

**KARBONELYAF TAKVİYELİ POLİMER
KOMPOZİTLERİN DELİNMESİNDE YÜZEY
PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜ AZALTACAK UYGUN DELME
YÖNTEMLERİ VE PARAMETRELERİN SEÇİLMESİ**

**2012
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ**

Mehmet Şah GÜLTEKİN

**KARBONELYAF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLERİN
DELİNMESİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜ AZALTACAK UYGUN
DELME YÖNTEMLERİ VE PARAMETRELERİN SEÇİLMESİ**

Mehmet Şah GÜLTEKİN

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

KARABÜK

Haziran 2012

Mehmet Şah GÜLTEKİN tarafından hazırlanan "KARBONELYAF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLERİN DELİNMESİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜ AZALTACAK UYGUN DELME YÖNTEMLERİ VE PARAMETRELERİN SEÇİLMESİ" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Birhan IŞIK

Tez Danışmanı, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 25/06/2012

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Birhan IŞIK (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Süleyman SEMİZ (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Servet GÜLMEZ (KOÜ)

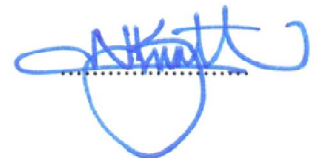


...../...../2012

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Fen Bilimleri 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.”

Mehmet Şah GÜLTEKİN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KARBONELYAF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLERİN DELİNMESİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜ AZALTACAK UYGUN DELME YÖNTEMLERİ VE PARAMETRELERİN SEÇİLMESİ

Mehmet Şah GÜLTEKİN

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Birhan IŞIK

Haziran 2012, 80 sayfa

Son zamanlarda mühendislik malzemeleri içinde hızla önemi artmakta olan karbonelyaf takviyeli polimer kompozit malzemenin işlenebilirliğinin incelenmesi bu malzemenin daha fonksiyonel olarak kullanılabilirliğini sağlayacaktır. Özellikle montaj denince akla ilk gelen yöntem malzemelerin delinmesi olmaktadır. Bu çalışmada bu denli yüksek öneme sahip karbonelyaf takviyeli polimer kompozit malzemeyi tek atlamalı (plain) çift atlamalı (twill) şeklinde iki farklı hasır yapısına sahip plaka şeklinde üretilen bu plakalarda 0.2, 0.3 ve 0.4 mm/dev. ilerleme hızlarında, 50, 70 ve 90 m/dak. kesme hızlarında, 60°, 90° ve 120° uç açılarında, 2,3 ve 4 ağız sayısında farklı parametreler kullanılarak delme işlemi yapılmış delik içi yüzey

pürüzlülüğü ölçülmüştür. Çıkan sonuçlara göre iki farklı hasır yapısına sahip (Plain, Twill) plakalarda İlerleme arttıkça yüzey pürüzlülüğü artmaktadır. Kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır. Ağız sayısı arttıkça yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır. Kesici takım uç açısı arttıkça yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır sonuçları ortaya çıkmıştır.

Anahtar Sözcükler : Karbonelyaf, polimer kompozit, delik delme, yüzey pürüzlülüğü.

Bilim Kodu : 708.1.193

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

SELECTION OF APPROPRIATE DRILLING METHODS AND CUTTING PARAMETERS FOR DECREASING SURFACE ROUGHNESS ON DRILLING OF CARBON FIBER REINFORCED POLYMER COMPOSITES

Mehmet Şah GÜLTEKİN

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Education

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Birhan IŞIK,

June 2012, 80 pages

The research of processibility of the polymer composite material strengthened by carbon fiber which has gained importance remarkably among engineering materials lately will provide the utility of this material more functionally. The first way which comes to mind when the montage is mentioned is being holed of materials. In this research, the process of holing the polymer composite material strengthened by carbon fiber which has such great importance has been done by producing that material in the shape of a plaque which has two different structures of straw as plain and twill and using in this plaque different parameters in the expansion speed of 0.2, 0.3 and 0.4 mm/dev, in the cutting speed of 50, 70 and 90 m/min, in the 90° and 120°

peak angles and in the mouth number of 2,3 and 4 and inside-hole the surface roughness has been measured. According to the results, the surface roughness increases as the expansion in the plaques which have two different straw (plain/twill) structures increases. The surface roughness decreases as the cutting speed increases. The surface roughness decreases as the mouth number increases. The surface roughness decreases as the angle of cutting team of peak increases.

Key Words : Carbon fiber, polymer composite, drilling, surface roughness.

Science Code : 708.1.193

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren danıőmanım Doç. Dr. Birhan IŞIK 'a, deneylerin yapılıőı esnasında yardımlarından dolayı lisans öğrencileri Sadık DOĖAN ve Yusuf ÇETINKAYA 'ya sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme maddi ve manevi 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	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
BÖLÜM 1.	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	4
LİTERATÜR TARAMASI.....	4
BÖLÜM 3.	14
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	14
3.1. MALZEME VE EKİPMANLAR.....	14
3.1.1. Deney Numuneleri	14
3.1.2. Kesici Takımlar.....	16
3.1.3. CNC Dik İşleme Merkezi.....	17
3.2. KALİBRASYON VE KONTROL.....	18
3.2.1. Doğrusallık Kontrolü.....	18
3.2.2. Takım Tutucunun Salgı Kontrolü.....	19
3.2.3. İş Mili Devir Sayısı Kontrolü.....	21
3.2.4. Yüzey Pürüzlülük Cihazı Kalibrasyonu.....	22

	<u>Sayfa</u>
3.3. DENEYİN UYGULANIŞI.....	24
3.3.1. Yüzey Pürüzlülüğü Değerlerinin Ölçülmesi.....	28
BÖLÜM 4.....	30
DENEYSEL SONUÇLAR.....	30
4.1. Tek Atlamalı Kompozit İçin Yüzey Pürüzlülüğü - İlerleme Kıyaslama Grafikleri.....	34
4.2. Tek Atlamalı Kompozit İçin Yüzey Pürüzlülüğü – Kesme Hızı Kıyaslama Grafikleri.....	38
4.3. Tek Atlamalı Kompozit İçin Yüzey Pürüzlülüğü – Ağız Sayısı Kıyaslama Grafikleri.....	42
4.4. Tek Atlamalı Kompozit İçin Yüzey Pürüzlülüğü – Uç Açısı Kıyaslama Grafikleri.....	46
4.5. Çift Atlamalı Kompozit İçin Yüzey Pürüzlülüğü - İlerleme Kıyaslama Grafikleri.....	50
4.6. Çift Atlamalı Kompozit İçin Yüzey Pürüzlülüğü – Kesme Hızı Kıyaslama Grafikleri.....	54
4.7. Çift Atlamalı Kompozit İçin Yüzey Pürüzlülüğü – Ağız Sayısı Kıyaslama Grafikleri.....	58
4.8. Çift Atlamalı Kompozit İçin Yüzey Pürüzlülüğü – Uç Açısı Kıyaslama Grafikleri.....	62
BÖLÜM 5.....	66
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	66
KAYNAKLAR.....	76
ÖZGEÇMİŞ.....	80

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Polimer matrisli kompozit malzeme.....	2
Şekil 3.1. KETP plakanın fotoğrafı a) Tek atlamalı (plain) için b) Çift atlamalı (twill) için.....	14
Şekil 3.2. İki ağızlı kaplamalı karbür kesici takım a. $\Psi=60^0$, b. $\Psi=90^0$, c. $\Psi=120^0$	16
Şekil 3.3. Üç ağızlı kaplamalı karbür parmak freze a. $\Psi = 60^0$, b. $\Psi = 90^0$, c. $\Psi = 120^0$	17
Şekil 3.4. Dört ağızlı kaplamalı karbür parmak freze a. $\Psi = 60^0$, b. $\Psi= 90^0$, c. $\Psi = 120^0$	17
Şekil 3.5. Tezgah iş mili doğrusallık kontrolü. a) Fotoğraf, b) Şema.....	19
Şekil 3.6. Malafa ile salgı kontrolü. a) Fotoğraf, b) Şema.....	20
Şekil 3.7. İş mili devrinin ölçümü.....	22
Şekil 3.8. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı.....	23
Şekil 3.9. KETP plakanın delinmesi.....	25
Şekil 3.10. Deliklerin deney plakaları üzerindeki dağılımları.....	25
Şekil 3.11. KETP plakanın bağlantı şekli a) Fotoğraf, b) Şema.....	28
Şekil 3.12. Delinen deliklerin pürüzlülüğün ölçülmesi.....	29
Şekil 3.13. Delik içerisinde yapılan yüzey pürüzlülüğünün ölçümleri.....	29
Şekil 4.1. İki ağızlı takımda Yüzey Pürüzlülüğü - İlerleme kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^0$, b. $\Psi = 90^0$, c. $\Psi=120$ için.....	34
Şekil 4.2. Üç ağızlı takımda Yüzey Pürüzlülüğü - İlerleme kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^0$, b. $\Psi = 90^0$, c. $\Psi = 120^0$ için	35
Şekil 4.3. Dört ağızlı takımda Yüzey Pürüzlülüğü - İlerleme kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^0$, b. $\Psi = 90^0$, c. $\Psi = 120^0$ için	36
Şekil 4.4. 60^0 uç açılı takımda Yüzey Pürüzlülüğü - Ağız Sayısı kıyaslama grafikleri a. $f = 0,2$ mm/dev, b. $f = 0,3$ mm/dev, c. $f = 0,4$ mm/dev için.....	38

Şekil 4.5.	90° uç açılı takımda Yüzey Pürüzlülüğü - Ağız Sayısı kıyaslama grafikleri a. $f = 0,2$ mm/dev, b. $f = 0,3$ mm/dev, c. $f = 0,4$ mm/dev için.....	39
Şekil 4.6.	120° uç açılı takımda Yüzey Pürüzlülüğü - Ağız Sayısı kıyaslama grafikleri a. $f = 0,2$ mm/dev, b. $f = 0,3$ mm/dev, c. $f = 0,4$ mm/dev için.....	40
Şekil 4.7.	İki ağızlı takımda Yüzey Pürüzlülüğü - Kesme Hızı kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^\circ$, b. $\Psi = 90^\circ$, c. $\Psi = 120^\circ$ için.....	42
Şekil 4.8.	Üç ağızlı takımda Yüzey Pürüzlülüğü - Kesme Hızı kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^\circ$, b. $\Psi = 90^\circ$, c. $\Psi = 120^\circ$ için.....	43
Şekil 4.9.	Dört ağızlı takımda Yüzey Pürüzlülüğü - Kesme Hızı kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^\circ$, b. $\Psi = 90^\circ$, c. $\Psi = 120^\circ$ için.....	44
Şekil 4.10.	İki ağızlı takımda Yüzey Pürüzlülüğü - Uç Açısı kıyaslama grafikleri a. $f = 0,2$ mm/dev, b. $f = 0,3$ mm/dev, c. $f = 0,4$ mm/dev için.....	46
Şekil 4.11.	Üç ağızlı takımda Yüzey Pürüzlülüğü - Uç Açısı kıyaslama grafikleri a. $f = 0,2$ mm/dev, b. $f = 0,3$ mm/dev, c. $f = 0,4$ mm/dev için.....	47
Şekil 4.12.	Dört ağızlı takımda Yüzey Pürüzlülüğü - Uç Açısı kıyaslama grafikleri a. $f = 0,2$ mm/dev, b. $f = 0,3$ mm/dev, c. $f = 0,4$ mm/dev için.....	48
Şekil 4.13.	İki ağızlı takımda Yüzey Pürüzlülüğü - İlerleme kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^\circ$, b. $\Psi = 90^\circ$, c. $\Psi = 120^\circ$ için.....	50
Şekil 4.14.	Üç ağızlı takımda Yüzey Pürüzlülüğü - İlerleme kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^\circ$, b. $\Psi = 90^\circ$, c. $\Psi = 120^\circ$ için.....	51
Şekil 4.15.	Dört ağızlı takımda Yüzey Pürüzlülüğü - İlerleme kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^\circ$, b. $\Psi = 90^\circ$, c. $\Psi = 120^\circ$ için.....	52
Şekil 4.16.	60° uç açılı takımda Yüzey Pürüzlülüğü - Ağız Sayısı kıyaslama grafikleri a. $f = 0,2$ mm/dev, b. $f = 0,3$ mm/dev, c. $f = 0,4$ mm/dev için.....	54
Şekil 4.17.	90° uç açılı takımda Yüzey Pürüzlülüğü - Ağız Sayısı kıyaslama grafikleri a. $f = 0,2$ mm/dev, b. $f = 0,3$ mm/dev, c. $f = 0,4$ mm/dev için.....	55
Şekil 4.18.	120° uç açılı takımda Yüzey Pürüzlülüğü - Ağız Sayısı kıyaslama grafikleri a. $f = 0,2$ mm/dev, b. $f = 0,3$ mm/dev, c. $f = 0,4$ mm/dev için.....	56
Şekil 4.19.	İki ağızlı takımda Yüzey Pürüzlülüğü - Kesme Hızı kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^\circ$, b. $\Psi = 90^\circ$, c. $\Psi = 120^\circ$ için.....	58
Şekil 4.20.	Üç ağızlı takımda Yüzey Pürüzlülüğü - Kesme Hızı kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^\circ$, b. $\Psi = 90^\circ$, c. $\Psi = 120^\circ$ için.....	59

Şekil 4.21. Dört ağızlı takımda Yüzey Pürüzlülüğü - Kesme Hızı kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^\circ$, b. $\Psi = 90^\circ$, c. $\Psi = 120^\circ$ için.....	60
Şekil 4.22. İki ağızlı takımda Yüzey Pürüzlülüğü - Uç Açısı kıyaslama grafikleri a. $f = 0,2$ mm/dev, b. $f = 0,3$ mm/dev, c. $f = 0,4$ mm/dev için.....	62
Şekil 4.23. Üç ağızlı takımda Yüzey Pürüzlülüğü - Uç Açısı kıyaslama grafikleri a. $f = 0,2$ mm/dev, b. $f = 0,3$ mm/dev, c. $f = 0,4$ mm/dev için.....	63
Şekil 4.24. Dört ağızlı takımda Yüzey Pürüzlülüğü - Uç Açısı kıyaslama grafikleri a. $f = 0,2$ mm/dev, b. $f = 0,3$ mm/dev, c. $f = 0,4$ mm/dev için.....	64
Şekil 5.1. Kesici takımda oluşan kenar aşınması.....	66
Şekil 5.2. Delme esnasında oluşan kesme kuvvetleri.....	67
Şekil 5.3. Delik içinin yüzey fotoğrafı.....	68
Şekil 5.4. İlerlemenin yüzey pürüzlülüğüne etkisi.....	69
Şekil 5.5. İki ağızlı 60° uç açılı takımda farklı ilerleme değerlerinde delik içinde oluşan yüzey kalitesi a. 50 m/dak, b. 70 m/dak.....	69
Şekil 5.6. İki ağızlı 60° uç açılı takımda farklı kesme hızı değerlerinde delik içerisinde oluşan yüzey kalitesi a. 50 m/dak, b. 90 m/dak.....	70
Şekil 5.7. İki ağızlı takımda farklı uç açılarında delik içerisinde oluşan yüzey pürüzlülüğü a. 90° , b. 60° için.....	70
Şekil 5.8. Üç ağızlı takımda farklı uç açılarında delik içerisinde oluşan yüzey pürüzlülükleri a. 60° , b. 120° için.....	71
Şekil 5.9. Kesici takım temas noktaları ve kenarları.....	71
Şekil 5.10. Ağız sayılarına göre kesme noktaları.....	72
Şekil 5.11. Ağız sayısının talaş kladırmaya etkisi.....	72
Şekil 5.12. Dört ağızlı 90° uç açılı takımda farklı kesme hızı değerlerinde çıkış bölgelerinde oluşan hasar a. 50 m/dak, b. 90 m/dak.....	73
Şekil 5.13. 90° uç açılı takımlarda farklı ağız sayılarında giriş bölgelerinde oluşan hasar a. 2 ağızlı, b. 3 ağızlı.	73

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 Epoksi reçinenin fiziksel özellikleri.....	15
Çizelge 3.2 KETP plakanın fiziksel özellikleri.....	15
Çizelge 3.3 Kaplamalı karbür kesici takımın mekanik özellikleri.....	16
Çizelge 3.4 CNC dik işleme merkezinin teknik özellikleri.....	18
Çizelge 3.5. Komparatörün teknik özellikleri.....	18
Çizelge 3.6. Doğrusallık kontrolü sonuçları.....	19
Çizelge 3.7. Malafa ile ölçülen sapma miktarları.....	20
Çizelge 3.8. Takometrenin teknik özellikleri.....	21
Çizelge 3.9. Tespit edilen sapma değerleri.....	22
Çizelge 3.10. Yüzey pürüzlülük cihazının teknik özellikleri.....	23
Çizelge 4.1. Deneilerde Kullanılan Kesme Parametreleri.....	31

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

D	: Delik çapı
D _m	: Azami hasar çapı
D _a	: Tabakalara ayırma
D _w	: Hasar genişliği
f	: İlerleme
F _f , F _z	: İlerleme kesme kuvveti
F _t , F _y	: Teğetsel kuvvet
F _r , F _x	: Radyal kesme kuvveti
G	: Ağız sayısı
F _R	: Bileşke kuvvet
R _a	: Yüzey pürüzlülüğü
V _c	: Kesme hızı
Ψ	: Uç açısı
fd	: Tabakalara ayırma faktörü

KISALTMALAR

KETP	: Karbonelyaf takviyeli polimer kompozit
HF	: Hasar faktörü
YSA	: Yapay sinir ağı
KLT	: Klasik laminasyon tekniği
PCD	: Çok kristalli elmas
ANOVA	: Varyans analizi
WC	: Tungsten karbür(Wolfram karbür)
HSM	: Yüksek hızda işleme

BÖLÜM 1

GİRİŞ

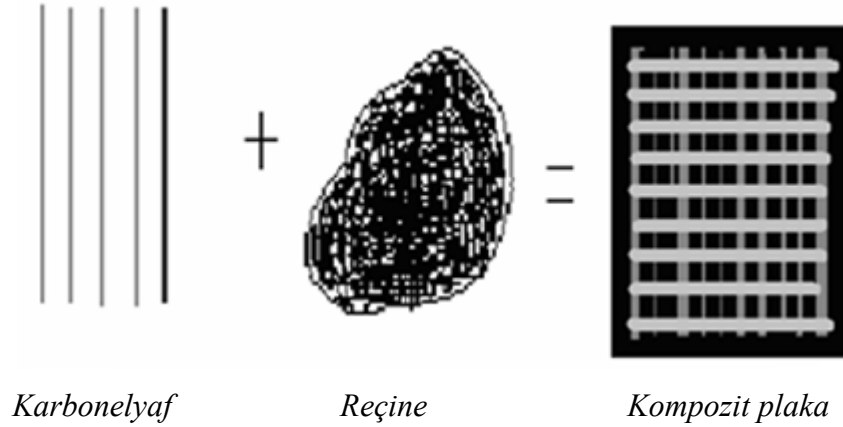
Kompozit malzeme, iki veya daha fazla malzemenin makro düzeyde birleşmesine denir. Kompozit malzeme, kendisini oluşturan malzemelerin her birinden farklı özelliklere sahip bir bileşik malzemedir. Günümüzde en çok kullanılan kompozitlerden biri betondur, çimento ve kumdan meydana gelen matris malzemesi, çelik çubuklar ile desteklenir. Bir diğer tanınmış kompozit ise kerpiçtir. Çamur ve samanın karıştırılmasıyla ile oluşturulan bu malzeme eskiden beri bilinen belki de insanlık tarihinin en eski yapı malzemesidir ve halen Türkiye’de kırsal kesimde kullanılır.

Karbonelyaf ilk defa karbonun çok iyi bir elektrik iletkeni olduğu bilinmesinden dolayı üretilmiştir. Karbonelyaf çok yüksek ısı işlem uygulandığında elyaflar tam anlamıyla karbonlaşırlar ve bu elyaflara grafit elyafı denir. Günümüzde ise bu fark ortadan kalkmaktadır. Karbonelyaf epoksi matrisler ile birleştirildiğinde olağanüstü dayanıklılık ve sertlik özellikleri gösterir. Karbonelyaf üreticileri devamlı bir gelişim içerisinde çalışmalarından dolayı karbonelyaflarının çeşitliliği sürekli değişmektedir. Karbonelyaf piyasada sürekli elyaflar ve dokuma olarak iki türlü bulunmaktadır. Bütün reçinelerle kombine edilebilirler.

Malzemede yerine göre sağlamlık, esneklik, hafiflik, çevre şartlarına (nem, güneş ışınları, gibi) dayanıklılık, darbe dayanımı, sertlik gibi günlük yaşamda kullanılan terimlerle ifade edilen özellikler yanında daha bilimsel dille ısıl genleşme katsayıları, yorulma, çatlama ve kırılma, çekme, eğme dayanımları ve benzeri değerlerin uygunluğu aranır. Bütün bu istenen özellikleri tek bir malzemede bulmak son derece ender rastlanan bir durumdur. 1950’li yıllardan itibaren polimer kompozitler aranılan boşluğu doldurmuştur.

Bugün yaygın olarak uçak, roket, füze gövdeleri, yüksek kalitede spor malzemeleri gibi maliyetin yüksek olmasının pek önemli olmadığı alanlarda kullanıldığı gibi lastik, otomotiv sanayi, beyaz eşya, basınca dayanımlı boru gibi daha düşük maliyet gerektiren sektörlerde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Önümüzdeki yıllarda uzay ve havacılık başta olmak üzere robotik ve gelişen diğer teknolojilerde kompozit malzemelere daha çok ağırlık verilecektir. Bu amaçla hem daha güçlü ve sağlam elyaflar, hem de daha yüksek ısı dayanımlı, çatlak oluşturmayan, darbe dayanımı yüksek ve sert polimer matrisler üzerinde çalışmalar dünyada ve ülkemizde devam etmektedir

Polimer matrisli kompozit malzeme polimer malzeme reçinelerdir takviye elemanları ise elyaflardır. Kimyasallar ve diğer katkıları matrise niteliklerine göre özelliklerin geliştirilmesi amacıyla ilave edilirler. Polimer matrisli kompozit malzemeler, Klasik Laminasyon Tekniğiyle (KLT) üretilir. Bu yüzden polimer matrisli kompozit malzemelerin görünüşleri tabakalar şeklindedir. Karbonelyaf takviyeli polimer kompozit plakanın üretim aşamasının basit şeması Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1. Polimer matrisli kompozit malzeme

Polimer matrisli kompozitlerin bir bütün olarak üretilmesi ve montajları esnasında delme işlemi sırasında oluşan hasarlardan dolayı yüksek mali kayıplar meydana gelmektedir. Örneğin havacılık sanayisinde bu parçaların montaj esnasında yapılan delme işlemi sırasında oluşan hatalar %60'dır. Delme işlemi esnasında delik yüzeyinde oluşan yüksek gerilmelerin ve karbonelyaf malzemenin sahip olduğu

mekaniksel özelliklerin neden olduğu kuvvetler sebebi ile delik duvar yüzey giriş ve çıkış bölgelerinde hasar oluşumu meydana gelmektedir. Uygun olmayan kesme parametrelerinin sebep olduğu hasarlar sonucunda karbonelyaf malzemelerin mekaniksel özellikleri büyük oranda etkilenmektedir. Karbonelyaf malzemelerin delinmesi teknolojik gelişmeler paralelinde CNC tezgahlarda geleneksel matkap tezgahlarına oranla daha hassas ve hasarsız yapılabilmekte buna rağmen istenilen kalitede delik yüzeyleri elde edilememektedir. Son yıllarda karbonelyaf malzemelerinde oluşan hasarların azaltılması ve hasar oluşumuna neden olan faktörlerin belirlenmesi üzerine bir çok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda karbonelyaf malzemelerin delinmesi esnasında oluşan gerilim mekanizmalarının sebep olduğu hasarın azaltılmasında kesme parametrelerinin ve uygun geometride kesici takımların seçimi ile azaltılabileceğine dair sonuçlara ulaşılmıştır.

Delik delme talaşlı imalatta en çok kullanılan işlemdir montaj denince akla ilk önce delik operasyonları gelmektedir. Örneğin, Airbus A380 uçağının tek parça haline gelmesi esnasında 55.000 delik delme işlemi gerçekleştirilir.

Bu çalışmada tek atlamalı (plain) ve çift atlamalı (twill) hasır yapısına sahip karbonelyaf takviyeli polimer kompozit plakalarda farklı kesme parametreleri ile (ilerleme, kesme hızı, uç açısı ve ağız sayısı) delik delme işlemi yapılmış delik içi yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüştür. Kesme parametrelerinin delik içerisindeki yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenmiştir. Yapılan deneyler neticesinde optimum kesme parametreleri belirlenerek yüzey pürüzlülüğünü azaltacak parametreler tavsiye edilmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

Davim ve ekibi [1] karbonelyaf takviyeli polimer kompozitlerin (KETP), yapısal bütünlüğünü azaltmadan delaminasyonu ve yüzey pürüzlülüğünü uygun değerlerde tutmak için çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında proses parametreleri, KETP plakaları delik girişinde önemli bir fonksiyon olan delaminasyon analizi üzerinde durmaktadırlar. Yüksek kesme hızlarında 70 m/dak. ve 90 m/dak. delik delmenin delaminasyona olan etkilerini geliştirmişlerdir. Kesme hızı, ilerleme hızı ve etkileyen parametreler olarak nokta açısı ile bir yapay sinir ağı (YSA) modeli belirlemişlerdir. Delme deneylerini YSA eğitimi için girdi-çıkı modelleri olarak matkaplarda sementit karbür kullanarak delik delinmesini önermişlerdir.

Sakamoto ve ekibi [2] KETP zor bir kesim malzemesi olarak bilinen çok güçlü fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olan malzemedir. KETP malzemelerini işlemede; işleme tekniği, kesme biçimi, kesici takımı belirlemek önemli unsurlardır. Karbür kaplamalı kesiciler yaygın olarak kullanılan kesici takımlardır. Ayrıca elmas kesme aletleri ve PCD (çok kristalli elmas) araçları semented yerine bu gün de kullanılan kesici takımlar ile yüksek hassasiyetli delik delinir sonucuna ulaşmışlardır.

Lin ve ekibi [3] yüksek kesme hızlarında camelyaf takviyeli hasır örgülü kompozit malzemelerin işlenmesi üzerine yapmış oldukları çalışmada, kesme hızlarında 50 m/dak ya oranla 100 m/dak gibi daha yüksek kesme hızlarında kesme hızının artışına paralel olarak takım aşınmasının da arttığı sonucuna varmışlardır.

Santhanakrishman ve ekibi [4] karbonelyaf takviyeli polimer kompozitlerin işlenmesi üzerine bir çalışma ortaya koymuşlardır. 50 m/dak ve 60 m/dak gibi düşük kesme hızlarında yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri fakat 90 m/dak ve 100 m/dak

gibi yüksek kesme hızlarında ise yüzey pürüzlülüğü değerlerinin de düştüğü sonucuna ulaşmışlardır.

Enemuoh ve ekibi [5] KETP malzemelerin işlenmesinde kesme parametrelerine ve kesici takım geometrisi değerlerine bağlı olarak tabakalara ayırma (Da), hasar genişliği (Dw), yüzey kalitesi (Ra) arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Kesme parametrelerinin seçiminde ilerlemeleri 63,5 - 88,9 - 114,3 - 139,7 - 165,1 mm/dev; devir sayılarını 1250, 1750, 2250, 3250 dev/dak olarak belirlemişlerdir. Yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda karbonelyaf takviyeli polimer kompozitlerin işlenmesi esnasında oluşan hasarın kesme parametrelerin (kesme hızı, ilerleme) yardımı ile azaltılabileceği, epoksi reçineli karbonelyaf kompozit plakalarının işlenmesinde ise 100 m/dak gibi yüksek hız 0,15 ve 0,2 mm/dev gibi düşük ilerleme değerleri ile düşük hasar miktarları ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin azaldığı sonucuna ulaşmışlardır.

Faraz ve ekibi [6] KETP malzemelerinin karbür takımlarla değişik kesme parametreleriyle (kesme hızı, ilerleme, ağız sayısı) delinmesini incelemişlerdir. Çalışmalarında tüm kesme kenarı boyunca eşit ve düzgün dağıtılmış bir aşınma gözlemlenmiştir. Az sayıdaki araştırmacılar ise sadece kesme kenarı aşınmasına sebebiyet veren çalışmayı yapmışlardır. Matkapları aşınma durumlarını göz önünde bulundurarak uygulanabilirliğini ve uygunluğunu değerlendirmek için test etmişlerdir. Mekanik yükleri (delme, itme ve tork) kaydedip, delik giriş ve çıkışlarının delaminasyonlarını ve yüzey pürüzlülüğü değerlerini ölçmüşlerdir.

Hirogaki ve ekibi [7] karbonelyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin işlenmesinde elyaf oryantasyonuna bağlı olarak oluşan delik hasarların yüzey pürüzlülüğü ve hasar genişliğine olan etkilerini incelemişlerdir. Araştırmaları sonucunda hasar oluşumunda elyaf yönlerinin arasındaki ters açılarının önemli bir faktör olduğunun sonucuna varmışlardır.

Capello ve ekibi [8] kompozit katmanların işlenmesinde tabakalara ayırma hasarının iş parçası üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Kompozit katmanların işlenmesi esnasında destekli ve desteksiz olmak üzere iki farklı deney düzeneği oluşturmuş,

ilerleme, iş parçasının genişliği ve kesici takım geometrisini dikkate alarak tabakalara ayırma mekanizmalarını incelemişlerdir. Destekli ve destekli olarak kompozit katmanların işlenmesinde desteğin temel etkisi mekaniksel gerilimleri sağladığı düşünülmüştür. Tabakalara ayırma faktörünün azalmasıyla desteğin etkisi genel olarak düşük katmanlarda oluşan mekaniksel gerilimler olduğu belirtilmiştir. İş parçasında oluşan dinamik etkilerin tabakalara ayırma faktörünün azalmasıyla önemli bir etken olduğunu belirlemişlerdir.

Tsao ve ekibi [9] KETP delmede uygun kesici takımların tespitine yönelik çalışmalarında delme işleminde iş parçasının matkap çıkışında delaminasyon sık görülür sonucuna ulaşmışlardır. Bunlara bağlı olarak endüstriyel deneyimleri, çekirdek matkap (twist drill) daha iyi delme kalitesini gösterir demişlerdir. Konvansiyonel bileşik çekirdek özel matkaplar delme talaş kaldırma yapışmasını önlemek için tasarlanmıştır. Ama dış matkap ve iç matkap arasındaki kesme hızı oranı, geleneksel bileşik çekirdek özel matkaplar için düşünülemez sonucuna ulaşmışlardır. Buna ek olarak, çalışmalarında, delme parametreleri (kesme hızı, kesme derinliği, iç matkap tipi ve delik çapı) bileşik çekirdek özel matkap kesici takımlarının itme kuvvetine olan etkisini incelemişlerdir.

Ramkumar ve ekibi [10] üç farklı geometriye sahip kesici takımlar ile cam epoksi katmanların işlenmesi esnasında oluşan titreşimlerin iş parçası üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmaları esnasında camelyaf takviyeli plastik katmanların düşük sıklıktaki titreşimler üzerinde işlenmesi ile en iyi sonuca ulaşmışlardır. Küçük genişlikteki iş parçasının, düşük sıklıktaki titreşim değerlerinde yüzey kalitesinin düzeldiği ve tabakalara ayırma oranının azaldığı sonucuna ulaşmışlardır.

Koplev ve ekibi [11] karbonelyaf takviyeli polimer kompozitlerde elyaf dizilişinin ve takım geometrisinin belli başlı kesme mekanizmalarıyla bağlantılı olduğu ve işlenebilirlik açısından kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme, uç açısı) yüzey pürüzlülüğüne etki ettiği kanısına varmışlardır.

Kaneeda ve ekibi [12] karbonelyaf takviyeli polimer kompozitlerin hasır yapısı ile kesici takım geometrisinin delik delmede kesici takımın uç açısının ve ağız sayısının

talaş kaldırmada önemli parametreler olduğu ve delme işleminde hasar faktörüne ile yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerini incelemişlerdir.

Puw ve ekibi [13] kullanılan kesme parametrelerinin (kesme hızı, ağız sayısı, ilerleme) kesici takım geometrisinin ve malzemenin hasır yapısının belli başlı kesme mekanizmalarıyla bağlantılı olduğuna ve malzemede delik delme esnasında delik girişi ve çıkışında hasarlara yol açtığına ayrıca delik içerisinde yüzey pürüzlülüğüne etki ettiği kanısına varmışlardır.

Shing ve ekibi [14] karbonelyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin işlenmesinde kritik itme kuvvetlerinin teorik modellenmesi, kesici takım geometrisi ve işleme operasyonları değişkenlerinin optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. karbonelyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin işlenmesini sonlu elemanlar analiz yöntemi ile belirlenmiştir. Tek atlamalı karbonelyaf takviyeli polimer kompozit plakaların işlenmesinde kesici takım geometrisinin talaş kaldırmanın neden olduğu hasar faktörü üzerine etkilerini sonlu elemanlar ile belirlenmiş ve optimum bir kesici takım geometrisi geliştirilerek karbonelyaf kompozit plakaların işlenmesinde fayda sağlamışlardır.

Zitoune ve ekibi [15] karbonelyaf takviyeli polimer kompozit plakalarda delik delmede, talaş oluşumu ve takım kalitesi parametrelerinin delik delmeye etkisi ile aşınma değerlerini analiz ederek, karbür matkaplar kullanımının yüzey pürüzlülüğünü düşürdüğünü incelemişlerdir. Delme sırasında oluşan itme kuvvetinin KETP plakalarda talaşlı imalatta kaplamalı matkap ile delme sırasında elde edilen veriler kaplamasız matkap ile kesilen matkaplara oranla % 10-15 daha az olduğunu gözlemlemişlerdir. Kaplamasız matkaplar; benzer şekilde, alüminyum alaşımlı kaplamalı matkap ile karşılaştırıldığında % 50 daha fazla itme kuvveti değerleri oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Böylece, kaplamalı matkap kullanımı önemli ölçüde kaplanmasız matkaplar ile karşılaştırıldığında, yüzey pürüzlülüğü değerlerinde ve itme kuvvetinde azalmalara neden olur sonucuna ulaşmışlardır.

Melkote ve ekibi [16] parçacık takviyeli kompozit plakaların farklı kesme parametreleri (ilerleme, kesme hızı ve kesme derinliği) kullanılarak düz parmak

freze ile işlendiğinde yüzey pürüzlülüğü, takım çıkış hasarı ve kesme kuvvetleri üzerine olan etkilerini incelemişlerdir. İşlenen kompozit malzeme % 51 hacim oranında parçacık içermekle beraber matris bünyesinde karışık olarak konumlandırılmıştır. Deneylede 2 ağızlı ve 30° helis açısına sahip kaplamalı parmak freze kullanılmıştır. Varılan sonuçta ise takım çıkış hasarına en büyük etkide bulunan parametrenin kesme derinliği olduğu sonrasında ise ilerlemenin geldiği yönünde görüş bildirmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden başlıca parametrelerin ise ilerleme ve kesme hızı olduğunu belirterek elde edilen sonuçların, metallerin işlenebilirliğinde görülen sonuçlarla benzerlik gösterdiğine dikkat çekmişlerdir.

Davim ve ekibi [17] karbonelyaf takviyeli polimer kompozit malzemenin delinmesini incelemişlerdir. Malzemenin hasır yapısı ve teknik özelliklerine göre takım geometrisi, işleme parametreleri, itme gücü ve tork üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Ayrıca, hasar faktörü ile birlikte delik içerisinde minimum değerlerde yüzey pürüzlülüğü elde etmeye yönelik çalışmalarında delik içi yüzey pürüzlülüğü için kesme parametreleri, parça performansı, takım çeşidi ve takım geometrisi etkili olduğunu belirtmişlerdir. Neticede bazı delik delme işlemlerinde optimum kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme, ağız sayısı) ve takım geometrisinin kesmeye olan etkileri gibi konular üzerine çalışılmışlardır.

Zhang ve ekibi [18] dik kesmelere bağlı olarak tek taraflı karbonelyaflarla desteklenmiş epoksi reçineli kompozitlerin işlenebilirliğinden bahsederek talaşlı imalatı yapılmış bir parçanın mekanizmalarının büyük oranda elyaf oryantasyon açısından etkilendiğini ortaya koymuşlardır. Farklı elyaf oryantasyon açılarında olan numuneler, farklı kesme derinliklerinde, sabit kesme hızlarıyla işlenerek deneysel işlem gerçekleştirilmiştir. Deneylelerin sonucunda 90° elyaf oryantasyon açısı kritik bir değer olarak değerlendirilmiş ve bunun üzerindeki bir açıda yüzey pürüzlülüğünün yüksek olacağını belirlemişlerdir. Bunlara ilave olarak, kesici takım talaş açısının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin olmadığını ifade edilmişlerdir.

Chambers ve ekibi [19] karbonelyaf takviyeli polimer kompozitlerin delinmesi üzerine yaptıkları çalışmada karbonelyaf takviyeli polimer kompozitlerin yapısına ve mekanik özelliklerine bağlı olarak helisel PCD matkaplar ve özel uç geometrisine

sahip kesici takımlar en iyi performansı verir sonucuna ulaşmışlardır. Karbonelyaf takviyeli polimer kompozit plakaların delinmesi esnasında takım aşınması probleminin dolayı malzemenin mekanik özelliklerinin kesmeye olan etkilerinden dolayı yüzey pürüzlülüğünü azaltacak takım geometrisine sahip kesici takımların seçiminin zorlaşacağı sonucuna ulaşmışlardır.

Piquet ve ekibi [20] karbon ve epoksi takviyeli polimer kompozit malzemelerin delinmesi esnasında matkap ucu takım geometrisinin delik kalitesine olan etkilerini araştırmışlardır. Deneysel çalışmaları sonucunda bu malzemeler üzerinde iki oluklu geleneksel matkap ucu (twist drill) ile en iyi sonucu almışlardır. İlerleme miktarının 0,15 ile 0,2 mm/dev değerleri ile yapıldığında delik yüzey pürüzlülüğünün azaldığı fakat takım aşınması miktarında artış meydana geldiği sonucuna ulaşmışlardır.

Hirogaki ve ekibi [21] küçük çaplı (1 mm) deliklerin delinmesi esnasında elyaf oryantasyonuna bağlı olarak oluşan delik hasarlarının yüzey pürüzlülüğü ve hasar genişliği arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Araştırmaları sonucunda delik hasar bölgesinin oluşumunda elyaf yönlerinin arasındaki ters açılar önemli bir faktör olduğu ve yüzey pürüzlülüğü ile hasar genişliğini etkilediği sonucuna ulaşmışlardır.

Davim ve ekibi [22] el yatırması yöntemi ile üretilen KETP malzemenin delme işlemi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deneysel çalışmada sabit kesme parametreleri ile el yatırması yöntemi ile üretilen KETP malzeme ve K10 matkap ucu kullanılmıştır. Kesme parametrelerinden ilerleme ve uç açısı değerlerinin artması ile tabakalara ayırma faktörü (Fd) de artmıştır. K10 matkap ucu Viapal VUP 9731 takviye elemanlı KETP malzemesinde ATLAS 382-05 yapıya oranla daha düşük tabakalara ayırma faktörü (Fd) gözlenmiştir. Kesme parametrelerinden ilerleme oranının tabakalara ayırma faktörü (Fd) üzerinde yüksek fiziki ve statik etkileri olduğu belirlenmiştir. ilerleme 0,4 ile 0,5 mm/dev ve kesme hızının 100 m/dak değerleri gibi yüksek değerlerde alınmasında yüzey pürüzlülüğü (Ra) artmıştır. Kesme parametrelerinden kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde yüksek fiziki ve statik etkisi olduğunu belirlemişlerdir.

Tsao ve ekibi [23] çalışmalarında karbonelyaf takviyeli polimer kompozitlerin özel matkap ucu (core-saw drill) ile delinmesi esnasında oluşan tabakalara ayırma faktörünü araştırmışlardır. Kompozit malzemelerin delinmesinde optimum kesme parametrelerin seçimi ile delme işleminin neden olduğu tabakalara ayırma üzerinde olumsuz etkilerinin olduğu görmüşlerdir. İlerleme değerlerinin ve kesme hızının tabakalara ayırmayı etkileyen iki ana parametre olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Düşük ilerleme (0,15 - 0,2 mm/dev) ile delme işlemi esnasında düşük itme kuvveti oluşturmakta ve bunun sonucunda tabakalara ayırma faktörü azalmaktadır.

Davim ve ekibi [24] KETP malzemenin delinmesinde kesme hızının 112 m/dak ve 120 m/dak gibi yüksek değerlerde tutularak delik delmede esnasında delikte oluşan delaminasyona ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerini incelemişlerdir. Deliğin giriş kısmında az hasara yol açtığı değerlendirilmiştir. Delaminasyonu etkileyen parametreleri kesme hızı, ilerleme hızı ve uç açısı olarak düşünülmüştür. Sementit karbür (K20) büküm matkaplar kullanılarak delme deneyleri yapılmış ve parametrelerinin her biri için tanımlanan üç düzeyde deney faktörleri belirlenmiştir. Delaminasyon, kesme hızı, ilerleme hızı ve uç açısı etkileri üzerinde tepki yüzey grafikleri üreten modeller kullanarak analiz etmişlerdir. Neticede kesme hızını azaltmak delaminasyonu arttırmış olduğunu ortaya koymuşlardır. Çalışmada ayrıca, delaminasyonu azaltmak için, ilerleme ve nokta açısı parametrelerinde düşük değerler önermişlerdir.

Shyha ve ekibi [25] deneylerini tungsten karbür (WC) matkaplar kullanarak 3 mm kalınlığında KETP plakayı 1,5 mm çaplı delikler delerek gerçekleştirmişlerdir. Kesme parametreleri olarak (kesme hızı, ilerleme, uç açısı) ve KETP malzemedeki tek atlamalı (plain) plakalar üzerinde ilerleme değerleri olarak (0.2 ve 0.4 mm/devir) ile birlikte 12 delik delme işlemi yapmışlardır. Tepki değişkenleri olarak, deliklerinin sayısı, itme gücü ve tork delik giriş ve çıkış delaminasyonu ve delik çapı üzerinde durmuşlardır. En iyi sonuçları ise dokuma MTM44-1/HTS fırınlanmış malzeme ile elde etmişlerdir.

Aoyama ve ekibi [26] kullanımında artış gözlenen KETP malzemeleri delinmesi için PCD matkaplar kullanmak için fırsat doğduğunu gözlemlemişler. PCD KETP

malzemelerini delme için tercih edilen matkap olduğunu önermişlerdir. Ancak, ticari uçak taleplerini, tek bir delik delme için gerekli olacak KETP malzemelerinin delinmesinde kesme parametrelerine (kesme hızı, ilerleme) bağlı olarak hasar faktörü, yüzey pürüzlülüğü, minimal soğutucu kullanımı, delik boyunca minimal çapak çıkışı, zaman, mümkün olan en az miktarda delik hasarı sonuçları üzerinde durmuşlardır. Bu deneyleri 86 serisi PCD matkaplar kullanarak yapmışlardır. Özel olarak üretilen PCD matkaplarla delik giriş ve çıkışında düşük değerlerde hasarın oluştuğunu ve delik içerisinde minimum yüzey pürüzlülüğü değerlerinin elde edildiği sonucuna ulaşmışlardır.

Krishnamoorthy ve ekibi [27] KETP malzemeler havacılıkla sanayisinde, spor ve ulaşım sektörlerinde önemli bir kullanım alanına sahip olmasını değerlendirmişlerdir. Endüstride en çok kullanılan operasyonun delik delme olduğunu delik delmede KETP malzemelerde hasara yol açtığını incelemişlerdir. Çalışmalarında Kesme hızının büyüklüğü (112 m/dak ve 120 m/dak) matkap türü parametreleri üzerinde durmuşlardır. delik giriş ve çıkışındaki delaminasyon ele alınması gereken en önemli kusurlardan biridir bu durumda kesme hızının yüksek değerlerde (100 m/dak ve 110 m/dak) ve ilerlemenin düşük değerlerde tutulmasında (0,15 ile 0,2 mm/dev) delik giriş ve çıkışında hasarın azaldığını ve delik içerisinde yüzey pürüzlülüğünün azaldığının sonucuna ulaşmışlardır.

Enemuoh ve ekibi [28] karbonelyaf takviyeli epoksi malzemelerin delinmesi işleminde kesme parametrelerine ve kesici takım uç açısının değerlerine bağlı olarak tabakalara ayırma (Da), hasar genişliği (Dw), delik yüzey kalitesi (Ra) arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Kesme parametrelerinin seçiminde ilerlemeyi 63,5 - 88,9 - 5 114,3 - 139,7 - 165,1 mm/dev; devir sayısını 1250, 1750, 2250, 3250 dev/dak ve kesici takım uç açısını 75°, 95°, 118°, 140°, 160° olarak belirlemişlerdir. Taguchi tekniği uygulamaları ile yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda karbonelyaf takviyeli polimer kompozitlerin delinmesi esnasında delik bölgesinde oluşan hasarın kesme parametrelerin yardımı ile azaltılabileceği, karbonelyaf takviyeli polimer kompozit parçaların delinmesi işleminde yüksek hız ve düşük ilerleme değerleri ile düşük hasar miktarları ve minimum yüzey pürüzlülüğüne sahip deliklerin elde edilebileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Hirogaki ve ekibi [29] KETP malzemelerinde küçük çaplı (1 mm) deliklerin delinmesi esnasında elyaf açılarının delik hasarlarına ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerini incelemişlerdir. Araştırmaları sonucunda delik giriş ve çıkışındaki hasar bölgesinin oluşumunda ve delik içerisinde yüzey pürüzlülüğüne etki etmede elyaf yönlerinin arasındaki ters açılarının önemli bir faktör olduğu sonucuna varmışlardır.

Davim ve ekibi [30] camelyaf takviyeli plastik kompozit malzemelerin delinmesi üzerine yaptıkları çalışmada kesme kuvvetinin ilerleme ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerini araştırmışlardır. Deneysel çalışma esnasında 22 mm kalınlığında camelyaf takviyeli plastik kompozit malzemesi ve 5 mm çapındaki iki farklı uç geometrisine sahip matkap ucu ve farklı kesme hızları kullanılmıştır. Hasar faktörü (HF) Hasar bölgesi azami çapı (D_{max}), delik çapı (D) ve hasar faktörünün Deneysel çalışma sonucunda her iki kesme parametresi (yüksek hız ve yüksek ilerleme) için camelyaf takviyeli plastik kompozit katmanlarda oluşan hasar oranı gittikçe arttığı gözlemlenmiştir. Kesme parametrelerinden kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak her iki matkap ucu için ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri 4-8 μm 'dir. İlerleme ve kesme hızının azalması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı sonucuna ulaşmışlardır.

Tsao ve ekibi [31] değişik matkap ucu ile karbonelyaf takviyeli plastik kompozit malzemelerin delinmesi ile tabakalara ayırma arasında Taguchi analiz metodunu kullanarak bir ilişki kurmaya çalışmışlardır. Çok değişkenli analiz yöntemi ile karbonelyaf takviyeli plastik kompozit katmanların delinmesinde üç farklı tip matkap ucu değişik kesme parametreleri, delik çapı kullanarak tabakalara ayırma faktörü ve kesme parametreleri arasında bir ilişki kurmuşlardır. Deneysel çalışma sonucunda ilerleme oranı ve matkap çapının toplam performans üzerinde önemli etkileri olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Teti ve ekibi [32] polimer kompozit malzemelerin yüzeylerinin pürüzsüz biçimde işlenebilmesinin karbon veya cam elyaflarının birbirinden koparılmasını sağlamakla mümkün olabileceğini belirtip, takım seçiminde uç radyüsünün ve kesici kenar sayısının mümkün olabildiğince küçük seçilmesini öngörmüşlerdir.

Tsao ve ekibi [33] karbonelyaf takviyeli kompozit malzemenin geleneksel matkap ucu (twist drill) ile delinmesi esnasında oluşan takım aşınmasının tabakalara ayırma üzerindeki nedenleri üzerine kapsamlı bir analiz ve deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Endüstriyel tecrübe göstermektedir ki körelmiş takımların tabakalara ayırma üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır. Deneysel çalışma sonucunda endüstriyel tecrübe ile deneysel çalışmada aynı sonuçlar görülmüştür. Analitik ve deneysel çalışma takım aşınmasından dolayı delme işleminin neden olduğu hasara önemli etkileri olduğu belirlenmiştir.

Davim ve ekibi [34] karbonelyaf takviyeli kompozit katmanların delindikten sonra dijital resim analiz yöntemi yardımı ile tabakalara ayırma faktörünün belirlenmesi için yeni bir yaklaşım getirmeye çalışmışlardır. Deneysel çalışmalarında 13 katmanlı 3 mm kalınlığında karbonelyaf takviyeli malzemesi 5 mm çapında K20 helisel matkap ucu kullanılmış ve kullanılan kesme hızı 50, 60, 70 m/dak ilerleme 0,25 - 0,30 - 0,35 mm/dev olarak belirlenmiştir. Çalışmalarında belirlenen kesme parametrelerine bağlı olarak delinen karbonelyaf takviyeli katmanların giriş ve çıkış bölgelerindeki azami hasar bölgesinin alanı buna bağlı olarak delik giriş ve çıkış bölgesinde oluşan hasar ve tabakalara ayırma faktörü hesaplamışlardır. Kesme hızlarına bağlı olarak her iki tabakalara ayırma faktörü için oluşan değerler karşılaştırılmışlardır. Deneysel çalışma ile işleme parametreleri değiştirilerek oluşan hasar değerleri ölçülmüş ve matematiksel bir yaklaşım ile kompozitlerin delinmesinde hasarın karakteristik özellikleri belirlenmiştir. Kompozitlerin delinmesinden sonra hasar bölgesinin minimum değerlerde olduğunu gözlemlenmiştir.

BÖLÜM 3

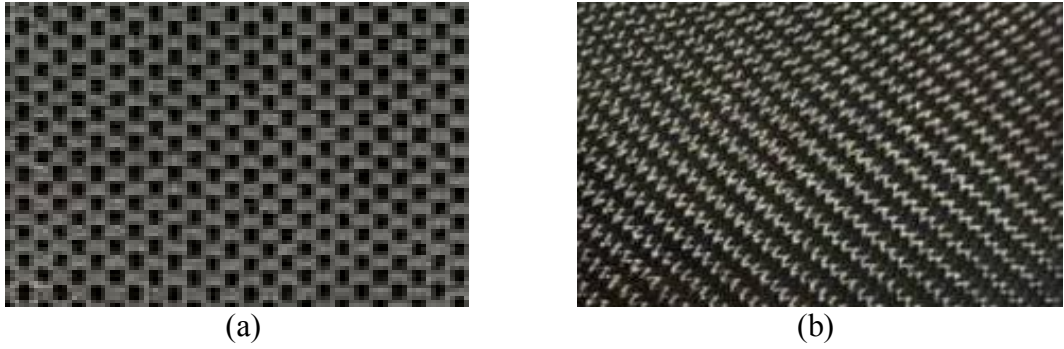
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. MALZEME VE EKİPMANLAR

3.1.1. Deney Numuneleri

Deneyleerde POLİTEK A.Ş. tarafından üretilen tek atlamalı (plain) ve çift atlamalı (twill) hasır oryantasyonlu karbonelyaf takviyeli kompozit malzeme kullanılmıştır. Kompozit malzeme %95 elyaf %5 epoksi reçine karışım oranında 10 mm kalınlığında (30 katman) plakalar şeklinde hazırlanmıştır.

Üretilen KETP plaka 200x100x10 mm ebatlarına sahip tek atlamalı (plain) ve çift atlamalı (twill) hasır yapısına sahiptir. Şekil.3.1'de tek ve çift atlamalı hasır yapısına sahip KETP plakanın fotoğrafı verilmiştir.



Şekil.3.1. KETP plakanın fotoğrafı a) tek atlamalı (plain) için b) Çift atlamalı (Twill) için.

Deneyleerde kullanılan KETP malzemenin epoksi reçinenin fiziksel özellikleri Çizelge 3.1'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.1. Epoksi reçinenin fiziksel özellikleri.

Shore D - Sertliği (DIN 53505)	85 points
Yoğunluğu (DIN 53479)	1,1 g/cm ³
Çekme dayanımı (DIN 53455)	75 N/mm ²
Çekme uzaması (DIN 53455)	% 3
Çekme elastiklik modülü (DIN 53457)	3600 N/mm ²
Eğilme dayanımı (20 °C) (DIN 53452)	145 N/mm ²
Basma dayanımı (DIN 53554)	115 N/mm ²
Sertlik küre 30" (DIN 534563)	170 N/mm ²

Deneyleerde kullanılan KETP malzemenin fiziksel özellikleri Çizelge 3.2'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.2. KETP Plakanın fiziksel özellikleri.

Reçine Tipi	Epoksi E201(hot-cured)
Dokuma Tipi	Twill2/2
Laminat yoğunluğu	1.55 g/cm ³
Elyaf oranı	(%) 55–60
Gerilme Direnci	760 MPa
Elastiklik Modülü, E	70 GPa
Eğilme Dayanımı	780 Mpa
Kayma Modülü, G	55 Gpa
Reçine Geçiş sıcaklığı, Tg	140 °C
Karbonelyaf tipi	HT (Yüksek mukavemetli) Elyaf
Fitil tipi	12K(DIN65184)
Laminat kalınlığı ortalama kat sayısı	16
Laminatın kat kalınlığı	0,63 mm

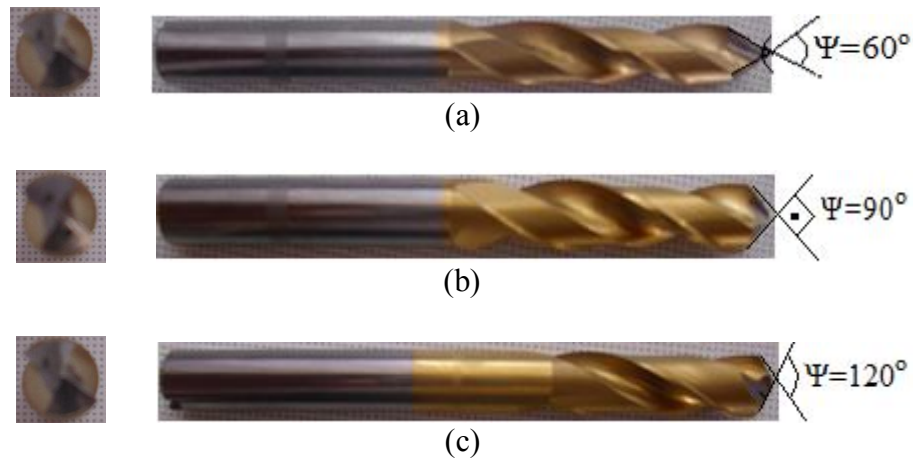
3.1.2. Kesici Takımlar

Deneysel çalışma esnasında kesici takım firması tarafından imal edilmiş olan 8 mm çapında 2, 3, 4 ağızlı kaplamalı karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Üretici firma tarafından uç açıları istenilen özelliklerde bilenmiş kaplamalı karbür kesici takımların mekanik özellikleri Çizelge 3.3'de gösterilmiştir.

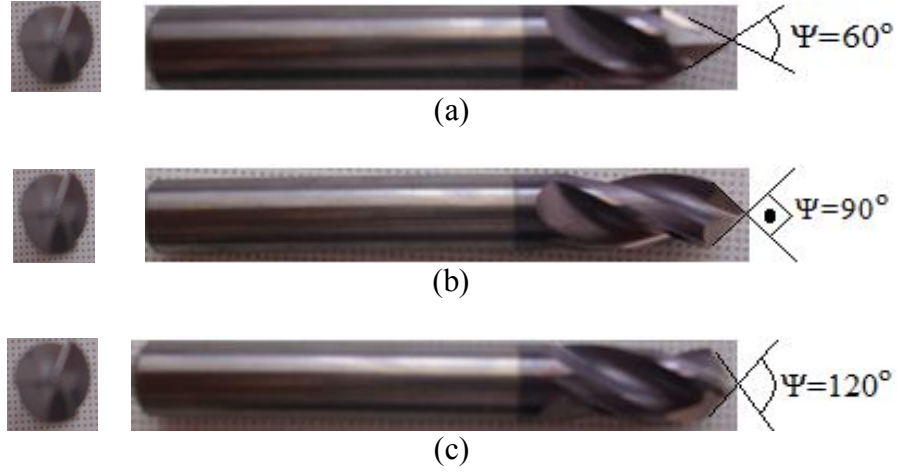
Çizelge 3.3. Kaplamalı karbür kesici takımların mekanik özellikleri

Çap	8 mm
Boyu	70 mm
Sertliği	14-24 Gpa
Basma mukavemeti	4100 - 5850 MPa
Darbe mukavemeti	0,34 - 1,35 j
Yoğunluğu	10 - 15 g/cm ³
Elastisite modülü	520 - 600 Gpa

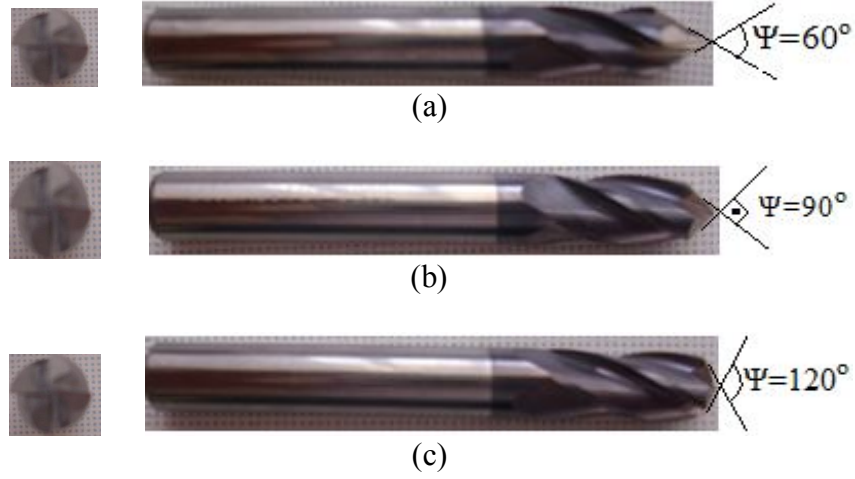
Deneysel çalışmada kullanılan kesici takımlar Şekil 3.2'de iki ağızlı kaplamalı karbür kesici takım Şekil 3.3'de üç ağızlı kaplamalı karbür kesici takım Şekil 3.4'de ise dört ağızlı kaplamalı karbür kesici takımlar verilmiştir.



Şekil 3.2. İki ağızlı kaplamalı karbür kesici takım a) $\Psi=60^\circ$, b) $\Psi=90^\circ$, c) $\Psi=120^\circ$.



Şekil 3.3. Üç ağızlı kaplamalı karbür kesici takım a) $\Psi=60^\circ$, b) $\Psi=90^\circ$, c) $\Psi=120^\circ$.



Şekil 3.4. Dört ağızlı kaplamalı karbür kesici takım a) $\Psi=60^\circ$, b) $\Psi=90^\circ$, c) $\Psi=120^\circ$.

3.1.3. CNC Dik İşleme Merkezi

Deneilerde Taksan TMC 500V dik isleme merkezi kullanılmıştır. Tezgah kurulum şartnamesine bağlı olarak gerekli rijitlik, titreşim ve balans ayarlarında kurulan CNC tezgahın teknik özellikleri Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4. CNC dik işleme merkezinin teknik özellikleri [36].

X/Y/Z eksen hareketleri	500/410/400 mm
Tabla ebatı	750/400 mm
Tabla çalışma alanı	650/400 mm
İş mili devir aralığı	60-6000 dev/dak
İş mili azami tork	7.2 kg/m
İş mili motor gücü	5 kW

3.2. KALİBRASYON VE KONTROL

Deneysel çalışmalara başlamadan önce, tezgah ve kesici takımın doğrusallık, salgı, devir kontrolü ve yüzey pürüzlülük cihazının kalibrasyonu yapılmıştır.

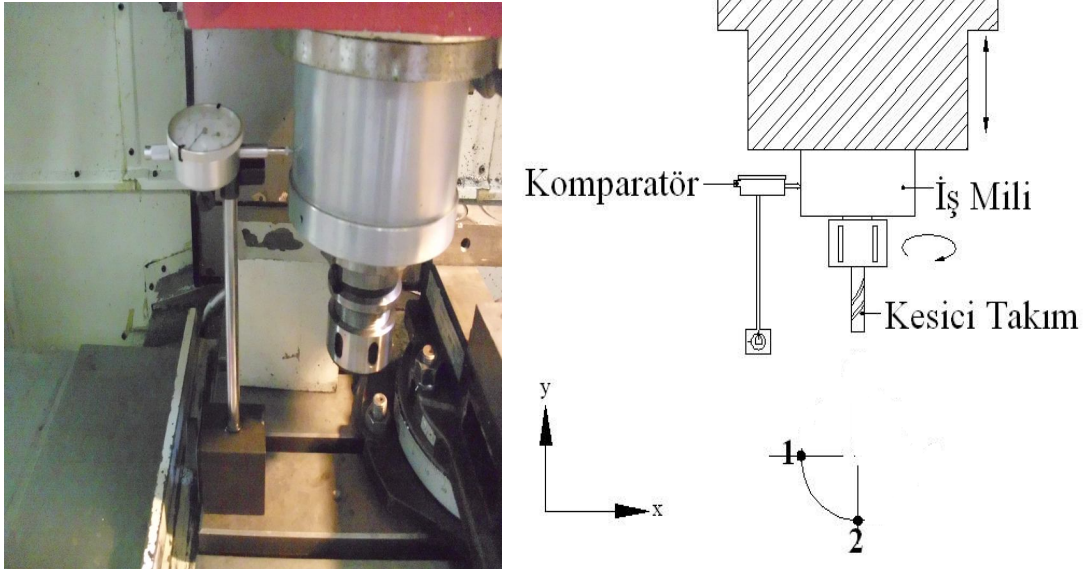
3.2.1. Doğrusallık Kontrolü

Doğrusallık kontrolü işlemi sırasında Çizelge 3.5'de teknik özellikleri verilen MITUTOYO 1044F analog komparatör kullanılmıştır.

Çizelge 3.5. Komparatörün teknik özellikleri.

Ölçüm hassasiyeti	0,01 mm.
Ölçü ve kontrol alanı	0-10 mm.
Gösterge	Analog
Sabitleme düzeneği	Manyetik

Doğrusallık kontrolü tabla üzerine sabitlenen komparatör yardımı ile birbirlerine 90° 'lik açıda duran iki farklı nokta üzerinde yapılmıştır. Komparatör iş mili üzerinde Y eksenini doğrultusunda 50 mm'lik mesafe içerisinde hareket ettirilmiş ve komparatörde oluşan sapma miktarına göre koniklik oranları belirlenmiştir. Kalibrasyon işlemi Şekil 3.5'de görülmektedir.



Şekil 3.5. Tezgah iş mili doğrusallık kontrolü a) Fotoğraf, b) Şema.

İş mili üzerindeki 50 mm' lik mesafede koniklik oranları ölçülmüş ve sonuçlar Çizelge 3.6'da verilmiştir. Tespit edilen koniklik oranları tezgahın genel çalışma şartlarına uygun değerler içerisinde ve deneylerin yapılmasında olumsuzluk oluşturmamaktadır.

Çizelge 3.6. Doğrusallık kontrolü sonuçları.

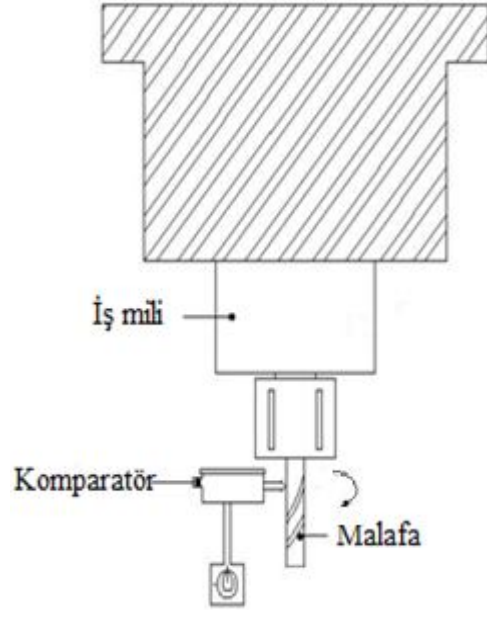
1.Noktadaki Koniklik Oranı	2/1000 mm
2.Noktadaki Koniklik Oranı	3/1000 mm

3.2.2. Takım Tutucusunun Salgı Kontrolü

CNC dik işleme merkezi iş milinin dönmesi esnasında, takım tutucusunda ve kesici takımdaki oluşan salgının belirlenmesi için takım tutucuya malafa bağlandı ve takım tutucu kendi eksenini etrafında farklı devirlerde döndürülerek salgı miktarları belirlenmiştir. Yapılan işlem Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.6.Malafa ile salgı kontrolü a) Fotoğraf, b) Şema.

Kontrol işlemi sırasında malafa üzerinde 10 mm aralıklarla belirlenen üç farklı noktadan üç farklı devir (2000, 3000, 4000 dev/dak) kullanılarak takım tutucuda oluşan sapma miktarları belirlenmiştir. Şekil 3.6'da görüldüğü üzere malafada ölçülen sapma miktarları Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Malafada ölçülen sapma miktarları.

Ölçüm Noktası	İş mili Devir Sayısı [dev/dak]	Sapma Miktarı [mm]
1	2000	$\pm 0,005$
	3000	$\pm 0,001$
	4000	$\pm 0,015$
2	2000	$\pm 0,006$
	3000	$\pm 0,001$
	4000	$\pm 0,015$
3	2000	$\pm 0,004$
	3000	$\pm 0,001$
	4000	$\pm 0,010$

Çizelge 3.7'de belirtilen sapma miktarları ihmal edilebilir değerlerdir ve deneylerin yapılmasında bir olumsuzluk göstermeyecek değerlerdedir.

3.2.3. İş Mili Devir Sayısı Kontrolü

Devir sayısı kontrolünde, teknik özellikleri Çizelge 3.8'de verilen MECHAOPTO 9803.001 dijital takometre kullanılmıştır.

Çizelge 3.8. Takometrenin teknik özellikleri.

Doğruluk	$\pm 0,1$ rpm
Güç Kaynağı	4 AA 1,5 V
Çalışma Sıcaklığı	45°C
Boyutlar	180x160 mm
Yansıma Aralığı	20-300 mm
Ölçüm Aralığı	30-100 rpm

Bu işlem esnasında iş mili üzerine yansıtıcı bant yapıştırılmış ve 75 mm 'lik uzaklıkta Çizelge 3.8'de teknik özellikleri verilen takometre banta dik konumda tutularak iş milinin devir değerlerinin kontrolü Şekil 3.7'de gösterildiği gibi yapılmıştır.



Şekil 3.7. İş mili devrinin ölçümü.

Kalibrasyon işleminde tezgaha girilen devir ile takometrede ölçülen değerler Çizelge 3.9'da karşılaştırılmıştır. Elde edilen sapma değerleri çok küçük miktarlarda olduğu için ihmal edilebilir düzeydedir.

Çizelge 3.9. Tespit edilen sapma değerleri.

Verilen devir [dev/dak]	Ölçülen devir [dev/dak]	Sapma Miktarı [%]
1000	1000,075	0,0075
2000	1999	0,05
3000	2999	0,05
4000	3998	0,04

3.2.4. Yüzey Pürüzlülük Cihazı Kalibrasyonu

Yüzey pürüzlülüğü ölçümü için Çizelge 3.10'da teknik özellikleri verilen iğne metotlu ölçüm yapan MarSurf PS1 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı kullanılmıştır.

Çizelge 3.10. Yüzey pürüzlülük cihazı teknik özellikleri.

Kesme boyu	0,25 - 2,25 mm
Ölçüm Adımı (Cut-off)	0.25, 0.8, 2.5 mm
Ölçüm kuvveti	0.7 mN
Boyutları	140x50x70 mm
Bellek	20000 ölçüm sonucu
Parametreler	Ra, Rp, Rz, Rmax
Baskı kuvveti	0,7 mN
Ölçme kursu	350 µm
Uç radyuslü ölçüm ucu	2 µm

Yüzey pürüzlülük cihazı kalibre edilirken, cihazın alt kısmında bulunan Rz parametresinin nominal değeri okundu ve okunan değer yön tuşları kullanılarak cihaza girildi. Değerin doğrulanmasının ardından cihaz, otomatik olarak üç ölçüm

gerçekleştirdi. Ölçülen her Rz parametresi ekranda görüntüledi. Üçüncü ölçümden sonra üç ölçümün Rz değeri ortalaması tanımlandı. Bu ortalama, doğrulama değerinin hesaplanmasında kullanıldı. Doğrulama değeri $\pm\%15$ 'lik bir aralıkta uzandığı görüldüğü için cihaz ayarlarında kabul edildi. Ölçümlerde kullanılan yüzey pürüzlülük cihazı Şekil 3.8'de gösterilmiştir.

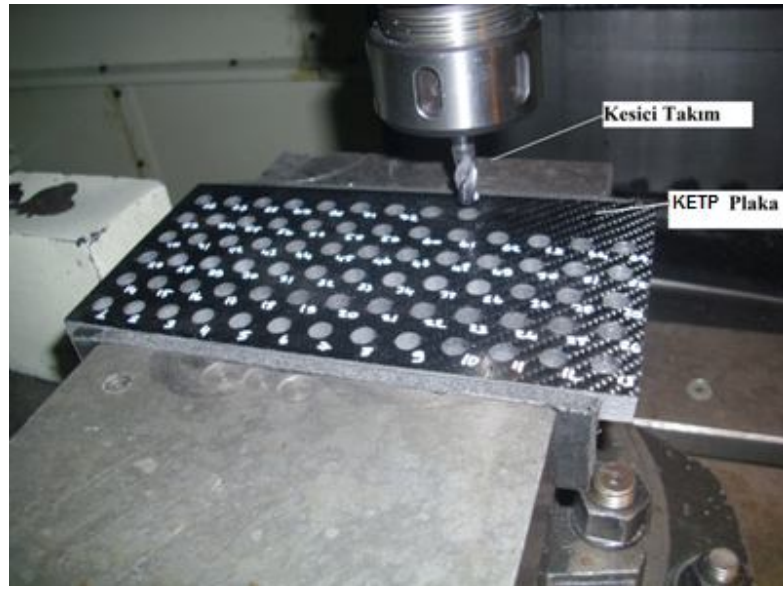


Şekil 3.8. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı.

3.3. DENEYLERİN UYGULANIŞI

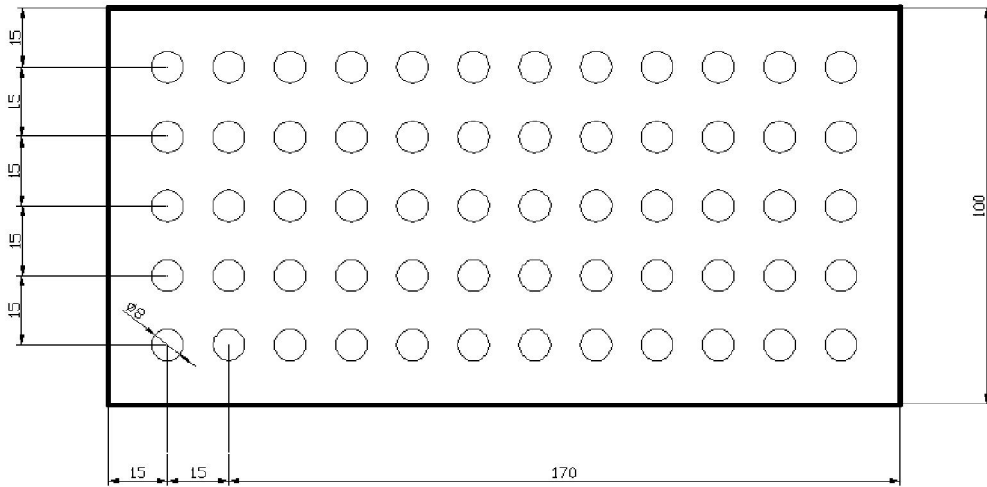
Hasır yapıda karbonelyaf takviyeli kompozit malzemeden 200x100x10 mm ebatlarında plaka halinde hazırlanan Plain (tek atlamalı hasır) ve Twill (çift atlamalı hasır) şeklindeki deney numuneleri kullanılmıştır. Delme işlemi esnasında oluşan gerilme kuvvetlerinin oluşturması muhtemel etkilerinden dolayı deliklerin uzak mesafede konumlandırılması yapılmıştır. Böylece delik hasarlarının birbirlerini etkilememesi hedeflenmiştir. Farklı ağız sayısına (2, 3 ve 4) sahip olan kesici takımlar 8 mm çapında delikler delmek suretiyle yapılmıştır. Olası hataların doğuracağı yanlış sonuçları en aza indirmek için deneyler 3 kez tekrar edilmiştir. Takım aşınmasından dolayı net sonuçlar elde etmek için her 9 deneyde bir takım değiştirilmiştir. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri daha önce yapılmış çalışmalar ve ön deneyler göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Yüzey Pürüzlülüğünün kabul edilebilir değerler çerçevesinde incelenebilmesi için Davim ve ekibinin [15] yaptıkları çalışma dikkate alındığında kesme hızının artışının yüzey

pürüzlülüğü üzerinde çok önemli bir rol oynadığı tespit edilmiştir. Bu yüzden tercih edilen kesme hızı değerleri HSM (Yüksek hızda işleme) uygulamalarındaki kesme değerlerinden daha düşük alınarak, yüzey pürüzlülüğü değerleri incelenebilir değerler seviyesine çekilmiştir. İncelenen literatürler ışığında tercih edilen kesme hızları 50, 70, 90 m/dak, ilerleme değerleri 0.2, 0.3, 0.4 mm/dev. olarak belirlenmiştir. Oluşturulan deney düzeneği Şekil 3.9'da görülmektedir.



Şekil 3.9. KETP 'nin delinmesi

KETP plakadaki delinen deliklerin dağılımı Şekil 3.10'da görülmektedir.



Şekil 3.10. Deliklerin deney plakaları üzerindeki dağılımı.

Takım geometrisinden, ağız sayısının etken parametre olarak kabul edilmesi diğer çalışmalarla beraber önemli şekilde Teti [33]'nin yapmış olduğu çalışmaya dayanmaktadır. Çalışmasında kompozit malzemelerin pürüzsüz bir biçimde işlenebilmesinin karbon veya cam elyaflarının birbirinden koparılmasını sağlamakla mümkün olabileceğini belirtip, takım seçiminde uç radyüsünün ve kesici kenar sayısının mümkün olabildiğince küçük seçilmesini öngörmüştür. Bu çalışmada da ağız sayısı 2, 3 ve 4 olarak seçilmiştir. Seçilen takımların tabana temas eden yüzeylerinde ve kenarlarında radyüs bulunmamaktadır.

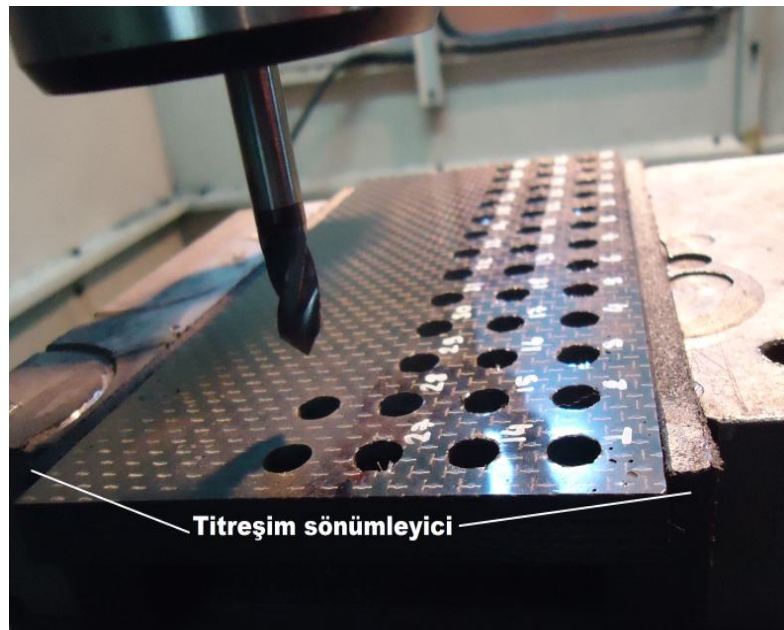
Deneysel ağız sayısı, kesme hızı, ilerleme, uç açısından meydana gelen kesme parametreleri ve kombinasyonları kapsamında Çizelge 4.1'de belirtilen deney füyüne göre yapılmıştır. 50, 70, 90 m/dak kesme hızlarına tekabül eden devir sayıları sırasıyla 2000, 2800 ve 3600 dev/dak olup, 0.2, 0.3, ve 0.4 mm/dev ilerlemelere tekabül eden tabla ilerlemeleri ise 50 m/dak (2000 dev/dak) için sırasıyla 400, 600, 800 mm/dev, 70 m/dak için (2800 dev/dak) 560, 840, 1120 mm/dev ve 90 m/dak (3600 dev/dak) için 720, 1080, 1440 mm/dev olarak tanımlanmıştır.

Literatür araştırmaları sonucunda Davim ve ekibi [33] yüksek kesme hızının kesici takım ve polimer kompozitler üzerinde termal etkiler oluşturacağı için düşük kesme hızları (50, 70 ve 90 m/dak) tercih edilmiştir. Davim ve ekibi [33] yapmış oldukları çalışmada (0.05 mm/dev 0.1, 0.15 ve 0.2 mm/dev) gibi düşük ilerleme değerleri ile daha az hasarlı deliklerin delinebildiğini tespit etmişlerdir. Literatür çalışmaları ışığında ilerleme değerleri (0.2, 0.3 ve 0.4 mm/dev) olarak belirlenmiştir. Uç açıları 60°, 90°, 120° olan özel olarak üretilen 2, 3 ve 4 ağızlı 8 mm çaplı karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Karbonelyaf plakayı delme esnasında plakamız katmanlardan oluştuğu için delik giriş ve çıkış bölgesinde hasarlar oluşacaktır bu hasarları en aza indirmek için takım geometrisinde gerekli düzeltmeleri yapmıştık. Karbonelyaf plakamız yaklaşık 30 katmandan oluşmaktadır bu durumda delme işlemi esnasında deliğin giriş kısmında elyafları yukarı doğru zorlayarak yırtmaya çalışmaktadır deliğin çıkış bölgesinde ise elyafları aşağı doğru basarak yırtmaya çalıştığını görülmektedir. 200x100x10 ebatlarındaki KETP plakayı özel olarak hazırlanmış her iki tarafta kullanılan titreşim sönümleyici arasına gelecek şekilde bağlayarak

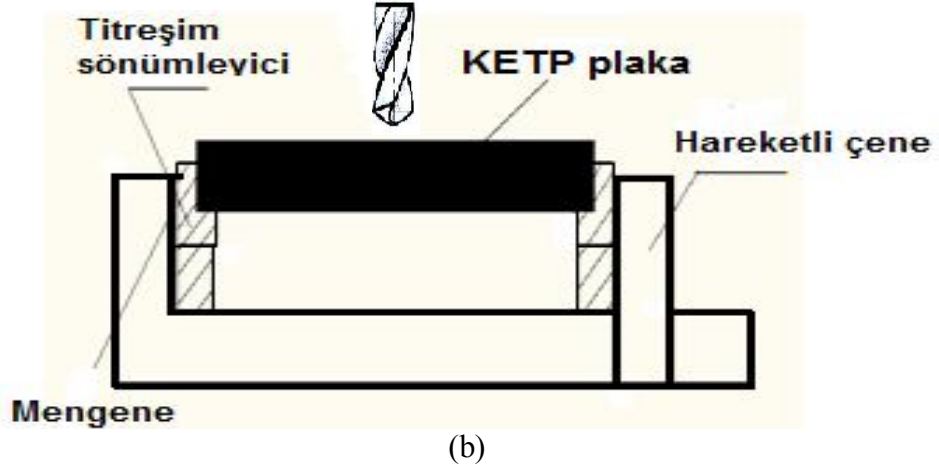
tezgahtaki yüksek devirde iş parçası üzerinde oluşturacak olan titreşimi en aza indirmek için tasarlanmıştır.

Titreşimin deneylerde çıkan sonuçlara etkisi sonucu Ramkumar ve ekibi [10] çalışmaları esnasında camelyaf takviyeli plastik katmanların düşük sıklıktaki titreşimler üzerinde işlenmesi ile en iyi sonuca ulaşmışlardır. Bizim kullandığımız bağlama yöntemimiz Ramkumar ve ekibi [10] düşük sıklıktaki titreşim değerlerinde yüzey kalitesinin düzeldiği ve tabakalara ayırma oranının azaldığı sonucuna ulaştıkları çalışmayla paralellik göstermektedir. Şekil 3.10'da bunun şeması verilmiştir. Ön deneylerde kullandığımız farklı bağlantı şekillerinin yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilediğini gördük ve bu nedenle daha ergonomik olan ve ön deneylerde elde edeceğimiz verilerde olumsuz sonuçlar doğurmasını engellemesi açısından bu bağlantı şeklini kullandık

Delme işleminde kullandığımız parametreler kesme hızı ve ilerleme değerleri malzemenin yüzey pürüzlülüğüne doğrudan etki etmektedir. bu parametrelerin yanında malzemenin iyi bir şekilde bağlanması ve olası titreşimlerin aza indirilmesi için titreşim sönmüleyen (kauçuk pabuç) bağlantı elamanları kullanılmıştır. Şekil 3.11'de deneyler yapılırken çekilmiş bir fotoğrafta mengene arasına konulan ve KETP plakanın üzerine oturduğu bağlantı elamanları gözükmektedir.



(a)



Şekil 3.11. KETP plakasının bağlantı şekli a) Fotoğraf, b) Şema.

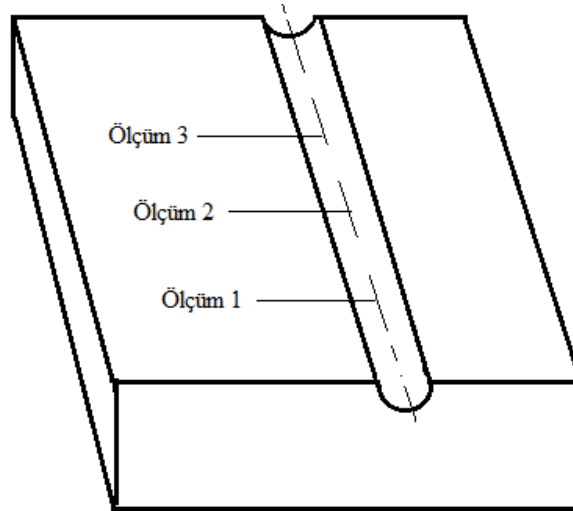
3.3.1. Yüzey Pürüzlülüğü Değerlerinin Ölçülmesi

Çizelge 4.1'deki kesme parametreleri kullanılarak KETP plakalar üzerine karbür parmak kesici takımlar ile delikler delinmiş ve Şekil 3.8'de gösterilen yüzey pürüzlülük cihazı ile ölçümleri yapılmıştır. Ra değerinin tespiti için ISO 4287/1 baz alınarak ölçümler yapılmıştır. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazında her ölçüm için, 0,8 mm ölçüm adımı (cut off) ile altı ölçüm yaptırılarak, toplam 4,8 mm ölçüm boyunda ortalama pürüzlülük değeri (Ra) ölçülmüştür. Şekil 3.12'de yüzey pürüzlülüğü ölçüm yöntemi gösterilmektedir. Ölçme işleminin delik yüzeylerinde yapılacak olması işlemi biraz zorlaştırmaktadır. Ölçümlerin kolay yapılabilmesi için numuneler delik eksenine paralel olarak tam ortasından kesilmiştir.



Şekil 3.12. Delinen deliklerin yüzey pürüzlülüğün ölçülmesi.

Her delik için Şekil 3.13'de görüldüğü gibi delik eksenine paralel üç farklı noktadan ölçüm yapılarak, bu ölçümlerin ortalaması alınmıştır. Bu işlem her deneydeki delik için tekrarlanmıştır. Böylece her deney için 1 adet yüzey pürüzlülük değeri elde edilmiştir. Pürüzlülük ölçümlerinde sadece ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri ölçülmüştür.



Şekil 3.13. Delik içerisindeki yapılan yüzey pürüzlülük ölçümleri.

BÖLÜM 4

DENEYSEL SONUÇLAR

Deneysel çalışmada Tek atlamalı (plain) ve çift atlamalı (twill) hasır oryantasyonuna sahip KETP (Karbonelyaf takviyeli polimer kompozit) plakada delik delme işlemi gerçekleştirilmiş ve bu deliklerde; kesme hızı (V_c), uç açısı (Ψ), ağız sayısı (G) ve ilerlemenin (f) Yüzey pürüzlülüğü (R_a) üzerindeki etkilerinin net bir biçimde görülmesi ayrıca daha detaylı bir biçimde açıklanması amacıyla deliğin iç bölgesinde yüzey pürüzlülüğü kıyaslama grafikleri oluşturulmuştur. Yapılan deneyler neticesinde elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri Çizelge 4.1 'de verilmektedir. Deneysel sonuçlara göre; ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla kesme hızı sabit tutularak yüzey pürüzlülüğü - ilerleme grafikleri oluşturulmuştur. Kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla ilerleme sabit tutularak yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı kıyaslama grafikleri oluşturulmuştur. Ağız sayısının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin belirlenmesi için kesme hızı sabit tutularak yüzey pürüzlülüğü - ağız sayısı kıyaslama grafikleri oluşturulmuştur. Uç açısının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerinin belirlenmesi açısından kesme hızı sabit tutularak yüzey pürüzlülüğü - uç açısı kıyaslama grafikleri hazırlanmıştır. Çizelge 4.1'de deneylerde kullanılan kesme parametreleri ve delik içerisinde ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.1. Deneyleerde kullanılan kesme parametreleri.

Deneyle No	Ağız Sayısı, G	Uç Açısı, Ψ [°]	Kesme Hızı, Vc [m/dak]	İlerleme, f [mm/ dev.]	Yüzey Pürüzlülüğü, Ra [µm]	
					Plain	Twill
1	2	60	50	0,2	2,617	2,876
2				0,3	3,245	3,245
3				0,4	3,908	3,545
4			70	0,2	2,557	2,666
5				0,3	2,905	2,879
6				0,4	3,645	3,397
7			90	0,2	2,241	2,573
8				0,3	2,645	2,736
9				0,4	2,87	3,242
10		90	50	0,2	2,817	2,272
11				0,3	2,928	2,645
12				0,4	3,342	2,944
13			70	0,2	2,489	2,145
14				0,3	2,652	2,547
15				0,4	3,142	2,846
16			90	0,2	2,153	2,045
17				0,3	2,426	2,324
18				0,4	2,664	2,645
19		120	50	0,2	2,665	2,283
20				0,3	2,805	2,711
21				0,4	3,339	3,245
22			70	0,2	2,363	2,101
23				0,3	2,645	2,346
24				0,4	3,124	2,876
25			90	0,2	2,124	1,978
26				0,3	2,245	2,286
27				0,4	2,811	2,563

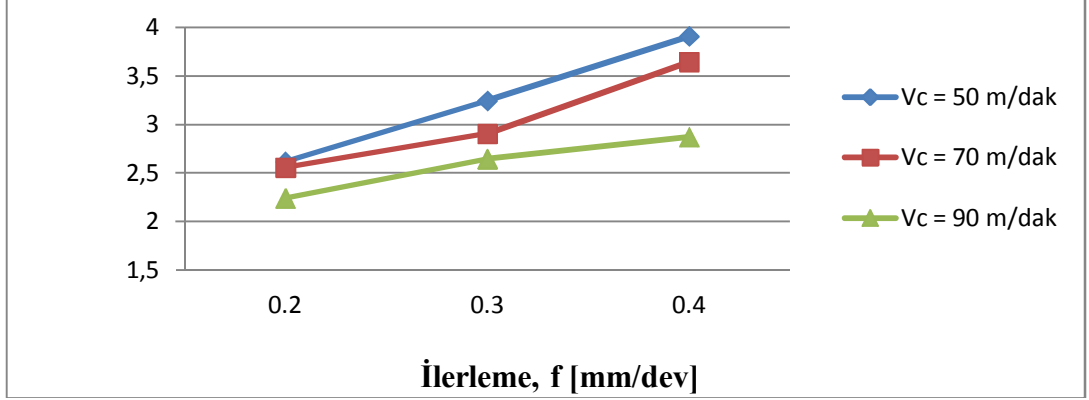
Çizelge 4.1 (Devam ediyor).

Deney No	Ağız Sayısı G	Uç Açısı, Ψ [°]	Kesme Hızı, Vc [m/dak]	İlerleme, f [mm/ dev.]	Yüzey Pürüzlülüğü, Ra [μm]	
					Plain	Twill
28	3	60	50	0,2	3,154	2,978
29				0,3	3,352	3,124
30				0,4	3,648	3,457
31			70	0,2	2,64	2,642
32				0,3	2,918	2,856
33				0,4	3,478	2,952
34			90	0,2	2,234	2,541
35				0,3	2,549	2,632
36				0,4	3,159	2,797
37		90	50	0,2	3,041	2,684
38				0,3	3,649	2,803
39				0,4	3,958	2,913
40			70	0,2	2,898	2,542
41				0,3	3,357	2,648
42				0,4	3,765	2,782
43			90	0,2	2,498	2,247
44				0,3	2,547	2,579
45				0,4	2,876	2,645
46	120	50	0,2	3,249	2,978	
47			0,3	3,649	3,124	
48			0,4	4,056	3,242	
49		70	0,2	2,968	2,615	
50			0,3	3,149	2,864	
51			0,4	3,878	3,175	
52		90	0,2	2,489	2,458	
53			0,3	2,986	2,623	
54			0,4	3,671	3,104	

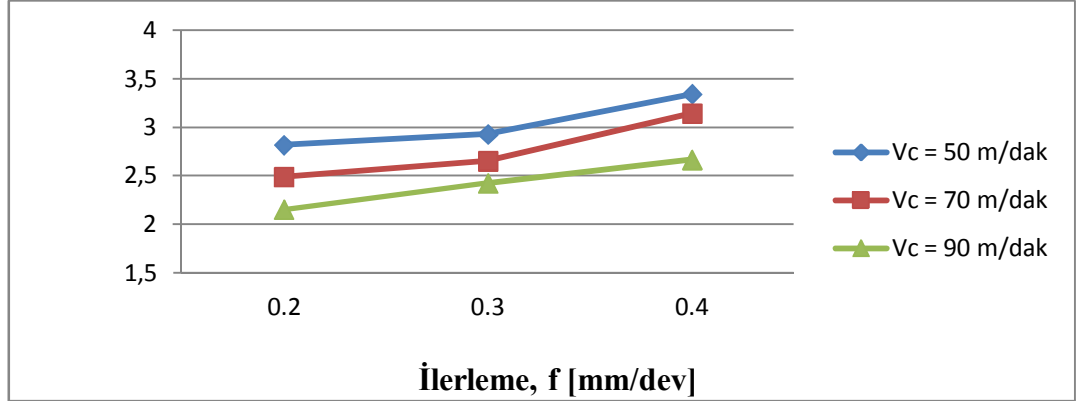
Çizelge 4.1 (Devam ediyor).

Deney No	Ağız Sayısı G	Uç Açısı, Ψ [°]	Kesme Hızı, Vc [m/dak]	İlerleme, f [mm/ dev.]	Yüzey Pürüzlülüğü, Ra [μ m]	
					Plain	Twill
55	4	60	50	0,2	1,779	1,598
56				0,3	2,549	1,679
57				0,4	2,991	1,787
58			70	0,2	1,458	1,428
59				0,3	1,936	1,548
60				0,4	2,539	1,642
61			90	0,2	0,92	1,05
62				0,3	1,642	1,187
63				0,4	2,281	1,26
64		90	50	0,2	1,698	0,808
65				0,3	2,535	0,871
66				0,4	3,483	1,142
67			70	0,2	1,394	0,718
68				0,3	1,803	0,825
69				0,4	2,285	1,11
70			90	0,2	1,213	0,645
71				0,3	1,415	0,728
72				0,4	2,085	1,009
73		120	50	0,2	1,785	2,355
74				0,3	1,987	2,425
75				0,4	2,447	2,458
76	70		0,2	1,27	1,984	
77			0,3	1,772	2,245	
78			0,4	2,012	2,358	
79	90		0,2	1,002	1,784	
80			0,3	1,087	1,904	
81			0,4	1,254	2,042	

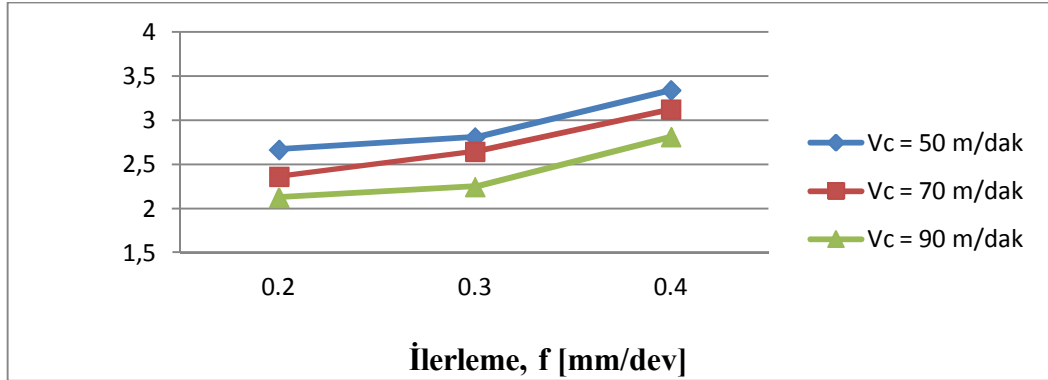
4.1. Tek Atlamalı (Plain) Kompozit İçin Yüzey Pürüzlülüğü - İlerleme Kıyaslama Grafikleri.



(a)

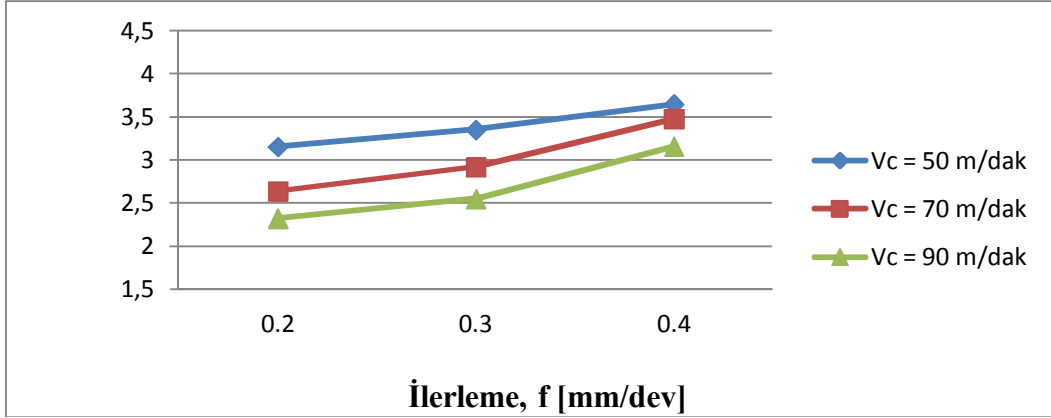


(b)

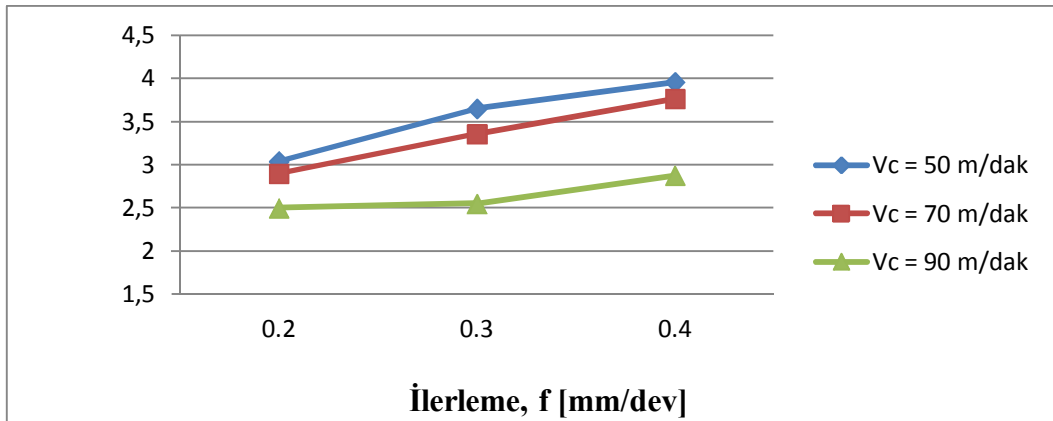


(c)

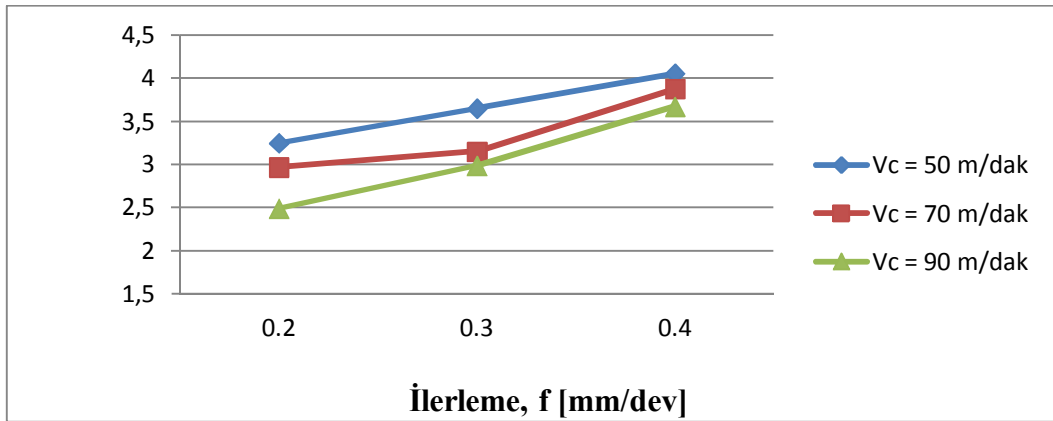
Şekil 4.1. İki ağızlı takımında yüzey pürüzlülüğü - ilerleme kıyaslama grafikleri
a) $\Psi = 60^\circ$, b) $\Psi = 90^\circ$, c) $\Psi = 120^\circ$ için.



(a)

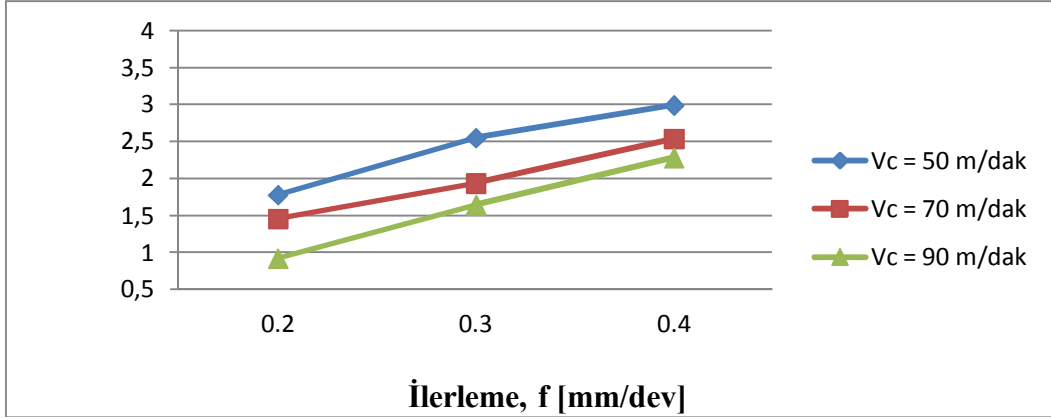


(b)

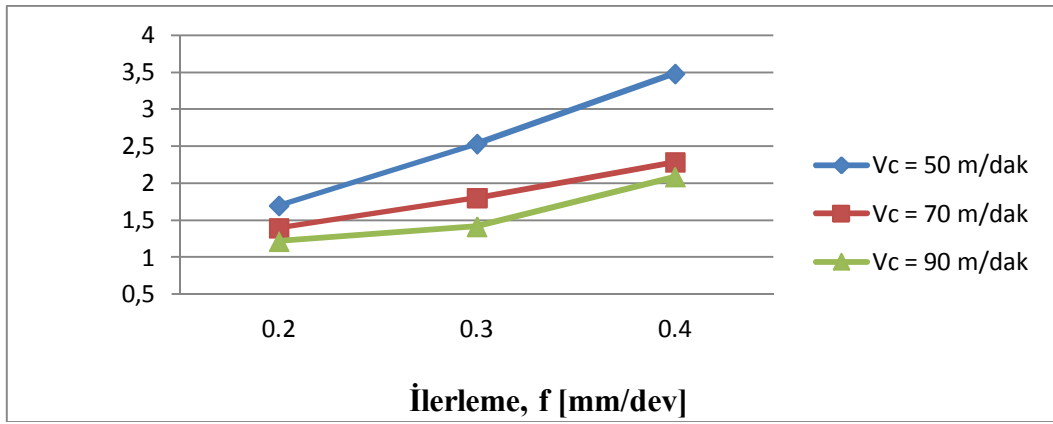


(c)

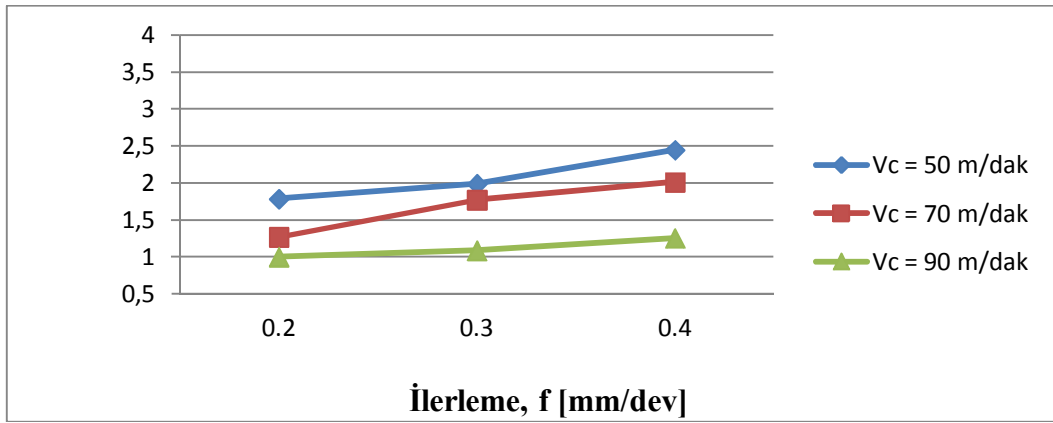
Şekil 4.2. Üç ağızlı takımında yüzey pürüzlülüğü - ilerleme kıyaslama grafikleri
a) $\Psi = 60^\circ$, b) $\Psi = 90^\circ$, c) $\Psi = 120^\circ$ için.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.3. Dört ağızlı takımda yüzey pürüzlülüğü - ilerleme kıyaslama grafikleri
a) $\Psi = 60^\circ$, b) $\Psi = 90^\circ$, c) $\Psi = 120^\circ$ için.

Şekil 4.1'de iki ağızlı takımda ilerleme arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı gözlemlenmektedir. Kesme hızını azaltıp ilerlemeyi arttırdığımızda ise yüzey pürüzlülüğünde artışlar olduğu tespit edilmiştir. İki ağızlı 60° uç açılı takımında 90° ve 120° dereceye oranla yüzey pürüzlülüğü artış eğimi daha fazla olduğu

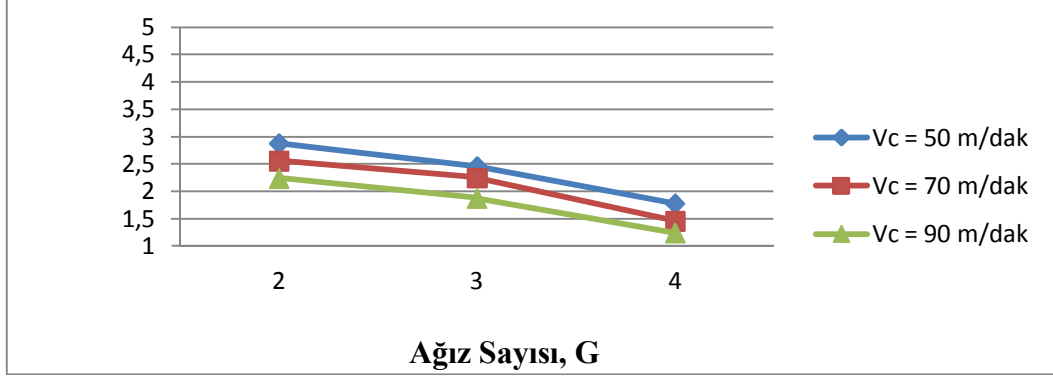
görülmektedir. İlerleme değerleri 0.3 mm/dev den 0.4 mm/dev geçildiğinde yüzey pürüzlülüğü daha hızlı artmaktadır.

Şekil 4.2'de üç ağızlı takımda ise iki ağızlı takıma kıyasla biraz daha yüksek yüzey pürüzlülük değerleri çıkmasına rağmen ilerleme arttıkça yüzey pürüzlülük değerlerinde yükselme görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü artışları tüm takım geometrilerinde lineer artış şeklinde görülmektedir.

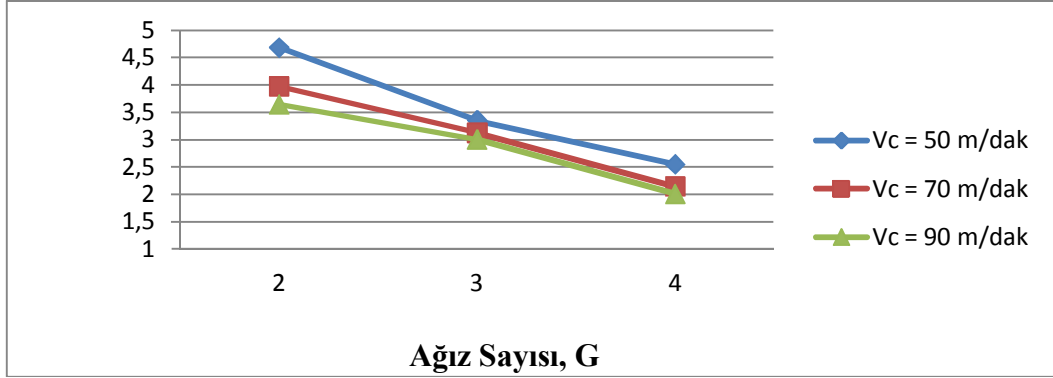
Şekil 4.3'de ise dört ağızlı takımda iki ve üç ağızlı takımlara oranla daha düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmekte ve özellikle 90 m/dak kesme hızında 60° 90° ve 120° uç açılarında diğer kesme hızlarına oranla daha düşük pürüzlülük değerleri elde edilmektedir. Ayrıca dört ağızlı 90° uç açılı takımda 50 m/dak kesme hızında 70 ve 90 m/dak kesme hızlarına oranla yüzey pürüzlülük değeri daha hızlı yükseldiği görülmeye rağmen bu sonuç diğer parametrelerdeki sonuçları olumsuz etkilememektedir.

Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3'deki sonuçlara bağlı kalınarak ağız sayısı arttıkça pürüzlülük değeri düşürmektedir ve en iyi sonucu dört ağızlı takımda yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme değerlerinde elde ettiğimizi görülmektedir. Uç açısına göre değerlendirdiğimizde uç açısı arttıkça pürüzlülük değerlerinde küçük artışlar gözleniyor ama düşük açı olan 60° 'de en iyi sonuçlar elde edildiği gözlenmektedir.

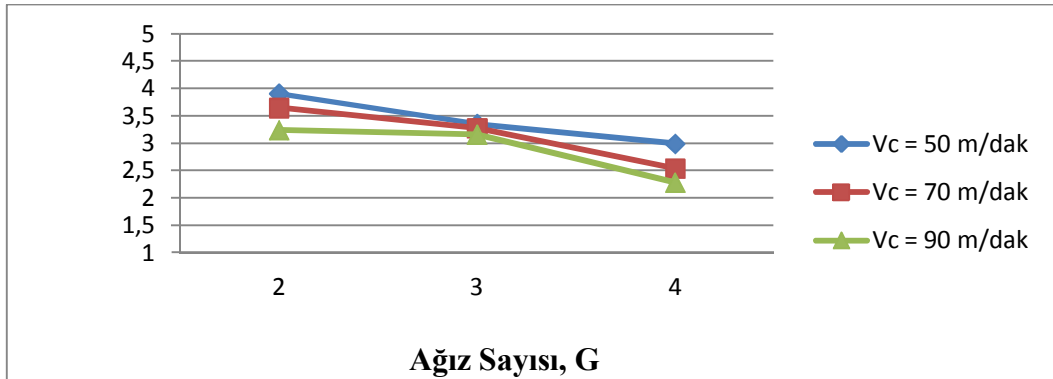
4.2. Tek Atlamalı (Plain) Kompozit İçin Yüzey Pürüzlülüğü - Ağız Sayısı Kıyaslama Grafikleri.



(a)

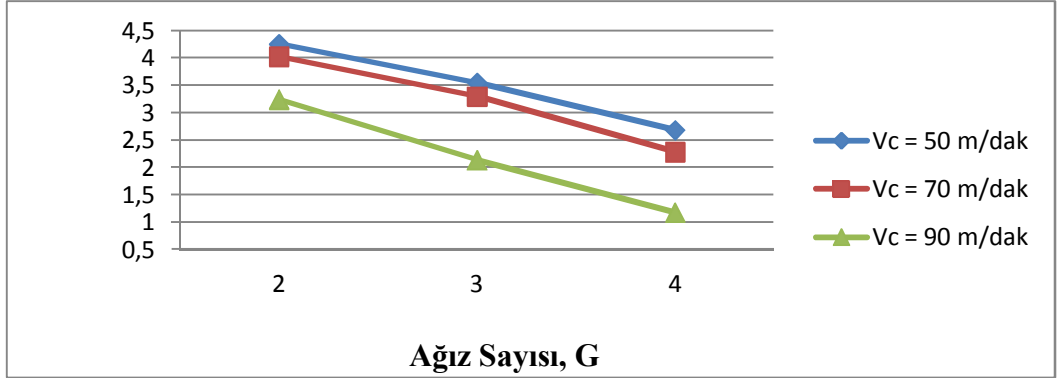


(b)

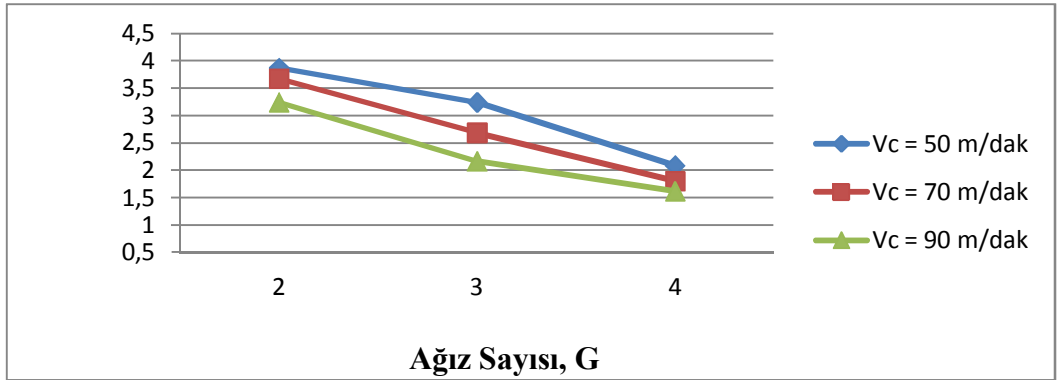


(c)

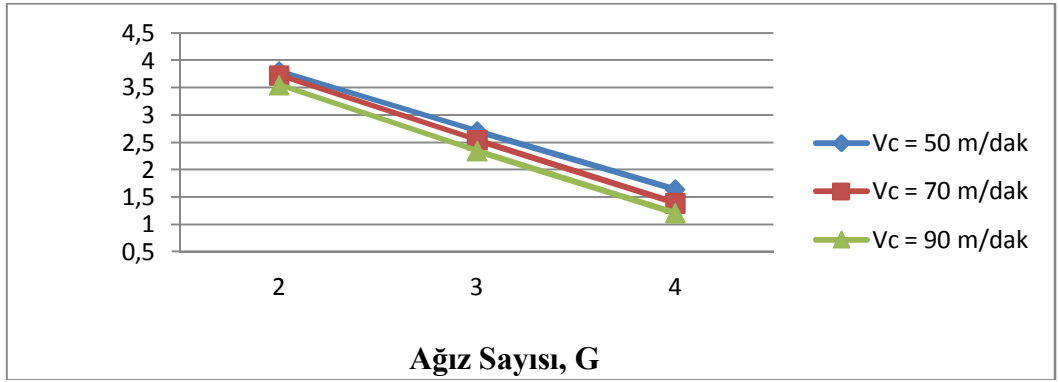
Şekil 4.4. 60° uç açılı takımında yüzey pürüzlülüğü - ağız sayısı kıyaslama grafikleri
a) $f = 0.2$ mm/dev, b) $f = 0.3$ mm/dev, c) $f = 0.4$ mm/dev için.



(a)

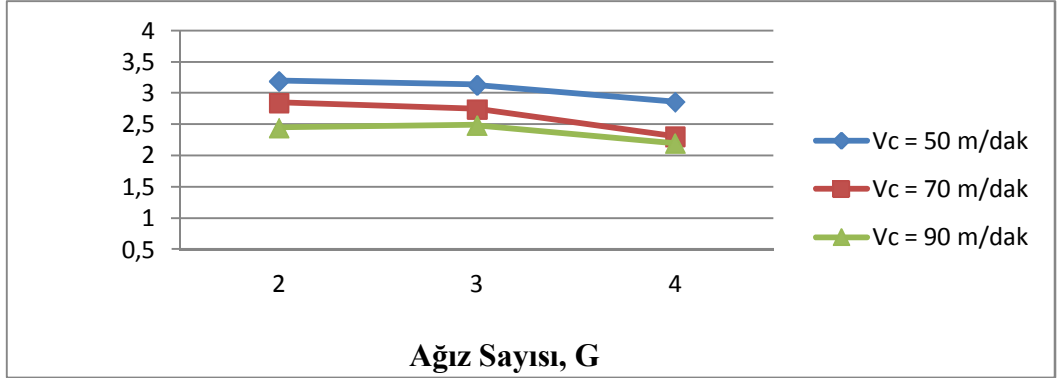


(b)

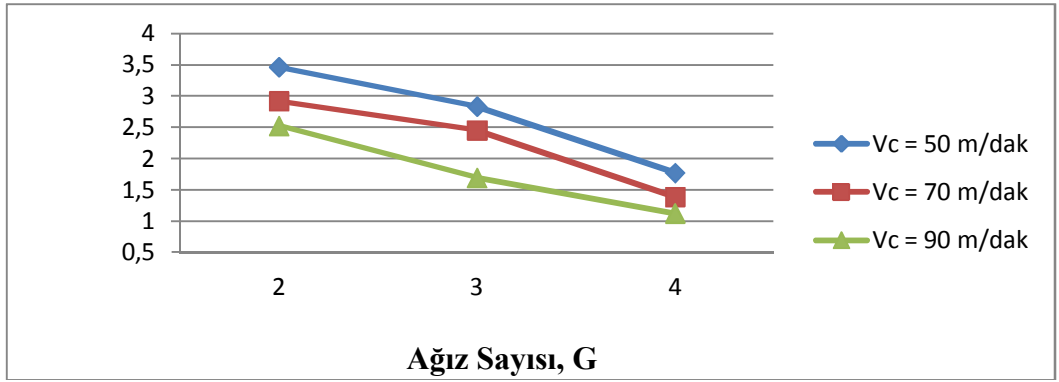


(c)

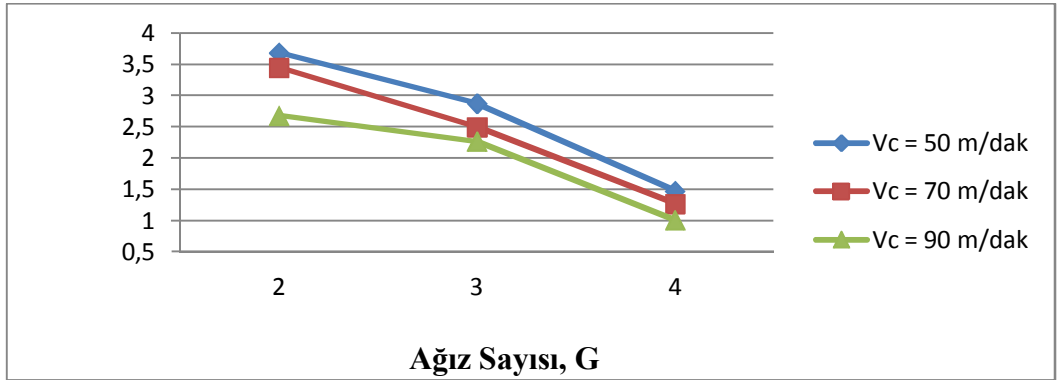
Şekil 4.5. 90° uç açılı takımda yüzey pürüzlülüğü - ağız sayısı kıyaslama grafikleri
a) $f = 0.2$ mm/dev, b) $f = 0.3$ mm/dev, c) $f = 0.4$ mm/dev için.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.6. 120° uç açılı takımında yüzey pürüzlülüğü - ağız sayısı kıyaslama grafikleri
a) $f = 0.2$ mm/dev, b) $f = 0.3$ mm/dev, c) $f = 0.4$ mm/dev için.

Şekil 4.4'de 60° uç açılı takımında ağız sayısı arttıkça pürüzlülük değerleri düşmektedir ve en düşük değerleri 90 m/dak yani yüksek kesme hızı değerlerinde elde edilmektedir. Yine 60° uç açılı takımında 90° ve 120° oranla daha düşük değerler gözlenmektedir. İlerleme değeri arttıkça pürüzlülük değerleri yükselmektedir.

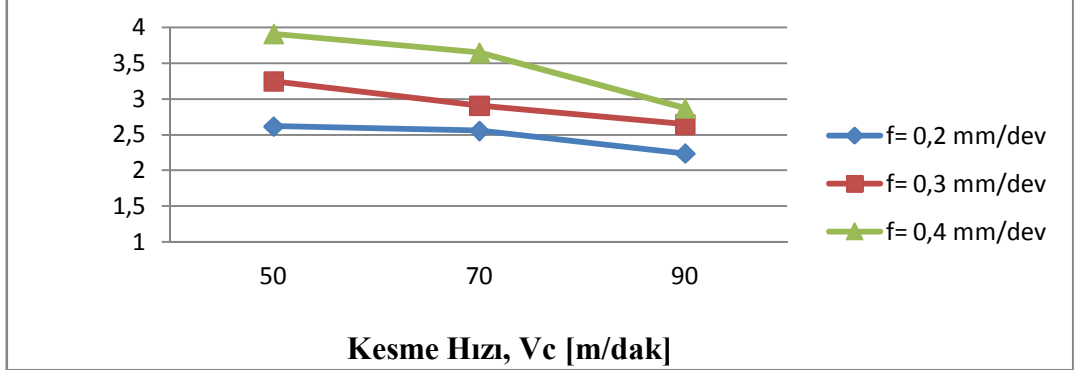
Şekil 4.5'de 90° uç açılı takımında 60°'ye kıyasla daha yüksek değerler gözlenmektedir ve ağız sayısı arttıkça yüzey pürüzlülüğü değerleri düşmektedir. İlerleme 0.2 mm/dev değerlerinde alındığında yüzey pürüzlülüğü değeri ağız sayısı arttıkça daha hızlı düşüş vermektedir.

Şekil 4.5'de 90° uç açılı takımında 0,2 mm/dev ilerleme ve 90 m/dak kesme hızında diğer kesme hızları ile karşılaştırdığımızda biraz daha düşük yüzey pürüzlülük değerleri çıktığı görülmektedir. Bu durumun ölçümler esnasında pürüzlülük cihazının iğne ucunun reçinelere denk gelmesinden dolayı olduğu sanılmaktadır.

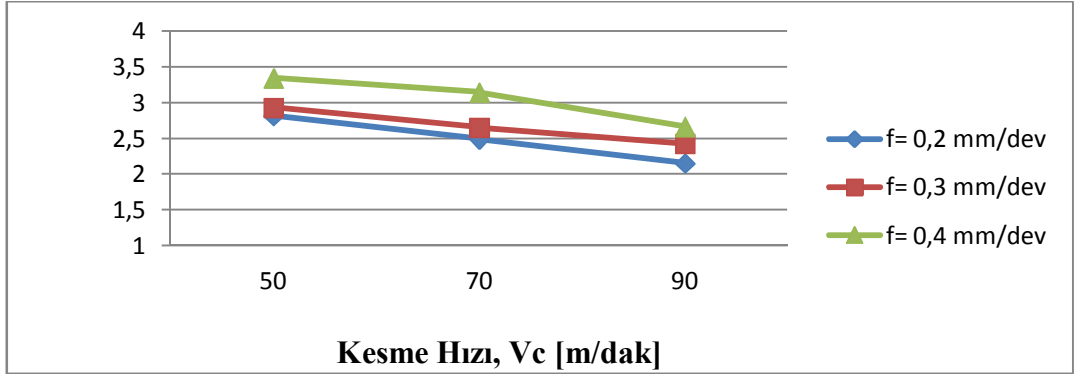
Şekil 4.6'da 120° uç açılı takımında 90° uç açılı takıma kıyasla çok küçük düşüşler gözlenirken ağız sayısı ve kesme hızı arttıkça pürüzlülük değerlerinin düştüğünü görülmektedir. İlerleme değeri 0.4 mm/dev seçildiğinde ağız sayısı 3 ile 4 arasında diğer yüzey pürüzlülüğü değerlerine göre daha ani düşüşler görülmektedir. Fakat 0.3 ve 0.4 mm/dev ilerleme değerlerine 0,2 mm/dev ilerleme değerine kıyasla yüzey pürüzlülüğünde daha ani düşüşler görülmektedir.

Şekil 4.6'da 120° uç açılı takımında 0,4 mm/dev ilerleme de ilerleme yüksek olmasına rağmen diğer ilerleme parametrelerine kıyasla biraz daha düşük yüzey pürüzlülüğü gözlenmektedir. Ağız sayısının artışına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değerlerinde düşüşler görülmektedir.

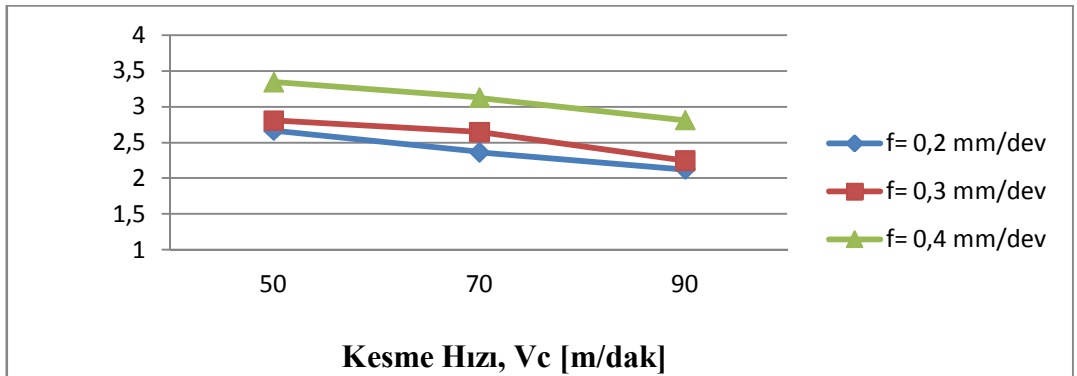
4.3. Tek Atlamalı (Plain) Kompozit İçin Yüzey Pürüzlülüğü - Kesme Hızı kıyaslama Grafikleri.



(a)

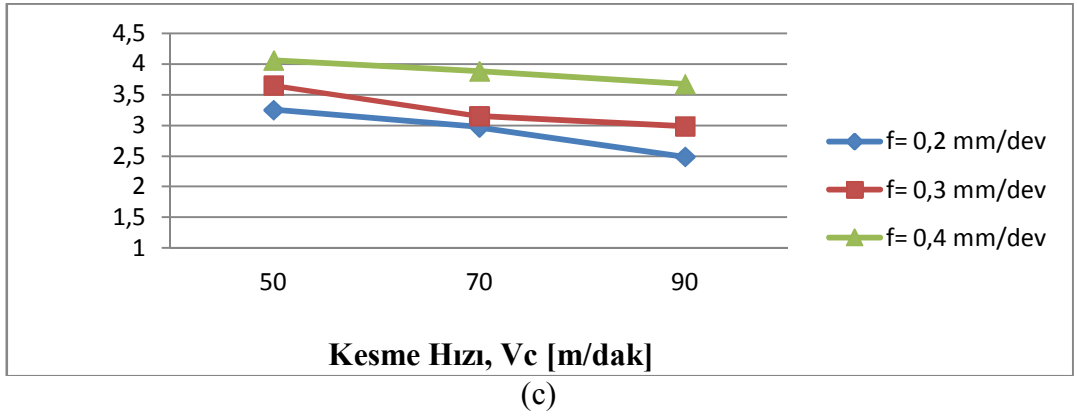
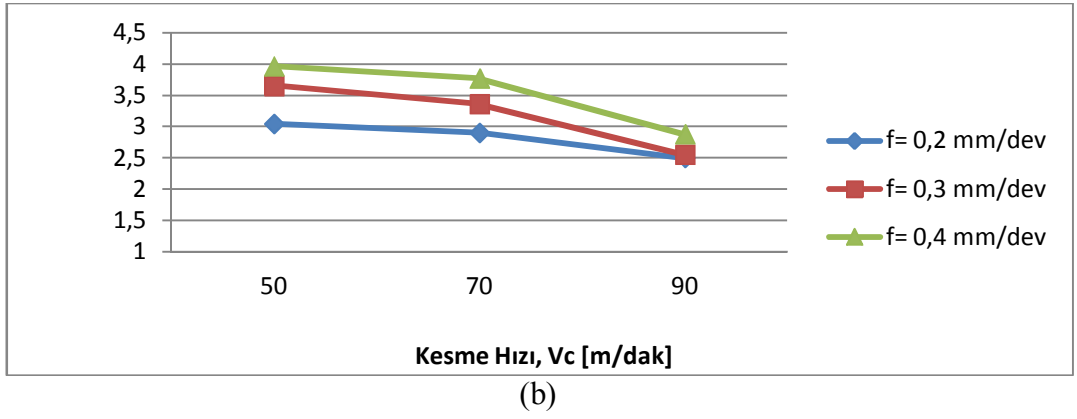
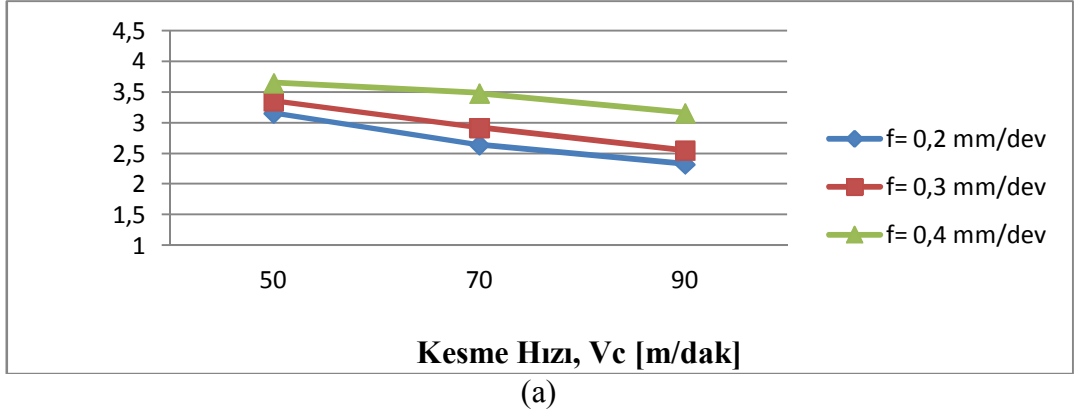


(b)

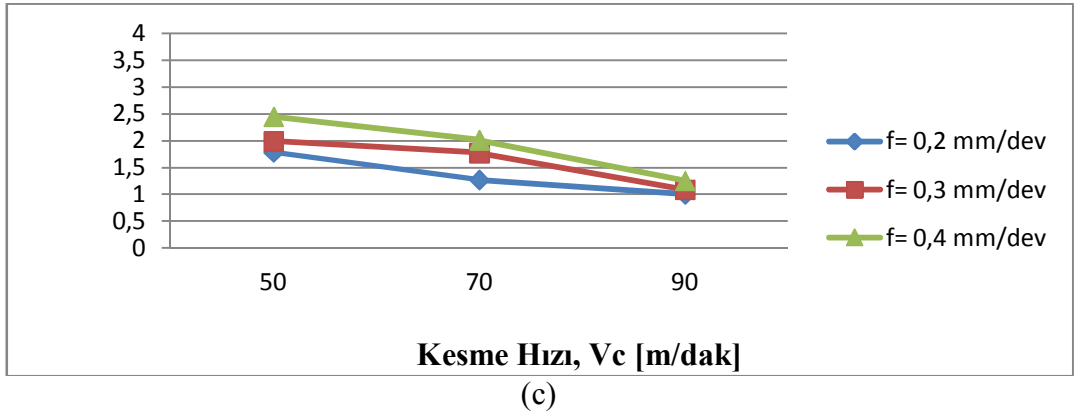
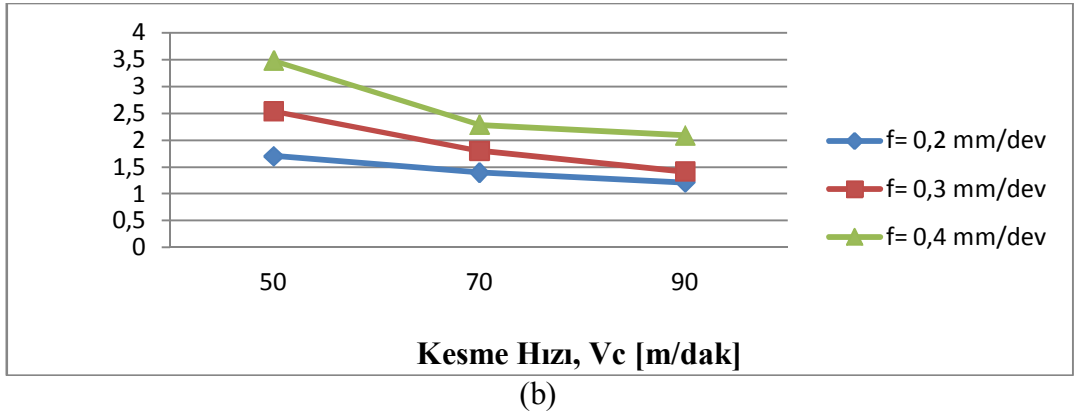
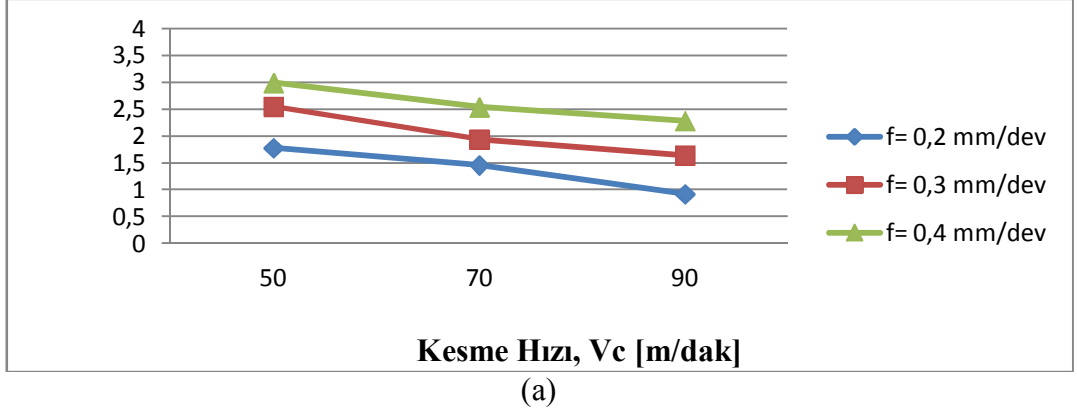


(c)

Şekil 4.7. İki ağızlı takımında yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı kıyaslama grafikleri
a) $\Psi = 60^\circ$, b) $\Psi = 90^\circ$, c) $\Psi = 120^\circ$ için.



Şekil 4.8. Üç ağızlı takımda yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı kıyaslama grafikleri
a) $\Psi = 60^\circ$, b) $\Psi = 90^\circ$, c) $\Psi = 120^\circ$ için.



Şekil 4.9. Dört ağızlı takımında yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı kıyaslama grafikleri
a) $\Psi = 60^\circ$, b) $\Psi = 90^\circ$, c) $\Psi = 120^\circ$ için.

Şekil 4.7'de kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğü değerleri düşmektedir. Düşük kesme hızında ilerleme değeri yükseldikçe pürüzlülüğün arttığını görülmektedir ve kesme hızı 90 m/dak ve ilerleme değeri 0,2 mm/dev değerlerinde en iyi pürüzlülük değerlerini elde ettiğimizi görülmektedir.

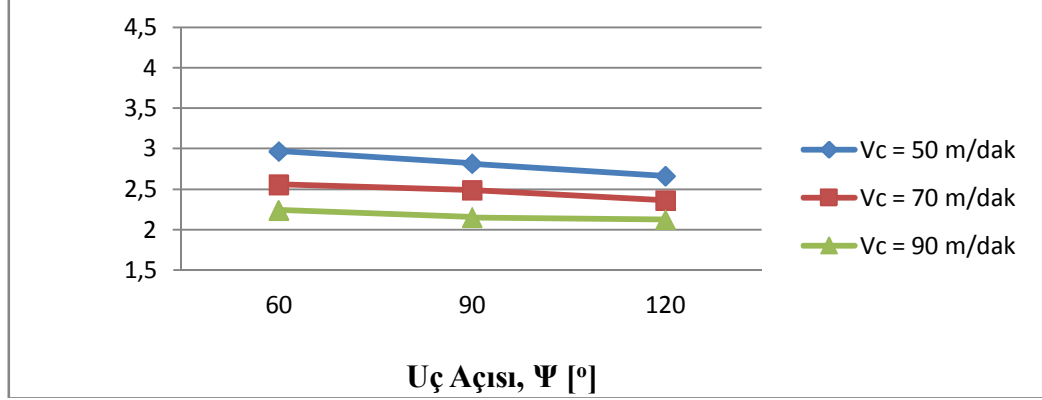
Şekil 4.8'de üç ağızlı takımında kesme hızını arttırdıkça pürüzlülük değerleri düşmektedir yalnız ilerleme değerlerinde düşük tutmamız gerekmektedir. En iyi değerleri ise 90 m/dak kesme hızında ve 0,2 mm/dev değerlerinde elde ettiğimiz görülmektedir. 70 m/dak kesme hızından 90 m/dak kesme hızına çıkıldığında yüzey pürüzlülüğünde daha ani düşüşler görülmektedir.

Şekil 4.9'da dört ağızlı takımında 2 ve 3 ağızlı takımlara oranla daha düşük pürüzlülük değerleri gözlenirse de yüksek kesme hızı ve düşük ilerlemede pürüzlülük değerlerinin düştüğü sonucunda bir değişiklik gözlenmemektedir. 90° uç açılı takımında 50 m/dak kesme hızından 70 m/dak kesme hızına geçildiğinde yüzey pürüzlülüğü değeri daha ani düşmektedir.

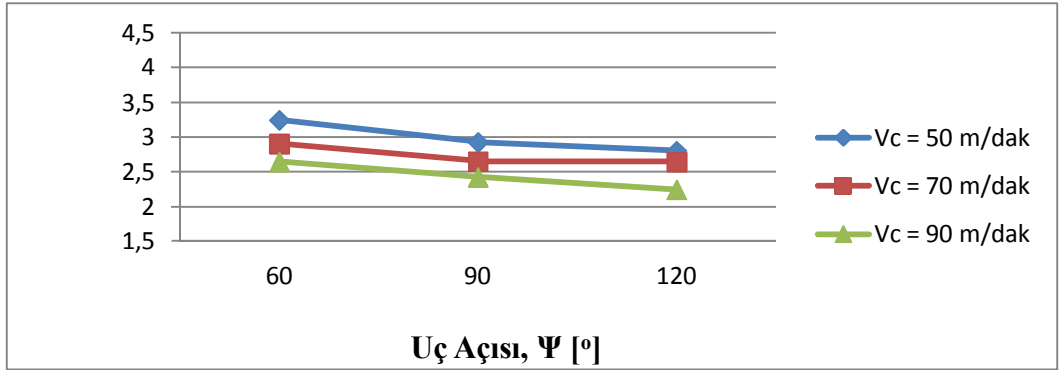
Şekil 4.9'da 90° uç açılı takımında 50 m/dak kesme hızında 0,2 ve 0,3 mm/dev ilerleme değerlerinde 70 m/dak ve 90 m/dak kesme hızlarına kıyasla yüzey pürüzlülüğü değerleri biraz daha yüksek çıkmaktadır bu durum deneylerdeki diğer parametreleri olumsuz etkilememektedir.

Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'daki sonuçlar itibariyle ağız sayısı arttıkça düşük pürüzlülük değerleri gözlenmektedir ama kesme hızının artışına bağlı olarak düşük ilerleme düşük pürüzlülük değeri anlamına gelmektedir ve en iyi sonucu 0.2 mm/dev ve 90 m/dak kesme hızında elde edilmektedir.

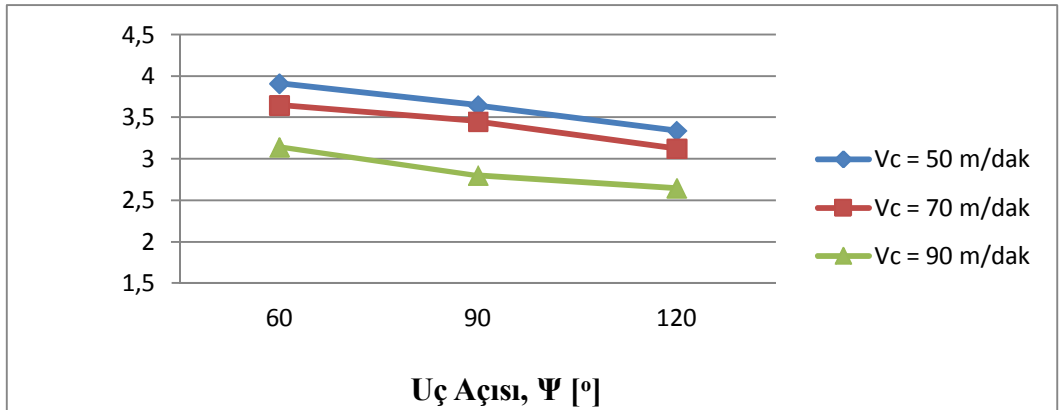
4.4. Tek Atlamalı (Plain) Kompozit İçin Yüzey Pürüzlülüğü - Uç Açısı Kıyaslama Grafikleri.



(a)

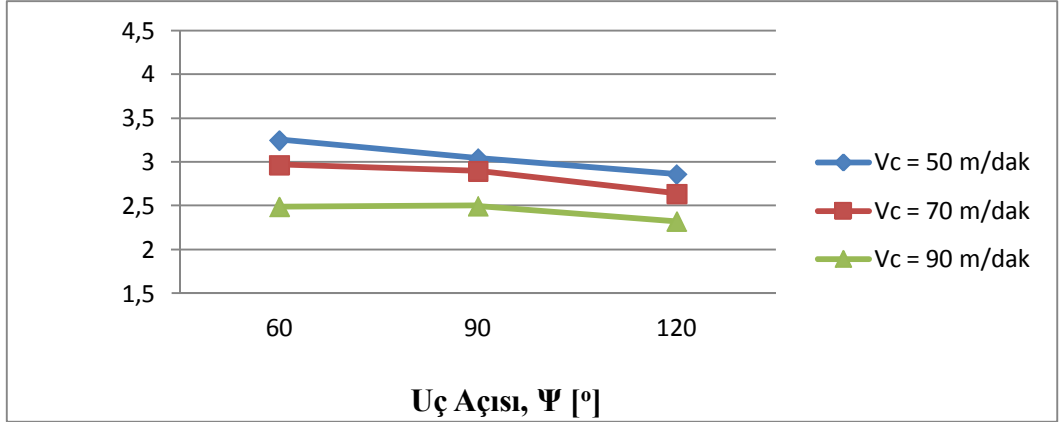


(b)

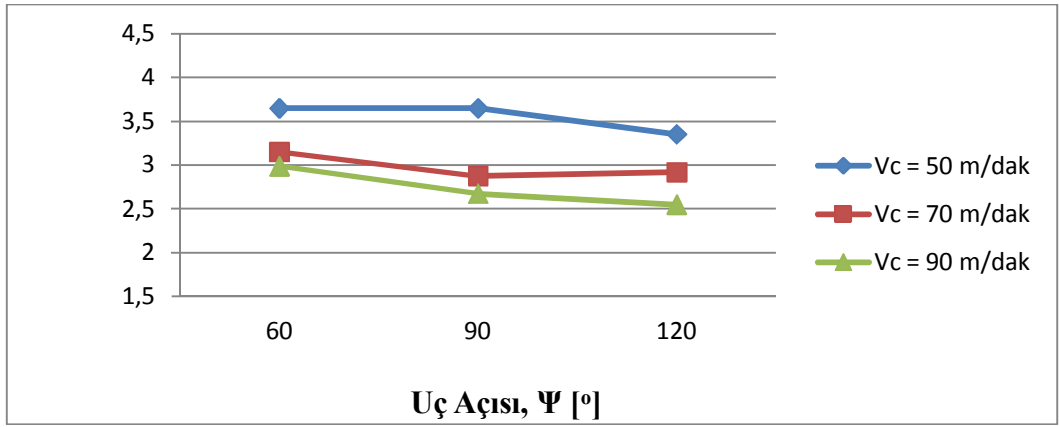


(c)

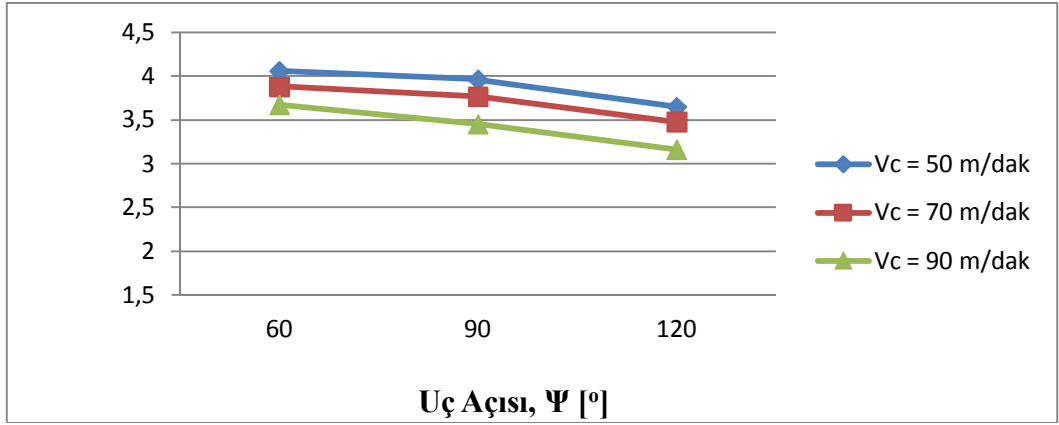
Şekil 4.10. İki ağızlı takımda yüzey pürüzlülüğü - uç ağıısı kıyaslama grafikleri
a) $f = 0.2$ mm/dev, b) $f = 0.3$ mm/dev, c) $f = 0.4$ mm/dev için.



(a)

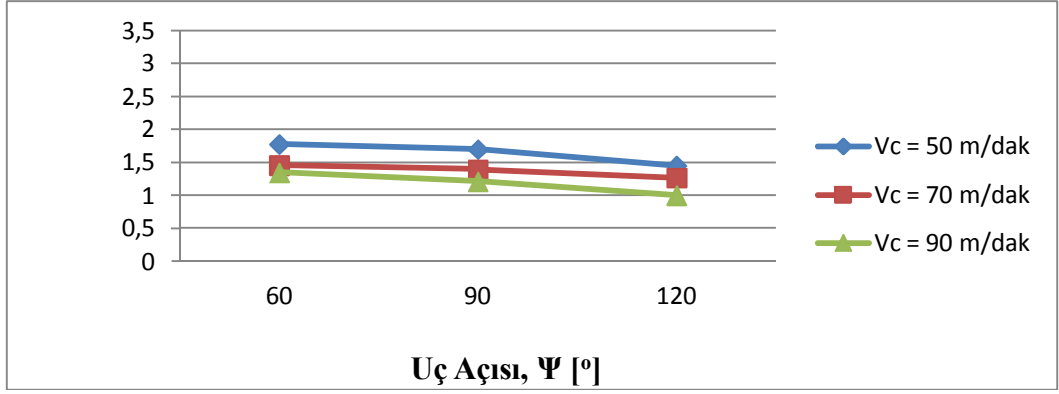


(b)

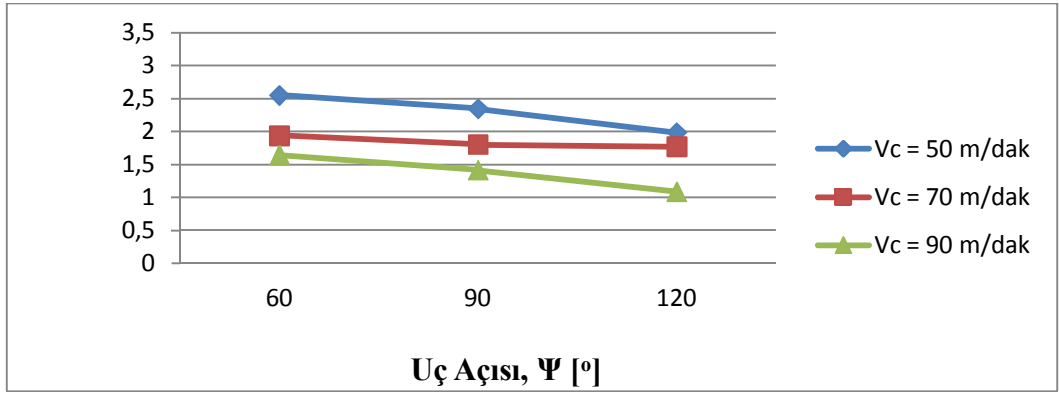


(c)

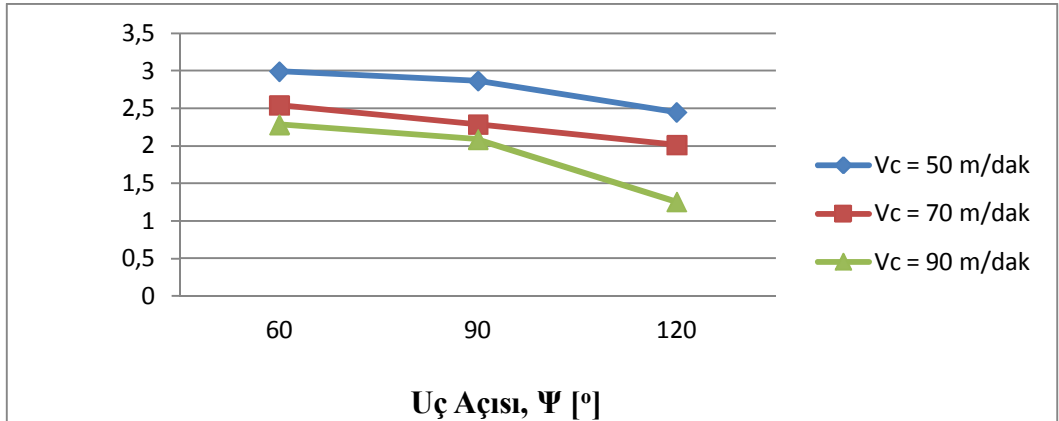
Şekil 4.11. Üç ağızlı takımında yüzey pürüzlülüğü - uç açısı kıyaslama grafikleri
a) $f = 0.2$ mm/dev, b) $f = 0.3$ mm/dev, c) $f = 0.4$ mm/dev için.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.12. Dört ağızlı takımda Yüzey Pürüzlülüğü - uç açısı kıyaslama grafikleri
a) $f = 0.2$ mm/dev, b) $f = 0.3$ mm/dev, c) $f = 0.4$ mm/dev için.

Şekil 4.10'da iki ağızlı atkımda uç açısı arttıkça yüzey pürüzlülüğü değeri düşmektedir fakat çok ani düşüşler gözlenmemektedir. Yüzey pürüzlülüğü değerleri yine kesme hızına bağlı olarak 90 m/dak kesme hızında en düşük değerleri vermektedir. 70 ve 50 m/dak kesme hızlarında 90 m/dak kesme hızına oranla yüzey pürüzlülüğü değerleri daha yüksek değerler vermektedir.

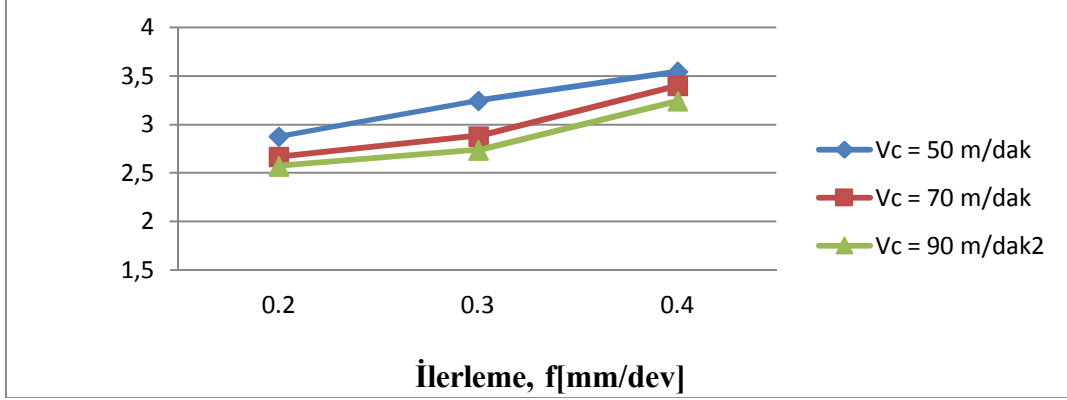
Şekil 4.10'da iki ağızlı takımda 0,4 mm/dev ilerleme ve 90 m/dak kesme hızında yüzey pürüzlülüğü değeri diğer parametrelere göre daha düşük çıktığı gözlenmektedir. Bu durum diğer sonuçları etkileyecek olumsuz bir sonuç ortaya koymamaktadır.

Şekil 4.11'de üç ağızlı takımda iki ağızlı takıma kıyasla daha düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri gözlenirse de uç açısı arttıkça yüzey pürüzlülüğü değerlerinin düştüğünü rahatlıkla söyleyebiliriz.

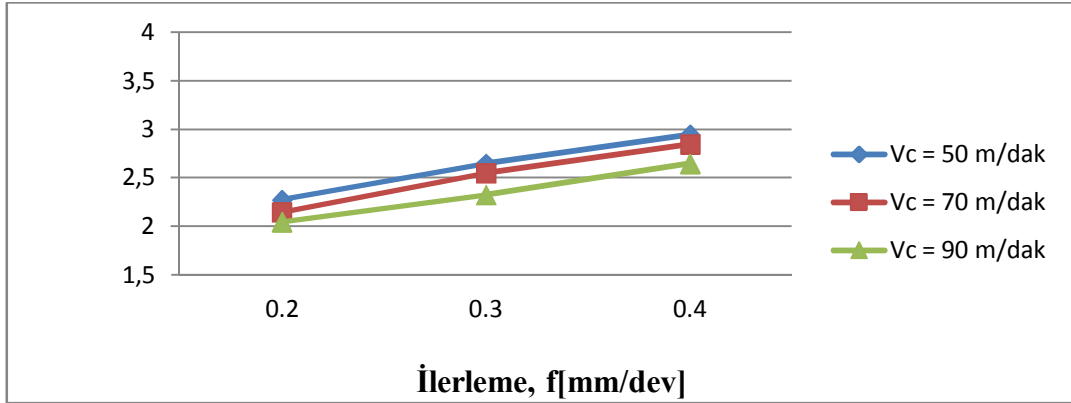
Şekil 4.12'de dört ağızlı takımda iki ve üç ağızlı takımlara kıyasla pürüzlülük değerleri en düşük değerlerinde olduğu gözlenirken düşük ilerleme ve yüksek kesme hızına bağlı olarak uç açısı değerleri yükseldikçe pürüzlülüğü değerlerinin düştüğü gözlenmektedir. 0.4 mm/dev ilerleme değerinde 90° uç açısından 120° uç açılı takıma geçildiğinde yüzey pürüzlülüğü değerinden daha ani düşüşler görülmektedir.

Şekil 4.12'de dört ağızlı takım 0,4 mm/dev ilerleme 90 m/dak kesme hızı 120° uç açıda 90° uç açısına kıyasla pürüzlülük değeri diğer parametrelerin pürüzlülük değerlerinin düşme eğiminden daha farklı bir düşüş gözlenmektedir fakat bu durum diğer sonuçları etkileyecek durum ortaya koymamaktadır.

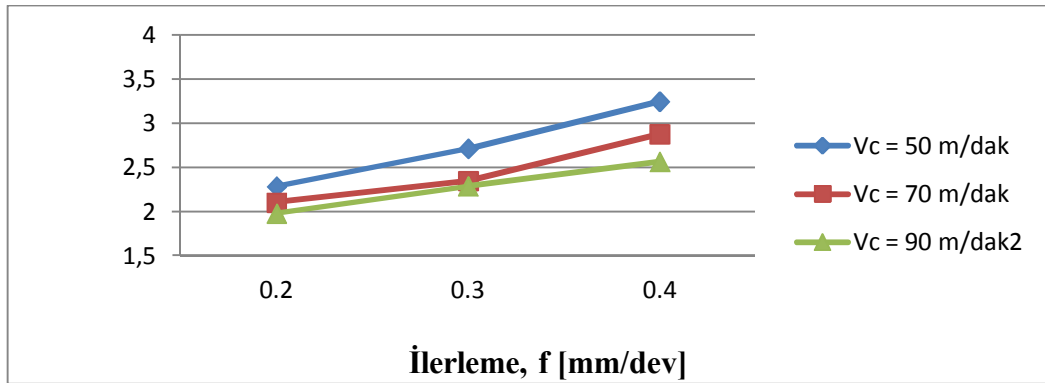
4.5. Çift Atlamalı (Twill) Kompozit İçin Yüzey Pürüzlülüğü - İlerleme Kıyaslama Grafikleri.



(a)

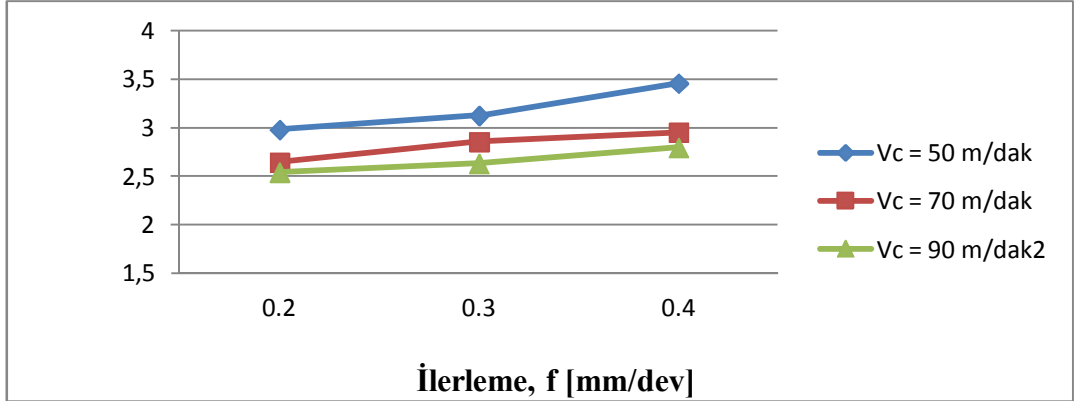


(b)

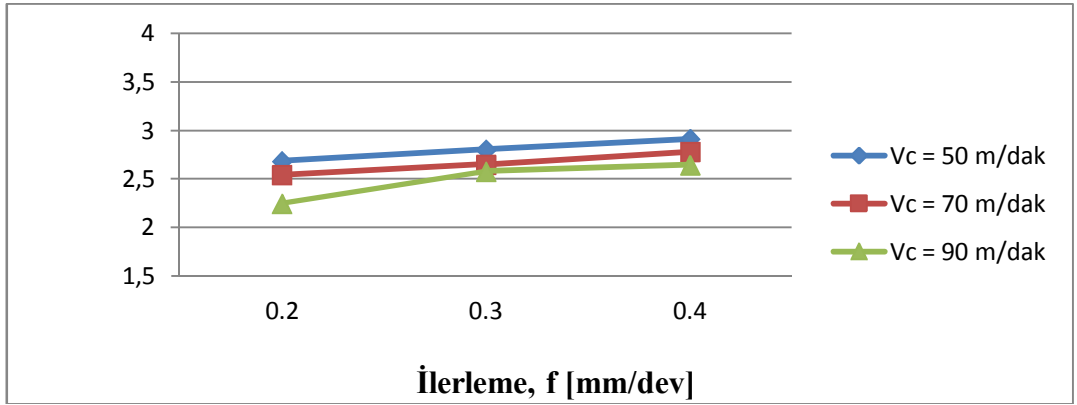


(c)

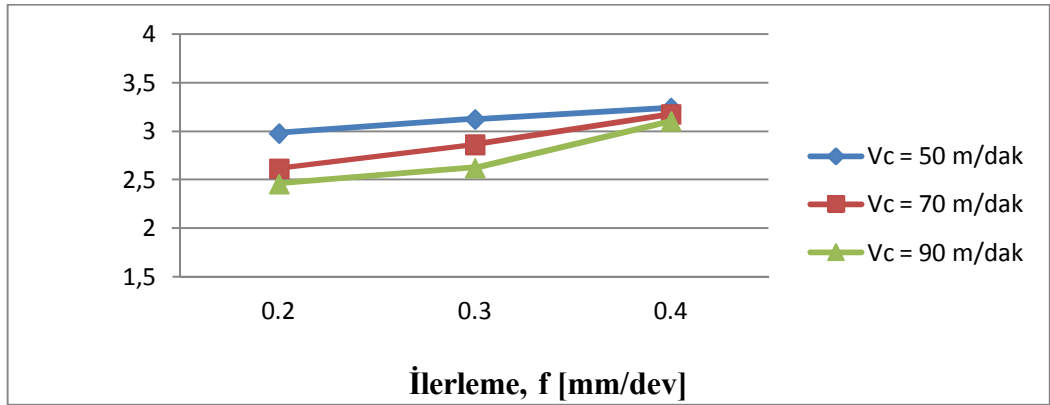
Şekil 4.13. İki ağızlı takımında yüzey pürüzlülüğü - ilerleme kıyaslama grafikleri
a) $\Psi = 60^\circ$, b) $\Psi = 90^\circ$, c) $\Psi = 120^\circ$ için.



(a)

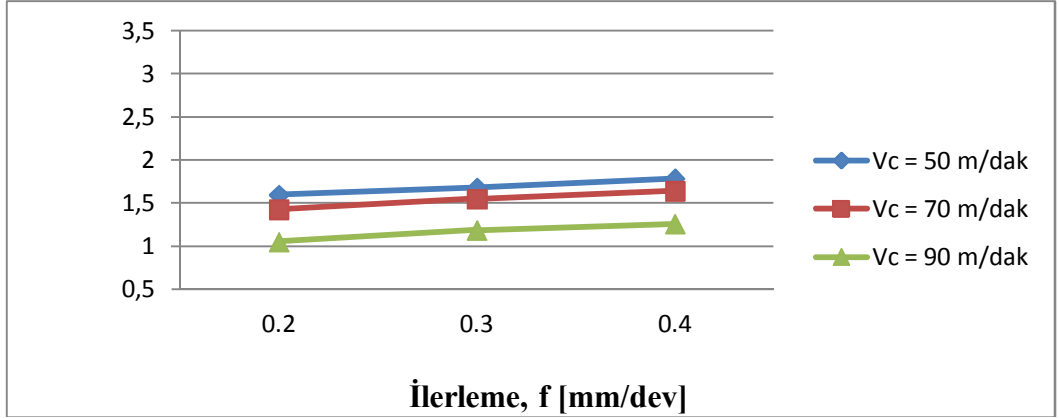


(b)

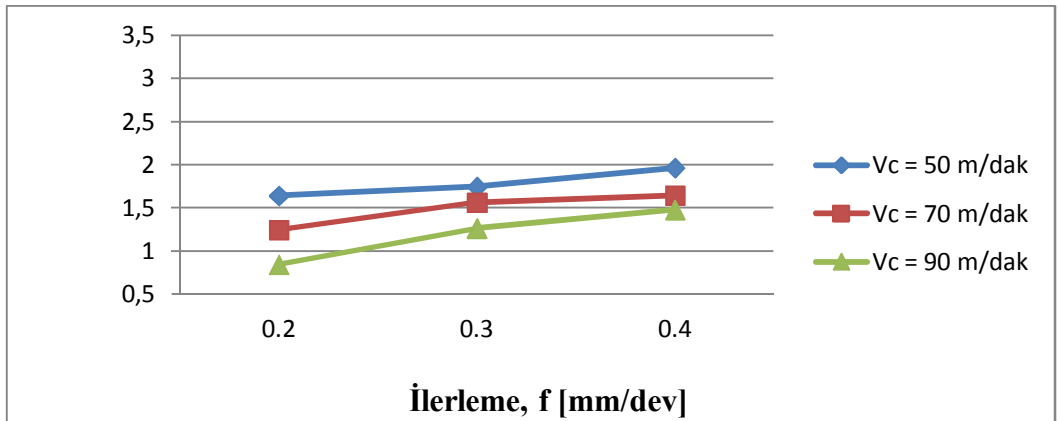


(c)

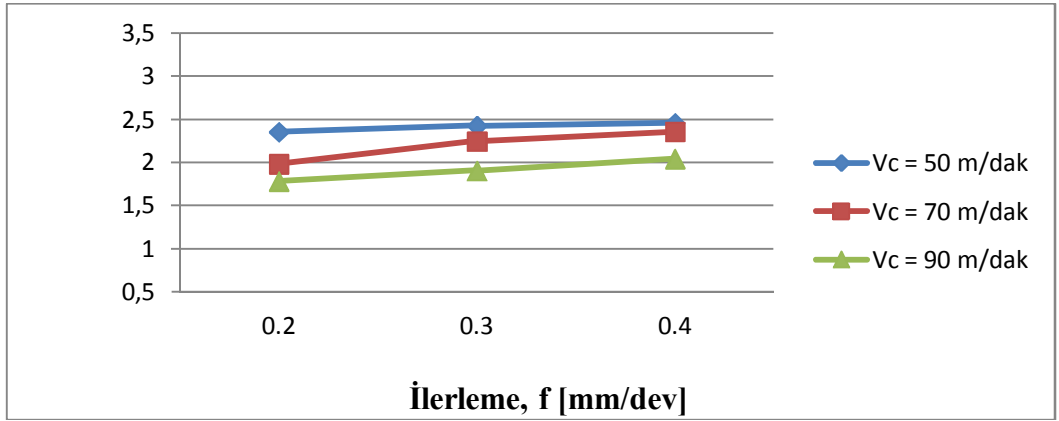
Şekil 4.14. Üç ağızlı takımında yüzey pürüzlülüğü - ilerleme kıyaslama grafikleri
a) $\Psi = 60^\circ$, b) $\Psi = 90^\circ$, c) $\Psi = 120^\circ$ için.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.15. Dört ağızlı takımında yüzey pürüzlülüğü - ilerleme kıyaslama grafikleri
a) $\Psi = 60^\circ$ b) $\Psi = 90^\circ$ c) $\Psi = 120^\circ$ için.

Şekil 4.13'de iki ağızlı takımında ilerleme değeri arttıkça yüzey pürüzlülüğü değerleri yükselmektedir ve en iyi sonuçlar 0,2 mm/dev değerlerinde elde edilirken kesme hızına bağlı artışlarda ise düşük ilerlemelerde düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmektedir. Yüzey pürüzlülüğündeki artışlar tüm takım geometrilerinde

ilerleme arttıkça yüzey pürüzlülüğünde artış şeklinde olmakta fakat artışlar ani artış şeklinde olmamaktadır.

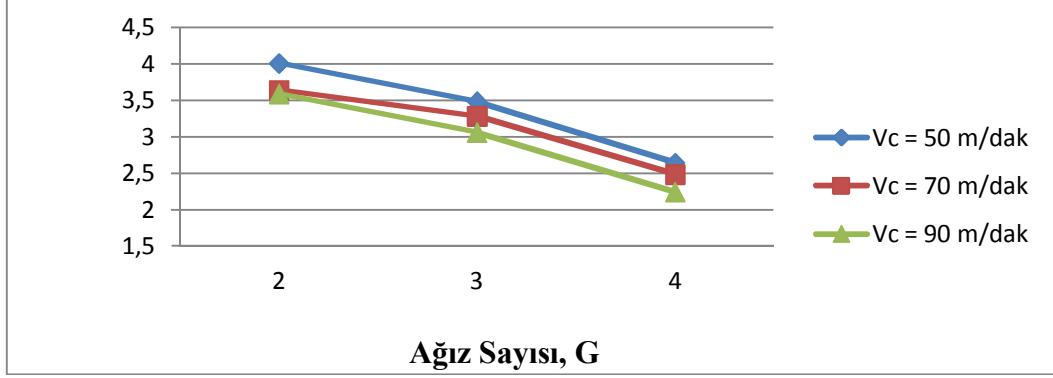
Şekil 4.13'de iki ağızlı takım 120° uç açıda 90 m/dak 0,4 mm/dev ilerleme değerinde yüzey pürüzlülüğü çok az bir değerde daha yüksek çıkmaktadır bu durumun ilerleme değerinin diğerlerine göre daha yüksek olmasından kaynaklandığı görülmektedir.

Şekil 4.14'de üç ağızlı takımda iki ağızlı takıma kıyasla yüzey pürüzlülüğünde çok küçük düşüşler gözlene de ilerlemenin düşük değerlerde tutulması durumunda yüzey pürüzlülüğü değerleri de düşük çıkar gerçeğinde bir değişiklik gözlenmemektedir. 120° uç açılı takımda ilerleme değerinde 0.3 mm/dev den 0.4 mm/dev ilerlemeye geçildiğinde yüzey pürüzlülüğü değeri daha ani yükselmektedir.

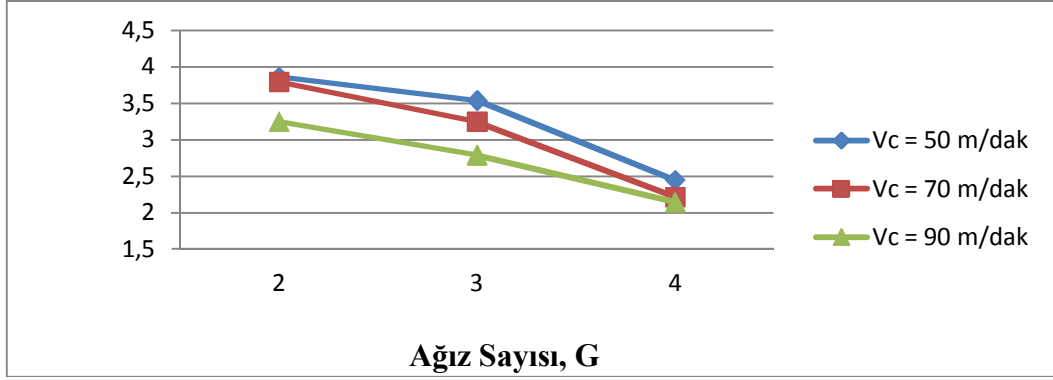
Şekil 4.15'de dört ağızlı takımda ise iki ve üç ağızlı takıma kıyasla yüzey pürüzlülüğünde çok küçük miktarda azalma yaşansa da 90° uç açılı takımda 0.3 mm/dev ile 0.4 mm/dev arasında hızlı bir artış gözlenmektedir ama bu durum bile genel sonuç olan düşük ilerleme yüksek kesme hızı gerçeğini değiştirmemektedir.

Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15 incelendiği zaman tek atlamalı (plain) polimer kompozitlerde ortaya çıkan sonuçlardaki kesme hızı arttıkça düşük ilerleme değerlerinde yüzey pürüzlülük değerlerinin de düşük çıktığı sonucuna paralel sonuçlar görülmektedir. Çift atlamalı (twill) KETP malzemelerde kesme hızını düşürdüğümüzde ilerleme değerlerini de arttırdığımızda yüzey pürüzlülüğü değerleri hızla yükselmektedir.

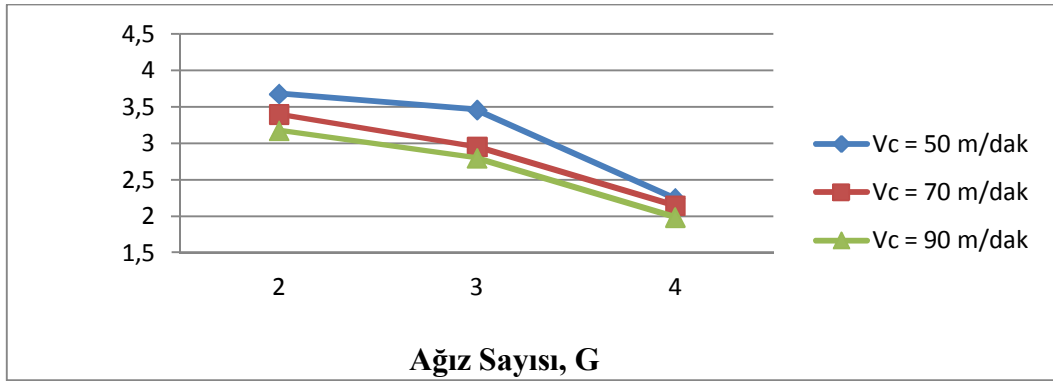
4.6. Çift Atlamalı (Twill) Kompozit İçin Yüzey Pürüzlülüğü (Ra) - Ağız Sayısı (G) Kıyaslama Grafikleri.



(a)

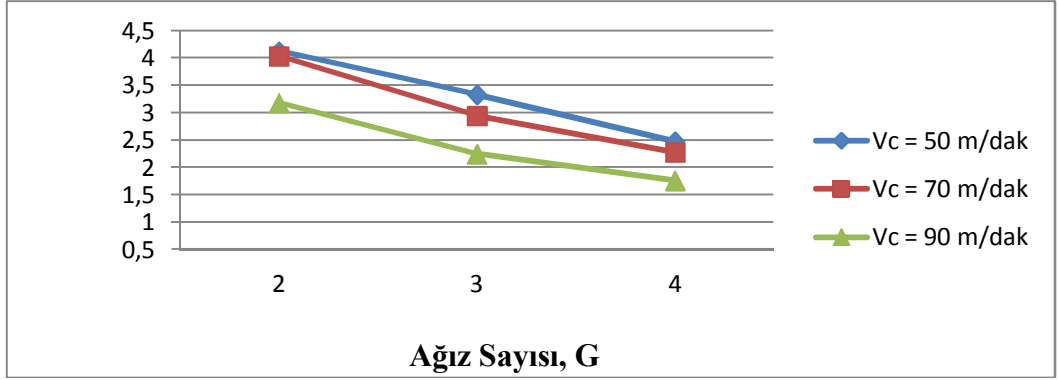


(b)

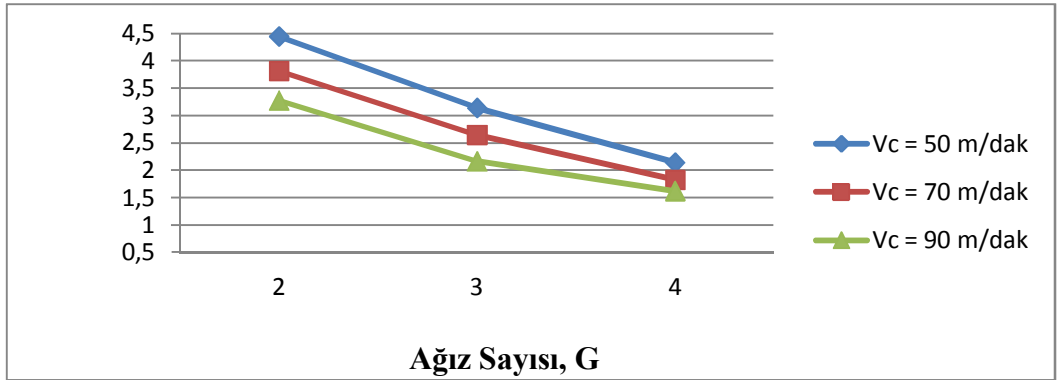


(c)

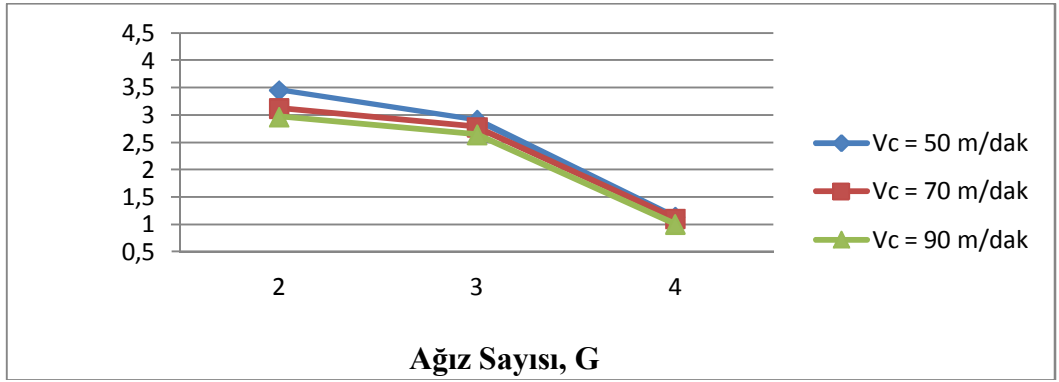
Şekil 4.16. 60° uç açılı takımında yüzey pürüzlülüğü - ağız sayısı kıyaslama grafikleri
a) $f = 0.2$ mm/dev, b) $f = 0.3$ mm/dev, c) $f = 0.4$ mm/dev için.



(a)

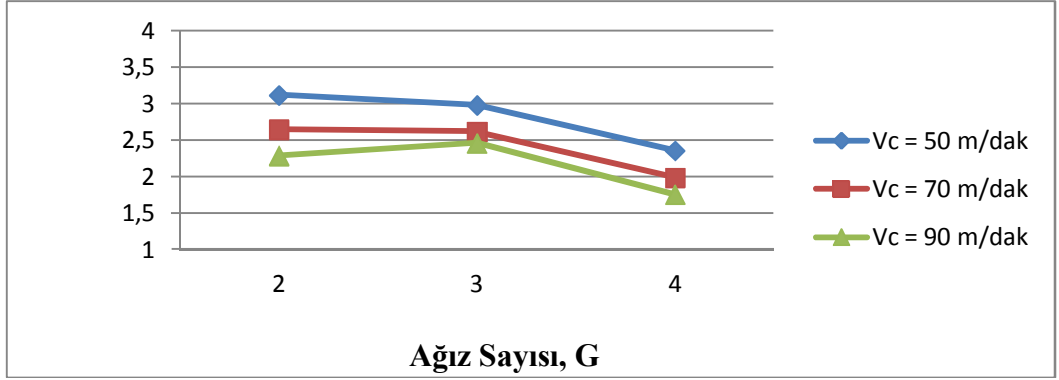


(b)

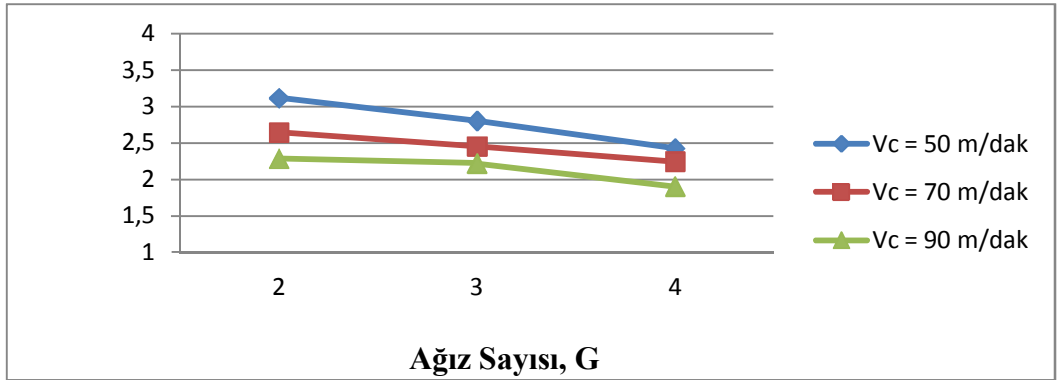


(c)

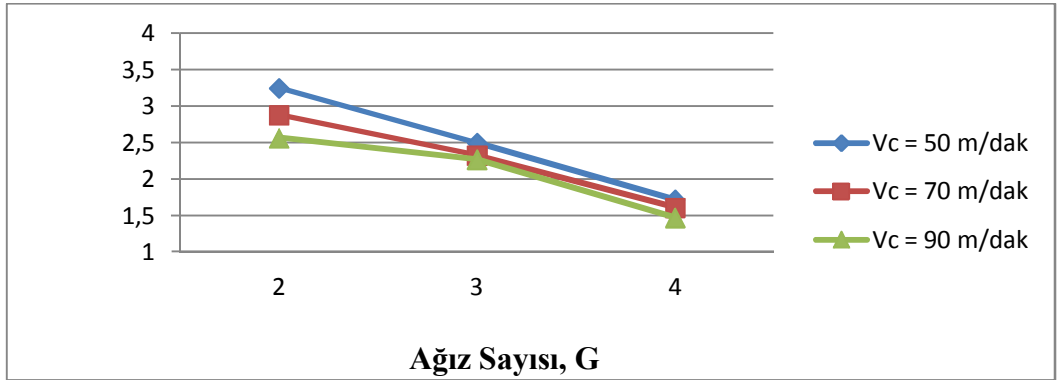
Şekil 4.17. 90° uç açılı takımında yüzey pürüzlülüğü - ağız sayısı kıyaslama grafikleri
a) $f = 0.2$ mm/dev, b) $f = 0.3$ mm/dev, c) $f = 0.4$ mm/dev için.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.18. 120° uç açılı takımda yüzey pürüzlülüğü - ağız sayısı kıyaslama grafikleri
a) $f = 0.2$ mm/dev, b) $f = 0.3$ mm/dev, c) $f = 0.4$ mm/dev için.

Şekil 4.16'da 60° uç açılı takımda iki ağızlı takımda dört ağızlı takıma oranla daha yüksek pürüzlülük değerleri elde edildiği görülmektedir. 60° uç açılı takımda kesme hızı düşük değerlerde olursa pürüzlülük değeri yükselmektedir. Ayrıca kesme hızını arttırdığımızda ağız sayısı arttıkça daha düşük pürüzlülük değerleri elde edilmektedir. Ağız sayısının artışıyla tüm ilerleme değerlerinde yüzey pürüzlülüğü

değeri düşmektedir. yine tüm ilerleme değerlerinde 3 ağızlı takımdan 4 ağızlı takıma geçildiğinde yüzey pürüzlülüğü değerlerinde ani düşüşler görülmektedir.

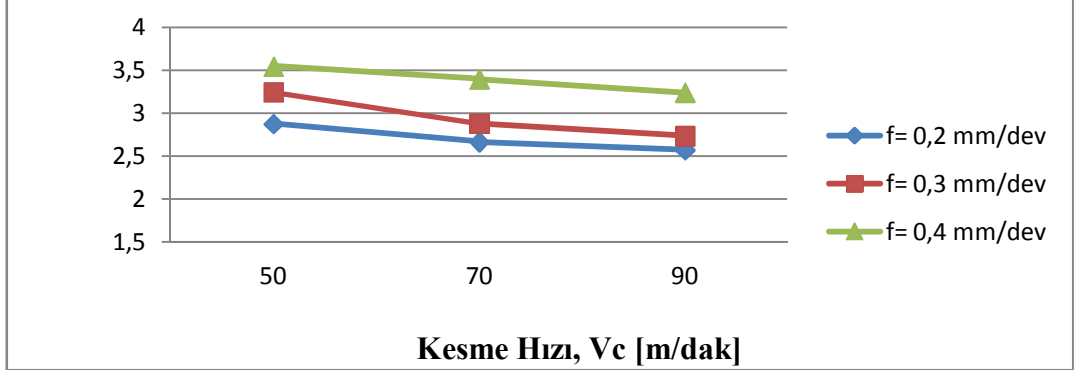
Şekil 4.17'de 90° uç açılı takımda ağız sayısı ile yüzey pürüzlülüğü ters orantılı bir grafik göstermektedir. Ağız sayısı arttıkça yüzey pürüzlülüğü değeri azalmaktadır. İlerleme değeri arttıkça ağız sayısına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değerlerinde düşüşler göze çarpmaktadır. 0.4 mm/dev ilerlemede 3 ağızlı takımdan 4 ağızlı takıma geçildiğinde yüzey pürüzlülüğü çok ani bir şekilde düşmektedir ve en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri burada görülmektedir.

Şekil 4.17'de 60° uç açılı takımda 0,4 mm/dev ilerleme değerlerinde üç ağız sayısından 4 ağız sayısına geçişte yüzey pürüzlülük değeri ani düşüş göstermektedir. bu durum yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçümü esnasında cihazın iğne ucunun delik içerisinde reçinelere denk gelmesiyle alakalı olduğu bilinmektedir. Bu durum deneylerimizdeki diğer parametrelerde çıkan sonuçları olumsuz etkilememektedir.

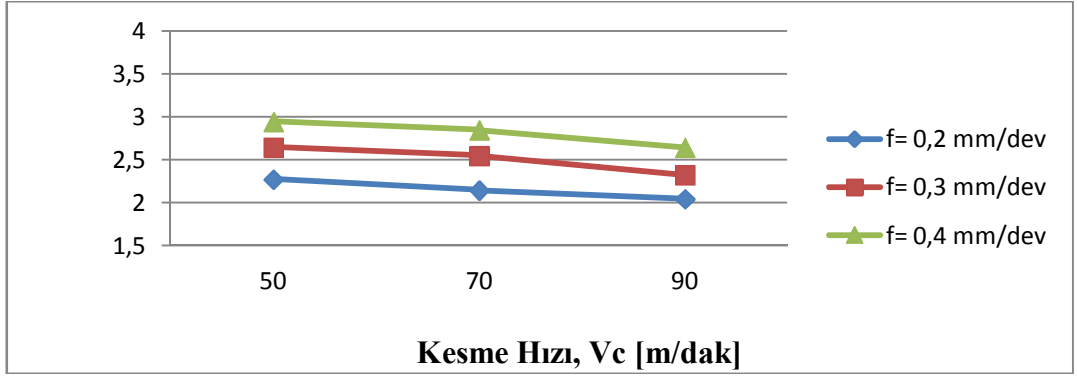
Şekil 4.18'de 120° uç açılı takımda ise 60° ve 90° uç açılı takımlara kıyasla ağız sayısının artışına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değerlerinde düşüşler olsa da daha az değerlerde görüldüğü göze çarpmaktadır. 0.2 mm/dev ilerlemede 3 ağızlı takımdan 4 ağızlı takıma geçildiğinde yüzey pürüzlülüğü değerinde ani düşüş görülmektedir.

Şekil 4.16, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'deki sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda 60° ve 90° uç açılı takımlarda ağız sayısı arttıkça yüzey pürüzlülüğü değeri hızla azalırken 120° uç açılı takımlarda bu durum biraz daha az eğimli olup zaten daha düşük değerlerde gözlenmektedir.

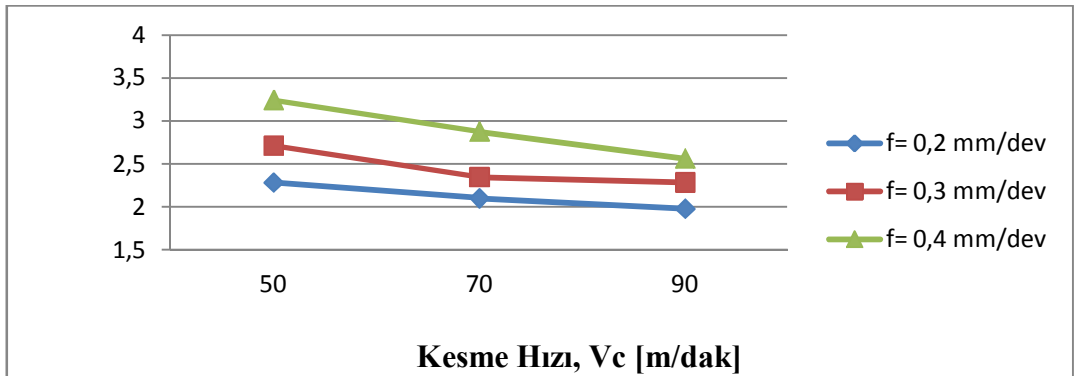
4.7. Çift Atlamalı (Twill) Kompozit İçin Yüzey Pürüzlülüğü - Kesme Hızı Kıyaslama Grafikleri.



(a)

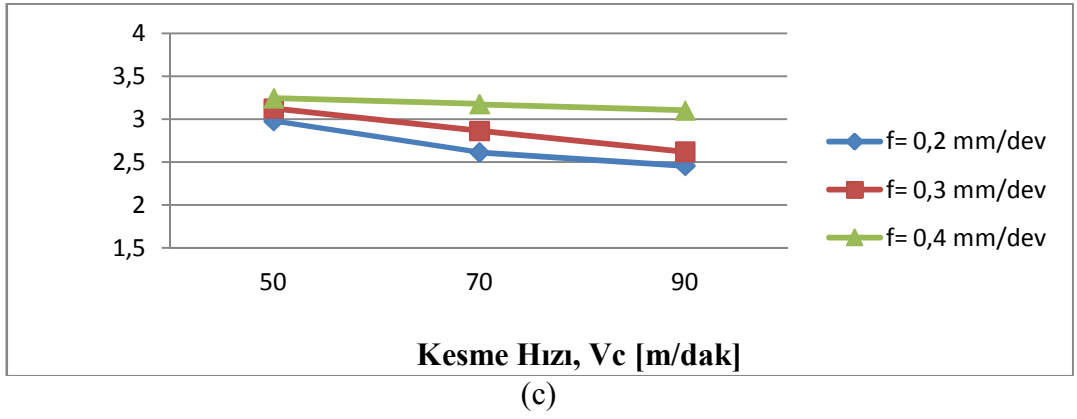
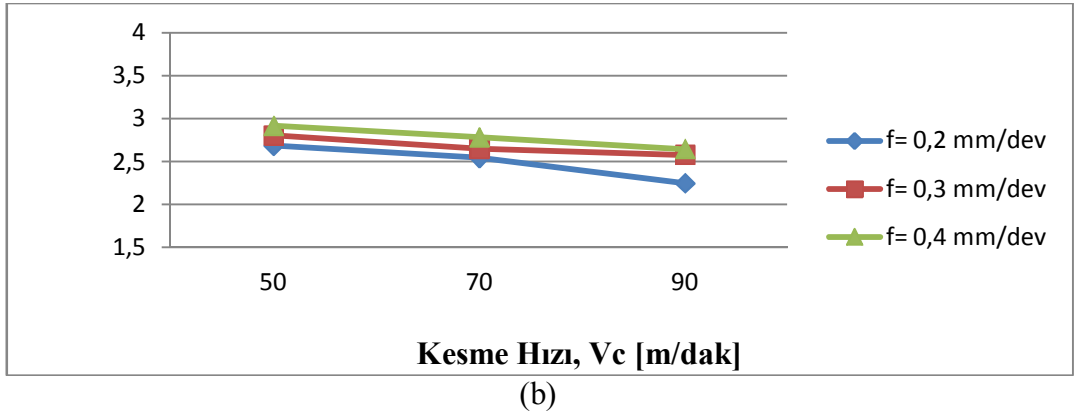
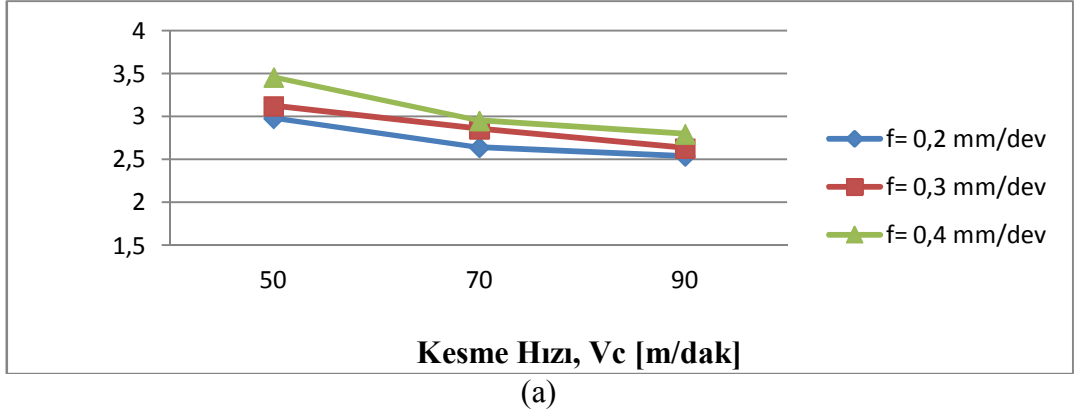


(b)

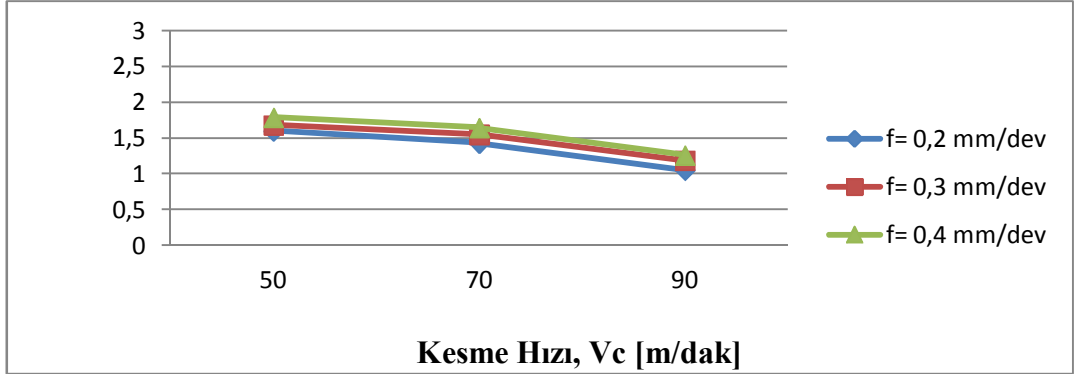


(c)

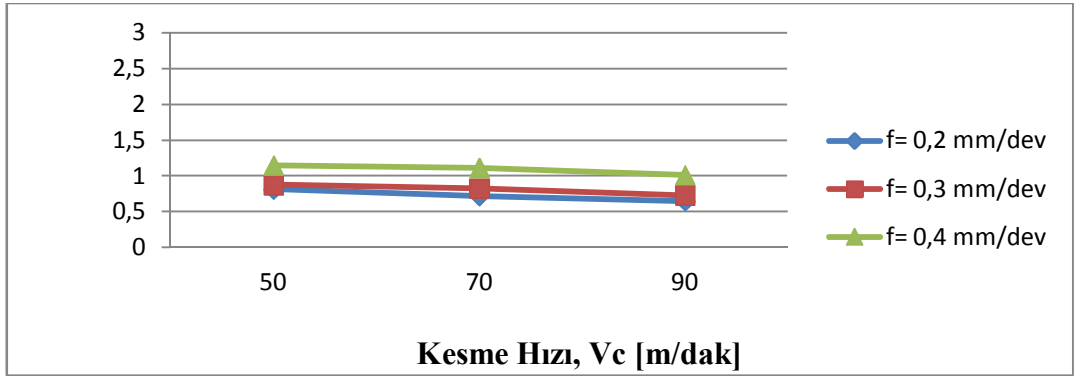
Şekil 4.19. İki ağızlı takımında yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı kıyaslama grafikleri
a) $\Psi = 60^\circ$, b) $\Psi = 90^\circ$, c) $\Psi = 120^\circ$ için.



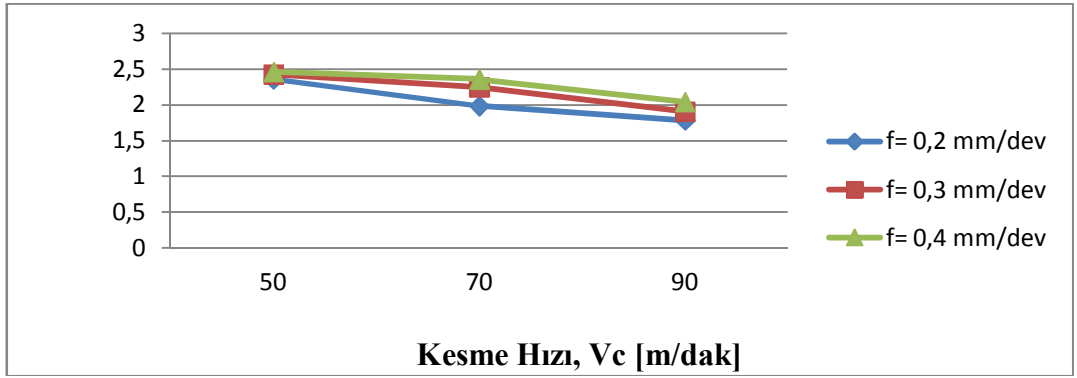
Şekil 4.20. Üç ağızlı takımda yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı kıyaslama grafikleri
a) $\Psi = 60^\circ$, b) $\Psi = 90^\circ$, c) $\Psi = 120^\circ$ için.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.21. Dört ağızlı takımında yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı kıyaslama grafikleri a) $\Psi = 60^\circ$, b) $\Psi = 90^\circ$, c) $\Psi = 120^\circ$ için.

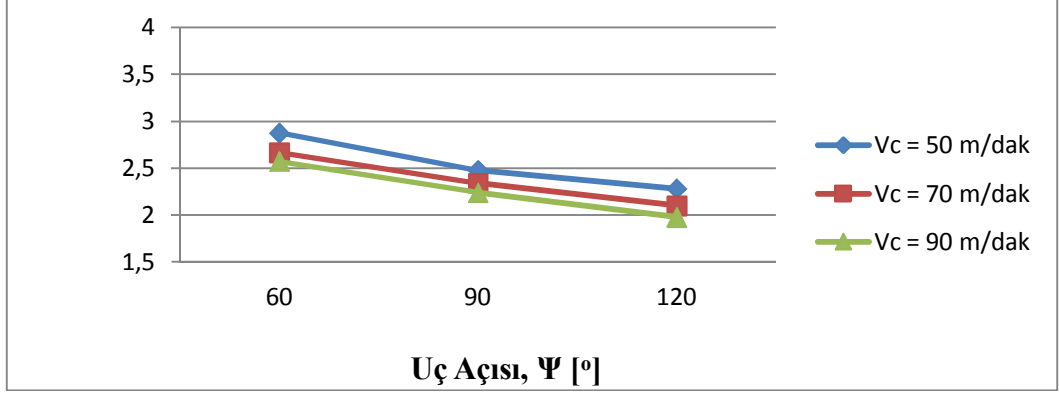
Şekil 4.19'da iki ağızlı takımında kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğü değeri düşmektedir. 50 m/dak kesme hızında 70 ve 90 m/dak kesme hızlarına oranla yüksek yüzey pürüzlülük değerleri ortaya çıkmaktadır. Kesme hızlarını arttırdıkça yüzey pürüzlülüğü değerlerinin de düştüğü gerçeği bir kere daha ortaya çıkmaktadır. Yalnız uç açılarını artışında ise bu oran kadar olmasa da küçük oranlarda düşmeler gözlenebilmektedir.

Şekil 4.20'de üç ağızlı takımda ise 60° uç açılı takımda 90° ve 120° ye oranla daha yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri olsa da kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğü değeri de azalır gerçeğinde bir değişiklik olmamaktadır. Kesme hızının artışına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değerleri düşmektedir fakat çok ani düşüşler gözlenmemektedir.

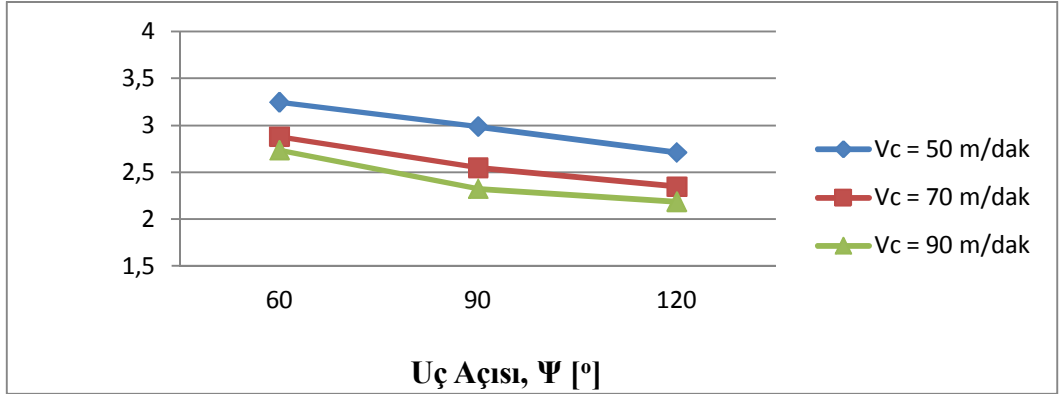
Şekil 4.21'de dört ağızlı takımda ise 90° uç açılı takımda 60° ve 120° ye oranla daha düşük yüzey pürüzlülüğü değeri tespit edilse de gerek 60° uç açılı takımda gerekse de 90° ve 120° uç açılı takımda kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğü değerleri düşmektedir. Kesme hızının artmasına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değerlerinde düşüşler görülmekte fakat çok ani düşüşler gözlenmemektedir.

Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'deki sonuçlar göz önünde tutulduğunda ise Kesme hızı ağız sayısı 2, 3 ve 4 ağızlı takımlarda düşük ilerlemede yüksek kesme hızında düşük pürüzlülük vermektedir.

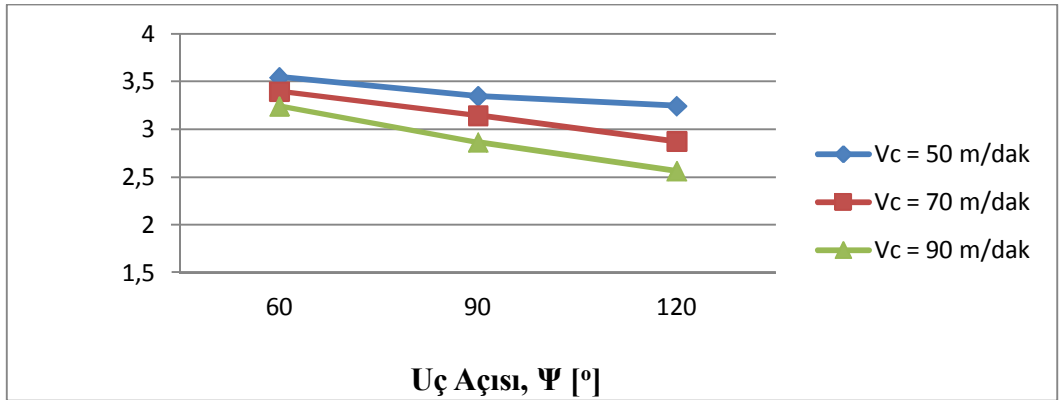
4.8. Çift Atlamalı (Twill) Kompozit İçin Yüzey Pürüzlülüğü - Uç Açısı Kıyaslama Grafikleri.



(a)

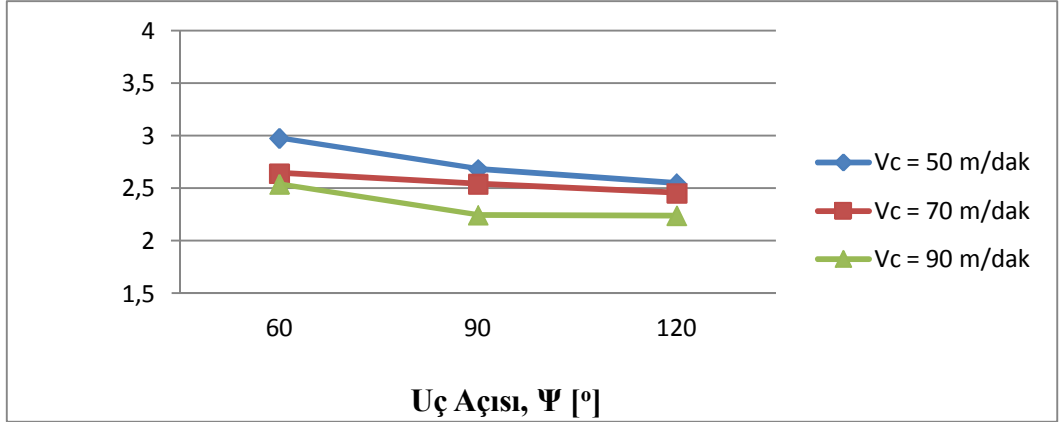


(b)

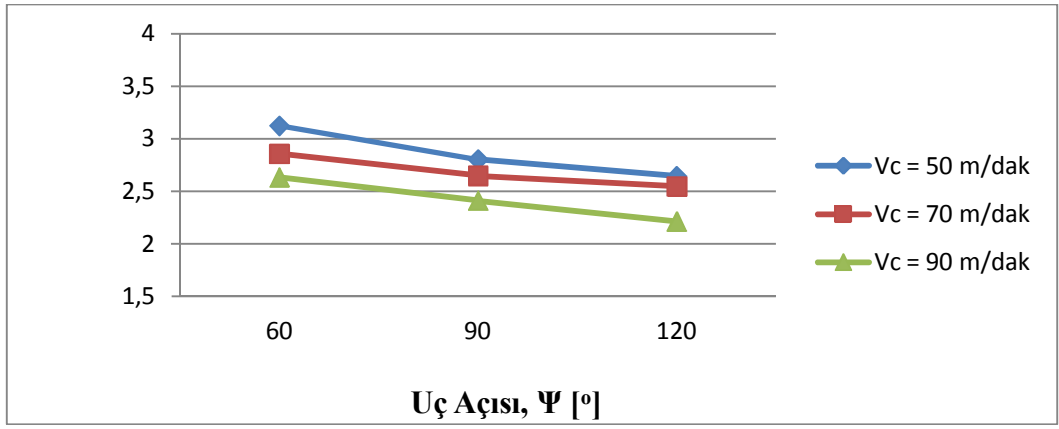


(c)

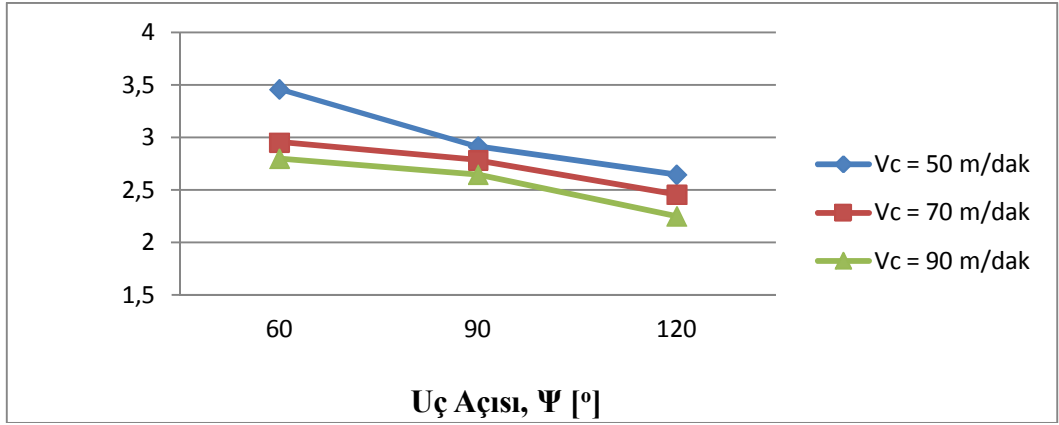
Şekil 4.22. İki ağızlı takımında yüzey pürüzlülüğü - uç açısı kıyaslama grafikleri
a) $f = 0.2$ mm/dev, b) $f = 0.3$ mm/dev, c) $f = 0.4$ mm/dev için.



(a)

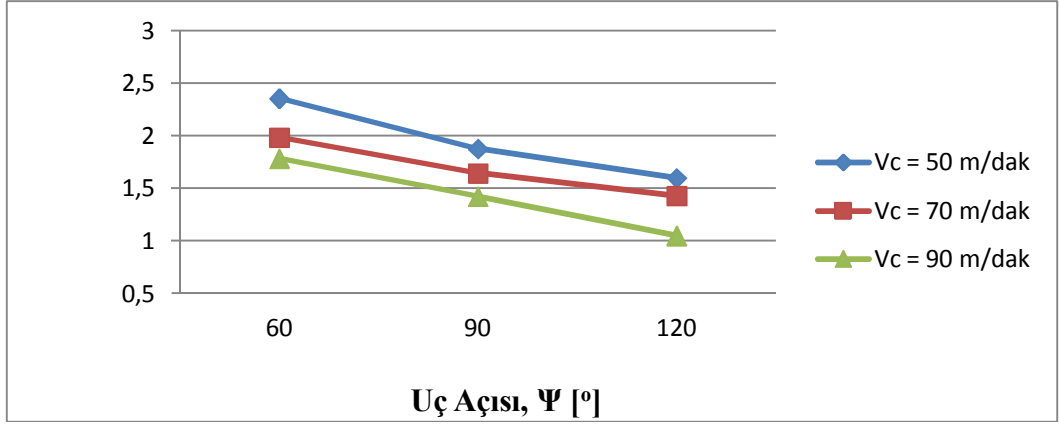


(b)

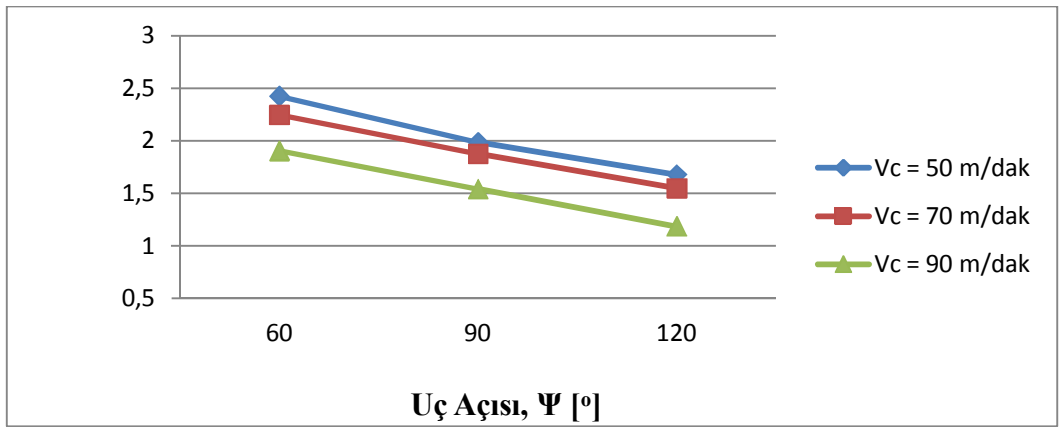


(c)

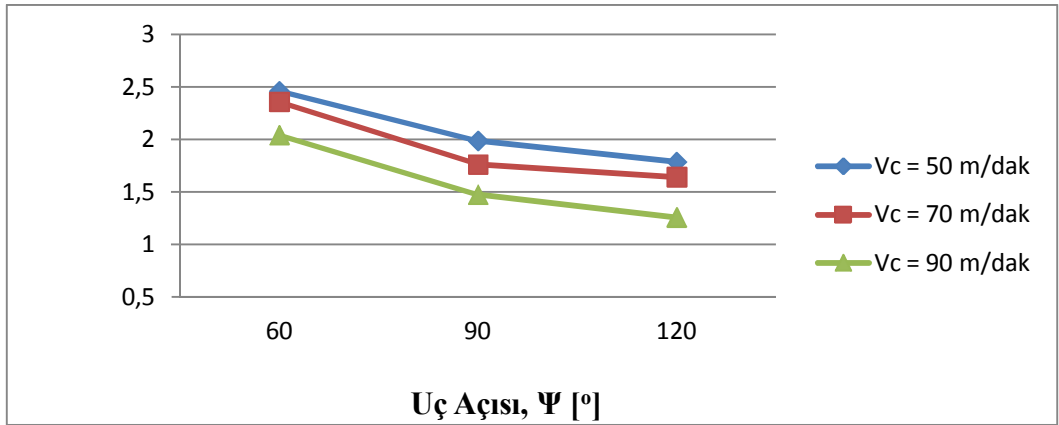
Şekil 4.23. Üç ağızlı takımda yüzey pürüzlülüğü - uç açısı kıyaslama grafikleri
 a) $f = 0.2$ mm/dev, b) $f = 0.3$ mm/dev, c) $f = 0.4$ mm/dev için.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.24. Dört ağızlı takımında Yüzey - uç açısı kıyaslama grafikleri
a) $f = 0.2$ mm/dev, b) $f = 0.3$ mm/dev, c) $f = 0.4$ mm/dev için.

Şekil 4.22'de iki ağızlı takımında uç açısı arttıkça yüzey pürüzlülüğü değeri de azalmaktadır yani ters orantılı bir grafik vermektedir. İlerleme değeri ile uç açısı arasında çok küçük değerlerde bir artış gözlenirse de bu durum önemli bir sonuç ortaya çıkarmamaktadır ama ilerleme değerleri ile uç açıları arasında uç açısı arttıkça

yüzey pürüzlülüğü değerleri de düşmektedir. 60° uç açılı takımından 90° uç açılı takıma geçildiğinde yüzey pürüzlülüğünde ani düşüş görülmektedir.

Şekil 4.23'de üç ağızlı takımda ise uç açısı arttıkça yüzey pürüzlülüğü değerleri düşmektedir hatta iki ağızlı takıma kıyasla daha düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri sonucu ortaya çıkmaktadır. Yalnız ilerleme ve uç açısı arasındaki kıyasa baktığımız zaman önemli değerlerde sayılamayacak artışlar gözlenmektedir.

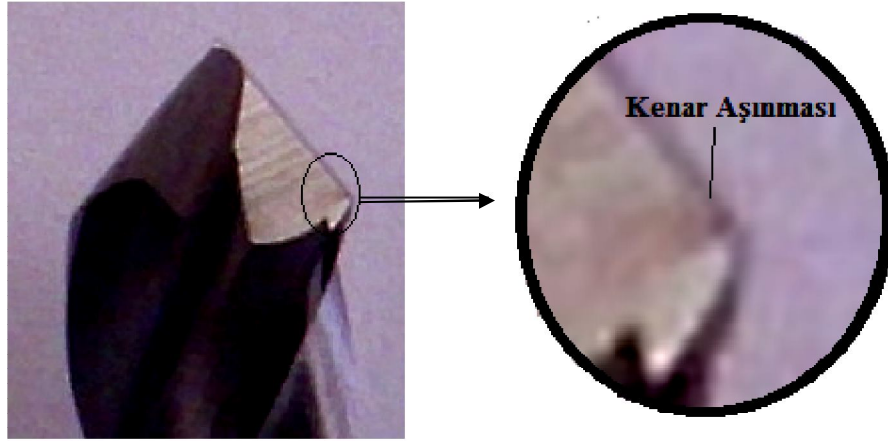
Şekil 4.24'de dört ağızlı takımda ise iki ve üç ağızlı takımlara kıyasla 60° uç açılı takımda daha düşük pürüzlülük değeri olmaktadır. 90° ve 120° uç açılı takımlarda bu değerler iyice düşmekte olup iki ve üç ağızlı takımlara oranla daha düşük pürüzlülük değerleri gözlenmektedir. 0.4 mm/dev ilerlemede uç açısı 60° den 90° ye çıkarıldığında yüzey pürüzlülüğü değerinde ani düşüş görülmektedir.

Şekil 4.24, Şekil 4.23 ve Şekil 4.22'deki sonuçlar incelendiğinde 2, 3 ve 4 ağızlı takımlarda uç açısı arttıkça yüzey pürüzlülüğü düşmektedir en düşük değerlere ise 120° uç açılı takımlarda 0.2 mm/dev ilerleme değerlerinde rastlanmaktadır.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

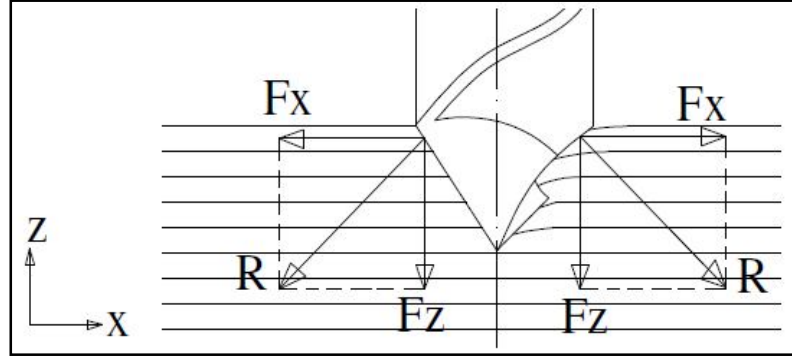
Karbonelyaf takviyeli plastik kompozitlerin delinmesi işleminde karbon oranının yüksek olması (% 95 oranında karbon) sebebi ile etken talaş davranışını karbon yönlendirmiştir. Reçinenin etkisi yok denebilecek kadar azdır. Karbon iş parçası yüzeyi ile takım arasında gelmesi sonucunda kesici takımlarda kenar aşınmaları oluşmuştur. Kenar aşınması Şekil 5.1’de görülmektedir.



Şekil 5.1. Kesici takımda oluşan kenar aşınması.

Deneysel sonuçların daha iyi elde edilebilmesi için her dokuz deneyde bir takımların değiştirilmelerinden dolayı çok ciddi aşınma kayıpları gözlenmemiştir. Deneyler yapılırken Karbür kaplamalı parmak frezelerimizin uç açılarını uygun geometrilerde bilemiştik. Delme esnasında kesici takım ile KETP plaka arasında bazı kuvvetler oluşmuştur kesici takımın iş parçasına uyguladığı kuvvetlerin yatay ve dikey bileşenleri Şekil.5.2'de gösterilmiştir. Kesici takım elyafları koparmaya zorlamış ve özellikle delik içerisinde yüzey hasarları oluşturmuştur.

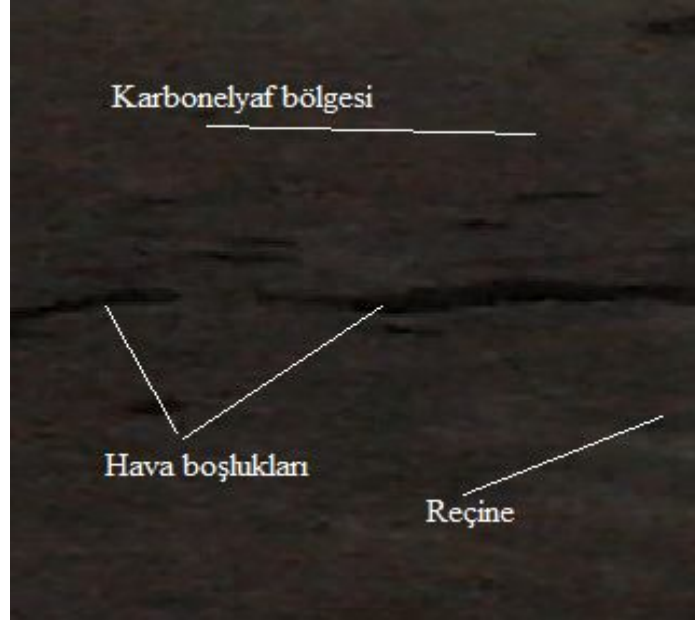
Delik iç bölgesi için ilerlemenin artması ile yüzey pürüzlülüğü arttığı görülmüştür. Karbonelyaf'ın delinmesinde karbonun aşındırıcı ve kırılğan bir yapıya sahip olmasından dolayı sürekli talaş oluşumu görülmez. Delme sırasında bir ağıza karşılık gelen talaş kaldırma kuvvetlerinin bileşenleri, yani ilerleme kesme kuvveti (F_z), radyal kesme kuvveti (F_x) ve bileşke kuvvet (R) Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Delme esnasında oluşan kesme kuvvetleri.

İlerlemenin artması ile ilerleme kesme kuvveti (F_z) daha etkin bir kuvvet olur. Elyaflar X eksenine doğru hareket edemeden içeri bükülür. Malzeme Z eksenine doğru helis kanallarına alınır ve dışarı atılır. Sonuç olarak delik iç bölgelerinin temiz ve yüzey pürüzlülüğünün düşük olması istenirse deliklerin düşük ilerleme değerleri ile delinmesi önerilmektedir.

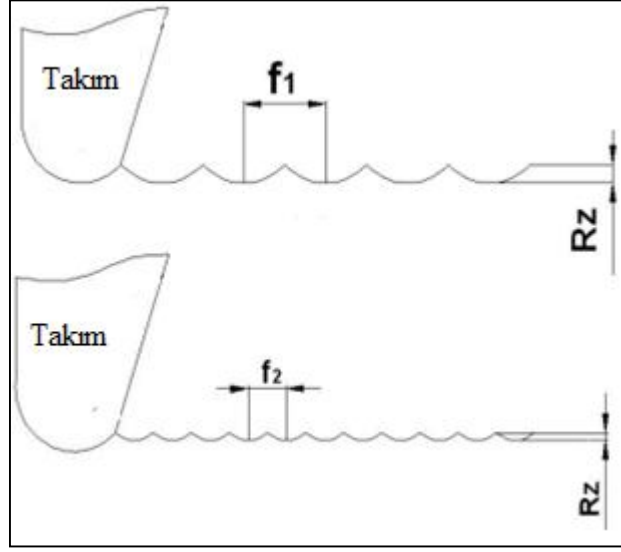
Yüzey pürüzlülüğü ölçülürken, malzeme kusuru olarak kabul ettiğimiz hava boşluklarına dikkat edilerek ölçümler yapılmıştır. Zira yüzey pürüzlülük ölçüm cihazının ucunun bu bölgelere denk gelmesi yanlış değerlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Diğer bir önemli husus yine Şekil 5.3'de gösterilen elyaf ve matris (reçine) bölgeleridir. Reçine yapı olarak homojen bir malzemedir. Matris elamanın bulunduğu bölgeler daha pürüzsüz yüzey sağlarken, elyaf bölgeleri daha pürüzlü bir yüzey meydana getirmiştir. Ölçümler bu iki bölge dikkate alınarak her delik içinde üç ölçüm yapılarak gerçekleştirilmiş ve çıkan sonuçlar bu doğrultuda incelenmiştir. Şekil 5.3'de delik içinin yüzey fotoğrafı gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Delik için yüzey fotoğrafı.

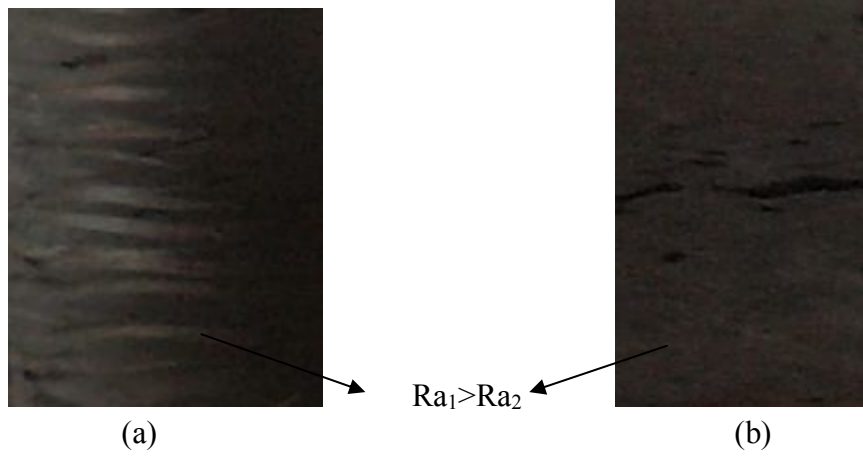
Deneysel sonuçlar bölümündeki grafiklerden yüzey pürüzlülüğüne en çok etkide bulunan kesme parametrelerinin sırasıyla ilerleme, kesme hızı ve ağız sayısı olduğunu, yüzey pürüzlülüğüne etki eden başlıca faktör olan ilerleme, metallerin işlenmesinde olduğu gibi artışıyla beraber pürüzlülük değeri artmış, ilerlemenin azalmasıyla birlikte pürüzlülük azalmıştır. Şekil 5.4'de kesici takımın işlenen yüzey üzerinde bıraktığı izler gösterilmiştir. Bu izlerin birbirine yakın olması durumunda Yüzey Pürüzlülüğü değeri düşük değerlerde gerçekleşmekte, uzak olması durumunda ise artış eğilimi göstermektedir. f_1 ilerlemesi büyük ilerlemeleri (0,3 ve 0,4 mm/dev), f_2 ilerlemesi ise küçük ilerlemeyi (0,2 mm/dev) simgelemektedir. $f_1 > f_2$ olduğundan f_1 ilerlemesindeki Rz değeri daha büyüktür. Azami yüzey pürüzlülüğü değerinin (Rz) artışı Ra'yı da arttırmaktadır.

KETP plakada delik delme esnasında ilerlemenin yüzey pürüzlülüğüne olan etkisini Şekil 5.4'de şematik olarak gösterilmiştir.



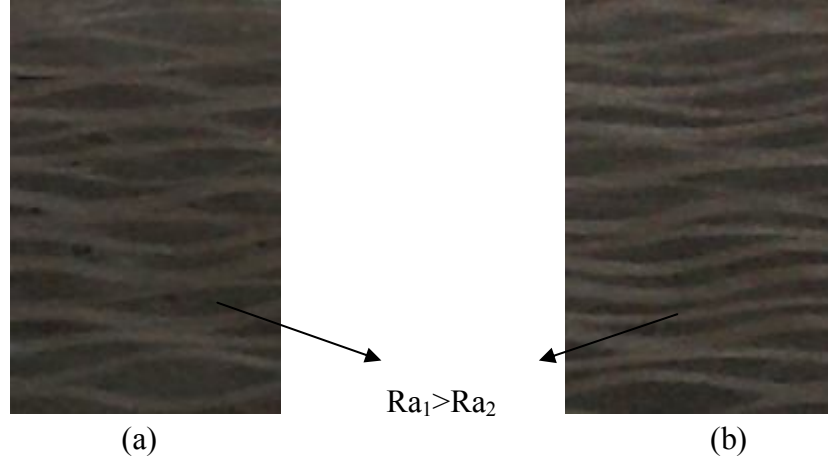
Şekil 5.4. İlerlemenin yüzey pürüzlülüğüne etkisi,

İlerlemenin artması ile ilerleme kesme kuvveti daha etkin bir kuvvet olur. Sonuç olarak delik içerisinde temiz ve az hasarlı olması istenen deliklerin yüksek ilerleme değerleri ile delinmesi önerilmektedir. İlerlemeye bağlı olarak delik içerisinde oluşan hasar Şekil 5.5’de görülmektedir.



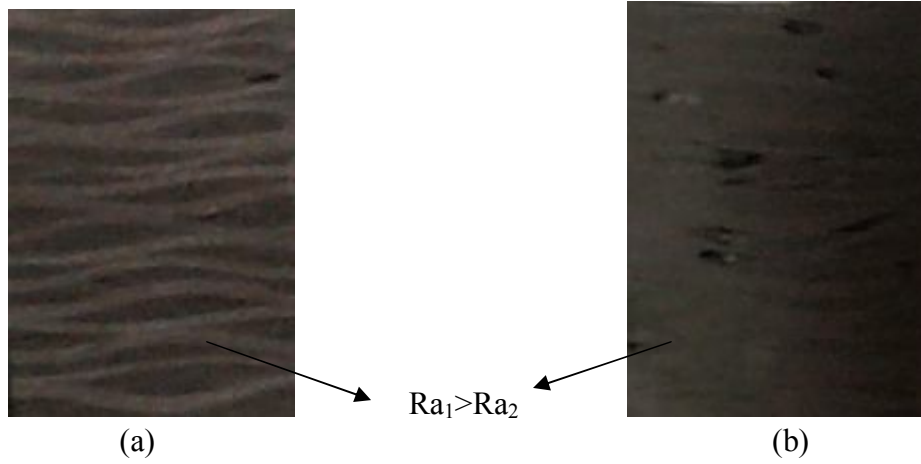
Şekil 5.5. 2 Ağızlı 60° uç açılı takımında farklı ilerleme değerlerinde delik içinde oluşan yüzey kalitesi a) 50 mm/dak, b) 70 mm/dak için.

Yapılan çalışmada ilerlemenin artması ile delik içerisinde oluşan pürüzlülük değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. Bu sonuç Enemuoh [5] ve Piquet [20] çalışmalarını paralellik göstermektedir.



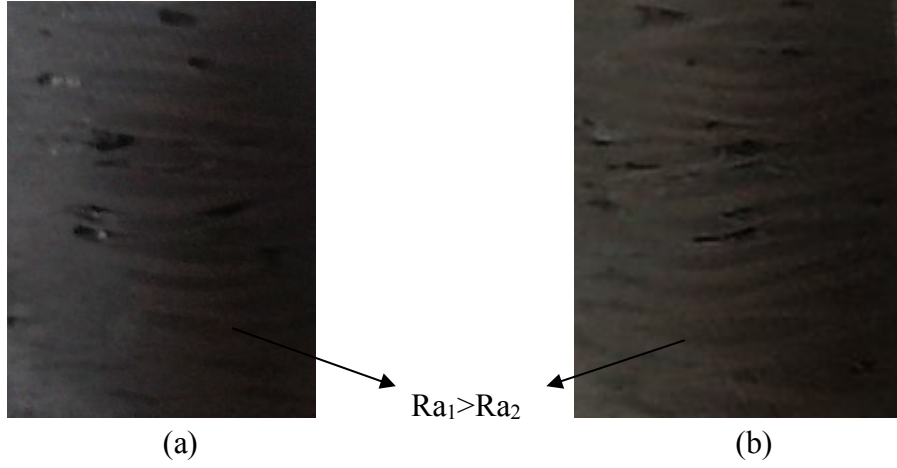
Şekil 5.6. 2 Ağızlı 60° uç açılı takımda farklı kesme hızı değerlerinde delik içerisinde oluşan yüzey kalitesi a) 50 m/dak, b) 90 m/dak için.

Kesme hızının artması ile iç bölgede yüzey pürüzlülüğünün azaldığı belirlenmiştir. Bu sonuç Santhanakrishman [4] ve Ramulu [4] çalışmaları ile paralellik göstermektedir.



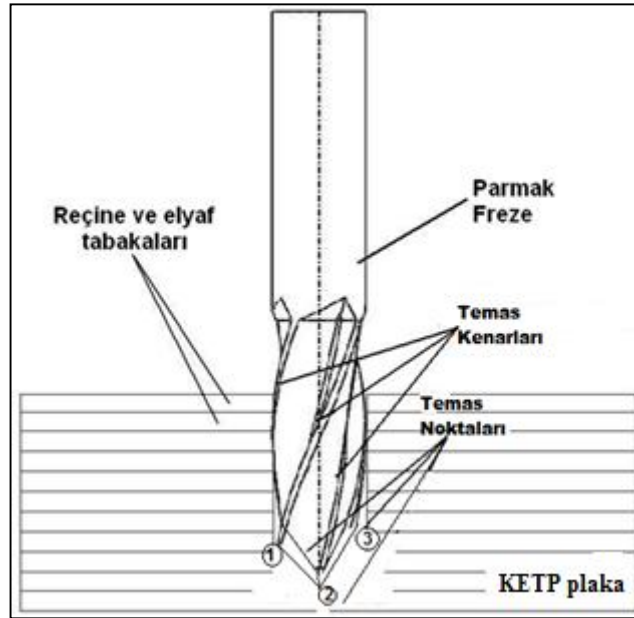
Şekil 5.7. 2 Ağızlı takımda farklı uç açılarında delik içerisinde oluşan yüzey pürüzlülüğü a) 90°, b) 60° için.

Uç açısının artması ile delik içerisinde yüzey pürüzlülüğünün arttığı belirlenmiştir. Bu sonuç Enemuoh [28] çalışmaları ile paralellik göstermektedir.



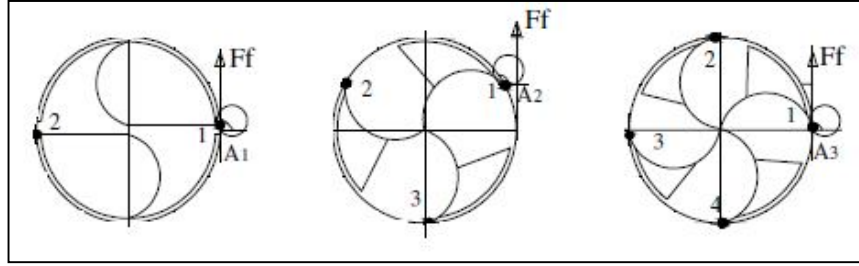
Şekil 5.8. 3 Ağızlı takımda farklı uç açılarında delik içerisinde oluşan yüzey pürüzlülükleri a) 60°, b) 120° için.

Ağız sayısının artması yüzey pürüzlülüğünü azaltmıştır. Delme esnasında yüzeye temas eden kesici kenarların artışı, elyaflara daha fazla etkiye bulunarak düzgün kesilmesine ve kesici takım önünde birikmeden uzaklaşmasına neden olduğu için yüzey pürüzlülük değerini azaltmaktadır. Şekil.5.9'da kesici takım temas noktaları ve kenarları gösterilmiştir.



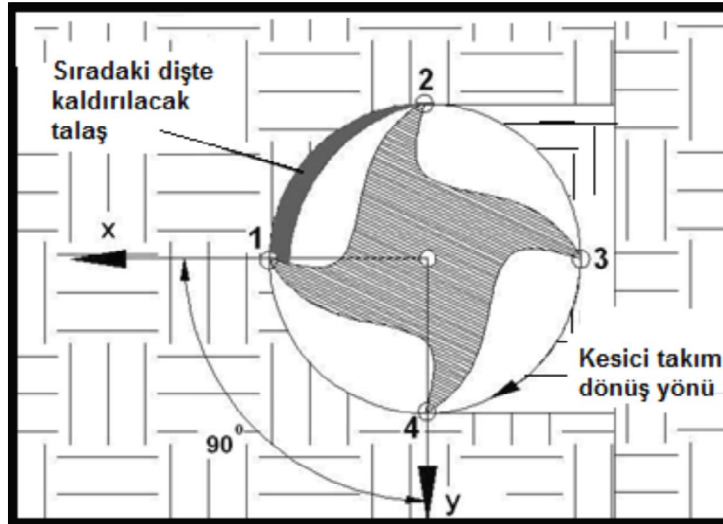
Şekil 5.9. Kesici takım temas noktaları ve kenarları.

Delik içerisinde ağız sayısının artması ile yüzey pürüzlüğünün azaldığı görülmüştür. Sabit kesme hızında takımlar ağız sayılarının artması ile iki kesme noktası arasında geçen süre azalır. Bu süre iki ağızlı takımda azami, dört ağızlı takım için asgari olur. Kesici kenar sayısının artması ile kenar basına düşen talaş miktarı da azalır. Şekil 5.10'da ağız sayısına göre kesme noktaları verilmiştir.



Şekil 5.10. Ağız sayılarına göre kesme noktaları.

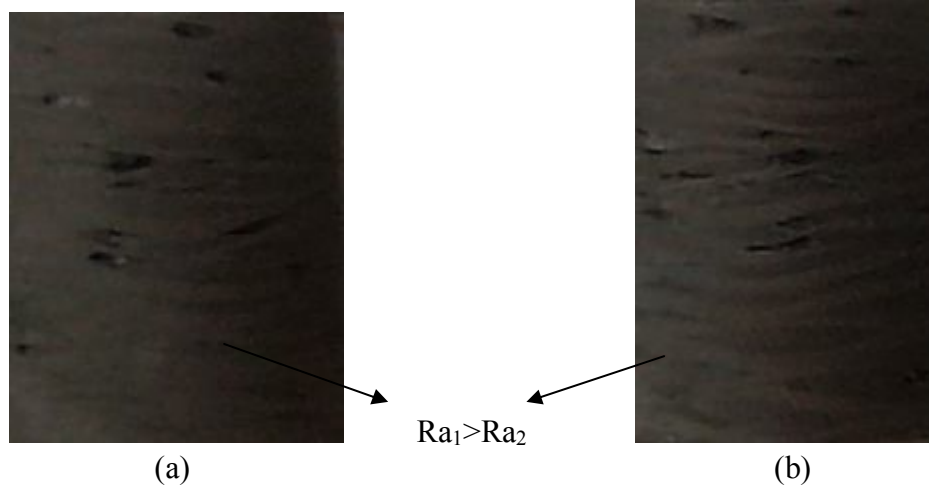
Ağız sayısının artması ile deformasyon bölgesinde kesme olayı kendisini daha güçlü hissettirir buda talaşın is parçasından daha hızlı ayrılacağı anlamına gelir. Aktif bir kesme yaşanır kopma minimize edilir. Delik içerisinde oluşan yüzey pürüzlülük değerlerinin azaltılması için çok ağızlı takımlar tavsiye edilmektedir.



Şekil 5.11. Ağız sayısının talaş kaldırmaya etkisi.

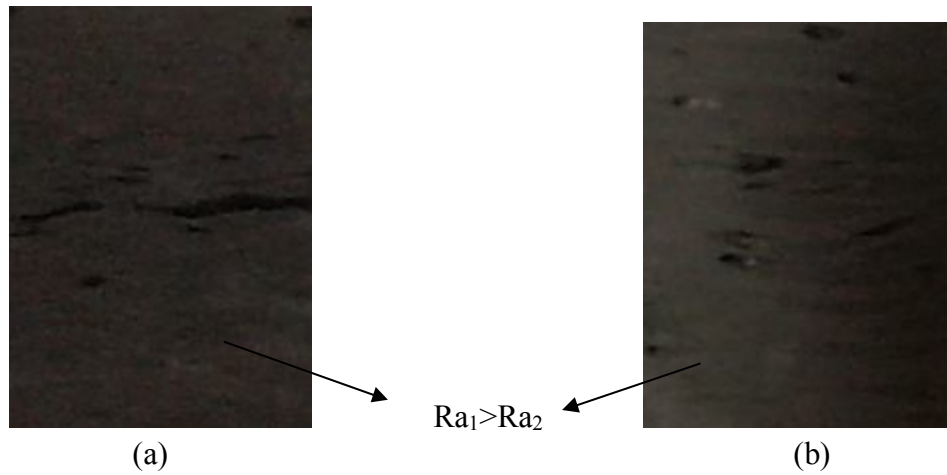
Şekil 5.11'de gösterilen kesici takım dört ağızlı kesici takımdır. Bununla beraber elyafların kesilmesine etkiye bulunan ağız sayısı da dört olmaktadır. Bir başka ifadeyle, kesici ağızlar arası 90° olduğundan 1 dönüşte elyafların kesilmesine

yapacağı darbe dört kezdir ve kesme işlemi artmaktadır. iki ağızlı takımda ağızlar arası 180° olduğundan tanımlanan darbe sayısı 2 iken, üç ağızlı takımda 120° olup, darbe sayısı 3 olarak tanımlanmıştır. Böylece dört ağızlı takım, iki ve üç ağızlı takımlara göre elyafları daha fazla etkide bulunarak düzgün kesilmesini ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin düşmesini sağlamıştır.



Şekil 5.12. 4 Ağızlı 90° uç açılı takımda farklı kesme hızı değerlerinde çıkış bölgelerinde oluşan hasar a) 50 m/dak, b) 90 m/dak için.

4 ağızlı takımlarda kesme hızının artması ile delik içerisinde yüzey pürüzlülük kalitesinde artış belirlenmiştir. Bu sonuç Davim ve ekibi [34] çalışması ile paralellik göstermektedir.



Şekil 5.13. 90° uç açılı takımlarda farklı ağız sayılarında giriş bölgelerinde oluşan hasar a) 2 ağızlı, b) 3 ağızlı için.

Ağız sayısının artması ile delik içerisinde pürüzlülüğün azaldığı belirlenmiştir. Bu sonuç Taso [33] çalışması ile paralellik göstermektedir. Takımın ağız sayısının artması ile kesici kenarların is parçasına temas eden yüzey alanı genişler. Kesici ağız sayısının artması ile helisel kanallar daralır kanal içerisinde talaşların hareket etmesi zorlaşır. Bu durumda da yüzey pürüzlülüğünde önemli bir azalma görülür.

Kesme hızının artışıyla yüzey pürüzlülüğü azalma eğilimindedir. Bunun nedeni plastik deformasyon hızının kesme hızının artışına bağlı olarak artmasıdır. Sonuç olarak yüksek kesme hızlarında (70 ve 90 m/dak) plastik deformasyon hızının artışıyla malzemedan ayrılan talaşlar delinen yüzeyden daha çabuk ayrılarak daha düzgün bir yüzey elde edilmesine imkan tanımıştır. Bu sonuçlarda Davim [30,34] in çalışmalarıyla paralellik göstermektedir.

Tek atlamalı (plain) polimer matrisli kompozit malzeme için;

Kesme hızlarındaki artış delik içerisindeki yüzey pürüzlülüğü değerlerini düşürmektedir.

Ağız sayısını arttırdığımızda delik içerisindeki yüzey pürüzlülüğü değerleri düşmektedir.

İlerleme arttıkça delik içerisindeki yüzey pürüzlülüğü değerlerinde yükselme görülmektedir.

Uç açılarının artması durumunda ise yüzey pürüzlülük değerleri düşmektedir.

Bu sonuçlar göz önünde tutulduğu zaman ise;

Kesme hızının düşük ilerlemenin de yüksek olduğu tüm deneylerimizde pürüzlülük değerleri yüksek çıkmaktadır yüzey pürüzlülüğünü düşük değerlerde olması isteniyorsa ağız sayısının 4 olması ve kesme hızının yüksek, ilerlemenin de düşük değerlerde olması gerekmektedir.

- Dört ağızlı takım ile kesme hızı 90 m/dak, ilerleme 0,2 mm/dev ve kesici takım uç açısının 120° seçilmesi gerekir.

Çift atlamalı (twill) polimer matrisli kompozit malzeme için;

Kesme hızlarındaki artış delik içerisindeki yüzey pürüzlülüğü değerlerini düşürmektedir.

Ağız sayısını arttırdığımızda delik içerisindeki yüzey pürüzlülüğü değerleri düşmektedir.

İlerleme artışına bağlı olarak delik içerisindeki yüzey pürüzlülüğü değerlerinde yükselme görülmektedir.

Uç açılarının artması durumunda ise yüzey pürüzlülük değerleri düşmektedir.

Bu sonuçlar göz önünde tutulduğu zaman ise;

Çift atlamalı (twill) polimer matrisli kompozit malzeme yüzey pürüzlülüğü değerlerinin düşük olması isteniyorsa kesme hızının yüksek ilerlemenin de düşük seçilmesi gerekmektedir. Bu sonuçlara dayanarak;

- Dört ağızlı takım ile kesme hızı 90 m/dak, İlerleme 0,2 mm/dev ve kesici takım uç açısının 120° seçilmesi gerekir.

Yapılan deneysel çalışma sonucunda genel olarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- İlerleme arttıkça yüzey pürüzlülüğü artmaktadır.
- Kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır.
- Ağız sayısı arttıkça yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır.
- Kesici takım uç açısı arttıkça yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Rubio, J.C., Abroa, A.M. Correia, A.E. and Davim J.P. “Effect of high speed in the drilling of glass fibre reinforced plastic: Evaluation of the delamination factor”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 4 (8): 715-720 (2008).
2. Sakamoto, S., “Precision drilling of KETP (carbon fiber reinforced plastics) with coated tools” M. Sc. Thesis, **Kumamoto University, Kurokami, Kumamoto**, 12-27 (2004).
3. Lin, SC. and Chen, IK. “Drilling of carbon fiber-reinforced composite material at high speed”, *International Journal of Machine Tools Manufacturing*, 14: (2) 56–62 (1996).
4. Santhanakrishnan G, Krishnamurthy R, Malhotra SK. Machinability characteristics of fibre reinforced plastics composites, *J Mech Working Technol*, 17: 195–204. (1988).
5. Enemuoh, U., Sherif El-Gizawy, E., Chukwujekwu, A. and Okafor, A., “An approach for development of damage-free drilling of carbon fiber reinforced thermosets”, *International Journal of Machine Tools Manufacturing*, 18 (3) : 795–814 (2001).
6. Faraz, A., Biermann, D., Klaus, W., Cutting edge rounding: An innovative tool wear criterion in drilling KETP composite laminates, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 4 (9) : 1185–1196 (2009).
7. Hirogaki, T., Aoyama, E., Nobe, T. “Drilled hole damage of small diameter drilling in printed wiring board”, *Journal of Materials Processing Technology*, 11 (8) : 436–441 (2001).
8. Capello, E. “Work piece damping and its effect on delamination damage in drilling thin composite laminates”, *Journal of Materials Processing Technology*, 14 (8) : 186–195 (2004).
9. Tsao, C., “Thrust force and delamination of core-saw drill during drilling of carbon fiber reinforced plastics (KETP)”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 37 (1-2): 23-28 (2007).
10. Ramkumar, S.K. and Malhotra, R., “Effect of workpiece vibration on drilling of GFRP laminates”, *Journal of Materials Processing Technology*, 15 (3) : 329–332 (2004).

11. Koplev, A., Lystrup, A., Vorm, T., The cutting process, chips and cutting forces in machining KETP. *Composites*, 14 (4): 371– 6 (1983).
12. Kaneeda, T., KETP cutting mechanism. In: *Proceeding of the 16th North American Manufacturing Research Conference*, New York, 16–21 (1989).
13. Puw, HY, Hocheng, H., Anisotropic chip formation models of cutting of FRP. In: *ASME Symposium on Material Removal and Surface Modification Issues in Machining Processes*, New York, 23 - 45 (1995).
14. Singh, I., Bhatnagar, N. and Viswanath, P., “Drilling of uni-directional glass fiber reinforced plastics: Experimental and finite element study”, *Materials and Design*, 2 (9) : 546-553 (2008).
15. Redouane, Z." Influence of machining parameters and new nano - coated tool on drilling performance of KETP/Aluminium sandwich"*Composites Science and Technology*, 41 (3) : 25-42 (2011).
16. Melkote, N., Lanz, W., Kotnis, A., “Machinability of rapid tooling composite board”, *Journal of Materials Processing Technology*, 27 (2): 242-245 (2002).
17. J. P. Davim, Pedro Reis, "Study of delamination in drilling carbon fiber reinforced plastics (KETP) using design experiments", *Composite Structures*, 59 (3) : 481- 487, (2003).
18. Zhang, L.C, Wang, X.M, “ An experimental investigation into the orthogonal cutting of unidirectional fibre reinforced plastics”, *International Journal of Machine Tool & Manufacture*, 43 (5) : 1015-1022 (2003).
19. Chambers, A. and Bishop, G., “The drilling of carbon fibre polymer matrix composites”, *Process Manufacturing* 59 (4) : 565–572 (1995).
20. Piquet, R., Ferret, B., Lachaud, F. and Swider, P., “Experimental analysis of drilling damage in thin carbon/epoxy plate using special drills”, *Composites*, 31 (10): 1107–1115 (2000).
21. Ogawa, K., Aoyama, E., Inoue, H., Hirogaki T., Nobet, H., Kitahara, Y. Katayama, T. and Gunjima, M. “Investigation on cutting mechanism in small diameter drilling for GFFW thrust force and surface roughness at drilled hole wall”, *Composite Structures*, 38 (1): 343-350 (1997).
22. Davim, JP., Reis, P. and António, CC., “Drilling fiber reinforced plastic (FRP) manufactured by hand lay up: influence of matrix Viapal VUP 9731 and ATLAC 382-05”, *Journal of Materials Processing Technology*, 42 (3): 155-164 (2004).
23. Davim, JP. and Reis, P., “Drilling carbon fiber reinforced plastics manufactured by autoclave experimental and statistical study”, *Material Design*, 24 (5): 315–324 (2007).

24. Shyha, S., "Drill geometry and operating effects when cutting small diameter holes in KETP" *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 12 (49): 1008 - 1014 (2009).
25. Aoyama, E., Nobe, H. and Hirogaki, T. "Drilled hole damage of small diameter drilling in printed wiring board", *Journal of Materials Processing Technology*, 118 (1): 436–441 (2001).
26. Krishnamoorthy, A. "Delamination prediction in drilling of KETP composites using artificial neural network" *Journal of Engineering Science and Technology*, 6 (2): 191-203 (2011).
27. Enemuoh, U., Sherif El-Gizawy, E., Chukwujekwu, A. and Okafor, A., "An approach for development of damage-free drilling of carbon fiber reinforced thermosets", *International Journal of Machine Tools Manufacturing*, 41 (12): 1795–1814 (2001).
28. Hirogaki, T. "Drilled hole damage of small diameter drilling in printed wiring board", *Journal of Materials Processing Technology*, 118 (1) : 436–441 (2001).
29. Davim, JP. and Reis, P., "Study of delamination in drilling carbon fibre reinforced plastics (KETP) using design experiments", *Composites Science and Technology*, 59 (4): 481–487 (2004)
30. Tsao, C.C., "Tguchi analysis of drilling quality associated with core drill in drilling of composite material", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32 (9-10): 877-884 (2007)
31. Teti, R., "Machining of composite materials", *Annals of the CIRP*, 51 (2) : 611-624 (2002).
32. Tsao, C.C. and Hocheng, H., "Effect of tool wear on delamination in drilling composite materials", *International Journal of Mechanical Sciences*, 49 (8): 983-988 (2007).
33. Paulo, J.Dawim., Campos Rubio, J. and Abrao, A.M., "A novel approach based on digital image analysis to evaluate the delamination factor after drilling composite laminates", *Composites Science and Technology*, 67 (9) : 1939–1945 (2007).
34. Işık, B., "Experimental investigations of damage analysis in drilling of woven glass fiber-reinforced plastic composites" *Int J Adv Manuf Technol*, 17 (9) : 24-42 (2009).
35. İnternet: Taksan Takım Tezgahları Sanayi A.S. "TMC 500V tezgahının teknik özellikleri". <http://www.taksan.com.tr/trtaksan/indextr.htm>, (2009).

36. İnternet: Mitutoyo U.S.A. Katolog 2007, “Komparatörün teknik özellikleri” <http://www.mitutoyo.com/pdf/F.pdf>, (2007).
37. Erkan, Ö., "Camelyaf takviyeli polimer kompozitlerin parmak frezelenmesinde yüzey kalitesinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 12-50 (2009).
38. Ekici, E., " Camelyaf takviyeli polimer kompozit malzemenin delinmesi esnasında oluşan yüzey hasarının deneysel olarak incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 8-34 (2009).

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Şah GÜLTEKİN 1980 yılında Hatay’da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Payas Anadolu Teknik Lisesi Makina Bölümü’nden mezun oldu. 1997 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü’nde öğrenime başlayıp 2001 yılında iyi derece ile mezun oldu. Eğitimine Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Eğitimi Anabilim Dalı’nda devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: Andiçen Mahallesi, 71. Sokak, 15/9
Sincan/ANKARA

Tel: 0 (505) 672 46 72

E-posta: berat007@gmail.com