesme hızının artmasıyla takım aşınmasının arttığı ve en az takım aşınması CBN uçlarla 150 m/dak kesme hızında uzun elyafli kompozit malzemenin işlenmesi

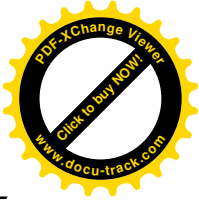
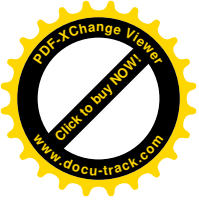


esnasında olduğu gözlenmiştir. Kesme derinliğinin artmasıyla uzun elyafli kompozit malzemenin işlenmesinde en iyi yüzey kalitesi CBN uçlarla elde edilmiştir [26].

Santiuste ve arkadaşları, havacılık sanayinde kullanılan uzun elyaf yapısına sahip kompozit malzemelerin işlenebilirliğini sonlu elemanlar (FEM) metodunu kullanarak araştırma yapmışlardır. Çalışmada, 0°, 15°, 30°, 45°, 60° 75° ve 90° elyaf açısına sahip cam ve karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme, tornalama işlemi için 5° talaş ve 6° boşluk açısına sahip uç kullanılmıştır. Elyaf açılara bağlı olarak malzemenin matris yapısında oluşan hasar hakkında değerlendirmelerde bulunulmuştur. Deneyler sonucunda karbon elyaf takviyeli kompozit malzemede elyaf açısının artmasıyla matris malzemesinde ezilme ve kırılmaların azaldığı, 45° elyaf açılı cam ve karbon elyaf takviyeli her iki malzeme arasında karşılaştırma yapıldığında karbon elyaf takviyeli kompozit malzemenin matris yapısında ezilme ve kırılmanın daha az olduğu görülmüştür. Elyaf açısının artmasına bağlı olarak deneysel ve sayısal analizler sonucunda elde edilen verilerde kesme kuvvetlerinin arttığı gözlenmiştir. Yapılan sayısal modelleme doğrultusunda cam ve karbon elyaf malzemenin matris yapısındaki deformasyon ve talaş oluşumunun elyaf açılara bağlı olduğu belirtilmiştir [27].

2.4. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler İle İlgili Diğer Çalışmalar

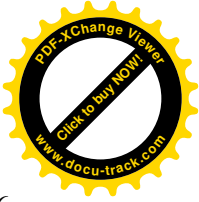
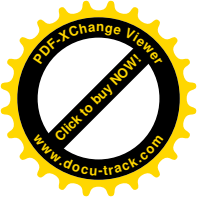
Dokur, yaptığı çalışmada, karbon elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit malzeme üreterek, yüksek sıcaklıklar altında ısı davranışları ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Malzeme üretiminde takviye elemanı olarak karbon elyaf, polimer matris olarak fenolik reçine kullanılmıştır. Kısa elyafli kompozit malzemelerin elastisite modülü ve termal iletkenlik özelliklerin modellenmesi yapılarak üretimi gerçekleştirilen malzemeye çeşitli dayanım ve fiziksel testler uygulanmıştır. Elde edilen veriler incelendiğinde vakum altında üretilen numuneler en iyi sonucu verdiği görülmüştür [28].



Hu ve Zhang, tek yönlü karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin taşlanabilirliği ile ilgili deneysel çalışma yapmışlardır. Deneylerde 45x15x4 mm ölçülerinde ve 0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150° ve 180° elyaf açısına sahip karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme ve alüminyum aşındırıcı taş kullanılmıştır. 120°, 150° ve 180° elyaf açılı kompozit malzemelerde yüzey kalitesinin 0°, 30°, 60° ve 90° elyaf açılı malzemelere göre daha kötü olduğu gözlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda talaş biçimi, taşlama kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün elyaf açılara bağlı olduğu, 90° elyaf açılı kompozit malzemede en iyi yüzey kalitesinin elde edildiği, 120° ve 180° elyaf açılı kompozit malzemelerin yüzey pürüzlülüğü için uygun malzeme olmadığı ve kesme derinliğinin artmasına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünde artış meydana geldiği belirtilmiştir [29].

Rau ve arkadaşları, tek yönlü elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin işlenebilirliğini üç boyutlu Abaqus analiz programı yardımıyla kesme derinliği, elyaf ve talaş açılara bağlı olarak sonlu elemanlar metoduyla araştırmışlardır. Deneylerde 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90° elyaf açısına sahip, 100x100x3 mm ölçülerinde karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme, 5°, 10° ve 15° talaş ve 6° boşluk açılı kesici takım, 0,1-0,15 ve 0,2 mm kesme derinliği, 0,5 m/dak kesme hızı kullanarak dik kesme işlemi yapılmıştır. 10° talaş açılı kesici takım ile yapılan çalışmada, kesme derinliği ve elyaf açılarının artmasına bağlı olarak kesme kuvvetlerinde artış olduğu gözlenmiştir. Deneylerde talaş açısının, kesme derinliği ve elyaf açılara göre daha az etkili olduğu belirtilmiştir. 15°, 30° ve 45° elyaf açılı malzemelerde kesme derinliğinin azalmasıyla ilerleme kuvvetlerinde artış görüldüğü, 60°, 75° ve 90° elyaf açılı malzemelerde ise ilerleme kuvvetlerinde azalma olduğu belirtilmiştir [30].

Ramulu, yaptığı çalışmada elyaf takviyeli kompozit malzemelerin yüzey pürüzlülüğünü ve işlenebilirliğini deneysel olarak araştırmıştır. Deneylerde 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90° elyaf açısına sahip ve 4 mm kalınlığında grafit epoksi (graphite/epoxy) kompozit malzeme, talaş ve boşluk açıları sırasıyla 0°-7°, 0°-17°, 5°-7°, 5°-17°, 10°-7°, ve 10°-17° olan PCD kesici takım, 4, 9 ve 14 m/dak kesme hızı, 0,127-0,254 ve 0,381 mm kesme derinliği kullanılarak dik kesme işlemi

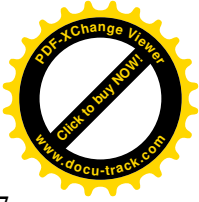
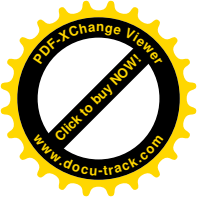


yapılmıştır. 4 m/dak kesme hızı ve 0,254 mm kesme derinliğinde, 10° talaş ve 17° boşluk açılı takım ile yapılan deneylerde elyaf açılarının artmasıyla kuvvetlerde artış olduğu gözlenmiştir. Ayrıca yapılan deneyler sonucunda talaş açısının artmasıyla ilerleme kuvvetlerinde artış olduğu ve daha büyük boşluk açılı takımlarla yapılan deneylerde daha düşük kesme kuvvetlerinin elde edildiği belirtilmiştir [31].

Rao ve arkadaşları, elyaf takviyeli kompozit malzemelerin işlenebilirliğini kesme kuvvetlerinin analizini yaparak sonlu elemanlar metoduyla deneysel ve teorik olarak araştırmışlardır. Deneylerde 100x50x3 mm ölçülerinde 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90° elyaf açılara sahip cam ve karbon elyaf takviyeli kompozit malzemeler ve 5°, 10° ve 15° talaş ve 6° boşluk açılı Tungsten Karbür (K10) takım kullanılarak dik kesme işlemi yapılmıştır. Kesme derinliği 0,1, 0,15 ve 0,2 mm ve kesme hızı 0,5 m/dak olarak kullanılmıştır. Elde edilen deneysel gözlemlerde her iki malzemede artan kesme derinliği ve elyaf açısına bağlı olarak kesme kuvvetlerinde ve delaminasyonda (yüzey hasarı) artış olduğu gözlenmiştir. Daha büyük talaş açılı kesici takım kullanıldığında kesme kuvvetlerinde azalma görüldüğü ve artan elyaf açısına bağlı olarak ilerleme kuvvetlerinde azalma olduğu görülmüştür. Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme ile yapılan tüm deneylerde kesme ve ilerleme kuvvetlerinin karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelere göre daha yüksek değerlerde olduğu gözlenmiştir [32].

2.5. Diğer Kompozit Malzemeler İle İlgili Çalışmalar

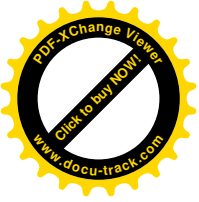
Altan ve arkadaşları, metal matrisli kompozit (MMK) malzemelerin işlenebilirliğini artırmak için çalışmışlardır. Buna bağlı olarak, tornalama, frezeleme, delme, taşlama ve elektro erozyon, elektro kimyasal, lazer, abrasifli su jeti vb. işleme yöntemleri kullanılmıştır. MMK' ların işlenmesi için gerekli takım malzemeleri ve bunların özelliklerinin araştırmasını yapmışlardır. Buna bağlı olarak kesme parametrelerinin, takım aşınması, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine olan etkileri araştırılmıştır. Bunun sonucunda kesme parametrelerini detaylı olarak açıklamışlardır [33].



Bahçeci, toz metalürjisi yöntemi kullanılarak alüminyum matrisli parçacık takviyeli kompozit malzeme (MMKp) üretimi ve bu malzemenin işlenebilirlik özelliklerinin araştırılmasını yapmışlardır. Farklı oranlardaki α -Si₃N₄ seramik parçacık takviye elemanı kullanılan numuneler sinterlenerek mekanik ve metalografik incelemelere tabi tutulmuştur. PCD ve karbür K10 kalite kesici takımlarla farklı kesme parametreleri kullanılarak işlenebilirlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. 50, 100, 150 ve 200 m/dak kesme hızı, 0,12 mm/devir ilerleme miktarı ve 1 mm kesme derinliği kullanılmıştır. Deneylerde parçacık oranına bağlı olarak kesme hızının artmasıyla ilerleme kuvvetlerinde azalma olduğu gözlenirken, parçacık oranının artmasıyla azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca minimum yüzey pürüzlülüğü ve tornalama kuvvetlerinin PCD takımla elde edildiği belirtilmiştir [34].

Çiftçi, karıştırma-basınçlı döküm yöntemi kullanılarak ortalama 30, 45 ve 110 parçacıktan oluşan ve ağırlıkça % 8, 16 ve 32 oranlarında içeren 2014-Alüminyum esaslı metal matrisli kompozit (MMK) malzemeler üretmiştir. Bu malzemelerin mekanik ve mikroyapı özellikleri incelenmiştir. Üretilen malzemeler ile işlenebilirlik deneylerinin yapılması için kaplamasız ve kaplamalı karbür, kübik bor nitrür (CBN) ve elmas kaplamalı karbür kesici takımlar kullanılarak tornalama işlemi yapılmıştır. Deneyler sonucunda parçacık oranı ve boyutunun artmasıyla bütün kesici takımlarda aşınmanın arttığı ve CBN kesici takımlar dışındaki takımlarda kesme hızının artmasıyla da kesici takımda aşınmanın arttığı gözlenmiştir. En yüksek aşınma direncini CBN kesici takımların gösterdiği ve kaplamasız karbür kesici takımlarla yapılan deneylerde, düşük kesme hızlarında daha iyi yüzey kalitesinin elde edildiği belirtilmiştir [35].

Sur, ergimiş metal karıştırma-basınçlı döküm yöntemiyle AA-6082 matrisli tek ve karma takviyeli, metal matrisli kompozit (MMK) malzemeler üretmiştir. Takviye elemanı olarak ortalama 42 μ m boyutlarında alüminyum oksit (Al₂O₃) ve ortalama 127 μ m boyutlarında nikel kaplı grafit parçacıklar kullanılmıştır. Deneylerde kaplamalı ve kaplamasız karbür ve kübik bor nitrür (CBN) kesici takımlar, 100, 130, 160, 190 ve 220 m/dak kesme hızları, 1 mm sabit kesme derinliği ve 0,15 mm/devir sabit ilerleme değerleri kullanılmıştır. Deneylerde takım ömrü, kesme kuvvetleri,

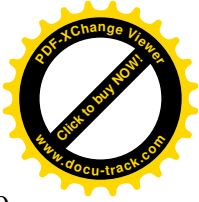
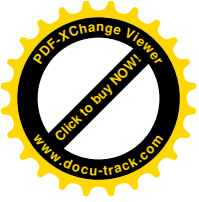


talaş kökü morfolojisi ve iş parçası yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Tüm deneylerde yığıntı talaş biçiminin olduğu gözlenmiştir. En az kesme kuvvetinin, %8 Ni(K)Gr parçacık takviyeli malzemenin kaplamalı karbür kesici takımla, 100 m/dak kesme hızında elde edildiği ve deneyler sonucunda en iyi aşınma direncini CBN kesici takımların gösterdiği belirtilmiştir [36].

Çelik, SiAlON seramiklerin kesme koşullarına karşı direncinin artırılabilmesi için bu seramiklere SiC partikül takviyesi yapmıştır. Bu amaçla % 50 α -% 50 β SiAlON içeren SiAlON malzemesine ağırlıkça % 10 – 17,5 ve 25 oranlarında SiCp takviyesi yapılmış ve sonrasında elde edilen kompozit malzemelerin sinterlenme davranışları, mekanik ve ısı işleme özellikleri incelenmiştir. Mekanik ve ısı özellikler bakımından üstün özelliklere sahip olan ve % 17,5 oranında SiC içeren malzemenin işlenmesi esnasında aşınmaya karşı SiAlON matris malzemesinden daha dirençli olduğu, Alümina-SiCv kesici ucuyla ise kıyaslanabilir bir aşınma dayanımına sahip olduğu sonuçlarına varılmıştır [37].

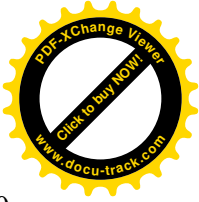
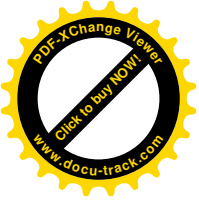
Akçay, %15 Al_2O_3 takviyeli $Al_6Zn_2Mg_2Cu$ alüminyum esaslı kompozit malzemeyi, sıvı faz sinterleme yöntemi ile üretmiş olup, üretimden sonra malzemenin mekanik özelliklerini incelemiştir. Daha sonra yüzey frezeleme işlemi yapılarak kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve yığma kenar yüksekliği ölçülmüştür. Deneylerde, kaplamasız WC, TiN kaplamalı WC, TiCN kaplamalı Al_2O_3 kesici takımlar kullanılmıştır. Deneyler sonucunda ilerleme değerlerinin, yüzey pürüzlülüğü üzerinde, kesme hızından daha etkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca ilerleme hızı ile kesme kuvvetlerinin, yüzey pürüzlülüğü ile doğru orantılı olduğu belirtilmiştir. En iyi yüzey kalitesinin kaplamasız WC ile elde edildiği sonucuna varılmıştır [38].

Yapılan literatür araştırması sonucu, elyaf takviyeli polimer kompozit malzemeler genellikle uzay ve havacılık sanayinde kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu alanda kullanılan malzemelere daha çok perçinli birleştirme için delik delme işlemi uygulanmaktadır. Ayrıca bu malzemeler savunma sanayinde uçak motor fan kanatçıkları ve kanat-gövde bağlantılarında da kullanıldığı için frezeleme işlemlerine tabi tutulmaktadırlar.



Yapılan çalışmalar çoğunlukla, kesme parametrelerine bağlı olarak elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin yapısı gereği, özellikle delaminasyon (yüzey hasarı) ile ilgilidir. Kesme işlemi esnasında kompozit malzemenin yapısında oluşan yüzey hasarı, kesici takım kesme şartlarına bağlı olarak, elyafın yapısının bozulmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Oluşan bu hasar malzemenin sahip olduğu mühendislik özelliklerinin azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle oluşan bu hasarın en aza indirgenmesi amaçlanmıştır. Bunun sonucunda da yapılan çalışmalarda, kesme parametrelerinin delaminasyon (yüzey hasarı) üzerindeki etkilerinin araştırılmasının yapıldığı gözlenmiştir. Çalışmalarda, zaman ve maliyetin en aza indirilmesi için Taguchi optimizasyonunun kullanıldığı gözlenirken, ayrıca optimum sonuçlar elde etmek için regresyon analizi ve ANOVA (varyans analizi) kullanıldığı da gözlenmiştir.

Yapılan bu çalışmada, karbon elyaf takviyeli polimer kompozit malzemenin frezeleme işleminde işlenebilirliği deneysel olarak araştırılmıştır. Deneylerde, farklı ağız sayısı ve helis açısına sahip altı farklı kesici takım, üç farklı ilerleme ve devir sayısı kullanılmıştır. Taguchi L_{18} ortogonal deney düzeneğine göre deney seti hazırlanarak 18 adet deney yapılmıştır. Deneylerde elde edilen verilerin doğruluğunu test etmek amacıyla ek olarak 6 deney daha yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen verilere bağlı olarak, frezeleme işleminde kesme parametrelerinden en etkili faktörün hangisi olduğu varyans analizi (ANOVA) yardımı ile belirlenmiştir. Ayrıca kesme parametrelerinin, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey hasarları üzerindeki etkileri ile ilgili çıkarımlarda da bulunulmuştur.



3. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzemeler, birbiri içerisinde çözünmeyen, bir yada daha fazla özelliği bir araya getirmek için en az iki veya daha fazla bileşenin bir araya getirilmesiyle oluşturulan malzemelerdir.

Geleneksel malzemeler mevcut teknoloji karşısında belli ihtiyaçlara cevap veremez hale gelmesi ile kompozit malzemeler geliştirilmiş ve bu malzemelerin üretimi/ mekanik özellikleri üzerine araştırma ve geliştirme faaliyetleri genişleyerek devam etmektedir [39].

Kompozit malzemeler ana faz (matris) ve takviye olmak üzere iki kısımdan oluşur. Genel olarak kompozit malzemelerde matris sünek, hafif ve düşük dayanımlı, takviye ise rijit, yüksek dayanım ve sertliğe sahip olmaktadır. Matris malzemesi olarak metal, seramik ve polimer, takviye elemanı olarak karbon, cam, aramid, grafit ve seramik partiküller kullanılmaktadır [40].

3.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler en genel anlamda iki sınıfa ayrılabilir:

- Doğal kompozit malzemeler
- Yapay kompozit malzemeler

Doğal kompozit malzemeler, doğada var olan, insan tarafından üretilmemiş malzemelerdir. Bunlara örnek olarak ağaçlar, insan ve hayvan vücutları, doğal kamlar, salyangoz kabuğu, yer kabuğu ve bunlara benzerleri verilebilir.

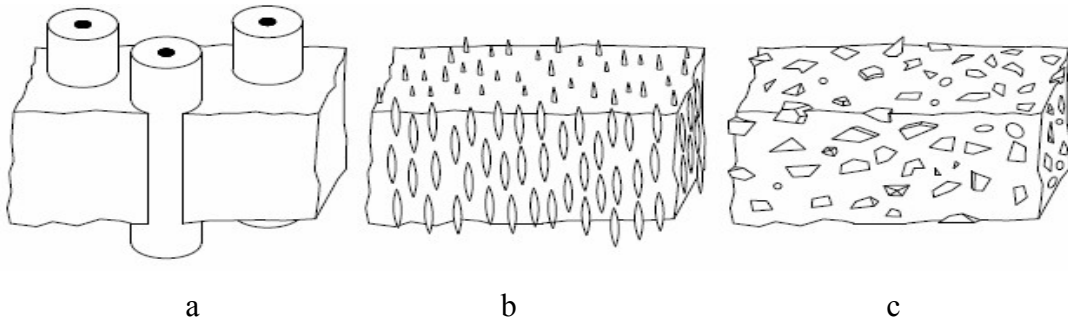
Yapay kompozit malzemeler ise insanlar tarafından üretilen genellikle endüstriyel alanlarda ve insan hayatını kolaylaştırmak amacıyla çeşitli alanlarda kullanılan kompozit malzeme grubudur. Yapay kompozit malzemelerde kendi aralarında iki gruba ayrılır;

a) Güncel yaşamda kullanılan kompozit malzemeler. Bunlar arasında; zift – çakıl taş karışımı asfalt yollar, saman ve kil karışımı tuğlalar, çelik çubuk – çimento ve toprak karışımı inşaat kolonları, çakıl taş – çimento ve toprak mozaik karışımları, değişik birleştiriciler kullanılarak bir araya getirilmiş granit ve mermer karışımları, vb. sayılabilir.

b) Endüstriyel alanlarda makine ve imalat sektöründe kullanılan kompozit malzemeler. İkinci grupta yer alan kompozit malzemeler, bünyelerinde yer alan takviye fazının şekline ve matris fazının tipine göre iki şekilde ayrı ayrı gruplandırılmaktadırlar. Bunlardan birincisi takviye fazının şekline bağlı olarak yapılan sınıflandırmadır.

Bunlar da;

1. Elyaf (fiber) takviyeli kompozit malzemeler,
2. Kılcal kristal (whisker) takviyeli kompozit malzemeler,
3. Parçacık yada partikül takviyeli kompozitler,
4. Plaka takviyeli kompozitler,
5. Karma (hybrid) takviyeli kompozit malzemeler olarak gruplandırılmaktadırlar [41].

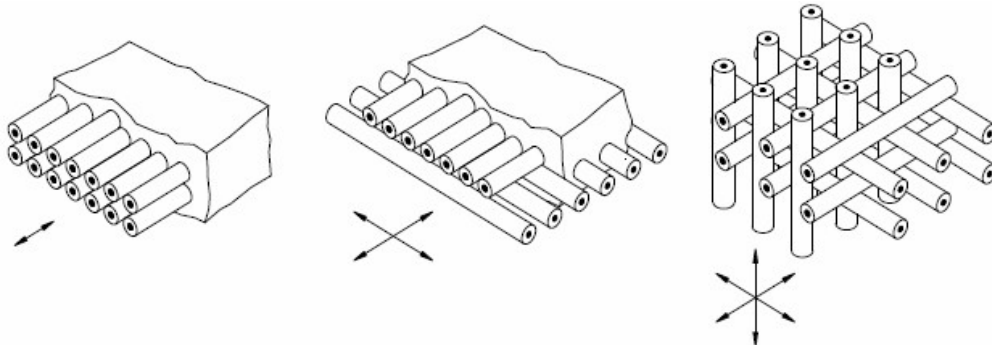


Şekil 3.1. Takviye fazının şekline göre endüstriyel kompozitlerin sınıflandırılması
a) Elyaf takviyeli kompozitler, b) Kılcal kristal takviyeli kompozitler,
c) Parçacık takviyeli kompozitler [41].

3.1.1. Elyaf (Lif) takviyeli kompozit malzemeler

Tüm kompozit malzemelerde yapısal uygulamalarda kullanıcılar ve mühendisler tarafından tercih edilen takviye malzemesinin şekli fiberdir. Çünkü fiberler bir malzemenin en üstün özelliklerini sergileyen karakterdedirler. Dolayısıyla, kompozit malzemeler üzerindeki ilk çalışmalar fiber takviyeli malzemeler üzerine olmuştur. Fiber takviyeli kompozit malzemelerin kullanımlarını kısıtlayan en önemli olay yüksek mukavemete ve elastik modüle sahip fiberlerin üretimlerinin güçlüğü ve maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Monolitik olarak kullanılan herhangi bir malzeme fiber olarak üretildiğinde malzemenin rijitlik ve mukavemetinde önemli derecede artışlar meydana gelmektedir. Son yıllarda üretilen ve çapları 3-30 μm 'ye kadar değişen fiberlerde mukavemet 50 kat arttırılabilmektedir [42, 43].

Genellikle yeterli basınç dayanımına oranla çekme, eğilme, çarpma dayanımları çok düşük düzeyde kalan veya zayıf yapılı, kırılğan malzemenin zayıf olan yönlerinin iyileştirilmesi, kırılğanlığın giderilmesi, malzemenin sünekleştirilmesi gibi amaçlarla bu özellikleri iyileştirecek nitelikte elyaflarla donatılmasıyla üretilen kompozitlerdir. Elyaf tanımı, makroskobik açıdan homojen, boyu kesitinin en az 100 katı olan esnek malzemeler şeklinde yapılır ve değişik elyaflar kompozitlerde takviye amacıyla kullanılır. Elyaf takviyeli kompozitlerde dışarıdan yapılan yüklemeleri karşılayan ana bileşen elyaftır, polimer matris ise elyafları istenilen geometride bir arada tutan çevreyi oluşturur [3, 44, 45].

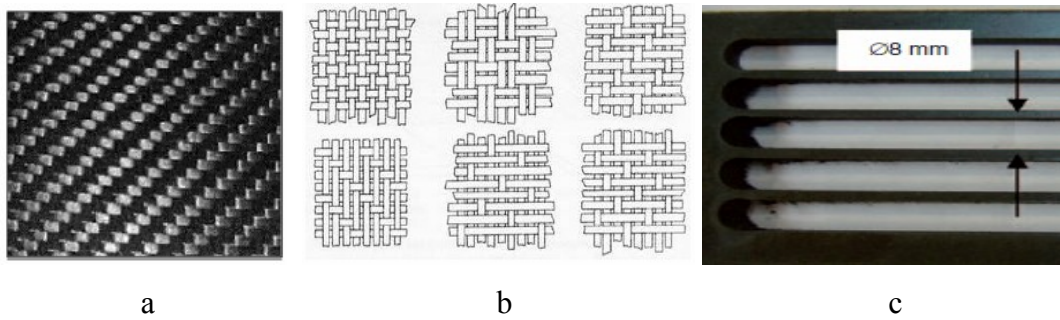


Şekil 3.2. Doğrusal yönlü elyaflarla takviye edilmiş kompozitlerin farklı şekillerdeki takviye işlemi; a) Tek yönlü yönlendirilmiş elyaflar, b) İki yönlü yönlendirilmiş elyaflar, c) Üç yönlü yada karmaşık yönlendirilmiş elyaflar [41].

Kompozit malzemelerde kullanılan başlıca elyaf türleri aşağıda açıklanmıştır.

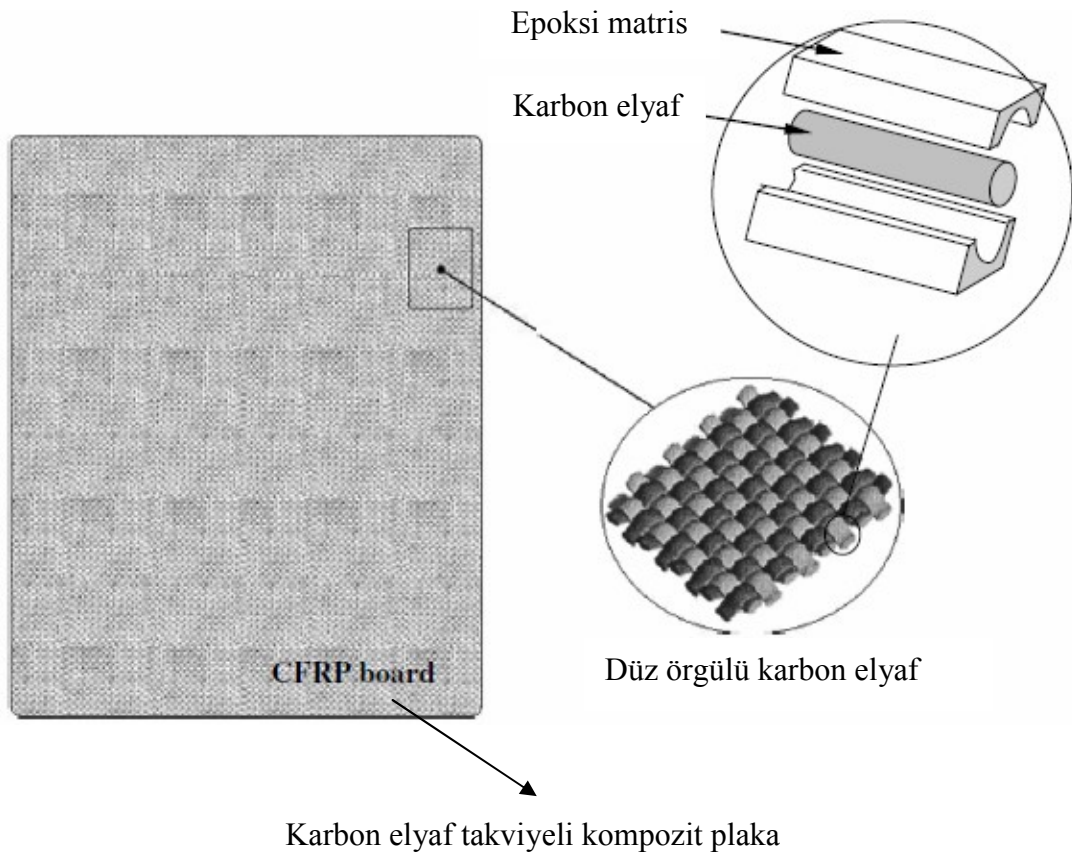
Karbon Elyaf

Karbon (C) elementi 2.268 g/cm^3 yoğunluğu ile oldukça hafif bir elementtir. Bunun yanında C, çok değişik kristal yapılarında bulunabilmektedir. Fiber üretiminde, daha doğrusu takviye amaçlı kullanılan C fiberler hegzagonal yapıda olan grafit kristalleri halindedir. C, element olarak kovalent elmas yapıda iken grafit kristalleri, karbon atomlarının üç boyutta dizilmeleri sonucu oluşan ve oldukça yüksek elastik modül değerleri veren sıkı hegzagonal kristal yapısındadır. Karbon fiberlerde fiber çapları $7\text{-}8 \text{ }\mu\text{m}$, sürekli veya kısa olabilir. Bu fiberler petrol veya kömürden üretilirler. En önemli karbon fiberleri, PAN fiberlerdir [42, 46]. Resim 3.1a'da karbon elyaf takviyeli malzeme ve Resim 3.1b'de başlıca karbon elyaf dokuma türleri, Resim 3.1c'de frezeleme işlemi uygulanmış karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme gösterilmiştir.



Resim 3.1. a) Karbon elyaf takviyeli malzeme [15]. b) Başlıca elyaf dokuma türleri [47]. c) Frezeleme işlemi uygulanmış karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme [48].

Yüksek elastiklik modülüne sahip karbon elyafın yoğunluğu düşük, yüksek sıcaklık dayanımı iyidir. Önceleri kılcal kristal olarak elde edilebilen bu malzeme, geliştirilen teknikler sayesinde sürekli lifler olarak da üretilmektedir. Bu yöntemlerde yüksek oranda karbon içeren bir ön mamul kullanılır (örneğin rayon ve poliakrilonitril-PAN). Isıl ve mekanik etkilerle karbon dışındaki elementler giderilmeye ve elyafta güçlü karbon-karbon bağları elyaf eksenine getirilmeye çalışılır [1, 49]. Şekil 3.3'te karbon elyaf takviyeli kompozit malzemenin yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Karbon elyaf takviyeli polimer kompozit malzemenin yapısı [14].

Cam Elyaf

Tarihte cam elyafının ilk kez Fenikeli ve Mısırlı sanatçılar tarafından kullanıldığı bilinmektedir. O zamanlarda, lifler, cam çubukların ısıtılması sonucunda, yumuşatılarak akıtılması şeklinde elde ediliyordu. Kullanım yeri ise yine takviye amacına yönelikti ve çanak, çömlek, gibi ürünlerin sağlamlaştırılmasını sağlıyordu. Bugün bildiğimiz devamlı cam elyafının geliştirilmesi 1930' lu yılların sonlarına doğru yapılabildi [50, 51].

Cam fiberler, anorganik fiber grubunda yer alır ve anorganik fiber üretiminin yaklaşık % 90' ını oluşturur. Camın temel girdileri, silika kumu (% 50' den fazla SiO_2 içeren kum), kireç taşı (CaCO_3), alüminyum hidroksit, borik asit, sodyum sülfat ve susuz borakstır. Cam fiber üretiminin ilk aşamasında, sözü edilen maddeler birlikte

1500- 1700 °C' ye kadar ısıtılarak eritilir. Erimiş haldeki cam, daha sonra ince nozullara basılır ve buralardan alınan filamanlar soğutularak çapları 5- 24 µm arasında filamanlar elde edilir [2, 52].

Kompozit malzemelerde yaygın olarak kullanılan en ucuz takviye türüdür. Uzay ve havacılıkta, askeri alanda, endüstride ve günlük eşyaların yapımında kullanılan kompozitlerin çoğu cam fiberlerle takviye edilmişlerdir. Karbon ve aramid fiberlerle takviye edilmiş kompozitlerin özellikleri cam ile takviye edilen kompozitlerden daha iyi olmakla birlikte bu kompozitlerin pahalı olması nedeniyle bu fiberlerden yüksek performanslı kompozitlerin üretilmesinde yararlanılır [52]. Resim 3.2'de hasır biçiminde örülmüş cam elyaf tabakası gösterilmiştir.

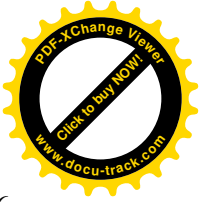
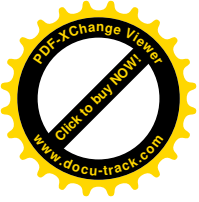


Resim 3.2. Hasır biçiminde örülmüş cam elyaf tabakası [20].

Aramid Elyaf

Değişik yapay elyaf türleri, otomobil lastikleri, balonlar, paraşütler vb. yerlerde takviye elemanı olarak kullanılmaktadırlar. Bunlar arasında en çok tanınanlar amin gruplarının tekrarlandığı polimerler, örneğin poliamid veya naylon ile benzen halkaları içeren aromatik poliamidlerdir (aramidler). Aramid ailesi içinde en çok kullanılan türler Kevlar 29 ve Kevlar 49'dur.

İlginç bir elyaf olan Kevlar 49 camdan hafif ve rijit olup, fiyatı camdan pahalı diğer elyaflardan daha ucuzdur. Elyafa işlem yapmak çok kolaydır ve üretimleri değişik biçimlerde gerçekleştirilebilir (iplik, fitil, dokuma gibi). Elyaf sarmada başarı ile uygulanabilirler (basıncı kaplar, roket gövdeleri ve elektrik hatları yalıtım boruları). Basma dayanımlarının düşük olması kullanımlarını sınırlar. Isındıkça kısalırlar ve bu



durum tasarımı göz önüne alınmalıdır. Yüksek sıcaklıklarda sürünme dayanımları oldukça iyidir. En zayıf yönleri kolay eğilmeleridir. Kesmesi zordur. Birçok ortamda korozyon dayanıklılığı iyi olmasına rağmen sülfirik aside ve güneş ışınlarına karşı duyarlıdır [53, 1].

Silisyum karbür elyaflar

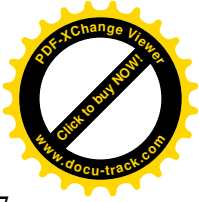
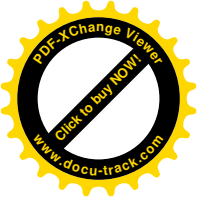
Bor gibi, Silisyum karbürün tungsten çekirdek üzerine kaplanması ile elde edilirler. 0,1 mm ile 0,14 mm çaplarında üretilirler. Yüksek sıcaklıklardaki özellikleri bor elyaflardan daha iyidir. Silisyum karbür elyaf 1370 C°'de mukavemetinin sadece %30'nu kaybeder. Bor elyaf için bu sıcaklık 640 C°'dir [54,55].

Bu elyaflar genellikle Titanyum matrisle kullanılırlar. Jet motor parçalarında Titanyum, alüminyum ve vanadyum alaşımlı matris ile kullanılırlar. Ancak Silisyum karbür elyaflar, bor elyaflara göre daha yüksek yoğunluğa sahiptirler. Silisyum karbürün karbon çekirdek üzerine kaplanması ile üretilen elyafların yoğunluğu düşüktür [54,55].

Bor elyaflar

Bor elyaflar aslında kendi içlerinde kompozit yapıdadırlar. Çekirdek olarak adlandırılan ince bir flamanın üzerine bor kaplanarak imal edilirler. Çekirdek genellikle Tungstendir. Karbon çekirdek de kullanılabilir ancak bu yeni bir uygulamadır [54,56].

Bor elyafların Silisyum Karbür (SiC) veya Bor Karbür (B₄C) kaplanmasıyla yüksek sıcaklıklara dayanım artar. Özellikle bor karbür kaplanmasıyla çekme mukavemeti önemli ölçüde artırılabilir. Bor elyafların erime sıcaklıkları 2040 C° civarındadır [54, 57].



Alümina elyaflar

Alümina, alüminyum oksittir (Al_2O_3). Elyaf formundaki alümina 0,02 mm çapındaki alümina flamanın Silisyum dioksit (SiO_2) kaplanması ile elde edilir. Bu malzemeler yüksek sıcaklık dayanımları nedeniyle uçak motorlarında kullanılmaktadır [54, 58].

Alümina elyafların çekme mukavemetleri yeterince yüksek değildir ancak basma mukavemetleri yüksektir. Örneğin, alümina/epoksi kompozitlerin basma mukavemetleri 2275 ila 2413 MPa'dır [54, 57].

3.1.2. Kılcal kristal takviyeli kompozit malzemeler

Liflere benzer şekilde olup aynı çaplara sahiptirler ancak daha kısa ve kütütlüdür. Liflere göre çok daha iyi özelliklere sahiptirler. Kristallerin hemen hemen en mükemmel halleridir. Çelik wiskerler teorik olarak 220.000 daN/cm^2 lik kopma mukavemetine sahiptirler [4].

3.1.3. Parçacık takviyeli kompozit malzemeler

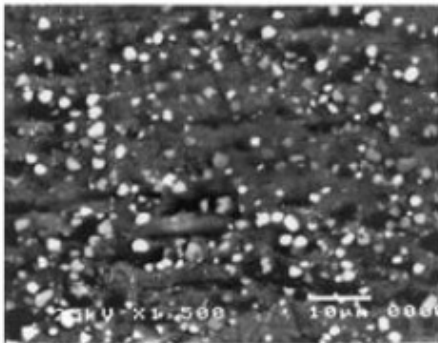
Bu tür kompozitler en az iki makro ölçekli partikülün veya bir matriks içine makro ölçülü partiküllerin ilave edilmesi ile elde edilen kompozitlerdir. Sürekli fiberler ve hatta levhasal takviye elemanları içeren kompozitlere göre çok daha izotropik özellikler sergilerler. Partikül boyutunun mikron mertebesinde olan kompozitler partikül kompozitlerin bir sınıfı iken partikül boyutunun mikron altında olduğu kompozitler dispersiyonla sertleştirilmiş kompozitler sınıfını teşkil ederler. Partikül takviyeli bir kompozit malzemenin mukavemeti veya sertliği direkt olarak takviye fazının sertlik ve mukavemeti ile doğru orantılıdır. Partikül takviye malzemeleri metal, seramik veya polimer matrislerle kolaylıkla kullanılabilirler. En yaygın uygulama alanları yüksek aşınma dayanımı ve yüksek servis sıcaklığı gereken alanlardır [42, 43].

3.1.4. Plaka takviyeli kompozit malzemeler

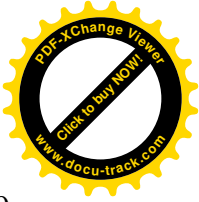
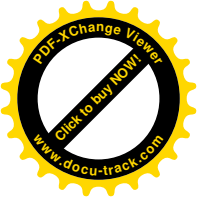
Farklı özellikteki en az iki tabakanın birleşmesinden oluşmaktadırlar. Tabakalar, ince filmler, levhalar olmakta ve bu tabakalar sandviç gibi üretilecek malzemenin kalınlığına göre tekrarlı şekilde dizilmektedirler. Tabakaların oryantasyonları göz önüne alınarak farklı yönlerde farklı özellikler veren kompozitler elde edilmesi mümkündür. Tabakalı kompozit malzemelerin üretimleri, polimer-cam, metal-seramik, seramik-polimer kombinasyonlarının biri veya birkaçı ile mümkün olabilmektedir. En fazla kullanılan tabakalar ise cam levhalar ve polimer levhaların kombinasyonudur [42, 43].

3.1.5. Karma takviyeli kompozit malzemeler

Aynı kompozit yapıda iki ya da daha fazla elyaf çeşidinin bulunması olasıdır. Bu tip kompozitlere hibrid kompozitler denir. Bu alan yeni tip kompozitlerin geliştirilmesine uygun bir alandır. Örneğin, kevlar ucuz ve tok bir elyaftır ancak basma mukavemeti düşüktür. Grafit ise düşük tokluğa sahip, pahalı ancak iyi basma mukavemeti olan bir elyaftır. Bu iki elyafın kompozit yapısında hibrid kompozitin tokluğu grafit kompozitinden iyi, maliyeti düşük ve basma mukavemeti de kevlar elyafı kompozitinden daha yüksek olmaktadır [1]. Resim 3.3’de karma takviyeli kompozit malzemenin yapısı gösterilmiştir.



Resim 3.3. Karma takviyeli kompozit malzemenin yapısı [59].



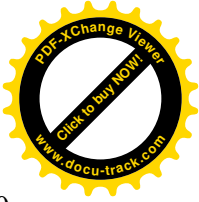
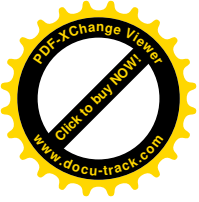
İkinci sınıflandırma şekli olan matris fazının çeşidine göre, kompozit malzemeler aşağıdaki gibi gruplandırılabilir; [41].

- A. Polimer esaslı kompozit malzemeler,
- B. Metal esaslı kompozit malzemeler,
- C. Cam esaslı kompozit malzemeler,
- D. Refraktör malzeme esaslı kompozit malzemeler,
 - a) Seramik esaslı kompozit malzemeler,
 - b) Karbon esaslı kompozit malzemeler.

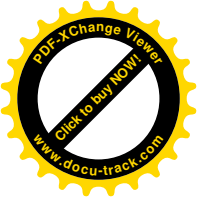
3.2. Polimer Esaslı Kompozit Malzemeler

Polimer malzemeler, düşük yoğunluğa sahip olmaları, kolay elde edilebilmeleri, bunlarla kompozit üretiminin klasik polimer malzeme üretim teknolojisi ile bire bir uyum sağlıyor olması, kompozit üretimlerinde yüksek sıcaklıklarla uğraşılmaması ve elektrik iletkenliklerinin olmaması gibi nedenlerden dolayı en çok kullanılan ana faz malzemelerindendirler. Polimer esaslı kompozit malzemeler ise polimer malzemelere ilaveten, yüksek aşınma ve korozyon direnci, sıcaklık dayanımlarının polimerlere göre yüksek oluşu gibi ilave nedenlerden dolayı endüstride uçaklarda, savaş helikopterlerinde, roket, uzay araçları ve otomotiv sanayi gibi alanlarda oldukça fazla kullanım alanı bulmaktadırlar [41, 60, 61].

En çok kullanılan polimer esaslı kompozit malzeme kombinasyonları; Cam elyafı+polyester, karbon elyafı+epoksi ve aramid elyafı+epoksi birleşimleridir. Kompozit malzemeler katlı tabakalar veya ince tabakalar halinde uygulanabilmektedir. Çeşitli plastik malzemelerin, seramik, metal, bazen de sert polimerlerin elyafları ile güçlendirilerek özellikleri daha iyi olan malzemeler üretmek mümkündür. Polimer esaslı kompozit malzemeler içindeki plastik sayesinde kolaylıkla şekil verilebilmeleri ve takviye elyaflar sayesinde son derece sağlam, sert ve hafif olan bu malzeme kombinasyonları, yepyeni uygulama alanlarında karşımıza çıkmaktadırlar [41, 62].



Plastikler, metallerle karşılaştırıldığında çok düşük dayanım ve elastikiyet modülüne sahip oldukları ve aynı zorlama için daha büyük hacimler gerektirdiğinden dolayı her zaman tercih edilmezler. Kuvvet etkisinde oda sıcaklığında bile sünme ve zamana bağlı şekil değiştirmeler oluşabilmektedir [41, 35].



4. POLİMER ESASLI KOMPOZİT MALZEME ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Kompozit malzeme üretiminde farklı yöntemler mevcut olmakla birlikte, bu yöntemlerin hepsinde değişmeyen temel ilke, bileşenlerin zayıf yönlerinin amaçlanan doğrultuda iyileştirilerek daha nitelikli bir yapının elde edilmesidir.

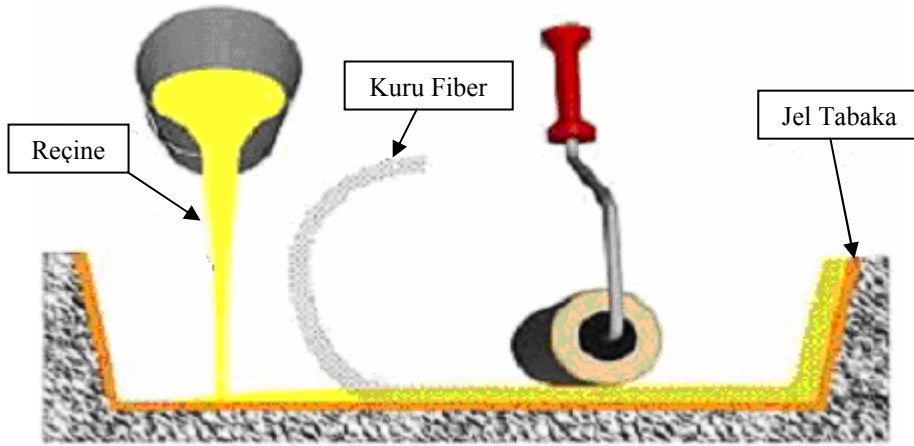
Bu amaçla iyileştirilebilecek özellikler şunlardır :

- Dayanım,
- Yorulma dayanımı,
- Aşınma dayanımı,
- Korozyon dayanımı,
- Kırılma tokluğu,
- Yüksek sıcaklık özellikleri,
- Boyutsal stabilite,
- Isıl direnç,
- Isıl iletkenlik,
- Elektriksel direnç,
- Elektrik iletkenliği,
- Akustik iletkenlik,
- Ses tutuculuğu veya ses yutuculuğu,
- Rijitlik,
- Ağırlık,
- Fiyat,
- Estetik görünüm [2].

İstenilen özelliklerde ve biçimde kompozit malzeme üretimi için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden başlıcaları aşağıdadır;

4.1. Elle Yatırma

Fiberler hazırlanmış olan kalıp üzerine elle yatırılarak üzerine sıvı reçine emdirilir. Fiber yatırılmadan önce kalıp temizlenerek jelkot sürülür. Jelkot yapışmayı engelleme amaçlı kullanılan bir maddedir. Yarı şeffaf, jöle gibidir. Kalıba mek (sertleştirici) ve kobalt ile karıştırıldıktan sonra sürülür, isteğe göre renk pigmenti eklenir. Jelkot sertleştikten sonra fiber katları yatırılır. Reçine ise kompozit malzemenin hazır olması için en son sürülür. Bu işlemde elyaf kumaşına reçinenin iyi nüfuz etmesi önemlidir. El yatırma tekniği en çok fiberglastan üretilen kompozit parçalar için kullanılır. El ile yayma yoğun işçilik gerektirmesine rağmen düşük sayıdaki üretimler için çok uygundur [63]. Şekil 4.1’de elle yatırma yöntemi gösterilmiştir.



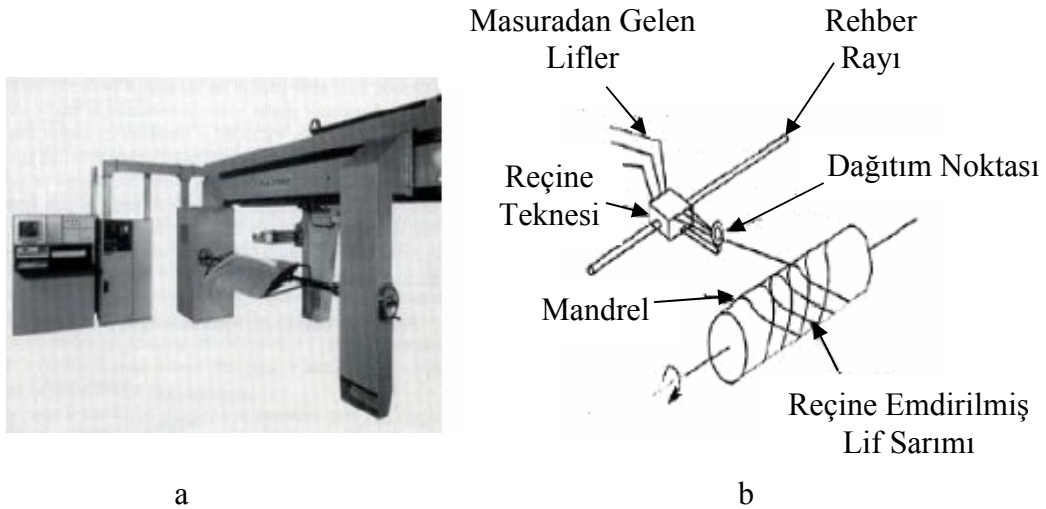
Şekil 4.1. Elle yatırma yöntemi [64].

4.2. Püskürtme

Püskürtme yöntemi elle yatırma yönteminin aletli şekli olarak kabul edilebilir. Kırılmış elyaflar kalıp yüzeyine, içine sertleştirici katılmış reçine ile birlikte özel bir tabanca ile püskürtülür. Elyafın kırılma işlemi tabanca üzerinde bulunan ve bağımsız çalışan bir kırıcı sayesinde yapılır. Püskürtülme işlemi sonrası yüzeyin bir rulo ile düzeltilmesiyle ürün hazırlanmış olur [47].

4.3. Elyaf Sarma

Bu yöntem silindirik geometriye sahip ürünlerin seri üretimine uygundur. Elyaf sarma yöntemi sürekli elyaf liflerinin reçine ile ıslatıldıktan sonra bir makaradan çekilerek dönen bir kalıp üzerine sarılmasıdır. Sürekli liflerin farklı açılarla kalıba sarılmasıyla farklı mekanik özelliklerde ürünler elde edilebilir. Yeterli sayıda elyaf katının sarılmasından sonra ürün sertleşir. Ardından döner kalıp ayrılır. Bu yöntemle yapılan ürünler genellikle silindirik, borular, araba şaftları, uçak su tankları, yat direkleri, dairesel basınç tanklarıdır [47]. Resim 4.1’de elyaf sarma makinesi ve elyaf sarma yöntemi gösterilmiştir.



Resim 4.1. a) Elyaf sarma makinesi b) Elyaf sarma yöntemi [64].

4.4. Reçine Transfer Kalıplama (RTM)

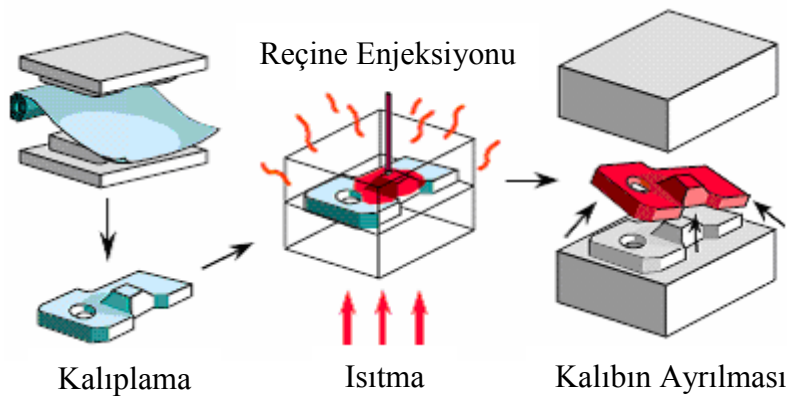
Bu kompozit üretim yönteminde elle yatırma sistemlere göre daha hızlı ve uzun ömürlü olmakla birlikte iki parçalı kalıp kullanmak gereklidir. Kalıbın kompozit kompozit malzemeye yapılması çelik kalıp maliyetine göre daha düşük kalmasına neden olmaktadır [47].

Reçine transfer kalıplama prosesi (RTM), sıvı transfer kalıplama yöntemi olarak ta bilinir. RTM prosesi, maliyet açısından verimli parçaların üretimini, düşük maliyetli

ekipman kullanımıyla başarmaktadır. RTM, lif yönlendirilmesi kontrol altında tutulduğu bir prosestir ve yaklaşık net şekilli parçaların üretimini sağlar. Yöntemin özü basitçe şu şekilde ifade edilebilir. İki tarafı düzgün veya parlak ürün elde etmek için uygun bir biçimde hazırlanmış alt kalıba (dişi kalıp) öngörülen tüm takviye malzemelerinin yerleştirilip üst kalıp (erkek kalıp) kapatıldıktan sonra, kapalı kalıbın içine uygun bir makine/ekipman ile reçinenin enjekte edilmesi işlemidir.

RTM prosesinde meydana gelen en büyük sorun kuru noktalardır. Adından da anlaşılacağı gibi bu noktalarda takviye, reçine/katalizör karışımı tarafından yeterince ıslatılamamıştır. Bu hatanın sonucunda ürün yüzey kalitesinde düşme ve mekanik özelliklerde azalma görülür. Bu hatayı gidermek için kullanılan en uygun yöntem vakumlama işlemidir. Bu işlem sayesinde reçine kalıba daha hızlı bir şekilde dolar. En önemli getirilerinden biri de özellikle keçe türü takviyelerin içinde oluşan havayı da almasıdır. Özellikle keçenin içersinde düzgün dağılmayan reçine neticesinde keçe içindeki hava kendine çıkacak yer bulamaz ve kalıp içinde kalır. Bunun sonucunda da mekanik özelliklerde önemli bir düşüş görülür [65].

Bu yöntemle karmaşık parçalar üretilebilir. Concorde uçaklarında, F1 arabalarında bazı parçalar bu yöntemle hazırlanmaktadır [47]. Şekil 4.2' de RTM yöntemi gösterilmiştir.

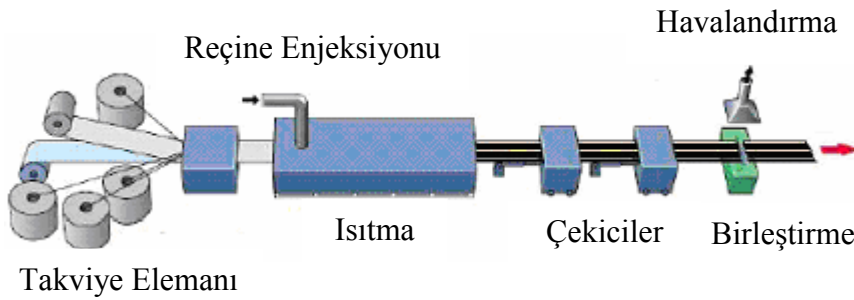


Şekil 4.2. RTM yöntemi [66].

4.5. Profil Çekme

Pultruzyon işlemi sürekli sabit kesitli kompozit profil ürünlerin üretilbildiği düşük maliyetli seri üretim yöntemidir. Pull ve extrusion kelimelerinden türetilmiştir. Sisteme beslenen sürekli takviye malzemesi reçine banyosundan geçirildikten sonra 120-150 °C' ye ısıtılmış şekillendirme kalıbından geçilerek sertleşmesi sağlanır. Kalıplar genellikle krom kaplanmış parlak çelikten yapılmaktadır. Sürekli elyaf kullanılmasından dolayı takviye yönünde çok yüksek mekanik mukavemet elde edilir. Enine yükleri karşılayabilmek için özel dokumalar kullanmak gerekmektedir [47].

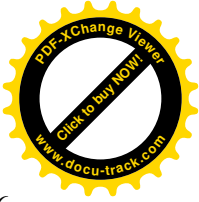
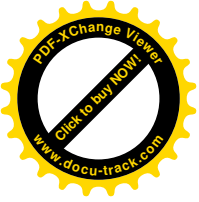
Bu yöntemle elyaf hacim oranı % 70' in üzerinde olan kompozit üretimi gerçekleştirilir. Reçineye daldırılan elyaf demeti bir ön kalıptan geçirilerek içindeki hava ve fazladan reçine bertaraf edilir. Sonra ısıtılmış kalıptan geçirilerek fırına gönderilir. Böyle ön biçim verilen malzeme son kalıptan geçirilerek kompozit üretilir. [65]. Şekil 4.3' de profil çekme yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Profil çekme yöntemi [67].

4.6. Hazır Kalıplama

Hazır kalıplama bünyesinde cam elyafı, reçine, katkı ve dolgu malzemeleri içeren kalıplamaya hazır, hazır kalıplama bileşimleri olarak adlandırılan kompozit malzemelerin (SMC,BMC) sıcak pres kalıplarla ürüne dönüştürülmesidir. Karmaşık şekillerin üretilmesi, metal parçaların bünye içine gömülebilmesi, farklı cidar kalınlıkları gibi avantajları bulunmaktadır. Ayrıca ürünün iki yüzü de kalıp ile



şekillenmektedir. Diğer kompozit malzeme üretim tekniklerinin olanak vermediği delik gibi komplike şekiller elde edilebilmektedir. Iskarta oranı düşüktür. Bu yöntemin dezavantajları kalıplama bileşimlerinin buzdolaplarında saklanmaları gerekliliği, kalıpların metal olmasından dolayı diğer kalıplardan daha maliyetli olması ve büyük parçaların üretimi için büyük ve pahalı preslere ihtiyaç olmasıdır [47].

Baskı kalıplama yüksek kapasitesi nedeniyle otomotiv endüstrisinde popülerdir. Bu proses büyük otomobil panellerinin kalıplanmasında kullanılmaktadır. Baskı kalıplamada SMC (tabaka kalıp bileşeni) ve BMC (hacimli kalıp bileşeni) en yaygın kullanılan hammaddelerdir. Baskı kalıplama ile; prepreg ve öz malzemesi kullanılarak, yapısal paneller üretilebilmektedir.

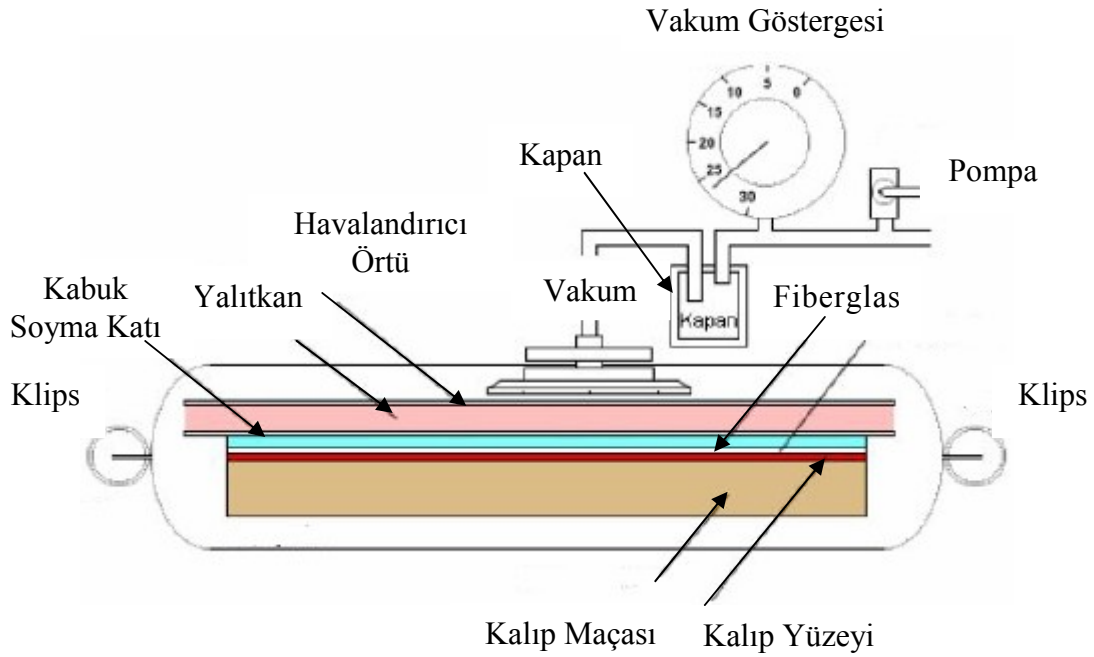
Baskı kalıplama, kalıp ve ekipman maliyetini düşürmek suretiyle birçok avantaj sağlar. Delik, flanş ve üniform olmayan kalınlıklar kalıplama esnasında üretilebilir ki bu da, kaynak, işleme gibi ikincil işlemleri ortadan kaldırır. ‘A’ kalite yüzeyler oluşturmak için kullanılması gereken maksimum lif içeriği % 30’ larla sınırlıdır. Bu nedenle yüzey kalitesi ile lif içeriğine bağlı olan mekanik özellikler optimize edilmelidir.

Baskı kalıplamanın uygulama alanları; radyatör destekleri, ağır taşıtların sürücü kabinleri, motor bileşenleri, kişisel tekneler, kuvvetler, elektrik sigortaları, dış cephe lambaları olarak sıralanabilir [64].

4.7. Vakum Kalıplama

Kompozit malzeme (genellikle geniş sandviç yapılar) önce bir kalıba yerleştirilir, ardından bir vakum torbası en üst katman olarak yerleştirilir. İçerideki havanın emilmesiyle vakum torbası, yatırılan malzemenin üzerine 1 atmosferlik basınç uygulayarak aşağıya çekilir. Sonraki aşamada tüm bileşim bir fırına yerleştirilerek reçinenin kür işlemi için ısıtılır. Bu yöntem sıklıkla elyaf sarma ve yatırma teknikleri ile bağlantılı olarak uygulanır. Kompozit malzeme tamir işlemlerinde de vakum

bagging yöntemi kullanılmaktadır [47]. Şekil 4.4'te vakum kalıplama yöntemi gösterilmiştir.

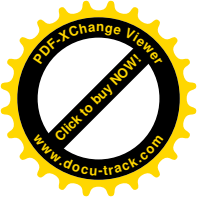


Şekil 4.4. Vakum kalıplama [63] .

4.8. Otoklav

Termoset kompozit malzemelerin performanslarını artırmak için elyaf/reçine oranını artırmak ve malzeme içinde oluşabilecek hava boşluklarını tamamen gidermek gerekmektedir. Bunun sağlanması için malzemeye yüksek ısı ve basınç uygulayarak sağlanabilir. Vakum bagging yöntemindeki gibi sızdırmaz bir torba ile elyaf/reçine yatırmasına basınç uygulanabilir. Fakat 1 atmosferden fazla düzenli ve kontrol edilebilir bir basıncın uygulanabilmesi için dışsal basınca ihtiyaç duyulur. Bu uygulama için, otoklav yönteminde de uygulanan ve kompleks şekillerde en çok kontrol edilebilen metot, dışarıdan sıkıştırılmış gazın kompozit malzemenin içinde bulunduğu kaba verilmesidir.

Otoklav kesin basıncın, ısının ve emişin kontrol edilebildiği basınçlı bir kaptır. Vacuum bagging yöntemi ile benzerdir. Fırın yerine bir otoklav kullanılır. Böylece



özel amaçlar için yüksek kalitede kompozit üretebilmek için kür şartları tam olarak kontrol edilebilir. Bu yöntem diğerlerine oranla daha uzun sürede uygulanır ve daha pahalıdır [47].

Kompozit malzemelerin genel avantajları;

- Kompozit malzemeler yüksek sertliğe sahip olmalarıyla birlikte hafif malzemelerdir.
- Polimer matrisli kompozitler genelde $1,5-2 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluğundadır.
- Kompozitler yüksek mukavemet özelliklerine sahip malzemelerdir. Öyle ki çekme, basma, darbe, yorulma dayanımları çok yüksektir.
- Kompozit malzemelerin kimyasal ve korozyon direnci çok iyidir.
- Kompozit malzemeler titreşim ve gürültü iletimleri çok düşüktür. Bu özellikleri metallerden iyidir. Bu özelliklerden dolayı kompozitler, uçak kanatlarından golf sopalarına kadar geniş bir kullanma alanları vardır.
- Kompozit malzemelerin tasarımı ve şekillendirmesi kolaydır.
- Kompozit malzemelerin elektrik özellikleri çok esnektir. Kompozitler kullanılan malzemeye göre iletken ya da yalıtkan özellik gösterebilirler.
- Uçak ve otomobillerde kompozit malzeme kullanılarak, bu taşıtlarda ağırlık azalır ve böylece bunlarda yakıt tasarrufu sağlanır [54].

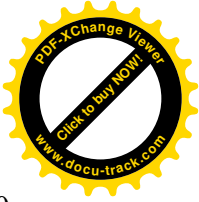
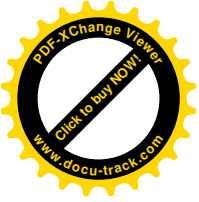
Dezavantajları;

- Hammaddenin pahalı olması maliyetleri arttıran bir etkidir.
- Lamine edilmiş kompozitlerin özellikleri her zaman ideal değildir, kalınlık yönünde düşük dayanıklılık ve katlar arası düşük kesilme dayanıklılık özelliği bulunmaktadır.
- Malzemenin kalitesi üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır, standartlaşmış bir kalite yoktur [47].

Metal Matrisli Kompozit Malzemeler

Metal Matrisli Kompozit (MMK), ana malzemesi (matris) metal olan kompozit malzeme grubuna verilen genel addır. Matris malzemeleri çok çeşitli metal ve metal alaşımı olabilmektedir. MMK'larda en yaygın olarak kullanılan matris malzemesi, düşük yoğunluklu, iyi tokluk ve mekanik özelliklere sahip olan hafif metaller ve alaşımlarıdır. Bu hafif metal alaşımları dayanım ve özgül ağırlık oranlarının iyi olması nedeniyle hafif yapılarda tercih edilirler. Atmosfere karşı korozyon dayanımının da çok yüksek olması, diğer karakteristik özelliklerden biridir [68, 69]. Metal matrisli kompozitlerde takviye sürekli fiber, kısa fiber, parçacık ve/veya partikül ve uzun fiber-whisker şeklindeki malzemelerdir. Takviye malzemeleri genelde oksit, karbür veya nitrür bileşimindeki malzemelerdir. Metal matrisli kompozit malzemelerin takviyesiz metallere ve polimer matrisli kompozitlere göre küçümsenmeyecek avantajları mevcuttur [68, 70]. Bunlar:

- Düşük ağırlık oranında yüksek dayanım,
- Mükemmel boyutsal tamlik (tekrar üretilebilirlik),
- Yüksek sıcaklıkta kararlılık (sürünme direnci),
- Yüksek mukavemet (çekme, basma, yorulma, aşınma ve kayma),
- Metallerin süneklik ve tokluk, seramiklerin yüksek mukavemet ve yüksek elastik modül özelliklerini birleştirme,
- İyi korozyon direnci,
- İyi elektrik ve ısı iletkenlik,
- Geliştirilebilir montaj kabiliyeti,
- Radyoaktif dayanıklılık,
- Çekicilik ve estetik görünüm olarak sıralanabilir [68,70].



5. FREZELEME, İŞLENEBİLİRLİK ve YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

5.1. Frezeleme

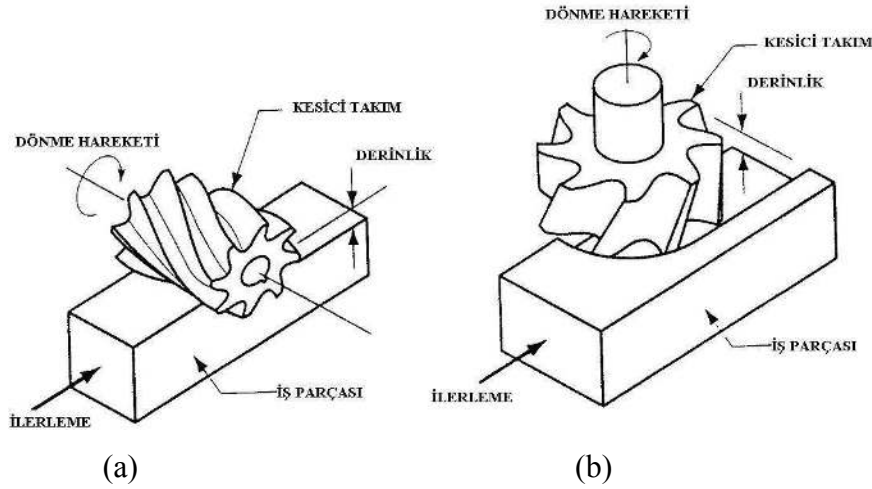
Frezeleme, ilke olarak dönen bir kesici takım ile iş parçasının doğrusal hareketi sonucunda gerçekleştirilen bir talaş kaldırma işlemidir. Frezede kesici takımın birçok kesici kenarı vardır ve her kenar belirli bir miktar talaş kaldırma kapasitesine sahiptir. Frezelemenin avantajları yüksek işleme verimliliği, iyi yüzey kalitesi, şeklin oluşturulmasındaki esnekliktir. Frezeleme genellikle prizmatik parçaların işlenmesi amacıyla kullanılan bir işlemdir [38].

Frezeleme uygulamaları en genel halde, çevresel ve düzlem yüzey frezeleme uygulamalarından veya bu iki metodun kombinasyonlarından oluşur. Düz yüzeylerin işlenmesi için düzlem yüzey frezeleme genellikle en verimli işlem iken, çevresel frezeleme, profillerin çevresinden talaş kaldırmaya daha uygundur.

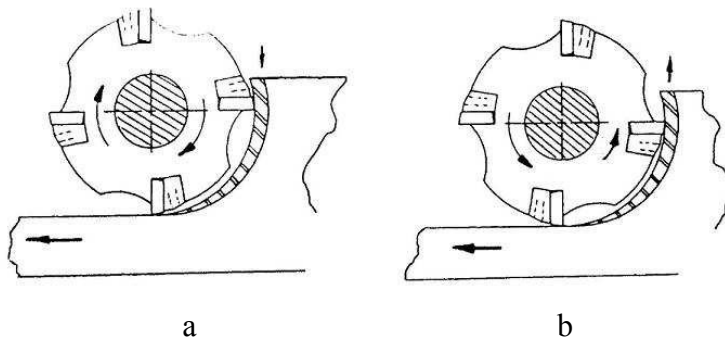
Frezeleme, yüksek işleme verimliliği, elde edilebilen yüksek yüzey kalitesi, hassasiyet ve şeklin oluşturulmasındaki esneklik sayesinde çok tercih edilen işleme yöntemidir. Ayrıca, işlem tipleri, tezgah, takım ve iş parçası açısından çok farklılıklar gösterir [71].

Çevresel frezeleme, eksenini yatay durumda bulunan ve silindirik bir frezenin çevresindeki dişlerle talaş kaldırma biçimidir. Bu yöntemde kesici takımın her bir dişi bağımsız olarak düşünüldüğünde talaş kaldırma işlemi, tornalamada olduğu gibi meydana gelir. Ancak burada iş parçası ilerleme hareketi yapar ve dişler belirli bir eksen etrafında döner. Bu nedenle işlem sırasında talaş kesit alanı devamlı değişir. Bunun için tornalama işlemine göre daha karmaşık bir yapıya sahiptir (Şekil 5.1.a).

Alın frezeleme, kesici takım eksenini işleme yüzeyine diktir. Kesme işlemi kesici dişlerin yan kenarları ile gerçekleşir. Alın frezeleme işleminde kesici takımın boyutu önemli bir faktördür. Eğer işlenen yüzeyin genişliği kesici takımın çapından küçük ise, frezeleme ya simetrik ya da asimetrik olarak yapılır (Şekil 5.1.b) [72].



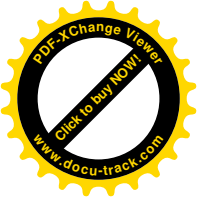
Şekil 5.1. (a) Çevresel frezeleme (b) Alın frezeleme [73].



Şekil 5.2. (a) Aynı yönlü frezeleme (b) Karşıt yönlü frezeleme [73].

Frezeleme işlemi, kesici takımın dönme yönü ve iş parçasının ilerleme yönüne göre ikiye ayrılmaktadır. Bunlar, zıt yönlü ve aynı yönlü olarak adlandırılmaktadır.

Zıt yönlü frezeleme, takım dönüş ile ilerleme yönünün ters durumunda olduğu işleme yöntemidir. Bu yöntemde kesme işlemi, aşağıdan yukarıya doğru yapılmaktadır. Bu sırada meydana gelen talaş kalınlığı ise, sıfırdan maksimum değere doğru artmaktadır. Bu yöntemde kesme kuvvetlerinin, kesme başlangıcında sıfır olması ve giderek artması bir avantajlı durumdur. Fakat iş parçasını tezgah tablasından kaldırmaya çalışması ise, mahzurlu bir durumdur. Zıt yönlü frezelemede, freze kesici ucunun iş parçasına giriş açısı sıfır olup iş parçasından çıkış açısı sıfırdan farklıdır.



Aynı yönlü frezeleme ise, takımın dönüş yönü ile ilerleme yönünün aynı olduğu işleme yöntemidir. Burada kesme işlemi yukarıdan aşağı doğru olduğundan talaş kalınlığı ise, maksimum değerden sıfıra doğru azalmaktadır [74]. Bu işleme yönteminde, kesme kuvvetinin başlangıçta maksimum olması bir mahzur olmasıyla birlikte, iş parçasını tablaya bastırması da avantajlı bir yönüdür. Kesme kuvvetlerinin bu etkileme biçimi, iş parçası tutturma tertibatındaki boşlukları kapatmakta ve bunların sebep olduğu titreşimleri azaltmaktadır. Bu şekilde yüzey kalitesinde de iyileşme sağlanmaktadır [75].

5.1.1. Frezeleme işleminde oluşan kuvvetler

Frezeleme işlemlerinde oluşan kuvvetler; frezeleme yöntemi, kesici takım ve iş parçası malzemesi, takım ve iş parçası geometrisi, iş mili sehim, kesici kenarlar arası mesafe, eğim açısı, ilerleme miktarı, kesme derinliği ve aşınma gibi faktörlere bağlıdır.

Frezelemede, talaş kaldırma sürecinde oluşan kesme kuvvetleri değişkenlik gösterir. Bu nedenle, pratikte hesapları kolaylaştırmak için ortalama talaş kesitine karşılık gelen ortalama kesme kuvvetleri alınır. Frezelemede genellikle aynı anda birden çok kesici uç talaş kaldırdığından kuvvetler, bir kesici uca karşılık gelen ortalama talaş kaldırma kuvveti (F_{zz}) ve onun bileşenleri; ortalama kesme kuvveti (F_{cz}), ortalama radyal kuvvet (F_{rz}) ve ortalama ilerleme kuvveti (F_{fz}) olarak ifade edilirler.

Aynı anda parçadan talaş kaldıran kesici uç sayısı;

$$Z_e = Z \cdot \frac{\phi_s}{360} \quad (5.1)$$

Tüm freze (kesici takıma) ait ortalama kesme kuvvetleri;

$$F_c = Z_e \cdot F_{cz} \quad (5.2)$$

$$F_f = Z_e \cdot F_{fz} \quad (5.3)$$

$$F_r = Z_e \cdot F_{rz} \quad (5.4)$$

bağıntıları ile bulunur.

Helisel silindirik frezelemede F_c , F_r , F_f kuvvetlerine ek olarak aksenal kuvvet (F_a) meydana gelir. Aksenal kuvvet;

$$F_a = F_c \cdot \tan \lambda \quad (5.5)$$

ile ifade edilir. Düz silindirik frezelerde aksenal kuvvet oluşmaz.

Alın frezelemede kesme kuvvetlerinin durumu Şekil 5.3'te görülmektedir. Kesici uca dik olarak alınan N-N kesitindeki ortalama talaş kaldırma kuvvetinin (F_z) bileşenleri, ortalama kesme kuvveti (F_c) ve normal kuvvettir (F_n). F_n normal kuvvetin bileşenleri ise ilerleme kuvveti (F_f) ve radyal kuvvettir (F_r). Burada bir kesici uca karşılık gelen ortalama kesme kuvveti (F_{cz});

$$F_{cz} = A_s \cdot k_s = B \cdot h_m \cdot k_s, \quad (5.6)$$

ve kesici takıma karşılık gelen toplam ortalama kesme kuvveti (F_s);

$$F_c = Z_e \cdot F_{cz} = Z_e \cdot B \cdot h_m \cdot k_s \quad (5.7)$$

bağıntıları ile bulunur. Burada;

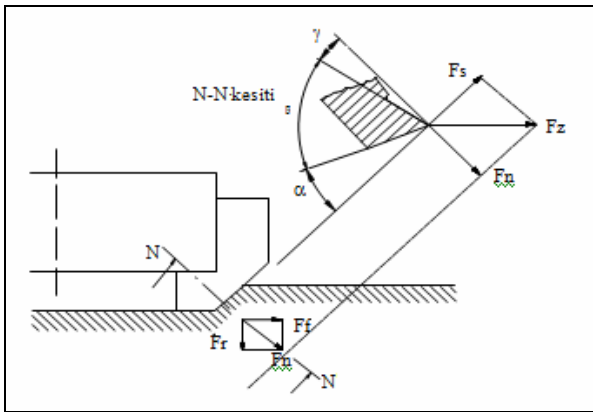
Z_e : Aynı anda talaş kaldıran kesici uç sayısı,

B : Kesme genişliği,

A_s : Talaş kesiti,

h_m : Ortalama talaş kalınlığı,

k_s : Özgül kesme kuvveti'dir.



Şekil 5.3. Alın frezelemede oluşan kuvvetler [76].

Teorik hesaplamalarda, ortalama radyal kuvvet (F_r) ve ortalama ilerleme kuvveti (F_f) deneylere dayanan aşağıdaki bağıntılara göre bulunabilir; [76]

Simetrik frezelemede;

$$F_f = (0,3 \dots 0,4) F_c \quad (5.8)$$

$$F_r = (0,85 \dots 0,95) F_c \quad (5.9)$$

$$F_a = (0,5 \dots 0,55) F_c \quad (5.10)$$

Zıt yönlü asimetrik frezelemede;

$$F_f = (0,6 \dots 0,9) F_c \quad (5.11)$$

$$F_r = (0,45 \dots 0,7) F_c \quad (5.12)$$

$$F_a = (0,5 \dots 0,55) F_c \quad (5.13)$$

Aynı yönlü asimetrik frezelemede;

$$F_f = (0,15 \dots 0,3) F_c \quad (5.14)$$

$$F_r = (0,9 \dots 1) F_c \quad (5.15)$$

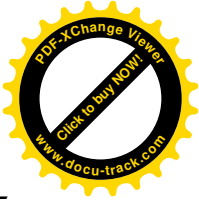
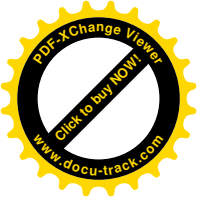
$$F_a = (0,5 \dots 0,55) F_c \quad (5.16)$$

5.2. İşlenebilirlik

“İşlenebilirlik, bir malzemenin istenilen biçimde, boyutta veya yüzey kalitesinde işlenmesinin kolaylığını veya zorluğunu gösteren bir kavramdır” [77].

Bir başka araştırmacıya göre ise “ işlenebilirlik, bir malzemenin talaş kaldırma işlemini etkileyen özelliklerinin tamamı ve talaş kaldırma yöntemleri ile üretimin kolaylığı veya zorluğudur” [77].

İş parçasının kimyasal bileşimi, mikro yapısı, ısıl işlem, saflık vb. bütün değişkenler işlenebilirliği etkiler. Talaş oluşumu, takım aşınması, bitirme yüzeyi kalitesi ve kesme kuvvetleri gibi işlenebilirlik karakteristikleri ile iş parçasının işlenebilirliği belirlenebilir. Fakat bu karakteristiklerin işleme parametrelerine de bağımlılığı önemlidir [77].

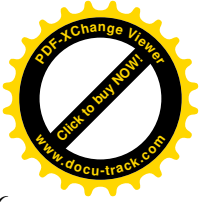
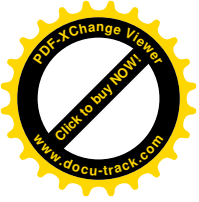


Orta karbonlu bir çelik ısıl dirençli bir alaşıma göre, gri dökme demir kır dökme demire göre daha kolay işlenir. Sıvanma özelliğine sahip düşük karbonlu bir çeliğin işlenmesi ise bazı alaşımlı çeliklere göre çok daha zordur. Kesici takımlardaki gelişmeler, değişen koşullar ve yöntemler nedeniyle işlenebilirlik kavramı karşılaştırılmalı değerler cinsinden ifade edilmesi zor olan bir kavramdır. Talaşlı imalat işlemini etkileyen iş parçası malzemesine ait tüm özelliklerin karşılaştırılması işlenebilirliğin incelenmesi açısından yararlı olacaktır, ancak bu işlem malzeme temin eden kuruluşların tümünden kolaylıkla elde edilemeyen ve uzun zaman alan bir belgeleme çalışması gerektirir. İş parçası malzemelerinin metalurjisi, kimyası, mekaniği, ısıl işlemi, katkı maddeleri, içerisindeki kalıntılar, yüzeyindeki sert tabakanın kalınlığı gibi özellikler işlenebilirliği etkilerler. Bu etkilerin yanı sıra işlenebilirlik üzerinde kesici kenarın, takım ucunun, takım tezgahının, işlemlerin ve işleme koşullarının da etkisi büyüktür. Malzemeler için işlenebilirlik verileri talaşlı imalat işlemlerinde daha sonra optimize edilecek başlangıç değerlerinin belirlenmesine yardımcı olurlar [38].

Bir iş parçası malzemesinin mukavemeti ve sertliği tek başına işlenebilirlik için belirleyici bir unsur teşkil etmeyebilir. Yapı içerisindeki kalıntılar, işlemeyi kolaylaştırıcı katkı maddeleri, içyapı, sert ve aşındırıcı bileşenler, talaşın sıvanma eğilimi gibi diğer faktörler de en az mukavemet ve sertlik kadar önemlidir. Bunun yanı sıra bir takım tipi ve belirli bir iş parçası malzemesi için iyi olan işlenebilirlik bir başka malzeme ve takım tipi için kötü olabilir [38].

5.2.1. Kompozit malzemelerin işlenebilirliği

Kompozit parçaların montaj aşamasında diğer parçalarla mükemmel uyum sağlamaları için pim, civata ve perçin deliklerinin gerçek pozisyonlarında ve arzu edilen çapta delinmeleri gerekmektedir. Fiberler ve matrisin farklı termal genleşme katsayılarına sahip olması, delinen deliklerde boyutsal tamlik elde edilmesini güçleştirmektedir. Maruz kaldıkları yükler sebebiyle delikler şiddetli lokalize gerilmelerle karşılaşılır. Bu nedenle delik çevresindeki malzemenin ortaya koyduğu mekanik özellikler, genellikle malzeme bütünlüğünde sağlanan mekanik



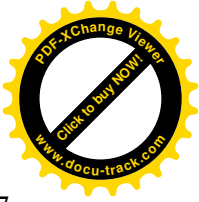
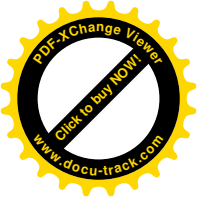
özelliklerden daha düşüktür. Mekanik özellikler, deliklerin hangi koşullarda delindiğine büyük ölçüde bağlıdır. Uygun olmayan parametreler, delik çevresindeki malzemenin aşırı hasar almasına sebep olabilir ve böylece delik gerekli mekanik zorlamalara dayanamaz. Delik çevresinde malzeme yeterli statik yüke dayanabilmeli ve uygun yorulma limitine sahip olmalıdır.

Kompozit malzemeler talaşlı şekillendirilme davranışlarını etkileyen kendilerine özgü özelliklere sahip olduklarından, bu malzemelerin talaşlı şekillendirilmeleri, konvansiyonel metaller ve alaşımlarının talaşlı şekillendirilmesi ile birçok açıdan farklılık göstermektedir [2].

Kompozit malzemelerin işlenmesi diğer malzemelere oranla daha zordur. Bu durum kesici takımlar açısından seçici olmayı gerektirir. Bu malzemelere uygulanan talaş kaldırma işlemi delme, parmak frezeleme ve benzeri işlemlerdir.

Karbon lifli kompozitler son derece aşındırıcı oldukları halde örülmüş aramid lifli kompozitler, sünek, işlenmeleri kolay malzemelerdir. Metaller gibi kompozitlerin de değişik işleme karakteristikleri vardır. Bu lifin ve matrisin tipine ve matrisin içerisindeki lif oranına bağlıdır. Tabakalı malzemelerde bilhassa daha kuru ve aşındırıcı tiplerde, tabakalar birbirinden ayrılırlar ve kesici kenar boyunca kırılırlar. Toz ve kesme sıvısı da talaş kaldırma esnasında problem yaratabilir.

Kompozitler keskin bir kesici uç ile işlenmelidir. Kesici kenarın aşırı aşınması halinde lifler kesilmeyip kopacak, bu da tabakaların ayrılmasına neden olacaktır. Kompozitlerin işlenmesi için çok ince taneli sinterlenmiş karbür ve PCD takımlar kullanılır. Keskin bir kenara sahip bu takım malzemelerinde doğru bir geometrinin seçimi halinde takımın oluşturduğu basınçlar azalacak, çok daha hassas bir talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilecektir. Aramid lifli kompozitler için takımlar önce lif üzerine hafif bir ön yük uygulayacak, daha sonra lifleri kesecek ve en son olarak da talaş sıkışmasını engellemek için lifleri kesme bölgesinden uzaklaştıracak şekilde tasarlanır.



Kompozitlerin işlenmesinde doğru kesme verilerinin kullanılması şarttır. Her bir takım için ilerleme çok önemlidir, şöyle ki ilerlemenin doğru seçimi sayesinde hem takımın parçayı kesmesi yerine ezmesi engellenecek, hem de fazla kesmesinden dolayı liflerin kopmasının ve tabakaların ayrılmasının önüne geçilecektir.

Karbon lifli kompozitlerin işlenmesinde takım ömrü doğrudan kesme hızıyla orantılıdır. Yüksek hızlar düşük takım ömrü, düşük hızlar yüksek takım ömrü demektir. Aramid lifli kompozitler işlenirken ilerlemelerin hassas bir şekilde ayarlanması halinde yüksek kesme hızları avantajlıdır. Cam lifli kompozitlerin işlenebilirliği karbon lifli kompozitlere yakındır. Yapı içerisindeki lif oranının artması işlenebilirliği azaltır. İşlenebilirlik açısından sadece kompozit tipinin değil, lif/matris oranının da dikkate alınması şarttır [5].

5.3. Kesme Kuvvetleri

Kesme kuvveti takım tarafından malzemeye talaş kaldırılması için uygulanan kuvvettir. Bu kuvvet, takım tezgahı tarafından uygulandığı için büyüklüğünün bilinmesi tasarımı açısından önemlidir. Kesme kuvveti bir taraftan takım tezgahının gücünü etkilerken bir taraftan da titreşimsiz ve rijitliği için gerekli tasarım ölçütüdür. Ayrıca kesme kuvvetleri, kesici takım tasarımını da doğrudan etkilemektedir. Kesici takım tasarımını ve üretimini gerçekleştiren üretici, kesici takıma gelebilecek yükleri bildiği takdirde tasarım ölçütlerini o değerlere göre düzenler.

Kesme kuvvetlerinin büyüklüğü talaş/takım arasında temas uzunluğuyla ilgilidir. İki fazlı ve kesikli talaş çıkaran malzemelerin işlenmesinde, kesici takım ve talaş arasında daha az temas uzunluğundan dolayı çok düşük kuvvetler meydana gelir. Kesme hızının artırılması, kayma açısını arttırdığı, daha ince talaş oluşturduğu ve temas uzunluğunu azalttığı için kesme kuvvetleri de oldukça düşmektedir. Sınırlı temas uzunluğuna sahip takımlarla takım/talaş arasındaki temas uzunluğu sınırlandırılarak kesme kuvvetlerinde belirli düşüşler sağlanabilmektedir. Kesme kuvvetleri kesici uç geometrisine de bağlıdır. Örneğin, talaş açısı değerindeki artış

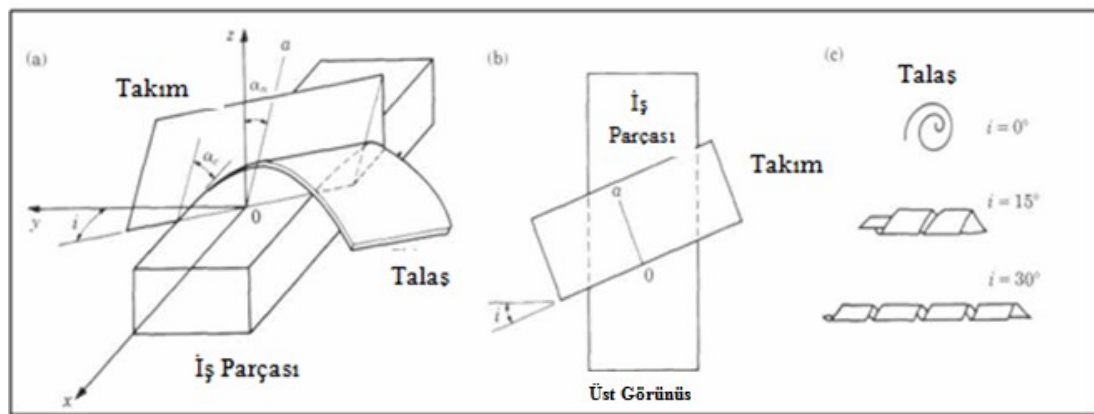
kesme kuvvetini düşürür. Ayrıca talaş açısında daha fazla artış takımın dayanımını zayıflattığından aşınmayı artırır. Takım aşındığında da takım kuvvetleri artar [38].

Deneysel araştırmaların ortaya koyduğu sonuçlara göre, talaş kaldırma sırasında asıl kesme kuvvetini etkileyen değişik faktörler vardır. Bunların en önemlileri; [71]

- Kesme hızı faktörü (k_v),
- Talaş açısı faktörü (k_γ),
- Takım aşınma faktörü (k_u),
- Takım malzemesi faktörü (k_o)'dur.

5.3.1. Kesme modelleri

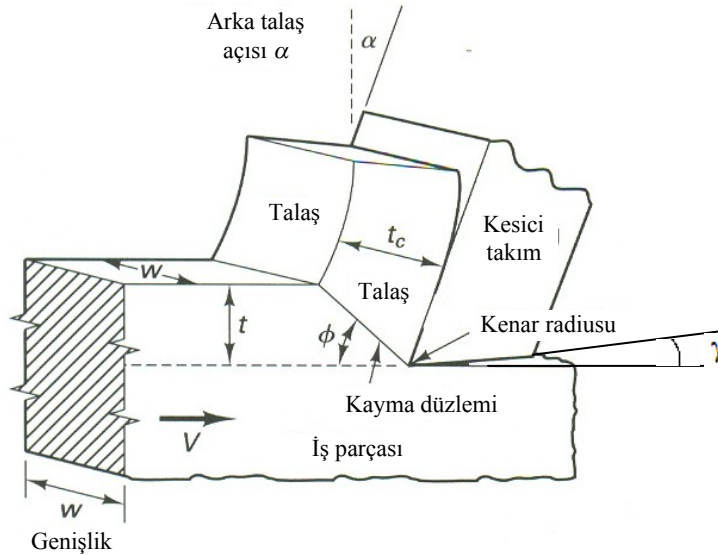
Talaşlı imalat mekaniği ve talaş oluşumu ile ilgili çalışmaların çoğunda, işlenen parça olarak metaller ele alınmıştır. Vargelleme, delme, frezeleme ve tek noktadan kesme işlemi yapılan tornalama gibi işlemler dik ve eğik kesme işlemleridir. Eğik kesmede, kesici takımın kesici kenarı kesme hız vektörüne eğimlidir (Şekil 5.4). Bu eğim, talaşın akış yönünü ve böylece de takımın performansını önemli şekilde etkilemektedir [78].



Şekil 5.4. a),b) Eğik kesme işleminin şematik olarak gösterilmesi, c) Çıkan talaş [79].

Dik (orthogonal) kesme işleminde ise kesici takımın kesici kenarı kesme hız vektörüne diktir. Şekil 5.4'teki i açısı 0° olduğunda işlem dik kesme işlemi olur. Şekil 5.4 a'da eğik kesme işlemi esnasında oluşan bileşke kuvvet üç bileşene (x , y ve

z yönlerinde) ayrılırken dik kesme işleminde y yönündeki kuvvet bileşeni sıfır olur. Dolayısıyla dik kesme işleminde bileşke kuvvet yalnızca x ve z yönlerinde iki bileşene ayrılır. Dik kesme işleminde ayrıca kayma işleminin tek bir düzlemde gerçekleştiği (kayma işlemi gerçekte ise dar bir kayma bölgesinde gerçekleşir), kesici ucun mükemmel sivri olduğu ve kesici takım boşluk yüzeyi ile yeni işlenen yüzey arasında bir sürtünme olmadığı varsayılır. Şekil 5.5’de görüldüğü gibi iş parçası kesici takım önünden V hızında geçer. V , kesme hızıdır. Kesilmemiş talaş kalınlığı t ’dir. Talaş ta V_c hızı ile kesici takım talaş yüzeyi üzerinden geçer. Bu durumda kayma V_s hızında ve kayma açısı ϕ ’da gerçekleşir. Burada kesici takım bir γ boşluk açısına sahiptir [79].



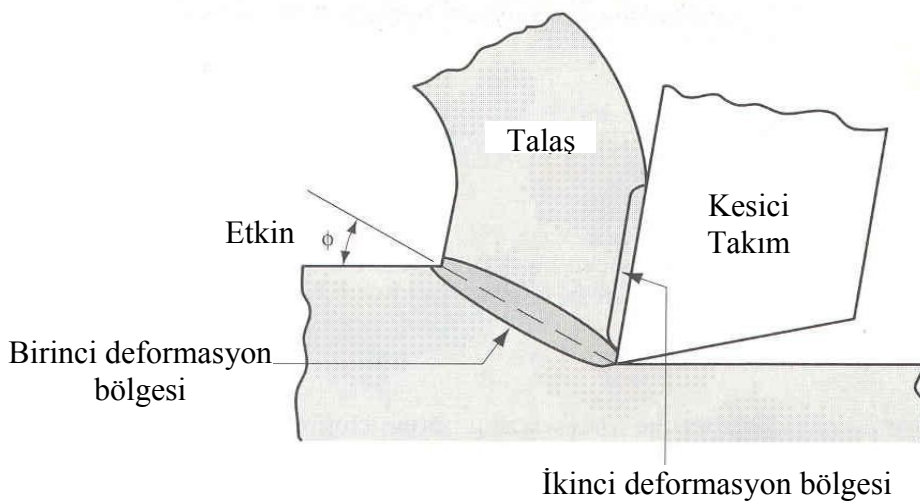
Şekil 5.5. Dik kesmenin şematik olarak gösterilmesi [79].

Bu model (dik kesme modeli), talaş oluşturma işlemi esnasında iş parçası malzemesinin davranışını, kesici takım geometrisinin en kritik elemanını (talaş açısı) ve kesici takım, talaş ve yeni oluşan iş parçası yüzeyi arasındaki etkileşimleri açıklamak için yeterlidir.

Talaşlı imalat işlemi gerçekte üç boyutlu ve oldukça karmaşık olduğu için talaşlı imalat işleminin mekaniğinin tanımlanmasında iki boyutlu dik kesme modeli çok kullanılır. İki boyutlu dik kesme modeli talaşlı imalat işleminin analizinde önemli bir rol oynar. Bu modele göre, iş parçasının kesici takımı zorlamasıyla kayma

düzleminde iş parçasının kayma gerilmesinin aşılmasıyla talaş oluşumu gerçekleşir. [78].

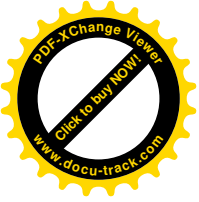
Gerçekte talaş oluşumu ince bir bölgede gerçekleşir (Şekil 5.6). Talaş oluşumu plastik deformasyonun önemli derecede rol oynadığı bir işlemdir. Talaşlı imalat işleminde talaş oluşumu, iş parçasının kesici takım önündeki bölgesel deformasyonu ile gerçekleşir. İş parçası ve kesici takım arasındaki bağıl hareket sonucu, iş parçasında oluşan gerilme iş parçasını birinci deformasyon bölgesinde plastik deformasyona uğratarak talaş oluşumunu gerçekleştirir. Oluşan talaş, kesici takımın talaş yüzeyi üzerinden geçerek atılır. Birinci kayma (deformasyon) düzleminde oluşan talaş kesici takımın talaş yüzeyi üzerinden geçerken kayma veya yapışma sonucu ikinci defa deformasyona uğrar ve kesme bölgesinden atılır [71].



Şekil 5.6. Talaş oluşumu [80].

5.4. Yüzey Pürüzlülüğü

Talaşlı imalat sırasında iş parçasında istenmeyen izler oluşur. İşleme metodu, kesicinin cinsi, işlenen malzeme ve kesme parametreleri, fiziksel, kimyasal ve ısı faktörleri ve kesen ve kesilen arasındaki mekanik hareketlere bağlı olarak, nominal yüzey çizgisinin altında ve üstünde düzensiz sapmalar meydana getiren bu girinti ve çıkıntılara yüzey pürüzlülüğü denir [81].

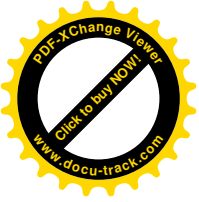


Yüzey pürüzlüğü ince talaş kaldırma işlemlerinde çok önemli bir kriterdir. İşlenecek yüzeyin arzu edilen özelliklerinin uygun olarak belirlenmesi gerekmektedir. Yüzey durumu pürüzlülük, dalgalanma ve eğrilik olarak ayrılabilir. Pürüzlülük üretim metodundan kaynaklanır. Yüzey pürüzlüğüne etki eden faktörler şöyle sıralanabilir;

- Takım kesici kenarının keskinliği
- Takım işleme esnasında malzemenin yırtılması
- İşlenen yüzeyde yığıntı talaşın kalması
- Takım ucundaki talaş kırıcının yapısı
- Kararlı yığıntı talaşın varlığı [34].

İmalat teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak sadece boyutsal özelliklerin ölçülmesi yeterli olmayıp, birbiri ile ilişkili olmayan yüzeylerin pürüzlülüklerinin de ölçülmesine ihtiyaç duyulmuştur. Talaş kaldırmanın amacı; sadece şekil vermek değil, aynı zamanda parçanın boyut ve yüzey özellikleri bakımından belirli bir doğruluk derecesine göre imalat edilmesini sağlamaktır. Bu olaya genel olarak işleme kalitesi denir. İşleme kalitesi; boyut, geometrik ve yüzey kalitesinden meydana gelir. Bir takım tezgahında, üretilen parçanın kalitesi, tezgahın kararlılık derecesinin ölçüsüdür. Zira herhangi bir talaşlı imalat sisteminin çıktısı işlenmiş yüzeylerdir. Talaş kaldırma ile işlenen yüzeylerde, dalgalılık ve pürüzlülük olmak üzere iki tür yüzey sapması meydana gelir. Dalgalılık yüzeyin geometrik şeklini karakterize ederken, pürüzlülük yüzey kalitesini tayin eder [82].

İşleme metodu ne olursa olsun (lepleme, taşlama, tornalama vb.) talaş kaldırılan yüzeylerde belli bir yüzey pürüzlülüğünün oluşması kaçınılmazdır. Farklı metotlarla işlenen aynı malzemelerin yüzey pürüzlülükleri sayısal değer olarak aynı olmasına rağmen bazen bunların aşınma, korozyon, sürtünme ve yorulma dirençlerinin farklı oldukları bilinmektedir. Çünkü yüzeydeki işleme izlerinin yönleri ve dağılımları da performansı etkiler. Bu nedenle işlenecek parçaların bazılarında yüzey pürüzlülük değerinin yanında işleme metodunun da belirtilmesi istenir.

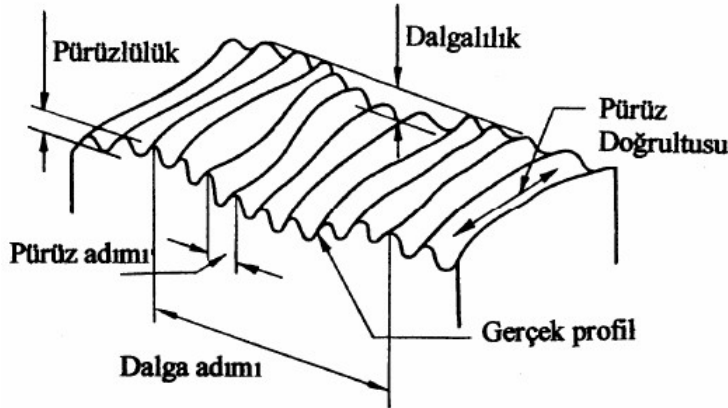


Pürüzlülük, yüzey sürtünmesine sebep olan temas, aşınma, ışık yansıtma, ısı iletimi, yağ filminin tutulması ve dağıtılması kabiliyeti, kaplama veya direnç ömrü gibi parçaların çeşitli fonksiyonel özelliklerini de etkiler. Bundan dolayı ihtiyaç duyulan kaliteye ulaşmak için istenilen yüzey tamlığı belirlenerek uygun işlemler seçilir.

Tırlama veya takım tezgahı titreşimleri, iş malzemesinin yapısındaki hasarlar, takım aşınması veya talaş oluşumunun düzensizlikleri, işleme sırasında yüzeyin bozulmasına katkıda bulunurlar [83]. Yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmek ve ilerleme veya kesme hızı gibi işleme parametrelerinin uyumunu değerlendirmek ürün kalitesini yükseltir ve istenilen yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesine ışık tutar [81].

5.4.1. Yüzey yapısının özellikleri

Bir yüzey yapısının kontrolünde yorulma ömrü, yataklık etme özelliği ve aşınma önemli faktörlerdir. İşlenen yüzeylerde dalgalılık ve pürüzlülük olmak üzere iki tip yüzey sapması meydana gelir. Dalgalılık yüzeyin geometrik şeklini karakterize ederken, pürüzlülük yüzey kalitesini tayin eder. Yüzey pürüzlülüğü standartlara göre yüzeye dik olan bir kesitte, belirli bir numune uzunluğu boyunca, belirli bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre tayin edilir. Referans profil olarak genellikle geometrik profil alınır. Profil ortalama çizgisinin yeri, bu çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olacak şekilde belirlenir. Düz bir yüzey denildiğinde dalgasız, pürüzsüz denildiğinde dalgalı, fakat gözle bakıldığında veya tırnakla kontrol edildiğinde, pürüzlülükleri fark edilemeyen yüzeyler anlatılmak istenir. Doğrultu, yüzey pürüzlerinin referans alınan bir alın yüzeyine göre durumunu belirler. Yüzey geometrileri, işleme metoduna bağlı olarak değişir. Şekil 5.7’de işlenmiş bir yüzey geometrisi görülmektedir [84].



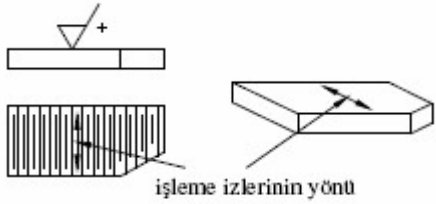
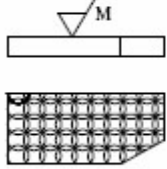
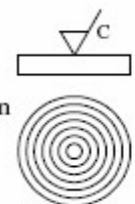
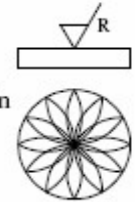
Şekil 5.7. İşlenmiş bir yüzeyin yüzey karakteri [85].

TS 2040 EN ISO 1302'a göre işleme izleri; izdüşüm düzlemine paralel, dik, her iki yönde çapraz, çok yönlü dairesel ve radyal olarak sınıflandırılmıştır (Çizelge 5.1).

Kesici ucu, istenilen kalitede (pürüzlülük değerinde) talaş kaldıramadığı noktada değiştirilmelidir. Pürüzlülük, işlenen yüzeyde örnek uzunluk boyunca ölçülen, küçük alanlı mikro düzensizliklerdir. Yüzey kalite standartlarının tespit edilmesinde, pürüzlülük değeri referans alınmalıdır. Bu, özellikle ince talaşta (son pasoda) büyük önem taşır. Metal kesmede yüzey yapısını, işleme operasyonu esnasında, malzemenin plastik akışından doğan düzensizlikler tayin eder.

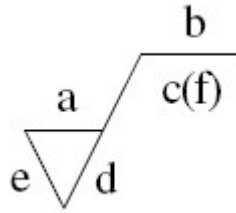
Yüzey yapısı, esas itibarıyla işleme metoduna, titreşimlere, tezgah kızıklarındaki hatalara, takımın tip ve durumuna, kesme parametrelerine, iş malzemesine ve toplam kararlılığa bağlı olarak değişir. Takım ucunun yuvarlatılması, talaş kesitinin bombeli teşekkülüne sebep olur. Bu durumda gerçek talaş kesiti, teorik talaş kesitinden daha küçük olur ve aradaki fark, parça üzerinde artık talaş olarak kalır. Bu kaldırılmamış talaş kesiti, yüzey pürüzlülüğünü meydana getirir. (Şekil 5.7).

Çizelge 5.1. İşleme izlerinin yönünün sembolik ifadesi [86].

Sembol	Açıklama
=	Sembolün uygulandığı görüntüştün izdüşüm düzlemine paralel izler.  işleme izlerinin yönü
+	Sembolün uygulandığı görüntüştün izdüşüm düzlemine dik izler.  işleme izlerinin yönü
X	Sembolün uygulandığı görüntüştün izdüşüm düzlemine göre her iki yönde eğik çapraz izler.  işleme izlerinin yönü
M	Çok yönlü izler. 
C	Sembolün üzerine konulduğu yüzeyin merkezine göre yaklaşık olarak dairesel izler. 
R	Sembolün üzerine konulduğu yüzeyin merkezine göre yaklaşık olarak radyal izler. 

Daha hassas işlenmiş yüzeyler sayesinde birçok makinenin performansı artar. Bu amaçla, istenen yüzey kalitesinin elde edilmesinde esas alınacak standart yüzey pürüzlülük değeri belirlenir ve bu değer resim üzerinde bir sembol ile gösterilir.

(Şekil 5.8). Pürüzlülük değerleri, sınıf ve numaraları TS 2040 EN ISO 1302 ile standartlaştırılmıştır.



- a : Ra pürüzlülük değeri mikron olarak veya sınıf numarası (N1-N12)
- b : Yapım usulü. İşleme veya kaplama
- c : Esas uzunluk, (mm)
- d : İşleme izlerinin yönü
- e : İşlenecek aşırı kalınlık, (mm)
- f : Pürüzlülüğün diğer değerleri (parantez içinde)

Şekil 5.8. Yüzey pürüzlülük özellikleri [86].

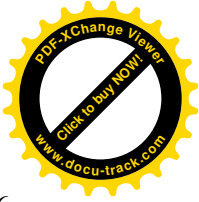
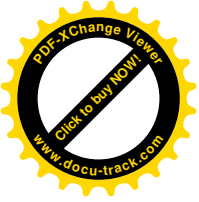
Belirlenmiş yüzey pürüzlülük değerleri (R_a) ve sınıf numaraları on iki kalite olarak Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Pürüzlülük değerleri ve sınıf numaraları [86].

Pürüzlülük Değeri $R_a \mu$	Pürüzlülük Sınıf Numaraları
50	N12
25	N11
12,5	N10
6,3	N9
3,2	N8
1,6	N7
0,8	N6
0,4	N5
0,2	N4
0,1	N3
0,05	N2
0,025	N1

5.4.2. Yüzey hatalarının incelenmesinde genel kurallar

Son işlemesi yapılmış bir yüzeyin pürüzlülük değeri belirlenirken üç boyutlu uzay problemi ile karşılaşılır. Ancak yüzeye dik alınan bir kesit düzlemi üzerinde hata profillerinin incelenmesi ile problem iki boyuta indirgenebilir. Bu durumda



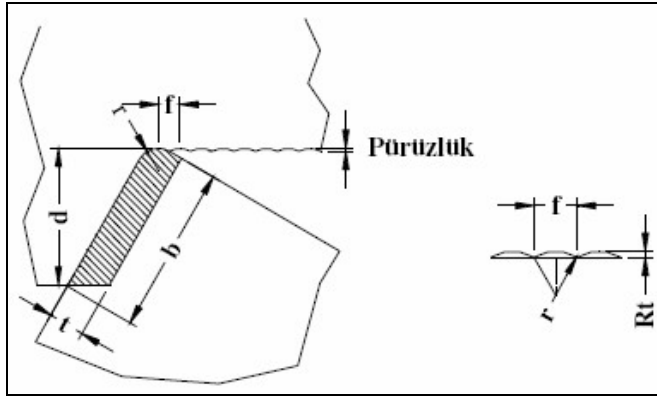
pürüzlülüğün derecesi, seçilen bu düzlemin konumuna bağlıdır. Eğer pürüzler doğrultusunda ölçüm yapılırsa, elde edilen pürüzlülük değerinin, pürüzler doğrultusuna dik yapılan ölçümle elde edilene göre daha az olması tabiidir. Bu, tek doğrultulu pürüzlü yüzeyler için doğrudur. Çok yönlü karmaşık izlerde, iki ayrı yönde yapılan ölçüm sonuçları arasında fark daha az olur. Tek yönlü izlerin olduğu yüzeylerde, herhangi bir yön belirtilmemişse, ölçümler iz doğrultusuna dik yapılmalı, çok yönlü izlerde ise birkaç değişik yönde yapılan ölçümlerin ortalaması alınmalıdır. Tatmin edici bir değer vermesi için esas pürüzlülük izlerinin dalga boyu ne kadar büyük ise, numune uzunluğu o kadar büyük alınmalıdır. Yüzey tamlığı numarası; taşlama, honlama gibi farklı metotlarla üretilen, fakat eşit pürüzlülük değerine sahip yüzeyler arasındaki yapı farklılıklarını göstermez. Bunun için yüzeylerin grafiklerinin çizilmesi gereklidir. Yüzey kalitesi farklı işleme metotları için takım geometrisine, takım özelliklerine ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen kesme parametrelerine bağlı olarak yazılabilir [81].

Tornalama için;

$$f^2 = (8.r.Rt) \quad (5.17)$$

Bu eşitlikte; f : İlerleme miktarı (mm/dev), r : Takım uç yarıçapı (mm) ve Rt : maksimum yüzey pürüzlülük değerini göstermektedir.

İşlenmiş yüzeydeki keskin ilerleme izlerini minimize etmek için takımlar burunlarında küçük bir kavise sahip olurlar. Şekil 5.9'de takımın sahip olduğu kavis görülmektedir. Büyük takım uç yarıçapı takım işleme sırasında kendiliğinden doğan titreşimlere veya tırlamaya daha duyarlı olduğundan tavsiye edilmez [87].

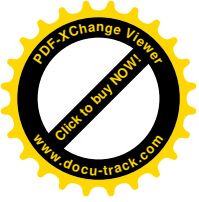


Şekil 5.9. Takım uç yarıçapı ve ilerlemenin pürüzlülüğe etkisi [87].

Frezeleme için;

$$R_t = \frac{f \cdot r^2 \cdot 1000}{4D} \quad (5.18)$$

bağıntısı yazılabilir [88]. Takım ve parça arasındaki titreşimler sebebiyle, gerçek pürüzlülük değeri, yukarıdaki bağıntıdan elde edilenden daha küçüktür [81].



6. DENEYSEL TASARIM VE TAGUCHI METODU

“Deney tasarımı”, 1920’lerde istatistik biliminin babası sayılan İngiliz istatistikçi Sir Ronald Fisher tarafından, tarım alanında üretim verimini arttırmak amacıyla araştırmalar yaparken bulunmuş ve geliştirilmiştir. Fisher, ayrıca deney verilerinin analizi için bugün klasik sayılan “varyans analizi” (ANOVA) yöntemini de geliştirmiştir. Yöntem, kısa bir süre içinde, Amerika’da tarım sektöründe üretimin geliştirilmesi için yoğun olarak uygulanmış ve Amerikanın bu alanda lider konuma gelmesine büyük katkıda bulunmuştur. Tarım alanında, çeşitli gübre ve dozları ile iklim koşullarının ve sulama yüzeylerinin çeşitli ürünlere olan etkilerini belirlemek üzere uygulanmıştır” [89, 90].

Deney tasarımı, daha sonra kimya ve ilaç sektörlerinde de uygulanmış olmasına rağmen, imalat sektöründeki uygulamaları 1970’lere kadar son derece kısıtlı kalmıştır. Amerika’da imalat sektörü 1980’lerin başında, deney tasarımı Japon kalitesinin nedenlerini araştırırken yeniden keşfetmiştir. Deney tasarımı, o tarihlerde Japonya’da profesör Genichi Taguchi önderliğinde yoğun ve etkili olarak uygulanmaktaydı. Taguchi deney tasarımına kurumsal yenilikler getirmemiştir. Ancak üretimdeki uygulamalarda yenilikler yapmış ve başarılı uygulamalarla yöntemin imalat sektöründe kabul görmesini sağlamıştır [90].

Deney tasarımı, değişik koşullarda bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni nasıl etkilediğini araştırmak için gerekli tasarımları hazırlayan ve çözümlemelerini veren istatistik dalıdır.

Deney tasarımı; belirlenmiş bir tasarım matrisine göre; proses üzerinde etkili olması muhtemel proses değişkenlerinin sistematik olarak değiştirilerek, bir deneyim veya bir takım sıralı deneylerin gerçekleştirilmesi yöntemidir. Değişik koşullar altında elde edilen sonuçlar aşağıdakilere ulaşabilmek amacı ile değerlendirilir:

- a) Test edilen değişikliklerin içinde etkili olanların tamamlanması,
- b) Belli bir aralıkta değişkenlerin çeşitli seviyelerinin etkilerinin ölçülmesi,

- c) Prosesin mevcut durumda işleyişinin daha iyi anlaşılması,
- d) Birtakım etkenlerin ve etkileşimlerin karşılaştırılması.

Bu yöntemin ürün veya proses geliştirme çevriminin başlarında uygulanması aşağıdakiler gibi bir çok fayda sağlar:

- a) İyileştirilmiş proses çıktıları,
- b) Nominal veya hedef değer etrafındaki değişkenliğin azaltılması,
- c) Toplam geliştirme süresinin düşürülmesi,
- d) Toplam maliyetin azaltılması [91, 92].

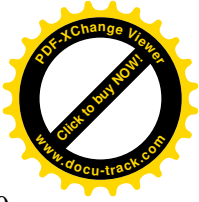
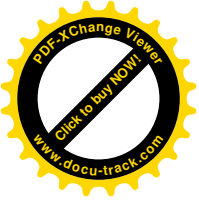
Bu çalışmada frezeleme işlemi için optimum deney şartlarının belirlenmesi için Taguchi metodu ve varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır.

6.1. Taguchi Metodu

Taguchi metodu, ekonomik ve teknolojik koşullara bağlı olarak değişen tüketici gereksinimlerini karşılamak ve topluluklar oluşturarak rekabeti hızlandıran dünya pazarlarında kalıcı ve büyük pay alabilmek için ürün ve prodesteki değişkenleri azaltarak belirlenen hedef değere ulaşma yolunda yapılan çalışmaları içerir. Taguchi metodu performansın, kalitenin ve maliyetin optimizasyonunu sağlayan metoddur. [93, 94].

Taguchi'nin kalite felsefesi yedi temele dayanır [93, 95].

1. Üretilmiş ürünün kalitesi topluma verdiği kayıpla ölçülür.
2. Rekabetçi kalite ortamında iş hayatında tutunabilmek için devamlı kalite gelişimi ve düşük maliyet şarttır.
3. Devamlı kalite geliştirme programı ürün performans karakteristiklerinin hedef değerler etrafında azaltılması ile sağlanır.
4. Ürün performans değişiminin sebep olduğu kayıplar performans karakteristiklerinin hedef değerden sapmasının karesi ile orantılıdır.



5. Üretilmiş ürün kalitesi ve maliyeti ürünün mühendislik tasarımı ve imalat prosesi tarafından kontrol edilir. (Çevrim İçi ve Çevrim Dışı Kalite Kontrol)
6. Performans karakteristikleri üzerinde ürün parametrelerinin lineer olmayan etkisi ortadan kaldırılarak ürün performans değişimlerini azaltmak gereklidir.
7. Performans değişimini azaltan ürün veya proses parametreleri gruplarının kombinasyonlarını belirlemek için istatistiki deneyler yapılır [93, 95].

Dr. Taguchi kalite sistemini çevrim dışı kalite kontrolü ve çevrim içi kalite kontrolü olarak ikiye ayırmayı tercih etmiştir.

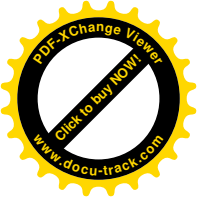
Çevrim dışı kalite kontrol ile ilgili olanlar aşağıdaki gibidir;

- Müşteri ihtiyaç ve beklentilerini doğru bir şekilde tanımlamak,
- Müşteri beklentilerini karşılayacak bir ürün tasarlama,
- Aynı ilkelere dayanan ve ekonomik olan bir imalat ile ürün tasarlama,
- İmalat için uygun özellikler, standartlar, prosedürler ve donanımların geliştirilmesi.

Çevrim dışı kalite kontrol metotlarının başlıca gereksinimi belirli işletme şartları altında oluşan riskleri minimize edecek nominal parametre tasarım değerlerinin belirlenmesidir. Sistemin çıktısı ya da özelliklerindeki değişkenliğin derecesini kontrol etmesi istenir [91, 96].

Çevrim dışı kalite kontrol' ün iki bölümü vardır; ürün tasarımı ve proses tasarımı. Ürün tasarımı süresince, yeni bir ürün geliştirilir ya da var olan ürünler üzerinde değişiklikler yapılır. Burada hedef müşteri ihtiyaçlarına karşılık verebilecek ve imalatı yapabilecek bir ürün tasarlamaktır.

Çevrim içi kalite kontrol, proses tasarımı süresince geliştirilen prosedürleri kullanarak ürün tasarımı kullanılarak kurulan özelliklerindeki ürünlerin imalatı ile ilişkilidir [91, 97].



Taguchi metodunda çevrim dışı kalite kontrol kapsamında hem ürün tasarımı hem de proses tasarımı için kalite aşamaları vardır. Bunlar;

- Sistem Tasarımı
- Parametre Tasarımı
- Tolerans Tasarımıdır.

6.1.1. Sistem tasarımı

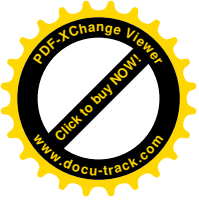
Sistem tasarımı metodun ilk aşamasıdır. Bu aşamada tasarımcı tarafından yapıların değişimi incelenir, bir ürünün istenen fonksiyonları elde edebilmesi için teknolojiler tasarlanır ve ürün için en uygun olan bir tanesi seçilir.

Üretilmesi düşünülen ürünle ilgili; pazarın tanımlanması, buluşların değerlendirilmesi, bilimsel ve mühendislik bilgilerinin toplanması, malzeme ve ekipmanla ilgili gerekli tercihlerin yapılması bu aşamanın konusunu oluşturur. Ayrıca burada malzeme alımında, ürün ağacındaki parçaların özelliklerinin iyileştirilmesinde bir takım kararlar verilir.

Kalitenin tasarımı ve geliştirilmesi çalışmalarının yatırıma dönük aşaması da denilebilir. Burada temel amaç, üretim aşamasında, spesifik limitler ve toleranslar dahilinde en düşük maliyetle, mamul üretimini gerçekleştirmektir. Bunun için pazar araştırması, teknolojik gelişmeler ve bilimsel buluşlardan faydalanılabilir [98, 99].

6.1.2. Parametre tasarımı

Genichi Taguchi sağlam parametre dizaynının öncülerinden biri olarak kabul edilmektedir. Parametre dizaynı, üretim ve proses dizaynı sırasında, varyasyon ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı olan duyarlılığın azaltılması için kullanılan bir mühendislik metodudur. Taguchi dizaynları uygun bir şekilde kullanıldığı takdirde, çeşitli çalışma koşullarında çok güçlü ve etkili bir metottur. Sağlam parametre



tasarımında temel amaç, proses hedef değerini korurken varyasyonu minimize edecek faktör seviyelerini belirlemektir. Varyasyona etki eden faktörleri belirledikten sonra, kontrol edilebilir faktörler üzerinde ayarlamalar yapılabilir. Kontrol edilemeyen faktörler ise değişiklikler için duyarsız hale getirilmeye çalışılır. Proses tasarımında temel amaç, sürekli aynı çıktıyı üretmektir. Üretim dizaynında ise temel amaç, çevre faktörlerine rağmen sürekli bir performans ölçüsü yakalamaktır [100].

6.1.3. Tolerans tasarımı

Tolerans tasarımı, parametre tasarımının varyasyonu azaltmada yeterli olmadığı durumlarda kullanılır. Parametre tasarımında düşük maliyetli, geniş ölçüde değişen bileşenler veya faktörler kullanılabilir. Varyasyonu istenilen değere düşürmek için bu bileşenlerin kalitesinin geliştirilmesi halen gerekiyorsa, tolerans tasarımı uygulanır. Tolerans tasarımında üç tür kalite değişkeni vardır.

Bunlar;

- En büyük en iyi,
- En küçük en iyi ve
- Hedef değer en iyi' dir.

En büyük en iyi

Bu tip tolerans çalışmalarında kalite değişkeninin bir üst sınır yoktur ve dolayısıyla hedef değer de yoktur. Ölçü büyüdükçe verimlilik artacaktır. Buna örnek olarak malzemelerin dayanıklılığı verilebilir.

En küçük en iyi

Bu karakteristik tipi negatif yönden bir sapma göstermez. Daima alt sınırın olması istenir. Tolerans azaldıkça durumda iyileşme artar. Bu tipe örnek olarak bir üretim sürecindeki hurda miktarı verilebilir.

Hedef değer en iyi

Bu durumda sapmalar iki yönlü olarak değişebilir. Dolayısıyla iki taraflı toleransa sahiptir. Buna en iyi örnek olarak boyut kriterleri verilebilir [98].

6.2. Taguchi'nin Sinyal / Gürültü Oranları

Deney sonuçlarının yorumlanması noktasında Taguchi'nin önerilerinden bir diğeri ise Sinyal/Gürültü oranlarıdır. Performans kriteri olarak kullanılmak üzere önerilen Sinyal/Gürültü oranları (S/G) kontrol edilemeyen gürültü faktörlerinin varlığı halinde varyasyonun bir ölçüsüdür. Taguchi, parametre tasarımının mühendislik uygulamalarında kullanılmak üzere altmışın üzerinde sinyal gürültü oranı tanımlamıştır.[101, 102]. Bunların en yaygın bilinenleri; En büyük-en iyi, en küçük-en iyi ve hedef değer-en iyi şeklindeki sinyal/gürültü oranlarıdır. Her üç durumda da maksimize edilmesi amaçlanan bu oranlar şu şekilde tanımlanmıştır;

En küçük-En iyi;

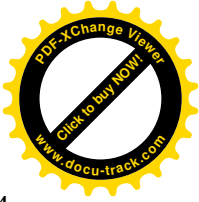
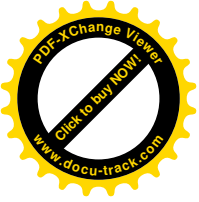
$$S/G = -10 \cdot \log \left(\sum \frac{y_i^2}{n} \right) \quad (6.1)$$

En Büyük-En iyi;

$$S/G = -10 \cdot \log \left(\sum \frac{1/y_i^2}{n} \right) \quad (6.2)$$

Hedef değer- En iyi;

$$S/G = 10 \cdot \log \left(\sum \frac{\left(\frac{y_i}{r} \right)^2}{S^2} \right) \quad (6.3)$$



Ancak bazı istatistikçiler S/G oranlarının optimal sonuçlar vermeyeceğini savunmuş ve standart sapma analizini önermişlerdir. Yani her bir deneme için elde edilen standart sapma (S) analiz edilip varyasyonu etkileyen faktör veya etkileşimler de ortaya çıkarılabilir. Ancak varyasyona ilişkin yorumların sağlıklı yapılabilmesi için denemelerin en az 5 tekrarlı yapılması tavsiye edilmektedir [101, 103].

6.3. Uygun Ortogonal Dizin Seçilmesi

Dizilerin seçimi seviye sayısı ve toplam serbestlik derecesi yardımıyla yapılır. Seviye sayısı dizilerin sınıflandırılmasında belirleyici unsurdur. Eğer seviyelerde karışıklık varsa düzeltmelere gidilerek faktörlerde seviye homojenliği sağlanır. Bundan sonra toplam serbestlik derecesine bakılır. Bir dizinin toplam serbestlik derecesi her bir faktörün ayrı ayrı serbestlik derecelerinin toplamına eşittir. Dizide sütunlara atanan faktörler tek başına faktör veya iki faktörün etkileşimi olabilmektedir. Serbestlik dereceleri sırasıyla şöyle hesaplanır:

V_A : A faktörünün serbestlik derecesi

V_{A*B} : A ile B etkileşiminin serbestlik derecesi

k_A : A faktörü seviye sayısı

$$V_A = (k_A - 1), V_{A*B} = (V_A)(V_B)$$

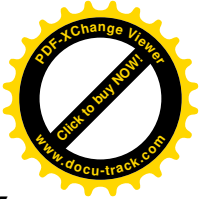
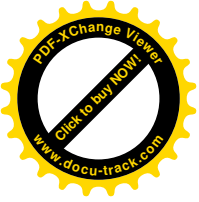
Faktör grubunun serbestlik derecesi ise tüm faktör ve etkileşimlerin serbestlik dereceleri toplamına eşittir. Bu aynı zamanda toplam deney sayısından bir çıkarmakla da bulunur.

V_T : Dizin toplam serbestlik derecesi

N : Dizideki toplam deney sayısı

$$V_T = N - 1$$

Serbestlik derecesi belli olmuş bir faktörler grubu için ortogonal dizi seçimi rahatlıkla yapılabilir. Serbestlik derecesi herhangi birinin deneme sayısına uygun düşüyorsa o tercih edilir. Toplam serbestlik derecesi en fazla seçilecek olan dizinin



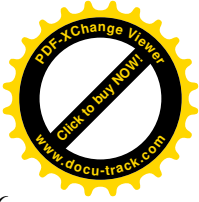
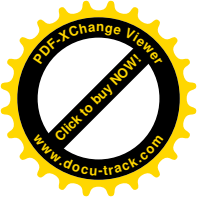
deneme sayısından bir eksik olabilir. Yoksa eşit olursa o zaman bir üst dizi seçmek zorunda kalınacaktır. O halde mevcut serbestlik derecesine 1 eklendiğinde eldeki dizilerden hangisine eşit olursa o seçilir. Şayet hiç birine eşit olmuyor da herhangi ikisinin arasında kalıyorsa bir alt değil bir üstteki seçilir [98].

Ortogonal dizinler $L_{a(b)c}$ şeklinde gösterilir Burada ortogonal dizinler Latin kare tasarımından türetildiği için “L” Latin kare tasarımını temsil eder. “a” deneylerin sayısını, “b” her kolondaki seviye sayısını, “c” ise faktör sayısını ifade etmektedir. İki seviyeden 5 seviyeye kadar değişken seviyelerde ortogonal dizinler bulunmaktadır. Yapılan deney tasarımına ve amaca göre genellikle 2 ve 3 seviyeli ortogonal dizinler kullanılmaktadır. En çok kullanılan 2 seviyeli ortogonal dizinler L_4 , L_8 , L_{12} ve L_{32} ’ dir. En çok kullanılan 3 seviyeli dizinleri ise L_9 , L_{18} ’ dir. Tabi ki her iki seviyenin karışık olarak kullanıldığı L_{18} , L_{36} , L_{54} gibi ortogonal dizinler de vardır [104, 105].

6.4. Varyans Analizi (ANOVA)

ANOVA, deneysel verileri yorumlamada ve karar vermede kullanılan bir istatistik yöntemidir. Sir Ronald Fisher tarafından 1930' da tarımsal deneylerin sonuçlarını değerlendirmek üzere geliştirilmiştir. ANOVA, test edilen grupların ortalama performansındaki değişimi tespit etmek için kullanılan karar aracıdır. Deneylerin analizi aşamasında sonuç değişken veya kalite karakteristiği olarak isimlendirilen bağımlı değişkende görülen varyansın kaynağı incelenir. Bu inceleme çok basit olarak faktörlerin veya etkileşimlerin etkisi hesaplanıp daha sonra bu değerlerin grafiklerle gösterilmesi ile gerçekleştirilebileceği gibi daha karmaşık ama daha anlamlı olan Varyansların Analizi (ANOVA) adı verilen istatistiksel yaklaşımla da gerçekleştirilebilir. Bu noktada tüm deney sonuçları sadece grafik olarak veya sadece faktörlerin tek tek etkisi olarak elde edilir. Buna göre değişik faktörlerin anlamının belirlenmesi varyans analizi ile sağlanır [106, 107].

ANOVA, temelde deneyde kullanılan faktörlerin veya onların etkileşimlerinin deneye katkısının belirlenmesi için sonuç değişkenlerin karelerinin değişik gruplar



içinde toplamını ele alır ve toplam varyanslarını belirler. Daha sonra da değişimlerin sisteme katkı yüzdesini hesaplayıp en uygun faktör/parametre tasarımının seçimini mümkün kılar [106, 107].

6.5. Doğrulama Deneylerinin Yapılması

Taguchi metoduna göre, optimal sonuçları verecek parametrelerin tahmininden sonra, optimizasyonda son aşama olarak doğrulama deneyleri yapılmakta ve yapılan optimizasyonun doğruluğu test edilmektedir. Ancak, tahmin edilen seviyeler optimizasyon öncesi yapılan deneysel çalışmaların arasından biri olduğu takdirde doğrulama deneylerine gereksinim olmaksızın, optimizasyonun performansı test edilebilmektedir [108]. Bu çalışmada, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü için elde edilen optimal seviyeler yapılan on sekiz deney içerisinde mevcuttur.

7. MALZEME VE METOD

Karbon elyaf takviyeli polimer kompozit malzemenin frezelenmesinde; 10 mm çapında 2 ağızlı 30° helis açılı kaplamasız, 2, 3 ve 4 ağızlı 30° helis açılı ve kaplamalı, 3 ve 4 ağızlı 45° helis açılı ve kaplamalı takım olmak üzere altı farklı kesici takım, üç farklı devir sayısı (3800- 4800-5800 dev/dak) ve üç farklı ilerleme değeri (0,03-0,06-0,09 mm/diş) kullanılmıştır. Taguchi optimizasyonu kullanılarak optimum sonuçlar elde etmek için kesme parametreleri için uygun faktörler ve seviyeler belirlenerek Taguchi ortogonal deney düzeneği kullanılmıştır.

7.1. Deney Numuneleri

Bu çalışmada özellikle uzay ve havacılık sanayinde kullanılan karbon elyaf takviyeli polimer kompozit malzeme kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan malzeme için TÜBİTAK Savunma Sanayi ve Araştırma Geliştirme Enstitüsünde, malzeme içeriği için yoğunluk testi yapılmıştır. Ağırlıkça elyaf oranını belirlemede TGA (Thermo Gravimetric Analysis) cihazı kullanılmıştır. 50°-800° arasında, 10° C/dak ısıtma hızında, azot akış hızının 200 ml/dak olduğu belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan malzemeye ait ASTM D 792 (Standart Test Methods for Density and Specific Gravity) test standardına göre yapılan test sonucu, Çizelge 7.1’de verilmiştir.

Çizelge 7.1. Deney malzemesine ait ASTM D 792 yoğunluk test sonucu

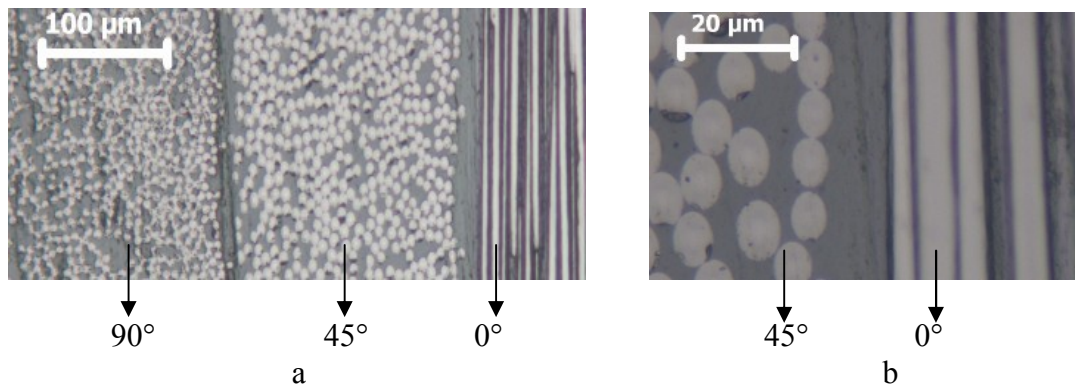
Malzeme	Yoğunluk	Ağırlıkça Elyaf Yüzdesi
Karbon Elyaf Takviyeli Polimer Kompozit	1,59 g/cm ³	% 74,6

Deneylerde kullanılan malzemeye ait mekanik özellikler Çizelge 7.2’de verilmiştir.

Çizelge 7.2. Deney malzemesine ait mekanik özellikler

Isıl İletkenliği (W/Mk)	Elyaf Çapı (mikron)	Elektriksel İletkenlik (Mikro-ohm-m)	Gerilme Modülü (GPa)	Gerilme Direnci (GPa)
5	7	18	231	3.75

Deneylerde, 45° - 0° - 90° elyaf açısına sahip karbon elyaf takviyeli polimer kompozit malzeme kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan malzemeye ait elyaf açısını gösteren SEM (Scanning Electron Microscopy) görüntüsü Resim 7.1'de verilmiştir. Resim 7.1a'da 90° - 45° - 0° elyaf açılarının dizilişini gösteren 200 kat büyütülmüş görüntü verilirken, Resim 7.1b'de ise 0° - 45° dizilmiş elyaf açılarının 1000 kat büyütülmüş görüntüsü verilmiştir.



Resim 7.1. Deneylerde kullanılan malzemeye ait SEM görüntüsü (a,b)

7.2. Deneylerde Kullanılan Cihaz ve Donanımlar

Deneylerde, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Anabilim Dalı Sanayi CNC laboratuvarı ile ölçme laboratuvarları kullanılmıştır. Bu laboratuvarlarda, deneylerin yapılması ve kuvvet ölçümü için JohnFord VMC-850 dik işleme merkezi, Kistler 9257B model üç bileşenli dinamometre, Amplifier (yükselteç) ve sonuçların grafik olarak elde edilmesi için Kistler-Dynaware programı kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülük ölçümlerinde ise Mahr (MarSurf PS1) marka izleyici uçlu yüzey pürüzlülük cihazı kullanılmıştır. Çizelge 7.3'te deneylerde kullanılan cihaz ve donanıma ait özellikler verilmiştir.

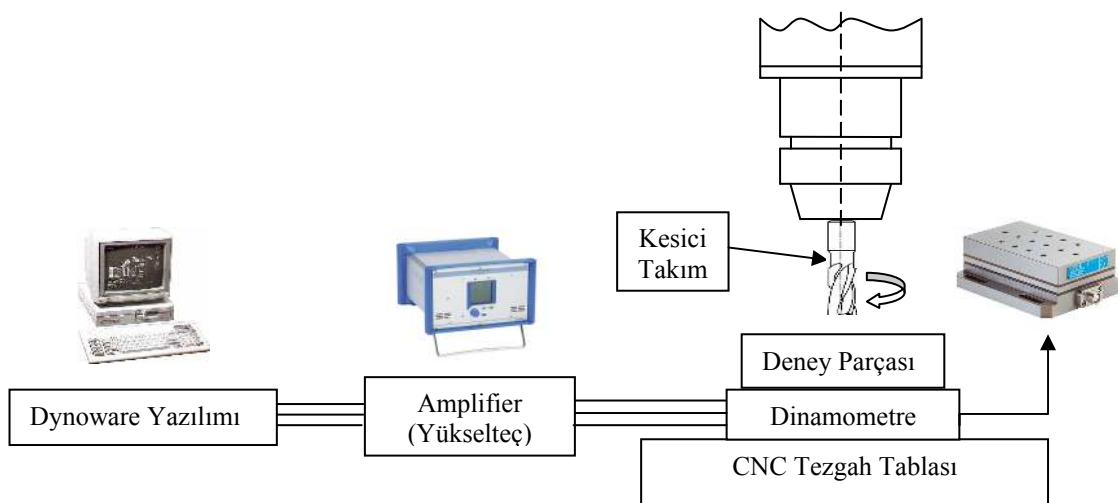
Çizelge 7.3. Deneylerde kullanılan cihaz ve donanım özellikleri

Cihaz/donanım	Özellik
Tezgah	JohnFord VMC-850 Dik işleme merkezi 7.5 kW, 6000 dev/dak
Dinamometre	Kistler 9257B Fx, Fy, Fz, ± 5 kN, boyut: 170x100x60mm

Çizelge 7.3. (Devam) Deneylerde kullanılan cihaz ve donanım özellikleri

Amplifier (Yükselteç)	Kistler 5070A 8 kanaldan veri alma, $\pm 10V$
Veri okuma kartı	CIO DAS 1602/12 Kart 8 analog kanal, 1.25-2.5-5-10V ölçüm aralığı
Yazılım	Dynoware veri sayısı/süresi ayarlama, grafik oluşturma
Pürüzlülük cihazı	Mahr Perthometer M1 İzleyici uçlu, masa tipi

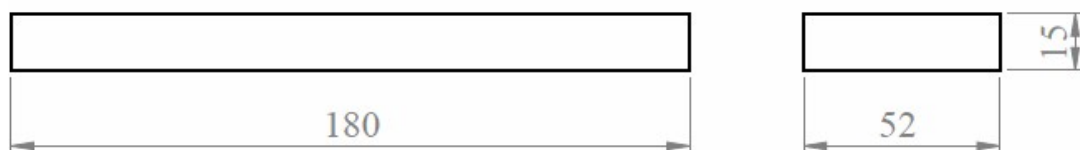
Deneyleerde kullanılan bu cihazlar şematik olarak Şekil 7.1'de verilmiştir.



Şekil 7.1. Deney düzeneğinin şematik gösterimi

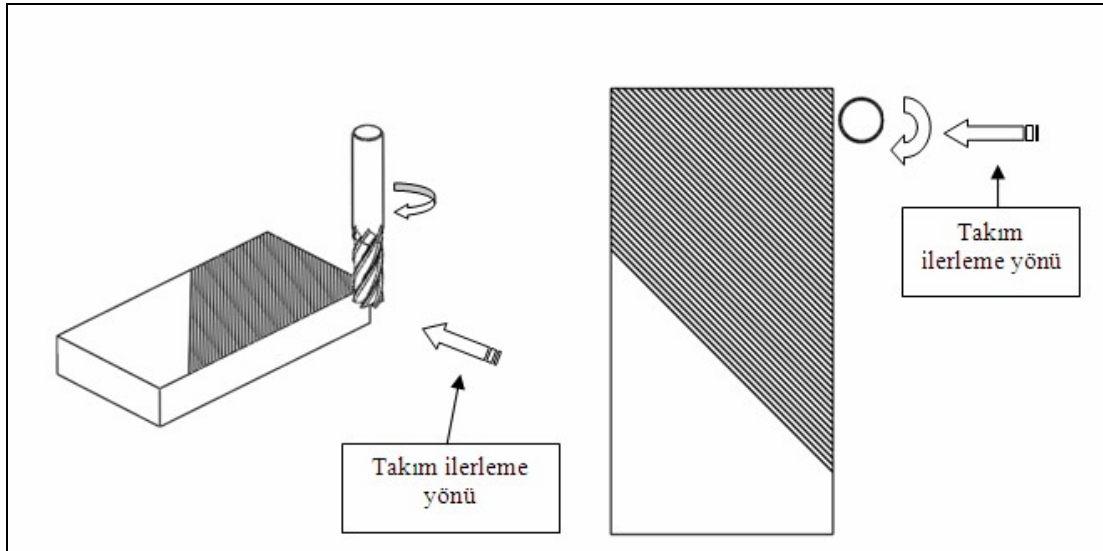
Kuvvet ölçümü için kullanılan dinamometre tezgah tablasına monte edilmiş ve deney numuneleri bu dinamometre üzerine bağlanmıştır. Her bir deneyde oluşan sinyaller dinamometre vasıtası ile amplifiere oradan da Dynoware yazılımı sayesinde bilgisayara aktarılmıştır.

Şekil 7.2’de deneylerde kullanılan malzemeye ait teknik resim ölçüleri verilmiştir.



Şekil 7.2. Deneylerde kullanılan malzemeye ait teknik resim ölçüleri (mm)

Şekil 7.3'te, deneylerde kullanılan üst tabakası 45° elyaf açılı karbon elyaf takviyeli kompozit malzemenin kesme işleminin yapılması esnasında kesici takıma ait ilerleme ve dönme yönleri gösterilmiştir.



Şekil 7.3. Kesici takım ilerleme ve dönme yönü

7.3. Deneylerde Kullanılan Kesici Takım ve Kesme Parametreleri

Kesme parametrelerinin kontrolü kompozit malzemelerde diğer malzemelere göre daha hassastır. Parametreler doğru seçilmediği takdirde kompozitin yapısındaki lifler ezilerek talaş kaldırma işlemi yapılmaya çalışılır, bu da malzemenin yapısında bulunan liflerin özelliğinin kaybolmasına neden olur. Kesici takımların kesme esnasında lif yapısını ezmesi kesici takımın kesme özelliğini yitirmesine dolayısı ile malzeme özelliğinin kaybolmasına neden olur. Bu sebeple kesici takım seçimi önem arz etmektedir. Deneylerde, Sandvik marka 10 mm çapında, 2 ağızlı 30° helis açılı kaplamasız, 2, 3 ve 4 ağızlı 30° helis açılı ve kaplamalı, 3 ve 4 ağızlı 45° helis açılı kaplamalı takım olmak üzere altı farklı karbür kesici takım kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kesici takımlar için, Taguchi optimizasyonunda harf kodlaması yapılmıştır. Çizelge 7.4'te deneylerde kullanılan kesici takımlara ait detaylar gösterilmiştir.

Çizelge 7.4. Deneylerde kullanılan kesici takımlar

Kesici Takım	Üretici Kodu	Taguchi Takım Kodu	Çap (mm)	Ağız Sayısı	Helis Açısı	Helis Boyu (mm)	Kesici Takım Boyu (mm)	Kesici Takım Resmi
Kaplamalı Karbür	R216.32-10030-AC19P	(b)	10	2	30°	19	72	
Kaplamasız Karbür	R216.32-10030-AC19A	(a)	10	2	30°	19	72	
Kaplamalı Karbür	R216.33-10030-AC19P	(e)	10	3	30°	19	72	
Kaplamalı Karbür	R216.33-10045-AC19P	(f)	10	3	45°	19	72	
Kaplamalı Karbür	R216.34-10030-AC22N	(d)	10	4	30°	22	72	
Kaplamalı Karbür	R216.34-10045-AC22N	(c)	10	4	45°	22	72	

Çizelge 7.5'te deneylerde kullanılan kaplamalı karbür kesici takımlara ait kaplama özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 7.5. Deneylerde kullanılan kaplamalı karbür kesici takım kaplama özellikleri

Kesici Takım Kalitesi	Kaplama Şekli	Kaplama Bileşimi	Kaplama Kalınlığı (μ)	Kesici Takım (Sement Karbür) Tane Büyüklüğü
GC1630	PVD	(Ti,Al)Nitrür	3~5	 (İnce)

Deneylerde üç farklı devir sayısı ve üç farklı ilerleme değerleri kullanılmıştır. Kullanılan bu kesme parametreleri Çizelge 7.6'da verilmiştir.

Çizelge 7.6. Kesme parametreleri

Devir Sayısı (dev/dak)	3800	4800	5800
İlerleme (mm/diş)	0,03	0,06	0,09

7.4. Taguchi Deney Düzenegi

Karbon elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin işlenebilirliği üzerinde özellikle uzay ve havacılık sanayisinde yapılan çalışmalar halen devam etmektedir. Buna bağlı olarak bu çalışmada, Taguchi optimizasyonu kullanılarak optimum sonuçlar elde etmek için kesme parametreleri için uygun faktörler ve seviyeler belirlenerek Taguchi deney düzenegi hazırlanmıştır. Çizelge 7.7’de elde edilen deney faktörleri ve seviyeleri ve Çizelge 7.8’de ise Taguchi L_{18} orthogonal deney düzeni verilmiştir.

Çizelge 7.7. Deney faktörleri ve seviyeleri

Sembol	Kesme Parametreleri	Seviyeler					
		1	2	3	4	5	6
A	Takım	a	b	c	d	e	f
B	Devir Sayısı (dev/dak)	3800	4800	5800	---	---	---
C	İlerleme (mm/diş)	0,03	0,06	0,09	---	---	---

Çizelge 7.8. Taguchi L_{18} deney düzeni (Orthogonal Array)

Deney No	A (Takım)	B (Devir Sayısı-dev/dak)	C (İlerleme-mm/diş)
1	a	3800	0,03
2	a	4800	0,06
3	a	5800	0,09
4	b	3800	0,03
5	b	4800	0,06
6	b	5800	0,09
7	c	3800	0,06
8	c	4800	0,09
9	c	5800	0,03
10	d	3800	0,09
11	d	4800	0,03
12	d	5800	0,06
13	e	3800	0,06
14	e	4800	0,09
15	e	5800	0,03
16	f	3800	0,09
17	f	4800	0,03
18	f	5800	0,06

8. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Deneylerde, karbon elyaf takviyeli polimer kompozit malzemenin frezelenmesi esnasında farklı kesici takımlarla, kesme parametrelerinin, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey hasarları üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Taguchi L_{18} deney düzeneğine göre 18 adet deney yapılmıştır. Deneylerde girdi olarak takım tipi ve kesme parametreleri kullanılarak, deneyler sonucunda kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey hasarları ile ilgili değerlendirmelerde bulunulmuştur.

8.1. Ölçüm Sonuçları

Deneyler sonucunda elde edilen çıktılar Çizelge 8.1’ de verilmiştir.

Çizelge 8.1. Deneysel çalışmadaki girdilere bağlı olarak elde edilen çıktılar

Deney No	Takımlar	Devir Sayısı (dev/dak)	İlerleme (mm/diş)	$R_{aOrt.}(\mu m)$	F_{xy} (N)
1	(a)	3800	0,03	1,147	101,8
2	(a)	4800	0,06	1,259	121,6
3	(a)	5800	0,09	1,406	129,7
4	(b)	3800	0,03	1,179	113
5	(b)	4800	0,06	1,231	132,6
6	(b)	5800	0,09	1,263	139
7	(c)	3800	0,06	1,4	98
8	(c)	4800	0,09	1,647	117,8
9	(c)	5800	0,03	1,078	91,3
10	(d)	3800	0,09	1,581	130,8
11	(d)	4800	0,03	1,093	113,3
12	(d)	5800	0,06	1,42	133,2
13	(e)	3800	0,06	1,191	112,8
14	(e)	4800	0,09	1,367	96,2
15	(e)	5800	0,03	1,181	101,8

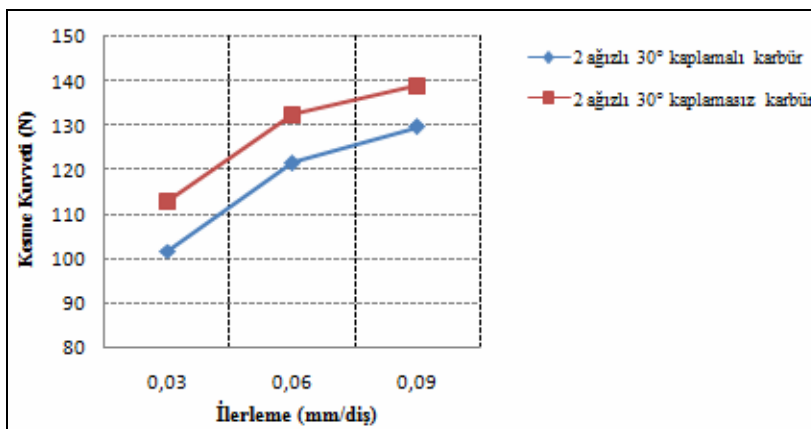
Çizelge 8.1. (Devam) Deneysel çalışmadaki girdilere bağlı olarak elde edilen çıktılar

16	(f)	3800	0,09	1,544	115,9
17	(f)	4800	0,03	1,173	96,4
18	(f)	5800	0,06	1,309	160,8

8.2. Frezeleme Esnasında Oluşan Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi

Kesme kuvvetleri, işleme esnasında oluşan herhangi bir değişken tarafından, doğrudan etkilenen en önemli çıkış değişkenlerinden biridir. Kesme kuvvetleri üzerinde etkili olan bu değişkenler; ilerleme hızı, kesme derinliği (radyal ve aksiyal) kesme hızı, takım ve talaş geometrisi, iş malzemesi, takım-tezgah çiftinin dinamik karakteristikleri, bağlama sistemi, takım kesme yüzeylerindeki aşınmanın gelişimi, sıcaklık ve titreşim gibi faktörlerdir. Takıma etki eden kesme kuvvetleri takım durumu hakkında önemli bilgi kaynağıdır. Bu bilgi işlenebilirliği, takım kırılmasını, takım aşınmasını, tırlamayı ve yüzey tamlığını anlamada kullanılabilir [109].

Karbon elyaf takviyeli kompozit malzemenin 2 ağızlı 30° helis açılı kaplamalı ve kaplamasız parmak freze ile frezelenmesi esnasında oluşan kesme kuvvetleri Şekil 8.1'deki gibi oluşmuştur.



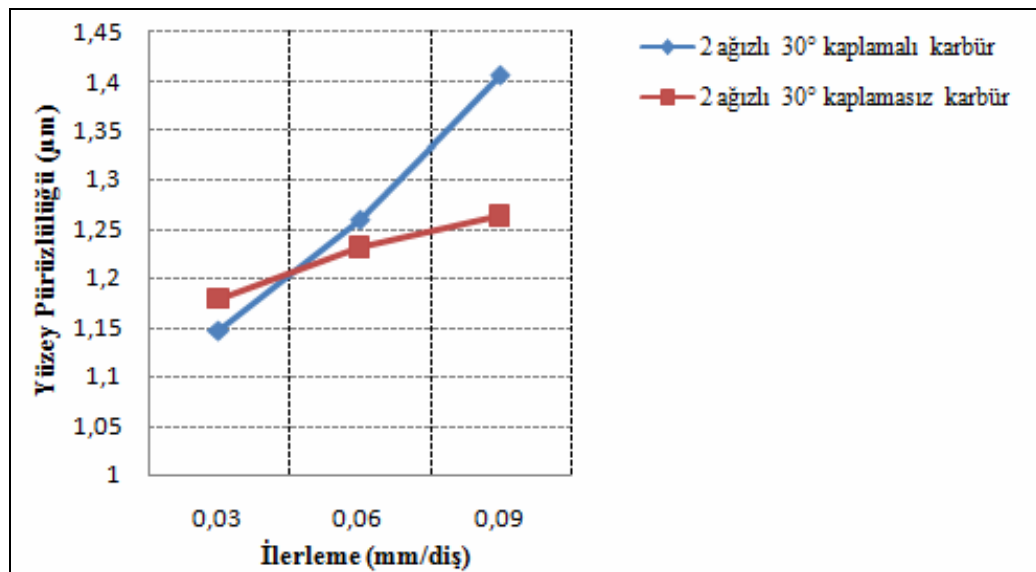
Şekil 8.1. Takım tipi ve ilerlemeye bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim

Şekil 8.1'de artan ilerlemeye bağlı olarak kaplamalı ve kaplamasız takımların her ikisinde de, kesme kuvvetlerinde artış olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak,

artan ilerleme ile birim zamanda kaldırılan talaş hacminin artmasıyla oluştuğu söylenebilir [110,111]. Kaplamalı kesici takım ile yapılan deneylerde, kaplamasız kesici takıma göre daha düşük kesme kuvvetleri oluşmuştur. Kesici takım üzerinde bulunan kaplama, kesici takımın sertliğini ve dayanımını arttırmaktadır. Ancak, kesici takım kaplaması daha düşük sürtünme katsayısına neden olduğu için kesme kuvvetleri kaplamalı takımlarda daha düşük olduğu gözlenmiştir. Buna bağlı olarak kesme kuvveti en az, en yavaş ilerlemede değerinde (0,03 mm/diş) kaplamalı takımında oluştuğu gözlenmiştir.

8.3. Frezeleme Esnasında Oluşan Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi

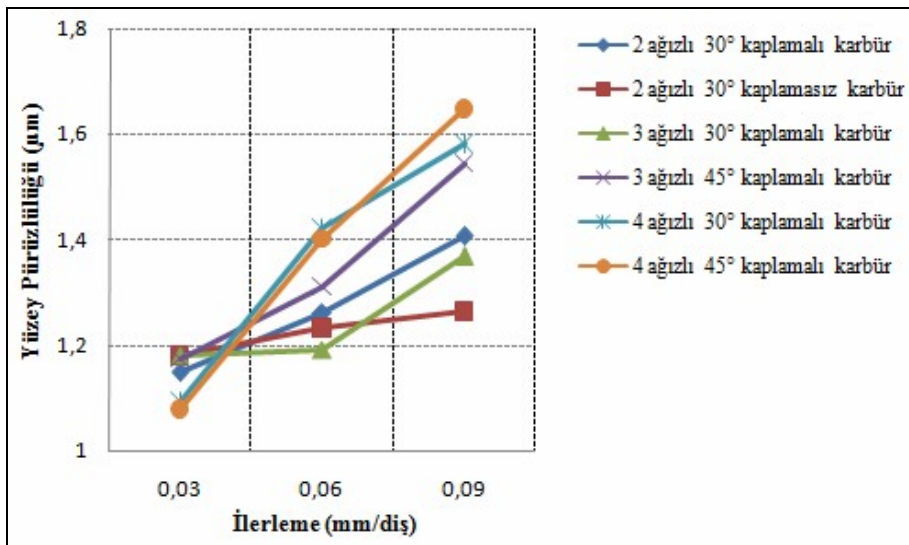
İki ağızlı kesici takımlarla karbon elyaf takviyeli kompozit malzemenin frezelenmesi esnasında oluşan yüzey pürüzlülüğü Şekil 8.2’de verilmiştir.



Şekil 8.2. Takım tipi ve artan ilerleme değerine bağlı yüzey pürüzlülüğündeki değişim

Şekil 8.2’de artan ilerleme değerlerine bağlı olarak kaplamalı ve kaplamasız karbür takım ile yapılan deneylerde yüzey pürüzlülüğünde artış olduğu gözlenmiştir. Bu durumun literatürde yapılan çalışmalarda da benzer olduğu gözlenmiştir [111,113,114]. Kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlar yüzey pürüzlülüğü açısından kıyaslandığında ise 0,03 ve 0,06 mm/diş ilerleme değerlerinde pürüzlülükler birbirine

çok yakın çıkarken yüksek ilerleme değerlerinde kaplamasız kesici takımlarla daha iyi yüzey kalitesi elde edilmiştir. İlerleme değerlerinin artışı ile kesici takım ve malzeme arasında ısının meydana geldiği ve kesici takım ile malzeme arasında kimyasal reaksiyona girme eğilimi gerçekleşmektedir. Bu durum da dolayısı ile kesici takım ve malzeme arasında kesici takım kaplamasının (TiAlN) özelliğini yitirmesi şeklinde açıklanabilir. Bunun yanında da kesici takım kaplama kalınlığının, kesici kenar formunda kalınlaşmasına neden olduğundan kesici takım, elyafları yukarıya doğru koparma eğilimine girmektedir. Dolayısıyla bu durumun gerçekleşmesi, yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olmaktadır. Şekil 8.3'te kullanılan tüm kesicilerle elde edilen ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülükleri verilmiştir.

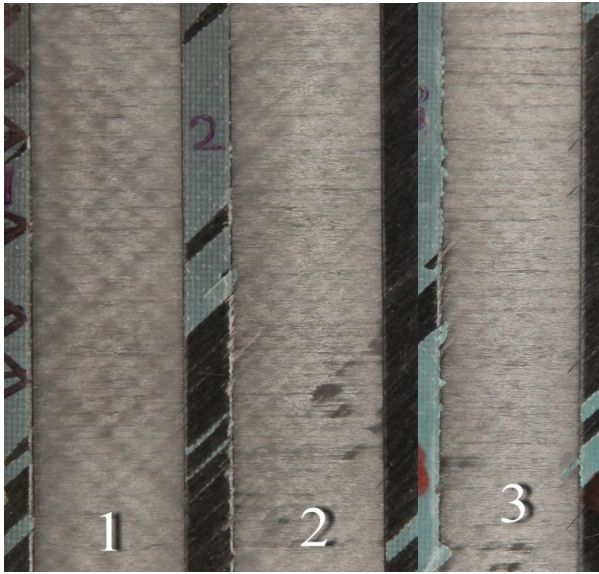


Şekil 8.3. Deneysel olarak kullanılan tüm takımlara ait ilerleme-yüzey pürüzlülüğü ilişkisi

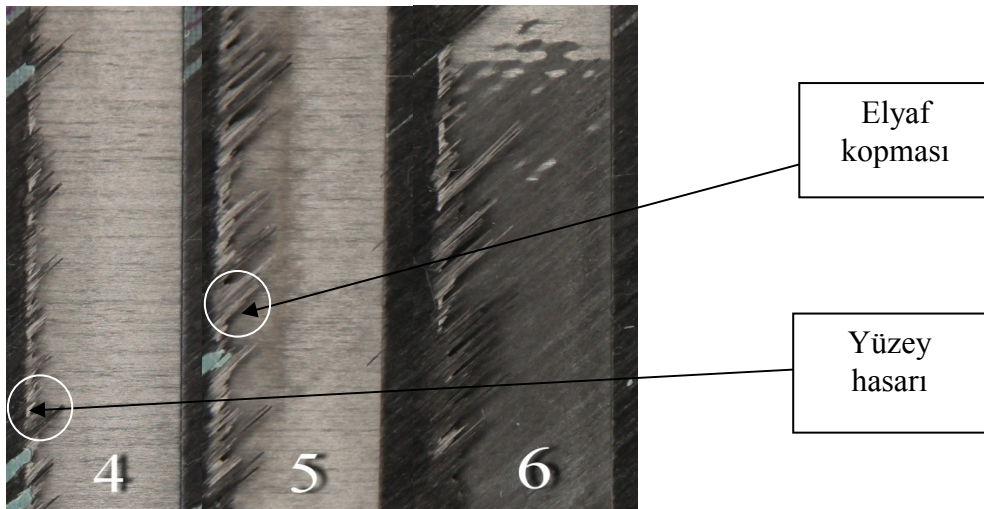
Şekil 8.3 incelendiğinde, tüm takımlarda ilerleme değerlerinin artmasıyla yüzey pürüzlülüğünde artış olduğu gözlenmiştir. Bu durumun beklenen bir sonuç olduğu ve literatürde de yapılan çalışmalarda benzer durumların meydana geldiği belirlenmiştir. [110, 112, 113]. Kesici takım ağız sayısı ve helis açısının artması ile de yüzey pürüzlülüğünde artış olduğu gözlenmiştir. Artan ilerleme değerlerine bağlı olarak tüm deneyler için en iyi yüzey kalitesi, 2 ağızlı 30° helis açılı kaplamasız karbür ile elde edilmiştir. Kesici kenar üzerindeki kaplama kalınlığı, kesme kenarının

kalınlaşmasına neden olmasının yanında kesici takım ağız sayısı ve helis açısının artması da yüzey kalitesi üzerinde kaplamasız karbür kesici takımlara göre olumsuz bir etkiye neden olmuştur.

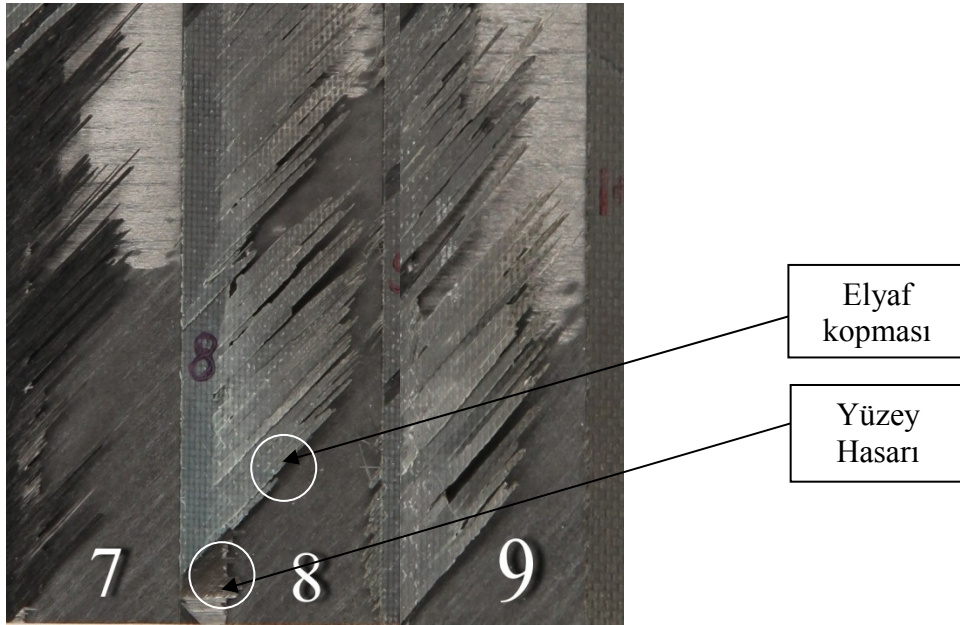
Aşağıda gösterilen resimlerde, Çizelge 8.1’de bulunan deney sırasına göre frezeleme işlemi yapılmış malzemelerin elyaf kopması ve yüzey hasar görüntüleri verilmiştir.



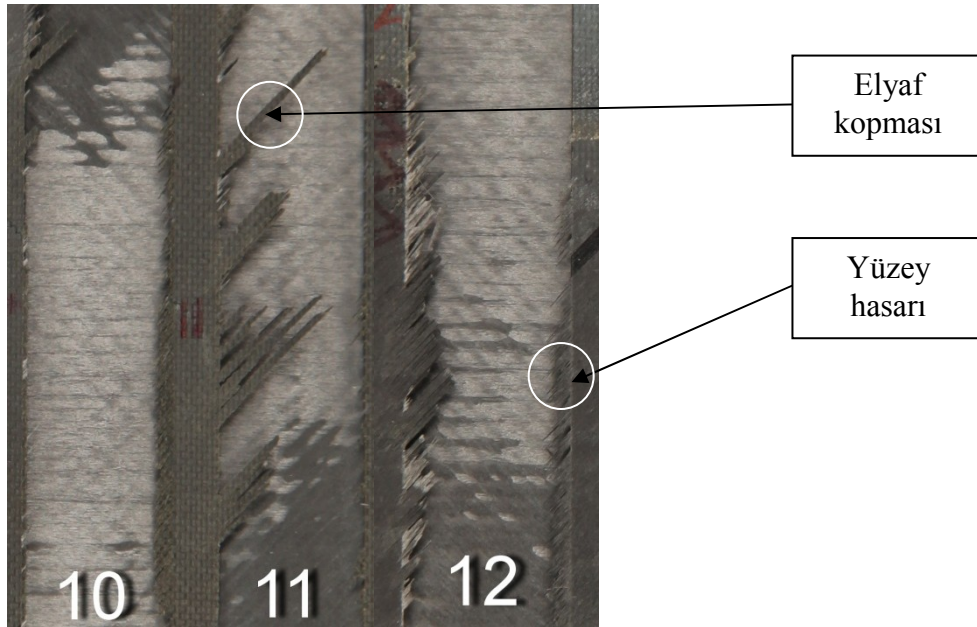
Resim 8.1. 2 ağızlı 30° helis açılı kaplamasız karbür kesici takımlarla yapılan deneyler sonrası yüzey hasar görüntüsü



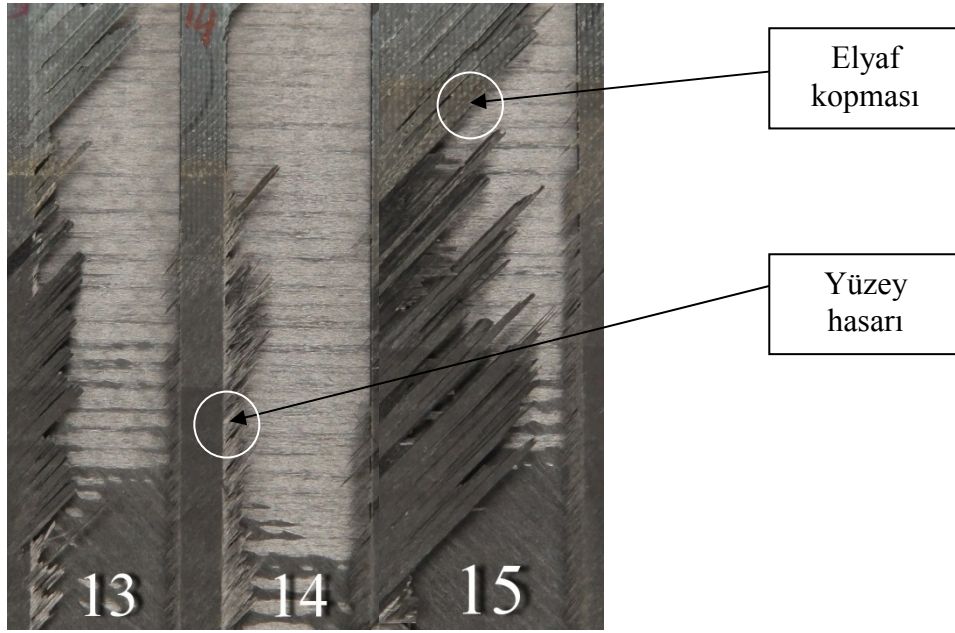
Resim 8.2. 2 ağızlı 30° helis açılı kaplamalı karbür kesici takımlarla yapılan deneyler sonrası yüzey hasar görüntüsü



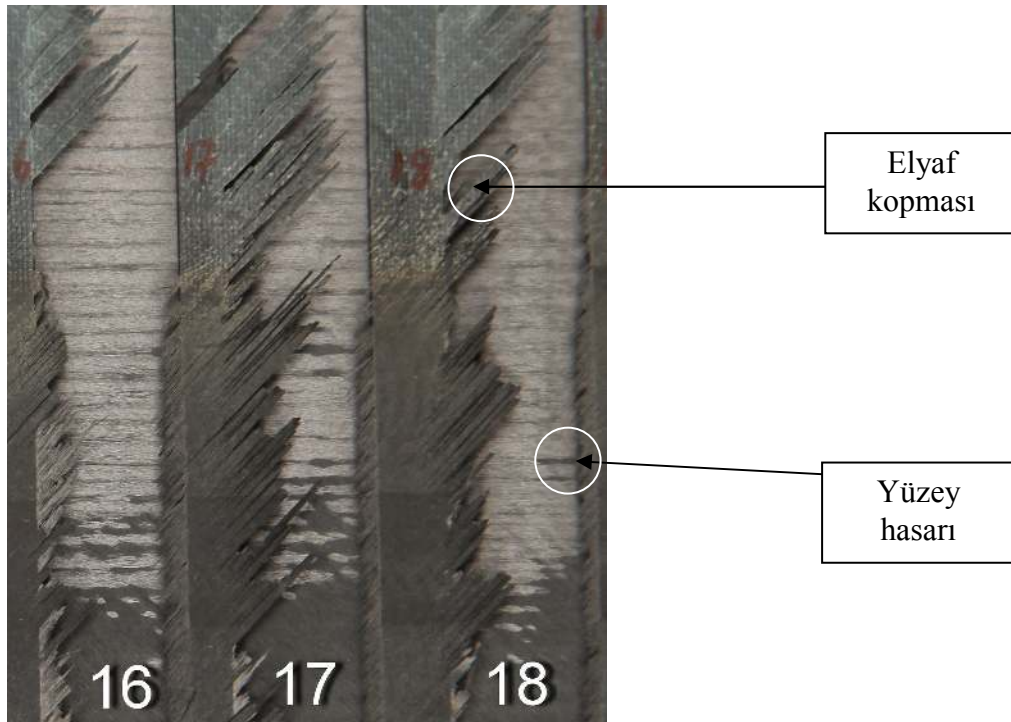
Resim 8.3. 4 Ağızlı 45° helis açılı kaplamalı karbür kesici takımlarla yapılan deneyler sonrası oluşan yüzey hasar görüntüsü



Resim 8.4. 4 Ağızlı 30° helis açılı kaplamalı karbür kesici takımlarla yapılan deneyler sonrası oluşan yüzey hasar görüntüsü



Resim 8.5. 3 Ağızlı 30° helis açılı kaplamalı karbür kesici takımlarla yapılan deneyler sonrası oluşan yüzey hasar görüntüsü



Resim 8.6. 3 Ağızlı 45° helis açılı kaplamalı karbür kesici takımlarla yapılan deneyler sonrası oluşan yüzey hasar görüntüsü

Yukarıdaki yüzey hasar resimleri incelendiğinde, yüzey hasar durumları ile yüzey pürüzlülüğü arasında doğru orantılı bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, artan kesici takım helis açısı, ağız sayısı ve ilerleme değerlerine bağlı olarak da yüzey hasarlarında da artış olduğu tespit edilmiştir. Daha küçük helis açılı ve ağız sayısı az olan kesici takımlar ile yapılan deneylerde, daha az yüzey hasarlarının oluştuğu tespit edilmiştir. (Resim 8.1)

Kaplamalı karbür kesici takımlarda, helis açısı arttıkça kesici kenar, lifleri kesmekten ziyade koparmaya zorladığı söylenebilir. Bu durum, helis açısının artmasıyla kesici kenarın temas uzunluğunun artmasından kaynaklanmaktadır. Kesici kenar uzunluğunun büyük olması, kesici takım kesme kenarı ile malzeme arasındaki sürtünme mesafesini arttıracığından bu durum yüzey hasarının oluşmasına neden olmaktadır. Ayrıca, kesici takım kaplamasının kalınlığından dolayı, kaplamasız karbür kesici takımlara göre kesici kenar keskinliği azalmıştır. Bu nedenle kaplamalı kesiciler kaplamasız kesicilere nazaran ezerek kesme işlemi gerçekleşmiştir.

Kesici takım ağız sayısının artması ile de yüzey hasarlarında yüzey pürüzlülüğünde de olduğu gibi artış gözlenmiştir. Bu durum da, artan ağız sayısı ile kesici takım ile malzeme arasındaki temas uzunluğunun artmasından kaynaklandığı şeklinde açıklanabilir. Ayrıca artan ilerleme değerleri, birim zamanda kaldırılan talaş miktarını arttırdığından yüzey pürüzlülüğü ve yüzey hasarı üzerinde olumsuz etki yapmıştır.

Deneyler sonucunda kesici takımlarda kayda değer bir aşınma olmadığı (Resim 8.7) ve kesme işlemi esnasında, talaşın toz şeklinde oluştuğu gözlenmiştir.



(a)



(b)

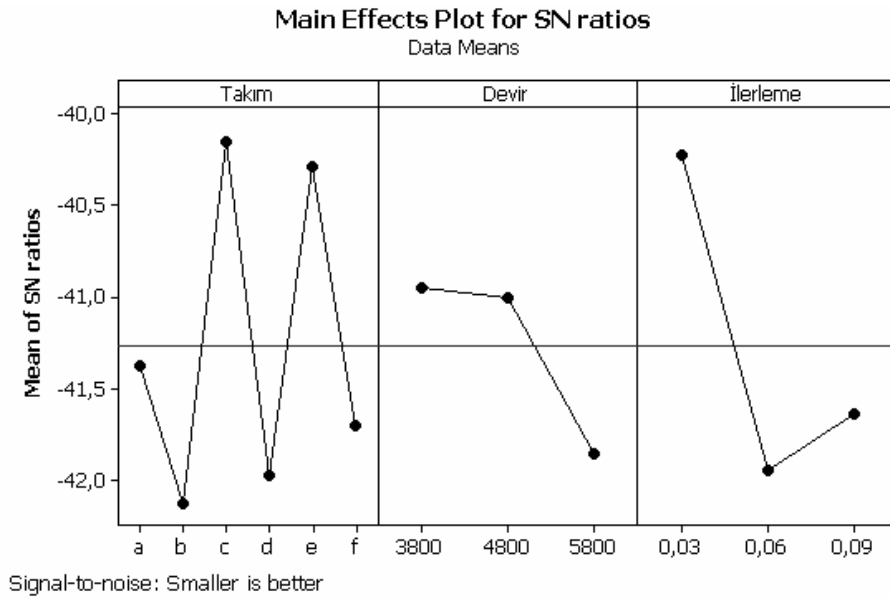
Resim 8.7. Kesici takım uç bölgesi

8.4. Frezeleme Esnasında Oluşan Kesme Kuvveti ve Yüzey Pürüzlülüğünün Taguchi Metoduyla Analiz Edilmesi ve Değerlendirilmesi

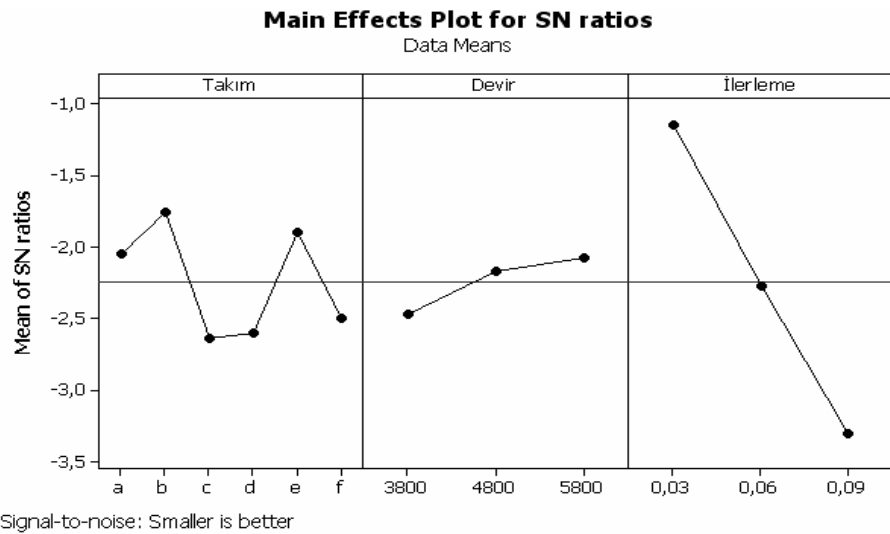
Çizelge 8.2. Taguchi L_{18} deney tasarımına göre deney sonuçları ve sinyal/gürültü oranları

Deney No	A	B	C	F_{xy}		R_a	
				Kesme Kuvveti (N)	S/N (dB)	Yüzey Pürüzlülüğü (R_a)	S/N (dB)
1	a	3800	0,03	101,8	40,1550	1,147	1,19127
2	a	4800	0,06	121,6	41,6987	1,259	2,00051
3	a	5800	0,09	129,7	42,2588	1,406	2,95971
4	b	3800	0,03	113,0	41,0616	1,179	1,43028
5	b	4800	0,06	132,6	42,4509	1,231	1,80516
6	b	5800	0,09	139,0	42,8603	1,263	2,02807
7	c	3800	0,06	98,0	39,8245	1,400	2,92256
8	c	4800	0,09	117,8	41,4229	1,647	4,33387
9	c	5800	0,03	91,3	39,2094	1,078	0,65238
12	d	5800	0,06	133,2	42,4901	1,420	3,04577
13	e	3800	0,06	112,8	41,0462	1,191	1,51824
14	e	4800	0,09	96,2	39,6635	1,367	2,71537
15	e	5800	0,03	101,8	40,1550	1,181	1,44500
16	f	3800	0,09	115,9	41,2817	1,544	3,77295
17	f	4800	0,03	96,4	39,6815	1,173	1,38596
18	f	5800	0,06	160,8	44,1257	1,309	2,33879

Yapılan deneysel sonuçlara bağlı olarak oluşan S/N oranları ile optimal parametreler tahmin edilmiştir. Şekil 8.4'te kesme kuvveti, Şekil 8.5'te ise yüzey pürüzlülüğü değerlerine bağlı olarak kontrol faktörlerinin S/N (Sinyal/Gürültü) oran grafikleri verilmiştir.



Şekil 8.4. Kesme kuvveti için S/N oranları ana etki grafiği



Şekil 8.5. Yüzey pürüzlülüğü için S/N oranları ana etki grafiği

Şekil 8.4'te kesme kuvveti için yapılan Taguchi optimizasyonundan faydalanılarak elde edilen kesme parametreleri "A3B1C1" olarak bulunmuştur. Bu seçim yapılırken her bir parametrenin en yüksek S/N oranı değeri o parametreye ait seviyelerin optimum olanını belirttiği dikkate alınarak seçim yapılmıştır [114].

Ortaya çıkan optimal parametrelerin seviyeleri aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

A3: 4 Ağızlı 45° helis açılı kaplamalı karbür

B1: 3800 dev/dak

C1: 0,03 mm/diş ilerleme miktarını ifade etmektedir.

Şekil 8.5'te ise yüzey pürüzlülüğü için yapılan Taguchi optimizasyonundan faydalanılarak elde edilen kesme parametreleri "A2B3C1" olarak bulunmuştur.

Bu bölümde ise ;

A2 : 2 Ağızlı 30° helis açılı kaplamasız karbür

B3 : 5800 dev/dak

C1 : 0,03 mm/diş ilerleme miktarını ifade etmektedir.

Yapılan optimizasyon işlemi değerlendirildiğinde, kesme kuvvetleri açısından büyük helis açılı ve fazla ağız sayılı kesiciler daha iyi (optimum) çıksa da esas olarak yüzey pürüzlülüğü ve yüzey hasarları bakımından düşük helis açılı ve az ağız sayılı kesici takımlar daha iyi (optimum) sonuçlar vermiştir.

8.5. Varyans Analizi (ANOVA) ile Parametrelerin Değerlendirilmesi

Her bir deney için kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapılarak ölçümler arasındaki değişimlerin hangi etmenlerden kaynaklandığının etkisini araştırmak için varyans analizi kullanılmıştır. Kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin varyans analizi sonuçları Çizelge 8.3 ve Çizelge 8.4'te verilmiştir.

Çizelge 8.3. Kesme kuvvetine ait sinyal/gürültü oranları için ANOVA sonuçları

	Kesme Parametreleri	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Düzeltilme Ort.	Kareler Ort.	Hata	P
A	Kesici Takım	5	10,87	10,87	2,174	2,93	0,086
B	Devir Sayısı	2	3,067	3,067	1,5337	2,06	0,189
C	İlerleme	2	10,052	10,052	5,0262	6,76	0,019
Hata		8	5,945	5,945	0,7431		
Toplam		17	29,934				

Çizelge 8.3 incelendiğinde %95 istatistiksel olarak güven düzeyinde, kesme kuvvetlerinde meydana gelen değişimler üzerinde en etkili parametrenin ilerleme olduğu açıkça görülmektedir ($P=0.019$). $P=0.189$ değeriyle devir sayısının önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Çizelge 8.4. Yüzey pürüzlülüğüne ait sinyal/gürültü oranları için ANOVA sonuçları

	Kesme Parametreleri	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Düzeltilme Ort.	Kareler Ort.	Hata	P
A	Kesici Takım	5	2,2355	2,2355	0,4471	1	0,477
B	Devir Sayısı	2	0,5018	0,5018	0,2509	0,56	0,593
C	İlerleme	2	13,9017	13,9017	6,9509	15,49	0,002
Hata		8	3,5904	3,5904	0,4488		
Toplam		17	20,2295				

Çizelge 8.4'te yüzey pürüzlülüğü için verilen değerler incelendiğinde, yüzey pürüzlülüğünde meydana gelen değişimler üzerinde de en etkili parametrenin ilerleme olduğu görülmüştür ($P=0.002$). Takım ve devir sayısı parametrelerinin çok az etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

8.6. Doğrulama Deneyleri ve Sonuçları

Taguchi optimizasyonu için en iyi tahmin sonuçları elde edildikten sonra optimizasyonun doğruluğunu test etmek için doğrulama deneyleri yapılmıştır. Taguchi deney tasarımı; deney parametrelerinin optimal seviyelerinin seçiminden sonraki adım optimum parametre için ölçüm sonucunun tahmini ve gerçek ölçüm ile karşılaştırılarak ortaya çıkan farkın belirlenmesidir [115].

Kesme kuvveti için “A3B1C1”, yüzey pürüzlülüğü için “A2B3C1” tespit edilen optimal parametreler ile yapılan doğrulama deneyleri sonuçları ile tahmin değerleri karşılaştırılmıştır (Çizelge 8.5 ve 8.6). Sonuçlara bakıldığında her iki performans karakteri için (kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü) gerçek değerler ile tahmin edilen değerler arasında oldukça iyi bir uyum olduğu gözlenmiştir. Yapılan Taguchi uygulamasından elde edilen optimum kesme parametresi için S/N oranlarında

başlangıç parametrelerine göre kesme kuvvetinde 0,8536 dB ve yüzey pürüzlülüğünde ise 0,3249 dB iyileşme olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 8.5. Kesme kuvveti için optimum parametreler

	Başlangıç Kesme Parametresi	Optimum Kesme Parametreleri	
		Tahmini	Deneyisel
Seviye	A1B2C3	A3B1C1	A3B1C1
Kesme Kuvveti, (N)	101,5	83,35	92
S/N oranı (dB)	-40,1293	-38,7934	-39,2757
İyileştirme oranı S/N	0,8536 dB		
Tahmini hata (dB)	0,4823		

Kesme kuvvetine bağlı olarak geliştirilen sinyal/gürültü oranı (S/N);

$$S/N = (-40,1293) - (-39,2757) = 0,8537 \text{ dB ve } 101,5/92 = 1,1032$$

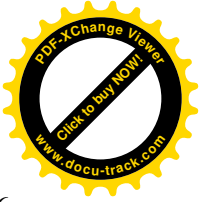
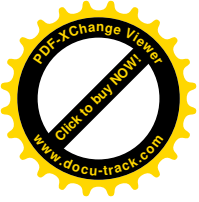
iyileştirme yapılmıştır. Karbon elyaf takviyeli kompozit malzemenin frezelenmesinde kesme kuvveti için yapılan optimizasyonda iyileştirme oranı %110 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 8.6. Yüzey pürüzlülüğü için optimum parametreler

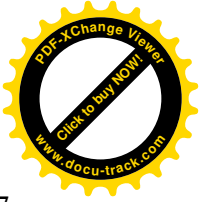
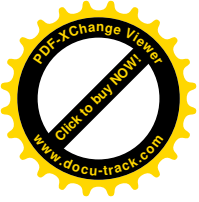
	Başlangıç Kesme Parametresi	Optimum Kesme Parametreleri	
		Tahmini	Deneyisel
Seviye	A1B2C2	A2B3C1	A2B3C1
Yüzey Pürüzlülüğü, R_a	1,259	1,034	1,207
S/N oranı (dB)	2,00	-0,5015	-1,6741
İyileştirme oranı S/N	0,3249 dB		
Tahmini hata (dB)	1,1726		

Yüzey pürüzlülüğü için geliştirilen Taguchi optimizasyonunda;

$$S/N = (2,00) - (-1,6741) = 0,3249 \text{ dB ve } (1,259/1,207) = 1,0430 \text{ iyileştirme yapılmıştır.}$$



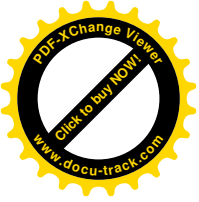
Karbon elyaf takviyeli kompozit malzemenin frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğü için yapılan Taguchi optimizasyonunda iyileştirme oranı % 104 olarak belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, kesme kuvveti için yapılan optimizasyonda, deneysel veriler ile optimizasyon sonucunda elde edilen veriler arasında ciddi bir uyum olduğu gözlenmiştir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü için de yapılan optimizasyonda, deneysel verilerle optimizasyon sonucunda elde edilen veriler arasında da ciddi bir uyum olduğu gözlenmiştir. Taguchi optimizasyonu, yapılan bu çalışmada, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından etkin bir şekilde kullanımı ortaya konmuştur.



9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada, deneysel veriler, Taguchi optimizasyonu ve ANOVA (varyans analizi) kullanılarak yapılan değerlendirmeler aşağıdaki gibi özetlenebilir;

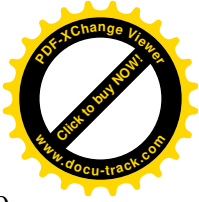
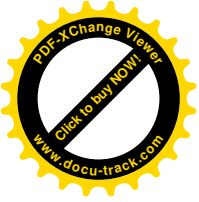
- Bütün kesici takımlarda artan ilerlemeye bağlı olarak hem kesme kuvvetlerinde hem de yüzey pürüzlülüklerinde artış olduğu gözlenmiştir.
- Kaplamasız takım ile yapılan deneylerde, daha iyi yüzey kalitesi ve daha az yüzey hasarının elde edildiği gözlenmiştir.
- Kesici takımlarda ağız sayısı ve helis açısı arttıkça, yüzey pürüzlülüğü değerlerinde ve yüzey hasarlarında artış olduğu gözlenmiştir.
- Kesme kuvveti için yapılan Taguchi optimizasyonu sonucunda, uygun kesme parametreleri 4 ağızlı 45° helis açılı kaplamalı karbür kesici takım kullanılarak, devir sayısı 3800 dev/dak ve ilerleme değeri 0,03 mm/diş olarak bulunmuştur (A3B1C1).
- Yüzey pürüzlülüğü için yapılan optimizasyon sonucunda uygun kesme parametreleri, 2 ağızlı 30° helis açılı kaplamasız karbür takım kullanılarak, devir sayısı 5800 dev/dak ve ilerleme değeri 0,03 mm/diş olarak bulunmuştur (A2B3C1).
- En düşük kesme kuvvetleri en fazla ağız sayısı ve en büyük helis açısına sahip kesici takımlarda oluşurken, en iyi yüzey pürüzlülüğü ve en az yüzey hasarları, ağız sayısı az, helis açısı küçük kesici takımlarla elde edilmiştir.
- Karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme için belirlenen kesme parametreleri ile yapılan deneyler sonucunda, Taguchi optimizasyonu ile kesme kuvveti için 1,1032 iyileştirme oranı elde edilirken yüzey pürüzlülüğü için 1,0430 iyileştirme oranı elde edilmiştir.



- Yapılan deneyler sonucunda, elde edilen veriler ile ANOVA (varyans analizi) uygulandığında, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkin parametrenin ilerleme olduğu belirlenmiştir.
- Kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü için yapılan Taguchi optimizasyonu ile deney sonuçları arasında iyi bir uyum olduğu gözlenmiştir.

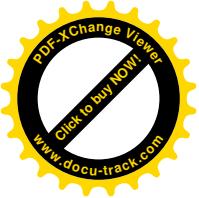
Yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilere göre şu öneriler yapılabilir;

- Yapılan deneysel çalışma sonucunda, farklı elyaf açlarına sahip karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin frezeleme performansının araştırılması yapılabilir.
- Taguchi optimizasyonu ve ANOVA'ya (varyans analizine) ek olarak yapay sinir ağları (artificial neural network) ve regresyon analizi de kullanılabilir.
- Yüzey hasarlarını azaltmak için farklı profillere sahip kesici takımlar tasarlanıp bunlarda deneysel çalışmalar yapılabilir.

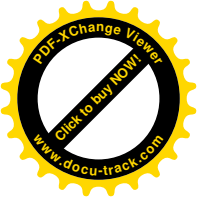


KAYNAKLAR

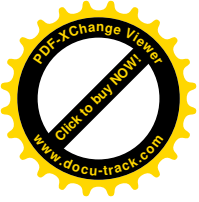
1. Erbay, K., “Silah Gövdeleri İçin Polimer Esaslı Kompozit Malzeme Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Trabzon, 1 (2009).
2. Okutan, E., “Polimer Kompozitlerin Matkapla Delinme Karakteristiklerinin ve Oluşan Mekanizmalarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kocaeli, 1 (2009).
3. Demirel, A., “Karbon Elyaf Takviyeli Epoksi Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1 (2007).
4. Canpolat, N., “Değişik Takviyeli Kompozit Malzemenin Matkapla Delinebilirliğinin ve Yüzey Pürüzlülüğünün Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 1-2 (2008).
5. Çakır, C., “Modern Talaşlı İmalatın Esasları”, **Nobel Basımevi**, Kasım, 993:83, 215 (2006)
6. Rusinek R., “Cutting Process of Composite Materials: An Experimental Study”, **International Journal of Non-Linear Mechanics**, 45:458-462 (2010).
7. Davim, J.P., Reis, P., “Damage and Dimensional Precision on Milling Carbon Fiber-Reinforced Plastics Using Design Experiments”, **Journal of Materials Processing Technology**, 160:160-167 (2005).
8. Berger, D., Bleicher, F., Dorn, C., Puschtitz, F., “Optimised Machining of Fibre Reinforced Material”, **Daaam International Scientific Book**, Vienna, Austria, 3:27-34 (2008).
9. Denkana, B., Boehnke, D., Dege, J.H., “Helical Milling of CFRP-Titanium Layer Compounds”, **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, 1:64-69 (2008).
10. Kalla, D., Sheik-Ahmad, J., Twomey, J., “Prediction of Cutting Forces in Helical End Milling Fiber Reinforced Polymers”, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 50:882-891 (2010).
11. Erkan, Ö., Işık, B., “Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemenin İşlenmesi Esnasında Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin İncelenmesi”, **5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS 09)**, Karabük, 1-6 (2009).
12. Shyha, I.S., Aspinwall, D.K., Soo, S.L., Bradley, S., “Drill Geometry and Operating Effects When Cutting Small Diameter Holes in CFRP”, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 49:1008-1014 (2009).



13. Davim, J.P., Rubio, J.C., Abrao, A.M., “ A Novel Approach Based on Digital Image Analysis to Evaluate the Delamination Factor After Drilling Composite Laminates”, ***Composite Science and Technology*** ,67:1939-1945 (2007).
14. Karnik, S.R., Gaitonde, V.N., Rubio, J.C., Correia, A.E., Abrao, A.M., Davim, J.P., “Delamination Analysis in High Speed Drilling of Carbon Fiber Reinforced Plastics (CFRP) Using Artificial Neural Network Model”, ***Materials and Design***, 29:1768-1776 (2008).
15. Davim, J.P., Reis, P., “Drilling Carbon Fiber Reinforced Plastics Manufactured by Autoclave-Experimental and Statistical Study”, ***Materials and Design*** , 24:315-324 (2004).
16. Davim, J.P., Reis, P., “Study of Delamination in Drilling Carbon Fiber Reinforced Plastics (CFRP) Using Experiments”, ***Composite Structures***, 59:481-487 (2003).
17. Tsao, C.C., Hocheng, H., “Effect of Tool Wear on Delamination in Drilling Composite Materials”, ***International Journal of Mechanical Sciences***, 49:983-988 (2007).
18. Wang, X., Wang, L.J., Tao, J.P., “Investigation on Thrust in Vibration Drilling of Fiber-Reinforced Plastics”, ***Journal of Materials Processing Technology***, 148:239-244 (2004).
19. Davim, J.P., Reis, P., Antonio, C.C., “Drilling Fiber Reinforced Plastics (FRPs) Manufactured by Hand Lay-Up:Influence of Matrix (Viapal VUP 9731 and ATLAC 382-05)”, ***Journal of Materials Processing Technology***, 155-156:1828-1833 (2004).
20. Ekici, E., ”Cam Elyaf Takviyeli Polimer Kompozit Malzemenin Delinmesi Esnasında Oluşan Yüzey Hasarının Deneysel Olarak İncelenmesi”, ***Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS)***, Karabük, 1-6 (2009).
21. Ferreira, J.R., Coppini, N.L., Miranda G.W.A., “Machining Optimisation in Carbon Fibre Reinforced Composite Materials”, ***Journal of Materials Processing Technology***, 92-93:135-140 (1999).
22. Kim, S.K., Lee, G.D., Kwak, K.Y., Namgung, S., “Machinability of Carbon Fiber-Epoxy Composite Materials in Turning”, ***Journal of Materials Processing Technology***, 32:553-570 (1992).
23. Santhanakrisnan, G., Krishnamurthy, R., Malhotra, S.K., “Machinability Characteristics of Fibre Reinforced Plastics Composites”, ***Journal of Mechanical Working Technology***, 17:195-204 (1988).
24. Sreejith, P.S., Krishnamurthy, R., Malhotra, S.K., “Effect of Specific Cutting Pressure and Temperature During Machining of Carbon/Phenolic Ablative

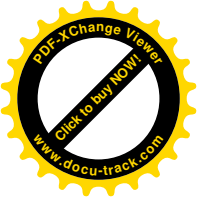


- Composite Using PCBN Tools”, *Journal of Materials Processing Technology*, 183:88-95 (2007).
25. Hocheng, H., Puw, H.Y., Huang, Y., “Preliminary Study on Milling of Unidirectional Carbon Fibre-Reinforced Plastics”, *Composites Manufacturing*, 4:103-108 (1993).
 26. Rahman, M., Ramakrishna, S., Prakash, J.R.S., Tan, D.C.G., “Machinability Study of Carbon Fiber Reinforced Composite”, *Journal of Materials Processing Technology*, 89-90, 292-297 (1999).
 27. Santiuste, C., Soldani, X., Miguelez, M.H., “Machining FEM Model of Long Fiber Composites for Aeronautical Components”, *Composite Structures*, 92:691-698 (2010).
 28. Dokur, M.M., “Karbon Fiber Esaslı Polimerik Matrisli Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 57-58 (2009).
 29. Hu, N.S., Zhang, L.C., “Some Observations in Grinding Unidirectional Carbon Fibre-Reinforced Plastics”, *Journal of Materials Processing Technology*, 152:333-338 (2004).
 30. Venu, G.R.G., Mahajan, P., Bhatnagar, N., “Three-Dimensional Macro-Mechanical Finite Element Model for Machining of Unidirectional-Fiber Reinforced Polymer Composites”, *Materials Science and Engineering*, 498:142-149 (2008).
 31. Ramulu, M., “Machining and Mechanical Engineering”, *University of Washington*, 22:449-472 (1997).
 32. Venu, G.R.G., Mahajan, P., Bhatnagar, N., “Micro-Mechanical Modeling of Machining of FRP Composites-Cutting Force Analysis”, *Composites Science and Technology*, 67:579-593 (2007).
 33. Altan, E., Kıyak, M., Çakır, O., “*9.Denizli Malzeme Sempozyumu*”, 1(9):341-347 (2002).
 34. Bahçeci, E., “Al Matrisli α -Si₃N₄ Takviyeli Kompozit Malzeme Üretimi ve İşlenebilirliğinin Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 122-123 (2006).
 35. Çiftçi, İ., “Alüminyum Esaslı Kompozitlerde Takviye Oranı ve Boyutu Mekanik Özellikler ve İşlenebilirlik Üzerine Etkisi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 118-120 (2003).
 36. Sur, G., “Karma Takviyeli Alüminyum Matriksli Kompozitlerin Üretimi, Mekanik Özellikler Ve İşlenebilirliklerinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi*

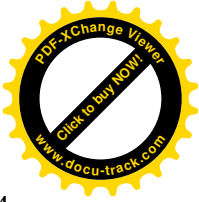
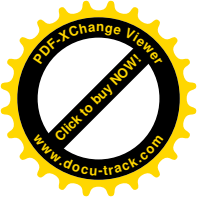


Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 226-231 (2008).

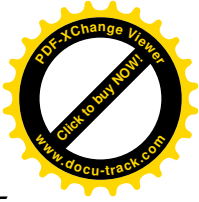
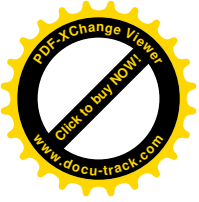
37. Çelik, A., "Nikel Esaslı Süper Alaşımların Talaşlı İşlenmesi İçin SiAlON Esaslı Kompozit Malzemelerin Geliştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 90-91 (2006).
38. Akçay, C.E., "Alümina Takviyeli Alüminyum Takviyeli Kompozitlerin Frezelenmesinde Kesme Parametrelerinin İşleme Performansına Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 94-96 (2008).
39. Ersoy, H., "Kompozit Malzemeler", *Literatür Yayıncılık*, İstanbul, 1-15(2001).
40. Parlak, Ş., "Çelik Talaşları ile Takviyeli Dökme Demir Kompozitlerinin İşlenebilirliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 6-7 (2006).
41. Sur, G., "Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Üretimi ve İşlenebilirliğinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-40 (2002).
42. Sabancı, Ş., "Fiber Takviyeli Polimer Matriksli Kompozitlerin Enjeksiyon Yöntemiyle Üretimi", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 8 (2005).
43. Schwartz, M.M., "Composite Material Handbook", *McGraw-Hill Inc*, USA, 1-50 (1994).
44. Ersoy, H.Y., "Kompozit Malzeme", *Literatür Yayıncılık*, İstanbul, 11-15, 95-105, 110-116 (2001).
45. Saçak, M., "Polimer Kimyası", *Gazi Kitabevi*, Ankara, 85-89, 221-224, 275-297, 393-397 (2002).
46. Budinski K.G., "Engineering Materials Properties and Selection", *Prentice Hall*, New Jersey, USA, 119-145 (1996).
47. İnternet : Hava Harp Okulu "Havacılık Sanayinde Kullanılan Plastik Matrisli Kompozit Malzemeler" <http://www.hho.edu.tr/huten/2003>, (2003).
48. De Lacalle, L.N.L., Lamıkız, A., Campa, F.J., Valdivielso, A.F., "Design and Test of a Multitooth Tool for CFRP Milling", *Journal of Composite Material*, 43:3275 (2009).
49. Potyrala, P.B., "Use of Fibre Reinforced Polymer Composites in Bridge Construction", *Catalunya Politechnic University (UPC)*, Barcelona, 9 (2011).



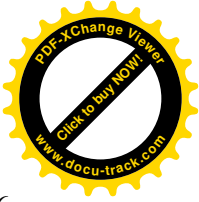
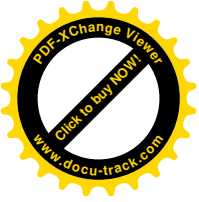
50. Demircioğlu, G., “Kısa Cam Elyaf Takviyeli Epoksi Kompozit Malzemelerde Elyaf Boyutunun Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 19 (2006).
51. Lubin, G., “Handbook of Fiberglass and Advanced Plastic Composites”, **Van Nostrand Reinhold Company**, New York, 143-181, 46-84 (1969).
52. Saçak, M., “Polimer Teknolojisi”, **Gazi Kitabevi**, 275-296 (2005).
53. Bingöl, C.Y., “Karbon-Fiber Takviyeli Polimer Matrisli Kompozit Bisiklet Kadrosu Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 35-36 (2008).
54. Yıldızhan, H., “Polimer Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Isparta, 7-8 (2008).
55. A.S.M. International, “Composite Materials I the Basics”, **Materials Engineering Institute**, Ohio, 10-15 (1984).
56. Schwartz, M.M., “Composite Materials Handbook”, **McGraw-Hill Inc.**, 8-26 (1984).
57. Chawla, K.K., “Composite Materials Science and Engineering”, **Springer Verlag New York Inc.**, 140-283 (1987).
58. İnternet : Yıldız Teknik Üniversitesi “Metal Matrisli Kompozit Malzemeler ve Üretim Yöntemleri” http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/imalattakompozit/MMK_son.pdf (2008)
59. Zhou, C.W., Yang, W., Fang D.N., “Mesofracture of Metal Matrix Composites Reinforced by Particles of Large Volume Fraction”, **Theoretical and Applied Fracture Mechanics**, 41: 311-326 (2004).
60. Jacobs, A. J., Kilduff, T. F., “Engineering Materials Technology: Structure, Processing, Properties and Selection”, 5. Edition, **Prentice-Hall Inc.**, USA, 357-397, 645-749 (2005).
61. Brick, B.M., Gordon, R.B., Philips, A., “Structure and Properties of Alloy”, Third Edition, **McGraw-Hill Book Company**, 210–430 (1965).
62. İnem, B., “The Development of the Structures and Properties of Magnesium Matrix Silicon Carbide Reinforced Composites”, Ph.D Thesis, **School of Materials, University of Leeds, England, Leeds**, 1-50 (1993).
63. Hüner, Ü., “Plastik Esaslı Kompozit Malzemelerin Sıcak Birleştirme İşlemlerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Edirne, 28-29 (2008).



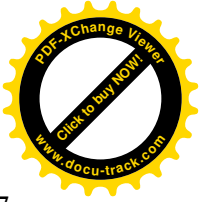
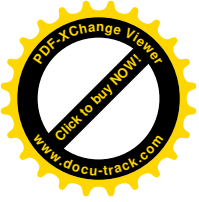
64. Ersoy, M.S., “Lif Takviyeli Polimerik Kompozit Malzeme Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, **Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kahramanmaraş, 28 (2005).
65. Yöney, H., “El Yatırma Yöntemiyle Elyaf Takviyeli Kompozit Yapıların Üretilmesi ve Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 54-56 (2007).
66. Park, C.H., Lee, W.I., Han, W.S., Vautrin, A., “Simultaneous Optimization of Composite Structures Considering Mechanical Performance and Manufacturing Cost”, **Composites Structures**, 65:117-127 (2004).
67. İnternet : Catalunya Politechnic University “Use of Fibre Reinforced Polymer Composites in Bridge Construction. State of the Art in Hybrid and All Composite Structures” <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/12353/1/Use%20of%20Fibre%20Reinforced%20Polymer%20Composites%20in%20Bridge%20Construction.%20State%20of%20the%20Art%20in%20Hybrid%20and%20All-Composite%20Structures..pdf> (2011).
68. Günay, M., “Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilmiş Al- /SiCp Kompozitlerin Mekanik ve İşlenebilirlik Özelliklerinin Araştırılması”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 45-46 (2009).
69. Taya, M., Arsenault, R.J., “Metal Matrix Composites-Thermal and Mechanical Behavior”, **Pergamon Press**, New York, 106-142 (1988).
70. Chawla, N., Chawla, K.K., “Metal Matrix Composites”, **Springer Science Business Media, Inc.**, Boston, 5-101 (2006).
71. Turgut, Y., “Bağlama Kalıplarında Bağlama Kuvvetlerinin Hesaplanmasında Kullanılan Emniyet Katsayılarının DeneySEL Olarak İncelenmesi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 17 (2007).
72. Özkan, S.S., “CNC Tezgahlarında Kesme Şartları ve İşleme Kalitesi Arasındaki İlişkinin Analizi”, Doktora Tezi, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 228 (2000).
73. Groover, M.P., “Fundamentals of Modern Manufacturing”, **Prentice Hall**, New Jersey, 611-613 (1996).
74. Taylan, F., “Alın Frezelemede Deney Şartları ve Takım Aşınması Ölçüm Metodları”, Doktora Tezi, **Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Isparta, 96 (2006).
75. Özcan, E., “CNC Tezgahlarda Kullanılan Kesici Takımlarda Takım Aşınmasının Kesme Performansına Dinamik Etkileri”, Doktora Tezi, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 168 (2001).
76. Akkurt, M., “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları”, **Birsan**



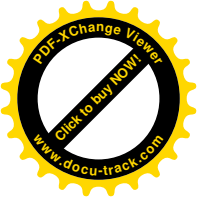
- Yayinevi*, İstanbul, 214-221 (1996).
77. İnternet : Gazi Üniversitesi, “Mühendislik Malzemelerinin İşlenebilirliği Ders Notları”, <http://www.websitem.gazi.edu.tr/site/yusufoz/files/download/id/51445>, (2008).
 78. Shaw, M.C., “Metal Cutting Principles”, **Oxford University Press**, Oxford, 1-9,86-95 (1989).
 79. Kalpakjian, S., “Manufacturing Process for Engineering Materials”, **Addison-Wesley**, New York, 120-121 (1991).
 80. Groover, M.P., “Fundamentals of Modern Manufacturing – Materials, Processes and Systems”, **Prentice-Hall Inc.**, New Jersey 220-639 (1996).
 81. Sarı, H., “Frezelemede Takım Geometrisi ve Tırlama Titreşimlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya, 23 (2008).
 82. Sert, A., “Farklı Takım Tutuculara Bağlanan Parmak Frezenin Düzlem Yüzey Frezelemedeki Performansının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü**, Gebze, 18(2008).
 83. Boothroyd, G., Knight, W.A., “Fundamentals of Machining and Machine Tools”, Second Edition, **Marcell Dekker Inc.**, New York, 490-515 (1989).
 84. Galyer, J.F.W., Shotbolt, C.R., “Metrology For Engineers”, **Cassel Publishers Limited**, London, 9:191-194 (1993).
 85. Yazman, Ş., “Östemperlenmiş Ferritik Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Kesme Parametrelerinin İşlemeye Etkilerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya, 16-47 (2006).
 86. Bağcı, M., “Teknik Resim”, Cilt 1, **Birsen Yayinevi**, İstanbul, 252, 253, 254 (2003).
 87. Neşeli, S., “Tornalamada Takım Geometrisi ve Tırlama Titreşimlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya, 24 (2006).
 88. Sandvik, “Modern Metal Cutting-A Practical Handbook”, **Sandvik Coromant Sandviken**, Sweden, 1-18, 1-24 (1996).
 89. Taylan, D., “ Taguchi Deney Tasarımı ve Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, **Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Isparta, 16-17 (2009).
 90. Şırvancı, M., “Kalite İçin Deney Tasarımı”, **Literatür yayınları**, İstanbul, 110 (1997).



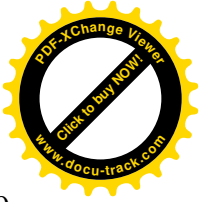
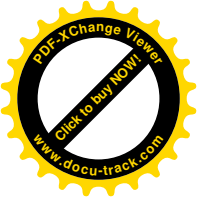
91. Durmaz, S., “Taguchi Metodunun Kauçuğun Vulkanizasyonu Prosesine Uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, 9 (2008).
92. Jiju, A., Teaching Advanced Statistical Techniques to Industrial Engineers and Managers, **Journal of Engineering Design**, 9 (1):89 (1998).
93. Keskin, Z., “Aluminyum Kompozit Levhalarının İşlenmesinde, CNC Freze Kesici Takımlarının Kaplama Seçiminin ve İşlem Parametrelerinin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 26-27 (2006).
94. Tam, S.C., Noor, Y.M., L.J., ”Maximizing the Qutput Power of CO₂ Laser Using The Taguchi Technique”, **IEEE Journal of Quantum Electronics**, January, 1:194-195 (1993).
95. Kackar, R.N., ”Taguchi’s Quality Philosopy “, **Analysis and Comentary, Quality Progress**, December, 21-19 (1986).
96. Parkinson, D. B., “Quality–Based Design by Probability Optimization”, **Quality and Reliability Engineering International**, 9:29-37 (1993).
97. Lochner, R. H., Matar, J.E., Designing for Quality, An Introduction to The Best of Taguchi and Western Methods of Statistical Experimental Design, **Chapman and Hall**, Newyork, 1-240 (1990).
98. Kayı, Y., “Plastik Enjeksiyon Prosesindeki Parametrelerin Çekme Problemine Etkilerinin Taguchi Metodu ile İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 45 (2006).
99. Kutlu, L., “Al 2024-T4 Aluminyumun Elmas Benzeri Karbon (DLC) Kaplanmış Matkaplarla Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Deneyisel İncelenmesi ve Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 62-63 (2009).
100. Bayrakdar, O.M., “Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA) ve Taguchi Metodu’ nun Bonfiglioli A.Ş’ de Ortak Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 47 (2009).
101. Öztöp, M., “Taguchi Deney Tasarımı Yöntemi ile Alüminyum Ekstrüzyon Prosesinin İyileştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kayseri, 40-41 (2007).
102. Anthony, J., “Teaching the Taguchi Method to Industrial Engineers”, **Work Study**, 50-4, 141-149 (2001).
103. Şirvancı, M., “Kalite İçin Deney Tasarımı”, “Taguchi Yaklaşımı”, **Literatür Yayıncılık**, Milwaukee ABD, 112 (1996).



104. Uyğur, B., “Açık Ocaklarda Patlatma Kaynaklı Sarsıntıların Taguchi Yöntemi Kullanılarak Parametre Optimizasyonu İle Azaltılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 83-84 (2009).
105. Şanyılmaz, M., “Deney Tasarımı ve Kalite Geliştirme Faaliyetlerinde Taguchi Yöntemi ile Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, **Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kütahya, 33 (2006).
106. Gencel, İ., “Çok Yanıtlı Problemlerin Optimizasyonunda Taguchi Yönteminin Kullanılması ve Alkollü İçkiler Sektöründe Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, **Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kocaeli, 29-30 (2007).
107. Graessel, B., Zeidler, P. “Using Quality Function Deployment to Improve Customer Service”, **Quality Progress**, 2:19-23 (1993).
108. Kurt, M., Kaynak, Y., Bakır, B., Köklü, U., Atakök, G., Kutlu, L., “Al 2024-T4 Alüminyumun Benzeri Karbon (DLC) Kaplanmış Matkaplarla Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Deneysel İncelenmesi ve Taguchi Optimizasyonu”, **5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS 09)**, Karabük, 5-6 (2009).
109. Sağlam, H., “Frezelemede Kesme Parametreleri ile Kesme Kuvvetlerinin Değişimi ve Bunların Takım Aşınması ve Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkilerinin Deneysel İncelenmesi”, **Selçuk-Teknik Online Dergisi**, ISSN, 1(3): 1302-6178, (2001).
110. Pul, M., “Al Matrisli MgO Takviyeli Kompozitlerin İnfiltrasyon Yöntemi ile Üretilmesi ve İşlenebilirliğinin Değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 169-174 (2010).
111. Gezgın, A., “Prizmatik Parçaların Frezelenmesi Esnasında, Kesici Uç Sayısının Takım Ömrü Ve Yüzey Pürüzlülüğü Açısından Değerlendirilmesi”, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 95-99 (2007).
112. Yılmaz, E., “Etial 180 Alüminyum Alaşımının İşlenmesinde Kesici Takım Geometrisi Ve Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, **Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Isparta, 97-98 (2010).
113. Altınkaya, E., “AISI 316 Östenitik Çeliğin İşlenmesinde Kesme Değerlerinin ve Takım Kaplamasının Yüzey Pürüzlülüğüne ve Takım Aşınmasına Etkilerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 89-91 (2006).
114. Çakıroğlu, R., “Delik Delme İşlemlerinde Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Oluşan Sıcaklığın Modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 61-62 (2011).



115. Turgut, E., Dikici, A., “Eş Eksenli Bir Isı Değişiricisinin Tasarım Parametrelerinin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu”, **6.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS 11)**, Elazığ, 289-281 (2011).



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BAYRAKTAR, Şenol
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 01.08.1982 Sürmene/TRABZON
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (545) 946 03 61
Faks :
e-mail : Senolbyrktr@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Makine Bölümü	2005
Lise	Ulusoy Anadolu Meslek Lisesi	2000

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2006- 2007	Birikim Mak.San.Ltd.Şti.	Üretim Sorumlusu
2007-2011	Mes Tıbbi Cihazlar	Ar-Ge Uzmanı

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Futbol, masa tenisi, basketbol, gazete ve dergi yazıları