



T.C.

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI BOYUT VE ORANA SAHİP CETP
KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE
TORNALANMASININ ARAŞTIRILMASI**

Cihat TÜRKAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Ağustos-2019
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Cihat TÜRKAN tarafından hazırlanan ‘‘Farklı Boyut ve Orana Sahip CETP Kompozitlerin retimi ve Tornalanmasının Araştırılması’’ adlı tez çalışması 07/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliğı ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliğı Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri yeleri

Başkan

Doç. Dr. Serkan ÖZEL

Danışman

Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

ye

Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin GÜRBÜZ

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Şahnaz TİGREK
FBE Müdürü

*Bu tez alışması Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BTÜBAP) tarafından 2018-Yüksek Lisans-5 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Cihat TÜRKAN

Tarih: 07/08/2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI BOYUT VE ORANA SAHİP CETP KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE TORNALAMASININ ARAŞTIRILMASI

Cihat TÜRKAN

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

2019, 80 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

Doç. Dr. Serkan ÖZEL

Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin GÜRBÜZ

Cam elyaf takviyeli plastik (CETP) kompozitler hafiflik ve yüksek mekanik özelliklerinden dolayı mühendislik malzemelerinde yerini almıştır. Bunların endüstriyel uygulamalarda kullanılabilmesi için talaşlı olarak şekillendirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak bu kompozitler işlendiği zaman bir takım sorunlar ile karşılaşmaktadır. Bu sorunların ortadan kaldırılması veya minimum düzeye indirilmesi için kesme parametrelerinin optimizasyonu önem arz etmektedir. Bu çalışmada; 6 mm, 6-12 mm, 12 mm elyaf uzunluğuna ve ağırlıkça %20, %25, %30 elyaf oranına sahip cam elyaflar (CE), polyester matris malzemesi ile birleştirilerek CETP kompozitler üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin çekme dayanımı araştırılmıştır. Ayrıca 40, 80 ve 120 m/dak kesme hızları, 0.1, 0.2 ve 0.3 mm/dev ilerleme ve 1, 2 ve 3 mm kesme derinliği parametrelerinde tornalama deneyleri yapılmıştır. Tornalama deneyleri Taguchi L_{27} deney tasarım düzeneğine göre gerçekleştirilmiştir. Elyaf oranı, elyaf uzunluğu ve kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri analiz edilmiştir. Deneyler sonucunda, polyester matris malzemesine CE takviyesinin çekme dayanımını arttırdığı gözlemlenmiştir. Tüm elyaf uzunlukları için en yüksek çekme dayanımı %25 takviye oranından elde edilmiştir. Elyaf uzunluğu bakımından 12 mm elyaf uzunluğuna sahip CETP kompozitlerde en yüksek, 6-12 mm elyaf uzunluğuna sahip CETP kompozitlerde en düşük çekme dayanımı meydana gelmiştir. Ayrıca bu kompozitlerin tornalanmasında, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerinde oldukça önemli etkiye sahip olduğu görülmüştür. Elyaf oranı, elyaf uzunluğu, ilerleme ve kesme derinliği arttıkça kesme kuvvetlerinin arttığı, ancak kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinin önce arttığı daha sonra düştüğü gözlemlenmiştir. Kesme kuvveti üzerindeki en etkili parametrenin ilerleme ve ardından elyaf oranı olduğu görülmüştür. Diğer taraftan; elyaf oranı, ilerleme, kesme hızı ve kesme derinliği arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin arttığı, 6, 6-12 ve 12 mm elyaf uzunluğu için ise yüzey pürüzlülük değerinin ilk önce arttığı sonra azaldığı gözlemlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en etkili parametrenin ilerleme ve ardından kesme hızı olduğu görülmüştür. Hem kesme kuvveti hem de yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin ise ilerleme olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: CETP Kompozit, Çekme Dayanımı, Kesme Kuvveti, Taguchi Yöntemi, Tornalama, Yüzey Pürüzlülüğü.

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF PRODUCING AND TURNING OF GFRP COMPOSITES HAVING DIFFERENT DIMENSIONS AND RATE

Cihat TÜRKAN

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

2019, 80 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

Assoc. Prof. Dr. Serkan ZEL

Asst. Prof. Dr. Hseyin GRBZ

Glass fiber reinforced plastic (GFRP) composites have taken place in engineering materials because of low weight and high mechanical properties. They need to be shaped as machining in order to use them in the industrial applications. However, when these composites are machined, a number of problems are encountered. For eliminate or minimize these problems, optimization of cutting parameters are important. In this study, GFRP composites were produced by combining polyester matrix material with glass fibers (GF) having 6 mm, 6-12 mm, 12 mm fiber length, and weight 20%, 25%, 30% fiber content. The tensile strength of the produced composites was investigated. In addition, turning tests were made in cutting speeds of 40, 80 and 120 m/min, feed rate of 0.1, 0.2 and 0.3 mm/rev, and depth of cut parameters of 1, 2 and 3 mm. Turning tests were carried out according to the Taguchi L_{27} experiment design method. The effect of fiber ratio, fiber length and cutting parameters on cutting forces and surface roughness were analyzed. As a result of the experiments, it was observed that the GF reinforcement to polymer matrix material increased the tensile strength. For all fiber lengths, the highest tensile strength was obtained from the reinforcement rate of 25%. In point of fiber length, tensile strength was obtained as maximum in GFRP composites having 12 mm fiber length, as minimum in GFRP composites having 6-12 mm fiber length. In addition, in the turning of these composites, cutting parameters were found to be highly effective on the surface roughness and cutting forces. It was observed that cutting forces increased as the fiber ratio, fiber length, feed rate and depth of cut increased, however, as the cutting speed increased, the cutting forces initially increased and then decreased. It was seen that the most effective parameter on cutting force was feed rate followed by fiber ratio. On the other hand; the surface roughness value increased when fiber ratio, feed rate, cutting speed and depth of cut increased, and for 6, 6-12 and 12 mm fiber lengths, surface roughness initially increased and then decreased. The most effective parameter on surface roughness was feed rate followed by cutting speed. Feed rate was determined as the most effective parameter on both cutting force and surface roughness.

Keywords: Cutting Force, GFRP Composite, Surface Roughness, Taguchi Method, Tensile Strength, Turning.

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans çalışması; Giriş, Genel Bilgiler, Materyal ve Yöntem, Araştırma Sonuçları ve Tartışma ve Genel Sonuçlar olmak üzere 5 ana başlık altında toplanmıştır. Tezimizde, CETP kompozitler ile ilgili literatür araştırmaları yapılarak konunun önemi vurgulanmıştır. Kompozitlerin üretimi ve işlenebilirliği konusunda yapılan çalışmaların sürdürülmesi gerektiği gözlemlenmiştir. Bu doğrultuda CETP kompozitlerde, farklı boyut ve orana sahip kompozitlerin üretimi ve tornalanması üzerine Taguchi yöntemini de kullanarak deneyler yapılmış ve sonuçlar analiz edilmiştir.

Tüm tez çalışmalarım süresince engin bilgi ve desteğini esirgemeyen, tecrübeleri ve bilgilendirmeleriyle çalışmalarına ışık tutan, çalışma azmini her zaman örnek aldığım danışman hocam Doç. Dr. Yahya Hışman Çelik'e, çalışmalarım sırasında değerli bilgilerini ve yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Erol KILIÇKAP'a, laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Oktay ADIYAMAN, Dr. Öğr. Üyesi Şehmus BADAY, Dr. Öğr. Üyesi Burak YENİĞÜN, Arş. Gör. Serkan BATI ve tüm diğer hocalarıma teşekkür ederim.

Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BTÜBAP) tarafından 2018-Yüksek Lisans-5 nolu proje kapsamında yaptığım çalışmalara desteklerinden dolayı Batman Üniversitesi'ne teşekkür ederim.

Yaşamımın her anında yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgmeden beni daima sabır ve anlayışla karşılayan aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

Cihat TÜRKAN
BATMAN-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xi
KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Araştırması	2
2. GENEL BİLGİLER.....	23
2.1. Kompozit Malzemeler	23
2.1.1. Elyaf takviyeli kompozitler	26
2.1.1.1. Aramid elyaf takviyeli kompozitler	26
2.1.1.2. Karbon elyaf takviyeli kompozitler	26
2.1.1.3. Cam elyaf takviyeli kompozitler.....	27
2.2. Kompozitlerin Tornalanması	28
2.3. Taguchi Deney Tasarımı.....	29
2.3.1. Sistem tasarımı.....	30
2.3.2. Parametre tasarımı	30
2.3.3. Ortogonal diziler	31
2.3.4. İstatistiksel analiz ve sonuçlarının yorumlanması	31
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	32
3.1. Kırpılmış CETP Kompozitlerin Üretimi.....	32
3.2. Çekme Testi	35
3.3. Taguchi Deney Tasarım Düzenek ve Tornalama Deneyleri.....	36
3.4. Kesme Kuvvetinin Belirlenmesi	39
3.5. Yüzey Pürüzlüğünün Belirlenmesi	41
3.6. Kesme Kuvveti ve Yüzey Pürüzlüğünün Analizi	41
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	42
4.1. Çekme Mukavemet Sonuçları.....	42
4.2. Kesme Kuvveti Sonuçları	44
4.3. Yüzey Pürüzlüğü Sonuçları	53
5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	58

5.1. Sonuçlar	58
5.2. neriler	59
KAYNAKLAR	60
EKLER	65
EK-1 Tortalama parametrelerinden elde edilen F_x , F_y ve F_z kuvvetleri	65
EK-2 Tortalama parametreleri ve bu parametreler için gerçek ve tahmi değerler	79
ÖZGEÇMİŞ	80

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. CETP kompozitin tornalama işlemi	28
Şekil 3.1. Kırılmış CE takviye elemanları ve polyester matris malzemesi	32
Şekil 3.2. Takviye elemanı ve matris malzemesinin birleştirilme aşamaları	33
Şekil 3.3. Çekme deney numunesinin boyutları ve karışımların silikon çekme kalıbına dökülmesi	34
Şekil 3.4. 6 mm elyaf uzunluğu ve %30 elyaf oranına sahip karışımın plastik silindirik kalıba dökülmesi.....	34
Şekil 3.5. Üretilen CETP takviyeli kompozit malzemeler	35
Şekil 3.6. Shimadzu marka çekme test cihazı	36
Şekil 3.7. Taguchi yöntemi tasarım adımları.....	37
Şekil 3.8. Taguchi yönteminde belirlenen seviye ve faktörler	37
Şekil 3.9. Taguchi L ₂₇ standart ortogonal deney tasarımının seçimi.....	38
Şekil 3.10. Deneylerde kullanılan CNC torna tezgâhı.....	39
Şekil 3.11. Tornalama deney düzeneği ve kesme kuvvetlerinin ölçülmesi.....	40
Şekil 4.1. Elyaf uzunluğuna bağlı gerilim-gerinim diyagramı	42
Şekil 4.2. Elyaf oranına bağlı gerilim-gerinim diyagramı.....	43
Şekil 4.3. Tornalama deneylerinde dinamometre eksenleri ile F _x , F _y ve F _z kuvvetlerinin yönleri.....	45
Şekil 4.4. CETP kompozitin tornalanmasında ölçülen kuvvetlerin DynoWare yazılım grafiği.....	45
Şekil 4.5. CETP kompozitin tornalanmasında ölçülen kuvvetlerin Matlab programında çizilen grafiği.....	46
Şekil 4.6. CETP kompozitin tornalanmasında ölçülen kuvvetlerin pürüzsüzleştirilmesi ve değerleri	47
Şekil 4.7. Taguchi yöntemi analiz adımları.....	49
Şekil 4.8. Kesme Kuvveti S/N grafiği	49

Şekil 4.9. Tornalama parametrelerine bağlı kesme kuvveti grafiği.....	50
Şekil 4.10. Kesme kuvveti için S/N artık ve normal dağılım grafiği	51
Şekil 4.11. Kesme kuvvetinin artık ve normal dağılım grafiği	52
Şekil 4.12. Ortalama yüzey pürüzlülüğü S/N grafiği	54
Şekil 4.13. Tornalama parametrelerine bağlı kesme kuvveti grafiği.....	55
Şekil 4.14. Ortalama yüzey pürüzlülüğü için S/N artık ve normal dağılım grafiği.....	56
Şekil 4.15. Ortalama yüzey pürüzlülük değerinin artık ve normal dağılım grafiği.....	56
Şekil 4.16. İşlenmiş CETP kompozit yüzeyleri.....	57

TABLolar LİSTESİ

Tablo	Sayfa
Tablo 3.1. CE takviyesinin özellikleri.....	32
Tablo 3.2. CE takviye elemanı uzunluğu ve oranları.....	33
Tablo 3.3. Kesme parametreleri	36
Tablo 3.4. Taguchi deney tasarım düzeneği.....	38
Tablo 3.5. Parametreler ve seviyeleri.....	39
Tablo 3.6. Kistler 9257B dinamometrenin özellikleri	40
Tablo 3.7. Time TR-110 portatif yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazına ait teknik özellikler	41
Tablo 4.1. Taguchi deney düzeneğine göre tornalama deneylerinden elde edilen kesme kuvveti değerleri.....	48
Tablo 4.2. Tornalama parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerindeki etki sıralaması	52
Tablo 4.3. Taguchi deney tasarımına göre tornalanan yüzeylerdeki ortalama yüzey pürüzlülük değerleri	53
Tablo 4.4. Tornalama parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülük değeri üzerindeki etki sıralaması	57

KISALTMALAR

ANOVA	: Varyans Analizi (ANalysis Of VAriance)
CBN	: Kübik Bor Nitrür
CE	: Cam Elyaf
CETP	: Cam Elyaf Takviyeli Plastik
CVD	: Kimyasal Buhar Biriktirme (Chemical Vapor Deposition)
HSS	: Yüksek Hız eliği (High Speed Steel)
KE	: Karbon Elyaf
KETP	: Karbon Elyaf Takviyeli Plastik
PA	: Poliamid
PCBN	: Polikristalli Kübik Bor Nitrür
PCD	: Polikristal Elmas (Polycrystalline Diamond)
PVD	: Fiziksel Buhar Biriktirme (Physical Vapor Deposition)
PEEK	: Polieter Eter Keton
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
S/N	: Sinyal Gürültü Oranları (Signal to Noise ratios)
WC	: Sert Karbür, Tungsten Karbür
YYY	: Yüzey Yanıt Yöntemi

1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler, geleneksel malzemelerin tek başlarına gelişen teknoloji karşısında belirli ihtiyaçlara cevap veremez hale gelmesi ile geliştirilmiştir. 2. Dünya savaşından bu yana kompozit malzemelerin üretilmesi, mekanik özelliklerinin araştırılması ve geliştirilmesi üzerine yapılan araştırmalar yeni bir çalışma alanı olarak gün geçtikçe artarak devam etmiştir (Şahin, 2006).

Kompozit malzemeler; sınırlı özelliklere sahip tek bir malzeme kullanmak yerine, en az iki farklı malzemenin özelliklerini, yeni ve tek bir malzemede toplamak amacıyla makro düzeyde bir birleştirme ile elde edilen heterojen malzemeler olarak isimlendirilir. Farklı malzemelerin özelliklerini bir arada bulundurulduğu için rijitliği, yorulma, çekme, basma ve eğilme dayanımları, yüksek sıcaklığa dayanıklılığı, korozyon direnci gibi özellikleri diğer malzemelere kıyasla daha yüksektir. Ayrıca düşük yoğunluk, yüksek sertlik, yüksek kırılma dayanımı ve iyi tribolojik özellikler sergilerler. Bu nedenle, havacılık ve savunma sanayi başta olmak üzere, uzay teknolojisi, inşaat sektörü, otomotiv sektörü, denizcilik, nükleer endüstri, robot teknolojisi, sağlık alanı ve kimya sanayi gibi pek çok farklı alanda yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Şahin, 2006; Akın, 2018).

Kompozitler, farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Biçimlerine göre; elyaf kompozitler, parçacık kompozitler, tabakalı kompozitler ve karma (hibrit) kompozitler olarak 4 alt grupta toplamak mümkündür. Kolay temin edilebilirliği ve ucuz olması gibi özellikleri sayesinde günlük uygulamalarda en yaygın kullanım olanağı bulan kompozitler, cam elyaf takviyeli plastik (CETP) kompozitlerdir. Cam elyaflarının (CE) kolay üretilmesi ve maliyetlerinin düşük olması nedeniyle 1966 yılından itibaren özellikle CE malzeme özelliklerinin iyileştirilmesi üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Ülkemizde “fiberglas” olarak tanımlanan bu malzeme, 1960’lı yılların başından itibaren Türkiye’de sıvı depoları, çatı levhaları, küçük boyda deniz teknelerinin yapımında kullanılmıştır. Ayrıca ülkemizde seri üretimi yapılmış ilk yerli otomobil olan Anadolu’nun da kaportası bu malzemeden üretilmiştir (Ersoy, 2001).

CETP kompozitlerde; takviye malzemesi olarak CE, matris malzemesi olarak polyester ve epoksi gibi plastik malzemeler kullanılmaktadır. Bu takviye elemanı ve matris malzemeleri ile üretilen CETP kompozitlerin ucuz olmasına ilaveten yüksek kimyasal kararlılık ve mukavemet özellikler sergilemesi, bu kompozitlerin uzay ve

havacılık alanları dahil olmak üzere farklı alanlarda kullanımını ön plana çıkarmıştır (Güldü, 1995).

CETP kompozitler; basınç altında kalıplama, vakum altında kalıplama, elle yatırma gibi yöntemler kullanılarak üretilmektedirler. Üretim esnasında, kullanım yerinin boyutları ve geometrik şekli göz önünde bulundurulur. Bazı durumlarda üretilen bu kompozitlerin nihai şekle getirilmesi için tornalama, frezeleme, delik delme gibi talaşlı imalat yöntemlerine de sıklıkla ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak CETP kompozitler, metal ve alaşımlarının sahip olduğu izotropik yapıya sahip değildirler. Bu nedenle talaşlı olarak işlenmesinde bazı sorunlarla karşı karşıya gelinmektedir. Elyaf takviyeli kompozitlerin tornalanmasında yüzey kalitesinin iyileştirilmesi ve takım ömrünün artırılması oldukça önemlidir. Takım ömrü; işleme maliyeti, kesme kuvvetleri ve yüzey kalitesi üzerinde büyük bir etkiye sahipken, yüzey kalitesi; kompozit malzemenin mekanik özelliklerinde büyük bir etkiye sahiptir. Dolayısıyla yüzey kalitesi, tornalama esnasında dikkat edilmesi gereken hususların başında gelmektedir. Kesme hızı, ilerleme, kesme (talaş) derinliği, elyaf boyu ve oranı gibi parametreler, yüzey kalitesinin optimum seviyede tutulması için uygun değerlerde ve/veya oranlarda tutulması gerekmektedir.

Kesme parametrelerinin uygun değerlerde tutulması için bir çok optimizasyon programlarından yararlanılmaktadır. Bu programlardan biri de Taguchi yöntemidir. Taguchi yöntemi, çok fazla kesme parametre sayısı için deney sayısını minimuma indirerek analiz yapmaktadır. Yapılan analizler sonucunda kesme parametrelerinin etki sıralaması tespit edilebilmektedir.

1.1. Literatür Araştırması

Elyaf takviyeli kompozitlerin işlenmesi üzerine birçok bilimsel çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalar; farklı yöntemlerle üretilen kompozitlerin mekanik ve tribolojik davranışları üzerine ve/veya delinmesi, frezelenmesi ve tornalanması gibi talaşlı şekillendirilmesi üzerine gerçekleştirilmiştir. Ancak gelişen teknoloji ile birlikte bu çalışmalar artarak devam etmektedir. 1989-2017 yılları arasında yapılmış çalışmalardan bazıları aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir.

Santhanakrishnan ve ark. (1989), yüksek hız çeliği (HSS) takımlarını kullanarak tornaladıkları elyaf sargılı CETP kompozit tüplerde, tornalama sırasında farklı kobalt

içeriğine sahip HSS takımlardaki aşınma mekanizmalarını incelemişlerdir. Aşınmış takım yüzeyindeki mekanizmaları taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımıyla analiz etmişlerdir.

Kim ve ark. (1992), karbon elyaf takviyeli plastik (KETP) kompozitlerin torna tezgâhında işlenebilirliğini deneysel olarak araştırmışlardır. Talaş oluşum mekanizmalarını ve Taylor takım aşınma sabitlerini belirlemişlerdir. Ayrıca kesme hızlarına ve ilerlemeye bağlı olarak tornalanan yüzeylerin pürüzlülüğünü ölçmüşlerdir. Takımın yan yüzey aşınmasının elyaf sarım açısının artması ile arttığını, ayrıca yüksek elyaf sarım açısında, takım aşınmasının kesme hızı ile ilişkili olduğunu gözlemlemişlerdir. Tungsten karbür kesici takımın (K10) Taylor takım aşınma sabitleri olan n ve C değerlerinin sırasıyla 0,45-1,12 ve 55,4-241,5 aralarında değiştiğini vurgulamışlardır.

An ve ark. (1997), CETP kompozitlerin torna tezgâhında işlenebilirliğini, kesici takım malzemesine ve takım geometrisine bağlı olarak araştırmışlardır. Kesici takım malzemesinin ve geometrisinin doğru bir şekilde seçilmesi ile kompozit malzemenin mükemmel bir şekilde işlenebileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca yüzey kalitesinin, ilerleme hızı ve kesici takım malzemesi ile yakından ilişkili olduğu sonucuna varmışlardır.

Rahman ve ark. (1999), KETP kompozitlerin işlenmesinde, kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, kesici takım cinsi (kaplanmamış tungsten karbür, seramik ve kübik bor nitrür (CBN)) ve elyaf boyutunun (kısa, uzun) işlenebilirliğe etkilerini incelemişlerdir. Kısa karbon elyaf takviyeli kompozitlerin farklı kesme parametreleri ile işlenmesinde takım aşınmasının, yüzey pürüzlülüğünün ve kesme kuvvetinin farklı davranışlar sergilediğini gözlemlemişlerdir. Bununla birlikte, sabit birim zamanda kaldırılan talaş miktarı için uzun karbon elyaf takviyeli kompozitlerin düşük kesme hızlarında işlenmesinde, takım aşınmasının en az olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca CBN uçların, tungsten karbür ve seramik uçlara göre daha iyi yüzey kalitesi ve takım aşınma performansı sergilediğini vurgulamışlardır.

Davim ve Reis (2004), %30 CE ile güçlendirilmiş polieter eter keton (PEEK) kompozitin (PEEK CE30) tornalanmasını, kesme parametrelerine (kesme hızı ve ilerleme) bağlı güç, spesifik kesme basıncı ve yüzey pürüzlülüğünü Taguchi yöntemine dayanan bir deney planı oluşturarak incelemişlerdir. Ayrıca, polikristal elmas (PCD) ve

sementit karbür kesici takımlar kullanarak PEEK CE30'un kesme özelliklerini ANOVA ile analiz etmişlerdir. İlerlemenin artması ile gerekli olan gücün ve yüzey pürüzlülük değerinin arttığını, spesifik kesme basıncının azaldığını; kesme hızının artması ile gerekli olan gücün ve spesifik kesme basıncının arttığını, yüzey pürüzlülük değerinin azaldığını tespit etmişlerdir. Ancak kesici takım cinsinin; güç, spesifik kesme basıncı ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilerleme ve kesme hızı kadar önemli bir etki göstermediğini belirtmişlerdir.

Davim ve Mata (2005), CETP kompozitlerin işlenebilirliğini, imalat sürecinin bir fonksiyonu olan üretim yöntemine göre değerlendirebilmek için iki farklı yöntemle üretilmiş CETP kompozitleri PCD kesici takım kullanarak tornalamışlardır. Tornalama deneylerinde üretim yöntemi (filament sarma ve elle yatırma), kesme hızı (100, 200 ve 400 m/dak) ve ilerlemenin (0,05; 0,1 ve 0,2 mm/dev) spesifik kesme basıncı ve işlenen yüzeyin pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmışlar ve ANOVA ile istatistiksel olarak analiz etmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda, elle yatırma işleminin filament sarma yönteminden daha düşük spesifik kesme basıncı ve yüzey pürüzlülük değerleri verdiğini belirlemişlerdir. İlerlemenin, spesifik kesme basıncı ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde en yüksek fiziksel ve istatistiksel etkiyi gösteren kesme parametresi olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca elle yatırma yöntemi ile üretilen CETP kompozitlerin filament sarma yöntemi ile üretileninden daha iyi bir işlenebilirlik indeksi sağladığını vurgulamışlardır. Maksimum işleme indeksi için en uygun kesme parametrelerinin, kesme hızının 400 m/dak ve ilerlemenin 0,1 mm/dev olduğu durumda elde edildiğini belirtmişlerdir.

Mohan ve ark. (2005), CETP kompozitlerin delinmesinde, kesme parametrelerini optimize etmek için Taguchi yöntemini kullanmışlardır. Delme işleminde değerlendirilen parametreleri dönme devri, ilerleme, matkap boyutu ve kompozit malzemenin kalınlığı olarak belirlemişlerdir. Bu parametrelerin kesme kuvveti ve torku üzerine etkilerini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçları, ticari bir yazılım paket programı olan MINITAB 14 yardımıyla analiz etmişlerdir. Bu analizlerdeki temel amaçları, düşük kesme kuvveti ve torku elde etmek için delme sürecini etkileyen önemli faktörleri ve faktörlerin kombinasyonunu bulmaktır. Taguchi yöntemi analizinden, takım boyutunun ve dönme devrinin, numune kalınlığı ve ilerlemeden daha fazla kesme kuvveti üzerinde bir etkiye sahip olduğunu gözlemlenmiştir. Ayrıca, numune kalınlığı ve takım boyutunun kesme torku üzerinde

önemli bir etkisinin olduğunu ve bu iki parametrenin diğer parametrelerden daha baskın rol oynadığını da tespit etmişlerdir.

Chang (2006), yüksek mukavemetli CETP kompozitlerin P10 ve K10 tipi karbürlü kesici takımlarla tormalanmasında işlenebilirliği deneysel olarak incelemiştir. Talaş oluşum mekanizmalarını kesici takımların uç geometrisine ve burun yarıçapına göre elde etmiştir. CETP kompozitleri tormalayarak kesme kuvvetlerini bulmuştur. Bu testlerden elde ettiği verileri mekanik modelin deneysel sabitlerini tahmin etmek ve doğrulamak için kullanmıştır. Öngörülen kuvvetler ile ölçülen kuvvetler arasında iyi bir uyum olduğunu belirtmiştir. P10 ve K10 tipi takımları karşılaştırdığında, K10 tipi takımların P10 eksenel kenar kesici takımlardan daha iyi performans sergilediği sonucuna varmıştır. Ayrıca kesme kuvvetlerinin teorik değerlerini hesaplamış ve deney sonuçları ile karşılaştırmış olup model tarafından öngörülen kuvvetlerin deneysel değerlerle tutarlı olduğunu belirtmiştir.

Jawali ve ark. (2006), ağırlıkça %15, 30, 40 ve 50 kısa CE takviyeli naylon 6 kompozitleri eriyik karıştırma yöntemi ile üretmişlerdir. Ürettikleri kompozitleri, özgül ağırlık, çekme dayanımı ve aşınma direnci gibi fizikomekanik özelliklere göre karakterize etmişlerdir. Ayrıca kompozitlerin yüzey morfolojik davranışını SEM ile araştırmışlardır. CE oranının artması ile kompozitlerin çekme mukavemeti ve çekme modülünde artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca Naylon 6 matris malzemesindeki CE içeriğindeki artış ile kompozitlerin aşınma direncinin de arttığını tespit etmişlerdir. Dolayısıyla bu artışın aşınma oranını azalttığını, ancak aşınma deneylerinde, artan yük ve disk dönme devrinin kompozitlerdeki aşınma oranının artmasına neden olduğunu ifade etmişlerdir.

Palanikumar (2006), PCD kesici takım ile CETP kompozitlerinin tormalanmasında, yüzey pürüzlülüğünü en aza indirmeyi amaçlamıştır. Bu doğrultuda, kesme parametrelerini Taguchi yöntemini ve Pareto ANOVA analizini kullanarak optimize etmiştir. Deneylerde kullandıkları kesme parametrelerini; kesme hızı (50, 100 ve 150 m/dak), ilerleme (0,10; 0,15 ve 0,20 mm/dev) ve kesme derinliği (0,5; 1 ve 1,5 mm) olarak belirlemişlerdir. Deneysel sonuçlara bağlı olarak en önemli kesme parametresinin ilerleme ve ardından kesme hızı olduğunu belirtmiştir. İşlenmiş kompozit iş parçası üzerinde daha iyi yüzey kalitesi elde etmek için yüksek kesme hızı, düşük ilerleme ve yüksek kesme derinliği tercih edilmesi gerektiğini önermiştir. Ayrıca

Taguchi yönteminin ve Pareto ANOVA'nın minimum sayıda deneme ile kesme parametrelerini optimize etmek için uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Palanikumar ve ark. (2006a), filament sarma yöntemi ile üretilen CETP kompozitlerinin çoklu performans işleme özelliklerine odaklanmışlardır. K10 kesici takım kullanarak işlenen CETP kompozitlerde, işleme parametrelerinin optimizasyonu için gri ilişkisel analiz kullanmışlardır. Deneylerini, Taguchi yönteminin L_{27} , 3 seviyeli ortogonal dizisine göre tasarlayıp gerçekleştirmişlerdir. İş parçası elyaf yönü, kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve işleme süresi gibi parametrelerin malzeme kaldırma oranı, takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve spesifik kesme basıncı gibi çoklu performans özelliklere etkisini optimize etmişlerdir. Deneysel sonuçlarda, bu yaklaşım kullanılarak kompozit işleme sürecindeki işleme performansının etkin bir şekilde iyileştirildiğini gözlemlemişlerdir.

Palanikumar ve ark. (2006b), işleme parametrelerinin CETP kompozitlerinin tornalanması üzerindeki etkilerini değerlendirmek için deneyler yapmışlardır. Deneyler için deney tasarım (tam faktöriyel tasarım) kavramını kullanmışlardır. Tornalama deneylerini sermet kesici takımlarla gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışma esnasında; kesme hızı, iş parçası elyaf oryantasyon açısı, kesme derinliği ve ilerleme gibi işleme parametrelerini göz önünde bulundurarak minimum yüzey pürüzlülüğünü elde etmeyi amaçlamışlardır. Deneysel sonuçlarda, ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametre olduğunu ve kesme hızının ilerlemeden sonra ikinci olarak yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkiye sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca CETP kompozitlerinin işlenmesinde, iş parçası elyaf oryantasyon açısı ve kesme derinliği arasındaki etkileşimin, yüzey pürüzlülüğü ile ilgili diğer etkileşimlerle karşılaştırıldığında daha fazla etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Davim ve Mata (2007), elle yatırma yöntemi ile üretilen CETP kompozitlerin PCD ve K15 kesici takımlarla tornalanmasında, kesme parametrelerinin işlenebilirliğe etkilerini araştırmışlardır. Kesme parametrelerinin spesifik kesme basıncı ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini belirlemek için ortogonal diziler ve ANOVA analizlerini kullanmışlardır. Her iki kesici takım da artan ilerleme ile tornalanan yüzeyin pürüzlülük değerinin arttığını ve spesifik kesme basıncının azaldığını; artan kesme hızı ile tornalanan yüzeyin pürüzlülük değerinin ve spesifik kesme basıncının azaldığını tespit etmişlerdir. Analizler sonucunda, PCD kesici takımın K15 kesici takıma göre daha iyi bir işlenebilirlik performansı gösterdiğini gözlemlemişlerdir.

Mohan ve ark. (2007), farklı kalınlıklara (3, 6, 10 ve 12 mm) sahip CETP kompozitleri farklı dönme devri (600, 900, 1200 ve 1500 dev/dak), ilerleme (50, 75, 100, 125 ve 150 mm/dak), matkap çapı (3, 6, 10 ve 12 mm) gibi delme parametreleri ile delmişlerdir. Malzeme kalınlığına ve delme parametrelerine bağlı olarak kompozit numunelerin giriş ve çıkışında oluşan deformasyon faktörlerini belirlemişler ve MINITAB 14 paket programı yardımıyla analiz etmişlerdir. Analizlerden, delik girişinde sırasıyla malzeme kalınlığı, dönme devri, ilerleme ve matkap çapının deformasyonu etkileyen faktörler olduğunu gözlemlerlerken, delik çıkışında ise sırasıyla malzeme kalınlığı, ilerleme, dönme devri ve matkap çapının deformasyonu etkileyen faktörler olduğunu gözlemlemişlerdir.

Palanikumar (2007), filament sarma yöntemi ile üretilen ve elyaf oryantasyon açıları 15, 30, 60, 90 ve 120 olan CETP boruları, 50, 75, 125, 175 ve 200 m/dak kesme hızlarında, 0,25; 0,5; 1,0; ve 1,75 mm kesme derinliğinde ve 0,05; 0,10; 0,25; 0,50 ve 0,75 mm/dev ilerleme değerlerinde kaplamalı sermet kesici takımlarla tornalayarak elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerini, yüzey yanıt yöntemi (YYY) ile modellemiştir. Modelin geçerliliğini kontrol etmek için ANOVA analizini de kullanmıştır. Kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin lineer olarak azaldığını, ancak yaklaşık 175 m/dak kesme hızından sonra artan kesme hızı ile tekrar yüzey pürüzlülük değerinin arttığını tespit etmişlerdir. Elyaf oryantasyon açısı ve ilerlemenin artmasıyla tornalanan yüzey kalitesinin kötüleştiğini (yüzey pürüzlülük değerinin artması), artan kesme derinliği ile ise yüzey kalitesinin iyileştiğini (yüzey pürüzlülük değerinin azalması) gözlemlemişlerdir.

Palanikumar ve Davim (2007), CETP kompozitlerinin işlenmesinde, takım aşınmasını tahmin etmek için regresyon ve ANOVA analizlerini kullanarak matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Bu modeli; kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve iş parçası elyaf yönlendirme açısı gibi işleme parametrelerinin takım ömrüne etkilerini incelemek amacıyla oluşturmuşlardır. Modelin geçerliliğini, belirleme katsayısı ve kalıntı analizi kullanarak doğrulamışlardır. Bu modelin, CETP kompozitlerin işlenmesinde, takım aşınmasını tahmin etmek için etkili bir şekilde kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Kesme hızının takım aşınması üzerinde büyük etkiye sahip olduğunu ve bunu ilerlemenin takip ettiğini vurgulamışlardır.

Sreejith ve ark. (2007), aynı geometrik özelliklere sahip polikristalli kübik bor nitrür (PCBN) ve PCD kesici takımlarla karbon/fenolik kompozitleri tornalamışlardır.

Tornalama deneylerini; farklı kesme hızı (100, 200, 300, 350 ve 400 m/dak), ilerleme (0,025; 0,050; 0,075 ve 0,100 mm/dev) ve kesme derinliklerinde (1,0 ve 1,5 mm) gerçekleştirmişlerdir. İşleme sırasında üretilen akustik emisyon sinyallerini analiz etmişlerdir. Kesme parametrelerinin, işleme sıcaklığının ve takım malzeme özelliklerinin spesifik kesme basıncı üzerine etkilerini incelemişlerdir. 100 ve 200 m/dak'lık kesme hızlarında spesifik kesme basıncının neredeyse sabit olduğunu, 200 ve 300 m/dak'lık kesme hızlarında göreceli olarak artan bir eğilim izlediğini ve daha yüksek kesme hızlarında ise artışın daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca spesifik kesme basıncının ilerlemenin artmasıyla azaldığını, işleme esnasında oluşan sıcaklığın artmasıyla arttığını gözlemlemişlerdir. Düşük sıcaklıklarda, yükselme eğiliminde olan spesifik kesme basıncının belirli bir sıcaklığa ulaştığında kısmen azaldığını ve bu durumun malzemenin termal yumuşamaya başlamasından kaynaklandığını, ancak çok daha yüksek sıcaklıklarda spesifik kesme basıncının ani olarak pik yaptığını ve bu durumun da kesici takımın termal yumuşamasından kaynaklandığını vurgulamışlardır. Kesici takım sertliğinin ve takım geometrisinin de spesifik kesme basıncı üzerinde etkili olduğunu, artan kesici takım sertliği ile spesifik kesme basıncının azaldığını da ifade etmişlerdir.

Chang ve ark. (2008), CETP kompozitleri yivli ve yivsiz olmak üzere 36 farklı takım ucuna sahip karbür kesici takımlarla tornalamışlardır. Kesici takımlarda oluşan sürtünme kuvvetlerini ve ısıyı deneysel olarak incelemişlerdir. Ayrıca kesici takımlarda oluşan sürtünme kuvvetlerini teorik olarak, oluşan ısıyı ise sonlu elemanlar yöntemi kullanarak hesaplamışlardır. Deneysel ve sayısal verileri karşılaştırarak tornalama deneylerinde kesici takımlarda oluşan sürtünme kuvvetini ve ısıyı analiz etmişlerdir. Yaptıkları çalışmalar sonucunda, deneysel verilerle sayısal sonuçların uyumlu olduğunu belirtmişlerdir.

Işık (2008), tek yönlü CETP kompozitlerin tornalanmasında; kesme derinliği, ilerleme, kesme hızı ve takım geometrisi gibi parametrelerin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini incelemiştir. Yüzey pürüzlülüğünün ilerleme, kesme hızı ve kesici takım geometrisi ile yakından ilişkili olduğunu belirtmiştir. Kesme hızı ve takım uç yarıçapının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinin düştüğünü; ilerleme hızı ve talaş açısının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin arttığını vurgulamıştır. Ayrıca kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığını ifade etmiştir.

Palanikumar (2008), filament sarma yöntemi ile üretilen CETP kompozit boruların PCD kesici takım ile farklı kesme parametrelerinde (kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği) tornalanmasında, yüzey pürüzlülüğünü en aza indirmek için Taguchi ve YYY yöntemlerini kullanmışlardır. Deneylerini Taguchi yönteminin tasarım tekniğine göre gerçekleştirmiştir. Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi değerlendirmiş ve yüzey pürüzlülüğünü en aza indirmek için optimum kesme koşulunu belirlemiştir. Daha sonra, kesme parametreleri ile yüzey pürüzlülüğü arasında YYY yöntemini kullanarak ikinci dereceden bir model oluşturmuştur. Deneysel sonuçlara bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü için en önemli işleme parametresinin ilerleme ve ardından kesme hızı olduğunu gözlemlemiştir. Tahmin edilen değerler ile ölçülen değerlerin oldukça bir birine yakın olduğunu ve geliştirdiği modelin CETP kompozitlerinin işlenmesindeki yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmek için etkili bir şekilde kullanılabileceğini ifade etmiştir.

Petropoulos ve ark. (2008), PEEK kompozitlerinin tornalanmasında, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. İstatistiksel olarak tasarladıkları deneylerde %30 karbon elyaf (KE) ve %30 CE takviyeli PEEK kompozitler ile takviyesiz PEEK malzemeyi, kritik kesme parametreleri olarak belirledikleri ilerleme ve kesme hızı değerlerinde PCD ve K15 sementit karbür kesici takımlar kullanarak tornalamışlardır. Deneysel verileri istatistiksel olarak analiz etmişlerdir. Yaptıkları analizlere göre ilerlemenin kesme hızına göre yüzey pürüzlülüğü üzerinde daha fazla etkiye sahip olduğunu gözlemlemiştir. Takviyeli PEEK kompozitlerdeki yüzey pürüzlülük değerlerinin takviyesiz PEEK malzemedan daha yüksek değerde elde edildiğini, CE takviyesinin KE takviyesine oranla pürüzlülüğü daha çok artırdığını vurgulamışlardır. Ayrıca PCD kesici takımların K15 kesici takımlara oranla daha iyi yüzey kalitesi sağladığını da ifade etmişlerdir.

Sarma ve ark. (2008), CETP kompozit boruların CBN kesici takımlarla tornalanmasında, kesme hızı (54, 82, 126, 194 ve 302 m/dak), ilerleme (0,048; 0,096; 0,143; 0,191 ve 0,238 mm/dev), kesme derinliği (0,25; 0,50; 0,75; 1,00 ve 1,25 mm) ve elyaf oryantasyon açısının (30, 45, 60, 75 ve 90°) kesme kuvveti üzerine etkilerini incelemişlerdir. Ayrıca YYY yöntemiyle kesme parametrelerini kesme kuvvetiyle ilişkilendirmek için bir model geliştirilmişlerdir. Geliştirilen modelin CETP kompozit boruların tornalanmasında, kesme kuvvetlerinin tahmini için uygun olduğunu ve seçilen kesme parametrelerinde %95 doğruluk payı ile kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Kesme hızının, ilerlemenin, kesme derinliğinin ve elyaf oryantasyon açısının artmasıyla kesme kuvvetinin arttığını belirtmiştir. Ancak kesme hızının kritik bir değerinin üzerine çıkmasıyla, artan kesme hızına bağlı olarak kesme kuvvetinin azalma eğilimine başladığını da vurgulamıştır. Yaptıkları çalışmalara bağlı olarak; CETP kompozit boruların yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme parametrelerinde tornalanması gerektiğini ve elyaf oryantasyon açısının az olmasıyla tornalama deneylerinde verimin daha da arttığını ifade etmişlerdir.

Davim ve ark. (2009), %30 CE takviyeli poliamid (PA) 66 matrisli kompozit ile takviyesiz PA 66 malzemenin tornalanmasında, kesici takım cinsinin ve ilerlemenin kesme, ilerleme ve radyal kuvvetler ile yüzey pürüzlülük değerine etkilerini incelemişlerdir. Tornalama deneylerinde, kuvvetler arasında en yüksek değeri radyal kuvvetin aldığını görmüşlerdir. Radyal kuvvetleri sırasıyla kesme kuvveti ve ilerleme kuvvetinin takip ettiğini belirtmişlerdir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğünün, ilerlemenin artmasıyla arttığı sonucuna varmışlardır. Kesici takım ve malzeme çiftinin kuvvet oluşumu ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu da vurgulamışlardır.

Işık ve Kentli (2009), CETP kompozit malzemelerin tornalanmasında, optimum kesme koşullarının belirlenmesi için çok kriterli optimizasyon yaklaşımı ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmayla tasarım aşamasındaki olası üretim hatalarını da belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu bağlamda, tek yönlü CETP kompozitleri farklı kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği değerlerinde 0,4 ve 0,8 mm uç yarıçapına sahip kesici takımlarla tornalayarak kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve birim zamanda kaldırılan talaş miktarı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deneylerde; kesme hızını 75, 100 ve 125 m/dak, ilerlemeyi 0,2; 0,3 ve 0,4 mm/dev ve kesme derinliğini 0,6; 0,9 ve 1,2 mm olarak belirlemişlerdir. Amaçları kesme kuvvetlerini en aza indirmek ve kaldırılan talaş miktarını maksimize etmektir. Kullanılan yöntemin, optimum kesme parametrelerinin seçimi için uygun bir yol sağladığını düşünmüşlerdir. Optimum kesme parametrelerini; 0,4 mm uç yarıçapına sahip kesici takım için 1,2 mm kesme derinliği, 0,4 mm/dev ilerleme ve 125 m/dak kesme hızı değerinden elde etmişlerdir. Ancak 0,8 mm uç yarıçapına sahip kesici takım için ise optimum kesme parametrelerini 1,2 mm kesme derinliği, 0,4 mm/dev ilerleme ve 100 m/dak kesme hızı değerinden elde etmişlerdir.

Mata ve ark. (2009), takviyesiz PEEK malzeme ile %30 CE ve %30 KE takviyeli PEEK kompozitleri farklı kesme parametrelerinde (kesme hızı ve ilerleme hızı) PCD kesici takım ile tornalamışlardır. Tornalama deneylerinde, kesme parametrelerinin işlenebilirliğin iki önemli unsuru olan kesme gücü ve basıncı arasındaki etkisini ilişkilendirmişlerdir. Ayrıca YYY yöntemi ve ANOVA analizi ile bu ilişkiyi analiz etmişlerdir. Kesme hızı ve ilerlemenin artmasıyla; kesme gücünün arttığını ve kesme basıncının azaldığını gözlemlemişlerdir. Dolayısıyla hem kesme gücünün hem de kesme basıncının kesme parametrelerine bağımlı olduğunu belirlemişlerdir. Bununla birlikte, PEEK CE30 ve PEEK KE30 kompozitlerdeki takviyenin matris malzemesinin özelliklerini iyileştirdiğini ancak PEEK malzemesine kıyasla işlenebilirlik özelliklerini zayıflattığını vurgulamışlardır.

Sait ve ark. (2009), filament sarma ve elle yatırma yöntemleri ile üretilen CETP kompozit boruların kaplamalı K20 kesici takımlarla tornalanmasında, işleme parametrelerini optimize etmek için bir takım sayısal analiz programlarından yararlanmışlardır. Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi talaş kaldırma parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması (yan yüzey ve krater aşınma) ve kesme kuvveti gibi çoklu tepki faktörlerini optimize etmişlerdir. Analizlerden; filament sarma yöntemi ile üretilen boruların tornalanmasında; yanal aşınma, krater aşınma, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü faktörlerinin sırasıyla %13,55; %20; %5,21 ve %5,95 oranlarında işlenebilirlikten etkilendiğini belirlemişlerdir. Ayrıca elle yatırma yöntemi ile üretilen boruların tornalanmasında ise bu faktörlerin etkilenme oranlarının sırasıyla %6,25; %18,75; %5,33 ve %11,53 olduğunu ifade etmişlerdir.

Sarıbıyık ve ark. (2009), CETP kompozit profillerde, elyaf hacim oranının kompozitin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini deneysel ve teorik olarak araştırmışlardır. 9 farklı elyaf hacim oranlarında üretilen kompozitlerin maksimum çekme gerilmesi, elastisite modülü, poisson oranı ve yüzde uzama miktarını tespit etmişlerdir. Kompozit malzeme mekanik özelliklerinin elyaf hacim oranlarına bağlı olarak arttığını ve teorik hesaplamalar doğrultusunda elyaf hacim oranlarının değiştirilerek istenilen mekanik özelliklere sahip kompozit malzemelerin üretilebileceğini vurgulamışlardır.

Yang ve ark. (2009), CE kesmede önemli bir role sahip olan ince kenarlı kesme bıçağının güvenilirlik analizini üç önemli kesme faktörü olan kesme hızı, kesme yükü ve kesme hacminin ana etkilerine göre incelemişlerdir. Ayrıca her bir kesme faktörünün

ince kenar bıçak aşınması üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Deney sonuçlarına göre, ince kenarlı bıçağın aşınma dağılımının Weibull dağılımına yaklaştığını ve kümülatif olasılığın dokuz tekrardan sonra belirlenebileceğini belirlemişlerdir. Çeşitli ince kenar bıçak aşınma değerleri için farklı kesme hızları arasında pozitif bir ilişki bulunduğunu, ancak farklı kesme hacimlerinde ve yük altında yapılan kesmelerde ise negatif bir ilişki olduğunu ifade etmişlerdir. Minimum aşınmanın olması için belirlenen optimum kesme hızının 1,9 m/s olduğunu gözlemlenmişlerdir. Yapılan çalışmanın başarılı bir şekilde uygulanmasının, kesme sürecinin ve kesim kalitesinin geliştirilmesinde önemli bir faktör olacağını da vurgulamışlardır.

Hussain ve ark. (2011), 30° ila 90° arasında değişen farklı elyaf oryantasyon açısına sahip CETP kompozit boruların tornalanmasında, elyaf oryantasyon açısı, kesici takım cinsi (K20, CBN ve PCD), kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin güç tüketimi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Deneylerini, Taguchi yönteminin L_{25} ortogonal deney tasarım dizisine göre gerçekleştirilmişlerdir. Elde ettikleri verileri ANOVA yöntemi ile analiz etmişler ve YYY yöntemini kullanarak ikinci dereceden bir matematiksel model geliştirilmişlerdir. Geliştirilen modelin CETP kompozitlerinin işlenmesinde güç tüketiminin tahmini için uygun olduğunu gözlemlenmişlerdir. Deneysel sonuçlarda; düşük kesme hızı, düşük ilerleme, orta kesme derinliği ve düşük elyaf yönlendirme açısında güç tüketiminin daha düşük olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca güç tüketiminde en iyi performansı PCD kesici takımın gösterdiğini ve bunu sırasıyla CBN ve K20 kesi takımların izlediğini belirtmişlerdir.

Khan ve Kumar (2011), e-cam elyaf ve doymamış reçine kullanarak filament sarma yöntemi ile CETP kompozit malzemeler üretmişlerdir. Ürettikleri kompozitleri; Ti [C, N] karışımlarını içeren CC650 ve SiC ince lif takviyelerini içeren CC670 alümina kesici takımlarla tornalamışlardır. Tornalama deneylerini; farklı kesme hızlarında, sabit ilerleme ve kesme derinliğinde gerçekleştirmişlerdir. Her iki alümina kesici takımın performanslarını aşınmaya ve yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak ölçmüşlerdir. Kesici takımlardaki aşınmanın kesme hızı ve kesme zamanındaki artışa bağlı olarak kademeli bir şekilde arttığını görmüşlerdir. CC650 kesici takıma göre CC670 kesici takımda daha düzgün ve daha az aşınma meydana geldiğini gözlemlenmişlerdir. Ayrıca kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin azaldığını ve CC670 kesici takımların kullanılarak tornalandığı yüzeylerden daha kaliteli bir yüzey elde edildiğini ifade etmişlerdir. Sonuç olarak, CETP kompozitlerin tornalanmasında, SiC ince lif

takviyelerini içeren CC670 alümina kesici takım kullanımının Ti [C, N] karışımlarını içeren CC650 alümina kesici takım kullanımından daha iyi performans sağladığını belirtmişlerdir.

Çelik ve Kılıçkap (2012), CETP kompozitlerin delinmesinde oluşan deformasyon faktörü üzerine kesme hızı (60, 90 ve 120 m/dak) ve ilerleme (100, 200 ve 300 mm/dak) gibi kesme parametreleri ile matkap uç açılarının (90° , 118° , 130° ve 140°) etkilerini araştırmışlardır. Delik giriş ve çıkışında oluşan deformasyona bağlı olarak deformasyon faktörünü hesaplamışlardır. Delik girişinde oluşan deformasyonun delik çıkışında oluşan deformasyondan daha az olduğunu gözlemlemişlerdir. Kesme hızı, ilerleme ve matkap uç açısı arttıkça deformasyon faktörünün arttığını tespit etmişlerdir. Minimum deformasyon faktörünü 90° uç açısına sahip matkapların kullanıldığı delme deneylerinde, düşük kesme hızı ve ilerleme değerlerinde elde etmişlerdir.

Kılıçkap ve Çelik (2012), CETP kompozitlerin HSS, TiN kaplı HSS ve WC kesici takımlarla frezelenmesinde, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri araştırılmışlardır. Kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin azaldığını, ilerleme arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin arttığını tespit etmişlerdir. Kesici takımlarla yüzey pürüzlülük değerlerinin en iyi WC kesici takımdan daha sonra sırasıyla TiN kaplı HSS ve HSS kesici takımlardan elde edildiğini belirtmişlerdir.

Çelik ve Pilatin (2013), CETP kompozitlerin 60, 90 ve 120 m/dak kesme hızlarında, 100, 200 ve 300 mm/dak ilerleme değerlerinde, 90° , 118° ve 140° uç açılarında sahip 4, 7 ve 10 mm çapındaki matkaplarla delinmesinde, delik giriş ve çıkışında oluşan deformasyon faktörlerini incelemişlerdir. Deliğin çıkışında oluşan deformasyon faktörünün delik girişindekinden daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. İlerleme, kesme hızı, matkap çapı ve matkap uç açısı arttıkça deformasyon faktörünün arttığını gözlemlemişlerdir. Minimum deformasyon faktörünün düşük kesme hızı ve ilerleme değerlerinden elde edildiğini ve deformasyon faktörü üzerine en etkili parametrenin ilerleme olduğunu vurgulamışlardır.

Gill ve ark. (2013), tek yönlü CETP kompozitlerin uç yarıçapları ve talaş açıları farklı olan K10 karbür takımlarla tornalanmasında, takım geometrisinin, ilerlemenin, kesme hızının, kesme derinliğinin ve çevre şartlarının teğetsel, radyal ve ilerleme kuvvetleri gibi kesme kuvvetlerine etkilerini araştırmışlardır. Deneylerini, Taguchi

yönteminin L_{18} dizisine göre tasarlayıp gerçekleştirmişlerdir. İstatistiksel analizleri kullanarak kesme kuvvetleri için uygun R^2 katsayılarını belirlemişler ve çoklu regresyon modeli elde etmişlerdir. Kesme derinliğinin ve takım geometrisinin (takım uç yarıçapı ve talaş açısı) kesme kuvvetleri üzerinde büyük etkilere sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca elde ettikleri modelin kesme kuvvetlerini öngörmek için son derece tercih edilebilir bir model olduğunu iddia etmişlerdir.

Li ve ark. (2013), PEEK malzeme ve %30 oranında kısa CE ile takviye edilmiş PEEK matrisli (PEEK CE30) kompozitlerinin mekanik ve tribolojik davranışlarını incelemişlerdir. Aşınma deneylerini oda sıcaklığında bilyalı disk ile gerçekleştirmişlerdir. Uygulanan yük ve kayma süresinin PEEK malzeme ile PEEK CE30 kompozitin sürtünme katsayısı ve aşınma kaybı üzerindeki etkilerini karşılaştırmışlardır. Böylece her iki malzemenin mekanik özelliği, morfolojisi ve termal performansını değerlendirmişlerdir. Mekanik testler sonucunda; PEEK CE30 kompozitin mekanik özelliklerinin PEEK malzemeden daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. PEEK matris malzemesine CE takviye edilmesinin kompozitin çekme ve eğilme mukavemetini sırasıyla %64 ve %66 oranında arttırdığını vurgulamışlardır. Aşınma deneyleri sonucunda ise uygulanan yük ve kayma süresindeki artışla birlikte malzemelerdeki sürtünme katsayısı ve aşınma kaybının kademeli olarak arttığını ifade etmişlerdir. PEEK malzemeye göre PEEK CE30 kompozitin sürtünme katsayısının daha yüksek olduğunu, ancak aşınma kaybının daha az olduğunu belirtmişlerdir. PEEK CE30 kompozitin termal bozulma sıcaklığının PEEK malzemeden yaklaşık 75 °C daha yüksek olduğunu ve dolayısıyla PEEK CE30 kompozitinin mükemmel aşınma direnci sergilediğini vurgulamışlardır.

Mohan ve ark. (2013), CETP kompozitlerinde, tungsten karbür (WC) tozlarının erozyon aşınma davranışına etkisini araştırmışlar ve bulguları analiz etmişlerdir. Kompozit numuneleri üretmek için vakum infüzyon yöntemini kullanmışlardır. Farklı çarpma hızlarının (40 ve 80 m/s) ve açılarının (300 ila 900°) kompozit malzemelerin aşınma direnci üzerindeki etkilerini ölçmüşlerdir. Çarpma hızı ve açısının artmasıyla erozyon aşınma oranının arttığını gözlemlemişlerdir. Çarpma açısının erozyon aşınmaya etkisini incelediklerinde; maksimum erozyon oranı 900° çarpma açısında elde edildiğini ve tüm kompozitlerin kırılma davranış gösterdiğini belirtmişlerdir. WC ile desteklenmiş CETP/WC kompozitinin, CETP kompozite göre daha düşük erozyon aşınma davranışı sergilediğini görmüşlerdir. Ayrıca CETP/WC kompozitlere kıyasla

CETP kompozitlerde, matris ve CE takviye elemanının daha ciddi hasarlar aldığını ve bu hasarların elyaf kopması, elyaf kesilmesi ve matris aşınması şeklinde oluştuğunu ifade etmişlerdir.

Çelik ve ark. (2014), CETP kompozitlerin parmak freze çakısı ile frezelenmesinde, freze çakısı ağız sayısı ve kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini incelemişlerdir. Deneysel çalışmalardan elde ettikleri verileri bulanık mantık sistemine tanımlamışlardır. Bulanık mantık sisteminin; farklı kesme parametrelerine bağlı olarak kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüne tahmini yaklaşımda bulunmasını sağlamışlardır. Hem deneysel çalışma hem de bulanık mantık sistemi tahmini sonuçlarından, ilerleme arttıkça ilerleme kuvvetinin ve yüzey pürüzlülük değerinin arttığını, kesme hızı arttıkça ilerleme kuvvetinin arttığını ve yüzey pürüzlülük değerinin azaldığını, freze çakısı ağız sayısı arttıkça ilerleme kuvvetinin ve yüzey pürüzlülük değerinin azaldığını ifade etmişlerdir. Minimum ilerleme kuvvetini, 4 ağızlı freze çakısı ile frezelenen CETP kompozitlerin düşük kesme hızı ve ilerleme parametrelerinde işlenmesinden, en iyi yüzey kalitesini ise 4 ağızlı freze çakısı ile frezelenen CETP kompozitlerin yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme parametrelerinde işlenmesinden elde etmişlerdir.

Hussain ve ark. (2014), genetik algoritma kullanarak CETP kompozitlerin yüzey pürüzlülüğü için işlem parametrelerinin optimizasyonu üzerine odaklanmışlardır. Farklı elyaf oryantasyon açısına sahip CETP kompozitleri, PCD kesici takım ile farklı kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinde torna tezgâhında tornalamışlardır. Tornalama deneylerini, Taguchi'nin L_{25} ortogonal dizisine dayanan tasarıma göre gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca YYY kullanarak yüzey pürüzlülüğünün tahmini için ikinci dereceden bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Hedef fonksiyonunu optimize etmek için ise genetik algoritma ile birleştirilen yüzey pürüzlülük tahmin modelini optimize etmişlerdir. Optimize etmiş oldukları sonuçların geçerliliği için doğrulama deneyleri yapmışlardır. Elyaf oryantasyon açısı ve ilerlemenin artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin arttığını, kesme hızı ve kesme derinliğinin artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin azaldığını belirtmişlerdir. Optimum tornalama parametrelerinin; kesme hızının 130 ~ 140 m/dak, ilerlemenin 0,048 ~ 0,05 mm/dev, kesme derinliğinin 0,6 ~ 1,0 mm ve elyaf oryantasyon açısının 30° ~ 45° olduğu durumda elde edildiğini ifade etmişlerdir.

Parida ve ark. (2014), CETP kompozitlerinin tornalanmasında, kesme parametrelerinin (kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme) yüzey pürüzlülük üzerindeki etkilerini değerlendirmek için bir dizi deney yapmışlardır. Deneylerini Taguchi yönteminin L₉ ortogonal tasarım dizisine göre gerçekleştirmişlerdir. Minimum yüzey pürüzlülüğü elde etmek için tepki tablosu ve grafiği, normal olasılık grafiği ve ANOVA analizinden yararlanmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü için optimum kesme parametrelerinin düşük kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinden elde edildiğini ve en etkili parametrenin kesme hızı olduğunu belirtmişlerdir.

Sharma ve ark. (2014), CETP kompozitlerin tornalanmasında, kesme parametrelerinin işlenebilirliğe etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Deneysel çalışmalardan elde ettikleri verileri bulanık mantık modeline aktarmışlardır. Bulanık mantık modelinde giriş parametrelerini kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği, çıkış parametrelerini ise yüzey pürüzlülüğü, talaş kaldırma oranı ve takım aşınması olarak belirlemişlerdir. Böylece deneysel çalışmalardan elde ettikleri veriler ile bulanık mantığın tahmin ettiği değerleri kıyaslamışlardır. Sonuçlardan; kesme hızının artması ve ilerlemenin azalmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin azaldığını, kesme hızı ve kesme derinliğinin artmasıyla talaş kaldırma oranının arttığını, kesme derinliği ve ilerleme arttıkça takım aşınmasının arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca bulanık mantık modelinin ürettiği tahmini sonuçların yüzdelik hata oranlarının yüzey pürüzlülüğü, talaş kaldırma oranı ve takım aşınması için sırasıyla %2,74; %12,67 ve %3,06 olarak elde edildiğini vurgulamışlardır. Tüm çıkış parametreleri göz önünde bulundurulduğunda, optimum kesme parametrelerinin kesme hızının 100 m/dak, ilerlemenin 0,10 mm/dev ve kesme derinliğinin 1,5 mm olduğu durumda elde edildiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca işlenebilirlik üzerindeki en etkili parametrenin %39,38 katkı oranı ile kesme derinliği olduğunu belirtmişlerdir.

Sivasankaran ve ark. (2014), CE keçe ve CE dokuma kumaşlardan filament sarma yöntemi ile boru şeklinde CETP kompozitler üretmişlerdir. Kompozit boruların epoksi polyester reçine oranını %70 ve CE oranını %30 olarak belirlemişlerdir. Ürettikleri kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Ayrıca bu kompozit boruların PCD kesici takımlarla tornalanmasında; kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğine bağlı yüzey pürüzlülüğünün değişimini araştırmışlardır. CE dokuma kumaş ile üretilen CETP kompozitlerdeki mekanik özelliklerin CE keçe ile üretilen kompozitlerden daha yüksek (çekme dayanımında %54 ve eğilme dayanımında %38

oranında) olduğunu ifade etmişlerdir. Dokuma tipi CETP kompozit borular için yüksek kesme hızı, düşük ilerleme ve kesme derinliğinde, keçe tipi CETP kompozit borular için ise düşük kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinde iyi bir yüzey kalitesi gözlemlenmiştir.

Uhlmann ve ark. (2014), KETP kompozitleri, kimyasal buhar çökertme (CVD) yöntemiyle kaplanmış freze çakısının yanı sıra su jeti, CO₂ jeti ve taşlama gibi farklı tezgâhlarla işlemişlerdir. İşlenmiş parçaların kalitesini deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü gibi parametrelere bağlı olarak incelemişlerdir. Böylece KETP kompozitlerin işleme kalitesinin değerlendirilmesi için yenilikçi bir yöntem sunmuşlardır. KETP kompozitlerin CVD kaplı kesici takımlar kullanılarak işlenmesinin önemli bir gelişme sağlanabileceği belirlemişlerdir. Aşındırıcı su jeti kesim işlemlerinde daha yüksek bir basınç uygulanarak yüksek ilerleme oranları daha yüksek verimlilik elde edilebileceğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca, CO₂ jeti ile kesme ve taşlama işlemlerinin, yüksek verimlilik ve yüksek kalitede işlenmiş kenarlar için potansiyel bir yaklaşım olduğunu ifade etmişlerdir.

Vasudevan ve ark. (2014), elle yatırma yöntemi kullanılarak ürettikleri dokuma kumaş esaslı CETP kompozit tüpleri farklı uç yarıçapına sahip kesici takımlarla farklı kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği parametrelerinde tornalamışlardır. Tornalama deneylerini, Taguchi yönteminin L₂₇ ortogonal tasarım dizisine göre yapmışlardır. Tornalama parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, talaş kaldırma oranı ve teğetsel kesme kuvveti üzerine etkilerini incelemişlerdir. Üç performans ölçümünü, gri ilişkisel analizini ve Mamdani tipi bulanık mantık sistemini kullanarak çoklu performans karakteristik indeksine dönüştürmüşlerdir. Daha sonra performans karakteristik indekslerini Taguchi yöntemini kullanılarak optimize etmişlerdir. Optimum kesme parametrelerini; 0,8 mm uç yarıçapına sahip takımda, kesme hızının 120 m/dak, ilerlemenin 0,05 mm/dev ve kesme derinliğinin 1,6 mm olduğu durumda elde etmişlerdir.

Yardimeden ve ark. (2014), KETP kompozitlerin farklı uç açılarına sahip matkaplarla delinmesinde, dönme devri ve ilerleme parametrelerinin deformasyon faktörü ve ilerleme kuvveti üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. İlerleme, dönme devri ve matkap uç açısı arttıkça ilerleme kuvvetinin arttığını gözlemlenmiştir. Ayrıca deformasyon faktörünün dönme devri arttıkça azaldığını, ilerleme ve matkap uç açısı arttıkça arttığını ifade etmişlerdir.

Azmi (2015), CETP kompozitlerin, K20 helisel parmak freze çakısıyla sabit kesme derinliğinde frezelenmesinde; kesme zamanı, kesme hızı ve ilerlemeye bağlı takım aşınması, ilerleme ve kesme kuvvetlerini deneysel olarak incelemiş ve uygulanabilir ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi ile modellemiştir. Kesme zamanı, kesme hızı ve ilerleme arttıkça takım aşınmasının arttığını ve takım aşınması üzerine değişen ilerlemenin farklı kesme hızlarında değişken davranışlar sergilediğini ifade etmiştir. Ayrıca kesme zamanı ve ilerlemenin artmasıyla ilerleme ve kesme kuvvetlerinin arttığını, artan kesme kuvvetlerinin takım aşınmasının artmasında önemli bir etken olduğunu vurgulamıştır. Özellikle, uygulanabilir ağ tabanlı bulanık çıkarım sisteminin regresyon analizi ile takım aşınması ve ilerleme kuvvetinin doğrusal olmayan ilişkisinin oldukça etkili bir şekilde karşılaştırılarak eşleştirebildiğini belirtmiştir.

Gupta ve Kumar (2015), tek yönlü CETP kompozitlerin tornalanmasında, tornalama parametrelerinin işlenebilirlik üzerine etkilerini araştırmışlardır. Tornalama deneylerinde; uç yarıçapları 0,4 ve 0,8 mm ve talaş açıları -6, 0 ve +6° olan PCD kesici takımlar kullanmışlardır. Deneyleri; kesme hızı (55,42; 110,84 ve 159,66 m/dak), ilerleme (0,05; 0,1 ve 0,2 mm/dev), kesme derinliği (0,2; 0,8 ve 1,4 mm) ve kesme ortamı (kuru, ıslak ve soğutucu) şartlarına bağlı olarak Taguchi L₁₈ ortogonal tasarım dizisine göre gerçekleştirmişlerdir. Takım geometrisinin, kesme parametrelerinin ve kesme ortamının talaş kaldırma oranına ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemişlerdir. Takım uç yarıçapı arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin azaldığını ve talaş kaldırma oranının arttığını, ilerleme, kesme hızı ve kesme derinliği arttıkça hem yüzey pürüzlülük değerinin hem de talaş kaldırma oranının arttığını belirtmişlerdir. 0° talaş açısına sahip kesici takımlarda daha düşük yüzey pürüzlülük değeri ve daha yüksek talaş kaldırma oranını elde etmişlerdir. Ayrıca soğutucu kesme ortamında daha yüksek yüzey pürüzlülük değeri ve talaş kaldırma oranı gözlemlenmiştir. 0,2 mm/dev ilerleme, 1,4 mm kesme derinliği ve 159,66 m/dak kesme hızı için optimum talaş kaldırma oranının 330,267 mm³/s ve yüzey pürüzlülük değerinin 1,498 µm olduğunu belirlemişlerdir.

Kilickap ve ark. (2015), KETP kompozitlerin frezelenmesinde, freze çakısı ağız sayısı, kesme hızı ve ilerlemenin deformasyon faktörü, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. İlerleme arttıkça deformasyon faktörünün, kesme kuvvetinin ve yüzey pürüzlülük değerinin arttığını, kesme hızı arttıkça deformasyon faktörünün arttığını, yüzey pürüzlülük değerinin azaldığını ve kesme kuvvetinin kesme parametrelerine bağlı olarak farklılıklar gösterdiğini, freze

çakısı ağız sayısı arttıkça deformasyon faktörünün, kesme kuvvetinin ve yüzey pürüzlülük değerinin azaldığını ifade etmişlerdir. En iyi işleme şartlarının 4 ağızlı freze çakısı ile frezelenen KETP kompozitlerin düşük ilerleme parametrelerinde işlenmesinden elde edildiğini vurgulamıştır.

Schorník ve ark. (2015), filament sarma yöntemi ile üretilen KETP kompozitlerin sabit kesme hızı ile frezelenmesinde, ilerlemenin (150, 200, 250, 300, 350 ve 400 mm/dak) yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini incelemişlerdir. Verilen sabit kesme hızı için en iyi yüzey pürüzlülük değerini 200 mm/dak ilerleme değerinden elde edildiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca, bu kompozitlerin iyi bir yüzey kalitesi ile işlenebileceğini vurgulamışlardır.

Henerichs ve ark. (2016), KETP kompozitlerin ortogonal olarak işlenmesinde, takım geometrisi ve elyaf oryantasyon açısına bağlı olarak takım aşınması ve iş parçasında oluşan deformasyon gibi hasarları değerlendirmişlerdir. Kesici takım özelliklerinin takım ömrü ve iş parçası üzerinde oluşan hasarlar üzerinde büyük bir öneme sahip olduğunu vurgulamışlardır.

Kuram (2016), enjeksiyon kalıplama ile üretilen poliamid 6 malzeme ve CE takviyeli poliamid 6 kompozitin mikro işlenebilirliğini daha iyi anlamak için bir çalışma yapmıştır. Bu doğrultuda, bu malzemelerin mikro frezelenmesinde, çeşitli iş mili dönme devri ve ilerleme değerlerinin takım aşınması, kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve çapak oluşumu üzerine etkilerini incelemiş ve sonuçları karşılaştırmıştır. Dönme devri ve ilerlemenin artmasıyla kesme kuvvetlerinin arttığını, ancak her iki iş parçası için dönme devrinin artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin azaldığını ifade etmiştir. Takviyesiz poliamid 6 malzemenin işlendiği kesici takımlarda adhezyon aşınması, CE takviyeli poliamid 6 kompozitin işlendiği kesici takımlarda ise adhezyon ve abrasif aşınma, kesme kenarlarında yuvarlanmalar ve mikrotalaşlar oluştuğunu gözlemlemiştir. Ayrıca işlenmiş CE takviyeli Poliamid 6 kompozitin yüzeyinde lif çıkınları, liflerde bozukluk/kopma ve elyaf ile matris arasında ayrışma oluştuğunu ve bu durumun yüzey pürüzlülük değerinin artmasında büyük bir öneme sahip olduğunu vurgulamıştır. Bu iki malzemenin işlenmesinde oluşan çapakları değerlendirildiğinde ise poliamid 6 malzemede çapak biçiminin duvar şeklinde, CE takviyeli poliamid 6 kompozitte çapak biçiminin dalgalı biçimde oluştuğunu belirtmiştir. Takviyesiz poliamid 6 malzeme ile CE takviyeli poliamid 6 kompozit; mikro işlenebilirlik açısından karşılaştırıldığında, poliamid 6 malzemenin daha iyi sonuçlar verdiğini görmüştür.

Uhlmann ve ark. (2016), aşındırıcı özelliği olan CETP ve KETP kompozitlerinin işlenmesinde ortaya çıkan takım aşınması ve kesici kenar yuvarlanması gibi sorunlardan dolayı oluşan yüksek kesme kuvvetleri ve iş parçası kalitesinde yetersizlik gibi sorunlara çözüm aramışlardır. Ayrıca bu kompozitlerin işlenmesinde, iş parçası kalitesinin sınıflandırılmasının yeterince araştırılmadığı düşüncesiyle bu konuya da odaklanmışlardır. CETP ve KETP kompozitlerin eksenel delinmesinde, düşük delik kalitesinin yanı sıra yüksek elyaf çekmelerinin oluştuğunu ve CETP kompozitlerin KETP kompozitlerden daha fazla soruna neden olduğunu ifade etmişlerdir. Takımların CVD elmas ile kaplanmasının, kesme kenarının yuvarlanması problemine herhangi bir faydası olmadığını ifade etmişlerdir. Ayrıca CETP ve KETP kompozitlerin helisel freze işlemi ile delinmesinde, daha az elyaf çekmelerinin oluştuğunu, ancak delme işleminin çok daha yüksek işlem süresiyle sonuçlandığını gözlemlemişlerdir.

Yardimeden (2016), CETP kompozitlerin farklı uç yarıçaplarına sahip karbür kesici takımlarla tormalanmasında, kesme hızı ve ilerleme parametrelerinin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemiştir. Esas kesme kuvvetini ölçmek için üç bileşenli bir dinamometre kullanmıştır. Kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü, CETP kompozitlerin eksenleri boyunca ölçülmüştür. İlerlemenin artmasıyla kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerinin arttığını, kesme hızı ve takım uç yarıçapı arttıkça kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerinin azaldığını gözlemlemiştir. CETP kompozitlerin yüksek uç yarıçapına sahip kesici takımlarla yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme değerlerinde tormalanmasının düşük kesme kuvveti ve iyi bir yüzey kalitesi için önemli olduğunu vurgulamıştır.

Kılıçkap ve ark. (2017), KETP kompozitlerin fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemi ile yüzeyi TiAlN kaplanmış kesici takımlarla tormalanmasında, dönme devri ve ilerleme parametrelerinin takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini araştırmışlardır. TiAlN PVD kaplı kesici takımlarda, tormalama zamanına bağlı olarak ilk başlarda hızlı aşınma oluştuğunu ve belirli bir aşınma değerinden sonra aşınmanın daha yavaş olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca yüzey pürüzlülük değerinin dönme devrinin artmasıyla azaldığını ve ilerlemenin artmasıyla arttığını gözlemlemişlerdir.

Voss ve ark. (2017), KETP kompozitlerin delinmesi ve frezelenmesi gibi işlemlerde yoğun takım aşınması problemleri ile karşı karşıya kaldığını, elmas kaplı karbür veya PCD gibi oldukça sert kesici takımların kullanılması gerektiğini ve bu

takımların kullanım ömrünün daha da artırılması için takım geometrisinin, kesme parametrelerinin, kaplama şeklinin ve cinsinin oldukça önemli olduğunu belirtmişlerdir. Genellikle kompozit malzemelerin işlenmesinde ve optimizasyonu ile ilgili çalışmalarda, deneysel verilerden elde edilen bilgiler doğrultusunda işlem yapıldığını ve nadiren takım aşınmasının modellendiğini ifade etmişlerdir. Uygun kesme kuvveti ve takım aşınması modellerini geliştirmek için takım ile iş parçası arasındaki gerçek koşullardaki sürtünme katsayılarının bilinmesi gerektiğini de bildirmişlerdir. Bu doğrultuda talaşlı işleme esnasında, takım ve iş parçası ara yüzünde sürtünme katsayısının belirlenmesi için tribometre kullanarak bir takım deneysel çalışma yapmışlardır. Elyaf oryantasyonunun etkisinin yanı sıra sürtünme katsayısının büyüklüğünün pin-on-disk triboloji deney sonuçlarına kıyasla talaşlı işleme esnasındaki triboloji deney sonuçlarında çok daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu tribolojik ölçüm verilerinin kesme işleminde kesme kuvveti ve aşınma modellemesi için büyük önem taşıdığını da vurgulamışlardır.

Çelik ve ark. (2019), KETP kompozitler ile grafen ve grafen oksit içeren KETP kompozitlerin farklı uç açlarına sahip matkaplarla delinmesinde, kesme parametrelerinin deformasyon faktörü, sıcaklık oluşumu, kesme kuvvetleri ve momentleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Kesme hızı, ilerleme ve matkap uç açısının artması ve KETP kompozitlere eklenen nanoparçacıklarının kesme kuvvetlerinde, kesme torklarında ve deformasyon faktörlerinde artışa neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Kesme kuvveti ve deformasyon faktörü üzerinde en etkili parametrelerin ilerleme ve matkap uç açısı olduğunu, delme esnasında oluşan sıcaklık üzerine en etkili parametrenin kesme hızı olduğunu vurgulamışlardır.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, elyaf takviyeli kompozitlerden özellikle CETP ve KETP kompozitlerin farklı talaşlı imalat yöntemleri ile işlendiği görülmüştür. Bu kompozitlerin işlenmesinde; elyaf oryantasyon açısının, kompozit üretim yönteminin, takım malzemesinin, takım geometrisinin, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi kesme parametrelerinin ve kesme ortamının yüzey pürüzlülük, kesme kuvveti, deformasyon faktörü ve takım aşınması üzerindeki etkileri incelenmiştir. Özellikler tornalama deneylerinde kesme parametrelerinin optimizasyonuna da yer verilmiştir. Ancak kırılmış elyaf kullanılarak farklı elyaf boyu ve oranına sahip CETP kompozitlerin üretimi ve tornalanabilirliği üzerine hala çalışmaların yapılması gerektiği düşünülmektedir. Bu çalışmada, farklı elyaf boyu ve oranına sahip CETP kompozitler

üretmiştir. Üretilen kompozitlerin çekme dayanımları belirlenmiştir. Ayrıca bu kompozitler farklı kesme parametreleri için Taguchi yönteminin L_{27} ortogonal tasarım dizisine göre tornalanmıştır. Kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri Taguchi yöntemine göre analiz edilerek incelenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kompozit Malzemeler

İlk çağlardan bu yana insanlar kırılğan malzemelerin içerisinde bitkisel ve hayvansal kaynaklı lifler koyarak bu malzemelerin kırılğan özelliğini gidermek için çaba sarf etmişlerdir. Örneğin killi çamur içerisinde katılan saman ile yapılan kerpiçlerde, at kılıyla yapılan sıvalarda, bitkisel ve hayvansal lifler kullanılmış ve malzemenin dayanımı arttırılmaya çalışılmıştır (Ersoy, 2001).

Malzemenin tarihsel gelişimi, değişimi ve çeşitlendirilmesi incelendiğinde; saf ve doğal malzemelerin üretim teknolojisindeki kullanım payı zamanla azalmıştır. Buna karşılık gelişen teknoloji ile birlikte, birden fazla malzemenin değişik tekniklerle bir araya getirildiği, amaca uygun özellikler katılarak yeniden tasarlandığı ve bu yeni malzemenin, bir başka ifadeyle kompozit malzemenin giderek yaygınlaştığı açıkça görülmektedir. Sanayi devrimi ile birlikte belirli bilimsel gelişmeler ve buna bağlı olarak meydana gelen teknolojik ilerlemeler sonucunda, doğadan elde edilen maddeler belirli işlemlerden geçirilerek özellikleri değiştirilmiş ve amaca uygun kompozit malzeme haline getirilmeye başlanmıştır (Ersoy, 2001).

Günümüzde gemi yapımından bina yapımına, ev aletleri üretiminden uzay teknolojisine kadar hemen hemen her alanda çok yaygın kullanım alanı bulan kompozit malzemeler; belirli bir amaca yönelik olarak, en az iki farklı malzemenin bir araya getirilmesiyle meydana gelen heterojen malzemelerdir. Farklı gruba sahip malzemelerin bir araya getirmesindeki amaç; bileşenlerin hiç birinde tek başına mevcut olmayan bir özelliğin, elde edilen yeni malzemede bir araya getirilmesi ve üstün özelliğe sahip bir malzeme üretilmesidir. Kompozit malzemeye, “Çok Bileşenli Malzeme” veya “Çok Fazlı Malzeme” gibi adlar da verilmektedir (Ersoy, 2001).

Kompozit malzemeler, genel olarak düşük modül ve dayanıma sahip reçine veya metal matris ana fazı ile bunun içerisinde dağılmış daha az oranda kullanılan tali fazı olan takviye elemanından oluşmaktadır. Takviye elemanı olarak değişik morfolojiye sahip kısa ve uzun elyaflar, kılcal kristaller, kırılmış veya parçacık seramikler kullanılmaktadır. Takviye elemanlarının temel fonksiyonu, gelen yükü taşımak ve matrisin rijitlik ve dayanımını arttırmaktadır. Matrisin görevi ise takviye elemanlarındaki yük ve dayanım transferini eşit olarak sağlayabilmek için takviye

elemanları ile matrisi bir arada tutmak ve takviye elemanlarının yüzeylerini dış ve çevresel etkilere karşı korumaktır (Şahin, 2006).

Yeni gelişen bir malzemeyi, kompozit malzeme olarak adlandırmak için aşağıdaki koşullar aranmaktadır.

- ✓ Doğal bir malzeme olmamalı, insan yapısı olmalı,
- ✓ Fiziksel ve mekanik özellikleri farklı olan en az iki veya daha fazla malzemeyi barındırması ve farklı ara yüzeye sahip olması,
- ✓ Malzemelerin üç boyutlu olarak bir araya getirilmesi,
- ✓ Herhangi bir ferdi bileşenle elde edilemeyen mekanik özelliklerin gerçekleştirilmesi,
- ✓ Optimum özellikler elde etmek için bir malzemenin diğer malzeme içerisine düzenli bir şekilde dağılması ile iki ayrı malzeme karıştırılarak karma bir malzeme oluşturması,
- ✓ Kompoziti oluşturan elemanların en iyi özelliklerinin bir arada toplanması.

Kompozit malzeme üretimi ile uygulamada genellikle bazı özellikler sağlanabilmektedir. Bunlar;

- ✓ Yüksek mekanik dayanım (çekme, basma ve eğilme dayanımı),
- ✓ Yüksek yorulma dayanımı,
- ✓ Mükemmel aşınma direnci,
- ✓ Yüksek sıcaklığa dayanıklılık,
- ✓ Yüksek kırılma tokluğu,
- ✓ Yüksek korozyon direnci,
- ✓ Isı iletkenlik ve ısı direnci,
- ✓ Elektrik iletkenliği ve elektriksel direnç,
- ✓ İyi termal iletkenlik,
- ✓ Düşük ağırlık,
- ✓ Estetik görünüm ve çekicilik,
- ✓ Ses tutuculuğu ve yutuculuğudur (Şahin, 2006).

Kompozit malzeme üretim tekniği, matrise, parça şekline, istenilen fiziksel ve mekanik özelliklere göre belirlenmektedir. Kompozit malzeme ile üretilecek olan parçalar için tasarım yapılırken, elde edilmek istenen parçanın hangi alanda kullanılacağı ve kullanıma yönelik spesifik ihtiyaçların neler olduğunun bilinmesi

gereklidir. Kompozit malzeme kullanılarak bir parça tasarlanırken ham malzeme özellikleri, imalat yöntemi, maliyet, çevre koşullarının parçaya etkisi gibi bir dizi faktör birlikte değerlendirilmelidir.

Kompozit malzemeleri oluşum şekillerine göre sınıflandırmak zordur. Bu nedenle kompozitler, matris malzemesine ve takviye şekline göre farklı açılardan sınıflandırılabilir. Kompozit Malzemeler matris malzemenin cinsine göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir.

- a) Metal Matrisli Kompozitler
- b) Seramik Matrisli Kompozitler
- c) Polimer Matrisli Kompozitler

Takviye malzemelerin şekillerine göre ise;

- a) Tanecik Takviyeli Kompozitler,
- b) Elyaf Takviyeli Kompozitler,
- c) Tabakalı Kompozitler (Erdoğan, 1999).

Kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak seramik elyaflar veya parçacıklar kullanılmaktadır. Bunlar plastik ve metal esaslı malzemelerde elde edilemeyen yüksek özgül dayanımlı malzemelerdir. Günümüzde özellikle mühendislik kullanımı için çok değişik elyaflar bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; cam elyaf, karbon elyaf, aramid elyaf, alüminyum oksit, silisyum karbür ve bor karbürdür. Kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak ancak elyaf veya kılcal kristalli formdaki takviye elemanları kullanıldığı zaman optimum özellikler elde edilebilmektedir. Ayrıca takviye elemanı kompoziti oluşturan en önemli eleman olduğu için kompozit üzerine gelen yükün büyük bir kısmını taşımaktadır. Yükün elyaflara iletilebilmesi için fazlar arasında fiziksel ve kimyasal uyumun iyi olması, ara yüzey bağının güçlü olması gerekir (Şahin, 2006).

Mühendislikte kullanılan takviye elemanlarının pek çoğu elyaf şeklinde üretildiklerinden dolayı, dayanım ve rijitlikleri katı haldeki konumlarından yaklaşık 30-50 kat daha dayanıklı ve 3 kat daha rijittir ve kütle halinde gösterdikleri özelliklerden daha üstün performans gösterirler.

Günlük uygulamalarda en yaygın kullanım olanağı bulmuş olan elyaf takviyeli kompozit malzemeler içerisinde özellikle hafiflik, düşük maliyet ve yüksek mekanik

özelliklerden dolayı cam elyaf takviyeli plastik (CETP) kompozitler ilk sırada yer almaktadır.

2.1.1. Elyaf takviyeli kompozitler

Elyaf takviyeli kompozitler; üretim yöntemindeki kolaylıklar, farklı üretim yöntemleri ile elde edilebilirlik ve diğer takviye elemanlarına göre daha ekonomik olmaları nedeniyle kompozit malzemelerin en yaygın türünü oluşturmaktadır.

Matris malzemenin elyaf ile takviye edilmesi daha iyi mekanik dayanıma sahip kompozit malzeme üretmeye yöneliktir. Özellikle polyester matris malzemesindeki elyaflar, malzemenin çekme, basma ve eğilme dayanımlarının iyileştirilmesine ve gevrekliğinin giderilmesine katkı sağlar.

Elyaf takviyeli kompozitlerde, elyafın taşıma işlemine katılabilmesi için matris malzemesinin gelen kuvveti elyaflara iletmesi gerekmektedir. Burada elyaf ile matris malzemesi arasında herhangi bir kimyasal bağ yoktur ve iletim kayma kuvveti ile sağlanmaktadır. Elyaf takviyeli kompozitlerde elyaflar, malzeme türüne ve üretildiği hammaddeye göre adlandırılmaktadır. Bunlara; aramid, karbon ve cam elyaf takviyeli kompozitler örnek verilebilir (Ersoy, 2001).

2.1.1.1. Aramid elyaf takviyeli kompozitler

Sentetik elyaflar içerisinde önemli bir yer tutan kevlar, ticari olarak aramid adı ile bilinmektedir. Camdan daha hafif ve daha rijit olan bu malzeme, fiyat açısından cam elyafı dışında kalan diğer bazı elyaflardan daha ucuzdur. Eğilme direncinin düşük oluşu ve kesilmesinde karşılaşılan zorluklar, malzemenin çekme dayanımının ve elastisite modülünün 100 °C dereceye kadar sabit olması, sıcaklığın 300 °C dereceyi aşmasıyla bu değer hızla düşmesi, aramidin tasarım alanındaki çalışmalarda dikkate alınması gereken özelliklerindendir (Ersoy, 2001).

2.1.1.2. Karbon elyaf takviyeli kompozitler

Karbon elyafları, yüksek çekme ve yüksek elastisite modülüne sahip takviye elemanlarındandır. Organik maddelerden üretildikleri için organik fiber olarak adlandırılırlar. Ham madde olarak poli-akro-nitril (PAN), selüloz (rayon) ve Zift (Pitch) kullanılır. Yüksek sıcaklığa dayanabilen karbon elyafının özellikleri, üretimin son

sıcaklığına bağlı olarak değişiklikler göstermektedir. Üstün özelliklerinin yanı sıra pahalı bir malzemedir. Özellikle uzay ve havacılık endüstrisinde kullanılan bir malzemedir (Şahin, 2006).

2.1.1.3. Cam elyaf takviyeli kompozitler

Cam elyafı, elyaf takviyeli kompozitlerin üretiminde en çok kullanılan takviye malzemelerindendir. Üstün özelliklerine ilaveten ekonomik bir takviye elemanı olması bu sonucu ortaya çıkartmaktadır. Çeşitli matris malzemeleriyle kullanılmış olmasına rağmen temel kullanım alanı bulan matris malzemesi plastik endüstrisidir. CETP kompozit üretiminde, polyester ucuz olması sebebi ile ilk sırada yer almakta olup diğer termoset ve termoplastik reçinelerle de kullanılmaktadır (Ersoy, 2001).

Elyaf takviyesinin yumuşak ve sünek matris malzemesi içerisine ilave edilmesiyle, matris malzemesinin çekmek dayanımı, yorulma dayanımı, özgül modül ve özgül dayanım özellikleri iyileşir. Matris malzemesi, kuvveti elyaflara transfer ederek kompozitin tokluk özelliğini artırır ve böylece elyaflar uygulanan yükün çoğunu taşır. Ayrıca elyaf takviyesi, kompozitin dayanımını hem oda hem de yüksek sıcaklıklarda artırır.

Elyaf takviyeli kompozitlerde oldukça farklı oryantasyon açısı ve örgü tipine sahip elyaflar kullanılmaktadır. Elyaflar; örme, şerit, fitil şeklinde olmakta birlikte tabakalar halinde de olabilir (Şahin, 2006).

CETP kompozitler birçok avantajından dolayı mühendislik malzemeleri olarak farklı endüstrilerde kullanılmaktadır. Bu avantajlar aşağıda verilmiştir.

1. Hafiflik,
2. Sıcaklığa karşı dayanıklılık,
3. Isı değişimlerinden etkilenmeme,
4. Metal malzemelere göre daha kolay işlenebilme,
5. Yüksek korozyon dayanımı,
6. Ekonomiklik,
7. Kimyasallara karşı yüksek dayanım,
8. Yüksek mekanik dayanım,
9. Yüksek tribolojik özellik,
10. Çevre koşullarına göre yüksek dayanım.

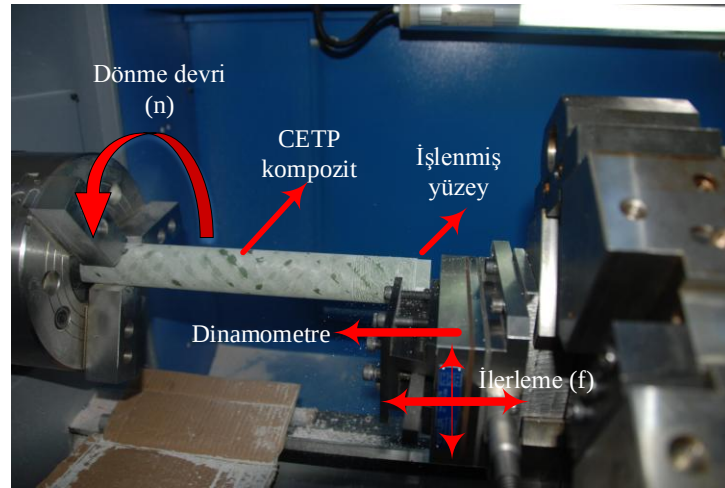
Oldukça fazla avantajı olan CETP kompozitler, farklı uygulama alanlarında tercih edilmektedir. Bu uygulama alanlarından bazıları aşağıda verilmiştir.

1. Havacılık,
2. Uzay ve savunma sanayi,
3. İnşaat Sektörü,
4. Otomotiv sektörü,
5. Denizcilik.

2.2. Kompozitlerin Tornalanması

Kompozitler, mükemmel özelliklerinden dolayı son yıllarda birçok mühendislik alanında kullanımını oldukça artmış ve mühendislik malzemeleri arasında yerini almıştır. Bu nedenle kompozitlerin işlenebilirliğine olan ihtiyaç gün geçtikçe artmıştır.

Kompozitler; plaka, mil ve boru şeklinde üretilmektedir. Mil ve boru formunda üretilenlerin şekillendirilmesi için tornalama gibi talaşlı imalat yöntemine ihtiyaç duyulmaktadır. Tornalama işleminde şekillendirme; ucu keskin bir kesici takımın kendi eksenine etrafında dönen kompozite temas etmesi ve belirli bir hızda ilerlemesi ile gerçekleşir. Kompozitlerin tornalama deneyine ait bir görüntü Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. CETP kompozitin tornalama işlemi

Tornalama işlemlerinde; bir kesici takıma, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi kesme parametrelerine ve soğutma sıvısı kullanımı ile ilgili ortam şartlarına ihtiyaç vardır. Bu faktörler, tornalanan yüzeylerdeki işleme kalitesini ve takıma gelen kuvvetleri etkiler. Kompozitlerde, matris içerisinde bulunan elyaflar,

tornalama işlemlerinde elyaf çekilmesi ve kopması gibi problemlerinde oluşmasına neden olmaktadır. Bunun için kompozitlerin tornalama işlemlerinde, kullanılan kesici takım malzemesinin, takım geometrisinin, kesme parametresinin uygun seçilmesi gerekmektedir. Bu durum yapılan literatür çalışmaları veya yapılacak deneysel çalışmalarla belirlenir.

Kesme kuvveti, torna işlemi sırasında malzemelerin işlenebilirliği üzerinde büyük etkiye sahiptir. Bu yüzden işlenebilirliğe etki eden faktörleri anlamak ve etkilerini değerlendirme oldukça önemlidir. Düşük kesme kuvveti, daha az kesici takım aşınması, daha az maliyet ve iyi yüzey kalitesi anlamına gelmektedir. Bu doğrultuda, farklı elyaf uzunluğu ve oranına sahip kompozitlerin Taguchi yöntemine bağlı olarak farklı kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi kesme parametrelerinde tornalanmasında, tornalama parametrelerinin kesme kuvveti üzerine etkileri belirlenmektedir.

Yüzey kalitesi, talaşlı imalatla dikkat edilmesi gereken hususların başında gelmektedir. İşlenecek parçalarda, yüzey kalitesi ile eksenler arası sapmalar, toleranslar ve yüzey pürüzlülüğü belirlenir. Genellikle sapmalar; malzeme, kesici takım, takım tezgâhı ve operatör gibi faktörlere, toleranslar; takım tezgâhının cinsi, kesici takım ve malzeme çifti uyumuna ve yüzey pürüzlülüğü; kesici takım cinsi, takım geometrisi, kesme parametreleri ve ortam şartlarına bağlıdır. Tornalama deneylerinde, yüzey kalitesini etkileyen faktörler göz önünde bulundurulduğunda, kesme parametrelerinin değişimi ile yakından ilgili olan yüzey pürüzlülüğü ön plana çıkmaktadır. Çünkü yüzey pürüzlülüğü malzemelerin mekanik özelliklerini iyi yönde geliştiren bir unsurdur. Bu yüzden, farklı elyaf uzunluğu ve oranına sahip kompozitlerin Taguchi yöntemine bağlı olarak farklı kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi kesme parametrelerinde tornalanmasında, işlem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü (Ra) üzerine etkileri analiz edilebilmektedir.

2.3. Taguchi Deney Tasarımı

Bir proseste, parametrelerin daha verimli bir şekilde seçilmesini sağlamak, harcanan zamanı ve malzemeyi azaltmak için Taguchi yöntemi alternatif bir teknik olarak kullanılmaktadır. Bu teknik, yüksek kaliteli sistemler için güçlü bir yöntemdir. Maliyet, kalite ve performans tasarımlarını optimize etmek için basit, verimli ve

sistematik olarak bu yöntem son yıllarda çok geniş bir alanda kullanılmaktadır. Taguchi yöntemi, bir ürün veya prosesin mühendislik optimizasyonunu;

1. Sistem tasarımı
2. Parametre tasarımı,
3. Tolerans tasarımı gibi üç adımlık bir yaklaşım içerisinde çözebilmeyi amaçlamaktadır.

2.3.1. Sistem tasarımı

Temel fonksiyonel bir prototip üretmek için bilimsel ve mühendislik olarak bir veritabanı oluşturulur. Bu veritabanı, ürün tasarımı ve proses tasarımı bölümlerini içermektedir. Ürün tasarım bölümünde; malzeme seçimi, tamamlayıcı ve geçici (denem) amaçlı ürün parametre değerleri yer almaktadır. Proses tasarımı bölümünde; prosesin analizinden sonra, üretim ekipmanlarının seçimi, geçici proses parametrelerinin değerleri belirlenir.

2.3.2. Parametre tasarımı

Parametre tasarımının amacı; kalite karakteristiklerini geliştirmek için proses parametre değerlerinin ayarlarını optimize etmek ve optimal proses parametreleri altında ürün parametre değerlerini belirlemektir.

Taguchi yönteminin kullanılma nedeni, çıktı değerlerinin hedefte ve minimum varyansla sağlanmasıdır. Sistem tasarımında ortaya konulan tasarımın uygulanarak, etki eden faktörlerin uygun seviyelerinin belirlenmesi işlemine parametre tasarımı denir. Seviyelerin seçilmesi sırasında iki amaç vardır. Hedef değerlerinin tutturulması ve varyasyonun minimize edilmesidir.

Taguchi yönteminin parametre tasarım kısmı, aşağıdaki basamaklardan oluşur.

1. Kalite karakteristiklerinin (bağımlı parametreler) ve tasarım parametrelerinin (bağımsız parametreler) belirlenmesi,
2. Tasarım parametreleri ve etkileşimlerinin seviyelerinin belirlenmesi,
3. Uygun bir lineer grafik yada ortogonal dizinin belirlenmesi ve bu ortogonal diziye parametrelerin uygun seviyelerinin yerleştirilmesi,
4. Ortogonal diziye yerleştirilen seviyelerde deneysel çalışmanın gerçekleştirilmesi,

5. Deneysel sonuçlar kullanılarak sinyal gürültü oranlarının (S/N) hesaplanması ve gerçekleştirilmesi,
6. Optimal tasarım parametrelerinin seçilmesi (Şahin, 2006).

2.3.3. Ortogonal diziler

Taguchi yöntemi faktöriyel deney tasarımına “ortogonal dizi” ismi vermiştir. Çok sayıda deneysel durumu açıklamak için ortogonal diziler oluşturulmuştur. Ortogonal dizi düzenin en önemli özelliği, birçok faktörün minimum sayıda test ile değerlendirilmesini sağlamak ve klasik yöntemlerden farklı olarak faktör kademelerini teker teker değiştirmek yerine eş zamanlı olarak değiştirilmesidir. Ortogonal diziler Taguchi tarafından aşağıdaki gibi kodlanmıştır.

$$LX(Y^Z) \quad (2.1)$$

Burada; L: Latin kare tabanlı anlamındadır. X: Tasarımdaki deney sayısı, Y: Deneydeki seviye sayısı ve Z: Deneyde kullanılabilecek maksimum faktör sayısını göstermektedir (Şahin, 2006). En çok kullanılan ortogonal diziler aşağıda verilmiştir.

- a) 2 Düzeyli: L₄, L₈, L₁₂, L₁₆, L₃₂ ve L₆₄
- b) 3 Düzeyli: L₉, L₁₈ ve L₂₇,
- c) 4 Düzeyli: L₁₆ ve L₃₂ (Buytoz, 2010)

2.3.4. İstatistiksel analiz ve sonuçlarının yorumlanması

Deney sonuçlarının çözümlenmesinde, birtakım metotlar kullanılmaktadır. Bu metotlar; gözlem metodu, sıralama metodu, sütun etkileri metodu, grafiksel metot ve ANOVA’dır.

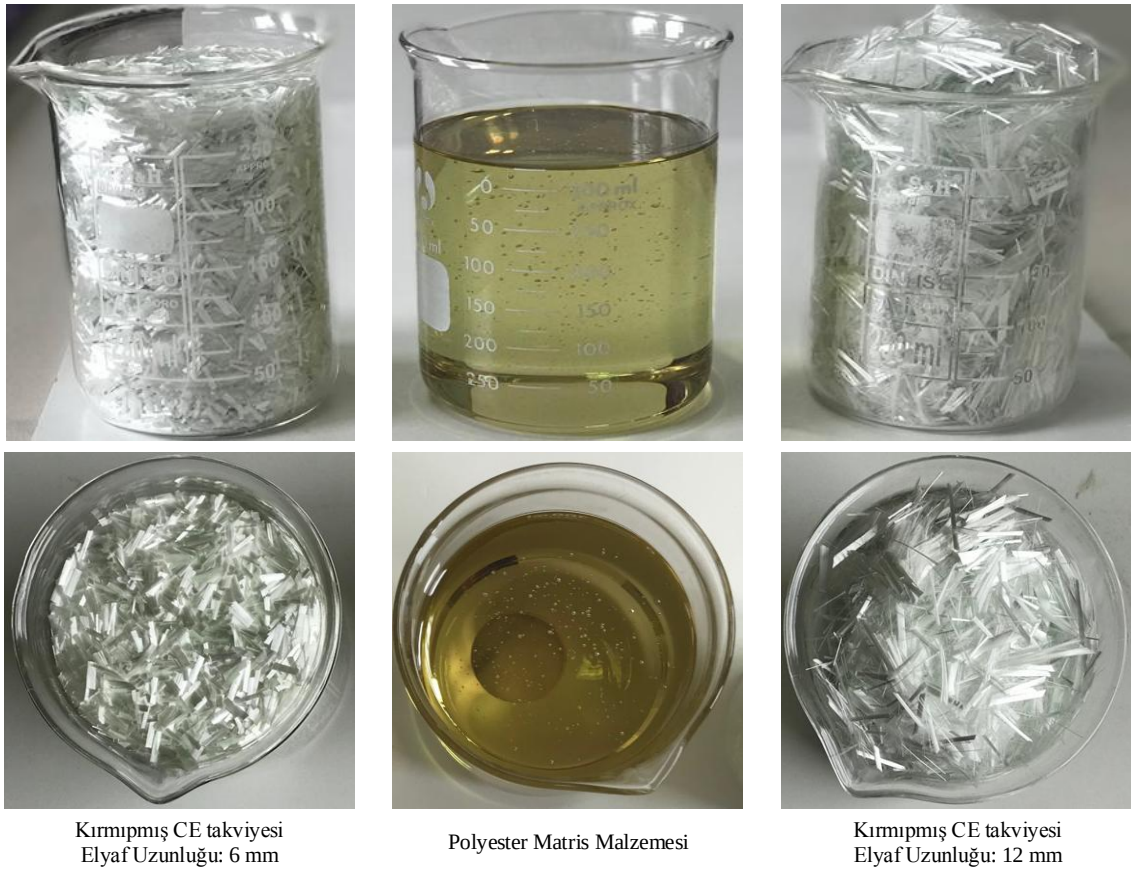
Taguchi, bir anlamda basitleştirilmiş ANOVA olan sütun etkileri metodunu önermektedir. Her bir sütun için, sayısal bir değer elde edilir ve bu değer büyükliği, ilgili sütunda incelenen faktör ya da etkileşimin etki derecesine karar verir.

Sonuçlarının yorumlanması noktasında Taguchi’nin bir diğer önerisi S/N’dir. Performans kriteri olarak önerilen S/N, kontrol edilemeyen gürültü faktörlerinin varyans ölçüsüdür (Buytoz, 2010).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Kırılmış CETP Kompozitlerin Üretimi

Farklı elyaf uzunluğu ve elyaf oranına sahip cam elyaf takviyeli plastik (CETP) kompozitlerin üretimi için matris malzemesi olarak Poliber marka döküm tipi polyester, takviye elemanı olarak elyaf uzunluğu 6 mm ve 12 mm olan kırılmış cam elyaflar (CE'ler) ticari olarak temin edilmiştir. Temin edilen polyester matris malzemesi ve CE takviye elemanları Şekil 3.1'de gösterilmiştir. CE takviye elemanlarına ait bazı özellikler ise Tablo 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Kırılmış CE takviye elemanları ve polyester matris malzemesi

Tablo 3.1. CE takviyesinin özellikleri

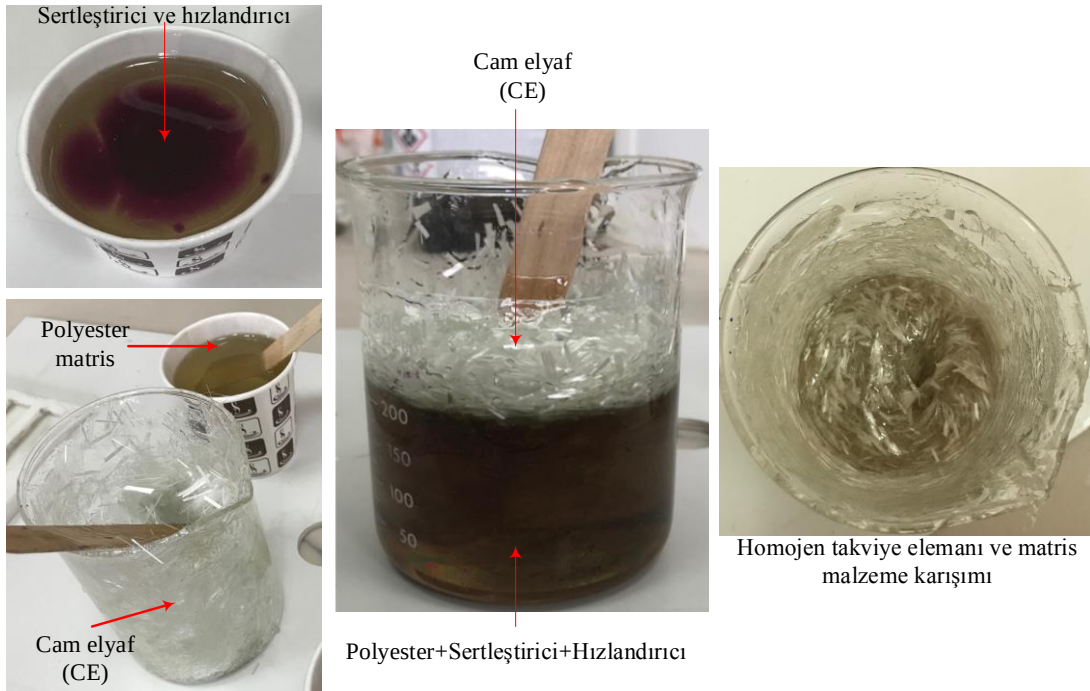
Özellik	Değer	Birim
Çekme dayanımı	3400	Mpa
Elastisite modülü	77	GPa
Uygulama sıcak limitleri	-60....+650	°C
Ergime sıcaklığı	1120	°C
Özgül ağırlık	2,60	gr/cm ³
Elyaf çapı	13-15	µm

Kırpılmış CETP kompozitlerin üretiminde, Tablo 3.2’de verilen parametreler kullanılmıştır.

Tablo 3.2. CE takviye elemanı uzunluğu ve oranları

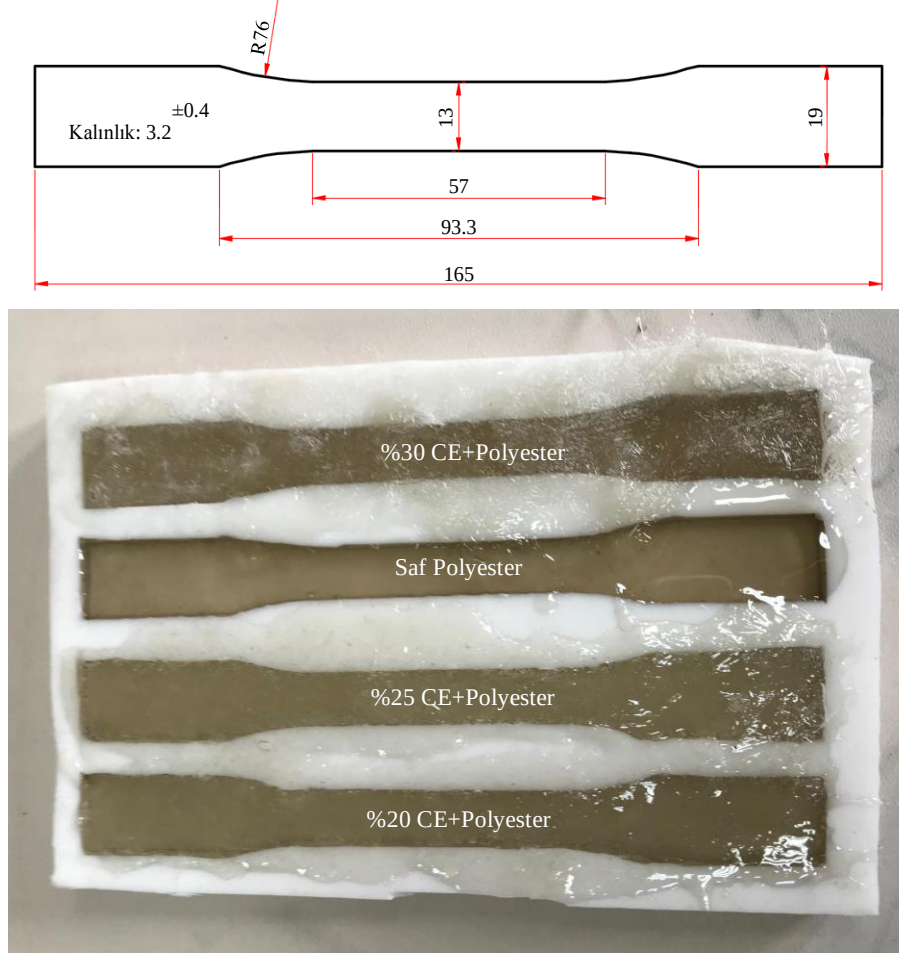
Elyaf uzunlukları (mm)	6, 6-12 ve 12
Elyaf oranları (ağırlıkça %)	20, 25 ve 30

Tablo 3.2’de verilen 6-12 mm elyaf uzunluğu; ticari olarak temin edilen 6 mm ve 12 mm elyaf uzunluğuna sahip CE’lerin ağırlıkça %50 oranlarında 220 gr kapasiteli ve 0,1 mg hassasiyetli Precisa marka XB 220A model hassas terazide tartılmasıyla sağlanmıştır. Böylece 3 farklı uzunluğa sahip CE takviyesi elde edilmiştir. 6 mm, 6-12 mm ve 12 mm elyaf uzunluğuna sahip CE takviyeleri, 100°C sıcaklığa sahip fırınında 2 saat bekletilerek nemden arındırılmıştır. Daha sonra Tablo 3.2’de verilen parametrelerinin kombinasyonuna göre hassas terazi yardımıyla CE takviyeleri ve polyester matris malzemesi ayrı ayrı kaplarda tartılarak oranları belirlenmiştir. Polyesterin kürleşmesini sağlamak amacıyla içerisine sertleştirici ve hızlandırıcı ilave edilmiştir. Oranları belirlenen CE takviyesi ve polyester matris malzemesi derin bir kaba konularak homojen bir karışım elde edilene kadar karıştırılmıştır. Bu işlem, her elyaf uzunluğu ve oranı için ayrı ayrı yapılmıştır. 12 mm elyaf uzunluğuna ve %30 elyaf oranına sahip CE takviyesinin polyester matris malzemesi ile birleştirilerek elde edilen karışımın aşamaları Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Takviye elemanı ve matris malzemesinin birleştirilme aşamaları

Takviye elemanı ve polyester matris malzemesi birleştirildikten sonra kalıplama işlemine geçilmiştir. Üretilen kırılmış CETP kompozitlerin çekme dayanımının belirlenmesi için hazırlanan karışımın bir kısmı Şekil 3.3'te verilen silikon çekme deney kalıbına ve geri kalanı ise tornalama deneylerinin yapılması için Şekil 3.4'te verilen 44 mm iç çapa sahip silindirik plastik kalıba dökülmüştür.

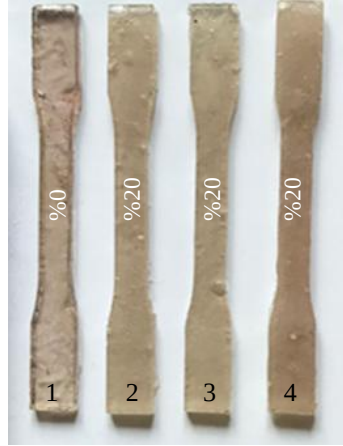


Şekil 3.3. Çekme deney numunesinin boyutları ve karışımların silikon çekme kalıbına dökülmesi



Şekil 3.4. 6 mm elyaf uzunluğu ve %30 elyaf oranına sahip karışımın plastik silindirik kalıba dökülmesi

Karışımlar silindirik plastik kalıplara konulduktan sonra bir piston vasıtasıyla karışıma baskı uygulanmıştır. Böylece kap içerisinde hava kabarcıklarından dolayı oluşacak gözenekler ortadan kaldırılmıştır. Kalıplara dökülmüş karışımlar, 24 saat kürlenmeye bırakılmıştır. Bu süre zarfından sonra kompozitler kalıplardan çıkartılmıştır. Tam kürleşme sağlanması için numuneler 14 gün oda sıcaklığında bekletilmiştir. Üretilen kompozitlerin görüntüsü Şekil 3.5'te verilmiştir.



- 1) Saf polyester malzeme
- 2) CETP kompozit; CE uzunluğu: 6 mm
- 3) CETP kompozit; CE uzunluğu: 6-12 mm
- 4) CETP kompozit; CE uzunluğu: 12 mm

a) Çekme deney numuneleri



CETP kompozit; CE
uzunluğu: 6 mm

CETP kompozit; CE
uzunluğu: 6-12 mm

CETP kompozit; CE
uzunluğu: 12 mm

b) Tornalama deney numuneleri

Şekil 3.5. Üretilen CETP takviyeli kompozit malzemeler

3.2. Çekme Testi

Batman Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda bulunan, Shimadzu marka universal çekme test cihazıyla çekme deneyleri yapılmıştır. Deneyler 1

mm/dak çekme hızında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.6). Cihazdan elde edilen veriler bilgisayara aktarılarak grafik haline dönüştürülmüştür.



Şekil 3.6. Shimadzu marka çekme test cihazı

3.3. Taguchi Deney Tasarım Düzenegi ve Tornalama Deneyleri

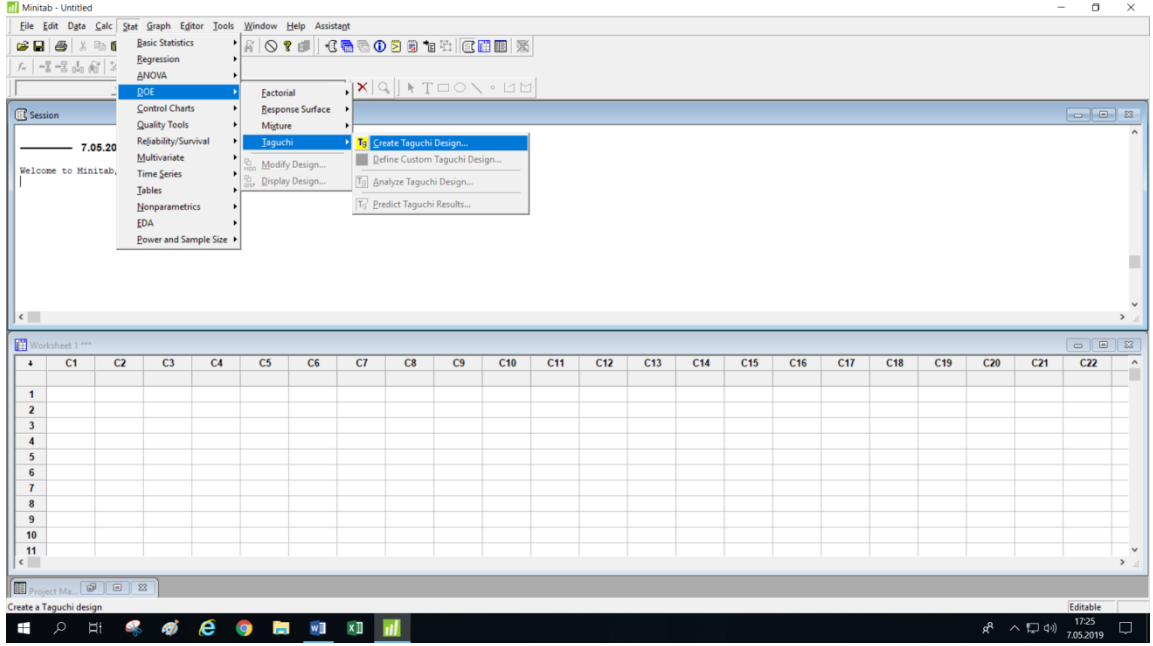
Farklı elyaf uzunluğu ve oranına sahip CETP kompozitlerin, farklı kesme parametrelerinde tornalanmasında; elyaf uzunluğu, elyaf oranı, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerleri üzerine etkilerini belirlemek için birtakım deneyin yapılması gerekmektedir. Tornalama deneyleri için PVD yöntemi kullanılarak TiAlN kaplanmış üçgen uçlu YBG205 sınıf tungsten karbür kesici takım ve Tablo 3.3'te verilen kesme parametreleri seçilmiştir. Bu parametreler, kesici takım için önerilen kesme parametreleri ve literatür çalışmaları ışığında belirlenmiştir.

Tablo 3.3. Kesme parametreleri

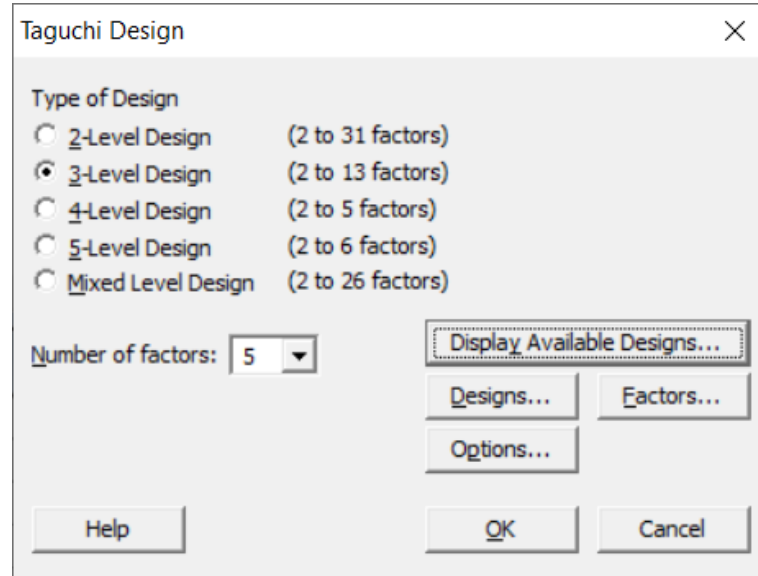
<i>Parametreler</i>	<i>Birim</i>	<i>Sembol</i>	<i>Değer</i>
Kesme Hızları	m/dak	V	40, 80 ve 120
İlerlemeler	mm/dev	f	0,1; 0,2 ve 0,3
Kesme Derinlikleri	mm	a	1, 2 ve 3
Tornalama Uzunluğu	mm	l	20

Elyaf uzunluğu, elyaf oranı ve kesme parametrelerine bağlı olarak tornalama deneyleri yapıldığı zaman toplam 243 adet deneyin yapılması gerekmektedir. Deney sayısının azaltılması ve belirlenen parametrelerin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki faktörünü belirlenmesi için tornalama deneyleri, Taguchi yönteminin L_{27} , 3 seviyeli ortogonal dizisine göre tasarlanıp gerçekleştirilmiştir. MINITAB 16

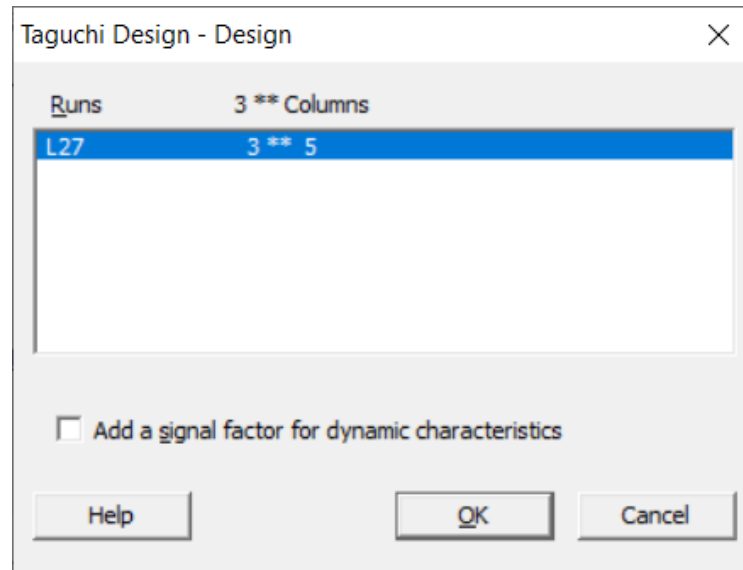
paket programında; Stat-DOE (Desing of Experiments)-Taguchi-Create Taguchi Design adımları (Şekil 3.7) takip edilerek 3 seviyeli 5 faktörlü (Şekil 3.8) Taguchi L_{27} (Şekil 3.9) standart ortogonal deney tasarımı oluşturulmuş ve bu deney tasarımına bağlı kalınarak toplam 27 adet tornalama deneyi gerçekleştirilmiştir. Taguchi yöntemi L_{27} deney tasarımına göre 3 seviyeli ve 5 faktörün 27 farklı deney kombinasyonu Tablo 3.4’te verilmiştir.



Şekil 3.7. Taguchi yöntemi tasarım adımları



Şekil 3.8. Taguchi yönteminde belirlenen seviye ve faktörler



Şekil 3.9. Taguchi L_{27} standart ortogonal deney tasarımının seçimi

Tablo 3.4. Taguchi deney tasarım düzeneği

Deney No	A	B	C	D	E
1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2
3	1	1	1	1	3
4	1	2	2	2	1
5	1	2	2	2	2
6	1	2	2	2	3
7	1	3	3	3	1
8	1	3	3	3	2
9	1	3	3	3	3
10	2	1	2	3	1
11	2	1	2	3	2
12	2	1	2	3	3
13	2	2	3	1	1
14	2	2	3	1	2
15	2	2	3	1	3
16	2	3	1	2	1
17	2	3	1	2	2
18	2	3	1	2	3
19	3	1	3	2	1
20	3	1	3	2	2
21	3	1	3	2	3
22	3	2	1	3	1
23	3	2	1	3	2
24	3	2	1	3	3
25	3	3	2	1	1
26	3	3	2	1	2
27	3	3	2	1	3

Taguchi yöntemi L_{27} deney tasarımında; sütunlarda bulunan faktörler, parametreler ve seviyeleri Tablo 3.5'te gösterilmiştir.

Tablo 3.5. Parametreler ve seviyeleri

Kod	Değişkenler	Birim	Seviyeler		
			1	2	3
A	Elyaf Uzunluğu	mm	6	6-12	12
B	Elyaf oranı	Ağırlıkça %	20	25	30
C	Kesme Hızı	m/dak	40	80	120
D	İlerleme	mm/dev	0,1	0,2	0,3
E	Kesme Derinliği	mm	1	2	3

Tornalama deneyleri, Batman Üniversitesi merkezi araştırma laboratuvarında bulunan SMARC marka CAK6166B X 2000 model CNC torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Tezgâhın banko üzeri çapı 660 mm, puntalar arası mesafe 2000 mm ve mil hızı devri 21-1620 d/dak aralığındadır. Ana motor gücü 11 kW, kater tipi 6'lı yatay, taret tipi 4'lü dikey, punta kovan çapı 75 mm, kater takım ebatı 25x25 mm'dir (Şekil 3.10).

**Şekil 3.10.** Deneylerde kullanılan CNC torna tezgâhı

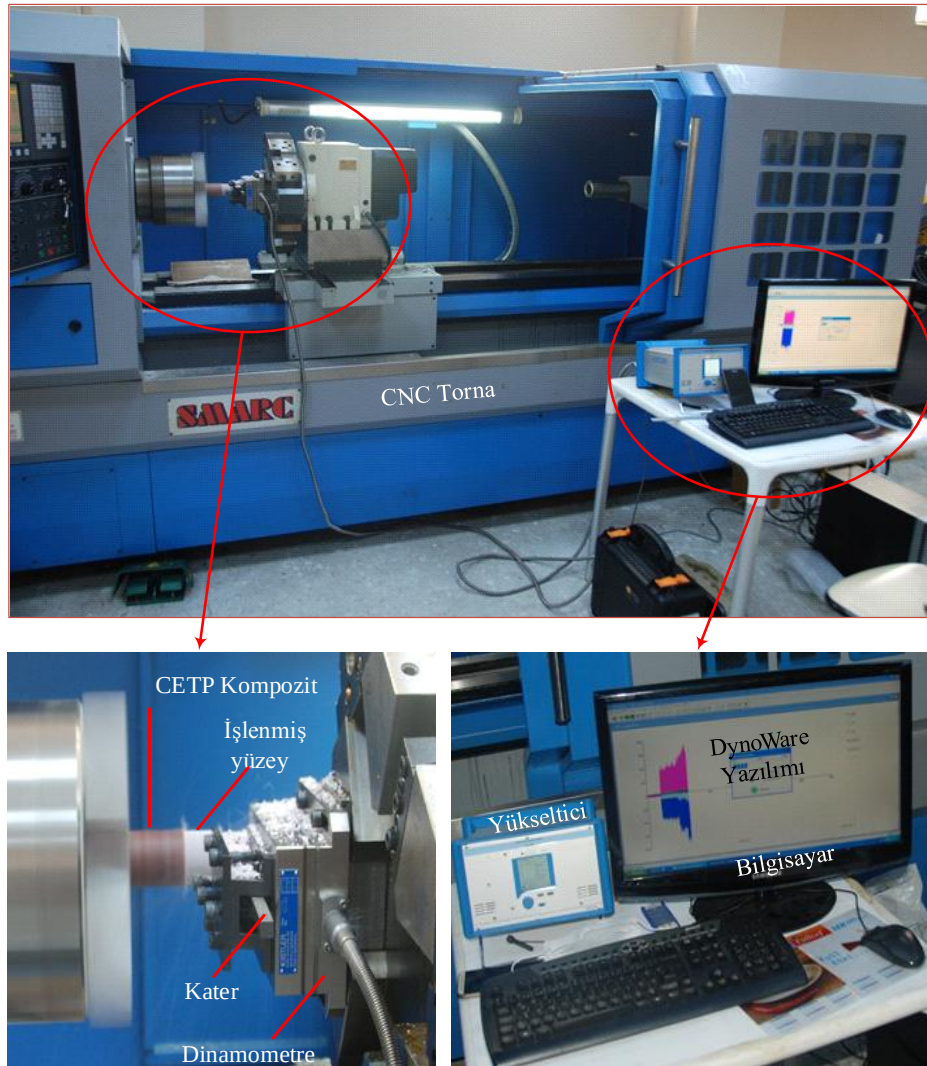
3.4. Kesme Kuvvetinin Belirlenmesi

CETP kompozitlerin tornalanmasında, kesme kuvvetlerini ölçmek için Batman Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan CNC torna tezgâhına Kistler 9257B tipi dinamometre bağlanmıştır. Kistler marka 9257B model dinamometreye ait özellikler Tablo 3.6'da verilmiştir (Kistler 9257B, 2018).

Tablo 3.6. Kistler 9257B dinamometrenin özellikleri

Özellik	9257B	Birim
Eksen sayısı	3	-
Fx, Fy ve Fz ölçüm aralığı	-5.00, 10.0	kN
Ölçüm modu	Direkt	-
İşlem sıcaklık aralığı	0...70	°C
Boyut	170x100x60	mm
Koruma derecesi	67	IP

Özellikleri Tablo 3.6’da verilen dinamometreden alınan sinyaller Kistler marka 5070A model yükselticiye aktarılmıştır. Dinamometreden alınan kuvvet sinyalleri yükseltici bağlantısı ile DynoWare yazılımı olan bilgisayara aktarılmış ve grafik haline getirilmiştir. Dinamometrenin bağlandığı torna tezgâhı ve bilgisayar deney düzeneği Şekil 3.11’de verilmiştir.

**Şekil 3.11.** Tornalama deney düzeneği ve kesme kuvvetlerinin ölçülmesi

3.5. Yüzey Pürüzlülüğünün Belirlenmesi

Farklı elyaf uzunluğu ve oranına sahip CETP kompozitlerin farklı kesme parametrelerinde tornalanmasında, işlenmiş yüzeylerdeki pürüzlülük değeri Time marka TR-110 portatif yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Bu yüzey pürüzlülük cihazı dijital göstergeli ve cep tipi olup düz ve silindirik paçaların ölçümünde kullanılabilir. Time marka TR-110 yüzey pürüzlülüğü cihazına ait özellikler Tablo 3.7’de verilmiştir.

Tablo 3.7. Time TR-110 portatif yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazına ait teknik özellikler

<i>Özellikler</i>	<i>Birimi</i>	<i>TR-110</i>
Ölçüm aralığı (Ra, Rq)	μm	Ra: 0.05-15 μm / Rz: 0.1-50 μm
Hareket Mesafesi	mm	6
Hareket Hızı	mm/s	1,0
Örnekleme uzunluğu	mm	0,25; 0,8; 2,5
Çalışma sıcaklığı	$^{\circ}\text{C}$	0-40
Detektör ucu	-	Elmas
Radius	μm	10 $\pm$ 2.5

Yüzey Pürüzlülük ölçümü işleminde, örnekleme uzunluğu 0,8 mm seçilmiştir. İşlenmiş silindirik kompozitin 4 farklı bölgesinden pürüzlülük değeri (Ra) ölçülerek ortalaması alınmıştır. Böylece ortalama yüzey pürüzlülük değerleri belirlenmiştir.

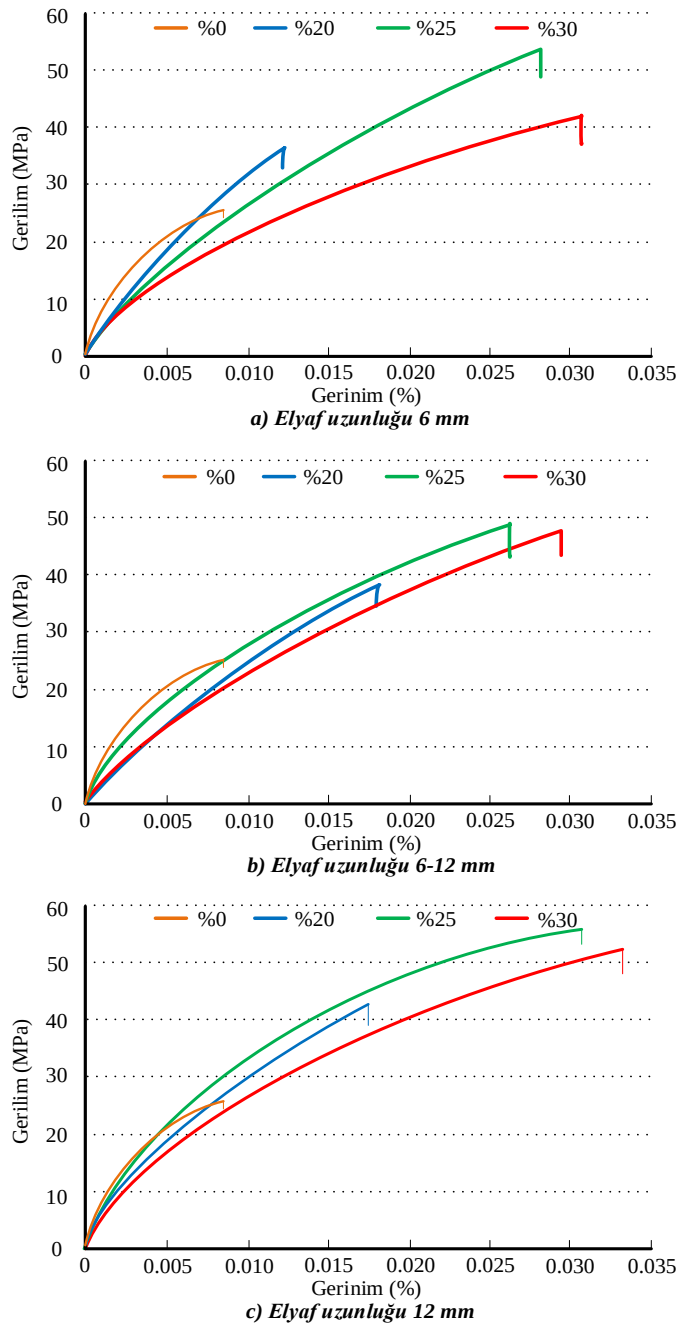
3.6. Kesme Kuvveti ve Yüzey Pürüzlülüğünün Analizi

Elyaf uzunluğu, elyaf oranı, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisini belirlemek için Minitab 16 paket programının Taguchi tasarım analiz kısmından faydalanılmıştır. Kesme kuvvetlerinin ve yüzey pürüzlülüklerinin sinyal gürültü (S/N) grafikleri, normal dağılım grafikleri ve tornalama parametrelerin etkinlik sıralamasını gösteren tablolar oluşturularak analizler gerçekleştirilmiştir.

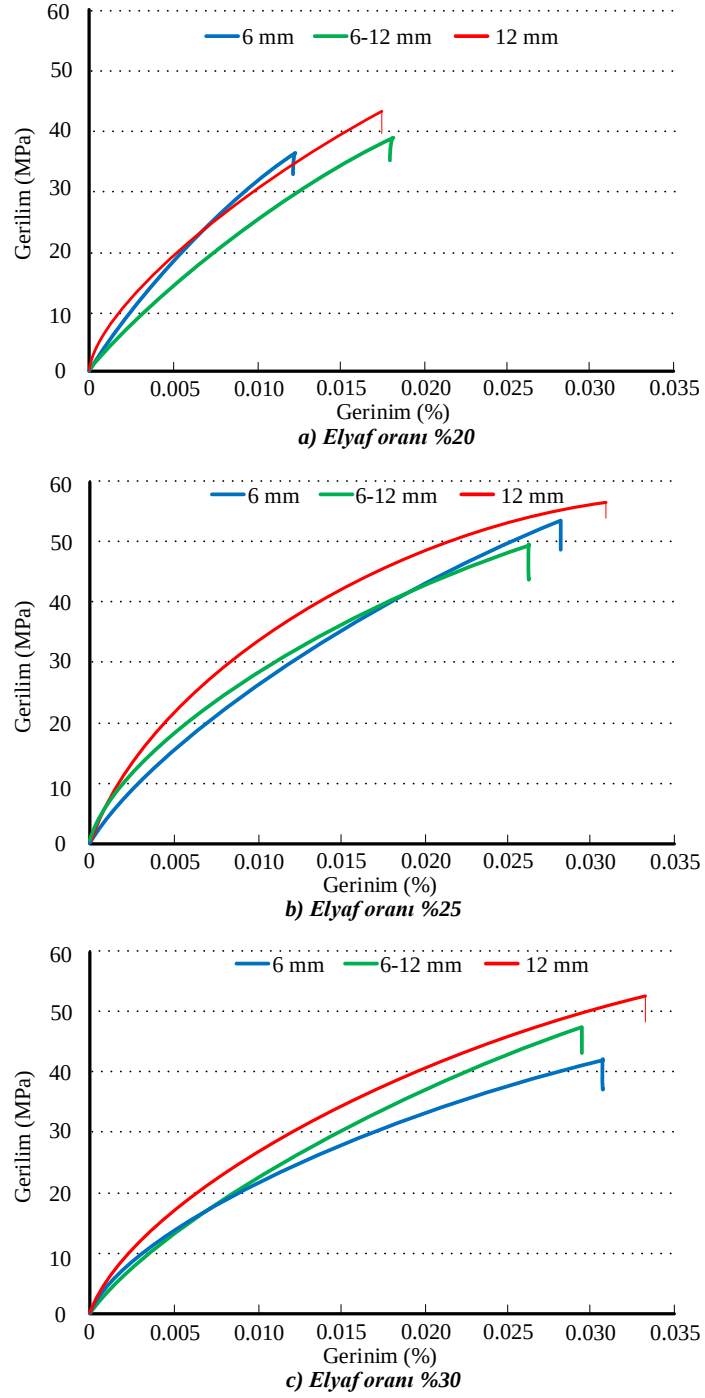
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Çekme Mukavemet Sonuçları

Farklı elyaf uzunluğu ve oranına sahip CETP kompozitlerin çekme mukavemetinin belirlenmesi için çekme deneyleri yapılmıştır. Çekme numuneleri, ASTM standardından Tip 1'e uygun olarak üretilmiş olup deneyler, 1 mm/dak çekme hızında gerçekleştirilmiştir. 6 mm, 6-12 mm, 12 mm elyaf uzunluklarına ve %20, %25, %30 elyaf oranlarına sahip CETP kompozit numunelere ait Gerilim-Gerinim grafikleri Şekil 4.1 ve 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Elyaf uzunluğuna bağlı gerilim-gerinim diyagramı



Şekil 4.2. Elyaf oranına bağlı gerilim-gerinim diyagramı

Polyester matris malzemelerinin mekanik özellikleri her noktada kendi molekülleri arasındaki bağlara bağlı olduğundan, çekme ve basma gerilimleri yüksek özellik sergilemez. Ancak içerisine takviye elemanı ilave edilmesi ile takviye elemanın cinsine ve özelliğine bağlı olarak dayanım artar. Yapılan çekme deneylerinde saf polyesterin çekme dayanımı 24,6 MPa olarak elde edilmiştir. Polyester matrisi içerisine takviye elemanı olarak CE ilave edilmesi ile çekme dayanımının arttığı net bir şekilde gözlenmiştir.

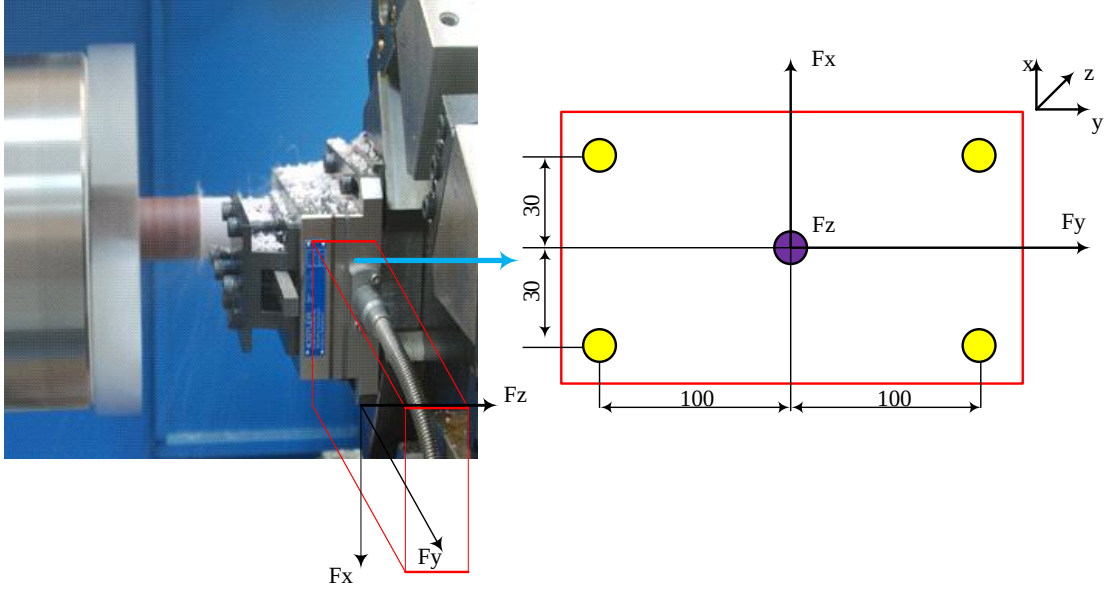
Şekil 4.1'deki çekme grafikleri incelendiğinde, 6 mm elyaf uzunluğuna sahip kompozitlerde, elyaf oranı %20 olan numunenin çekme dayanımı 36,17 MPa, elyaf oranı %25 olan numunenin çekme dayanımı 53,85 MPa ve elyaf oranı %30 olan numunenin çekme dayanımı 42,05 MPa olarak elde edildiği görülmektedir. Elyaf uzunluğu 6-12 mm olan kompozitlerde, %20, %25 ve %30 elyaf oranlarına sahip numuneler için çekme dayanımları sırasıyla 37,85 MPa, 48,6 MPa ve 47,98 MPa olarak elde edilmiştir. 12 mm elyaf uzunluğunda ise %20 elyaf oranına sahip numunede 43,3 MPa, %25 elyaf oranına sahip numunede 55,95 MPa ve %30 elyaf oranına sahip numunede 51,18 MPa çekme dayanımı gözlemlenmiştir. Tüm elyaf uzunlukları için elyaf oranının artmasıyla çekme dayanımı artmıştır. %25 elyaf oranına sahip numunelerin çekme dayanımları maksimum olarak elde edilmiştir. Elyaf oranının %30'a çıkmasıyla çekme dayanımlarında düşüş gözlemlenmiştir. Maksimum çekme dayanımı, 12 mm elyaf uzunluğu ve %25 elyaf oranına sahip CETP kompozitten elde edilmiştir.

Şekil 4.2'deki çekme grafikleri incelendiğinde ise aynı elyaf oranına sahip kompozitlerde; 12 mm elyaf uzunluğuna sahip olan kompozitler, kararlı bir yapı sergileyerek en yüksek çekme dayanımı sergilemiştir. 6 mm ve 6-12 mm elyaf uzunluğuna sahip kompozitlerde, %20 ve %30 elyaf oranı için 6-12 mm elyaf uzunluğuna sahip kompozitler, 6 mm elyaf uzunluğuna sahip kompozitlerden kısmen daha yüksek çekme dayanımı göstermiştir. Ancak %25 elyaf oranına sahip kompozitlerde bu durum tam tersi olmuştur.

Gerinim değerleri incelendiğinde, polyester matris malzemesindeki takviye oranı arttıkça gerinim değerinin arttığı görülmüştür. Ancak farklı elyaf uzunluğu ve oranı için gerinim değerleri farklı davranışlar sergilemiştir. Bu durum kompozitlerin üretimi esnasında fiberlerin statik yüklemeye maruz kalarak topaklanma oluşturması ve homojen karışımı engellemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

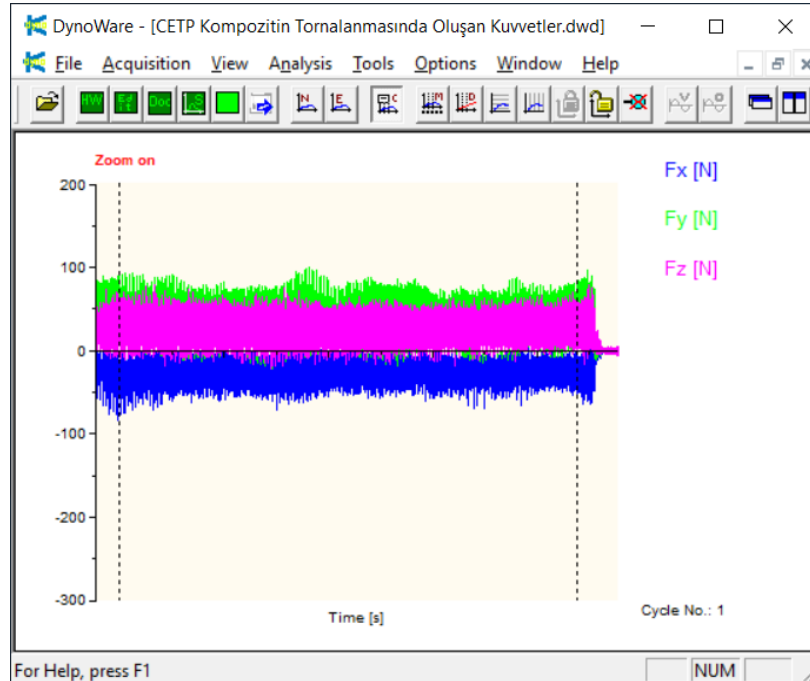
4.2. Kesme Kuvveti Sonuçları

CETP kompozitlerin tornalama deneyleri esnasında F_x , F_y ve F_z kuvvetleri, dinamometre ile ölçülmüştür. Şekil 4.3'te torna tezgâhına bağlanan dinamometrenin eksenleri ile F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinin yönleri verilmiştir.



Şekil 4.3. Tornalama deneylerinde dinamometre eksenleri ile F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinin yönleri

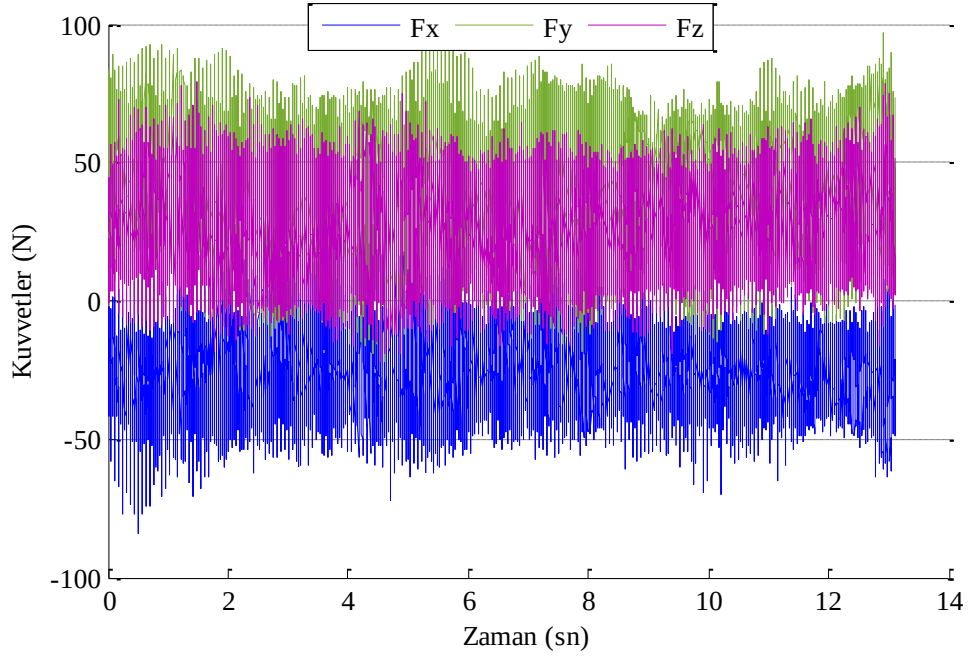
Şekil 4.3'te dinamometre üzerine bağlanan kesici takıma gelen kuvvetler açıkça görülmektedir. Burada; F_x : dönme devri yönündeki kuvveti, F_y : radyal kuvveti ve F_z : ilerleme yönündeki kuvveti göstermektedir. Şekil 4.4'te CETP kompozitlerin tornalanmasında elde edilen kuvvetlerinin DynoWare yazılımın grafiği verilmiştir.



Şekil 4.4. CETP kompozitin tornalanmasında ölçülen kuvvetlerin DynoWare yazılım grafiği

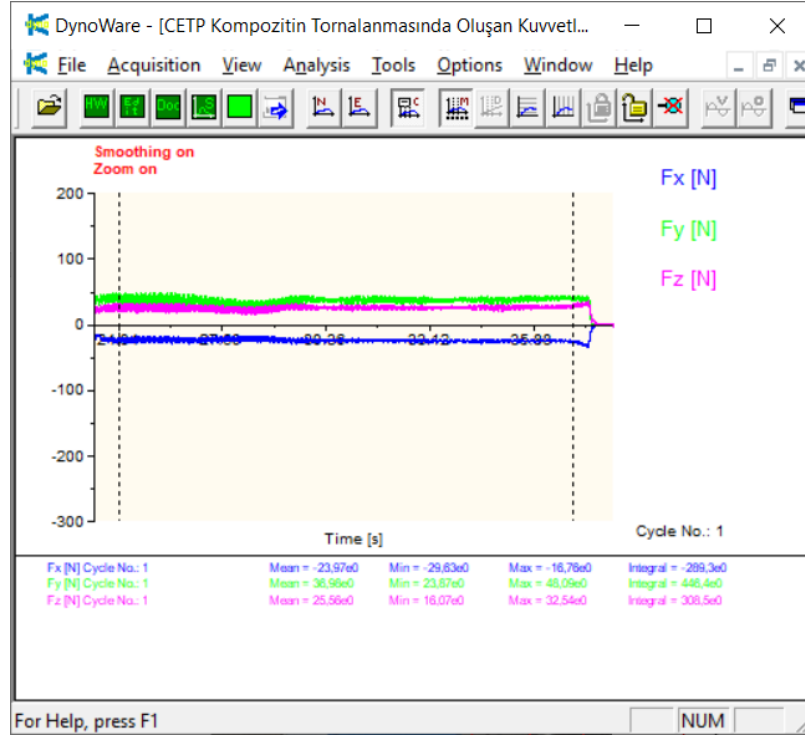
Tüm tornalama deneyleri için DynoWare yazılımındaki grafik verileri, bilgisayar ortamında txt uzantılı olarak kaydedilmiştir. Txt dosyasındaki değerler Matlab

programında grafiğe dökülmüştür. Şekil 4.5'te CETP kompozitlerin tornalanmasında elde edilen kuvvetlerinin Matlab programında çizilen grafiği verilmiştir. Ayrıca CETP kompozitlerin farklı işlem parametresinde tornalanmasında elde edilen tüm kuvvet grafikleri Matlab programında çizilmiştir. Çizilen grafikler EK 1'de verilmiştir.



Şekil 4.5. CETP kompozitin tornalanmasında ölçülen kuvvetlerin Matlab programında çizilen grafiği

Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te verilen F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinin titreşim değerlerinin üst üste geldiği görülmektedir. Programda pürüzsüzleştirme işlemi yapıldığında bu titreşim değerlerinin ortalamaya yakın bir değere geldiği görülebilmektedir. Şekil 4.6'da pürüzsüzleştirme işlemi yapılmış tornalama deney grafiği verilmiştir.



Şekil 4.6. CETP kompozitin tornalanmasında ölçülen kuvvetlerin pürüzsüzleştirilmesi ve değerleri

Şekil 4.6’da görüldüğü gibi; program, bütün Fx, Fy ve Fz kuvvetleri için minimum, maksimum ve ortalama değerleri vermektedir. Bu değerler içerisinde, göz önünde bulundurulması gereken ortalama kuvvet değerleridir.

Delme ve frezeleme işlemlerinde sadece ilerleme yönündeki kuvvet büyük önem arz ederken, tornalama deneylerinde ise ilerleme, dönme devri ve radyal doğrultuyu kapsayan tüm yöndeki kuvvetler büyük önem arz etmektedir. Bu doğrultuda; tornalama deneylerinde, kesme kuvvetinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Kesme kuvveti (F), Fx, Fy ve Fz yönündeki ortalama kuvvetlerin denklem 4.1’de yerine yazılmasıyla hesaplanır.

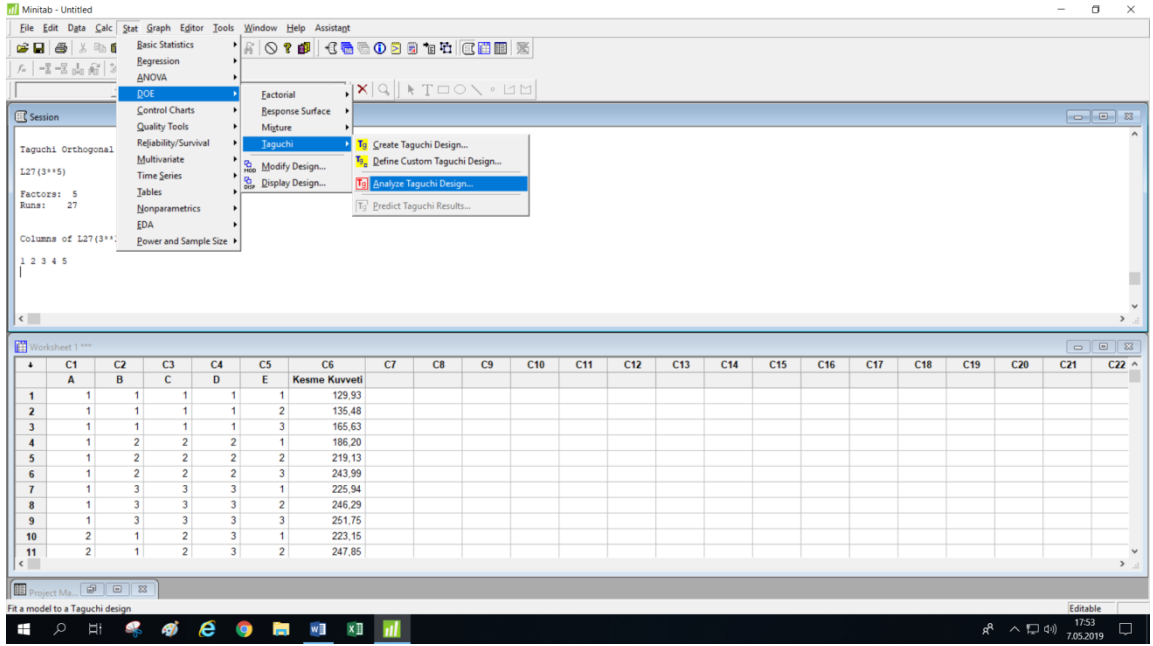
$$F = (F_x^2 + F_y^2 + F_z^2)^{1/2} \quad (4.1)$$

CETP kompozitlerin tornalama deneylerinde, DynoWare yazılımından alınan ortalama Fx, Fy ve Fz kuvvetleri ile denklem 4.1 ile hesaplanan kesme kuvveti (F) değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

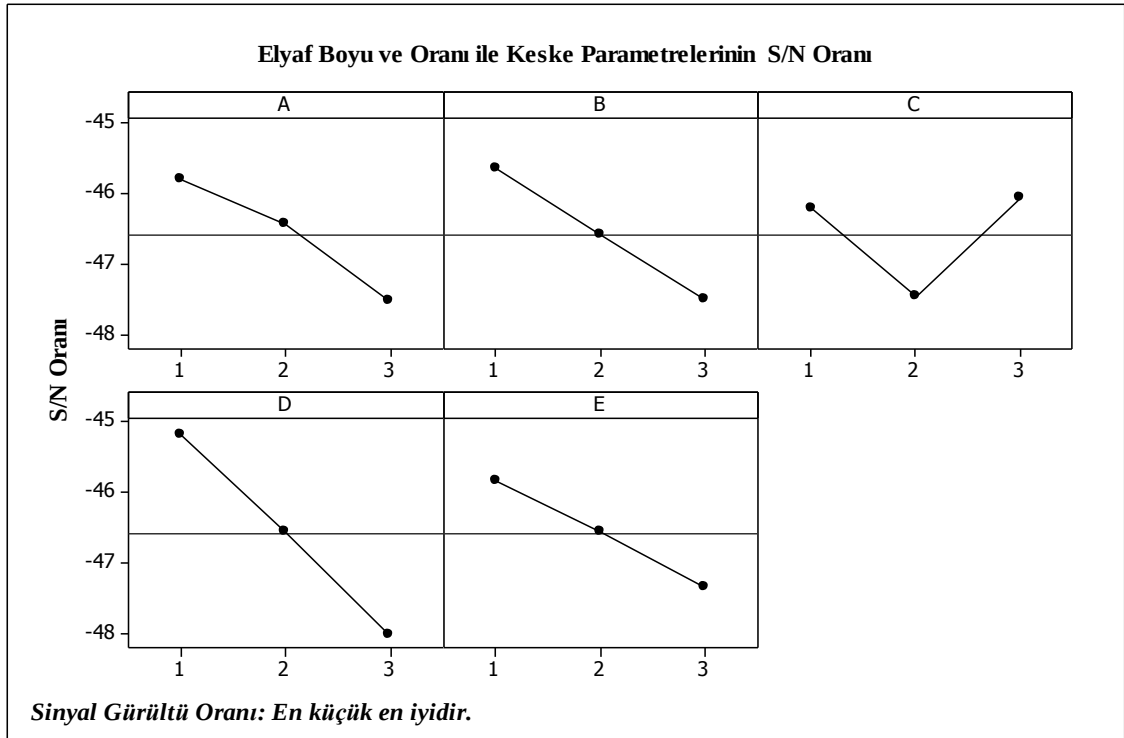
Tablo 4.1. Taguchi deney düzeneğine göre tornalama deneylerinden elde edilen kesme kuvveti değerleri

Deney No	A	B	C	D	E	F _x	F _y	F _z	F
1	1	1	1	1	1	27,62	99,47	78,89	129,93
2	1	1	1	1	2	21,7	96,69	92,39	135,48
3	1	1	1	1	3	61,2	118,3	98,46	165,63
4	1	2	2	2	1	35,87	128,8	129,6	186,20
5	1	2	2	2	2	82,77	136,4	150,2	219,13
6	1	2	2	2	3	72,88	145,0	182,2	243,99
7	1	3	3	3	1	59,41	138,9	168	225,94
8	1	3	3	3	2	113,1	153,7	155,7	246,29
9	1	3	3	3	3	67,41	158,4	183,7	251,75
10	2	1	2	3	1	51,48	178,1	124,2	223,15
11	2	1	2	3	2	57,17	149,8	189	247,85
12	2	1	2	3	3	111	167,4	179,1	269,11
13	2	2	3	1	1	31,56	114,3	98,46	154,13
14	2	2	3	1	2	42,88	105,4	118,9	164,58
15	2	2	3	1	3	65,45	145,3	101,2	188,78
16	2	3	1	2	1	91,94	139,5	124,3	208,24
17	2	3	1	2	2	76,58	135,6	158,6	222,27
18	2	3	1	2	3	63,2	176,8	148,4	239,32
19	3	1	3	2	1	55,63	151,3	96,69	187,98
20	3	1	3	2	2	67,23	126,3	145,6	204,13
21	3	1	3	2	3	45,44	146,5	144,7	210,87
22	3	2	1	3	1	57,02	126,8	210,6	252,35
23	3	2	1	3	2	70,97	143,5	222,2	273,86
24	3	2	1	3	3	113,5	185,9	181,6	283,58
25	3	3	2	1	1	64,38	164,5	148,8	230,97
26	3	3	2	1	2	50,96	178,1	159,2	244,26
27	3	3	2	1	3	106,3	160,9	197,5	276,03

Tablo 4.1’de A, B, C, D ve E ile gösterilen elyaf uzunluğu, elyaf oranı, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin kesme kuvveti üzerine etkileri; Şekil 3.7 ve 3.9’da verilen adımlar izlenerek oluşturulan Taguchi L_{27} standart ortogonal deney tasarımı bölümüne kesme kuvveti değerlerinin girilmesiyle belirlenmiştir. Analizler, Şekil 4.7’de verilen DOE-Taguchi-Analyze Taguchi Design adımları izlenerek yapılmıştır. Analiz sonucunda tornalama parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkileri grafik haline dönüştürülmüştür. Tornalama parametrelerine bağlı olarak kesme kuvveti için elde edilen Sinyal Gürültü Oranı (S/N) Şekil 4.8’de, kesme kuvveti grafiği Şekil 4.9’de verilmiştir. Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de ise sırasıyla S/N artık ve normal dağılım grafiği ile kesme kuvveti artık ve normal dağılım grafikleri gösterilmiştir.



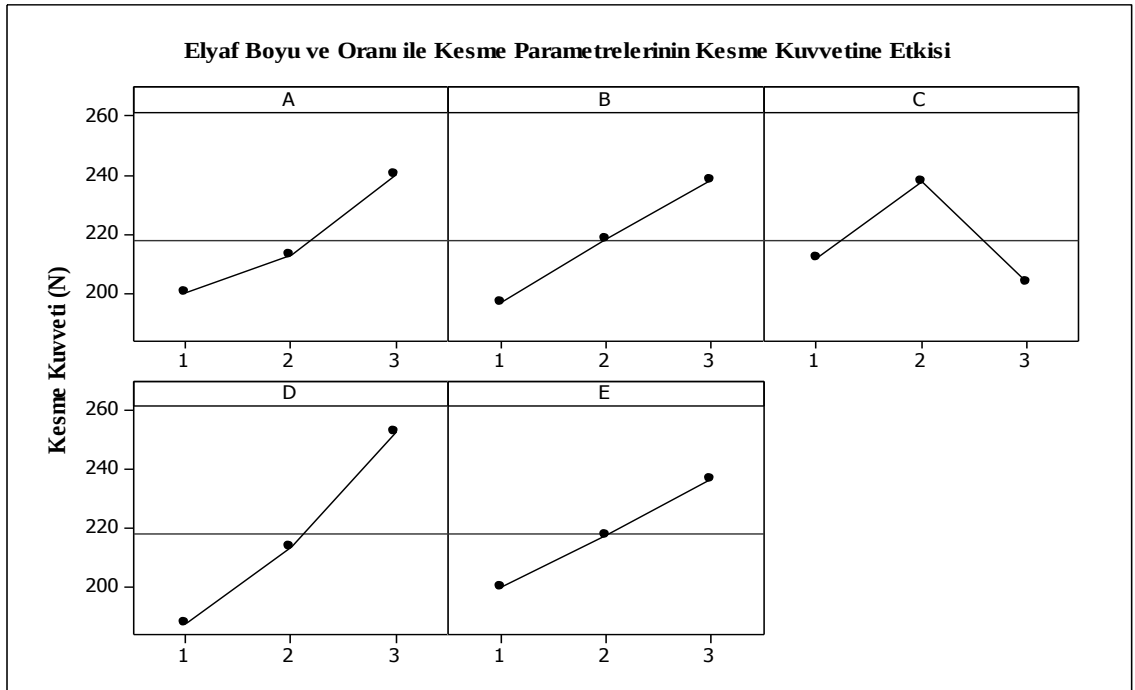
Şekil 4.7. Taguchi yöntemi analiz adımları



Şekil 4.8. Kesme Kuvveti S/N grafiği

Şekil 4.8’de, tornalama parametrelerine bağlı olarak optimum kesme kuvveti değerlerinin elde edilmesi için S/N’de en küçük en iyidir olarak seçilmiştir. En küçük en iyidir ifadesi, Şekil 4.8’deki grafiklerin y ekseninde bulunan eksi değerlerdeki oranların mutlak değerinin en küçük olmasıdır. Bu bağlamda, S/N için en küçük değerler; elyaf

uzunluğu için 6 mm, elyaf oranı için %20, kesme hızı için 120 m/dak, ilerleme için 0,1 mm/dev ve kesme derinliği için 1 mm'dir. Bu değerler; elyaf uzunluğu, elyaf oranı, ilerleme ve kesme derinliği seviyelerinin 1, kesme hızı seviyesinin 3 olduğu durumda elde edilmiştir. S/N için en büyük değerler ise elyaf uzunluğu için 12 mm, elyaf oranı için %30, kesme hızı için 80 m/dak, ilerleme için 0,3 mm/dev ve kesme derinliği için 3 mm'dir. Bu değerler; elyaf uzunluğu, elyaf oranı, ilerleme ve kesme derinliği seviyelerinin 3, kesme hızı seviyesinin 2 olduğu durumda elde edilmiştir. Bu durum, şekil 4.9'da daha iyi görölmektedir.

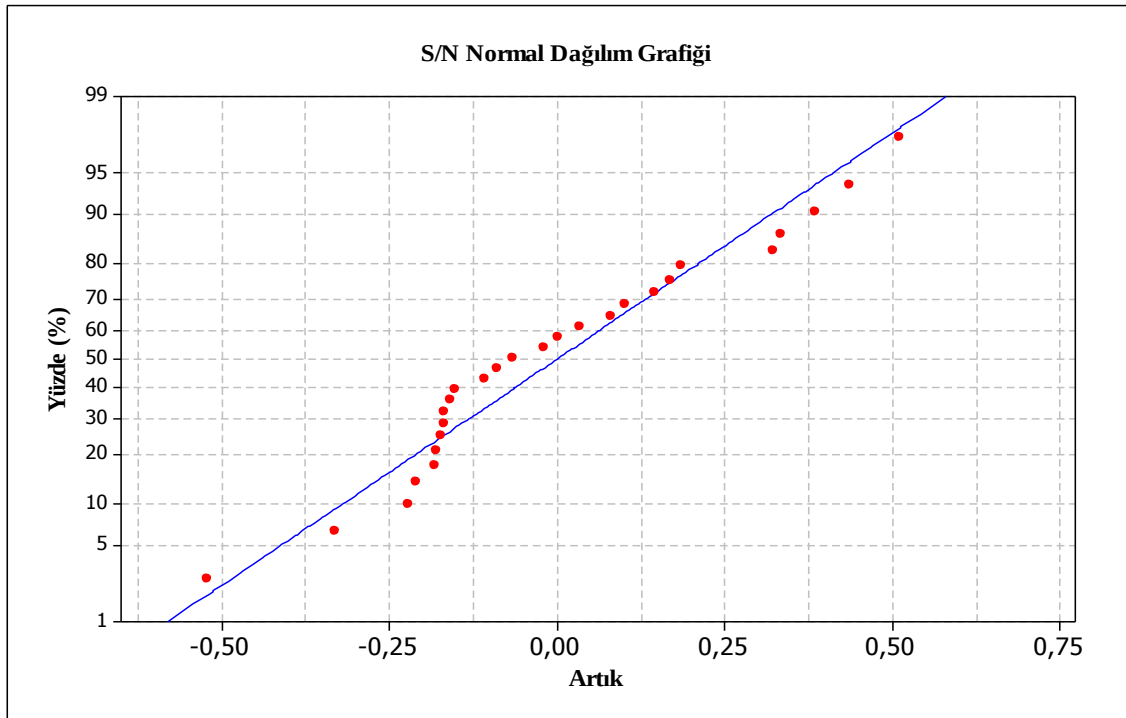


şekil 4.9. Tornalama parametrelerine bağlı kesme kuvveti grafiği

şekil 4.9'da göröldüğu gibi CETP kompozitlerin tornalama deneylerinde, elyaf uzunluğu 6 mm'den 6-12 mm'ye ve 6-12 mm'den 12 mm'ye artmasıyla kesici takıma gelen kesme kuvvetlerinin arttığı görölmektedir. Benzer şekilde elyaf oranının, ilerlemenin ve kesme derinliğinin artması da kesici takıma gelen kuvvetleri arttırmıştır. Ancak kesme hızının 40 m/dak'dan 80 m/dak'ya çıkması ile kesme kuvveti artmış, 80 m/dak'dan 120 m/dak'ya çıkmasıyla kesme kuvvetinde azalma gözlemlenmiştir. Taguchi deney tasarım yöntemine göre yapılan tornalama deneylerinde; 6 mm elyaf uzunluğu, %20 elyaf oranı, 40 m/dak kesme hızı, 1 mm kesme derinliği ve 0,1 mm/dev ilerleme için minimum kesme kuvveti değeri elde edilmiştir. Bu değer 129,93 N'dur. Maksimum kesme kuvveti olan 283,58 N; 12 mm elyaf uzunluğu, %25 elyaf oranı, 40

m/dak kesme hızı, 3 mm kesme derinliği ve 0,3 mm/dev ilerleme parametrelerinden elde edilmiştir.

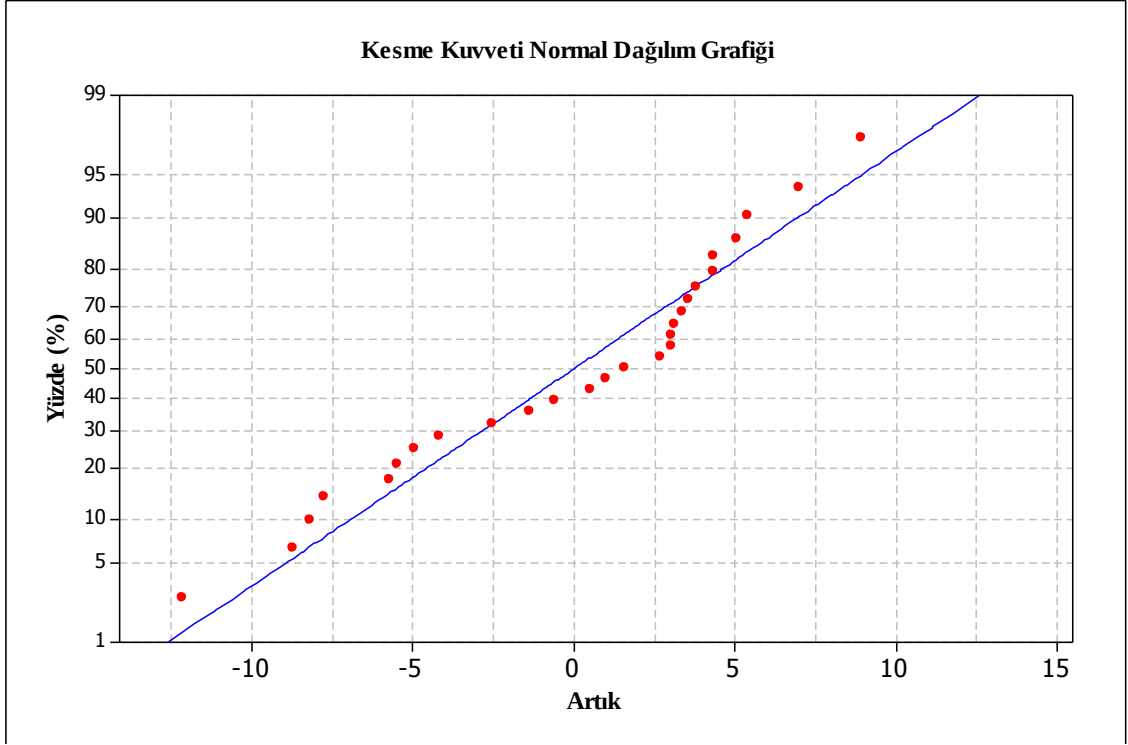
Artan elyaf oranı, ilerleme ve kesme derinliği ile kesici takıma gelen kuvvetlerin artması beklendik bir durumdur. Çünkü elyaf malzemesinin mükemmel mekanik özelliklere sahip olması, tornalama esnasında kesici takıma gelen kuvvetleri arttıracaktır. Ayrıca ilerleme ve kesme derinliği değerlerindeki artış ile kesici takımın kaldıracağı talaş miktarı artmakta ve bu da kesici takıma gelen kesme kuvvetlerinin artmasına neden olmaktadır. Benzer durum kesme hızı içinde söylenebilir. Ancak kesme hızının değişmesi kesme kuvvetlerde farklı davranış sergilemiştir. Bu durum, matris malzemesi plastik olan kompozitlerin yüksek kesme hızlarında tornalanmasında, kesici takım ve iş parçası arasındaki sürtünmeden dolayı açığa çıkan ısının matris malzemesini yumuşatmasından kaynaklandığı ile ifade edilmektedir. Benzer sonuçlar; Davim ve ark. (2009), Khan ve Kumar (2011) ve Kilickap ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmalarda da ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.10. Kesme kuvveti için S/N artık ve normal dağılım grafiği

Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de verilen artık ve normal dağılım grafikleri Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da verilen grafikler gibi bir birinin simetrisi olarak elde edilmiştir. Artık ve normal dağılım diğer bir değişle tahmini ve gerçek değerler, Şekil 4.11’de görüldüğü

gibi bir birine yakın olarak elde edilmiştir. Kesme kuvveti için EK 2’de gerçek ve tahmini değerler tablo olarak verilmiştir. Değerlerin bir birine yakın olarak elde edilmesi sonuçların geçerliliğini artırmaktadır. Bu analizler sonucunda, Taguchi yönteminin tornalama parametreleri için kesme kuvveti etki sıraları elde edilmiştir (Tablo 4.2).



Şekil 4.11. Kesme kuvvetinin artık ve normal dağılım grafiği

Tablo 4.2. Tormalama parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerindeki etki sıralaması

Seviye	A	B	C	D	E
1	200,5	197,1	212,3	187,8	199,9
2	213,0	218,5	237,9	213,6	217,5
3	240,4	238,3	203,8	252,7	236,6
Delta	40,0	41,2	34,0	64,9	36,7
Etki sıralaması	3	2	5	1	4

Tablo 4.2’deki Taguchi yönteminin ürettiği etki parametreleri göz önünde bulundurulduğunda, kesme kuvveti üzerine tornalama parametrelerinin etki sıralaması; ilerleme, elyaf oranı, elyaf uzunluğu, kesme derinliği ve kesme hızı şeklinde olmuştur. CETP kompozitlerin tornalanmasında, en etkili parametrenin ilerleme ve en az etkili parametrenin ise kesme hızı olduğu gözlemlenmiştir.

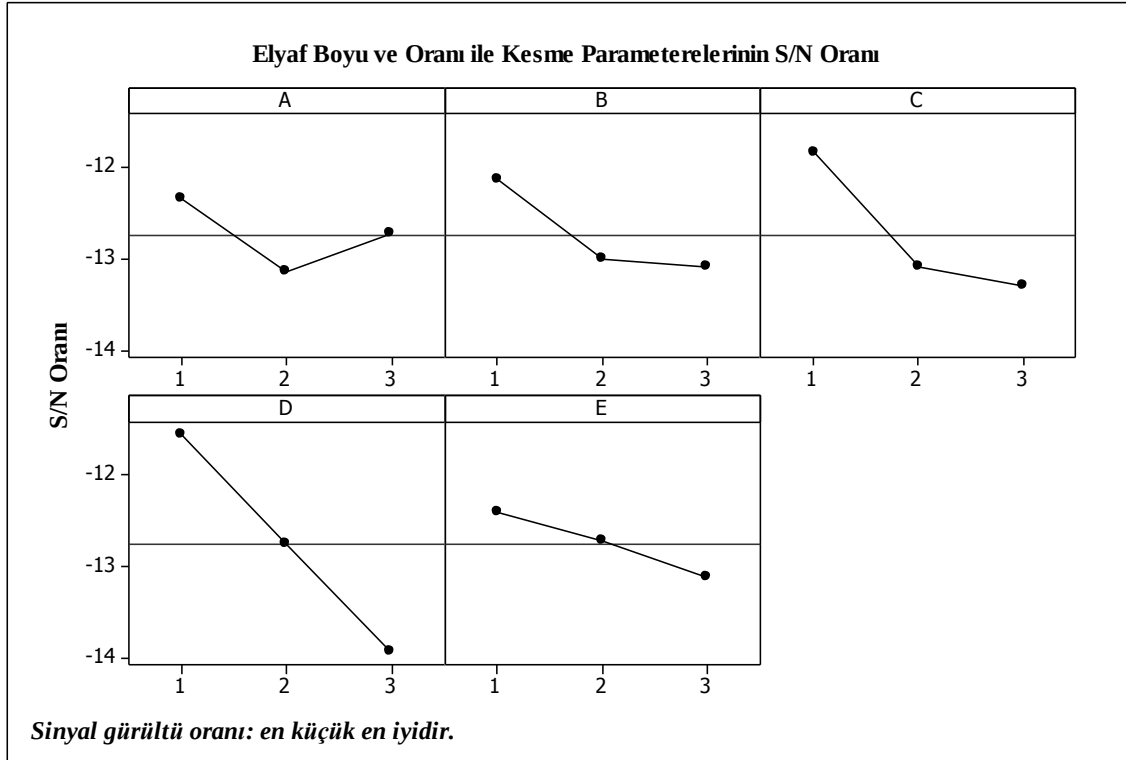
4.3. Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları

CETP kompozitlerin tornalama deneyleri sonucu işlenen yüzeylerdeki ortalama pürüzlülük değeri, yüzey pürüzlülük cihazı ile farklı noktalardan ölçülmüş ve ortalaması alınarak Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Taguchi deney tasarımına göre tornalanan yüzeylerdeki ortalama yüzey pürüzlülük değerleri

Deney No	A	B	C	D	E	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)
1	1	1	1	1	1	2,95
2	1	1	1	1	2	3,06
3	1	1	1	1	3	3,11
4	1	2	2	2	1	4,31
5	1	2	2	2	2	4,33
6	1	2	2	2	3	4,72
7	1	3	3	3	1	5,06
8	1	3	3	3	2	5,29
9	1	3	3	3	3	5,48
10	2	1	2	3	1	4,92
11	2	1	2	3	2	5,01
12	2	1	2	3	3	5,23
13	2	2	3	1	1	3,98
14	2	2	3	1	2	4,25
15	2	2	3	1	3	4,90
16	2	3	1	2	1	4,11
17	2	3	1	2	2	4,23
18	2	3	1	2	3	4,46
19	3	1	3	2	1	4,15
20	3	1	3	2	2	4,38
21	3	1	3	2	3	4,42
22	3	2	1	3	1	4,53
23	3	2	1	3	2	4,59
24	3	2	1	3	3	4,70
25	3	3	2	1	1	3,92
26	3	3	2	1	2	4,15
27	3	3	2	1	3	4,22

Tablo 4.3'deki elyaf uzunluğu (A), elyaf oranı (B), kesme hızı (C), ilerleme (D) ve kesme derinliğinin (E) ortalama yüzey pürüzlülük üzerine etkileri, kesme kuvvetinde olduğu gibi Taguchi L_{27} standart ortogonal deney tasarımı bölümüne ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin girilmesiyle belirlenmiş ve sonuçlar analiz edilmiştir. Analiz sonucunda tornalama parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri üzerindeki etkileri grafik haline dönüştürülmüştür. Tornalama parametrelerine bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülük değeri için elde edilen S/N grafiği Şekil 4.12'de, ortalama yüzey pürüzlülük grafiği Şekil 4.13'te, S/N artık ve normal dağılım grafiği Şekil 4.14'te ve ortalama yüzey pürüzlülük için artık ve normal dağılım grafiği Şekil 4.15'te gösterilmiştir.

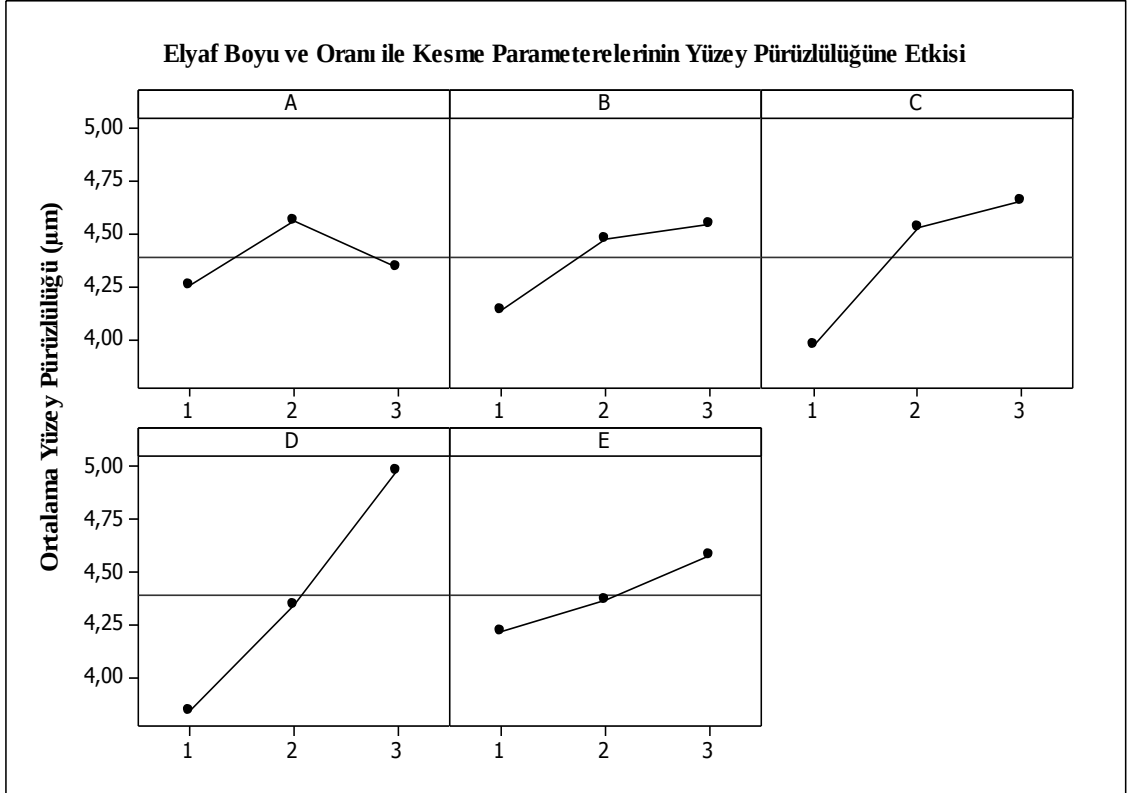


Şekil 4.12. Ortalama yüzey pürüzlülüğü S/N grafiği

Şekil 4.12’de, tornalama parametrelerine bağlı olarak optimum ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin elde edilmesi için S/N’de en küçük en iyidir olarak seçilmiştir. Yani y ekseninde bulunan eksi değerlerdeki oranların mutlak değerinin en küçük olması istenmektedir. Bu bağlamda, S/N için en küçük değerler; elyaf uzunluğu, elyaf oranı, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği seviyelerinin 1 olduğu durumda elde edilmiştir. Diğer bir değişle; elyaf uzunluğunun 6 mm, elyaf oranının %20, kesme hızının 40 m/dak, ilerlemenin 0,1 mm/dev ve kesme derinliğinin 1 mm olduğu durumda en düşük S/N değerleri elde edilmiştir. S/N için en büyük değerler ise elyaf uzunluğu seviyesinin 2, elyaf oranı, ilerleme ve kesme derinliği seviyelerinin 3 olduğu durumda elde edilmiştir. Bu seviyeler; elyaf uzunluğu için 6-12 mm, elyaf oranı için %30, kesme hızı için 120 m/dak, ilerleme için 0,3 mm/dev ve kesme derinliği için 3 mm’dir.

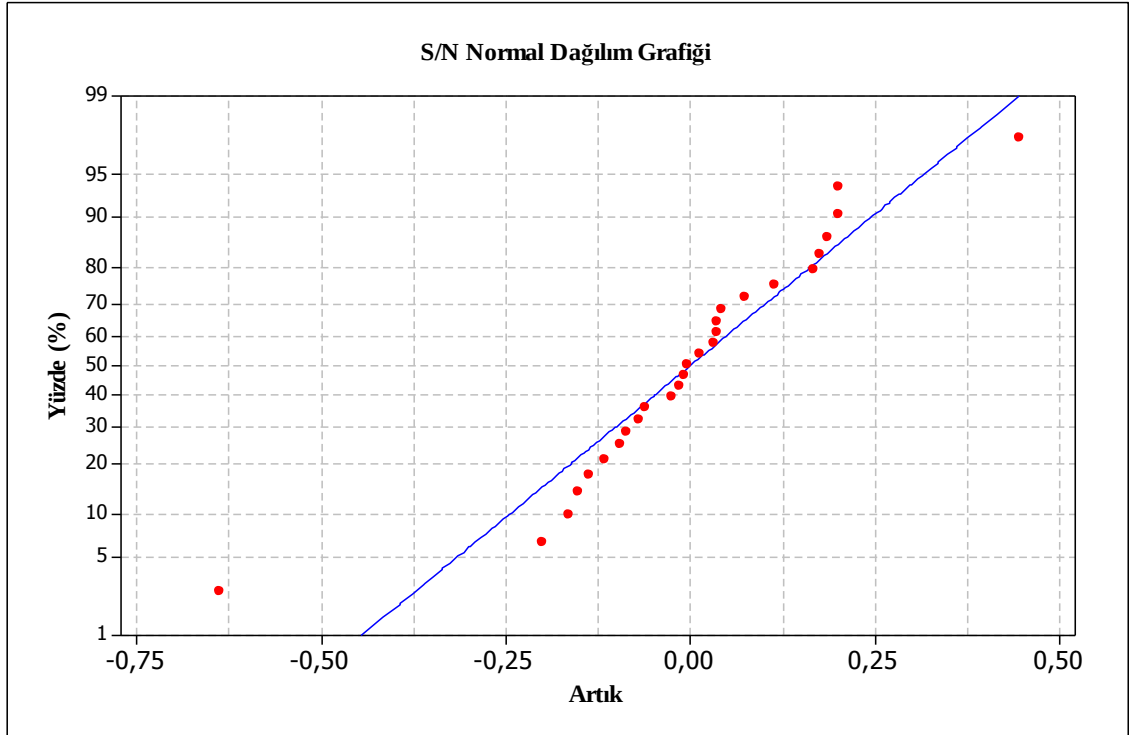
Şekil 4.13’de; CETP kompozitlerin tornalama deneylerinde, elyaf uzunluğu 6 mm için ortalama yüzey pürüzlülük değeri oldukça düşük elde edilmiştir. Elyaf uzunluğu 6-12 mm için ortalama yüzey pürüzlülük değeri 6 mm elyaf uzunluğuna göre daha yüksek elde edilmiştir. 12 mm elyaf uzunluğunda ise pürüzlülük değeri 6 mm ve 6-12 mm elyaf uzunluğu arasındadır. Bu bağlamda, elyaf uzunluğuna bağlı olarak en kötü yüzey kalitesi 6-12 mm elyaf uzunluğundan elde edilmiştir. Bunun, 6 mm ve 12 mm elyaf uzunluklarına sahip CE takviyesinin birleştirilmesiyle elde edilen 6-12 mm

elyaf uzunluğunun homojen olarak karışmamasından kaynaklanıyor olabileceği düşünülmektedir. Elyaf oranı, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin ortalama yüzey pürüzlülük değeri üzerine etkileri incelendiğinde ise bu dört faktöre ait değerlerin artmasıyla işlenmiş yüzeylerdeki ortalama pürüzlülük değerinin arttığı görülmektedir.

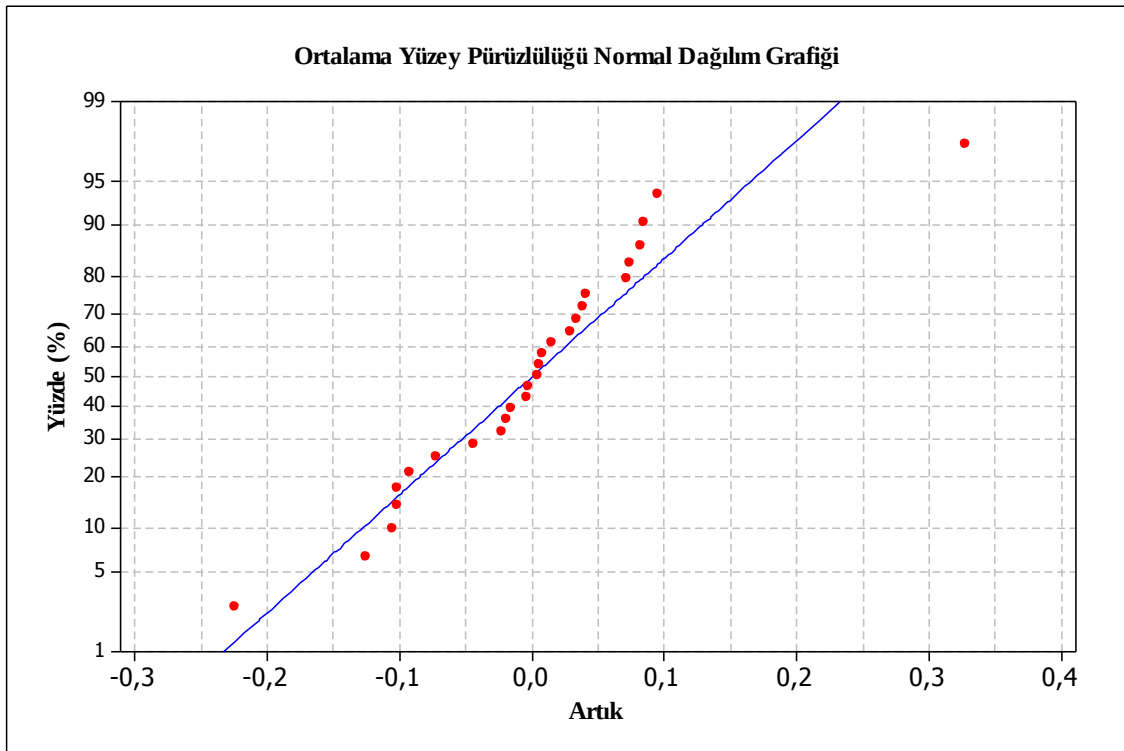


Şekil 4.13. Tornalama parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülüğü grafiği

Taguchi deney tasarım yöntemine göre yapılan tornalama deneylerinde en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri 6 mm elyaf uzunluğu, %20 elyaf oranı, 40 m/dak kesme hızı, 1 mm kesme derinliği ve 0,1 mm/dev ilerlemenin olduğu durumda 2,95 µm olarak ölçülmüştür. En yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değeri ise 6 mm elyaf uzunluğu, %30 elyaf oranı, 120 m/dak kesme hızı, 3 mm kesme derinliği ve 0,3 mm/dev ilerleme parametrelerinden 5,48 µm olarak ölçülmüştür.



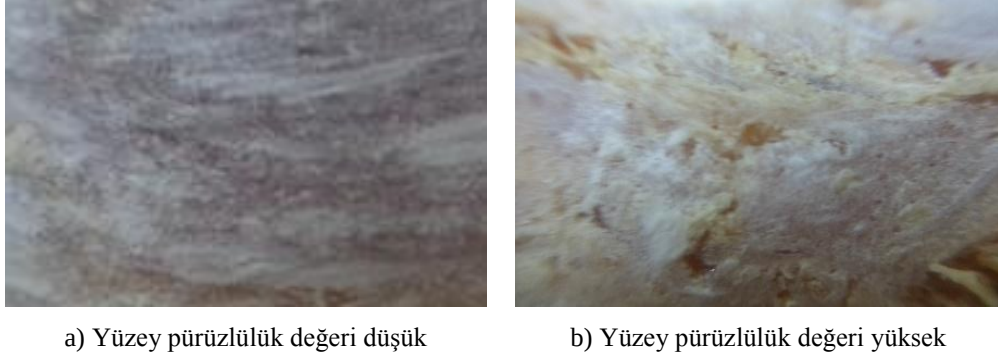
Şekil 4.14. Ortalama yüzey pürüzlülüğü için S/N artık ve normal dağılım grafiği



Şekil 4.15. Ortalama yüzey pürüzlülük değerinin artık ve normal dağılım grafiği

Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te verilen artık ve normal dağılım grafikleri incelendiğinde; artık ve normal değerler, bir birine yakın elde edilmiştir. Yüzey

pürüzlülüğü için EK 2’de gerçek ve tahmini değerler tablo olarak verilmiştir. Elde edilen bazı değerlerde sapmalar gözlemlenmiştir. Bu sapmalar işlenmiş yüzeylerdeki birtakım problemlerden meydana geldiği düşünülmektedir. Şekil 4.16’da işlenmiş CETP kompozitlerin yüzeyleri verilmiştir.



Şekil 4.16. İşlenmiş CETP kompozit yüzeyleri

Düşük yüzey pürüzlülük değerine sahip CETP kompozitin işlenmiş yüzeyine bakıldığında, işlenmiş yüzey üzerinde her hangi bir problemin olmadığı görülmektedir. Ancak yüksek yüzey pürüzlülük değerine sahip kompozitin işlenmiş yüzeyinde bir takım problemlerin olduğu görülmüştür. Bu problemler; kompozitin üretim esnasında oluşan boşlukların varlığı ve tormalama deneylerinde fiberlerin çekilmesi ve kesilmemesi şeklinde gözlemlenmiştir.

Kesme kuvvetinde olduğu gibi ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde de Taguchi yöntemi başarılı bir şekilde tormalama parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini analiz etmiştir. Analizler sonucunda, Yüzey pürüzlülüğü üzerine tormalama parametrelerinin etki sıraları elde edilmiştir. Elde edilen etki sıraları Tablo 4.4’te verilmiştir.

Tablo 4.4. Tormalama parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülük değeri üzerindeki etki sıralaması

Seviye	A	B	C	D	E
1	4,257	4,137	3,971	3,838	4,214
2	4,566	4,479	4,534	4,346	4,366
3	4,340	4,547	4,657	4,979	4,582
Delta	0,309	0,410	0,686	1,141	0,368
Etki sıralaması	5	3	2	1	4

Ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerine tormalama parametrelerinin etki sıralaması; ilerleme, kesme hızı, elyaf oranı, kesme derinliği ve elyaf uzunluğu şeklinde olmuştur. CETP kompozitlerin tormalanmasında, ortalama yüzey pürüzlülüğü için en etkili parametrenin ilerleme ve en az etkili parametrenin ise elyaf uzunluğu olduğu gözlemlenmiştir.

5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada; elyaf uzunlukları 6 mm, 6-12 mm ve 12 mm olan CE takviyeleri, polyester matris malzemeleri ile ağırlıkça %20, %25 ve %30 oranlarında karıştırılarak kompozit haline dönüştürülmüştür. Kompozitlerin çekme dayanımları incelenmiştir. Ayrıca farklı kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği parametrelerinde, Taguchi deney tasarım yöntemine göre tornalama deneyleri yapılmıştır. Tornalama parametrelerinin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri analiz edilmiştir.

Farklı elyaf uzunluğu ve oranına sahip CETP kompozitlerin çekme testi sonucu elde edilen çekme dayanımları ana hatlarıyla aşağıdaki gibidir.

- ✓ Elyaf uzunluğunun artması, çekme dayanımını arttırmıştır. 12 mm elyaf uzunluğuna sahip CETP kompozitlerde, 6 mm ve 6-12 mm elyaf uzunluğuna göre daha yüksek çekme dayanımı elde edilmiştir.
- ✓ Elyaf oranının artması, polyester matris malzemesinin çekme dayanımını arttırmıştır. En iyi çekme dayanımı, %25 elyaf oranından elde edilmiştir. Elyaf oranının %25'den %30'a çıkmasıyla çekme dayanımı kısmen düşmüştür.
- ✓ Saf polyesterin çekme dayanımı 24,6 MPa olarak elde edilmiştir. En yüksek çekme dayanımı elde edilen ağırlıkça %25 takviye oranına sahip CETP kompozitlerde; 6 mm elyaf uzunluğu için 53,85 MPa, 6-12 mm elyaf uzunluğu için 48,6 MPa ve 12 mm elyaf uzunluğunda için ise 55,95 MPa çekme dayanımı gözlemlenmiştir.
- ✓ Polyester matris malzemesindeki CE takviye oranının artması gerilim-gerinim grafiğindeki gerinim değerini arttırmıştır. Saf polyesterin gerinim değeri yaklaşık %0,008 iken en yüksek gerinim elde edilen 12 mm elyaf uzunluğu ve %30 elyaf oranına sahip CETP kompozitin gerinim değeri yaklaşık olarak %0,034 olmuştur.

Elyaf uzunluğu ve oranına bağlı olarak 9 farklı CETP kompozit üretilmiştir. Bu kompozitlerin Taguchi deney tasarımına göre farklı kesme hızı, ilerleme ve tornalama deneylerinden elde edilen kesme kuvveti ve ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ana hatlarıyla aşağıdaki gibidir.

- ✓ Elyaf uzunluğu, elyaf oranı, ilerleme ve kesme derinliğinin artması, kesici takıma gelen kuvvetleri arttırmıştır. Kesme hızının 40 m/dak'dan 80

m/dak'ya çıkması ile kesme kuvveti artmış, 80 m/dak'dan 120 m/dak'ya çıkmasıyla kesme kuvvetinde azalmıştır.

- ✓ Taguchi deney tasarım yöntemine göre yapılan tornalama deneylerinde; en düşük kesme kuvveti değeri 129,93 N olarak ölçülmüştür. Bu değer, 6 mm elyaf uzunluğu, %20 elyaf oranı, 40 m/dak kesme hızı, 1 mm kesme derinliği ve 0,1 mm/dev ilerlemeden elde edilmiştir. En yüksek kesme kuvveti ise 283,58 N olarak 12 mm elyaf uzunluğu, %25 elyaf oranı, 40 m/dak kesme hızı, 3 mm kesme derinliği ve 0,3 mm/dev ilerlemeden ölçülmüştür.
- ✓ Kesme kuvveti üzerine en etkili parametrenin ilerleme ve ardından elyaf oranı olduğu görülmüştür. En az etki eden parametre ise kesme hızı olmuştur.
- ✓ Elyaf oranı, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin artması ortalama yüzey pürüzlülük değerini arttırmıştır. Farklı elyaf uzunlukları için ortalama yüzey pürüzlülük değerleri farklı değerlerde ölçülmüştür.
- ✓ Taguchi deney tasarım yöntemine göre yapılan tornalama deneylerinde en iyi yüzey kalitesi 6 mm elyaf uzunluğu, %20 elyaf oranı, 40 m/dak kesme hızı, 1 mm kesme derinliği ve 0,1 mm/dev ilerleme değerinden elde edilirken, en kötü yüzey kalitesi 6 mm elyaf uzunluğu, %30 elyaf oranı, 120 m/dak kesme hızı, 3 mm kesme derinliği ve 0,3 mm/dev ilerleme parametrelerinden elde edilmiştir. En iyi ve en kötü yüzey kalitesi için ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri sırasıyla 2,95 μm ve 5,48 μm 'dir.
- ✓ Ortalama yüzey pürüzlülüğü için en etkili parametrenin ilerleme ve en az etkili parametrenin ise elyaf uzunluğu olduğu görülmüştür.
- ✓ CETP kompozitlerin tornalanmasında, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde en önemli parametre ilerleme olmuştur.

5.2. Öneriler

Silindirik CETP kompozitlerin işlenmesinde, üretilen kompozitlerin içerisinde hava kabarcıklarının olduğu görülmüştür. Bu doğrultuda, farklı üretim yöntemleri ve farklı özelliklere sahip polyester matris malzemesi ile daha mukavemetli kompozitler üretilir ve bu hava kabarcıkları ortadan kaldırılabilir. Ayrıca farklı kesici takım malzemesi ve geometrisi kullanılarak tornalama deneyleri gerçekleştirilebilir. Böylece kesici takım malzemesi ve geometrisinin tornalama parametrelerindeki etki sırası da belirlenmiş olacaktır.

KAYNAKLAR

- Akın, Y., 2018, Cam elyaf takviyeli kompozit boruların mekanik özelliklerine hidrotermal yaşlandırmanın etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 77 sayfa.
- An, S. O., Lee, E. S. and Noh, S. L., 1997, A study on the cutting characteristics of glass fiber reinforced plastics with respect to tool materials and geometries, *Journal of Materials Processing Technology*, 68 (1), 60-67.
- Azmi, A. I., 2015, Monitoring of tool wear using measured machining forces and neuro-fuzzy modelling approaches during machining of GFRP composites, *Advances in Engineering Software*, 82, 53-64.
- Buytoz, Ö., 2010, AISI 304 paslanmaz çeliğini matkapla delme işleminde kesme parametrelerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 99 sayfa.
- Chang, C. S., 2006, Turning of glass-fiber reinforced plastics materials with chamfered main cutting edge carbide tools, *Journal of Materials Processing Technology*, 180 (1-3), 117-129.
- Chang, C. S., Lin, Y. L. and Hwang, B. C., 2008, Prediction of cutting temperatures in turning of glass fiber reinforced plastics (GFRP) materials, *Journal of Mechanics*, 24 (4), 357-368.
- Çelik, Y. H. and Pilatin, İ., 2013, Investigation of factors having effect on deformation in drilling of glass fiber reinforced composite materials, *Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods & Technologies*, 7 (2), 328-337.
- Çelik, Y. H., Kılıçkap, E. and Yardımeden, A., 2014, Estimate of cutting forces and surface roughness in end milling of glass fiber reinforced plastic composites using fuzzy logic system, *Science and Engineering of Composite Materials*, 21 (3), 435-443.
- Çelik, Y. H., Kılıçkap, E. and Koçyiğit, N., 2019, Evaluation of drilling performances of nanocomposites reinforced with graphene and graphene oxide, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 100 (9-12), 2371-2385.
- Çelik, Y. H. ve Kılıçkap, E., 2012, G10 EPGC 201 kompozit malzemenin delinmesinde oluşan deformasyona etki eden parametrelerin araştırılması, 3. *Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, 04-05 Ekim 2012, Ankara, Türkiye, 206-211.
- Davim, J. P. and Mata, F., 2005, A new machinability index in turning fiber reinforced plastics, *Journal of Materials Processing Technology*, 170 (1-2), 436-440.
- Davim, J. P. and Mata, F., 2007, New machinability study of glass fibre reinforced plastics using polycrystalline diamond and cemented carbide (K15) tools, *Materials & Design*, 28 (3), 1050-1054.

- Davim, J. P. and Reis, P., 2004, Machinability study on composite (polyetheretherketone reinforced with 30% glass fibre-PEEK GF 30) using polycrystalline diamond (PCD) and cemented carbide (K20) tools, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 23 (5-6), 412-418.
- Davim, J. P., Silva, L. R., Festas, A. and Abrao, A. M., 2009, Machinability study on precision turning of PA66 polyamide with and without glass fiber reinforcing, *Materials & Design*, 30 (2), 228-234.
- Erdoğan, D., 1999, Makine Malzeme Bilgisi, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 1507, Ankara.
- Ersoy, H. Y., 2001, Kompozit malzeme, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 277 sayfa.
- Gill, S. K., Gupta, M. and Satsangi, P. S., 2013, Prediction of cutting forces in machining of unidirectional glass fiber reinforced plastics composite, *Frontiers of Mechanical Engineering*, 8 (2), 187-200.
- Gupta, M. and Kumar, S., 2015, Investigation of surface roughness and MRR for turning of UD-GFRP using PCA and Taguchi method, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 18 (1), 70-81.
- Güldü, İ., 1995, Cam takviyeli plastik malzemelerde takviye açısının kırılma davranışına etkisi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 145 sayfa.
- Henerichs, M., Voß, R., Kuster, F. and Wegener, K., 2015, Machining of carbon fiber reinforced plastics: Influence of tool geometry and fiber orientation on the machining forces, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 9, 136-145.
- Hussain, S. A., Pandurangadu, V. and Kumar, K. P., 2011, Cutting power prediction model for turning of GFRP composites using response surface methodology, *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 3 (6), 161-171.
- Hussain, S. A., Pandurangadu, V. and Kumar, K. P., 2014, Optimization of surface roughness in turning of GFRP composites using genetic algorithm, *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 6 (1), 49-57.
- Işık, B., 2008, Experimental investigations of surface roughness in orthogonal turning of unidirectional glass-fiber reinforced plastic composites, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 37 (1-2), 42-48.
- Işık, B. and Kentli, A., 2009, Multicriteria optimization of cutting parameters in turning of UD-CFRP materials considering sensitivity, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 44 (11-12), 1144-1153.
- Jawali, N. D., Siddeswarappa, B. and Siddaramaiah, 2006, Physicomechanical properties, machinability, and morphological behavior of short glass fiber-

- reinforced nylon 6 composites, *Journal of reinforced plastics and composites*, 25 (13), 1409-1418.
- Khan, M. A. and Kumar, A. S., 2011, Machinability of glass fibre reinforced plastic (GFRP) composite using alumina-based ceramic cutting tools, *Journal of Manufacturing Processes*, 13 (1), 67-73.
- Kılıçkap, E., Çelik, Y. H. ve Yardımeden, A., 2017, Karbon elyaf takviyeli plastik kompozitlerin tornalanmasında yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasına etki eden parametrelerin araştırılması, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 8 (1), 175-180.
- Kılıçkap, E. ve Çelik, Y. H., 2012, Cam elyaf takviyeli plastik kompozitlerin frezelenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi, 3. *Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, 04-05 Ekim 2012, Ankara, Türkiye, 99-103.
- Kilickap, E., Yardımeden, A. and Çelik, Y. H., 2015, Investigation of experimental study of end milling of CFRP composite, *Science and Engineering of Composite Materials*, 22 (1), 89-95.
- Kim, K. S., Lee, D. G., Kwak, Y. K. and Namgung, S., 1992, Machinability of carbon fiber-epoxy composite materials in turning, *Journal of Materials Processing Technology*, 32 (3), 553-570.
- Kistler 9257B, 2018, Multicomponent Dynamometer Data Sheet.
- Kuram, E., 2016, Micro-machinability of injection molded polyamide 6 polymer and glass-fiber reinforced polyamide 6 composite, *Composites Part B*, 88, 85-100.
- Li, E .Z., Guo, W. L., Wang, H. D., Xu, B. S. and Liu, X. T., 2013, Research on tribological behavior of PEEK and glass fiber reinforced PEEK composite, *Physics Procedia*, 50, 453-460.
- Mata, F., Gaitonde, V. N., Karnik, S. R. and Davim, J. P., 2009, Influence of cutting conditions on machinability aspects of PEEK, PEEK CF 30 and PEEK GF 30 composites using PCD tools, *journal of materials processing technology*, 209 (4), 1980-1987.
- Mohan, N. S., Kulkarni, S. M. and Ramachandra, A., 2007, Delamination analysis in drilling process of glass fiber reinforced plastic (GFRP) composite materials, *Journal of Materials Processing Technology*, 186 (1-3), 265-271.
- Mohan, N., Mahesha, C. R. and Rajaprakash, B. M., 2013, Erosive wear behaviour of WC filled glass epoxy composites, *Procedia Engineering*, 68, 694-702.
- Mohan, N. S., Ramachandra, A. and Kulkarni, S. M., 2005, Influence of process parameters on cutting force and torque during drilling of glass-fiber polyester reinforced composites, *Composite Structures*, 71 (3-4), 407-413.

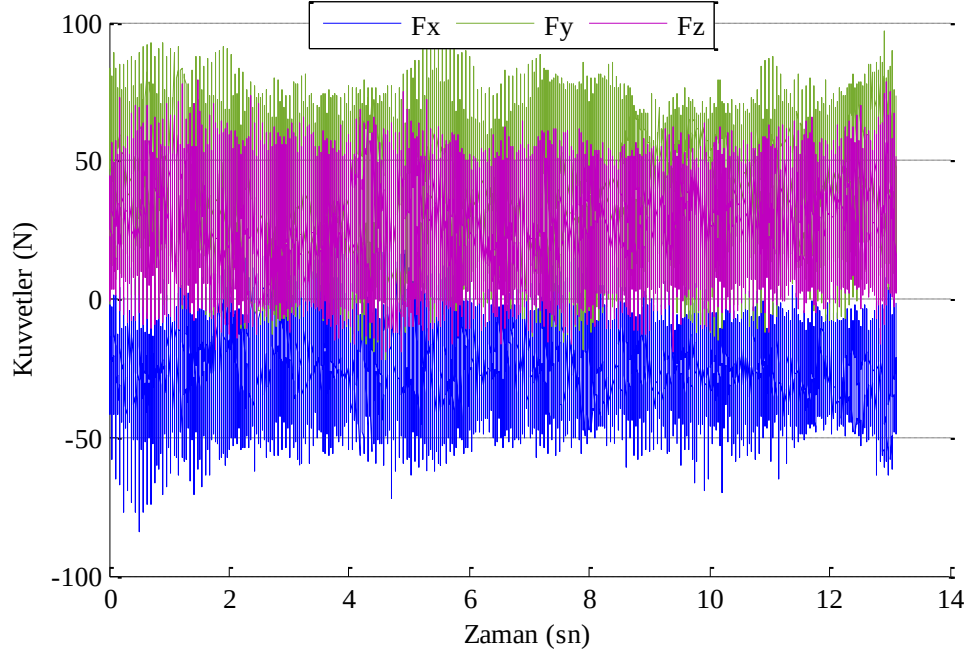
- Palanikumar, K., 2006, Cutting parameters optimization for surface roughness in machining of GFRP composites using Taguchi's method, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 25 (16), 1739-1751.
- Palanikumar, K., 2007, Modeling and analysis for surface roughness in machining glass fibre reinforced plastics using response surface methodology, *Materials & Design*, 28 (10), 2611-2618.
- Palanikumar, K., 2008, Application of Taguchi and response surface methodologies for surface roughness in machining glass fiber reinforced plastics by PCD tooling, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36 (1-2), 19-27.
- Palanikumar, K. and Davim, J. P., 2007, Mathematical model to predict tool wear on the machining of glass fibre reinforced plastic composites, *Materials & Design*, 28 (7), 2008-2014.
- Palanikumar, K., Karunamoorthy, L. and Karthikeyan, R., 2006a, Multiple performance optimization of machining parameters on the machining of GFRP composites using carbide (K10) tool, *Materials and Manufacturing Processes*, 21 (8), 846-852.
- Palanikumar, K., Karunamoorthy, L. and Karthikeyan, R., 2006b, Assessment of factors influencing surface roughness on the machining of glass fiber reinforced polymer composites, *Materials & Design*, 27 (10), 862-871.
- Parida, A. K., Das, R., Sahoo, A. K. and Routara, B. C., 2014, Optimization of cutting parameters for surface roughness in machining of gfrp composites with graphite/fly ash filler, *Procedia Materials Science*, 6, 1533-1538.
- Petropoulos, G., Mata, F. and Davim, J. P., 2008, Statistical study of surface roughness in turning of peek composites, *Materials & Design*, 29 (1), 218-223.
- Rahman, M., Ramakrishna, S., Prakash, J. R. S. and Tan, D. C. G., 1999, Machinability study of carbon fiber reinforced composite, *Journal of Materials Processing Technology*, 89 (90), 292-297.
- Sait, A. N., Aravindan, S. and Haq, A. N., 2009, Optimisation of machining parameters of glass-fibre-reinforced plastic (GFRP) pipes by desirability function analysis using Taguchi technique, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 43, 581-589.
- Santhanakrishnan, G., Krishnamurthy, R. and Malhotra, S. K., 1989, High speed steel tool wear studies in machining of glass-fibre-reinforced plastics, *Wear*, 132 (2), 327-336.
- Sarıbıyık, M., Turhan, M. ve Sarıbıyık, A., 2009, Cam elyaf takviyeli plastiklerin mekanik özelliklerine elyaf hacim oranlarının etkileri, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye.

- Sarma, P. M. M. S., Karunamoorthy, L. and Palanikumar, K., 2008, Modeling and analysis of cutting force in turning of GFRP composites by CBN tools, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 27 (7), 711-723.
- Schorník, V., Daňa, M. and Zetková, I., 2015, The influence of the cutting conditions on the machined surface quality when the CFRP is machined, *Procedia Engineering*, 100, 1270-1276.
- Sharma, S., Tamang, S., Devarasiddappa, D. and Chandrasekran, M., 2014, Fuzzy logic modeling and multiple performance optimization in turning GFRP composites using desirability function analysis, *Procedia Materials Science*, 6, 1805-1814.
- Sivasankaran, S., Harisagar, P.T., Saminathan, E., Siddharth, S. and Sasikumar, P., 2014, Effect of process parameters in surface roughness during turning of GFRP pipes using PCD insert tool, *Procedia Engineering*, 97, 64-71.
- Sreejith, P. S., Krishnamurth, R. and Malhotra, S. K., 2007, Effect of specific cutting pressure and temperature during machining of carbon/phenolic ablative composite using PCBN tools, *Journal of Materials Processing Technology*, 183 (1), 88-95.
- Şahin, Y., 2006, Kompozit malzemelere giriş, Seçkin Yayınevi, Ankara, 2. Baskı, 424 sayfa.
- Uhlmann, E., Sammler, F., Richarz, S., Heitmüller, F. and Bilz, M., 2014, Machining of carbon fibre reinforced plastics, *Procedia CIRP*, 24, 19-24.
- Uhlmann, E., Sammler, F., Richarz, S., Reucher, G., Hufschmied, R., Frank, A., Stawiszynski, B. and Protz, F., 2016, Machining of carbon and glass fibre reinforced composites, *Procedia CIRP*, 46, 63-66.
- Vasudevan, H., Deshpande, N. C. and Rajguru, R. R., 2014, Grey fuzzy multiobjective optimization of process parameters for CNC turning of GFRP/Epoxy Composites, *Procedia Engineering*, 97, 85-94.
- Voss, R., Seeholzer, L., Kuster, F. and Wegener, K., 2017, Cutting process tribometer experiments for evaluation of friction coefficient close to a CFRP machining operation, *Procedia CIRP*, 66, 204-209.
- Yang, C. L., Sheu, S. H. and Yu, K. T., 2009, The reliability analysis of a thin-edge blade wear in the glass fiber cutting process, *journal of materials processing technology*, 209 (4), 1789-1795.
- Yardimeden, A., 2016, Investigation of optimum cutting parameters and tool radius in turning glass-fiber-reinforced composite material, *Science and Engineering Composite Materials*, 23 (1), 85-91.
- Yardimeden, A., Kilickap, E. and Celik, Y. H., 2014, Effects of cutting parameters and point angle on thrust force and delamination in drilling of CFRP, *Materials Testing*, 56 (11-12), 1042-1048.

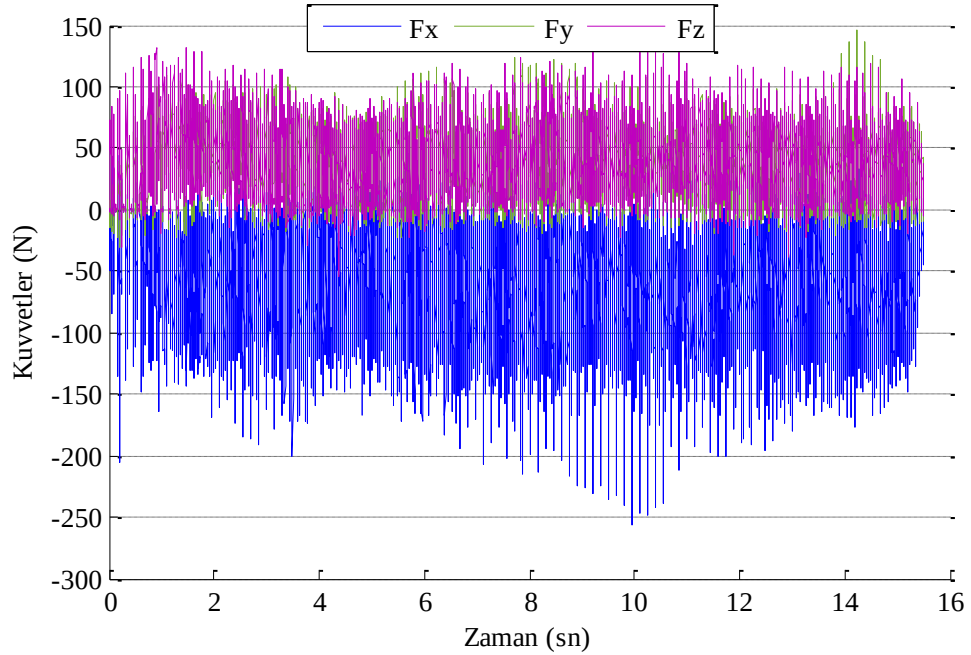
EKLER

EK-1 Tornalama parametrelerinden elde edilen F_x , F_y ve F_z kuvvetleri

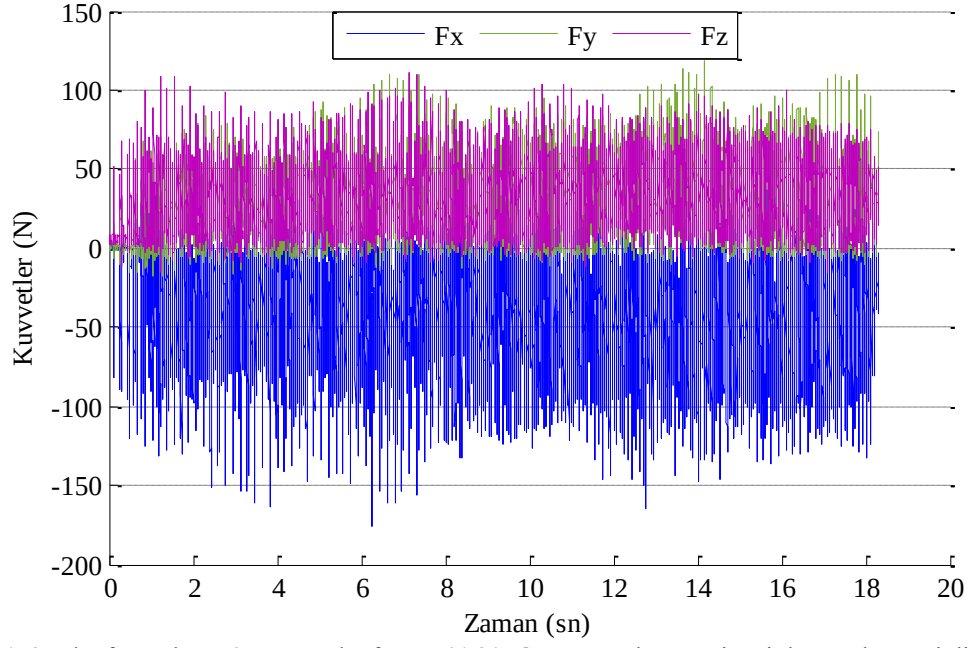
(F_x : dönme devri yönündeki kuvvet, F_y : radyal kuvvet ve F_z : ilerleme yönündeki kuvvet)



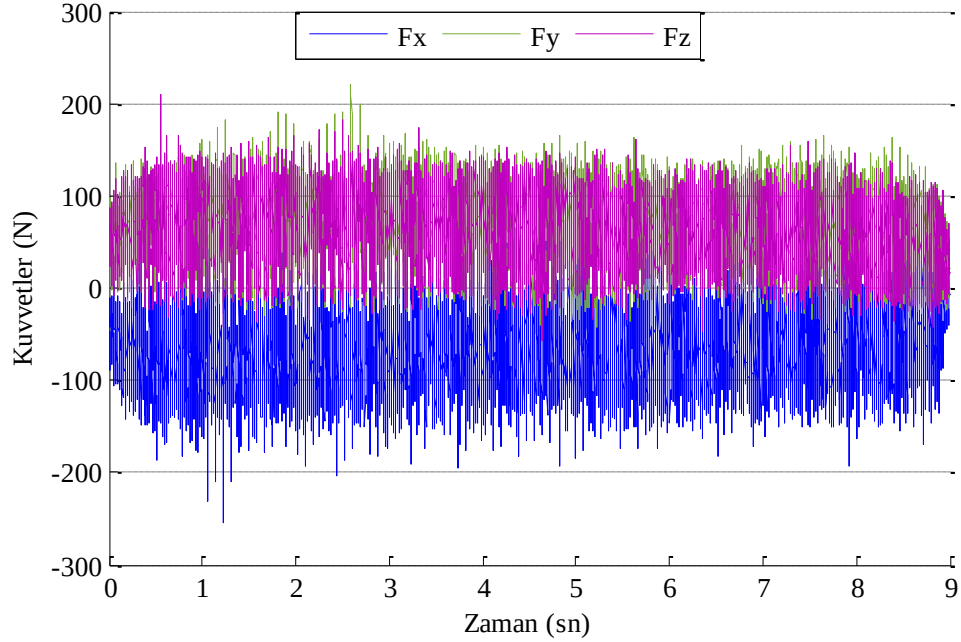
Şekil 1. Elyaf uzunluğu 6 mm ve elyaf oranı % 20 olan CETP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı (V:40 m/dak, f:0.1 mm/dev, a:1 mm)



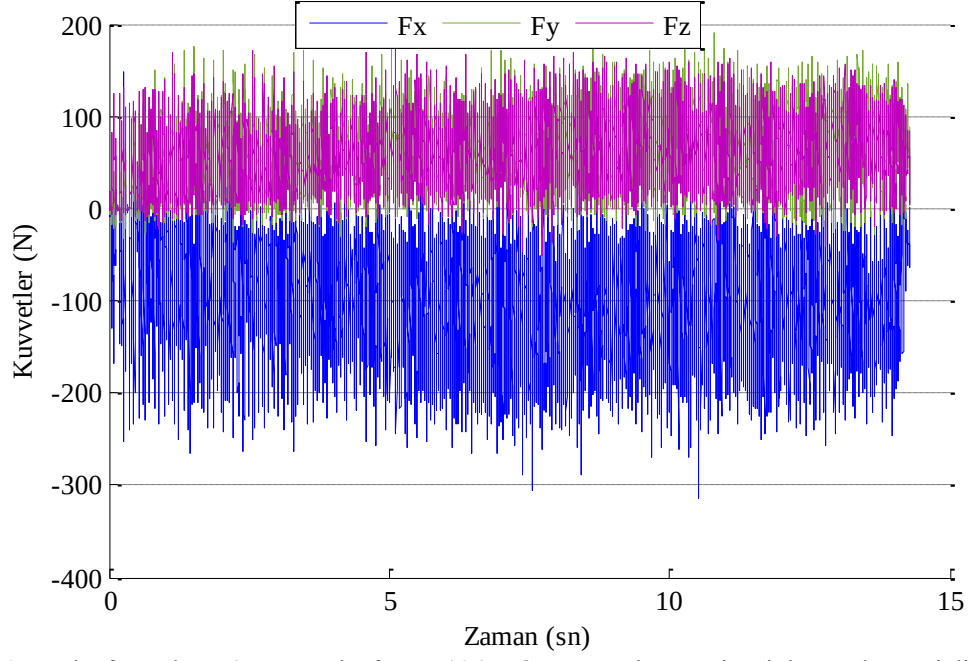
Şekil 2. Elyaf uzunluğu 6 mm ve elyaf oranı % 20 olan CETP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı (V:40 m/dak, f:0.1 mm/dev, a:2 mm)



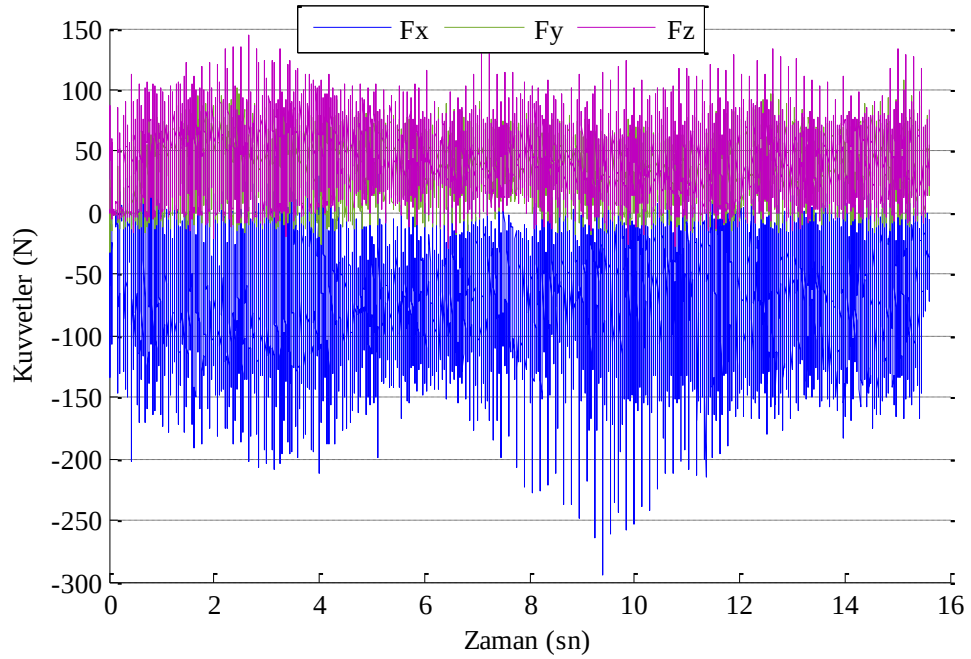
Şekil 3. Elyaf uzunluğu 6 mm ve elyaf oranı % 20 olan CETP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı (V:40 m/dak, f:0.1 mm/dev, a:3 mm)



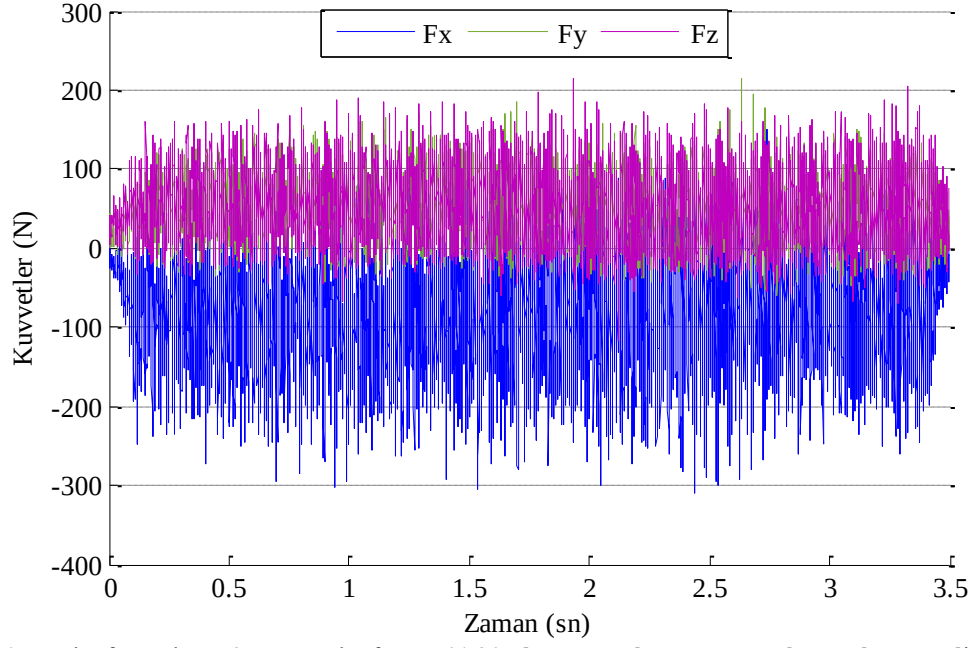
Şekil 4. Elyaf uzunluğu 6 mm ve elyaf oranı % 25 olan CETP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı (V:80 m/dak, f:0.2 mm/dev, a:1 mm)



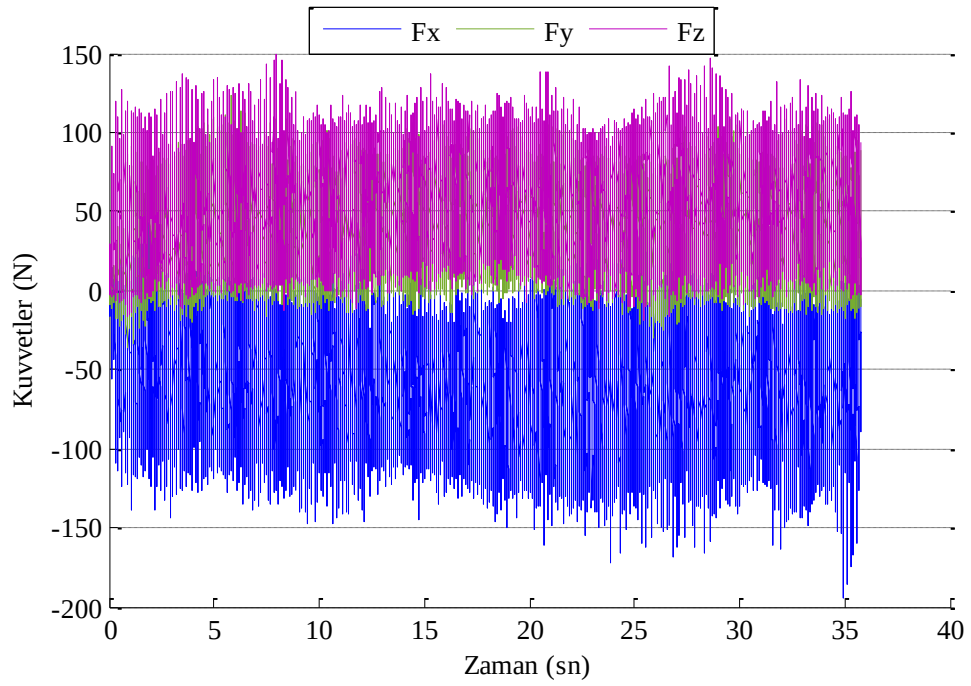
Şekil 5. Elyaf uzunluğu 6 mm ve elyaf oranı % 25 olan C/TP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı (V:80 m/dak, f:0.2 mm/dev, a:2 mm)



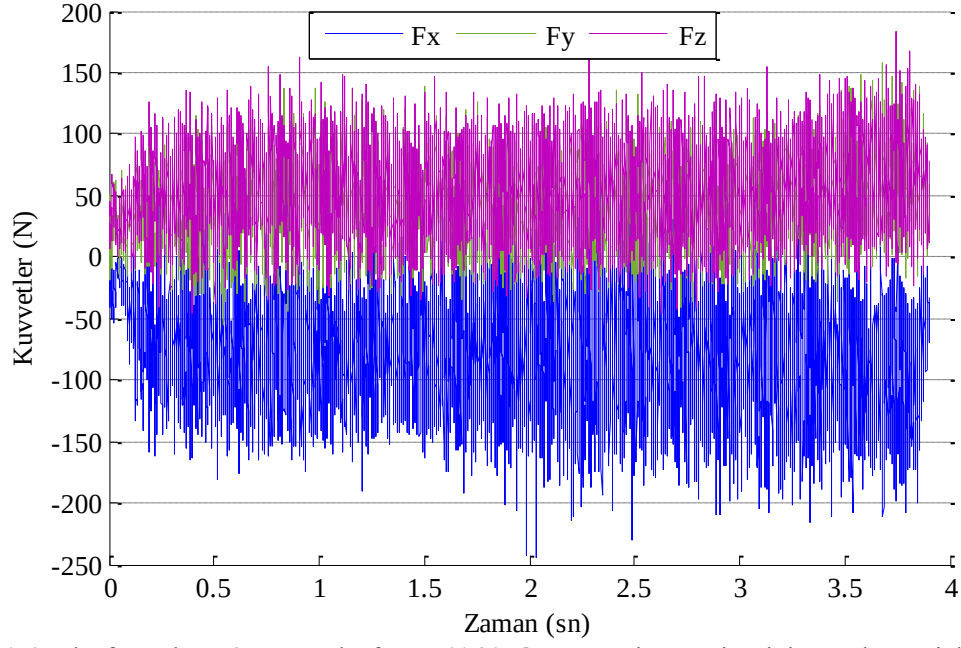
Şekil 6. Elyaf uzunluğu 6 mm ve elyaf oranı % 25 olan C/TP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı (V:80 m/dak, f:0.2 mm/dev, a:3 mm)



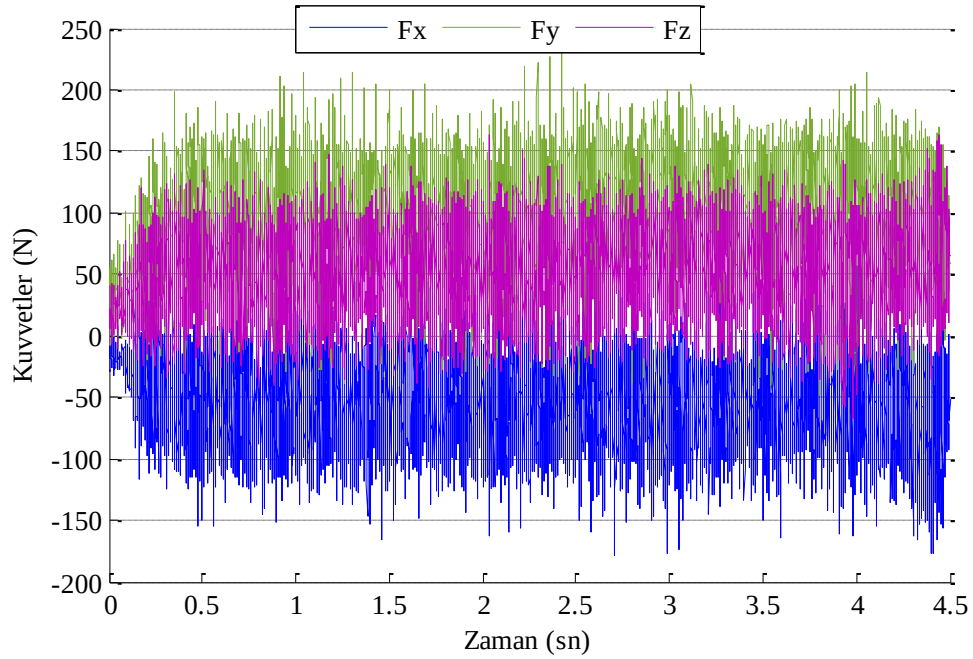
Şekil 7. Elyaf uzunluğu 6 mm ve elyaf oranı % 30 olan CETP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı (V:120 m/dak, f:0.3 mm/dev, a:1 mm)



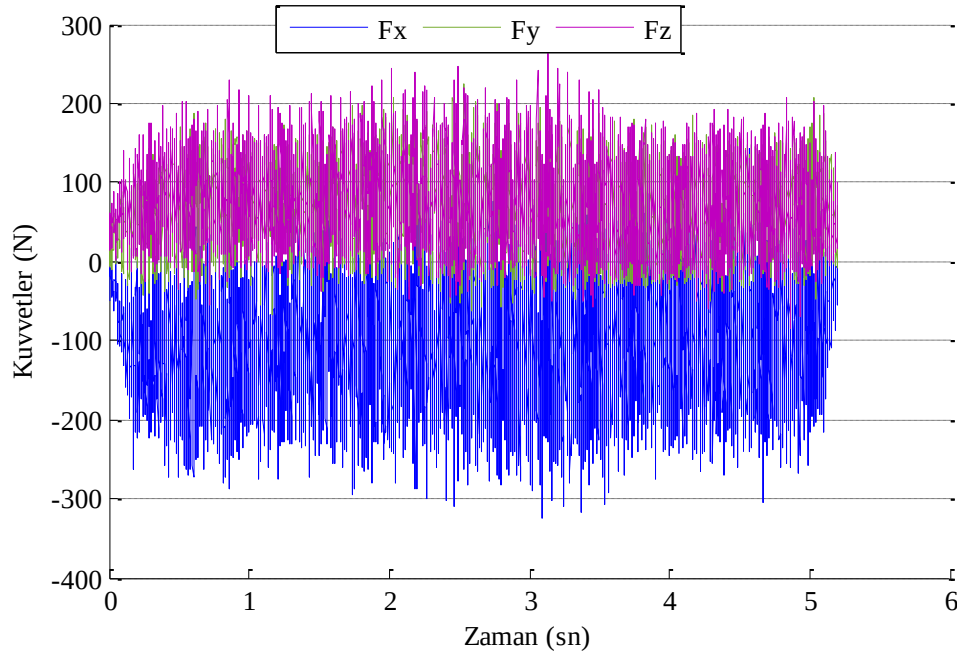
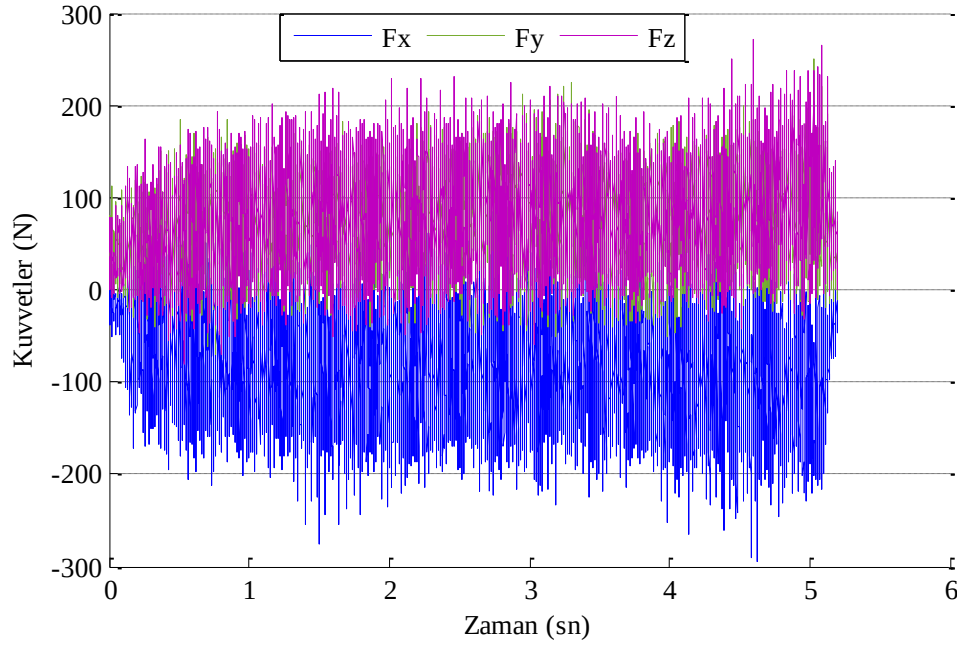
Şekil 8. Elyaf uzunluğu 6 mm ve elyaf oranı % 30 olan CETP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı (V:120 m/dak, f:0.3 mm/dev, a:2 mm)

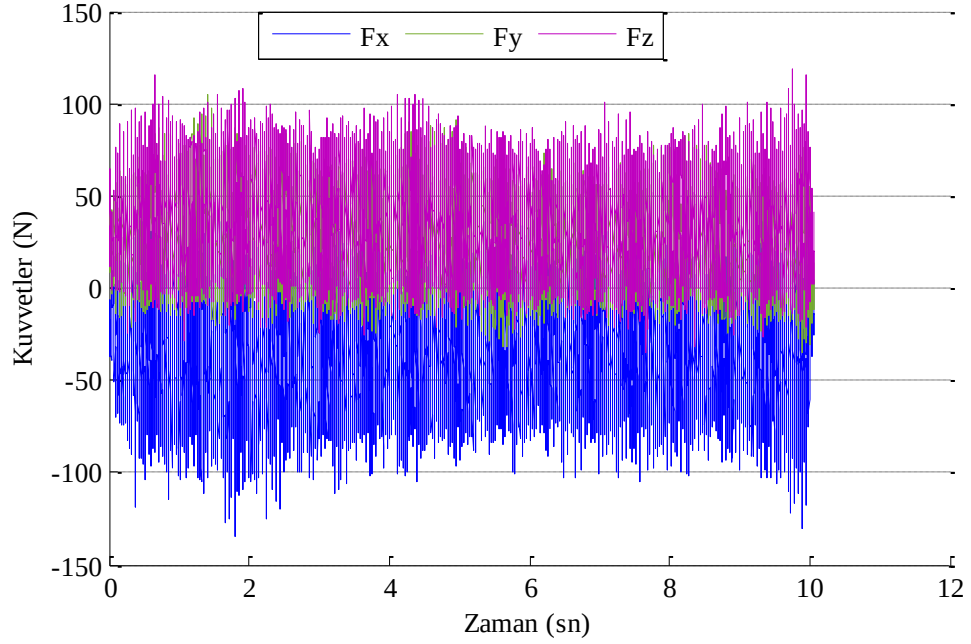
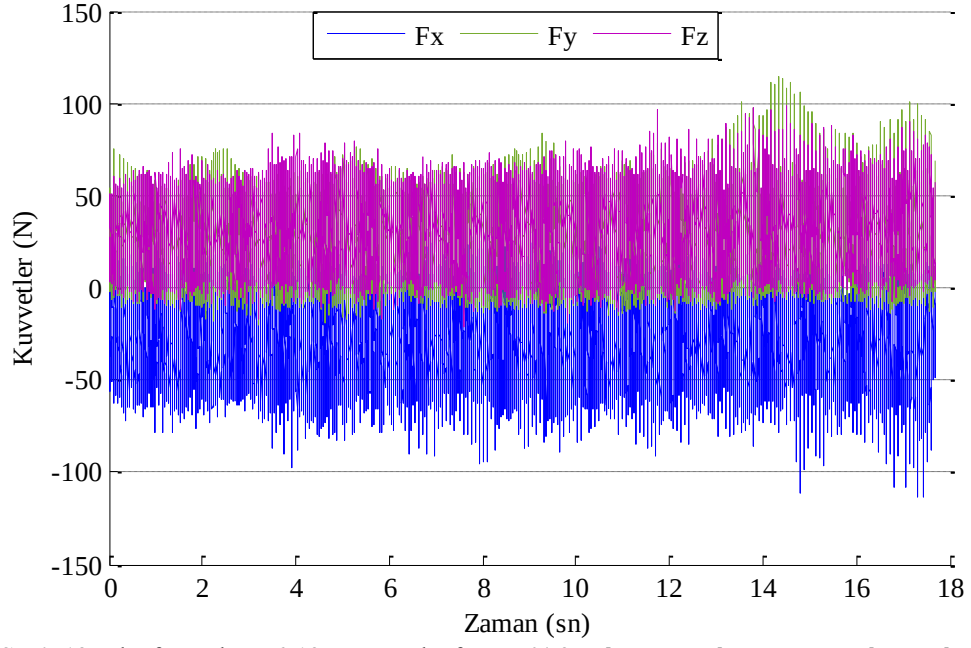


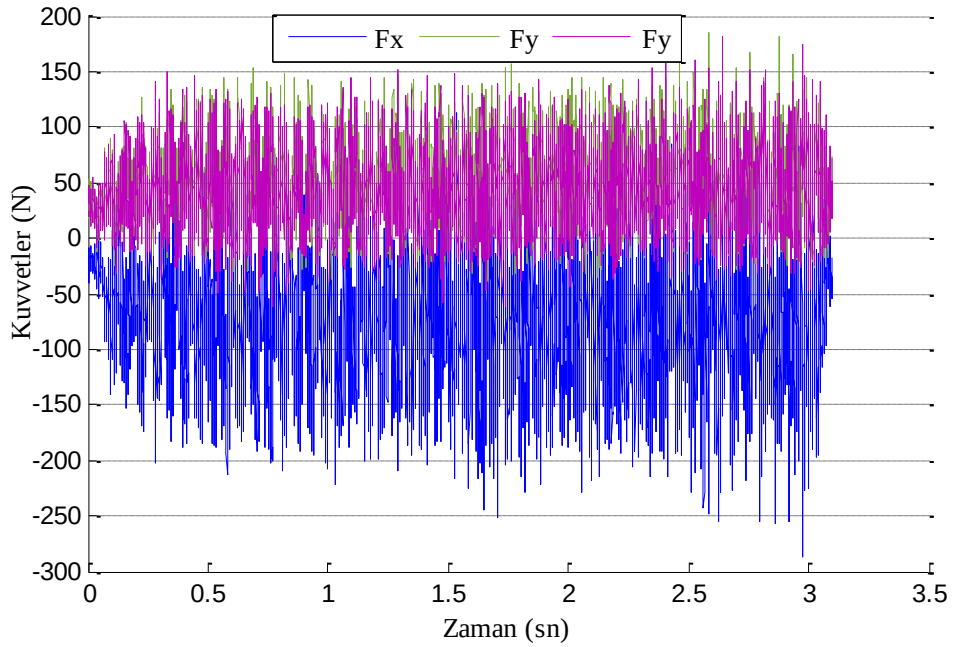
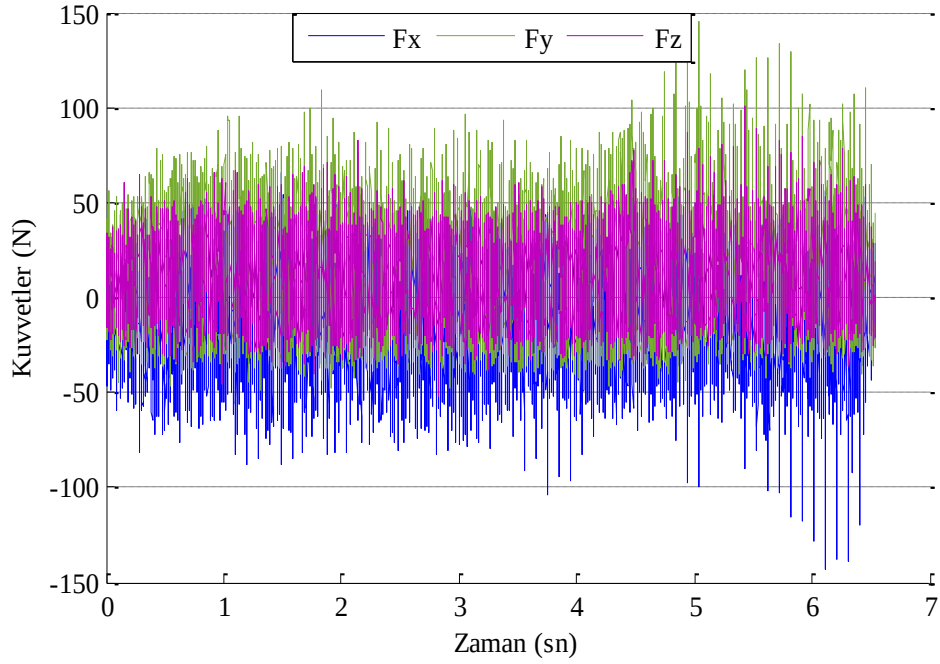
Şekil 9. Elyaf uzunluğu 6 mm ve elyaf oranı % 30 olan C/TP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı (V:120 m/dak, f:0.3 mm/dev, a:3 mm)

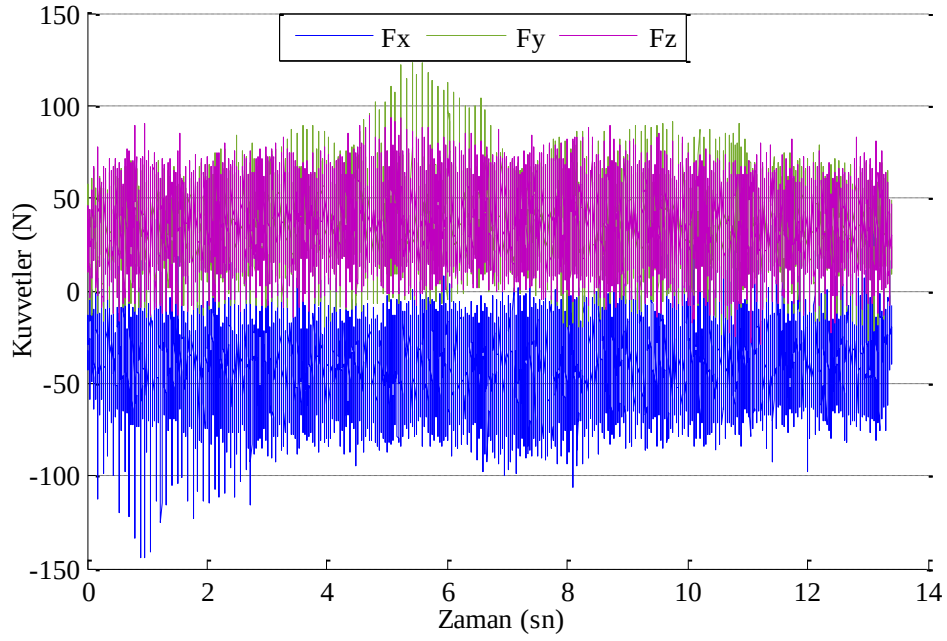


Şekil 10. Elyaf uzunluğu 6-12 mm ve elyaf oranı % 20 olan C/TP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı (V:80 m/dak, f:0.3 mm/dev, a:1 mm)

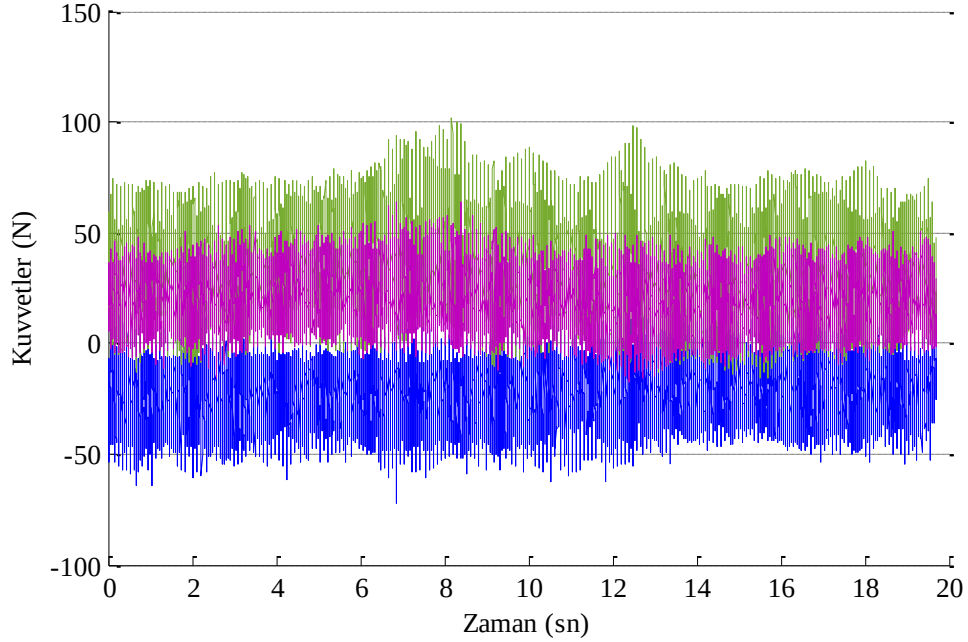




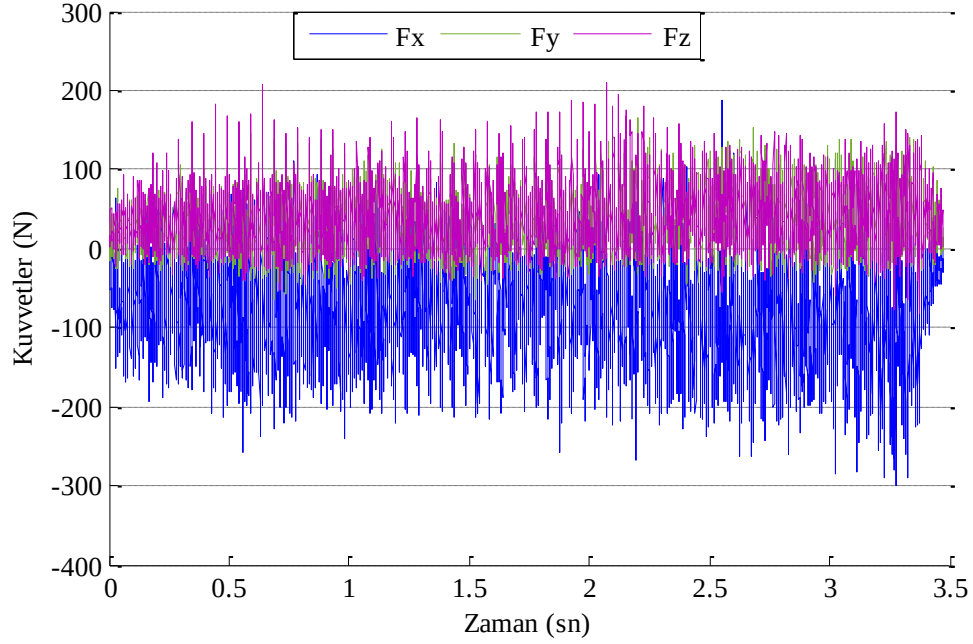
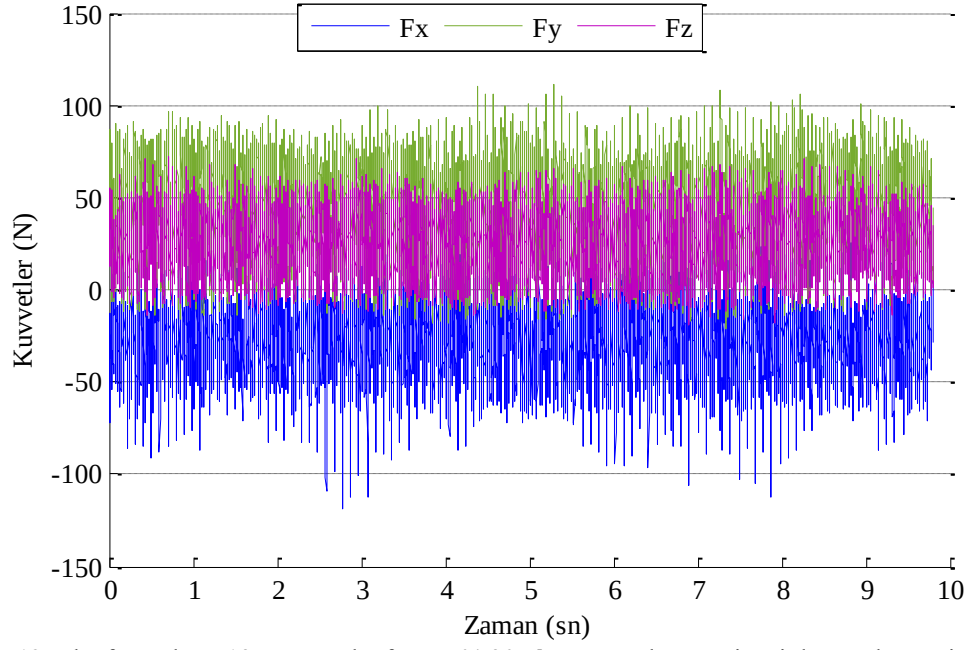


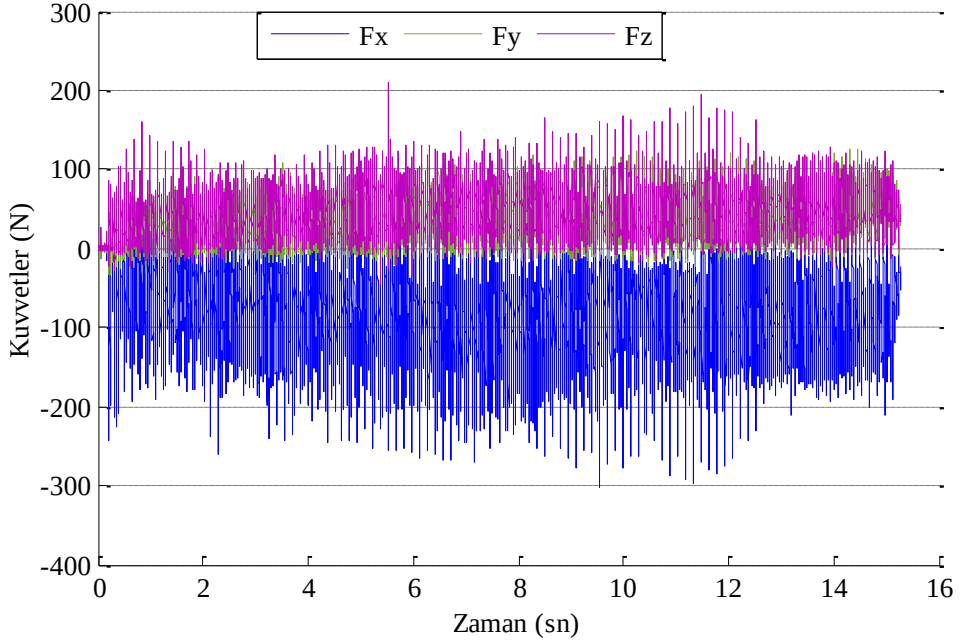
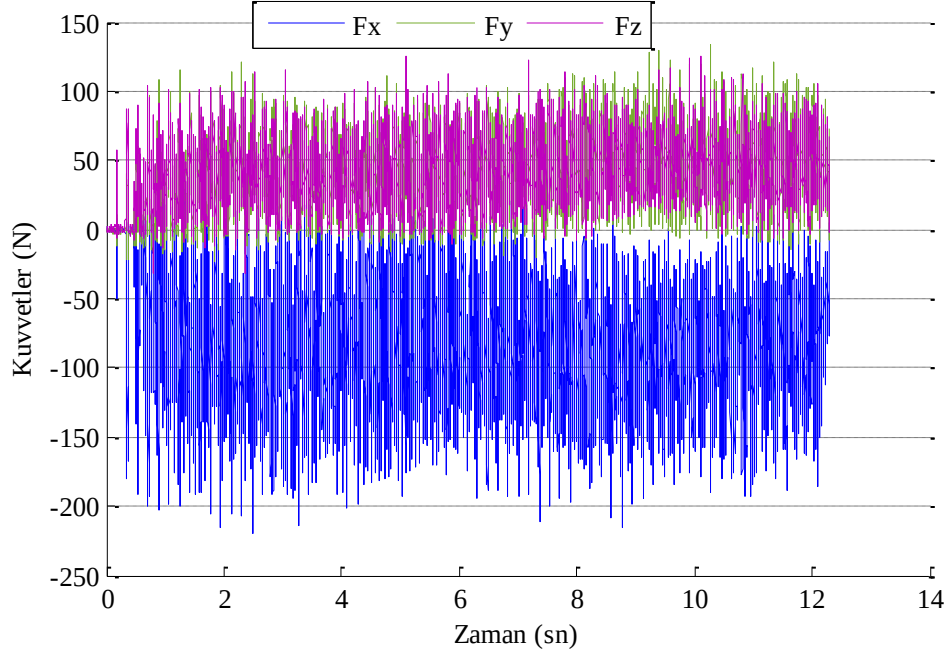


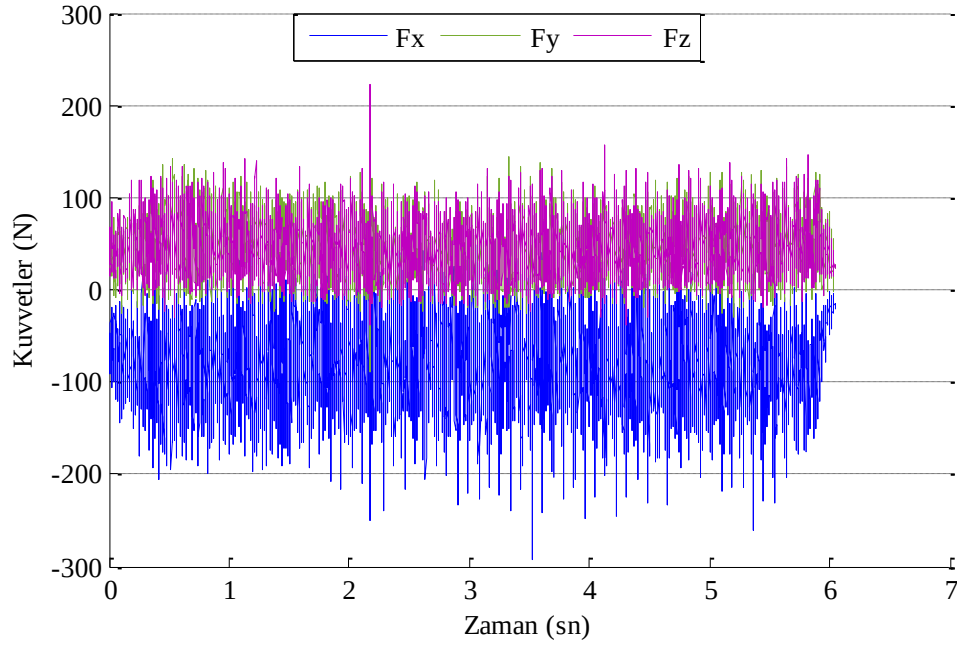
Şekil 17. Elyaf uzunluğu 6-12 mm ve elyaf oranı % 30 olan C/TP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı (V:40 m/dak, f:0.2 mm/dev, a:2 mm)



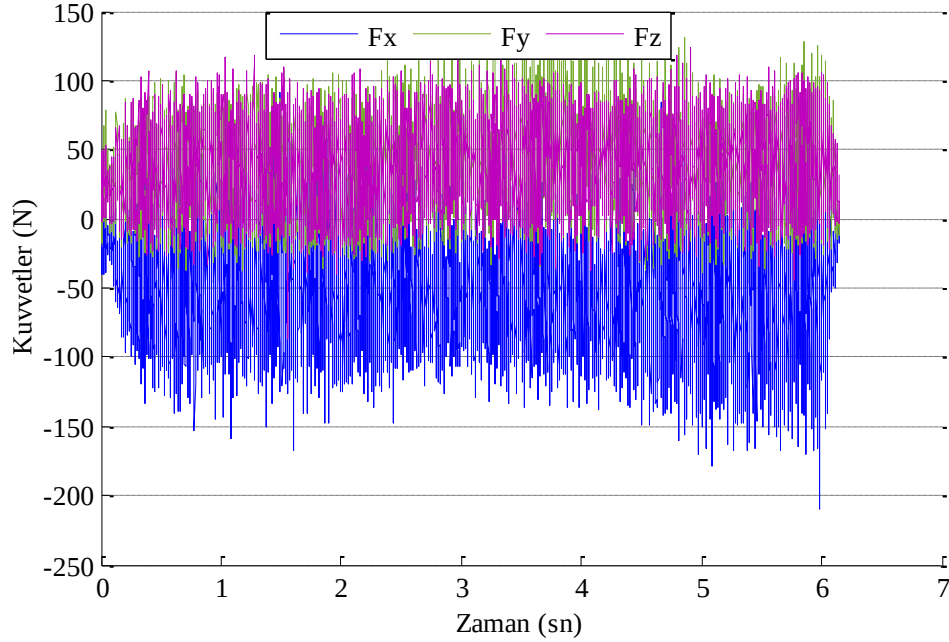
Şekil 18. Elyaf uzunluğu 6-12 mm ve elyaf oranı % 30 olan C/TP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı (V:40 m/dak, f:0.2 mm/dev, a:3 mm)



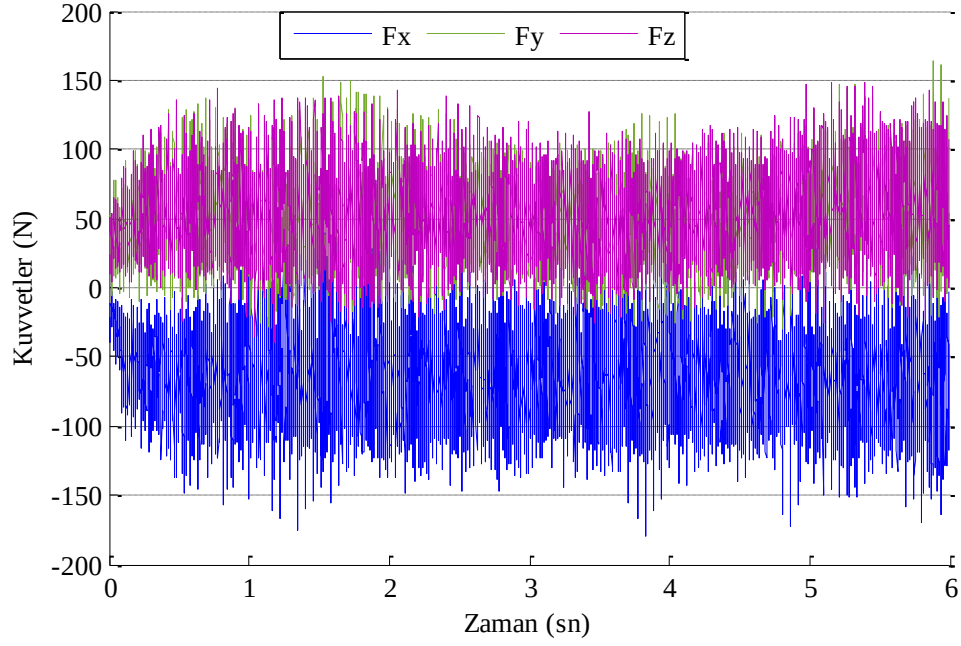




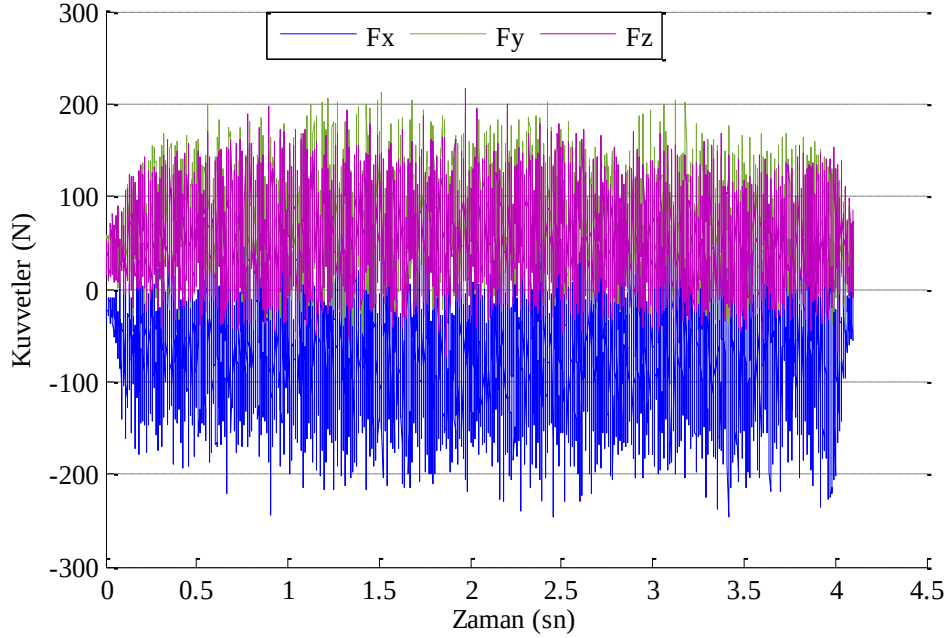
Şekil 23. Elyaf uzunluğu 12 mm ve elyaf oranı % 25 olan C/TP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı (V:40 m/dak, f:0.3 mm/dev, a:2 mm)



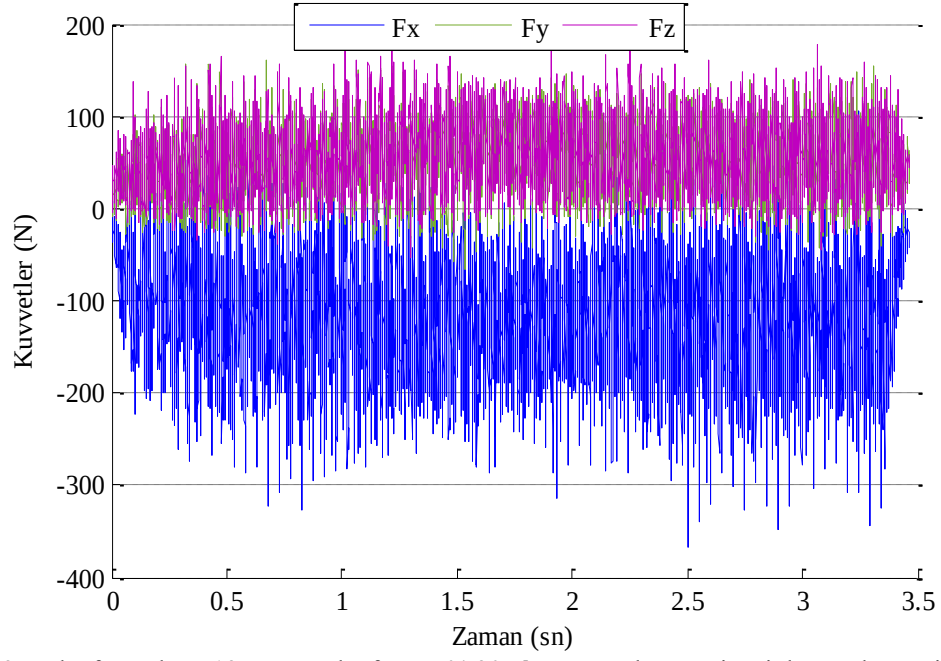
Şekil 24. Elyaf uzunluğu 12 mm ve elyaf oranı % 25 olan C/TP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı (V:40 m/dak, f:0.3 mm/dev, a:3 mm)



Şekil 25. Elyaf uzunluğu 12 mm ve elyaf oranı % 30 olan C/TP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı (V:80 m/dak, f:0.1 mm/dev, a:1 mm)



Şekil 26. Elyaf uzunluğu 12 mm ve elyaf oranı % 30 olan C/TP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı (V:80 m/dak, f:0.1 mm/dev, a:2 mm)



Şekil 27. Elyaf uzunluğu 12 mm ve elyaf oranı % 30 olan C/TP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı (V:80 m/dak, f:0.1 mm/dev, a:3 mm)

EK-2 Tornalama parametreleri ve bu parametreler için gerçek ve tahmi değerler

Kod	Değişkenler	Birim	Seviyeler		
			1	2	3
A	Elyaf Uzunluğu	mm	6	6-12	12
B	Elyaf oranı	Ağırlıkça %	20	25	30
C	Kesme Hızı	m/dak	40	80	120
D	İlerleme	mm/dev	0,1	0,2	0,3
E	Kesme Derinliği	mm	1	2	3

Deney No	A	B	C	D	E	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)		Kesme Kuvveti (F)	
						Gerçek	Tahmini	Gerçek	Tahmini
1	1	1	1	1	1	2,95	2,86704	129,93	125,564
2	1	1	1	1	2	3,06	3,01815	135,48	143,226
3	1	1	1	1	3	3,11	3,23481	165,63	162,250
4	1	2	2	2	1	4,31	4,28037	186,20	198,324
5	1	2	2	2	2	4,33	4,43148	219,13	215,986
6	1	2	2	2	3	4,72	4,64815	243,99	235,010
7	1	3	3	3	1	5,06	5,10370	225,94	223,211
8	1	3	3	3	2	5,29	5,25481	246,29	240,873
9	1	3	3	3	3	5,48	5,47148	251,75	259,896
10	2	1	2	3	1	4,92	4,88037	223,15	228,587
11	2	1	2	3	2	5,01	5,03148	247,85	246,250
12	2	1	2	3	3	5,23	5,24815	269,11	265,273
13	2	2	3	1	1	3,98	4,20370	154,13	151,047
14	2	2	3	1	2	4,25	4,35481	164,58	168,710
15	2	2	3	1	3	4,90	4,57148	188,78	187,733
16	2	3	1	2	1	4,11	4,09370	208,24	205,161
17	2	3	1	2	2	4,23	4,24481	222,27	222,823
18	2	3	1	2	3	4,46	4,46148	239,32	241,846
19	3	1	3	2	1	4,15	4,14370	187,98	182,877
20	3	1	3	2	2	4,38	4,29481	204,13	200,540
21	3	1	3	2	3	4,42	4,51148	210,87	219,563
22	3	2	1	3	1	4,53	4,43370	252,35	251,814
23	3	2	1	3	2	4,59	4,58481	273,86	269,476
24	3	2	1	3	3	4,70	4,80148	283,58	288,500
25	3	3	2	1	1	3,92	3,92370	230,97	232,304
26	3	3	2	1	2	4,15	4,07481	244,26	249,966
27	3	3	2	1	3	4,22	4,29148	276,03	268,990

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Cihat TÜRKAN
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : Batman – 1985
Telefon : 05448946146
Faks : -
e-mail : cihaturkan@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Fatih Lisesi, Batman	2002
Üniversite	: Batman Üniversitesi, Merkez, Batman	2016
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi, Merkez, Batman	-

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2010-2017	Batman Üniversitesi	Memur
2017-	Batman Üniversitesi	Makine Mühendisi

UZMANLIK ALANI

Konstrüksiyon ve İmalât

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

1. Çelik, Y.H., Türkan, C., Özek, C., (2017), Investigation of turning in different cutting parameters of Al6061 with finite elements method. *IATS 2017*, 466-472.
2. Çelik, Y.H., Türkan, C., (2019), CETP Kompozitlerin Tornalanmasında Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvveti ve Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisi. *IESS 2019*, 208-214.