



KARBON ELYAF VE KARBON NANOTÜP KATKILI POLİAMİD 6 POLİMER  
KOMPOZİT MALZEMESİNİN İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Abdurrahman GENÇ

Yüksek Lisans Tezi

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Mayıs - 2019

KARBON ELYAF VE KARBON NANOTÜP KATKILI POLİAMİD 6 POLİMER  
KOMPOZİT MALZEMESİNİN İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Abdurrahman GENÇ

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca  
Fen Bilimleri Enstitüsü İleri Teknolojiler Anabilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ferhat YILDIRIM

Mayıs- 2019

## KABUL VE ONAY SAYFASI

Abdurrahman GENÇ'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Karbon Elyaf ve Karbon Nanotüp Katkılı Poliamid 6 Polimer Kompozit Malzemenin İşlenebilirlik Özelliklerinin İncelenmesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

03/05/2019

Prof. Dr. Önder UYSAL  
Enstitü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü

Prof. Dr. Muammer GAVAS  
Anabilim Dalı Başkanı, İleri Teknolojiler Bölümü

Dr. Öğr. Üyesi Ferhat YILDIRIM  
Danışman, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü

### Sınav Komitesi Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Ferhat YILDIRIM  
Simav Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü,  
Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

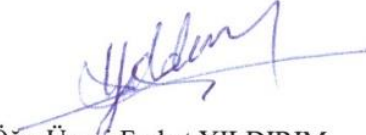
Doç. Dr. Alaattin KAÇAL  
Simav Teknoloji Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü,  
Kütahya Dumlupınar Üniversitesi


Dr. Öğr. Üyesi Emin YAKAR  
Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü,  
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi



## ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Kütahya Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının %21 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.

  
Dr. Öğr. Üyesi Ferhat YILDIRIM

  
Abdurrahman GENÇ

# KARBON ELYAF VE KARBON NANOTÜP KATKILI POLİAMİD 6 POLİMER KOMPOZİT MALZEMESİNİN İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Abdurrahman GENÇ

İleri Teknolojiler, Yüksek Lisans Tezi, 2019

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ferhat YILDIRIM

## ÖZET

Bu çalışmada, farklı oranlarda karbon elyaf (KE) ve çok duvarlı karbon nanotüp (ÇDKNT) ile takviye edilmiş Poliamid 6 (PA6) polimer kompozit levhaların işlenebilirlik özellikleri, farklı kesici takımlar, kesme hızı ve ilerleme parametrelerinde delinerek incelenmiştir.

PA6 polimerine yapılan karbon elyaf katkı oranları ağırlıkça %10 (PA6+10KE); %20 (PA6+20KE); %30 (PA6+30KE); çok duvarlı karbon nanotüp katkı oranları ise yine ağırlıkça %0,1 (PA6+0,1ÇDKNT); %0,2 (PA6+0,2ÇDKNT); %0,3'tür (PA6+0,3ÇDKNT). Matkap malzemeleri olarak HSS, karbür, kaplamalı karbür ve PCD'nin seçildiği çalışmada kesme parametreleri olarak; 40 m/dak; 70 m/dak; 100 m/dak ve 130 m/dak kesme hızları; 0,1 mm/dev; 0,2 mm/dev; 0,3 mm/dev ve 0,4 mm/dev ilerleme değerleri seçilmiştir. Deneysel tasarım için Taguchi metodu kullanılmıştır. Deneyler L16 ortogonal tasarıma göre yapılmıştır. Delme deneyleri kuru ortamda gerçekleştirilmiştir. Delinen numunelerin giriş ve çıkış yüzeylerinde meydana gelen deformasyonlar görüntü işleme yöntemi kullanılarak hesaplanmış ayrıca delik iç yüzeylerinin yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür.

Elde edilen sonuçlara göre PA6 polimerine yapılan partikül katkısı yüzey pürüzlülüğünün azalmasını sağlamıştır. Düşük yüzey pürüzlülüğü ve düşük giriş-çıkış deformasyonları elde etmek için yüksek kesme hızı ve düşük ilerlemenin ideal parametreler olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Çok Duvarlı Karbon Nanotüp, İşlenebilirlik, Karbon Elyaf, Poliamid 6.

**INVESTIGATION OF THE MACHINABILITY PROPERTIES OF CARBON FIBER  
AND CARBON NANOTUBE REINFORCED POLYAMIDE 6 POLYMER COMPOSITE  
MATERIAL**

Abdurrahman GENÇ

Advanced Technologies, M. S. Thesis, 2019

Thesis Supervisor: Asist. Prof. Dr. Ferhat YILDIRIM

**SUMMARY**

In this study, machinability properties of different ratios carbon fiber (CF) and multi-walled carbon nanotube (MWCNT) reinforced Polyamide 6 (PA6) polymer composite plates were investigated by drilling with using different cutting tool, cutting speed and feed rate parameters.

Cf additive ratios to PA6 polymer by weight were 10% (PA6+10CF); 20% (PA6+20CF) and 30% (PA6+30CF); MWCNT additive ratios to PA6 by weight were 0,1% (PA6+0,1MWCNT); 0,2% (PA6+0,2MWCNT) and 0,3% (PA6+0,3MWCNT). In the study, HSS, carbide, coated carbide and PCD were chosen as the drill materials; the cutting parameters were chosen 40 m/min; 70 m/min; 100 m/min and 130 m/min, as cutting speed; 0,1 mm/rpm; 0,2 mm/rpm; 0,3 mm/rpm and 0,4 mm/rpm as feed rate. Taguchi method was used for experimental design. The experiments were done according to L16 orthogonal design. Drilling experiments were performed in dry conditions. The deformations on the input and output surfaces of the drilled samples were calculated using the image processing method and also the surface roughness of the hole inner surfaces were measured.

According to the results, particle addition to PA6 polymer decreased the surface roughness. To achieve low surface roughness and low input-output deformations for both CF and MWCNT reinforced PA6 composites, high cutting speed and low feed rates were found to be ideal parameters.

**Keywords:** Carbon Fiber, Machinability, Multi-walled Carbon Nanotube, Polyamide 6.

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının gerçekleştirilmesinde beni yönlendiren, bilimsel katkılarını ve tecrübelerini esirgemeyen, tez çalışmalarım boyunca bilgi ve desteğini hep yanımda bulduğum değerli danışman hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Ferhat YILDIRIM'a ve Dr. Öğr. Üyesi Murat KOYUNBAKAN'a en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamı 2016-90 nolu proje ile mali ve bilimsel yönden destekleyen Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonuna; İleri Teknolojiler Merkezine ve proje çalışanları Dr. Öğr. Üyesi S. Hakan YETGİN'e, Dr. Öğr. Üyesi Volkan ESKİZEYBEK'e, Gözde KUŞ'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Gösterdikleri anlayış, sabır ve desteğinden dolayı eşim Nurşen GENÇ'e, kızlarım Meryem Sevde ve Zeynep'e, sevgili aileme ve her zaman bana destek olan arkadaşlarıma teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	v
SUMMARY .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. TEMEL KAVRAMLAR.....	3
2.1. Kompozit Malzemeler .....	3
2.1.1. Kompozit malzemelerin bileşenleri.....	3
2.1.2. Kompozit malzemelerin takviye malzemesine göre sınıflandırılması.....	4
2.1.3. Kompozit malzemelerin matris malzemesine göre sınıflandırılması .....	6
2.1.4. Polimer kompozitlerin üretim yöntemleri .....	12
2.2. Talaşlı İmalatta İşlenebilirlik .....	17
2.2.1. Delme işlemi.....	18
2.2.2. Kesici takımlar .....	18
2.2.3. Kesme kuvveti .....	21
2.2.4. Aşınma ve takım ömrü .....	21
2.2.5. Yüzey pürüzlülüğü .....	22
2.2.6. Deformasyon faktörü.....	23
2.3. Literatür Çalışması.....	24
3. MALZEME VE YÖNTEM .....	33
3.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler.....	33
3.1.1. Poliamid 6 (PA6) .....	33
3.1.2. Karbon elyaf (KE) .....	33
3.1.3. Çok duvarlı karbon nanotüp (ÇDKNT).....	34
3.2. Kompozit Malzemelerin Üretimi.....	35
3.2.1. Üretim süreci .....	35
3.2.2. Üretilen polimer türleri.....	40



## İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.3. İşlenebilirlik Deneyleri .....	41
3.3.1. Kullanılan kesici takımlar.....	41
3.3.2. Kullanılan CNC freze tezgahı .....	41
3.3.3. Kesme parametreleri.....	43
3.3.4. Delme deneyleri.....	44
3.3.5. Yüzey pürüzlülüklerinin ölçülmesi .....	45
3.3.6. Yüzey deformasyonlarının ölçülmesi.....	46
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	48
4.1. KE Katkılı PA6 Kompozit Numuneler .....	48
4.1.1. HSS matkap ile elde edilen Ra ve deformasyon sonuçları .....	48
4.1.2. Karbür matkap ile elde edilen Ra ve deformasyon sonuçları .....	50
4.1.3. Kaplamalı karbür matkap ile elde edilen Ra ve deformasyon sonuçları .....	53
4.1.4. PCD matkap ile elde edilen Ra ve deformasyon sonuçları.....	55
4.2. ÇDKNT Katkılı PA6 Kompozit Numuneler.....	57
4.2.1. HSS matkap ile elde edilen Ra ve deformasyon sonuçları .....	58
4.2.2. Karbür matkap ile elde edilen Ra ve deformasyon sonuçları .....	60
4.2.3. Kaplamalı karbür matkap ile elde edilen Ra ve deformasyon sonuçları .....	62
4.2.4. PCD matkap ile elde edilen Ra ve deformasyon sonuçları.....	65
4.3. İstatiksel Analiz .....	67
4.3.1. PA6 ve KE katkı malzemesine göre yüzey pürüzlülüğü ve giriş-çıkış deformasyon faktörünün değerlendirilmesi.....	68
4.3.2. PA6 ve ÇDKNT katkı malzemesine göre yüzey pürüzlülüğü ve giriş-çıkış deformasyon faktörünün değerlendirilmesi.....	73
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	77
5.1. Sonuçlar .....	77
5.2. Öneriler.....	80
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	81
ÖZGEÇMİŞ	

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Polimer matrisli kompozit malzemenin yapısal elemanları .....	4
2.2. Kompozit malzemelerin üretim yöntemlerinin sınıflandırılması .....	12
2.3. Hazır kalıplama düzeneği.....	13
2.4. Reçine transfer kalıplama (RTM) şematik gösterimi .....	14
2.5. Profil çekme makinesinin genel gösterimi .....	14
2.6. Elyaf sarma yöntemi .....	15
2.7. Püskürtme yöntemi .....	15
2.8. Enjeksiyon kalıplama yöntemi.....	16
2.9. Ekstrüzyon üretim yöntemi.....	16
2.10. İşlenmiş yüzeyin karakteri .....	22
2.11. Yüzey pürüzlülüğü .....	23
2.12. Deformasyon faktörü .....	23
3.1. Poliamid 6 polimeri.....	33
3.2. Kırılmış karbon elyaf .....	34
3.3. a) Çok duvarlı karbon nanotüp (ÇDKNT), b) ÇDKNT SEM görüntüsü .....	35
3.4. PA6 malzemesinin etüv fırınında kurutulması .....	35
3.5. PA6 ve kırık KE'nin karıştırılması .....	36
3.6. Alkol solüsyonlu ÇDKNT'ün ve PA6 ile karıştırılması .....	36
3.7. Ekstruder uç kalıbından çıkan malzemenin soğutulması ve ardından kırıcıda tekrar granül haline getirilmesi .....	37
3.8. ÇDKNT ve PA6 polimerinin kompozit olarak hazırlandığı ekstruder üretim süreci .....	37
3.9. Deney numunesi üretimleri .....	38
3.10. SEM cihazı (KDPÜ İLTEM) .....	39
3.11. PA6-KE karışımının SEM görüntüsü .....	39
3.12. PA6-ÇDKNT karışımı SEM görüntüsü .....	40
3.13. a) HSS matkap, b) karbür matkap, c) kaplamalı karbür matkap, d) PCD matkap .....	41
3.14. CNC dik işleme merkezi .....	42
3.15. Bağlama aparatı .....	42
3.16. Delme deneylerinin yapılışı .....	44
3.17. Delinmiş kompozit malzemeler: a) katkısız PA6, b) %10 KE katkılı PA6 .....	44

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.18. TIME TR200 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı .....	45
3.19. INSIZE optik mikroskop .....	46
3.20. Optik mikroskop ile görüntü alınması .....	46
3.21. Görüntü üzerinden deformasyon faktörünün bulunması .....	47
4.1. HSS matkap malzemesi ile işlemede artan KE değerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi .....	49
4.2. 40 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme için giriş-çıkış deformasyon faktörünün karşılaştırılması .....	50
4.3. Karbür matkap malzemesi ile işlemede artan KE değerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi ...	51
4.4. 40 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerleme için giriş-çıkış deformasyon faktörünün karşılaştırılması .....	52
4.5. K. karbür matkap malzemesi ile işlemede artan KE değerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi .....	54
4.6. 130 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerleme için giriş-çıkış deformasyon faktörünün karşılaştırılması .....	55
4.7. PCD matkap malzemesi ile işlemede artan KE değerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi .....	56
4.8. 40 m/dak kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerleme için giriş-çıkış deformasyon faktörünün karşılaştırılması .....	57
4.9. HSS matkap malzemesi ile işlemede artan ÇDKNT değerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi .....	59
4.10. 40 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme için giriş-çıkış deformasyon faktörünün karşılaştırılması .....	60
4.11. Karbür matkap malzemesi ile işlemede artan ÇDKNT değerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi .....	61
4.12. 70 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme için giriş-çıkış deformasyon faktörünün karşılaştırılması .....	62
4.13. K. karbür matkap malzemesi ile işlemede artan ÇDKNT değerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi .....	63
4.14. 100 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme için giriş-çıkış deformasyon faktörünün karşılaştırılması .....	64
4.15. PCD matkap malzemesi ile işlemede artan ÇDKNT değerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi .....	66
4.16. 100 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerleme için giriş-çıkış deformasyon faktörünün karşılaştırılması .....	67
4.17. PA6 ve KE katkı malzemesine göre yüzey pürüzlülüğünün ana etki grafiği .....	69

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<b><u>Sekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
4.18. PA6 ve KE katkı malzemesine göre giriş deformasyonu ana etki grafiği .....	70
4.19. PA6 ve KE katkı malzemesine göre çıkış deformasyonu ana etki grafiği .....	71
4.20. PA6 ve ÇDKNT katkılı kompozitin yüzey pürüzlülüğü ana etki grafiği .....	74
4.21. PA6 ve ÇDKNT katkılı malzemelerinin giriş deformasyonu ana etki grafiği .....	75
4.22. PA6 ve ÇDKNT katkılı malzemelerin çıkış deformasyonu ana etki grafiği .....	75



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Epoksinin özellikleri .....	8
2.2. Polyesterlerin özellikleri .....	9
2.3. Fenolik reçine özellikleri .....	9
2.4. Literatür tablosu .....	32
3.1. Poliamid 6 teknik özellikleri .....	33
3.2. Karbon elyafın fiziksel ve mekanik özellikleri .....	34
3.3. Çok duvarlı karbon nanotüpün teknik özellikleri .....	34
3.4. Üretilen polimer türleri ve kısaltmaları .....	40
3.5. Kullanılan CNC dik işleme tezgahının özellikleri .....	42
3.6. Delme deneylerinde kullanılan parametreler ve seviyeleri .....	43
3.7. L16 ortogonal tasarım .....	43
3.8. Kullanılan yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri .....	45
4.1. HSS matkaba ait yüzey pürüzlülüğü ve giriş-çıkış deformasyon sonuçları .....	48
4.2. Karbür matkaba ait yüzey pürüzlülüğü ve giriş-çıkış deformasyon sonuçları .....	50
4.3. K. karbür matkaba ait yüzey pürüzlülüğü ve giriş-çıkış deformasyon sonuçları .....	53
4.4. PCD matkaba ait yüzey pürüzlülüğü ve giriş-çıkış deformasyon sonuçları .....	55
4.5. HSS matkaba ait yüzey pürüzlülüğü ve giriş-çıkış deformasyon sonuçları .....	58
4.6. Karbür matkaba ait yüzey pürüzlülüğü ve giriş-çıkış deformasyon sonuçları .....	60
4.7. K. karbür matkaba ait yüzey pürüzlülüğü ve giriş-çıkış deformasyon sonuçları .....	62
4.8. PCD matkaba ait yüzey pürüzlülüğü ve giriş-çıkış deformasyon sonuçları .....	65
4.9. PA6 ve KE katkı malzemesine göre deney planı ve sonuçları .....	68
4.10. PA6 ve ÇDKNT katkı malzemesine göre deney planı ve sonuçları .....	73

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b><u>Simgeler</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
Al	Alüminyum
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Alüminyum oksit
cm	Santimetre
dak	Dakika
D <sub>mak</sub>	Deformasyonun maksimum çapı, mm.
f	İlerleme, mm/dev.
GPa	Giga pascal
gr	Gram
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Sülfürik asit
mm	Milimetre
MPa	Mega pascal
NbC	Niobyum-karbür
Ni	Nikel
Ra	Ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri, µm.
s veya sn	Saniye
SiC	Silisyum karbür
SiO <sub>2</sub>	Silisyum dioksit
TaC	Tantal-karbür
Ti	Titanyum
TiC	Titanyum-karbür
Vc	Kesme hızı, m\dak.
WC	Tungsten-karbür
WC-Co	Tungsten karbür kobalt
µm	Mikronmetre

<b><u>Kısaltmalar</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
ABS	Akronitril-Butadiene-Streyn
CBN	Kübik Bor Nitrür
CE	Cam Elyaf
CET	Cam Elyaf Takviyeli
CETP	Cam Elyaf Takviyeli Polimer

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**

<b><u>Kısaltmalar</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
CNC	Bilgisayarlı Nümerik Kontrol
ÇDKNT	Çok Duvarlı Karbon Nanotüp
Df	Deformasyon Faktörü
KE	Karbon Elyaf
KFTP	Karbon Fiber Takviyeli Polimer
MMK	Metal Matrisli Kompozitler
PA6	Poliamid 6
PA 6.6	Poliamid 6.6
PCD	Çok Kristalli Elmas
PE	Polietilen
PP	Polipropilen
PTFE	Politetra Fluorethylene
PVC	Polivinil Klorür
RTM	Reçine Transfer Kalıplama
RUM	Rotary Ultrasonic Machining
SMK	Seramik Matrisli Kompozitler

## 1. GİRİŞ

Bilim ve teknolojiadaki gelişmeler sayesinde insanlar ihtiyaçlarını karşılamak için yeni malzemeler bulunmuş ve bulunmaya devam etmektedir. Son yarım yüzyıla damgasını vuran ve üzerinde birçok araştırma yapılan malzemelerden biri de polimer kompozitlerdir. Hava, kara ve deniz araçlarında çoğu kısımları, tıp, elektrik-elektronik, inşaat, boya, gıda sanayi gibi pek çok sektörde kullanılan polimer kompozitler günlük yaşamımızla bütünleşmiştir. Son yıllarda otomotiv, uzay, havacılık ve savunma sanayi gibi yüksek bir ivmeyle gelişen endüstriler sayesinde hafif ama üst düzey performansa sahip malzemelere olan ihtiyacın artmasıyla polimer esaslı kompozitler üzerindeki araştırmalar da artmıştır (Bayraktar, 2016; İçli, 2006).

Kompozit malzemelerin ilk uygulamalarında, cam fiberle güçlendirilmiş plastik esaslı kompozitler kullanılarak radar kubbeleri yapılmıştır. Bu yapıda kullanılan fiber takviyeli polimer kompozitin atmosfer koşullara karşı dayanıklı, mekanik özelliklerinin güçlü ve hafif olmasından dolayı en uygun malzeme olduğu tespit edilmiştir. 1942 yılında gemi yapımında cam fiberle güçlendirilmiş plastik esaslı kompozitler kullanılmıştır. 1950'li yıllarda uçak pervaneleri yapılmaya başlanmıştır. Boeing 767 tipi uçaklarda örmeli karbon/kevlar/epoksi kompozitler kullanılarak iniş kapısı dişlisi, kanatlar, sabit ve arka kenar dengeleyicisi parçaları yapılmıştır. 1986 yılında uçaklardaki kompozit ürünleri çeşitliliği artmış; uçak ön gövdesi, irtifa dümeni, dümen pedalı, aşağı sarkan kanat ve kapaklar, yatay stabilizatör, kanat üzeri kaplaması yeniden tasarlanmış ve karbon/epoksi malzemeden üretilerek performansları iyileştirilmiştir (Demirel, 2007). Düşük ağırlık ve yüksek dayanım nedeniyle, karbon fiber takviyeli plastikler günümüzde en umut verici malzeme gruplarından biridir. Havacılık alanının yanı sıra otomotiv, demiryolu, enerji, spor malzemeleri, ev aletleri gibi birçok endüstri de kullanılmaktadırlar (Grilo vd., 2013).

Havacılık ve otomotiv endüstrisinde ana gövde elemanları genellikle perçin ve vidalı sistemler kullanılarak birleştirilirken bu amaçla yapılan delik delme işlemi genellikle montaj sırasında son işlem olarak uygulanmaktadır. Örneğin, küçük bir tek motorlu uçak için gövdenin çeşitli yerlerinde toplam 100,000'den fazla delik açılmaktadır (Khashaba U. vd., 2010a).

Büyük nakliye uçaklarında ise, perçinler ve cıvatalı bağlantılar için milyonlarca delik gerekirken deliklerde oluşan delaminasyon ve mikro çatlamlar kompozit malzemenin performansını önemli ölçüde azaltmaktadır. Uçak endüstrisinde, bir uçak yapısının son montajı sırasında reddedilen tüm parçaların %60'ı delaminasyonla ilişkili delme işlemlerinden kaynaklanmaktadır (Khashaba U. vd., 2010a). Bu açıdan kompozit yapılardaki deliklerin



kalitesi ve performanslarının incelenmesi, yol açabileceği büyük mali kayıplar ve telafisi mümkün olmayan can kayıpları düşünüldüğünde büyük önem arz etmektedir.

Bu tez çalışmasında PA6 polimerine farklı oranlarda karbon elyaf (KE) ve çok duvarlı karbon nanotüp (ÇDKNT) katkısı kullanılarak üretilen kompozitler dört farklı matkap, üç farklı kesme hızı ve yine üç farklı ilerleme parametresi kullanılarak delinmiş; deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü açısından işlenebilirlik özellikleri incelenmiştir.



## 2. TEMEL KAVRAMLAR

### 2.1. Kompozit Malzemeler

En az iki farklı malzemenin makro ölçüde birleşmesiyle oluşan yeni malzemelere kompozit malzeme denir. Kompozit malzemelerin içyapısı incelendiğinde bileşenleri oluşturan yapılar seçilip ayırt edilebilmektedir. Bu yapılardan ana bileşene matris, destek bileşenine ise takviye malzemesi denir. Kompozit malzemeyi oluşturan yapı bileşenlerinin farklı özellikleri yeni oluşan malzemenin yapısında bütünleşir. Bu sebepten ötürü kompozit malzemenin sahip olduğu özelliklerin tek bir malzeme de görülmesi imkansızdır (Koruvatan, 2008).

Kompozit malzemelerin seçilmesinin en büyük nedeni; sahip olduğu düşük ağırlık-yüksek mukavemet, kimyasal ve korozyon direnci, yüksek termal performans özelliklerine sahip olmalarıdır (Erkal, 2015).

#### 2.1.1. Kompozit malzemelerin bileşenleri

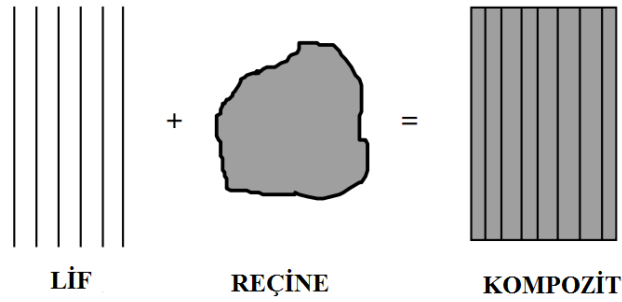
##### Matris malzemesi

Matris malzemesi yükü takviye malzemesine aktarır, tüm yapıyı bir arada tutar, yapıyı şekillendirir ve sertleştirir. Matris malzemesi, olası mekanik hasarlara karşı takviye malzemesine koruma sağlar. Seçilen matris malzemesine bağlı olarak, süneklik, darbe mukavemeti vb. performans özellikleri de etkilenir (Mazumdar, 2002).

##### Takviye malzemesi

Kompozit malzemelerdeki yükün %70-90'ı takviye malzemesi tarafından taşınır. Ayrıca rijitlik, mukavemet, termal kararlılık ve diğer yapısal özelliklerin sağlanmasına katkı sağlar. Kullanılan takviye malzemesine bağlı olarak, elektrik iletkenliği veya yalıtım sağlamaktır (Mazumdar, 2002).

Kompozit malzemelerin, matris ve takviye elemanlarının şematik gösterimi Şekil 2.1'de verilmiştir. Takviye malzemeleri lifler, partiküller veya sürekli lifler olabilirken matris malzemeleri metaller, plastikler veya seramikler olabilir (Mazumdar, 2002).



Şekil 2.1. Polimer matrisli kompozit malzemenin yapısal elemanları (Mazumdar, 2002).

### 2.1.2. Kompozit malzemelerin takviye malzemesine göre sınıflandırılması

Kompozitlerin takviye malzemesine veya matris türüne göre yapılan sınıflandırma en yaygın kullanılan yöntemdir. Kompozitler takviye malzemesine göre aşağıdaki gibi gruplanabilir:

- Elyaf takviyeli,
- Parçacık takviyeli,
- Tabakalı,
- Karma kompozitler.

#### Elyaf takviyeli kompozitler

Takviye elemanları elyafların kesilmesiyle süreksiz elyaflar ile kesintisiz uzayan sürekli elyafları şeklinde oluşabilir. Elyafların şekil uzunluğu, yönlenmesi, matrislerin mekanik özellikleri ve matrisin ara yüzey özellikleri elyaf takviyeli kompozitlerin mühendislik performansını etkileyen en önemli faktörlerdir (Koruvatan, 2008).

Makroskopik açıdan homojen ve boyu kesitinin en az 100 katı kadar olan esnek malzemelere elyaf denir. Elyaflar cam, karbon ve aramid malzemedden üretilmektedir (Çelikçi, 2013).

#### *Cam elyaf*

SiO<sub>2</sub>, alüminyum oksit, soda, kolemanit, magnezyum oksit gibi hammaddelerin bileşiminden elde edilir. Elyaf üretimi amacıyla çok farklı bileşimde cam mineralleri kullanılmaktadır. Bileşenleri verilen tipler E, C ve S camlarıdır. Camlar içerisinde maliyeti en düşük olan ve en çok kullanılanlar elektriksel özellikli camları ifade eden "E" camlarıdır. İyi elektriksel özellik ve mukavemet özellikleri ile elyaf üretiminin kolay olmasından dolayı tercih edilirler (Çelikçi, 2013).

“C” harfi camlarda korozyona dayanımı ifade eder. Bu camlar kimyasal korozyona karşı oldukça dayanıklıdır. Mekanik özellikleri bakımından “E” camına göre daha kötü ve maliyeti yüksektir (Çelikçi, 2013).

Diğer bir ticari cam kompozisyonu olan “S” camı; hem daha yüksek mukavemet, eğilme modülü, ısı dayanımı hem de geliştirilmiş kimyasal dayanım özellikleri ile daha özgün cam elyafı takviye malzemesi olma özelliğine sahiptir (Cam Elyaf A.Ş., 2000; Çelikçi, 2013).

### *Aramid elyaflar*

Aramid Elyaflar 1970’li yılların başlangıcında Ticari adı Kevlar olarak E.I Du Pont de Nemours & Company tarafından üretilmiştir. İlk başlarda otomobil lastiği ve plastikler için takviye elemanı olarak kullanılmıştır. Yüksek mukavemet özelliği, yüksek sertlik özelliği ve hafiflik özellikleri sayesinde kompozit, halat, kablo, yanmaz malzemelerin ve koruyucu giysilerin geliştirilmesinde kullanılmıştır. Sıcaklığın artmasıyla sürünme dayanımları yükselirken basma dayanımları düşüktür. Isıtıldıkça kısalmaları aramid elyafların kullanım alanlarını kısıtlamaktadır (Öztürk, 2015).

Aramid elyaflar; cam elyaf dışındaki diğer elyaf türünden daha ucuzdur, cam elyafa göre daha rijit, hafiftir. Özellikle havacılık sanayinde uçak imalatında, düşük basma dayanımı karbon elyaflarla birlikte hibrid kompozit olarak kullanılarak iyileştirilmektedir (Öztürk, 2015).

### *Karbon elyaflar*

Karbonun çok iyi bir elektrik iletkeni olduğunun bilinmesi karbon lifleri üretiminin önemini arttırmıştır. Karbon elyaflara çok yüksek ısı işlem uygulandığında elyaflar tam anlamıyla karbonlaşır bu yapıya grafit elyaf denir. Günümüzde karbon elyaf ile grafit elyaf aynı malzeme olarak tanımlanır. Epoksi matrisler ile karbon elyaf birleştirildiğinde üstün dayanım ve sertlik özelliği görülmektedir. Üretimin pahalı olması sebebiyle havacılık ve tıp gibi yüksek değerli uygulama alanlarında kullanılmaktadır (Cam Elyaf A.Ş., 2000).

### Parçacık takviyeli kompozitler

Bir matris içine makro ölçekli partiküllerin veya en az iki makro ölçekli partikülün ilave edilmesi ile elde edilen kompozitlerdir. Sürekli fiber kompozitlere göre daha fazla izotropik özellik sergilerler. Geometrik olarak pul, granül, pelet, küre, disk şeklinde olabileceği gibi şekilsiz kırıntı olarak ta bulunabilirler (Bayraktar, 2016).

Parçacık takviyeli kompozitlerde parçacık boyutunun mikron altında olduğu kompozitler dispersiyonla sertleştirilmiş kompozitler sınıfını teşkil ederler. Parçacık takviyeli bir kompozit malzemenin mukavemeti veya sertliği direkt olarak takviye fazının sertlik ve mukavemeti ile doğru orantılıdır. Yüksek aşınma dayanımı ve yüksek servis sıcaklığı gereken alanlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Bayraktar, 2016).

### Tabakalı kompozitler

Farklı özelliklere sahip birden fazla tabakanın bir araya gelmesiyle oluşan kompozitlere denir. Tabakalar levhalardan ve ince filmlerden oluşurlar. Tabakalı kompozitlerin; polimer-cam, metal-seramik, seramik-polimer kombinasyonlarından biri veya birkaçı ile üretilebilmesi mümkündür. Tabakalı kompozitlerde en çok tercih edilen tabakalar ise polimer levhaları ile cam levhaların kombinasyonudur (Çelikçi, 2013).

### Karma kompozitler

Gelişimi günümüzde devam eden en yeni kompozit çeşididir. Karma kompozit; kompozit malzeme ile bir başka malzemenin bir araya gelmesiyle, birden çok takviye malzemesinin kullanılmasıyla oluşabilir. Böylece kendini oluşturan malzemelerin özellikleri tek bir malzemede toplanabilir. En çok kullanılan örnekleri metal malzeme ile polimer matrisli kompozitlerin oluşturdukları karma (sandviç) kompozitlerdir. Diğer kompozitlerle karşılaştırıldığında kısıtlı uygulama alanına sahiptir fakat yapısal uygulamalarda sağladığı avantajları düşünüldüğünde gelecekte kullanımlarının hızla artacağı düşünülmektedir (Çelikçi, 2013).

### **2.1.3. Kompozit malzemelerin matris malzemesine göre sınıflandırılması**

Kompozit malzemelerde kullanılan matris malzemeleri;

- Metal,
- Seramik,
- Polimer olabilmektedir.

### Metal matrisli kompozitler

Matrisi (ana yapıyı) metalin oluşturduğu ve takviye elemanı olarak seramiklerin kullanıldığı kompozitlere metal matrisli kompozitler (MMK) denir. Metalin (veya alaşımın) ve takviye elemanının üstün özelliklerinin birleştirilmesi ile malzemeye yüksek elastikiyet modülü, yüksek dayanım ve düşük yoğunluk özellikleri kazandırılmaktadır. Matris malzemesi olarak

yoğunluğu düşük olan metaller tercih edilir. Uygulama alanları; uzay ve havacılık sektörü, otomotiv sektörü ve elektronik uygulamalarıdır (Yıldırım, 2016).

Metal matrisli kompozitler sünek bir metal (Al, Ti, Ni) matrisin alümina, silisyum karbür, grafit vs. gibi bir seramik ile takviye edilmesiyle üretilirler. Seramik malzemelerin yüksek dayanımı, yüksek özgül değer ve termal kararlılık gibi özellikleri ile metal malzemelerin şekil değiştirebilme kabiliyeti ve tokluk gibi özellikleri bir arada bulunur. Yüksek işletme sıcaklıklarında, yüksek kesme ve basma direncine sahip malzemeler elde edilmiş olur. Metal matrisli kompozitler yüksek sıcaklarda çalışabilmeleri, tekrar üretilbilir olmaları, yoğunluk değerlerin düşük olması, termal soka karşı düşük hassasiyet göstermeleri, yüksek aşınma dayanımı, yüksek elastik modüle sahip olmaları, yüzeylerdeki dalgalanmalara karşı düşük hassasiyete sahip olmaları, yüksek elektrik ve termal iletkenlik özellikleri nedeniyle diğer malzemelerden üstün özelliklere sahiptirler (Ekici, 2004).

#### Seramik matrisli kompozitler

Seramik matrisli kompozitler (SMK) yüksek sıcaklık uygulamalarında, (1000 °C'ye kadar) kullanılır. Matris malzemesi olarak silisyum karbür (SiC), alüminyum oksit (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), cam-seramik, silisyum nitrür gibi seramik ve yine seramik esaslı fiberler ile takviye edilirler. Seramik malzemeler, yüksek sıcaklığa ve zor çevre koşullarına karşı dayanıklı olduklarından birçok alanda tercih edilirler. Seramik malzemeler çok sert olduklarından özellikle aşınma uygulamaları için eşsiz malzemelerdir. Kırılma tokluğunun düşük olması bu malzemelerin çelik ve demir dışı alaşımların yerlerine kullanılmasını engellemiştir. Sandviç zırhlar, çeşitli askeri amaçlı parçalar ve uzay araçların imalatında seramik matrisli kompozitler kullanılır (Ünal, 2013; Çelikçi, 2013).

#### Polimer matrisli kompozitler

Polimer matrisli kompozitler en çok kullanılan kompozit çeşididir. Polimer matrisler kullanım ve uygulama çeşitliliği açısından en yaygın bulunan gruptur. Polimerlerin ucuzluğu, kolay temin edilebilir olması, hafifliği, kolay üretilbilir olması metal ve seramiklere göre üstünlük sağlamıştır. Polimerik kompozitlerde matris malzemesinin görevi korozyon dayanımını arttırmak, gelen yükün dağıtılması ve yapının bütünlüğünü sağlamak iken takviye malzemesinin görevi kompozite mukavemet ve rijitlik sağlamaktır. Polimer matrisli kompozitler; metal, seramik ve diğer kompozit çeşitlerine göre üretimi daha kolaydır. Bunun nedeni şekillendirme için gerekli olan sıcaklığın düşük olmasıdır (Çelikçi, 2013).

Polimer matrisli kompozitler kolay üretilmeleri, düşük yoğunluk ve yalıtkanlık gibi özelliklerinden dolayı endüstriyel amaçlı kullanım alanları fazladır. Polimer malzemelerde en çok kullanılan takviye malzemeleri karbon, cam ve bor fiberlerdir. Matris malzemesi olarak kullanılan polimerler, termosetler ve termo plastiklerdir. Polimer esaslı kompozit malzemeler düşük ısı dayanımlarından dolayı yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılmazlar (Yıldırım, 2016).

### Termosetler

Termosetler; tekrar tekrar ısıtılıp şekillendirilemeyen yani sadece tek sefer ısıtılıp şekil verilen polimerlerdir ve bu malzemelerin geri dönüşümleri yoktur. Termoset matrisli malzemenin molekülleri birbirlerine çapraz bağlıdır. Moleküller ısıtıldığında atomlar birbirlerinin üzerinden kaymazlar. Mukavemeti ve sıcaklığa karşı dayanımları yönünden termoplastiklerden daha üstündürler. Termoset grubunu oluşturan ve en çok kullanılan plastikler şunlardır: Epoksiler, polyesterler, vinylester ve fenolik reçine matrislerdir (Yıldızhan, 2008; Güney, 2011; Özer, 2015).

### Epoksiler:

Mükemmel elektriksel ve mekaniksel özelliklere sahip olan epoksiler; ölçü tamlığı, adhezif malzemelere karşı yüksek direnci, ısıya ve kimyasallarla karşı iyi bir dirence sahiptirler. Uygulama alanları yüksek mekanik dayanım ve yüksek izolasyon gerektiren elektrik ile ilgili alanlar olabilmektedir. Basınçlı kaplar, roket yakıt depoları, tanklar ve benzer araçların imalatında kullanılırlar (Güney, 2011). Çizelge 2.1’de epoksilerin özellikleri verilmiştir.

**Çizelge 2.1.** Epoksinin özellikleri (Güney, 2011).

Elastisite modülü	7000 MPa
Çekme mukavemeti	70 MPa
Uzama	%0
Özgül ağırlığı	1,1 gr/cm <sup>3</sup>
Pazar payı	Yaklaşık %1

### *Polyesterler:*

Polyester malzemeler genellikle cam ve diğer fiberlerle güçlendirilerek kullanılmakta olup iyi mekanik, fiziksel ve elektriksel özelliklere sahiptir. Uygulama alanları yüzme havuzları, tekneler, otomotiv ve valiz gibi kişisel eşyalardır (Güney, 2011). Çizelge 2.2’de polyesterlerin özellikleri verilmiştir.

**Çizelge 2.2.** Polyesterlerin özellikleri (Güney, 2011).

Elastisite modülü	7000 MPa
Çekme mukavemeti	30 MPa
Uzama	%0
Özgül ağırlığı	1,1 gr/cm <sup>3</sup>
Yaklaşık pazar payı	Yaklaşık %3

### *Vinyilester:*

Polyesterden daha yüksek mekanik özelliklere sahiptirler. Son derece yüksek kimyasal/çevresel dayanımı vardır. Sertleşme sırasında yüksek oranda çekme meydana gelir. Vinyilester malzemenin iyi özellikleri elde etmek için ikinci kür işlemi gerekir. Polyesterden daha pahalıdırlar (Tanboğa, 2007).

### *Fenolik reçine:*

Fenolik reçinelerin alev yayılmasının yavaş olması, az miktarda duman oluşturması ve bu dumanın toksik özelliğinin düşük olması ısı kalkanı amaçlı, cam ve karbon fiberli kompozitler de kullanılma miktarını giderek arttırmaktadır. Fenolikler diğer reçinelerle karşılaştırıldığında daha ucuzdurlar (Mağdala, 2009). Çizelge 2.3’de fenolik reçine özellikleri verilmiştir.

**Çizelge 2.3.** Fenolik reçine özellikleri (Mağdala, 2009).

Özgül Ağırlığı	1,2-1,3 gr/cm <sup>3</sup>
Elastisite Modülü	5-1 GPa
Çekme mukavemeti	50-60 MPa
Kopma uzaması	1,2



### Termoplastikler

Termoplastik matrisler geri dönüşümü olan malzemelerdir. Bu malzemelere tekrarlı ısıtma soğutma yapılarak yeniden kullanımları sağlanır. Termoplastik matrislerin bu özellikleri esasen moleküllerinden kaynaklanmaktadır. Bu malzemelerin molekülleri düz zincirli polimerlerdir. Termoplastik matris malzeme ısıtıldığında yapısındaki atomlar birbirlerinin üzerinden kayarlar. Termoplastik grubunu oluşturan ve en çok kullanılan plastikler şunlardır:

- Akrilik,
- Asetal,
- Akronitril Bütadien Stiren (ABS),
- Politetra fluorethylene (PTFE),
- Poliamid 6 (PA6),
- Poliamid 6.6 (PA6.6),
- Polietilen (PE),
- Polipropilen (PP),
- Polivinil klorür (PVC) (Yıldızhan, 2008).

#### *Akrilik:*

Akrilik termoplastikleri güneş ışığı altında renk kaybetmeye dayanıklı, boyutsal kararlılığa sahip malzemelerdir. Akrilik malzemeler uzun süreli yüklemelere karşı oldukça dayanıksız olmasına rağmen kısa süreli yüklemelere karşı dayanıklı malzemelerdir. Akrilikler jetlerin camları, iş merkezlerinin pencerelerinde ultraviyole emici veya güneş ışığını yansıtan ayna görevinde kullanılmaktadır (Güney, 2011).

#### *Asetal:*

Asetal düşük sürtünme katsayılı, yüksek mekanik dayanım değerlerine sahip bir malzemedir. Küçük çaplı dişlilerde imalatında sert ve rijit bir malzeme olmasından dolayı kullanılır. Asetal darbelere, aşınma dayanıma dayanıklı olması endüstriyel uygulamalarda yataklar, burçlar, ağır sanayide makine dişlileri, silindirler ve her türlü parça imalatında kullanılmaktadır (Yakut, 2008).

#### *Akronitril Bütadien Stiren (ABS):*

ABS malzemeler rijit, kolay işlenebilir, tok, düşük maliyetli, mükemmel bir aşınma direncine sahip, iyi elektriksel özelliklere sahip, nem ve sürtünme direnci iyi, darbe dayanımı

yüksek termoplastik malzemelerdir. Ayrıca talaşlı imalatta; frezeleme, tornalama, delme, pres ile kesme, testere ile kesme ve makas ile kesme yöntemleri ile kolay işlenebilirler (Güney, 2011).

*Politetra Floroetilen (PTFE):*

Politetra floroetilen sudan etkilenmez, ısı direnci yüksek ve sürtünme katsayısı küçük, çevresel ve kimyasal etkilere karşı aşırı derecede dayanıklı malzemelerdir. Sanayide rulmanlarda ve gıda sektöründe kullanılmaktadırlar (Güney, 2011).

*Poliamid 6 (Naylon-PA6):*

Poliamidler mühendislik plastiklerinin en önemli gruplarından birini oluştururlar. Sert rijit, kaygan ve iyi mekanik dayanım değerlerine sahip malzemedir (Koçak, 2010).

Poliamid 6 (PA6), başta otomotiv, elektrik/elektronik, ulaştırma, medikal, spor ekipmanları, inşaat, mobilya, beyaz eşya, ev gereçleri ve güvenlik malzemeleri olmak üzere birçok sektörde yaygın olarak kullanılırlar. PA6 yüksek termal dayanım, yüksek darbe dayanımı, asit ve bazlara karşı dayanıklı olması (kuvvetli asitler hariç) ve mükemmel mekanik özelliklerinin yanı sıra enjeksiyonla kalıplanabilmesi, PA6'yı avantajlı malzemeye dönüştürmüştür. PA6 bünyesinde su toplama özelliğine (higroskopik) sahiptir. Bu özelliği PA 6'dan üretilmiş ürünlerin kullanım esnasında titreşim ve darbelere dayanımı arttırırken, üretimi esnasında boyutsal kararlılığa ulaşmayı zorlaştırır. Çentiğe duyarlı olması, düşük sıcaklıklarda darbe mukavemetinin zayıflaması, UV mukavemeti, yapışma güçlüğü gibi dezavantajları da vardır (Karadeniz, 2006).

*PA 6.6 (Poliamid 6.6):*

Plastikler içerisinde en dayanıklısı olarak bilinen PA 6.6 en yüksek ergime noktasına sahiptir. PA 6 da olduğu gibi çeşitli viskozite değerlerinde, cam elyaf ve benzeri elyaflar ile kuvvetlendirilmiş, kauçuklu, ısı direnci yüksek, mineral dolgulu ve alev geciktiricili, UV dayanımlı olmak üzere çok geniş bir ürün çeşitliliği bulunmaktadır (Gür, 2011).

*Polietilen (PE):*

Polietilen (PE), dünyada geniş oranda kullanılan plastiklerden biri olup endüstrideki uygulamaları çok yaygındır. Polietilen kimyasalların taşınması ve saklanması için gıda maddelerinin taşınması ve saklanmasına kadar pek çok sektörde yaygın olarak kullanılır. Polietilen; yüksek tokluk, süneklik, mükemmel kimyasal direnç, düşük su buharı geçirgenliği ve çok düşük su emme özelliğine sahiptir (Bal, 2009; Resinex, 2017).

### *Polipropilen (PP):*

Polipropilen iyi mukavemet özelliğini, kolay işlenebilirliği, kimyasal ve aşınmaya karşı yüksek direnci sebebiyle en yaygın kullanılan termoplastik malzemelerdendir. Polipropilen düşük yoğunluğa sahip, göreceli olarak darbeye dayanıklı, oda sıcaklığında mükemmel fiziksel, mekanik ve termal özelliklere sahip olması kullanım alanlarını arttırmıştır (Turan, 2012).

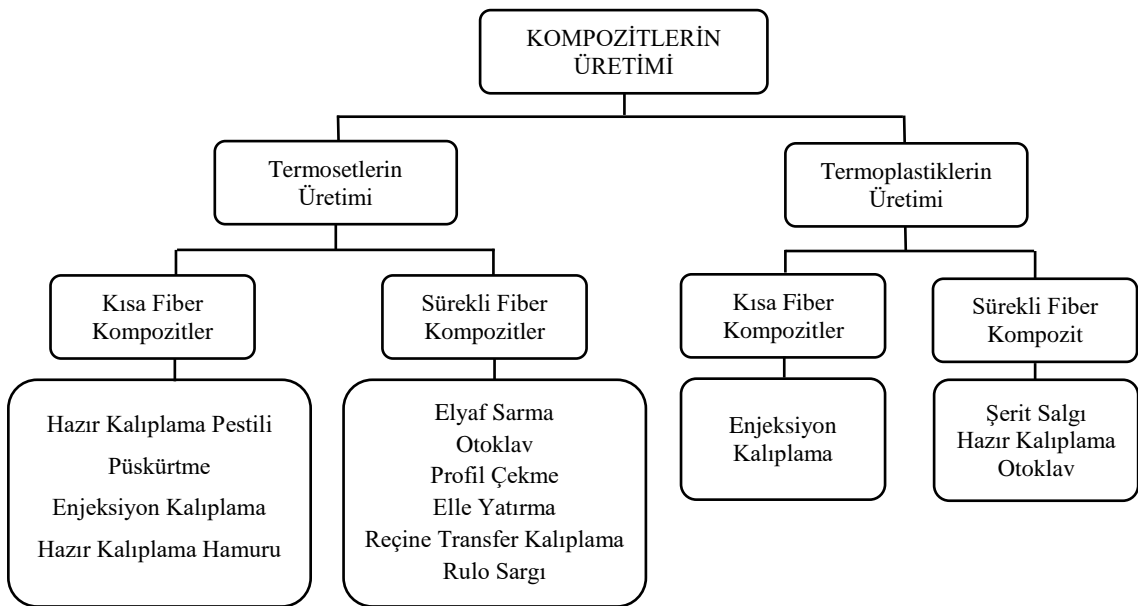
Gıda maddesi ambalajında, şişelerde, kasalarda, otomobil parçası, oyuncak yapımında, radyatör ızgaralarında, hassas cihaz kutularında, plastik boru üretiminde, özel giysi üretiminde, sentetik kağıt üretiminde, optik ve elektrik malzemeleri, profil, levha, halı, keçe, paspas üretimi gibi çok çeşitli olarak endüstrinin farklı alanlarında kullanılmaktadır (Saçaklı, 2011).

### *Polivinil klorür (PVC):*

Polivinil klorür; yumuşak, sert, opak ve saydam tipler halinde ürün olarak üretilen termoplastik bir malzemedir. Boru, kapı ve pencere yapımında, elektrik izolasyonunda, kağıt ve tekstilde, kaplama işlemlerinde, kablo yapımında, şişe ve çeşitli kutuların imal edilmesinde kullanılır (Karacasulu, 2015).

## **2.1.4. Polimer kompozitlerin üretim yöntemleri**

Polimer kompozitlerin üretimi polimer türüne göre iki genel kısımda incelenmekte olup Şekil 2.2’de sınıflandırılması verilmiştir.



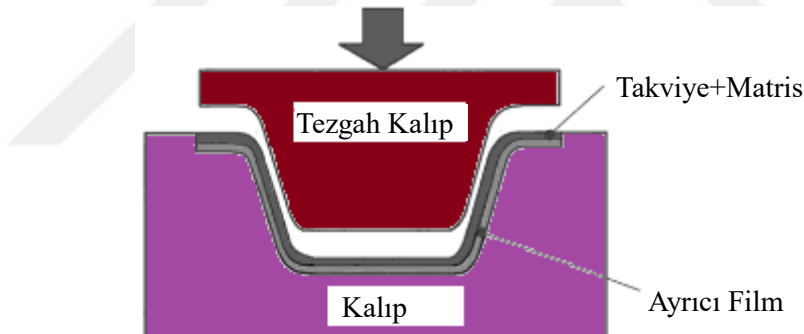
**Şekil 2.2.** Kompozit malzemelerin üretim yöntemlerinin sınıflandırılması (Yıldızhan, 2008).

### Elle yatırma yöntemi

Genellikle keçe veya dokuma biçimdeki cam veya karbon elyafların takviye elemanı olarak seçildiği üretim yönteminde el ile kalıba konumlandırılan elyaflara reçine tatbiki yapılmaktadır. Sertleşen veya kürlenmiş reçine bitmiş ürünü oluşturur. Kayık, tekne, bina panelleri, sıvı tankları gibi büyük boyutlu yapılar için uygun bir yöntemdir (Yıldızhan, 2008).

### Hazır kalıplama

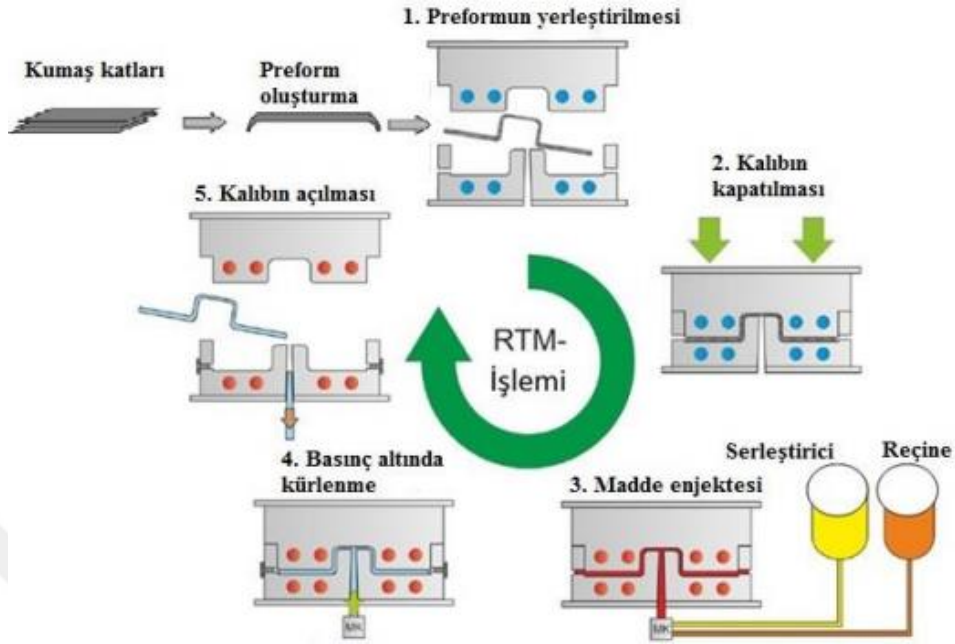
Cam elyaf, reçine, katkı ve dolgu malzemeleri içeren kalıplamaya hazır, hazır kalıplama bileşimleri olarak adlandırılan kompozit malzemelerin (SMC, BMC) sıcak pres kalıplarla üretilmesi işlemine hazır kalıplama denir (Şekil 2.3). Metal parçaların bünye içine gömülebilmesi, karmaşık şekillerin üretilebilmesi, fire oranının az olması üstünlükleri bulunur. Dezavantajı ise; kalıpların metal olmasından dolayı diğer kalıplardan daha maliyetli olması ve büyük parçaların üretimi için büyük ve pahalı preslere ihtiyaç olmasıdır (Bağcı, 2010).



Şekil 2.3. Hazır kalıplama düzeneği (Gay, 2014).

### Reçine Transfer Kalıplama (RTM)

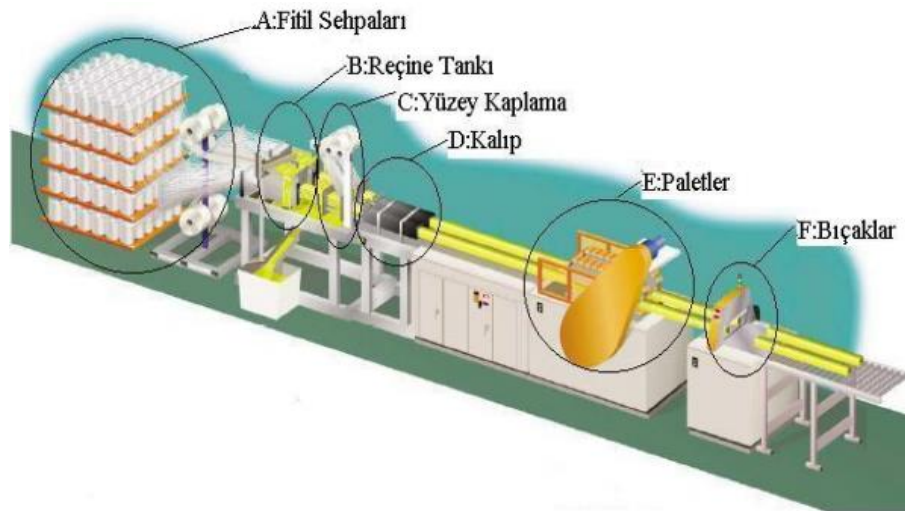
Yüksek veya düşük hacimli büyük veya küçük boyutlu malzemelerin imalat uygulamaları için kullanılan yöntemdir (Şekil 2.4). Reçine transfer kalıplama işleminde cam, karbon ve aramid elyaflarından üretilmiş dokuma, örme veya bağlama yöntemiyle bir araya getirilmiş tekstil yüzeyleri veya keçe şeklinde elyaf yığınları kullanılır. Otomotiv, havacılık, spor malzemeleri ve denizcilik uygulamalarının karmaşık yapıları malzemeleri üretilebilmesi bu yöntemin kullanımını arttırmıştır (Kaplan, 2017).



Şekil 2.4. Reçine transfer kalıplama (RTM) şematik gösterimi (Kaplan, 2017).

### Profil çekme yöntemi

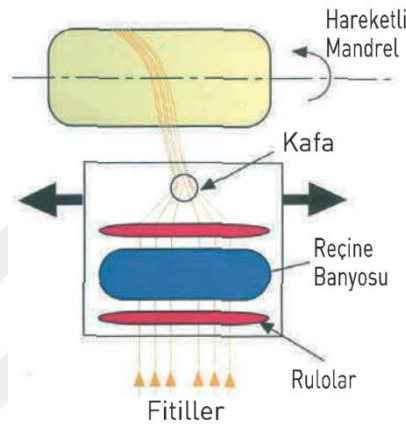
Profil çekme yöntemi; karbon, aramid ve cam elyaf gibi çeşitli elyaflar ile dokuma ve keçelerin bir reçine banyosundan geçirilerek şekillendirilecekleri kalıba konumlandırılmaları işlemlerinden oluşur (Şekil 2.5). Kalıp içinde birkaç bölgede kontrol edilen sıcaklık dağılımı altında şekillendirirler ve daha sonra çekici yardımı ile çekilerek istenilen boylarda kesilirler. Böylece çok yüksek mukavemete ve mekanik değerlere sahip olmaktadır (Cumhur, 2011).



Şekil 2.5. Profil çekme makinesinin genel gösterimi (Cumhur, 2011).

### Elyaf sarma yöntemi

Elyaf sarma yöntemi, sürekli elyaf liflerinin reçine ile ıslatıldıktan sonra bir makaradan çekilerek dönen bir kalıp üzerine farklı açılarla sarılması ve kürlenme sonrası ürün elde edilmesi sürecidir (Şekil 2.6). Karbon, cam ve kevlar lifleri sarım için kullanılabilirken bunlardan cam lifleri ucuz olmasından en çok tercih edilmektedir. Bu yöntemle üretilen ürünler; silindirik, borular, mil ve şaftlar, su tankları, yat direkleri, dairesel basınç tanklarıdır (Hüner, 2008).



Şekil 2.6. Elyaf sarma yöntemi (Plasto, 2017).

### Püskürtme yöntemi

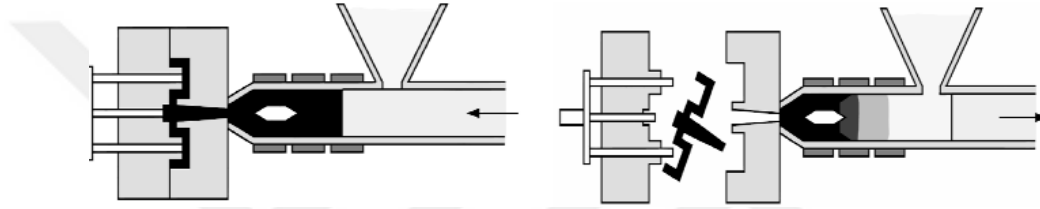
Elle yatırma yönteminin daha seri olarak uygulanmasını sağlayan bir kalıplama metodudur. Kırılmış elyaflar kalıp yüzeyine içine sertleştirici katılmış reçine ile birlikte özel bir makine ile püskürtülür (Şekil 2.7). Püskürtülme işlemi sonrası yüzeyin bir rulo ile düzeltilmesiyle ürün hazırlanarak üretilmiş olur (Topal, 2014).



Şekil 2.7. Püskürtme yöntemi (Plasto, 2017).

### Enjeksiyon kalıplama

Enjeksiyonla kalıplama, termoplastikleri ve bazı termoset malzemeleri granül halden çeşitli ürünlere dönüştürmek için kullanılan üretim yöntemlerinden biridir. Enjeksiyonla kalıplamada önce granül ya da tozlar eriyinceye kadar ısıtılır, eriyik, istenilen şekildeki kalıba basınç altında enjekte edilir ve katılaşmaya kadar beklenir. Son olarak kalıp açılır ve ürün çıkartılır (Şekil 2.8). Küçük boyutlu parçalar ile çok büyük hacimli karmaşık parçalar üretmek için tekli veya çok parçalı kalıplar kullanılarak uygulanan yöntemdir (Yıldızhan, 2008; Ekşi, 2007).



Şekil 2.8. Enjeksiyon kalıplama yöntemi (Yılmaz, 2011).

### Ekstrüzyon üretim yöntemi

Ekstrüzyon üretim yöntemi kullanılarak sürekli aynı kesitte boru, profil, levha, film ve kapalı tel örgü şeklindeki ürünlerin üretilmesi mümkündür. Hammadde olarak hazır plastik toz, pelet ya da granül kullanılmaktadır. Parçacık halindeki plastik ve hacimsel-ağırlıksal olarak oranlanmış elyaf besleyici ünitelerden atılarak kovanın içindeki mil yardımıyla taşınır, aynı esnada rezistanslar yardımıyla ısıtma işlemi gerçekleşir. Kovan içinde basınç ve sıcaklığın etkisiyle kompozit eriyik kalıba doğru itilir. Ürün kalıp kesitinde şekillendirildikten sonra soğuma ünitesinden geçirilerek son şeklini alması sağlanır (Ekşi, 2007). Ekstrüzyon üretim yöntemi Şekil 2.9’da verilmektedir.



Şekil 2.9. Ekstrüzyon üretim yöntemi (Ekşi, 2007).

## 2.2. Talaşlı İmalatta İşlenebilirlik

Talaşlı imalat endüstrisinde çözülmeye çalışılan başlıca problemlerden biriside “işlenebilirlik” tir. İş parçasının verimli işlenmesi için sadece malzeme hakkında verilere sahip olmak yeterli olmamakta, işlenecek malzemeye uygun kesici takımın doğru seçimi de önemlidir. Kesici takım açıları, talaş açıları ve boşluk açıları talaş kaldırma işlemlerinde çok önemlidir. Talaşlı imalat safhasında iyi seçilemeyen işleme parametreleri, kesicilerin kırılmasına, hızlı aşınmasına, takımın yanmasına, iş parçasının bozulmasına veya işin yüzey kalitesinin bozulmasına yol açarken birtakım ekonomik ve zaman kayıpları da oluşabilmektedir (Ünal ve Akoral, 2003).

Talaş kaldırma işleminde parçanın tam, hassas ve işleme toleransına uygun olarak imal edilmesi gerekmektedir. Bu amacın gerçekleşmesi için işlenebilirliği “eldeki bir iş parçası malzemesinden, istenilen ölçü, yüzey ve geometrik kalitelerin sağlanması koşuluyla, minimum zaman ve toplam maliyette, kesici takımı yenilemeksizin en fazla miktarda talaş kaldırılmasıdır” şeklinde tanımlamak mümkündür (Ünal ve Akoral, 2003).

İşlenebilirlik; iş parçasının mevcut şartlarda işlenmesinin zorluğu ya da kolaylığı ile de ifade edilmektedir.

Bir malzemenin işlenebilirliği, işlemeli ve işlenmesiz deneyler ile aşağıda verilen kriterler ile değerlendirilebilir (Özçatalbaş, 2014).

- Takım Ömrü: Takımdaki standart bir aşınma miktarına kadar veya takım kullanılamaz duruma gelmeden önce standart kesme şartlarında kaldırılan talaş miktarı veya talaş kaldırma süresidir.
- Kesme Hızı: Standart kesme şartları ve takımla, belirlenen bir zaman aralığında talaş kaldırma işleminin başarı ile sürdürüldüğü maksimum kesme hızı veya işlenen parça sayısıdır (Otomat tezgahlarda).
- Kesme Kuvvetleri veya Güç Tüketimi: Takım üzerine etkiyen kesme kuvvetleri (belirli şartlarda dinamometre ile ölçülür) veya kesme işlemi için gerekli güçtür.
- Yüzey kalitesi: Belirli işleme şartları altında işlenen parçanın yüzeyindeki pürüzlülük derecesidir.
- Talaş Biçimi: Standart kesme şartları altında, takımın kesme etkisine göre oluşan talaş biçimidir.



- Kimyasal Bileşim Deneyi: Aynı ısı işlemleri gören ve aynı temel özelliklere sahip malzemeler için geçerli olarak bulunan sonuçlar bu tür çalışmaları yapan Zaplicki, Boulger tarafından kabul edilmiştir.
- Mikroyapı deneyleri, Whittman, Woldman, Robbins ve Lawless yaptıkları çalışmalarda, tornalama ve frezeleme işlemleri için düzenli dağılmış lamelli kaba perlitin, işlenebilirlik açısından optimum mikroyapı olduğunu belirtmişlerdir.
- Fiziksel özellik deneyi, Henkin ve Datsko, boyutsal analiz tekniklerini kullanarak genel bir işlenebilirlik değeri geliştirmek için, malzemenin fiziksel özelliklerine dayalı basit bir kriter oluşturmuşlardır (Özçatalbaş, 2014).

### 2.2.1. Delme işlemi

Delik delme, iş parçasından talaş kaldıran bir takım silindirik delik açma metotlarının tamamına verilen bir addır. Talaş kaldırma işlemlerinin en önemlilerinden biri de delik delme işlemidir ve talaş kaldırma işlemlerinin yaklaşık üçte birini içermektedir. Bunun yanı sıra, harcanan zamanın %25'ini delik delme işlemi oluşturmaktadır. Gelişen imalat teknolojisine rağmen delik delme işlemlerinde geleneksel yöntemler kullanılmaktadır. Ekonomikliği, basit uygulanabilirliği gibi sebeplerden dolayı hala en yaygın kullanılan işleme yöntemidir (Yağmur vd., 2013).

Matkap ile delme işlemi, radyal ağzın parçaya teması ile başlar ve ana kesme ağzlarının aktif kesme işlemine katılması ile devam eder. Helisel kanallar sayesinde oluşan talaşlar tahliye edilir. Radyal ağız, matkabın dönme ve ilerleme hareketi ile iş parçasını ezerek kesicinin ağzlamasını sağlarken matkabın delme eksenine paralel olacak şekilde ilerlemesini sağlar. Kesici ağız sayesinde matkabın ilerleme hareketiyle helisel bir yüzey oluşturarak iş parçasını kesmeye başlar. Helisel yüzey boyunca hareket eden matkap; kesme ağzlarının etki yönü sürekli değiştiğinden, matkabın etkili kesme açıları da değişmektedir (Bayraktar vd., 2016).

### 2.2.2. Kesici takımlar

Kesici takımlar, talaşlı imalatta göstermiş olduğu performans verimlilik ve ekonomik kazancın yanı sıra üretilen parçanın kalitesini önemli oranda etkilemektedir. Talaş kaldırma esnasında kesici takımların oluşan yüksek ısı, kuvvet ve darbe gibi etkilere karşı dayanabilmesi gerekmektedir. Bu sebeple kesici takımların kesilen malzemeye göre yüksek sertlikte, eğilme ve basma mukavemetine, iyi bir tokluğa, yüksek sıcaklıklara dayanma, aşınma direncine, ucuz ve kolay işlenebilme gibi özelliklere sahip olmaları gerekmektedir. Bu nedenle işlenecek malzeme ve kullanılan tezgahın yanı sıra kesici takım maliyetleri de göz önünde bulundurularak uygun

bir kesici takım malzemesi seçilmesi talaşlı imalatın ekonomikliğini ve verimliliğini arttırmaktadır (Yılmaz, 2014).

Genel olarak kesici takımlar için; kimyasal bileşim, malzeme cinsi, mekanik özellik ve sertliğe göre çeşitli sınıflandırma yöntemleri mevcuttur. Fakat burada fazla ayrıntıya girilmeden malzeme cinsine göre talaşlı imalatta kullanılan kesici takımlarla ilgili kısa bilgiler verilecektir.

### Seri çelikler (HSS)

İçinde %6-9 Molibden, %1,5-6 Krom ve %15-22 Volfram katkılı çelik kesicilerdir. Kalitelidirler ve orta seviye dayanıma sahiptirler. Yaklaşık 600 °C'ye kadar dayanırlar ve takımlar tekrar tekrar bilenebilmektedir. Pratikte yaygın olarak kullanılırlar. Yüksek hız çelikleri, orta sertlikteki çelik, döküm ve metal olmayan malzemelerin işlenmesinde verimli bir şekilde kullanılmaktadır. Kesici üzerindeki HSS harfleri ile ifade edilir (Arslan, 2018).

### Sinterlenmiş karbürler

Karbür tip kesici takımlar çok sert ve bu nedenle aşınma direnci yüksek takımlardır. Mikro yapıları esasen tungsten-karbür (WC), titanyum-karbür (TiC), tantal-karbür (TaC), niobyum-karbür (NbC) alaşımlarını içerebileceği gibi bazı özel durumlarda krom-karbür, molibden-karbür ve bağlayıcı olarak nikel içerebilir. Tungsten (Volfram)-karbür alaşımı, demir dışı metalik malzemelerin işlenmesinde yoğun olarak kullanılan bir kesici takım malzemesidir. Titanyum-karbür (TiC) alaşımlı kesici takımlar çeliklerin ve dökme demirlerin işlenmesinde kullanılırlar. Tungsten-karbür malzemelere göre daha yüksek hızlarda kesme için kullanılırlar (Akdur, 2016).

### Seramikler

Seramik takımlar alüminyum oksit, silisyum oksit ve benzeri malzemelerin sinterleme yoluyla bir araya getirilmesiyle elde edilirler. Sinterleme esnasında 1-10 µm büyüklükte pudra şeklindeki tozlar bir araya getirilir. Seramik takımlar sert metallerden daha serttir. Bu kesici takımlar 1000-1200 °C'lere kadar kendi yüksek sertliklerini ve aşınma mukavemetini korurlar. Seramik takımların en büyük dezavantajı gevrek olması dolayısıyla kesme sırasında gelen darbelere karşı duyarlıyken eğilme mukavemetleri düşüktür. Alüminyum işlemelerine elverişli değildir. Günümüzdeki bazı seramik kesici takım çeşitleri ile 4-10 mm pasalarda işleme imkanları bulunmaktadır. Kesme hızları sert metal kesici takımlara göre daha yüksek 300-700 m/dak civarındadır. Aynı şartları taşıyan bir operasyonda seramik takımlarla elde edilen yüzey daha parlak ve düzgün takım ömrü de 3-10 kat arasında daha fazladır (Apkhan, 2006).

### Sermetler

Seramik (ser) ve metal (met) malzemelerden oluşmuş bir kompozit malzemedir. Genellikle bir seramiğin yüksek sıcaklık direnci, sertlik gibi özellikleriyle bir metalin plastik olarak deforme edilebilme özelliklerinin optimal bir birleşimi sonucunda oluşturulmuş kesicilerdir. Borür, oksit, nitrür veya karbür formundaki seramikleri bağlayıcı olarak bir metal kullanılır. Tungsten karbür kobalt (WC-Co) bağlayıcı ile üretilenler en yaygın kullanılan sermetlerdir. WC-Co'nun en önemli dezavantajı yüksek kesme hızlarından kaynaklanan yüksek sıcaklıklarda (600 °C civarında) Co'nun oksitlenmesi ve WC'nin bozunması ile WC-Co bütünlüğünün bozulmasını takiben ani kırılma ile aşındırıcı ucun işlevini kaybetmesidir (Özer, 2012).

### Kübik bor nitrür (CBN)

Kübik bor nitrür kesiciler; elmadan sonra en sert malzemedir. Küçük miktarlardaki seramik veya metal bağlayıcı ile %100 yoğunluktaki bor nitrür karıştırılmasıyla üretilirler. Yüksek basınç ve sıcaklık altında kristal kafesinin hegzagonal yapıdan kübik yapıya dönüştürülmesi yoluyla elde edilmektedir. Kübik bor nitrür sertliği, sıcaklık artışı ile azalmaktadır. Elmasla karşılaştırıldığında kübik bor nitrür en önemli avantajı, demir veya diğer metaller ile temasında veya havada yüksek sıcaklıkta sahip olduğu için çok yüksek kararlılığa sahiptir. CBN kesici takımlar, yüksek hızlarda kullanılmaya uygun kesici takım malzemeleri içinde son yıllarda geniş bir uygulama alanı bulmuşlardır. Özellikle, sertleştirilmiş çeliklerden, ince talaş kaldırma işlemlerinde gösterdikleri yüksek performans, bu takımlara olan ilgiyi artırmaktadır. Çünkü bu durum, sertleştirme sonrası uygulanan taşlama işlemine olan gereksinimi ortadan kaldırarak üretim maliyetlerini azaltmaktadır (Ateş, 2010).

### Çok kristalli elmas (PCD)

Yeryüzündeki en sert malzeme elmas tip malzemelerdir. Diğer malzemelere oranla aşınma ve baskı kuvvetlerine karşı dayanımları çok fazladır. Ayrıca sıcaklığa bağlı olarak genleşme ya da şekil değişikliğine uğrama dayanımı da çok fazladır. Bu sebepten dolayı yüksek hızlarda ve daha düşük sıcaklıklarda daha dar toleranslı ve daha kaliteli bir yüzey elde edilmesi mümkün olmaktadır. PCD takımlar, sert metal malzemeli kesici takımların kullanıldığı yerlerde kullanıla bilinir. Ayrıca, PCD kesici takım ömrü de sert metal malzemeli kesici takımlara göre 10-250 kat daha uzun ömürlüdür. Demir içerikli malzemelerin işlenmesi sırasında oluşan yüksek sıcaklıklarda kimyasal reaksiyon sonucu elmasın mikro yapısı grafitte dönüşür. Bu nedenle elmas tip kesici takımlar, demir dışı malzemelerin işlenmesinde kullanılır (Akdur, 2016).

### 2.2.3. Kesme kuvveti

Kesme kuvveti takım tarafından malzemeye talaş kaldırılması için uygulanan kuvvettir. Talaş kaldırma olayını gerçekleştirmek için takıma, kesme düzleminde meydana gelen dirençlere karşı, talaş kaldırma kuvveti adını taşıyan bir kuvvet uygulanır. Kesme düzlemindeki kuvvetler; kesme kuvveti, takım ile talaş ve takım ile parça arasındaki sürtünme kuvvetlerinden oluşmaktadır. Kesme düzleminde, kesme direnç kuvvetinin yanı sıra takımı parçadan ayırmaya çalışan bir radyal direnç meydana gelmektedir (Özçatalbaş, 2014).

Kesme kuvvetlerinin büyüklüğü talaş/takım arasında temas uzunluğuyla ilgilidir. İki fazlı ve kesikli talaş çıkaran malzemelerin işlenmesinde, kesici takım ve talaş arasında daha az temas uzunluğundan dolayı çok düşük kuvvetler meydana gelir. Kesme hızının artırılması, kayma açısını artırdığı, daha ince talaş oluşturduğu ve temas uzunluğunu azalttığı için kesme kuvvetleri de oldukça düşmektedir. Sınırlı temas uzunluğuna sahip takımlarla takım/talaş arasındaki temas uzunluğu sınırlandırılarak kesme kuvvetlerinde belirli düşüşler sağlanabilmektedir (Bayraktar, 2011).

### 2.2.4. Aşınma ve takım ömrü

Talaş kaldırma sırasında gerek takım ile talaş gerekse takım ile işlenen yüzey arasında meydana gelen sürtünmeler, ısı oluşumuna ve takım aşınmasına sebep olurlar. Kesici takımın ilk şekline göre farklılık oluşur. Bu farklılık; sürtünmeden kaynaklanan ısı artışı talaş ile takımın aşınmaya karşı mukavemetini azalttığı için aşınma olayı hızlandıran bir etkidir. Bu durum kesici takımların, talaş kaldırma sırasında ömürlerinin sonuna kadar aşınmasına neden olur. Takımın aşınması; takım ve talaş geometrisine, kesme hızına, kesme sıvısına gibi birçok faktöre bağlıdır (Akkurt, 1999).

Takım genelde şu olaylar meydana geldiği durumda aşınmış sayılır (Akkurt, 1999):

- Serbest yüzeyde aşınma bölgesinin belirli bir boyuta ulaşması,
- Talaş yüzeyinde krater veya başka aşınma türlerinin meydana gelmesi,
- Kesme ağzından küçük parçacıkların kopması,
- Yüzey kalitesinin bozulması,
- Kesme kuvvetinin ve gücün aniden artması.

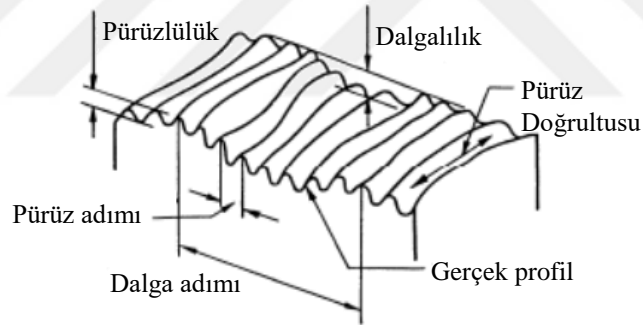
Takım ömrü, takımın müsaade edilen aşınma değerine erişeceği kadar geçen talaş kaldırma zamanı olarak ifade edilir. Bu zamandan sonra takımın artık talaş kaldırma olayını istenen şekilde yerine getiremeyeceği ve dolayısıyla aşınmış olduğu varsayılarak bilinmesi ve

değiştirilmesi gerekir. Buna bağlı olarak takım ömrü, iki bileme arasındaki çalışma zamanı olarak da ifade edilir (Akkurt, 1999).

### 2.2.5. Yüzey pürüzlülüğü

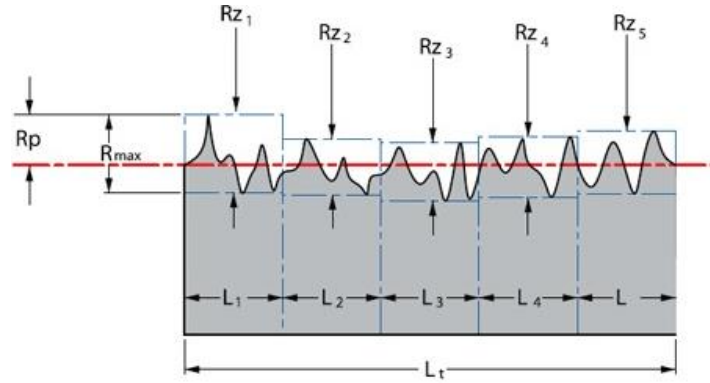
Talaşlı imalat işlemlerinin amacı, iş parçalarına şekil vermenin yanı sıra iş parçasının geometri, boyut ve yüzey bakımından imalat resimlerinde gösterilen toleranslar içerisinde üretilmesidir. Seri ürünlerin üretilmesiyle standart ürünler üretmek önem kazanmıştır. Standart ürünlerin üretilmesinde ölçü tamlıklarının yanı sıra yüzey kalitesi de öne çıkan etkenlerdendir (Çakmak, 2015).

Talaşlı imalatta iş parçasında oluşan takım izleri, hatalar ve dalgalar gibi düzgünlüklerin toplamı yüzey kalitesi olarak ifade edilir. Bu düzgünlükler parçaların birbiriyle olan temas yüzeyini küçültmekte, sürtünmeyi ve aşınmayı arttırmaktadır. Bundan dolayı yüzey kalitesinin önemi tasarımcılar tarafından dikkate alınan etkilerin başında gelmektedir (Eygün, 2014). Şekil 2.10'da işlenmiş yüzey geometrisi görülmektedir.



**Şekil 2.10.** İşlenmiş yüzeyin karakteri (Domaç, 2011).

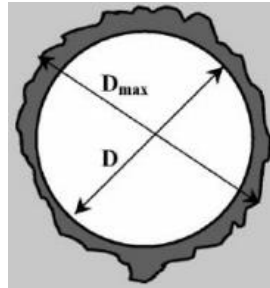
Standart yüzey pürüzlülüğü değerlendirme kriterleri, yüzeye dik olan bir kesitte belirli bir numune uzunluğu boyunca, belirli bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre tayin edilir (Şekil 2.11). Belli başlı pürüzlülük parametreleri şöyledir; maksimum profil tepe yüksekliği, ( $R_p$ ): Seçilmiş uzunluk sınırları içinde, ortalama çizgi ve profilin en yüksek noktası arasındaki mesafedir. Profilin maksimum yüksekliği, ( $R_t$ ): Seçilmiş örnek uzunluk sınırları içinde, profil çukurları çizgisi ve profil tepeleri arasındaki mesafedir. Düzensizliklerin 10 nokta yüksekliği, ( $R_z$ ): Seçilmiş örnek uzunluk sınırları içinde beş en yüksek profil tepe yükseklikleri ve beş en derin profil çukur derinliklerinin mutlak değerlerinin ortalamasıdır. Profil sapmalarının aritmetik ortalaması, ( $R_a$ ): Seçilmiş örnek uzunluktaki profil sapmalarının mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasıdır (Bingül, 2014).



Şekil 2.11. Yüzey pürüzlülüğü (Cksseals, 2019).

### 2.2.6. Deformasyon faktörü

Deformasyon faktörü, kompozitlerin delinmesi esnasında yüzey hassasiyetini etkileyen önemli unsurlardan birisidir. Deformasyon istenmeyen bir hasar türü olup deliğin çevresindeki malzemenin mekanik özelliklerini ciddi şekilde tehlikeye sokmaktadır. Matkap kompozit malzemeye girdiğinde ve kompozit malzemedan çıkarken malzemeye zarar vermektedir ve iş parçası üzerindeki delik giriş ve çıkışlarında sıkça görülen bir durumdur. Delik etrafında oluşan deformasyon faktörünü belirlemek için, deformasyon bölgesindeki maksimum çapın ( $D_{max}$ ) bulunması gerekmektedir (Şekil 2.12), (Bilge vd., 2017).



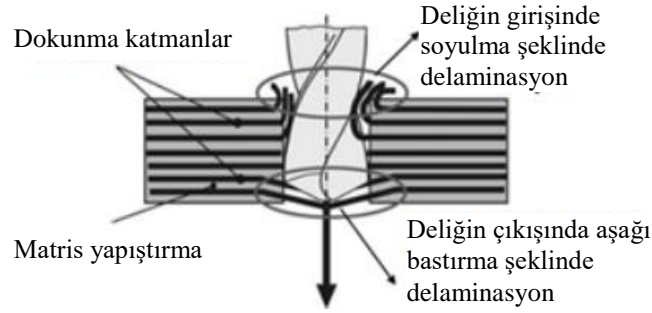
Şekil 2.12. Deformasyon faktörü (Bilge vd., 2017).

Deformasyon faktörü ( $D_f$ ) Şekil 2.13'te de görüleceği üzere, delme esnasında hasar bölgesinde oluşan maksimum hasar çapının ( $D_{max}$ ) matkap çapına ( $D$ ) oranlanmasıyla hesaplanan sayısal bir değerdir. Deformasyon faktörü aşağıdaki formülle belirlenmektedir (Bilge vd., 2017).

$$D_f = D_{max}/D$$

Eşitlik (2.1)

Deformasyon faktörü, kompozit malzemelerin delik delme işlemlerinde oluşan yüzey hasarlarının değerlendirilmesi için önemli bir parametredir (Bilge vd., 2017).



Şekil 2.13. Kompozitlerin delinmesi esnasında oluşan deformasyon (Bilge vd., 2017).

### 2.3. Literatür Çalışması

Kompozit malzemeler yüksek mukavemet, düşük ağırlık ve kimyasal dirençlerinin iyi olmasından dolayı havacılık, spor, biyomedikal, ulaşım, savunma uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompozit parçaların yapıştırma bağlantılarının oldukça kompleks olması, kaynaklanamamaları ve demontajlarının mümkün olmaması montaj uygulamalarında pim, civata, perçin vb. mekanik bağlantıların uygulanmasını zorunlu hale getirmiştir. Uzay endüstrisinde delme işlemi tüm talaş kaldırma işlemlerinin yaklaşık %40'ını oluşturmaktadır. Küçük motorlu bir uçakta parçaların birleştirilmesi için 100 000'den fazla delik olması gerektiği bilinmektedir. Matkapla delme kompozit malzemeler için en fazla kabul gören ve uygulanan delik delme yöntemidir (Okutan, 2009).

Panneerselvam ve Raghuraman (2015), Cam elyaf takviyeli polimer (CETP) polyester reçine malzemesi üzerinde delaminasyonun en aza indirilmesi amacı ile devir ve ilerleme hızının yanında matkap çapı etkilerini araştırmışlardır. CETP malzemesi üzerinde yaptığı çalışmada; matkap çapı 8 mm, devir 3000 dev/dak ve ilerleme hızı 50 mm/dak parametreleri seçtiğinde minimum delaminasyona sahip olduğunu açıklamışlardır.

Khashaba ve arkadaşları (2010a, 2010b), dokuma cam elyaf takviyeli (CET)/epoksi kompozitlerin işlenebilirliği konusunda yapılan çalışmada, delme işlemindeki işleme parametrelerinin itme kuvveti, delaminasyon ve yüzey pürüzlülüğü üzerine olan etkisi incelenmiştir. Devir ve ilerleme miktarının artmasıyla, delaminasyon boyutunun arttığı gözlenmiştir. Yüksek ilerleme değerinde itme kuvvetinin ve delaminasyon boyutunun arttığı açıklamışlardır.

Naveen ve arkadaşları (2012), farklı fiber hacim fraksiyonlarına sahip (%10, %20 ve %30) cam, kenevir ve sandviç lifli kompozitlerin delme işlemindeki işleme parametrelerinin malzeme üzerinde oluşan hasar faktörü etkilerini incelemiştir. Yüksek ilerleme hızlarında deliğin çevresindeki hasarın baskın olduğunu açıklamışlardır.

Phadnis ve arkadaşları (2013), karbon fiber takviyeli polimer (KFTP) epoksi kompozit malzemelerin delme işleminde kesme parametrelerinin itme kuvveti ve tork üzerindeki etkilerini incelemiştir. Düşük ilerleme miktarı ve yüksek kesme hızları karbon/epoksi laminatların delinmesi için ideal olduğunu belirtmişlerdir.

Zitoun ve arkadaşları (2013), bir tarafı karbon kumaştan yapılan elyaf takviyeli plastik (KETP) diğer tarafı bakır örgülü laminatların farklı uç açılı matkaplar kullanılarak delme işlemi deneysel olarak analiz edilmiştir. Çift uç açılı matkap kullanılarak yapılan delme işlemi, standart matkap kullanılarak delme işlemine kıyasla daha az bir itme kuvveti, ortalama pürüzlülük değerlerinin azalmasını sağladığını tespit etmişlerdir.

Grilo ve arkadaşları (2013), karbon elyaf takviyeli plastik (KETP) malzemesinin üzerinde üç farklı matkap geometrisinin ve kesme parametrelerinin delaminasyon faktörüne etkisi değerlendirilmiştir. Delaminasyon faktörünün ilerleme hızıyla doğru orantılı olduğunu, en az delaminasyon faktörünün ağaç matkabında olduğunu açıklamışlardır.

Turki ve arkadaşları (2014), çalışmalarında karbon/epoksi kompozitlerin delme işleminde oluşan delaminasyon oluşumunu incelemiştir. İlerleme hızının düşük seçilmesinin itme kuvvetinin düşmesine, delaminasyon oluşumunu ise en aza inmesine yol açtığını belirtmişlerdir.

Kilickap (2010), yaptığı çalışmada cam elyaf takviyeli plastik (CETP)/epoksi kompozit malzemelerin kesme hızı ve ilerleme gibi kesme parametrelerinin malzemenin delme işleminde oluşan delaminasyona etkisi araştırmıştır. Delaminasyon faktörü üzerinde en etki parametrenin ilerleme olduğunu ortaya çıkarmıştır. Delaminasyon faktörünün minimum çıkış hasarı için optimum kesme parametrelerinin 5 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/devir ilerleme olduğunu tespit etmiştir.

Rajamurugan ve arkadaşları (2013), yaptıkları çalışmada cam elyaf takviyeli (CET) polyester kompozitlerde fiber yönlendirme açısı, ilerleme hızı, iş mili hızı ve takım çapı gibi delme parametrelerin delaminasyon üzerindeki etkilerini incelemiştir. İlerleme miktarının artmasıyla, delaminasyon boyutunun arttığı gözlemlenmiştir. İş mili hızının artmasıyla delaminasyon faktörünün biraz azaldığı ifade edilmiştir. Matkap çapının artırılması, itme



kuvvetinin artmasına bu sebeple de delaminasyon faktörünün artmasına yol açtığını belirtmişlerdir.

Palanikumar (2011), yaptığı çalışmada cam elyaf takviyeli polimer kompozitin (CETP) delme işleminde, çapı 8 mm olan ağaç matkabı kullanarak çeşitli işlenebilirlik testleri gerçekleştirmiştir. Delaminasyon faktörünün en az olduğu durumlarda; kesme hızının yüksek (2500 dev/dak) ve ilerlemenin düşük olduğunu (100 mm/dak) vurgulamıştır.

Nasir ve arkadaşları (2015), yaptıkları çalışmada keten lifi takviyeli fiber epoksi reçineli kompozitlerin artık gerilme mukavemetini ve delaminasyon faktörünü deneysel olarak değerlendirmişler, Taguchi tasarımı yoluyla bir dizi delme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Yapmış oldukları deney sonucunda iş mili hızı mümkün olan en yüksek seviyede tutulması gerektiğini ifade etmişlerdir. Buna göre düşük ilerleme miktarı, çekme mukavemetinin yanı sıra delaminasyon hasarını asgariye indirmiştir. Delaminasyon hasarını hafifletmek için uç açısı 85° olan kademeli matkap tipi önerilmiştir.

Durão ve arkadaşları (2010), yaptıkları çalışmada karbon fiber takviyeli tabakalı kompozitlerin delinmelerinde farklı matkap ucu geometrileri ve ilerleme hızı ile ilgili karşılaştırmalı bir çalışma sunmuşlardır. Çalışmada delme sonrası itme kuvvetini, delikli duvar yüzeyinin pürüzlülüğü ve delme sonrası delaminasyon değerleri değerlendirilmiştir. Düşük ilerleme hızının itme kuvvetini ve delaminasyon faktörünü azalttığını belirtmişlerdir. Yüksek ilerleme hızı için en uygun matkapların 120° uç açılı helisel matkap ile kademeli matkap olduğunu, delik yüzey pürüzlülüğü ölçümleri çok dağınık olduğundan geçerli bir sonuç vermediğini açıklamışlardır.

Karimi ve arkadaşları (2013), cam elyaf takviyeli epoksi kompozitlerin işlenebilirliği konusunda yapılan çalışmada, delme işlemindeki işleme parametrelerinin itme kuvveti ve delaminasyon faktörü üzerine olan etkisi incelenmişlerdir. İlerleme hızı düşük seviyede tutulduğunda, itme kuvvet ve delaminasyon faktörü azaldığını tespit etmişlerdir.

Xu ve arkadaşları (2014), yaptıkları çalışmada karbon fiber takviyeli polimer (KFTP) epoksi kompozitlerin delme işleminde çok kristalli elmas (PCD) matkaplar kullanılarak kesme performansı üzerine araştırmalar yapmışlardır. PCD kama (dagger drill) matkabı PCD helisel matkabına göre genellikle daha yüksek itme kuvveti üretmiştir. PCD kama (dagger drill) matkabı kesimi için daha büyük itme kuvvetleri üretilmiş olmasına rağmen, daha düşük yüzey pürüzlülüğü, daha küçük çapak kusuru, daha az delaminasyon hasarı ürettiğini gözlemlemişlerdir.

Iliescu ve arkadaşları (2010), karbon fiber takviyeli polimer (KFTP) epoksi kompozit malzemelerin delinmesinde itme kuvvetinin tahmini ve değerlendirilmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Takım ömrünü uzatmak ve delik delme kalitesini artırmak için, kaplamalı ve kaplamasız takım davranışlarını incelemişlerdir. Kaplamalı karbür matkap ömrünün, kaplamasız karbüre göre üç katı daha yüksek çıktığını açıklamışlardır.

Karpat ve arkadaşları (2012), karbon fiber takviyeli polimer (KFTP) epoksi kompozit malzemelerin; elmas kaplı karbür matkap ile kaplamasız karbür matkabin çift uç açılı geometrisinin delme performansı üzerindeki etkisini deneysel bir yaklaşımla araştırmışlardır. Yüksek ilerleme ve devir de elmas kaplı karbürlerin delik kalitesi açısından daha iyi performansa sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Krishnaraj ve arkadaşları (2012), yaptıkları çalışmada karbon fiber takviyeli polimer (KFTP) epoksi kompozit malzemelerin; karbür matkap kullanarak uygun kesme koşullarını belirlemek için devir ve ilerleme hızı gibi delme parametrelerini değiştirerek deneysel bir araştırma yapmışlardır. İlerleme hızı; itme kuvveti, delaminasyon ve deliğin çapı üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğunu açıklamışlardır. Düşük ilerleme oranları itme kuvvetini ve delaminasyonu azaltırken, daha yüksek ilerleme oranlarının nominal çapa daha yakın deliklerle sonuçlandığını açıklamışlardır.

Henerichs ve arkadaşları (2014), karbon fiber takviyeli polimer (KFTP) epoksi kompozit malzemesi üzerinde elmas kaplı karbür takımlarını kullanarak takım ömrü üzerinde çalışma yapmışlardır. Kesme hızının ve ilerleme hızının takım ömrü üzerinde sadece küçük bir etkiye sahip olduğunu açıklamışlardır.

Madhavan ve Prabu (2012), karbon fiber takviyeli polimer (KFTP) epoksi kompozitlerin işlenebilirliği konusunda yapılan çalışmada, delme işlemindeki işleme parametrelerinin; delaminasyon, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri ve talaş oluşumu üzerine etkisini araştırmıştır. Matkap geometrisinin, kesme hızı ve ilerleme hızı ile birlikte delaminasyon üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu, düşük ilerleme hızlarında delaminasyonun daha düşük olduğu tespit etmişlerdir. Karbür matkapla delme yapılırken sürekli talaş, PCD matkapta yüksek hız ve ilerleme hızlarında parça işlerken kesintili talaşlar, HSS matkap kullanıldığında kaba talaş üretildiğini tespit etmişlerdir.

Işık ve Ekici (2010), yaptıkları çalışmada cam elyaf takviyeli polimer (CET)/polyester reçine kompozit malzemenin delme işlemindeki işleme parametrelerinin; yüzey kalitesi etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Kesme hızının artırılması hem delik girişinde hem de çıkışta hasar faktörü azaltmıştır. İlerleme hızı artışı; delik çıkışında hasar faktörü arttırmış, delik

girişinde hasar faktörü düşürmüştür. Kesici ağız sayısının artırılması delik çıkışında hasar faktörü arttırmış ve delik girişinde hasar faktörünü düşürmüştür. Uç açısının artırılması hem delik girişinde hem de çıkışta hasar faktörü arttırdığını tespit etmişlerdir.

Ali ve arkadaşları (2013), cam elyaf takviyeli polimer (CET)/epoksi reçine kompozit malzemenin, delme ve freze işleme parametrelerinin deliklerin kalitesine etkisi değerlendirilmiştir. Yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme hızı delme işleminde delik kalitesi için daha uygunu açıklamışlardır.

Zhang ve arkadaşları (2013), yaptıkları çalışmada karbon elyaf takviyeli polimer (KETP) epoksi laminat kompozit malzemenin delinmesinde delme parametrelerinin; itme kuvveti ve takım aşınmasını etkilerini incelemişlerdir. Delme işlemi sırasında elmas kaplı matkap üzerine etkileyen itme kuvveti, kaplanmamış WC-Co matkaptakinden daha küçük değerli itme kuvveti gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Shahrajabian ve Farahnakian (2013), yaptıkları çalışmada Karbon Fiber takviyeli/epoksi kompozit malzemenin delme işlemindeki işleme parametrelerinin; itme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve delaminasyona etkisi incelemişlerdir. Minimum itme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve delaminasyon etkisinin kesme parametreleri; devir 4000 dev/dak, ilerleme hızı 50 mm/dakika olduğunu tespit etmişlerdir.

Ramesh ve arkadaşları (2014), yaptıkları çalışmada polyester reçine; takviye malzemesi olarak cam, sisal, kenevir kullanılarak hibrid kompozit geliştirilmiştir. Kompozitlerin işlenebilirliği konusunda yapılan çalışmada, delme parametrelerinin; delaminasyon, yüzey pürüzlülüğü ve itme kuvvetleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. İtme kuvveti; ilerleme hızında ve matkap çapında artışa bağlı olarak artmış; maksimumu tork daha düşük devirde meydana gelmiş, maksimum delaminasyonun yüksek ilerleme hızlarında olduğunu tespit etmişlerdir.

Herbert ve arkadaşları (2014), yaptıkları çalışmada karbon fiber takviyeli polimer (KFTP)/epoksi kompozit malzemenin delme işlemindeki işleme parametrelerinin; delaminasyon etkisini incelemişlerdir. Delaminasyon faktörü; matkap çapında ve ilerleme hızında artış ile delaminasyon faktörünün arttığını, devir artışıyla azaldığını ortaya koymuşlardır.

Rao ve Rodrigues (2015), cam elyaf takviyeli polimer (CET)/polyester reçine kompozit işlenebilirliği konusunda yapılan çalışmada, delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemişlerdir. Matkap çapının ve devir sayısındaki artışla deliklerin yüzey pürüzlülüğü artmış, ilerleme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü azaldığını açıklamışlardır.

Vinayagamorthy ve arkadaşları (2016), yaptıkları çalışmada hibrid kompozitler üzerinde delme sırasında oluşan hasarları incelemişlerdir. Çalışmadaki kompozit numune, çelik lif ve dokuma kenevir olmak üzere iki tür takviye malzemesi kullanılarak hazırlanmıştır. Matris malzemesi olarak polyeşter reçine kullanılmıştır. Devir, ilerleme hızı ve uç açısı giriş ve çıkış hasarlarında önemli bir etkiye sahip olduğunu, takım çapının herhangi bir etkisini olmadığını açıklamışlardır.

Ghabezi ve Khoran (2014), yaptıkları çalışmada PVC köpük, cam kumaş/polyeşterden yapılmış üç tür kompozit sandviç yapının delme sırasında oluşan delaminasyon hasarını araştırmışlardır. İlerleme hızının artmasıyla deformasyon faktörünün arttığını açıklamışlardır.

Debnath ve arkadaşları (2014), sisal elyaf takviyeli epoksi ve sisal elyaf Takviyeli Polipropilen kompozitlerin işlenebilirliği konusunda yapılan çalışmada, delme işlemindeki işleme parametrelerinin; delme kuvvetinin ve delinmiş deliğin hasar özelliklerinin karşılaştırmalı olarak analizi yapılmıştır. Sisal-epoksi laminatların delinmesi sırasında oluşan talaşlar süreksiz talaş, sisal-PP laminatlardan oluşan talaşlar ise sürekli talaş şeklinde oluşmuştur. Matkap geometrisindeki değişimle talaşta önemli değişim olmadığını gözlenmemiştir. Sisal-PP laminatların tork değerleri diğer malzemelere göre daha az çıktığını tespit etmişlerdir.

Rubio ve arkadaşları (2013), Poliamid (PA6) ve %30'luk cam elyaf takviyeli Poliamid (PA66-GF30) kompozitlerin işlenebilirliği konusunda yapılan çalışmada, delme işlemindeki delme parametrelerinin; itme kuvveti, delik ortalama çapı ve dairesellik hatası üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. PA6'nın delinmesinde itme kuvvetini en aza indirmek için takım noktası geometrisi  $135^\circ$  ve devir 6000 dev/dak seviyesinde ayarlanması uygun bulunmuşlardır. PA66-GF30'un delinmesinde takım geometrisi  $115^\circ$ 'de ayarlanması uygun bulunmuşlardır. PA6 delme yapılırken dairesellik hatasını en iyi durum takım geometrisi  $85^\circ$  uç açısı ve devir 1500 dev/dak olarak tespit etmişlerdir.

Uysal (2015), takviyesiz polyamid ve karbon siyahı takviyeli polyamid malzemelerin delme sırasında matkap ucu sıcaklığı ve talaş formları incelenmiştir. Matkap ucu sıcaklığı; devirin artması ve ilerleme hızının azalmasıyla artmıştır. Karbon siyahının delinmesinde daha yüksek delme sıcaklıkları gözlemlenmiştir. Kesme hızının azalması ve ilerleme hızının artışı ile daha düzenli helisel talaş formları oluşmuştur. Ayrıca, karbon siyahı takviyeli polyamid ile takviyesiz polyamid karşılaştırıldığında daha düzgün talaşlar oluştuğunu açıklamıştır.

Uysal ve Altan (2015), PP ve karbon siyahı takviyeli elektriği ileten Polipropilen (PP) malzemeler, farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde ve farklı uç açısına sahip matkap uçları ile delinmiş ve kesme sıcaklığı, delik içi yüzey pürüzlülüğü ve talaş formlarını incelemiştir. Kesme hızının artırılması ve ilerlemenin azaltılması, sürtünmenin artmasına neden olmuş ve dolayısıyla daha fazla sıcaklık artışı olduğunu, düzensiz talaşlar oluştuğunu açıklamışlardır. Düzensiz talaşlar ise ana malzemeden ayrılan talaşların yüzeyde bozulmalara yol açtığı anlamına gelmektedir.

Kuram (2016), Poliamid 6 ve %30 cam elyaf takviyeli Poliamid 6 kompozit malzemenin işlenebilirliği konusunda yapılan çalışmada, Mikro freze işlemindeki deneylerle işlenebilirliği araştırmıştır. Cam elyafı takviyeli polyamid 6'nın takım aşınması, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün, takviye edilmemiş Poliamid 6'a göre daha yüksek olduğunu tespit etmiştir.

Zinati ve Razfar (2014), çok duvarlı karbon nano tüp katkılı Poliamid 6 kompozit malzemenin işlenebilirliği konusunda yapılan çalışmada, freze işlemi sonucundaki yüzey pürüzlülüğünü araştırmışlardır. Çok duvarlı karbon nano tüpün yüzey kalitesini katkısız Poliamid 6'ya göre biraz iyileştirdiğini açıklamışlardır.

Vaxevanıds ve arkadaşları (2016), %30 cam elyaf takviyeli Poliamid 6 kompozit malzemenin işlenebilirliği konusunda yapılan çalışmada, freze işlemi sonucundaki yüzey pürüzlülüğünü araştırmışlardır. En yüksek kesme hızına (500 m/dak) ve en düşük ilerleme hızında (0,20 mm/devir) yüzey pürüzlülüğünün en aza indirildiği tespit etmişlerdir.

Fıçıcı ve Ayparçası (2014), %30 cam fiber takviye fazlı Polipitilamit (PPA) matrisli kompozit malzemenin işlenebilirliği konusunda yapılan çalışmada, delme işlemindeki işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine olan etkisi karşılaştırmalı bir şekilde incelemiştir. Kesme hızı artışıyla yüzey pürüzlülüğünde azalma meydana geldiğini tespit etmişler. Kesme hızında en düşük yüzey pürüzlülüğü Karbür matkap ucunda elde edilirken, en yüksek yüzey pürüzlülüğü ise HSS matkap ucunda olduğu açıklamışlardır.

Palanikumar ve arkadaşları (2016), yaptıkları çalışmada cam elyaf takviyeli Polipropilen (CET/PP) kompozit malzemenin işlenebilirliği konusunda yapılan çalışmada delme işlemleri üzerindeki itme kuvvetini etkileyen parametreleri incelemiştir. İlerleme hızının ve matkap çapının artması, itme kuvvetlerinin artmasına yol açarken; devir artışında itme kuvvetlerinin herhangi bir etkisine rastlanmadığını tespit etmişlerdir.

Çizelge 2.4’de verilen tabloda literatür detaylı olarak incelendiğinde polimer matrisli elyaf takviyeli kompozitler için yapılan çalışmalarda; genellikle itme kuvveti, deformasyon faktörü ve yüzey kalitesi değerlerinin incelendiği görülmüştür. Fakat yapılan çalışmalar genellikle termoset kompozitler üzerine yoğunlaşmıştır. İşlenebilirlik açısından yapılan çalışmalarda termoplastik kompozit malzemeler üzerinde yapılan araştırmaların daha az olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra içerisine nanotüp ilave edilerek üretilmiş termoplastik polimer malzemeler üzerine yapılmış çalışmalara literatürde rastlanmamıştır. Bu sonuçlar dikkate alındığında, çalışma bu alandaki eksiklikleri gidermek amacıyla nanotüp ilave edilerek üretilmiş termoplastik polimer kompozitlerin delinebilirliği üzerine odaklanmıştır.



Çizelge 2.4. Literatür tablosu.

Kesme Parametreleri		Değerlendirme Kriterleri	
Kesme Hızı: Vc Devir: N İlerleme: f Kesici takım tipi: KT (HSS, karbür, Tungsten karbür WC) Matkap Uç açısı: MU Matkap boşluk açısı: MBA Matkap helis açısı: MHA Matkap çapı: D Fiber yönlendirme açısı: FYA		Kesme kuvvetleri: KK Yüzey pürüzlülüğü: YP Talaş oluşumu: TO Takım aşınması: TA Matkap ucu sıcaklığı: MS Delaminasyon faktörü: DF İtme kuvveti: İK Tork: T Matematik ve istatistiksel yöntemler: Mİ	
Kaynak	Malzeme	Deney Parametreleri	Değerlendirme Kriterleri
Panneerselvam ve Raghuraman, 2015	CETP/polyester reçine	N, f, D, HSS	DF, Mİ,
Khashaba vd., 2010a, 2010b	CETP/epoksi	V, f, D, MU, karbür	İK, DF, YP
Naveen vd., 2012	Hibrid kompozit	V, f, karbür	DF
Phadnis vd., 2013	KFTP/epoksi	f, TiN kaplı karbür	İK, T, DF
Zitoune vd., 2013	Karbon elyaf laminat/epoksi	N, f, MU, karbür	İK, T, DF, TO, YP
Grilo vd., 2013	KETP/epoksi reçine	N, f, MU, KT	DF
Turki vd., 2014	Karbon/epoksi	N, f, FYA, karbür	İK, DF
Kilickap, 2010	CETP/epoksi	Vc, f, MU, HSS	DF, Mİ
Rajamurugan vd., 2013	CET/polyester	N, f, FYA, D, KT	İK, DF
Palanikumar, 2011	CETP	N, f, ağaç matkabı	İK, DF, Mİ, YP
Nasir vd., 2015	Keten lifi takviyeli/epoksi	N, f, MU, WC	DF, Mİ,
Durão vd., 2010	Karbon fiber takviyeli	Vc, f, KT	İK, DF, YP
Karimi vd., 2013	CETP/epoksi	N, f, MU, HSS	İK, DF, Mİ,
Xu vd., 2014	KFTP/epoksi	N, f, FYA, PCD	İK, T, DF
Iliescu vd., 2010	KFTP/epoksi	N, f, MU, karbür	İK, TA
Karpat vd., 2012	KFTP/epoksi	N, f, FYA, MU, karbür	İK, DF
Krishnaraj vd., 2012	KFTP/epoksi	N, f, WC	İK, DF, Mİ
Henerichs vd., 2014	KFTP/epoksi	Vc, f, MB, MU, karbür	İK, TA
Madhavan ve Prabu, 2012	KFTP/epoksi	N, f, MHA, KT	İK, T, DF, TO, YP
Işık ve Ekici, 2010	CET/polyester	Vc, f, MU, karbür	DF, Mİ
Ali vd., 2013	CET/epoksi	Vc, f, D, HSS	İK, DF, YP, Mİ
Zhang vd., 2013	KETP/epoksi	N, f, FYA, WC-Co	İK, TA,
Shahrajabian ve Farahnakian, 2013	KFTP/epoksi	N, f, MU	İK, YP, Mİ
Ramesh vd., 2014	Hibrid kompozit	N, f, D, Karbür	İK, T, DF, YP
Herbert vd., 2014	KFTP/epoksi	N, f, D, MU, TiN	DF, Mİ
Rao ve Rodrigues, 2015	CET/polyester	N, f, D, HSS	YP, Mİ
Vinayagamoorthy vd., 2016	Hibrid kompozit	N, f, D, MU	DF, Mİ
Ghabezi ve Khoran, 2014	PVC köpük, cam kumaş/ polyester	N, f, D, HSS	DF
Debnath vd., 2014	Sisal elyaf takviyeli epoksi ve sisal elyaf takviyeli PP	N, f, Karbür	İK, T, TO,
Rubio vd., 2013	PA6 ve PA66-GF30	N, f, MU,	İK, Mİ
Uysal, 2015	PA ve karbon siyahı takviyeli PA	Vc, f, HSS	MS, TO
Uysal ve Altan, 2015	PP ve karbon siyahı takviyeli PP	Vc, f, MU, HSS	MS, TO, YP
Kuram, 2016	PA6 ve PA6-GF	N, f	İK, YP, TO, TA,
Zinati ve Razfar, 2014	Poliamid6/ÇDKNT	N,,	YP, Mİ
Vaxevanidis vd., 2016	PA66-GF30	Vc, f	YP, Mİ
Fıçıcı ve Ayarçası, 2014	%30 cam fiber takviye PPA	Vc, f, KT	YP
Palanikumar vd., 2016	CET/PP	N, f, D	İK, Mİ

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

#### 3.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler

##### 3.1.1. Poliamid 6 (PA6)

Deneysel çalışmalar da NYLEM® 6 koduyla, EMAŞ A.Ş. (Bursa/Türkiye) firmasından temin edilen ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplamaya uygun Poliamid 6 (PA6) polimeri kullanılmıştır. Poliamid 6 mekaniksel özellikleri Çizelge 3.1’de gösterilmiştir. Şekil 3.1’de poliamid 6 gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Poliamid 6 teknik özellikleri.

Özellik	Sonuç	Metot
Yoğunluğu g/cm <sup>3</sup>	1,12	ISO 1183
Viskozitesi (%96 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	2,40-2,80	ISO 307
Erime sıcaklığı °C	220	ISO 3146
Nem absorpsiyonu (23 °C, %50RH)	%2,50-3,50	ISO 62



Şekil 3.1. Poliamid 6 polimeri.

##### 3.1.2. Karbon elyaf (KE)

Katkı malzemesi olarak kullanılan kırılmış karbon elyaf (KE), AC 4101 ismi ile DOWAKSA İleri Kompozit Malzemeler Sanayi Ltd. Şti (Yalova/Türkiye) firmasından temin edilmiştir. Kullanılan karbon elyaf, 6 mm uzunluğunda ve poliamid bazlıdır. Bu malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.2’de gösterilmiştir. Şekil 3.2’de kırılmış karbon elyaf gösterilmektedir.





Şekil 3.2. Kırpılmış karbon elyaf.

Çizelge 3.2. Karbon elyafın fiziksel ve mekanik özellikleri.

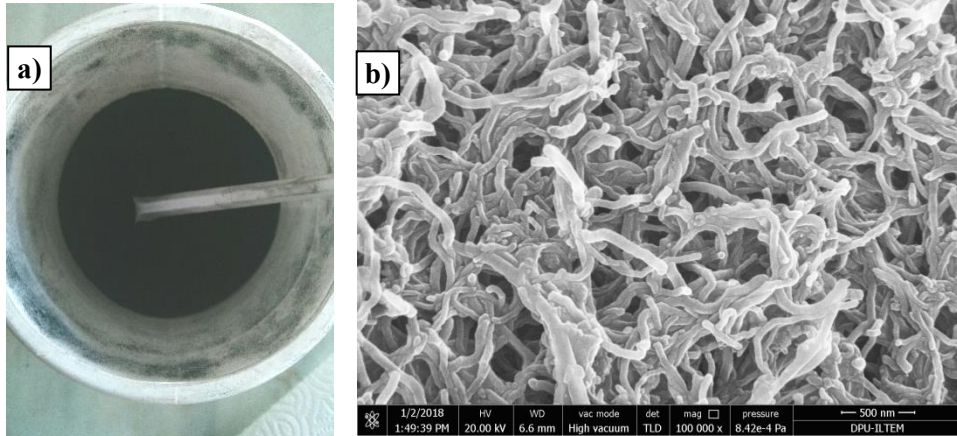
Özellik	Sonuç	Metot
Çekme mukavemeti MPa	4200	ISO 10618
Çekme modülü MPa	240	ISO 10618
Uzama (%)	1,8	ISO 10618
Yoğunluk g/m <sup>3</sup>	1,76	ISO 10119
Fiber boyu mm	6	
Reçine uyumu	Özel Termoplastik, PA ve PBT	
Tipik yığın yoğunluğu (6 mm kesim için) (G/l)	500	
Emülsiyon türü	Poliamid Bazlı	

### 3.1.3. Çok duvarlı karbon nanotüp (ÇDKNT)

Çalışmada Detsan A.Ş. (Türkiye) firmasından temin edilen çok duvarlı karbon nanotüp (ÇDKNT) kullanılmıştır. ÇDKNT, %97'den daha yüksek oranda saflığa sahiptir. Çizelge 3.3'te ise ÇDKNT katkıya ait firma tarafından verilen katalog bilgileri verilmiştir. Şekil 3.3'te çok duvarlı karbon nanotüp gösterilmektedir.

Çizelge 3.3. Çok duvarlı karbon nanotüpün teknik özellikleri.

ÇDKNT Dış çapı	<8 nm
ÇDKNT İç çapı	2-5 nm
ÇDKNNT Ash	<1,5 % ağırlıkça
ÇDKNT Saflığı	>95 % ağırlıkça
ÇDKNT Uzunluğu	10-30 µm
ÇDKNT Spesifik yüzey alanı	500 m <sup>2</sup> /g
ÇDKNT Elektriksel İletkenliği	>10 <sup>-2</sup> S/cm



Şekil 3.3. a) Çok duvarlı karbon nanotüp (ÇDKNT), b) ÇDKNT SEM görüntüsü.

## 3.2. Kompozit Malzemelerin Üretimi

### 3.2.1. Üretim süreci

Üretim çalışmalarının ilk aşaması kompozit oluşturan PA6 polimer matris malzemesi ile takviye malzemeleri olan KE ve ÇDKNT karışımlarının hazırlanmasıdır.

Belirtilen oranlarda tartılarak hazırlanan malzemeler özelliklerine göre iki farklı şekilde hazırlanmıştır. PA6 malzemesi yüksek nem tutma özelliği sebebiyle üretim öncesinde Nüve FN-120 model etüv fırınında 80 °C’de 4 saat boyunca kurutulmuştur (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. PA6 malzemesinin etüv fırınında kurutulması.

Kurutulan PA6 ve KE malzemelerinin karıştırılması kuru biçimde mekanik karıştırma yöntemi kullanılarak yapılmıştır. ÇDKNT ve PA6’nın karışımında ise maksimum ıslanma ve dağılıma için alkol esansı içinde hazırlanan ÇDKNT çözeltisi polimere eklenerek yine mekanik

karıştırma uygulanmış ve ardından alkolün etüv fırınında buharlaşması sağlanmıştır. Böylece her iki grup malzeme için oldukça homojen karışımlar elde edilmesine çalışılmıştır. Karıştırma süreçlerine ait görseller Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’da verilmiştir.



**Şekil 3.5.** PA6 ve kırık KE'nin karıştırılması.



**Şekil 3.6.** Alkol solüsyonlu ÇDKNT'ün ve PA6 ile karıştırılması.

Karışımı hazırlanan malzemeler daha sonra yine iki farklı ekstruder sürecinden geçirilerek nihai enjeksiyon üretimi için hazır kompozit malzeme haline getirilmişlerdir. İlk olarak karbon elyaf ile takviye edilen PA6 malzemesi ekstrude edilmiştir. KE ve PA6 karışımının ekstrüzyon süreci Gama-Alfa Plastik firmasında bulunan Coperion marka vida çapı 26 mm, L/D oranı 46 olan ve 11 ısı bölgeyi ekstruder de yapılmıştır. Şekil 3.7’de Ekstruder uç kalıbından çıkan malzemenin soğutulması ve ardından kırıcıda tekrar granül haline getirilmesi gösterilmektedir.



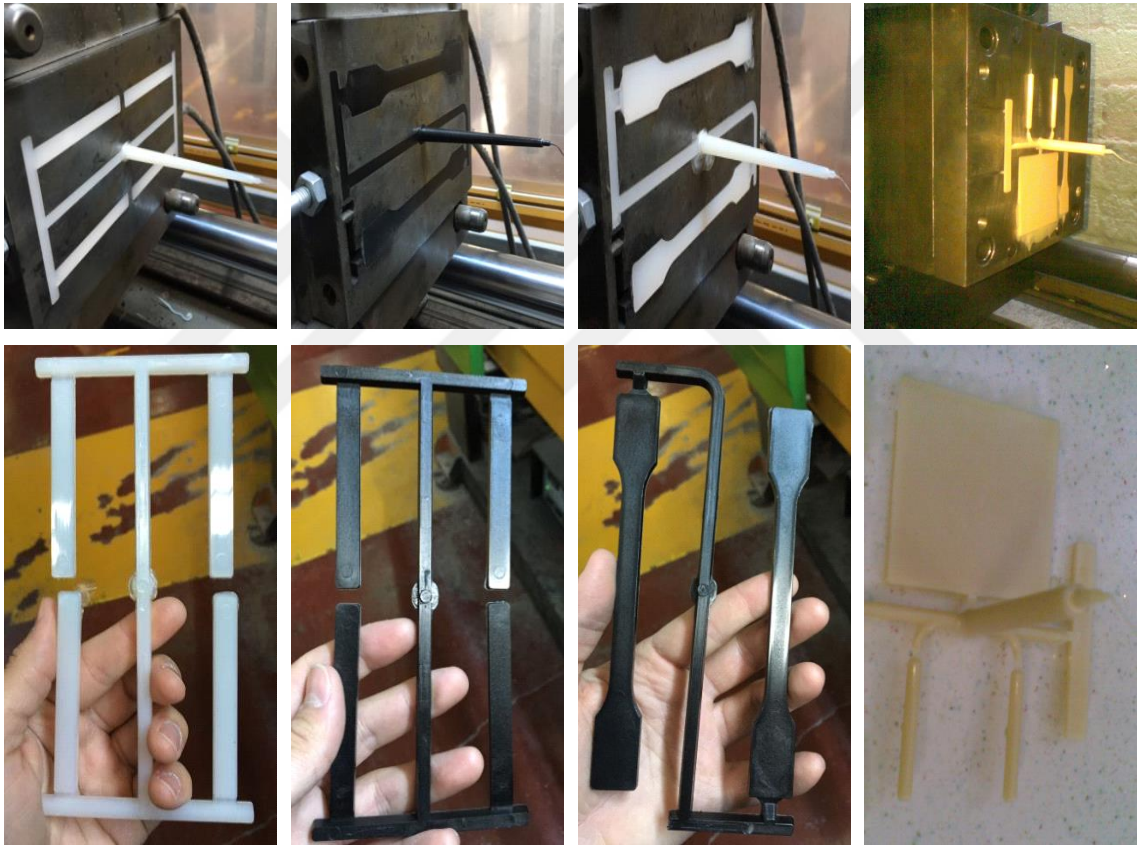
**Şekil 3.7.** Ekstruder uç kalıbından çıkan malzemenin soğutulması ve ardından kırıcıda tekrar granül haline getirilmesi.

ÇDKNT ve PA6 malzemelerinin karıştırılması ile hazırlanan malzemeler ise Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümündeki vida çapı 22 mm, L/D oranı 32 olan ve 6 ısı bölmeli eş dönen ikiz vidalı ekstruder de üretilmişlerdir (Şekil 3.8).



**Şekil 3.8.** ÇDKNT ve PA6 polimerinin kompozit olarak hazırlandığı ekstruder üretim süreci.

Ekstrüzyon cihazı ile yapılan ön üretimlerde gerek KE ve PA6 gerekse de ÇDKNT ve PA6'lı kompozitler enjeksiyon süreci için hazır hale getirilmiştir. Enjeksiyonda yapılan üretimlerde vidalı mil çevresinde ısıtılan polimer malzeme eriyerek yine vidalı mil sayesinde karıştırılmaktadır. Tekrar eriyen malzemenin kendi içinde bir kez daha karışması olası dengesiz kısımların dağıtılması ve homojenliğin artırılmasını sağlamaktadır. Makinenin ucundaki çıkış kanallarından kalıp içerisine itilen polimer malzeme burada kalıbın şeklini alarak istenen delme plakası olarak üretilmektedir. Şekil 3.9'da deney numunesi üretiminde kullanılan enjeksiyon kalıpları verilmiştir.

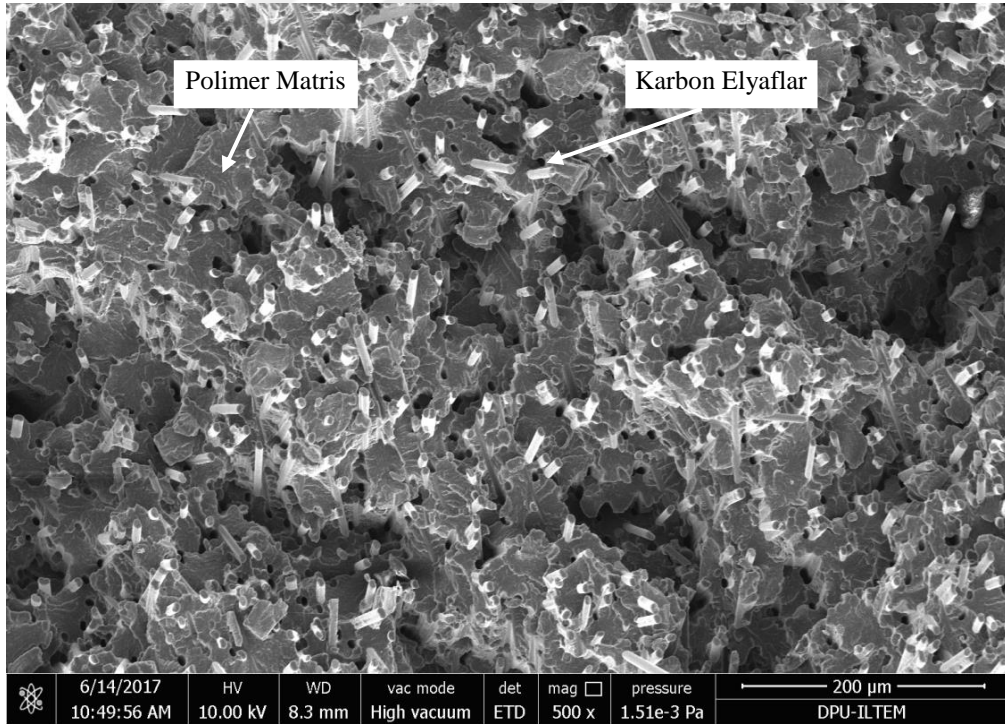


Şekil 3.9. Deney numunesi üretimleri.

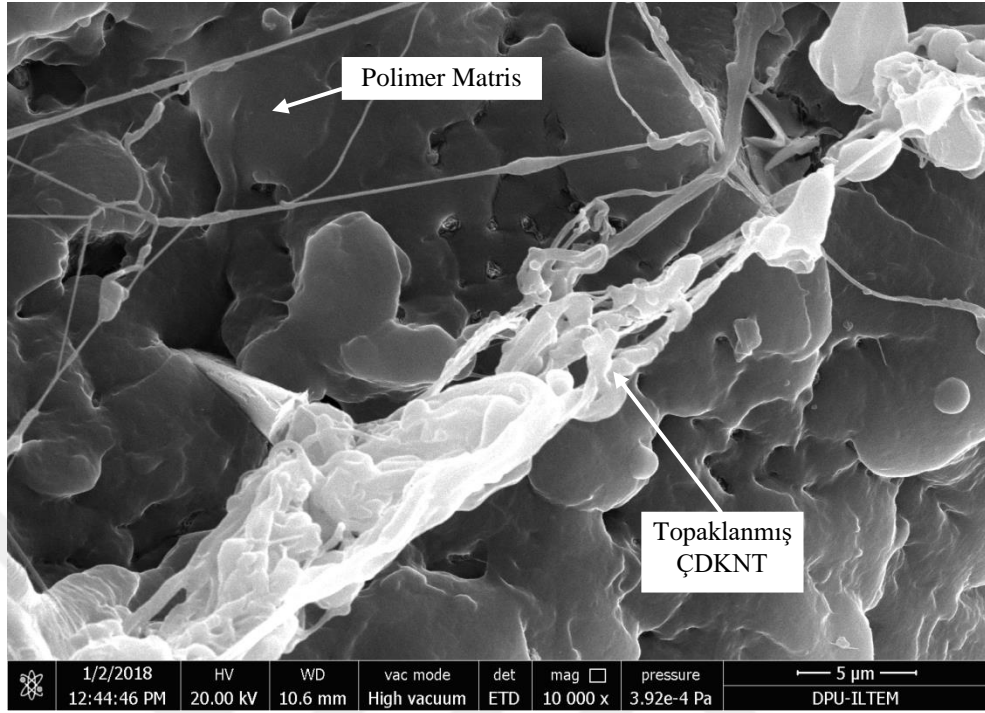
SEM görüntüleri Kütahya Dumlupınar Üniversitesi İleri Teknoloji Merkezinde alınmış olup kullanılan SEM cihazı Şekil 3.10'da verilmiştir. Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de üretilen numuneler içerisindeki katkı malzemelerine ait SEM görüntüleri verilmektedir Şekillerden de görüleceği üzere PA6 polimeri ve yapılan KE ile ÇDKNT katkıları iyi bir homojen karışım oluşturmuştur.



Şekil 3.10. SEM cihazı (KDPÜ İLTEM).



Şekil 3.11. PA6-KE karışımının SEM görüntüsü.



Şekil 3.12. PA6-ÇDKNT karışımı SEM görüntüsü.

### 3.2.2. Üretilen polimer türleri

Çizelge 3.4’te deneyler de kullanılan malzemeler ve kısaltmaları verilmiştir. Çalışmada PA6 polimeriyle, %10 KE katkılı (PA6+10KE), %20 KE katkılı (PA6+20KE), %30 KE katkılı (PA6+30KE), %0,1 ÇDKNT katkılı (PA6+%0,1ÇDKNT), %0,2ÇDKNT katkılı (PA6+%0,2ÇDKNT), %0,3ÇDKNT katkılı (PA6+%0,3ÇDKNT) kompozitler olmak üzere 7 farklı numune üretilmiştir.

Çizelge 3.4. Üretilen polimer türleri ve kısaltmaları.

Malzeme	Kısaltma
Poliamid 6	PA6
Poliamid 6+%10 Karbon elyaf	PA6+%10KE
Poliamid 6+%20 Karbon elyaf	PA6+%20KE
Poliamid 6+%30 Karbon elyaf	PA6+%30KE
Poliamid 6+%0,1 Çok duvarlı karbon nanotüp	PA6+%0,1ÇDKNT
Poliamid 6+%0,2 Çok duvarlı karbon nanotüp	PA6+%0,2ÇDKNT
Poliamid 6+%0,3 Çok duvarlı karbon nanotüp	PA6+%0,3ÇDKNT

### 3.3. İşlenebilirlik Deneyleri

#### 3.3.1. Kullanılan kesici takımlar

Delme deneylerinde 6 mm çapında HSS, karbür, kaplamalı karbür ve PCD matkaplar kullanılmıştır. Şekil 3.13’de kullanılan matkapların fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 3.13. a) HSS matkap, b) karbür matkap, c) kaplamalı karbür matkap, d) PCD matkap.

#### 3.3.2. Kullanılan CNC freze tezgahı

Üretilen katkısız PA6, KE ve ÇDKNT katkılı tüm polimer kompozitlerin delme deneyleri Simav Teknoloji Fakültesinde bulunan FANUC kontrol ünitesine sahip olan VMC-850B markalı CNC dik işleme merkezinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.14 ‘de CNC dik işleme merkezi gösterilmiştir. Tezgahın maksimum devir sayısı 8000 d/dk olup delme işlemleri kuru ortamda gerçekleştirilmiştir.



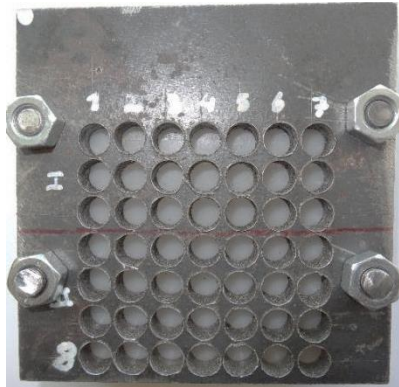


**Şekil 3.14.** CNC dik işleme merkezi.

Çizelge 3.5'te kullanılan CNC torna tezgahının özellikleri verilmiştir. Delme numunelerinin sabitlenmesi için geliştirilen aparat Şekil 3.15'te gösterilmiştir.

**Çizelge 3.5.** Kullanılan CNC dik işleme tezgahının özellikleri.

VMC 850B CNC FREZE	
X eksen (mm)	800
Y eksen (mm)	500
Z eksen (mm)	550
Tezgah gücü (kw)	7,5
Devir sayısı (dev./dak.)	8000
Hassasiyet (mm)	0,003
Magazin, takım bağlama kapasitesi	24
Kontrol paneli	Fanuc



**Şekil 3.15.** Bağlama aparatı.

### 3.3.3. Kesme parametreleri

Delme deneyleri farklı kesme hızı ilerleme ve matkap uçları kullanılarak yapılmıştır. Matkap malzemeleri olarak HSS, karbür, kaplamalı karbür ve PCD seçilmiştir. Bu parametreler Çizelge 3.6'da verilmiştir. Kesme parametrelerinin seçiminde kesici takım sağlayıcılarının önerileri ve literatür değerler dikkate alınmıştır.

**Çizelge 3.6.** Delme deneylerinde kullanılan parametreler ve seviyeleri.

Deney Parametreleri	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
Kesme hızı (m/dak)	40	70	100	130
İlerleme (mm/dev)	0,1	0,2	0,3	0,4
Matkap malzemesi	HSS	Karbür	K. karbür	PCD

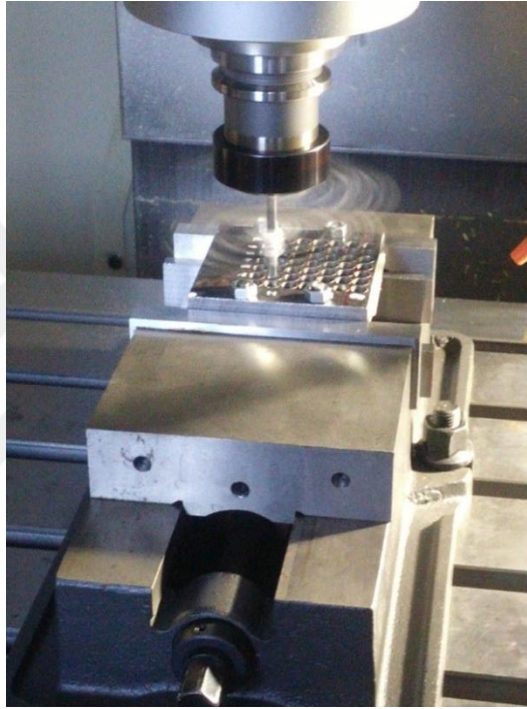
Delme deneyleri için L16 ortogonal deneysel tasarım yapılmış olup deney parametrelerinin işlenebilirlik üzerine olan etkilerinin tespit edilmesinde Taguchi metodu kullanılmıştır. Çizelge 3.7'de L16 deneysel tasarım verilmiştir.

**Çizelge 3.7.** L16 ortogonal tasarım.

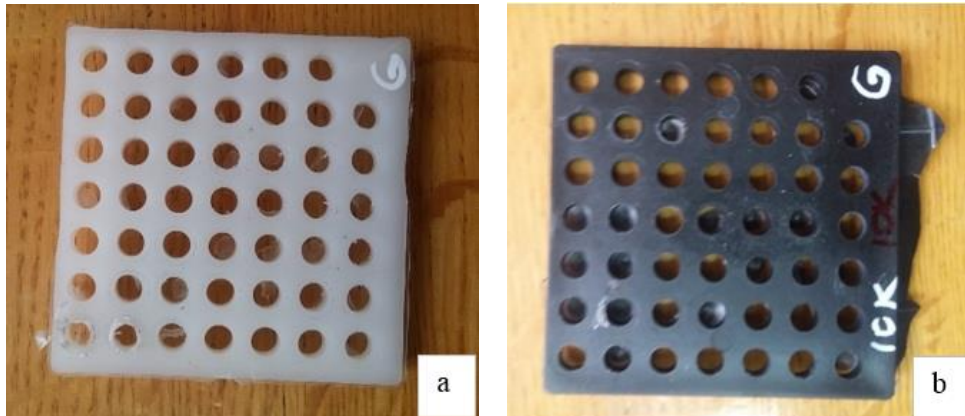
Deney No	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Matkap Malzemesi
1	40	0,1	HSS
2	40	0,2	Karbür
3	40	0,3	K. karbür
4	40	0,4	PCD
5	70	0,1	Karbür
6	70	0,2	HSS
7	70	0,3	PCD
8	70	0,4	K. karbür
9	100	0,1	K. karbür
10	100	0,2	PCD
11	100	0,3	HSS
12	100	0,4	Karbür
13	130	0,1	PCD
14	130	0,2	K. karbür
15	130	0,3	Karbür
16	130	0,4	HSS

### 3.3.4. Delme deneyleri

Üretilen katkısız PA6, KE ve ÇDKNT katkılı yedi farklı polimer kompozitlerin delme deneyleri dört farklı seviyede kesme hızı, ilerleme ve matkap uçları kullanılarak CNC dik işleme merkezinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.16'da CNC dik işleme merkezinde delme deneyleri yapılırken çekilen fotoğraf görülmektedir. Şekil 3.17'de delme deneyleri yapılmış olan malzemeler görülmektedir.



Şekil 3.16. Delme deneylerinin yapılışı.



Şekil 3.17. Delinmiş kompozit malzemeler: a) katkısız PA6, b) %10 KE katkılı PA6.

### 3.3.5. Yüzey pürüzlülüklerinin ölçülmesi

İşlenebilirlik üzerine yapılan çalışmalarda elde edilen en önemli veriler yüzey pürüzlülüğüdür. Kesme parametreleri ve matkap malzemeleri ile yapılan deneyler sonucunda tespit edilen yüzey pürüzlülükleri için en düşük sonuçlar optimum kesme şartları olarak belirlenebilir. Deneyler sonucunda delik iç duvarlarının pürüzlülüklerinin ölçülmesinde TIME TR 200 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bu cihazın teknik özellikleri Çizelge 3.8’de verilmiştir. Şekil 3.18’de yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı görülmektedir.

**Çizelge 3.8.** Kullanılan yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri.

Model	TIME TR 200
Tarama hızı	1 mm/sn.
Standartlar	ISO/DIN/JIS/ANSI
İğne uç yarıçapı	5 µm
Ölçüm aralıkları	0,02-160 µm
Filtre	RC, PC-RC, GAUSSIAN, D-P
Örnekleme uzunluğu (Cut-off length) ( $\lambda$ )	0,25-0,8-2,5 (mm)
Ölçülebilen parametreler	Ra, Rz, Ry, Rq, Rt, Rp, Rmax, Rm, R3z, S, Sm, Sk,
Dil	Seçilebilir farklı dil
Güç kaynağı	Entegre, Li-Ion şarj edilebilir pil
Prob	TS100 Elmas, radyüs:5 µm



**Şekil 3.18.** TIME TR200 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı.

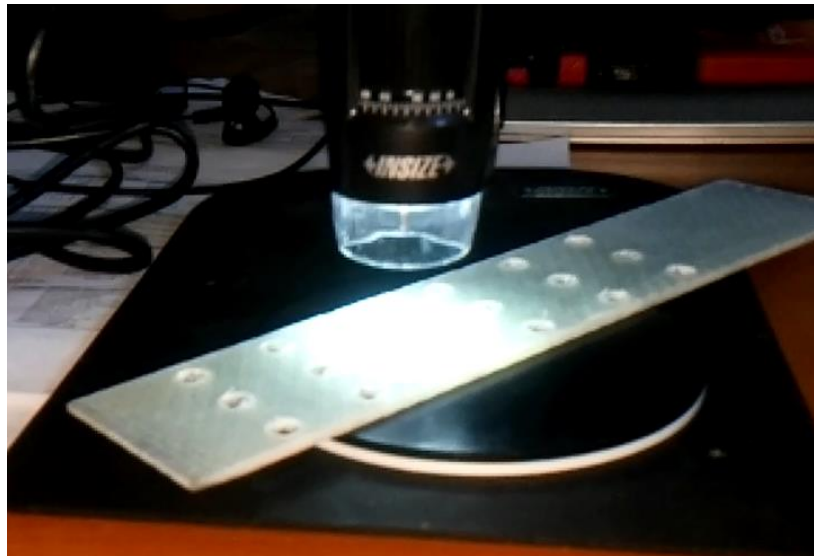
### 3.3.6. Yüzey deformasyonlarının ölçülmesi

Yüzey deformasyonlarının tespit edilmesinde delik giriş ve çıkış yüzeylerinin optik görüntüleri alınmıştır. Görüntülerin alınmasında INSIZE marka optik mikroskop kullanılmıştır. Şekil 3.19’da optik mikroskop görülmektedir.

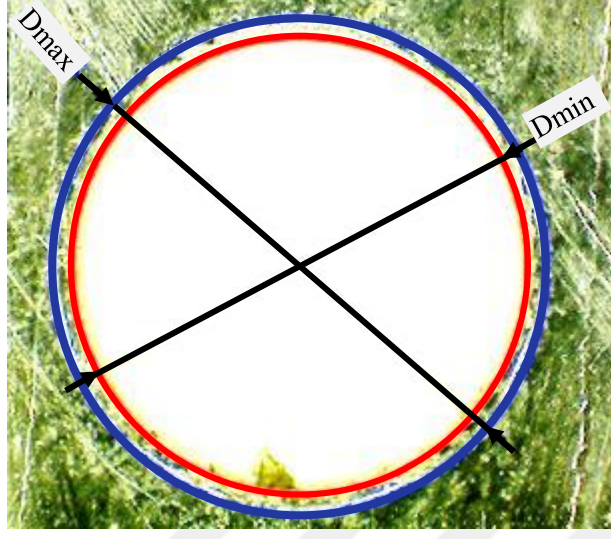


Şekil 3.19. INSIZE optik mikroskop.

Şekil 3.20’de malzeme üzerine delinen deliklerin giriş-çıkış deformasyonların ölçülmesi görülmektedir. Şekil 3.21’de optik mikroskop ile alınan görüntü üzerinden deformasyon faktörünün bulunması gösterilmiştir.



Şekil 3.20. Optik mikroskop ile görüntü alınması.



Şekil 3.21. Görüntü üzerinden deformasyon faktörünün bulunması.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Delme deneyleri yapıldıktan sonra numuneler üzerinde yapılan yüzey pürüzlülüğü ve giriş-çıkış deformasyon faktörü ölçümlerine ait bulgulara bu bölümde yer verilmiştir. Sonuçlar % KE ve % ÇDKNT katkılı olmak üzere iki başlık altında detaylandırılmıştır. Bu iki başlık altında matkap malzemelerine göre ikincil bir sınıflandırma yapılarak sonuçların daha iyi anlaşılması amaçlanmıştır.

### 4.1. KE Katkılı PA6 Kompozit Numuneler

Tamamlanan delme deneylerinden sonra numuneler üzerinden yapılan yüzey pürüzlülüğü ve giriş-çıkış deformasyon faktörü ölçümlerine ait bulgular aşağıda verilmiştir.

#### 4.1.1. HSS matkap ile elde edilen Ra ve deformasyon sonuçları

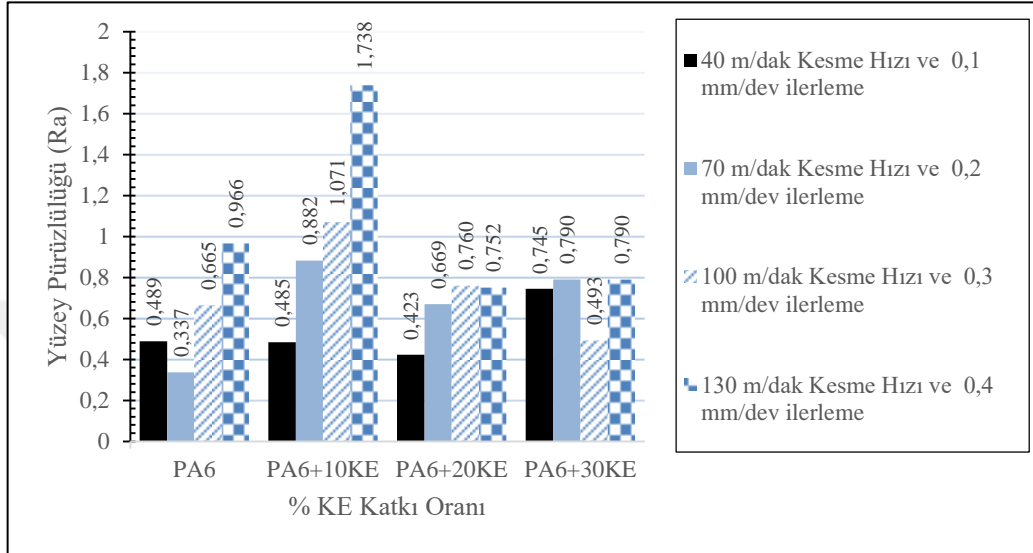
Çizelge 4.1’de HSS matkap ile yapılan deneylerde değişen % KE katkı oranının yüzey pürüzlülüğü ve giriş-çıkış deformasyonlarına ait sonuçlar verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** HSS matkaba ait yüzey pürüzlülüğü ve giriş-çıkış deformasyon sonuçları.

Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Malzeme ve Katkı Oranı	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)	Giriş Def. Faktörü	Çıkış Def. Faktörü
40	0,1	PA6	0,48900	1,04737	1,06369
40	0,1	PA6+%10KE	0,48450	1,02350	1,03000
40	0,1	PA6+%20KE	0,42267	1,01975	1,02008
40	0,1	PA6+%30KE	0,74467	1,02878	1,33650
70	0,2	PA6	0,33700	1,03686	1,06055
70	0,2	PA6+%10KE	0,88200	1,02748	1,03325
70	0,2	PA6+%20KE	0,66933	1,02248	1,02845
70	0,2	PA6+%30KE	0,79000	1,03466	1,03504
100	0,3	PA6	0,66533	1,02320	1,03507
100	0,3	PA6+%10KE	1,07067	1,02861	1,01624
100	0,3	PA6+%20KE	0,76033	1,02410	1,02052
100	0,3	PA6+%30KE	0,49300	1,03478	1,03023
130	0,4	PA6	0,96600	1,01696	1,02300
130	0,4	PA6+%10KE	1,73800	1,02125	1,02436
130	0,4	PA6+%20KE	0,75167	1,03060	1,02629
130	0,4	PA6+%30KE	0,79000	1,03953	1,03810

Elde edilen bulgulara göre kesme parametreleri sabit tutulup sadece % KE katkı oranlarının etkisi incelendiğinde sonuçların her deney grubu için farklılaştığı görülmüştür. Örneğin 40 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme için yüzey pürüzlülüğü katkısız PA6 için

0,489 iken %20 KE katkı oranına gelindiğinde 0,423'e düşmekte fakat %30 KE katkı oranında ise tekrar 0,745'e yükselmektedir. HSS matkap bazında tüm kesme parametrelerinin % KE katkısına göre Ra üzerindeki etkisinin gösterildiği grafik Şekil 4.1'de verilmiştir.



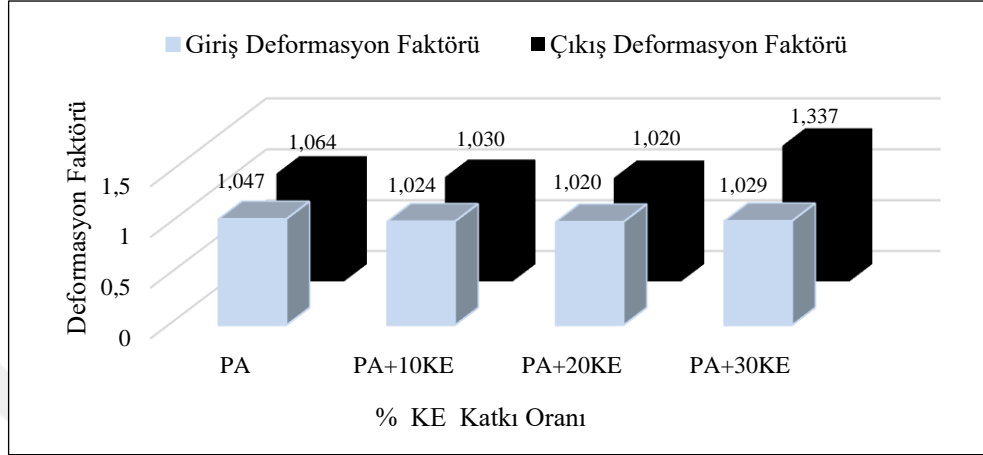
Şekil 4.1. HSS matkap malzemesi ile işlemede artan KE değerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi.

Tüm delme parametreleri ve ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri incelendiğinde benzer azalma ve artma eğilimleri işleme gruplarının tamamında göze çarpmaktadır. 70 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerleme için yüzey pürüzlülüğü katkısız PA6 için 0,337 iken %10 KE ilavesinde 0,882'ye yükselmiş; %20KE ilavesinde 0,669'a düşmüş ve %30 KE ilavesinde tekrar 0,790'a yükselmiştir. 100 m/dak kesme hızı ve 0,3 mm/dev ilerleme için yüzey pürüzlülüğünde önce artış daha sonra azalma eğilimi tespit edilmiştir, yine 130 m/dak kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerleme için yüzey pürüzlülüğünde önce artış daha sonra azalma tespit edilmiştir. Bu düzensizliklerin kompozitin anizotropik yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Genel olarak artan ilerleme ile tüm gruplarda Ra değeri artış eğilimi göstermiştir.

Giriş-çıkış deformasyonu ölçümlerinde de benzer sonuçlar tespit edilmiştir. Parametrelerden 40 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme için %20 KE ilavesinde hem giriş hem de çıkış deformasyonlarında azalma tespit edilmiştir. 40 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme için giriş-çıkış deformasyonlarındaki değişimin grafiksel gösterimi Şekil 4.2'de verilmiştir. Diğer parametrelere ait grafikler bilgi yoğunluğu oluşmaması için grafik olarak verilmemiştir. Diğer parametrelere göre gözlemlenen giriş-çıkış deformasyonu değişimleri sırasıyla; 70 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerleme ve %20 KE ilavesi için hem giriş hem de çıkış deformasyonlarında azalma; 100 m/dak kesme hızı ve 0,3 mm/dev ilerleme için %20 KE ilavesinde giriş deformasyonunda artış, çıkış deformasyonunda azalma; 130 m/dak kesme hızı



ve 0,4 mm/dev ilerleme için tüm % KE katkı oranlarında hem giriş hem de çıkış deformasyonlarında artış şeklinde oluşmuştur.



**Şekil 4.2.** 40 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme için giriş-çıkış deformasyon faktörünün karşılaştırılması.

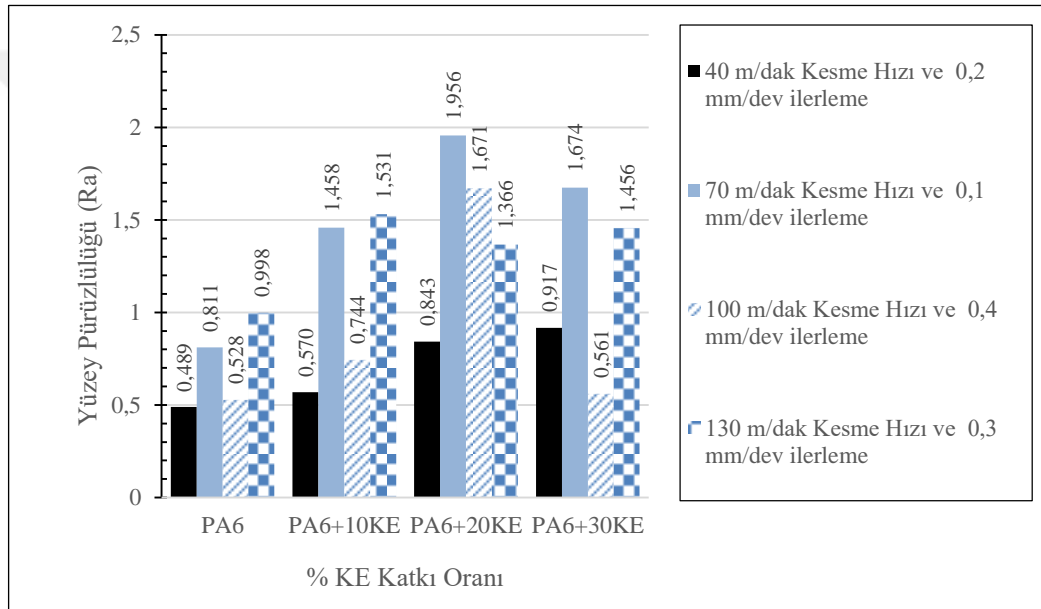
#### 4.1.2. Karbür matkap ile elde edilen Ra ve deformasyon sonuçları

Çizelge 4.2’de Karbür matkaba ile yapılan deneylerde değişen % KE katkı oranının yüzey pürüzlülüğü ve giriş-çıkış deformasyonlarına ait sonuçlar verilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Karbür matkaba ait yüzey pürüzlülüğü ve giriş-çıkış deformasyon sonuçları.

Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Malzeme ve Katkı Oranı	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)	Giriş Def. Faktörü	Çıkış Def. Faktörü
40	0,2	PA6	0,48900	1,04737	1,06369
40	0,2	PA6+%10KE	0,56950	1,01797	1,00909
40	0,2	PA6+%20KE	0,84300	1,01542	1,01560
40	0,2	PA6+%30KE	0,91700	1,00986	1,01280
70	0,1	PA6	0,81067	1,01372	1,02400
70	0,1	PA6+%10KE	1,45800	1,01966	1,03991
70	0,1	PA6+%20KE	1,95600	1,03129	1,01828
70	0,1	PA6+%30KE	1,67367	1,06615	1,01706
100	0,4	PA6	0,52800	1,01612	1,00714
100	0,4	PA6+%10KE	0,74400	1,01805	1,01359
100	0,4	PA6+%20KE	1,67050	1,01815	1,01553
100	0,4	PA6+%30KE	0,56100	1,01824	1,01559
130	0,3	PA6	0,99800	1,01158	1,02069
130	0,3	PA6+%10KE	1,53100	1,02082	1,03338
130	0,3	PA6+%20KE	1,36600	1,03916	1,01769
130	0,3	PA6+%30KE	1,45567	1,02075	1,00836

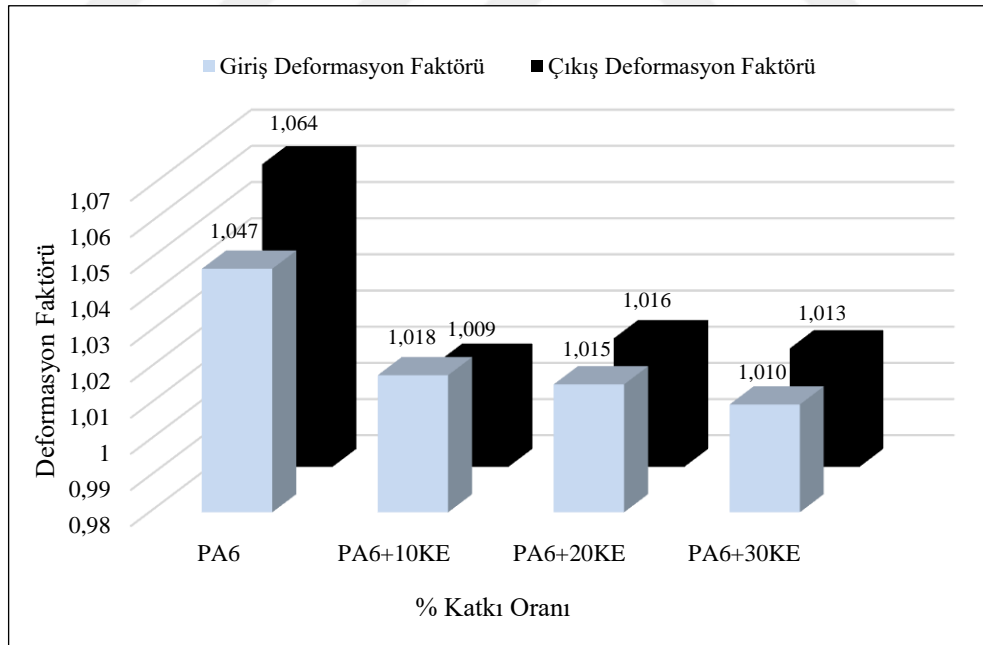
Karbür matkap ile yapılan deneylerde PA6 polimerine yapılan KE ilavesinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi incelendiğinde artan % KE ilavesinin tüm deney gruplarında olumsuz etki yaptığı görülmüştür. Örneğin 40 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerleme için yüzey pürüzlülüğü katkısız PA6 için 0,489 iken %20KE oranına gelindiğinde 0,843'e ve %30 KE ilavesinde 0,917'ye kadar yükselerek yüzey pürüzlülüğünde %87 oranında artış meydana getirmiştir. Karbür matkap bazında tüm kesme parametrelerinin ve artan % KE'nin Ra üzerindeki etkisinin gösterildiği grafik Şekil 4.3'te verilmiş olup katkısız PA6'ya kıyasla yaşanan yüzey pürüzlülüğü artışı grafikteki yükselme eğiliminden de görülmektedir.



**Şekil 4.3.** Karbür matkap malzemesi ile işlemede artan KE değerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi.

Diğer delme parametrelerine göre ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri incelendiğinde de artış tespit edilmiştir. 70 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme için yüzey pürüzlülüğü katkısız PA6 için 0,811 iken %20 KE ilavesinde 1,956'ya kadar yükselmiş; %30 KE ilavesinde 1,674'e düşmüş olsa da katkısız PA6'ya kıyasla %100'den fazla bir artış olduğu hesaplanmıştır. Yine 100 m/dak kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerleme için yüzey pürüzlülüğünde önce artış daha sonra azalma tespit edilmiş fakat bulunan değer katkısız PA6'nın altına inememiştir. 130 m/dak kesme hızı ve 0,3 mm/dev ilerleme için yüzey pürüzlülüğünde de açık bir artış bulunmuştur. KE katkısının Karbür matkap bazında yapılan incelemesinde Ra değerinin oranları değişse de sürekli arttığı bu gruptaki delme operasyonlarının nihai sonucudur.

Giriş-çıkış deformasyonu ölçümlerindeki sonuçlar inişli çıkışlı olsa da hem giriş hem de çıkış deformasyonlarının genel eğilimi azalma yönündedir. Örneğin, 40 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerleme için katkısız PA6'nın deformasyon faktörü 1,047 iken %30 KE katkı oranına kadar sürekli bir azalma ile 1,010 değerine düşmüştür. Aynı eğilim 1,064'ten 1,013'e inen çıkış deformasyon faktöründe de gözlemlenmiştir. Bir diğer grup olan 70 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme için giriş deformasyon faktörü sürekli artarken, çıkış deformasyonu ise %30 katkı oranlarında azalmıştır. Diğer parametreler olan 100 m/dak kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerleme için hem giriş hem de çıkış deformasyonu artmıştır. 130 m/dak kesme hızı ve 0,3 mm/dev ilerleme için giriş deformasyon faktörü artarken çıkış deformasyon faktöründe azalma tespit edilmiştir. Bu düzensizliklerin kompozitin anizotropik yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. 40 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerleme için hesaplanan deformasyon faktörü değişimine ait grafik Şekil 4.4'te verilmiştir. Diğer grafikler bilgi yoğunluğu oluşmaması adına verilmemiştir. Buradan % KE katkı oranının Karbür matkap kullandığında giriş-çıkış deformasyon faktörleri açısından olumlu etki yaparak azalma yönünde olduğu sonucuna varılmıştır.



**Şekil 4.4.** 40 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerleme için giriş-çıkış deformasyon faktörünün karşılaştırılması.

#### 4.1.3. Kaplamalı karbür matkap ile elde edilen Ra ve deformasyon sonuçları

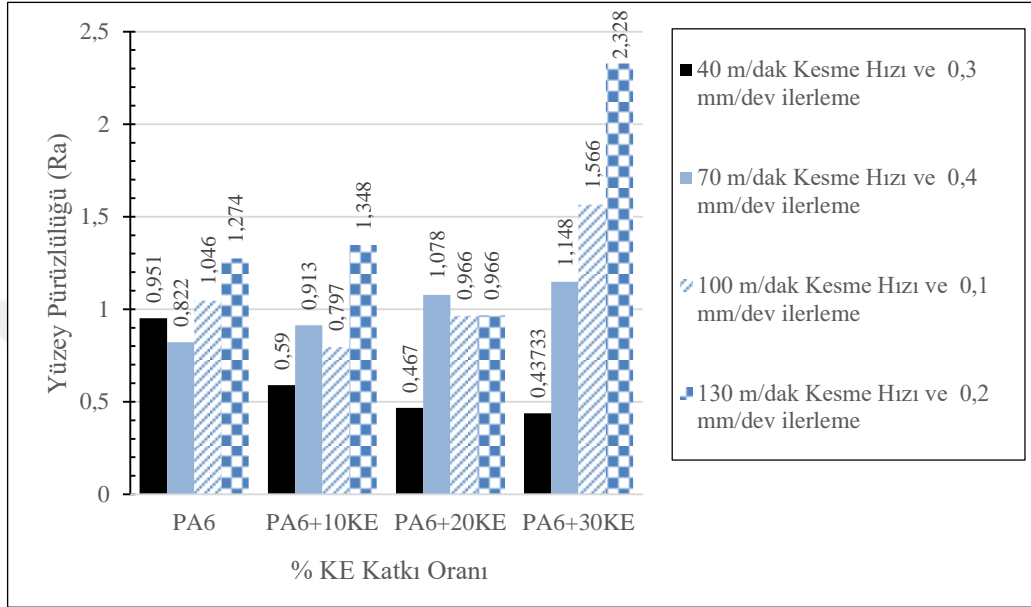
Çizelge 4.3'te K. karbür matkap ile yapılan deneylerde değişen % KE katkı oranının yüzey pürüzlülüğü ve giriş-çıkış deformasyonlarına ait sonuçları verilmiştir.

**Çizelge 4.3.** K. karbür matkaba ait yüzey pürüzlülüğü ve giriş-çıkış deformasyon sonuçları.

Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Malzeme ve Katkı Oranı	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)	Giriş Def. Faktörü	Çıkış Def. Faktörü
40	0,3	PA6	0,95100	1,01496	1,03658
40	0,3	PA6+%10KE	0,59000	1,01376	1,01973
40	0,3	PA6+%20KE	0,46700	1,01765	1,01595
40	0,3	PA6+%30KE	0,43733	1,01031	1,01786
70	0,4	PA6	0,82200	1,01879	1,02451
70	0,4	PA6+%10KE	0,91300	1,01942	1,01518
70	0,4	PA6+%20KE	1,07800	1,01940	1,02089
70	0,4	PA6+%30KE	1,14767	1,01443	1,01841
100	0,1	PA6	1,04600	1,03298	1,04669
100	0,1	PA6+%10KE	0,79650	1,01772	1,01804
100	0,1	PA6+%20KE	0,96600	1,01893	1,01287
100	0,1	PA6+%30KE	1,56567	1,00761	1,01769
130	0,2	PA6	1,27400	1,02148	1,02772
130	0,2	PA6+%10KE	1,34750	1,02335	1,01880
130	0,2	PA6+%20KE	0,96633	1,03392	1,01537
130	0,2	PA6+%30KE	2,32767	1,01503	1,01768

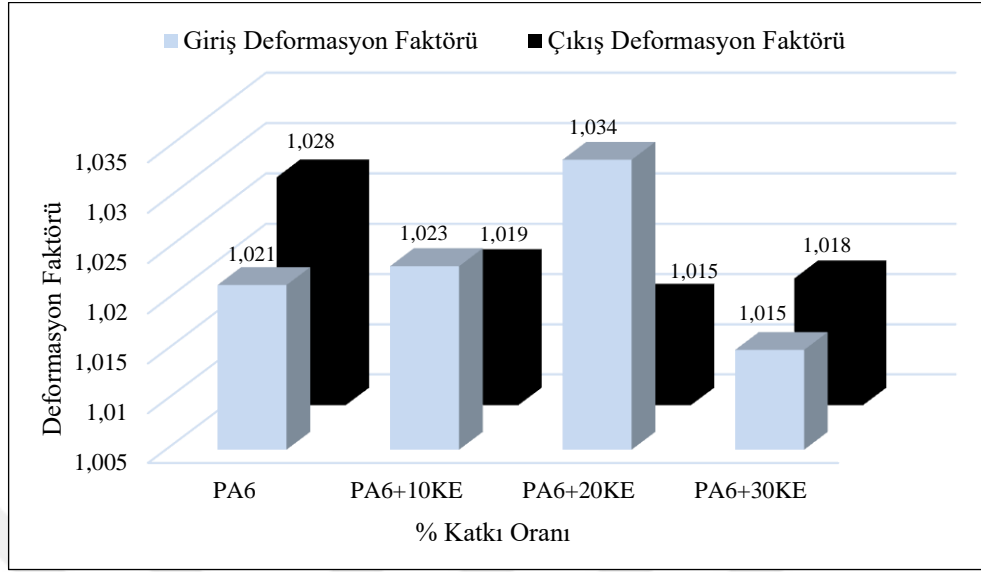
Sabit kesme parametreleri ışığında elde edilen deneysel bulgulara göre % KE oranının değişimi yüzey pürüzlülüğü açısından her deney grubu için farklı sonuçlar ortaya koymuştur. Örneğin, 40 m/dak kesme hız ve 0,3 mm/dev ilerlemede yüzey pürüzlülüğü tüm % KE katkı oranlarında azalarak %30 KE'ye ulaşıldığında 0,951'den 0,437'ye inmiş ve %50'den fazla iyileşme sağlanmıştır. Fakat 70 m/dak kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerlemede yüzey pürüzlülüğü değeri 0,822'den ağırlıkça %30 KE ilavesinde 1,148'e çıkarak yaklaşık %39 oranında kötüleşmiştir. Kesme parametreleri 100 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme olarak seçilip PA6'ya ağırlıkça %10 KE ilavesi yapıldığında tekrar %23 iyileşme gözlemlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirildiği son deney grubu olan 130 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerlemede %20 KE ilavesinde yaklaşık %24 iyileşme sağlanmıştır. 130 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerlemede %30 KE ilavesinde yüzey pürüzlülük 2,32'nin değerinin sebebinin malzeme

üretiminden kaynaklanan topaklanma ve ıslanma (PA6'nın KE sarması) sorunu olduğu düşünülmektedir. Kaplamalı Karbür matkap bazında tüm kesme parametrelerinin ve artan % KE katkısının Ra üzerindeki etkisinin gösterildiği grafik Şekil 4.5'de verilmiştir.



**Şekil 4.5.** K. karbür matkap malzemesi ile işlemede artan KE değerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi.

Giriş-çıkış deformasyonları açısından yapılan incelemelerde hem giriş hem de çıkış deformasyon faktörleri farklı farklı % KE katkı oranlarında da olsa azalma eğilimi göstermiştir. Bu azalma değerleri; 40 m/dak kesme hızı ve 0,3 mm/dev ilerlemede giriş deformasyonu için %30KE ilavesinde 1,014'ten 1,010'a ve çıkış deformasyonu için %20 KE ilavesinde 1,036'dan 1,015'e olmuştur. Benzer biçimde diğer tespitleri aktarırsak; 70 m/dak kesme hız ve 0,4 mm/dev ilerlemede giriş deformasyonu için %30KE ilavesinde 1,018'den 1,014'e ve çıkış deformasyonu için %10 KE ilavesinde 1,024'ten 1,015'e; 100 m/dak kesme hız ve 0,1 mm/dev ilerlemede giriş deformasyonu için %30KE ilavesinde 1,032'den 1,007'ye ve çıkış deformasyonu için %20 KE ilavesinde 1,046'dan 1,012'ye; 130 m/dak kesme hız ve 0,2 mm/dev ilerlemede giriş deformasyonu için %30 KE ilavesinde 1,021'den 1,015'e ve çıkış deformasyonu için %20 KE ilavesinde 1,027'den 1,015'e şeklindedir. Parametrelerden 130 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerleme için hesaplanan deformasyon faktörü değişimine ait grafik Şekil 4.6'da verilmiştir. Diğer grafikler bilgi yoğunluğu oluşmaması adına verilmemiştir. Buradan K. karbür matkap kullandığında artan % KE katkı oranının deformasyon faktörleri açısından olumlu etki yaparak deformasyonu azalttığı sonucuna varılmıştır.



**Şekil 4.6.** 130 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerleme için giriş-çıkış deformasyon faktörünün karşılaştırılması.

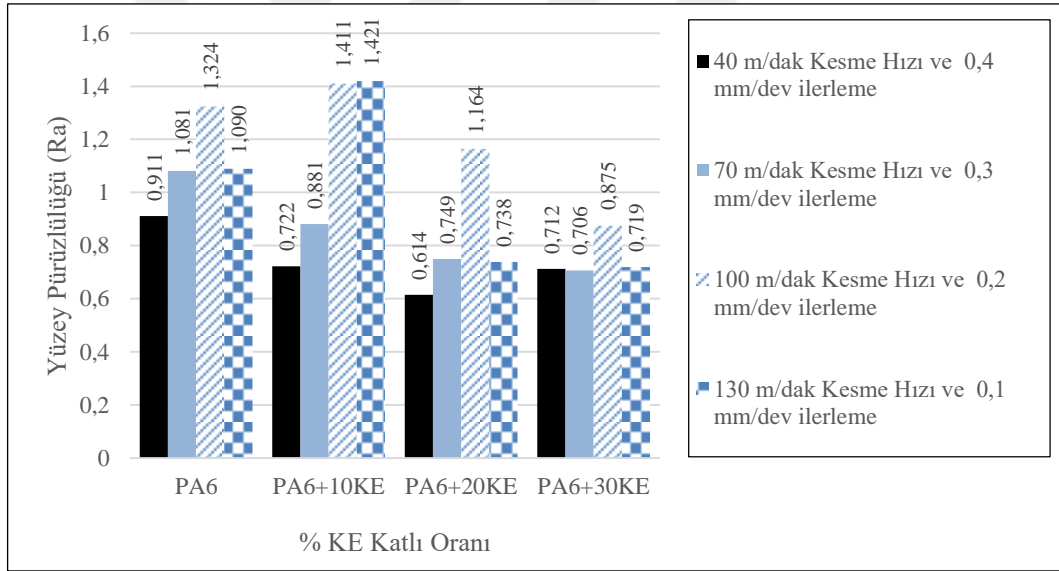
#### 4.1.4. PCD matkap ile elde edilen Ra ve deformasyon sonuçları

Çizelge 4.4'te PCD matkap ile yapılan deneylerde değişen % KE katkı oranının yüzey pürüzlülüğü ve giriş-çıkış deformasyonlarına ait sonuçlar verilmiştir.

**Çizelge 4.4.** PCD matkaba ait yüzey pürüzlülüğü ve giriş-çıkış deformasyon sonuçları.

Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Malzeme ve Katkı Oranı	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)	Giriş Def. Faktörü	Çıkış Def. Faktörü
40	0,4	PA6	0,91100	1,01656	1,02803
40	0,4	PA6+10KE	0,72200	1,01844	1,01944
40	0,4	PA6+20KE	0,61433	1,02877	1,02807
40	0,4	PA6+30KE	0,71167	1,01737	1,01549
70	0,3	PA6	1,08100	1,01963	1,02793
70	0,3	PA6+10KE	0,88100	1,01919	1,01857
70	0,3	PA6+20KE	0,74933	1,01995	1,01894
70	0,3	PA6+30KE	0,70567	1,02260	1,01553
100	0,2	PA6	1,32433	1,02259	1,02944
100	0,2	PA6+10KE	1,41050	1,01532	1,01946
100	0,2	PA6+20KE	1,16433	1,02521	1,01342
100	0,2	PA6+30KE	0,87500	1,01739	1,01192
130	0,1	PA6	1,08950	1,02078	1,04093
130	0,1	PA6+10KE	1,42050	1,01644	1,03857
130	0,1	PA6+20KE	0,73833	1,01910	1,01511
130	0,1	PA6+30KE	0,71933	1,01355	1,01991

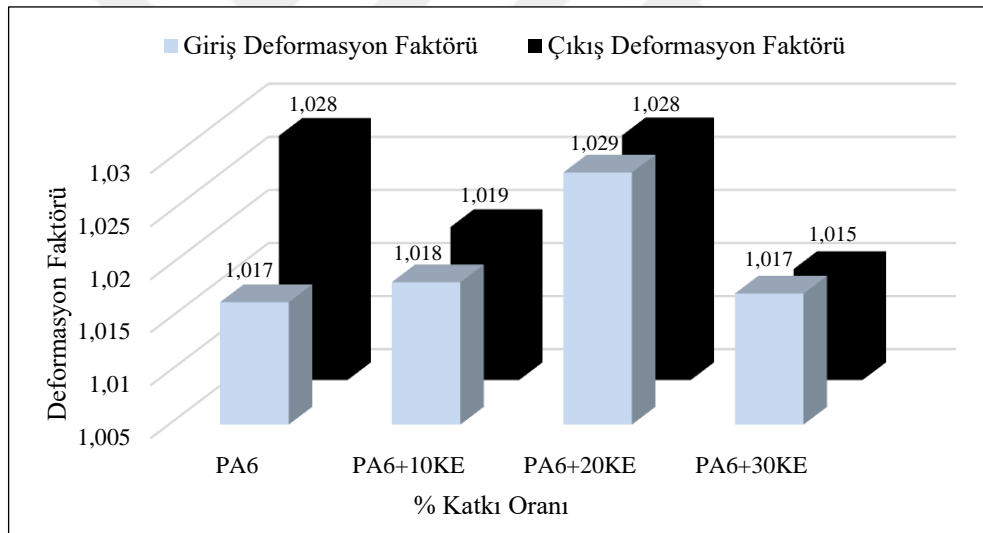
Elde edilen bulgulara göre PCD matkap ve sabit kesme parametrelerinde yapılan delme deneylerinde % KE oranının artması yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumlu etki yaparak azalmasını sağlamıştır. Parametrelerden 40 m/dak kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerleme için yüzey pürüzlülüğü katkısız PA6 için 0,911 iken %20 KE oranına gelindiğinde 0,614'e düşmüş, 70 m/dak kesme hızı ve 0,3 mm/dev ilerleme için yüzey pürüzlülüğü katkısız PA6 için 1,081 iken %30 KE oranına gelindiğinde 0,706'a düşmüş, 100 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerleme için yüzey pürüzlülüğü katkısız PA6 için 1,324 iken %30 KE oranına gelindiğinde 0,875'e düşmüş ve son olarak 130 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme için yüzey pürüzlülüğü katkısız PA6 için 1,089 iken %30KE oranına gelindiğinde 0,719'a düşmüştür. Yüzey pürüzlülüğündeki iyileşme oranları sırasıyla; %32, %34, %33 ve %33 olarak hesaplanmıştır. PCD matkap bazında artan % KE ilavesinin Ra üzerindeki etkisinin grafik dökümü ise Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7. PCD matkap malzemesi ile işlemede artan KE değerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi.

Elde edilen bulgulara göre PCD matkap ve sabit kesme parametrelerinde yapılan delme deneylerinde % KE oranının artması giriş deformasyonu açısından olumsuz etki yaparken çıkış deformasyonlarının tamamında olumlu etki yapmıştır. Parametrelerden 40 m/dak kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerleme için giriş deformasyonu katkısız PA6 için 1,016 iken %30 KE oranına gelindiğinde 1,017'ye yükselmiştir ki bu değer katkısız PA6'dan sonraki en düşük deformasyon değeridir. Benzer biçimde, 70 m/dak kesme hızı ve 0,3 mm/dev ilerleme için giriş deformasyonu katkısız ve katkılı PA6 için oldukça yakın çıkarak 1,019 değerinde sabit kalmıştır. Bu iki parametrenin çıkış ve diğer tüm parametrelerin hem giriş hem çıkış

deformasyonları azalma yönünde bir eğilim göstermiştir. 40 m/dak kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerleme ile 70 m/dak kesme hızı ve 0,3 mm/dev ilerlemenin seçildiği parametrelerde çıkış deformasyonları sırasıyla 1,028'den 1,015'e ve 1,027'den 1,015'e düşmüştür. Diğer parametrelerde de hem giriş hem de çıkış deformasyonun azaldığı gözlemlenmiştir. Buna göre 100 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerleme için giriş deformasyonu 1,022'den 1,017'ye çıkış deformasyonu ise 1,029'dan 1,011'e düşmüştür. Son grupta yani 130 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerlemenin seçildiği parametrelerde ise giriş deformasyonu 1,020'den 1,013'e çıkış deformasyonu ise 1,04'ten 1,019'a düşmüştür. Bu sonuçlardan 40 m/dak kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerleme için hesaplanan deformasyon faktörü değişimine ait grafik Şekil 4.8'de verilmiştir. Diğer grafikler bilgi yoğunluğu oluşmaması adına verilmemiştir. Buradan PCD matkap kullandığında PA6'ya yapılan KE ilavesinin deformasyon faktörleri açısından olumlu etki yaparak hasarın azalmasını sağladığı görülmüştür.



**Şekil 4.8.** 40 m/dak kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerleme için giriş-çıkış deformasyon faktörünün karşılaştırılması.

#### 4.2. ÇDKNT Katkılı PA6 Kompozit Numuneler

Delme deneylerinde seçilen kesme parametreleri yapılacak istatistiksel analiz için Minitab programının önerdiği parametreler için tüm matkap malzemeleri için tüm kesme parametrelerini içermemektedir. Sabit olan ana parametreler, matkap malzemesi ve PA6 polimerine yapılan katkı malzemeleridir. Kesme ile ilgili parametreler çevrimli bir sistemle belirlenmiştir. Tamamlanan delme deneylerinden sonra numuneler üzerinden yapılan yüzey pürüzlülüğü ve giriş-çıkış deformasyon faktörü ölçümlerine ait bulgular aşağıda verilmiştir.



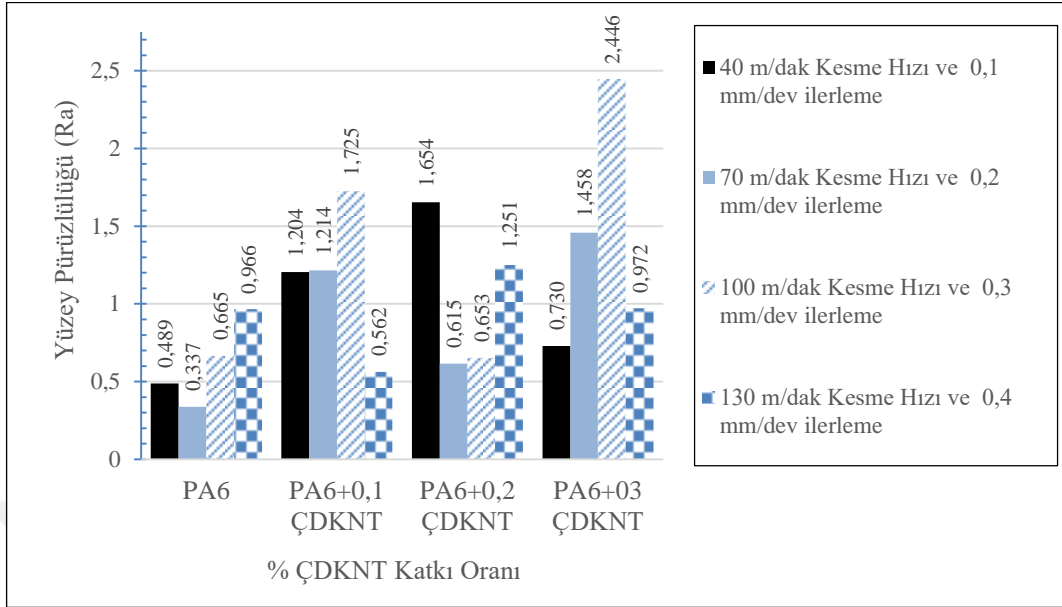
#### 4.2.1. HSS matkap ile elde edilen Ra ve deformasyon sonuçları

Çizelge 4.5’de HSS matkap ile yapılan deneylerde değişen % ÇDKNT katkı oranının yüzey pürüzlülüğü ve giriş-çıkış deformasyonlarına ait sonuçlar verilmiştir.

**Çizelge 4.5.** HSS matkaba ait yüzey pürüzlülüğü ve giriş-çıkış deformasyon sonuçları.

Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Malzeme ve Katkı Oranı	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)	Giriş Def. Faktörü	Çıkış Def. Faktörü
40	0,1	PA6	0,48900	1,04737	1,06369
40	0,1	PA6+%0,1ÇDKNT	1,20400	1,05385	1,04633
40	0,1	PA6+%0,2ÇDKNT	1,65433	1,03096	1,02803
40	0,1	PA6+%0,3ÇDKNT	0,72967	1,03826	1,05599
70	0,2	PA6	0,33700	1,03686	1,06055
70	0,2	PA6+%0,1ÇDKNT	1,21400	1,03502	1,04227
70	0,2	PA6+%0,2ÇDKNT	0,61467	1,02048	1,02476
70	0,2	PA6+%0,3ÇDKNT	1,45750	1,03436	1,03918
100	0,3	PA6	0,66533	1,02320	1,03507
100	0,3	PA6+%0,1ÇDKNT	1,72500	1,04271	1,03570
100	0,3	PA6+%0,2ÇDKNT	0,65300	1,03126	1,02376
100	0,3	PA6+%0,3ÇDKNT	2,44633	1,03020	1,03729
130	0,4	PA6	0,96600	1,01696	1,02300
130	0,4	PA6+%0,1ÇDKNT	0,56200	1,03080	1,03492
130	0,4	PA6+%0,2ÇDKNT	1,25100	1,02541	1,02388
130	0,4	PA6+%0,3ÇDKNT	0,97200	1,02954	1,02938

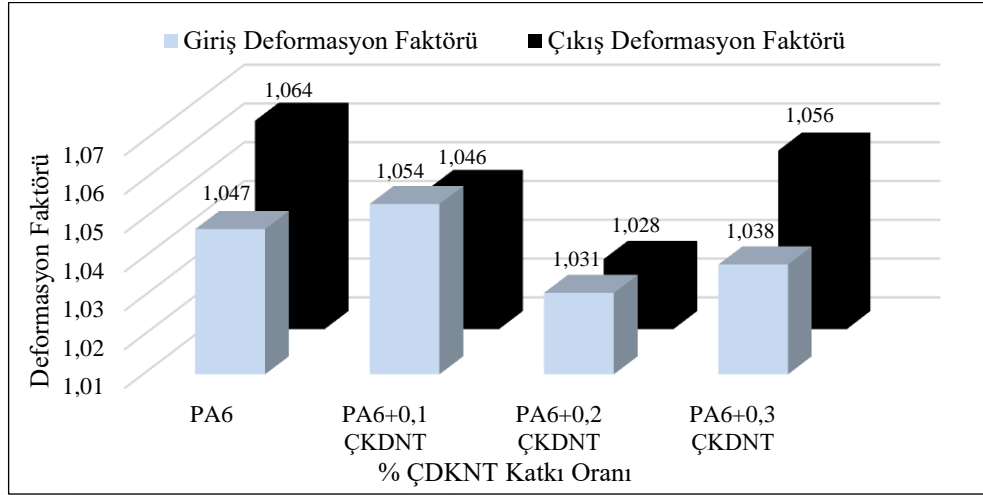
Elde edilen bulgulara göre kesme parametreleri sabit tutulup sadece % ÇDKNT katkı oranlarının etkisi incelendiğinde sonuçların her deney grubu için farklılaştığı görülmüştür. Örneğin 40 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme için yüzey pürüzlülüğü katkısız PA6 için 0,489 iken %0,2 ÇDKNT katkı oranına gelindiğinde 0,1654’e yükselmiş daha sonra %0,3 ÇDKNT katkı oranında tekrar 0,729’a düşse de katkısız PA6’nın yüzey pürüzlülüğü değerinin altına inememiştir. HSS matkap bazında ve sabit kesme parametrelerinde, % ÇDKNT katkısına göre Ra’nın değişim Şekil 4.9’daki grafikte verilmiştir. Tüm parametreler için yüzey pürüzlülüğünün artışı grafikten de görülebilmektedir.



**Şekil 4.9.** HSS matkap malzemesi ile işlemede artan ÇDKNT değerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi.

Diğer delme parametreleri ve ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri incelendiğinde azalma ve artma eğilimleri göze çarpmaktadır. 70 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerleme için yüzey pürüzlülüğü %0,2 ÇDKNT ilavesinde %82'den fazla artmıştır. Yine 100 m/dak kesme hızı ve 0,3 mm/dev ilerleme için yüzey pürüzlülüğü %0,2 ÇDKNT ilavesinde %1 azalmış, 130 m/dak kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerleme için yüzey pürüzlülüğü %0,1 ÇDKNT ilavesinde %71 azalmıştır.

Yapılan giriş-çıkış deformasyonu ölçümlerinde de küçük oranlarda azalma ve artma eğilimleri birlikte gözlemlenmiştir. 40 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme için katkısız PA6 polimerinin giriş deformasyonunun 1,047 değeri %0,2 ÇDKNT ilavesinde 1,030'a düşerken çıkış deformasyonu aynı katkı oranında 1,0636'dan 1,028'e gerilemiştir. 70 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerleme için %0,2 ÇDKNT katkı oranında hem giriş hem de çıkış deformasyon faktöründe azalma meydana gelmiştir. 100 m/dak kesme hızı ve 0,3 mm/dev ilerleme için giriş deformasyon faktörü tüm katkı oranlarında artarken çıkış deformasyon faktörü %0,2 ÇDKNT katkı oranında azalmıştır. 130 m/dak kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerleme için hem giriş deformasyon faktöründe hem de çıkış deformasyon faktöründe artış görülmüştür. 40 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme için giriş-çıkış deformasyonlarındaki değişim Şekil 4.10'da ki grafikte verilmiştir. Diğer parametrelere ait grafikler bilgi yoğunluğu oluşmaması için verilmemiştir.



**Şekil 4.10.** 40 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme için giriş-çıkış deformasyon faktörünün karşılaştırılması.

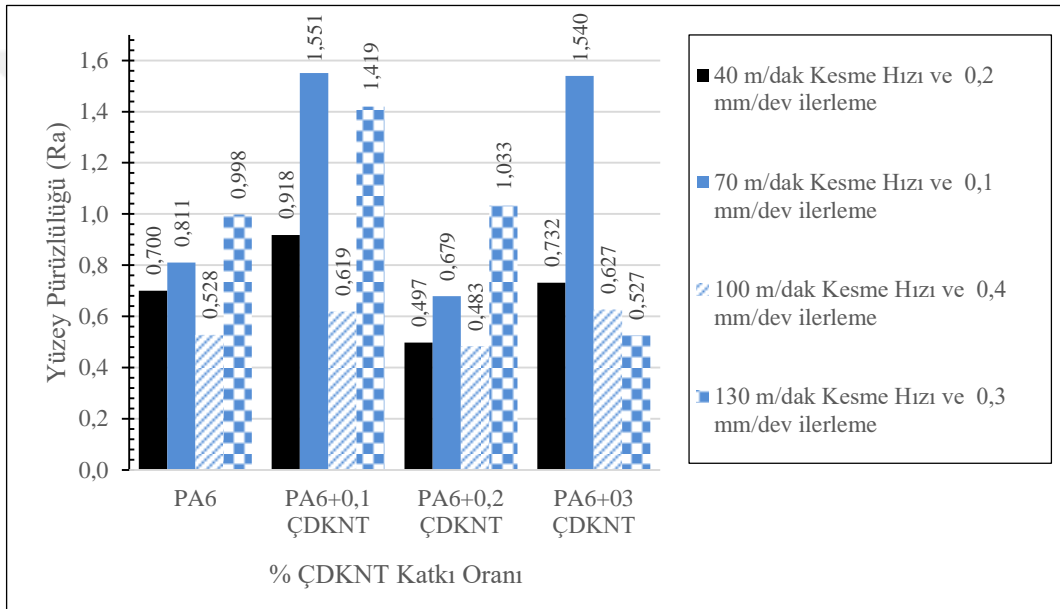
#### 4.2.2. Karbür matkap ile elde edilen Ra ve deformasyon sonuçları

Çizelge 4.6’da karbür matkap ile yapılan deneylerde değişen % ÇDKNT katkı oranının yüzey pürüzlülüğü ve giriş-çıkış deformasyonlarına ait sonuçlar verilmiştir.

**Çizelge 4.6.** Karbür matkaba ait yüzey pürüzlülüğü ve giriş-çıkış deformasyon sonuçları.

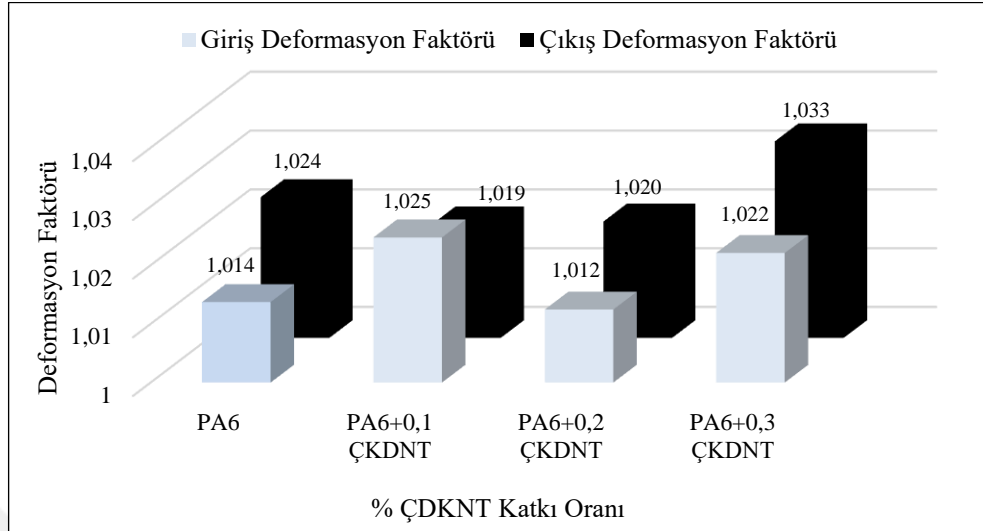
Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Malzeme ve Katkı Oranı	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)	Giriş Def. Faktörü	Çıkış Def. Faktörü
40	0,2	PA6	0,70000	1,01044	1,01197
40	0,2	PA6+%0,1ÇDKNT	0,91833	1,01206	1,0194
40	0,2	PA6+%0,2ÇDKNT	0,49700	1,03616	1,06637
40	0,2	PA6+%0,3ÇDKNT	0,73200	1,03414	1,02873
70	0,1	PA6	0,81067	1,01372	1,02400
70	0,1	PA6+%0,1ÇDKNT	1,55100	1,02474	1,01939
70	0,1	PA6+%0,2ÇDKNT	0,67933	1,01245	1,01986
70	0,1	PA6+%0,3ÇDKNT	1,54000	1,02209	1,03348
100	0,4	PA6	0,52800	1,01612	1,00714
100	0,4	PA6+%0,1ÇDKNT	0,61900	1,02669	1,02542
100	0,4	PA6+%0,1ÇDKNT	0,61900	1,02669	1,02542
100	0,4	PA6+%0,2ÇDKNT	0,48333	1,01692	1,02017
100	0,4	PA6+%0,3ÇDKNT	0,62700	1,01609	1,0175
130	0,3	PA6	0,99800	1,01158	1,02069
130	0,3	PA6+%0,1ÇDKNT	1,41900	1,06941	1,03483
130	0,3	PA6+%0,2ÇDKNT	1,03300	1,02628	1,08025
130	0,3	PA6+%0,3ÇDKNT	0,52650	1,05127	1,05165

Elde edilen sonuçlara göre katkısız karbür matkap ile delinen PA6 polimerine yapılan % ÇDKNT ilavesi yüzey pürüzlülüğü değerlerini düşürmüştür. Parametrelerden 40 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerleme için en düşük Ra değeri 0,497 ile %0,2 ÇDKNT ilavesinde, 70 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme için en düşük Ra değeri 0,679 ile %0,2 ÇDKNT ilavesinde, 100 m/dak kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerleme için en düşük Ra değeri 0,483 ile yine %0,2 ÇDKNT ilavesinde tespit edilirken 130 m/dak kesme hızı ve 0,3 mm/dev ilerleme için en düşük Ra değeri 0,527 ile %0,3 ÇDKNT ilavesinde bulunmuştur. Elde edilen düşüşün grafik üzerindeki gösterimi Şekil 4.11’de verilmiştir.



**Şekil 4.11.** Karbür matkap malzemesi ile işlemede artan ÇDKNT değerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi.

Giriş-çıkış deformasyonu ölçümlerinde azalma ve artma eğilimleri birlikte gözlemlenmiştir. Örneğin 40 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerleme için hem giriş hem de çıkış deformasyon faktörü tüm katkı oranlarında katkısız PA6'ya kıyasla artarken, 70 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerlemede %0,2 ÇDKNT ilavesinde ise giriş ve çıkış deformasyonları azalmıştır. 70 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme için sonuçlar örnek olarak Şekil 4.12'deki grafikte verilmiştir. Diğer kesme parametreleri olan 100 m/dak kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerleme ile 130 m/dak kesme hızı ve 0,3 mm/dev ilerleme için giriş ve çıkış deformasyonlarında artış tespit edilmiştir. 70 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme için sonuçlar Şekil 4.12'de grafik olarak verilmiştir.



**Şekil 4.12.** 70 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme için giriş-çıkış deformasyon faktörünün karşılaştırılması.

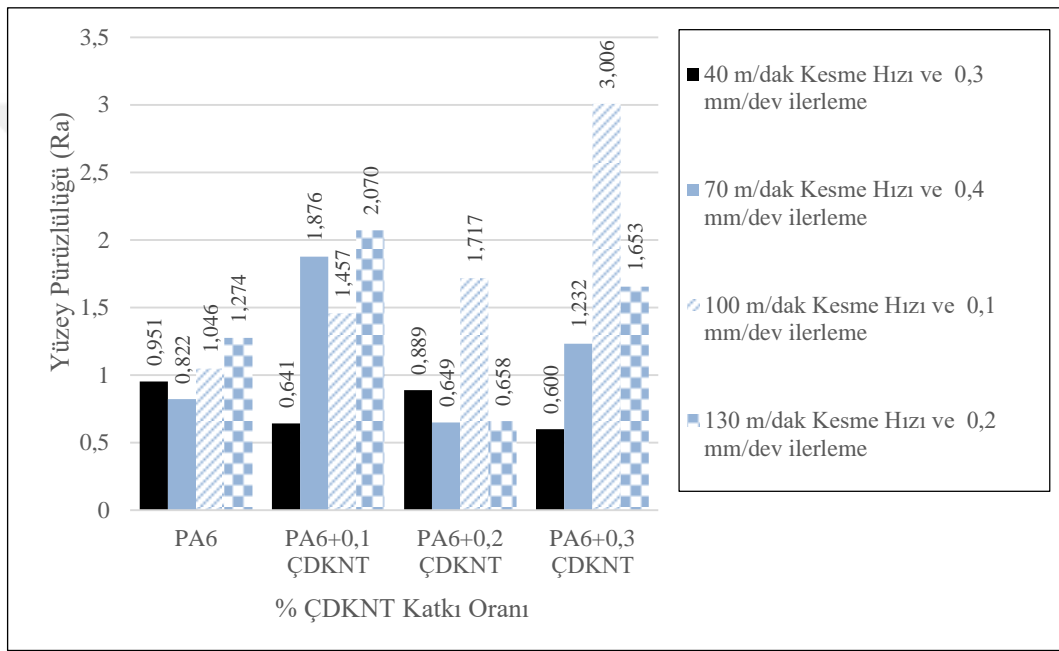
#### 4.2.3. Kaplamalı karbür matkap ile elde edilen Ra ve deformasyon sonuçları

Çizelge 4.7'de K. karbür matkap ile yapılan deneylerde değişen % ÇDKNT katkı oranının yüzey pürüzlülüğü ve giriş-çıkış deformasyonlarına ait sonuçlar verilmiştir.

**Çizelge 4.7.** K. karbür matkaba ait yüzey pürüzlülüğü ve giriş-çıkış deformasyon sonuçları.

Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Malzeme ve Katkı Oranı	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)	Giriş Def. Faktörü	Çıkış Def. Faktörü
40	0,3	PA6	0,95100	1,01496	1,03658
40	0,3	PA6+%0,1ÇDKNT	0,64067	1,01822	1,01371
40	0,3	PA6+%0,2ÇDKNT	0,88867	1,01182	1,02891
40	0,3	PA6+%0,3ÇDKNT	0,59967	1,02579	1,01443
70	0,4	PA6	0,82200	1,01879	1,02451
70	0,4	PA6+%0,1ÇDKNT	1,87633	1,01771	1,03493
70	0,4	PA6+%0,2ÇDKNT	0,64933	1,01510	1,02447
70	0,4	PA6+%0,3ÇDKNT	1,23167	1,02053	1,01700
100	0,1	PA6	1,04600	1,03298	1,04669
100	0,1	PA6+%0,1ÇDKNT	1,45733	1,03131	1,02172
100	0,1	PA6+%0,2ÇDKNT	1,71650	1,01307	1,02719
100	0,1	PA6+%0,3ÇDKNT	3,00550	1,03578	1,01943
130	0,2	PA6	1,27400	1,02148	1,02772
130	0,2	PA6+%0,1ÇDKNT	2,06950	1,06238	1,06617
130	0,2	PA6+%0,2ÇDKNT	0,65750	1,01851	1,03662
130	0,2	PA6+%0,3ÇDKNT	1,65250	1,04021	1,02318

Elde edilen bulgulara göre artan % ÇDKNT oranı yüzey pürüzlülüğü açısından her deney grubu için farklı sonuçlar ortaya koymakla beraber genel eğilim pürüzlülüğün azalması yönündedir. Örneğin 40 m/dak kesme hızı ve 0,3 mm/dev ilerleme için katkısız PA6'nın yüzey pürüzlülüğü 0,951 iken, %0,3 ÇDKNT ilavesinde 0,600 değerini alarak %37 oranında iyileşmiştir. Ardından gelen gruptaki 70 m/dak kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerleme için katkısız PA6'nın yüzey pürüzlülüğü 0,822 iken, %0,2 ÇDKNT ilavesinde 0,649 değerini alarak %21 oranında iyileşmiştir.

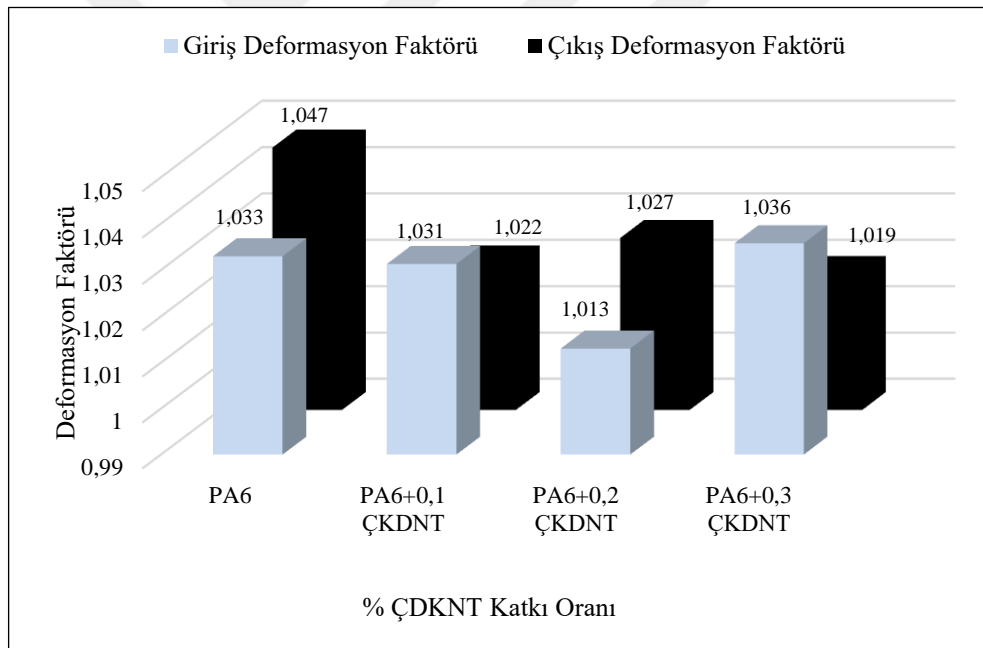


**Şekil 4.13.** K. karbür matkap malzemesi ile işlemede artan ÇDKNT değerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi.

Yüzey pürüzlülüğünün arttığı parametreler 100 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerlemedir. Burada ölçülen yüzey pürüzlülüğü tüm % ÇDKNT katkı oranlarında katkısız PA6'dan yüksek çıkmıştır. Parametrelerden 130 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerleme ve %0,2 ÇDKNT ilavesi yapılan PA6 polimerinin yüzey pürüzlülüğü katkısız PA6'ninkinden %48 oranında düşük çıkmıştır. Tüm parametrelerin karşılaştırmaları Şekil 4.13'teki grafikte verilmiştir.

Yapılan giriş-çıkış deformasyonu ölçümlerine göre farklı ÇDKNT oranlarında da olsa tüm deney gruplarında azalma tespit edilmiştir. Bu oranlar kesme 40 m/dak kesme hızı ve 0,3 mm/dev ilerlemede, giriş deformasyonunun %0,2 ÇDKNT ilavesinde 1,014'ten 1,011'e azalması, çıkış deformasyonunun %0,1 ÇDKNT ilavesinde 1,036'dan 1,013'e azalması şeklinde

olup %0,2 ÇDKNT ilavesinde de katkısız PA6'nın deformasyonunun üzerine çıkılmamıştır. 70 m/dak kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerleme için giriş deformasyonunun %0,2 ÇDKNT ilavesinde 1,018'ten 1,015'e azalması, çıkış deformasyonunun ise %0,3 ÇDKNT ilavesinde 1,024'ten 1,017'ye azalması biçiminde gerçekleşmiştir. 100 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme için giriş deformasyonu 1,032 değerinden 1,013'e yine %0,2 ÇDKNT ilavesinde azalırken, çıkış deformasyonundaki düşüş %0,3 ÇDKNT ilavesinde 1,046'dan 1,019'a azalma şeklinde olmuştur. Benzer durum parametrelerden 130 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerleme seçildiğinde de tespit edilmiş olup en büyük azalma oranı giriş deformasyonu için %0,2 ÇDKNT ilavesinde 1,021'den 1,018'e, çıkış deformasyonu için %0,3 ÇDKNT ilavesinde 1,027'den 1,023'e azalma biçiminde gerçekleşmiştir. Değişim durumunu daha iyi görebilmek için 100 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme için oluşturulmuş örnek grafik Şekil 4.14'te verilmiştir.



**Şekil 4.14.** 100 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme için giriş-çıkış deformasyon faktörünün karşılaştırılması.

#### 4.2.4. PCD matkap ile elde edilen Ra ve deformasyon sonuçları

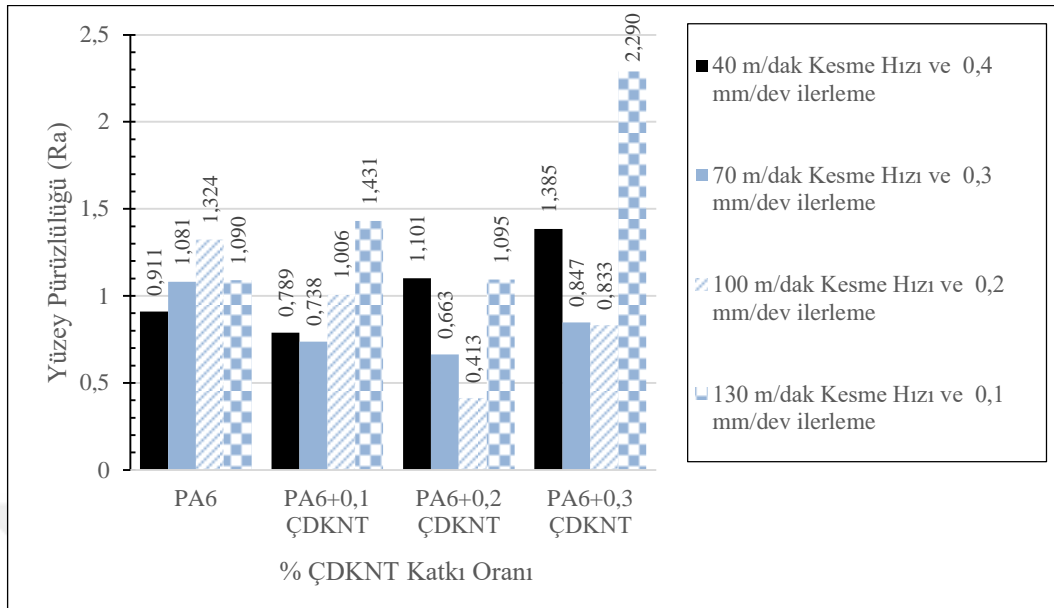
Çizelge 4.8’de PCD matkap ile yapılan deneylerde değişen % ÇDKNT katkı oranının yüzey pürüzlülüğü ve giriş-çıkış deformasyonlarına ait sonuçlar verilmiştir.

**Çizelge 4.8.** PCD matkaba ait yüzey pürüzlülüğü ve giriş-çıkış deformasyon sonuçları.

Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Malzeme ve Katkı Oranı	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)	Giriş Def. Faktörü	Çıkış Def. Faktörü
40	0,4	PA6	0,91100	1,01656	1,02803
40	0,4	PA6+%0,1ÇDKNT	0,78933	1,05545	1,05279
40	0,4	PA6+%0,2ÇDKNT	1,10100	1,02048	1,05416
40	0,4	PA6+%0,3ÇDKNT	1,38533	1,02940	1,05703
70	0,3	PA6	1,08100	1,01963	1,02793
70	0,3	PA6+%0,1ÇDKNT	0,73800	1,04554	1,01691
70	0,3	PA6+%0,2ÇDKNT	0,66333	1,01734	1,05629
70	0,3	PA6+%0,3ÇDKNT	0,84700	1,02756	1,07821
100	0,2	PA6	1,32433	1,02259	1,02944
100	0,2	PA6+%0,1ÇDKNT	1,00567	1,06151	1,04250
100	0,2	PA6+%0,2ÇDKNT	0,41300	1,01515	1,04429
100	0,2	PA6+%0,3ÇDKNT	0,83250	1,01027	1,07753
130	0,1	PA6	1,08950	1,02078	1,04093
130	0,1	PA6+%0,1ÇDKNT	1,43133	1,05220	1,08295
130	0,1	PA6+%0,2ÇDKNT	1,09467	1,02140	1,03513
130	0,1	PA6+%0,3ÇDKNT	2,29033	1,02812	1,10906

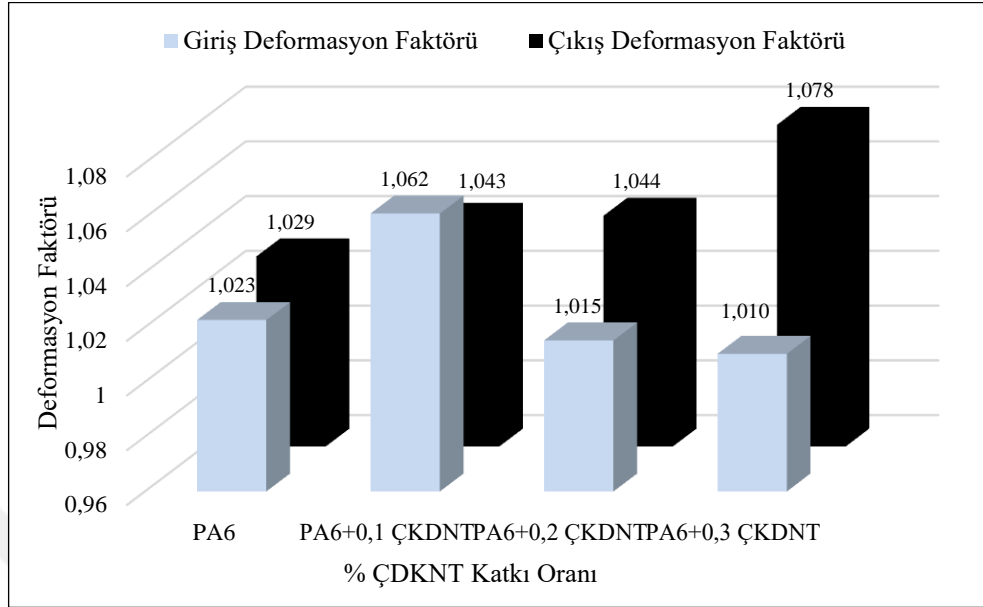
Elde edilen bulgulara göre PCD matkap ile sabit parametreler bazında yapılan delme deneylerinde artan % ÇDKNT oranı daha önceki deneylerle benzer biçimde olumlu ve olumsuz sonuçlar bir arada gözlemlenmiştir. Parametrelerden 40 m/dak kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerleme için katkısız PA6’nın yüzey pürüzlülüğü 0,911 iken %0,1 ÇDKNT ilavesinde ölçülen yüzey pürüzlülüğü 0,789’a düşmüştür. Diğer parametre gruplarından 70 m/dak kesme hızı ve 0,3 mm/dev ilerleme için yüzey pürüzlülüğü katkısız PA6 için 1,081 iken %0,2 ÇDKNT ilavesinde 0,663’e düşmüştür. Diğer iki katkı oranında da değerler yine katkısız PA6’nın yüzey pürüzlülüğünden düşük ölçülmüştür. 100 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerleme için yüzey pürüzlülüğü 1,324’ten %0,3 ÇDKNT ilavesinde 0,832’ye inerken, 130 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme parametrelerinde tüm yüzey pürüzlülüğü değerleri katkısız PA6’ninkinden yüksek çıkmıştır. Tüm parametrelerin karşılaştırılmalı grafiği Şekil 4.15’te verilmiştir.





**Şekil 4.15.** PCD matkap malzemesi ile işlemede artan ÇDKNT değerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi.

Hesaplanan giriş-çıkış deformasyonlarında da yüzey pürüzlüğündeki gibi değişken eğilimler tespit edilmiştir. Özellikle seçili tek bir parametre için hesaplanan deformasyon artan kesme hızı ve düşen ilerleme ile giriş ve çıkış arasında tamamen zıt etki yapmıştır. Aynı şartlarda yüzey pürüzlülüğü düşerken deformasyonun arttığı sonuçların bulunması sadece bu deney grubu için değil tüm gruplar için endüstriyel üretim süreçlerinde parametre seçimini ve uygulanabilirliği güçleştirmektedir. PCD matkap bazında kesme hızının orta-düşük ve ilerlemenin orta-yüksek seçilmesi ise deformasyonda artış dahi olsa sonuçları birbirine yaklaştırmaktadır. Buna göre 40 m/dak kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerleme için hem giriş hem de çıkış deformasyon faktörleri artmıştır, 70 m/dak kesme hızı ve 0,3 mm/dev ilerleme için giriş deformasyon faktörü %0,2 ÇDKNT ilavesinde 1,019'dan 1,017 değerine, çıkış deformasyonu ise %0,1 ÇDKNT ilavesinde 1,027'den 1,016'ya gerilemiştir. 100 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerleme için giriş deformasyon faktörü %0,2 ÇDKNT ilavesinde düşerken çıkış deformasyonu tüm katkı oranlarında artmıştır. Tam aksi biçimde 130 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme için giriş deformasyonu tüm katkı oranlarında artarken çıkış deformasyonu %0,2 ÇDKNT ilavesinde 1,04'ten 1,035 değerine düşmüştür. 100 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerleme için örnek sonuçlar Şekil 4.16'da grafik olarak verilmiştir. Diğer parametrelere ait grafikler bilgi yoğunluğu oluşmaması için verilmemiştir.



**Şekil 4.16.** 100 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerleme için giriş-çıkış deformasyon faktörünün karşılaştırılması.

Elde edilen sonuçlar tek başlarına olumlu gibi görünse de değişken sayısı ve uygun parametre tespiti oldukça güçtür. Örneğin yüzey pürüzlülüğünün azaldığı katkı oranı %20, giriş deformasyonunun azaldığı katkı oranı %10 ve çıkış deformasyonunun azaldığı katkı oranı %30 olabilmektedir. Üretim esnasında bir malzeme grubu için tek bir katkı oranı mümkün olacağından ideal katkı oranı ve parametre seçimi zor olmaktadır. Benzer biçimde yüzey pürüzlülüğünün iyileşmesi için yüksek kesme hızı fakat deformasyonların azalması için düşük kesme hızı değerleri seçilmesi gerekebilmektedir. Ancak tek bir delme işleminde yalnızca bir parametre seçimi mümkün olacağından en uygun delme parametrelerini seçmek karmaşıklaşacaktır. Bu durum, tüm parametrelerin aynı anda karşılaştırıldığı ve önerilen ideal parametrelerle birlikte daha az deney ile sonuca ulaşma imkanı sağlayan Taguchi deney tasarımını öne çıkarmaktadır.

### 4.3. İstatiksel Analiz

Ortogonal deneysel tasarıma göre planlanmış deneylerden elde edilen veriler MiniTAB programı kullanılarak analizi ü edilmiştir. Polimer kompozit malzemelerin delinmelerinde yüzey pürüzlülüğü ve deformasyon faktörünün az olması istendiğinden sonuçlar buna göre yorumlanmıştır.

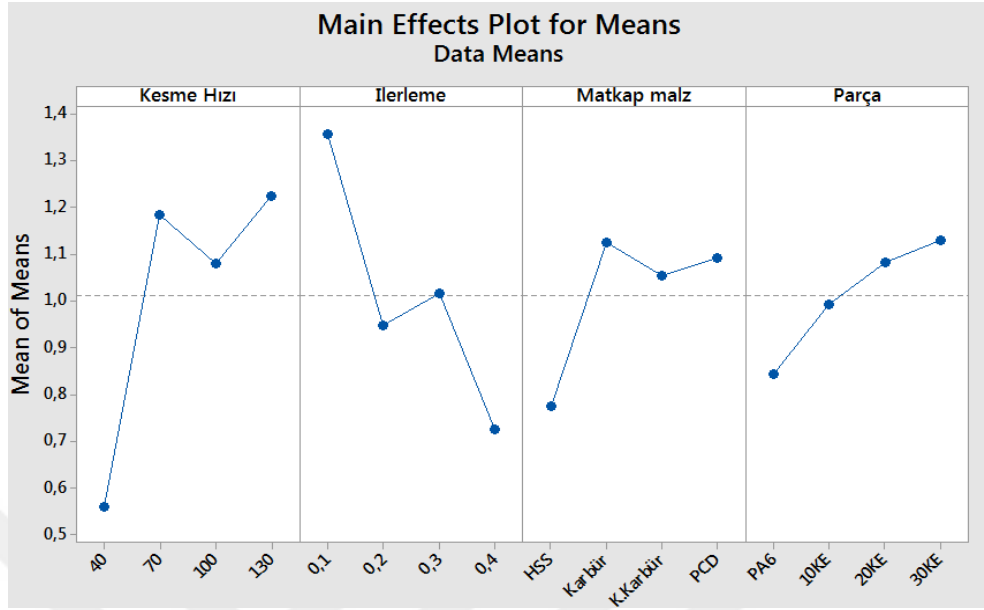
### 4.3.1. PA6 ve KE katkı malzemesine göre yüzey pürüzlülüğü ve giriş-çıkış deformasyon faktörünün değerlendirilmesi

L16 ortogonal deney tasarımı ve farklı oranlarda KE ilave edilmiş PA6 malzemesinin işlenmesinden sonra elde edilen veriler Çizelge 4.9’da verilmiştir.

**Çizelge 4.9.** PA6 ve KE katkı malzemesine göre deney planı ve sonuçları.

Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Matkap	Malzeme	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)	Giriş Def. Faktörü	Çıkış Def. Faktörü
40	0,1	HSS	PA6	0,489	1,047	1,063
40	0,2	Karbür	PA6+%10KE	0,569	1,017	1,009
40	0,3	K. karbür	PA6+%20KE	0,467	1,017	1,015
40	0,4	PCD	PA6+%30KE	0,711	1,017	1,015
70	0,1	Karbür	PA6+%20KE	1,956	1,031	1,018
70	0,2	HSS	PA6+%30KE	0,79	1,034	1,035
70	0,3	PCD	PA6	1,081	1,019	1,027
70	0,4	K. karbür	PA6+%10KE	0,913	1,019	1,015
100	0,1	K. karbür	PA6+%30KE	1,565	1,007	1,017
100	0,2	PCD	PA6+%20KE	1,164	1,025	1,013
100	0,3	HSS	PA6+%10KE	1,07	1,028	1,016
100	0,4	Karbür	PA6	0,528	1,016	1,007
130	0,1	PCD	PA6+%10KE	1,42	1,016	1,038
130	0,2	K. karbür	PA6	1,274	1,021	1,027
130	0,3	Karbür	PA6+%30KE	1,455	1,020	1,008
130	0,4	HSS	PA6+%20KE	0,751	1,030	1,026

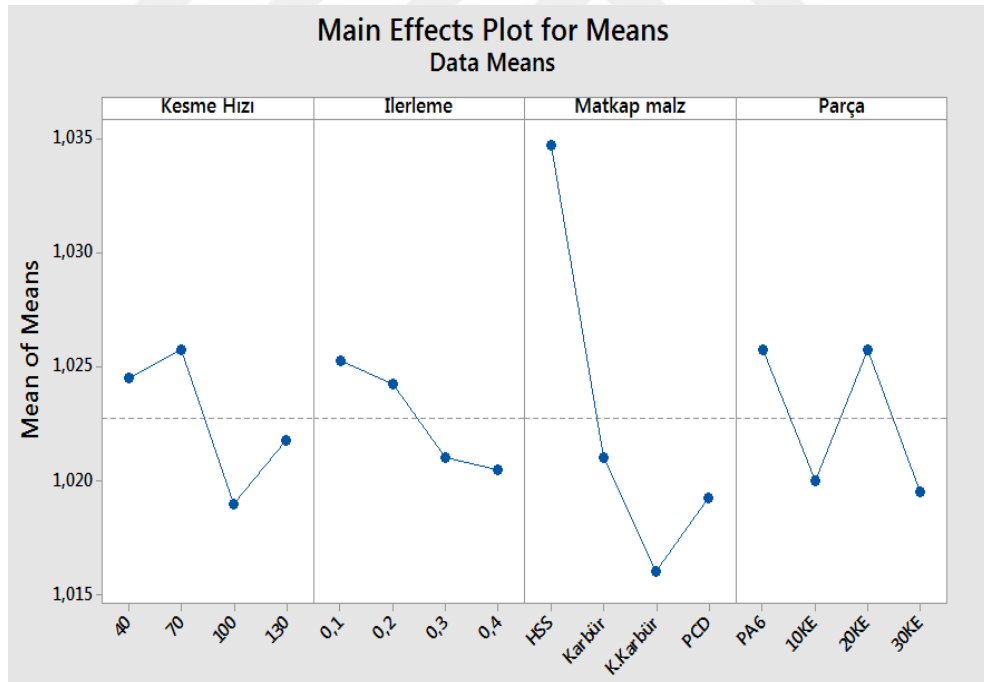
Analiz sonuçlarına göre elde edilen ana etki grafikleri aşağıda sunulmuştur. Grafiklerin yorumlanmasındaki prensip en düşük yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği parametrenin seçilmesidir. Böylece tüm parametrelerin istenen hedef değer üzerindeki etkileri karşılaştırılabilmektedir. Buna göre PA6 ve değişen KE katkı oranlarına göre yüzey pürüzlülüğünün ana etki grafiği Şekil 4.17’de verilmiştir.



Şekil 4.17. PA6 ve KE katkı malzemesine göre yüzey pürüzlülüğünün ana etki grafiği.

Elde edilen deneysel bulguların kesme hızı, ilerleme, matkap malzemesi ve takviye malzemesi olmak üzere tüm parametrelerin istatistiksel olarak yorumlanmasıyla yapılan değerlendirmeye göre katkısız ve KE katkılı kompozit plakların delinmelerinde düşük yüzey pürüzlülüğü elde etmek için önerilen optimum parametreler düşük (40 m/dak) kesme hızı ve yüksek (0,4 mm/dev) ilerlemedir. Literatürdeki çoğu çalışma dokuma elyafların tabakalı olarak üretilmesiyle elde edilen kompozitlerin işlenebilirliği üzerinedir. Bu malzemelerin işlenebilirlikleri incelendiğinde fiber bütünlüğünün en ideal biçimde kesilmesi için yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme en çok tavsiye edilen kesme parametreleri olmuştur (Grilo vd., 2013; Khashaba vd., 2010a, 2010b; Vaxevanidis vd., 2016; Ramesh vd., 2014). Fakat termoplastik polimerlerden üretilmiş kompozitlerin işlenebilirlikleri incelendiğinde tam aksi tespitler söz konusudur. Buna göre matkap ucundaki ısının polimerden kesilen talaş formasyonunu bozduğu dolayısıyla kesme işleminin performansının ve yüzey pürüzlülüğünün olumsuz etkilendiği tespit edilmiştir. Bunun telafisi için ise kesme hızının düşürülüp ilerlemenin yükseltilmesi gerektiği ifade edilmiştir. Böylece düşük kesme hızı sayesinde matkap daha az ısınacak matkap malzemesi kesme bölgesinden hızlıca uzaklaşarak ısının olumsuzlukları bertaraf edilecektir (Uysal, 2015; Uysal ve Altan, 2015). Bu bağlamda polimer içerisindeki KE katkısının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün artması arasındaki ilişkide açıklığa kavuşarak iri karbon partiküllerinin sürtünmeyi artırarak matkap ısısını arttırdığı, kesme bölgesindeki ısının kesme performansını olumsuz etkileyerek pürüzlülüğün artmasına sebep olduğu anlaşılmaktadır.

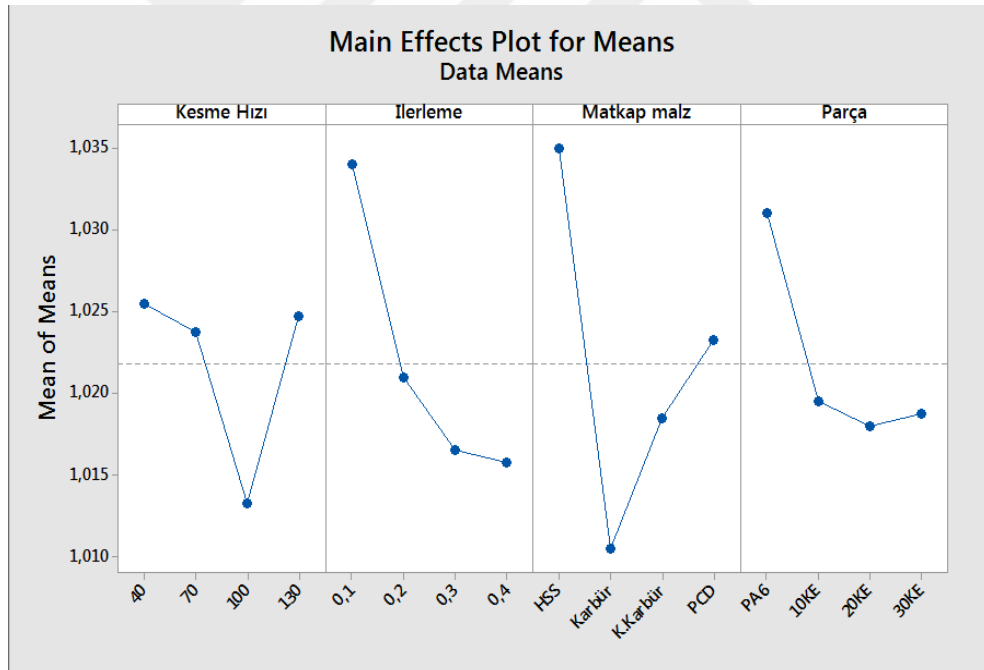
HSS matkap ise düşük yüzey pürüzlülüğü elde etmek için kullanılması önerilen en uygun matkap malzemesidir. Diğer tüm matkap malzemeleri ortalama Ra değerinin üzerinde sonuçlar vermiştir. Yine Taguchi analizi sonuçlarına göre PA6 malzemesine yapılan KE ilavesi arttıkça, yüzey pürüzlülüğü değeri de artmıştır. En yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri ağırlıkça %30 KE katkısında gözlemlenmiştir. Tüm parametrelerin etkileri kıyaslandığında, Ra en düşük ve en yüksek seviyeleri arasındaki aralığın en geniş olduğu (yaklaşık 0,55-1,22 bandı) yani değişimi ile Ra'yı en çok etkileyen parametre kesme hızı olmuştur. Ardından sırasıyla ilerleme, matkap malzemesi ve katkı malzemesi etkin parametreler olarak bulunmuştur. Grafiklerdeki parametre bazlı eğilimler incelendiğinde optimum yüzey pürüzlülüğü için ana etki çıkarımı düşük kesme hızı ve yüksek ilerleme olsa da seçili parametrelerin lineer bir etkiden oldukça uzak oldukları anlaşılmaktadır. Özellikle düşük yüzey pürüzlülüğünün hedeflendiği ve nispeten yüksek sayıda parametre arasından seçim yapılması gereken durumlarda işleme parametrelerinin kontrol edilebilirliğinin zorlaştığı bunun da kompozitin anizotropik yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir.



**Şekil 4.18.** PA6 ve KE katkı malzemesine göre giriş deformasyonu ana etki grafiği.

Ana etki grafikleri giriş deformasyon faktörlü açısından istatistiksel olarak incelendiğinde katkısız ve KE katkılı kompozit plakların delinmelerinde daha düşük giriş deformasyon faktörü elde edebilmek için önerilen optimum parametreler 100 m/dak kesme hızı

ve 0,4 mm/dev ilerlemedir. Düşük giriş deformasyonu elde edebilmek için en uygun matkap malzemesi Kaplamalı Karbür olarak tespit edilmiştir. Kesme hızının etkilediği deformasyon değişimi dikkatlice incelendiğinde matkap çapı ve maksimum deformasyon çapı arasındaki oranının yaklaşık 1,018-1,026 bandında bir değer aldığı görülmektedir. İlerleme açısından ise bu aralık daha da düşmüş 1,021-1,025 bandı yakalanmıştır. Bu düşük deformasyon aralığı olası parametre seçiminde imalatçıya esneklik tanımaktadır. Yüzey pürüzlülüğü açısından bu esnekliğin elde edilemediği yukarıdaki Şekil 4.18'den anlaşılmaktadır. Matkap malzemesine göre giriş deformasyonu değerinin 1,016-1,035 ile en geniş aralıkta olması matkap malzemesinin giriş deformasyonu üzerindeki etkili parametre olduğu göstermektedir. Katkı oranları değerlendirildiğinde ise %30 KE katkısı en düşük giriş deformasyonunu vermiştir. Fakat %20 KE katkı oranlarında gözlemlenen deformasyon artışı kompozitin anizotropik yapısının da etkisiyle işlenebilirlik deneylerinde kontrol edilemeyen parametrelerin varlığını ortaya koymaktadır.



Şekil 4.19. PA6 ve KE katkı malzemesine göre çıkış deformasyonu ana etki grafiği.

Çıkış deformasyonları açısından elde edilen ana etki grafiklerinin yorumlanmasında da benzer eğilim gözlemlenmiştir (Şekil 4.19). Katkısız ve KE katkılı kompozit plakaların delinmelerinde daha düşük çıkış deformasyon faktörü elde edebilmek için önerilen optimum parametreler 100 m/dak kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerlemedir. En uygun matkap malzemesi Karbür olarak tespit edilmiştir. Yapıya ilave edilen KE ise lineer sayılabilecek bir etkiyle çıkış

deformasyonunun azalmasını sağlamıştır. Kesme hızı açısından elde edilen deformasyon değeri 1,014-1,026 aralığında olup ilerleme açısından bu değerler 1,034-1,016 aralığında yer almıştır. En düşük ve en yüksek çıkış deformasyonunun bulunduğu bant genişlikleri incelendiğinde çıkış deformasyonu üzerindeki en etkili parametrelerin sırasıyla matkap malzemesi, ilerleme, katkı malzemesi ve son olarak kesme hızı olduğu anlaşılmaktadır.

Deformasyon bant genişlikleri kıyaslandığında çıkış deformasyon faktörünün giriş deformasyon faktöründen büyük olması beklenen bir durum olup bunun sebebi matkabın malzeme alt yüzeyinin patlatırken ki kuvvet etkisidir (Khashaba, 2004; Khashaba vd., 2010a, 2010b). Alttan desteklenmeyen malzeme çıkış esnasında kısmen esnemekte buda matkabın kesme yüzeyinde anormalliklere yol açmaktadır. Fakat giriş esnasında malzemenin kendi kalınlığı matkap için iyi bir destek oluşturmaktadır. Böylece matkabın kesici ağzı malzemeyle daha iyi bir açıdan kavramaktadır.

Kompozit yapılar için deformasyon ve yüzey pürüzlüğü açısından bir değerlendirme yapıldığında deformasyon durumu çok daha önemlidir. Çünkü delik yüzeyindeki pürüz olumsuz etki olarak montaj sorunları doğurabilecek iken malzemedeki delaminasyon kaynaklı deformasyon kopma, kırılma ve yorulma yükleri altında hasara uğrama gibi daha ağır olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir (Arul vd., 2006; Gaitonde vd., 2008; Jain ve Yang, 1994; Hocheng ve Dharan, 1990). Bu sebeple KE katkılı PA6 malzemeler üzerine yapılacak imalat çalışmalarında kullanıcının tercihi deformasyon faktörünün daha düşük olduğu parametrelerin seçimine yönelik olmalıdır. Buna göre malzemeye katılan KE yüzey pürüzlülüğünü arttırsa da daha önemli olan giriş ve çıkış deformasyonlarını azaltmış yani KE katkısının olumlu etki yaptığı görülmüştür. Kesme parametreleri açısından yüksek ilerleme (100 m/dak) ve yüksek kesme hızı (0,4 mm/dev), matkap malzemesi olarak karbür ve kaplamalı karbür ve katkı oranı olarak %30 KE oranı malzemeyi katkısız PA6'ya kıyasla daha düşük deformasyonla işlenebilmesine olanak sağlamaktadır. Yüzey pürüzlülüğünün de düşük istendiği durumlarda KE katkısı giriş-çıkış deformasyonu ve yüzey pürüzlülüğü ortalama değerinin altında etkileri olan ağırlıkça %10 değerinin seçilmesi uygun olacaktır.

#### 4.3.2. PA6 ve ÇDKNT katkı malzemesine göre yüzey pürüzlülüğü ve giriş-çıkış deformasyon faktörünün değerlendirilmesi

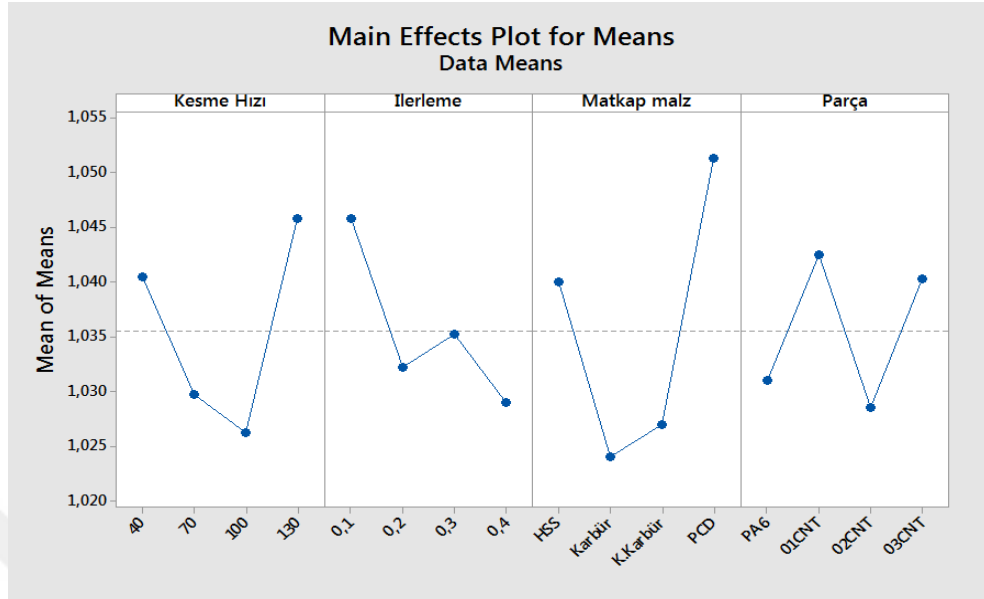
L16 ortogonal deney tasarımı ve farklı oranlarda ÇDKNT ilave edilmiş PA6 malzemesinin işlenmesinden sonra elde edilen veriler Çizelge 4.10'da verilmiştir.

**Çizelge 4.10.** PA6 ve ÇDKNT katkı malzemesine göre deney planı ve sonuçları.

Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Matkap	Malzeme	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)	Giriş Def. Faktörü	Çıkış Def. Faktörü
40	0,1	HSS	PA6	0,489	1,047	1,063
40	0,2	Karbür	PA6+%0,1ÇDKNT	0,918	1,012	1,019
40	0,3	K. karbür	PA6+%0,2ÇDKNT	0,888	1,011	1,028
40	0,4	PCD	PA6+%0,3ÇDKNT	1,385	1,029	1,052
70	0,1	Karbür	PA6+%0,2ÇDKNT	0,679	1,012	1,019
70	0,2	HSS	PA6+%0,3ÇDKNT	1,457	1,034	1,039
70	0,3	PCD	PA6	1,081	1,019	1,027
70	0,4	K. karbür	PA6+%0,1ÇDKNT	1,876	1,017	1,034
100	0,1	K. karbür	PA6+%0,3ÇDKNT	3,005	1,035	1,019
100	0,2	PCD	PA6+%0,2ÇDKNT	0,413	1,015	1,044
100	0,3	HSS	PA6+%0,1ÇDKNT	1,725	1,042	1,035
100	0,4	Karbür	PA6	0,528	1,016	1,007
130	0,1	PCD	PA6+%0,1ÇDKNT	1,431	1,052	1,082
130	0,2	K. karbür	PA6	1,274	1,021	1,027
130	0,3	Karbür	PA6+%0,3ÇDKNT	0,526	1,05	1,051
130	0,4	HSS	PA6+%0,2 ÇDKNT	1,251	1,025	1,023

Analiz sonuçlarına göre elde edilen ana etki grafikleri aşağıda sunulmuştur. Grafiklerin yorumlanmasındaki prensip düşük yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği parametrenin seçilmesidir. Böylece tüm parametrelerin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Buna göre PA6 ve değişen ÇDKNT katkı oranlarına göre yüzey pürüzlülüğünün ana etki grafiği Şekil 4.20'de verilmiştir.

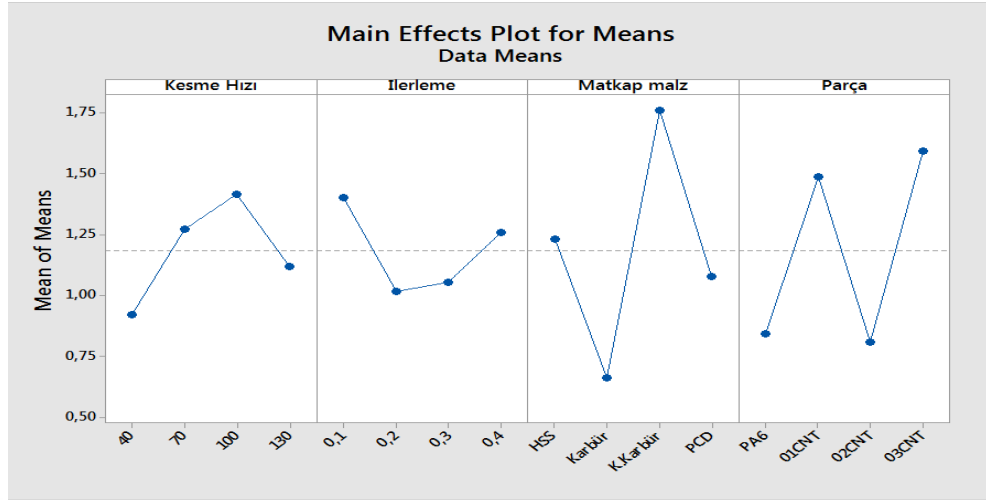




Şekil 4.20. PA6 ve ÇDKNT katkılı kompozitin yüzey pürüzlülüğü ana etki grafiği.

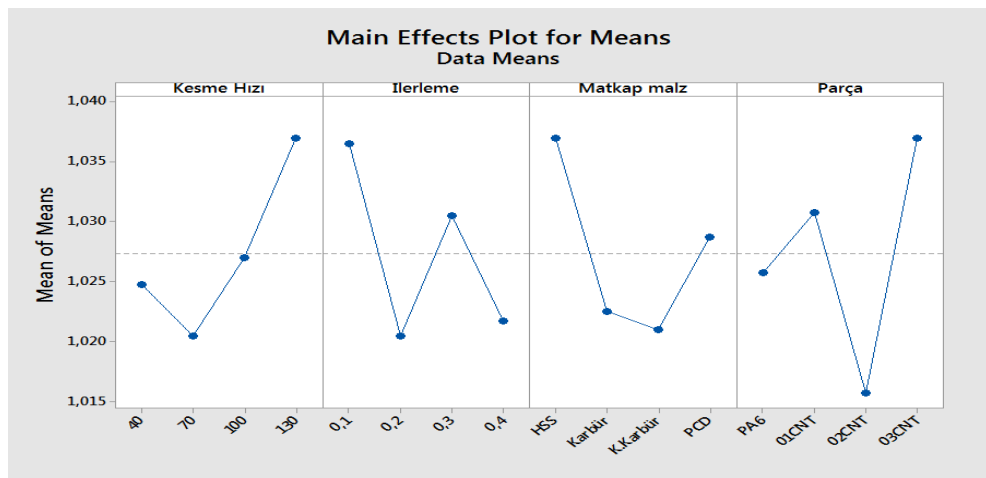
Elde edilen deneysel bulguların yüzey pürüzlülüğü açısından istatistiksel olarak yorumlanmasına göre katkısız ve ÇDKNT katkılı PA6 polimer kompozit plakların delinmelerinde kullanılması önerilen optimum parametreler 100 m/dak kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerlemedir. Dokuma kumaşlardan üretilen tabakalı kompozitlerin aksi eğilimi ÇDKNT takviyeli PA6 kompozitin işlenebilirlik deneylerinde de elde edilmiştir. Sürtünme kaynaklı matkap ısısının kesme bölgesinden daha hızlı uzaklaşabilmesi adına ilerlemenin yüksek seçilmesi gerekmektedir. Buda yüzey pürüzlülüğünün iyileşmesi anlamına gelmektedir (Uysal ve Altan 2015; Uysal, 2015). ÇDKNT parçacıklarının nano ölçekli olması ısınma açısından KE kadar büyük etki yapmamakta buda kesme hızının KE katkılı kompozitlerin işlenmesine kıyasla biraz daha büyük seçilebilmesine olanak sağlamaktadır.

Karbür matkap ise düşük yüzey pürüzlülüğü açısından kullanılması önerilen matkap malzemesidir. Katkı oranlarına göre yapıya ilave edilen ÇDKNT'nin yüzey pürüzlülüğünü düşürdüğü gözlemlenmiştir. Benzer biçimde Zinati ve Razfar yaptığı çalışmada (Zinati ve Razfar, 2014), KNT kattıkları PA6'yı frezeleyerek işlenebilirlik özelliklerini incelemiş ve yüzey pürüzlülüğünün KNT ilavesiyle katkısız PA6'ya kıyasla iyileştiğini ifade etmişlerdir. Ağırlıkça %0,2 ÇDKNT en düşük yüzey pürüzlülüğü vermekle birlikte en düşük ve en yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri 1,028-1,042 bandındaki çok dar bir aralıktadır. Bu bağlamda yüzey pürüzlülüğü alt ve üst değerleri incelendiğinde en geniş aralık matkap malzemesi değişiminde, daha sonra kesme hızı ve en son ilerleme değişiminde tespit edilmiştir. Buna göre yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en etkili parametre matkap malzemesidir.



Şekil 4.21. PA6 ve ÇDKNT katkı malzemelerinin giriş deformasyonu ana etki grafiği.

Katkısız ve ÇDKNT katkıli kompozit plakların delinmelerinde oluşan giriş deformasyon faktörü için önerilen optimum parametreler 40 m/dak kesme hızında, 0,2 mm/dev ilerleme için en uygun matkap karbür olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.21). Taguchi analizi sonuçlarına göre ise %0,2 ÇDKNT katkıli malzemesine giriş deformasyon faktörünü azalmıştır. Fakat ağırlıkça 0,1 ve 0,3 katkı oranlardaki deformasyon artışı işleme deneylerinde kontrol edilemeyen unsurların olduğunu ortaya koymaktadır. Deformasyon değişim bandı en geniş olan bir başka deyişle giriş deformasyon üzerindeki en etkili parametreler sırasıyla; yaklaşık 0,6-1,75 aralığı ile matkap malzemesidir, ardından yaklaşık 0,80-1,6 aralığı ile katkı malzemesi, yaklaşık 0,9-1,4 aralığı ile kesme hızı ve son olarak ilerlemedir. Buradan parametreler arasındaki seçim önceliğinin matkap malzemesinde olması gerektiği anlaşılmaktadır.



Şekil 4.22. PA6 ve ÇDKNT katkı malzemelerin çıkış deformasyonu ana etki grafiği.

Çıkış deformasyonu ana etki grafiğinin istatistiksel olarak yorumlanmasıyla yapılan değerlendirmeye göre katkısız ve ÇDKNT katkılı kompozit plakların delinmelerinde oluşan çıkış deformasyon faktörü için önerilen optimum parametreler 70 m/dak kesme hızında, 0,2 mm/dev ilerleme, en uygun matkap K. karbür olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.22). Katkı malzemesi açısından bakıldığında ise %0,2 ÇDKNT ilavesi en düşük çıkış deformasyonunu vermiştir. Çıkış deformasyonu üzerindeki en etkili parametre malzemenin kendisidir. Deformasyon katsayısı ÇDKNT ilave oranına göre 1,016-1,038 aralığında bulunup düşük deformasyon için öncelikli parametredir. İkinci dereceden etkili parametre ise 1,020-1,037 aralığı ile kesme hızı, ardından 1,020-1,036 aralığı ile ilerleme gelmektedir. Sayısal olarak en az etkili kesme parametresi 1,022-1,036 aralığı ile matkap malzemesi olsa da aslında tüm parametrelerin geniş ve birbirine yakın aralıkta seyir ettiği görülmektedir.

Deformasyon bant genişlikleri kıyaslandığında KE katkısında olduğu gibi çıkış deformasyon faktörünün giriş deformasyon faktöründen daha büyük olup bunun sebebi matkabın malzeme alt yüzeyinin çıkış yaparken oluşan patlatma kuvveti etkisidir. Alttan desteklenmeyen malzeme çıkış esnasında kısmen esnemekte buda matkabın kesme yüzeyinde temas bozukluğuna yol açmaktadır. Fakat giriş esnasında malzemenin kendi kalınlığı matkap için iyi bir destek oluşturmaktadır. Böylece matkabın kesici ağız malzemesiyle daha iyi bir açıdan kavramaktadır (Khashaba U., 2004; Khashaba vd., 2010a, 2010b).

ÇDKNT katkılı PA6 malzeme üzerinde yapılan işlenebilirlik deneyleri üreticilere önemli tavsiyeler verebilecek sonuçlar ortaya koymuştur. Buna göre katkı malzemesi açısından PA6 polimerine yapılan ağırlıkça %0,2 oranında ÇDKNT ilavesi hem yüzey pürüzlülüğü hem de giriş-çıkış deformasyonlarının düşürülmesi açısından oldukça olumlu sonuçlar vermiştir. Kesme parametreleri açısından ise 40-70 mm/dak gibi düşük kesme hızı ile 0,2 mm/dev ilerleme ön plana çıkarken Karbür ve K. karbür matkap malzemesi olumlu sonuçlar vermiştir.

Kesici takımlar arasındaki PCD matkap tüm deney grupları içerisinde en düşük performanslı matkap olurken Karbür ve K. karbür matkap ise deneylerin tamamına yakınında en iyi sonuçların alındığı matkaplar olmuştur.

Katkı malzemeleri kıyaslandığında ise ÇDKNT hemen yüzey pürüzlülüğünün düşürülmesi hem de giriş-çıkış deformasyonlarının düşürülmesinde olumlu etki yapmıştır. KE katkısı ise sadece yüzey pürüzlülüğünü arttırmış fakat giriş çıkış deformasyonlarının azalmasını sağlamıştır.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, farklı oranlarda KE ve ÇDKNT ile takviye edilmiş PA6 polimer kompozit levhaların işlenebilirlik özellikleri, farklı kesici takımlar, kesme hızı ve ilerleme parametrelerinde delinerek incelenmiştir. PA6 polimerine yapılan KE katkı oranları ağırlıkça %10; %20 ve %30 ÇDKNT katkı oranları ise yine ağırlıkça %0,1; %0,2 ve %0,3'tür. Matkap malzemeleri olarak HSS, karbür, kaplamalı karbür ve PCD'nin seçildiği çalışmada kesme hızı olarak 40; 70; 100 ve 130 m/dak ile ilerleme olarak 0,1; 0,2; 0,3 ve 0,4 mm/dev seçilmiştir. Kuru ortamda gerçekleştirilen delme deneylerinden sonra delinen numunelerin giriş ve çıkış yüzeylerinde meydana gelen deformasyonlar görüntü işleme yöntemi ile bulunmuş ve ayrıca delik iç yüzeylerinin pürüzlülükleri ölçülmüştür. Delme deneyleri sonucunda elde edilen veriler Taguchi yöntemi ile analiz edilmiştir.

Matkap malzemesinin referans alındığı deneylerden elde edilen sonuçlara göre;

- HSS matkap malzemesinin baz alınıp kesme parametrelerinin sabit tutulduğu incelemelerde artan KE katkısının kompozitin yüzey pürüzlülüğü ile giriş ve çıkış deformasyonlarını düşürdüğü görülmüştür. Fakat farklı katkı oranlarının farklı sonuçlar vermesi kesme parametrelerinin kontrolünün güçleştiğini göstermektedir.
- HSS matkap malzemesi ve ÇDKNT takviyeli PA6 kompozitinin işlenebilirliği incelendiğinde ise hem yüzey pürüzlülüğünde hem de giriş-çıkış deformasyonlarında olumsuz etki gözlemlenmiştir. Tespit edilen küçük iyileşmeler genel eğilimin artış yönünde olduğunu gizleyememiştir.
- Karbür matkap malzemesi ile yapılan delme deneylerinde artan KE katkısının kompozitin yüzey pürüzlülüğünü arttırırken giriş ve çıkış deformasyonlarının düşürdüğü görülmüştür.
- Karbür matkap malzemesi ve artan ÇDKNT katkısının etkilerinin değerlendirildiği deneylerde yüzey pürüzlülüğü azalırken giriş ve çıkış deformasyonu ölçümlerinde azalma ve artma eğilimleri birlikte gözlemlenmiştir. Bu durum yine parametrelerin kontrol edilebilirliğinin güçlüğüne işaret etmektedir.
- K. karbür malzemesi ve artan KE katkısının etkileri değerlendirildiğinde yüzey pürüzlülüğü değerlerinde %50'leri bulan iyileşme oranları yakalanmıştır. Giriş ve çıkış deformasyonları açısından yapılan incelemelerde de azalma eğilimi gözlemlenmiştir.

- ÇDKNT ilavesi yapılmış PA6 polimer kompozitinin K. karbür matkap ile yapılan delme deneylerinin sonuçlarına göre genel eğilim pürüzlülüğün azalması yönündedir. Giriş ve çıkış deformasyonları üzerinden yapılan analizlerde farklı % ÇDKNT katkı oranlarında da olsa tüm deney gruplarında azalma tespit edilebilmiştir.
- PCD matkap ve sabit kesme parametrelerinde yapılan delme deneylerinde % KE oranının artması yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumlu etki yaparak azalmasını sağlamıştır. Deformasyon sonuçları açısından yapılan incelemelerde % KE oranının artması giriş deformasyonu açısından olumsuz etki yaparken çıkış deformasyonlarının tamamında olumlu etki yapmıştır.
- PCD matkap ile sabit parametreler bazında yapılan delme deneylerinde artan % ÇDKNT oranı yüzey pürüzlülüğünün orta seviye ilerleme ve kesme hızlarında düşürürken uç seviyelerdeki ilerleme ve kesme hızı değerlerinde arttırmıştır. PCD matkap ile yapılan deneylerde katkı malzemesinden çok kesme parametrelerinin sonuçlar üzerinde baskın olduğu anlaşılmıştır. Hesaplanan giriş-çıkış deformasyonlarında da değişken eğilimler tespit edilmiştir. Özellikle seçili tek bir parametre için hesaplanan deformasyon, artan kesme hızı ve düşen ilerleme ile giriş ve çıkış arasında tamamen zıt etki yapmıştır. Aynı şartlarda yüzey pürüzlülüğü düşerken deformasyonun arttığı sonuçların bulunması sadece bu deney grubu için değil tüm gruplar için endüstriyel üretim süreçlerinde parametre seçimini ve uygulanabilirliği güçleştirmektedir.

Yapılan deneysel çalışmanın amacı endüstride benzer üretim ve işleme operasyonlarını yapacak işletmelere referans değerler sunmak olduğu için tüm parametrelerin ana etkileri ayrıca istatistiksel analizi başlığı altında detaylıca incelenmiştir. Buradaki amaç işletmecilerin istedikleri düşük yüzey pürüzlülüğü, düşük giriş deformasyonu veya düşük çıkış deformasyonu değerlerini sunabilmektir. Buna göre işletmecilerin hedefledikleri üretim ve işleme özellikleri sonucunu aşağıda sunulan veriler ışığında kolayca elde edebilecekleri öngörülmektedir. Burada elde edilen sonuçlara göre;

- Katkısız ve KE katkılı kompozit plakların delinmelerinde düşük yüzey pürüzlülüğü elde etmek için önerilen optimum parametreler düşük (40 m/dak) kesme hızı ve yüksek (0,4 mm/dev) ilerlemedir. HSS matkap ise düşük yüzey pürüzlülüğü elde etmek için kullanılması önerilen en uygun matkap malzemesidir. PA6 malzemesine yapılan KE ilavesi arttıkça, yüzey pürüzlülüğü değeri de artmıştır.

- Giriş deformasyon faktörlü açısından istatistiksel olarak incelendiğinde katkısız ve KE katkılı kompozit plakların delinmelerinde daha düşük giriş deformasyon faktörü elde edebilmek için önerilen optimum parametreler 100 m/dak kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerlemedir. Düşük giriş deformasyonu elde edebilmek için en uygun matkap malzemesi K. karbür olarak tespit edilmiştir.
- Katkısız ve KE katkılı kompozit plakların delinmelerinde daha düşük çıkış deformasyon faktörü elde edebilmek için önerilen optimum parametreler 100 m/dak kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerlemedir. En uygun matkap malzemesi Karbür olarak tespit edilmiştir. Yapıya ilave edilen KE ise lineer sayılabilecek bir etkiyle çıkış deformasyonunun azalmasını sağlamıştır.
- KE katkılı PA6 malzemeler üzerine yapılacak imalat çalışmalarında kullanıcının tercihi deformasyon faktörünün daha düşük olduğu parametrelerin seçimine yönelik olmalıdır. Buna göre malzemeye katılan KE yüzey pürüzlülüğünü arttırsa da daha önemli olan giriş ve çıkış deformasyonlarını azaltmış yani KE katkısının olumlu etki yaptığı görülmüştür.
- Kesme parametreleri açısından yüksek ilerleme (100 m/dak) ve yüksek kesme hızı (0,4 mm/dev), matkap malzemesi olarak karbür ve kaplamalı karbür ve katkı oranı olarak %30 KE oranı malzemeyi katkısız PA6'ya kıyasla daha düşük deformasyonla işlenebilmesine olanak sağlamaktadır.
- Yüzey pürüzlülüğünün de düşük istendiği durumlarda KE katkısı giriş-çıkış deformasyonu ve yüzey pürüzlülüğü ortalama değerinin altında etkileri olan ağırlıkça %10 değerinin seçilmesi uygun olacaktır.
- Katkısız ve ÇDKNT katkılı PA6 polimer kompozit plakların delinmelerinde kullanılması önerilen optimum parametreler 100 m/dak kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerlemedir. Karbür matkap ise düşük yüzey pürüzlülüğü açısından kullanılması önerilen matkap malzemesidir. Katkı oranlarına göre ise yüzey pürüzlülüğünün azalıp arttığı oranlar mevcut olup lineer bir etkileşim tespit edilememiştir. Yüzey pürüzlülüğü alt ve üst değerleri incelendiğinde en etkili parametrenin matkap malzemesi olduğu anlaşılmıştır.
- Düşük giriş deformasyon faktörü için önerilen optimum parametreler 100 m/dak kesme hızında, 0,1 mm/dev ilerleme için en uygun matkap K. karbür olarak tespit edilmiştir.
- Düşük çıkış deformasyon faktörü için önerilen optimum parametreler 70 m/dak kesme hızında, 0,2 mm/dev ilerleme, en uygun matkap K. karbür olarak tespit edilmiştir.

- Katkı malzemesi açısından PA6 polimerine yapılan ağırlıkça %0,2 oranında ÇDKNT ilavesi hem yüzey pürüzlülüğü hem de giriş-çıkış deformasyonlarının düşürülmesi açısından oldukça olumlu sonuçlar vermiştir. Kesme parametreleri açısından ise 40-70 mm/dak gibi düşük kesme hızı ile 0,2 mm/dev ilerleme ön plana çıkarken Karbür ve K. karbür matkap malzemesi olumlu sonuçlar vermiştir.
- Kesici takımlar arasındaki PCD matkap tüm deney grupları içerisinde en düşük performanslı matkap olurken Karbür ve Kaplamalı karbür matkap ise deneylerin tamamına yakınında en iyi sonuçların alındığı matkaplar olmuştur.
- Katkı malzemeleri kıyaslandığında ise ÇDKNT hemen yüzey pürüzlülüğünün düşürülmesi hem de giriş-çıkış deformasyonlarının düşürülmesinde olumlu etki yapmıştır. KE katkısı ise sadece yüzey pürüzlülüğünü arttırmış fakat giriş çıkış deformasyonlarının azalmasını sağlamıştır.

## 5.2. Öneriler

Tamamlanan bu kapsamlı çalışma özellikle endüstriyel üreticilere oldukça değerli veriler sunmakla beraber daha da genişletilebilir niteliktedir. Buna göre gelecek çalışmalar için aşağıdaki öneriler yapılmıştır.

- Endüstrinin ihtiyaçları doğrultusunda daha farklı katkı malzemeleri PA6 polimerine katılabilir.
- Yapılacak yüksek sayıda delme deneyi ile takım aşınması üzerindeki etkiler çalışılabilir.
- Kesici takımların maliyetleri düşünüldüğünde maliyetler açısından optimum değerlerin bulunması incelenebilir.
- Daha düşük pürüzlülük hedeflerine ulaşabilmek için çeşitli yağlayıcı katkıları yapı içerisine katılarak hibrit kompozit üretimi ve işlenebilirliği incelenebilir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akdur, B. (2016), Etial 171 Alüminyum Alaşımli Malzeme Talaşlı İmalatı Yapan Bir İşletmede Hassas Toleranslı Ölçülerde Pcd ve Karbür Kesici Takım Kullanımının İstatistiksel Proses Kontrol Metoduyla Karşılaştırılması, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Akkurt, M. (1999), Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Ali, H. M., Iqbal, A. ve Liang, L. (2013), A Comparative Study on the Use of Drilling and Milling Processes in Hole Making of GFRP Composite, Indian Academy of Sciences, cilt 38, s.743-760.
- Apakhan, M. (2006), Seramik Takımlarla Talaş Kaldırmada Talaş Açısının İşlenebilirliğine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya
- Arslan, H. Kesici Takım Malzeleri, Hamitarıslan web sitesi:<http://www.hamitarıslan.com/kesici-takim-malzemeleri.html> adresinden alındı. Erişim Tarihi: 11.11.2018.
- Arul, S., Vijayaraghavan, L., Malhotra, S. ve Krishnamurthy, R. (2006), The effect of Vibratory Drilling on Hole Quality in Polymeric Composites, Intenational Journal of Machine Tools and Manufacture, cilt 46, s. 252-259.
- Ateş, S. (2010), P20 Çeliğinin CBN İle Yüksek Hızlarda Frezelenmesi Sırasında Kesme Derinliği ve Genişliği Değerinin Aşınma ve Yüzey Pürüzlülüğüne Olan Etkisinin İncelenmesi, International Journal Engineering Research Development, cilt 2, s.28-33.
- Bağcı, M. (2010), Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Erozyon Aşınma Davranışının İncelenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Bal, H. (2009), Sürekli Elyaf Takviyeli Termoplastiklerin Mekanik ve Termal Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Bayraktar, Ö. (2016), Ön Gerilimli Karbon Elyaf Takviyeli Kompozit Üretimi İçin Sistem Tasarımı, İmalatı ve Kompozit Malzeme Üretimi, Yüksek Lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bayraktar, Ş. (2011), Karbon Elyaf Takviyeli Polimer Kompozit Malzemelerin Frezeleme İşleminde İşlenebilirliğinin Deneysel Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bayraktar, Ş., Siyambaş, Y. ve Turgut, Y. (2016), Delik Delme Prosesi: Bir Araştırma, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, cilt 21, s. 120-130.
- Bilge, T., Motorcu, A. R. ve Ivanov, A. (2017), Kompakt Laminat Kompozit Malzemenin Tungsten Karbür Takımlarla Delinmesinde Delaminasyon Faktörünün Değerlendirilmesi, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, cilt 23, s. 427-436.



### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Bingül, E. (2014), K390 Soğuk İş Takım Çeliğinin Tornalanmasında Temperleme Sıcaklığının İşlenebilirlik Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

Cam Elyaf A.Ş. (2000), Ctp Teknolojisi, Cam Elyaf Sanayi Yayınları.

Cumhur, A. (2011), Cam Fiber Takviyeli Plastiklerin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi, 9. Uluslararası Kırılma Konferansı, Yıldız Teknik Üniversitesi, s. 155-165.

Cksseals.com: [http://www.cksseals.com/teknik\\_bilgiler\\_a2.php](http://www.cksseals.com/teknik_bilgiler_a2.php) adresinden alındı. Erişim Tarihi: 24.01.2019.

Çakmak, S. (2015), AISI 4140 Çeliğinin İşlenmesinde Kesici Uç Geometrisinin Talaş Kırmaya ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.

Çelikçi, H. (2013), Karbon Elyaf Takviyeli Yüksek Yoğunluklu Polietilenin Isıl ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yalova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yalova.

Debnath, K., Singh, I. ve Dvivedi, A. (2014), Drilling Characteristics of Sisal Fiber-Reinforced Epoxy and Polypropylene Composites, Materials and Manufacturing Processes, cilt 29, s.1401-1409.

Demirel, A. (2007), Karbon Elyaf Takviyeli Epoksi Karbon Elyaf Takviyeli Epoksi kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Domaç, H. (2011), Frezeleme İşleminde Kesici Uç Yarıçapı ve Uç Geometrisinin Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Kuvvetleri Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Durão, L. M., Gonçaves, D., Tavares, J., Albuquerque, V., Vieira, A. ve Marques, A. (2010), Drilling Tool Geometry Evaluation for Reinforced Composite Laminates, Composite Structures, cilt 92, s. 1545-1550.

Ekici, R. (2004), Alüminyum Eseslı SİC Partikül Takviyeli Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

Ekşi, O. (2007), Plastik Eseslı Malzemelerin Isıl Şekil Verme Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

Erkal, Ö. G. (2015), Karbon Epoksi Kompozitin Camsı Geçiş Sıcaklığı Üzerine Farklı Kürleşme Çevrimlerinin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Eyigün, A. (2014), Tornalama İşleminde Lunet Kullanımının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.

Fıçıcı, F., ve Ayparçası, Z. (2014), %30 Cam Fiber Takviyeli Polipitilamit (PPA) Matriksli Kompozit Malzemenin Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi, 5. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu (Utis 2014), s. 473-481, Bursa.

Gaitonde, V., Karnik, S., Campos Rubio, J., Esteves Correia, A., Abrao, A. ve Paulo Davim, J. (2008), Analysis of Parametric Influence on Delamination in High-Speed Drilling of Carbon Fiber Reinforced Plastic Composites, Journal of Materials Processing Technology, cilt 203, s. 431-438.

Gay, D. (2014), Composite Materials Design and Applications, Crc Press.

Ghabezi, P. ve Khoran, M. (2014), Optimization of Drilling Parameters in Composite Sandwich Structures (Pvc Core), Indian Journal Science Research., cilt 2, s. 173-179.

Grilo, T., Paulo, R., Silva, C. ve Davim, J. (2013), Experimental Delamination Analyses of Cfrps Using Different Drill Geometries, Composites: Part B, cilt 45, s. 1344-1350.

Güney, Z. H. (2011), Enjeksiyonda Şekillendirilen Termoplastik Malzemelerde Farklı Dolguların Birleşme İzine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Gür, A. O. (2011), Poliamid 66/Sepiyolit Kompozitlerin Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Henerichs, M., Harsch, R., Kuster, F. ve Wegener, K. (2014), Tool Life Time Extension with Nano-Crystalline Diamond Coatings for Procedia Cirp, cilt 24, s. 125-129.

Herbert, M. A., Shetty, D., Vijay, G. ve Shetty, R. (2014), Evaluation of Drilling Induced Delamination of Carbon Fiber Reinforced Polymer Composite Using Solid Carbide Drills, European Scientific Journal, cilt 10, s. 279-291.

Hocheng, H. ve Dharan, C. (1990), Delamination During Drilling in Composite Laminates. ASME Journal of Engineering for Industry, cilt 112, s. 236-239.

Hüner, Ü. (2008), Plastik Esaslı Kompozit Malzemelerin Sıcak Birleştirme İşlemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniveritesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

Iliescu, D., Gehin, D., Gutierrez, M. ve Girot, F. (2010), Modeling and Tool Wear in Drilling of CFRP, International Journal of Machine tools and Manufacture, cilt 50, s. 204-213.

Işık, B. ve Ekici, E. (2010), Experimental Investigations of Damage Analysis in Drilling of Woven Glass Fiber-Reinforced Plastic Composites, international Journal Advanced Manufacture Technology, cilt 49, s. 861-869.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

İçli, P. S. (2006), Polimerik Kompozitler: Geleceğin Teknolojileri I. Polimerik Kompozitler Sempozyumu ve Sergisi, s. 43-46, İzmir.

Jain, S. ve Yang, D. (1994), Delamination-Free Drilling of Composite Laminates. ASME Journal of Engineering for Industry , cilt 116, s. 475-481.

Kaplan, M. (2017), Otomotiv Endüstrisinde Reçine Transfer Kalıplama (RTM): Güncel Gelişmeler ve Başarılı Uygulamalar, Bartın Üniversitesi, Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi, cilt 5, s. 47-53, Bartın.

Karacasulu, S. S. (2015), Plastik Enjeksiyon Kalıplarında PVC (Polivinil Klorür) ve Pc (Polikarbonat) İçin En Uygun Kalıp Çeliği Seçimi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Karadeniz, E. (2006), Poliamid/Polipropilen (PA/PP) Karışımlarının Yapı ve Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Karimi, N. Z., Heidary, H., Minak, G. ve Ahmadi, M. (2013), Effect of the Drilling Process on the Compression Behavior of Glass/Epoxy Laminates, Composite Structures, cilt 98, s. 59-68.

Karpat, Y., Değer, B. ve Bahtiyar, O. (2012), Drilling Thick Fabric Woven CFRP Laminates with Double Point Angle Drills, Journal of Materials Processing Technology, cilt 212, s. 2117-2127.

Khashaba, U. (2004), Delamination in Drilling GFR-Thermoset Composites, Composite Structure , cilt 63, s. 313-327.

Khashaba, U., El-Sonbaty, I., Selmy, A. ve Megahed, A. (2010a), Machinability Analysis in Drilling Woven GFR/Epoxy Composites: Part I-Effect of Machining Parameters, Composites: Part A, s. 391-400.

Khashaba, U., El-Sonbaty, I., Selmy, A. ve Megahed, A. (2010b), Machinability Analysis in Drilling Woven Gfr/Epoxy Composites: Part II-Effect of Drill Wear, Composites: Part A, cilt 41, s. 1130-1137.

Kilickap, E. (2010), Optimization of Cutting Parameters on Delamination Based on Taguchi Method, Expert Systems with Applications, cilt 37, s. 6116-6122.

Koçak, A. (2010), Poliamid Düz Dişlilerin Dayanımına Yay İle Oluşturulan Gerilmelerin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.

Koruvatan, A. (2008), Farklı Kür Sıcaklığı ve Sürelerinde Üretilen Tabakalı Kompozit Plakaların Pimli/Civatalı Bağlantılarının Hasar Analizinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Krishnaraj, V., Prabukarthi, A., Ramanathan, A., Elanghovan, N., Kumar, M., Zitoune, R. ve Davim, J. (2012), Optimization of Machining Parameters at High Speed Drilling of Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP) Laminates, Composites: Part B, cilt 43, s. 1791-1799.

Kuram, E. (2016), Micro-Machinability of Injection Molded Polyamide 6 Polymer and Glass-Fiber Reinforced Polyamide 6 Composite, Composites Part B, cilt 88, s. 85-100.

Madhavan, S. ve Prabu, S. (2012), An Experimental Study of Influence of Drill Geometry on Drilling of Carbon Fibre Reinforced Plastic Composites, International Journal of Engineering Research and Development, cilt 3 , s. 36-44.

Mağdala, M. Ö. (2009), Isı Kalkanları İçin Kalıplanabilir Karbon Fenolik Kompozit Üretimi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Mazumdar, S. K. (2002), Composites Manufacturing Materials, Product and Process Engineering, United States of America: Crc Press, s. 24-25.

Nasir, A. A., Azmi, A. ve Khalil, A. (2015), Measurement and Optimisation of Residual Tensile Strength and Delamination Damage of Drilled Flax Fibre Reinforced Composites, Measurement, cilt 75, s. 298-307.

Naveen, P. N. E., Yasaswi, M. ve Prasad, R. V. (2012), Experimental Investigation of Drilling Parameters on Composite Materials, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, cilt 2, s. 30-37.

Okutan, E. (2009), Polimer Kompozitlerin Matkapla Delinme Karakteristiklerinin ve Oluşan Mekanizmalarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

Özçatalbaş, Y. (2014), Mühendislik Malzemelerinin İşlenebilirliği, Ders Notları, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Ankara.

Özer, A. (2012), Sert Seramik Katkıların Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr Sermetlerin Mekanik ve Aşınma Özelliklerine Etkisi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gebze.

Özer, H. (2015), Sürekli Cam Elyaf Takviyeli Termoplastik Kompozit Malzemelerin Geliştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi, Yüksel Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Öztürk, Ö. (2015), Poliüre Matris Malzemesi ve Cam, Aramid, Karbon Elyaf Kumaş Takviyeleri Kullanılarak Üretilen Kompozit Malzemelerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.

Palanikumar, K. (2011), Experimental Investigation and Optimisation in Drilling of GFRP Composites, Measurement, cilt 44, s. 2138-2148.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Palanikumar, K., Srinivasan, T., Rajagopal, K. ve Latha, B. (2016), Thrust Force Analysis in Drilling Glass Fiber Reinforced/Polypropylene (GFR/PP) Composites. *Materials and Manufacturing Processes*, cilt 31, s. 581-586.

Panneerselvam, T. ve Raghuraman, S. (2015), Optimization of Drilling Parameters For Delamination Associated with Pre-Drill in Chopped Strand Mat Glass Fibre Reinforced Polymeric Material, *Pertanika Journal Science and Technology*, cilt 23, s. 61-72.

Phadnis, V. A., Makhdam, F., Roy, A. ve Silberschmidt, V. (2013), Drilling in Carbon/Epoxy Composites: Experimental Investigations and Finite Element Implementation, *Composites: Part A*, cilt 47, s. 41-51.

Plasto.com: <http://www.plasto.com.tr/files/upload/files/1-2-3.pdf> adresinden alındı. Erişim tarihi: 17 Temmuz 2017.

Rajamurugan, T., Shanmugam, K. ve Palanikumar, K. (2013), Analysis of Delamination in Drilling Glass Fiber Reinforced Polyester Composites, *Materials and Design*, cilt 45, s. 80-87.

Ramesh, M., Palanikumar, K. ve Reddy, K. (2014), Experimental Investigation and Analysis of Machining Characteristics in Drilling Hybrid Glass-Sisal-Jute Fiber Reinforced Polymer Composites, 5th International and 26th All India Manufacturing Technology, Design and Research Conference, s. 461-1, 461-6.

Rao, U. S. ve Rodrigues, L. (2015), Controlling Process Factors to Optimize Surface Quality in Drilling Of Gfrp Composites By Integrating Doe, Anova and Rsm Techniques, *Indian Journal of Science and Technology*, cilt 8, s. 1-9.

Resinex.com: <http://www.resinex.com.tr/polimer-turleri/pe.html> adresinden alındı. Erişim tarihi: 17 Temmuz 2017.

Rubio, J. C., Silva, L., Leite, W., Panzera, T., Filho, S. ve Davim, J. (2013), Investigations on the Drilling Process of Unreinforced and Reinforced Polyamides Using Taguchi Method. *Composites: Part B*, cilt 55, s. 338-344.

Saçaklı, Y. (2011), Değişik Partikül Boyutlarındaki Mg(OH)<sub>2</sub> Katkılı Polipropilen (PP) Nanokompozitinin Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Shahrajabian, H. ve Farahnakian, M. (2013), Modeling and Multi-Constrained Optimization in Drilling Process of Carbon Fiber Reinforced Epoxy Composite. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, cilt 14, s. 1829-1837.

Tanboğa, B. (2007), Darbe Altındaki Elyaf Takviyeli Kompozit Tüpün Sonlu Elemanlar Modellemesi ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Topal, E. (2014), Kompozit, Delikli Kare Levhalarda İki Yönlü Yükleme Altında Mekanik Burkulmalarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorum.

Turan, U. (2012), Kolemanit Katkılı Polipropilen Malzemelerin Kırılma Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

Turki Y., Habak, M., Velasco, R., Aboura, Z., ve Khellil, K. (2014), Experimental Investigation of Drilling Damage and Stitching Effects on the Mechanical Behavior of Carbon/Epoxy Composites, International Journal of Machine Tools and Manufacture, cilt 87, s. 61-72.

Uysal, A. (2015), Relation Between Drill Bit Temperature and Chip Forms in Drilling of Carbon Black Reinforced Polyamide, Journal of Thermal Engineering Yıldız Technical University Press, cilt 1 , s. 655-658.

Uysal, A. ve Altan, E. (2015), Karbon Siyahı Takviyeli Elektriği İleten Polipropilen Kompozite Delik Delinmesinde İşlem Parametrelerinin İncelenmesi, Politeknik Dergisi, cilt 18 , s. 241-249.

Ünal, A. R. (2013), Geri Dönüşmüş Termoplastik Matrisli Kompozitlerin Otomotiv Endüstrisinde Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ünal, T. ve Akoral, E. (2003), Sertleştirilmiş Alaşımli Makine Çeliğinin Seramik Kesici Takımlarla İşlenebilirliği ve Takım Ömrü Denklemi Modelinin Oluşturulması, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, s. 513-521.

Vaxevanidis, N. M., Fountas, N.A., Ntziantzias, I., Koutsomichalis, A. ve Vencl, A. (2016), Experimental Investigation and Statistical Analysis of Surface Roughness Parameters in Milling of PA66-GF30 Glass-Fibre Reinforced Polyamid, Tribological Journal Bultrib, s. 304-314, Sofia.

Vinayagamoorthy, R., Subramanyam, K., Kumar, T. ve Reddy, Y. (2016), Modeling and Analysis of Drilling Induced Damages on Hybrid Composites, Indian Journal of Science and Technology, cilt 9 , s. 1-10.

Xu, J., An, Q. ve Chen, M. (2014), A Comparative Evaluation of Polycrystalline Diamond Drills in Drilling High-Strength T800s/250f CFRP, Composite Structures, cilt 117, s. 71-82.

Yağmur, S., Acır, A., Şeker, U. ve Günay, M. (2013), Delik Delme İşlemlerinde Kesme Parametrelerinin Kesme Bölgesindeki Sıcaklığa Etkisinin Deneysel İncelenmesi, cilt 28, s. 1-6.

Yakut, R. (2008), Bazı Termoplastik Dişli Çarkların Yük Taşıma Kapasitesi ve Hasar Oluşumunun Deneysel olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

Yıldırım, M. (2016), Mekanik Alaşım Yöntemi İle AA7075-Karbon Nanotüp Takviyeli Metal Matrisli Kompozit Üretimi Karakterizasyonu ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Doktra Tezi; Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

Yıldızhan, H. (2008), Polimer Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Yılmaz, N. G. (2011), Karbon Elyaf Takviyeli Termoplastik Karmaların Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

Yılmaz, R. (2014), Karbür Kesici Takımların Süper Alaşım Talaşlı İmalat Performanslarına Borlama İşleminin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Zhang J.G., Bin, S. ve Fang-Hong, S. (2013), Fabrication and Drilling Tests of Chemical Vapor Deposition Diamond Coated Drills in Machining Carbon Fiber Reinforced Plasti, Journal Shanghai Jiaotong University, cilt 18, s. 394-400.

Zinati, R. F. ve Razfar, M. (2014), Experimental and Modeling Investigation Of Surface Roughness in End-Milling Of Polyamide 6/Multi-Walled Carbon Nano-Tube Composite, International Journal Advanced Manufacture Technology, cilt 75, s. 979-989.

Zitoune, R., El Mansori, M., ve Krishnaraj, V. (2013), Tribo-Functional Design of Double Cone Drill Implications in Tool Wear During Drilling of Copper Mesh/CFRP/Woven Ply, cilt 302, s. 1560-1567.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı ve Adı : GENÇ, Abdurrahman  
Doğum Tarihi ve Yeri : 1985-İnebolu  
E-mail : a.genc37@hotmail.com

### Eğitim Durumu

Yüksek lisans : DPÜ Fen Bilimleri Enst. İleri Tek. Devam Ediyor  
Lisans : DPÜ Simav T.E.F. Makine Eğitimi, 2009  
Lise : Alibeyköy T.E.M.L. Elektrik, 2003

### İş Denevimi

Yıl	Yer	Görev
2014-....	Mimar Sinan MTAL	Makine Tek. Öğretmeni.
2011	Vicimas	İmalat Sorumlusu
2010	Stil Makina	İmalat Sorumlusu

Yabancı Dil : İngilizce