



**CAM BİLYA PARTİKÜL İLE TAKVİYE EDİLMİŞ
PA66'NİN İŞLENEBİLİRLİĞİ VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Gonca USLU

**2021
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Nafiz YAŞAR**

**CAM BİLYA PARTİKÜL İLE TAKVİYE EDİLMİŞ PA66'NİN
İŞLENEBİLİRLİĞİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Gonca USLU

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Nafiz YAŞAR**

**KARABÜK
Haziran 2021**

Gonca USLU tarafından hazırlanan “CAM BİLYA PARTİKÜL İLE TAKVİYE EDİLMİŞ PA66’NİN İŞLENEBİLİRLİĞİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Nafiz YAŞAR

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 11/06/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Hüseyin ÜNAL (SUBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi. Nafiz YAŞAR (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Erdi KORKMRAZ (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Gonca USLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

CAM BİLYA PARTİKÜL İLE TAKVİYE EDİLMİŞ PA66'NİN İŞLENEBİLİRLİĞİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Gonca USLU

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Nafiz YAŞAR

Haziran 2021, 50 sayfa

Bu çalışmada, farklı oranlarda cam bilya (CB) takviye edilerek üretilen poliamid 66 (PA66) malzemelerde CB katkısının mekanik özelliklere ve delinebilirliğe etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, mekanik özellikler için çekme mukavemeti, elastiklik modülü, sertlik, kopmadaki uzama ve darbe mukavemeti ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, delme yöntemiyle gerçekleştirilen işlenebilirlik deneylerinde itme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü işleme çıktıları değerlendirilmiştir. Delme deneylerinde, iki farklı matkap kalitesi (kaplamasız ve kaplamalı) ile ilerleme miktarı ve kesme hızının üçer farklı seviyeleri kullanılmıştır. Mekanik testler sonucunda, CB takviyesinin çekme mukavemeti, darbe mukavemeti ve kopmadaki uzama oranını düşürdüğü, sertlik ve elastiklik modülünü ise artırdığı gözlemlenmiştir. En yüksek çekme mukavemeti, darbe mukavemeti ve kopmadaki uzama oranı CB takviye edilmemiş PA66 ile elde edilirken, en yüksek sertlik değeri ve elastiklik modülü %30 CB takviyeli PA66 ile elde edilmiştir. Delme deneyleri sonucunda ise

kaplamalı matkap ile elde edilen itme kuvveti (Fz) değerleri, kaplamasız matkap ile elde edilen değerlere göre daha düşük çıkmıştır. Diğer taraftan, artan CB oranına bağlı olarak Fz değerinin arttığı gözlemlenmiştir. En düşük Fz değeri kaplamalı matkap ile %10 CB takviyeli PA66 ile elde edilmiştir. En yüksek Fz değeri ise kaplamasız matkap ile %30 CB takviyeli PA66 ile elde edilmiştir. Yüzey przsllğ (Ra) açısından yapılan değerlendirmede artan CB takviye oranının Ra değerini artırdığı, aynı CB takviye oranlarında yapılan kıyaslamalarda ise kaplamalı matkap ile elde edilen Ra değerleri, kaplamasız göre daha düşük çıkmıştır. En düşük Ra değeri %10 CB takviyeli PA66'nın kaplamalı matkap ile delinmesinde, en yüksek Ra değeri ise %30 CB takviyeli PA66'nın kaplamasız matkap ile delme işleminde ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlara göre, CB takviyesinin Fz ve Ra değerlerini artırdığı, kesici takım kaplamasına bağlı olarak düşüş dergilediğini söylemek mümkündür. Ayrıca artan ilerleme miktarına bağlı olarak Fz ve Ra değerlerinde artış olduğu grlmştir. Kesme hızının artışlarında Fz ve Ra değerlerinde azalma olduğu, ancak kesme hızının 80 m/dak'dan 120 m/dak'ya artışlarında Ra değerlerinin arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Cam bilya takviye, poliamid 66, delik delme.

Bilim Kodu : 91417

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

PROCESSABILITY AND MECHANICAL PROPERTIES OF PA66 REINFORCED WITH GLASS BALL PARTICLES

Gonca USLU

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Nafiz YAŞAR

June 2021, 50 pages

In this study, it was aimed to investigate the effect of glass ball (GB) additive on mechanical properties and punctureability of polyamide 66 (PA66) materials produced by reinforcing GB at different rates. In this direction, tensile strength, modulus of elasticity, hardness, elongation at break and impact strength were measured for mechanical properties. In addition, the thrust force and surface roughness machining outputs were evaluated in the machinability tests performed with the drilling method. In drilling experiments, two different drill qualities (uncoated and coated) and three different levels of feed rate and cutting speed were used. As a result of the mechanical tests, it was observed that GB reinforcement decreased the tensile strength, impact strength and elongation at break, while increasing the stiffness and modulus of elasticity. The highest tensile strength, impact strength and elongation at break were obtained with PA66 without GB reinforcement, while the highest hardness value and modulus of elasticity were obtained with 30% GB reinforced PA66. As a result of

the drilling experiments, the thrust force (F_z) values obtained with the coated drill were lower than the values obtained with the uncoated drill. On the other hand, it was noticed that the F_z value rose depending on the increasing GB ratio. The lowest F_z value was obtained with coated drill and 10% GB reinforced PA66. The highest F_z value was obtained with uncoated drill and 30% GB reinforced PA66. In the evaluation made in terms of surface roughness (R_a), increasing the GB reinforcement ratio increased the R_a value, and in the comparisons made at the same GB reinforcement ratios, the R_a values obtained with the coated drill were lower than the uncoated drill. The lowest R_a value was observed when drilling 10% GB reinforced PA66 with a coated drill, and the highest R_a value was found in drilling with an uncoated drill of 30% GB reinforced PA66. According to these results, it is possible to say that GB reinforcement increases the F_z and R_a values and journals decrease depending on the cutting tool coating. In addition, it was observed that the F_z and R_a values increased depending on the increasing feed rate. It was determined that there was a decrease in F_z and R_a values with increasing cutting speed, but R_a values increased with increasing cutting speed from 80 m/min to 120 m/min.

Key Word : Glass ball reinforcement, polyamide 66, drilling.

Science Code : 91417

TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐmasının yürütülmesinde bilgi, beceri ve tecrübesiyle yol gösterici olan değerli danıŐmanım Dr. Öğr. Üyesi Nafiz YAŞAR'a, desteklerinden ve katkılarından dolayı Prof. Dr. Hüseyin ÜNAL'a ve Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Erdi KORKMAZ'a Őükranlarımı sunarım.

Sevgili eŐime, oğluma, aileme ve kardeŐlerime hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	3
BÖLÜM 3	6
KURAMSAL TEMELLER	6
3.1. POLİAMİD	6
3.1.1. PA 66	9
3.1.1.1. PA66'nın Mekanik Özellikleri.....	10
3.1.1.2. PA66'nın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	11
3.1.1.3. PA66'nın Termal Özellikleri ve Isı ile Bozunması.....	11
3.1.1.4. PA66'nın Kullanım Alanları ve Çevre Koşullarına Direnci.....	12
3.2. DELİK DELME	13
3.2.1. Delik Delme İşlemi.....	14
3.2.2. Delik Delme İşlem Çeşitleri	16
3.2.3. Kesme ve İlerleme Hızı	18

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 4	20
MALZEME VE YÖNTEM	20
BÖLÜM 5	25
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	25
5.1. MEKANİK ÖZELLİKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ	25
5.2. İTME KUVVETİNİN (Fz) DEĞERLENDİRİLMESİ	27
5.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	30
BÖLÜM 6	41
SONUÇ VE ÖNERİLER	41
6.1. SONUÇLAR	41
6.2. ÖNERİLER	43
KAYNAKLAR	44
ÖZGEÇMİŞ	50

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Poliamid hava yastığı ipliği	7
Şekil 3.2. Elektrik-elektronik sektöründe poliamid kullanımı	7
Şekil 3.3. Poliamidler için tekrar eden polimer birimi	8
Şekil 3.4. PA66 hammadde görünümü	9
Şekil 3.5. Delme işlemindeki farklı operasyonlar	14
Şekil 3.6. Helisel Matkap Görüntüsü	15
Şekil 3.7. Dikey çalışan takım tezgahı	16
Şekil 4.1. Kompozit malzeme kırık yüzey SEM görüntüleri (PA66+%30CB).	20
Şekil 4.2. Şematik olarak malzeme üretimi.	21
Şekil 4.3. HSS matkap.	22
Şekil 4.4. Delik delme prosesi.	22
Şekil 4.5. %10 CB takviyeli PA66 malzemesinin görüntüsü.	23
Şekil 4.6. %20 CB takviyeli PA66 malzemesinin görüntüsü.	24
Şekil 4.7. %30 CB takviyeli PA66 malzemesinin görüntüsü.	24
Şekil 5.1. PA66 ve CB takviyeli PA66 numunelerinin çekme mukavemeti, elastiklik modülü ve sertlik değeri grafikleri.	26
Şekil 5.2. PA66 ve CB takviyeli PA66 numunelerinin kopmadaki uzama ve darbe mukavemeti grafikleri.	27
Şekil 5.3. Kesme parametrelerine bağlı olarak Fz değişimleri a) %10 CB takviyeli, b) %20 CB takviyeli, c) %30 CB takviyeli (kaplamasız takım).	28
Şekil 5.4. Kesme parametrelerine bağlı olarak Fz değişimleri a) %10 CB takviyeli, b) %20 CB takviyeli, c) %30 CB takviyeli (kaplamalı takım).	30
Şekil 5.5. Kesme parametrelerine bağlı olarak Ra değişimleri a) %10 CB takviyeli, b) %20 CB takviyeli, c) %30 CB takviyeli (kaplamasız takım).	34
Şekil 5.6. Kesme parametrelerine bağlı olarak Ra değişimleri a) %10 CB takviyeli, b) %20 CB takviyeli, c) %30 CB takviyeli (kaplamalı takım).	36
Şekil 5.7. 40 m/dak kesme hızında %10 CB takviyeli PA66'nın delme işleminde delik yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri; a)-c) Kaplamasız takım ile 0.06, 0.09 ve 0.12 mm/dev ilerleme miktarı, d)-f) Kaplamalı takım ile 0.06, 0.09 ve 0.12 mm/dev ilerleme miktarı.	38
Şekil 5.8. 0.06 mm/dev ilerleme miktarında kaplamasız takım ile %10 CB takviyeli PA66'nın delme işleminde delik yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri; a)-c) 40 – 80 – 120 m/dak	39

Sayfa

Şekil 5.9. 0.06 mm/dev ilerleme miktarında ve 120 m/dak kesme hızında kaplamasız takım için delik yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri; a)-c) %10, %20 ve 30% CB takviye oranları 40

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. PA66'nın mekanik özellikleri	10
---	----

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

D	: Matkap ucu çapı
n	: Dakikadaki devir sayısı
F_z	: İtme kuvveti
V	: Kesme hızı
CB	: Cam bilya
HSS	: Yüksek hız çeliği
PA6	: Poliamid 6
PA66	: Poliamid 66
SEM	: Taramalı electron mikroskobu

BÖLÜM 1

GİRİŞ

İnsalığın başlangıcından günümüze kadar malzemelerin çeşitliliği sürekli artmaktadır. Başlangıçta malzeme sayısı ve kullanımı oldukça sınırlıyken, bilim, sanayi ve teknolojiye meydana gelen gelişmeler ile hem kullanılabilen malzeme sayısı artmış hem de malzemelerin kalitelerinde kayda değer bir artış gerçekleşmiştir. Yüzyıllar boyunca kullanılan ağaç, toprak, seramik ve metal gibi malzeme türlerinin yanında plastik malzemeler ancak 20. Yüzyıl ile yavaş yavaş kullanılmaya ve tanınmaya başlamıştır. Kullanılmaya başlamasından itibaren çok fazla gelişim ve değişim gösteren plastik malzemeler, günümüzde artık diğer birçok malzemeye kıyasla üstün özelliklere sahiptir. Üstün özellikleri sayesinde ulaşım, otomotiv, haberleşme ve elektronik başta olmak üzere neredeyse her sektörde oldukça yoğun bir şekilde tercih edilen malzemeler arasına girmiştir.

Polimer ve polimer kompozit malzemeler, metalik malzemelere kıyasla hafif, düşük maliyetli ve yüksek kimyasal dirençleri nedeniyle son yıllarda büyük ilgi görmektedir [1]. Tüm polimer malzemeleri hemen hemen her endüstride kullanılmaktadır; dişlilerde, yataklarda, burçlarda ve mevcut olan birçok mühendislik uygulamalarında kullanılmaya devam edilmektedir [2]. Poliamidler; hafif, iyi elektriksel ve kimyasal özellikleri bulunan, yarı kristal yapıya sahip termoplastik sınıfında yer alan polimerlerdir. Yüksek erime sıcaklığı ve sıcaklık artışıyla sertliğini koruma gibi özelliklere sahip olan poliamidlerin, yüksek sertlik, tokluk, yorgunluğa karşı mukavemet, sünme mukavemeti, alev geciktiricilik, elektriksel yalıtım, kimyasal mukavemet, aşınma mukavemeti, düşük sürtünme katsayısı, dış koşullara dayanıklılık ve işleme kolaylığı gibi başka üstün özelliklere de sahiptir [3].

PA66, ısı direnci, yüksek mukavemet, tokluk ve iyi aşınma direnci gibi özelliklere sahiptir ve bu nedenle, otomobillerde veya endüstriyel makinelerde dişli çarklar ve

yatak tutucular gibi kayan parçalar için yaygın olarak kullanılmaktadır [4–6]. PA66'nın mekanik özelliklerini yüksek sıcaklıklarda korumak ve polimerik matrisleri güçlendirmek için karbon, cam ve yüksek mukavemetli polimerler gibi çeşitli fiberler kullanılmıştır. Bunların arasında, iyi termal iletkenlik, mekanik özellikler, aşınma direnci ve düşük üretim maliyeti nedeniyle diğer elyaflardan üstün oldukları için, en yaygın olarak cam elyaflar kullanılmıştır [7].

Birçok iyi ve üstün özellikleri olmasına rağmen polimerik malzemeler bazı durumlarda yetersiz kalmaktadır. Polimerik malzemeler, üretim esnasında ya da depolanma sürecinde yük, sıcaklık, ışık, oksijen ve rutubet gibi bazı olumsuz şartlara maruz kalmaktadırlar ve bu olumsuz şartlar polimerik malzemelerin deforme olmalarına, sararmalarına ve kırılma eğilimine sebep olmaktadır [8,9]. Eksik yönlerinin giderilerek performansının artırılması, ömürlerinin uzatılması ve işlenebilirliklerinin kolaylaştırılması amacıyla polimerik malzemeler çeşitli katkı maddeleri ile takviye edilmektedir. Genel olarak polimerler için kullanılan en yaygın takviyeler, yüksek elastikiyet modülleri nedeniyle karbon ve cam elyaflardır. Buna ilaveten, polimerlerin dezavantajlı olan niteliklerini iyileştirmek için cam fiber, karbon fiber, aramid fiber ve mineral fiber benzeri mukavemet geliştiriciler de tercih edilmektedir [10]. Ancak, cam bilya ile takviye edilmesi konusunda literatürde herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma kapsamında vites kollarında, kapı ve pencere donanımlarında, fren-debriyaj, gaz pedallarında, dişlilerde, kam milinde, zincir dişlileri gibi otomobil parçalarının, hava taşıtlarının motorlarında yer alan rakor ve kızaklarında ve plastik endüstrisinde hali hazırda kullanılmakta olan PA66'nın belirli oranlarda cam bilya ile takviye edilerek, fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi ve işlenebilirliğinin incelenmesi amaçlanmaktadır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Polimerik malzemelerin birçok gelişmiş özelliği olmasına rağmen, sertlik ve dayanıklılık gibi mekanik kabiliyetlerinin düşük olması, polimerlerin daha da geliştirilmesi ve güçlendirilmesi için çalışmalar yapılmasına ihtiyaç doğurmuştur. Bu amaçla, poliamid malzemelere farklı oranlarda cam elyaf eklenmesi için bazı çalışmalar yapılmış olmasına rağmen, literatürde cam bilya takviyesi ile herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu yüzden, cam elyaf takviyesi ile ilgili bazı çalışmalar literatür araştırması olarak burada belirtilmiştir.

Kim vd. [7] su emiliminin ağırlıkça %30 kısa cam elyaf takviyeli PA66'nın sürtünme ve aşınma özellikleri üzerindeki etkisini incelenmişler ve genel olarak aşınma direncinin, cam elyaf takviyesinden sonra iyileştirildiğini belirtmişlerdir. Çalışmadan elde ettikleri sonuçlara göre PA66'ya su emiliminin, yapışmayı artırdığını ve malzeme kohezyon mukavemetini düşürdüğünü, diğer taraftan cam elyaf uygulamasının kompozit yüzey üzerinde aşınma direncini artırdığını ve sürtünme katsayısını azalttığını belirtmişlerdir.

Mouhmid vd. [11] çatlak başlangıcını, çatlak büyümesini ve hasar bölgesi büyüklüğünü yakalamaya izin veren dijital görüntü korelasyonu tekniği kullanılarak cam elyaf takviyeli PA66'nın dayanıklılığını araştırmış ve doldurulmamış PA66 ile kıyaslamışlardır. Cam elyaf takviyesi için ağırlıkça %15, %30 ve %50 olmak üzere 3 farklı oran tercih etmişlerdir. PA66 malzemesine cam elyaf takviyesi, süneklik kaybına ve sertliğin artmasına neden olmuş ve artan cam elyaf yüzdesi, daha yüksek gerilme mukavemeti ve daha düşük kırılma gerilme değerlerine yol açmıştır.

Malpot vd. [12] otomotiv parçasına entegre etmek amacıyla cam elyaf takviyeli bir PA66 kompozit malzeme oluşturmak ve bu malzemenin mekanik ve fiziksel

özelliklerini incelemeyi amaçladıkları çalışmalarında, yorulma testi sırasında malzeme içerisinde gelişen hasar mekanizmalarını araştırmak amacıyla akustik emisyon ve kızılötesi termografi olmak üzere iki tahribatsız teknik kullanmışlardır. Bununla beraber lif kopmalarını görselleştirmek için mikroskobik gözlemler gerçekleştirmişlerdir. Nem içeriğinin yorulma üzerindeki etkisini incelemek amacıyla numuneleri farklı nem oranlarında oluşturmuşlardır. Sonuçlara göre, uygulanan yorulma gerilimi azaldığında lif kopması miktarında bir artış olduğunu ve ayrıca nem içeriği yüksek gerilme seviyelerinin yorulma ömrünü etkilediğini vurgulamışlardır.

Lingesh vd. [13] kısa cam elyafların PA66 ve polipropilen karışımı kompozitlerinin mekanik davranışı üzerine etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla kütleli olarak %5, %10, %15, %20, %25 ve %30 cam elyaf takviyesi yapmışlar ve çekme mukavemeti, eğilme mukavemeti ve darbe mukavemeti gibi mekanik özelliklere olan etkilerini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre cam elyaf takviyesi ile mekanik özelliklerde iyileşme elde etmişlerdir. %25 cam elyaf takviyesi ile gerilme mukavemetinde yaklaşık %44'lük bir artış sağlandığını ifade etmişlerdir.

Mofakhami vd. [14] mekanik özelliklerin kaybindan sorumlu mekanizmaları daha iyi anlamak için cam elyaf takviyeli PA66 üzerinde derinlemesine mikroyapı analizleri yapmışlardır. İncelenen tüm koşullar için polimer matrisinde önemli bir değişiklik gerçekleşmediğini ifade etmişlerdir. Ayrıca, kaynaklanmış numunelerin kopma değerlerindeki gerilmenin, kaynak yönünün kalınlığı ile birlikte, lif yönelimli tensör bileşeninin gerilme yönünde minimum değeri ile arttığı belirtilmiştir. Cam elyaf takviyeli polimerlerde kaynak işleminin, çok faktörlü bir sorun olduğunu ve kaynak yapılan bölgedeki mikroyapısal yeniden düzenlemenin daha iyi anlaşılması, kaynak işlemini iyileştirmek için yeni stratejiler bulunması yönünde önerme yapmışlardır.

Ding vd. [15], yoğunlaştırılmış faz aktif alev geciktiricinin konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak malzemenin davranışını tahmin edebilen bir malzeme yakma modeli oluşturmaya yönelik bir yaklaşımı kırmızı fosfor ile harmanlanmış cam elyaf takviyeli PA66'dan oluşan bir dizi malzemeye uygulamışlardır. Katkı maddesinin konsantrasyonunu malzeme yanma hızıyla ilişkilendiren tek bir piroliz modeli geliştirmişlerdir. Model yapımı sırasında, bu cam elyafla doldurulmuş termoplastik

malzemenin pirolizini başarılı bir şekilde modellemek için, erimiş polimerin ısıtılmış yüzeye doğru taşındığı fitil etkisini hesaba katmanın önemli olduğu ve bu etkinin modele dahil edilmesi yanma oranının daha doğru bir şekilde tahmin edilmesini sağladığı sonucuna varmışlardır.

Frihi vd. [16] , cam elyaflarının ve karbon karası tozunun PA66'nın kristalleşme davranışı üzerindeki etkisini analitik olarak incelemişlerdir. Cam elyaf içeriği ve soğutma oranlarının oldukça geniş aralıklarına rağmen, %95'e yakın bir korelasyon katsayısı ile oldukça iyi bir ilişki elde etmişlerdir.

Gebretsadik vd. [1] % 25 cam elyaf ile takviye edilmiş PA66'nın sürtünme ve aşınma davranışını, farklı çözünmüş tuz bileşimlerine sahip çeşitli sulu çözeltilerde, 316L paslanmaz çeliğe karşı kayma sırasında ve ayrıca kuru koşul altında bir disk üzerinde pim test düzeneği kullanılarak incelenmiştir. Polimer kompozitin, kuru koşullarda daha iyi aşınma direncine sahip olduğunu, suni deniz suyu ile yağlandıklarındaysa, neredeyse hiç aşınma olmadığını gözlemlemişlerdir.

Chen vd. [6] CF/PA66'nın mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla, CF yüzey modifikasyonu için etkili bir çift aşılama yöntemi geliştirmişlerdir. Çift aşılama yöntemiyle iyi bir arayüz kararlılığı sergilediğini ve PA66 ile uyumluluğunu diğerlerine göre geliştirdiğini gözlemlemişlerdir. İşlem görmemiş CF/PA66 ile karşılaştırıldığında, gerilme mukavemeti ve elastik modülü sırasıyla %27.58 ve %22.68 arttığını belirtmişlerdir.

Rajesh vd. [17] farklı yüzdelerde kısa cam elyaf dolgu maddeleri ile doldurulmuş çeşitli PA66 kompozitleri formüle edip, bileşimsel, termal ve mekanik özellikleri için karakterize etmişlerdir ve ardından aşındırıcı aşınma koşullarını incelemişlerdir. Cam elyaf yüzdesindeki artışla kopma uzaması dışındaki mekanik özelliklerinin arttığını, elyaf / dolgu maddesinin dahil edilmesiyle ana polimerin aşındırıcı aşınma performansını bozduğunu gözlemlemişlerdir. Dolgu yüzdesinin yükselmesiyle, aşınma davranışındaki bozulmanın da aynı ölçüde arttığı sonucuna varmışlardır.

BÖLÜM 3

KURAMSAL TEMELLER

3.1. POLİAMİD

Diasit ve diaminlerin, yani monomerlerin, birbirlerine amit bağları ile bağlanmasıyla oluşan polimerler poliamid olarak adlandırılırlar. Poliamidlerin erime sıcaklığının yüksek olması, yüksek sıcaklıklarda sertliklerinin korumalarını sağlamaktadır. Buna ilaveten, kimyasal olarak dayanıklılık, sürtünme katsayısının düşük olması, kolay işlenebilirlik, tokluk, sünme ve yorulma dayanımı gibi üstün özellikleri de bulunmaktadır [18]. Bunların dışında, petrol yağları, alifatik ve aromatik hidrokarbonlar, keton ve eterlere karşı dirençli malzemeler olduğu bilinmektedir [19]. Diğer taraftan, poliamidlerin bazı özelliklerinin nem şartlarında değişmesi ve güçlü asitler karşısında dayanıksız olmaları zayıf yönleri olarak bilinmektedir [20].

Poliamidler mühendislik plastiklerinin içerisinde en önemli grupların başında gelmektedir. Birçok kullanım alanına sahip olan poliamidlerin kullanıldığı yerlerden bazıları aşağıda verilmiştir;

- Otomotiv
- Yağ karteri
- Çapraz şanzıman kirişleri
- Kapı kolları, jant kapakları ve ayna
- Hava giriş manifoldları
- Hava yastığı iplikleri
- Çarpmaya duyarlı motor kapakları
- Güç aktarma organlarında dişliler ve kavramalar

Şekil 3.1’de otomotiv sektöründe poliamidin kullanımına ilişkin bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Poliamid hava yastığı ipliği [21].

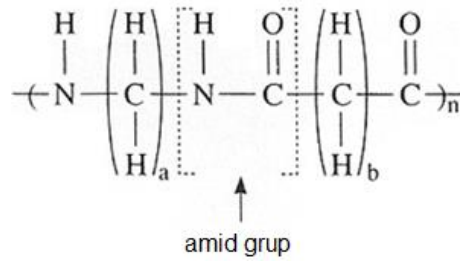
- Elektrik-elektronik
 - Fotovoltaik konnektörler
 - Kablosuz darbeli matkaplar
 - Çamaşır makinelerindeki kontrol modülleri

Şekil 3.2’de elektrik-elektronik sektöründe poliamidin kullanımına ilişkin bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Elektrik-elektronik sektöründe poliamid kullanımı [22].

Poliamidler arasındaki özelliklerin ana belirleyicisi amid grubudur. Şekil 3.3'te verilen tekrar eden polimer birimi poliamidleri temsil etmektedir. Polimer birimi içerisindeki a ve b ile ifade edilen CH₂ gruplarının sayısı poliamidler arasında farklılık gösterir. Poliamidler arasındaki temel farklılık bu sayıların değişikliğinden kaynaklanmaktadır [23]. N-H bağı ve C-O bağlarının her ikisinde polardır ve N ve O negatif uçlardır. Bu polarite, yakın poliamid molekülleri arasında ikinci bağların (H bağları) ortaya çıkmasına neden olur. H bağları, poliamid moleküllerinin birbirine göre hareketini kısıtlar ve çekme mukavemetini artırır. Ayrıca H bağları, poliamid moleküllerinin yüksek kristalleşmesi sonucu oluşan sıkışmayı rahatlatır. Bu kristalleşme, yüksek mukavemet, yüksek katılık, düşük gaz ve buhar geçirgenliği, yarı saydamlık, dar bir ergime aralığı, iyi aşınma direnci, iyi yorulma ömrü ve yüksek sıcaklıkta işlenmeyi sağlar [23].



Şekil 3.3. Poliamidler için tekrar eden polimer birimi [24].

Birçok sektörde tercih edilen sert ve dayanıklı poliamidler, bünyesinde amid grubu bulunduran, molekül ağırlığı yüksek polimerlerdir ve birçok türü bulunmaktadır. Poliamid 6 (PA6), PA66, Poliamid 6.10, Poliamid 11 ve Poliamid 12 bunların en bilinenleri olup PA6 ve PA66 en çok kullanılan poliamid türlerindedir [25]. Çünkü sertlik, dayanım ve ısı mukavemetleri diğer poliamid türlerine kıyasla daha iyidir [26].

PA6, iyi derecede mekanik ve fiziksel özelliklere sahip, biyouyumlu ve biyobozunur özellikte olan sentetik polimerlerdendir [27]. Molekül ağırlığı 80000-100000 arasında değişen, yüksek kristalliteye sahip, nem aktivitesi düşük, döküm yöntemi ile de imal edilebilen sentetik bir termoplastik olan PA6, poliamid türleri içerisinde mekanik ve fiziksel özellikleri açısından en iyi olanlardan biridir. Üstün özelliklerinden dolayı darbe dayanımı yüksek, nem aktivitesi düşük ve işlenebilme kolaylığı gerektiren uygulamalarda özellikle otomotiv sanayi, elektrik/elektronik uygulamalarında, ambalaj

ve tekstil sektöründe tercih edilen termoplastik bir polimer türüdür [28–31]. Diğer taraftan, çentiğe duyarlı olma, düşük sıcaklıklarda darbe mukavemetinin zayıflaması ve yapışma güçlüğü gibi dezavantajları da vardır [32].

3.1.1. PA 66

Ticari amaçla kullanılan bütün poliamid esaslı plastikler arasında dayanıklılığı ve ergime sıcaklığı en yüksek olan poliamidin PA 66 olduğu bilinmektedir. Şekil 3.4'te PA66'nın hammadde resimleri gösterilmektedir. 265°C'de eriyen PA66'nın sürekli kullanım sıcaklığı 120°C olduğu bilinmektedir. Yarı kristal bir yapıya sahip olması nedeni ile PA66'dan yapılan parçaların bazı bölümleri kristal bir yapı arz ederken, diğer bölümlerinde amorf bir yapı gözlenmektedir. İmalat şartları değiştirilerek kristal miktarı artırılıp azaltılabilmekte, böylece mekanik özellikleri değiştirilebilmektedir [19].



Şekil 3.4. PA66 hammadde görünümü [33].

Hegzametilen diamin ve diasit arasında polimerizasyon reaksiyonu ile PA 66 elde edilmektedir. Camlaşma noktası: 90-95°C, ergime noktası: 255-265°C, özgül ağırlığı: 1.13-1.15g/cm³, kopma mukavemeti: 66-86 MPa, kopma anındaki uzama yüzdesi: %30-300, normal şartlarda nem oranı %4'tür. Poliamidlerin molekülleri arasındaki kuvvetler güçlüdürler. Bu kuvvetler kristal yapı ile birleşince ortaya ergime noktası yüksek, katı termoplastik malzemeler çıkmaktadır [34].

Asitlere karşı dayanımları düşük olmasına rağmen, bazlara karşı oldukça dayanıklı malzemelerdir. Güve ve diğer zararlı böceklere, bakteri ve mantar gibi mikroorganizmalara karşı dayanıklı iken, güneş ışınlarına karşı dayanımları düşük

malzemelerdir [35]. PA66'nın, çeşitli fiber malzemelerle karıştırılmasıyla elde edilen daha üstün mekanik nitelikte kompozit malzemeler otomotiv sektöründe yaygın olarak tercih edilmektedir [34].

3.1.1.1. PA66'nın Mekanik Özellikleri

PA66 poliamidler içinde yüksek mukavemet, tokluk, sertlik, rijitlik özelliklerine sahip, ısıl deformasyona karşı direnç ve ani darbelere karşı direnci yüksek olan malzemelerdir [34]. Ayrıca, çok yüksek eğilme ve çekme dayanımına, düşük sürtünme katsayısına sahip olup yük altında çalışmaya en uygun malzemelerden biridir. Genellikle dişlilerde, kam milinde, zincir dişlilerinde ve diğer buna benzer parçalarda aşınmaya karşı dirençli olması istenilen yerlerde çokça tercih edilmektedir. PA66'nın mekanik özellikleri Çizelge 2.1'de verilmektedir [36].

Çizelge 2.1. PA66'nın mekanik özellikleri [34,37].

Özellikler	PA66	Standart
Yoğunluk (g/cm ³)	1.13-1.15	ISO 1183/A
Kopma Mukavemeti (MPa)	66-86	
Kopma Uzaması (%)	25	ISO 527
Eğilme Mukavemeti (MPa)	80-105	
Basma Mukavemeti (MPa)	70-100	
Darbe Mukavemeti (çentikli) (kJ/m ²)	8	ISO 179/1eA
Elastik Modül (çekmede) (MPa)	1600	ISO 527
Elastik Modül (eğilmede) (MPa)	1300	ISO 178
Sertlik		
Rockwell R	108-120	
Rockwell M	83-89	
Shore D	-	
Sürtünme Katsayısı	0.15-0.42	
Havadan Aldığı Nem (%)	1.2	ISO 62

3.1.1.2. PA66'nın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

PA66, % 100 bağıl nemde maksimum % 4-4.5 oranında nem çekmektedir. Kristalin bölgelerin oranı % 65-85 aralığında büyük bir seviyede olduğu için su molekülü ile ilişki kurabilecek fonksiyonel grupların miktarı düşüktür. Kristalin bölge oranının fazlalığının dışında amorf bölgelerdeki karbonil ve imino grupları arasında da H-bağları oluşabilir. PA66'yı dayanıklı yapan bu yapıdır. Materyal ısılandığında amorf bölgelerdeki H-bağlarının yüksek bir oranı su molekülleri tarafından hidrolize uğradığı için dayanıklılığı düşmektedir [38].

Uzama ve esneklik özellikleri bakımından oldukça üstündür. Kopmadan % 25-30 oranında uzama gösterebilme özelliğine ve %4 kadar uzatılmışsa % 100 geriye dönme oranına sahiptir. Bununla birlikte, zincirler arasındaki H-bağlarının çok kısa mesafeler içinde olmasının beraberinde getirdiği kuvvetli H-bağlarının oluşturduğu düzgün şebeke sistemi polimerleri kaymaya karşı koruyarak, dayanıklılığının maksimuma çıkmasını sağlar [38,39]. Gerilme kuvveti kaldırıldığında, polimer sistemi ilk haline kolaylıkla dönebilmektedir. Fakat, bu durumun da bir sınırı bulunmaktadır. Tekrarlanan gerilimler, H bağlarında kopmaya ve polimer kaymalarına sebep olmaktadır. Polimerin zig-zag yapısı da esneklik değerini artırmaktadır [39].

PA66 seyreltik asitlerden etkilenmezken, anorganik asitlerle hidroliz olarak çabucak bozunabilmektedir. Önce H-bağları, daha ileri hidrolizde ise peptit bağları kopmaktadır. PA66, % 5'lik HCl ve H₂SO₄ ile sıcakta kolayca parçalanabilir, 27 °C'de derişik formik asitte çözünebilir. Ancak, kaynar NaOH çözeltisinin PA66'ya pek fazla etkisi yoktur. Diğer taraftan hipoklorit gibi ağartıcılardan etkilendiği için bu tarz maddelerle ağartma yapılamaz.

3.1.1.3. PA66'nın Termal Özellikleri ve Isı ile Bozunması

PA66 yüksek ergime sıcaklığına sahip yarı kristal bir malzemedir. Isıya maruz kalan PA66 malzemelerini performansını, parça geometrisi, ısı kaynağının çeşidi,

malzemeye uygulama durumu ve mekanik yük etkilemektedir. PA66 malzemeleri ısı, ışık, ozon gibi atmosferik gazlar, nitrik asit ve sülfürik asit gibi kuvvetli asitler, peroksitler gibi yükseltgen maddeler, bazı mikroorganizmalar ve metallere karşı oldukça hassastırlar. Mamulün performans özelliklerini etkileyen ve bozunmaya neden olan bu faktörler sonucunda;

- Mamulün kimyasal yapısında, yüzeyinde ve moleküler ağırlığında değişiklikler,
- Liflerde kırılma artışı,
- Mekanik özelliklerinde kayıplar gözlenmektedir [40].

Takviye edilmemiş PA66, elektrik kolektör ve rolelerinde aşırı yük ve elektrik arkından oluşan kısa süreli sıcaklıklara dayanmaktadır. Bazı takviye malzemeleri ile takviye edildiğinde belirli sıcaklıklarda sertliği artmakta, ancak genellikle termal genişleme katsayısı düşmektedir. Tekstil sektöründe lif malzemesi olarak çokça tercih edilen PA66'ya sıcakta kolayca biçim verilebilmektedir. PA66 lifler, 150 °C'de 6 saat içinde sararırken, ütüleme sıcaklığı 150 °C, tutuşma sıcaklığı ise 532 °C'dir. Ütü sıcaklığı 180 °C'yi geçtiğinde yapışmalar meydana gelebilmektedir.

3.1.1.4. PA66'nın Kullanım Alanları ve Çevre Koşullarına Direnci

PA66 malzemelerin, yağlayıcılara, sulu çözeltilere, yakıtlara, hidrolik sıvılara, tuzlara, soğutucu akışkanlara, boyalara, temizleyici kimyasallara ve deterjanlara, alifatik ve aromatik çözücülere ve yüksek sıcaklıklarda çoğu diğer çözücülere karşı gösterdiği direnç oldukça yüksektir. Bunlara ilaveten, sıcak su ve hatta buhara mükemmel derecede direnç göstermesinden dolayı otomobillerin radyatör kapaklarında kullanılmaktadır [35,36,41]. PA66 filament halinde kullanıldığında ipeğe benzer özellik göstermesinden dolayı da tekstil sektöründe kullanım alanlarına sahiptir. Endüstriyel olarak Trilon olarak bilinen cinsi, ipekli kumaş yapımında kullanılmaktadır [39]. Bunların dışında PA66 malzemelerin kullanıldığı bazı endüstriyel uygulamalar aşağıda belirtilmiştir;

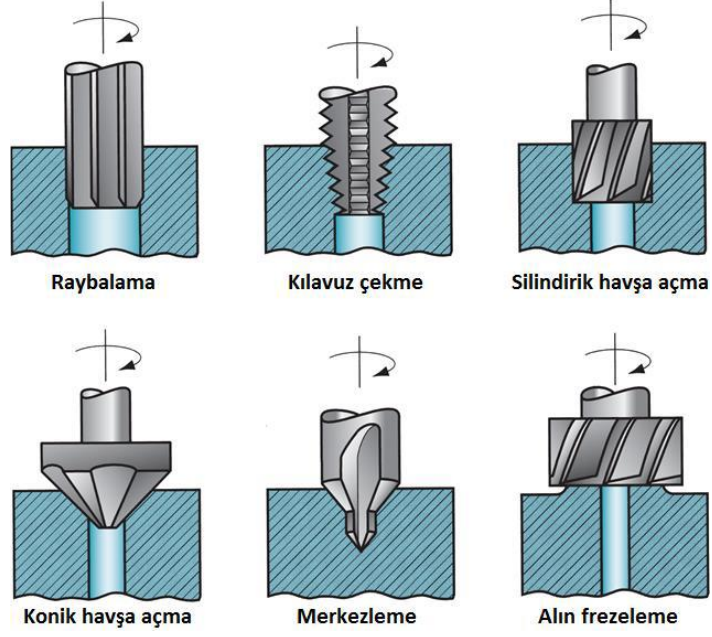
- Elbise, mayo, spor giysileri, çorap, iç giyim, ceket ve gömlek, yatak örtüsü, halı ve perdelik kumaşlar,
- Otomobil anten donanımlarında ve bazı tekerlek kapakları yapımında, emniyet kemerlerinde, elektrik kumanda düğmelerinde, sigorta kutularında, kablo bağlayıcı tokalarında,
- Güç kontaktörleri ve bağlantılarında,
- Civata, somun, vida, demiryolu izolatör yastıklarında kullanılmaktadır [42].

3.2. DELİK DELME

Delik delme, iş parçasında yuvarlak delik oluşturmak veya var olan bir deliği genişletmek için yapılan işleme işlemidir. Oluşturulan delikler açık veya kör olarak adlandırılır. Matkap ucu olarak adlandırılan silindirik kesici takımında genellikle iki kesici uç bulunur [43].

Delik delme işlemleri torna ve freze tezgahında yapılan işlemler gibi algılansa da delik delmede talaşın kırılması ve talaşın iş parçası malzemesinden boşaltılması önemli bir işlemdir. Delik derinliğinin uzunluğu yapılan işlemin kontrolünü ve kaldırılacak talaşın zorluğunu belirlemektedir. Delik delme esnasında işleme parametreleri, oluşan talaş ve sıcaklık elde edilecek yüzey kalitesi ile ölçü tamlığına etki etmektedir [44].

Delik delme prosesinde delik kalitesi açısından en önemli faktör kesici takım olup, seçimi son derece önemlidir. Kesici takım iş parçasından talaş kaldırma işlemini gerçekleştirirken iş parçasına bir kuvvet uygular. Buna istinaden sürtünme başlar ve iş parçasından talaş kopması ve delme prosesinin gerçekleşmesi sağlanır. Şekil 3.5'te delme işlemi ile gerçekleştirilebilecek farklı operasyonlar gösterilmektedir [43].



Şekil 3.5. Delme işlemindeki farklı operasyonlar [43].

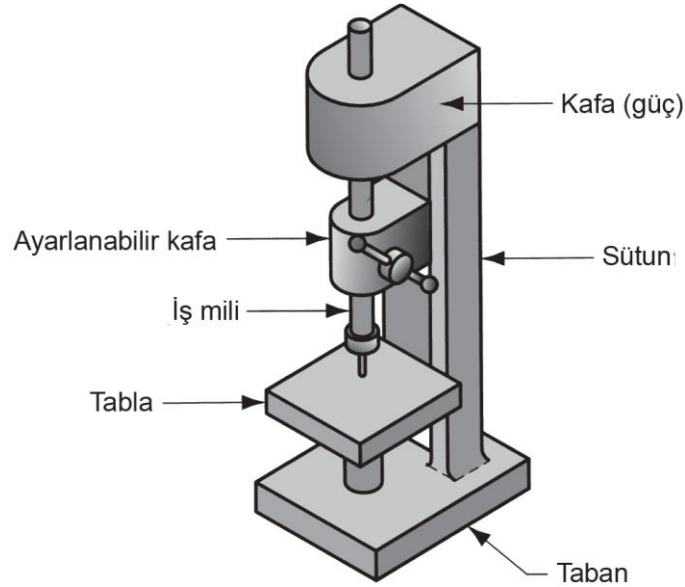
3.2.1. Delik Delme İşlemi

Delik delme ve delik büyütme işlemlerinde matkaplar kullanılmaktadır. Dönel yapıya sahip matkaplar, bir veya birden fazla kesici kenar ağzı bulundururlar. Talaş akışı için bir veya daha fazla helisel ya da düz kanala sahip talaş kaldırma takımlarıdır. Bu tip kesici takımlar birçok türde, çeşitli formlarda, ölçülerde ve toleranslarda üretilmektedir. Endüstriyel uygulamaların hemen hemen tamamında kullanılan matkaplar, helisel matkaplardır [44]. Helisel matkap görüntüsü Şekil 3.6'da gösterilmektedir.

Matkap ile delme esnasında radyal ağzın parçaya temas ettiği anda başlar ve ana kesme ağzlarının aktif kesme işlemine katılması ile devam eder. Oluşan talaş, helisel kanallar vasıtasıyla boşaltılır. Radyal ağz, matkabın dönme ve ilerleme hareketi ile iş parçasını ezerek kesicinin ağzlamasını sağlar. Böylece matkabın delme eksenine paralel şekilde ilerlemesini sağlar. Kesici ağz ise matkabın ilerleme hareketiyle helis bir yüzey oluşturarak, iş parçasını kesmeye başlar. Helisel yüzey boyunca hareket eden takımda kesme ağzlarının etki yönü sürekli değiştiğinden, matkabın etkide bulunan kesme açıları da işlem süresince değişmektedir [45].

Delme işlemi genellikle dikey çalışan matkap tezgâhları ile gerçekleştirilir. Şekil 3.7’de dikey çalışan takım tezgâhi gösterilmektedir.

Şekil 3.7. Dikey çalışan takım tezgahı [43].



Şekil 3.7. Dikey çalışan takım tezgahı [43].

3.2.2. Delik Delme İşlem Çeşitleri

Delik delme prosesi birçok değişik biçimde uygulanabilir. Dolu delik delme, kademeli delik delme, kör delik delme, raybalama ve delik büyütme yöntemleri başlıcalarıdır. Dolu delik delme işlemi iş parçasının et kalınlığının büsbütün belirli bir çapta delinmesidir. Kör delik delme işlemi iş parçasının bir yüzeyinden delme işleminin başlayıp, diğer yüzeyden çıkmadan delme işleminin bitirilmesi işlemidir. Delik büyütme işlemi büyük çapta veya hassas delik toleranslarda delinmesi için öncelikle

küçük çap delik delinir. Delik işleminden sonra arzu edilen son çap ölçüsünde delik genişletilerek delme işlemi tamamlanır. Bazı durumlarda deliklerde iki farklı çap ölçüsü istenir. Giriş delik çapı ve kullanılacak delik çapı farklı ölçüdedir. Her bir çap ölçü farkı için kademeli delik olarak adlandırılır. Raybalamada istenilen delik ölçüsü kaba ölçülerde delinir. Daha sonra rayba ile delik içi yüzey raybalanarak yüksek tolerans hassasiyetinde kaliteli delik işlemi sağlanır [46].

Delik delme prosesi birçok yöntemle yapılabilmektedir. Delik delme işlemi sayısı, tekrarlı delme iş sayısı, standart parça işleme adeti, parça üretim süresine, parçanın istenen delik kalite toleranslarına, delik çapına ve derinliğine, malzemenin kimyasal yapısı, mikro yapısı ve fiziksel özelliklerine, kesici takım özelliklerine, gerekli kesme kuvvetine bağlı olarak tasarlanmaktadır. Endüstride delik delme işlemi için Dik ve Radyal matkap, Torna, Freze, CNC işlem merkezi Borwerk gibi birçok seçenek mevcuttur.

Kullanımı kolay ve delik delme işleminde hızlı bir çözüm olarak görülen dik matkaplar (sütunlu matkaplar) endüstride sıklıkla kullanılmaktadır. Delik derinliği olarak 100 mm'ye kadar delik delme potansiyeline sahiptir. Radyal matkap büyük hacimli malzemelerin delinmesinde tercih edilmektedir. Parça sabit olup, kesici takımın bağlı olduğu iş mili delinecek delik eksenine getirilerek delik delme işlemi sağlanır.

Torna tezgâhında da delik delme işlemi yapılabilmektedir. Delik delme işi yapılacak malzeme torna aynasına bağlanır. Punto ucuna delik delinecek matkap ucu takılır. Aynaya bağlı parça dönme hızı ayarlanır. Parçanın eksenlemesi tamamlandıktan sonra punto yavaş yavaş ilerleme hızı ile iş parçasına doğru hareket ettirilir ve delik delme işlemi gerçekleştirilmiş olur. Büyük çap deliklerde kademeli olarak delik delme işlemi uygulanır. İş parçasının ekseninde dönmesinden dolayı delik eksen kalitesi, delik eş merkezlik ve delik eksen kaçıklık hassas değerlerde delik delinir.

Frezelerde küçük, ortaboy ve büyük parçaların delik delme işlemi yapılabilir. Tezgâh kapasitesine göre delik delinecek parça tezgâh tablasına bağlanır. Malzeme özelliklerine ve delik özelliklerine göre matkap veya freze çakısı ile delik delme işi

yapılır. Delikler genelde yatay ve dikey delinebilirken freze ile açılı delikler delinebilmektedir.

CNC işlem merkezi delik delme, parça işleme, frezeleme, honlama, diş çekme ve ihtiyac dahilinde birçok işlemi sırası ile ve iş parçasının tek seferde işlenmesi için tasarlanmış Tezgâhlardır. Makine eksen hareketlerindeki hassasiyetin 0,001 mm toleranslara kadar ayarlanabilmektedir. İş mili kapasitesi istenilen değerde seçilerek hassas işlemler sağlanabilmektedir. Seri ve çok sayıda parça işlenmesinde, ölçü hassasiyetinin önemli olduğu, delik kalitesinin hassas toleranslarda istenildiği durumlarda CNC işlem merkezleri kullanılır.

Borwerk tezgâhları yatay delik işlemlerinde ve oldukça büyük hacimli parça delik delme işlemlerinde kullanılır. Parça hareketli tabla üzerine yerleştirilir ve eksenleri ayarlanır.

3.2.3. Kesme ve İlerleme Hızı

Talaş kaldırmada düşünülmesi gereken en önemli faktör, uygun kesme hızının tercih edilmesidir. Kesme hızı düşük tercih edilirse az parça üretilir ve çok düşük kesme hızında takım ucunda, talaş sıvanması oluşabilir. Meydana gelen bu durum, kesici takım değişikliğini gerekli hale getirebilir. Fakat kesme hızı yüksek seçildiğinde, takım hızla bozulur ve daha sık aralıklarla takım değişikliği meydana gelecektir. Bu durumdan dolayı herhangi bir talaş kaldırma operasyonu için optimum kesme hızı, kesici takım ömrü ve talaş kaldırma miktarını dengeli hale getirecek şekilde seçilmelidir [47].

Kesme hızı ve ilerleme hızını ifade edecek olursak; kesme hızı, matkap ucunun bir dakikada kesme yönünde aldığı yoldur. İlerleme hızı ise, takımın 1 devirde dikey doğrultuda aldığı yoldur. Formülize edecek olursak;

$$V = \frac{D \pi n}{1000} \quad (3.1)$$

Eşitlik 3.1’de; V kesme hızı (m/dk), D matkap ucunun çapı (mm), n ise bir dakikada yapılan devir sayısıdır.

Delik delme işleminde ilerleme hızını da formülize edecek olursak;

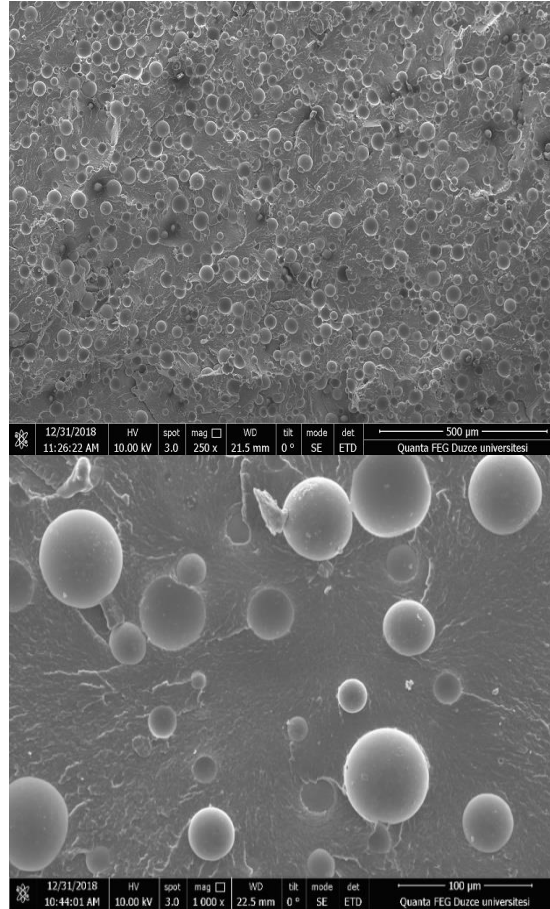
$$F = f_z * n * z \quad (3.2)$$

Eşitlik 3.2’de; n dakikada yapılan devir sayısı, z matkaptaki diş adeti, f_z ise takımın bir devirde aldığı yol ve F takımın dakikada aldığı mm cinsinden yoldur [47].

BÖLÜM 4

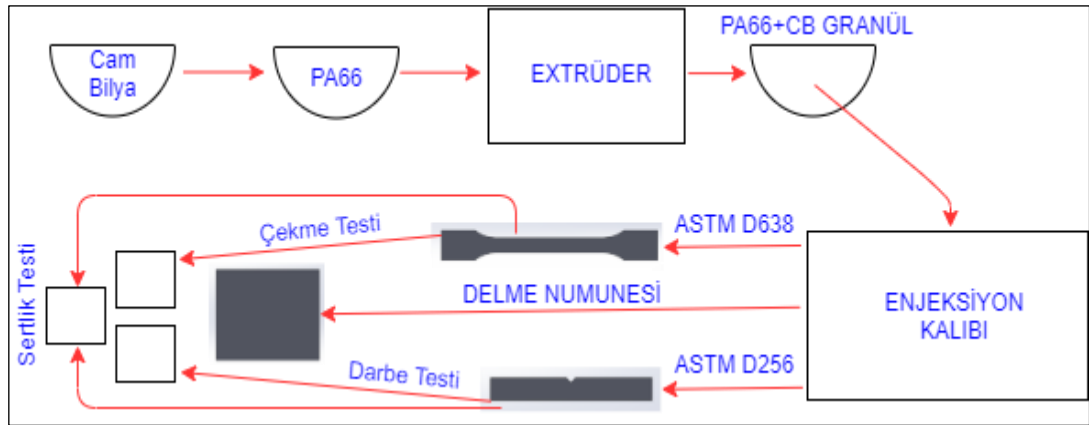
MALZEME VE YÖNTEM

Çalışmanın ilk aşamasında, farklı takviye oranına sahip cam bilye takviyeli polimer kompozitler üretilmiş ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Matris malzemesi olarak korozyon ve aşınma direnci, kendi kendini yağlama özelliği, düşük darbe dayanımı ve çok yüksek mukavemetli bir mühendislik termoplastiği olan PA66 kullanılmıştır. Takviye elemanı olarak yüzeyi aminoslane kaplanmış 20µm çapında cam küreler (Microper 1050-20-215, Sovitec) temin edilmiştir. Temin edilen CB takviye elemanlarının kompozit bünyesindeki görüntüleri sırasıyla Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Kompozit malzeme kırık yüzey SEM görüntüleri (PA66+%30CB).

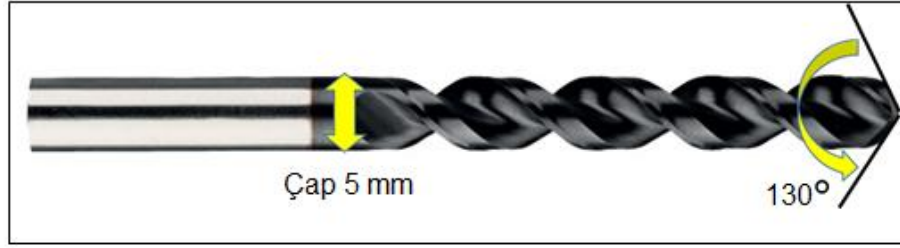
Farklı oranlarda cam bilya içeren PA66 polimer esaslı kompozit malzemeler önce NR II-75-type twin-screw extruder (Japan) granül formunda üretilmiştir. Ekstruder ısıtıcı sıcaklıkları besleme ünitesinden kalıba doğru olacak şekilde 260-295 °C arasında ayarlanmıştır. Granül üretiminden sonra test numunelerini üretmek için enjeksiyon makinasında (Haitian Ma2000 II/700e model) 130 bar enjeksiyon basıncında, 66 mm/dak enjeksiyon hızında numuneler basılmıştır. Kalıp sıcaklığı ise şartlandırıcı kullanılarak 60 °C'de sabit tutulmuştur. Polimer kompozitlerin çekme dayanımı, darbe dayanımı, esneklik modülü ve sertliği gibi mekanik özellikler ASTM'ye göre ölçülmüştür. Çekme testleri, oda sıcaklığında bir universal test makinesi (Zwick Z020, Switzerland) ile %50 nem şartlarında ve 5 mm/dk çene hızında gerçekleştirilmiştir. Çekme test numuneleri ASTM D638 standardına uygun olarak enjeksiyon kalıbında basılmıştır. Çekme deneyi kırık yüzey SEM incelemeleri ise Quanta FED 250 model taramalı elektron mikroskobunda (SEM) gerçekleştirilmiştir. Zwick-Roell HIT 5.5P marka darbe test cihazı ile çentikli Izod darbe testleri, TRONIC Shore-D sertlik test cihazı kullanılarak sertlik testi yapılmıştır. Şematik olarak malzeme üretimi Şekil 4.2'de gösterilmektedir.



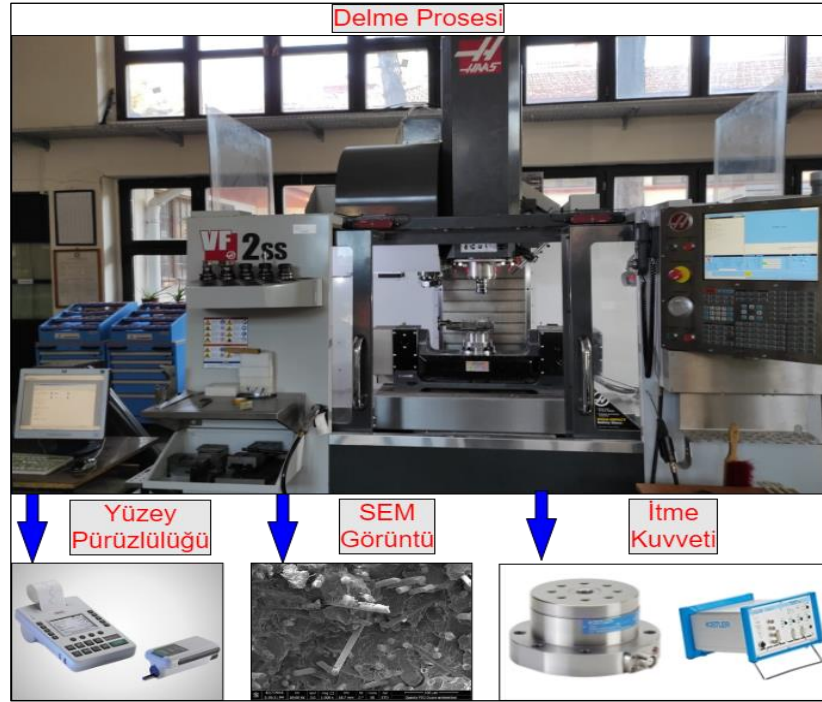
Şekil 4.2. Şematik olarak malzeme üretimi.

Araştırmanın ikinci aşamasında, polimer esaslı kompozitlerin delme yöntemiyle işlenebilirlik karakteristikleri (İtme kuvveti ve yüzey kalitesi) değerlendirilmiştir. Delme deneyleri, KARCAN firmasından temin edilen kaplamasız yüksek hız çeliği (HSS) matkaplarla gerçekleştirilmiştir. Matkapların, çap 5 mm, uç açısı 130, helis açısı 30, kesici kenar uzunluğu 2.887 mm ve kesici kenar yüksekliği 1.443 mm'dir. HSS matkap Şekil 4.3'te gösterilmektedir. Deneyler, kesici takım önerisi ve ilgili akademik

araştırmalar dikkate alınarak belirlenen üç farklı ilerleme ve kesme hızında yapılmıştır. Delme işlemleri, her kompozit malzeme grubu (C1-C5) için 9 adet olmak üzere kesme sıvısı kullanılmadan yapılmıştır. Delme deneyleri, Gazi Üniversitesi, İmalat Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan CNC dik işleme (Johnford VMC-550) merkezinde yapılmıştır. Ölçümler için deneysel sistem ve akış şeması şekil 4.4'te verilmiştir.



şekil 4.3. HSS matkap.



şekil 4.4. Delik delme prosesi.

İtme kuvveti ölçümleri, CNC dik işleme merkezine bağlanan Kistler 9257 A tipi piezo-elektrik dinamometre ve ekipmanları (bir bilgisayar, Kistler 5070-A tipi çok kanallı amplifikatör, Dynoware 2825A-02-01 yazılımı) kullanılarak gerçekteştirilmiştir.

Delme işleminde, kesici takım ve işleme parametrelerinin deliğin yüzey kalitesindeki etkilerinin belirlenmesi için yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Delik yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde, minimum 3 mm çaplı deliklerde çalışabilen bir proba sahip Mahr marka Marsurf M 300 tipi profilometre kullanılmıştır. Ölçümler, Gauss filtresi, 0.25 mm kesme ve 1.25 mm örnekleme uzunluğu kullanılarak yapılmıştır. Ölçüm işlemleri, her delik için aynı mesafede (delik ortası) olacak şekilde ve parça eşit açıda döndürülerek üç defa tekrar edilmiştir. Üretilen kompozitlerin işlenebilirlik karakteristiklerini en iyi şekilde analiz etmek amacıyla deneyler üçer kez tekrar edilmiş ve sonuçların ortalaması alınarak değerlendirmeler yapılmıştır. Ayrıca, delik yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri ile yüzey kalitesi ve mekanik özellikler arasında bağlantı kurulup, farklı oranlarda CB takviyeli PA66 polimer esaslı kompozitlerin işlenebilirliği yorumlanmıştır. İstatistiksel analizlerde, %95 güven aralığında varyans analizi (ANOVA) uygulanarak itme kuvveti (Fz) ve ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) üzerinde işleme parametrelerinin etki seviyeleri belirlenmiştir. Delme işleminde kullanılan numuneler sırasıyla Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de gösterilmektedir.



Şekil 4.5. %10 CB takviyeli PA66 malzemesinin görüntüsü.



Şekil 4.6. %20 CB takviyeli PA66 malzemesinin görüntüsü.



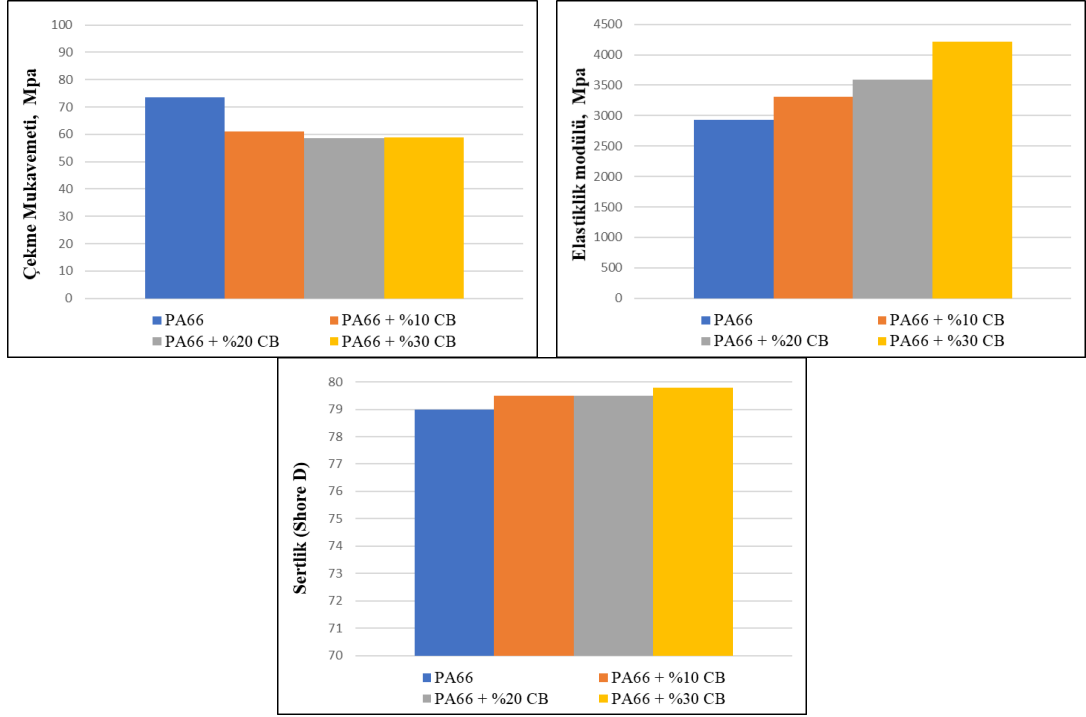
Şekil 4.7. %30 CB takviyeli PA66 malzemesinin görüntüsü.

BÖLÜM 5

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

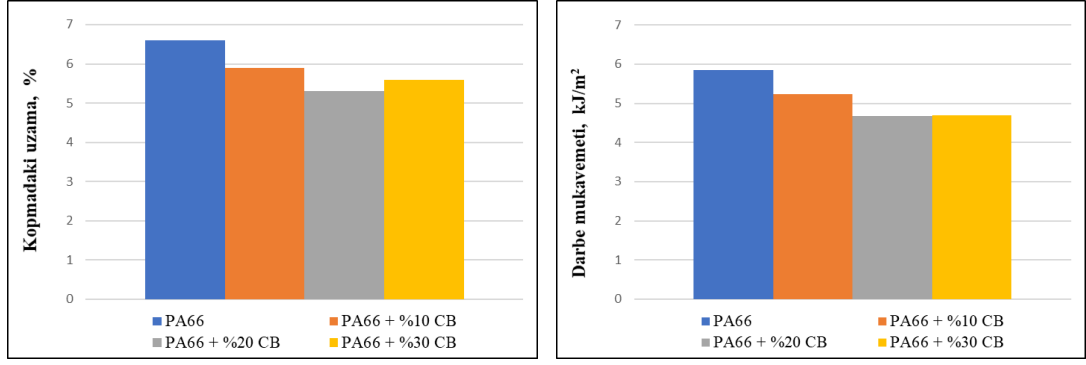
5.1. MEKANİK ÖZELLİKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Şekil 5.1’de farklı oranlarda CB ile takviye edilmiş PA66 malzemelerinin ve PA66’nın çekme mukavemeti, elastiklik modülü ve sertlik değeri sonuçları verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi CB takviyesi ile PA66 malzemesinin çekme mukavemeti değeri %20 CB takviye oranına kadar düşmüş ve %30 CB takviyesi ile tekrar hafif bir artış (%0.51) göstermiştir. Şekil 5.1’den açıkça anlaşıldığı üzere artan CB takviye oranı ile elastiklik modülü doğrusal bir artış göstermiştir. En yüksek çekme mukavemeti 73.6 MPa olarak PA66 malzemesi ile elde edilirken, en yüksek elastik modülü %30 CB takviyeli PA66 ile 4210 MPa olarak belirlenmiştir. CB ile takviye edilmemiş PA66 ile %20 CB takviyeli PA66 kıyaslandığında, CB takviyesinin PA 66’nın çekme mukavemetini %20.38 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Elastiklik modülü açısından PA66 ile en yüksek elastik modülünün elde edildiği %30 CB takviyeli PA66 kıyaslandığında, elastiklik modülünün %43.69 oranında artırdığı görülmüştür. Çekme mukavemetlerindeki bu azalmaların CB’nin matris içinde belli yerlerde konuşlanmış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu konuşlanmalar birer kusur gibi davranarak matrise uygulanan yükün eşit seviyede dağılımına engel olmakta ve dolayısıyla malzemenin çekme mukavemetini kötü yönde etkilemektedir. Bilindiği üzere elastisite modülü kopma anındaki maksimum gerilimin uzama miktarına oranını temsil etmektedir. CB ilavesi ile elastisite modülünde artış görülmesi malzemenin daha sert bir yapıya büründüğünü göstermektedir. Şekilde gösterilen sertlik değerleri grafiği de bu durumu desteklemektedir. Grafikten CB takviyesi ile PA66’nın sertlik değerinin arttığı açıkça anlaşılmaktadır. En yüksek sertlik değeri %30 CB takviyeli PA66 ile 79.8 Shore olarak belirlenmiştir. PA66’ya kıyasla sertlik değeri %1.01 oranında artış göstermiştir.



Şekil 5.1. PA66 ve CB takviyeli PA66 numunelerinin çekme mukavemeti, elastiklik modülü ve sertlik değeri grafikleri.

Şekil 5.2’de PA66 polimeri ile farklı oranlarda CB takviyesi içeren PA66 malzemelerinin % kopma uzaması ve darbe mukavemeti sonuçları verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi PA66 polimerinin kopma uzaması değeri %6.6 iken, %10 CB ilavesi ile %10.61 oranında azalarak %5.9 değerinde, %20 CB ilavesi ile %19.70 oranında azalarak %5.3 değerinde ve %30 CB ilavesi ile %15.15 oranında azalarak %5.6 değerinde elde edilmiştir. CB takviyesi ile kopma uzamasının azalmasının sebebinin, CB’nin PA66 malzemesini daha gevrek hale getirmesi olarak düşünülmektedir. Malzeme gevrekleştikçe kopmadan önceki uzama miktarı azalacaktır. Darbe mukavemeti açısından elde edilen sonuçlar incelendiğinde artan CB oranının darbe mukavemetini azalttığı açıkça anlaşılmaktadır. PA66 polimerinin darbe mukavemeti 5.84 kJ/m^2 iken, %10 CB ilavesi ile %10.45 oranında azalarak 5.23 kJ/m^2 , %20 CB ilavesi ile %20.03 oranında azalarak 4.67 kJ/m^2 ve %30 CB ilavesi ile %19.69 oranında azalarak 4.69 kJ/m^2 olarak elde edilmiştir. Bu azalmanın sebebi CB takviyesi ile polimer matrisi arasındaki zayıf uyumluluk olarak açıklanabilir.



Şekil 5.2. PA66 ve CB takviyeli PA66 numunelerinin kopmadaki uzama ve darbe mukavemeti grafikleri.

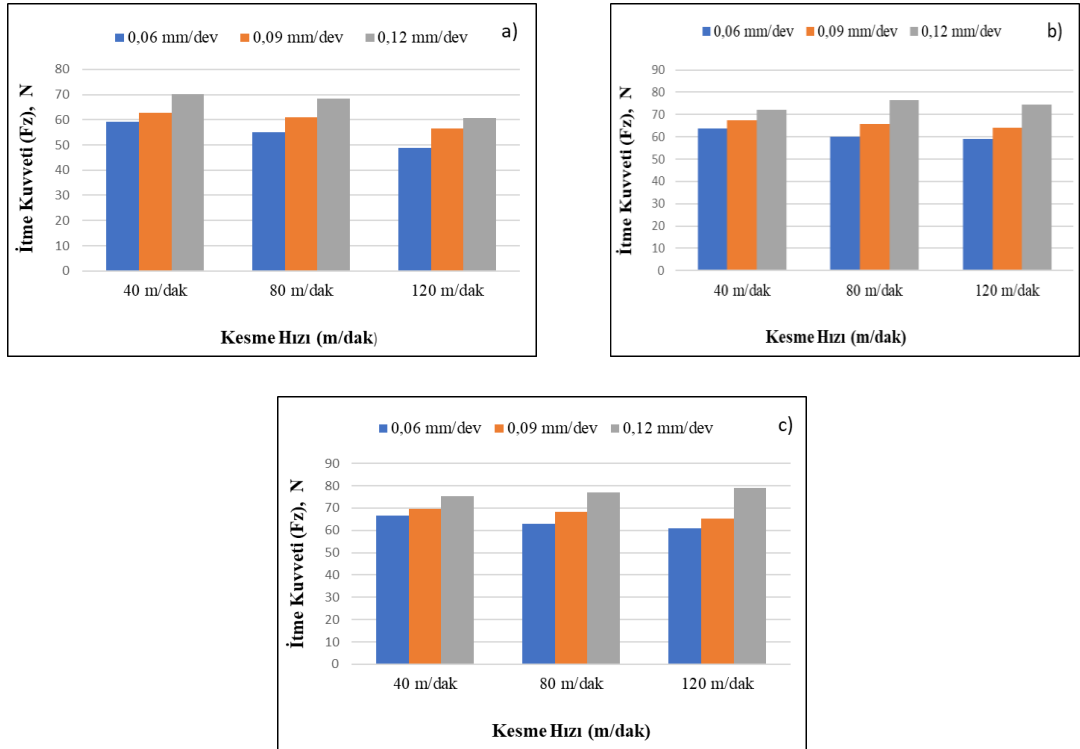
Grafiklerden anlaşıldığı üzere, CB oranı arttığında malzemenin elastiklik modülünün ve sertliğinin arttığı gözlenmiştir. Bu durum CB'nin ana matristen çok daha sert olduğu için amacını yerine getirmiş olduğunu göstermiştir. CB oranı arttıkça malzemenin çekme dayanımının azalması, CB'nin ana matriste çekmeye karşı küresel boşluk oluşturmaya, çekme sırasında ana matrisin gereği kadar dayanamadığına atfedilebilir.

5.2. İTME KUVVETİNİN (Fz) DEĞERLENDİRİLMESİ

Şekil 5.3'teki grafikler kaplamasız takım ile farklı oranlarda CB takviyesi yapılmış PA66 üzerindeki farklı ilerleme ve kesme hızlarına göre elde edilen Fz değerlerini göstermektedir.

İlerleme miktarına bağlı olarak grafikler incelendiğinde, CB oranının ve kesme hızının tüm değişkenlerinde artan ilerleme miktarına bağlı olarak Fz değerlerinde artış olduğu görülmektedir. İlerleme miktarının artması birim zamanda kaldırılan talaş hacminin artmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle talaşın koparılmaya karşı gösterdiği direnç artmakta ve Fz'yi arttırmaktadır. Ayrıca talaş hacminin artmasıyla talaş tahliyesi zorlaşmaktadır [44,48]. %10 CB takviyeli PA66 malzemenin kaplamasız HSS takım ile 40 m/dak kesme hızıyla delinmesinde, ilerleme miktarının 0.06 mm/dev'den 0.09 mm/dev'e artması ile (%50 artış) Fz'nin 59.2 N'dan 62.8 N'a (%6.08) arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, aynı kesme hızında (40 m/dak) ilerleme miktarının 0.06 mm/dev'den 0.12 mm/dev'e artması ile (%100 artış) Fz'nin 59.2 N'dan 70.3 N'a

(%18.75) arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, sabit ilerleme miktarında (0.12 mm/dev) kesme hızının 40 m/dak'dan 80 m/dak'ya artması (%100) ile Fz 70.3 N'dan 68.5 N'a (%2.56) düşmüştür. Kesme hızının 40 m/dak'dan 120 m/dak'ya artması (%200) ile Fz 70.3 N'dan 60.7 N'a (%13.66) düşmüştür. Aynı şartlarda %20 CB takviyeli PA66 için ilerleme miktarının ve kesme hızının değişmesi ile Fz'de meydana gelen değişimler benzerdir. Aynı kesme şartlarında (f=0.09 mm/dev, V=80 m/dak) Fz %10 CB'de 60.9 N iken, %20 CB'de %8.05 artarak 65.8 N olarak ölçülmüştür. Son olarak, %30 CB takviyeli PA66 için elde edilen sonuçlar aynı şartlarda (f=0.09 mm/dev, V=80 m/dak) %10 CB takviyeli PA66 ile kıyaslandığında, Fz'nin 60.9 N'dan 68.2 N'a yükseldiği gözlemlenmiştir. CB takviyesinin %10'dan %30'a çıkmasıyla yaklaşık %12'lik bir artış gerçekleşmiştir.

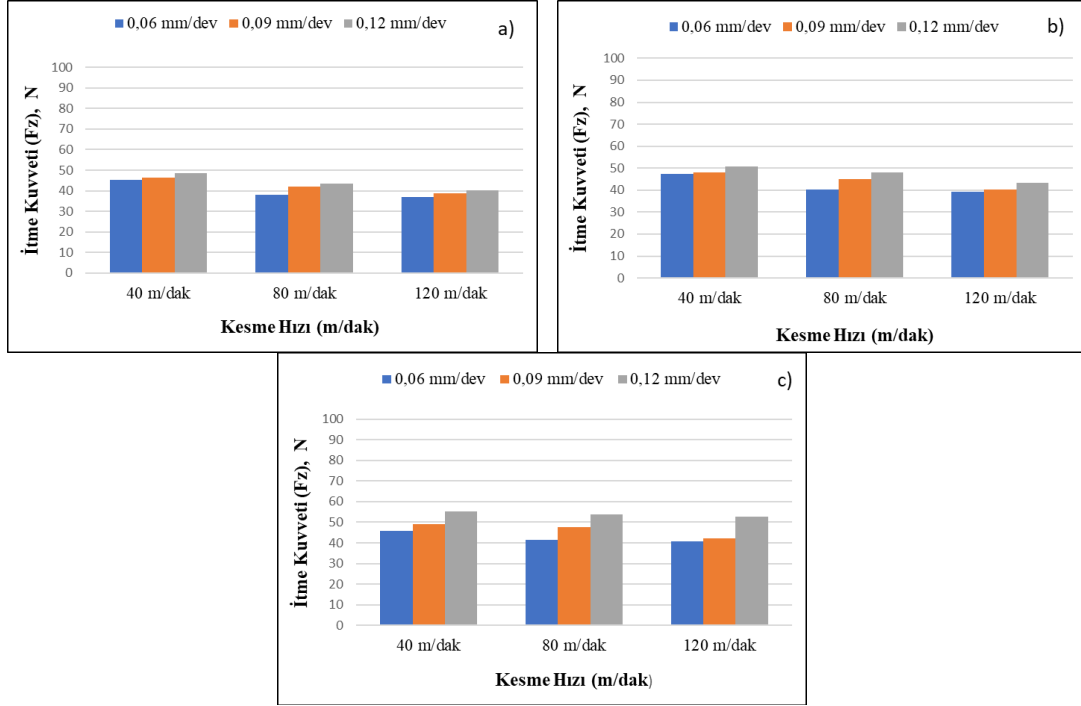


Şekil 5.3. Kesme parametrelerine bağlı olarak Fz değişimleri a) %10 CB takviyeli, b) %20 CB takviyeli, c) %30 CB takviyeli (kaplamasız takım).

Kaplamalı takım kullanılarak, farklı kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak farklı oranlarda CB takviyeli PA66 malzemelerinin Fz değerleri üzerindeki değişimler Şekil 5.4'te gösterilmektedir. Genel olarak tüm malzemelerde artan ilerleme miktarına bağlı olarak Fz'nin arttığı ve en yüksek Fz değerlerinin 0.12 mm/dev'de ortaya çıktığı

gözlemlenmiştir. %10 CB takviyeli PA66'nın sabit ilerleme miktarında (0.06 mm/dev) artan kesme hızına bağlı olarak yapılan incelemesinde kesme hızının 40 m/dak'dan 80 m/dak'ya (%50 artış) çıkarılmasıyla Fz'nin yaklaşık %15.71 azalma ile 45.2 N'dan 38.1 N'a düştüğü görülmektedir. Aynı ilerleme miktarında kesme hızının 40 m/dak'dan 120 m/dak'ya (%100 artış) çıkarılmasıyla ise Fz değerindeki azalma yaklaşık %18.58 (45.2 N'dan 36.8 N'a) olarak gerçekleşmiştir. Benzer durum 0.09 mm/dev ve 0.12 mm/dev ilerleme miktarı değerlerinde de gerçekleşmiştir. Sabit ilerleme miktarı değerlerinde artan kesme hızına bağlı olarak Fz azalmıştır. %10 CB takviyeli PA66 sabit kesme hızı değerine göre incelendiğinde ise artan ilerleme miktarına bağlı olarak Fz'nin tüm kesme hızı değerlerinde arttığı görülmektedir. Kesme hızı 80 m/dak ve ilerleme miktarı 0.06 mm/dev'de elde edilen Fz değeri 38.1 N iken, ilerleme miktarının %50 artış ile 0.09 mm/dev'e çıkarılmasıyla Fz 41.9 N'a (%9.97 artış) yükselmiştir. Aynı kesme hızında ilerleme miktarının 0.12 mm/dev'e (%100 artış) çıkarılmasıyla ise Fz %13.65 artarak 43.3 N'a yükselmiştir.

CB takviye oranının artışlarında Fz değerleri artış göstermiştir. Bu durum artan CB oranına bağlı olarak PA66 malzemesinin sertliğinin artmasıyla açıklanabilir (Şekil 5.1) İlerleme miktarı 0.06 mm/dev ve kesme hızı 40 m/dak olduğunda, %10 CB takviyeli PA66'nın delinmesinde ortaya çıkan Fz 45.2 N iken, %20 CB takviyeli PA66'da bu değer 47.5 N olarak ortaya çıkmıştır. Fz yaklaşık %5.09 artış göstermiştir. İlerleme miktarı sabit kalarak (0.06 mm/dev), kesme hızının 40 m/dak'dan 80 m/dak'ya (%50 artış) çıkarılması ile Fz'de meydana gelen artış %7.4 olarak belirlenmiştir. Buna ilaveten, %20 CB takviyeli PA66'da 80 m/dak kesme hızı değerinde ilerleme miktarının 0.06 mm/dev'den 0.09 mm/dev'e (%50 artış) çıkarılmasıyla Fz 40.4 N'dan 45 N'a yükselerek yaklaşık %12.5 artış göstermiştir. Aynı şartlarda (0.06 mm/dev ilerleme miktarı ve 40 m/dak kesme hızı) CB takviye oranının %10'dan %30'a çıkmasıyla Fz 45.2 N'dan 45.9 N'a yükselerek yaklaşık %1.55 artış göstermiştir. %30 CB takviyeli PA66'da 80 m/dak kesme hızı değerinde ilerleme miktarının 0.06 mm/dev'den 0.09 mm/dev'e (%50 artış) çıkarılmasıyla ise Fz %15.74 artarak 41.3 N'dan 47.8 N'a yükselmiştir.



Şekil 5.4. Kesme parametrelerine bağlı olarak Fz değişimleri a) %10 CB takviyeli, b) %20 CB takviyeli, c) %30 CB takviyeli (kaplamalı takım).

Kaplamasız takım ile yapılan delme işlemlerinde Fz değerlerinin kaplamalı takıma kıyasla tüm PA66 malzemelerinde daha yüksek çıktığı elde edilen sonuçlardan açıkça anlaşılmaktadır. %10 CB takviyeli PA66'nın kaplamasız takım ile delinmesinde tüm ilerleme miktarı ve kesme hızı değerlerinde elde edilen ortalama Fz değeri 60.32 N olarak bulunmuştur. %20 CB takviyeli PA66'nın ve %30 CB takviyeli PA66'nın kaplamalı takım ile delinmesinde ortaya çıkan ortalama değerler ise sırasıyla 67.02 N ve 69.39 N olarak tespit edilmiştir. Kaplamalı takım ile yapılan delme işlemlerinde ise bu değerler sırasıyla 42.08 N, 44.73 N ve 47.65 N olarak tespit edilmiştir. Kaplamalı takım ile delme işlemlerinde elde edilen Fz değerleri kaplamasız takıma kıyasla %10 CB, %20 CB ve %30 CB takviyeli PA66 için sırasıyla %30.24, %33.26 ve %31.33 oranlarında düşük çıkmıştır. Bu durumun, kaplamanın düşük sürtünme miktarından dolayı ortaya çıktığı söylenebilir.

5.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ

Malzemelerin işlenebilirliğinin değerlendirilmesinde dikkat edilen hususlarından başında gelen kriterlerden biri yüzey pürüzlülüğüdür. Talaşlı imalat yöntemiyle elde edilen

malzemelerin yüzeylerinde çeşitli sebeplerden dolayı istenmeyen izler oluşabilmektedir. İşlenen malzemenin cinsi, kesici takımın cinsi ve işleme yöntemi, işlenen malzeme ile kesici takım arasındaki mekanik hareketler ile bazı fiziksel ve kimyasal etmenlere bağlı olarak ortaya çıkan bu yüzey izlerine yüzey pürüzlülüğü denilmektedir [49–51]. Nihai üründe yüzey pürüzlülük kalitesi malzemenin yorulma dayanımında, korozyon direncinde ve tribolojik özelliklerinde iyileşme sağlamaktadır [52]. Bu bağlamda, PA66 malzemelerin delme işlemlerinde oluşan yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçülmesi ile optimum işleme parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Kaplamasız ve kaplamalı takım ile delme işlemi uygulanan farklı oranlarda CB takviyeli PA66 malzemelerin yüzeylerinde oluşan pürüzlülükler farklı kesme hızı ve ilerleme miktarına göre Şekil 5.5 ve Şekil 5.6’da sırasıyla gösterilmektedir. Grafikler incelendiğinde artan ilerleme miktarına bağlı olarak Ra değerlerinin arttığı açıkça görülmektedir. Fz’nin değerlerdirilmesinde, ilerleme miktarı artışı ile Fz’nin arttığından bahsedilmiştir. İlerleme miktarının artışı takımında oluşan yükü ve temas yüzeyini arttırdığı için Fz artar [53,54]. Artan Fz’ye bağlı olarak yüzey kalitesi kötüleşmiştir. Yüzey pürüzlülüğü, ilerlemenin doğal bir fonksiyonudur ve kesici takımın ilerleme değerinin artması, işlenen yüzey üzerindeki kesici ucun daha hızlı hareket etmesi ve yüzey kalitesinin bozulması, çukurcukların artması manasına gelmektedir. İlerleme miktarının artışı ile yüzey kalitesinin kötüleşmesi yani yüzey pürüzlülüğü değerinin artması beklenen bir durum olmakla birlikte literatürdeki yapılan bazı çalışmalar ile benzerlik göstermektedir [55,56].

Kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi incelendiğine artan kesme hızına bağlı olarak Ra değerlerinin önce hafif bir azalma gösterip daha sonra tekrar artışa geçtiği anlaşılmaktadır. Artan kesme hızının itme gücünü azalttığından önceki bölümde bahsedilmiştir. Kesme hızının artışı ile malzeme ısınması ve matrisin yumuşamasından dolayı delme işleminde itme kuvveti azalır [54]. Ancak kesme hızının daha fazla artışı ile yüzey pürüzlülüğünün tekrar artışa geçmesi yumuşayan matris parçacıkları ile açıklanabilir. Bu bölgede artan sıcaklıkların kesmeyi kolaylaştırması ve bu nedenle de yüzey kalitesini iyileştirici bir etki gösterdiği bilinmektedir [50]. Ancak, burada artan sıcaklıkların malzeme için camsı geçiş sıcaklığı üzerinde olduğu ve buna ilaveten Ra değerlerinde artışa neden olduğu düşünülmektedir. Buna ilaveten, matris parçacıkları ve kopan malzeme parçalarının takım ile iş parçası arasında kalarak tekrar işleme maruz

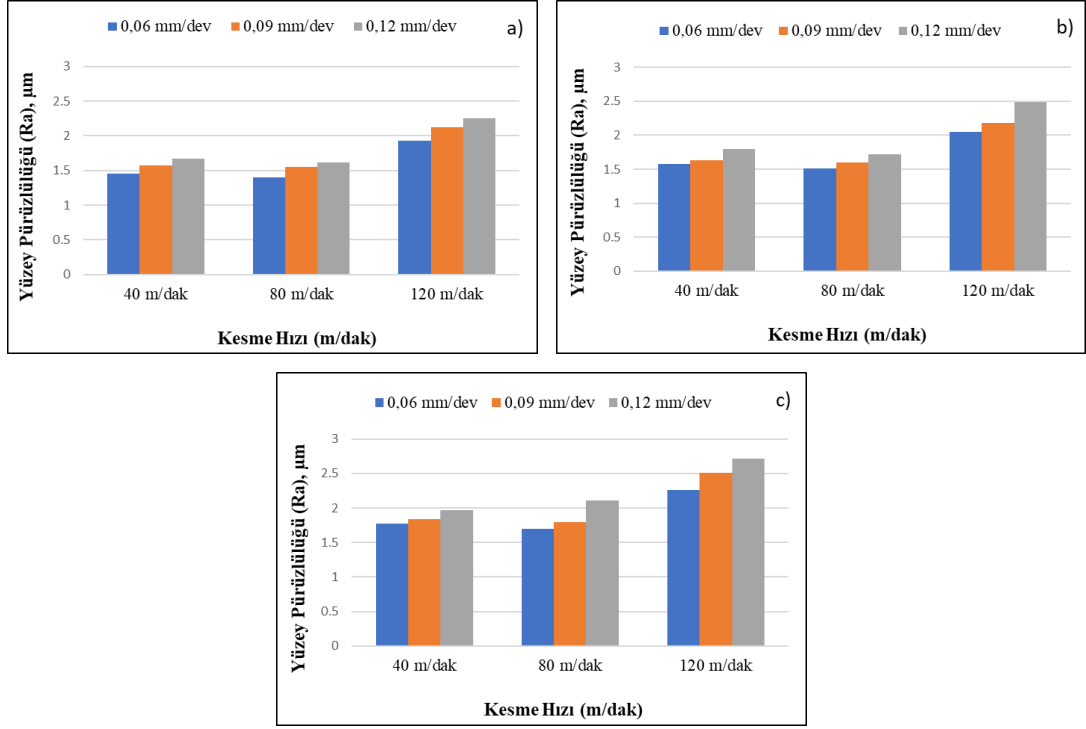
kalması, talaş oluşumunun kararsız bir hal almasına ve buna istinaden delik yüzeyinde Ra değerinin artmasına neden olmaktadır [44]. CB takviye oranına bağlı olarak Ra değerlerinin arttığı görülmektedir. CB oranı arttıkça malzemenin sertliğinin arttığı ve buna bağlı olarak itme kuvvetinin arttığından bahsedilmiştir. Artan itme kuvvetine bağlı olarak yüzey kalitesinin kötüleşmesi beklenen bir durumdur. Grafikler incelendiğinde beklenen duruma paralel sonuçlar elde edilmiştir.

Farklı oranlarda CB takviyeli PA66 malzemelerin kaplamasız takım ile delme işleminde malzeme yüzeylerinde oluşan pürüzlülükler, farklı kesme hızı ve ilerleme miktarına göre Şekil 5.5'te gösterilmektedir. %10 CB takviyeli PA66 malzemesinin, 80 m/dak kesme hızında, 0.06 mm/dev ilerleme miktarında kaplamasız takım ile delinmesinde Ra değeri 1.4 µm olarak tespit edilmiştir. Aynı kesme hızında, ilerleme miktarının %50 artırılmasıyla (0.06 mm/dev'den 0.09 mm/dev'e) Ra değeri 1.40 µm'den 1.55 µm'ye (%10.71) yükselirken, %100 artırılmasıyla (0.09 mm/dev'den 0.12 mm/dev'e) Ra değeri 1.40 µm'den 1.62 µm'ye (%15.71) yükselmiştir. Diğer taraftan, ilerleme miktarı 0.12 mm/dev'de sabit tutularak 40 m/dak kesme hızında yapılan delme işleminde Ra değeri 1.67 µm olarak bulunmuştur. Kesme hızının %100 yükseltilmesiyle (40 m/dak'dan 80 m/dak'ya) Ra değeri %2.99 azalırken (1.67 µm'den 1.62 µm'ye), %200 yükseltilmesiyle ise (80 m/dak'dan 120 m/dak'ya) %34.73 artmıştır (1.67 µm'den 2.25 µm'ye). Çok yüksek kesme hızı değerlerinde talaş oluşumunun kararsız bir hal almasından dolayı Ra değerleri aşırı artış göstermiştir.

CB takviye oranının artırılmasının etkilerini incelemek amacıyla CB takviye oranının %100 artırılmasıyla (%10'dan %20'ye) yine aynı ilerleme miktarı ve kesme hızında (0.06 mm/dev ve 80 m/dak) yapılan delme işleminde Ra değeri 1.51 µm bulunmuştur. %10 CB takviyeli PA66'nın aynı şartlarda delinmesinde elde edilen Ra değerine göre %7.86'lık bir artış gerçekleşmiştir. Bu sonuca göre, CB takviye oranının artırılmasının, delme işlemini zorlaştırdığı için yüzey kalitesini kötüleştirdiği söylenebilir. Diğer taraftan, ilerleme miktarı değişiminin etkisini belirlemek amacıyla %20 CB takviyeli PA66'nın 80 m/dak kesme hızında delme işleminde, ilerleme miktarının 0.06 mm/dev'den 0.09 mm/dev'e çıkartılmasıyla Ra değeri 1.51 µm'den 1.60 µm'ye yükselerek %5.96'lık bir artış göstermiştir. Sabit kesme hızında ilerleme miktarının 0.09 mm/dev'den 0.12 mm/dev'e çıkartılmasıyla ise %13.91'lik bir artış ile Ra değeri 1.60 µm'den 1.72 µm'ye yükselmiştir. Bunlara ilaveten, kesme hızı değişiminin Ra üzerindeki etkisini incelemek için 0.12

mm/dev sabit ilerleme miktarı değerinde, 40 m/dak kesme hızında yapılan delme işleminde Ra değeri 1.8 μm olarak tespit edilmiştir. Kesme hızının 40 m/dak'dan 80 m/dak'ya yükseltilmesiyle Ra 1.8 μm 'den 1.72 μm 'ye düşerek %4.44 azalma göstermiştir. Kesme hızının 40 m/dak'dan 120 m/dak'ya yükseltilmesiyle ise Ra değeri 1.8 μm 'den 2.49 μm 'ye çıkarak tekrar artışa geçmiş ve %38.33'lük bir artış göstermiştir.

CB takviye oranının daha fazla artırılmasıyla Ra değerleri artmaya devam etmiştir. CB takviyesinin %10'dan %30'a çıkartılması ile Ra değerleri tüm kesme hızlarında artan ilerleme miktarına istinaden artış göstermiştir. 0.06 mm/dev ilerleme miktarı ve 80 m/dak kesme hızında %30 CB takviyeli PA66'nın delinmesinde ortaya çıkan Ra değeri 1.7 μm 'dir. Aynı şartlarda (0.06 mm/dev ve 80 m/dak) %20 CB takviyeli PA66'nın delme işleminde elde edilen Ra değerine (1.51 μm) kıyasla %12.58'lik artış bulunmuştur. %10 CB takviyeli PA66'nın delme işleminde elde edilen Ra değerine (1.40 μm) göre ise %21.43'lük bir artış söz konusudur. %30 CB takviyeli PA66'nın sabit (80 m/dak) kesme hızında delme işleminde, ilerleme miktarının 0.06 mm/dev'den 0.09 mm/dev'e çıkartılmasıyla Ra değeri 1.70 μm 'den 1.79 μm 'ye yükselerek %5.29'luk bir artış göstermiştir. Sabit kesme hızında ilerleme miktarının 0.09 mm/dev'den 0.12 mm/dev'e çıkartılmasıyla ise %24.12'lik bir artış ile Ra değeri 1.79 μm 'den 2.11 μm 'ye yükselmiştir. İlerleme miktarının %100 yükseltilmesiyle Ra değerinde gerçekleşen artış, %50 yükseltilmesiyle elde edilen artışa kıyasla yaklaşık 5 kat daha fazladır. İlerleme miktarı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün de dikkate değer bir şekilde arttığı görülmektedir. Bir diğer kesme parametresi olan kesme hızına göre yapılan değerlendirmede ise sabit ilerleme miktarında kesme hızının %100 artırılmasıyla Ra değerinde hafif artış, %200 artırılmasıyla ise yüksek oranda artış gözlemlenmiştir. En yüksek Ra değerlerinin tespit edildiği 0.12 mm/dak ilerleme miktarında 40 m/dak kesme hızında elde edilen Ra değeri 1.97 μm , 80 m/dak kesme hızında 2.11 μm (%7.11 artış) ve son olarak 120 m/dak'da 2.71 μm (%37.56 artış) olarak bulunmuştur. %30 CB takviyeli PA66'nın delinebilirliği kaplamasız takım kullanımı ile iyice zorlaştığı anlaşılmaktadır.

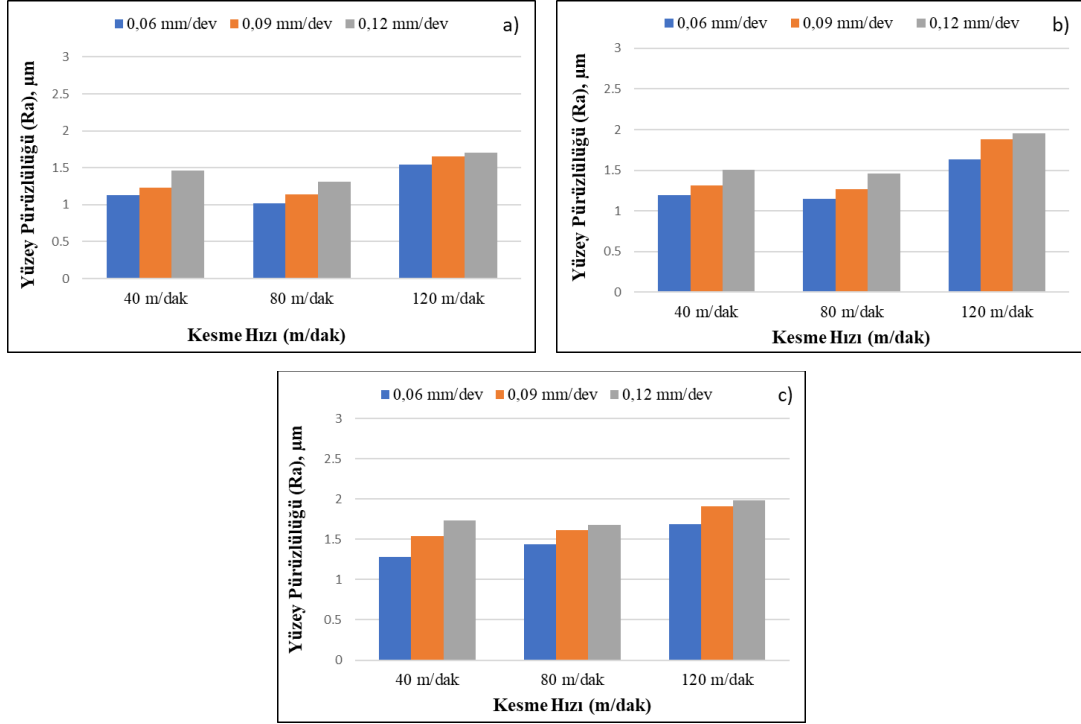


Şekil 5.5. Kesme parametrelerine bağlı olarak Ra değişimleri a) %10 CB takviyeli, b) %20 CB takviyeli, c) %30 CB takviyeli (kaplamasız takım).

Tüm CB takviyeli PA66 malzemelerin kaplamalı takım ile delinmesinde artan ilerleme miktarına bağlı olarak Ra değerinin arttığından bahsedilmiştir. Sabit kesme hızında (80 m/dak) %10 CB takviyeli PA66 malzemesinde ilerleme miktarı 0.06 mm/dev iken Ra değeri 1.02 μm olarak ortaya çıkmıştır. İlerleme miktarı 0.06 mm/dev'den 0.09 mm/dev'e çıkartılmasıyla (%50 artış) Ra değeri 1.02 μm 'den 1.14 μm 'ye (%11.76 artış), ilerleme miktarının 0.09 mm/dev'den 0.12 mm/dev'e çıkartılmasıyla ise (%100 artış) Ra değeri %28.43'lük bir artış ile 1.14 μm 'den 1.31 μm 'ye yükselmiştir. Öte yandan, en yüksek Ra değerlerinin elde edildiği 0.12 mm/dev ilerleme miktarı değerinde, kesme hızının 40 m/dak'dan 80 m/dak'ya (%100 artış) çıkartılmasıyla Ra değeri %10.27 azalarak 1.46 μm 'den 1.31 μm 'ye düşmüştür. İlerleme miktarı sabit tutularak kesme hızının 40 m/dak'dan 120 m/dak'ya (%200 artış) çıkartılmasıyla ise Ra değeri %16.44 artarak 1.46 μm 'den 1.70 μm 'ye yükselmiştir. Benzer artış oranlarına göre ilerleme miktarının ve kesme hızının etkisi incelendiğinde, ilerleme miktarındaki artışın Ra değeri üzerinde daha çok etkiye sahip olduğu söylenebilir. Kaplamalı ve kaplamasız takım ile delme işlemi uygulanan %10 CB takviyeli PA66 için ilerleme miktarındaki artışa ve kesme hızındaki artışa bağlı olarak Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de verilen SEM görüntüleri grafiklerde elde edilen sonuçları desteklemektedir.

CB takviye oranının %10'dan %20'ye (%100 artış) artırılmasıyla 80 m/dak kesme hızında ve 0.06 mm/dev ilerleme miktarında Ra değeri 1.15 μm olarak ortaya çıkmıştır. CB oranının %100 artması (%10'dan %20'ye) ile Ra değeri %12.75 oranında artmıştır. %20 CB takviyeli PA66 malzemesinin kaplamalı takım ile delme işleminde 80 m/dak kesme hızı değerinde ilerleme miktarının 0.06 mm/dev'den 0.09 mm/dev'e çıkartılmasıyla (%50 artış) Ra değeri yaklaşık %10.43 artarak 1.15 μm 'den 1.27 μm 'ye çıkmıştır. Buna ilaveten, 0.09 mm/dev'den 0.12 mm/dev'e yükselen ilerleme miktarı ile Ra değeri 1.27 μm 'den 1.46 μm 'ye çıkararak yaklaşık %26.96 artmıştır. Diğer taraftan, kesme hızına göre yapılan değerlendirmede, 0.12 mm/dev ilerleme miktarı ve 40 m/dak kesme hızı değerinde ortaya çıkan Ra değeri 1.51 μm 'dir. %10 CB takviyeli PA66'nın delme işleminde ortaya çıkan Ra değerine göre %3.42 daha fazladır. İlerleme miktarı sabit tutularak (0.12 mm/dev), kesme hızının %100 artırılmasıyla (40 m/dak'dan 80 m/dak'ya) Ra değeri %3.31 azalırken, kesme hızının %200 artırılmasıyla (80 m/dak'dan 120 m/dak'ya) Ra değeri %29.14 artmıştır. Kesme hızının %100 artırılması Ra değerini hafif azaltırken, %200 artırılması önemli ölçüde artırmıştır.

Diğer taraftan, CB takviye oranının %10'dan %30'a (%200 artış) çıkartılmasıyla yine aynı kesme hızı ve ilerleme miktarında (80 m/dak ve 0.06 mm/dev) kaplamalı takım ile yapılan delme işleminde Ra değeri 1.44 μm olarak tespit edilmiştir. CB takviye oranının %10'dan %30'a çıkartılmasıyla (%200 artış) Ra değeri %41.18 oranında artmıştır. %30 CB takviyeli PA66 malzemesinin delme işleminde kesme hızı 80 m/dak'da sabit iken, ilerleme miktarının 0.06 mm/dev'den 0.09 mm/dev'e çıkartılmasıyla Ra değeri 1.44 μm 'den 1.61 μm 'ye yükselerek %11.8, ilerleme miktarının 0.09 mm/dev'den 0.12 mm/dev'e çıkartılmasıyla ise 1.61 μm 'den 1.68 μm 'ye yükselerek %16.67 oranında artmıştır. Artan kesme hızının değerlendirilmesi amacıyla ilerleme miktarı 0.12 mm/dev'de sabit tutularak artan kesme hızına istinaden Ra değişimleri incelenmiştir. 0.12 mm/dev ilerleme miktarı ve 40 m/dak kesme hızı değerinde ortaya çıkan Ra değeri 1.73 μm 'dir ve aynı şartlarda %20 CB takviyeli malzemeye göre %14.57 daha büyüktür. İlerleme miktarı sabit tutularak kesme hızının 40 m/dak'dan 80 m/dak'ya yükseltilmesi Ra değerini %2.89 azaltırken, kesme hızının 80 m/dak'dan 120 m/dak'ya yükseltilmesi %14.45 artırmıştır.



Şekil 5.6. Kesme parametrelerine bağlı olarak Ra değişimleri a) %10 CB takviyeli, b) %20 CB takviyeli, c) %30 CB takviyeli (kaplamalı takım).

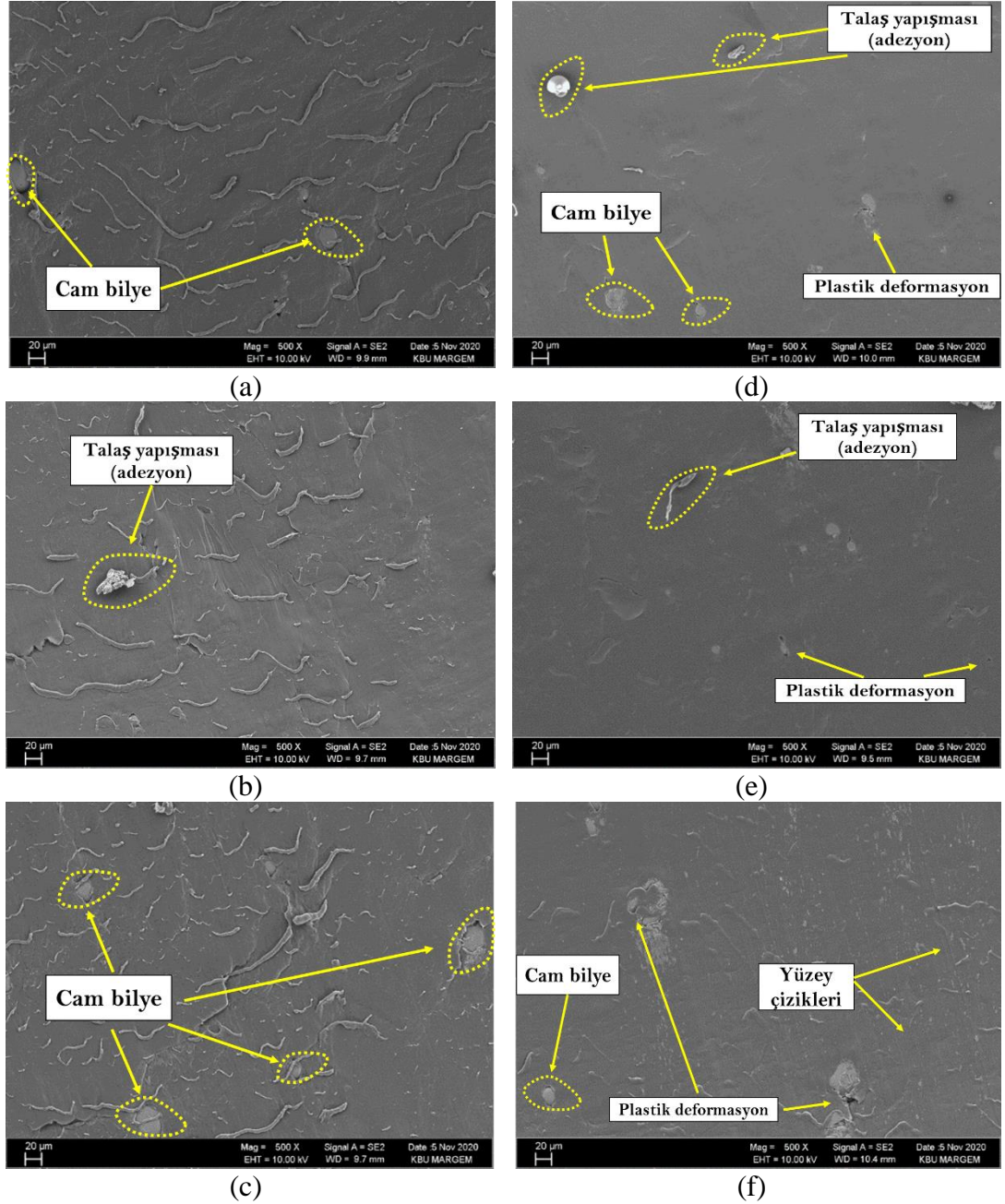
Tüm grafikler incelendiğinde, kaplamalı takım ile yapılan delme işlemlerinde elde edilen Ra değerlerinin kaplamasız takıma göre daha düşük çıktığı görülmektedir. Aynı kesme hızında (80 m/dak) ve CB takviye oranında (%10 CB), kaplamasız takım ile yapılan delme işleminde 0.06 mm/dev ilerleme hızında ortaya çıkan Ra değeri 1.4 µm ve kaplamalı takımla yapılan işlemde ortaya çıkan Ra değerine (1.02 µm) göre yaklaşık %37.25 oranında daha fazladır. Bu artış oranı, kesme hızı ve CB takviye oranı sabit tutularak, ilerleme miktarının 0.06 mm/dev'den 0.09 mm/dev'e çıkartılmasıyla %35.97, ilerleme miktarının 0.06 mm/dev'den 0.12 mm/dev'e çıkartılmasıyla ise %23.66 olarak tespit edilmiştir. Kaplamalı takım ile kaplamasız takım arasındaki Ra değeri farkının, artan ilerleme miktarına bağlı olarak azaldığı açıkça görülmektedir. Diğer taraftan, en yüksek Ra değerlerinin elde edildiği ilerleme miktarı değerinde (0.12 mm/dev), 40 m/dak kesme hızında, kaplamalı takım ile %10 CB takviyeli PA66 üzerinde yapılan delme işleminde ortaya çıkan Ra değeri 1.46 µm iken, kaplamasız takımla elde edilen değer 1.67 µm olarak bulunmuştur. Yaklaşık %14.38 oranında artış gerçekleşmiştir. Bu artış oranı, ilerleme miktarı ve CB takviye oranı sabit tutularak, kesme hızının 40 m/dak'dan 80 m/dak'ya yükseltilmesiyle %23.66, 40 m/dak'dan 120 m/dak'ya yükseltilmesiyle ise %32.35 olarak

tespit edilmiştir. Artan kesme hızına istinaden kaplamalı takım ile kaplamasız takım arasındaki Ra değeri farkının arttığı açıkça anlaşılmaktadır.

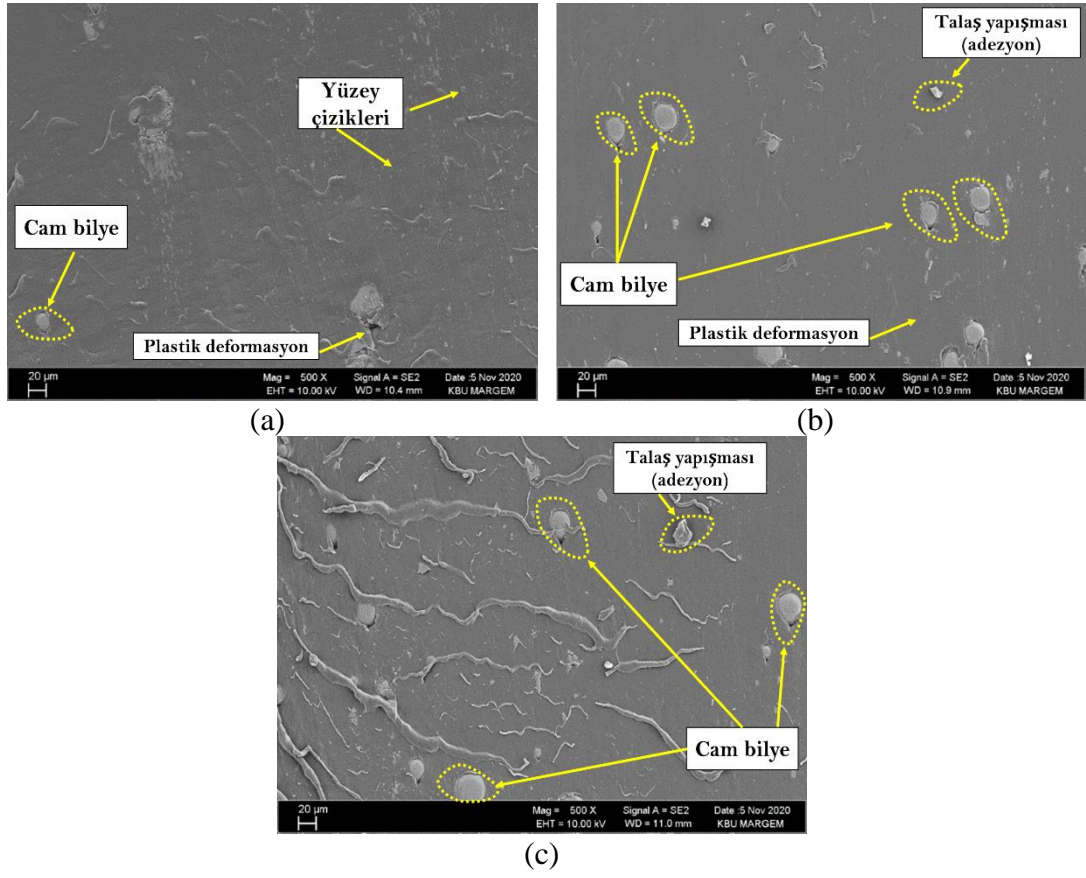
Artan CB takviye oranı ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Hem kaplamalı hem de kaplamasız takım ile %20 CB takviyeli PA66'nın delme işlemlerinde artan ilerleme miktarı Ra değerlerini artırırken, artan kesme hızı önce hafif düşürmüştü daha sonra önemli ölçüde artırmıştır. Aynı kesme hızında (40 m/dak) ve aynı ilerleme miktarında (0.06 mm/dev) kaplamalı takım ile ortaya çıkan Ra değeri 1.19 μm iken kaplamasız takım ile 1.58 μm 'dir. %32.77 oranında bir artış söz konusudur. Sabit kesme hızında ilerleme miktarının 0.06 mm/dev'den 0.09 mm/dev'e yükseltilmesi ile artış oranı %31.30 olurken, ilerleme miktarının 0.06 mm/dev'den 0.12 mm/dev'e yükseltilmesiyle ise %25.77 olmuştur. İlerleme miktarı arttıkça kaplamalı ve kaplamasız takım arasındaki Ra değerleri farkı azalmıştır. Diğer taraftan, ilerleme miktarının sabit tutulup, kesme hızının değişimlerinin etkisinin incelenmesi için 0.12 mm/dev ilerleme miktarı sabit tutularak, kesme hızı artışının etkisi değerlendirilmiştir. 0.12 mm/dev'de, 40 m/dak kesme hızında, kaplamalı takım ile %20 CB takviyeli PA66 üzerinde yapılan delme işleminde ortaya çıkan Ra değeri 1.51 μm iken, kaplamasız takım ile elde edilen değer 1.80 μm olarak bulunmuştur ve aralarındaki fark %19.21 olarak tespit edilmiştir. Kesme hızının 80 m/dak yapılmasıyla kaplamasız takım ile elde edilen Ra değeri (1.72 μm), kaplamalı takım ile elde edilene (1.46 μm) göre %17.81 oranında yüksek çıkmıştır. 120 m/dak kesme hızında ise bu oran %27.69 olarak tespit edilmiştir. Artan kesme hızı ile yüzey kaliteleri kötüleşmiş ancak kaplamasız takım ile yapılan delme işlemlerinde bu kötüleşmenin daha fazla olduğu açıkça görülmektedir. 0.06 mm/dev ilerleme miktarında ve 120 m/dak kesme hızında kaplamasız takım ile farklı CB takviye oranına sahip PA66 malzemelerinin delik yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri Şekil 5.9'da gösterilmiştir ve grafiksel sonuçları destekler niteliktedir.

Son olarak %30 CB takviyeli PA66 üzerinde yapılan değerlendirmede, en düşük kesme hızında (40 m/dak), kaplamalı takım ve kaplamasız takım ile elde edilen Ra değerleri kıyaslandığında, artan ilerleme miktarına bağlı olarak ortaya çıkan Ra değerleri farkının azaldığı görülmektedir. 40 m/dak kesme hızında ve 0.06 mm/dev ilerleme miktarında kaplamalı takım ile kaplamasız takım Ra değerleri arasındaki fark %38.28 iken, 0.09 mm/dev'de %19.48, 0.12 mm/dev'de ise %13.87 olarak bulunmuştur. Genel olarak en düşük Ra değerleri kaplamalı takımında 40 m/dak kesme hızlarında elde edilirken,

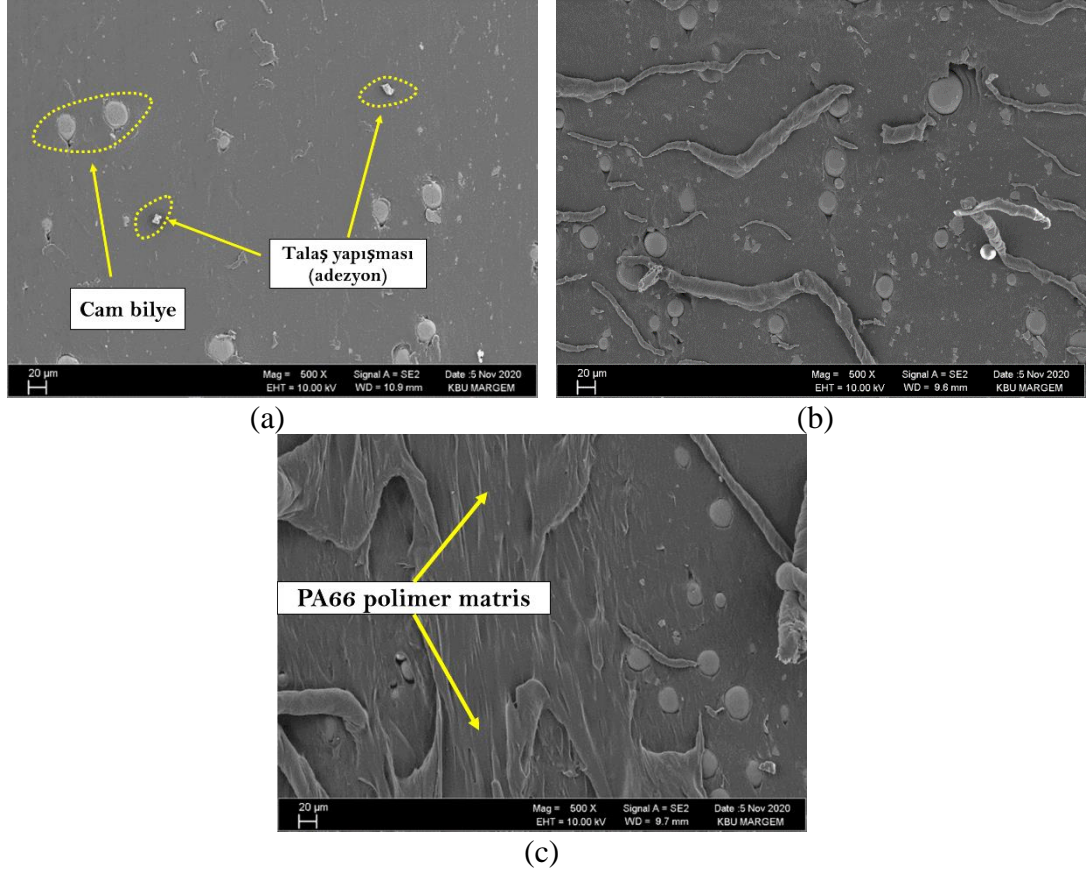
kaplamasız takımda 80 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. En yüksek Ra değerlerinin elde edildiği 0.12 mm/dev ilerleme miktarı ve 120 m/dak kesme hızında, kaplamalı takım ile delme işleminde ortaya çıkan Ra 1.98 μm iken, kaplamasız takım ile 2.71 μm olarak bulunmuştur. Kesici takıma kaplama uygulanmasının Ra değerini yaklaşık %36.87 oranında azalttığı açıkça anlaşılmaktadır.



Şekil 5.7. 40 m/dak kesme hızında %10 CB takviyeli PA66'nın delme işleminde delik yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri; a)-c) Kaplamasız takım ile 0.06, 0.09 ve 0.12 mm/dev ilerleme miktarı, d)-f) Kaplamalı takım ile 0.06, 0.09 ve 0.12 mm/dev ilerleme miktarı.



Şekil 5.8. 0.06 mm/dev ilerleme miktarında kaplamasız takım ile %10 CB takviyeli PA66'nın delme işleminde delik yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri; a)- c) 40 – 80 – 120 m/dak



Şekil 5.9. 0.06 mm/dev ilerleme miktarında ve 120 m/dak kesme hızında kaplamasız takım için delik yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri; a)-c) %10, %20 ve 30% CB takviye oranları

Grafiklerden ve SEM görüntülerinden anlaşılacağı üzere, CB oranı arttıkça malzemenin yüzey pürüzlülüğünün arttığı gözlenmiştir. Bu durum, CB oranı arttıkça malzemenin sertliğinin arttığına (birim hacime düşen CB fazla olması), ve dolayısıyla matkapın sürekli sert CB partiküllere çarptığına dayandırılabilir. Matkap zorlandığı için kesme zorlaşacak ve yüzey kalitesi düşecektir.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. SONUÇLAR

İki aşamalı olarak gerçekleştirilen bu çalışmada, öncelikle matris malzemesi olarak düşük darbe dayanımı ve yüksek mukavemeti olan mühendislik termoplastığı PA66 farklı oranlarda yüzeyi aminoslane kaplanmış 20 μ m çapında cam küreler ile takviyeli olarak üretilmiş ve mekanik özelliklerinin araştırılması için çekme dayanımı, darbe dayanımı, esneklik modülü ve sertliği gibi mekanik özellikler ASTM'ye göre ölçülmüştür. Çalışmanın ikinci aşamasında ise CB takviyeli PA66 kompozitlerinin delme yöntemiyle işlenebilirlik karakteristikleri olan itme kuvveti (Fz) ve yüzey pürüzlülüğü (Ra) çıktıları belirlenen üç farklı ilerleme ve kesme hızında değerlendirilmiştir. Ayrıca, delik yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri ile yüzey kalitesi ve mekanik özellikler arasında bağlantı kurularak, farklı oranlarda CB takviyeli PA66 polimer esaslı kompozitlerin işlenebilirliği yorumlanmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- Fz açısından yapılan değerlendirmeye göre hem kaplamalı takım ile hem de kaplamasız takım ile yapılan delme işlemlerinde diğer tüm değişkenler sabit olduğunda artan ilerleme miktarı Fz değerinin artmasına neden olmuştur. En düşük Fz değerleri 0.06 mm/dev ilerleme miktarında elde edilmiştir.
- İlerleme miktarının tersine, artan kesme hızına bağlı olarak Fz değerleri genel olarak düşüş eğilimi görülmüştür. En düşük Fz değerleri 120 m/dak kesme hızında elde edilmiştir.
- Eş zamanlı olarak ilerleme miktarı ve kesme hızı etkisi incelendiğinde en düşük Fz değeri kaplamalı takım ile %10 CB takviyeli PA66 malzemesinin delme işleminde, 0.06 mm/dev ilerleme miktarı ve 120 m/dak kesme hızında 36.8 N olarak bulunmuştur.

- Kaplamalı takım ile yapılan delme işlemlerinde elde edilen Fz değerleri, kaplamasız takım ile elde edilen değerlere göre yaklaşık olarak ortalama %36-%57 aralığında daha düşük çıkmıştır.
- Artan CB takviye oranına istinaden Fz değerleri hem kaplamalı hem de kaplamasız takımla yapılan delme işlemlerine artış göstermiştir. Kaplamalı takımla delme işlemlerinde CB oranının %10'dan %20'ye çıkartılması ile Fz değeri ortalama %6 civarında artış gösterirken, kaplamasız takım ile bu artış %11 civarında gerçekleşmiştir. CB oranının %10'dan %30'a çıkartılmasıyla ise bu artışlar kaplamalı ve kaplamasız takımlar için sırasıyla yaklaşık ortalama %13 ve %15 olarak gerçekleşmiştir.
- Ra açısından değerlendirildiğinde kaplamalı ve kaplamasız takımlarla yapılan delme işlemlerinde kesme hızının 80 m/dak'ya artışında Ra değerinde azalma ancak 120 m/dak'ya artışında ise Ra değerleri kötüleşmiş ve yüzey pürüzlülüğü artış göstermiştir. Bu duruma artan kesme hızına bağlı olarak malzemenin camsı geçiş sıcaklığı üzerine çıkmasının neden olduğu düşünülmektedir.
- İlerleme miktarının artan tüm değerlerinde malzeme yüzeyi kötüleşmiş ve Ra değerlerinde artış eğilimi görülmüştür.
- İlerleme miktarı ve kesme hızının ortaklaşa etkisi incelendiğinde en düşük Ra değeri kaplamalı takım ile %10 CB takviyeli PA66 malzemesinin delme işleminde, 0.06 mm/dev ilerleme miktarı ve 80 m/dak kesme hızında 1.02 μ olarak bulunmuştur.
- Kaplamalı takım ile yapılan delme işlemlerinde malzeme yüzeyleri daha kaliteli bulunmuş ve kaplamasız takım ile yapılan delme işlemlerinde elde edilen Ra değerleri, kaplamalı takım ile elde edilen değerlere göre yaklaşık olarak ortalama %21-%30 aralığında daha kötü çıkmıştır.
- Hem kaplamalı hem de kaplamasız takımla yapılan delme işlemlerine artan CB takviye oranına istinaden Ra değerleri artış göstermiştir. Kaplamalı takımla delme işlemlerinde CB oranının %10'dan %20'ye çıkartılması ile Ra değeri yaklaşık olarak ortalama %9.5 oranında artış gösterirken, kaplamasız takım ile bu artış %6.5 civarında gerçekleşmiştir. CB oranının %10'dan %30'a çıkartılmasıyla ise bu artışlar kaplamalı ve kaplamasız takımlar için sırasıyla yaklaşık ortalama %22 ve %20 olarak gerçekleşmiştir.

- CB oranının artışı çekme mukavemeti, darbe mukavemeti ve uzama oranını olumsuz yönde etkilemiştir. En düşük değerler %20 CB takviyeli PA66 ile elde edilmiştir. Takviyesiz PA66 ile kıyaslandığında çekme mukavemeti, darbe mukavemeti ve kopma uzaması sırasıyla %20.38, %20.03 ve %19.70 oranında azalma gerçekleşmiştir.
- Sertlik ve elastiklik modülü değerleri CB takviyesi ile artış göstermiş ve en yüksek değerler %30 CB takviyeli PA66 ile elde edilmiştir. Takviyesiz PA66 ile kıyaslandığında sırasıyla %43.69 ve %1.01 oranlarında artış elde edilmiştir.

6.2. ÖNERİLER

- PA66 polimerinin ve CB takviyeli PA66 malzemelerinin delme işlemlerinde daha pürüzsüz yüzeyler elde edebilmek için orta kesme hızı ve düşük ilerleme miktarı seviyeleri tercih edilmelidir.
- Daha düşük Fz değeri ile PA66 ve CB takviyeli PA66 malzemelerinin delinebilmesi için yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme miktarı seçilmelidir.
- Delme işlemlerinde kaplamalı takım ile elde edilen Ra ve Fz değerleri kaplamasız takıma göre daha başarılı olduğu için kaplamalı takım tercih edilmesi önerilir.
- Artan CB takviyesi ile çekme mukavemeti, darbe mukavemeti ve uzama oranı gibi değerler düşüş gösterdiği, itme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü gibi değerler artış gösterdiği için CB takviyesinin %10 oranında tercih edilmesinin daha uygun olduğu düşünülmektedir.
- Yüksek sertlik ve elastikiyet modülü istenilen yerlerde CB takviyesinin %30 oranında tercih edilmesinin daha uygun olacağı görülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Gebretsadik, D. W., Hardell, J., and Prakash, B., "Friction and wear characteristics of PA 66 polymer composite/316L stainless steel tribopair in aqueous solution with different salt levels", *Tribology International*, 141: 105917 (2020).
2. Sumithra, H. and Sidda Reddy, B., "A review on tribological behaviour of natural reinforced composites", *Journal Of Reinforced Plastics And Composites*, 37 (5): 349–353 (2018).
3. Şenyurt, M. A., "Grafen ve Naylon 6.6 Nano Elyaf Katkılı Yapıştırıcıların Alüminyum-Karbon Elyaf Takviyeli Kompozit Levhaların Yapıştırma Bağlantılarına Farklı Sıcaklık Koşulları Altında Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, (2017).
4. Kunishima, T., Nagai, S., Kurokawa, T., Galipaud, J., Guillonneau, G., Bouvard, G., Abry, J. C., Minfray, C., Fridrici, V., and Kapsa, P., "Effects of temperature and addition of zinc carboxylate to grease on the tribological properties of PA66 in contact with carbon steel", *Tribology International*, 153: 106578 (2021).
5. Kamerling, S. and Schlarb, A. K., "Magnesium hydroxide — A new lever for increasing the performance and reliability of PA66/steel tribosystems", *Tribology International*, 147: 106271 (2020).
6. Chen, J., Xu, H., Liu, C., Mi, L., and Shen, C., "The effect of double grafted interface layer on the properties of carbon fiber reinforced polyamide 66 composites", *Composites Science And Technology*, 168: 20–27 (2018).
7. Kim, J. W., Jang, H., Kim, J. W., "Friction and wear of monolithic and glass-fiber reinforced PA66 in humid conditions", *Wear*, 309 (1–2): 82–88 (2014).
8. Atav, R., "Tekstil Kimyası Ders Notları", *Namık Kemal Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü*, Tekirdağ, (2015).
9. Yüksel, M. F., "Poliamid kumaşların düşük sıcaklıkta boyanabilirliğini ve kısa fiksaj sürelerinde basılabilirliğini sağlayacak yöntem geliştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekirdağ, (2015).

10. Ünal, H. ve Yetgin, S. H., "Poliamid 6 polimeri ile poliamid 6/vaks karışımının kendi üzerlerinde çalışması durumundaki tribolojik davranışlarının incelenmesi", *Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University*, 31 (2): 457–463 (2016).
11. Mouhmid, B., Imad, A., Benseddiq, N., and Lecompte, D., "An experimental analysis of fracture mechanisms of short glass fibre reinforced polyamide 6,6 (SGFR-PA66)", *Composites Science And Technology*, 69 (15–16): 2521–2526 (2009).
12. Malpot, A., Touchard, F., and Bergamo, S., "An investigation of the influence of moisture on fatigue damage mechanisms in a woven glass-fibre-reinforced PA66 composite using acoustic emission and infrared thermography", *Composites Part B: Engineering*, 130: 11–20 (2017).
13. Lingesh, B. V., Rudresh, B. M., and Ravikumar, B. N., "Effect of Short Glass Fibers on Mechanical Properties of Polyamide66 and Polypropylene (PA66/PP) Thermoplastic Blend Composites", *Procedia Materials Science*, 5: 1231–1240 (2014).
14. Mofakhami, E., Tencé-Girault, S., Perrin, J., Scheel, M., Gervat, L., Ovalle, C., Laiarinandrasana, L., Fayolle, B., and Miquelard-Garnier, G., "Microstructure-mechanical properties relationships in vibration welded glass-fiber-reinforced polyamide 66: A high-resolution X-ray microtomography study", *Polymer Testing*, 85: (2020).
15. Ding, Y., Swann, J. D., Sun, Q., Stoliarov, S. I., and Kraemer, R. H., "Development of a pyrolysis model for glass fiber reinforced polyamide 66 blended with red phosphorus: Relationship between flammability behavior and material composition", *Composites Part B: Engineering*, 176: 107263 (2019).
16. Frihi, D., Layachi, A., Gherib, S., Stoclet, G., Masenelli-Varlot, K., Satha, H., and Seguela, R., "Crystallization of glass-fiber-reinforced polyamide 66 composites: Influence of glass-fiber content and cooling rate", *Composites Science And Technology*, 130: 70–77 (2016).
17. Rajesh, J. J., Bijwe, J., and Tewari, U. S., "Influence of fillers on abrasive wear of short glass fibre reinforced polyamide composites", *Journal Of Materials Science*, 36 (2): 351–356 (2001).
18. Yılmaz, İ.N. ve Taşdelen, M. A., "Cam elyaf katkılı poliamid 66/Poliftalamid karışımlarının hazırlanması", *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 23 (1): (2018).
19. "TUNÇEL,KARACAN", .

20. Erdoğan, Y., "Polyamid Esaslı Kompozit Üretiminde Üretim Parametrelerinin Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi", Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi*, Trabzon, (2010).
21. İnternet: İnternet, "Hava Yastığı İplikleri Otomotiv Sektöründe Yükselişte", <https://www.textilegence.com/hava-yastigi-iplikleri-otomotiv-sektorunde-yukseliste/> .
22. İnternet: İnternet, "Polyamide (PA)", <http://www.polytechsan.com/urunler/polyamide-pa> .
23. Erbay, K., "Silah gövdeleri için polimer esaslı kompozit malzeme üretimi ve özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, (2009).
24. Şimşek, A., "Güçlendirilmiş döküm poliamidin otomotiv janti olarak incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Karabük, (2020).
25. Karabacak, K., "Düşük sıcaklıkta yüksek darbe dayanımına sahip cam ve karbon elyaf takviyeli iletken poliamid 6 ve poliamid 66 karışımlarının hazırlanması", Yüksek Lisans Tezi, *Yalova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yalova, (2018).
26. Billmeyer F., Wiley, F., "Textbook Of Polymer Science", Canada, 407–413 (1990).
27. Erdem, R. ve Sancak, E., "Elektroçekim yöntemiyle elde edilen poliamid 6/kitosan bazlı nanoliflerin morfolojik özelliklerinin incelenmesi", *Stambul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12 (24): 53–65 (2013).
28. Kaştan, A., Yalçın, Y., Ünal, H. ve Talaş, Ş., "Nanokil katkılı poliamid 6 / yüksek yoğunluklu polietilen kompozitlerin termal özelliklerinin incelenmesi", *Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University*, 32 (1): 89–99 (2017).
29. Unal, H. and Mimaroglu, A., "Friction and wear performance of polyamide 6 and graphite and wax polyamide 6 composites under dry sliding conditions", *Wear*, 289: 132–137 (2012).
30. Jia, B., Li, T., Liu, X. and Cong, P., "Tribological behaviors of several polymer–polymer sliding combinations under dry friction and oil-lubricated conditions", *Wear*, 262 (11–12): 1353–1359 (2007).

31. Goyal, R. K., tiwari, A. N., Mulik, U. P., N. and Y. S., "Study on microhardness, dynamic mechanical, and tribological properties of PEEK/Al₂O₃ composites", *Journal Of Applied Polymer Science*, 110 (6): 3379–3387 (2008).
32. Öz, E. K., Karagöz, İ., Öksüz, M., "Poliamid 6/polipropilen (pa 6/pp) karışımlarının yapı ve özellikleri", *1. Ulusal Plastik Teknolojileri Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, (2015).
33. Özdemir, E., "Polipropilen (PP) ve Naylon 66 (PA66) Plastiklerine Katılan Cam Elyafın Mekanik Özelliklere Etkisinin Deneysel İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, s.28 (2001).
34. Gür, A. O., "Poliamid 66/Sepiyolit Kompozitlerin Üretimi ve Özelliklerinin Karakterize Edilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, (2011).
35. Rajesh, J. J., Bijwe, J., and Tewari, U. S., "Abrasive wear performance of various polyamides", *Wear*, 252 (9–10): 769–776 (2002).
36. SRINATH, R., "Sliding wear performance of polyamide 66–clay nanocomposites in water", *Composites Science And Technology* 67, 399–405 (2007).
37. Çetin, A., Tekiner, Z., "Cam Elyaf ile Güçlendirilmiş Pa66'nın Eğme ve Darbe Mukavemeti açısından Enjeksiyon Parametrelerinin Etkisi", *4th International Symposium On Innovative Technologies In Engineering And Science*, Alanya/Antalya, (2016).
38. Yılmaz, M., "Alüminyum-karbon elyaf takviyeli kompozit levhaların yapıştırma bağlantılarındaki naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli yapıştırıcıların farklı sıcaklıklar altındaki düşük hızlı darbe davranışları", Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, (2019).
39. Başer, İ., "Elyaf Bilgisi", *Marmara Üniversitesi*, İstanbul, (1992).
40. Yılmazer, D., Kanık, M., "Poliamid liflerinde meydana gelen kimyasal hasarın tespitinde kullanılan test yöntemlerinin incelenmesi", *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 14 (2), 199–207 (2009).
41. Zhao, L. xin, Zheng, L. yun, and Zhao, S. guo, "Tribological performance of nano-Al₂O₃ reinforced polyamide 6 composites", *Materials Letters*, 60 (21–22): 2590–2593 (2006).
42. Erzurumluoğlu, L., "Poli(hekzametilen adipamit) (poliamid 66) esaslı karbon

lifi üretimi sırasında antioksidan kullanımının termal stabilizasyon ve karbonizasyon aşamalarına etkilerinin araştırılması, yapısal ve mekanik özelliklerin karakterize edilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 87–88 (2015).

43. Internet: E., E., "Talaşlı İmalat", <http://web.hitit.edu.tr/dosyalar/materyaller/eminerdin@hititedutr110520185B2N4W5Y.pdf>.
44. Yaşar, N., "Lamine kompozitlerle istiflenmiş metal malzemelerin delinebilirliğinin araştırılması", Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 21–23 (2017).
45. M.Yıldız, "Özel grafitlerin delik delme işleminin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 36 (2019).
46. Ö.Batman, "2011-T6 alüminyum alaşımının delik delme işleminde kesme parametrelerinin delik kalitesi üzerine etkilerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 12–14 (2019).
47. Dündar.M, "Cam bilya ve silisyum partikül ile takviye edilmiş polipropilen kompozit malzemenin işlenebilirliğinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 41 (2017).
48. Y.Yıldız, M. G. ve U. Ş., "The effect of the cutting fluid on surface roughness in boring of low carbon steel", *Machining Science And Technology*, 553–560 (2007).
49. Filiz, S., "Alüminyum alaşımlarının frezelenmesinde kesme parametrelerinin ve soğutma şartlarının işlenebilirliğe etkisinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa, (2015).
50. Günan, F., "Hastelloy C276 alaşımının frezelenmesinde minimum miktarda yağlamanın yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerindeki etkilerinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Düzce, (2019).
51. Singh, D., Rao, P.V., "A surface roughness prediction model for hard turning process", *Int J Adv Manuf Technol*, 32: 1115–1124 (2007).
52. E.M.Trent, "Metal Cutting", *Butterworths Press*, (1989).
53. Palanikumar, K., Latha, B., Senthilkumar, V., Paulo Davim, J., "Analysis on

drilling of glass fiber–reinforced polymer (GFRP) composites using grey relational analysis", *Mater Manuf Process*, 27: 297–305 (2012).

54. Valarmathi, T. N., Palanikumar, K., Latha, B., "Measurement and analysis of thrust force in drilling of particle board (PB) composite panels", *Measurement*, 46 (3): 1220–1230 (2013).
55. Shya, I., S., Soo, S., L., Aspinwall, D., K., Bradley, S., Perry, R., Harden, P. and Dawson, S., "Hole quality assessment following drilling of metallic–composite stacks", *International Journal Of Machine Tools&Manufacture*, 51: 569–578 (2011).
56. Abrao, A., M., Faria, P., E., Rubio, J., C., Reis, P. and Davim, J., P., "Drilling of fiber reinforced plastics: A review", *Journal Of Materials Processing Technology*, 3 (186): 1–7 (2007).

ÖZGEÇMİŞ

Gonca USLU ilk ve orta öğrenimini İstanbul'da tamamladı. Lise eğitimini Hacı Hatice Bayraktar Anadolu Lisesi'nde tamamladıktan sonra 2011 yılında Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği %100 İngilizce Bölümü'ne girdi ve 2017 yılında mezun oldu. 2017-2020 tarihleri arasında özel sektörde makine mühendisi olarak çalışmış ve 2019 yılında Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitiö Enstitüsü Makine Mühendisliği ABD.'de yüksek lisans eğitimine başlamıştır.