



**KARBON FİBER TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELERİNİN
İŞLENMESİ İÇİN KESİCİ TAKIM TASARIMI, ÜRETİMİ VE
PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Selçuk YAĞMUR

**DOKTORA TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ŞUBAT 2016

Selçuk YAĞMUR tarafından hazırlanan “KARBON FİBER TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELERİNİN İŞLENMESİ İÇİN KESİCİ TAKIM TASARIMI, ÜRETİMİ VE PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir kabul

Danışman: Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

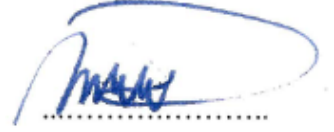
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum



Başkan : Prof. Dr. İhsan KORKUT

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

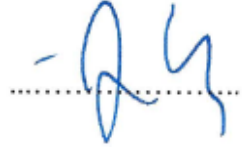
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum



Üye : Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük Üniversitesi

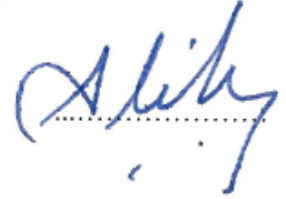
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum



Üye : Prof. Dr. Adem ÇİÇEK

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum



Üye : Doç. Dr. Hakan DİLİPAK

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum



Tez Savunma Tarihi: 19/02/2016

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Metin GÜRÜ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Selçuk YAĞMUR

19/02/2016

KARBON FİBER TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELERİNİN İŞLENMESİ İÇİN
KESİCİ TAKIM TASARIMI, ÜRETİMİ VE PERFORMANSININ
DEĞERLENDİRİLMESİ

(Doktora Tezi)

Selçuk YAĞMUR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Şubat 2016

ÖZET

Havacılık ve otomotiv endüstrilerinde kullanılan kompozitler çoğunlukla karbon fiber ile takviye edilmiş epoksi veya vinil esterden üretilmektedir ve bu kompozit malzemelerin işlenmesi diğer malzemelere oranla daha zordur. Bu çalışmada, Karbon Fiber Takviyeli Kompozit (KFTK) malzemelerin işlenmesinde yaşanan güçlükleri ve özellikle de katmanlı/laminer yapıdaki levhalarda katman kalkması (delaminasyon) problemini bertaraf edebilecek özgün PCD kesici takım tasarımı yapılmıştır. Bu takımların üretimi gerçekleştirilerek havacılık sektöründe yaygın olarak kullanılan haliyle üretilmiş olan KFTK malzemeler üzerinde, geliştirilen takımların performansları araştırılmıştır. Deneylerde çalışmada kapsamında tasarımı ve üretimi yapılan üç farklı geometride PCD parmak frezeler kullanılmıştır. Deneyler CNC dik işleme merkezinde yapılmıştır. Tasarımı ve üretimi yapılan 1 numaralı takımın birinci boşluk açısı 8° , ikinci boşluk açısı 17° dir. 2 numaralı takımın birinci boşluk açısı 11° , ikinci boşluk açısı 20° ve 3 numaralı takımın birinci boşluk açısı 13° , ikinci boşluk açısı 25° dir. Takımların üç kesici ağzından biri sağ biri sol helis açısına sahipken üçüncü kenarın, radyal ilerleme ve merkezi kesme etkisini sağlamak amacıyla, düz olarak imal edilmiştir. Kesme parametreleri olarak 350, 400 ve 450m/dak kesme hız ve 1270 mm/dak sabit ilerleme miktarı seçilmiştir. Deneyler sonucunda en iyi performansı 1 numaralı kesici takımın gösterdiği görülmüştür. Artan kesme hızının kesme kuvvetleri, delaminasyon genişliğine ve yüzey pürüzlülüğünü olumlu yönde etkilediği bununla birlikte takım aşınmasını arttırdığı görülmüştür. Ayrıca regresyon analizi sonrasında elde edilen ANOVA istatistiklerine göre yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti, delaminasyon genişliği ve takım aşınmasında etkili olan parametreler tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 708.1.094

Anahtar Kelimeler : KFTK, işlenebilirlik, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti, takım aşınması, delaminasyon, PCD, takım tasarımı, takım üretimi

Sayfa Adedi : 122

Danışman : Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

CUTTING TOOL DESIGN, PRODUCTION AND EVALUATION OF PERFORMANCE
FOR MACHINING OF CARBON FIBER REINFORCED COMPOSITES

(Ph. D. Thesis)

Selçuk YAĞMUR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

February 2016

ABSTRACT

Composite materials, used in aviation and automotive industries, are usually produced from carbon fiber reinforced epoxy or vinyl esters. Machining these composite materials is harder than machining the other materials. In this study, a unique PCD cutting tool design was devised which is capable of eliminating the encountered difficulties, especially the exfoliation (delamination) problem on laminated/laminar formed composite board during machining carbon fiber reinforced composite (CFRC) materials. After manufacturing the cutting tools, the tools's performances were tested on CFRC materials. The designed and produced PCD end mills had 3 different geometries. The tests were conducted on CNC vertical machining center. The first tool's first clearance angle is 8° and second clearance angle is 17° . The second tool's first clearance angle is 11° and second clearance angle is 20° . The third tool's first clearance angle is 13° and second clearance angle is 25° . One of the three cutting edges has left helix angle, another cutting edge has right helix angle and the other cutting edge has no angle for easing the penetration. 350, 400, 450 m/min cutting speeds and 1270 mm/min constant feed rate were selected as cutting parameters. The first tool showed the best performance in consequence of the tests. Increasing cutting speed influences the cutting forces, delamination width and surface roughness positively. Besides, the effective parameters on surface roughness, cutting forces, delamination width and tool wear were determined according to the obtained ANOVA statistics after the regression analysis.

Science Code : 708.1.094

Key Words : CFRP, machinability, surface roughness, cutting force, tool wear, delamination, PCD, tool design, tool production

Sayfa Number : 122

Supervisor : Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca bilgi, tecrübe ve görüşleriyle beni yönlendiren ve desteğini esirgemeyen sayın danışmanım Prof. Dr. Ulvi ŞEKER'e, Tez izleme komitesi üyeleri sayın Prof. Dr. İhsan KORKUT ve sayın Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ'ye teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmam sırasında yardımlarını esirgemeyen Yafes ÇAVUŞ, Arş. Gör. Dr. Gültekin UZUN, bütün mesai arkadaşlarıma ve bu süreçte beni yalnız bırakmayan eşim Meltem YAĞMUR'a teşekkür ederim. Kesici takımların geliştirilmesi ve üretilmesi sırasında proje ortağı olarak katkıları sebebiyle Karcan Kesici Takım Sanayi Ve Ticaret Limited Şirketi'ne ve Ar-Ge sorumlusu Sayın Çağlar YAVAŞ'a teşekkür ederim. Bu çalışmayı 0109.STZ.2013-1 kodlu SANTEZ projesi ile destekleyen T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığına, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine ve Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü'ne teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1. Karbon Fiber Takviyeli Kompozitler (KFTK) ile İlgili Yapılan Çalışmalar	5
2.2. Diğer Kompozit Malzemelerin İşlenmesi İle ilgili Yapılan Çalışmalar	11
2.3. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi.....	13
3. KURAMSAL TEMELLER	17
3.1. Kompozit Malzemeler.....	17
3.1.1. Fiber takviyeli kompozit malzemeler	18
3.1.2. Fiber takviyeli kompozit malzemelerde delaminasyon (hasar)	21
3.2. Frezeleme.....	23
3.2.1. Frezeleme talaş kaldırma.....	24
3.1.2. Frezelemede oluşan kesme kuvvetleri.....	26
3.3. İşlenebilirlik ve Kompozit Malzemelerin İşlenebilirliği.....	29

	Sayfa
3.4. Çok Kristalli Elmas (PCD) Takımlar	31
3.5. Yüzey Pürüzlülüğü	32
3.6. Takım Aşınması.....	34
3.7. Regresyon Analizi	34
3.7.1. Doğrusal regresyon analizi.....	35
3.7.2. İstatistiksel değerlendirme kriterleri	41
4. MALZEME VE METOD	45
4.1. Malzeme, Kesici Takımlar ve Donanım	45
4.2. Metod	52
5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	57
5.1. Genel Sonuçlar	57
5.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi.....	57
5.3. Delaminasyon Yayılmasının Değerlendirilmesi.....	59
5.4. Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi	65
5.5. Takım Aşınmasının Değerlendirilmesi	66
5.5.1. Gerçek çalışma ortamında tasarımı ve üretimi yapılan takımın ömürünün değerlendirilmesi.....	71
5.6. Geliştirilen PCD Takımlar İle Geleneksel Karbür Takımların Karşılaştırılması.....	73
5.6.1. Geliştirilen PCD takımlar ile geleneksel karbür takımların yüzey pürüzlülüğü açısından karşılaştırılması	74
5.6.2. Geliştirilen PCD takımlar ile geleneksel karbür takımların delaminasyon yayılma genişliği açısından karşılaştırılması.....	76
5.6.3. Geliştirilen PCD takımlar ile geleneksel karbür takımların kesme kuvvetleri açısından karşılaştırılması	78
5.6.4. Geliştirilen PCD takımlar ile geleneksel karbür takımların takım aşınması açısından karşılaştırılması.....	80

	Sayfa
6. DENEY SONUÇLARINI MODELLENMESİ	83
6.1. Model 1' e Göre Varyans Analizi (ANOVA) ile Parametrelerin Değerlendirilmesi	86
6.1.1. Model 1' e Göre ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin değerlendirilmesi.....	88
6.1.2. Model 1' e Göre delaminasyon genişliği değerlerinin değerlendirilmesi.....	88
6.1.3. Model 1' e göre kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi.....	90
6.1.4. Model 1' e göre takım aşınmasının değerlendirilmesi	92
6.2. Model 2' ye Göre Varyans Analizi (ANOVA) ile Parametrelerin Değerlendirilmesi	94
6.2.1. Model 2' ye Göre ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin değerlendirilmesi.....	95
6.2.2. Model 2'ye Göre delaminasyon genişliği değerlerinin değerlendirilmesi.....	98
6.2.3. Model 2'ye göre kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi.....	101
6.2.4. Model 2'ye göre takım aşınmasının değerlendirilmesi	104
6.3. Model 1 ve Model 2'nin Genel Karşılaştırması	107
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	109
KAYNAKLAR	113
ÖZGEÇMİŞ	121

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Literatür özeti.....	15
Çizelge 3.1. Örnek ANOVA tablosu.....	41
Çizelge 3.2. Regresyon modeli sabitleri tablosu.....	42
Çizelge 3.3. Regresyon istatistikleri tablosu.....	44
Çizelge 4.1. Deneylerde kullanılacak tezgahın teknik özellikleri.....	46
Çizelge 4.2. Hız kafasının teknik özellikleri.....	50
Çizelge 4.3. KISTLER 9272 dinamometrenin teknik özellikleri.....	51
Çizelge 4.4. 5070A Amplifier (Yükseltici) teknik özellikleri.....	51
Çizelge 4.5. Mahr Perthometer M1 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri	52
Çizelge 4.6. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri	53
Çizelge 4.7. Deney/Analiz parametreleri.....	55
Çizelge 5.1. Deney girdilerine bağlı olarak elde edilen çıktılar.....	57
Çizelge 5.2. Gerçek çalışma ortamında T1 kodlu takım ile ticari olarak temin edilen takımın takım ömrü açısından karşılaştırılması.....	72
Çizelge 5.3. Deneylerde kullanılan karbür parmak frezelerin özellikleri	73
Çizelge 6.1. Deney sonuçları ve Model 1 sonuçları.....	84
Çizelge 6.2. Deney sonuçları ve Model 2 sonuçları.....	85
Çizelge 6.3. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) için Model 1 regresyon istatistikleri ve ANOVA bilgileri.....	87
Çizelge 6.4. Delaminasyon yayılma genişliği değerleri için Model 1 regresyon istatistikleri ve ANOVA bilgileri.....	89
Çizelge 6.5. Kesme kuvvetleri (F) için Model 1 regresyon istatistikleri ve ANOVA bilgiler.....	91
Çizelge 6.6. Takım aşınması için Model 1 regresyon istatistikleri ve ANOVA bilgileri	93

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.7. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) için Model 2 regresyon istatistikleri ve ANOVA bilgileri.....	96
Çizelge 6.8. Delaminasyon yayılma genişliği değerleri için Model 2 regresyon istatistikleri ve ANOVA bilgileri.....	99
Çizelge 6.9. Kesme kuvvetleri (F) için Model 2 regresyon istatistikleri ve ANOVA bilgileri.....	102
Çizelge 6.10. Takım aşınması için Model 2 regresyon istatistikleri ve ANOVA bilgileri.....	105
Çizelge 6.11. Modeller arası uygunluk tablosu.....	108

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Kompozit malzemede takviye tipi	19
Şekil 3.2. Sürekli fiber takviyeli kompozit tabakalarda kırılma durumları	22
Şekil 3.3. Tipik delaminasyon şekli	23
Şekil 3.4. Çevresel frezeleme işleminde talaş kaldırma işlemi.....	24
Şekil 3.5. Alın frezeleme	24
Şekil 3.6. Alın frezelemede oluşan kuvvetler	28
Şekil 3.7. Yüzey şekilleri.	32
Şekil 3.8. İşlenmiş bir yüzeyin yüzey karakteri	33
Şekil 3.9. Değişkenler arasındaki tipik ilişkiler için bazı serpilme diyagramı örnekleri	35
Şekil 3.10. Basit doğrusal regresyon modelindeki hata terimi	36
Şekil 4.1. 2x2 Örülmüş kumaşın şematik gösterimi	45
Şekil 4.2. Takım1'e (T1) ait teknik resim.....	47
Şekil 4.3. Takım2'ye (T2) ait teknik resim.....	48
Şekil 4.4. Takım3'e (T3) ait teknik resim.....	49
Şekil 4.5. Hız kafasının şematik gösterimi	50
Şekil 4.6. DynoWare programı ile kesme sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin ekran görüntüsü	53
Şekil 4.7. Deney düzeneğinin şematik olarak gösterimi.....	53
Şekil 4.8. İş parçasının dinamometreye bağlanması.....	53
Şekil 5.1. Kesme hızı ve takım geometrisine bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlüğündeki değişim	57
Şekil 5.2. Kesme hızı ve takım geometrisine bağlı olarak delaminasyon yayılması miktarındaki değişim.....	63
Şekil 5.3. Kesme hızı ve takım geometrisine bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim	65

Şekil	Sayfa
Şekil 5.4. Kesme hızı ve takım geometrisine bağlı olarak takım aşınmasındaki değişim	70
Şekil 5.5. Tasarımı ve üretimi yapılan takımlar ile karbür parmak frezelerin yüzey pürüzlülüğü açısından karşılaştırılması	75
Şekil 5.6. T1 kodlu ve G 3 kodlu takımların yüzey pürüzlülüğü açısından karşılaştırılması	75
Şekil 5.7. Tasarımı ve üretimi yapılan takımlar ile karbür parmak frezelerin delaminasyon yayılması açısından karşılaştırılması.....	76
Şekil 5.8. T1 kodlu ve G 4 kodlu takımların delaminasyon yayılma genişliği açısından karşılaştırılması	77
Şekil 5.9. Tasarımı ve üretimi yapılan takımlar ile karbür parmak frezelerin kesme kuvvetleri açısından karşılaştırılması.....	78
Şekil 5.10. T1 kodlu ve G1 kodlu takımların kesme kuvvetleri açısından karşılaştırılması	79
Şekil 5.11. Tasarımı ve üretimi yapılan takımlar ile karbür parmak frezelerin takım aşınması açısından karşılaştırılması	80
Şekil 5.12. T1 kodlu ve G4 kodlu takımların delaminasyon yayılma genişliği açısından karşılaştırılması	80
Şekil 6.1. Model 1 sonuçlarının deney sonuçları ile ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri açısından karşılaştırılması	87
Şekil 6.2. Model 1 sonuçlarının deney değerleri ile delaminasyon genişliği değerleri açısından karşılaştırılması.....	89
Şekil 6.3. Model 1 sonuçlarının deney sonuçları ile kesme kuvvetleri açısından karşılaştırılması.....	91
Şekil 6.4. Model 1 sonuçlarının deney sonuçları ile takım aşınması açısından karşılaştırılması	93
Şekil 6.5. Model 2 sonuçlarının deney sonuçları ile ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri açısından karşılaştırılması	96
Şekil 6.6. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri için normal dağılım uygunluğu	96
Şekil 6.7. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri için deney sonuçlarının dağılımı	97

Şekil	Sayfa
Şekil 6.8. Model 2 sonuçlarının deney değerleri ile delaminasyon yayılma genişliği değerleri açısından karşılaştırılması	99
Şekil 6.9. Delaminasyon yayılma genişliği değerleri için normal dağılım uygunluğu	99
Şekil 6.10. Delaminasyon yayılma genişliği değerleri deney sonuçlarının dağılımı	100
Şekil 6.11. Model 2 sonuçlarının deney sonuçları ile kesme kuvvetleri açısından karşılaştırılması	102
Şekil 6.12. Kesme kuvvetleri değerleri için normal dağılım uygunluğu	103
Şekil 6.13. Kesme kuvvetleri değerleri deney sonuçlarının dağılımı	103
Şekil 6.14. Model 2 sonuçlarının deney sonuçları ile takım aşınması açısından karşılaştırılması	105
Şekil 6.15. Takım aşınması değerleri için normal dağılım uygunluğu	106
Şekil 6.16. Takım aşınması değerleri deney sonuçlarının dağılımı	106

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Yüzey pürüzlülük ölçüm düzeneği	52
Resim 5.1. T1 kodlu takımlarla işlenen malzemelerde meydana gelen delaminasyon genişliği miktarı	60
Resim 5.2. T2 kodlu takımlarla işlenen malzemelerde meydana gelen delaminasyon genişliği miktarı	61
Resim 5.3. T3 kodlu takımlarla işlenen malzemelerde meydana gelen delaminasyon genişliği miktarı	62
Resim 5.4. T1 kodlu takımlarla ait aşınma değerleri	67
Resim 5.5. T2 kodlu takımlarla ait aşınma değerleri.....	68
Resim 5.6. T3 kodlu takımlarla ait aşınma değerleri.....	69
Resim 5.7. Deneylerde kullanılan geleneksel karbür parmak frezeler.....	74

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
V	Kesme Hızı (m/dak)
n	Devir Sayısı (dev/dak)
F	Tabla ilerlemesi (mm/dak)
F_z	Diş başına ilerleme (mm/diş)
z	Kesici ağız sayısı
d	Takım çapı
a	Eksenel kesme derinliği
ac	Radyal kesme derinliği
V_a	Birim zamanda kaldırılan talaş hacmi
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 ağız sayısı
F_a	Eksenel kuvvet (N)
B	Kesme genişliği (mm)
A_s	Talaş kesiti (mm ²)
h_m	Ortalama kesme derinliği (mm)
k_s	Özgül kesme kuvveti (N)
R_a	Ortalama yüzey pürüzlülük değeri (μm)
f	İlerleme miktarı (mm/rev, mm/diş)

Kısaltmalar	Açıklamalar
AFTK	Aramid Fiber Takviyeli Kompozit
ANOVA	Analysis of Variance (Varyans Analizi)
BUE	Built Up Edge (Yığıntı Talaş)

Kısaltmalar**Açıklamalar**

CFTK	Cam Fiber Takviyeli Kompozit
CNC	Computer Numeric Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetim)
DIN	Deutsche Industrie Norm (Alman Standartlar Enstitüsü)
HSS	High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)
KFTK	Karbon Fiber Takviyeli Kompozit
MMK	Metal Matrisli Kompozit
PAN	Poli Akrilo Nitril
PCD	Poly Crystalline Diamond (Çok Kristalli Elmas)
TiN	Titanyum Nitrür
VSD	Vickers Sertliği

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişimi, son yüzyılda bilgisayarların da devreye girmesiyle beraber büyük bir ivme kazanmıştır. Doğadan elde edilen malzemelerin sınırlı olmasından dolayı, malzeme özellikleri bu büyük gelişime ayak uyduramamış ve sanayi için temel bir girdi olan malzeme ve malzeme biliminde gelişme kaçınılmaz bir duruma gelmiştir [1]. Malzeme biliminde meydana gelen gelişmelere paralel kompozit malzemelerin üretilmesi ve endüstriyel alanda kullanımı hız kazanmıştır. Kompozit malzemeler genel olarak; birden fazla ve farklı fazlar içeren malzemelerin fiziksel olarak birbirine bağlanmasıyla oluşan yapılar olarak tanımlanabilir [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. Kompozit malzemelerin gelişimi 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 etmiştir. Bu gelişmeler için tahrik edici güç malzemelerde yüksek dayanım/yoğunluk ve yüksek elastik modülü/yoğunluk oranı elde etmek olmuştur [3].

Kompozit malzemelerin, çeliğin yerini almasıyla %60-80 oranında ve alüminyumun yerini almasıyla ise %20-50 oranında ağırlıktan kazanım mümkün hale gelmiştir. Günümüzde kompozitler birçok mühendislik uygulamaları için tercih edilen malzemeler gibi gözükmektedir. Bu; ağırlık kazançları, enerjinin giderek artan bir sorun haline geldiği çağımızda enerjide önemli tasarruflar sağlamaktadır [4].

Kompozit malzemelerde ana malzemeler genelde metaller, seramikler, cam ve polimerler olmak üzere dört sınıfa ayrılabilirler. Fiber takviyeli kompozit malzemeler bu dört grup malzemedan herhangi birinin fiberle takviye edilmesiyle elde edilirler. Fiberlerin gömüldüğü ana malzemeye matris denilir. Kompozit malzemelerde matrisin üç temel fonksiyonu vardır. Bunlar, fiberleri bir arada tutmak, yükü fiberlere dağıtmak ve fiberleri çevresel etkilerden korumaktır. İdeal bir matris malzemesi, düşük viskoziteli yapıda iken

daha sonra fiberleri sağlam ve uygun bir şekilde çevreleyebilecek katı forma kolaylıkla geçebilmelidir [5].

Karbon fiberler (lifler) ile takviye edilmiş kompozit malzemeler mukavemetlerinin ve rijitliklerinin cam lifleri ile imal edilen kompozitlere oranla çok fazla olması, yoğunluğunun az olması ve yorulma mukavemetlerinin fazla olması sebebi ile günümüzde kullanımları gittikçe artmaktadır. Havacılık ve otomotiv endüstrilerinde kullanılan kompozitler çoğunlukla karbon fiber ile takviye edilmiş epoksi veya vinilesterden üretilmektedir. Bu kompozitlerin avantajları düşük ağırlıkları ve yüksek gerginlikleri gibi mekanik özellikleri olacaktır.

Kompozit malzemelerin avantajlarının yanı sıra imalat güçlükleri gibi dezavantajlar da mevcuttur. Farklı sektörlerde güncel teknolojinin vazgeçilmez malzemelerinden bir olarak gözüken fiber takviyeli 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. 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 çok kristalli elmas (PCD) takımlar kullanılır. PCD metalik bir bağlayıcı ile birlikte sinterlenmiş elmas tanelerinin bir birleşimidir. Bir kesici takım olarak iyi bir aşınma direnci vardır. Keskin bir kenara sahip bu takım malzemelerinde doğru bir geometrinin seçimi halinde takımın oluşturduğu basınçlar azalacak, çok daha hassas bir talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilecektir. 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, öyle ki ilerlemenin doğru seçimi sayesinde hem takımın parçayı kesmesi yerine ezmesi engellenecek, hem de fazla kesmesinden dolayı liflerin kopmasının ve tabakaların ayrılmasının önüne geçilecektir [6].

Bu çalışmada, Karbon Fiber Takviyeli Kompozit (KFTK) malzemelerin işlenmesinde yaşanan güçlükleri ve özellikle de katmanlı/laminer yapıdaki levhalarda katman kalkması (delaminasyon) problemini bertaraf edebilecek özgün PCD kesici takım tasarımı yapılmış ve bu takımların üretimi gerçekleştirilmiştir. Tasarımı ve üretimi yapılan 1 numaralı takımın birinci boşluk açısı 8° , ikinci boşluk açısı 17° dir. 2 numaralı takımın takımın birinci boşluk açısı 11° , ikinci boşluk açısı 20° ve 3 numaralı takımın birinci boşluk açısı 13° , ikinci boşluk açısı 25° dir. Takımların üç kesici ağzından biri sağ biri sol helis açısına sahipken üçüncü kenarın, radyal ilerleme ve merkezi kesme etkisini sağlamak amacıyla, düz olarak imal edilmiştir. Havacılık sektöründe yaygın olarak kullanılan formda üretilmiş olan KFTK malzemenin çevre frezelemesinde kesme hızı ve kesici takımın; kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, delaminasyon genişliği ve kesici takım aşınmasına etkileri incelenerek geliştirilen takımların çevresel frezeleme işlemlerindeki performansları araştırılmıştır. Çalışma kapsamında regresyon analizi yapılarak 2 farklı model elde edilmiştir. Regresyon analizi sonrasında ANOVA istatistiklerine göre yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti, delaminasyon genişliği ve takım aşınmasında etkili olan parametreler tespit edilmiştir.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Kompozit malzemenin kullanımı günden güne artmaktadır. Özellikle havacılık sanayinde oldukça geniş bir kullanım alanına sahip kompozitlerin üretilmesi ve işlenebilmesi son yıllarda araştırmacıların büyük ilgisini çekmiştir. Kompozit malzemelerin işlenmesi sırasında meydana gelen sıkıntıların ve işleme zorluğunun azaltılabilmesi araştırmacıların başlıca hedefleri arasında yer almıştır.

2.1. Karbon Fiber Takviyeli Kompozitler (KFTK) ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Wonderly ve arkadaşları yaptıkları çalışmada karbon fiber/vinil ester kompozit ve cam elyaf vinil ester kompozitlerin mekanik özelliklerinin karşılaştırılmasını incelemişlerdir. Cam ve karbon elyaf takviyeli tabakalar iki eksenli cam ve karbon elyaflara vinil esterin vakum infüzyonu ile üretmiştir. Cam ve karbon elyaf numunelerin dayanıklılığını belirlemek için çekme, sıkıştırma, delik açık çekme ve delik açık sıkıştırma, enine çekme, çentik ve balistik çarpma testleri uygulanmıştır. Karbon elyaf tabakalar, elyafların baskın olduğu yerde çekme yüklemesi altında ve çentik dayanım yükleme şartları altında mekanik olarak yüksek bulunmuştur. Eşit kalınlıktaki laminatlar için karbon elyaf tabakaların dayanımının cam elyaf tabaka dayanımına göre oranı elyaf çekme dayanımları oranına benzer sonucuna ulaşılmıştır. Karbon elyaf numunelerde hasar genel olarak belirli bir bölgede ve cam elyaf numunelere göre dayanım daha fazla dağıldığını belirlenmiştir [7].

Rusinek, yaptığı çalışmada, polimer matrisli karbon fiber 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. Devir sayısının artmasıyla kesme kuvvetlerinde azalma olduğu ve ilerleme değerlerinin artmasıyla kesme kuvvetlerinde artış olduğu belirtilmiştir. Deneyler sonrasında, düşük ilerleme değerlerinin takım ömrünü, zaman ve ekonomik olarak olumlu etkilediği, işleme esnasında titreşimlerin en aza indirilmesi için devir sayısının iyi ayarlanması gerektiği sonucuna varılmıştır [8].

Kalla ve arkadaşları, çok yönlü ve tek yönlü karbon fiber takviyeli kompozit malzemenin işlenmesinde oluşan kesme kuvvetlerini yapay sinir ağları yöntemini kullanarak araştırmışlardır. Deneylerde 2000 dev/dak, 0,406 m/dak ilerleme miktarı, 0,5 mm kesme derinliği, 9,5 mm çapında 2 ağızlı, 30° helis ve 16° talaş açısına sahip kesici takım kullanılmıştır. Deney numunesi olarak, %60 elyaf oranına sahip tek yönlü 0°/60° elyaf açılı ve çok yönlü 60°/0°/120° elyaf açılı malzemeler seçilmiştir. Elyaf açısı 0° malzemede, 0°-60° ve 180°-240° dalma açıları ile talaş kaldırıldığında kesme kuvvetlerinde artış olduğu gözlemlenirken aynı şartlarda elyaf açısı 60° malzemede ise kesme kuvvetlerinin 0° elyaf açılı malzemeye göre daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. 60°/0°/120° 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 olduğunu gözlemlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda deneylerde elde edilen verilerle yapay sinir ağları ile tahmin edilen değerlerin birbirleriyle örtüştüğü vurgulanmıştır [9].

Davim ve Reis, yaptıkları çalışmada %55 elyaf oranına sahip 0°/90° açılı karbon fiber takviyeli kompozit malzemenin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve yüzey hasarını, kesme hızı ve ilerleme parametrelerine bağlı olarak değerlendirmişlerdir. Deney tasarımı Taguchi metodunu uygulanmıştır. Kesici takım olarak 6 mm çapında 2 ve 6 ağızlı karbür kesici takımlar seçilmiştir. 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 sonucuna ulaşılmıştır [10].

Akira ve arkadaşları karbon fiber takviyeli kompozitlerin yan yüzeylerinin işlenmesi sırasında oluşan gelen kesme kuvvetlerini araştırmışlardır. Çalışmada 8 katmanlı levhalar kullanılmıştır. Fiber takviye yönlenme açıları 0, -45, 90 ve 45° dir. Plaka uzunlu 30 mm ve kalınlığı 1,5 mm seçilmiştir. İki farklı helis açısına sahip (30 ° ve 60 °) ve iki farklı kaplama uygulanmış (Unbalanced Magnetron Sputtered ve Arc Ion Plated) parmak freze kullanılmıştır. Çalışmada kesici takım geometrisinin kesme kuvvetleri üzerinde kaplama uygulamasından daha etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır [11].

Karnik ve arkadaşları karbon fiber takviyeli kompozitlerin yüksek hızlarda delinmesi sırasında meydana gelen delaminasyonu yapay sinir ağları ile modellemişlerdir. Deneyler K20 grade sementit karbür helisel matkaplar kullanılarak full faktöriyel deney tasarımına

göre yapılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre delaminasyon üzerinde delme işlemi parametrelerinin etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır [12].

Gaitonde ve arkadaşları karbon fiber takviyeli kompozitlerin yüksek hızda delinmesinde meydana gelen delaminasyonun parametrik etki analizi yapmışlardır. K20 grade sementit karbür helisel matkap kullanılan bu çalışmada full faktoriyel deney tasarımı esas alınmıştır. Hand-lay up tekniği ile üretilen kompozit malzemelerde 0/90° oryantasyonu kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kompozit malzemelerin kalınlıklarını 2,5mm olarak belirlenmiştir. Çalışmacılar, deney sonuçlarına göre düşük ilerleme miktarlarında delaminasyonun nispeten azalma eğilimi gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır [13].

Shyha ve arkadaşları, karbon fiber 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 yekpare karbür matkaplar kullanılmıştır. Kesme deneylerinde 120x120x3 mm karbon elyaf takviyeli kompozit plaka kullanarak, 3200 ve 9600 devir ve 0,1 ve 0,2 mm/dak ilerleme hızı ile deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda takım ömrünün aynı kesme şartlarında adımli (stepped drill) matkapta arttığını, TiN kaplamalı takımda ise azaldığını belirtilmiştir. Ayrıca takım ömrünün matkap uç ve helis açısının artmasıyla arttığı, artan kesme hızına bağlı olarak azaldığı ve artan ilerleme miktarına bağlı olarak takım ömrünün arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Kesme kuvvetlerinin adımli ve TiN kaplamalı matkaplarda azaldığını, ilerleme ve matkap uç ve helis açısının artmasıyla arttığı gözlenirken, kesme hızının artmasıyla azaldığı gözlemlenmiştir [14].

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 fiber takviyeli kompozit malzeme, 5 mm çapında (DIN 6537) karbür matkap ve delikte oluşan hasarın ölçümü için 600 dpi çözünürlüklü tarama cihazı kullanılmıştır. Oluşan hasarlı yüzey çapının kullanılan matkap çapına oranıyla delaminasyonu hesaplanmıştır. Kesme parametreleri olarak 0,25; 0,30; 0,35 mm/dev ilerleme miktarı, 50, 60 ve 70 m/dak kesme hızı kullanmıştır. Yapılan

deneyler sonucunda oluşan delaminasyonun, kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak ve sayısal analiz yaklaşımı kullanarak karşılaştırılması yapılmıştır. Artan kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak delaminasyonda artış olduğu sonucuna varılmıştır [15].

Davim ve Reis, otoklav yöntemiyle üretilmiş karbon fiber takviyeli kompozit malzemenin delinebilirliği ile ilgili deneysel ve istatistiksel çalışma yapmışlardır. Deneylerde, 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 kullanılmıştır. Yapılan deneylerde belirlenen kesme hızı ve ilerleme değerlerine bağlı olarak bu değerler arttıkça çıkıştaki delik çapının girişteki delik çapından daha büyük olduğunu gözlemlenmiştir. 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 artışa sebep olduğu ve Brad&Spur nokta uçlu matkapta daha büyük kesme kuvvetlerinin oluştuğunu belirlenmiştir [16].

Davim ve Reis, karbon fiber takviyeli kompozit plastik malzemelerin delinmesinde oluşan delaminasyonu (delik yüzey hasarı) araştırmışlardır. 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) matkabın dört kanallı karbür (K10) matkaba göre aynı şartlarda daha iyi performans gösterdiği ve dört kanallı karbür (K10) matkabın düşük kesme hızı ve yüksek ilerleme değerlerinde daha büyük hasara neden olduğu sonucuna ulaşılmıştır. HSS matkabın karbon elyaf takviyeli malzemenin delinmesinde karbür (K10) matkaba göre daha büyük delik hasarına (delaminasyon) yol açtığını belirlenmiştir [17].

Tsao ve Hocheng karbon fiber takviyeli epoksi kompozitlerin farklı matkap uçları kullanılarak delinmesinde delaminasyon oluşumunu bilgisayarlı tomografi ve ultrasonik C-Scan teknikleri ile değerlendirmişlerdir. Bilgisayarlı tomografi tekniği özellikle ultrason kullanan teknikler ile karşılaştırılmış, delmenin sebep olduğu delaminasyonun değerlendirilmesinde etkili bir araç olduğunu ortaya koymuşlardır [18].

Chen ve arkadaşları karbon fiber takviyeli kompozit tabakaların delinmesinde takım geometrisi ve delme parametrelerinin kesme kuvvetine etkisi deneysel olarak incelenmişlerdir. Deneyler sonucunda, takım geometrisi ve delme parametreleri kombinasyonunun uygun seçilmesi halinde delaminasyonsuz delikler elde edilebileceği sonucuna varmışlardır. [19].

Gaitonde ve arkadaşları karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerin yüksek hızda delinmeleri esnasında kesme parametrelerinin delaminasyona olan etkilerinin incelenmesi amacıyla bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Kesme hızının artışı ile delaminasyona olan eğilimin azaldığı sonucuna varılmıştır. Delmede meydana gelen hasarı azaltmak için ilerleme hızı ve uç açısının düşük tutulması gerektiğini belirtilmiştir [20].

Urban, yüzey pürüzlülüğü ve delaminasyon derinliğine bağlı olarak düzgün işlenmiş yüzey temini için uygun kesme hızı, ilerleme miktarı ve takım koşullarının belirlenmesi üzerine çalışmıştır. İşleme yöntemi olarak kenar frezeleme işlemi seçmiştir. Devir sayısı 5000; 10000; 15000 dev/dak ve ilerleme hızlarını 100; 200; 400 inç/dak olarak belirlenmiştir. Deneylerde 0,25 inç çapında, 0,75 inç kesme boyu ve tam boyu 2,5 inç olan elmas çapak takımı kullanılmıştır. Sabit kesme derinliğini 0,063 inç alınmıştır. Deney malzemesi olarak $4 \times 1,5 \times 0,1$ inç boyutlarında $45^\circ/135^\circ$ ve $0^\circ/90^\circ$ elyaf açılı karbon fiber takviyeli kompozit plaka kullanılmıştır. Deneyler sonucunda yüzey kalitesi için en iyi kesme sonuçlar yüksek devir ve düşük ilerlemede, en kötü kesme sonuçları da düşük devir ve yüksek ilerleme hızlarında olduğunu saptanmıştır. Yüzey pürüzlülüğünü üzerindeki en önemli faktörün ilerleme miktarı olduğunu belirtilmiştir. İyi yüzey pürüzlülüğü elde etmek için yüksek devirler ve düşük ilerleme hızları kullanılmasını tavsiye edilmiştir [21].

Karpat ve Polat çift helisli kesici takımlarla KFTK malzemelerin frezelenmesindeki mekanik kuvvetin modellenmesi üzerine çalışmışlardır. Deney malzemesi olarak $0^\circ/45^\circ$; $90^\circ/135^\circ$ elyaf oryantasyonuna sahip ve 72 katlı karbon elyaf takviyeli plastik kullanılmıştır. Kesici takım olarak 12 mm çapında, 4 ağızlı, 10° helis açılı elmas kaplı karbür takım ve 10 mm çapında, 4 ağızlı, çift helisli ve 20° helis açılı elmas kaplı karbür takım kullanılmıştır. Devir sayısını 3500 dev/dak ve ilerleme miktarını 0,01; 0,02; 0,03 mm/diş olarak seçilmiştir. Kesme derinliğini 3 mm alınmıştır. Deney sonucunda karbon elyafın aşındırıcı doğası sebebiyle elmas kaplamalı takımlarda çatlamlar meydana gelmesinden dolayı kesme kuvvetlerini etkilediğini belirtilmiştir [22].

Chatelain ve arkadaşları yaptıkları çalışmada KFTK malzemenin PCD takım ile işlenmesindeki kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini incelemişlerdir. Deneylerde 32 kat elyafa sahip, otoklav yöntemiyle üretilmiş 4,63 mm kalınlığında KFTK malzeme kullanılmıştır. Kesici takım olarak 10 mm çapında 10° boşluk, 20° talaş açısı ve 5 µm köşe radyüsüne sahip 2 ağızlı PCD takım kullanılmıştır. Kesme parametresi olarak 200; 300; 400; 500; 650; 800 m/dak kesme hızları, 0,108; 0,217; 0,379; 0,433; 0,541 mm/dev ilerleme miktarlarını belirlenmiştir. Deneyler sonrasında yüzey pürüzlülüğünü üzerinde en önemli faktörün ilerleme miktarı olduğu sonucuna varılmıştır. Yüksek kesme hızları ve düşük ilerleme miktarlarının yüzey kalitesini olumlu etkilediğini bu sebeple yüksek kesme hızları ve düşük ilerleme miktarlarının kullanılması gerektiğini belirtilmiştir [23].

Bayraktar, çalışmasında karbon fiber takviyeli kompozitlerin parmak frezeler ile işlenebilirliğini araştırmıştır. Çalışmada kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve delaminasyona olan etkileri incelenmiştir. Deneylerde, 45°/0°/90° elyaf açısına sahip karbon elyaf takviyeli polimer malzeme ve 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) seçilmiştir. Deneyler sonucu, kaplamasız kesici takımların kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey hasarı açısından daha iyi performans sergilediği sonucuna varılmıştır. Artan ilerleme değerlerine bağlı olarak tüm deneyler için en iyi yüzey kalitesi, 2 ağızlı 30° helis açılı kaplamasız karbür ile elde edilmiştir. Ayrıca kesici takımın ağız sayısı ve helis açısı arttıkça yüzey pürüzlülüğü ve yüzey hasarında artış olduğunu belirlenmiştir [24].

Sorrentino ve Turchetta yaptıkları çalışmada KFTK malzemelerin frezelenmesinde oluşan kesme kuvvetlerini ve yüzey pürüzlülüklerini regresyon ve varyans analizi yaparak incelemişlerdir. Kesme parametreleri olarak 15000 dev/dak, 1, 1,5, 2 mm kesme derinliği, 10, 20, 30, 40 mm yana kayma mesafesi, 100, 250, 468 mm/dak ilerleme ve 100 m/dak kesme hızı seçilmiştir. Varyans analizi sonucunda ilerleme miktarının ve yana kayma mesafesinin artışı ile kesme kuvvetlerinden F_z 'nin arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Benzer durumları F_x ve F_y kesme kuvvetleri içinde gözlemlenmiştir. Her bir frezeleme işlemi için yüzey pürüzlülükleri ölçülmüş, ilerleme miktarının artışıyla R_a pürüzlülük değerinin 2 mikrona kadar düştüğünü belirlenmiştir [25].

Jenarthanan ve Jeyapaul yaptıkları çalışmada KFTK malzemenin parmak freze ile işlenmesinde kesme parametrelerinin delaminasyona etkilerini incelemişlerdir. Deney malzemesi olarak 12 kat elyaftan üretilmiş ve 0/90° elyaf oryantasyonuna sahip 3 mm kalınlığında KFTK malzeme kullanmıştır. Kesici takım olarak 3 mm çapında 50 mm tam boyunda elmas kaplı karbür parmak freze seçilmiştir. Kesme parametreleri olarak 0,04, 0,08, 0,12 mm/dev ilerleme, 5, 75, 100 m/dak kesme hızı, 0,05, 0,15, 0,25 mm talaş derinliği belirlenmiştir. Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğindeki artışların delaminasyonu da arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca ilerlemenin delaminasyonu %87,28 oranda etkilediğini belirlenmiştir [26].

2.2. Diğer Kompozit Malzemelerin İşlenmesi İle ilgili Yapılan Çalışmalar

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 çalışılmıştır. 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 hızları, 0,1-15 m/dak aralığında ilerleme miktarları 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 olduğunu belirlenmiştir. 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 düşürülmesini sağlanmıştır[27].

Canpolat, CYCOM ve ISOVAL cam elyaf takviyeli plastik matrisli kompozit malzemelerin delinebilirliği ile ilgili deneysel çalışma yapmıştır. 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 gözlemlenmiş ve HSS matkaplar ile yüzey pürüzlülüğünün

arttığını, TiN kaplamalı ve karbür matkaplarda azaldığı ve en iyi yüzey kalitesinin karbür matkaplarla elde edildiğini belirlenmiştir [28].

Erkan ve Işık, yaptıkları çalışmada cam elyaf takviyeli plastik kompozit malzemenin işlenmesinde farklı kesme parametrelerinin, 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 sonucuna varırlarken, en iyi yüzey kalitesinin 4 ağızlı karbür parmak frezede, en yüksek kesme hızı ve en düşük ilerleme değerleri ile elde edildiğini belirtilmiştir. Ayrıca deneyler sonucunda, 2, 3 ve 4 ağızlı takımlarda çok az miktarda takım aşınması olduğu sonucuna varılmıştır [29].

Lin, yüksek kesme hızlarında cam elyaf takviyeli hasır örgülü kompozit malzemelerin işlenmesi üzerine yapmış oldukları çalışmada, kesme hızının artışına paralel olarak takım aşınmasının da arttığı sonucuna varmıştır [30].

Klocke ve Würtz yaptıkları çalışmada frezeleme işlemlerinde termoplastik matrisli cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin yüzey kalitesini incelemişlerdir. Çalışmalarında yüzey kalitesini etkileyen faktörlerin başında matrisin termal özellikleri geldiği sonucunu ortaya konulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda düşük ilerleme miktarı yüksek kesme hızı kombinasyonlarında matris elamanının eriyip yüzeyde kalan talaşlara yapışmasıyla kötü bir yüzey oluşurken, yüksek ilerleme ve düşük kesme hızı kombinasyonlarında ise düzgün bir yüzey elde edildiği sonucuna ulaşılmıştır. [31].

Singh ve arkadaşları; Cam elyaf takviyeli kompozit (CFTK) tabakalarda delme esnasında işleme parametrelerinin delik çevresinde meydana gelen delaminasyona etkisini incelenmişlerdir. Kesme hızı ve ilerleme miktarının delaminasyon üzerinde en fazla etkisi olan parametreler olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yüksek ilerleme miktarında büyük delaminasyonlar meydana geldiğini gözlemlenmiştir [32].

El- Sonbaty ve arkadaşları cam fiber takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemelerin delinmesinde kesme hızı, ilerleme miktarı, matkap çapı ve fiber hacim oranı parametrelerinin oluşan aksenal kuvvet, moment ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi

incelemişlerdir. Artan kesme hızının eksenel kuvvet üzerinde fazla etkili olmadığı bununla birlikte moment değerinde düşmelere sebep olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca ilerleme miktarındaki artışlarla eksenel kuvvet ve moment değerinin arttığını gözlemlenmiştir. Kesme hızı ve fiber hacim oranı artırılarak daha az yüzey pürüzlülüğü elde edilebileceği, düşük ve yüksek fiber hacim oranlarında düşük ilerleme hızı ile delinen deliklerin, yüksek ilerleme ile delinen deliklerden daha pürüzlü olduğu neticesine ulaşılmıştır [33].

Jiaa ve arkadaşları kompozit tabakaların delinmesinde meydana gelen delaminasyonun konumunun bulunmasında akustik emisyon (AE) tekniğini kullanmışlardır. Deneyler sonrasında kompozitte, giriş ve çıkış delik boyutlarına bağlı olan AE enerji seviyelerinde lineer artış olduğu sonucuna ulaşmışlardır [34].

Velayudham ve arkadaşları örgü kumaş cam/fenolik kompozitlerin farklı uç geometrilerine sahip takımlar ile delinmesinde meydana gelen eksenel kuvvetin delaminasyona etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda matkap uç geometrisinin delaminasyon hasarında oldukça etkili olduğunu ortaya koymuşlardır [35].

Çiftçi ve arkadaşları ağırlıkça % 16 oranında 30, 45 ve 110 μm boyutlarında SiC takviyeli 2014 alüminyum ana yapıli kompozitin tornalamasında, sabit ilerleme hızı ve talaş derinliği değerinde kesme hızına bağlı olarak takım aşınmasını, yüzey pürüzlülüğünü ve yığıntı talaş oluşumunu incelemişlerdir. İşlenebilirlik çalışmalarında kübik bor nitrür (CBN) uç kullanılmıştır. Bütün kesme hızı değerlerinde en kötü yüzey kalitesini 110 μm boyutunda SiC takviyeli kompozitin işlenmesi sırasında elde edilmiştir. SiC parçacığın büyük olması takım üzerinde daha fazla aşınmaya ve bu şekilde kötü bir yüzey elde edilmesine neden olduğu sonucuna varılmıştır [36].

2.3. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi

Yapılan literatür araştırmasında, araştırmacıların özellikle son yıllarda kompozit malzemelerin işlenebilirliği ile ilgili çalışmalar üzerinde yoğunlaştığı görülmüştür.

İncelenen çalışmalarda genellikle kesme parametreleri, elyaf açıları, kesici takım türü ve malzemesinin kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve delaminasyon genişliği üzerine

etkilerinin araştırıldığı görülmüştür. Birçok çalışmanın ortak sonucu olarak; KFTK malzemelerin işlenmesinde en önemli faktörlerin ilerleme miktarı ve elyaf oryantasyonu olduğu belirtilmiştir. Yüksek ilerleme miktarlarının kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve delaminasyon genişliğinin artmasına neden olduğu gözlemlenmiştir. Literatürün genel bir özeti Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Yapılan çalışmalarda genel olarak çok kristalli elmas (PCD) takımlar ile sementit karbür takımların kullanıldığı görülmüştür. Bu çalışmada ise, tasarımı ve üretimi gerçekleştirilen özgün PCD kesici takımlar ile KFTK malzemelerin çevre frezelemesi işle mi gerçekleştirilmiştir. Tasarımı ve üretimi gerçekleştirilen bu takımların üç kesici ağzından biri sağ biri sol helis açısına sahipken üçüncü kenar düz olarak imal edilmiştir. Çalışma kapsamında ortalama yüzey pürüzlülük değerleri, delaminasyon genişliği, kesme kuvvetleri ve takım aşınması incelenmiştir. Tasarımı ve üretimi yapılan takımlar arasında bütün çıktılar üzerinde en iyi sonucu 1 numaralı takımın verdiği görülmüştür. Kesme hızı artışının yüzey pürüzlülüğü, delaminasyon genişliği ve kesme kuvveleri üzerinde olumlu etkilediği bununla birlikte takım aşınmasını arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan çoklu regresyon analizi ile de KFTK malzemelerin işlenmesinde hangi parametrelerin daha etkin olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 2.1. Literatür özeti

Kaynak No	Kompozit malzeme			İşleme Yöntemi		Değerlendirme Çıktıları				Problem Kaynağı												Açıklamalar	
	KFTK	CFTK	AFTK	Frezeleme	Delme	Takım aşınması	Delaminasyon	Yüzey Pürüzlülüğü	Asıl Kesme Kuvvetleri	Yüksek kesme hızı	Düşük kesme hızı	Yüksek ilerleme	Düşük ilerleme	Takım malzemesi	Takım geometrisi	Fiber oryantasyonu	Fiber türü	Yana kaydırma miktarındaki artış	Kesme derinliğinde artış	Kesici takım ağız sayısı	Hızlı takım aşınması		
7	x			x				x			x	x										İyi yüzey kalitesi için yüksek devir, düşük ilerleme gerektiği belirtilmiştir.	
8	x			x					x			x	x									Uygun devir sayısı ve düşük ilerlemenin ile kesme kuvvetlerinin düşeceği belirtilmiştir	
9	x			x					x								x					Elyaf oryantasyonu kesme kuvvetlerini etkilemektedir.	
10	x			x					x				x									Artan kesme hızı ve ilerleme ile yüzey pürüzlülüğü artmaktadır.	
11	x			x				x				x										Takım geometrisinin kesme kuvvetleri üzerinde kaplama uygulamasından daha etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.	
12	x				x		x			x		x										delaminasyon üzerinde delme işlemi parametrelerinin etkili olmuştur	
13	x					x		x				x	x			x						Delaminasyonu azaltmak için yüksek kesme hızı, düşük ilerleme ve uygun takım geometrisi gereklidir.	
14	x				x	x	x		x		x	x			x	x						Takım ömrünün matkap uç ve helis açısının artmasıyla arttığını gözlemişken, artan kesme hızına bağlı olarak azaldığı ve artan ilerleme miktarına bağlı olarak takım ömrünün arttığı sonucuna ulaşmışlardır.	
15	x					x		x				x	x		x	x					x	Düşük kesme hızı ve yüksek ilerleme delaminasyonu arttırmaktadır.	
16	x					x			x	x	x		x									Matkap geometrisi, yüksek ilerleme ve kesme hızları kesme kuvvetlerini artırarak delaminasyona sebep olmaktadır.	
17	x					x		x				x	x		x	x					x	Düşük kesme hızı ve yüksek ilerleme delaminasyonu arttırmaktadır.	

Çizelge 2.1. (Devam) Literatür özeti

Kaynak No	Kompozit malzeme			İşleme Yöntemi		Değerlendirme Çıktıları				Problem Kaynağı											Açıklamalar	
	KFTK	CFTK	AFTK	Frezeleme	Delme	Takım aşınması	Delaminasyon	Yüzey Pürüzlülüğü	Asıl Kesme Kuvvetleri	Yüksek kesme hızı	Düşük kesme hızı	Yüksek ilerleme	Düşük ilerleme	Takım malzemesi	Takım geometrisi	Fiber oryantasyonu	Fiber türü	Yana kaydırma miktarındaki artışı	Kesme derinliğinde artış	Kesici takım ağız sayısı	Hızlı takım aşınması	
18	x				x		x									x						Farklı takım geometrilerini delaminasyon üzerinde büyük etkisi olduğu sonucuna varmıştır.
19	x				x		x									x						Delme parametreleri kombinasyonun uygun seçilmesi halinde delaminasyonsuz delikler elde edilebilir
20	x				x		x					x	x			x						Delaminasyonu azaltmak için yüksek kesme hızı, düşük ilerleme ve uygun takım geometrisi gereklidir.
21	x			xx				x			x			x								İyi yüzey pürüzlülüğü elde etmek için yüksek devirler ve düşük ilerlemeler miktarları kullanılmalı
22	x			x		x												x				Karbon elyafın aşındırıcı olması sebebiyle kesici kenarda yuvarlanmalar meydana gelmiştir.
26	x			x			x				x		x							x		Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliklerinin artması delaminasyonu arttırmaktadır.
28	x	x	x	x			x					x	x				x	x				Yüzey hasarını azaltmak için yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme kullanılmalıdır.
33		x			x		x		x		x						x					Kesme hızı ve fiber hacim oranı artırılarak daha az yüzey pürüzlülüğü elde edilebileceği, düşük ve yüksek fiber hacim oranlarında düşük ilerleme hızı ile delinen deliklerin, yüksek ilerleme ile delinen deliklerden daha pürüzlü olduğu ortaya neticesine ulaşmışlardır

3. KURAMSAL TEMELLER

3.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler; farklı maddelerin istenilen amaca yönelik, belli düzende bir araya getirilmesiyle hazırlanan malzemelerdir. Kompozit malzemeler, iki ya da daha fazla sayıdaki, aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemede toplamak amacıyla oluşturulurlar [37].

Kompozit malzemeler, geleneksel malzemelerin mevcut teknoloji karşısında değişen ihtiyaçlara cevap veremez hale gelmesi sonucunda geliştirilmiş ve bu malzemelerin üretimi/mekanik özellikleri üzerine araştırma ve geliştirme faaliyetleri yoğunluk kazanarak devam etmektedir [38].

Bir kompozit malzeme, takviye elemanı ve bunun etrafını çevreleyen ana yapıdan oluşmaktadır. Ana yapının işlevi, takviye elemanına yük aktarılmasını sağlamak, takviye elemanı ve ana yapıyı bir arada tutmak ve takviye elemanlarını dış etkilere karşı korumaktır. Takviye elemanın işlevi ise gelen yükü taşımak ve ana yapının katılığını ve dayanımını arttırmaktır. Kompozit malzemelerin üstün ve zayıf yanları aşağıda verilmiştir [39].

Kompozit Malzemelerin Avantajları

- i. Yüksek dayanım
- ii. Yüksek yorulma dayanımı
- iii. Mükemmel aşınma direnci
- iv. Yüksek sıcaklık kapasitesi
- v. İyi korozyon direnci
- vi. İyi ısı iletkenliği
- vii. Düşük ağırlık

Kompozit Malzemelerin dezavantajları

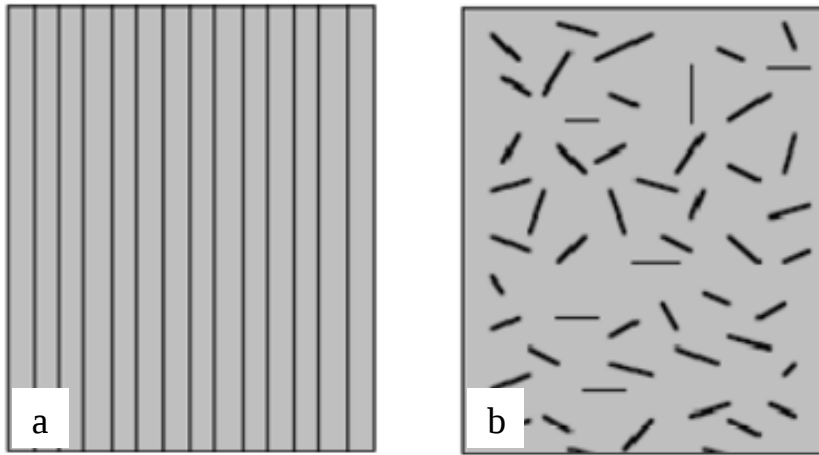
- i. Üretim güçlüğü,
 - ii. Üretiminin pahalı olması,
 - iii. İşlenmesinin güç olması, maliyetinin yüksek oluşu ve istenilen yüzey kalitesinin elde edilmemesi,
 - iv. Diğer malzemeler gibi geri dönüşümünün olmaması,
 - v. Kırılma uzamasının az oluşu
- gibi etmenler sayılabilir [39].

Kompozitler yapıdaki malzemelerin formuna göre fiber kompozitler, parçacık kompozitler, tabakalı kompozitler ve karma (hibrid) olmak üzere sınıflandırılabilirler. Veya matrisin türüne göre polimer, metal, seramik ve karbon kompozit olarak sınıflandırılır. Ayrıca matris malzemesinin türüne göre de polimer matrisli, seramik matrisli ve metal matrisli kompozitler şeklinde sınıflandırma da yapılabilir.

3.1.1. Fiber takviyeli kompozitler

Bir kompozit malzeme belirgin bir matris içerisinde bir ya da birden fazla takviye elemanı içermektedir. Fiberlerin kullanıldığı kompozit malzemelerde takviye elemanın tipi kısa veya uzun, tek yönlü ya da çok yönlü ve dokuma şeklinde olabilir. Matris ise polimer, metal, seramik ya da birkaç malzemenin kombinasyonundan oluşan bir kompozit olabilir [40].

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 [41,42]. Takviye tipi olarak fiber kullanılan kompozitlerde sürekli ya da süreksiz fiberler kullanılmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Kompozit malzemede takviye tipi: (a) Sürekli fiber takviye (b) Süreksiz fiber takviye [43].

Fiber Malzemeleri

Fiberler uzun ve kısa fiberler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Bir malzemenin uzun fiber olarak adlandırılabilmesi için boy/çap oranının 200-500 arasında olması gerekirken, kısa fiber olarak adlandırılabilmesi için bu oranın 20-60 arasında olması gereklidir [44].

Fiber takviyeli kompozit malzemelerde, fiberin birinci işlevi yükü taşıyarak dayanım ve rijitliği artırmaktır [45]. Uzay ve havacılık alanlarında ilk kullanılan kompozitler alüminyum alaşımlarından hazırlanmış ve uçakların bazı parçaları yüksek mekanik dayanımları ve hafifliklerinden dolayı alüminyum kompozitlerden yapılmıştır. Ancak Al alaşımları korozyona ve metal yorulmasına uğrayabilen maddelerdir. Fiber takviyeli polimerik kompozitlerde korozyonun söz konusu olmaması, ayrıca malzeme yorulmasının metallerdeki kadar hızlı gelişmemesi uzay ve havacılık alanlarında tercih edilmelerine sebep olur [46].

Fiberlerin kompozit içerisine belli doğrultularda yerleştirilebilmesi, fiber takviyeli kompozitlerin başlıca üstünlüklerindendir. Fiberler, kompozit içerisine uygun doğrultularda yerleştirilmesi ile, kompozitin yüklemelere farklı yönlerde farklı yanıtlar vermesi sağlanır (anizotropi). Benzer şekilde, darbe dayanımı, ısı iletkenlik, ısı genleşme gibi davranışlar da fiberlerin yönlenme eksenine bağlıdır. Fiberlerle yapılan takviye, fiber yönlenmesi ayarlanarak sözü edilen özelliklerin yöne bağlı kontrolüne imkan sağlar [46].

Genel bir kural olarak, kompozitlerin mekanik dayanımı bünyelerindeki fiber miktarının artmasıyla yükselmektedir. Fiber miktarı belli bir değere ulaştıktan sonra ise azalmaya başlamaktadır. Bunun nedeni fiber artışına bağlı olarak kompozit içerisindeki polimer miktarının azalmasıdır. Polimerin, kompozit içerisindeki oranı, belli bir değerin altına düştüğünde, matris işlevini kaybeder ve fiberleri bir arada tutamaz [46].

Özetle, fiber takviyeli polimerik kompozitler hazırlanırken, fiberler açısından aşağıdaki temel noktalara dikkat edilmesi gerekir [46]:

- Fiberin mekanik özellikleri,
- Fiber hacim oranı,
- Fiberin yönelme biçimi,
- Fiber kalınlığı.

Karbon Fiber

Polimer esaslı kompozitlerde cam elyafının günümüzde en çok kullanılan ve geçerli takviye malzemesi olmasına rağmen gelişmiş kompozit malzemelerde genellikle saf karbonun elyafı kullanılmaktadır [8]. 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 7-8 μm , sürekli veya kısa olabilir. Bu fiberler petrol veya kömürden üretilirler. En önemi karbon fiberleri, PAN fiberlerdir. 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 poli akrilo nitril- PAN). Isıl ve mekanik etkilerle karbon dışındaki elementler giderilmeye ve elyafta güçlü karbon-karbon bağları elyaf eksenine getirilmeye çalışılır. Fakat karbon elyafı cam elyafına oranla daha güçlü ve hafif olmasına rağmen üretim maliyeti daha fazladır, bu nedenle ileri kompozitleri hazırlanarak daha çok fiyatın önemli olmadığı uzay araçları, uçaklar, ileri teknoloji vb. alanlarda kullanılırlar.

Parçacık Takviyeli Kompozitler

Bu tip kompozitler; tek veya iki boyutlu gözle görülebilen veya görülemeyen parçacıkların ana yapı ile oluşturdıkları malzemelerdir. En çok kullanılan parçacıklar ise Al_2O_3 ve SiC seramiklerdir [39]. Bu tür kompozitlerde yük, elyaf ve matris tarafından birlikte taşınır.

Tabakalı Kompozitler

Tabakalı kompozit malzemeler, değişik özelliklere sahip birden çok malzemenin bir yapıştırıcıyla birleştirilmesiyle oluşturulurlar. Bu tür kompozitler, “Lamine Kompozit Malzeme” diye de adlandırılmaktadır [47].

Tabakalı kompozitler en az iki tabakadan oluşurlar. Ancak, dayanım ve mekanik özelliklerin özellikle önem taşıdığı ve kompozitin tabakaların düzlemindeki birbirine dik iki ayrı doğrultusunda birbirine yakın özelliklerin beklendiği hallerde, malzemenin hedeflenen bu özelliklere sahip olabilmesi için en az üç veya daha fazla tabaka kullanılmaktadır. Bu tabakaları oluşturan malzemeler farklı olabileceği gibi, aynı tür malzemedan de yapılabilmektedir [38].

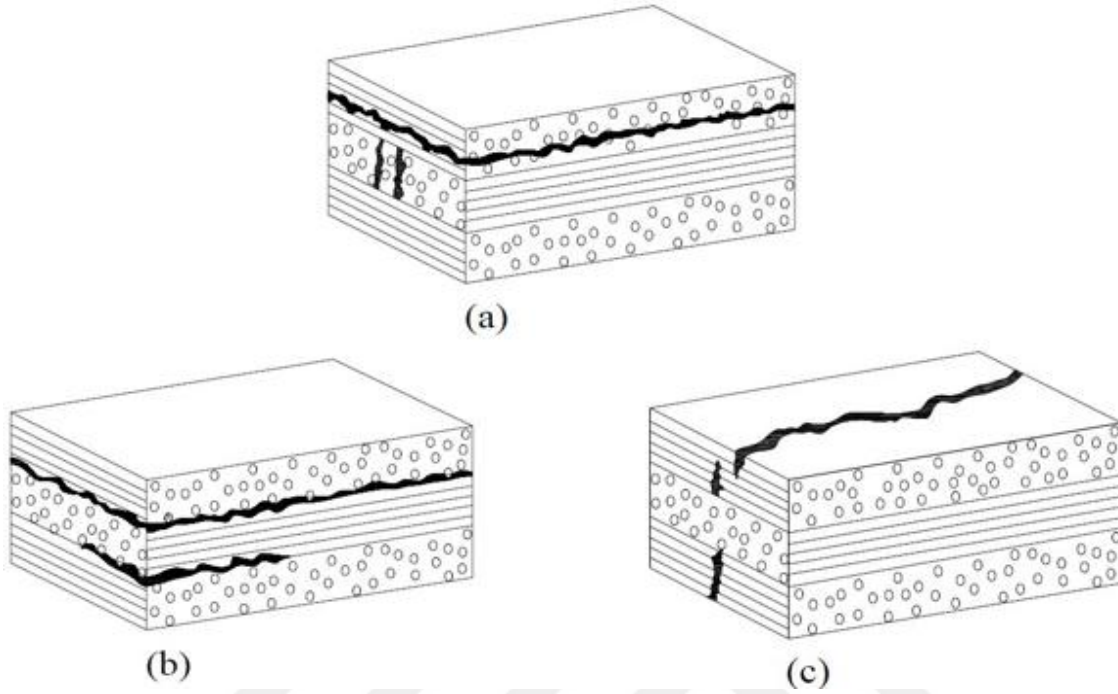
Karma Takviyeli Kompozit Malzemeler

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 kompozitden iyi, maliyeti düşük ve basma mukavemeti de kevlar elyafı kompozitden daha yüksek olmaktadır [48].

3.1.2. Fiber takviyeli kompozit malzemelerde delaminasyon (Hasar)

Kompoziti oluşturan tabakalar arasında meydana gelen hasarlar delaminasyon olarak tanımlanmaktadır. Hasar tabaka içerisinde ise tabaka içi ayrılma (Şekil 3.2. (a)) söz

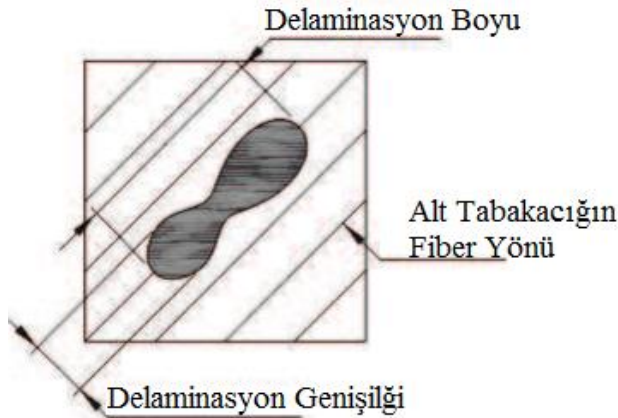
konusudur. Kompoziti oluşturan tabakaların kalınlığı boyunca meydana gelen hasarlar (Şekil 3.2. (b-c)) büyük miktarda fiber kırılmalarını da ihtiva etmektedir [49].



Şekil 3.2. Sürekli fiber takviyeli kompozit tabakalarda kırılma durumları: a) tabakalar içi delaminasyon; b) tabakalar arası delaminasyon; c) tabaka kalınlığı boyunca oluşan delaminasyon [50].

Delaminasyon tabakalı kompozitin kalınlığı yönünde takviye eksikliği nedeniyle, meydana gelen kırılma formlarından biri sayılır. Delaminasyon, darbe etkisi ya da üretim hatasından meydana gelebilir ve yapının basınç yük taşıma kapasitesinde önemli bir azalmaya neden olabilir [51].

Tabakalı kompoziti oluşturan her tabakanın kendisine özel ortotropik yapısı ve eşilme rijitliği delaminasyon hasarına neden olur. Çünkü tabakalı kompoziti oluşturan her tabaka farklı fiber takviye açısına sahiptir ve bu nedenle tabakaların ara yüzlerinde oluşan kayma gerilmelerinin doğrultuları ve büyüklükleri de farklıdır. Böylece tabakalı kompozit malzeme sistemi düzlem dışı darbeye karşı bir bütün olarak tepki veremez ve düzlem dışı darbe ile oluşan matriks çatlakları delaminasyon hasarını başlatır [52]. Tipik delaminasyonun gösterimi Şekil 3.3' te verilmiştir.



Şekil 3.3. Tipik delaminasyon şekli [53]

3.2. Frezeleme

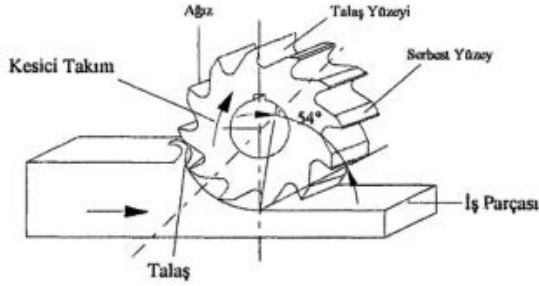
Frezeleme, ilke olarak dönen bir kesici takım ile iş parçasının doğrusal hareketi sonucunda gerçekleştirilen bir talaş kaldırma işlemidir. Frezede kesici takımın birçok kesici kenarı vardır ve her kenar belirli bir miktar talaş kaldırma kapasitesine sahiptir. Frezelemenin avantajları yüksek işleme verimliliği, iyi yüzey kalitesi, şeklin oluşturulmasındaki esnekliktir. Frezeleme genellikle düzlem yüzeylerin, dik köşelerin ve kanalların işlenmesi amacıyla kullanılan bir işlemdir [54].

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 [55].

Frezeleme; tezgâhlar, kontrol üniteleri ve kesici takımlardaki değişimler sonucunda giderek evrensel bir işleme metodu haline gelmektedir. Günümüzde işleme merkezleri frezeleme işlemlerinde en yaygın olarak kullanılan tezgâhlardır. Bu tezgâhlarda çok sayıda farklı takıma gereksinim vardır. Frezeleme işlemi için yüzyılın başlangıcında kullanılmakta olan temel tip tezgâhlardan karmaşık, çok eksenli- CNC'lere değişim gösteren çok farklı tipteki tezgâhlar kullanılabilir [56].

Çevresel frezeleme

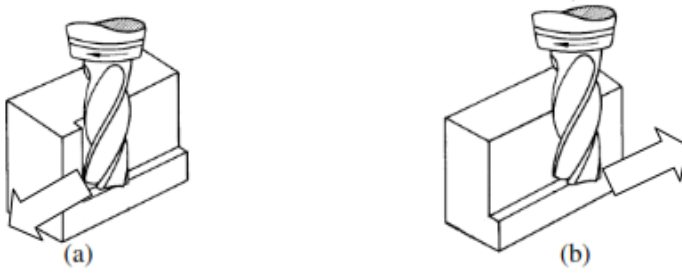
Çevresel frezeleme yöntemi, freze çakıların çevresindeki kesici uçların, talaş kaldırma işlemidir. Talaşlar kıvrık, virgül biçiminde ve talaş kesiti sürekli değişmektedir (Şekil 3.4) [58].



3.4. Çevresel frezeleme işleminde talaş kaldırma işlemi [57]

Alın Frezeleme

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 3.5.) [58].



Şekil 3.5. Alın frezeleme (a) Simetrik alın frezeleme (b) Asimetrik alın frezeleme [59].

3.2.1. Frezelemede talaş kaldırma

Talaş kaldırma işleminde, kesici takım iş parçası üzerinde belirli kuvvetlerle temas ettiğinde ve kuvvet yönüne doğru hareket ettirildiği zaman takım ucunun temas ettiği malzeme katmanında, önce elastik daha sonrada plastik şekil değişiklikleri oluşarak malzeme tabakasında akımlar başlar. Gerilmeler malzemenin kopma sınırını geçtiği anda “talaş”

olarak adlandırılan belirli bir yüzey tabakası, iş parçası boyunca parçadan ayrılır. Bu parçanın ayrılış biçimi, parça malzemesinin mekanik özelliklerine ve kesme şartlarına bağlı olarak değişik bir şekilde gerçekleşir ve farklı talaş tipleri meydana gelir. Bu nedenle, talaş kaldırma işlemine etki eden faktörlerin bilinmesi ve birbirine etkilerinin dikkate alınması gereklidir [60].

Talaş kaldırma işlemine etki eden faktörler

Kesme Hızı

Bir freze takımının, çevresindeki kesen bir dişin (noktanın) bir dakikada metre cinsinden keserek aldığı yol kesme hızıdır. Kesme hızı aşağıda verilen formül ve birimlerle ifade edilir [60].

$$V = \pi \cdot d \cdot n / 1000 \quad (3.1)$$

Burada;

V = Kesme hızı (m/dak.)

n = Devir sayısı (dev/dak.)

d = Freze takımının çapı (mm)

Kesme hızı belirlenirken dikkat edilmesi, gereken hususlar şöyle sıralanabilir [60].

- İş parçası malzemesi,
- Kesici takım malzemesi,
- Takım çapı
- İstenen yüzey kalitesi,
- Talaş derinliği,
- Tezgâh ve bağlama elemanların rijitliği,

İlerleme Miktarı

Takımın iş parçasına doğru birim zamandaki ilerlemesidir. Bu aynı zamanda tabla ilerlemesi ve tezgah ilerlemesi olarak da adlandırılır [54].

$$F = f_z \cdot n \cdot z \quad (\text{mm/dak}) \quad (3.1)$$

Burada;

F = Tabla ilerleme hızı (mm/dak),
 f_z = Diş başına ilerleme miktarı (mm/z),
 z = Ağız sayısı,
 n = Devir sayısı (dev/dak).

Eksenel talaş derinliği (a)

Takımın iş parçasından alın frezelemede eksenel, çevresel frezelemede radyal yönde (a_p) kaldırdığı talaştır [54].

Kesme genişliği veya radyal talaş derinliği (a_e)

Takımın alın frezelemede radyal, çevresel frezelemede eksenel yönde (a_{pe}) kapladığı iş parçası yüzey uzunluğudur [54].

Birim zamanda kaldırılan talaş hacmi (V_a)

Bu değer talaş derinliği, talaş genişliği ve takımın birim zamanda aldığı mesafenin çarpımına eşittir. Talaş debisinin birimi $\text{mm}^3/\text{dakika}$ dır [54].

3.2.2. Frezelemede oluşan kesme kuvvetleri

Frezeleme işlemlerinde oluşan kuvvetler; frezeleme yöntemi, kesici takım ve iş parçası malzemesi, takım ve iş parçası geometrisi, iş mili sehimi, kesici kenarlar arası mesafe, eğim açısı, ilerleme miktarı, kesme derinliği ve aşınma gibi faktörlere bağlıdır [61].

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 [62].

Aynı anda parçadan talaş kaldıran kesici uç sayısı;

$$Z_e = Z \cdot \frac{\varphi_s}{360} \quad (3.1)$$

Tüm kesici takıma ait ortalama kesme kuvvetleri;

$$F_c = Z_e \cdot F_{cz} \quad (3.2)$$

$$F_f = Z_e \cdot F_{fz} \quad (3.3)$$

$$F_r = Z_e \cdot F_{rz} \quad (3.4)$$

bağıntıları ile hesaplanır.

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

$$F_a = F_c \times \tan \lambda \quad (3.5)$$

ile ifade edilir. Düz silindirik frezelerde eksenel kuvvet oluşmaz.

Alın frezelemede kesme kuvvetlerinin durumu Şekil 3.6'da 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}):

$$F_{cz} = A_s \cdot k_s = B \cdot h_m \cdot k_s \quad (3.6)$$

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

$$F_c = Z_e \cdot F_{cz} = Z_e \cdot B \cdot h_m \cdot k_s \quad (3.7)$$

bağıntıları ile bulunur. Burada;

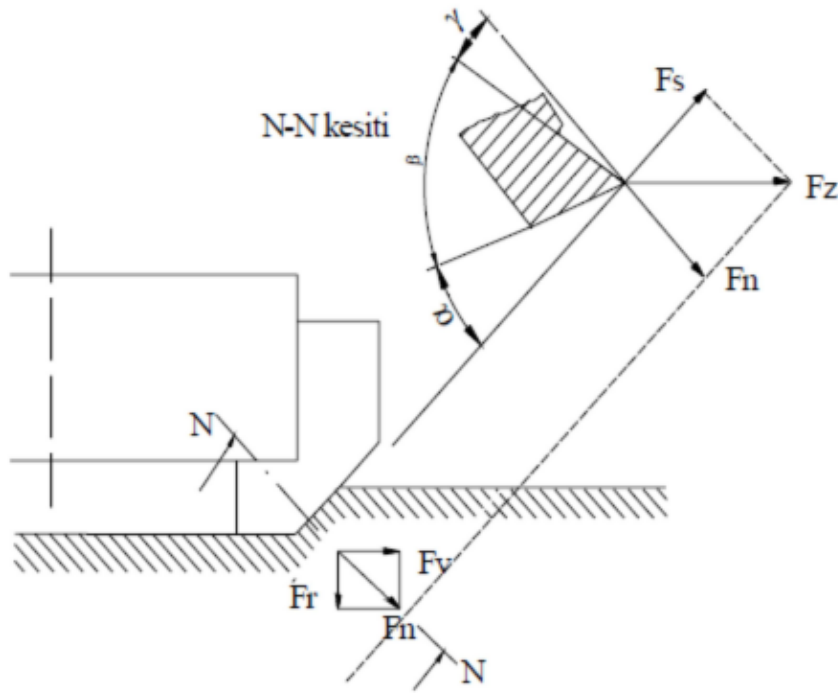
Z_e : Aynı anda talaş kaldıran kesici uç sayısı,

B : Kesme genişliği,

A_s : Talaş kesiti,

h_m : Ortalama talaş kalınlığı,

k_s : Özgül kesme kuvveti'dir



Şekil 3.6. Alın frezelemede oluşan kuvvetler [62].

Teorik hesaplamalarda, ortalama radyal kuvvet (F_r) ve ortalama ilerleme kuvveti (F_f) deneylere dayanan aşağıdaki bağıntılara göre bulunabilir [59].

Simetrik frezelemede;

$$F_f = (0,3 \dots 0,4) F_c \quad (3.8)$$

$$F_r = (0,85 \dots 0,95) F_c \quad (3.9)$$

$$F_a = (0,5 \dots 0,55) F_c \quad (3.10)$$

Zıt yönlü asimetrik frezelemede;

$$F_f = (0,6 \dots 0,9) F_c \quad (3.11)$$

$$F_r = (0,45 \dots 0,7) F_c \quad (3.12)$$

$$F_a = (0,5 \dots 0,55) F_c \quad (3.13)$$

Aynı yönlü asimetrik frezelemede;

$$F_f = (0,15 \dots 0,3) F_c \quad (3.14)$$

$$F_r = (0,9 \dots 0,1) F_c \quad (3.15)$$

$$F_a = (0,5 \dots 0,55) F_c \quad (3.16)$$

Kuvvetlerin her çevrimde her an değişen değerlerini ölçmek yerine ortalama değerlerini ölçmek daha uygundur. Frezelemede aynı anda birden fazla kesici kesmeye iştirak edeceğinden, ölçülen kesme kuvveti, o an kesme yapan diş sayısının meydana getirdiği kuvvet olacaktır. Eğer düşük hızlı bir kuvvet kayıt sistemi kullanılırsa gerçek geçiş kuvvetleri yerine ortalama kuvvetler kaydedilebilir. Alın frezeleme işleminde, deforme olmamış talaş kalınlığı sabit olmadığından takım yolu boyunca kesme kenarında değişken kesme kuvvetlerine sebep olur [63].

3.3. İşlenebilirlik ve Kompozit Malzemelerin İşlenebilirliği

İşlenebilirlik genellikle iş parçasının işlenebilme kabiliyeti, bir başka deyişle iş parçasının kesici bir takımla şekillendirilmesinin kolaylığı veya zorluğudur [7].

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 olan bağımlılığı önemlidir [64].

Malzemelerin işlenebilirliklerini etkileyen malzeme özellikleri sertlik, süneklik, ısıl iletkenlik, pekleşme, malzeme içindeki inklüzyonlar ve malzemenin kimyasal bileşimidir. Örnek olarak, sertlik arttıkça kesici takımda abrasif aşınma artar ve dolayısıyla takım ömrü kısalmır. Düşük sertlik ve dayanım genelde iyi işlenebilirlik anlamına gelmekle birlikte sertliği az olan çok sünek malzemelerde yığıntı talaş (Built-Up-Edge - BUE) oluşumu gerçekleştiği için yüzey kalitesi kötüleşir ve takım ömrü kısalmır. Çok düşük sertlik talaşlı imalat işleminin performansını kötü yönde etkileyebilir. Nispeten düşük sertliğe sahip düşük karbonlu çeliğin işlenmesinde kötü yüzey kalitesi oluşur ve talaş uzaklaştırılması ile ilgili problemlerle karşılaşılır. Bu nedenle, düşük karbonlu çeliklerde yüzey sertliğini artırmak ve talaş kırılmasını sağlamak için ekseriyetle soğuk çekme işlemi uygulanır. Düşük süneklik, metal kesme işleminde genelde olumlu bir etki yaparak iyi talaş oluşumuna katkıda bulunur ve metal kesme işlemi için daha az güç gerektirir. Artan iş parçası dayanımı da kesme kuvvetleri, özgül enerji ve kesme sıcaklığını artıracığı için, artan dayanımla metal kesme işlemi zorlaşır.

Bununla birlikte, yüksek ısıl iletkenlik kesme bölgesinden oluşan ısının hızlı olarak uzaklaştırılması demektir. Bu nedenle, yüksek ısıl iletkenlik işlenebilirlik yönünden genelde faydalıdır [65, 66].

Kompozit Malzemelerin İşlenebilirliği

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.

Kompozit malzemeler talaşlı şekillendirilme davranışlarını etkileyen kendilerine özgü özelliklere sahip olduklarından, bu malzemelerin talaşlı şekillendirilmeleri, geleneksel metaller ve alaşımlarının talaşlı şekillendirilmesi ile birçok açıdan farklılık göstermektedir [67].

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 [24].

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. 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.

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 [7].

3.4. Çok Kristalli Elmas (PCD) Kesici Takımlar

Doğada bilinen en sert malzeme doğal elmadır. Sementit karbür veya Al_2O_3 'ten yaklaşık olarak 3-4 kat daha serttir. Anizotropik özellik sergilediği için ölçüm yapılan kristal düzlemine bağlı olarak sertliği 6500–12000 VSD arasında değişir. Çok yüksek sertliği, mükemmel aşınma direnci, düşük sürtünme katsayısı, düşük genleşme katsayısı ve ısı şok direncini artıran yüksek iletkenliği ve iyi uç keskinliği tek kristalli elması takım malzemesi olarak cazip hale getirmiştir. Elmas kesici takımlar yüksek sertliklerinden dolayı karbür ve seramik kesici takımlardan aşınma direnci abrasif aşınma mekanizmasının hakim olduğu yerlerde çok daha iyidir [68,69].

Çok Kristalli Elmas (Polycrystalline Diamond – PCD), metalik bir bağlayıcı ile birlikte sinterlenmiş elmas parçacıklarının bir birleşimidir. Bir kesici takım olarak iyi bir aşınma direnci vardır ancak yüksek sıcaklıklarda kimyasal kararlılık eksikliği oluşur ve demirde kolayca çözünür. PCD takımların uygulama alanları genellikle; yüksek silisyum içerikli alüminyum, metal matris kompozitler (MMK) ve karbon fiber güçlendirmeli plastikler (KFTK) gibi demir içermeyen malzemelerle sınırlanmıştır. Kesme sıvısı temini ile PCD, titanyum süper ince talaş işleme uygulamalarında kullanılabilir.

Üretilmelerindeki ve daha sonra şekillendirilmelerindeki zorluklar nedeniyle sinterlenmiş PCD kesici takımlar geleneksel sementit karbür veya seramik kesici takımlardan çok daha pahalıdır. Çok pahalı olmalarına rağmen, takım ömrünü artırdığı ve dolayısıyla parça başına maliyeti düşürdüğü için PCD kesici takımlar birçok uygulama alanı bulmuşlardır [70]

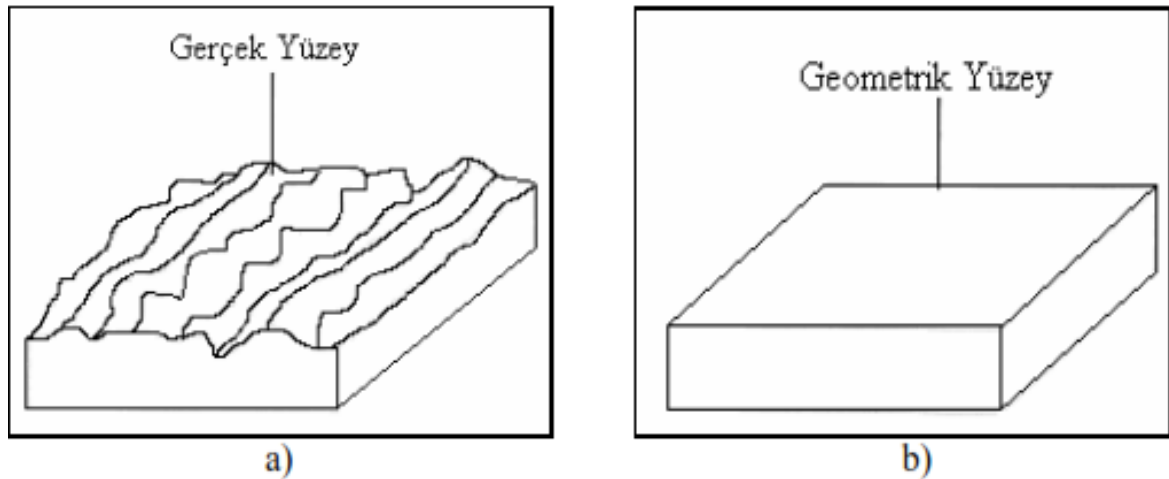
Çok kristalli elmas (PCD) kesici takımlar yapay elmasın grafitik karbondan çok yüksek sıcaklık ve basınç altında üretiminden sonra kullanılmaya başlanmıştır. Çeşitli boyut ve şekillerde üretilen elmas parçacıklar bir metalik birleştirici ile birlikte bir araya getirilerek sıcak presleme yöntemiyle çok yüksek basınç altında kesici takım geometrisinde imal edilir.

Çoğunlukla 0,5–1 mm kalınlığındaki PCD, sementit karbür alt katman üzerinde kesici takım olarak kullanılır [71].

PCD kesici takımın birçok uygulamaları için pozitif talaş açısı tavsiye edilir. Bu kesici takımlarla işlerken yığıntı talaş problem olursa kesme hızının ve talaş açısının artırılması gerekir. Diğer taraftan, kesici uç kırılması veya küçük kırılmalar problem olursa, ilerleme hızı düşürülmelidir. PCD ile işleme esnasında çoğunlukla soğutma sıvısı kullanılmaz. PCD takımlar aşındıklarında bilenebilirler [70].

3.5. Yüzey Pürüzlülüğü

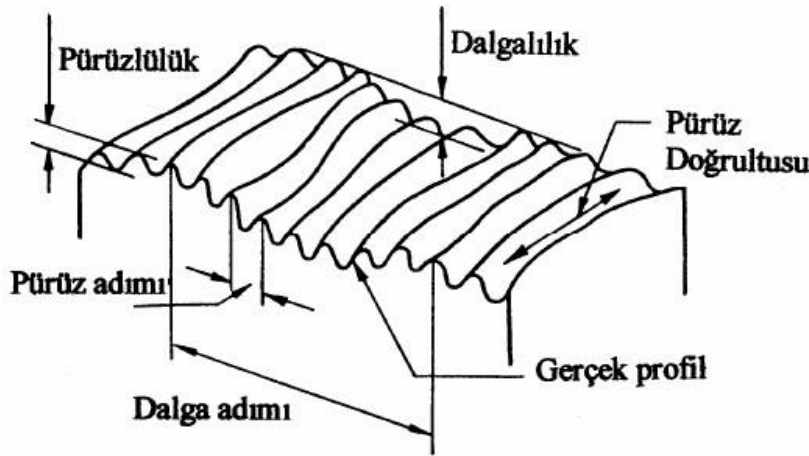
Modern talaş kaldırma yöntemlerinde boyutsal tamlığın yanında yüzey kalitesi de önemli bir unsurdur. Birbirleriyle çalışan yüzeylerin kalitesi bu parçaların aşınmasında önemli bir etkindir. Standartlara göre, bir nesne bir yüzey tarafından sınırlanır ve bu yüzeyin nesneyi başka bir yüzeyden, alandan veya maddeden ayırmasına gerçek yüzey adı verilir ve geometrik bakımdan mükemmel yüzey olarak düşünülür. Gerçek yüzey, cismi sınırlayan ve çevresindeki ortamdan ayıran yüzeydir (Şekil 3.7). Yüzey yapısı, sapmaları ifade eder. Sapmalar tekrarlı veya rastgele olabilir. Geometrik bakımdan mükemmel yüzey olarak düşünülen yüzeye geometrik yüzey adı verilir [72].



Şekil 3.7. Yüzey şekilleri a) Gerçek yüzey b) Geometrik yüzey [57].

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 3.8’de işlenmiş bir yüzey geometrisi görülmektedir [73].



Şekil 3.8. İşlenmiş bir yüzeyin yüzey karakteri

Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler;

- Kesici takımdaki titreşimler,
- Kesici takım geometrisi,
- İşlenen iş parçasında medyana gelen titreşim ve balans,
- İlerleme miktar
- Kesme hızı,
- Talaş derinliği,
- Kesici uçun üzerine talaşın yapışması (BUE),
- İşlenen malzemenin süreksiz talaş vermesi,
- Bir önceki yüzey kalitesi,

şeklinde sıralanabilir [74,75].

3.6. Takım Aşınması

Aşınma, kesici takım malzeme kaybından ileri gelen ve ilk şekline göre oluşan farklıdır. Takım aşınması, kesici kenar üzerine etki eden yük faktörlerinin bir sonucudur. Kesici kenarın ömrü, kenar geometrisini değiştirmeye çalışan bu faktörler sayesinde belirlenir. Aşınmaya sebep olan esas yük faktörleri; mekanik, ısı, kimyasal ve sürtünme faktörleridir [76].

Takım aşınması, kesici kenar üzerindeki yük faktörlerinin bir kombinasyonudur. Bu yük faktörleri mekaniksel, termal, kimyasal ve aşındırıcı olarak sıralanabilir. Bu faktörlerin bir sonucu olarak bazı temel aşınma mekanizmaları talaş kaldırma olayına etki eder. Bu mekanizmalar aşağıdaki gibi ifade edilebilir [76, 77].

- Abrasyon (aşındırıcılarla) aşınma (abrasif aşınma).
- Yapışma (adezyon) ile aşınma (adhesiv).
- Difüzyon aşınması.
- Yorulma ile aşınma (statik veya dinamik).
- Oksidasyon aşınması.

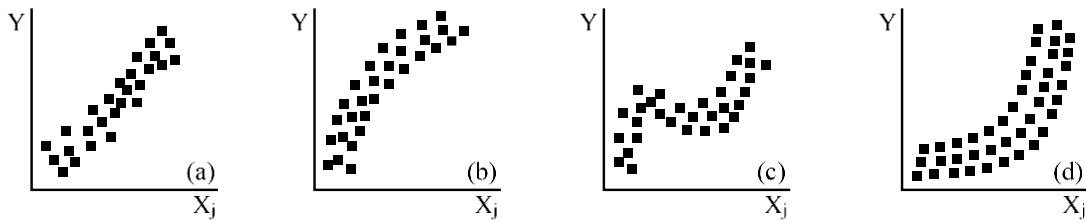
Aşınmış kesici takımda, kesici takımın kesici ucunda keskin bir kenardan farklı olarak sürtünen bir bölge olacağı için bu bölgenin iş parçası ile sürtünmesi sonucu da daha fazla ısı enerjisi açığa çıkarak, kesme bölgesinde kesici takım ve iş parçasının sıcaklığı artar. Artan sıcaklıkla, kesici takımın aşınma direnci ve dayanımı azalır. Artan sıcaklıkla aynı zamanda, iş parçası boyutlarında sapma olur ve istenilen ölçü toleranslarının dışına çıkılarak hatalı parçalar üretilebilir. Yüksek sıcaklık sonucu iş parçasının yüzeyinde ve yüzey altında istenilmeyen metalürjik dönüşümler oluşabilir. Bu dönüşümler iş parçası yüzeyinde çekme tipinde kalıcı gerilmelere neden olarak iş parçalarının yorulma dayanımını azaltabilir [78].

3.7. Regresyon Analizi

Regresyon analizi, aralarında sebep-sonuç ilişkisi bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi, o konu ile ilgili tahminler veya kestirimler yapabilmek amacıyla regresyon modeli olarak adlandırılan matematiksel bir model ile karakterize eden

istatistiksel bir analiz tekniğidir [79]. Regresyon modeli oluşturulduktan sonra, modelin yeterli olup olmadığının kontrolü, regresyon analizinin en önemli bölümüdür. Regresyon analizinde genellikle modelin yeterliliğini belirlemek üzere varyans analizi (ANOVA) yapılmaktadır.

Regresyon analizinde bağımsız değişkenlerin modele ne şekilde gireceği veya değişkenler arasındaki ilişkiyi ifade edecek olan modelin hangi model olacağı konusunda başlangıçta bir fikir elde etmek için, gözlem noktalarının koordinat eksenindeki dağılımını gösteren serpilme diyagramı incelenir. Elde edilen grafikte tipik bazı görünümlere göre çıktı (Y) ile girdi (X_j) arasındaki ilişkinin şekli görsel olarak belirlenebilir. Bağımlı değişkenin, bağımsız değişkenlere göre grafikleri oluşturulduğunda Şekil 3.9'da verilen tipik durumlar elde edilebilir. a , b ve c eşitlik sabitleri olmak üzere Şekil 3.9a-Şekil 3.9d'de sırasıyla X ile Y arasındaki doğrusal ($Y = c + b \cdot X$), logaritmik ($Y = c + b \cdot \ln X$), polinom ($Y = c + b_1 \cdot X + b_2 \cdot X^2 + \dots$) ve üstel ($Y = a \cdot e^{b \cdot x}$) ilişkiler gösterilmiştir. Üstel bir fonksiyon ile ifade edilebilecek bir veri grubuna doğrusal bir model uydurulmaya çalışılırsa; ilişki istatistiksel olarak önemli olsa bile daha baştan hata yapılmış olacaktır. Hazırlanan model kullanılarak yapılacak tahminlerdeki isabetin yüksek olması, kullanılan veri grubunun hangi modele uymasına ve modelin buna göre seçilmesine bağlıdır [80].



Şekil 3.9. Değişkenler arasındaki tipik ilişkiler için bazı serpilme diyagramı örnekleri [80]

3.7.1. Doğrusal regresyon analizi

Değişkenler arasındaki ilişkinin matematiksel bir model ile açıklanmasına *regresyon analizi* adı verilmektedir. Başlıkta geçen “doğrusal” kelimesi ise değişkenler arasındaki ilişkiyi açıklamak üzere kullanılan matematiksel modelin doğrusal olduğunu ifade etmekte olup; değişkenler arasında doğrusal bir ilişkinin bulunduğu anlamına gelmez. Doğrusal regresyon

analizi, *basit doğrusal regresyon* ve *çok değişkenli doğrusal regresyon* olmak üzere iki grupta incelenebilir.

Basit doğrusal regresyon analizi

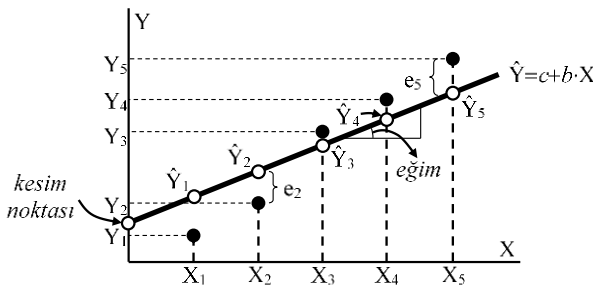
Basit doğrusal regresyon analizinde, bağımsız ve bağımlı değişkenler olmak üzere iki değişken arasındaki ilişki incelenmekte olup kullanılan matematiksel modelin ifadesi,

$$\hat{Y} = c + b \cdot X \quad (3.17)$$

biçimindedir. Basit doğrusal regresyon analizinde değişkenler arasındaki ilişki, Eş. 3.17’de verilen ilişkiye benzer bir fonksiyonla ifade edilirken; modeldeki c ve b model sabitlerinin tahmin edilmesi gerekir. Bunun için değişkenlerin birlikte değişimini gösteren bir bileşik seriden yararlanılır. Serinin birim sayısı (gözlem veya deney sayısı) n ile gösterilecek olursa, n biriminin oluşturacağı ana kütle için bir doğrusal regresyon modeli olacaktır. Ana kütle regresyon modeli,

$$Y_i = c + b \cdot X_i + e_i \quad \Rightarrow \quad Y_i = \hat{Y}_i + e_i \quad (3.18)$$

biçimindedir. Burada Y_i , X_i sırasıyla bağımlı ve bağımsız değişkenleri ve e_i gerçek değer ile kullanılan basit doğrusal regresyon modeli arasında gerçekleşebilecek hatayı (Şekil 3.10) göstermektedir.



Şekil 3.10. Basit doğrusal regresyon modelindeki hata terimi [79]

Şekil 3.10’da gösterilen X_2 ve X_5 bağımsız değişkenleri için elde edilen hata terimleri,

$$\pm e_i = Y_i - \hat{Y}_i \text{ olup } Y_i < \hat{Y}_i \text{ ve } Y_i > \hat{Y}_i \Rightarrow Y_i - \hat{Y}_i = -e_i \text{ ve } Y_i - \hat{Y}_i = e_i$$

şeklindedir. Burada Y_2 ve Y_5 değerleri X_2 ve X_5 bağımsız değişkenleri için çeşitli deney veya gözlem sonuçları yardımıyla bilinen *gerçek* değerleri; $\hat{Y}_2$ ve $\hat{Y}_5$ değerleri ise regresyon doğrusu üzerinde yer alan *teorik* (tahmin edilen) değerleri göstermektedir.

Bağımsız değişken (X_i) ve deney/gözlem sonuçları yardımıyla da bağımlı değişken (Y_i) bulunduğu bilindiğinden; model sabitlerinin (c ve b) belirlenmesi gerekmektedir. c ; matematiksel olarak $X=0$ için Y 'nin alacağı değer olup regresyon doğrusunun Y eksenindeki kesim noktasını göstermekte ve *sabit* (veya *kesişim*) olarak adlandırılır. Regresyon doğrusunun eğimi ise b 'dir.

Basit doğrusal regresyon analizi yardımıyla yapılacak tahminlerin geçerli olabilmesi, hata terimleri ile ilgili olan ve temel varsayımlar olarak adlandırılan varsayımların geçerliliğine bağlıdır [81]. Bu varsayımlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- *Normallik*: Hata terimlerinin dağılımı, normal dağılımdır.
- *Sıfır ortalama*: Hata terimlerinin dağılımlarının ortalaması sıfırdır.
- *Sabit varyans*: Hata terimlerinin her birinin dağılımının varyansı sabittir.
- *Otokorelasyon olmaması*: Hata terimleri birbirini etkilememelidir (hata terimlerinin arasındaki ilişkiye otokorelasyon adı verilir).
- X_i değişkeninin tesadüfi değişken olmaması

Regresyon analizinde model sabitlerinin (c ve b) tahmininde kullanılan en küçük kareler metodunda; gerçek değerler ile teorik değerler arasındaki farkların kareleri toplamının minimum edilmesi amaçlanmaktadır. Regresyon analizinde gerçek değerler ile teorik değerler arasındaki farklar, hata terimi olarak ifade edildiğinden, Eş. 3.18'e göre c ve b sabitleri; hata terimlerinin kareleri toplamı (E) minimum olacak şekilde tahmin edilir. Buna göre teorik değerler, Eş. 3.18'deki X_i değerleri yerine konularak elde edildiğinden; E ,

$$E = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n [Y_i - \hat{Y}_i]^2 = \sum_{i=1}^n [Y_i - (c + b \cdot X_i)]^2 \quad (3.19)$$

olacaktır. E'yi minimum yapacak c ve b değerlerini belirlemek için, E'nin c ve b 'ye göre kısmi türevleri alınır ve sıfıra eşitlenir. Buna göre kısmi türevler;

$$\frac{\partial E}{\partial c} = 2 \cdot \sum_{i=1}^n [Y_i - (c + b \cdot X_i)] \cdot (-1) \quad (3.20.a)$$

$$\frac{\partial E}{\partial b} = 2 \cdot \sum_{i=1}^n [Y_i - (c + b \cdot X_i)] \cdot (-X_i) \quad (3.20.b)$$

şeklinde olacaktır. Eş. 3.21'deki gibi kısmi türevler sıfıra eşitlenir ve gerekli düzenlemeler yapılır ise Eş. 3.22. ve Eş. 3.23.'ye göre c ve b değerleri elde edilir:

$$\frac{\partial E}{\partial c} = 0 \Rightarrow \sum_{i=1}^n Y_i - n \cdot c - b \cdot \sum_{i=1}^n X_i = 0 \Rightarrow \sum_{i=1}^n Y_i = n \cdot c + b \cdot \sum_{i=1}^n X_i \quad (3.21.a)$$

$$\frac{\partial E}{\partial b} = 0 \Rightarrow \sum_{i=1}^n Y_i \cdot X_i - c \cdot \sum_{i=1}^n X_i - b \cdot \sum_{i=1}^n X_i^2 \Rightarrow \sum_{i=1}^n Y_i \cdot X_i = c \cdot \sum_{i=1}^n X_i + b \cdot \sum_{i=1}^n X_i^2 \quad (3.21.b)$$

$$c = \frac{1}{n} \cdot \left[\sum_{i=1}^n Y_i - b \cdot \sum_{i=1}^n X_i \right] = Y_{ort} - b \cdot X_{ort} \Rightarrow c = \bar{Y} - b \cdot \bar{X} \quad (3.22)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i \cdot X_i - \bar{Y} \cdot \sum_{i=1}^n X_i}{\sum_{i=1}^n X_i^2 - \bar{X} \cdot \sum_{i=1}^n X_i} \text{ veya } b = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i \cdot X_i - n \cdot \bar{Y} \cdot \bar{X}}{\sum_{i=1}^n X_i^2 - n \cdot \bar{X}^2} \quad (3.23)$$

Çok değişkenli doğrusal regresyon analizi

Çok değişkenli doğrusal regresyon analizi ise bir adet bağımlı değişken ve birden fazla bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi incelenmekte olup kullanılan matematiksel modelin ifadesi,

$$Y_i = c + b_1 \cdot X_{1i} + b_2 \cdot X_{2i} + b_3 \cdot X_{3i} + \dots + b_k \cdot X_{ki} + e_i \Rightarrow Y_i = \hat{Y}_i + e_i \quad (3.24)$$

biçimindedir. Burada Y_i , bağımlı değişkeni; $X_{1i}, X_{2i}, X_{3i}, \dots, X_{ki}$ bağımsız değişkenleri; $c, b_1, b_2, b_3, \dots, b_k$, model sabitlerini; e_i , hata terimini ve $\hat{Y}_i$ ise bağımsız değişkenler kullanılarak hesaplanan (tahmin edilen) değeri göstermektedir. Ayrıca Eş 3.24'deki c , sabit katsayı olup hesaplamalarda bağımsız değişken karşılığı 1 kullanılır ($X_{0i}=1$). Modelde n

sayıda bağımlı değişken ve $k+1$ sayıda da model sabiti ($c, b_1, b_2, b_3, \dots, b_k$) ve bağımsız değişken ($X_0, X_1, X_2, X_3, \dots, X_k$) bulunmaktadır.

Çoklu regresyon analizinde, basit doğrusal regresyon analizindeki varsayımlara ilave olarak iki temel varsayım daha vardır:

- Çoklu doğrusal bağımlılık olmaması ve
- Gözlem sayısının tahmin edilecek parametre sayısından fazla olması ($n > k$)

Çoklu doğrusal regresyon analizindeki parametrelerin tahmini, basit doğrusal regresyon analizinde olduğu gibi en küçük kareler metodu yardımıyla yapılmakta ve gerçek değerler ile teorik değerler arasındaki farkların kareleri toplamı minimize edilmektedir. Ancak daha kolay olması bakımından burada çoklu doğrusal regresyon analizindeki parametrelerin tahmini, matris notasyonu yardımıyla gösterilecektir.

Buna göre,

$$\begin{aligned} Y_1 &= c + b_1 \cdot X_{11} + b_2 \cdot X_{12} + b_3 \cdot X_{13} + \dots + b_k \cdot X_{1k} + e_1 \Rightarrow Y_1 = \hat{Y}_1 + e_1 \\ Y_2 &= c + b_1 \cdot X_{21} + b_2 \cdot X_{22} + b_3 \cdot X_{23} + \dots + b_k \cdot X_{2k} + e_2 \Rightarrow Y_2 = \hat{Y}_2 + e_2 \\ Y_3 &= c + b_1 \cdot X_{31} + b_2 \cdot X_{32} + b_3 \cdot X_{33} + \dots + b_k \cdot X_{3k} + e_3 \Rightarrow Y_3 = \hat{Y}_3 + e_3 \\ &\vdots \end{aligned} \quad (3.25.a)$$

$$Y_n = c + b_1 \cdot X_{n1} + b_2 \cdot X_{n2} + b_3 \cdot X_{n3} + \dots + b_k \cdot X_{nk} + e_n \Rightarrow Y_n = \hat{Y}_n + e_n$$

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1k} \\ 1 & X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{nk} \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} c \\ b_1 \\ \vdots \\ b_k \end{bmatrix}, e = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_n \end{bmatrix} \text{ ve } \hat{Y} = \begin{bmatrix} \hat{Y}_1 \\ \hat{Y}_2 \\ \vdots \\ \hat{Y}_n \end{bmatrix} \quad (3.25.b)$$

şeklinde olmak üzere

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1k} \\ 1 & X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{nk} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c \\ b_1 \\ \vdots \\ b_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_n \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

veya

$$Y = X \cdot B + e \quad \text{olup} \quad \hat{Y} = X \cdot B \quad \Rightarrow \quad Y = \hat{Y} + e \quad (3.27)$$

biçimindedir. Burada $\hat{Y}$, bağımsız değişkenler kullanılarak hesaplanan (tahmin edilen) $n \times 1$ boyutundaki bağımlı değişkenler vektörünü; X , $n \times (k+1)$ boyutunda bağımsız değişkenler matrisini; B , $(k+1) \times 1$ boyutunda model sabitleri vektörünü ve e , $n \times 1$ boyutunda hata terimleri vektörünü göstermektedir.

Eş. 3.19'a benzer biçimde çoklu doğrusal regresyon analizindeki model sabitlerinin tahmininde kullanılan en küçük kareler metodunda hata teriminin

$$E = \sum_{i=1}^n e_i^2 = e^T \cdot e \quad (3.28)$$

ifadesi [82], $e=Y-\hat{Y}$ veya $e=Y-X \cdot B$ biçiminde yazılırsa; hata terimlerinin toplamı, B cinsinden

$$\begin{aligned} e^T \cdot e &= (Y - X \cdot B)^T \cdot (Y - X \cdot B) \\ &= Y^T \cdot Y - Y^T \cdot X \cdot B - B^T \cdot X^T \cdot Y + B^T \cdot X^T \cdot X \cdot B \\ &= Y^T \cdot Y - 2 \cdot B^T \cdot X^T \cdot Y + B^T \cdot X^T \cdot X \cdot B \end{aligned} \quad (3.29)$$

elde edilir. Buradaki T sembolü matrisin transpozu olup; $-B^T \cdot X^T \cdot Y$ değeri bir skalerdir. Başka bir deyişle, $-[\dots]_{1 \times (k+1)} \cdot [\dots]_{(k+1) \times n} \cdot [\dots]_{n \times 1} = \text{skaler}$ olması sebebiyle; $-B^T \cdot X^T \cdot Y$ değeri, transpozu olan $-Y^T \cdot X \cdot B$ 'ye eşittir [82]. Buna göre model sabitleri için kısmi türev alınır ve sıfıra eşitlenirse,

$$\frac{\partial e^T \cdot e}{\partial B} = -2 \cdot X^T \cdot Y + 2 \cdot X^T \cdot X \cdot B = 0 \quad \Rightarrow \quad X^T \cdot X \cdot B = X^T \cdot Y \quad (3.30)$$

olur. Eş. 3.30, bir adet sabit ve k sayıda bilinmeyenli n adet doğrusal denklem sistemidir. B 'nin çarpanı olan $X^T \cdot X$ ifadesinin tersi alınır ve eşitliğin her iki yanı ile soldan çarpılırsa; $(k+1) \times 1$ boyutunda regresyon model sabitleri vektörü B ;

$$B = (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot Y \quad (3.31)$$

olarak elde edilir [82-85]. Daha sonra Eş. 3.27'ye göre yapılan $\hat{Y} = X \cdot B$ matris çarpımı neticesinde model sonuçları elde edilmiş olur.

3.7.2. İstatiksel değerlendirme kriterleri

Modelleme işlemleri belirli bir hata ($e_i = Y_i - \hat{Y}_i$; deney/gözlem sonuçları olan gerçek sonuçlar ile regresyon doğrusu üzerinde yer alan model sonuçları arasındaki fark) değeriyle yapıldığından, geliştirilen modelin uygunluğunun araştırılması gerekmektedir. Bu amaçla varyans analizi (*Analysis of Variance*, ANOVA) ve regresyon istatistiği kapsamında regresyon modeli tabloları kullanılır. n ve k sırasıyla gerçek sonuç ve bağımsız değişken sayısı olmak üzere değişkenler arası ilişkiyi sınavan Çizelge 3.1'de verilen ANOVA tablosunda yer alan parametrelerin hesaplaması Eş. 3.32- Eş. 3.35'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Örnek ANOVA tablosu

	Serbestlik derecesi (df)	Kareler toplamı (SS)	Kareler ortalaması (MS)	F-değeri	F _{Anlamlılık} (P-değeri)
Regresyon	df_R	SS_R	MS_R	F_R	P_R
Hata (Fark)	df_E	SS_E	MS_E		
Toplam	df_T	SS_T	MS_T		

$$df_R = k \quad , \quad df_E = n - k - 1 \quad , \quad df_T = df_R + df_E = n - 1 \quad (3.32)$$

$$SS_R = \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 \quad , \quad SS_E = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad , \quad SS_T = SS_R + SS_E = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (3.33)$$

$$MS_R = SS_R / df_R \quad , \quad MS_E = SS_E / df_E \quad , \quad MS_T = MS_R + MS_E \quad (3.34)$$

$$F_R = MS_R / MS_E \quad (3.35)$$

P_R değeri, Excel programındaki F.DAĞ.SAĞK($P_R; df_R; df_E$) fonksiyonu ile belirlenir. Yaygın olarak kullanılan %95'lik güvenilirlik için yanılma olasılığı $\alpha=0,05$ kullanılarak, $P_R < \alpha$

olması halinde regresyon modelindeki bağımlı ve bağımsız değişkenler arası ilişki için hesaplanan R^2 değerinin anlamlı olduğu sonucuna varılır.

Regresyon istatistiği kapsamında regresyon modeli sabitleri ($c, b_1, b_2, b_3, \dots, b_k$) ve bunlara ilişkin standart hata, T-değeri, P-değeri ve %95'lik güvenilirlik için güven seviyelerini gösteren Çizelge 3.2'deki regresyon modeli sabitleri tablosunda yer alan parametrelerin hesaplaması Eş. 3.36- Eş. 3.38'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Regresyon modeli sabitleri tablosu

	Model sabitleri	Standart Hata	T-değeri	P-değeri	Düşük %95	Yüksek %95
Model sabiti	c	SE_{sabit}	T_{sabit}	P_{sabit}	L_{sabit}	U_{sabit}
Girdi 1	b_1	SE_1	T_1	P_1	L_1	U_1
Girdi 2	b_2	SE_2	T_2	P_2	L_2	U_2
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
Girdi k	b_k	SE_k	T_k	P_k	L_k	U_k

$c, b_1, b_2, \dots, b_k$ model sabitlerinin Eş. 3.31 ile hesaplandığını hatırlayınız. Eş. 3.31'deki $(\mathbf{X}^T \cdot \mathbf{X})^{-1} = [\dots]_{(k+1) \times (k+1)}$ matrisi yardımıyla

$$SE = MS_E \cdot (\mathbf{X}^T \cdot \mathbf{X})^{-1} = \begin{bmatrix} SE_{11} & SE_{12} & \dots & SE_{1(k+1)} \\ SE_{21} & SE_{22} & \dots & SE_{2(k+1)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ SE_{(k+1)1} & SE_{(k+1)2} & \dots & SE_{(k+1)(k+1)} \end{bmatrix}_{(k+1) \times (k+1)} \quad (3.36)$$

olarak elde edilen matrisin diyagonalı (köşegeni) kullanılarak model sabiti ve girdilerin standart hataları belirlenir:

$$SE_{\text{sabit}} = \sqrt{SE_{11}} \quad , \quad SE_1 = \sqrt{SE_{22}} \quad , \quad SE_2 = \sqrt{SE_{33}} \quad , \quad \dots \quad , \quad SE_k = \sqrt{SE_{(k+1)(k+1)}} \quad (3.37)$$

$$T_{\text{sabit}} = c/SE_{\text{sabit}} \quad , \quad T_1 = b_1/SE_1 \quad , \quad T_2 = b_2/SE_2 \quad , \quad \dots \quad , \quad T_k = b_k/SE_k \quad (3.38)$$

T değerleri için hesaplanan $P_{\text{sabit}}, P_1, P_2, \dots, P_k$ değerlerinin her biri Excel programındaki $\text{TDAĞ}(x, \text{serbestlik derecesi}, \text{yazı say})$ fonksiyonu yardımıyla belirlenir. Örneğin P_{sabit} için $P_{\text{sabit}} = \text{TDAĞ}(\text{MUTLAK}(T_{\text{sabit}}); df_E; 2)$. Yaygın olarak kullanılan %95'lik güvenilirlik için

yanılma olasılığı $\alpha=0,05$ kullanılarak T dağılımının düşük ve yüksek olarak ifade edilen güven seviyesi belirlenir. Örneğin L_{sabit} ve U_{sabit} değerleri $c \pm T_{\text{TERS}}(0.05; df_E) * SE_{\text{sabit}}$ Excel fonksiyonu ile hesaplanır (düşük ve yüksek için sırasıyla – ve + işareti kullanılır).

Bir regresyon denkleminin başarısı; açıklanabilen bağımlı değişkenin büyüklüğüne diğer bir ifadeyle belirlilik katsayısının (R^2) büyüklüğü ile yakından ilgilidir. Bütün gözlemler regresyon doğrusu üzerinde olursa $R^2=1$ olurken regresyon doğrusu gözlemleri temsil etmekten uzaklaştıkça R^2 değeri de 1 küçülür. Başka bir deyişle önemli olan R^2 değeridir. Bazı istatistikçiler R^2 'yi daha da güvenilir hale getirmek için düzeltilmiş şeklini (R_{adj}^2) kullanmaktadırlar. Çoklu regresyon katsayısı ($R_{\text{çoklu}}$) ise bir bağımlı değişkendeki değişim ile eş zamanlı (aynı anda) ele alınan birden fazla bağımsız değişkendeki değişim arasındaki ilişkinin derecesini göstermektedir. Regresyon istatistiği kapsamında R^2 , $R_{\text{çoklu}}$, R_{adj}^2 ve standart hatayı (karekök ortalama; *root-mean-squared*, *RMS*) gösteren Çizelge 3.3'deki regresyon istatistikleri tablosunda yer alan parametrelerin hesaplaması Eş. 3.39- Eş. 3.42'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Regresyon istatistikleri tablosu

Belirlilik katsayısı	Çoklu regresyon katsayısı	Düzeltilmiş belirlilik katsayısı	Standart Hata	Gözlem sayısı
R^2	$R_{\text{çoklu}}$	R_{adj}^2	RMS	n

$$R^2 = SS_R / SS_T \quad \text{veya} \quad R^2 = 1 - (SS_E / SS_T) \quad (3.39)$$

$$R_{\text{çoklu}} = \sqrt{(R^2)} \quad (3.40)$$

$$R_{\text{adj}}^2 = R^2 - \frac{(1 - R^2) \cdot df_R}{df_E} \quad (3.41)$$

$$RMS = SS_E / df_E \quad (3.42)$$

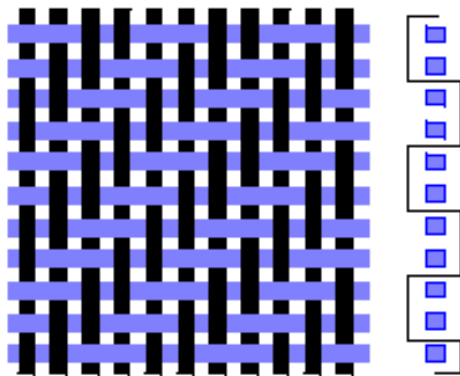


4. MALZEME VE METOD

4.1. Malzeme, Kesici Takımlar ve Donanım

Deneylerde kullanılacak olan karbon fiber takviyeli kompozit malzemeler havacılık sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemeler Odak Kompozit Teknolojileri A.Ş. tarafından havacılık sektöründe kullanılan malzeme özelliklerine uygun olarak üretilmiştir.

Malzemelerin, 245 gr/m² 2x2 3K twill karbon fiber ile Huntsman XU3508 reçine sistemi kullanılarak prepreg imal edilmiştir. Prepreg malzeme 0° ve 45° fiber açıları ile cam bir yüzeye simetrik olarak serilmiş; vakum torbalama yöntemi ile plakalar elde edilmiştir. Plakalar 120° C de 4 saat kürlenmiştir. Yeterli miktarda prepreg üretiminden sonra prepreg malzeme istenilen ölçülere kesilmiştir. 20 mm plaka için 80 kat takviye malzemesi kullanılmıştır. Twill dokuma tipinde karbon lifler 0° ve 90° yönünde örgü oluştururlar. Bu nedenle serim açısı olarak sadece 0° ve 45° lik açılar kullanılmıştır. Prepreg serimi şematik olarak gösterimi Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. 2x2 Örülmüş kumaşın şematik gösterimi

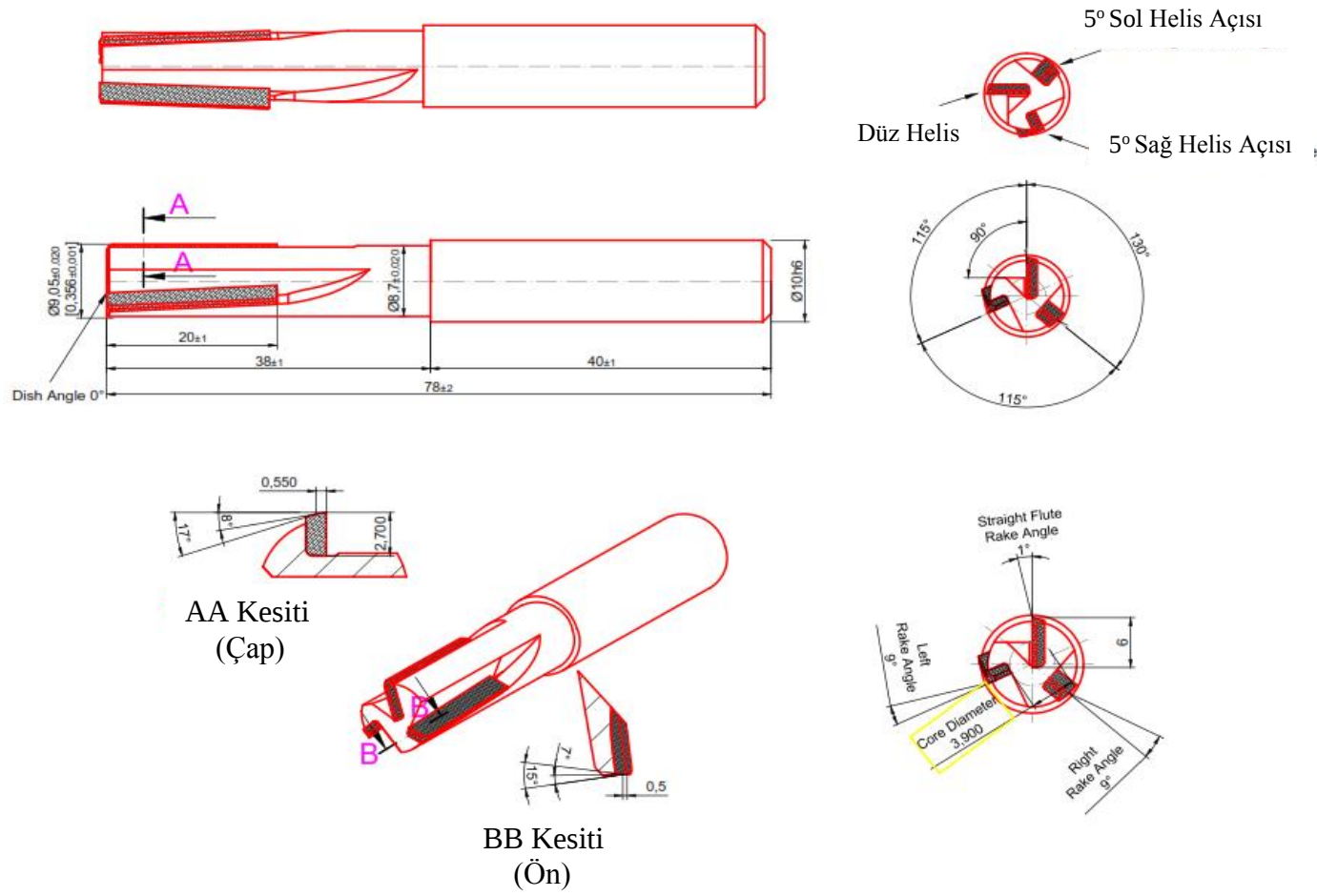
Serim işlemi tamamlandıktan sonra plaka etrafı vakum ekipmanları ile torbalanmış ve vakuma alınmıştır. Vakum ile sıkıştırılmış takviyeler fırına yerleştirilmiştir. Sisteme 120° C ‘de 4 saat sıcaklık uygulanmıştır. Bu koşullarda kürlenene plakanın camsı geçiş sıcaklığı 116° C ile 123° C arasında olmaktadır. Kürlenme işlemi tamamlanan plakanın istenilen ölçülere getirilmesi için (20x200x300 ve 10x200x300 mm) su jeti ile kesilmiştir.

Deneylerde çalışma kapsamında tasarımı ve üretimi gerçekleştirilen üç farklı takım kullanılmıştır. Bu takımlar Takım 1, Takım 2 ve Takım 3 olarak adlandırılmış olup T1, T2 ve T3 şeklinde kodlanmıştır. Geliştirilen takımların üç kesici ağzından biri sağ biri sol helis açısına sahipken üçüncü kenar, takımın dalmasını sağlamak amacıyla, düz olarak imal edilmiştir. Helis açıları aynı olan bu kesici takımlara iki ön boşluk açısı verilmiştir. Takımların birbirinde ayıran bu boşluk açılarıdır. Geliştirilen bu takımlara ait teknik resimler Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te verilmiştir.

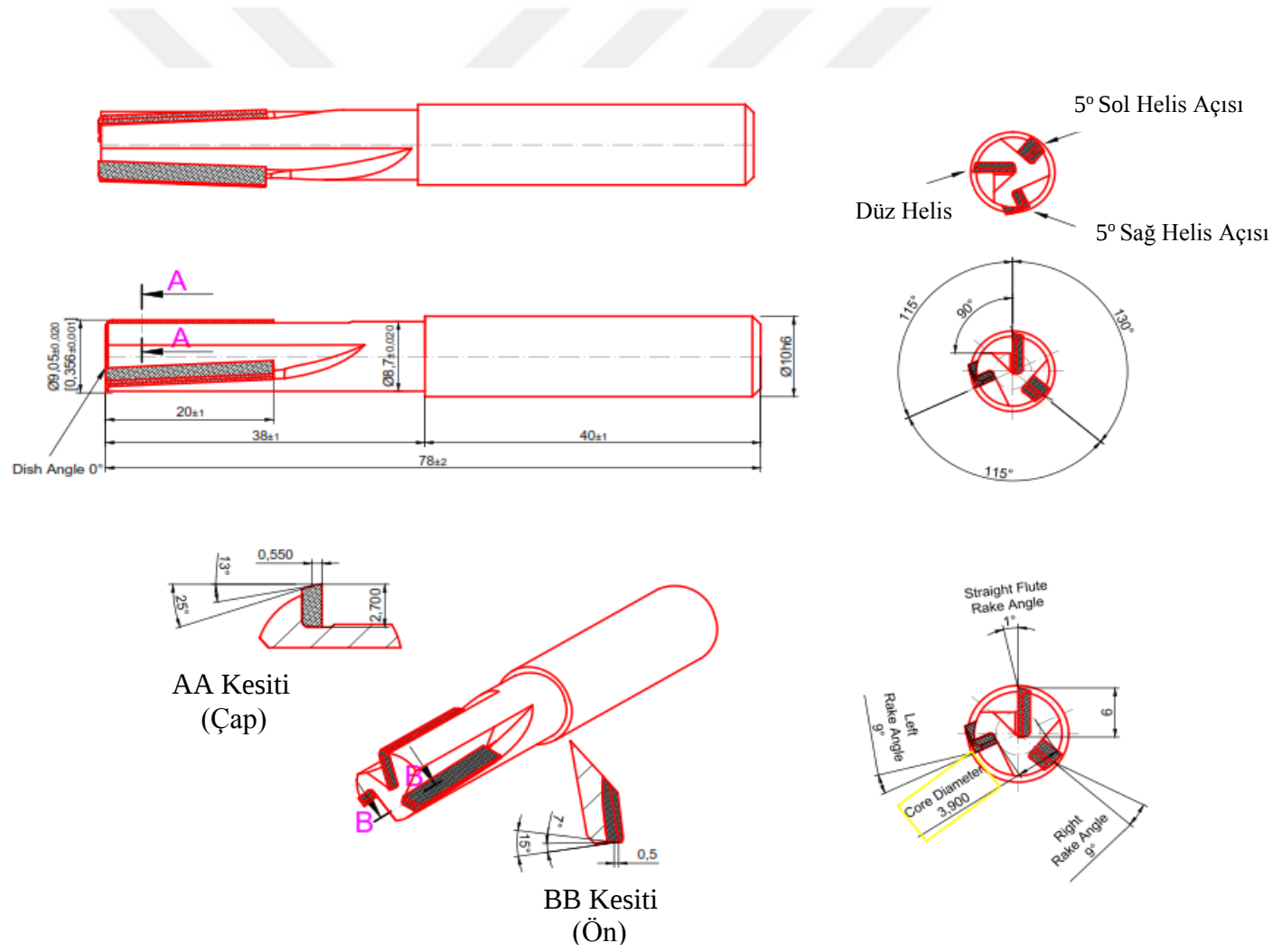
Talaş kaldırma deneyleri Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümünde Johnford VMC–550 marka CNC dik işleme merkezinde gerçekleştirilmiştir. Bu tezgahın özellikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deneylerde kullanılacak tezgahın teknik özellikleri

Tezgahın Gücü	5 KW
En Yüksek Devir Sayısı	6000 dev/dak
Sırayla x, y, z eksen	600, 500, 600 mm
Ölçü Hassasiyeti	0,001 mm
Kontrol Ünitesi	Fanuc



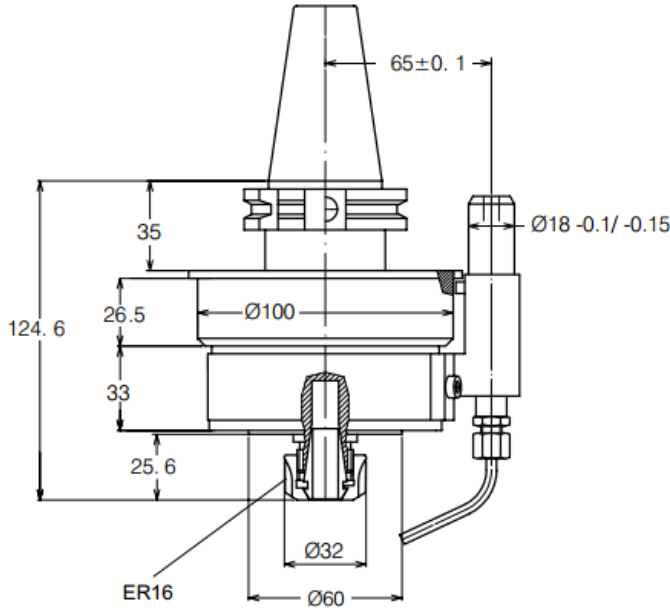
Şekil 4.2. Takım1'e (T1) ait teknik resim



Şekil 4.4. Takım 3'e (T3) ait teknik resim

Kompozit malzemelerin işlenebilmesi için yüksek kesme hızlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Deneylerin yapılacağı takım tezgâhının en yüksek devir sayısının 6000 dev/dak olması sebebiyle hız kafası kullanma yolu seçilmiştir. Hız kafası tezgah fener miline bağlanarak tezgah fener milinin devir sayısını 4,8 kat arttırmaktadır.

Hız kafasının şematik gösterimi Şekil 4.5'te verilmiştir. Ayrıca hız kafasının teknik özellikleri çizelge 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.5. Hız kafasının şematik gösterimi

Çizelge 4.2. Hız kafasının teknik özellikleri

Güç	Eksenel Kuvvet	Çevirme Oranı	Ağırlık	En Yüksek Devir
1,7 KW	380 N	1:4,8	3,8 kg	30.000 dev/dak

Kesme kuvvetlerinin deneysel olarak belirlenmesi için üç kesme kuvveti bileşenini (F_x , F_y , F_z) aynı anda ölçme kapasitesine sahip, kuartz kristal esasıyla çalışan KISTLER 9272 tipi dinamometre ve Kistler Type 5070 yükseltici kullanılmıştır. Dinamometrenin teknik özellikleri Çizelge 4.3.'te, yükselticinin teknik özellikleri de Çizelge 4.4.'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. KISTLER 9272 dinamometrenin teknik özellikleri

Ölçme Aralığı	Fx, Fy	-5....5 kN
	Fz	-5....20 kN
	Mz	-200...200 Nm
Hassasiyet	Fx, Fy	-7.8 pC/N
Hassasiyet	Fz	-3.5 pC/N
Hassasiyet	Mz	-160 pC/Nm
Kapasitans	Fx, Fy, Fz	185 pF
Kapasitans	Mz	420 pF
Doğrusallık		% $\leq$ ±1 FSO
Histezis		% $\leq$ 1 FSO

Çizelge 4.4. 5070A Amplifier (Yükseltici) teknik özellikleri

Kanal sayısı	8
Açıklama	19" rack
Bağlantı	Fischer 9 pol. Neg
Ölçüm aralığı	$\pm 200.....200000$ pC
Frekans aralığı	0.....>45 kHz
Frekans aralığı	± 10
Çıktı sinyali	200.....240 V
Arayüz	RS-232C

Yüzey kalitesini belirlemek amacıyla, işlenmiş yüzeylerde ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerlerini ölçmek için teknik özellikleri Çizelge 4.5.'te verilen Mahr Perthometer M1 cihazı kullanılmıştır. Ölçüm yapılmadan önce cihazın kalibrasyonu yapılmıştır. İşleme sonrası elde edilen yüzeyden işleme yönüne paralel olmak üzere üç yüzeyde onar adet ölçüm (bir yüzeyde on adet ölçüm yapılmasının sebebi kompozit içinde matris ve elyafın homojen olmaması ve örgü elyaf kullanılmasıdır) gerçekleştirilmiş olup bu değerlerin aritmetik ortalaması ortalama yüzey pürüzlülük değeri olarak kabul edilmiştir. Yüzey pürüzlülük ölçüm düzeneği Resim 4.1.'de'de gösterilmiştir.



Resim 4.1. Yüzey pürüzlülük ölçüm düzeneği

Çizelge 4.5. Mahr Perthometer M1 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri

Model ve Özellikler	Mahr Perthometer-M1
İğne uç yarıçapı	2 μm
Ölçme aralığı	100–150 μm
Tarama hızı	0,5 m/s
Tarama kuvveti	0,75 mN
Profil çözünürlüğü	12 mm
Filtre	Gaussian
Ölçülebilen parametreler	Ra, Rz, Rmax
Örnekleme uzunluğu	0,25 – 0,8 – 2,5 mm
Ölçme uzunluğu (L)	1,75 – 5,6 – 17,5 mm

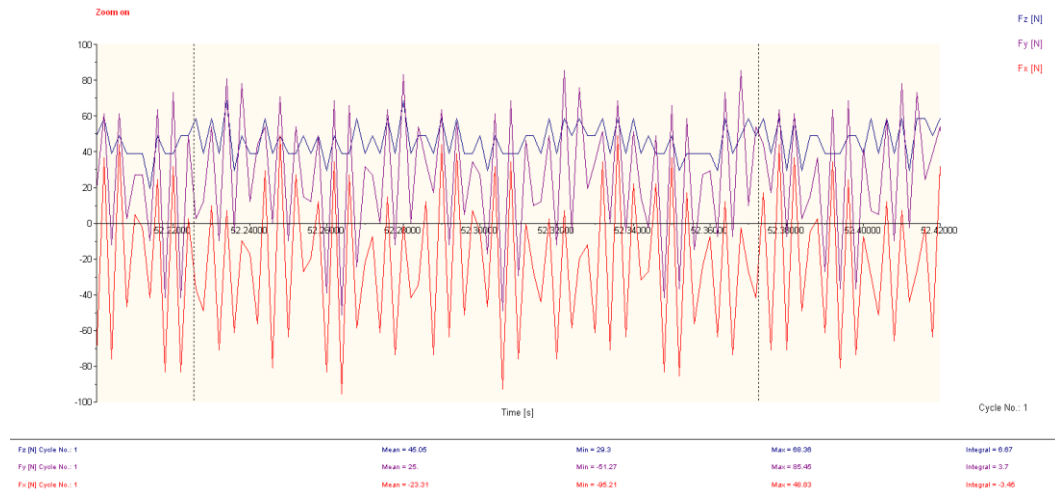
Deneyler sonucu kesici takımında oluşan aşınmayı ve deney malzemesinde oluşan delaminasyonu ölçmek için Dino Lite marka dijital kamera kullanılmıştır. Bu kamera ile 60X büyütme yapılarak fotoğraflar alınmıştır. Fotoğraf üzerinden alınan ölçüler ile grafikler oluşturulmuştur. Delaminasyon yayılma genişliği malzemelerde meydana gelen en yüksek delaminasyon yayılma genişliği esas alınarak belirlenmiştir.

4.2. Metot

KFTK malzemelerin çevresel frezelenmesinin araştırıldığı bu çalışmada üç farklı kesme hızı ve sabit ilerleme hızı kullanılmıştır. Kesme hızları ve ilerleme miktarı belirlenirken havacılık sanayinde KFTK malzemelerin işlenmesinde kullanılan parametreler seçilmiştir. Bu parametreler aynı zamanda benzer takım üreten firmaların tavsiye ettiği değerler ile de örtüşmektedir. Deneylerde elde edilen verilerin tamamı 6,3 dakika çalışma neticesinde elde edilmiştir. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri Çizelge 4.6.'da verilmiştir.

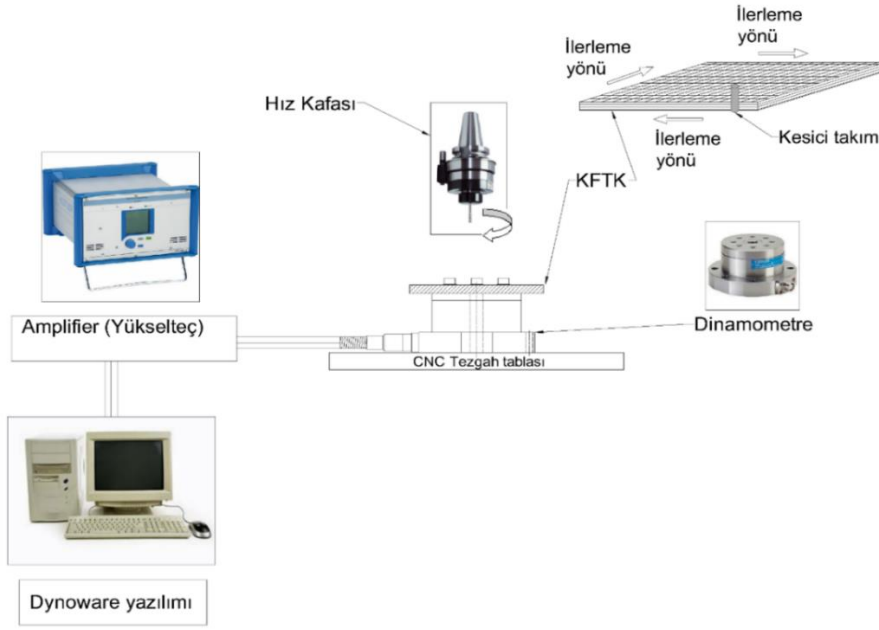
Çizelge 4.6. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri

Kesme Hızı (V m/min)	İlerleme (f mm/dak)	Talaş Derinliği (mm)	Yana Kayma Mesafesi (mm)
350	1270	10	2
400			
450			

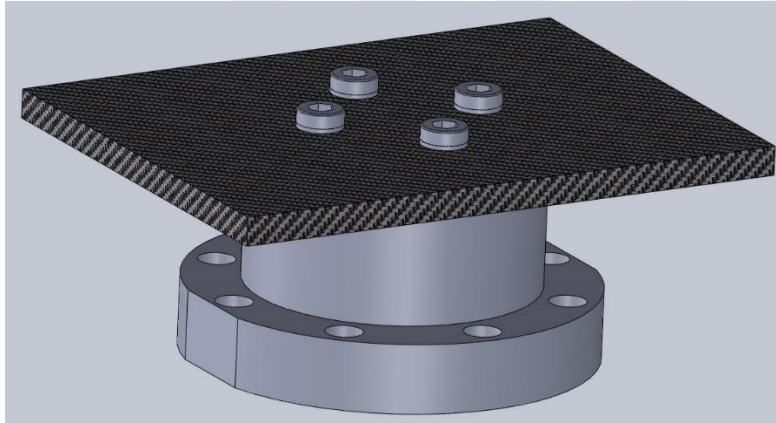


Şekil 4.6. DynoWare programı ile kesme sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin ekran görüntüsü

KFTK malzemenin CNC dik işleme merkezinde işlendiği bu çalışmada kurulan deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 4.7.'de verilmiştir. İş parçası, dinamometrenin maksimum taşıma sınırları gözetilerek ve iş parçasının yarısı işlenecek şekilde dinamometre üzerine civata ve rondela ile bağlanmıştır. İş parçasının dinamometreye bağlanması Şekil 4.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Deney düzeneğinin şematik olarak gösterimi



Şekil 4.8. İş parçasının dinamometreye bağlanması

Kesici takım tasarım aşamasında çalışmalar Karcan Kesici Takım San. Tic. Ltd. Şti. ile birlikte yürütülmüştür. Kesici takım tasarımında, üretime esas CAM yazılımının da elde edilebilmesi için şirkette lisanslı olarak kullanılan, tamamen takım tasarımı ve üretimi hedefli *Numrato* yazılımı kullanılmıştır. Takım tasarımında, KFTK malzemeler üzerinde işleme kabiliyetleri test edilmiş, ticari olarak temin edilebilen, farklı kesici takım üreticilerine ait geometriler referans alınmıştır. Bu takımlarda sağ, sol helisel kesici ağızlar için uygulanan helis açısının ortak olduğu gözlemlenmiş ve geliştirilecek takımlarda da sağ/sol/nötr kesici kenarlar için aynı helis açıları benimsenmiştir. Tez kapsamında yürütülen takım tasarımı çalışmalarında, özellikle KFTK malzemelerde delaminasyonu minimuma indirmek ve liflerin daha kolay kesilebilmesini temin etmek için, kesici takımın keskinliğini

arttıracak geometrik düzenlemelere gidilmiş ve özellikle kesici takım ön boşluk açıları üzerinde yoğunlaşmıştır. Çalışma sonunda elde edilen bulgular da bu yönlenmenin doğru olduğunu ve özellikle delaminasyon yayılma genişliği üzerinde ön boşluk açısının etkili olduğunu göstermiştir. Rakip takımlarda tek boşluk açısı tercih edilmiş ve bu değer 10° olarak belirlenmiştir. Boşluk açısının artması keskinliği artırırken kesici takım dayanımını ve ömrünü düşüncesiyle, çift boşluk açısı uygulanmasına karar verilmiştir. Bu amaçla rakip takımın boşluk açısının altında, yakınında ve üstünde ilk boşluk açıları (8° , 11° , 13°) seçilmiş ve kesmeyi kolaylaştırmak için daha yüksek ikinci boşluk açıları (17° , 20° , 25°) tasarıma ilave edilmiştir.

AutoCAD sayfası 1280x1024 piksel boyutlarında ölçeklendirilerek takım fotoğraflarından aşınma miktarı ve malzeme fotoğraflarından da delaminasyon genişlikleri ölçülmüştür. Autocad sayfasında yapılan ölçümlerin doğruluğu resim üzerinde bulunan ölçek çizgisiyle AutoCAD’de aynı uzunlukta çizilen çizgi karşılaştırılarak yapılmıştır. Delaminasyon genişliği, delaminasyonun en fazla gerçekleştiği yüzeyden alınmıştır. Takım aşınması değerlerinde ise üç ağızda oluşan aşınma miktarlarının maksimumu alınarak karşılaştırmaları yapılmıştır.

Regresyon analizinde, gerçekleştirilen toplam 9 deneyde kullanılan X1, X2, X3 bağımsız değişkenleri Çizelge 4.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Deney/Analiz parametreleri

Deney no	girdi1 (X1)	girdi2 (X2)	girdi3 (X3)
1	350	8	17
2	400	8	17
3	450	8	17
4	350	11	20
5	400	11	20
6	450	11	20
7	350	13	25
8	400	13	25
9	450	13	25

Literatür [79] ve çok değişkenli doğrusal regresyon analizi esasları referans alınarak S1 için Eş. 4.1’de gösterilen lineer (Model 1) ve Eş. 4.2’de gösterilen üstel (Model 2) olmak üzere 2 farklı model geliştirilmiştir:

$$\hat{S}_1 = w + w_1 \cdot X_1 + w_2 \cdot X_2 + w_3 \cdot X_3 \quad (4.1)$$

$$\hat{S}_1 = q \cdot X_1^{q_1} \cdot X_2^{q_2} \cdot X_3^{q_3} \quad (4.2)$$

Burada w , q model sabitini; w_1 , q_1 ; w_2 , q_2 ve w_3 , q_3 ise sırasıyla X_1 , X_2 , X_3 ve X_4 bağımsız değişkenleri (girdiler) için sabitleri göstermektedir. $\hat{S}_1$ ise deney/gözlem sonuçları olan gerçek sonuçlar (veya bağımlı değişken/çıktı, S_1) doğrultusunda hesaplanan model sonuçlarını ifade etmektedir. Eş. 4.1 ve Eş. 4.2'nin çözülebilmesi için w , q ; w_1 , q_1 ; w_2 , q_2 ve w_3 , q_3 ve sabitlerinin (katsayılarının) hesaplanması gerekmektedir. Eş. 4.2'deki üstel model ifadesi,

$$\log(\hat{S}_1) = \log(q) + q_1 \cdot \log(X_1) + q_2 \cdot \log(X_2) + q_3 \cdot \log(X_3) \quad (4.3)$$

$$S'_1 = q' + q_1 \cdot X'_1 + q_2 \cdot X'_2 + q_3 \cdot X'_3 \quad (4.4)$$

biçiminde logaritmik forma dönüştürülerek; Eş. 4.2, lineer formda gösterilmiştir. Ancak

$$\begin{aligned} \hat{S}'_1 &= \log(\hat{S}_1) & q' &= \log(q) & X'_1 &= \log(X_1) \\ X'_2 &= \log(X_2) & X'_3 &= \log(X_3) \end{aligned} \quad (4.5)$$

olduğu unutulmamalıdır. Bu, Eş. 4.1 ve logaritmik değerlerden oluşan Eş. 4.4'ün farklı birer model olduğuna işaret etmektedir.

Çok değişkenli doğrusal regresyon analizi esasları doğrultusunda Eş. 4.1 ve Eş. 4.4'ün çözümü (model sabitlerinin hesaplanması) için en küçük kareler metodu yardımıyla elde edilen Eş. 4.5 kullanılmıştır. Her iki model için 9×5 boyutunda bağımsız değişkenler matrisi (X) ve 9×1 boyutunda bağımlı değişkenler matrisi (Y) kullanılmış ve 9×1 boyutunda tahmini bağımlı değişkenler matrisi ($\hat{S}_1$) hesaplanmıştır.

5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1. Genel Sonuçlar

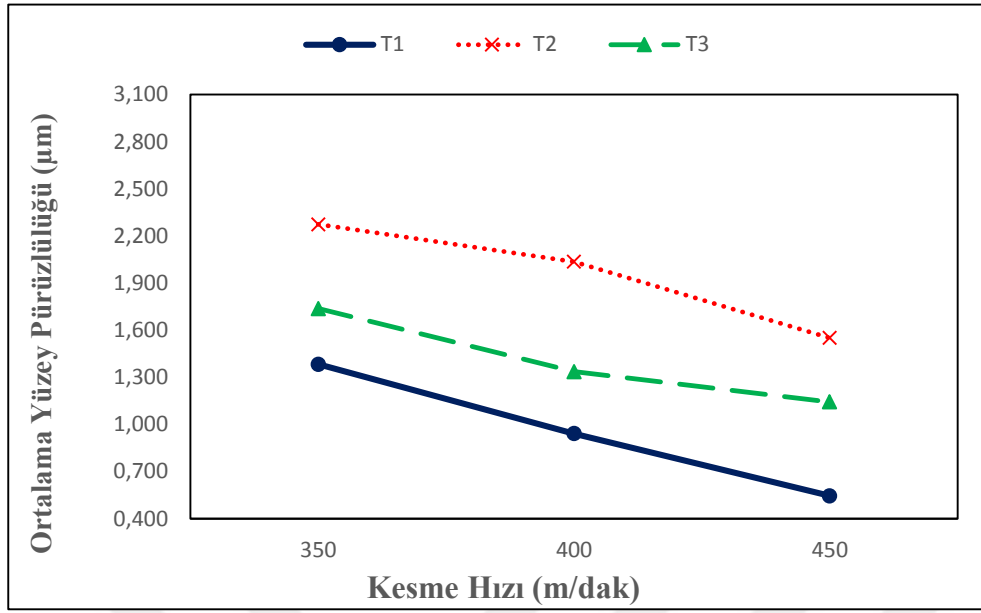
Tasarımı ve üretimi yapılan üç farklı PCD parmak freze kullanılarak yapılan deneyler sonrasında elde edilen veriler Çizelge 5.1.'de toplu halde verilmiştir. Çizelge 5.1'deki veriler kullanılarak hazırlanan grafiklerde, kesme hızı ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki Şekil 5.1'de, kesme hızı ve kesme kuvvetleri arasındaki ilişki Şekil 5.2'de, kesme hızı ve delaminasyon genişliği arasındaki ilişki ise Şekil 5.3 ve 5.4'te, kesme hızı ve takım aşınması arasındaki ilişki Şekil 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.1. Deney girdilerine bağlı olarak elde edilen çıktılar.

Deney No	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dak)	Kesici Takım	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Ra (µm)	Bileşke Kesme Kuvvetleri (N)	Delaminasyon Yayılma Genişliği (mm)	Takım Aşınması (mm)
1	350	1270	T1	1,383	54	0,286	0,06
2	400			0,942	51	0,259	0,09
3	450			0,545	47	0,220	0,12
4	350		T2	2,274	75	0,304	0,07
5	400			2,036	68	0,275	0,10
6	450			1,55	60	0,259	0,12
7	350		T3	1,738	72	0,298	0,08
8	400			1,336	62	0,276	0,11
9	450			1,144	57	0,245	0,14

5.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi

Deneyler sonrasında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin kesme hızı ve takım geometrisine bağlı olarak değişimleri Şekil 5.1'deki grafiklerde gösterilmiştir. Şekil 5.1'deki grafikler incelendiğinde kesme hızının artışı genel olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerini azalmasına sebep olduğu görülmektedir. Artan kesme hızlarının ortalama yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmesi beklenen bir durumdur ve literatürdeki çalışmalarda da bu durum gözlemlenmiştir [25,86].



Şekil 5.1. Kesme hızı ve takım geometrisine bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim

Şekil 5.1'deki grafikten de görülebileceği gibi en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri 1 numaralı (T1) takım ile meydana gelirken en yüksek ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri 2 numaralı (T2) takım ile meydana gelmiştir. T1 kodlu takımın 1. ön boşluk ve 2. ön boşluk açısı diğer iki takıma nazaran daha düşüktür. Ön boşluk açılarının düşük olması ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri anlamında olumlu etki yapmıştır. Fakat T2 ve T3 ele alındığında T2 kodlu takım T3'e oranla daha düşük boşluk açlarına sahip olmasına rağmen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri daha yüksek çıkmıştır. Geliştirilen takımlar yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirildiğinde; T1 en iyi geometriye sahipken onu T3 ve T2 izlemektedir.

En iyi performansı gösteren T1 kodlu takım en düşük boşluk açlarına dolayısıyla en yüksek kama açısına sahiptir. T1 kodlu takımın en iyi performansı göstermesi, büyük kama açısına sahip olmasına atfedilebilir. Kama açısının büyük olması takımın aşınma direncini arttırmakta ve takım daha az aşınmaktadır. Bu sebeple yüzey kalitesi daha iyi meydana gelmektedir.

T2 ve T3 açısından bu durum incelenecek olursa; T2 daha büyük kama açısına sahiptir bu durum T3'e göre aşınma direncinin daha fazla olduğu anlamına gelmektedir. Fakat T3 kodlu takımın kama açısının T2'ye göre düşük olması daha keskin olmasını sağlamıştır. Bu durum

T3'te takımın liflerin kesmesi kolaylaşmış ve bu sayede T2'ye oranla daha iyi yüzey kalitesi elde edilmesini sağlamıştır.

En düşük ön boşluk açısına sahip takım için kesme hızı 350 m/dak'dan 400 m/dak'a çıkması ortalama yüzey pürüzlülüğünde yaklaşık %33'lük bir iyileşme olmasına sebep olmuştur. Aynı şekilde kesme hızının 400 m/dak'dan 450m/dak'a çıkması ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinde yaklaşık % 42'lik bir iyileşme sağlanmıştır.

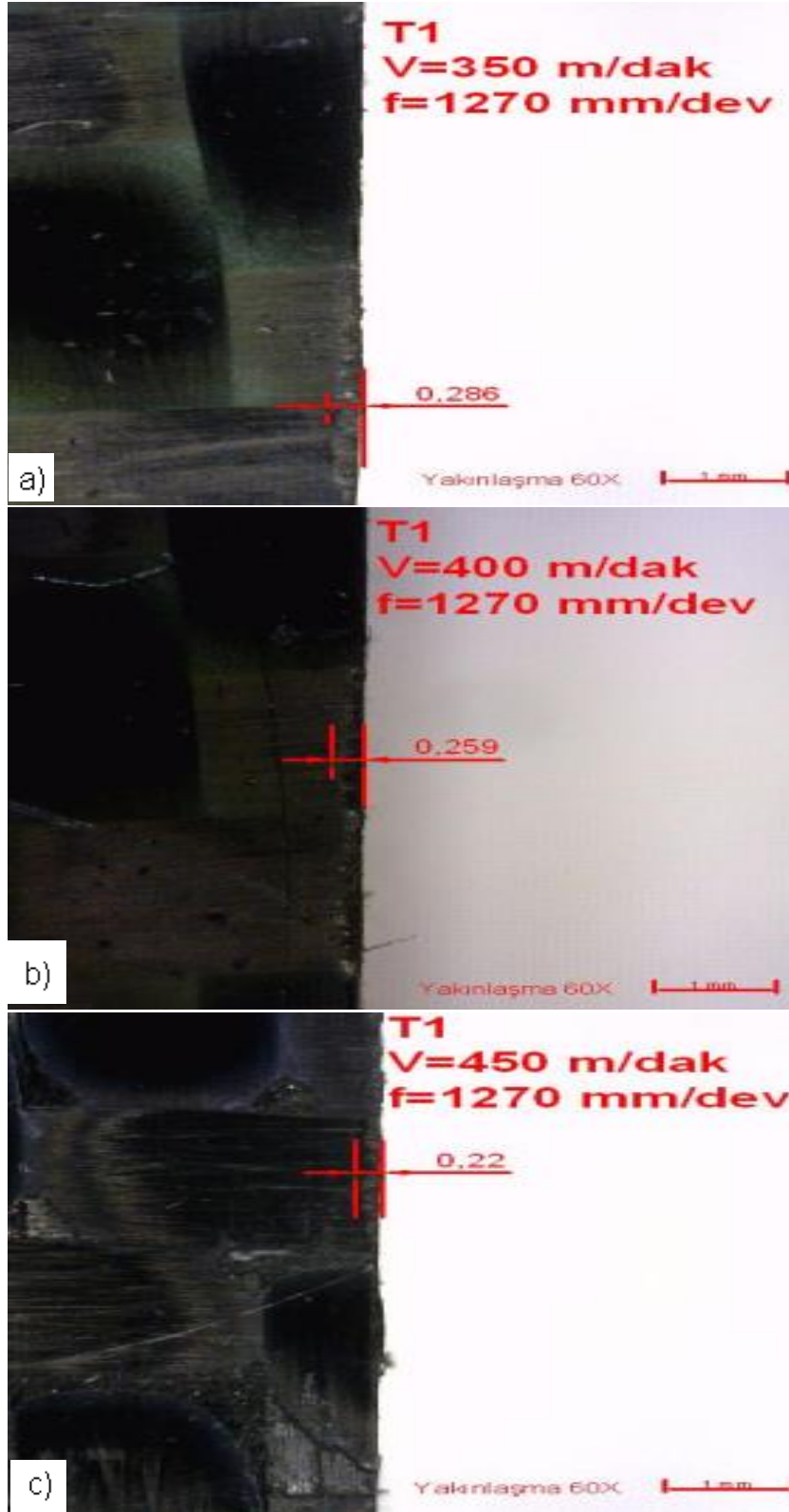
T2 için 350 m/dak kesme hızında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri ile 400 m/dak kesme hızında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri kıyaslandığında, 400 m/dak kesme hızındaki değer yaklaşık %10 daha iyi olduğu görülmüştür. Aynı kıyaslama 400 m/dak ile 450 m/dak arasında yapıldığında, 400 m/dak kesme hızında meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin yaklaşık %23 oranında azaldığı sonucu ortaya çıkmıştır.

3 nolu takım için 350 m/dak kesme hızı ile 400m/dak kesme hızı arasında ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri açısından bir kıyaslama yapıldığında, 400 m/dak kesme hızında 350 m/dak kesme hızına oranla yaklaşık %23'lük bir iyileşme olduğu görülmüştür. Aynı şekilde 400 m/dak kesme hızı ile 450 m/dak kesme hızı kıyasında, ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinde yaklaşık %14'lük bir iyileşme söz konusu olduğu sonucuna varılmıştır.

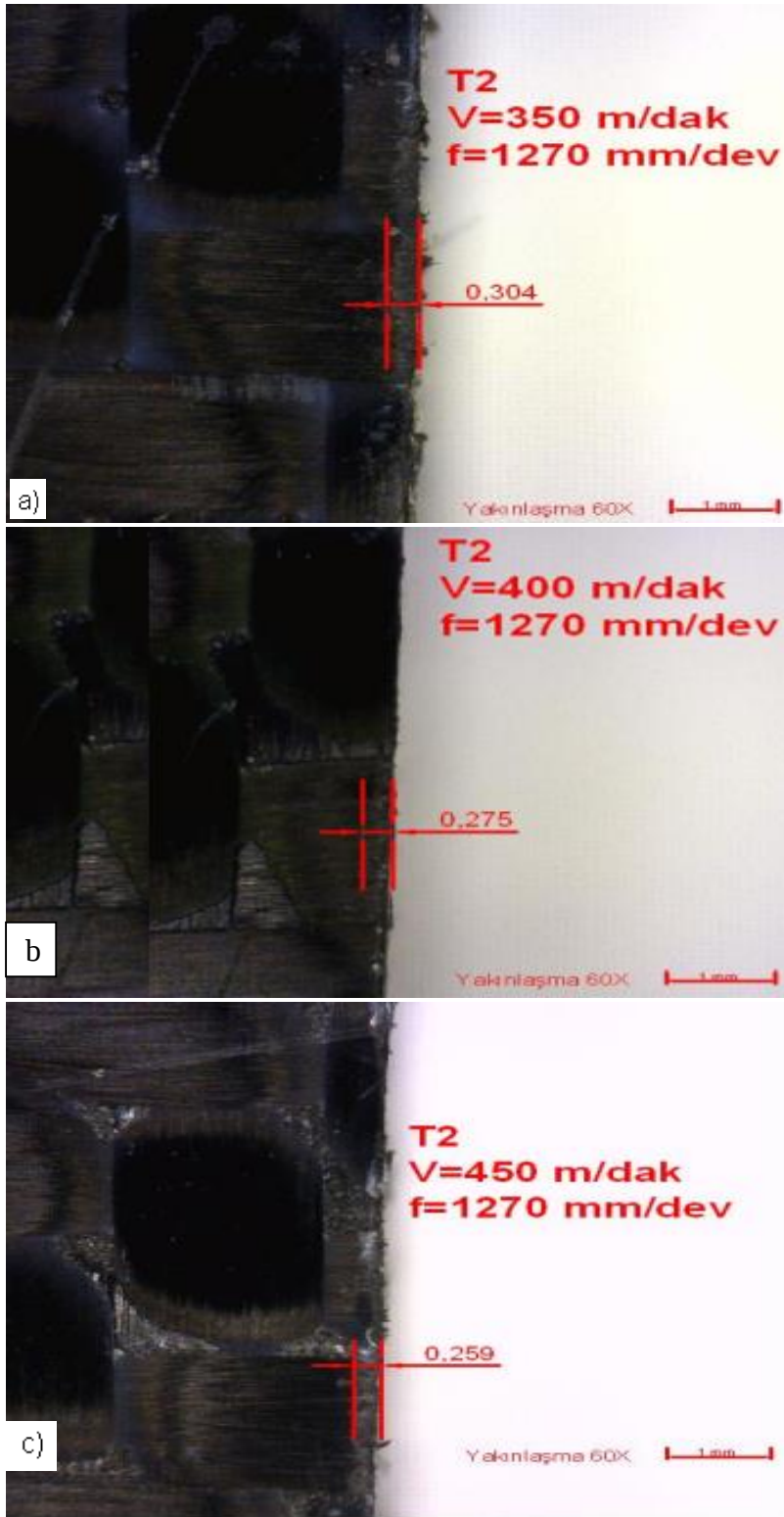
Tüm bu açıklamalar ışığında, kesme hızının artması T1 kodlu takımın diğer iki takıma göre ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinde daha yüksek oranda düşüşe sebep olmuştur. T2 ve T3 kodlu takımlarda kesme hızının artması ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinde yaklaşık %10 ila %23 oranında bir iyileşme yaşanmasını sağlasa da bu oranlar T1 kodlu takımın çok altında kalmıştır. Bu sebeple kesme hızı artışının T1 kodlu takımın ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri açısından diğer iki takıma oranla daha etkili olduğunu söylemek mümkündür.

5.3. Delaminasyon Yayılma Genişliğinin Değerlendirilmesi

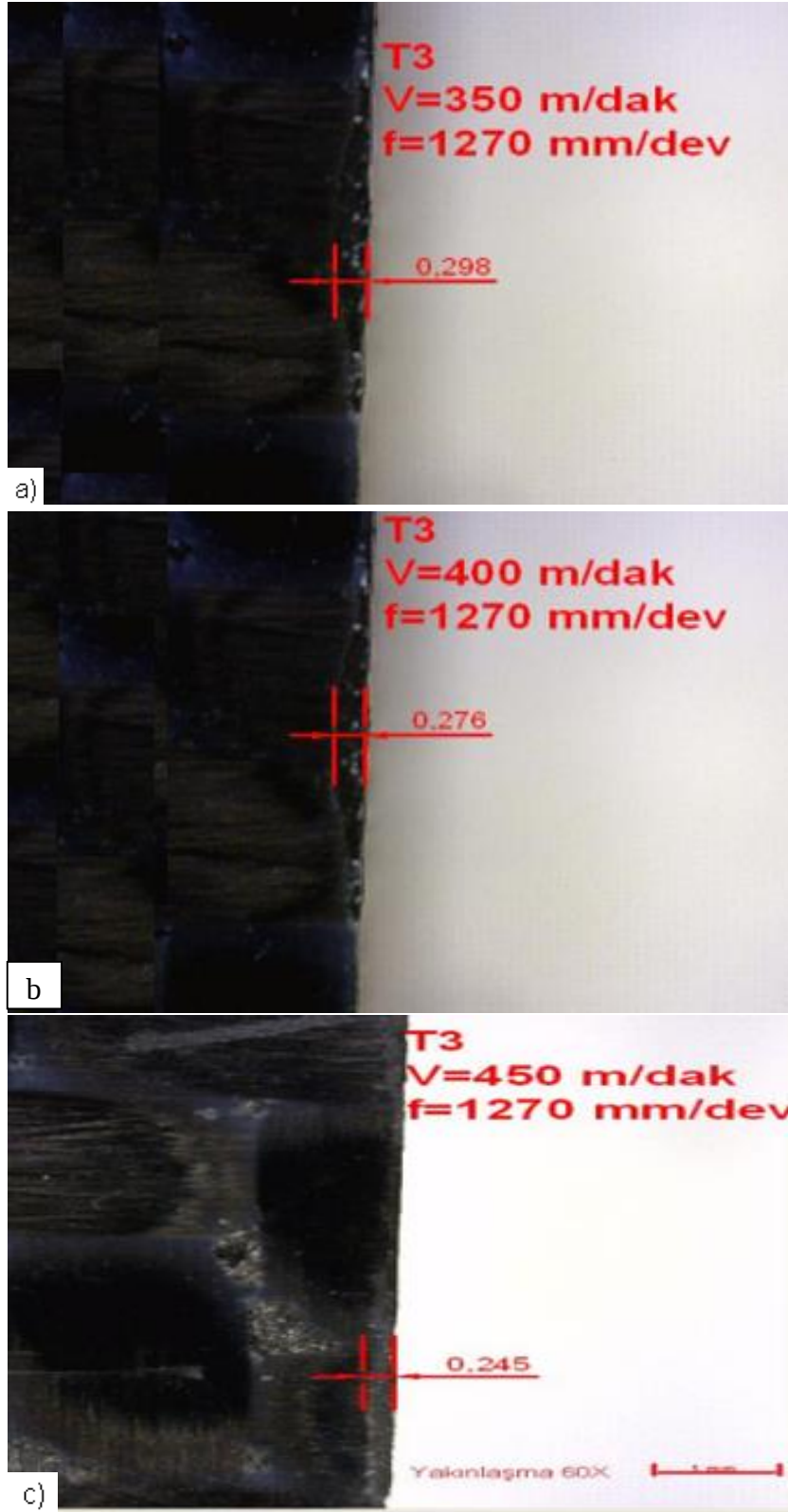
Deneyler sonrasında malzemelerde meydana gelen delaminasyon yayılma genişliği Resim 5.1, Resim 5.2 ve Resim 5.3'te verilmiştir.



Resim 5.1. T1 kodlu takımlarla işlenen malzemelerde meydana gelen delaminasyon yayılma genişliği a) V=350 m/dak b) V=400 m/dak c) V=450 m/dak

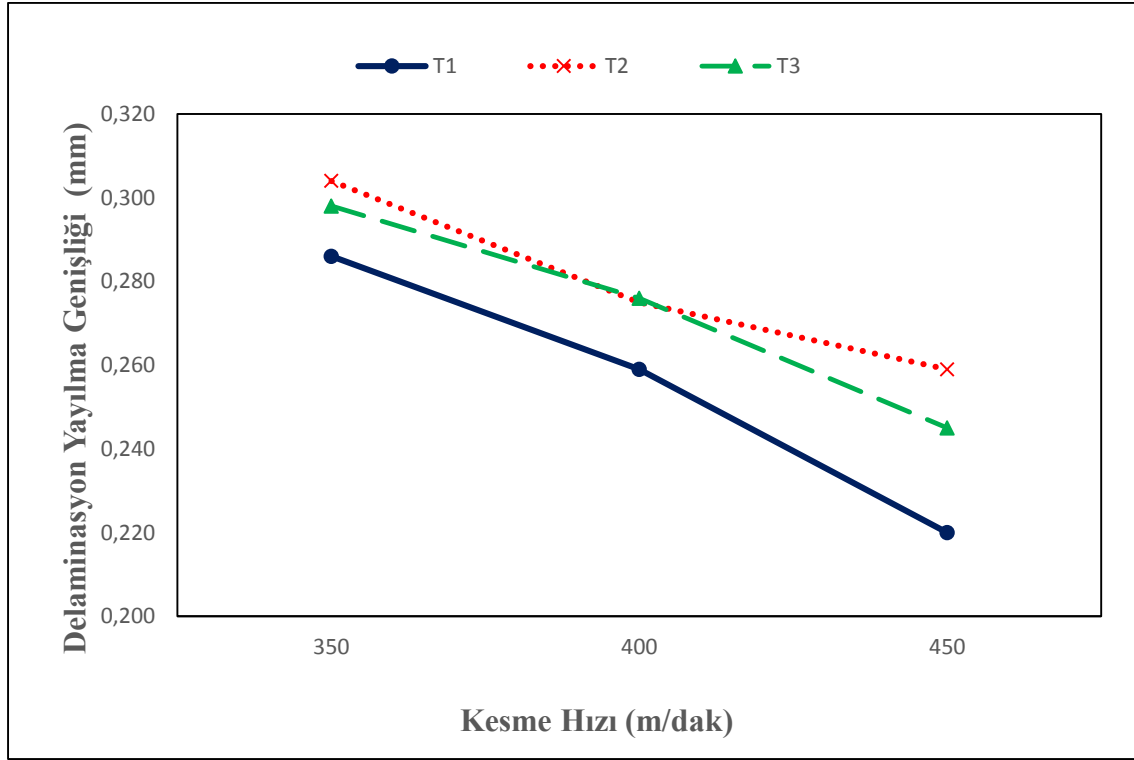


Resim 5.2. T2 kodlu takımlarla işlenen malzemelerde meydana gelen delaminasyon yayılma genişliği a) V=350 m/dak b) V=400 m/dak c) V=450 m/dak



Resim 5.3. T3 kodlu takımlarla işlenen malzemelerde meydana gelen delaminasyon yayılma genişliği a) V=350 m/dak b) V=400 m/dak c) V=450 m/dak

Deneysel sonuçlarında ölçülen delaminasyon yayılma genişliği değerlerinin kesici takım ve kesme hızına göre değişimleri Şekil 5.2’de verilmiştir. Şekil 5.2’deki grafikte ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinde meydana gelen eğilimin delaminasyon genişliği miktarında da yaşandığı görülebilmektedir. Kesme hızının artışı delaminasyon genişliği miktarında azalmaya sebep olmuştur.



Şekil 5.2. Kesme hızı ve takım geometrisine bağlı olarak delaminasyon yayılması miktarındaki değişim

Sabit ilerleme hızında kesme hızında meydana gelen artışın delaminasyon yayılma genişliği miktarında azalmaya sebep olması literatürde karşılaşılabilen bir durumdur [87]. Sabit ilerleme miktarında kesme hızının artması kesici takım diş başı ilerlemesinin azalmasını sağlayacaktır. Bu da kesici takımın birim zamanda daha az talaş kaldırmasına sebep olarak kesicilerin lifleri koparma eğilimi nispeten azaltacaktır. Kesicilerin lifleri koparmak yerine kesmesi sonucunda yüzey kalitesindeki olumlu etkiye benzer şekilde malzemelerde meydana gelen delaminasyon yayılma genişliğinde azalma söz konusu olduğu düşünülmektedir.

Ayrıca kompozitlerin keskin bir kesici uç ile işlenmesi gerekmektedir. Kesici kenarın aşınması halinde lifler kesilmeyip koparılmaya çalışılacak, bu da tabakaların ayrılmasına neden olacaktır. Takım aşınması arttıkça malzemede meydana gelen delaminasyon yayılma genişliğinde artış olacaktır. Takım aşınma değerleri incelendiğinde en az aşınan takımın T1 kodlu takım olduğu görülebilmektedir. Bu, T1 kodlu takımlarla yapılan deneyler sonrasında malzemede meydana gelen delaminasyon yayılma genişliği diğer iki takım ile yapılanlara oranla daha az olduğunu destekleyen bir durumdur. T3 kodlu takımın T2 kodlu takıma oranla daha fazla aşınmış olmasına rağmen T3 kodlu takım ile yapılan deneylerde meydana gelen delaminasyon genişliği daha az gerçekleşmiştir. Bunun sebebi olarak T3 kodlu takımın kama açısının daha düşük olmasına bağlı olarak bu takımın daha keskin olması gösterilebilir.

Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinde olduğu gibi delaminasyon yayılma genişliğinde en iyi değerler en düşük boşluk açılara sahip takımlarla yapılan deneyler sonrasında elde edilmiştir. Bununla birlikte T2 ve T3 kodlu takımlar ile elde edilen değerler 350 m/dak ve 400 m/dak kesme hızlarında birbirine çok yakın seyrederken bu durum kesme hızının 450 m/dak'a çıkması ile birlikte T3 kodlu takım lehine değişmiştir. 400 m/dak kesme hızında T2 ve T3 kodlu takımlarla yapılan deneylerde malzemelerde meydana gelen delaminasyon yayılma genişliği değerleri neredeyse birbiri ile aynı olarak ölçülmüştür.

T1 kodlu takımda kesme hızını 350 m/dak'dan 400 m/dak'a çıkması sonucunda delaminasyon yayılma genişliğinde yaklaşık %10 oranında düşüş yaşanmıştır. 400m/dak kesme hızı ile 450m/dak kesme hızı arasında delaminasyon yayılma genişliği açısından 450 m/dak kesme hızında yaklaşık %15'lik daha olumlu bir fark söz konusu olmuştur.

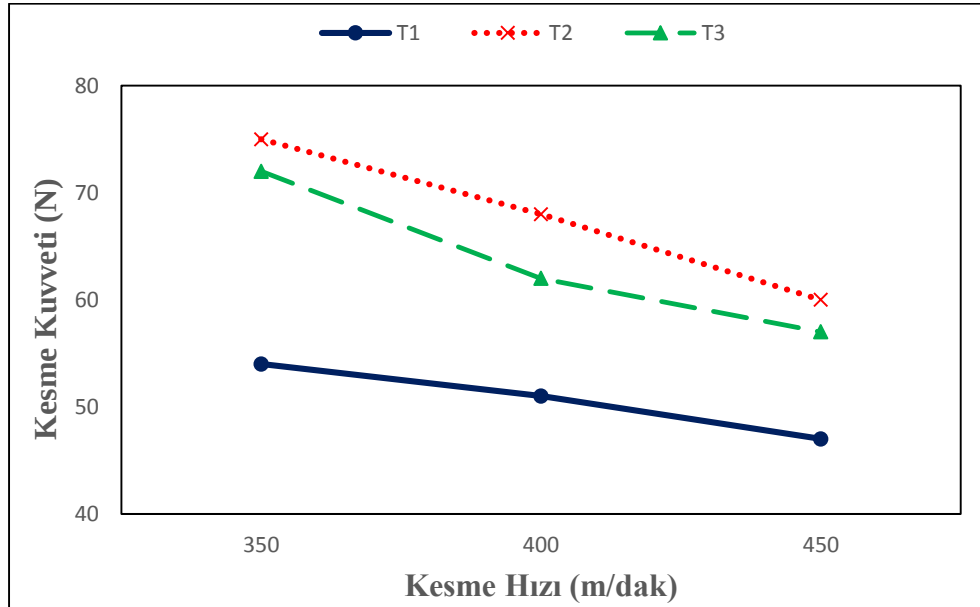
T2 kodlu takım incelendiğinde 350 m/dak kesme hızından 400 m/dak kesme hızına çıkılması delaminasyon yayılma genişliğinde yaklaşık %10'luk bir düşüş yaşanmasını sağlamıştır. Kesme hızının 400 m/dak'dan 450 m/dak'a çıkması, delaminasyon yayılma genişliğini %6 oranında düşürmüştür.

Boşluk açısı en büyük olan takımlarla yapılan deneylerde 350 m/dak ve 400 m/dak kesme hızları karşılaştırıldığında, delaminasyon yayılma genişliği değerlerinin 400 m/dak kesme hızında yaklaşık % 7 oranında daha düşük gerçekleştiği görülmektedir. 400 m/dak ve 450 m/dak kesme hızları karşılaştırıldığında ise 450 m/dak kesme hızında yaklaşık %11 oranında bir azalma söz konusu olmuştur.

Delaminasyon yayılma genişliği bakımından her üç takım birlikte incelendiğinde, T1 kodlu takım diğer iki takımdan daha belirgin bir şekilde ayrılmaktadır. En düşük delaminasyon yayılma miktarları bütün parametrelerde T1 kodlu takım ile işlenen malzemelerde meydana gelirken, diğer iki takım (T2 ve T3) birbirine yakın eğilimler sergilemiştir.

5.4. Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi

Kesici takım ve kesme hızına göre kesme kuvvetlerinin değişimini gösteren grafik değişimleri Şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.3. Kesme hızı ve takım geometrisine bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim

Deneyler esnasında kesme kuvvetleri 47 N ile 72 N arasında ölçülmüştür. Diğer talaşlı imalat işlemleri ile özellikle metal işleme ile karşılaştırıldığında bu kesme kuvvetlerinin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bu durum kompozit malzemelerin özgül kesme dirençlerinin düşük olmasına bağlıdır. karbon fiber takviyeli kompozit malzemeler işlenirken kesme kuvvetlerinin düşük çıkması literatürle örtüşen bir durumdur [87-90].

Şekil 5.3'teki grafik incelendiğinde kesme hızındaki artış genel olarak kesme kuvvetlerinin düşmesine sebep olmuştur. Kesme kuvvetlerinde en düşük değerler de ortalama yüzey pürüzlülüğü ve delaminasyon yayılma genişliğinde olduğu gibi T1 kodlu takım ile yapılan

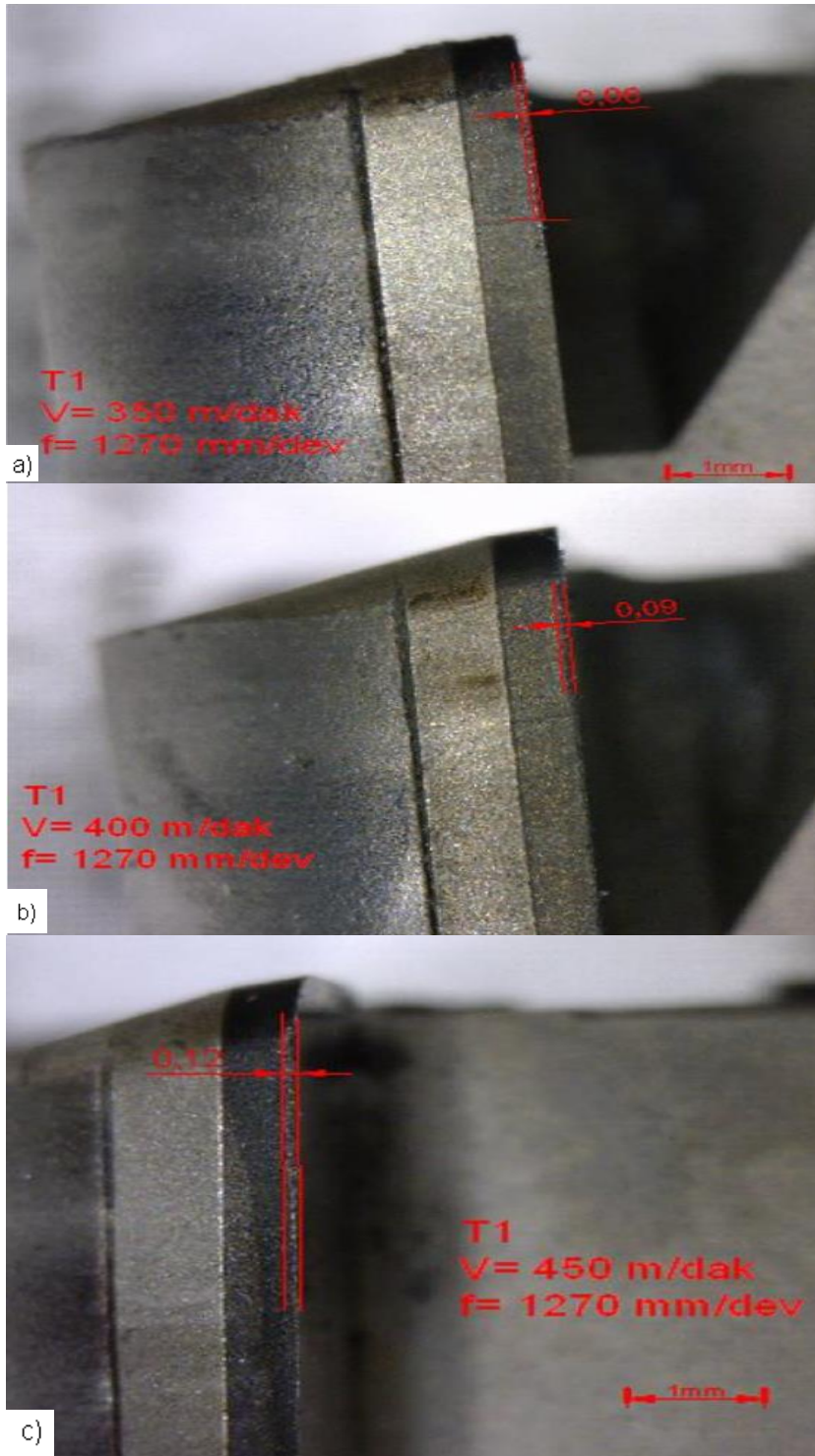
deneylerde görülmüştür. T2 ve T3 kodlu takımlarla elde edilen kesme kuvvetleri değerleri birbirine yakın seyrederken T1 kodlu takım bu iki takımdan kesme kuvvetleri değerleri açısından nispeten ayrılmıştır. T1 kodlu takımın aşınma değerlerinin diğer iki takımdan daha düşük olması bu takımı diğer iki takımdan belirgin bir şekilde ayırmıştır.

T1 kodlu takım için bakıldığında kesme hızının artışı kesme kuvvetlerinde yaklaşık %5 ile %13 oranında bir düşüşe sebep olmuştur. T2 kodlu takımlarla yapılan deneylerde kesme hızlarının artışı kesme kuvvetlerini yaklaşık %13-20 arasında düşürmüştür. Bu durum T3 kodlu takımda %15-20 şeklinde görülmüştür. Buradan da anlaşılabileceği üzere T2 ve T3 kodlu takımların kesme kuvvetleri değerleri birbirine çok yakınken aynı zamanda kesme hızı artışının kesme kuvvetlerini değiştirme oranı da birbirine çok yakın olmuştur.

5.5. Takım Aşınmasının Değerlendirilmesi

Deneyler sonrasında üç farklı kesme hızında kesici takımda meydana gelen aşınmalar Resim 5.4, Resim 5.5 ve Resim 5.6'da verilmiştir.

Kesici takım ve kesme hızına göre takım aşınmasını gösteren grafik değişimleri Şekil 5.4'te verilmiştir. Takım aşınma değerleri kesici takımların 6.3 dakika çalışması sonrasında elde edilen maksimum aşınma değerleridir.

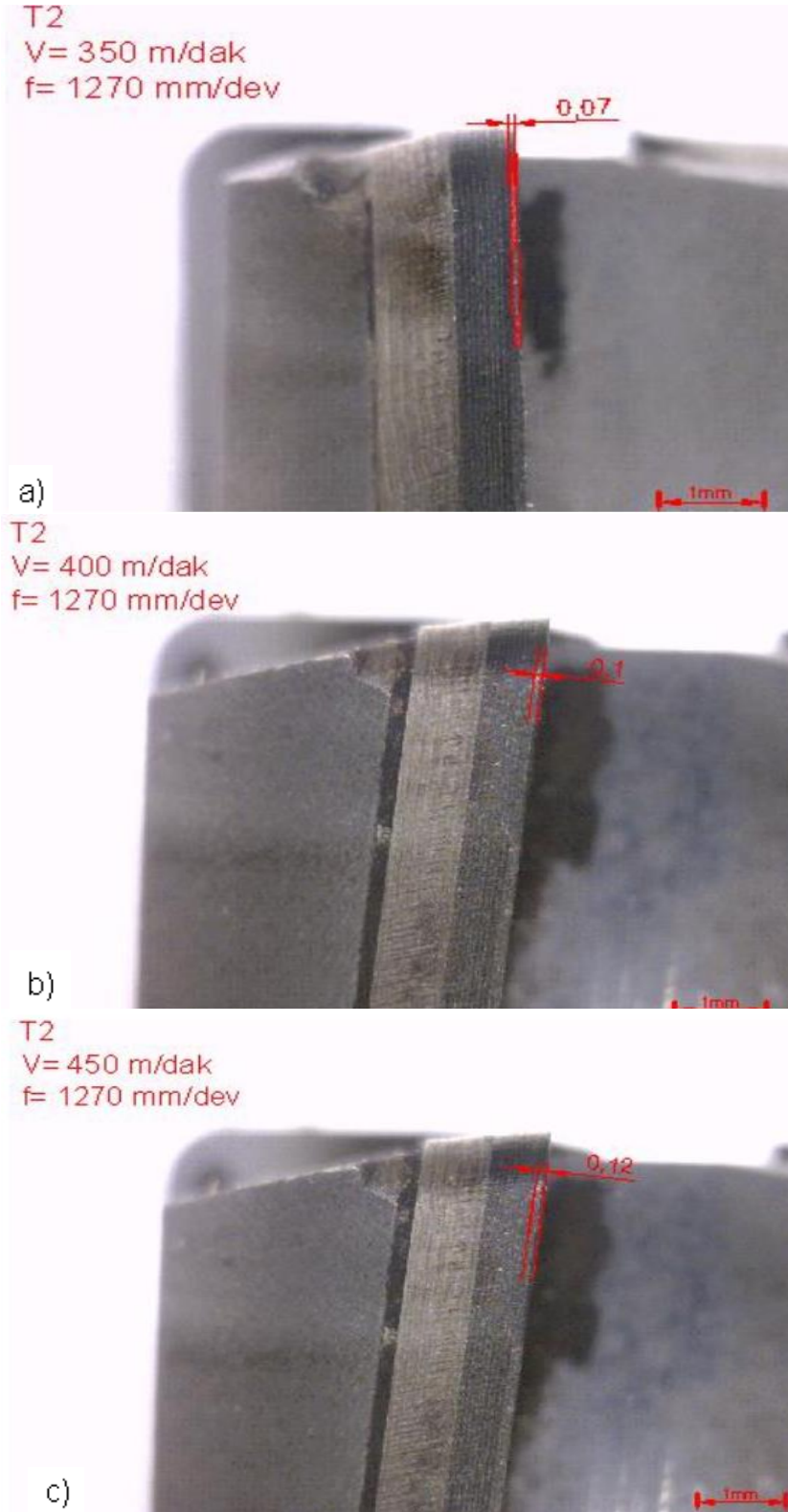


Resim 5.4. T1 kodlu takımlarla ait aşınma değerleri

a) V=350 m/dak

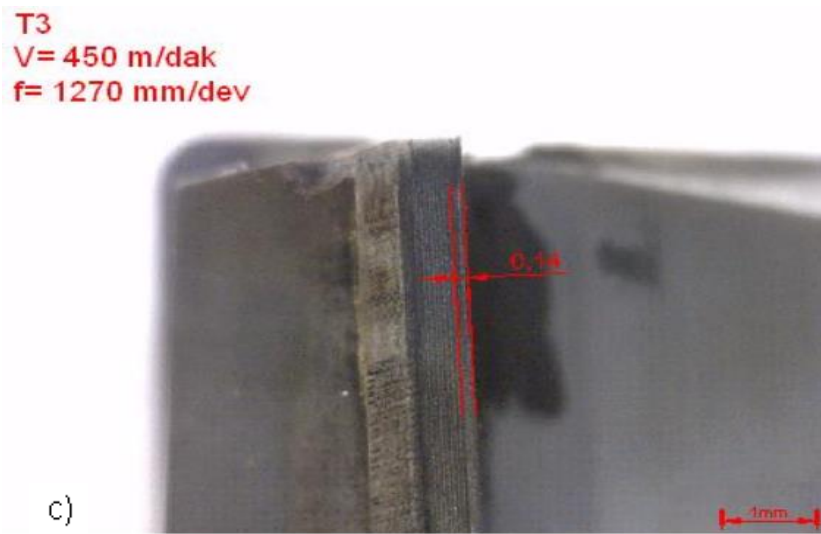
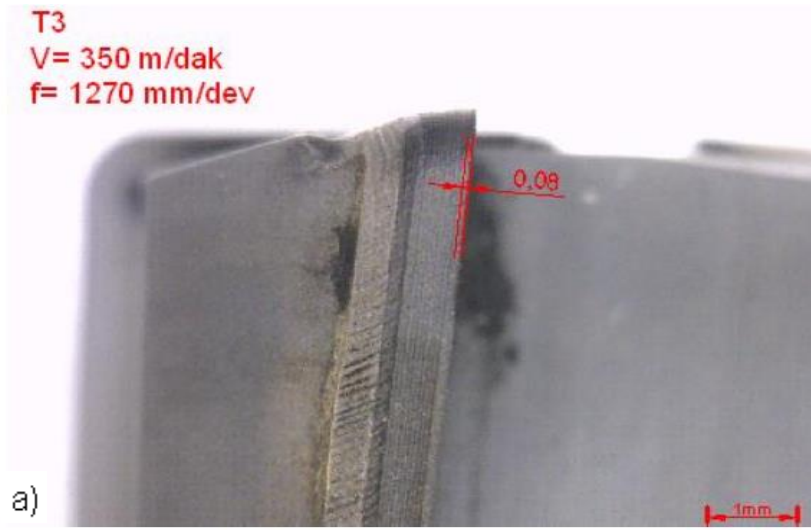
b) V=400 m/dak

c) V=450 m/dak



Resim 5.5. T2 kodlu takımlarla ait aşınma değerleri

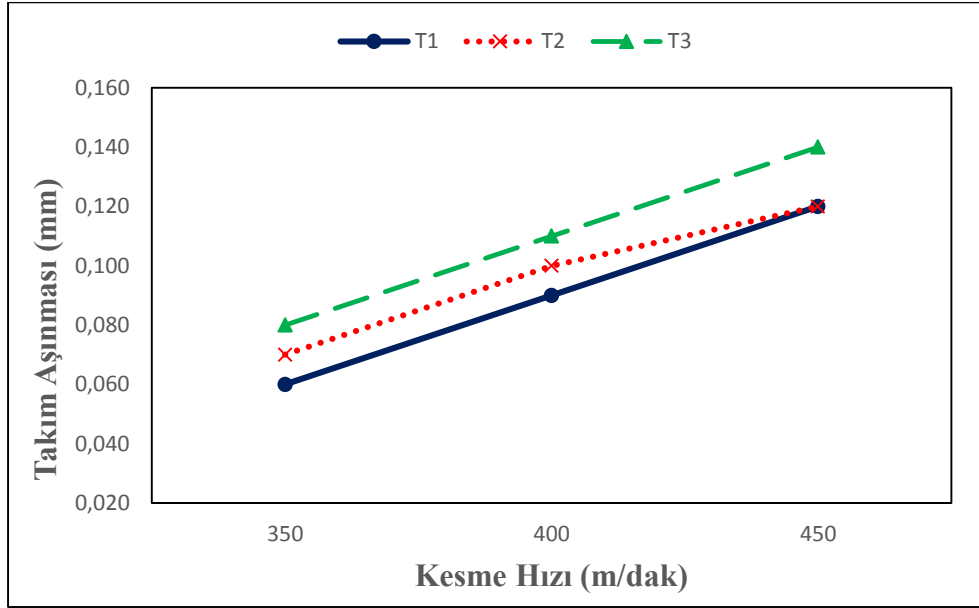
a) V=350 m/dak b) V=400 m/dak c) V=450 m/dak



Resim 5.6. T3 kodlu takımlarla ait aşınma değerleri

a) V=350 m/dak b) V=400 m/dak c) V=450 m/dak

Her üç kesici takım ile elde aşınma değerleri bakımından çalışma şartları aynı olan karbür kesicilerden daha az olmuştur. Bu durum Bölüm 5.4.1’de ayrıca değerlendirilmiştir. Kesme hızlarının artışı takım aşınmasını olumsuz yönde etkilemiştir. Bu durum genel olarak talaşlı imalatta beklenen bir durumdur. En düşük aşınma değerleri T1 kodlu takımda meydana gelirken onu T2 ve T3 kodlu takım izlemiştir.



Şekil 5.4. Kesme hızı ve takım geometrisine bağlı olarak takım aşınmasındaki değişim

Takımların birinci ve ikinci boşluk açıları kama açılarının değişmesine bu da aşınmanın büyük ya da küçük olmasına sebep olmuştur. Kama açısı en büyük olan T1 kodlu takımın aşınma direncinin yüksek olması daha az aşınmasına sebep olmuştur. Kama açısı en düşük olan T3 kodlu takım ise en fazla aşınan takım olmuştur. Takım aşınması en düşük olan T1 kodlu takım ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri ve delaminasyon yayılma genişliği aşınma değerleri daha yüksek olan diğer takımlardan daha düşük olmuştur. Buradan ortalama yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri ve delaminasyon yayılmasının takım aşınmasından olumsuz etkilendiği sonucuna ulaşmak mümkündür.

Takım aşınma değerleri üzerinde kesme hızlarının etkisi:

T1 kodlu takım için, kesme hızının 350 m/dak’dan 400 m/dak’a çıkması takım aşınmasında yaklaşık % 50’ lik bir artışa sebep olurken kesme hızının 400 m/dak’dan 450m/dak’a

çıkmasıyla bu oran yaklaşık %33 olarak gerçekleşmiştir. Kesme hızının 350 m/dak'dan 450 m/dak' a çıkması takım aşınmasını yaklaşık % 100 arttırmıştır.

T2 kodlu takım açısından aynı durum incelenecek olursa; 350 m/dak kesme hızı ile 400 m/dak kesme hızı arasında aşınma değerleri bakımından yaklaşık olarak % 43' lük bir fark olduğu görülmektedir. Aynı şekilde 400 m/dak kesme hızı ile 450 m/dak kesme hızı arasında ise aşınma değerleri bakımından yaklaşık olarak % 20'lik bir fark olduğu görülmektedir. Kesme hızının 350 m/dak'dan 450 m/dak' a çıkması sonucunda takım aşınmasında yaklaşık % 71'lik bir artış yaşanmasına sebep olmuştur.

T3 kodlu takımda kesme hızının 350 m/dak'dan 400 m/dak'a çıkmış olması takım alınmasını yaklaşık %37 oranında olumsuz etkilemişken, kesme hızının 400 m/dak'dan 450m/dak'a çıkması ile birlikte aşınma değerinde yaklaşık % 27'lik bir artış söz konusu olmuştur. Kesme hızının 350 m/dak'dan 450 m/dak' a çıkması takım aşınması % 75 arttırmıştır.

Bu değerlere bakıldığında kesme hızı artışından takım aşınması bakımından en çok etkilenen takımın T1 kodlu takım olduğu görülmektedir. Bütün takımların aşınma değerleri aslında oldukça düşüktür. T1 kodlu kesicide meydana gelen takım aşınmalarına bakıldığında, aşınmanın takım çalışmasını etkilemeyecek kadar düşük olduğu görülebilmektedir. Bu durum kesme hız artışından en çok etkilenen takımın T1 kodlu takım olması sonucunu doğurmuştur.

Literatürde yapılan bir başka çalışmada da aynı çalışma şartlarında çalışan karbür kesici takımların aşınma değerlerine bakıldığında çalışma kapsamında tasarımı ve üretimi yapılmış takımların iki kat daha fazla çalışmasına rağmen çok daha az aşındığı sonucu görülmüştür [87].

5.5.1. Tasarımı ve üretimi yapılan takımın endüstriyel uygulamada performansının değerlendirilmesi

Geliştirilen üç farklı takım ile elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, değerlendirme kapsamındaki tüm çıktılar (delaminasyon yayılma genişliği, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri ve takım aşınması) açısından en iyi, sonuçlar 8°-17° ön boşluk açılarına sahip

kesici atkımla elde edilmiştir. Bu takımın ticari olarak tedarik edilebilen takım (10° ön boşluk açısına sahip tamamen aynı özellikteki) takım ile ömür açısından karşılaştırmasını yapabilmek ve performansını değerlendirmek için, sahada endüstriyel olarak kullanılan gerçek numuneler üzerinde karşılaştırma deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sırasında aşınmayı ve takım ömrünü daha iyi izleyebilmek için kesme hızı değerleri her iki takım (geliştirilen optimum takım ve ticari olarak tedarik edilen takım) için de % 32 oranında arttırılarak 597 m/dak olarak seçilmiştir. Karşılaştırma kriteri olarak 0,2 mm aşınma değeri baz alınmış ve her iki takımın bu aşınma değerine ulaşmak için çalıştığı işleme süreleri

Çizelge 5.2. Gerçek çalışma ortamında T1 kodlu takım ile ticari olarak temin edilen takımın takım ömrü açısından karşılaştırılması

Date	16.09.2015
Customer	TAI
Machine	DS FOGS 3050 FC
Spindle type	FISHER
Max RPM	24000
Cutter holder	HSK 63 A
Workpiece material	CFRP COMP. (INTERMODULES)

APPLICATIONS	
Drilling ☐	Milling ☒
Gun Drill ☐	Reaming ☐
Special Drill ☐	Tapping ☐
	Thread Milling ☐

Compression End Milling

TOOL PARAMETER	TEST 1	TEST 2
Cutter supplier	KARCAN	competitor
Cutter description		pdc cutter
Cutter diameter eff. Ød mm	10 mm	10 mm
Number of teeth z	3	3
Cutter Material Carbide/Hss/PCD/CBN	PCD	PCD
Cutting speed Vc m/min	597	597
Revolution n rpm	20.000	20.000
Feed per tooth fz mm	0.02	0.02
Table feed Vf mm/min	50° (1270 mm/min.)	50° (1270 mm/min.)
Depth of cut ap mm	10	10
Width of cut ae mm	full slot	full slot
Length of cut L mm		
Coolant type Emulsion,Air,MQL,Dry	emulsion	emulsion
Coolant pressure Bar	?	?
Cutting time / comp T comp. min		
Toolife Ttotal min / pcs	10 min.	7 min.

Çalışma kapsamında geliştirilen takım 0,2 mm aşınma değerine 10 dakika sonunda ulaşırken ticari olarak temin edilebilen takımında bu süre 7 dakika olarak gerçekleşmiştir. Testler sonrasında çalışma kapsamında tasarımı ve üretimi yapılan takımın ticari olarak temin

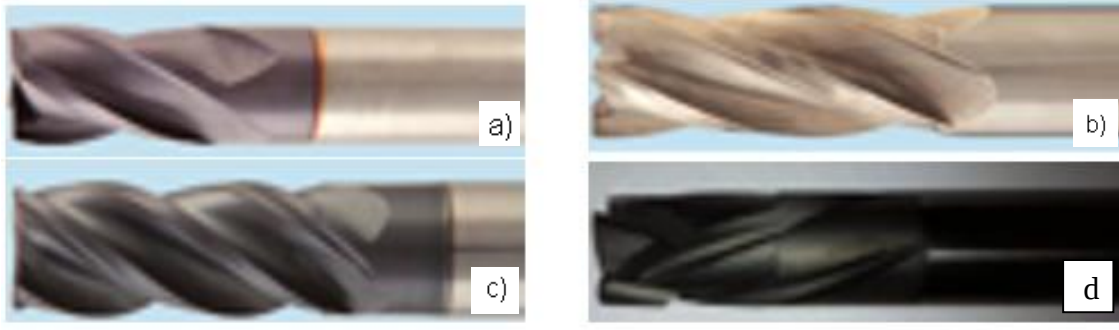
edilebilen takıma göre performansının yaklaşık % 50 oranında arttığı görülmüştür. Bu sonuçlar, geliştirilmesi hedeflenen takımdan beklenen performansın sağlandığının önemli bir kanıtı olmuştur.

5.6. Geliştirilen PCD Takımlar İle Geleneksel Karbür Takımların Karşılaştırılması

Bölüm 5.2 ve Bölüm 5.5 arasında tasarımı ve üretimi yapılan takımların performansları kendi içinde detaylı olarak kıyaslanmıştır. Bununla birlikte, KFTK malzemelerin işlenmesinde endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan geleneksel karbür parmak frezeler ile de karşılaştırılmasına ihtiyaç duyulmuştur. KFTK malzemelerin geleneksel karbür takımlarla işlenmesine yönelik yapılan bir diğer çalışmanın [87] sonuçları ile bu çalışma kapsamında geliştirilen PCD özel takımların karşılaştırılmasından aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Geleneksel karbür takımlar Geometri 1, Geometri 2, Geometri 3 ve Geometri 4 olarak tanımlanmış ve grafiklerde G1, G2, G3 ve G4 olarak gösterilmiştir. İlgili çalışmada yapılan deneylerde kullanılan bu karbür kesici takımların özellikleri Çizelge 5.3'te bu kesicilerin resimleri ise Resim 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Deneylerde kullanılan karbür parmak frezelerin özellikleri [87]

Kesici Takım	Üretici Kodu	Kaplama Türü	Sürtünme Katsayısı	Sertlik Hv	Çap (mm)	Ağız Sayısı	Helis Açısı (derece)	Helis Boyu (mm)	Kesici Takım Boyu (mm)
G1/Talaş Kırıcsız	KSNF410073	TiAIN	0,35	3300	10	4	30	21	73
G2/Talaş Kırıclı	KSNF410073	TiAIN	0,35	3300	10	4	30	21	73
G3/Talaş Kırıclı	100410073	AlCrN - based	0,25-0,35	3200	10	4	38	21	73
G4/ Sağ Sol Helis	2F00K1TAI14	Elmas	0,01	10000	10	4	19	35	73



Resim 5.7. Deneylerde kullanılan geleneksel karbür parmak frezeler

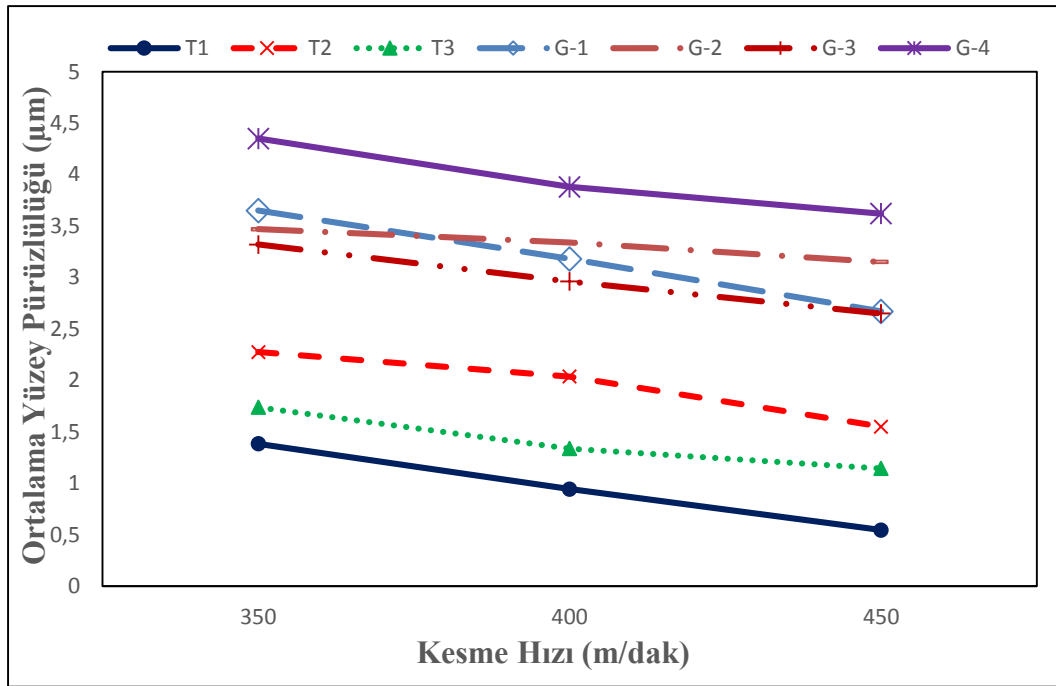
a) G1 b) G2 c) G3 d) G4

Bu takımlardan özellikle G4 ile kodlanan takım, takım üretici firmalar tarafından KFTK malzemelerin işlenmesinde delaminasyon problemini elimine etmek için özel olarak tasarlanmış, gövdesinin bir bölümü sağ helis kanallı bir bölümü sol helis kanallı olarak üretilmiş takımdır. Bu takım, KFTK malzemelerin işlenmesinde ortaya çıkan yüksek aşınma problemini elimine etmek için elmas kaplamalı olarak üretilmektedir.

Mukayesenin sağlıklı yapılabilmesi için geleneksel karbür takımlar ile geliştirilen PCD takımlar yanı kesme parametreleri kullanılarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiş, ancak geleneksel takımların beklenen düşük performansı sebebiyle, işleme süresi bu takımlar için PCD takımların yarısı kadar tutulmuştur.

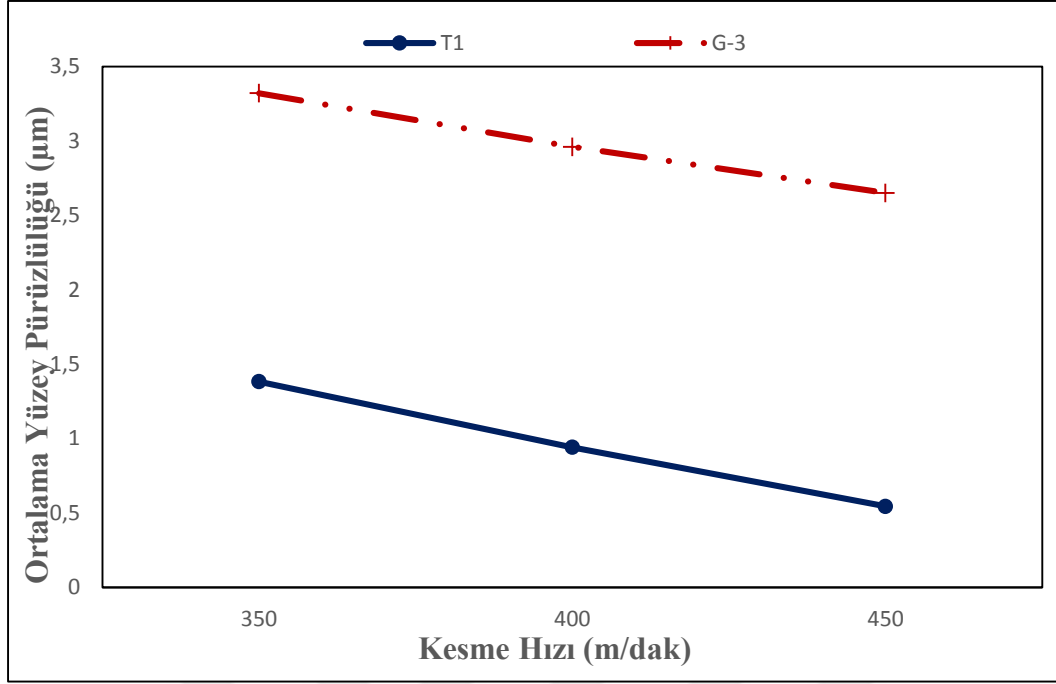
5.6.1. Geliştirilen PCD takımlar ile geleneksel karbür takımların yüzey pürüzlülüğü açısından karşılaştırılması

Geliştirilen PCD takımlar ve geleneksel karbür takımlar ile deneyler sonrasında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin kesme hızı ve takım geometrisine bağlı olarak değişimleri Şekil 5.5.'teki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Geliştirilen PCD takımlar ile geleneksel karbür parmak frezelerin yüzey pürüzlülüğü açısından karşılaştırılması

Şekil 5.5' teki grafik incelendiğinde geliştirilen PCD takımla ile geleneksel karbür takımların birbirinden net bir şekilde ayrıldığı görülebilmektedir. Geliştirilen üç takımla elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin tamamı geleneksel karbür takımlardan daha düşük olmuştur. Geliştirilen takımlar arasında yüzey kalitesi açısından en iyi performansı gösteren takım (T1) ile geleneksel karbür takımla arasında yüzey kalitesi açısından en iyi performansı gösteren takım (G3) arasında yaklaşık % 300' lük bir fark söz konusu olmuştur. Üretimi yapılan takımlar arasında en iyi performansı gösteren T1 kodlu takım ile karbür takımlar arasında en iyi performansı gösteren G3 kodlu takım Şekil 5.6'daki grafikte bir arada değerlendirilmiştir.

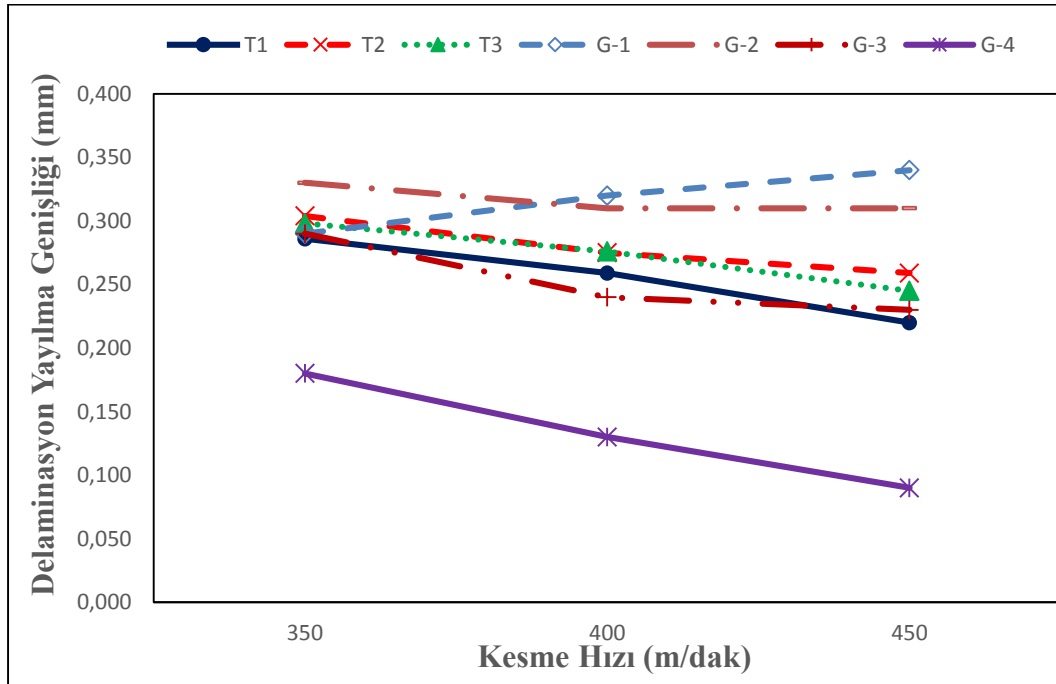


Şekil 5.6. T1 kodlu ve G 3 kodlu takımların yüzey pürüzlülüğü açısından karşılaştırılması

Geliştirilen PCD T1 takımın geleneksel karbür parmak frezelere oranla % 100 daha fazla çalışmasına rağmen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin iki takım arasında kıyas yapılamayacak kadar iyi olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre yüzey kalitesi beklentisi olduğu uygulamalar için PCD takımların tercih edilmesi önerilir.

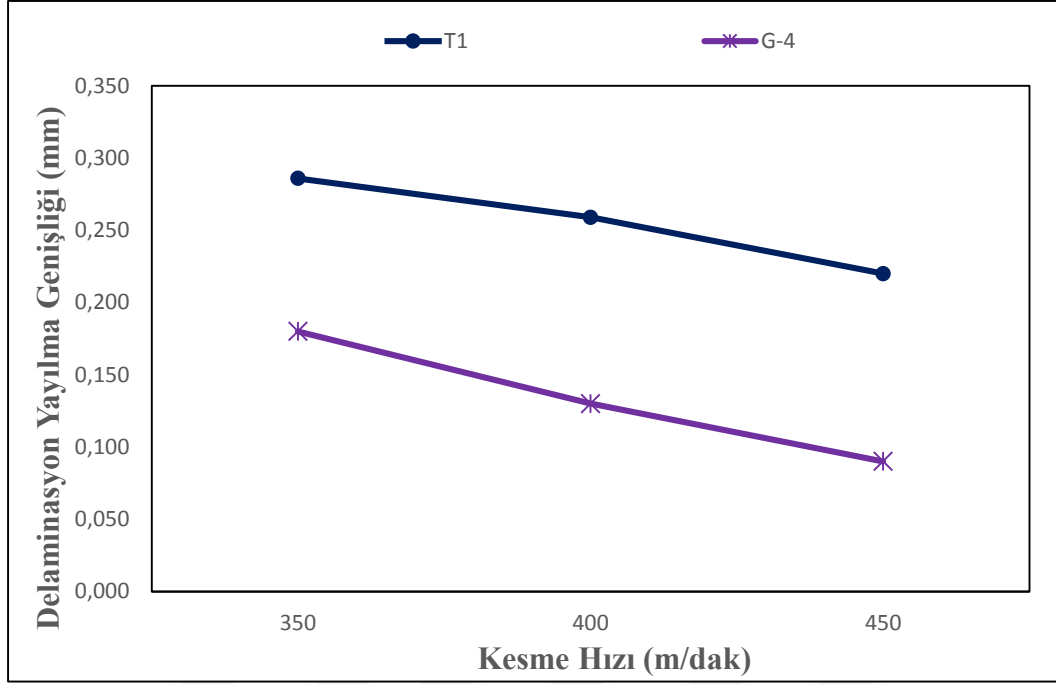
5.6.2. Geliştirilen PCD takımlar ile geleneksel karbür takımların delaminasyon yayılma genişliği açısından karşılaştırılması

Geliştirilen PCD takımlar ve geleneksel karbür takımlar ile deneyler sonrasında elde edilen delaminasyon yayılma genişliğinin kesme hızı ve takım geometrisine bağlı olarak değişimleri Şekil 5.7.'deki grafikte verilmiştir.



Şekil 5.7. Üretilen takımlar ile karbür takımların delaminasyon yayılma genişliği açısından karşılaştırılması

Şekil 5.7’ deki grafik incelendiğinde G4 kodlu takımın diğer takımlardan bariz bir şekilde ayrıldığı görülmektedir. G4 numaralı takım, kesme esnasında malzemeyi basarak ve çekerek aynı anda talaşı kırmaya zorlamakla katmanların ayrışmasından çok sıkışmasını sağlamış bu durum delaminasyon yayılması genişliğine olumlu yönde etkilemiştir [87]. G4 numaralı takımdan sonra delaminasyon yayılması genişliği en az olan takım T1 kodlu takımdır. Bu iki takım arasında delaminasyon yayılma genişliği açısından yaklaşık % 75’ lik bir fark söz konusu olmuştur. Ancak geliştirilen PCD T1 kodlu takımın G4 kodlu takıma oranla 2 kat daha fazla kesme işlemi yaptığı unutulmamalıdır. Ayrıca G4 kodlu takımın kesme işlemi yaparken bazı kısıtlamalar söz konusudur. G4 kodlu takımın daha hassas talaş kaldırma işlemlerinde kullanılması gerekmektedir. Ayrıca G4 numaralı takım, çift yönlü helis açısına sahiptir. Bu tür takımlar için helis değişim bölgesinin işlenecek kalınlığın ortasına getirilmesi önerilir. Bu da kesme derinliğinde sınırlamalara yol açar. Bu kısıtlamalar göz önünde bulundurulduğunda T1 kodlu takımın G4 kodlu takıma tercihi mümkündür. T1 kodlu takım ve G4 kodlu takımın delaminasyon yayılma genişliği açısından karşılaştırıldığı grafik Şekil 5.8’deki grafikte verilmiştir.



Şekil 5.8. T1 kodlu ve G 4 kodlu takımların delaminasyon yayılma genişliği açısından karşılaştırılması

Geliştirilen PCD takımında meydana gelen delaminasyon yayılma miktarı G4 kodlu takıma oranla yaklaşık %65 ila % 100 daha fazla meydana gelmiştir. Uygulamalarda, delaminasyon problemini elemine etmek öne çıkan durumlarda G4 kodlu takımın, %65 ila % 100 daha iyi performans göstermesi sebebi ile kullanılması önerilir.

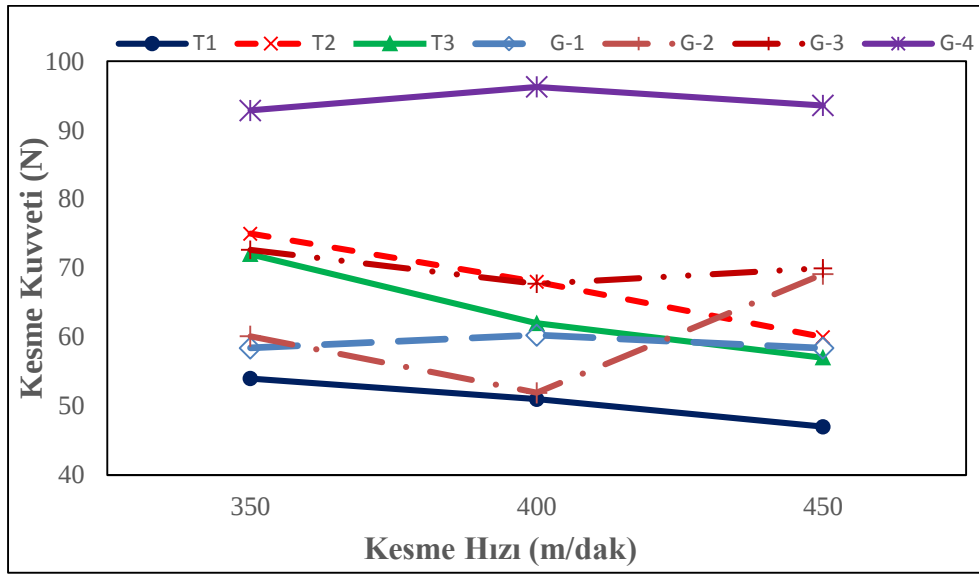
5.6.3. Geliştirilen PCD takımlar ile geleneksel karbür takımların kesme kuvvetleri açısından karşılaştırılması

Geliştirilen PCD takımlar ve geleneksel karbür takımlar ile deneyler sonrasında elde edilen kesme kuvvetlerinin kesme hızı ve takım geometrisine bağlı olarak değişimleri Şekil 5.9.'daki grafikte görülebilir.

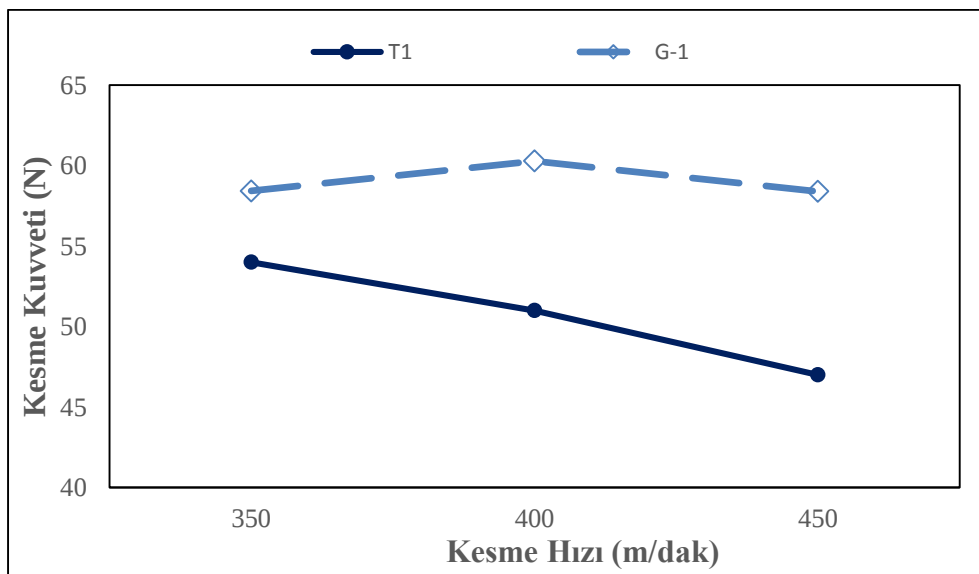
Şekil 5.9'daki grafik incelendiğinde en düşük kesme kuvvetlerinin T1 kodlu takım ile yapılan deneylerde elde edildiği görülmektedir. T1 kodlu takım G1 kodlu takım izlemektedir. G4 numaralı takım ile elde edilen değerler dışında kesme kuvvetleri birbirine yakındır.

KFTK malzemelerin işlenmesi sırasında kesme kuvvetlerinin düşük meydana gelmesi sebebiyle kesme G4 kodlu takım haricindeki takımlar ile elde edilen kesme kuvvetleri

arasında çok büyük bir fark meydana gelmemiştir. Takımın kesme sırasında çift yönlü helis açısına bağlı olarak her iki yönde de zorlanmasının kesme kuvvetlerinin artmasına neden olduğu düşünülmektedir [87]. Geliştirilen takım ile yapılan deneyler sonrasında en düşük kesme kuvvetlerinin meydana geldiği T1 kodlu takım ile karbür takımlar arasında en düşük kesme kuvvetinin meydana geldiği G1 kodlu takımın kesme kuvvetleri açısından karşılaştırdığı grafik Şekil 5.10' da verilmiştir.



Şekil 5.9. Tasarımı ve üretimi takımlar ile karbür takımların kesme kuvvetleri açısından karşılaştırılması



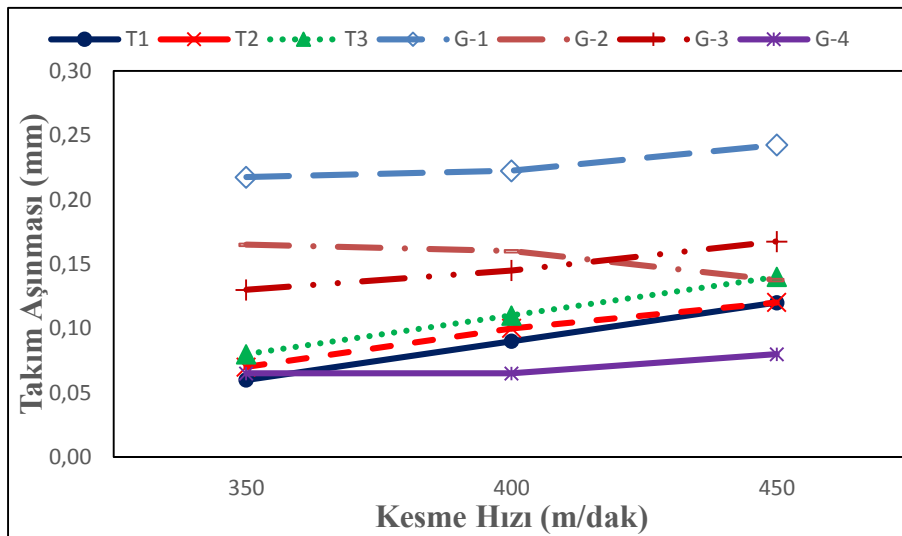
Şekil 5.10. T1 kodlu ve G1 kodlu takımların kesme kuvvetleri açısından karşılaştırılması

Yine ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinde olduğu gibi T1 kodlu takım G 1 kodlu takıma göre iki kat daha fazla çalışmış olmasına rağmen kesme esnasında meydana gelen kesme kuvvetleri T1 kodlu takımda daha düşük meydana gelmiştir. Bu durum T 1 kodlu takımın karbür takımlara oranla daha kolay kesme yaptığıının göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

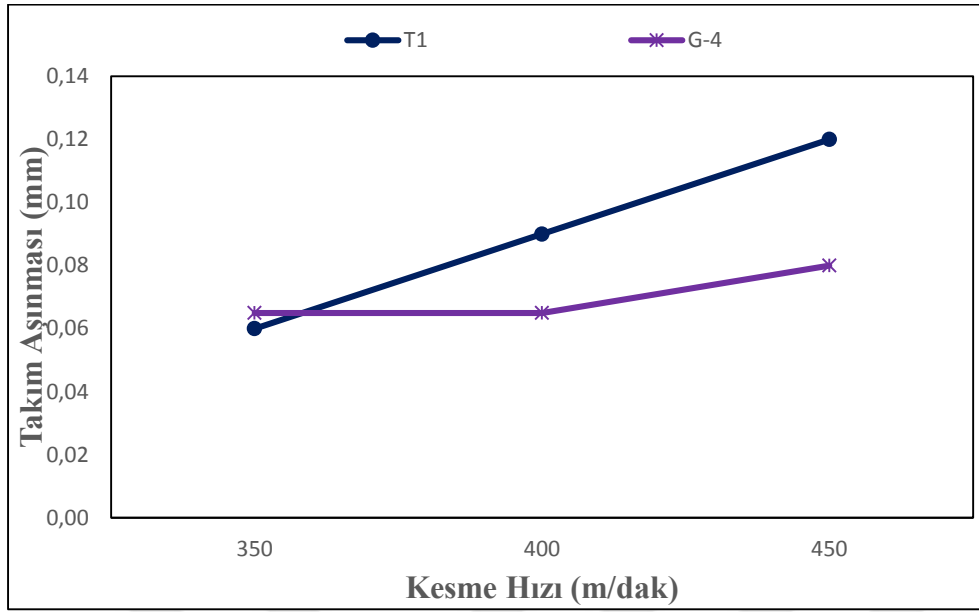
5.6.4. Geliştirilen PCD takımlar ile geleneksel karbür takımların takım aşınması açısından karşılaştırılması

Geliştirilen PCD takımlar ve geleneksel karbür takımlar ile deneyler sonrasında elde edilen takım aşınması değerlerinin kesme hızı ve takım geometrisine bağlı olarak değişimleri Şekil 5.11.'deki grafikte gösterilmiştir. Şekil 5.11' deki grafik incelendiğinde delaminasyon yayılma genişliğinde karşılaşılan durumun bir benzerinin de takım aşınmasında söz konusu olduğunu görmek mümkün olacaktır. Deneyler sonrasında G4 kodlu takımın en az aşınan takım olduğu görülmektedir. Bu durum delaminasyon yayılma genişliğinin en G4 kodlu takımda meydana gelmesini destekler niteliktedir. Aynı şekilde G4 kodlu takım geliştirilen T1 kodlu takım izlemiştir.

Üretilen takımlar arasında en az aşınan T1 kodlu takım ile karbür takımlar arasında en az aşınan takım olan G4 kodlu takımın takım aşınması bakımından karşılaştırıldığı grafik şekil 5.12' de verilmiştir.



Şekil 5.11. Tasarımı ve üretimi yapılan takımlar ile karbür takımların takım aşınması açısından karşılaştırılması



Şekil 5.12. T1 kodlu ve G4 kodlu takımların delaminasyon yayılma genişliği açısından karşılaştırılması

Şekil 5.12'deki grafik incelendiğinde G4 kodlu takımın aşınma oranının T1 kodlu takıma oranla daha düşük olduğu görülmektedir. Fakat T1 kodlu takımın iki kat fazla çalışmış olması burada göz önünde bulundurulması gereken bir husustur. Ayrıca Bölüm 5.5.2'deki G4 kodlu takım için bahsedilen kısıtlamalar ve yakın maliyetler dikkate alındığında T1 kodlu takımın tercih edilmesinin mümkün olabileceği düşünülebilir.

Genel Değerlendirme

Geliştirilen PCD takımlar ve geleneksel karbür takımlar birlikte değerlendirildiğinde, yüzey kalitesi bakımından geliştirilen PCD takımların geleneksel takımlara oranla daha iyi sonuçlar verdiği görülebilir. Bu durumda yüzey kalitesinin etkili olduğu uygulamalarda geliştirilen PCD takımları tercih etmemenin faydalı olacağı söylenebilir. Delaminasyon yayılma genişliği ve takım ömrü açısından geliştirilen takımlar ve geleneksel karbür takımlar kıyaslandığında G4 kodlu takım dışında geliştirilen takımın diğer geleneksel karbür takımlara göre daha iyi performans gösterdiği görülebilir. G4 kodlu takımla geliştirilen takımlar arasında en iyi performansı gösteren T1 kodlu takım değerlendirilecek olursa, G4 kodlu takımın hem delaminasyon yayılma genişliği hem de takım ömrü bakımından daha iyi performans gösterdiği, fakat G4 kodlu takımın bazı sınırlamalarının olması bu takımın kullanılmasında kısıtlamaları doğurmaktadır.

Bu kısıtlamaların sorun teşkil etmediği ve delaminasyon probleminin elimine edilmesi gereken uygulamalarda bu takımın kullanılması önerilebilir. Genel olarak bütün takımların performansı incelendiğinde geliştirilen takımların başarılı olduğu sonucuna varmak mümkündür.



6. DENEY SONUÇLARININ MODELLENMESİ

Deneyler sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a), kesme kuvvetleri (F), Delaminasyon yayılma genişliği ve takım aşınması değerleri için iki farklı regresyon denklemleri çıkartılmıştır. Regresyon modelinde denklemlerin oluşturulması için Excel programı kullanılmıştır. Excel programında başarı oranının daha yüksek olduğu görülen Model 2 denklemine uygun olarak Minitab 15 Programı kullanılarak sağlama yapılmıştır. Minatab15 programı ile elde edilen model sonuçları ile Excel programında elde edilen model sonuçları birbirini doğrulamıştır.

Normal dağılım uygunluğu ve dağılım histogram grafikleri Minitab 15 programı yardımıyla elde edilmiştir. Modeller kendi arasında incelendiğinde Model 2'nin daha uygun olduğu görülmekle birlikte Model 1 değerlerin de anlamlı olması her iki modelin de incelenmesini sağlamıştır. Her bir deney için kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü, delaminasyon genişliği ve takım aşınması ölçümleri yapılarak ölçümler arasındaki değişimlerin hangi etmenlerden kaynaklandığının etkisini araştırmak için varyans analizi kullanılmıştır.

Deney girdilerine bağlı olarak elde edilen çıktılarla birlikte Model 1 sonucunda elde edilen çıktılar çizelge 6.1, deney girdilerine bağlı olarak elde edilen çıktılarla birlikte Model 2 sonucunda elde edilen çıktılar çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Deney sonuçları ve Model 1 sonuçları

Deney No	Kesme Hızı (m/min)	İlerleme (mm/min)	Kesici Takım	Deney Sonuçları				Model Sonuçları			
				Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Ra (μm)	Bileşke Kuvvet (N)	Delaminasyon Genişliği (mm)	Takım Aşınması (mm)	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Ra (μm)	Bileşke Kuvvet (N)	Delaminasyon Genişliği (mm)	Takım Aşınması (mm)
1	350	1270	T1	1,383	54	0,286	0,060	1,197	55,975	0,282	0,064
2	400			0,942	51	0,259	0,090	0,881	50,376	0,252	0,088
3	450			0,545	47	0,220	0,120	0,673	45,903	0,229	0,116
4	350		T2	2,274	75	0,304	0,070	2,587	74,567	0,310	0,069
5	400			2,036	68	0,275	0,100	1,906	67,108	0,278	0,096
6	450			1,55	60	0,259	0,120	1,455	61,150	0,252	0,127
7	350		T3	1,738	72	0,298	0,080	1,858	70,120	0,302	0,079
8	400			1,336	62	0,276	0,110	1,368	63,105	0,271	0,109
9	450			1,144	57	0,245	0,140	1,045	57,503	0,246	0,144

Çizelge 6.2. Deney sonuçları ve Model 2 sonuçları

Deney No	Kesme Hızı (m/min)	İlerleme (mm/min)	Kesici Takım	Deney Sonuçları				Model Sonuçları			
						Delaminasyon Genişliği (mm)	Takım Aşınması (mm)	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Ra (μm)	Bileşke Kuvvet (N)	Delaminasyon Genişliği (mm)	Takım Aşınması (mm)
1	350	1270	T1	1,383	54	0,286	0,060	1,3160	56,8333	0,2823	0,0617
2	400			0,942	51	0,259	0,090	0,9567	50,6667	0,2550	0,0900
3	450			0,545	47	0,220	0,120	0,5973	44,5000	0,2277	0,1183
4	350		T2	2,274	75	0,304	0,070	2,3127	73,8333	0,3067	0,0683
5	400			2,036	68	0,275	0,100	1,9533	67,6667	0,2793	0,0967
6	450			1,55	60	0,259	0,120	1,5940	61,5000	0,2520	0,1250
7	350		T3	1,738	72	0,298	0,080	1,7653	69,8333	0,3003	0,0817
8	400			1,336	62	0,276	0,110	1,4060	63,6667	0,2730	0,1100
9	450			1,144	57	0,245	0,140	1,0467	57,5000	0,2457	0,1383

6.1. Model 1' e Göre Varyans Analizi (ANOVA) ile Parametrelerin Değerlendirilmesi

Model 1' e göre her bir deney için kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, delaminasyon genişliğine takım aşınması açısından hangi parametrelerin daha etkili olduğu varyans analizi ile yapılmıştır. Kesme hızı, birinci boşluk açısı (β) ve ikinci boşluk açısı (θ) faktörleri dikkate alınarak Model 1 için eşitlik 6.1'deki denklem elde edilmiştir.

$$S_i = c_0 \cdot V^{c_1} \cdot \beta^{c_2} \cdot \theta^{c_3} \quad (6.1)$$

R^2 ; regresyon denkleminin uygunluğunu ifade eden katsayıdır. R^2 1'e yaklaştıkça; bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon modelinin, istatistiksel olarak gerçekliğe yakınlığının arttığı kabul edilmektedir. R^2 1'e yaklaştıkça bağımsız değişkenler bağımlı değişkeni tam açıklar. R^2 nin %80 ve üzeri kabul edilebilir sınırlar içindedir ve kuvvetli ilişkiye sahiptir [91]. Her bir model çıktısı ile gerçek değerlerin daha rahat kıyaslanabilmesi için deney sonuçları ve Model 1'e göre grafikler oluşturulmuştur ve aşağıda detaylı olarak değerlendirilmiştir.

6.1.1. Model 1'e göre ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin değerlendirilmesi

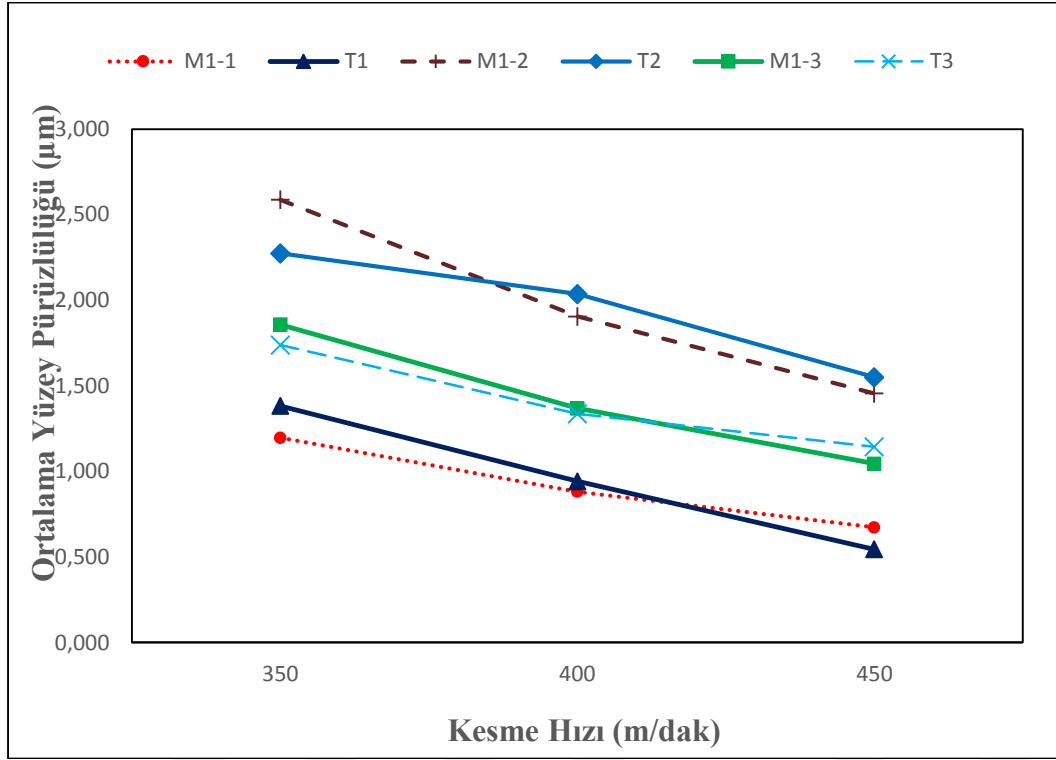
Model 1' e göre ortalama yüzey pürüzlülük değerleri için elde edilen regresyon istatistikleri ve varyans analizi sonuçları Çizelge 6.3'te verilmiştir. Çizelge 6.1'de de görüleceği üzere deney sonuçları ile model sonuçları arasındaki uyumu gösteren R^2 değerinin 0,92 olarak hesaplanmıştır. R^2 1'e yaklaştıkça geliştirilen modelin başarı oranı yükselir [92]. Bu da ortalama yüzey pürüzlülüğü açısından modelin başarı oranının yüksek olduğu sonucunu doğurur.

Çizelge 6.3. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) için Model 1 regresyon istatistikleri ve ANOVA bilgileri

Regresyon İstatistikleri							
R ²	Rçoklu	Radj ²	Standar t Hata	Gözlem			
0,92	0,96	0,88	0,063	9			
ANOVA							
	df	SS	MS	F	Anlamlılık F		
Regresyon	3	0,263086	0,0876	21,4971	0,002755		
Hata (Fark)	5	0,020397	0,0040				
Toplam	8	0,283483	0,0917				
	Katsayılar	Std. Hata	T-değeri	P-değeri	% Etki	Düşük %95	Yüksek %95
Model sabiti	7,8214	1,413662	5,5327	0,002645		4,18755	11,4554
Kesme hızı	-2,2891	0,477493	-4,7941	0,004909	32,1	-3,51661	-1,0617
β	5,1444	0,917086	5,6095	0,002489	37,4	2,78702	7,5019
θ	-5,3359	1,168274	-4,5673	0,006016	30,5	-8,33909	-2,3328

Çizelge 6.3'teki regresyon istatistikleri incelendiğinde NOVA değerlerinde ortalama yüzey pürüzlülüğü açısından Anlamlılık F değerinin 0,002755 olduğu görülmektedir. Anlamlılık F değeri üç parametrenin birlikte değerlendirilmesi sonucu ortaya çıkan bir değerdir. Anlamlılık F değeri $<0,05$ olduğu için gruplar arasında anlamlı fark olduğu söylenebilir. Bu üç parametrenin ayrı ayrı P değerine bakıldığında, kesme hızı P değeri 0,004909, birinci boşluk açısı (β) P değeri 0,002489 ve ikinci boşluk açısı P değerinin 0,006016 (θ) $<0,05$ olduğu görülmektedir. Buradan Model 1 için birinci boşluk açısı ve ikinci boşluk açısının kesme kuvvetleri bakımından aynı anda etkili olduğu sonucu ortaya çıkar. Bu üç parametre arasında en etkili parametrenin P değeri sıfıra en yakın olan birinci boşluk açısının olduğunu söylemek mümkün olacaktır. Onu kesme hızı ve ikinci boşluk açısı izlemektedir. Katsayılar incelendiğinde, kesme hızı ve ikinci boşluk açısının artışının kesme kuvvetlerinin azalmasına sebep olduğu bununla birlikte birinci boşluk açısı artışının ise kesme kuvvetlerini arttırdığı söylenebilir.

Model 1 sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri ile gerçek deney değerlerinin karşılaştırıldığı grafik Şekil 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1. Model 1 sonuçlarının deney sonuçları ile ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri açısından karşılaştırılması

6.1.2. Model 1’e göre delaminasyon genişliğinin değerlendirilmesi

Model 1’ e göre delaminasyon yayılma genişliği değerleri için elde edilen regresyon istatistikleri ve varyans analizi sonuçları çizelge 6.2’de verilmiştir. Çizelge 6.2’deki regresyon istatistiklerinde R^2 ’nin 0,947 olduğu görülmektedir. R^2 1’e yakın olduğu için delaminasyon yayılma genişliği açısından geliştirilen modelin başarı oranının yüksek olduğunu söylemek mümkün olacaktır.

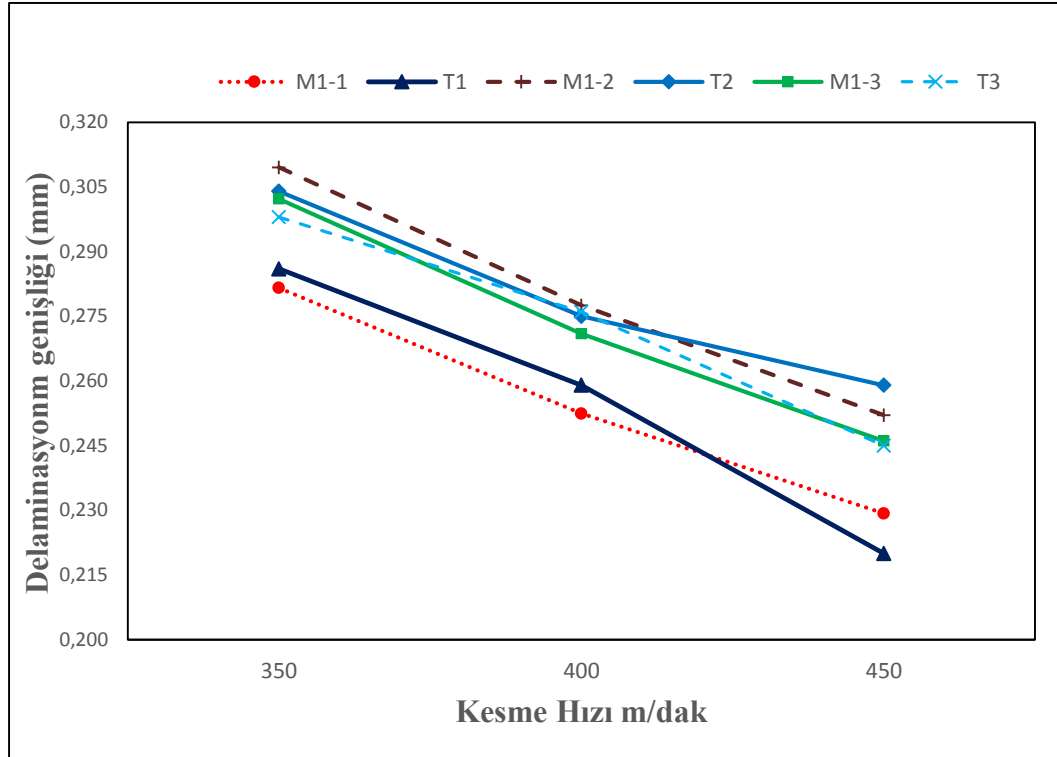
ANOVA istatistiklerinde Anlamlılık F değerine bakıldığında bu değer 0,001258 olarak 0,05’den küçük olduğu görülür. Bu sebeple delaminasyon yayılma genişliği bakımından gruplar arasında anlamlı fark olduğu sonucu ortaya çıkar. Kesme hızı, birinci boşluk açısı ve ikinci boşluk açısı ayrı ayrı incelendiğinde kesme hızı ve birinci boşluk açısı P değerinin (0,000356 ve 0,026457) 0,05’den küçük olduğu görülmektedir. Fakat ikinci boşluk açısının

P değeri 0,0706 olarak hesaplanmıştır. Yani ikinci boşluk açısı P değeri $> 0,05$ olduğu için Model 1 için delaminasyon yayılma genişliği açısından ikinci boşluk açısının etkisinin olmadığını söylemek doğru olacaktır. Kesme hızı ve birinci boşluk açısı arasında P değeri sıfıra daha yakın olan kesme hızının delaminasyon yayılma genişliği üzerinde en etkili parametre olduğunu söylemek mümkün olacaktır.

Model 1 sonucunda elde delaminasyon yayılma genişliği değerleri ile gerçek deney değerlerinin karşılaştırıldığı grafik Şekil 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.4. Delaminasyon yayılma genişliği değerleri için Model 1 regresyon istatistikleri ve ANOVA bilgileri

Regresyon İstatistikleri							
R^2	$R_{çoklu}$	R_{adj}^2	Standart Hata	Gözlem			
0,947	0,97	0,91	0,012	9			
ANOVA							
	df	SS	MS	F	Anlamlılık F		
Regresyon	3	0,014697	0,004899	30,1251	0,001258		
Hata (Fark)	5	0,000813	0,000163				
Toplam	8	0,015511	0,005062				
	Katsayılar	Std. Hata	T-değeri	P-değeri	% Etki	Düşük %95	Yüksek %95
Model sabiti	1,67128	0,282255	5,9211	0,00195		0,9457	2,3968
Kesme hızı	-0,81731	0,095337	-8,5728	0,00035	61,3	-1,0623	-0,5722
β	0,57003	0,183108	3,1131	0,02645	22,3	0,0993	1,0407
θ	-0,53412	0,233261	-2,2898	0,07066	16,4	-1,1337	0,0654



Şekil 6.2. Model 1 sonuçlarının deney sonuçları ile delaminasyon yayılma genişliği değerleri açısından karşılaştırılması

6.1.3. Model 1'e göre kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi

Model 1'e göre kesme kuvvetleri için elde edilen regresyon istatistikleri ve varyans analizi sonuçları Çizelge 6.3'te verilmiştir. Çizelge 6.3'teki değerler ışığında modellenen regresyon istatistikleri incelendiğinde, gerçek deney sonuçları ile model sonuçları arasındaki uyumu gösteren R^2 değerinin 0,981671 olarak hesaplandığı görülebilir. Bu durumda kesme kuvvetleri açısından modelin başarı oranının oldukça yüksek olduğu söylenebilir.

ANOVA değerlerde ortalama yüzey pürüzlülüğü açısından Anlamlılık F değerinin 0,000092 olduğu ve sifıra oldukça yakın olduğu görülmektedir. Anlamlılık F değeri $<0,05$ olduğu için gruplar arasında anlamlı fark olduğunu söylemek kesme kuvvetleri açısından da mümkün olacaktır.

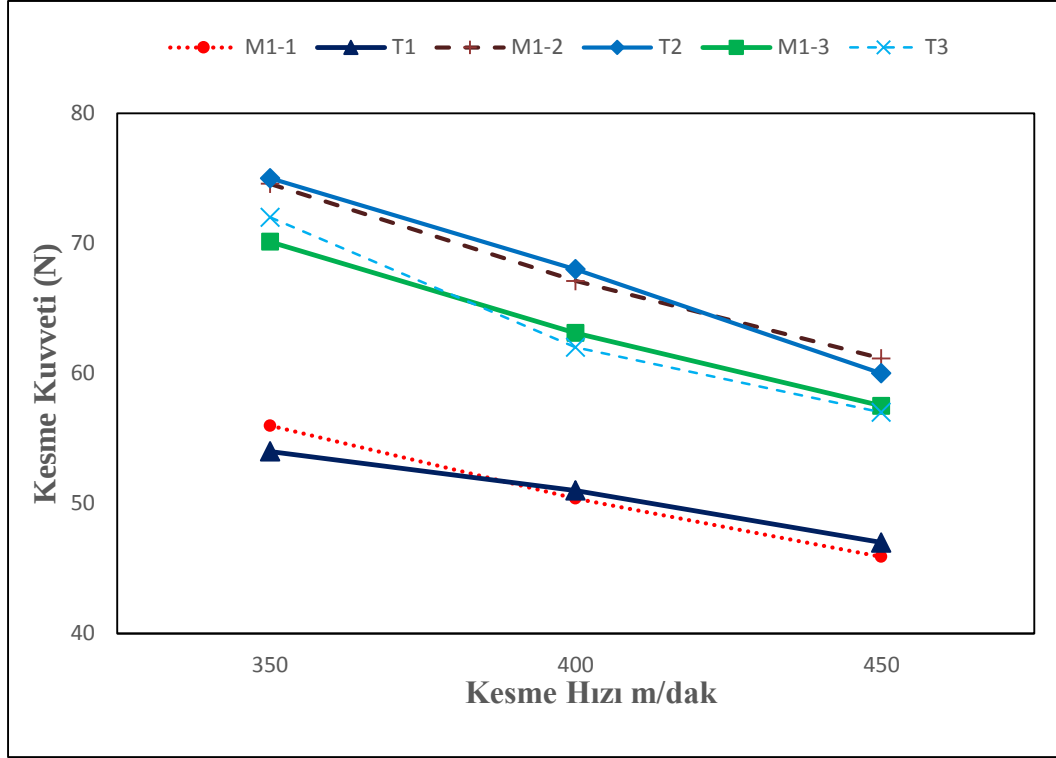
Parametrelerini ayrı ayrı P değerlerine bakıldığında, kesme hızı P değeri 0,000284, birinci boşlu açısı (β) P değeri 0,000172 ve ikinci boşluk açısı P değerinin (θ) 0,000829 $<0,05$ olduğu görülmektedir, yani kesme hızı, birinci boşluk açısı ve ikinci boşluk açısının kesme kuvvetleri bakımından aynı anda etkili olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Bu üç parametre

arasında en etkili parametrenin ortalama yüzey pürüzlülüğünde olduğu gibi P değeri sıfıra en yakın olan ikinci boşluk açısının olduğunu söylemek mümkün olacaktır. Onu kesme hızı ve ikinci boşluk açısı izlemektedir. Katsayılar bakıldığında, kesme hızı ve ikinci boşluk açısının artışının kesme kuvvetlerinin azalmasına sebep olduğu bununla birlikte birinci boşluk açısı artışının ise kesme kuvvetlerini arttırdığı söylenebilir.

Model 1 sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri ile gerçek deney değerlerinin karşılaştırıldığı grafikte Şekil 6.5'te verilmiştir.

Çizelge 6.5.Kesme kuvvetleri (F) için Model 1 regresyon istatistikleri ve ANOVA bilgileri

Regresyon İstatistikleri							
R^2	$R_{\text{çoklu}}$	R_{adj2}	Standart Hata	Gözlem			
0,981671	0,990793	0,970673	0,01174	9			
ANOVA							
	df	SS	MS	F	Anlamlılık F		
Regresyon	3	0,036948	0,01231	89,2619	0,000092		
Hata (Fark)	5	0,000690	0,00013				
Toplam	8	0,037638	0,01245				
	Katsayılar	Std. Hata	T-değeri	P-değeri	% Etki	Düşük %95	Yüksek %95
Model sabiti	4,125633	0,259985	15,8687	0,000018		3,4573	4,79394
Kesme hızı	-0,789321	0,087815	-8,98843	0,000284	34,4	-1,0150	-0,56358
β	1,684996	0,168660	9,99047	0,000172	38,2	1,2514	2,118551
θ	-1,537045	0,214856	-7,15384	0,000829	27,4	-2,0893	-0,98474



Şekil 6.3. Model 1 sonuçlarının deney sonuçları ile kesme kuvveti açısından karşılaştırılması

6.1.4. Model 1'e göre takım aşınmasının değerlendirilmesi

Model 1'e göre takım aşınması değerleri için elde edilen regresyon istatistikleri ve varyans analizi sonuçları Çizelge 6.6' da verilmiştir. Çizelge 6.4'te R^2 değerinin 0,98 olduğu görülmektedir. R^2 1'e ne kadar yakın olursa modelin başarı oranı o kadar yüksek olur durumundan yola çıkarak takım aşınması değerleri için modelin başarı oranının oldukça yüksek olduğunu söylemek mümkün olacaktır.

ANOVA değerleri incelendiğinde Anlamlılık F değerinin 0,000094 olduğu görülebilir. Anlamlılık F değeri $<0,05$ olduğu için gruplar arasında anlamlı fark olduğu söylemek takım aşınması değerleri açısından da mümkün olacaktır. Her bir parametre için P değerleri ayrı ayrı incelendiğinde sadece kesme hızının P değerinin (0,000021) 0,05'in altında olduğu görülmektedir. Bu durumda takım aşınması değerleri bakımından etkili parametrenin kesme hızı olduğunu söylemek mümkün olacaktır.

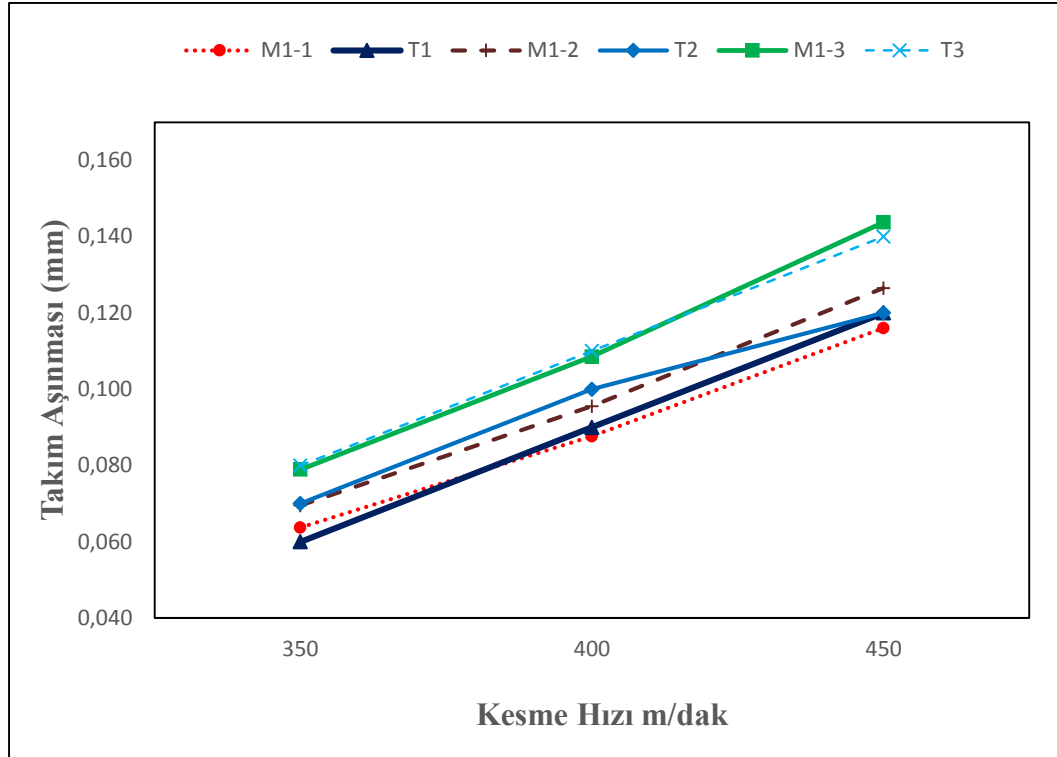
Birinci boşluk açısı P değeri (0,916528) ve ikinci boşluk açısı P değerinin (0,177476) 0,05'in üstünde olması sebebiyle bu iki parametrenin takım aşınmasına üzerinde önemli etkisinin

olmadığı söylenebilir. Katsayılar incelendiğinde kesme hızı artışının takım artışını arttırdığı yorumunu yapmaktır.

Model 1 sonucunda elde edilen takım aşınması değerleri ile gerçek deney değerlerinin karşılaştırıldığı grafikte Şekil 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.6. Takım aşınması için Model 1 regresyon istatistikleri ve ANOVA bilgileri

Regresyon İstatistikleri							
R^2	$R_{çoklu}$	R_{adj}^2	Standart Hata	Gözlem			
0,98	0,99	0,970	0,020	9			
ANOVA							
	df	SS	MS	F	Anlamlılık F		
Regresyon	3	0,114795	0,038265	88,4829	0,000094		
Hata (Fark)	5	0,002162	0,000432				
Toplam	8	0,116957	0,038697				
	Katsayılar	Std. Hata	T-değeri	P-değeri	% Etki	Düşük %95	Yüksek %95
Model sabiti	-7,964284	0,460275	-17,3033	0,000012		-9,1474	-6,78110
Kesme hızı	2,383633	0,155467	15,3320	0,000021	90,1	1,9839	2,78327
β	-0,032909	0,298595	-0,11021	0,9165	0,65	-0,8004	0,734653
θ	0,596753	0,380379	1,56883	0,1774	9,25	-0,3810	1,57454



Şekil 6.4. Model 1 sonuçlarının deney sonuçları ile takım aşınma değerleri açısından karşılaştırılması.

6.2. Model 2' e Göre Varyans Analizi (ANOVA) ile Parametrelerin Değerlendirilmesi

Model 2'ye göre her bir deney için kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, delaminasyon yayılma genişliği ve takım aşınması açısından hangi parametrelerin daha etkili olduğu varyans analizi ile değerlendirilmiştir. Kesme hızı, birinci boşluk açısı (β) ve ikinci boşluk açısı (θ) faktörleri dikkate alınarak Model 2 için eşitlik 6.2 elde edilmiştir.

$$S_i = c_0 + c_1 \cdot V + c_2 \cdot \beta + c_3 \cdot \theta \quad (6.2)$$

Her bir model çıktısı ile gerçek değerlerin daha rahat kıyaslanabilmesi için deney sonuçları ve Model 2'ye göre grafikler oluşturulmuştur.

6.2.1. Model 2'ye göre ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin değerlendirilmesi

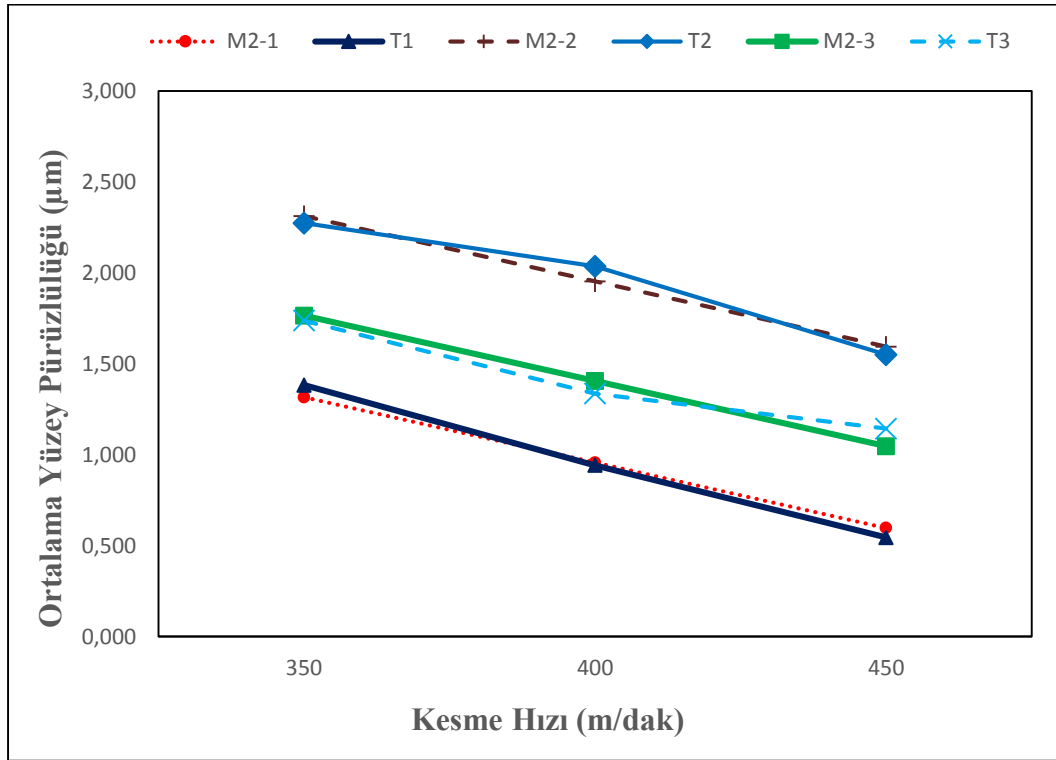
Model 2' ye göre ortalama yüzey pürüzlülük değerleri için elde edilen regresyon istatistikleri ve varyans analizi sonuçları çizelge 6.7'de verilmiştir. Çizelge 6.5'te de görüldüğü gibi R^2 değeri 0,985741 olarak hesaplanmıştır. Gerçek deney sonuçları ile model sonuçları arasındaki uyumu gösteren R^2 değerinin 1'e çok yakın olması geliştirilen bu modelin başarı oranının yüksek olduğunun bir göstergesidir. Ortalama yüzey pürüzlülüğü açısından Model 2'nin başarılı bir model olduğunu söylemek mümkün olacaktır.

ANOVA istatistikleri incelendiğinde ortalama yüzey pürüzlülüğü açısından Anlamlılık F değerinin 0,000049 olarak hesaplandığı görülebilir. Burada Anlamlılık F değerinin sıfıra oldukça yakın olması gruplar arasında anlamlı farklar olduğu sonucunu doğurur. Bir başka deyişle deney parametrelerinin çıktılar üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Bütün parametrelerin ayrı ayrı P değerlerine bakıldığında bu durum daha belirgin bir şekilde görülebilir. Bütün parametrelerin P değerleri 0,05'in altında hesaplanmıştır. Her bir parametrenin tek tek etkisine bakılacak olursa, P değeri 0,000030 ile sıfıra en yakın olan birinci boşluk açısının ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri açısından en etkili parametre olduğunu söylemek mümkün olacaktır. Birinci boşluk açısını sırasıyla 0,000056 P değeri ile ikinci boşluk açısı, P değeri 0,000115 olan kesme hızı izlemiştir. Bu durum Model 1'deki ile aynıdır. Model 2 sonucu elde edilen değerler ile gerçek deney değerlerini birlikte gösteren grafik Şekil 6.7'de verilmiştir.

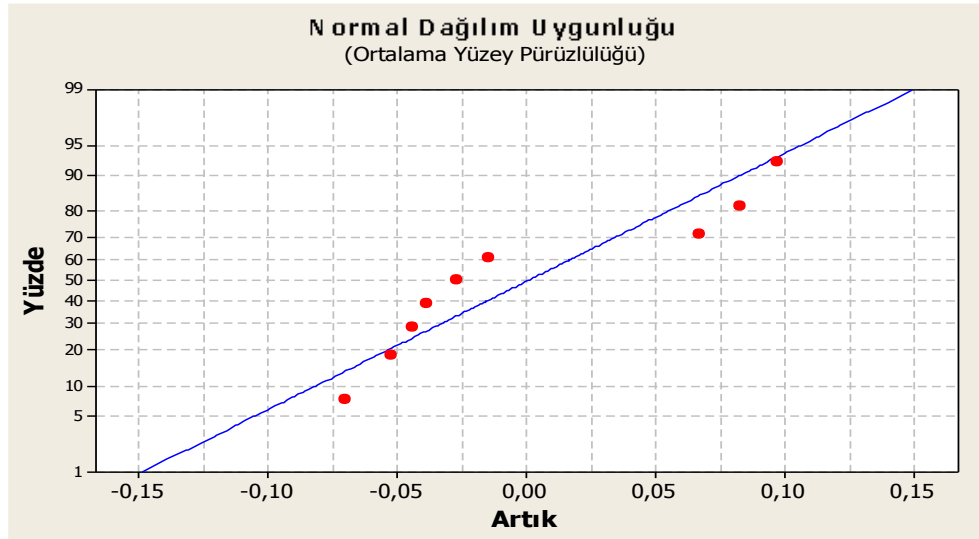
Çizelge 6.7. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) için Model 2 regresyon istatistikleri ve ANOVA bilgileri

Regresyon İstatistikleri							
R ²	Rçoklu	Radj ²	Standart Hata	Gözlem			
0,985741	0,992845	0,977186	0,081029	9			
ANOVA							
	df	SS	MS	F	Anlamlılık F		
Regresyon	3	2,269541	0,756514	115,2215	0,000049		
Hata (Fark)	5	0,032829	0,006566				
Toplam	8	2,302370	0,763080				
	Katsayılar	Std. Hata	T-değeri	P-değeri	% Etki	Düşük %95	Yüksek %95
Model sabiti	4,8088	0,328217	14,6515	0,000027		3,9651	5,6525
Kesme hızı	-0,00718	0,000662	-10,8625	0,000115	28,7	-0,0088	-0,0054
β	0,73614	0,051458	14,3058	0,000030	37,9	0,6038	0,8684
θ	-0,40392	0,032043	-12,6058	0,000056	33,4	-0,4862	-0,3215

Şekil 6.5'teki grafik incelendiğinde Model 2 değerleri ile gerçek deney değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Bu durumu daha net gösteren Minitab 15 programı yardımıyla elde edilmiş normal dağılım uygunluğunu gösteren grafik Şekil 6.6'da ve deney sonuçlarının dağılımını gösteren grafik Şekil 6.7' de verilmiştir.

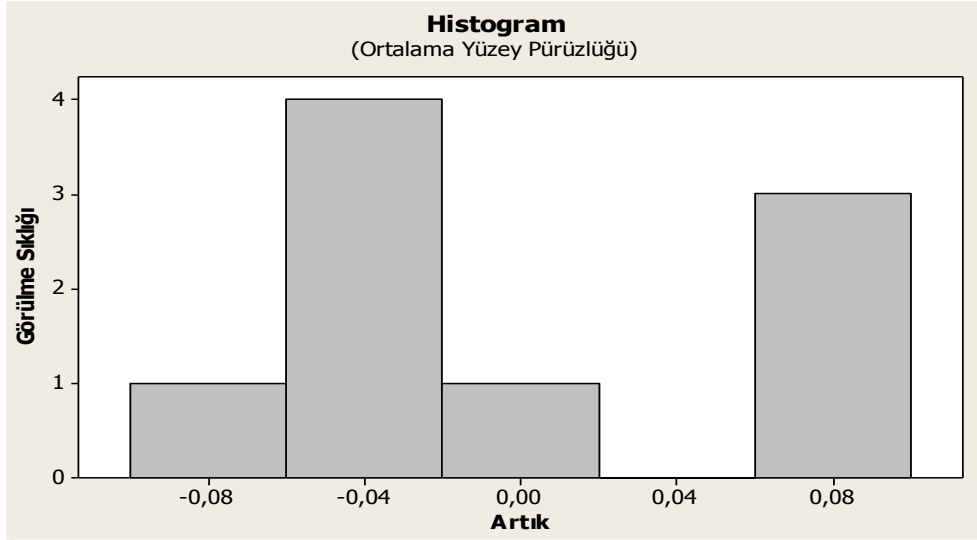


Şekil 6.5. Model 2 sonuçlarının deney sonuçları ile ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri açısından karşılaştırılması



Şekil 6.6. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri için normal dağılım uygunluğu

Şekil 6.6'daki grafikte deney sonuçlarının doğruluk çizgisine yakınlığı görülmektedir. Deney sonuçları doğruluk çizgisine ne kadar yakın olursa modelin başarısının o kadar yüksek olduğunu söylemek mümkün olabilir. Hatta istenen durum deney sonuçlarının üzerinde olmasıdır.



Şekil 6.7. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri için deney sonuçlarının dağılımı

Şekil 6.7’ de deney sonuçlarının modele göre nasıl dağıldığı görülmektedir. Burada istenen durum deney sonuçlarının sıfır etrafında yoğunlaşmasıdır. Grafikte ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin 0 ila -0,04 etrafında yayıldığı görülmektedir. Bu durumda ortalama yüzey pürüzlülüğü değerler bakımından modelin başarı olduğu yorumu yapılabilir.

6.2.2. Model 2’ye göre delaminasyon yayılma genişliğinin değerlendirilmesi

Model 2’ ye göre delaminasyon yayılma genişliği değerleri için elde edilen regresyon istatistikleri ve varyans analizi sonuçları çizelge 6.8’de verilmiştir. Çizelge 6.8’de Model 2 için delaminasyon yayılma genişliği değerleri R^2 ’sinin 0,968310 olarak hesaplandığı görülmektedir. R^2 ’nin 1’e yakın olması delaminasyon genişliği değerleri bakımından Model 2’nin başarı oranının yüksek olduğunun bir göstergesidir.

Delaminasyon yayılma genişliği değerleri açısından Model 2 ANOVA değerlerine bakıldığında, Anlamlılık F değerinin 0,000360 olduğunu görmek mümkün olacaktır. Anlamlılık F değerinin 0,05’den küçük olması gruplar arasında anlamlı farklar olduğunun göstergesidir. Delaminasyon yayılma genişliği bakımından Model 2’de elde edilen Anlamlılık F değerinin sıfıra oldukça yakın olması parametrelerin delaminasyon yayılma genişliği üzerinde etkisinin olduğu sonucunu doğurur. Her bir parametrenin P değeri ayrı ayrı incelendiğinde bütün parametrelerin P değerinin 0,05’in altında olduğu görülmektedir.

Model 2 için bu üç parametre arasında P değeri sıfıra en yakın (0,000098) olan kesme hızının delaminasyon yayılma genişliği değerleri açısından en etkili parametredir. Sırasıyla P değeri 0,009 olan birinci boşluk açısı ve P değeri 0,02 olan ikinci boşluk açısı kesme hızını takip eden parametrelerdir.

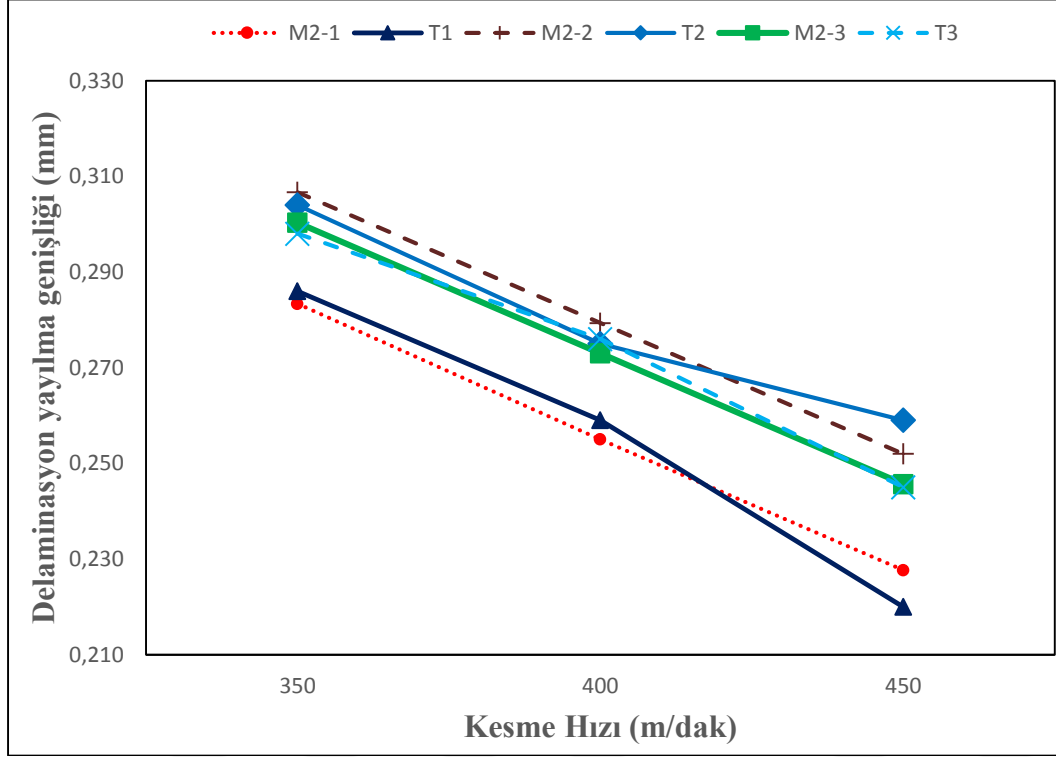
Kesme parametrelerinin katsayıları incelendiğinde kesme hız ve ikinci boşluk açısı artışının delaminasyon yayılma genişliği değerlerinde düşmeye sebep olduğu, birinci boşluk açısı artışının ise delaminasyon genişliği değerlerinde artmaya sebep olduğu görülebilir.

Çizelge 6.8. Delaminasyon yayılma genişliği değerleri için Model 2 regresyon istatistikleri ve ANOVA bilgileri

Regresyon İstatistikleri							
R ²	Rçoklu	Radj ²	Standart Hata	Gözlem			
0,968310	0,984027	0,949296	0,005967	9			
ANOVA							
	df	SS	MS	F	Anlamlılık F		
Regresyon	3	0,005439	0,001813	50,9259	0,000360		
Hata (Fark)	5	0,000178	0,000036				
Toplam	8	0,005617	0,001849				
	Katsayılar	Std. Hata	T-değeri	P-değeri	% Etki	Düşük %95	Yüksek %95
Model sabiti	0,476444	0,024168	19,71366	0,000006		0,4143	0,5385
Kesme hızı	-0,000547	0,000049	-11,2213	0,000098	60,5	-0,0006	-0,0004
β	0,015630	0,003789	4,12490	0,0091	22,3	0,0058	0,0253
θ	-0,007519	0,002359	-3,18653	0,0243	17,2	-0,0135	-0,001

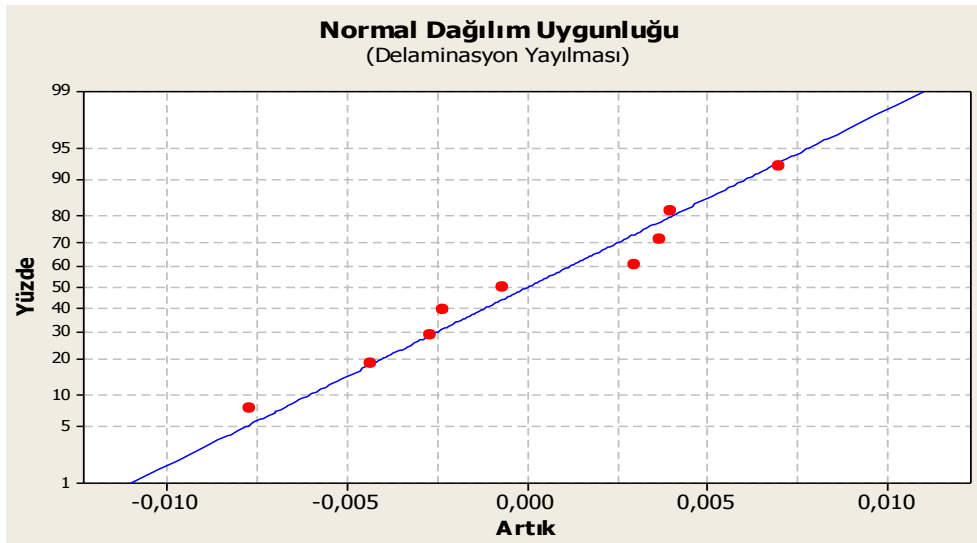
Model 2 sonucu elde edilen değerler ile gerçek deney değerlerini birlikte gösteren grafik Şekil 6.8’de verilmiştir. Şekil 6.8’deki grafik incelendiğinde Model 2 değerleri ile deney değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Minitab 15 programı yardımıyla elde edilmiş normal dağılım uygunluğunu gösteren grafik Şekil 6.9’da ve deney sonuçlarının

dağılımını gösteren grafik Şekil 6.10' da bu durum daha belirgin bir şekilde görülebilmektedir.

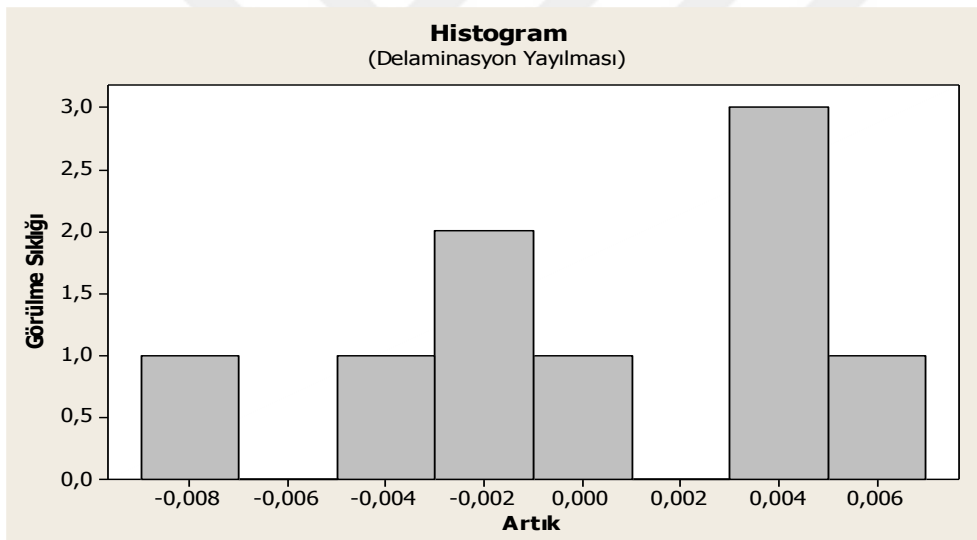


Şekil 6.8. Model 2 sonuçlarının deney sonuçları ile delaminasyon yayılma genişliği değerleri açısından karşılaştırılması

Şekil 6.9'daki grafikte deney değerlerinin doğruluk çizgisinin çok yayınında hatta bazılarının doğruluk çizgisi üzerinde olduğu görülebilir. Aynı şekilde şekil 6.10'da deney değerlerinin sıfır etrafında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu iki grafikten de Model 2'nin delaminasyon genişliği bakımından başarılı olduğu sonucunu çıkarmak mümkün olacaktır.



Şekil 6.9. Delaminasyon genişliği değerleri için normal dağılım uygunluğu



Şekil 6.10. Delaminasyon genişliği değerleri için deney sonuçlarının dağılımı

6.2.3. Model 2'ye göre kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi

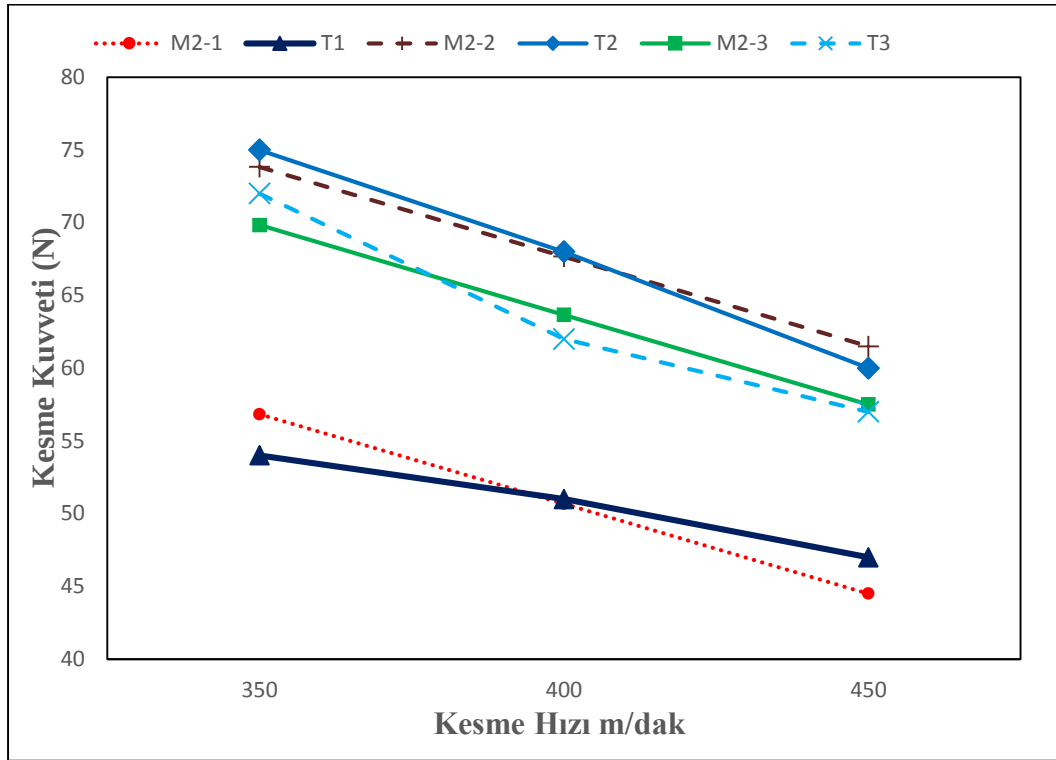
Model 2' ye göre kesme kuvvetleri değerleri için elde edilen regresyon istatistikleri ve varyans analizi sonuçları çizelge 6.9'da verilmiştir. Çizelge 6.9'daki regresyon istatistiklerine bakıldığında Model 2 için R^2 'nin 0,9645 olarak hesaplandığı görülebilir. Bu durum Model 2'nin kesme kuvvetleri açısından başarı oranının yüksek olduğunu gösterir.

Çizelge 6.9. Kesme kuvvetleri (F) için Model 2 regresyon istatistikleri ve ANOVA bilgileri

Regresyon İstatistikleri							
R^2	$R_{çoklu}$	R_{adj}^2	Standart Hata	Gözlem			
0,9645	0,9820	0,9432	2,2730	9			
ANOVA							
	df	SS	MS	F	Anlamlılık F		
Regresyon	3	702,166	234,056	45,3011	0,000477		
Hata (Fark)	5	25,833	5,1666				
Toplam	8	728,000	239,2222				
	Katsayılar	Std. Hata	T-değeri	P-değeri	% Etki	Düşük %95	Yüksek %95
Model sabiti	100,6667	9,207150	10,9335	0,000111		76,998	124,33
Kesme hızı	-0,123333	0,018559	-6,64539	0,001163	33,5	-0,1710	-0,0756
β	10,777778	1,443494	7,46644	0,000680	37,7	7,0671	14,488
θ	-5,111111	0,898864	-5,68619	0,002345	28,8	-7,4217	-2,8005

Çizelge 6.7’de verilen ANOVA değerleri ışığında, Anlamlılık F değerinin 0,000477 olduğundan kesme kuvvetleri açısından gruplar arasında anlamlı fark olduğunu söylemek mümkün olacaktır. Her bir parametre etkisini gösteren p değeri incelendiğinde ise bütün parametrelerin P değerlerinin 0,05’in altında olduğu görülebilir. Bu yüzden kesme kuvvetleri üzerinde kesme hızı, birinci boşluk açısı ve ikinci boşluk açısının etkisinin anlamlı derecede olduğu söylenebilir. Bu parametreler arasında 0,000680 P değerine sahip birinci boşluk açısı en fazla etkiye sahip iken, kesme hızı 0,001163 değeri ile ikinci en etkili parametre olmuştur. P değeri 0,002345 olan ikinci boşluk açısı ise bu üç parametre arasında en az etkiye sahip olmuştur.

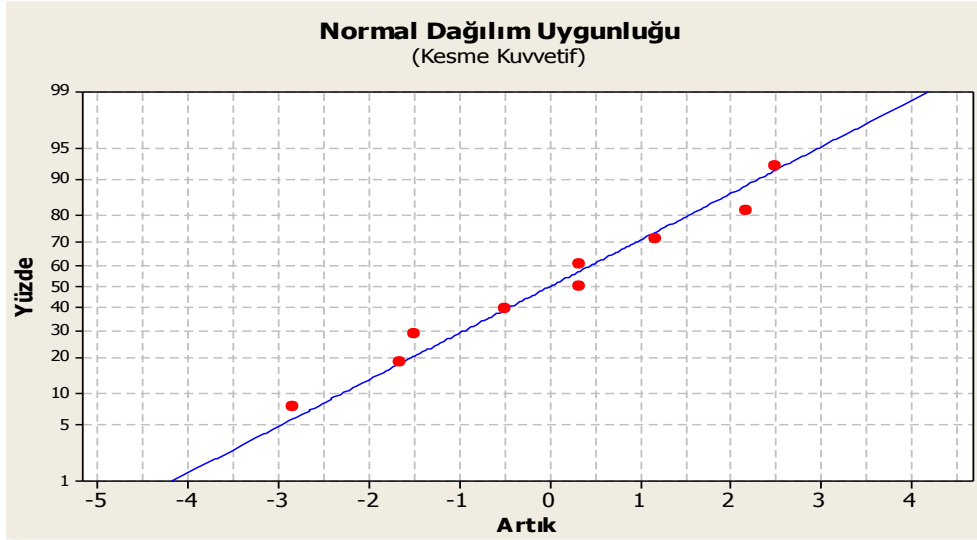
Model 2 sonucu elde edilen değerler ile gerçek deney değerlerini birlikte gösteren grafik Şekil 6.11’de verilmiştir



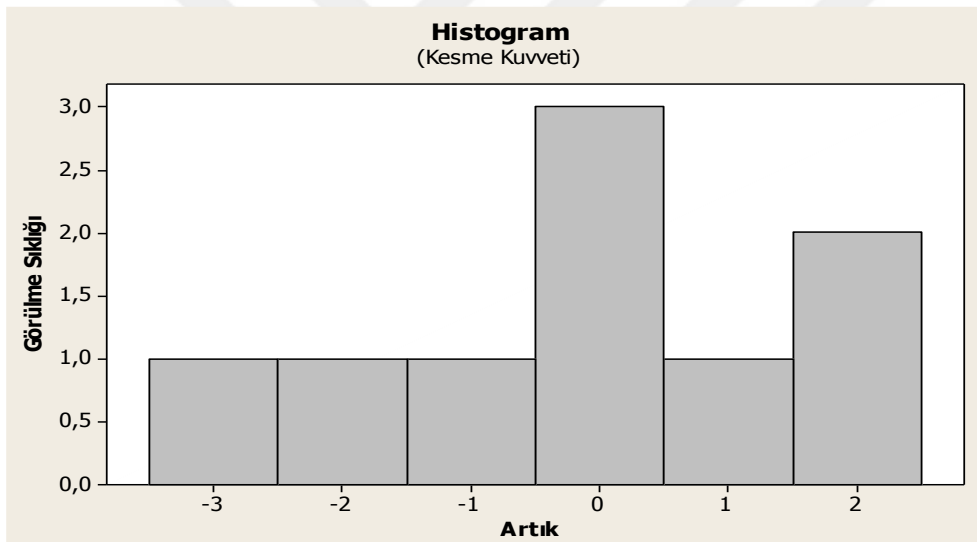
Şekil 6.11. Model 2 sonuçlarının deney sonuçları ile kesme kuvvetleri değerleri açısından karşılaştırılması.

Şekil 6.11’de Model 2 sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri değerleri ile deneyler sonrasında elde edilen kesme kuvvetlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

Minitab 15 programı yardımıyla elde edilen normal dağılım uygunluğunu Şekil 6.12’de, ve deney sonuçlarının dağılımını gösteren grafik ise Şekil 6.13’te verilmiştir. Şekil 6.12’deki grafik incelendiğinde deney sonuçlarının doğruluk çizgisine çok yakın hatta bazı değerlerin doğruluk çizgisi üzerinde olduğu görülmektedir. Aynı şekilde Şekil 6.13’te deney değerlerinin sıfır etrafında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durumda Model 2’nin kesme kuvvetleri açısından başarılı olduğunu söylemek mümkün olacaktır.



Şekil 6.12. Kesme Kuvvetleri değerleri için normal dağılım uygunluğu



Şekil 6.13. Kesme kuvvetleri değerleri için deney sonuçlarının dağılımı

6.2.4. Model 2'ye göre takım aşınmasının değerlendirilmesi

Model 2'ye göre takım aşınması değerleri için elde edilen regresyon istatistikleri ve varyans analizi sonuçları çizelge 6.10'da verilmiştir.

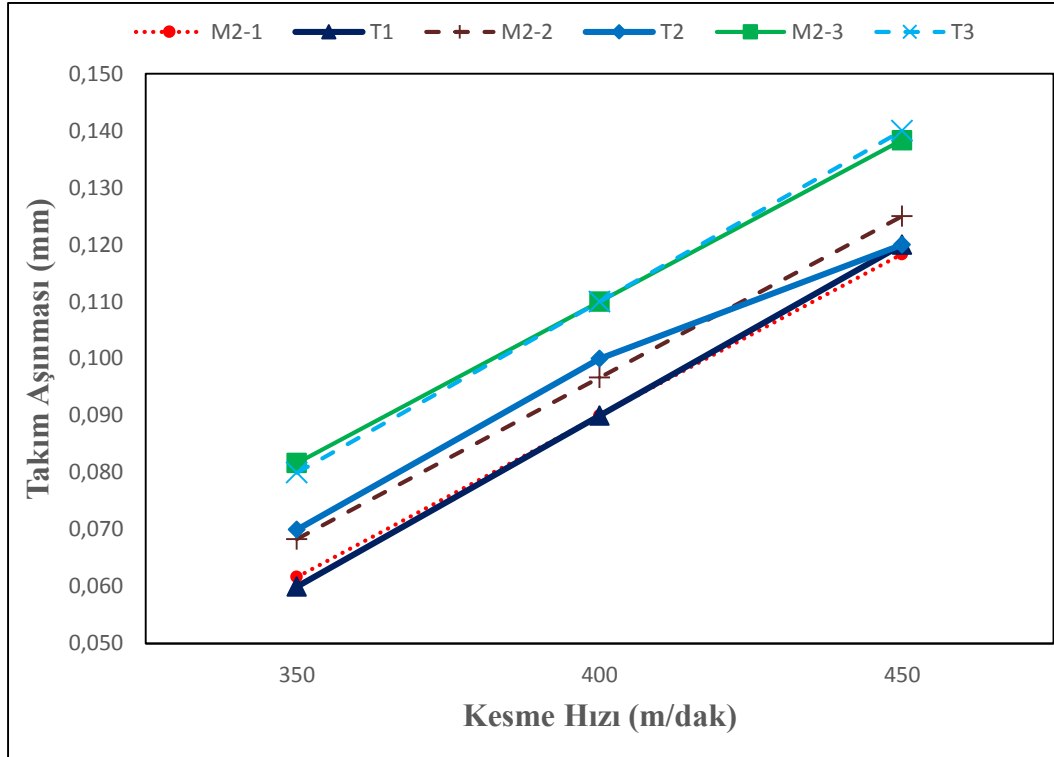
Takım aşınması bakımından Model 2' de hesaplanan R^2 değeri 0,98'dir. R^2 değerinin sıfıra çok yakın olması bu modelin başarı oranının yüksek olduğunu gösterir.

Çizelge 6.10. Takım aşınması için Model 2 regresyon istatistikleri ve ANOVA bilgileri

Regresyon İstatistikleri							
R^2	$R_{çoklu}$	R_{adj}^2	Standart Hata	Gözlem			
0,990891	0,995435	0,985425	0,003162	9			
ANOVA							
	df	SS	MS	F	Anlamlılık F		
Regresyon	3	0,005439	0,001813	181,2963	0,000016		
Hata (Fark)	5	0,000050	0,000010				
Toplam	8	0,005489	0,001823				
	Katsayılar	Std. Hata	T-değeri	P-değeri	% Etki	Düşük %95	Yüksek %95
Model sabiti	-0,181111	0,012809	-14,1392	0,000032		-0,2140	-0,1481
Kesme hızı	0,000567	0,000026	21,9469	0,000004	88,9	0,0005	0,0006
β	-0,000741	0,002008	-0,36885	0,72734	1,5	-0,0059	0,0044
θ	0,002963	0,001251	2,36939	0,06400	9,6	-0,0002	0,0061

Model 2'nin ANOVA değerlerinde Anlamlılık F değerinin 0,000016 olduğu görülmektedir. Anlamlılık F değerinin 0,05'in altında olması ve sıfıra oldukça yakın olması gruplar arasında anlamlı fark olduğunun göstergesidir. Fakat her bir parametrenin P değeri tek tek incelendiğinde takım aşınması yönünden sadece kesme hızının anlamlı farkı olduğu görülmektedir. Kesme hızı P değeri (0,000004) 0,05'in altındadır. Birinci boşluk açısı P değeri 0,72734 ve ikinci boşluk açısı P değeri 0,06400 ($>0,05$) olduğu için bu iki parametrenin takım aşınması üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığı söylenebilir. Tek anlamlı farkı olan kesme hızının katsayısı incelendiğinde, kesme hız artışının takım aşınmasını arttırdığı yorumu yapılabilir.

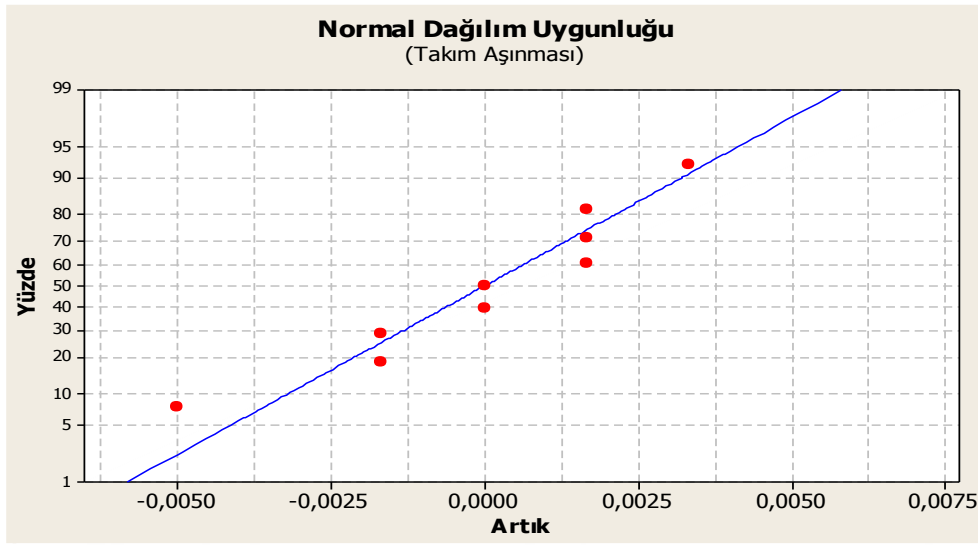
Model 2 sonucunda elde edilen takım aşınması değerleri ile deney sonucunda elde edilen takım aşınması değerlerinin birlikte gösterildiği grafik Şekil 6.14'te verilmiştir.



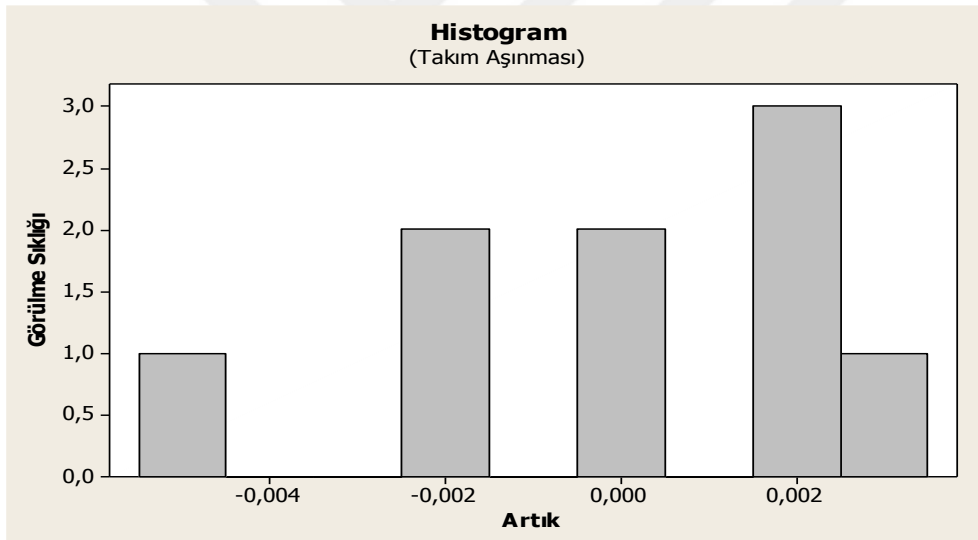
Şekil 6.14. Model 2 sonuçlarının deney sonuçları ile takım aşınması değerleri açısından karşılaştırılması.

Şekil 6.14'deki Model değerleri ile deney değerleri incelendiğinde, bu değerlerin hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Bu durumu daha detaylı görebilmek için Şekil 6.15 ve Şekil 6.16'ya bakılabilir.

Şekil 6.15'te verilen normal dağılım uygunluğunu grafiği incelendiğinde deney değerlerinin doğruluk çizgisine yakın ve üstünde olduğu görülmektedir. Şekil 6.16'daki histogram grafiğinde ise deney sonuçlarının 0 ila $\pm 0,002$ etrafında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durumda Model 2'nin takım aşınması yönünden başarılı olduğunu söylemek mümkün olacaktır.



Şekil 6.15. Takım aşınma değerleri için normal dağılım uygunluğu



Şekil 6.16. Takım aşınma değerleri için deney sonuçlarının dağılımı

6.3. Model 1 ve Model 2'nin Genel Karşılaştırması

Çoklu regresyon analizi sonucunda oluşturulan modellerin her ikisinin de başarı oranının yüksek olduğunu her iki modelin de R^2 ve Anlamlılık F değerlerine bakarak söylemek mümkün olacaktır. Modeller neticesinde elde edilen değerlerin her bir çıktı için incelenmesi neticesinde ise Kesme kuvvetleri yönünden Model 1'in başarı oranının yüksek olduğu söylenebilir. Kesme kuvvetleri açısından Model 1'in R^2 'si ve Anlamlılık F değerinin başarı oranının Model 2'ye oranla daha iyi olduğu söylenebilir. Diğer üç çıktı değerlendirildiğinde

ise Model 2'nin ortalama yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve delaminasyon yayılma genişliği bakımından R^2 değerinin Model 1'e göre daha iyi olduğu aynı şekilde Anlamlılık F değerinin de Model 1 değerlerine oranla daha iyi olduğu görülmektedir. Genel anlamda hangi çıktı değerleri için hangi modelin kullanılması gerektiğini ortaya koyan bilgiler Çizelge 6.11'de toplu halde gösterilmiştir.

Çizelge 6.11. Modeller arası uygunluk tablosu

Kriter	Kesme Kuvveti	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (mm)	Delaminasyon genişliği (mm)	Takım Aşınması (mm)
Çoklu R	Model 1	Model 2	Model 2	Model 2
R Kare	Model 1	Model 2	Model 2	Model 2
Ayarlı R Kare	Model 1	Model 2	Model 2	Model 2
Standart Hata (RMS)	Model 1	Model 1	Model 2	Model 2
Varyans (MSE)	Model 1	Model 1	Model 2	Model 2
Anlamlılık F	Model 1	Model 2	Model 2	Model 2
P-değeri	Model 1	Model 2	Model 2	Model 2
Model 1	7	2	0	0
Model 2	0	5	7	7
Uygun Model Önerisi	Model 1	Model 2	Model 2	Model 2

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında tasarımı ve üretimi yapılan üç farklı geometriye sahip PCD takım ile karbon fiber takviyeli kompozitlerin çevresel frezelenmesi deneysel olarak incelenmiştir.

Çalışma ve sonrasında elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Kesici

- Kesici takımların tasarlanması sırasında ticari başarısı kanıtlanmış helisel kanal (yön, açı ve boyutları) tasarımından çok delaminasyonu engellemek ve liflerin daha kolay kesilmesini temin etmek için takımın ön boşluk açısı üzerinde yoğunlaşmış ve elde edilen sonuçlar bu yaklaşımın doğruluğunu ortaya koymuştur.
- Tasarımı ve üretimi yapılan kesici takımlar arasında bütün çıktılarda T1 kodlu takım en iyi performansı göstermiştir.
- T2 ve T3 kodlu takımlar birlikte değerlendirildiğinde; ortalama yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri ve delaminasyon genişliği bakımından T2 kodlu takım daha iyi performans göstermiştir.
- T2 kodlu takımın aşınma değerleri T3 kodlu takıma oranla daha az gerçekleşmiştir.
- KFTK malzemelerin işlenmesinde kesme hızının artması, ortalama yüzey pürüzlülüğü, değerleri üzerinde olumlu etki yapmıştır.
- Aynı şekilde kesme hızı artışı delaminasyon genişliği değerlerini ve kesme kuvvetlerini düşürmüştür.
- Kesme hızının artışı takım aşınmasını arttırmıştır.
- En düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri T1 kodlu takımda 450 m/dak kesme hızında meydana gelmiştir.

- Delaminasyon genişliği açısından en iyi sonuç T1 kodlu takımla 450 m/dak kesme hızında meydana gelmiştir.
- Regresyon analizi sonucunda elde edilen iki modelin de başarı oranının yüksek olduğu görülmektedir.
- İki model için de regresyon analizi sonuçlarına göre her iki modelde de bütün girdi parametrelerinin çıktılar üzerinde anlamlı etkiye sahip olduğu görülmüştür.
- İki modelde de ortalama yüzey pürüzlülüğü ANOVA değerlerine göre yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en etkili parametrenin birinci boşluk açısı olduğu sonucu görülmüştür.
- İki modele göre kesme kuvvetleri üzerinde en etkili parametrenin yine birinci boşluk açısı olduğu sonucuna varılmıştır.
- Her iki model açısından delaminasyon yayılma genişliğini etkileyen en önemli parametrenin kesme hızı olduğu görülmüştür.
- Takım aşınması üzerinde birinci boşluk açısı ve ikinci boşluk açısının anlamlı bir etkiye sahip olmadığı görülürken, kesme hızının takım aşınması üzerinde oldukça etkili olduğu görülmektedir.
- İki model kendi arasında kıyaslandığında kesme kuvvetleri açısından 1. Modelin başarı oranının daha yüksek olduğu görülmektedir. Diğer çıktılar açısından 2. Modelin daha başarılı olduğunu söylemek mümkündür.

Bu çalışmadan elde edilen yukarıdaki bulgular ışığında bundan sonra yapılabilecek çalışmalara yön vermek amacıyla aşağıdaki öneriler getirilebilir:

- Farklı geometriler sahip PCD takımların çevresel frezeleme ve cep boşaltma gibi operasyonlardaki performansları araştırılabilir.
- Farklı fiber oryantasyonuna sahip karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerin işlenmesindeki takım performansları incelenebilir.

- Farklı kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, delaminasyon yayılma genişliği ve takım ömrü üzerindeki etkileri araştırılabilir.
- Malzemelerde meydana gelen delaminasyon yayılma genişlikleri daha teknolojik cihazlar kullanılarak ölçülebilir.
- Farklı matematiksel modelleme yöntemleri kullanılarak parametrelerin etkileri araştırılabilir.
- Farklı kaplama uygulamalarının kesici takımlar ve çıktılar üzerindeki etkileri araştırılabilir.





KAYNAKLAR

1. Eren, Y. (2007). *Kompozit Yapıların Darbe Etkilerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 25-46.
2. Dokur, M. (2009). *Karbon Fiber Esaslı Polimerik Matrisli Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 19-35.
3. Demirel, A. (2007). *Karbon elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemelerin karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 7-13.
4. Ersoy, M.S. (2005). *Lif Takviyeli Polimerik Kompozit Malzeme Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 5-18.
5. Tolun, C. (2008) *Dikdörtgen Elasto-Plastik Kompozit Plakların Dinamik Analizi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 19-25.
6. Çakır, C. (2006). *Modern Talaşlı İmalatın Esasları*, Ankara: Nobel Yayınevi, 215
7. Wonderly, C., Grenestedt, J., Fernlund, G., Cepas, E. (2005). Comparison of mechanical properties of glass fiber/vinyl ester and carbon fiber/vinyl ester composites. *Composites*, 1-10.
8. Rusinek, R. (2010). Cutting process of composite materials:An experimental study, *International Journal of Non-Linear Mechanics* 45, 458-462.
9. Kalla, D., Sheikh-Ahmad, J., Twomey, J. (2010). Prediction of cutting forces in helical end milling fiber reinforced polymers. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 50(10), 882-891.
10. Davim, J.P., Reis, P. (2005). Damage and dimensional precision on milling carbon fiber-reinforced plastics using design experiments. *Journal of Materials Processing Technology*, 160, 160-167.
11. Akira, H., Naoya, H., Takashi, U., Tatsuki, F. (2014). High-quality machining of CFRP with high helix endmill. *Manufacturing Technology* , 89-92
12. Karnik, S.R., Gaitonde, V.N., Campos Rubio, J., Esteves Correia, A., Abrão, A.M., Paulo D. J. (2008). Delamination analysis in high speed drilling of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) using artificial neural network model. *Materials and Design*, 29, 1768-1776
13. Gaitonde, V. N., Karnik, S. R., Rubio, J. C., Correia, A. E., Abrao, A. M., Davim, J. P. (2008). Analysis of parametric influence on delamination in high-speed drilling of carbon fiber reinforced plastic composites. *Journal of materials processing technology*, 203(1), 431-438.

14. Shyha, I.S., Aspinwall, D.K., Soo, S.L., Bradley, S. (2009). Drill geometry and operating effects when cutting small diameter holes in C. *International Journal of Machine Tools&Manufacture*, 49, 1008-1014.
15. Davim, J.P., Rubio, J.C., Abrao, A.M. (2007). A novel approach based on digital image analysis to evaluate the delamination factor after drilling composite laminates, *Composite Science and Technology*, 67, 1939-1945.
16. Davim, J.P., Reis, P. (2004). Drilling carbon fiber reinforced plastics manufactured by autoclave-experimental and statistical study. *Materials and Design*, 24, 315-324
17. Davim, J.P., Reis, P. (2003). Study of delamination in drilling carbon fiber reinforced plastics (KFTK) using experiments. *Composite Structures*, 59, 481-487
18. Tsao, C. C., Hocheng, H. (2005). Computerized tomography and C- Scan for measuring delamination in the drilling of composite materials using various drills. *International Journal of Machine Tools&Manufacture*, 1282-1287.
19. Chen, W. C. (1997). Some experimental investigations in the drilling of carbon fiber reinforced plastic (CFRP) composite laminates. *International Journal of Machine Tools&Manufacture*, 1097-1108.
20. Gaitonde, V. N., Karnik, S. R., Campos Rubio, J., Esteves Correia, A., Abrao, A. M. (2008). Analysis of parametric influence on delamination in high speed drilling of carbon fiber reinforced plastic composites. *Journal of Materials Processing Technology*, 203, 431-438.
21. Urban, N. A. (2005). *Analysis of machining quality in edge trimming of carbon fiber reinforced composite*, Doctoral dissertation, Wichita State University, 21-36.
22. Karpas, Y., Polat, N. (2013). Mechanistic force modeling for milling of carbon fiber reinforced polymers with double helix tools. *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 62, 95–98.
23. Chatelain, J. F., Zaghbani, I., Monier, J. (2012). Effect of Ply Orientation on Roughness for the Trimming Process of CFRP Laminates. *C. World Academy of Science, Engineering and Technology*, 68, 1204-1210.
24. Bayraktar, Ş. (2011). *Karbon elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin frezeleme işleminde işlenebilirliğinin deneysel araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 35-55.
25. Sorrentino, L., Turchetta, S. (2011). Milling of Carbon Fiber-Reinforced Plastics: Analysis of Cutting Forces and Surface Roughness. *18th International Conference On Composite Materials, Korea*.
26. Jenarthanan, M. P., Jeyapaul. R. (2013). Machinability study of carbon fibre reinforced polymer (CFRP) composites using design of experiment technique. *Pigment & Resin Technology*, 35-44.

27. Berger, D., Bleicher, F., Dorn, C., Puschitz, F. (2008). *Optimised Machining of Fibre Reinforced Material*. Wien: Daaam International Scientific Book, 3, 27-34
28. Canpolat, N. (2008). *Değişik Takviyeli Kompozit Malzemenin Matkapla Delinebilirliğinin ve Yüzey Pürüzlülüğünün Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 7-13.
29. Erkan, Ö., Işık, B. (2009). Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemenin İşlenmesi Esnasında Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin İncelenmesi. 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS 09)*, Karabük, 1-6
30. Lin, SC., Chen, IK. (1996). Drilling of carbon fiber-reinforced composite material at high speed. *International Journal of Machine Tools Manufacturing*, 156–62.
31. Klocke, F., Würtz, C. (1998). The use of PDC tools for machining fibre reinforced materials. *ECCM-8 European Conference on Composite Materials Science, Technologies and Application – 8*, Naples, 3-515.
32. Singh, I., Nayak, D., Saxena, R., Bhatnagar, N. (2004). Drilling induced damage in FRP composite laminates. *IE (I) Journal- MM*, 85, 37-40.
33. El-Sonbaty, I., Khashaba, U. A., & Machaly, T. (2004). Factors affecting the machinability of GFR/epoxy composites. *Composite structures*, 63(3), 329-338.
34. Jiaa, C. L., Dornfeld, D. A. (1990). Experimental studies of sliding friction and wear via acoustic emission signal analysis. *Wear*, 139(2), 403-424.
35. Velayudham, A., Krishnamurthy, R. (2007). Effect of point geometry and their influence on thrust and delamination in drilling of polymeric composites. *Journal of materials processing technology*, 185(1), 204-209.
36. Ciftci, I., Turker, M., Seker, U. (2004). CBN cutting tool wear during machining of particulate reinforced MMCs. *Wear*, 257(9), 1041-1046.
37. Mazumdar, S. (2001). Composites manufacturing: materials, product, and process engineering. *CrC press*, 331-336.
38. Ersoy, H.Y. (2001). *Kompozit Malzeme*. İstanbul: Literatür Yayıncılık, 11-116.
39. Şahin, Y. (2006). *Kompozit Malzemelere Giriş*. Ankara: Seçkin Yayıncılık, 27-307.
40. Chung, D. (2012). *Carbon fiber composites*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 65-66.
41. Sabancı, Ş. (2005). *Fiber Takviyeli Polimer Matriksli Kompozitlerin Enjeksiyon Yöntemiyle Üretimi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 8.
42. Schwartz, M. M. (1984). *Composite materials handbook*. New York: McGraw-Hill, 1-50.

43. Askeland, D. R., Erdoğan, M. (1998). *Malzeme bilimi ve mühendislik malzemeleri*. Ankara: Nobel Yayınevi, 22-46.
44. Kalpakjian, S. (2001). *Manufacturing engineering and technology*. India: Pearson Education, 9-77.
45. Aran, A. (1990). *Elyaf takviyeli karma malzemeler*. İstanbul: İTÜ Rektörlük Ofset Atölyesi, 70-73.
46. Saçak, M. (2002). *Polimer Kimyası*. Ankara: Gazi Kitabevi, 85-89.
47. Erbay, K. (2009). *Silah Gövdeleri İçin Polimer Esaslı Kompozit Malzeme Üretimi Ve Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1-13.
48. İnternet:
http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fteknolojikarastirmalar.com%2Ftegitim%2Fyapi_malzemesi%2Ficerik%2Fkompozit.htm&date=2016-02-29, Son Erişim Tarihi: 29.02.2016.
49. Kim, D., H. (2001). *Composite structures for civil and Architectural engineering*, London: E&F.N. Spon, 25-41.
50. John, S. (1999). *Compositional and Failure Analysis of Polymers*. London: Willey, 35-47.
51. Camanho, P. P., Davila, C. G., De Moura, M. F. (2003). Numerical simulation of mixed-mode progressive delamination in composite materials. *Journal of composite materials*, 37(16), 1415-1438.
52. Darıcık, F. (2011). *Delaminasyon Hasarının Tabakalı Kompozit Malzemelerin Mekanik Davranışı Üzerine Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, 15-33.
53. Karakuzu, R., İçten, B., Aktaş, M., Toparlı, M., Ataş, C., Arman, Y. (2007). Kompozit Plaklarda Sıcaklığın Darbe Davranışına Etkisi. *TÜBİTAK, Proje*, (104M426), 6-8.
54. Cakır, C. (2000). *Modern metal cutting principles*. Bursa: Vipaş, 216-285.
55. Turgut, Y. (2007). *Bağlama Kalıplarında Bağlama Kuvvetlerinin Hesaplanmasında Kullanılan Emniyet Katsayılarının DeneySEL Olarak İncelenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 40-52.
56. Yürekli, Y. (2012). *Frezeleme İşleminde Eş Yönlü ve Ters Yönlü Talaş Kaldırmanın CVD/PVD Kaplanmış Sert Metal Uçların Ömrüne Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-36.
57. Çiftçi, K. (2005). *Mikroalaşımli çeliklerin frezelenmesinde kesme parametrelerinin talaşlı işlenebilirliğe etkisinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 5-22.

58. Özkan, S.S. (2000). *CNC Tezgahlarında Kesme Şartları ve İşleme Kalitesi Arasındaki İlişkinin Analizi*, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
59. Akkurt, M. (2004). *Talaş kaldırma yöntemleri ve takım tezgahları*. İstanbul: Birsen Yayınevi, 29- 347.
60. Groover, M. P. (2007). *Fundamentals of modern manufacturing: materials processes, and systems*. John Wiley & Sons.
61. Ay, M., Eldoğan, O., Kurt, M., (2003). CNC Freze Tezgâhlarında Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörlerin Belirlenmesi, 3. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Ankara, 317-329.
62. Şahin, Y. (2000). *Talaş kaldırma prensipleri II*. Ankara: Nobel Yayınevi, 35-42.
63. Sağlam, H. (2000). *Frezelemede Yapay Sinir Ağları Kullanarak, Çok-Elementli Kuvvet Ölçümlerine Dayalı Takım Durumu İzleme*, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
64. Özçatalbaş, Y. (1996). *1050, 4140 ve 8620 Çeliklerinin ısı İşleme Değişen Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Bağlı İşlenebilirlikleri*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 20-41.
65. Kopač, J., Babor, M. (1999). Interaction of the technological history of a workpiece material and the machining parameters on the desired quality of the surface roughness of a product. *Journal of Materials Processing Technology*, 92, 381-387.
66. Şeker, U. (1997). *Takım Tasarımı Ders Notları*. GÜ Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara, 1-133
67. Okutan, E. (2009). *Polimer Kompozitlerin Matkapla Delinme Karakteristiklerinin ve Oluşan Mekanizmalarının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 1-15.
68. Groover, M.P. (1996). *Fundamentals of modern manufacturing: Materials, processes, and systems*, Ohio: Prentice-Hall, 1-41.
69. Trent, E.M. (1989). *Metal cutting*, Butterworths Press, London, 1-171.
70. Çiftçi, İ. (2011). *Kesici takımlar ve kesme teorisi ders notları*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Karabük, 38.
71. DeGarmo, E.P., Black, J.T., Kohser, R.A. (1997). *Materials and processes in manufacturing*, Ohio: Prentice-Hall, 214-652.
72. Demir, K. (2002). *Yüzey Pürüzlülüğü ve Pürüzlülüğün Ölçülmesi*, Mezuniyet Tezi, Gazi Üniversitesi, 26, 40-44

73. Galyer, J. F. W., Shotbolt, C. R. (1990). *Metrology for engineers*. London: Cassell, 3-11.
74. Neşeli, S. (2006). *Tornalamada Takım Geometrisi ve Tırlama Titreşimlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 21-44.
75. Gural, A. (1999). *Çift Fazlı Çeliklerde Martenzit Hacim Oranı ve Morfolojisinin İşlenebilirlik Özellikleri Üzerine Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 4-32.
76. Şeker, U. (2008). Kesici Takım Tasarımı Ders Notları. *GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Ders Notları*, Ankara, 15-27.
77. Çakır, M. C. (1999). *İşlenebilirlik, Modern Talaşlı İmalatın Esasları*. Bursa: Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı, 2-17.
78. M Nouaria, A. Molinari. (2008). Center for Manufacturing, *College of Engineering, University of Kentucky, UK Center for Manufacturing, 414G Robotics Building(Office 414L)*, 878-886
79. Kurt, A. (2006). *Talaş kaldırma sırasında oluşan kesme kuvvetleri ve mekanik gerilmelerin deneysel olarak incelenmesi ve matematiksel modellerinin oluşturulması*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 108-244.
80. Şahinler, S. (2000). En küçük kareler yöntemi ile doğrusal regresyon modeli oluşturma'nın temel prensipleri. *MK Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 5(1-2), 57-73.
81. Turanlı, M., Güriş, S. (2005). *Temel istatistik*. İstanbul: Der Yayınları, 1-15.
82. Gallo, A. (2003). *Econometrics*. Florida: University of North Florida, 15-21.
83. Wolfram, S. (2003). *The Mathematica Book* (5th Edition). Champaign: Wolfram Research, 3-18.
84. Weisberg, S. (2005). *Applied linear regression*. New York: John Wiley & Sons, 5-21.
85. Hill, T., Lewicki, P., Lewicki, P. (2006). Statistics: methods and applications: a comprehensive reference for science, industry, and data mining. *StatSoft*, 21-35.
86. Denkena, B., Boehnke, D., Dege, J. H. (2008). Helical milling of CFRP–titanium layer compounds. *CIRP Journal of manufacturing Science and Technology*, 1(2), 64-69.
87. Çavuş, Y., (2015). *Karbon Fiber Takviyeli Kompozit (KFTK) Malzemelerin Alışılmış Takımlarla İşlenebilirliği*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 67-80.
88. Slamani, M., Gauthier, S., Chatelain, J. F. (2015). A study of the combined effects of machining parameters on cutting force components during high speed robotic trimming of CFRPs. *Measurement*, 59, 268-283.

89. Feito, N., Diaz-Álvarez, J., López-Puente, J., Miguelez, M. H. (2015). Numerical analysis of the influence of tool wear and special cutting geometry when drilling woven CFRPs. *Composite Structures*, 21-36.
90. Feito, N., Diaz-Álvarez, J., Diaz-Álvarez, A., Cantero, J. L., López-Puente, J., Miguelez, H. (2014). Influence of Tool Geometry in Drilling CFRP. *ECCM16 - 16TH European Conference On Composite Materials, Seville, Spain*, 1-8.
91. Çakıroğlu, R. (2011). *Delik Delme İşlemlerinde Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Oluşan Sıcaklığın Modellenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 41-75.
92. Aslan, B. (2015). *Tabaka Ofset Baskı Makinelerinde Merdane Aşınmalarının Baskı Kalitesine Etkisi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 21-88.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YAĞMUR, Selçuk
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 17.04.1983, Mersin
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 202 86 87
 Faks : 0 (312) 202 89 47
 e-mail : syagmur@gazi.edu.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi /İmalat Mühendisliği	2016
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Makine Eğitimi	2011
Lisans	Gazi Üniversitesi /Makine Eğitimi	2007

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2011-Halen	Gazi Üniversitesi	Uzman

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

SCI, SCI-EXP., SSCI, AHCI Tarafından Taranan Makaleler

1. Çakır, A., Yağmur, S., Kavak, N., Küçüktürk, G., Şeker, U. (2015). The effect of minimum quantity lubrication under different parameters in the turning of AA7075 and AA2024 aluminium alloys. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1-7.
2. Yağmur, S., Acır, A., Şeker, U., Günay, M. (2013). Delik delme işlemlerinde kesme parametrelerinin kesme bölgesindeki sıcaklığa etkisinin deneysel incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(1), 1-6.

Ulusal Hakemli Ve Dğr Bil., Sanatsal Dergilerde Yayınlanan Makaleler

1. Yağmur, S., Acır, A., Şeker, U. (2013). AISI 1050 Çeliğinin Delinmesinde Kesme Parametrelerinin ve Kaplama Uygulamasının Dairesellikten Sapma (Ovalite) Üzerindeki

Etkilerinin Araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 16(3), 105-109.

Bilimsel Toplantı - Kongre ve Görevler

1. Yağmur, S., Acır, A., Şeker, U. (2013). AISI 1050 Çeliğinin Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Ölçü Tamlığına (Çaptan Sapma) Etkilerinin İncelenmesi. *4. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu Kuşadası*, 29-36.
2. Çakır, A., Yağmur, S., Şeker, U. (2013). Farklı Şartlarda Uygulanan Minimum Miktarda Soğutma Yönteminin AA 7075 Alüminyum Alaşımının Tornalanması Sürecine Olan Etkisinin Deneysel İncelenmesi. *4. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu Kuşadası*, 173-184.
3. Çakıroğlu, R., Yağmur, S., ACIR, A., Şeker, U. (2013). Delik Delme İşlemlerinde Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Oluşan Takım Talaş Ara Yüzey Sıcaklıklarının Taguchi Metodu İle Optimizasyonu. *ULIBTK'13 19. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Samsun*.
4. Şekerci, K.N., Duran, A., Şeker, U., Yağmur, S. (2012). AISI 316L Malzemesinin Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Kesme Bölgesi Sıcaklığı Üzerindeki Etkisi. *3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu Ankara*.
5. Yağmur, S., Acır, A., Şeker, U. (2012). AISI 1050 Çeliğinin Delinmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün Deneysel Olarak Belirlenmesi *Uluslararası Demir Çelik Sempozyumu, Karabük*, 1276-1281.
6. Yağmur, S., Acır, A., Günay, M., Şeker, U., (2011). Delik Delme İşlemlerinde Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Değişen Sıcaklığın İncelenmesi, *VI. Makina Tasarım Ve İmalat Teknolojileri Kongresi, Konya*.
7. Çakır, A., Yağmur, S., Şeker, U. (2013). Farklı Şartlarda Uygulanan Minimum Miktarda Soğutma Yönteminin AA 2024 Alüminyum Alaşımının Tornalanması Sürecine Olan Etkisinin Deneysel İncelenmesi. *7th International Advanced Technologies Symposium(IATS'13), İstanbul*.

Hobiler

Yüzme, Basketbol



GAZİ GELECEKTİR..