



T.C.

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN
DELİNMESİNDE DELME
PARAMETRELERİNİN MEKANİK
ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Burak YENİGÜN

DOKTORA TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalını

**OCAK-2018
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Burak YENİGÜN tarafından hazırlanan "ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN DELİNMESİNDE DELME PARAMETRELERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI" adlı tez çalışması 22/01/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Erdem KOÇ

Danışman

Doç. Dr. Erol KILIÇKAP

Üye

Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

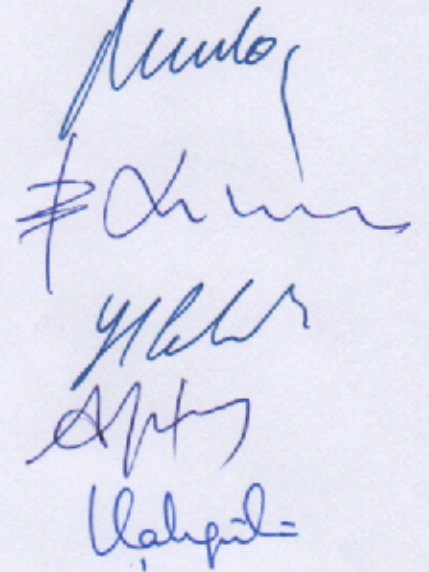
Üye

Doç. Dr. Ahmet YARDIMEDEN

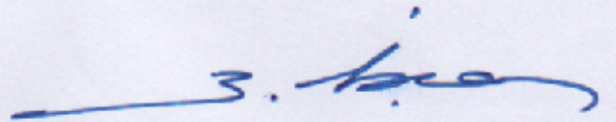
Üye

Doç. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.



Doç. Dr. Bahattin İŞÇAN
FBE Müdürü

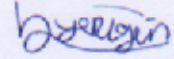
Bu tez çalışması BTÜBAP tarafından BTÜBAP-2016-DOKTORA-1 no'lu proje ile desteklenmiştir.

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.



Burak YENİGÜN

Tarih: 30.01.2018

ÖZET

DOKTORA TEZİ

ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN DELİNMESİNDE DELME PARAMETRELERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Burak YENİGÜN

**Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Erol KILIÇKAP

2018, 164 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Erdem KOÇ

Doç. Dr. Erol KILIÇKAP

Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

Doç. Dr. Ahmet YARDİMEDEN

Doç. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ

Elyaf takviyeli plastik kompozit malzemeler, iyi mekanik özelliklerinden dolayı uçak, uzay, otomotiv ve diğer mühendislik alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemelerin delinmesinde delme parametrelerinden ve malzemenin özelliklerinden dolayı deformasyonlar oluşmaktadır. Uçak endüstrisinde bu deformasyonlardan dolayı kompozit parçaların % 60'ı kullanılamamaktadır.

Bu çalışmada, farklı elyaf yönlendirme açılara sahip karbon elyaf takviyeli plastik (KETP) kompozitlerin farklı delme parametrelerinde delme performansı araştırılmıştır. Deneyler 1000, 3000 ve 5000 dev/dk iş mili devirlerinde ve 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev ilerleme oranlarında farklı uç geometrisi ve malzemesine sahip matkaplarla gerçekleştirilmiştir. Kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve deformasyon delme performansı olarak değerlendirilmiştir. Delinmiş ve deformasyon faktörü hesaplanmış KETP kompozit numunelerin çekme kuvvetleri tespit edilmiştir. Sonra deformasyon faktörünün çekme kuvveti üzerine etkisi incelenmiştir. En az, orta ve en fazla deformasyona sahip numunelerin yorulma deneyleri yapılmıştır. Yorulma deneyleri delinen numunelerin en düşük çekme kuvveti baz alınarak % 75, %80, %85 ve %90 yük oranlarında yapılmıştır. İş mili devrinin artması ile kesme kuvvetinin arttığı ve deformasyon faktörü ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığı tespit edilmiştir. İlerleme oranının artması ise kesme kuvveti, deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğünü arttırmıştır. Tüm deneylerde en iyi performans, yüksek sertliğe ve yüksek aşınma direncine sahip olmasından sert karbür (WC) takım ucuyla yapılan delme işlemlerinden elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ve deformasyonu düşük olan KETP kompozitlerin çekme kuvvetleri ve yorulma ömürleri yüksek olduğu belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Çekme Kuvveti, Deformasyon, Delme, Karbon Elyaf Takviyeli Plastik Kompozit, KETP, Yorulma, Yüzey Pürüzlülüğü

ABSTRACT

Ph.D THESIS

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF DRILLING PARAMETERS ON MECHANICAL PROPERTIES IN DRILLING OF FIBER REINFORCED COMPOSITES.

Burak YENIGUN

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

Advisor: Assoc.Prof.Dr. Erol KILICKAP

2018, 164 Pages

Jury

Prof.Dr. Erdem KOC

Assoc. Prof.Dr. Erol KILICKAP

Assoc. Prof.Dr. Yahya Hışman CELIK

Assoc.Prof.Dr. Ahmet YARDIMEDEN

Assoc.Prof.Dr. Uğur ÇALIGULU

Fiber reinforced plastic composite materials are widely used in aircraft, space, automotive and other engineering fields due to their good mechanical properties. Deformations occur due to drilling parameters and mechanical properties in the drilling of these materials. Due to these deformations, 60% of the composite parts cannot be used in the aircraft industry.

In this study, the drilling performance of carbon fiber reinforced plastic (CFRP) composites that have different fiber orientation angles were investigated at different drilling parameters. The experiments were performed at spindle speeds of 1000, 3000 and 5000 rev/min and feed rates of 0.05, 0.10 and 0.15 mm/rev by using drills having different geometries and materials. Cutting force, surface roughness and deformation were evaluated as drilling performance. The tensile forces of the CFRP composites were determined after drilling CFRP composites and calculating delamination factors. Then the effect of the delamination factor on the tensile strength was investigated. Fatigue tests of samples with at minimum, mean and maximum delamination factors were performed. Fatigue tests were carried out at 75%, 80%, 85% and 90% load ratios based on the lowest tensile force of the drilled samples. It has been determined that the cutting force increased and delamination factor and surface roughness decreased with increasing the spindle speed. The cutting force, delamination factor and surface roughness increased with increasing the feed rate. The best drilling performance was obtained from WC drills due to the high hardness and abrasion resistance in all experiments. It was determined that the tensile force and fatigue life of CFRP composites having low surface roughness and delamination factor were high.

Keywords: Carbon Fiber Reinforced Plastic Composite, CFRP, Delamination, Drilling, Fatigue, Surface Roughness, Tensile Force

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında katkılarını hiç eksik etmeyen, bana yol gösteren ve kendisiyle çalışma fırsatı veren ve sayesinde çok şey öğrendiğim tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Erol KILIÇKAP'a,

Çalışma boyunca desteklerini esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK'e ve Sayın Dr. Tolga TOPKAYA'ya,

Tezime destek veren değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Şemsettin TEMİZ'e, Sayın Doç. Dr. Ahmet YARDIMEDEN'e ve Sayın Doç. Dr. Kadir TURAN'a,

Çalışmalarına maddi destek olan Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BTÜBAP) Koordinatörlüğü'ne,

Deneylerimin yapılmasında gerekli kolaylığı gösteren Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Doç. Dr. Vedat ORUÇ'a ve Batman Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Doç. Dr. Hüseyin AYDIN'a

Lisansüstü eğitim hayatım boyunca büyük fedakârlıklar yapan, sevgisiyle bana büyük moral veren, tükendiğimde beni yeniden umutlandıran biricik eşime ve çocuklarıma

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Burak YENİGÜN
BATMAN-2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kompozit Malzemelerin Genel Özellikleri.....	2
1.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırması.....	5
1.2.1. Matris malzemesine göre sınıflandırma.....	7
1.2.1.1. Metal matrisli kompozitler.....	7
1.2.1.2. Polimer matrisli kompozitler	8
1.2.1.3. Seramik matrisli kompozitler.....	9
1.2.2. Takviye elemanına göre sınıflandırma	10
1.2.2.1. Elyaf takviyeli plastik kompozitler.....	10
1.2.2.2. Partikül takviyeli plastik kompozitler.....	12
1.2.2.3. Yapı kompozitleri	12
1.3. Polimer Matrisli Kompozit Malzemelerin İşlenebilirliği	14
1.3.1. Kompozitlerin tornalanması	14
1.3.2. Kompozitlerin frezelenmesi.....	15
1.3.3. Kompozitlerin delinmesi.....	15
1.3.3.1. Geleneksel delme	15
1.3.3.2. Karot delme.....	16
1.3.3.3. Su jeti ile delme	16
1.3.3.4. Lazer ile delme.....	17
1.3.3.5. Ultrasonik titreşim destekli delme	18
1.3.3.6. Elektro erozyon ile delme	18
1.4. Kompozitlerin Delinmesinde Meydana Gelen Hasarlar	19
1.4.1. Deformasyon.....	19
1.4.2. Elyaf kırılması.....	20
1.4.3. Matris yanması.....	21
1.5. Yorulma	21
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	25
2.1. Giriş Parametrelerinin Delme Kalitesine Etkisi.....	26
2.2. Delme Kalitesinin Çekme Dayanımı ve Yorulma Ömrüne Etkisi.....	33

3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	39
3.1. Deney Malzemesi	39
3.2. Delme DeneYlerinde Kullanılan Tezgâh ve İşleme Parametreleri.....	40
3.3. Delme DeneYlerinde Kullanılan Kesici Takımlar	41
3.4. Kesme Kuvveti Ölçümü.....	42
3.5. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü.....	44
3.6. Deformasyonun Tespiti ve Deformasyon Faktörünün Hesaplanması	45
3.7. Çekme DeneYi.....	46
3.8. Yorulma DeneYi.....	46
3.9. Termal Kamera Düzenegi.....	47
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	49
4.1. Kesme Kuvveti Analizi.....	49
4.1.1. +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin kesme kuvveti analizi	50
4.1.2. UD elyaf açılı KETP'lerin kesme kuvveti analizi	56
4.1.3. 0/90 elyaf açılı KETP'lerin kesme kuvveti analizi	62
4.2. Yüzey Pürüzlülüğü Analizi.....	71
4.2.1. +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülüğü analizi.....	72
4.2.2. UD elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülüğü analizi.....	74
4.2.3. 0/90 elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülüğü analizi	76
4.3. Deformasyon Faktörü Analizi	79
4.3.1. +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin deformasyon analizi.....	80
4.3.2. UD elyaf açılı KETP'lerin deformasyon analizi.....	83
4.3.3. 0/90 elyaf açılı KETP'lerin deformasyon analizi	86
4.4. Çekme Kuvveti Analizi	90
4.4.1. +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin çekme kuvveti analizi	90
4.4.2. UD elyaf açılı KETP'lerin çekme kuvveti analizi	97
4.4.3. 0/90 elyaf açılı KETP'lerin çekme kuvveti analizi.....	103
4.5. Yorulma Ömrü Analizi	110
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	124
5.1. Sonuçlar	124
5.2. Öneriler	127
KAYNAKLAR	128
EKLER	136
EK-1. DENEYSEL SONUÇLAR.....	136
EK-2. +45/-45 Elyaf Açılı KETP'ler için Yüzey Pürüzlülüğü Grafikleri	137
EK-3. UD Elyaf Açılı KETP'ler için Yüzey Pürüzlülüğü Grafikleri	146
EK-4. 0/90 Elyaf Açılı KETP'ler için Yüzey Pürüzlülüğü Grafikleri.....	155

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Al_2O_3	Alüminyum Oksit
$AlCrN$	Alüminyum Krom Nitrür
$AlTiN$	Alüminyum Titanyum Nitrür
B_4C	Bor Karbür
BeO	Berilyum Oksit
C	Karbon
CO_2	Karbondioksit
Cr	Krom
f	İlerleme Oranı (mm/dev)
F_d	Deformasyon Faktörü
F_x	X yönündeki Kesme Kuvveti (N)
F_y	Y yönündeki Kesme Kuvveti (N)
F_z	Z yönündeki Kesme Kuvveti (N)
l_r	Örnekleme Uzunluğu (mm)
M_x	X yönündeki Moment (Nmm)
M_y	Y yönündeki Moment (Nmm)
M_z	Z yönündeki Moment (Nmm)
N	Azot
R	Gerilme Oranı
R_a	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (μm)
Si_3Ni_4	Silisyum Nitrür
SiC	Silisyum Karbür
TiB_2	Titanyum Diborit
TiC	Titanyum Karbür
$TiCN$	Titanyum Karbonitrür
TiN	Titanyum Nitrür
ZrO_2	Zirkonyum Oksit
$\Delta\epsilon$	Toplam Şekil Değişimi
ΔF	Toplam Kuvvet Değişimi
σ	Gerilme (MPa)
σ_g	Gerilme Genliği (MPa)
σ_{ort}	Ortalama Gerilme (MPa)

Kısaltmalar

CETP	Cam elyaf Takviyeli Plastik
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Plastic
E-CAM	E Cam Elyaf
ETP	Elyaf Takviyeli Plastik
HSS	High Speed Steel
KETP	Karbon Elyaf Takviyeli Plastik
MMK	Metal Matrisli Kompozit
MSS	Minimum Soğutma Sıvısı
PA	Poliamid
PC	Polikarbonat
PCD	Polycrystalline Diamond

PE	Polietilen
PEEK	Polieterketon
PES	Polietersülfan
PI	Polimit
PMK	Polimer Matrisli Kompozit
PP	Propilen
PS	Polistiren
PSU	Polisülfan
PVC	Polivinilklorür
Rfc	Hız oranı
RSM	Response Surface Method
S-CAM	Yüksek Dayanımlı S Cam Elyaf
SMK	Seramik Matrisli Kompozit
UD	Uni Directional (Tek yönlü)
WC	Tungsten Karbür
YSA	Yapay Sinir Ağları



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Tarih boyunca malzemelerin yıllara göre bağlı kullanımları (Ashby, 2011).....	1
Şekil 1.2. Ticari uçaklarda kompozitlerin yıllara göre ağırlıkça kullanımı (GAO,2011)	2
Şekil 1.3. Mühendislik malzemelerinin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması	5
Şekil 1.4. Matris malzemesine göre kompozitlerin sınıflandırılması (İbrahim ve Ark., 2017).....	7
Şekil 1.5. Metal matrisli kompozitlerin kullanım alanları	7
Şekil 1.6. Polimer matrisli kompozitlerin kullanım alanları	9
Şekil 1.7. Seramik matrisli kompozitlerin kullanım alanları	9
Şekil 1.8. Takviye elemanına göre kompozitlerin sınıflandırılması	10
Şekil 1.9. Elyaf takviye türleri (Buckley,1993)	10
Şekil 1.10. Sürekli elyaf çeşitleri (Anonim, 2017).....	11
Şekil 1.11. Kırpık elyaf çeşitleri (Anonim, 2017).....	11
Şekil 1.12. Elyaf dokuma çeşitleri (Buckley, 1993)	12
Şekil 1.13. Bal Peteği sandviç kompozitin yapısı (Sheehan, 1987).....	13
Şekil 1.14. Tabakalı kompozitin yapısı (Anonim, 2017)	13
Şekil 1.15. Hibrit kompozitin yapısı (Botelho ve ark., 2006).....	14
Şekil 1.16. Geleneksel delme mekanizması (Malkoç, 2007).....	15
Şekil 1.17. Karot delmede kullanılan takım ucu (Liu ve ark., 2012).....	16
Şekil 1.18. Su jeti ile delme yöntemi (Ramulu ve ark., 1993)	17
Şekil 1.19. Lazer ile delme yöntemi (Sheikh-Ahmad, 2009).....	17
Şekil 1.20. Ultrasonik titreşim destekli delme yöntemi (Xu ve ark., 2009).....	18
Şekil 1.21. Elektro erozyon yöntemi ile delme (Sheikh-Ahmad, 2009)	19
Şekil 1.22. Delik girişi ve delik çıkışındaki deformasyonlar (Azmi, 2012).....	20
Şekil 1.23. Elyaf kopması (Çavuş, 2015).....	20
Şekil 1.24. Matris yanması	21
Şekil 1.25. Yükleme şekilleri (Koç, 2013).....	21
Şekil 1.26. Yükleme profili (Babalık ve Çavdar, 2012).....	22
Şekil 1.27. Yorulma ömür eğrisinin bölümleri (Koç, 2013)	22
Şekil 1.28. Kompozit malzemelerde hasar ilerlemesi (Schaff, 2001)	23
Şekil 1.29. Histerezis eğrisi (Benaarbia ve ark., 2015).....	24
Şekil 2.1. Kompozitlerin delinmesinin sistematik gösterimi	25
Şekil 3.1. Kompozit numunelerin elyaf yönlendirme açıları	40
Şekil 3.2. CNC dik işleme merkezi.....	41
Şekil 3.3. Delme esnasında meydana gelen kesme kuvvetleri (Kıvak, 2007).....	42
Şekil 3.4. Dinamometrenin çalışma prensibi (Anonim, 2018).....	43
Şekil 3.5. Kesme kuvveti ölçüm düzeneği.....	44
Şekil 3.6. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı	45
Şekil 3.7. Yüzey pürüzlülük ölçümleri alınan noktalar.....	45
Şekil 3.8. Deformasyon faktörü.....	46
Şekil 3.9. Çekme deney cihazı	46
Şekil 3.10. Yorulma deney cihazı	47
Şekil 3.11. Testo 881-2 Termal kamera.....	47
Şekil 4.1. Delme işleminde zamana bağlı kuvvet grafiği.....	49
Şekil 4.2. Literatür çalışmalarında delme parametrelerine bağlı kesme kuvvetinin değişimi.....	50
Şekil 4.3. +45/-45 elyaf açılı KETP'lerde delme parametrelerinin kesme kuvveti üzerine etkileri.....	51
Şekil 4.3.1. T1 takımla 1000 dev/dk'da delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği	52
Şekil 4.3.2. T1 takımla 3000 dev/dk'da delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği	52
Şekil 4.3.3. T1 takımla 5000 dev/dk'da delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği	53
Şekil 4.3.4. T2 takımla 1000 dev/dk'da delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği	53
Şekil 4.3.5. T2 takımla 3000 dev/dk'da delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği	54
Şekil 4.3.6. T2 takımla 5000 dev/dk'da delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği	54
Şekil 4.3.7. T3 takımla 1000 dev/dk'da delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği	55
Şekil 4.3.8. T3 takımla 3000 dev/dk'da delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği	55
Şekil 4.3.9. T3 takımla 5000 dev/dk'da delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği	56
Şekil 4.4. UD elyaf açılı KETP'lerde delme parametrelerinin kesme kuvveti üzerine etkileri.....	57
Şekil 4.4.1. T1 takımla 1000 dev/dk'da delinen UD elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği	58
Şekil 4.4.2. T1 takımla 3000 dev/dk'da delinen UD elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği	58
Şekil 4.4.3. T1 takımla 5000 dev/dk'da delinen UD elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği	59
Şekil 4.4.4. T2 takımla 1000 dev/dk'da delinen UD elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği	59
Şekil 4.4.5. T2 takımla 3000 dev/dk'da delinen UD elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği	60

Şekil 4.4.6. T2 takımla 5000 dev/dk'da delinen UD elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği	60
Şekil 4.4.7. T3 takımla 1000 dev/dk'da delinen UD elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği	61
Şekil 4.3.8. T3 takımla 3000 dev/dk'da delinen UD elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği	61
Şekil 4.4.9. T3 takımla 5000 dev/dk'da delinen UD elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği	62
Şekil 4.5. 0/90 elyaf açılı KETP'lerde delme parametrelerinin kesme kuvveti üzerine etkileri	63
Şekil 4.5.1. T1 takımla 1000 dev/dk'da delinen 0/90 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği	64
Şekil 4.5.2. T1 takımla 3000 dev/dk'da delinen 0/90 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği	64
Şekil 4.5.3. T1 takımla 5000 dev/dk'da delinen 0/90 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği	65
Şekil 4.5.4. T2 takımla 1000 dev/dk'da delinen 0/90 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği	65
Şekil 4.5.5. T2 takımla 3000 dev/dk'da delinen 0/90 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği	66
Şekil 4.5.6. T2 takımla 5000 dev/dk'da delinen 0/90 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği	66
Şekil 4.5.7. T3 takımla 1000 dev/dk'da delinen 0/90 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği	67
Şekil 4.5.8. T3 takımla 3000 dev/dk'da delinen 0/90 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği	67
Şekil 4.5.9. T3 takımla 5000 dev/dk'da delinen 0/90 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği	68
Şekil 4.6. Delme parametrelerinin ve elyaf açısının kesme kuvvetine etkileri (1000 dev/dk)	68
Şekil 4.7. UD elyaf açılı KETP'in delinmesinde takım kesici kenarının elyaf kesme durumları	69
Şekil 4.8. Elyaf yönlendirme açıları için kesme modelleri (Bonnet ve ark., 2015)	70
Şekil 4.9. Farklı elyaf açılı KETP'lerin delinmesinde bir devirdeki kesme kuvveti profilleri	70
Şekil 4.10. Literatür çalışmalarında delme parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülüğünün değişimi	71
Şekil 4.11. T3 takımla delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'in pürüzlülüğü grafiği	72
Şekil 4.12. +45/-45 elyaf açılı KETP'ler için delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri	73
Şekil 4.13. +45/-45 elyaf açılı KETP'lerde kesme kuvveti ile yüzey pürüzlülüğünün ilişkisi	74
Şekil 4.14. UD elyaf açılı KETP'ler için delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri	75
Şekil 4.15. UD elyaf açılı KETP'lerde kesme kuvveti ile yüzey pürüzlülüğünün ilişkisi	76
Şekil 4.16. 0/90 elyaf açılı KETP'ler için delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri	77
Şekil 4.17. 0/90 elyaf açılı KETP'lerde kesme kuvveti ile yüzey pürüzlülüğünün ilişkisi	78
Şekil 4.18. Delme parametrelerinin ve elyaf açısının yüzey pürüzlülüğüne etkileri	79
Şekil 4.19. Literatür çalışmalarında delme parametrelerine bağlı deformasyon faktörünün değişimi	80
Şekil 4.20. +45/-45 elyaf açılı KETP'ler için delme parametrelerinin deformasyon faktörüne etkileri	81
Şekil 4.21. +45/-45 elyaf açılı KETP'lerde kesme kuvveti ile yüzey pürüzlülüğünün ilişkisi	83
Şekil 4.22. UD elyaf açılı KETP'ler için delme parametrelerinin deformasyon faktörüne etkileri	84
Şekil 4.23. UD elyaf açılı KETP'lerde kesme kuvveti ile yüzey pürüzlülüğünün ilişkisi	86
Şekil 4.24. 0/90 elyaf açılı KETP'ler için delme parametrelerinin deformasyona etkileri	87
Şekil 4.25. 0/90 elyaf açılı KETP'lerde kesme kuvveti ile yüzey pürüzlülüğünün ilişkisi	89
Şekil 4.26. Delme parametrelerinin ve elyaf açısının deformasyon faktörlerine etkileri	90
Şekil 4.27. +45/-45 elyaf açılı KETP'lerde delme parametreleri ve deformasyonun çekme kuvvetine etkisi	91
Şekil 4.27.1. T1 takım ile 0.05 mm/dev'de delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği	92
Şekil 4.27.2. T1 takım ile 0.10 mm/dev'de delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği	93
Şekil 4.27.3. T1 takım ile 0.15 mm/dev'de delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği	93
Şekil 4.27.4. T2 takım ile 0.05 mm/dev'de delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği	94
Şekil 4.27.5. T2 takım ile 0.10 mm/dev'de delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği	94
Şekil 4.27.6. T2 takım ile 0.15 mm/dev'de delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği	95
Şekil 4.27.7. T3 takım ile 0.05 mm/dev'de delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği	95
Şekil 4.27.8. T3 takım ile 0.10 mm/dev'de delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği	96
Şekil 4.27.9. T3 takım ile 0.15 mm/dev'de delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği	96
Şekil 4.28. UD elyaf açılı KETP'lerde delme parametreleri ve deformasyonun çekme kuvvetine etkisi	97
Şekil 4.28.1. T1 takım ile 0.05 mm/dev'de delinen UD elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği	98
Şekil 4.28.2. T1 takım ile 0.10 mm/dev'de delinen UD elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği	99
Şekil 4.28.3. T1 takım ile 0.15 mm/dev'de delinen UD elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği	99
Şekil 4.28.4. T2 takım ile 0.05 mm/dev'de delinen UD elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği	100
Şekil 4.28.5. T2 takım ile 0.10 mm/dev'de delinen UD elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği	100
Şekil 4.28.6. T2 takım ile 0.15 mm/dev'de delinen UD elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği	101
Şekil 4.28.7. T3 takım ile 0.05 mm/dev'de delinen UD elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği	101
Şekil 4.28.8. T3 takım ile 0.10 mm/dev'de delinen UD elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği	102
Şekil 4.28.9. T3 takım ile 0.15 mm/dev'de delinen UD elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği	102
Şekil 4.29. 0/90 elyaf açılı KETP'lerde delme parametreleri ve deformasyonun çekme kuvvetine etkisi	104
Şekil 4.29.1. T1 takım ile 0.05 mm/dev'de delinen 0/90 elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği	105
Şekil 4.29.2. T1 takım ile 0.10 mm/dev'de delinen 0/90 elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği	105
Şekil 4.29.3. T1 takım ile 0.15 mm/dev'de delinen 0/90 elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği	106
Şekil 4.29.4. T2 takım ile 0.05 mm/dev'de delinen 0/90 elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği	106

Şekil 4.29.5. T2 takım ile 0.10 mm/dev'de delinen 0/90 elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği	107
Şekil 4.29.6. T2 takım ile 0.15 mm/dev'de delinen 0/90 elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği	107
Şekil 4.29.7. T3 takım ile 0.05 mm/dev'de delinen 0/90 elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği	108
Şekil 4.29.8. T3 takım ile 0.10 mm/dev'de delinen 0/90 elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği	108
Şekil 4.29.9. T3 takım ile 0.15 mm/dev'de delinen 0/90 elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği	109
Şekil 4.30. T3 takım ile 1000 dev/dk'da delinen 0/90 elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği	110
Şekil 4.31. KETP kompozitlerde oluşan çekme hasarları.....	110
Şekil 4.32. Farklı parametrelerde delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin yorulma ömür grafikleri	112
Şekil 4.33. T3 takımla delinen 45/-45 elyaf açılı KETP'e ait çevrim sayısı- sıcaklık grafiği.....	113
Şekil 4.34. +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin %90 yük seviyesinde yorulma deneyine ait histerezis eğrileri	114
Şekil 4.35. Farklı parametrelerde delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin histerezis eğimleri	116
Şekil 4.36. Farklı parametrelerde delinen UD elyaf açılı KETP'lerin yorulma ömür grafikleri.....	117
Şekil 4.37. UD elyaf açılı KETP'lerin %75 yük seviyesindeki yorulma deneyine ait histerezis eğrileri ...	118
Şekil 4.38. Farklı parametrelerde delinen UD elyaf açılı KETP'lerin histerezis eğimleri	119
Şekil 4.39. T3 takımla delinen UD elyaf açılı KETP'in %85 yük seviyesinde sıcaklık değişimi.....	119
Şekil 4.40. Farklı parametrelerde delinen 0/90 elyaf açılı KETP'lerin yorulma ömür grafikleri	120
Şekil 4.41. 0/90 elyaf açılı KETP'lerin %90 yük seviyesindeki yorulma deneyine ait histerezis eğrileri ..	121
Şekil 4.42. Farklı parametrelerde delinen 0/90 elyaf açılı KETP'lerin histerezis eğimleri.....	123



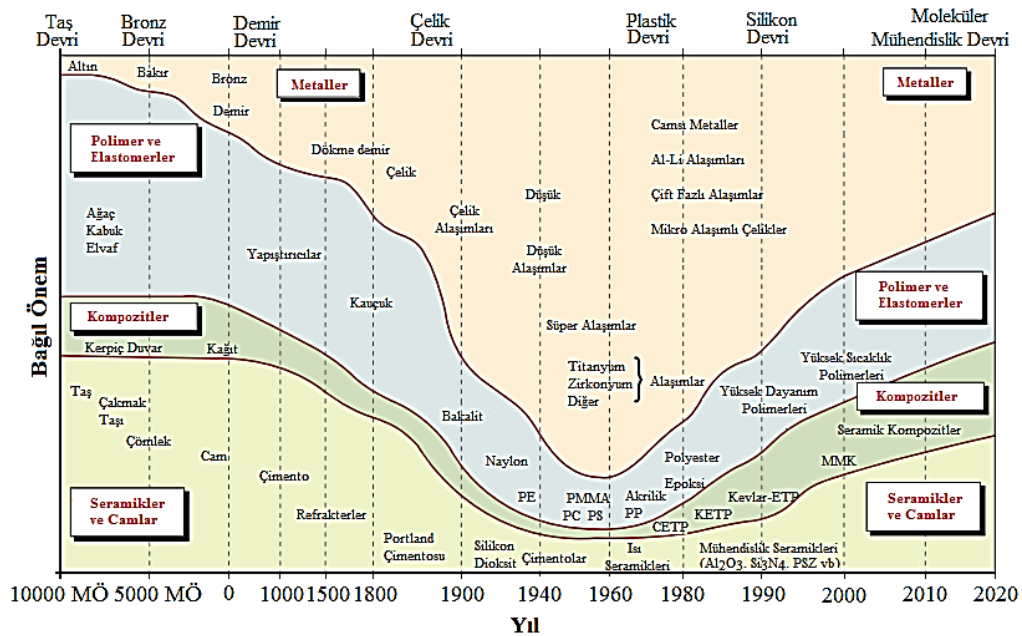
ÇİZELGE LİSTESİ

Tablo 1.1. Bazı matris elemanlarının özellikleri.....	6
Tablo 1.2. Bazı takviye elemanlarının özellikleri (Chung, 1994).....	6
Tablo 1.3. Bazı polimer matrislerin özellikleri (Nunes, 2016).....	8
Tablo 2.1. Literatür özetleri.....	37
Tablo 3.1. Kompozit malzemenin özellikleri.....	40
Tablo 3.2. CNC tezgâha ait özellikler.....	40
Tablo 3.3. Delme parametreleri ve seviyeleri.....	41
Tablo 3.4. Kesici takımın özellikleri.....	42
Tablo 3.5. Kistler 9257B dinamometrenin özellikleri (Kistler, 1997).....	44
Tablo 3.6. Time Surf TR200 yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazının teknik özellikleri (Anonim, 2017).....	44
Tablo 3.7. Termal kameraya ait teknik özellikler (Testo,2017).....	48
Tablo 4.1. +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin delik giriş ve çıkışındaki deformasyonları.....	82
Tablo 4.2. UD elyaf açılı KETP'lerin delik giriş ve çıkışındaki deformasyonları.....	85
Tablo 4.3. 0/90 elyaf açılı KETP'lerin delik giriş ve çıkışındaki deformasyonları.....	88
Tablo 4.4. Kompozit numuneler için yük seviyeleri.....	111
Tablo 4.5. %90 yük seviyesinde 45/-45 elyaf açılı KETP'lerin farklı çevrimlerdeki termal görüntüleri ...	115
Tablo 4.6. %90 yük seviyesinde 0/90 elyaf açılı KETP'lerin farklı çevrimlerdeki termal görüntüleri.....	122
Tablo Ek-1.1. Kompozit Malzemelerin Delme Deneylerinde Elde Edilen Tüm Sonuçlar.....	136
Tablo Ek-2.1. T1 takımı ile delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri.....	137
Tablo Ek-2.2. T2 takımı ile delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri.....	140
Tablo Ek-2.3. T3 takımı ile delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri.....	143
Tablo Ek-3.1. T1 takımı ile delinen UD elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri.....	146
Tablo Ek-3.2. T2 takımı ile delinen UD elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri.....	149
Tablo Ek-3.3. T3 takımı ile delinen UD elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri.....	152
Tablo Ek-4.1. T1 takımı ile delinen 0/90 elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri.....	155
Tablo Ek-4.2. T2 takımı ile delinen 0/90 elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri.....	158
Tablo Ek-4.3. T3 takımı ile delinen 0/90 elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri.....	161

1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler; birden fazla sayıda malzemenin istenilen mekanik özelliklerdeki malzemeleri elde etmek için herhangi bir kimyasal etkileşim ve çözünme olmaksızın birleştirilmesiyle elde edilen malzemeler olarak tanımlanabilir. Kompoziti oluşturan malzemelerin üstün özellikleri sayesinde kompozit malzemelerin rijitliğinde, mukavemetinde, korozyon direncinde, elektrik direncinde, tribolojik özelliğinde, ağırlığında, aşınma direncinde çok ciddi anlamda iyileştirmeler yapılabilir.

Gelişen teknoloji ile beraber geleneksel malzemeler yeni nesil ürünlerin üretiminde ağır ve yetersiz kalmakta, yeni malzeme ihtiyaçları ortaya çıkmaktadır. Kompozit malzemeler bu noktada geleneksel malzemelere alternatif olmaktadır (Çelik ve ark., 2017). Şekil 1.1'de görüleceği gibi kompozit malzemeler ilk çağlardan beri kullanılmakta olup, özellikle 1960'lı yıllardan sonra; havacılık ve uzay endüstrisi başta olmak üzere otomotiv, sağlık, savunma sanayi ve diğer endüstrilerde kullanımı hızla artmıştır. Bugün üretilen birçok cihaz ve araç yüksek oranda kompozit malzeme ihtiva etmektedir. Örneğin bir yolcu uçağının %50'si (Sheikh-Ahmad, 2009; Gao, 2011), son zamanlarda üretilen bazı otomobillerin ağırlıkça %65 ile %80'i kompozit malzemedir (Gardiner, 2012, Greimel, 2013). Başka bir örnek olarak 2014 yılında motor parçalarında yaklaşık olarak 1680 milyon ton kompozit malzeme kullanılırken, 2023 yılında bu rakamın 2665 milyon tona ulaşacağı tahmin edilmektedir (Red, 2015).



Şekil 1.1. Tarih boyunca malzemelerin yıllara göre bağlı kullanımları (Ashby, 2011)

Şekil 1.2’de ise Boeing firmasının üretmiş olduğu ticari uçaklarda kompozit malzemelerin ağırlıkça kullanımının yıllara göre değişimi gösterilmiştir (GAO, 2011). 1960’lı yıllarda ağırlıkça %1 civarında olan kompozit malzemelerin kullanımı, 1983’te %10 seviyelerine ulaşmış ve 2010’lu yıllarda %50–55 seviyelerine kadar yükselmiştir. Bu oranın ilerleyen yıllarda daha da artacağı tahmin edilmektedir.

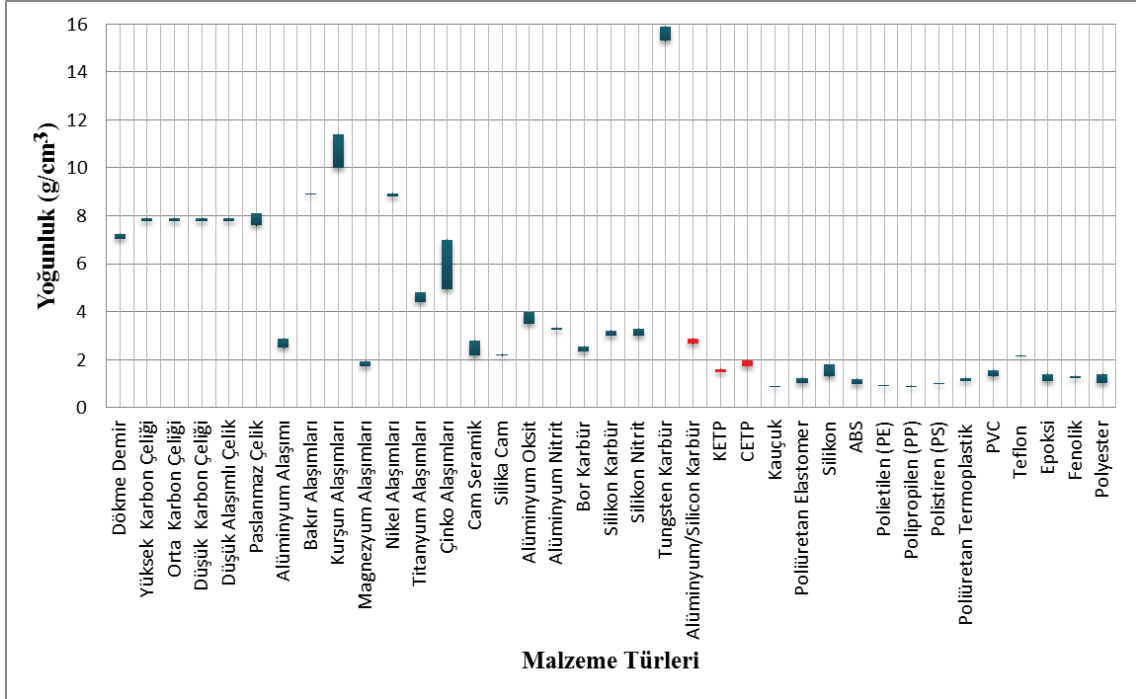


Şekil 1.2. Ticari uçaklarda kompozitlerin yıllara göre ağırlıkça kullanımı (GAO,2011)

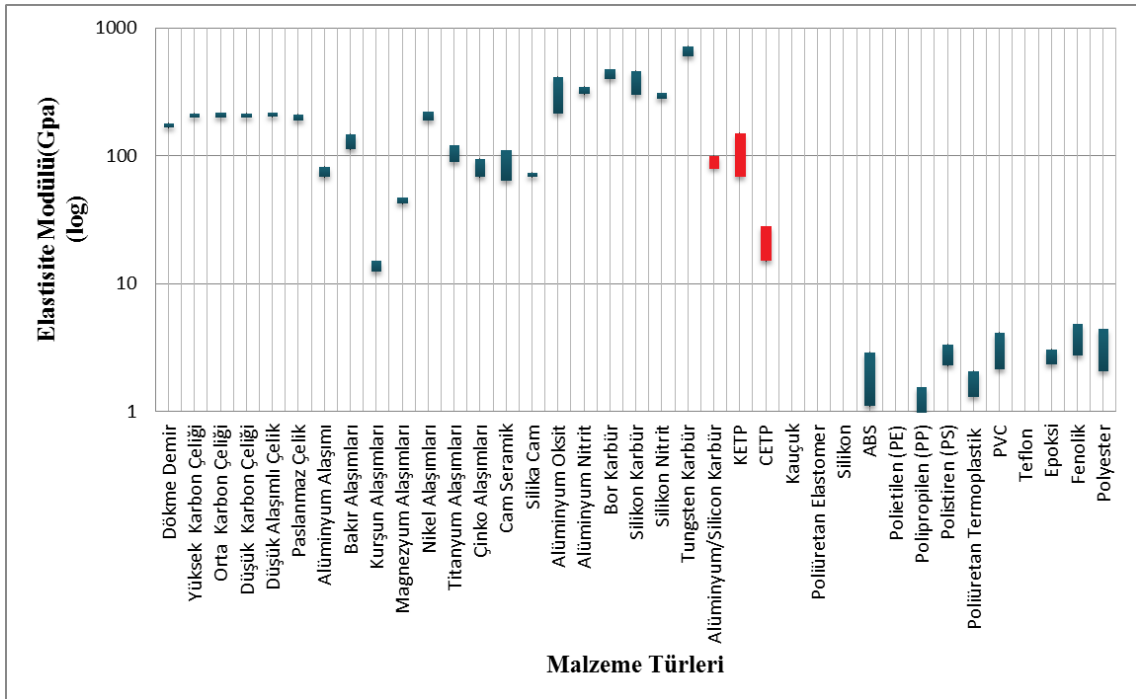
1.1. Kompozit Malzemelerin Genel Özellikleri

Kompozit malzemelerin geleneksel malzemelere göre birçok avantajı bulunmaktadır. Hafiflik, yüksek dayanım, yüksek korozyon direnci, yüksek tokluk kompozitlerin başlıca avantajlarıdır. Bu özelliklerinden dolayı kompozitler; havacılık, otomotiv ve diğer endüstrilerde geniş bir kullanım alanına sahiptir (Makhdum ve ark., 2012; Phadnis ve ark., 2012; Zitoune ve ark., 2012). Ancak kompozitlerin düşük termal iletkenliğe sahip olması, bazı takviye elemanlarının aşındırıcı olması, diğer malzemelere göre daha maliyetli olması, matris ve takviye elemanı arasında zayıf bağ olması kompozitlerin dezavantajları olarak görülmektedir (Phadnis ve ark., 2012). Şekil 1.3’te kompozit malzemelerin diğer malzemelere göre mekanik özellikleri kıyaslanmıştır. (Cambridge University Engineering Department, 2003). Kompozitlerin yoğunlukları metallere göre düşük, plastiklere göre yüksektir. Elastisite modülleri; karbon çeliklere göre düşük, plastiklere göre çok daha yüksek olup cam ve titanyumun elastisite

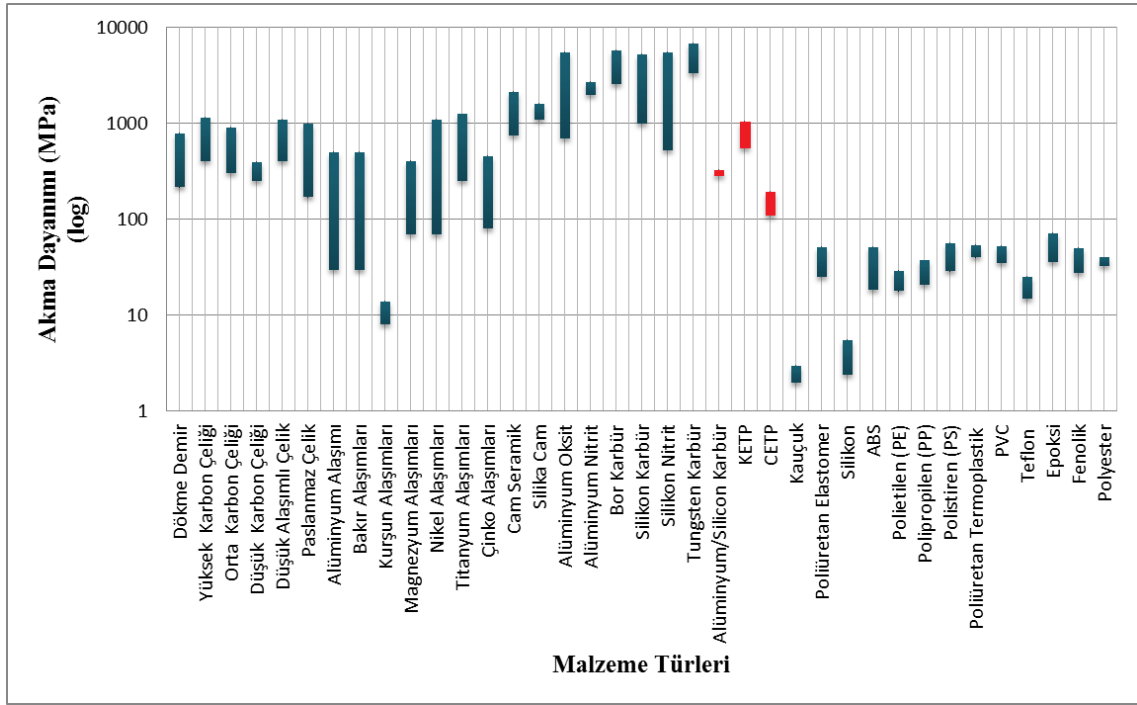
modüllerine yakındır. Kırılma toklukları, akma dayanımları ve çekme dayanımları plastiklerden çok yüksek, orta karbonlu çeliklerin kırılma tokluğu, akma ve çekme dayanımlarına yakındır.



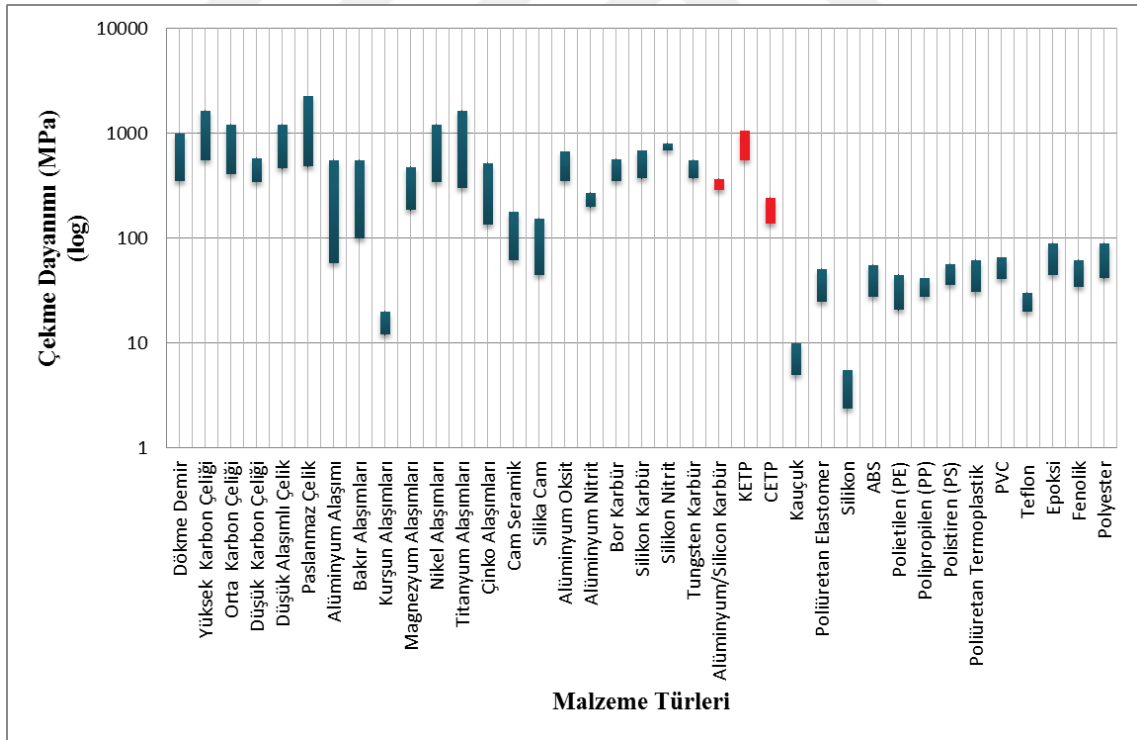
a) Yoğunluklarının kıyaslanması



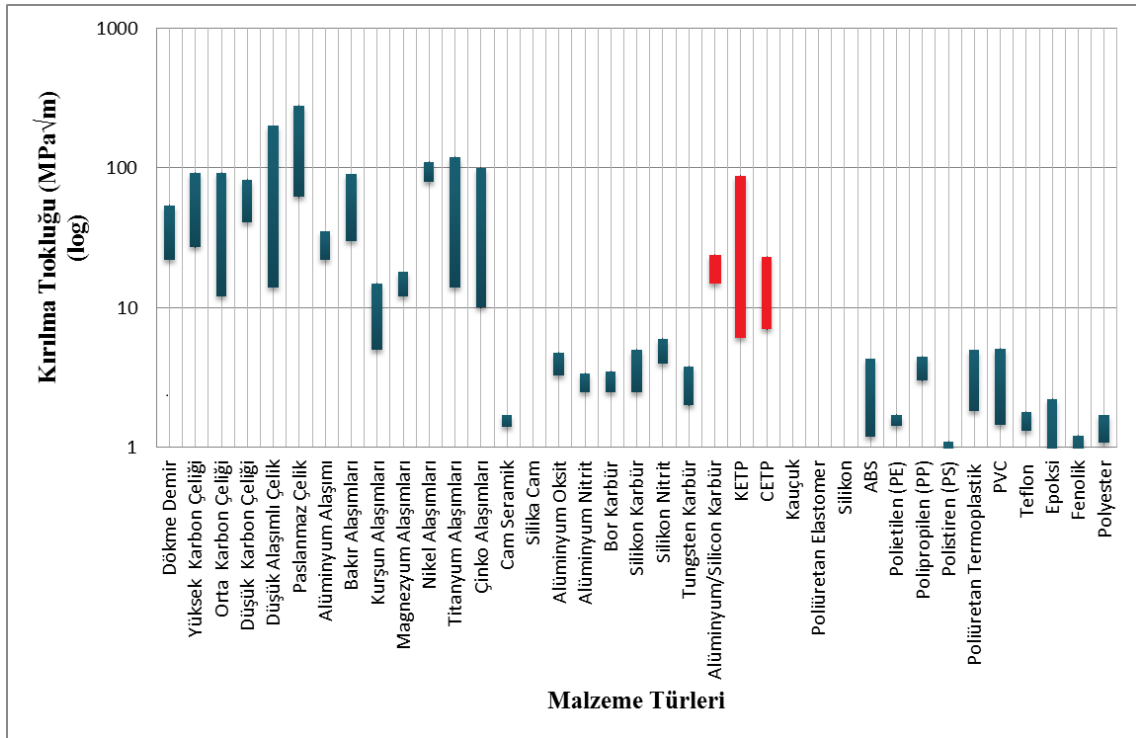
b) Elastisite modüllerinin kıyaslanması



c) Akma dayanımlarının kıyaslanması



d) Çekme dayanımlarının kıyaslanması



e) Kırılma tokluklarının kıyaslanması

Şekil 1.3. Mühendislik malzemelerinin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması

1.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırması

Kompozit malzemeler matris ve takviye elemanı olmak üzere iki ana bileşenden meydana gelmektedir. Matris malzemesi hacimce fazla olan, genellikle dayanımları düşük, takviye elemanlarını bir arada tutan ve malzemeye gelen yükleri takviye elemanlarına ileten malzemedir. Takviye elemanları ise genellikle yüksek dayanıma sahip ve kompozit malzemede yükleri taşıyan malzemelerdir. Uygulamalarda en çok kullanılan matris malzemeleri; metaller, seramikler ve polimerlerdir. En çok kullanılan takviye elemanları ise çeşitli geometrilerde cam, aramid, karbon, SiC, B₄C gibi malzemelerdir (Ersoy, 2005). Kompozit malzemelerde matris malzemesine göre sınıflandırılma yapılabileceği gibi takviye elemanın geometrisine veya takviye şekline göre de sınıflandırılma yapılabilir (Elmarakbi, 2013). Tablo 1.1 en çok kullanılan bazı matris elemanlarının mekanik özellikleri verilirken, Tablo 1.2'de ise en çok kullanılan takviye elemanlarının mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 1.1. Bazı matris elemanlarının özellikleri

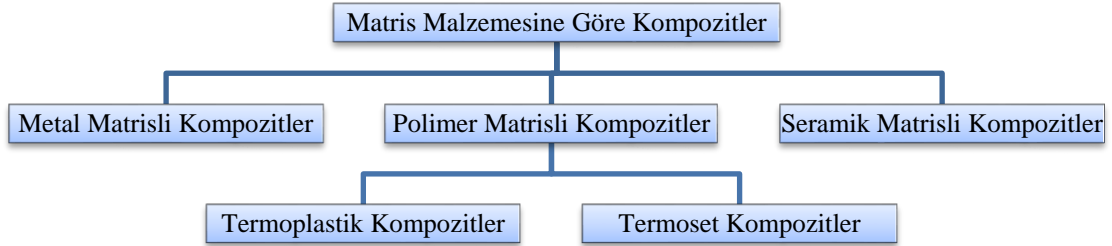
Matris Türü	Yoğunluk (g/cm ³)	Elastisite Modülü (Gpa)	Çekme Dayanımı (Mpa)	Kaynak
Epoksi	1.2 - 1.4	2.5 - 5	50 - 130	*Nunes, 2016
Polyester	1.1 - 1.4	1.6 - 4.1	35 - 95	*Nunes, 2016
Vinilester	1.1 - 1.3	3.0 - 3.5	73 - 81	*Nunes, 2016
Fenolik	1.1 - 1.4	2.7 - 4.1	35 - 60	*Nunes, 2016
Polipropilen(PP)	0.9 - 0.91	1.15 - 1.57	31.0 - 41.9	*Nunes, 2016
Poliamid(PA)	1.12 - 1.42	0.25 - 3.84	35.2 - 167.6	*Nunes, 2016
Alüminyum Oksit (Al ₂ O ₃)	3.95	380	282-551	*Chung, 1994
Silisyum Karbür (SiC)	4.09	480	414- 650	*Chung, 1994
Alüminyum Alaşımları	2.80	71	572	*Sheikh-Ahmad, 2009
Çelik Alaşımları	785	207	420	*Sheikh-Ahmad, 2009

Tablo 1.2. Bazı takviye elemanlarının özellikleri (Chung, 1994)

Takviye Elemanı	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme Dayanımı (Mpa)	Elastisite Modülü (Gpa)	Erime Sıcaklığı (° C)	Özgül Modül (Gpa.cm ³ /g)	Özgül Dayanım (Mpa.cm ³ /g)
S-cam	2.5	4.5	86.9	1725	34.76	1.80
E-cam	2.55	3.4	72.4	1725	28.39	1.33
SiO ₂	2.19	5.9	72.4	1728	33.06	2.69
Al ₂ O ₃	3.95	2.1	380	2015	96.20	0.53
ZrO ₂	4.84	2.1	340	2677	70.25	0.43
Karbon	1.5	5.7	280	3700	186.67	3.80
Bor	2.36	3.4	380	2030	161.02	1.44
B ₄ C	2.36	2.3	480	2450	203.39	0.97
SiC	4.09	2.1	480	2700	117.36	0.51
TiB ₂	4.48	0.1	510	2980	113.84	0.02
Be	1.83	1.28	300	1277	163.93	0.70
Polietilen	0.97	2.59	120	147	123.71	2.67
Aramid	1.44	4.5	120	500	83.33	3.13
Al ₂ O ₃ (kırpık)	3.96	21	430	1982	108.59	5.30
BeO (kırpık)	2.85	13	340	2550	119.30	4.56
B ₄ C(kırpık)	2.52	14	480	2450	190.48	5.56
SiC (kırpık)	3.18	21	480	2700	150.94	6.60
Si ₃ N ₄ (kırpık)	3.18	14	380	-	119.50	4.40
Grafit	1.66	21	703	3700	423.49	12.65
Cr (kırpık)	7.2	8.9	240	1890	33.33	1.24

1.2.1. Matris malzemesine göre sınıflandırma

Kompozit malzemeler matris malzemesine göre sınıflandırılırken matris malzemesinin cinsi esas alınır. Eğer matris polimer malzeme ise polimer matrisli kompozit, metal malzeme ise metal matrisli kompozit şeklinde sınıflandırılır. Şekil 1.4'te matris malzemesine göre sınıflandırma gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Matris malzemesine göre kompozitlerin sınıflandırılması (İbrahim ve Ark., 2017)

1.2.1.1. Metal matrisli kompozitler

Metal matrisli kompozitler (MMK) alüminyum, magnezyum, bakır ve titanyum gibi metalik bir matrisin içerisine farklı takviye elemanlarının takviye edilmesiyle elde edilen kompozit malzemelerdir. MMK'lerde takviye elemanları olarak genellikle seramik partiküller, seramik elyaf, karbon elyaf ya da metalik elyaf kullanılır (Miracle, 2005). En çok kullanılan takviye elemanları Al_2O_3 , SiC, B_4C , TiC ve C'dur (Hiçyılmaz, 1999). MMK'ler yüksek dayanıma, yüksek sertliğe, yüksek kırılma tokluğuna, yüksek sıcaklık direncine sahiptirler. MMK'ler genellikle otomotiv pistonları, silindir gömlekleri, biyel kolları, kaymalı elektriksel kontaklar, turbo şarj pervaneleri, kesici takımlar, pervane gibi uygulama alanlarında kullanılmaktadır (Şahin, 2015) . Şekil 1.5'te MMK'lerin bazı kullanım alanları gösterilmiştir.



Şekil 1.5. Metal matrisli kompozitlerin kullanım alanları

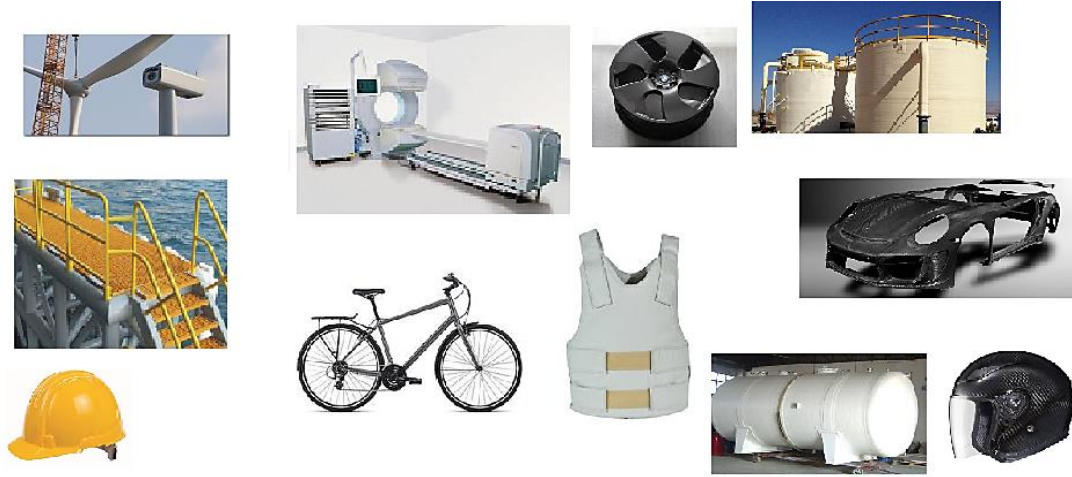
1.2.1.2. Polimer matrisli kompozitler

Polimer matrisli kompozitlerde (PMK) matris malzemesi olarak polyeester, epoksi, polietilen vb. polimer esaslı malzemeler kullanılarak elde edilen kompozit malzemelerdir. Malzemenin dayanımını ve sertliğini arttırmak için polimer matris içerisine cam, karbon, aramid gibi takviye elemanları takviye edilir. PMK'ler kendi aralarında termoplastikler ve termosetler olarak 2 gruba ayrılır. Tablo 1.3'te bazı polimer matrislere ait özellikler verilmiştir.

Tablo 1.3. Bazı polimer matrislerin özellikleri (Nunes, 2016)

Polimerler	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme Modülü (Gpa)	Çekme Dayanımı (Mpa)	Maksimum Servis Sıcaklığı (C)
Termoset Reçineler				
Epoksi	1.2 - 1.4	2.5 - 5	50 - 130	80 - 215
Polyester	1.1 - 1.4	1.6 - 4.1	35 - 95	60 - 150
Vinilester	1.1 - 1.3	3.0 - 3.5	73 - 81	60 - 150
Fenolik	1.1 - 1.4	2.7 - 4.1	35 - 60	70 - 120
Siyanat Ester	1.1 - 1.3	2.6 - 3.5	70 - 125	150 - 250
Bizmaleimid	1.2 - 1.3	3.9 - 4.6	120 - 180	230 - 320
Termoplastik Reçineler				
Polipropilen(PP)	0.9 - 0.91	1.15 - 1.57	31.0 - 41.9	50 - 135
Poliamid(PA)	1.12 - 1.42	0.25 - 3.84	35.2 - 167.6	75 - 150
Polikarbonat (PC)	1.2	2.20 - 2.41	62.7 - 73.3	115
Polisülfan (PSU)	1.24 - 1.25	2.51 - 2.72	60.0 - 74.7	150
Polietersülfan (PES)	1.37 - 1.46	2.44 - 2.86	68.3 - 100.6	180
Polimit (PI)	1.33 - 1.43	2.10 - 4.02	72.4 - 119.4	170
Polieter eter keton (PEEK)	1.3 - 1.32	3.63	70.3 - 104.8	120 - 250

Polimer matrisli kompozitler, uçak endüstrisinde (uçak kanatları ve gövdesi, helikopter pervaneleri, iniş çıkış kapıları, döşeme kirişleri gibi alanlarda) otomotiv endüstrisinde (gövde parçaları, tampon ve çamurluklar, aks mili, piston kolları gibi alanlarda), spor endüstrisinde (olta, raket, bisiklet, motosiklet, golf sopası gibi alanlarda) ve diğer endüstrilerde (gemi teknesi, motor fırçaları, röntgen masaları, protezler, türbin kanatları gibi alanlarda) geniş bir kullanım alanına sahiptir (Şahin, 2015). Şekil 1.6'da polimer matrisli kompozitlerin bazı kullanım alanları gösterilmiştir.



Şekil 1.6. Polimer matrisli kompozitlerin kullanım alanları

1.2.1.3. Seramik matrisli kompozitler

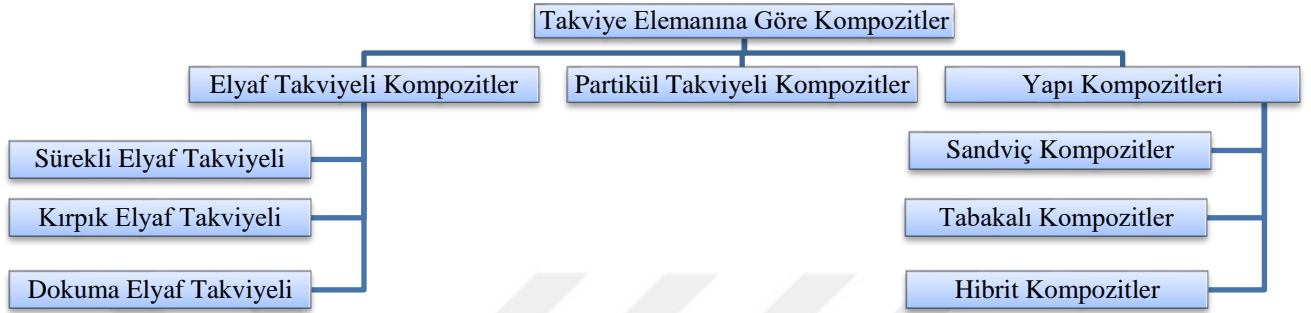
Seramik matrisli kompozitler (SMK) seramik matris içerisine sürekli elyaf, partiküller ve kırık elyaf takviye edilerek elde edilen kompozit malzemelerdir (Ruh ve ark., 1988). Seramik matris (SiC, TiC ve B₄C) içerisine karbon, alüminyum oksit gibi takviye elemanları eklenmesiyle elde edilirler. SMK kompozitler yüksek kırılma tokluğuna, düşük termal genişlemeye, yüksek oksitlenme direncine ve yüksek sıcaklığa dayanma gibi özelliklere sahiptirler (Rana ve ark., 2016). Genellikle yüksek sıcaklık gerektiren alanlarda, kesici uçlarda, makine elemanlarında kullanılmaktadır. Şekil 1.7’de seramik matrisli kompozitlerin bazı kullanım alanları gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Seramik matrisli kompozitlerin kullanım alanları

1.2.2. Takviye elemanına göre sınıflandırma

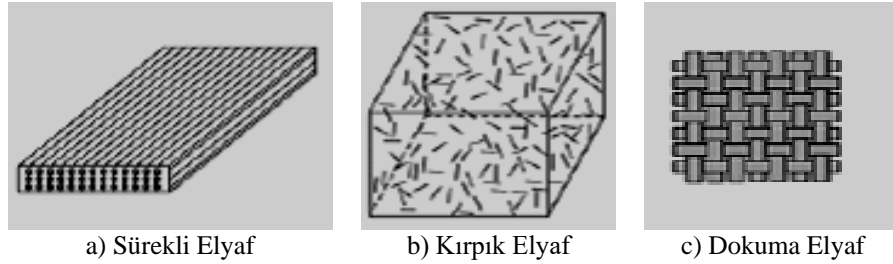
Takviye elemanına göre sınıflandırmada takviye elemanın geometrisine ya da takviye ediliş şekline göre sınıflandırma yapılır. Takviye elemanına göre sınıflandırma Şekil 1.8’de gösterilmiştir. Takviye elemanı elyaf şeklinde ise elyaf takviyeli ya da partikül şeklinde ise partikül takviyeli kompozit olarak sınıflandırılır.



Şekil 1.8. Takviye elemanına göre kompozitlerin sınıflandırılması

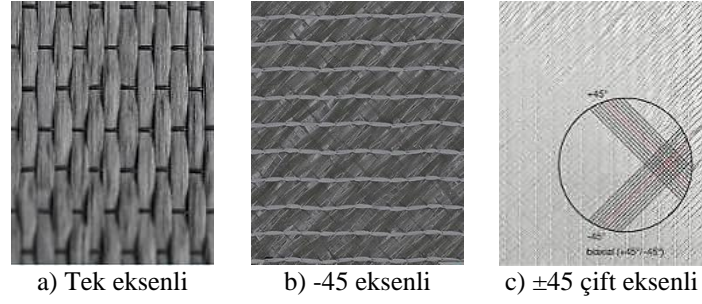
1.2.2.1. Elyaf takviyeli plastik kompozitler

Elyaf takviyeli plastik kompozitler matris içerisine takviye elemanlarının elyaf şeklinde ilave edilmesiyle elde edilen kompozitlerdir. Şekil 1.9’da görüldüğü gibi elyaf matris içerisine yönlendirilmiş, kırpık ya da dokuma şeklinde ilave edilebilir.



Şekil 1.9. Elyaf takviye türleri (Buckley,1993)

Sürekli Elyaf Takviyeli Plastik Kompozitler: Sürekli elyaf takviyeli plastik kompozitlerde elyaf matris içerisinde sürekli halde yer alırlar. Elyaf tek eksenli ya da çok eksenli olarak farklı açılarda yerleştirilebilirler. Şekil 1.10’da sürekli elyaf takviyelere ait görüntüler gösterilmiştir.



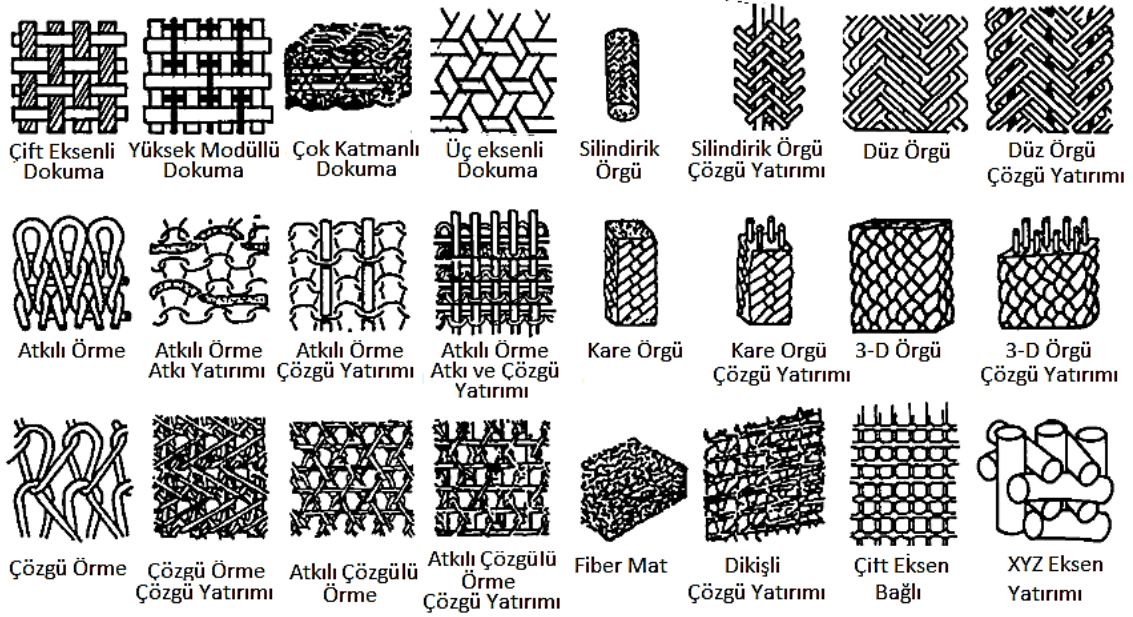
Şekil 1.10. Sürekli elyaf çeşitleri (Anonim, 2017)

Kırpık Elyaf Takviyeli Plastik Kompozitler: Kırpık elyaf takviyeli plastik kompozitlerde elyaf matris içerisine belirli boyutlarda kırılarak yerleştirilir. Genellikle karbon, cam, aramid, bazalt gibi elyaf kullanılmakla beraber son dönemde bambu lifi, keçi kılı gibi organik elyaf ta kullanılmaktadır. Kırpık elyaf takviyeli kompozitlerin üretiminden tek bir kırpık elyaf çeşidi kullanılabileceği gibi birden çok kırpık elyaf karıştırılarak ta kullanılabilir. Şekil 1.11’de bazı kırpık elyafa ait görüntüler gösterilmiştir.



Şekil 1.11. Kırpık elyaf çeşitleri (Anonim, 2017)

Dokuma Elyaf Takviyeli Plastik Kompozitler: Dokuma elyaf takviyeli plastik kompozitlerde elyaf matris içerisine çeşitli şekillerde örülerek yerleştirilir. Dokumalar 2 ya da 3 boyutlu olabilir. Dokuma elyaf türü için çok çeşitli dokuma şekilleri mevcuttur. Şekil 1.12’de değişik dokuma şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 1.12. Elyaf dokuma çeşitleri (Buckley, 1993)

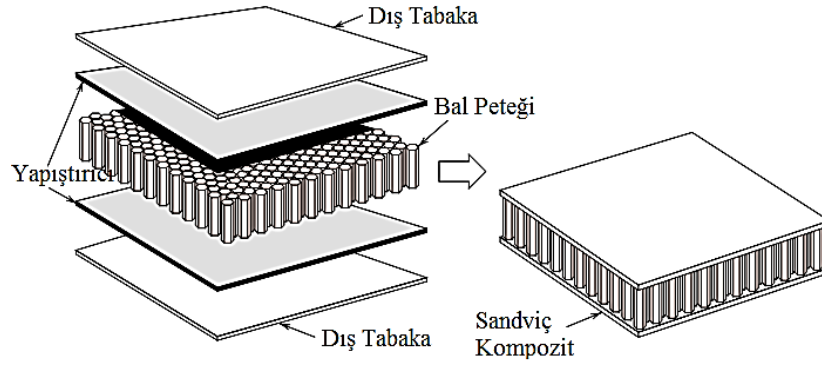
1.2.2.2. Partikül takviyeli plastik kompozitler

Kompozitlerin imalat sürecindeki teknolojik gelişmeler, partikül takviyeli kompozitlerin üretimini kolaylaştırmakta ve kullanım alanlarını artırmaktadır. Partikül takviyeli kompozitler düşük maliyetleri ve yüksek performansları önemli avantajlarıdır. Takviye elemanı olarak genellikle Al_2O_3 , SiC, TiC, B_4C ve C gibi malzemeler kullanılır. Ancak son dönemde fıstık kabuğu, ceviz kabuğu, Hindistan cevizi kabuğu gibi doğal malzemeler de partikül haline getirilerek kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılmaktadır.

1.2.2.3. Yapı kompozitleri

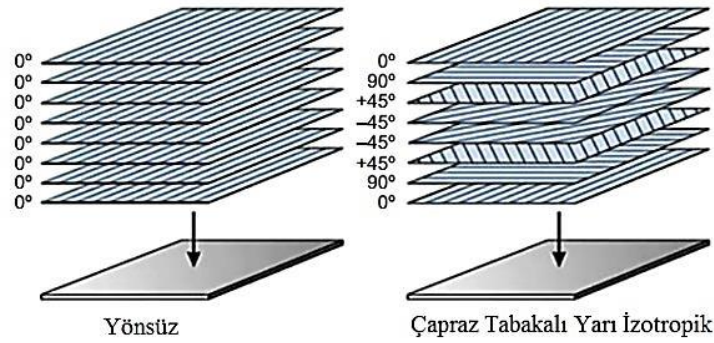
Değişik ya da aynı özellikte bulunan malzemelerin üst üste veya yan yana getirilmesiyle elde edilen kompozitler yapı kompozitleri olarak tanımlanmaktadır. Yapı kompozitlerinde kompozit malzemelerin yanı sıra metal, seramik gibi malzemeler de kullanılabilir. Yapı kompozitleri sandviç kompozitler, tabakalı kompozitler ve hibrit kompozitler olmak üzere 3 gruba ayrılabilir.

Sandviç Kompozitler: Sandviç kompozitler ince dış tabakadan; kalın ve hafif çekirdek malzemesinden meydana gelmektedir. Tabakalar yüksek dayanımlı malzemeler olup, bunların arasına bal peteği, köpük vb. malzemeler yapıştırılarak elde edilirler. Şekil 1.13'te sandviç kompozitin temel yapısı gösterilmiştir.



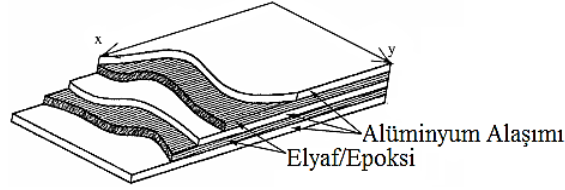
Şekil 1.13. Bal Peteği sandviç kompozitin yapısı (Sheehan, 1987)

Tabakalı Kompozitler: Tabakalı kompozitler farklı endüstriyel uygulamalarda en çok kullanılan kompozit malzeme türüdür. Bu tür kompozitler, bir takım elyafli katmanların bir araya getirilmesi ile elde edilirler. Şekil 1.14’te tabakalı kompozitlerin yapısı gösterilmiştir. İstenilen elyaf diziliş yönüne göre tabakalar yerleştirilebilir.



Şekil 1.14. Tabakalı kompozitin yapısı (Anonim, 2017)

Hibrit Kompozitler: Hibrit kompozitler; farklı türlerde olan elyafın tek bir matris içerisinde yer alması ya da farklı malzemelerin yapıştırılmasıyla elde edilen kompozit malzemelerdir. Örneğin Boeing 757 ve 767 uçaklarının kanat ve gövde kaplamaları grafit ile aramid elyafın epoksi matris içerisine yerleştirilmesi ile imal edilmiştir (Linganiso ve ark., 2016). Ayrıca hibrit kompozitlerde kompozit malzemelerin yanı sıra metalik malzemelerde kullanılabilir. Şekil 1.15’te cam fiber ile alüminyum birleştirilerek elde edilen hibrit kompozite ait bir görüntü gösterilmiştir.



Şekil 1.15. Hibrit kompozitin yapısı (Botelho ve ark., 2006)

1.3. Polimer Matrisli Kompozit Malzemelerin İşlenebilirliği

Son yıllarda çeşitli endüstrilerde kompozit malzemelerin kullanımının hızla artması ile bu malzemelerin şekillendirilmesi gereksinimi ortaya çıkmıştır. Kompozit malzemeler çoğunlukla son şekle yakın olarak üretilmektedir. Kompozitlerde toleransın sağlanması ve montaj işlemleri için delme, kesme, frezeleme gibi talaşlı işleme ihtiyaç duyulmaktadır (Krishnaraj ve ark., 2013). Kompozit malzemeler delme, tornalama, frezeleme, kesme gibi geleneksel işleme yöntemleriyle beraber su jeti ve lazer ile kesme gibi geleneksel olmayan işleme yöntemleriyle de işlenebilmektedir. Kompozit malzemelerin işlenmesi metallere göre çok farklıdır. Kompozit malzemeler homojen olmayan farklı malzemelerdir. Takviye elemanlarının güçlü ve aşındırıcı olması, aramid ve cam elyafında olduğu gibi zayıf bir ısıl iletkenliğe sahip olması ya da polimer matrisinin termal özelliklerinin zayıf olması gibi nedenlerden dolayı kompozitlerin işlenmesi metallere göre daha zordur. Polimer matrisli kompozitlerin işlenebilirliği takım malzemesi, takım çapı ve geometrisi, talaş açısı, kesme hızı ve kesme derinliği gibi parametrelere bağlıdır. Ayrıca polimer matrisin türü de kompozitin işlenebilirliğini önemli derecede etkilemektedir. Termosetler gevrek bir davranış sergilerken termoplastikler sünek bir davranış sergilemektedir.

1.3.1. Kompozitlerin tornalanması

Aks, shaft, rulman, rulo gibi aksenal simetrik olan kompozit malzemeler tornalamada son ürün haline getirilmektedir. Sargı teknolojisindeki gelişmeler bu kompozitlerin kullanım alanlarını arttırmaktadır. Kompozit malzemenin tornada işlenebilirliği takım aşınması, kesme kuvveti, kesme sıcaklıkları ve yüzey kalitesi gibi parametreler ile tespit edilmektedir. Ayrıca elyaf türü, elyaf sarım açısı, elyaf hacim yoğunluğu kompozit malzemenin tornada işlenebilirliğini etkileyen önemli parametrelerdir (Sheikh-Ahmad, 2009).

1.3.2. Kompozitlerin frezelenmesi

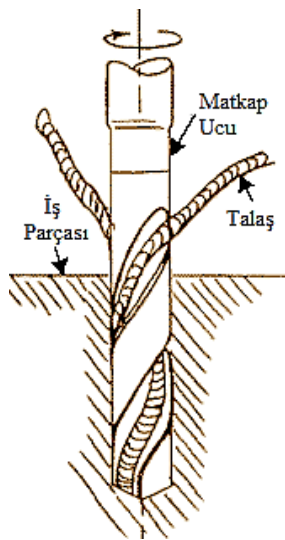
Frezeleme kompozit malzemelerin işlenmesinde delik delme işleminden sonra en sık kullanılan işleme yöntemidir. Kompozit malzemeler son şekle yakın bir şekilde üretildikleri için metaller gibi kaba işleme ihtiyaç duymamaktırlar. Kompozitlerin frezelenmesinde işlenebilirlik takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve deformasyon ile belirlenmektedir.

1.3.3. Kompozitlerin delinmesi

Delme kompozit malzemelerin işlenmesinde en sık kullanılan işleme yöntemidir. Ancak bu kadar sık kullanılmasına rağmen en zorlu işleme yöntemidir. Elyaf ve matris malzemelerinin farklı ısı iletim katsayılarına sahip olmalarından dolayı delik toleransları tam olarak sağlanamamaktadır. Ayrıca takviye elemanları takımı aşındırmakta ve buna bağlı olarak deformasyonlar meydana gelmektedir. Kompozitlerin delinmesinde geleneksel yöntemlerin yanında karot delme, su jeti ile delme, lazer destekli delme, titreşim destekli delme ve elektro erozyon ile delme gibi yöntemler de kullanılmaktadır.

1.3.3.1. Geleneksel delme

Geleneksel delme yönteminde takım ucu belli bir ilerleme ve iş mili devri değerinde iş parçasına bastırılarak takım ucunun kesici kenarı ile talaş kaldırılmaktadır. Kompozit malzemelerin geleneksel delme yöntemi ile delinmesinde deformasyon, fiber kırılması, matris yanması gibi problemler ortaya çıkmaktadır. Geleneksel delme yöntemine ait görüntü Şekil 1.16’da gösterilmiştir.



Şekil 1.16. Geleneksel delme mekanizması (Malkoç, 2007)

1.3.3.2. Karot delme

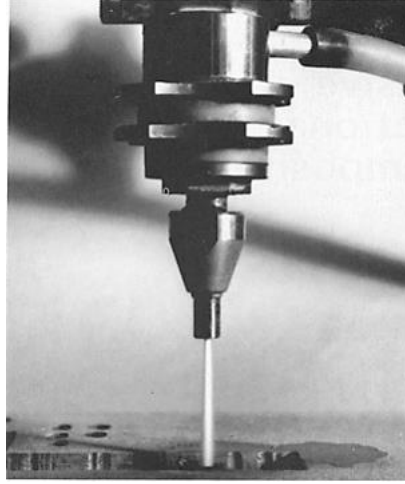
Beton delme işleminde kullanılan yöntem benzeyen bu yöntem ilk olarak Park ve ark. tarafından kompozitlerin delinmesinde kullanılmıştır (Park ve ark., 1995). Karot delme bir abrasif talaş kaldırma yöntemidir. Takım ucunun içi boş olduğundan dolayı kesme kuvveti geleneksel delme ile karşılaştırıldığında çok daha düşük olur (Tsao ve ark., 2007). Dolayısıyla daha düşük deformasyonlar meydana gelir (Hocheng ve Tsao, 2006). Şekil 1.17’de karot ile delmede kullanılan takım ucu gösterilmiştir.



Şekil 1.17. Karot delmede kullanılan takım ucu (Liu ve ark., 2012)

1.3.3.3. Su jeti ile delme

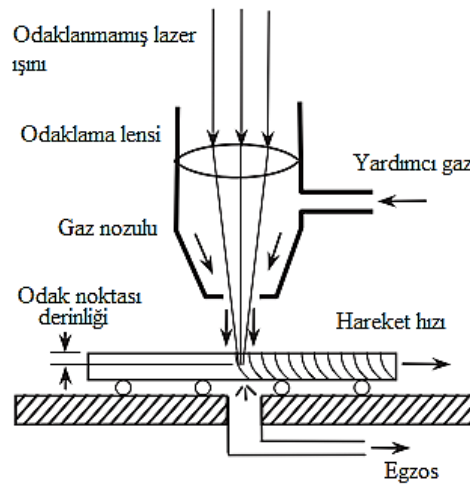
Su jeti ile delmede su, iş parçasına yüksek hızlarda püskürtülerek delme işlemi gerçekleştirilir. Ayrıca suyun içerisine çok küçük aşındırıcı partiküller koyularak ta delme işlemi yapılabilir. Su jeti ile delmede, su büyük bir basınca kadar sıkıştırılıp yüksek hızlarda nozuldan iş parçasına çarptırılır. Nozuldan püskürtülen su çok ince bir su jeti meydana getirir ve çok hassas delme işlemine olanak sağlar (Akkurt, 2004). Ancak kompozit malzemenin nem alma ihtimali ve aşındırıcı partiküller kullanılarak yapılan delme işlemlerinde aşındırıcı partiküllerin malzeme yüzeyinde kalması dezavantaj olarak görülmektedir (Herzog ve ark., 2008). Şekil 1.18’de su jeti ile delme yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 1.18. Su jeti ile delme yöntemi (Ramulu ve ark., 1993)

1.3.3.4. Lazer ile delme

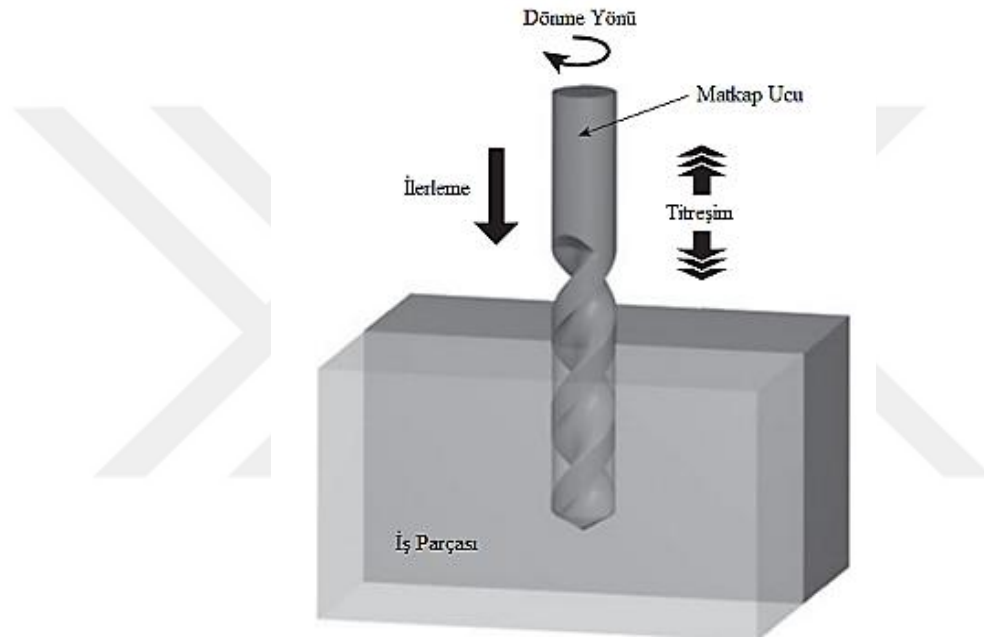
Lazer ile delme geleneksel delme yöntemine göre birçok avantaj sağlar. Takım ile iş parçası arasında temas olmadığından dolayı daha düşük kesme kuvvetleri oluşmakta ve takım aşınması, parça bozulması meydana gelmemektedir. Ayrıca termal bir kesme yöntemi olduğundan malzemenin sertliğinden veya mukavemetinden etkilenmemektedir. Ancak lazer ile delmede ısıdan etkilenen bölgeler oluşmakta ve kesilecek malzemenin kalınlığı arttıkça kesme verimliliği düşmektedir. Bu durum, malzemenin dayanımında düşüşe neden olmaktadır. Ayrıca lazer ile delmede tehlikeli gazlar ortaya çıkmaktadır (Sheikh-Ahmad, 2009). Örneğin, Aramid/Epoksi'nin lazerle kesilmesinin büyük miktarda hidrojen siyanür ürettiği ve bunun da önemli bir sağlık riski oluşturduğu tespit edilmiştir (Flaum, 1987). Şekil 1.19'da lazer ile delme sistemi gösterilmiştir.



Şekil 1.19. Lazer ile delme yöntemi (Sheikh-Ahmad, 2009)

1.3.3.5. Ultrasonik titreşim destekli delme

Ultrasonik titreşim destekli delme yönteminde takıma veya iş parçasına ilerleme yönünde ultrasonik titreşim uygulanarak delme işlemi gerçekleştirilir. Ultrasonik titreşim genellikle iş parçasına uygulanır. Dönen bir parçaya ultrasonik titreşim uygulamak zordur. Ancak iş parçası çok büyük ve ağırsa takıma ultrasonik titreşim uygulanabilir. Geleneksel delme yöntemine göre kesme kuvveti ve tork daha düşük olduğundan işleme kalitesi daha yüksek olur. Şekil 1.20’de ultrasonik destekli delme yöntemine ait görüntü gösterilmiştir.

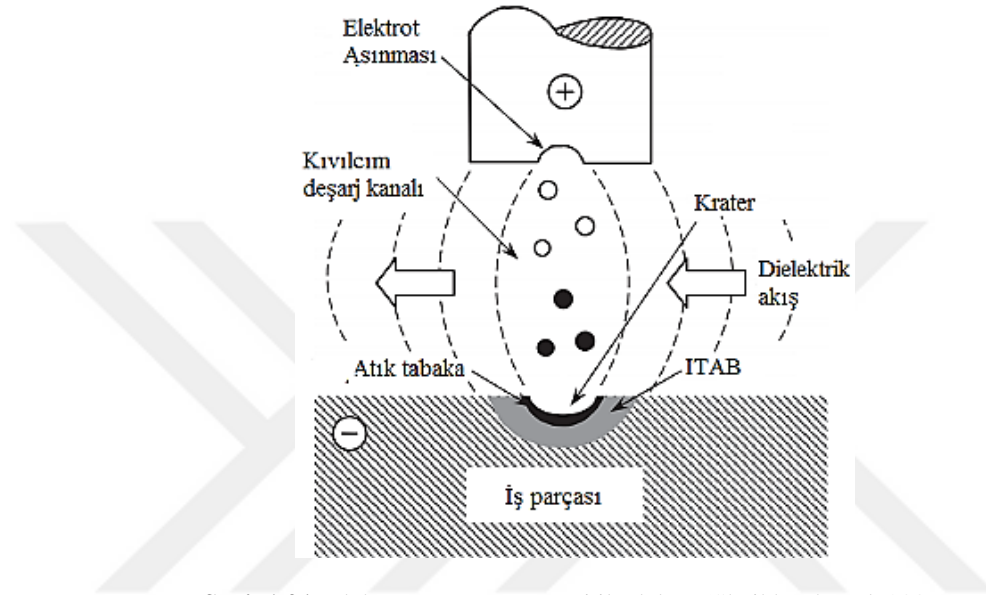


Şekil 1.20. Ultrasonik titreşim destekli delme yöntemi (Xu ve ark., 2009)

1.3.3.6. Elektro erozyon ile delme

Elektro erozyon yöntemi dalma ya da tel şeklinde olmak üzere 2 şekilde yapılabilir. Her iki şekilde de talaş kaldırma işlemi için iş parçası ve elektrot arasında kıvılcım üretilir. Aradaki fark elektrotun şekliyle alakalıdır. Daldırma yönteminde elektrot yavaş yavaş ilerleme yönünde hareket ettirilir ve meydana gelen kıvılcım ile talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilir. Tel ile kesme yönteminde ise tel bir testere gibi kullanılarak deliğin etrafında gezdirilerek talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilir. Ancak tel zamanla aşındığından makara ile yeniden beslenmesi gerekir. Her iki sistem dc güç kaynağı, dielektrik sistem, elektrot ve servo sistemi olmak üzere 4 ana bileşenden meydana gelir. Bu yöntem ile elektrik iletkenliği iyi olan metaller, alaşımlar ve karmaşık şekillerdeki kompozitlerin delinmesi gerçekleştirilebilir. Cam ve aramid elyaf

düşük elektriksel iletim katsayısına sahiptirler bu nedenle elektro erozyon yöntemi ile işlenmeleri pek mümkün değildir. Ancak karbon elyafı elektriksel iletim katsayısı biraz daha yüksek olduğu için elektro erozyon yöntemi ile delinebilir. Bu yöntemde temas kuvvetleri olmadığından kompozit malzemede mekanik hasar meydana gelmeden delme gerçekleştirilebilir. Elektro erozyon yöntemine ait görüntü Şekil 1.21’de gösterilmiştir (Sheikh-Ahmad, 2009).



Şekil 1.21. Elektro erozyon yöntemi ile delme (Sheikh-Ahmad, 2009)

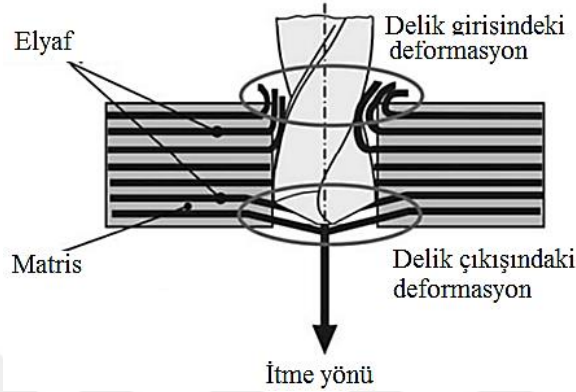
1.4. Kompozitlerin Delinmesinde Meydana Gelen Hasarlar

Delme işlemi esnasında kompozit malzemelerde matris çatlaması, matris yanması, elyaf kırılmaları ve deformasyon gibi hasarlar gözlemlenmektedir (Barbero, 2014). Delme esnasında meydana gelen hasarlar elyafın ve matrisin cinsine, elyaf yönlendirme açısına, takım malzemesine ve geometrisine, ilerleme, iş mili devri ve delme şartlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Yanlış delme parametrelerinde kompozitlerin delinmesi çok büyük hasarlar meydana getirmektedir. Bu açıdan bakıldığında delme parametrelerinin doğru seçilmesi oldukça önemlidir.

1.4.1. Deformasyon

Deformasyon kompozitlerin delinmesinde en çok görülen hasar türüdür. Tabaka ayrılması olarak ta bilinmektedir. Genellikle delik girişinde ve çıkışında olmakla beraber delik yüzeyinde de meydana gelmektedir. Deformasyon, takım ucunun basma kuvvetinden ya da talaş kaldırma esnasında meydana gelen çekme kuvvetinden dolayı

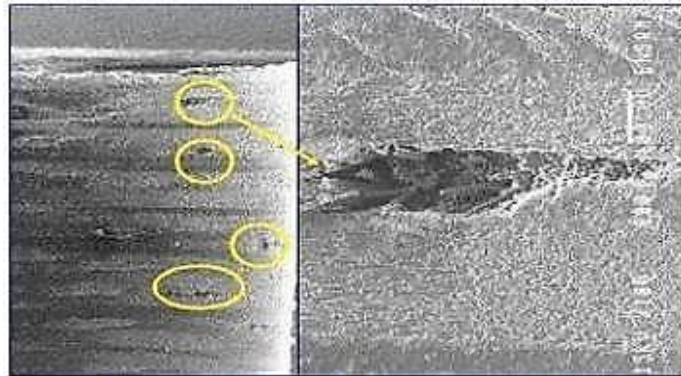
meydana gelmektedir. Deformasyon kompozit malzemenin dayanımını önemli derecede düşürmektedir. Bu yüzden düşük seviyede tutulması gerekmektedir. Delme işleminden kaynaklanan hasarlardan dolayı uçak endüstrisinde kompozit parçaların yüzde %60 atıl duruma gelmektedir (Liu, 2012). Şekil 1.22’de delik girişi ve çıkışındaki deformasyonlar gösterilmiştir.



Şekil 1.22. Delik girişi ve delik çıkışındaki deformasyonlar (Azmi, 2012)

1.4.2. Elyaf kırılması

Özellikle yüksek ilerleme ve düşük iş mili devrinde yapılan delme işlemlerinde elyaf kesilmeden malzemedan ayrılmaya maruz kalmaktadır. Bu nedenden dolayı elyaf malzemedan koparak ayrılmakta ve matris içerisinde boşluklar meydana gelmektedir. Bu durum kötü yüzey kalitesinin elde edilmesine, takımın daha hızlı aşınmasına ve malzeme dayanımının düşmesine neden olmaktadır. Şekil 1.23’te delme işlemi esnasında elyaf kopması meydana gelmiş bir kompozitin sem görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 1.23. Elyaf kopması (Çavuş, 2015)

1.4.3. Matris yanması

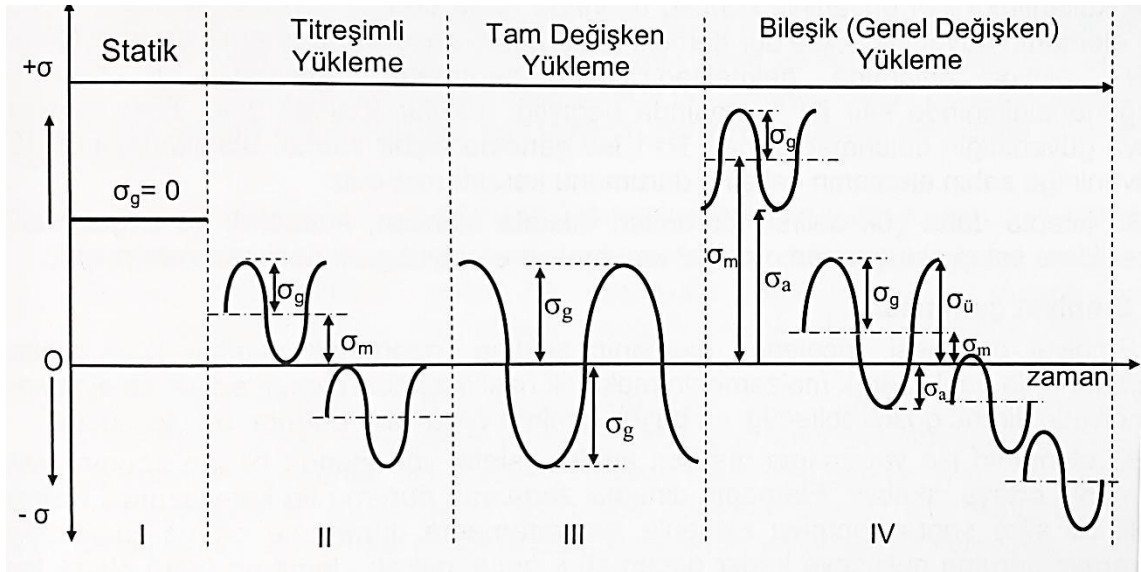
Delme işleminde yanlış takımın seçilmesi ya da yüksek iş mili devri gibi yanlış delme parametrelerinin seçilmesi durumunda delik bölgesinde yüksek sıcaklıklar meydana gelmekte ve matrisin yanmasına neden olmaktadır. Şekil 1.24'te matris yanması meydana gelmiş kompozite ait bir görüntü gösterilmiştir.



Şekil 1.24. Matris yanması

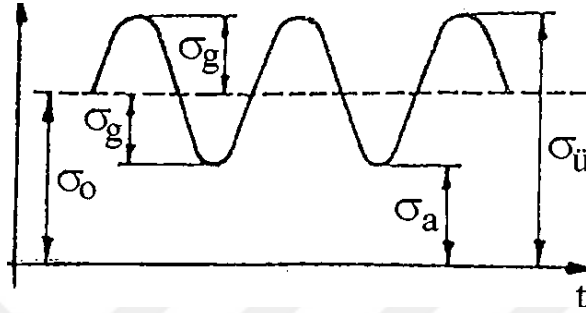
1.5. Yorulma

Makine elemanları kullanım esnasında tekrarlı yüklere maruz kalmaktadır. Bir makine elemanında yük statik yükün altında olmasına rağmen belli bir süre sonra makine elemanında hasar meydana gelebilmektedir. Bu duruma yorulma denilmektedir. Yorulma olayında ilk önce çatlak başlamakta, sonrasında ilerlemekte ve en son hasar meydana gelmektedir. Makine elemanları değişik şekillerde yüklemelere maruz kalmaktadır. Şekil 1.25'te yükleme şekilleri gösterilmiştir.



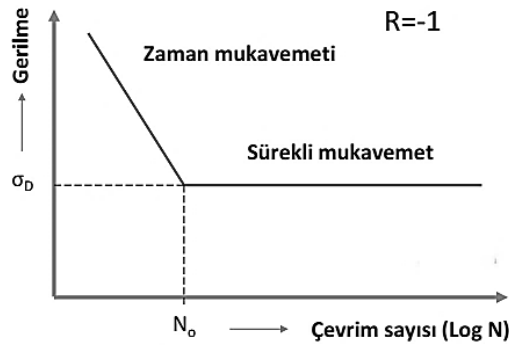
Şekil 1.25. Yükleme şekilleri (Koç, 2013)

I no'lu statik yüklemde yük sabittir ve zamandan bağımsızdır. II no'lu titreşimli yüklemde yükler pozitif veya negatif şekilde değişir. III no'lu tam değişken yüklemde yükler üst ve alt yük değerleri arasında periyodik olarak değişir. IV no'lu bileşik yüklem durumunda ise hem titreşimli yüklem hem de tam değişken yüklem şekli söz konusudur (Koç,2013). Yorulma deneyleri çoğunlukla Şekil 1.26'da gösterildiği gibi değişken yüklem şeklinde gerçekleştirilmektedir (Babalık ve Çavdar, 2012).



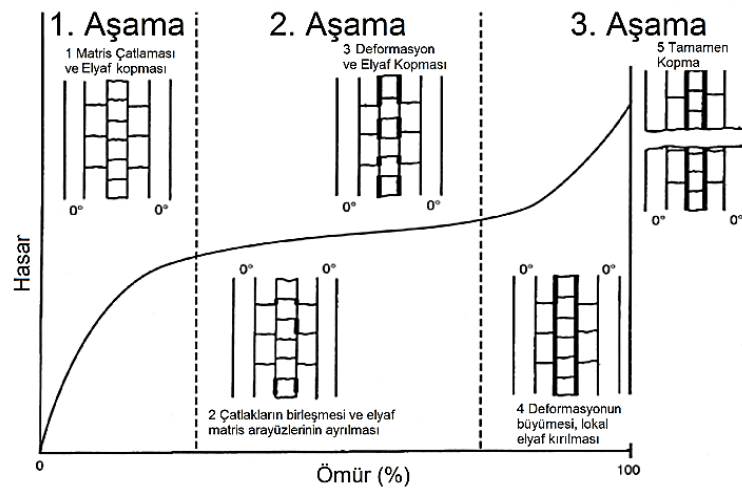
Şekil 1.26. Yüklem profili (Babalık ve Çavdar, 2012)

Hasar oluşana kadar geçen süre ya da çevrim sayısına yorulma ömrü denilmektedir. Yorulma ömür eğrisinin (Wöhler eğrisi) elde edilebilmesi için yük seviyesi gittikçe düşürülerek yük seviyelerine denk gelen çevrim sayıları tespit edilir. Ancak malzeme için bir alt yük seviyesinde malzemenin çevrim sayısı sonsuz kabul edilir ki buna sonsuz ömür ya da sürekli mukavemet (σ_D) değeri denilir. Yorulma eğrisi zaman ve sürekli mukavemet (ya da sonsuz ömür) olmak üzere iki bölümden meydana gelmektedir. Tipik bir yorulma ömür eğrisi Şekil 1.27'de gösterilmiştir. Bir makine elemanının yorulma ömrü birçok değişkene bağlıdır. Makine elemanının geometrisi, yükün uygulanış biçimi, ortamın sıcaklığı, ortamın korozif olması, ortalama gerilmenin etkisi, parça büyüklüğünün etkisi, kalitesi, çentik etkisi bu değişkenlerden bazılarıdır.



Şekil 1.27. Yorulma ömür eğrisinin bölümleri (Koç, 2013)

Kompozit malzemelerde hasar ilerlemesi metal malzemelerden çok farklıdır. Metallerin yorulmasında başlangıçta bir hasar görülmez, ancak ilerleyen sürede çatlak meydana gelir ve hasar yavaş hızlarda çatlak boyunca ilerler. Daha sonra ise hasar çatlak boyunca yüksek hızlarda ilerleyerek kopma şeklinde gerçekleşir. Kompozit malzemelerde ise yorulma hasarının ilerlemesi Şekil 1.28’de gösterildiği gibi 3 kısma ayrılabilir. Metallerin aksine yorulma hasarı daha yorulma ömrünün ilk kısmında matrisin çatlamasıyla başlar. Yorulma ömrünün ikinci kısmında ise matris çatlakları birleşir, elyaf kopmaları ve matris - elyaf ara yüz ayrılımları meydana gelir. Yorulma ömrünün son kısımlarında deformasyonlar büyür ve elyaf kopmaları hızla artar ve sonunda kompozit malzemede kopma hasarı gerçekleşir.

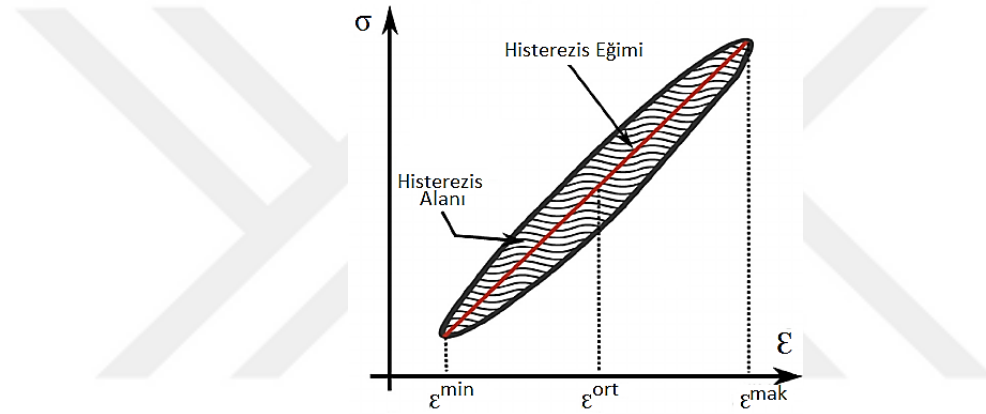


Şekil 1.28. Kompozit malzemelerde hasar ilerlemesi (Schaff, 2001)

Mühendislik malzemelerinin yorulma ömürlerinin tahmini için gerilme-yorulma tahmin yöntemi, şekil değişimi- yorulma tahmin yöntemi ve lineer elastik kırılma mekaniği tahmin yöntemi gibi farklı yöntemler mevcuttur. Her üç yöntemde yorulma ömrünün çevrim sayısı cinsinden tahminine dayanmaktadır (Topkaya, 2017). $N \leq 10^3$ olduğu durumlarda düşük çevrim yorulması, $N \geq 10^3$ olduğu durumlarda yüksek çevrim yorulması olarak isimlendirilir. Gerilme- yorulma tahmin yöntemi stres seviyelerine dayanan tahmin yöntemidir. En kolay ve en uygulanılabilir tahmin yöntemidir. Şekil değişimi- yorulma tahmin yönteminde şekil değişimleri incelenir ve yorulma davranışını açıklamak için kullanılabilir en iyi yöntemdir. Yorulma hasarı gerilme yığılmalarının arttığı çentik, çatlak vb. bölgelerde başlar. Meydana gelen gerilme yığılması malzemenin elastiklik limitini geçince plastik şekil değişimi meydana gelir. Bu durumda meydana gelen yorulma çatlağı ilerleyerek kalıcı hasara neden olur. Lineer

elastik kırılma mekaniği yönteminde bir çatlakın var olduğu varsayımı yapılır. Daha sonra gerilme yoğunluğuna göre çatlak büyümesinin tahmini yapılır (Budynas ve ark.).

Ancak kompozitlerin anizotropik yapısı nedeniyle yorulma ömrünün belirlenmesi için çatlak ilerlemesi yöntemi tercih edilmez. Bu nedenle kompozitlerde yorulma ömrü tahmini gerilme veya şekil değiştirme yöntemleri ile hesaplanır. Ayrıca malzemelerde yorulma davranışı, şekil değişim enerjisinin incelenmesi ile elde edilebilmektedir. Histerezis eğim açısı ($\Delta\sigma/\Delta\varepsilon$) malzemenin rijitlik göstergesi olarak tanımlanabilmektedir. Şekil 1.29'da bir histerezis çevrimi gösterilmiştir (Benaarbia ve ark., 2015). Histerezis eğrisinin eğim açısının azalması malzemenin rijitliğini kaybettiği anlamına gelmektedir.

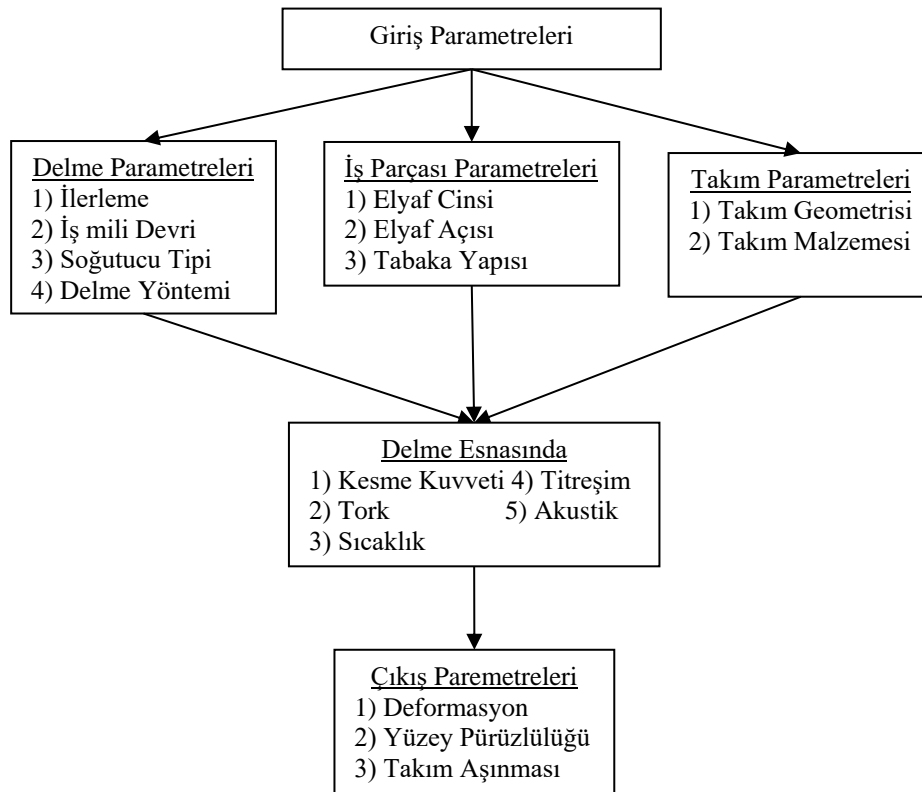


Şekil 1.29. Histerezis eğrisi (Benaarbia ve ark., 2015)

Hazırlanan bu doktora tezinin iki amacı vardır. Tezin birinci amacı UD, +45/-45 ve 0/90 elyaf yönlendirme açılara sahip KETP kompozitlerin farklı kesici takımlarla delinmesinde iş mili devrinin ve ilerleme oranının kesme kuvveti, deformasyon ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini araştırmaktır. Tezin ikinci amacı ise farklı iş mili devri ve farklı ilerleme oranlarında farklı kesici takımlarla kompozitlerin delinmesinde meydana gelen deformasyonların KETP'lerin çekme kuvveti ve yorulma ömrü üzerine etkilerini belirlemektir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Delme işlemlerinde delme parametreleri, iş parçası parametreleri ve takım parametreleri giriş parametreleri olarak kabul edilirken, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve deformasyon çıkış parametreleri (delme kalitesi) olarak tanımlanmaktadır (Panchagnula ve ark., 2017). Şekil 2.1’de kompozitlerin delinmesinde giriş ve çıkış parametreleri gösterilmiştir. Literatür çalışmaları incelendiğinde delme kalitesinin; giriş parametreleri ile kontrol altına alınmaya çalışıldığı görülmüştür. Delme kalitesinin iyi olması için giriş parametrelerinin doğru seçilmesi oldukça önemlidir. Birçok araştırmacı delme kalitesi ile çıkış parametreleri arasındaki ilişkiyi inceleyip çeşitli matematiksel modeller geliştirmiş ve optimizasyonlar gerçekleştirmiştir. Ancak delme kalitesinin malzemenin dayanımına, yorulma ömrüne etkisi göz ardı edilmiş ya da az sayıda araştırmacının dikkatini çekmiştir. Bu tezde bu noktaya dikkat çekilmiştir. Tezin literatür özeti iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısmında giriş parametrelerinin delme kalitesine etkileri ile ilgili çalışmaların özetleri, ikinci kısmında ise delme kalitesinin malzemenin dayanımına ve yorulma ömrüne etkisi ile ilgili çalışmaların özetleri verilmiştir.



Şekil 2.1. Kompozitlerin delinmesinin sistematik gösterimi

2.1. Giriş Parametrelerinin Delme Kalitesine Etkisi

Literatürde giriş parametrelerinin delme kalitesine etkisi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Araştırmacılar, çok değişik geometrilere ve malzemelere sahip takımlar kullanarak kompozit malzemelerin, farklı ilerleme oranlarında, iş mili devirlerinde ve farklı soğutucu tipleri kullanılarak değişik delme yöntemleriyle delme işlemlerini gerçekleştirmişlerdir. Delme işlemlerinde farklı uç açlarına ve farklı sayıda kesme ağızlarına sahip olan ağaç takım uçları, karot takım uçları, kademeli takım uçları, hançer uçlu takım uçları ve özel olarak üretilmiş takım uçları kullanılmıştır. Bunun yanında takım uç malzemesi olarak en çok HSS, WC, PCD takımlarla bu takımların AlTiN, TiCN, TiN gibi kaplama tipleri tercih edilmiştir. Kompozitlerin delme işlemlerinin çok geniş iş mili devirleri arasında 100 – 40000 dev/dk ve çok geniş ilerleme oranları arasında 0.005– 1.0 mm/dev yapıldığı görülmüştür. MSS (minimum soğutma sıvısı) sistemi dışında basınçlı hava, CO₂, N gibi gazlar soğutucu akışkan olarak kullanılmıştır. Ayrıca geleneksel delme yöntemine alternatif olarak ultrasonik titreşim destekli delme, lazer ile delme, su jeti ile delme, elektro erozyon yöntemi ile delme, karot ile delme gibi değişik geleneksel olmayan delme yöntemleri de denenmiştir.

Araştırmacıların çoğu delme kalitesini etkileyen en önemli delme parametresinin ilerleme oranı olduğunu (Ogawa ve ark., 1997; Davim ve ark., 2003; Abrao ve ark., 2008; Sedlacek ve Slany, 2010; Feito ve ark., 2016) ve ilerleme oranının artmasıyla delme kalitesinin azaldığını tespit etmişlerdir (Davim ve ark., 2003; Davim ve ark., 2004; Tsao ve ark., 2005; Arul ve ark., 2006; Sardinas ve ark., 2006; Gaitonde ve ark., 2008; Rubio ve ark., 2008; Rawat ve ark., 2009; Khasaba ve ark., 2010; Kilickap, 2010). Bazı araştırmacılar iş mili devri arttıkça delme kalitesinin düştüğünü (Davim ve ark., 2003; Davim ve ark., 2004; Sardinas ve ark., 2006; Kilickap, 2010) bazı araştırmacılar ise iş mili devri arttıkça delme kalitesinin arttığını (Gaitonde ve ark., 2008; Rubio ve ark., 2008; Rawat ve ark., 2009; Khasaba ve ark., 2010) belirtmişlerdir. Aynı şekilde takım uçasının artmasıyla delme kalitesinin azaldığını gözlemleyen araştırmacılar olduğu gibi (Duraõ ve ark., 2006; Singh ve ark., 2008; Kilickap, 2010; Shetty ve ark., 2016), delme kalitesinin arttığını da (Gaitonde ve ark., 2008; Karnik ve ark., 2008; Jayabal ve ark., 2010; Heisel ve ark., 2012; Feito ve ark., 2014) gözlemleyen araştırmacılar olmuştur. Delme parametrelerinin delme kalitesine etkisini inceleyen araştırmacıların yapmış oldukları çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Gaitonde ve ark. (2008) KETP kompozitlerin delinmesinde delme parametrelerinin ve takım uç açısının deformasyon üzerine etkilerini araştırmışlardır.

Delme işlemlerini 5 mm çapında 85°, 115° ve 130° uç açısına sahip WC takımlar ile 60, 120 ve 600 m/dk kesme hızlarında ve 1, 3 ve 6 m/dk ilerleme değerlerinde gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, yüksek kesme hızının deformasyonu düşürmede önemli bir rol oynadığını, ilerleme değerinin ve takım uç açısının artmasıyla deformasyonun arttığını ve minimum deformasyonun küçük uç açısına sahip takım ile düşük ilerleme değerinde ve yüksek kesme hızında yapılan delme işleminden elde edildiğini deneysel olarak ispatlamışlardır.

Feito ve ark. (2014) dokuma KETP kompozitlerin delinmesinde takım uç açısının, takım aşınmasının, kesme hızının ve ilerleme oranının kesme kuvveti ve deformasyon üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarında 90°, 118° ve 140° uç açılına sahip honlanmış, aşınmış (daha önce kullanılmış) ve kaplamasız karbür uçlar kullanarak; 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev ilerleme oranlarında ve 25, 50 ve 100 m/dk kesme hızlarında delme işlemini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, her üç takım uç açısı ile yapılan delme işlemlerinde benzer deformasyonların elde edildiğini gözlemlemişlerdir. Kesme hızı arttıkça kesme kuvvetinin hafif bir şekilde azaldığını, ilerleme oranı arttıkça kesme kuvvetinin arttığını tespit etmişlerdir. Takım uç açısının artmasıyla; kesme kuvvetlerinin arttığını, girişteki deformasyonun azaldığını ancak delik çıkışındaki deformasyonun arttığını, en iyi delme sonuçlarının kaplamasız karbür takım ucuyla yapılan delme işlemlerinden elde edildiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca kesme kuvveti ve deformasyonu etkileyen en önemli parametrenin takım geometrisi ile ilerleme oranının olduğu sonucunda varmışlardır.

Feito ve ark. (2015) başka bir çalışmalarında dokuma KETP'lerin delinmesinde takım geometrisinin deformasyon, tork ve kesme kuvvetine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarında KETP kompozitleri; 6 mm çapında ağaç takım ucu, kademeli takım ucu ve rayba takım ucu kullanarak 25, 50 ve 100 m/dk kesme hızlarında 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev ilerleme oranlarında delmişlerdir. Ayrıca takım ucunun, ilerleme oranının ve kesme hızının deformasyona etkilerini tespit için ANOVA varyans analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, kademeli ve ağaç takım uçları ile yapılan delme işlemlerinde deformasyonu etkileyen en önemli parametrenin ilerleme oranı olduğunu, rayba takım ucu ile yapılan delme işlemlerinde ise kesme hızının deformasyonu etkileyen en önemli parametre olduğu tespit etmişlerdir. Ayrıca en düşük deformasyon ve kesme kuvvetinin rayba takım ucu ile yapılan delme işlemlerinden elde edildiğini, en yüksek kesme kuvvetlerinin ise ağaç takım ucu ile yapılan delme işlemlerinden elde edildiğini; delik girişinde en büyük deformasyonun kademeli takım

ucuyla yapılan delme işleminde, delik çıkışında ise en büyük deformasyon ağaç takım ucu ile yapılan delme işlemlerinden elde edildiğini tespit etmişlerdir.

Abrao ve ark. (2007) CETP ve KETP kompozitlerin delinmesi ile ilgili bir literatür araştırması yapmışlardır. Çalışmalarında takım malzemesi ve geometrisi, delme parametrelerini inceleyip, kesme kuvveti, tork ve yüzey kalitesine etkilerini araştırmışlardır. Onlar; çoğu araştırmacının delme işlemlerini HSS ve WC takım ucu kullanarak 20- 60 m/dk kesme hızları arasında, ilerleme oranının 0.3 mm/dev'den küçük olacak şekilde gerçekleştirdiklerini gözlemlemişlerdir. Takım çapının 10 mm'den büyük olması durumunda yüksek kesme hızlarında sıcaklığın artacağına ve matris malzemesinin yumuşamasına neden olacağına; ilerleme ile deformasyonun arttığına ve ilerleme oranının 0.3 mm/dev'den büyük olması durumunda deformasyonun çok daha büyük olacağına dikkat çekmişlerdir.

Sriraman ve ark. (2015) KETP kompozitlerin delinmesinde delme parametrelerinin deneysel optimizasyonlarıyla ilgili bir çalışması yapmışlardır. Çalışmalarında delme işlemlerini AlTiN alaşım kaplamalı takım ucuyla MSS (minimum soğutma sıvısı) sistemi kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, MSS sistemi ile gerçekleştirilen delme işlemlerinde kesme performansının, takım ömrünün ve yüzey kalitesinin kuru delme işlemine göre daha iyi olduğunu, kuru kesme şartlarında takım ömrünün 80 delik iken MSS sisteminde ise 110 delik olduğunu belirtmişlerdir.

Priarone ve ark. (2017) KETP kompozitlerin delinmesinde işleme parametrelerinin ve farklı boyutlarda elmas parçacıkları ile kaplanmış karot takım ucunun; deformasyon ve kesme kuvveti üzerine etkilerini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada 63/53, 125/106, 212/180 ve 212/180+63/53 µm boyutunda elmas parçacıkları ile kaplanmış 6 mm çapında karot takım ucuyla; 30 ve 40 m/dk kesme hızlarında, 0.02 ve 0.06 mm/dev ilerleme oranlarında KETP kompozitleri delmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, ilerleme oranının kesme kuvveti ve deformasyon üzerinde önemli bir etkisinin bulunduğu, en kaba elmas parçacıkları ile kaplanmış takım ucuyla yapılan delme işlemlerinde deformasyonun, kesme kuvvetinin ve torkun daha düşük elde edildiğini tespit etmişlerdir.

Dogrusadik ve ark. (2017) KETP kompozitlerin; 0.5 mm çapında kaplamasız sert karbür takım ile 20000, 30000 ve 40000 dev/dk iş mili devirlerinde ve 0.003, 0.005 ve 0.007 mm/dev ilerleme oranlarında delinmesinde destek plakalarının deformasyon üzerine etkilerinin araştırılması ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Deneplerinde iki

farklı destek plakası kullanmışlardır. Birincisinde KETP kompozitin üst kısmına alüminyum alt kısmına fenolik (benzen halkası içeren) plaka; ikincisinde ise üst kısmına pirinç plaka alt kısmına ise tahta plaka yerleştirmişlerdir. Her iki durum için 242 delik delmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, ilerleme oranının iş mili devrine göre deformasyon üzerinde daha etkili olduğunu; KETP delinmesinde desteksiz delme durumunda başlangıçta daha az deformasyon olduğu ancak delme sayısı arttıkça deformasyonun arttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca destek plakalarının deformasyonu bir miktar engellediğini ancak beraberinde yüzeye zarar verdiğini; destek plakası kullanıldığı durumlarda destek plakası kullanılmadan yapılan delme durumuna göre deformasyonun biraz azaldığı gözlemlenmiştir. Bunun yanında destek plakası kullanılmadan yapılan delme işlemlerinde en az deformasyonun 0.005 mm/dev ilerleme oranı ve 40000 dev/dk iş mili devrinde elde edildiğini; fenolik plaka destekli delme işlemlerinde en az deformasyonun 0.005 mm/dev ilerleme oranı ve 30000 dev/dk iş mili devrinde, ahşap plaka destekli delme işlemlerinde ise en az deformasyonun 0.007 mm/dev ilerleme oranı ve 20000 dev/dk iş mili devrinde elde edildiğini ifade etmişlerdir.

Debnath ve ark. (2017) KETP kompozitlerin titreşim destekli delinmesi ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında titreşim destekli delme yöntemi ile geleneksel delme yöntemini karşılaştırarak; ilerleme oranının, iş mili devrinin, takım geometrisinin, titreşim frekansının ve genliğinin, kesme kuvveti ve deformasyona etkilerini her iki delme yöntemi için deneysel olarak incelemişlerdir. Delme işlemlerini 4 ağızlı, kademeli ve parabolik takımlar kullanarak 1200, 1800 ve 2400 dev/dk iş mili devirlerinde, 0.045, 0.075 ve 0.105 mm/dev ilerleme oranlarında gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, kuvvet titreşiminin titreşim destekli delmede çok daha yüksek olduğunu, her üç takım ucu ile yapılan delme işlemlerinde kuvvet sinyallerinin geniş periyodik salınım yaptığını gözlemlenmiştir. Ancak titreşim destekli delme yönteminde kesme kuvvetlerinin ve deformasyonların geleneksel delme yöntemine daha düşük elde edildiğini açıklamışlardır. Ayrıca kesme kuvvetinin ve deformasyonun, iş mili devri ve titreşim genliği ile azaldığını, kesme kuvvetinin ilerleme oranı ve titreşim frekansı ile doğrusal olarak arttığını; kademeli takım ucuyla gerçekleştirilen delme işlemlerinde daha iyi sonuçlar elde edildiğini tespit etmişlerdir.

Geier ve ark. (2017) tek yönlü KETP kompozitlerin geleneksel ve orbital delme için delme parametrelerinin optimizasyonu ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında kesici takım olarak 11.138 mm çapına sahip 60° ve 130° çift uç açılı

elmas kaplı HSS takım ucu ve WC parmak freze ucu seçmişlerdir. KETP kompozitlerin geleneksel delme işlemleri, çift uç açılı elmas kaplı HSS takım ile 0.035, 0.043, 0.064, 0.078 ve 0.093 mm/dev ilerleme oranlarında ve 50, 65, 100, 135 ve 150 m/dk kesme hızlarında; orbital delme işlemlerini parmak freze ile 0.020, 0.028, 0.040, 0.051 ve 0.060 mm/dev ilerleme oranlarında ve 50, 70, 100, 130 ve 150 m/dk kesme hızlarında gerçekleştirilmiştir. Daha sonrasında kesme kuvveti, deformasyonu ve yüzey pürüzlülüğünü ANOVA ve RSM yöntemlerini kullanarak optimize edip modellemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, orbital delme işleminde 50 m/dk kesme hızı ve 0.049 mm/dev ilerleme oranının optimum parametreler olduğunu, WC parmak freze ucunun, çift uç açısına sahip elmas kaplı HSS uç ile yapılan delme işlemlerine göre daha iyi sonuçlar verdiğini, kesme kuvveti ve deformasyonu etkileyen en önemli parametrenin ilerleme olduğunu, yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametrenin ise iş mili devri olduğunu belirtmişlerdir.

Makhdum ve ark. (2014) ultrasonik titreşim destekli delmenin KETP kompozitler üzerine etkisi ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Delme deneylerini 3 mm çapında 118° uç açısına sahip TiN kaplı çift ağızlı karbür uç kullanarak 40 dev/dk sabit iş mili devri ve 2, 4, 8, 12, 16 ve 20 mm/dk ilerleme değerlerinde gerçekleştirmişlerdir. Delme işlemi esnasında takım ucuna yüksek frekanslı titreşimler göndererek, kesme kuvveti, deformasyonu ve delme sıcaklıklarını ölçmüşlerdir. Ayrıca Abaqus programı ile delme simülasyonlarını gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, ultrasonik destekli delme işleminde kesme kuvvetinin geleneksel delme işlemine göre %80 oranında daha düşük olduğunu; ultrasonik destekli delme işleminde yüzey pürüzlülüklerinin ve deformasyonun daha düşük olduğunu; ancak ultrasonik destekli delme işleminde delme sıcaklıklarının daha yüksek olduğunu, Abaqus ile yapılan delme simülasyonlarının deneysel çalışma sonuçlarına benzer sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

Jia ve ark. (2016) KETP kompozitlerin delinmesinde meydana gelen hasarları azaltmak için yeni bir takım geometrisi geliştirmişlerdir. Takım ucunun minör kesme kısmına helisel testere dişleri açmışlardır. Delme işlemlerini testere dişli ve klasik WC takım kullanarak 3000 dev/dk sabit iş mili devri ve 150 mm/dk sabit ilerleme değerinde gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, testere dişli takım ucu ile açılan delik sayısının geleneksel takım ucu ile açılan delik sayısından yaklaşık 6 kat daha fazla olduğunu ve testere dişli takım ucu ile yapılan delme işlemlerinde deformasyonun daha

düşük olduğunu, kesme kuvvetlerinde ise çok ciddi bir değişikliğin olmadığını gözlemlemişlerdir.

Klotz ve ark. (2014) çalışmalarında KETP kompozitlerin delinmesinde farklı sabitleme yöntemlerinin kesme kuvveti ve deformasyon üzerindeki etkisini incelemişlerdir. KETP kompozitleri 4 farklı noktadan sabitleyerek 10 mm çapında sert karbür takım ucuyla 3000 mm/dev sabit iş mili devri ve 300 mm/dk sabit ilerleme değerinde delmişlerdir. 4 noktadan sabitlenerek yapılan delme işlemlerinde delme hasarının önemli derecede arttığını ve maksimum kesme kuvvetinde bir artış olmadığını ancak maksimum kuvvete ulaşma süresinin biraz geciktiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca sabitleme noktalarının deliğe yakın olması durumunda hasarın daha az olduğuna dikkat çekmişlerdir.

Karpat ve ark. (2012) dokuma KETP kompozitlerin çift uç açılı takım uçlarıyla delinmesiyle ilgili bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada 5000, 75000 ve 10000 dev/dk iş mil devirlerinde ve 40, 60, 100 ve 150 mm/dk ilerleme değerlerinde $140^{\circ}/60^{\circ}$ (6.35 mm çapında kaplamasız karbür), $130^{\circ}/60^{\circ}$ (6.91 mm çapında elmas kaplı karbür) ve $140^{\circ}/60^{\circ}$ (6.38 mm çapında elmas kaplı karbür) uç açılara sahip takım uçlarıyla delme işlemlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, kesme kuvveti ve torkun ilerleme değerinin artması ile birlikte arttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca $140^{\circ}/60^{\circ}$ çift uç açısına sahip kaplamasız karbür ile yapılan delme işlemlerinde kesme kuvveti ve torkun daha az olduğunu, yüksek iş mili devirlerinde gerçekleştirilen delme işlemlerinde ise $140^{\circ}/60^{\circ}$ çift uç açısına sahip elmas kaplı karbür ucun daha iyi sonuç verdiğini gözlemlemişlerdir.

Feito ve ark. (2016) dokuma KETP kompozitlerin delinmesinde takım aşınması ve geometri ile ilgili nümerik çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında 6 mm çapında HSS, kademeli ve honlanmış takım uçlarını kullanarak 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev ilerleme oranlarında ve 25, 50 ve 100 m/dk kesme hızlarında delme parametrelerinde delme işlemlerini gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca Abaqus/Explicit ile nümerik analizlerini yaparak deneysel sonuçlar ile kıyaslamışlardır. Çalışmalarının sonucunda, en az kesme kuvvetinin ve deformasyonun kademeli takım ucuyla yapılan delme işlemlerinde elde edildiğini, en yüksek kesme kuvvetlerinin honlanmış takım ucuyla yapılan delme işlemlerinden elde edildiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca nümerik analiz ile deneysel çalışmalarının birbirine yakın sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Yardımeden ve ark. (2014) KETP kompozitlerin delinmesinde kesme parametrelerinin ve takım uç açısının deformasyon ve kesme kuvveti üzerine etkilerini

incelemişlerdir. KETP kompozitlerin delme deneylerini 5 mm çapında 90°, 118° ve 130° uç açılına sahip sert karbür takım uçları kullanarak 2000, 3500 ve 5000 dev/dk iş mili devirlerinde; 0.10, 0.15 ve 0.2 mm/dev ilerleme oranlarında gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, ilerleme oranının ve uç açısının artması ile kesme kuvvetlerinin ve deformasyonların arttığını, iş mili devrinin artması ile kesme kuvvetlerinin arttığını ancak deformasyonun azaldığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca en düşük kesme kuvveti ve en düşük deformasyonun, 90° uç açısına sahip takım ucuyla 0.10 mm/dev ilerleme oranında yapılan delme işlemlerinde gerçekleştiğini tespit etmişlerdir.

Eneyew ve ark. (2014) UD KETP kompozitlerin delinmesinde yüzey kalitesi ve meydana gelen hasar ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada 6.35 mm çapında PCD takım ucu kullanarak 1500, 3000, 4500 ve 6000 dev/dk iş mili devirlerinde ve 0.064, 0.128, 0.192, 0.256 ve 0.320 mm/dev ilerleme oranlarında kompozitlerin delme işlemlerini gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca delme işleminde meydana deformasyonları, kesme kuvvetlerini yüzey pürüzlülüklerini tespit ederek iş mili devri ve ilerleme oranlarının varyans analizlerini de gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, deformasyon, tork, kesme kuvveti üzerinde ilerleme oranının kesme kuvvetinden daha etkili olduğunu, ilerleme oranının artmasıyla kesme kuvveti, tork, deformasyon ve yüzey pürüzlülüğünün arttığını, iş mili devrinin artmasıyla da kesme kuvvetinin, torkun, yüzey pürüzlülüğünün ve deformasyonun azaldığını, en iyi delme şartlarının 6000 dev/dk iş mili devri ve 0.064 mm/dev ilerleme oranında yapılan delme işlemlerinden elde edildiğini gözlemlemişlerdir.

Harris ve ark. (2017) KETP'lerin AlCrN kaplı takım ile delinmesinde delik kalitesi ve takım aşınması incelemişlerdir. Delme işlemlerini 12 mm çapında AlCrN kaplı takım ve HSS takım ile 1300, 2000 ve 2700 dev/dk iş mili devirlerinde ve 0.05 mm/dev sabit ilerleme oranında gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, AlCrN kaplı takımın HSS takıma göre 1300 dev/dk iş mili devrinde daha yüksek deformasyona neden olduğunu ancak 2000 dev/dk ve 2700 dev/dk iş mili devirlerinde daha düşük deformasyona neden olduğunu, her iki takım için en düşük deformasyonların 2700 dev/dk iş mili devrinde yapılan delme işlemlerinden elde edildiğini gözlemlemişlerdir. AlCrN kaplı takımla delinen numunelerde daha düşük yüzey pürüzlülüğünün elde edildiğini, Ayrıca AlCrN kaplı takımın HSS takıma göre daha aşındığını ve artan iş mili devirlerinde takım aşınmasının arttığını tespit etmişlerdir.

Heisel ve ark. (2012) takım uç açısının kesme kuvveti delik kalitesine etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında takım uç açılarının etkilerini görmek için 6 mm çapında olan ve farklı uç açlarına (155°, 175°, 185° ve 185°/175°) sahip sert karbür takım uçları kullanarak CFRP kompozitleri 42.7 m/dk sabit kesme hızında ve 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.30 ve 0.40 mm/dev ilerleme oranlarında delmişlerdir. Ayrıca kesme hızı ve ilerleme oranının kesme kuvveti ve delik kalitesine etkilerini görmek için CFRP kompozitleri 155° uç açısına sahip takım ile 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev ilerleme oranlarında ve 21, 43, 64, 85, 128, 171, 214, 256, 299, 342, 385, 427, 470 ve 513 m/dk kesme hızlarında tekrar delmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda takım uç açısının artmasıyla tork ve kesme kuvvetinin arttığını, en düşük deformasyonların yüksek uç açısına sahip takımlarla yapılan delme işlemlerinden elde edildiğini gözlemlemişlerdir. Kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetinin azaldığını, delik kalitesinin arttığını ve ilerleme oranının artmasıyla delik kesme kuvvetinin arttığını ve delik kalitesinin azaldığını tespit etmişlerdir.

2.2. Delme Kalitesinin Çekme Dayanımı ve Yorulma Ömrüne Etkisi

Turki ve ark. (2014) elyafa atılan dikişlerin ve delme işleminde meydana gelen deformasyonun KETP kompozitin mekanik davranışı üzerindeki etkilerini tespit etmek için deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında deformasyon, kesme kuvveti ve mekanik özellikler ile çatlak yayılımı arasındaki ilişkiyi bulmayı amaçlamışlardır. Bu amaçlara elyafa 10 mm aralıklarla dikiş atmışlardır. 1800, 3000, 4200 ve 6000 dev/dk iş mili devirlerinde ve 0.04, 0.10, 0.20, 0.30 ve 0.36 mm/dev ilerleme oranlarında delme deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, dikiş atılan KETP kompozitlerin delinmesi esnasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin dikişsiz KETP kompozitlere göre daha yüksek olduğu; ilerleme oranının deformasyon ve kesme kuvveti üzerinde iş mili devrinden daha etkili olduğunu; düşük ilerleme oranının daha az deformasyona neden olduğunu ve bunun malzeme dayanımını daha az düşürdüğünü; dikişli kompozitlerde ilerleme oranının malzeme dayanımını çok az düşürdüğünü; dikişli kompozitlerin deformasyondan kaynaklanan dayanım düşüşünün dikişsiz kompozitlere göre daha az olduğunu ve çekme dayanımının %20 daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir.

Kilickap ve ark. (2017) CETP kompozitlerin delinmesinde delme parametrelerinin malzeme dayanımına etkisini incelemişlerdir. 6 mm çapında WC ve ağaç takım ucu kullanarak 0.1, 0.2, 0.3 ve 0.4 mm/dev ilerleme oranlarında ve 10 ve 20

m/dk kesme hızlarında delme işlemlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, kesme hızının ve ilerleme oranının artmasıyla deformasyonun arttığını dolayısıyla da malzeme dayanımının azaldığını, WC takım kullanılarak 10 m/dk kesme hızı ve 0.1 mm/dev ilerleme oranında yapılan delme işlemlerinde CETP malzemenin dayanımının daha az düştüğünü açıklamışlardır.

Tao ve ark. (2016) farklı elyaf açılı KETP kompozitlerin elmas kaplı takım ucu ile delinmesi esnasında meydana gelen deformasyonların çekme dayanımı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında deformasyondan kaynaklanan dayanım kaybını tespit etmek için sürekli hasar mekaniği ve kohesizif elemanlar yöntemlerini kullanarak FEM modeli oluşturmuşlardır. Çalışmalarının sonucunda, deformasyonun net bir şekilde dayanım düşüşüne neden olduğunu ve yaklaşık %15 oranında dayanımın düştüğünü belirtmişlerdir.

Langella ve Durante (2008) 6, 8 ve 10 mm çaplarında delikli imal edilen ve 6, 8, ve 10 mm çaplara sahip takım ucuyla 2000 dev/dk ve 0.05 mm/de ilerleme oranında delinen kompozitlerin çekme dayanımlarını karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında delinen kompozitlerin dayanımlarının, delikli imal edilen kompozitlere göre daha düşük olduğunu; delik çapı azaldığında dayanımın arttığını ancak delinen ve delikli imal edilen kompozitler arasındaki dayanım farkının % 15'den% 25'e yükseldiğini tespit etmişlerdir.

Dilli ve ark. (2014) doğal elyaf takviyeli kompozitlerin delinmesinde delme parametrelerinin kompozitlerin çekme dayanımına etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada kenevir, muz, jüt, vakka doğal malzemeleri takviye elemanı olarak kompozitin imal edilmesinde kullanmışlardır. 0.10, 0.20 ve 0.30 mm/dev ilerleme oranlarında ve 16, 24 ve 32 m/dk kesme hızlarında gerçekleştirilen deney sonuçlarına göre kesme hızı, çekme dayanımını etkileyen en önemli parametre olduğunu, doğal elyaf takviyeli kompozitlerde delmeden kaynaklı dayanım düşüşünün minimum olduğu optimum delme parametrelerinin 24 m/dk kesme hızı ve 0.1 mm/dev ilerleme olduğunu tespit etmişlerdir.

Nasır ve ark. (2015) keten elyaf takviyeli kompozitlerin delinmesinde delme koşullarının çekme dayanımı üzerindeki etkisini Taguchi yöntemi kullanarak belirlemeye çalışmışlardır. Deneylerini kademeli takım ve çift ağızlı takım kullanarak 3000 ve 6000 dev/dk iş mili devri ve 0.16 ve 0.24 mm/dev ilerleme oranında delme işlemlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, dayanım kaybında takım uç tipinin ihmal edilebilir olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca kompozit malzemede minimum

dayanım kaybının 0.16 mm/dev ilerleme oranı ve 6000 dev/dk iş mili devrinde yapılan delme işlemlerinde meydana geldiğini gözlemlemiştir.

Mishra ve ark. (2010) yapay sinir ağları (ysa) yöntemini kullanarak delme parametreleri ile kompozit çekme dayanımı arasında bir model üzerine çalışmışlardır. Kompozitlerin delme deneylerini 4 mm çapında 4 farklı takım (4 yüzü, 8 yüzü, parabolik ve Jod), 10, 15 ve 20 mm/dk ilerleme değerlerinde ve 750, 1500 ve 2250 dev/dk iş mili devirlerinde gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, en az dayanım kaybının parabolik takım ile yapılan delme işlemlerinde meydana geldiğini gözlemlemiştir. En fazla dayanım kaybının 10 ve 15 mm/dk kesme hızlarında 4 yüzü takım ucu ile 20 mm/dk kesme hızında ise Jod takım ucuyla yapılan delme işlemlerinde meydana geldiği açıklamışlardır. Ayrıca iş mili devri ve ilerleme değeri azaldıkça gerilmedeki kaybın azaldığını; deneysel verilerinin ysa modeli büyük ölçüde doğruladığını gözlemlemiştir.

Pandit ve ark. (2017) farklı parametrelerde delinen kompozitlerin çekme dayanımlarını incelemiştir. 10, 15 ve 20 mm/dk ilerleme, 1500, 2000 ve 2500 dev/dk iş mili devrinde ve 100 °, 118° ve 135° takım uç açılarıyla gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde yüzey pürüzlülüğünün, çekme dayanımının varyans analizleri yapılmıştır. Çalışmalarının sonucunda, en yüksek çekme dayanımı 118° takım uç açısıyla 2000 dev/dk ve 0.1 mm/dk ilerleme oranıyla yapılan delme işlemlerinde elde edildiğini; varyans analizi sonucu iş mili devrinin çekme dayanımını etkileyen en önemli parametre olduğunu açıklamışlardır.

Karimi ve ark. (2017) CETP kompozitlerin delinmesinde ilerleme ve iş mili devrinin kompozitlerin basma dayanımına etkisini araştırmışlardır. Delme işlemlerin 5 mm çapında HSS takım ucu ile 31.5, 63 ve 125 mm/dk ilerleme ve 315, 630 ve 1000 dev/dk iş mili devirlerinde gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, ilerleme miktarının artması ile basma dayanımlarının düştüğünü, en yüksek basma dayanımının düşük ilerleme ve yüksek iş mili devri ile yapılan delmelerde elde edildiğini tespit etmişlerdir.

Lin ve ark. (1994) delikli üretilen ve sonradan delinen dokuma KETP kompozitlerin yorulma davranışını incelemiştir. Çalışmalarında 0/90 ve +45/-45 elyaf açılara sahip dokuma kompozitler 5, 10, 14 ve 19 mm takım çaplarında delinmiştir. Çalışmalarının sonucunda, takım çapın artmasıyla yorulma ömrünün azaldığını, delikli üretilen kompozitlerin delinen numunelere göre yorulma ömürlerinin

daha fazla olduğunu, +45/-45 elyaf açılarına sahip dokuma kompozitlerin yorulma dayanımlarının daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir.

Saleem (2010) tez çalışmasında işleme parametrelerinin cıvata bağlantılı KETP kompozitlerin mekanik davranışlarına etkisinin araştırılmasıyla ilgili çalışma yapmıştır. Farklı elyaf açılarına sahip KETP kompozit numuneleri su jeti ve geleneksel delme yöntemi ile farklı parametrelerde delme işlemine tabi tutmuştur. Çalışma sonucunda, geleneksel delme yöntemiyle delinen numunelerde su jeti ile delinen numunelere göre %15 oranında daha fazla hasar olduğunu dolayısıyla yorulma ömrünün ve çekme dayanımının düşük olduğunu, 45° elyaf açısına sahip KETP kompozitlerin hasara daha meyilli olduğunu belirtmiştir.

Persson ve ark. (1996) delme esnasında meydana gelen hasarların malzemenin dayanım ve yorulma ömrüne etkisini incelemişlerdir. Delme işlemlerini hem geleneksel delme yöntemi (PCD ve hançer uçlu takım) ile hem de KTH (elmas tanecikli mandrel takım) ismini verdikleri delme yöntemi ile gerçekleştirmişlerdir. KTH delme yönteminde malzeme torna tezgâhına bağlanıp, takım hem eksenel hem de radyal yönde hareket yaparak delme işlemini gerçekleştirmektedir (Zackrisson ve ark., 1999). Ayrıca çalışmalarında hiç kullanılmamış takım ucu ve en az 1000 delik delinen (kullanılmış) takım uçlarını kullanmışlardır. Çalışmalarının sonucunda, en düşük dayanımın ve yorulma ömrünün daha önce kullanılmış PCD takım ucuyla yapılan delme işlemlerinde edildiğini; en yüksek dayanım ve yorulma ömrünün KTH yöntemiyle delinen delme işlemlerinde gerçekleştiğini; kullanılmış takım uçlarıyla yapılan delme işlemlerinde hem dayanımın hem de yorulma ömrünün kullanılmamış takım uçlarına göre düşük olduğunu açıklamışlardır.

Paoletti (2003) delme parametrelerinin ve deformasyonun CETP kompozitlerin yorulma dayanımına etkisini incelemişlerdir. Delme işlemlerini 540 ve 5400 dev/dk iş mili devri ve 0.1 ve 0.2 mm/dev ilerleme oranlarında 3 mm çapa sahip TiAlN kaplı takım ucuyla gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında, hız oranının ($Rcf = \frac{V_c}{f \cdot n}$) azalmasıyla kesme kuvvetinin, torkun, deformasyonun azaldığını, yorulma ömrünün arttığını tespit etmişlerdir. Hız oranının ve deformasyonun yorulma ömrüne etkisinin olmadığını yorulma ömründeki değişimin kompozit içerisindeki mikro çatlaklardan kaynaklandığını iddia etmişlerdir.

Montesano ve ark. (2017) KETP kompozitlerin geleneksel yöntem ve su jeti ile delinmesinin yorulma performansına etkilerini incelemişlerdir. 5 ve 8 harnes satine

sahip dokuma kompozitleri hem geleneksel yöntemle hem de su jeti ile 1000 dev/dk iş mili devri ve 0.125 mm/dev ilerleme oranlarında delmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda her iki malzeme için su jeti ile gerçekleştirilen delme işlemlerinde daha yüksek yüzey pürüzlülüklerinin elde edilmesine rağmen yorulma performansının geleneksel delmeye göre daha iyi olduğunu ve yüzey pürüzlülüğünün tek başına yüzey kalitesinin göstergesi olmadığını dolayısıyla deformasyonlarında incelenmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Tablo 2.1. Literatür özetleri

Kaynak	Delme Yöntemi	İncelenen Parametreler	Sonuç
Turki ve ark. (2014)	Geleneksel	Elyafa atılan dikiş İlerleme Oranı İş Mili Devri	Dikişli KETP'lerin kesme kuvvetlerinin ve çekme kuvvetlerinin daha yüksek elde edildiğini, ilerleme oranı ve iş mili devri arttıkça kesme kuvveti arttığını gözlemlemişlerdir.
Langella ve Durante (2008)	Geleneksel	Delik çapı Delğin elde ediliş şekli (Delikli imal edilmiş ve sonradan delinmiş)	Delinen kompozitlerin dayanımlarının delikli imal edilen kompozitlerden daha yüksek olduğunu, delik çapının artmasıyla dayanım azaldığını belirtmişlerdir.
Lin ve ark. (1994)	Geleneksel	Elyaf açısı Delik çapı Delğin elde ediliş şekli (Delikli imal edilmiş ve sonradan delinmiş)	Delik çapının artmasıyla yorulma ömrü azaldığını, delikli imal edilen KETP'lerin yorulma ömrü daha yüksek elde edildiğini, +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin yorulma ömürleri 0/90 elyaf açılı KETP'lere göre daha düşük elde edildiğini gözlemlemişlerdir.
Saleem (2010)	Geleneksel ve Su jeti	Elyaf açısı	Geleneksel delmede daha fazla deformasyon ve yüzey pürüzlülüğü olduğunu, su jeti ile delinen KETP'lerde daha yüksek çekme dayanımlarının ve yorulma ömürlerinin elde edildiğini belirtmiştir.
Persson ve ark. (1996)	Geleneksel ve KTH	Takım tipi Aşınmış takım Aşınmamış takım	Aşınmamış takımla yapılan delmelerde daha düşük deformasyonlar olduğundan çekme dayanımlarının ve yorulma ömürlerini daha yüksek elde edildiğini KTH yöntemiyle yapılan delmede daha yüksek çekme dayanımlarının ve yorulma ömürlerinin elde edildiğini tespit etmişlerdir.
Paoletti (2003)	Geleneksel	İş mili devri İlerleme oranı	İş mili devri ve ilerleme oranının artmasıyla kesme kuvvetinin arttığını, deformasyonun azaldığını tespit etmiştir. İş mili devri, ilerleme oranı ve deformasyonun yorulma ömrüne etkisi olmadığını, Yorulma ömrünün delik yüzeyindeki mikro çatlaklardan kaynaklandığını belirtmiştir.
Montesano ve ark. (2007)	Geleneksel ve Su jeti	Dokuma şekli	8 satine sahip olan dokuma KETP'lerin 5 satine göre çekme dayanımlarının ve yorulma ömürlerinin daha yüksek olduğunu, Su jeti ile yapılan delme işlemlerinden daha yüksek yüzey pürüzlülükleri elde edilmesine rağmen yorulma performansı da daha yüksek elde edildiğini, Yüzey pürüzlülüğünün tek başına yorulma performansını etkilemediğini, bunun yanında deformasyonlarında incelenmesi gerektiğini belirtmişlerdir.
Bu çalışma	Geleneksel	Takım tipi Elyaf açısı İlerleme oranı İş mili devri	En yüksek çekme kuvvetleri ve yorulma ömürleri WC takım ile düşük ilerleme oranı ve yüksek iş mili devirlerinde 0/90 elyaf açılı KETP'lerden elde edilmiştir.

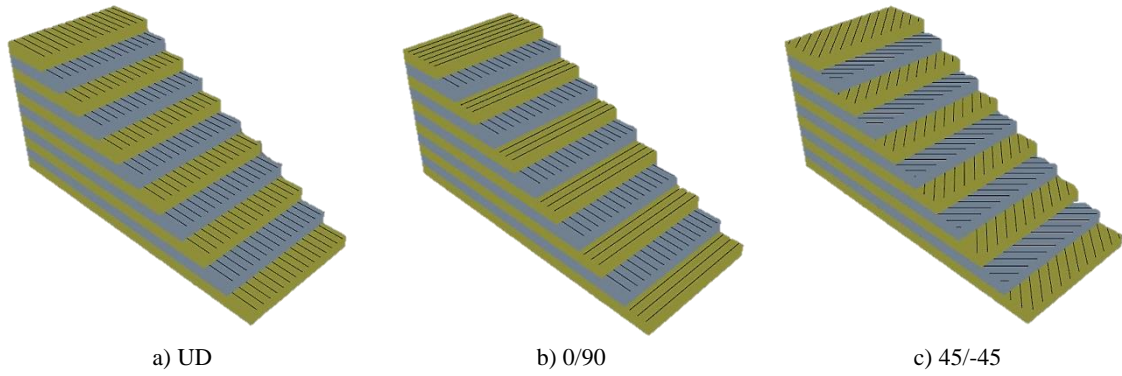
Bu tez çalışmasında UD, 0/90 ve +45/-45 elyaf yönlendirme açılarına sahip Karbon elyaf takviyeli plastiklerin (KETP) delinmesinde, takım tipinin, ilerleme oranının ve iş mili devrinin mekanik özellikler üzerine etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmalar üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada KETP'ler; WC, HSS ve HSS (ağaç) takım uçlarıyla, 1000, 3000 ve 5000 dev/dk iş mili devirlerinde ve 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev ilerleme oranlarında CNC dik işleme tezgâhında delinmiştir. Delme esnasında her bir KETP'in kesme kuvveti ayrı ayrı ölçülmüştür. Sonrasında her bir numunenin yüzey pürüzlülüğü 4 farklı noktadan 3'er defa ölçülerek ortalama yüzey pürüzlülükleri (Ra) bulunmuştur. Ayrıca numunelerin optik görüntüleri çekilerek numunelere ait deformasyon faktörleri tespit edilmiştir. Deneysel çalışmanın ikinci aşamasında KETP'lerin çekme kuvvetleri tespit edilmiştir. Bu aşamada yüzey pürüzlülüğü, deformasyon ve kesme kuvveti ile çekme kuvvetleri arasındaki ilişki incelenmiştir. İşleme parametrelerinin çekme kuvvetleri üzerindeki etki değerlerine göre gruplandırma yapılarak tüm KETP'ler için en az, orta ve en çok etki değerine denk gelen parametrelerde delme işlemi tekrar edilmiştir. Son aşamada ise delinen KETP'ler (en düşük çekme kuvvetleri baz alınarak % 75, %80, %85 ve %90) farklı yük oranlarında yorulma deneyine tabi tutulmuştur. Çalışmanın sonucunda delme parametrelerinin KETP malzemelerin çekme kuvvetine ve yorulma ömrüne etkisi tespit edilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tezin bu kısmında; deneylerde kullanılan kompozit malzemeler, delme işlemlerinde kullanılan kesici takımlar, delme deney düzeneği, kesme kuvveti ölçüm düzeneği, yüzey pürüzlülüğü ölçümü, deformasyon faktörü ölçümü, çekme ve yorulma deney düzenekleri ilgili detaylı bilgiler verilmiştir. Deneysel çalışma üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada KETP'ler; WC, HSS ve HSS (ağaç) takımları kullanılarak, 1000, 3000 ve 5000 dev/dk iş mili devirlerinde ve 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev ilerleme oranlarında CNC dik işleme tezgâhında delinmiştir. Delme esnasında her bir KETP'in kesme kuvveti ölçülmüştür. Sonrasında KETP'lerin yüzey pürüzlülüğü deliğin iç yüzeyinin 4 farklı noktasından 3'er defa ölçülerek ortalama yüzey pürüzlülükleri (Ra) hesaplanmıştır. Ayrıca delinen deliklerin optik görüntülerinden KETP'lere ait deformasyon değerleri tespit edilmiştir. Deneysel çalışmanın ikinci aşamasında, KETP'lerin çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada yüzey pürüzlülüğü, deformasyon ve kesme kuvveti ile çekme kuvveti arasındaki ilişki incelenmiştir. İşleme parametrelerinin çekme kuvveti üzerindeki etki değerlerine göre gruplandırma yapılarak tüm KETP'ler için en az, orta ve en çok etki değerine denk gelen parametrelerde delme işlemi tekrar edilmiştir. Son aşamada ise delinen KETP'ler (en düşük çekme kuvvetleri baz alınarak %75, %80, %85 ve %90) farklı yük oranlarında yorulma deneyine tabi tutulmuştur. Yorulma deneyleri yapılırken hasar ilerlemelerini gözlemlemek amacıyla termal kamera ile belirli çevrim sayılarında KETP'lerin termal görüntüleri alınmıştır.

3.1. Deney Malzemesi

Deneylerde kullanılan KETP'ler Innoma İnovatif Malzeme Teknolojileri San. ve Tic. Ltd. tarafından; UD (Tek yönlü), 0/90 ve +45/-45 elyaf açılı karbon elyafı ile polyester kullanılarak 500 mm x 500 mm x 6 mm ebatlarında üretilmiştir. Daha sonra çekme ve yorulma deneyleri için ASTM D5766–2002 standardına uygun olarak 150 mm x 36 mm x 6 mm ebatlarında kesilmiştir. KETP'ler 11 tabakadan meydana gelmektedir. Şekil 3.1'de çalışmada kullanılan KETP'lerin elyaf dizilimleri gösterilmiştir. Tablo 3.1'de ise tezde kullanılan KETP'lerin özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.1. Kompozit numunelerin elyaf yönlendirme açıları

Tablo 3.1. Kompozit malzemenin özellikleri

YÖN	UD		0/90		+45/-45	
Malzeme	Karbon	Polyester	Karbon	Polyester	Karbon	Polyester
Hacim Oranı (%)	55	45	55	45	55	45
Yoğunluk (g/cm ³)	1.50		1.50		1.50	
Çekme Dayanımı (Mpa)	620,5		684,3		91,4	
Tabaka Sayısı	11		11		11	

3.2. Delme DeneYlerinde Kullanılan Tezgâh ve İşleme Parametreleri

KETP'lerin delinmesinde Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Talaşlı İmalat Laboratuvarında bulunan Brother marka SPEEDIO S500x1 model CNC dik işleme merkezi kullanılmıştır. CNC dik işleme merkezinin özellikleri Tablo 3.2'te, CNC dik işleme merkezinin görüntüsü ise Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. CNC tezgâha ait özellikler

Özellikler	Değerler
Eksen hareketleri (X/Y/Z)	500/400/300
Tabla Boyutu (mm x mm)	600x400
İlerleme (mm/dk)	1–30000
İş Mili Devri (dev/dk)	10–10000
Ana İş Mili Motoru (kW)	10.1/ 6.7
Eksen Motorları (kW)	X,Y: 1.0, Z:2.0
Güç Kapasitesi (kW)	9.5



Şekil 3.2. CNC dik işleme merkezi

Farklı elyaf açlarına sahip KETP'lerin delme işlemleri Tablo 3.3'te verilen delme parametreleri ile soğutucu sıvı kullanılmadan kuru ortam şartlarında 4 defa tekrarlanmıştır.

Tablo 3.3. Delme parametreleri ve seviyeleri




Parametreler	Seviyeler		
İş mili Devri (dev/dk)	1000	3000	5000
İlerleme oranı (mm/dev)	0.05	0.10	0.15

3.3. Delme Deneylerinde Kullanılan Kesici Takımlar

KETP'lerin delinmesinde kullanılan kesici takımların geometrisi ve malzemesi deformasyon, kesme kuvveti, takım aşınması ve yüzey pürüzlüğü gibi parametreleri önemli derecede etkilemektedir. Birçok araştırmacı takım ucu ile bu parametreler arasındaki ilişkiyi incelenmiştir. Araştırmacılar yaptıkları çalışmalarda çok değişik takım uç geometrisi ve malzemesi kullanmışlardır (Lui ve ark., 2012). Uç geometrisi olarak değişik uç açlarına ve ağız sayılarına sahip ağaç, hançer, karot, kademeli, içten yağlamalı (MQL) ve özel olarak tasarlanmış uçlar kullanılırken, takım uç malzemesi olarak ise yüksek hız çeliği (HSS), kaplamalı ve kaplamasız sert karbür (WC), polikristal elmas (PCD) ve değişik kaplamalı takım uçları kullanmışlardır. Tsao ve ark. (2008) çalışmalarında havacılık endüstrisinde en çok kullanılan takım çapının 6 mm

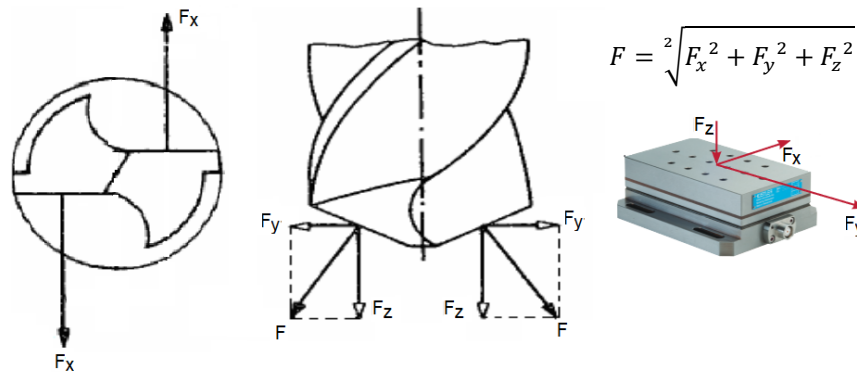
olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada kesici takım olarak çapı 6 mm olan ve çoğu araştırmacının çalışmalarında sıklıkla kullandığı 140° uç açısına sahip WC takım ucu (T1), 118° uç açısına sahip HSS takım ucu (T2) ve ağaç (HSS) (T3) takım uçları seçilmiştir. Tablo 3.4’de takım uçlarına ait bilgiler verilmiştir. T1 takım ucunun ısı iletkenlik katsayısı 63-84 W/mK (Hugh, 1996; Shackelford, 2001) ve sertliği 1700-1800 HV’dir (Tosun ve ark., 2010). T2 ve T3 takım ucunun ısı iletkenlik katsayısı 24 W/mK (Anonim, 2017) ve sertliği 850-920 HV’dir (Tosun ve ark., 2010)

Tablo 3.4. Kesici takımın özellikleri

No	Takım Malzemesi	Çap (mm)	Ağz Sayısı	Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)	Uç Tipi	Sertlik (HV)	Helis Açısı(°)	Kesici Takım Görüntüsü
T1	Sert Karbür (WC)	6	2	63-84	140°	1700-1800	30	
T2	Yüksek Hız Çeliği (HSS)	6	2	24	118°	850-920	30	
T3	Yüksek Hız Çeliği (HSS)	6	2	24	Ağaç	850-920	30	

3.4. Kesme Kuvveti Ölçümü

Kesme kuvveti delme işlemlerinde kesici takımın ilerlemesine karşı meydana gelen tepki kuvvetidir. Kesme kuvvetinin ilerleme oranı, iş mili devri, kesici takım malzemesi ve geometrisi gibi parametrelerden etkilendiği bilinmektedir (Jain ve ark., 1993; Arul ve ark., 2006; Tsao ve ark, 2012; İşbilir ve ark., 2013; Panchagnula ve ark., 2017). Şekil 3.3’te delme işlemi esnasında meydana gelen kesme kuvvetleri gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Delme esnasında meydana gelen kesme kuvvetleri (Kıvık, 2007)

Tablo 3.5. Kistler 9257B dinamometrenin özellikleri (Kistler, 1997)

Kuvvet Aralığı (F_x, F_y, F_z)	5...10 KN
Tepki Verme	< 0.01 N
Hassasiyet F_x, F_y	-7.5 pC/N
Doğrusallık	% 1 FSO
Histerezis	% 0.5 FSO
Doğal Frekans $f_0(x, y, z)$	3.5 kHz
Kapasitans	220pF
20°C'deki Yalıtım Direnci	>103 Ω

Dinamometreden alınan kuvvet sinyalleri amplifikatörden RS232C bağlantısı ile bilgisayara aktarılıp Dynaware yazılımı ile grafik verileri elde edilmiştir. Kesme kuvveti ölçüm düzeneği Şekil 3.5'te gösterilmiştir.

**Şekil 3.5.** Kesme kuvveti ölçüm düzeneği

3.5. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Delinen KETP'lerin yüzey pürüzlülükleri Batman Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü İmalat Laboratuvarında bulunan TimeSurf T200 marka yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Time Surf Tr2000 yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazına ait özellikler Tablo 3.6'da cihaz görüntüsü ise Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

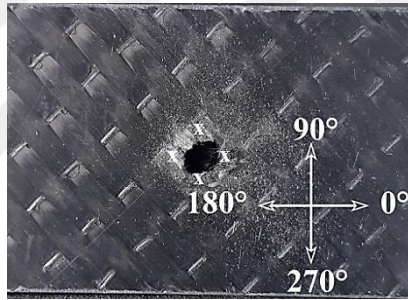
Tablo 3.6. Time Surf TR200 yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazının teknik özellikleri (Anonim, 2017)

Ölçüm Aralığı	Ra, Rq: 0.01 - 40 μm Rz, Ry, Rp, Rt, R3z: 0.02 - 160 μm
Örnekleme Uzunlukları	0.25, 0.8, 2.5
Örnekleme Sayısı	1-5
Maksimum Ölçme Boyu	17.5 mm
Hassasiyet	$\leq \pm 10 \%$
Dijital Filtreler	RC, PC-RC, Gauss, D-P
Prop	Elmas (10 μm çapında)



Şekil 3.6. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

KETP'lerin yüzey pürüzlülükleri 0.25 mm örnekleme uzunluğu ve beş örnekleme sayısında ölçülmüştür. Her bir deliğin iç yüzeyinde 0°, 90°, 180° ve 270° açılarına denk gelen noktalarından 3'er defa yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Ölçüm sonucunda elde edilen değerlerin ortalaması alınarak ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) hesaplanmıştır. Şekil 3.7'de ölçüm noktaları gösterilmiştir. RS232C bağlantısı ile bilgisayara aktarılan sinyaller TimeSurf for TR200 v1.4 programı ile grafik haline getirilmiştir.



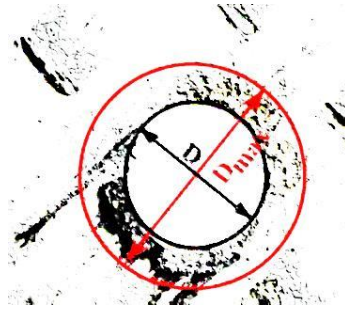
Şekil 3.7. Yüzey pürüzlülük ölçümleri alınan noktalar

3.6. Deformasyonun Tespiti ve Deformasyon Faktörünün Hesaplanması

KETP kompozitlerin delinmesinde oluşan deformasyonu belirlemek için Batman Üniversitesi Makine Mühendisliği Metalografi Laboratuvarında bulunan MedPro Microscopy marka MM800TRF model optik bir mikroskop kullanılmıştır. KETP'lerin delinmesinde delik giriş ve çıkışında oluşan deformasyonlar görüntülenerek Şekil 3.8'de gösterilen maksimum (D_{maks}) çaplar bulunmuştur. Daha sonra denklem 3.7 kullanılarak deformasyon faktörleri (Fd) hesaplanmıştır (Tsao ve ark., 2005; Palanikumar ve ark., 2008; Singh ve ark., 2008; Shah ve ark., 2013).

$$Fd = \frac{D_{maks}}{D}$$

(Denklem 3.7)



Şekil 3.8. Deformasyon faktörü

3.7. Çekme Deneyi

Delinen KETP'lerin çekme kuvvetleri Batman Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik-I Laboratuvarında bulunan 250 kN yük kapasitesine sahip Shimadzu Autograph AG-X universal test cihazı (Şekil 3.9) kullanılarak tespit edilmiştir. Her bir parametre için çekme deneyleri 3 defa tekrarlanmıştır. Çekme deneyleri ASTM 3039 standardına uygun olarak 1 mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Çekme cihazından alınan sinyaller Trapezium X Materials Testing yazılımında grafik verileri haline getirilmiştir.



Şekil 3.9. Çekme deney cihazı

3.8. Yorulma Deneyi

Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini etkileyen en önemli parametre deformasyon faktörüdür. Deformasyon faktörünün delinmiş KETP'lerin yorulma ömrüne etkisini belirlemek için en düşük, orta ve en yüksek çekme kuvvetlerinin elde edildiği durumlardaki KETP'ler Batman Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik-II Laboratuvarında bulunan 25 kN yük kapasitesine sahip Shimadzu servo -

hidrolik yorulma test cihazında ASTM D7615/D7615M-11 standardına uygun olarak yük oranı $R=0.10$ (minimum yükün maksimum yüke oranı) ve 5 Hz çevrim frekansında yorulma testine tabi tutulmuştur. Her bir elyaf açısı için en düşük çekme kuvvetinin gerçekleştiği değer taban kabul edilerek yorulma yükleri, yükün %90, 85, 80 ve 75'i olarak seçilmiştir. Her bir yük seviyesinde yorulma testleri 3 defa tekrarlanmıştır. Yorulma deney düzeneği Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Yorulma deney cihazı

3.9. Termal Kamera Düzeneği

KETP'lerin yorulması esnasında meydana gelen sıcaklığı ve hasar ilerlemelerini gözlemek için Batman Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Enerji Laboratuvarında bulunan Testo 881-2 markalı termal kamera ile belirli çevrim sayılarında KETP'lerin termal görüntüleri alınmıştır. Şekil 3.11 ve Tablo 3.7'de yorulma deneylerinde kullanılan termal kameraya ait görüntü ve teknik özellikler verilmiştir.



Şekil 3.11. Testo 881-2 Termal kamera

Tablo 3.7. Termal kameraya ait teknik özellikler (Testo,2017)

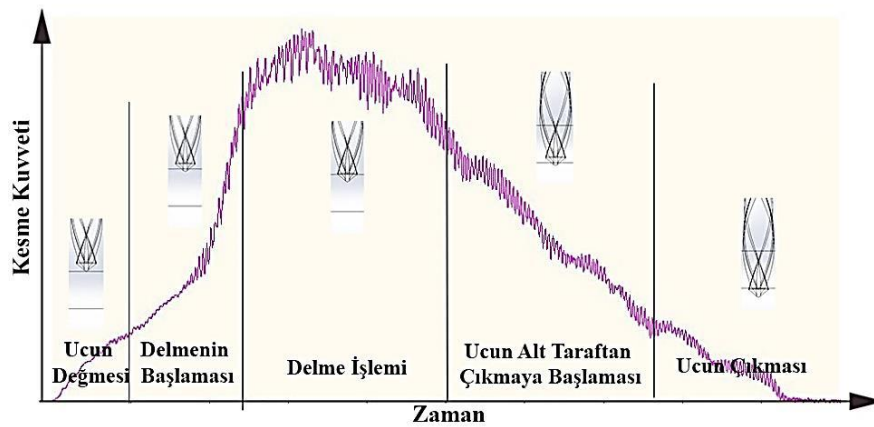
Görüntü Alanı/ Odaklama Mesafesi	Standart lens 9° x 7° / 0.5 m
Termal Duyarlılık (30°C'de)	< 80mK
Geometrik Çözünürlük	3.3 mrad
Görüntü Yenileme Hızı	33 Hz (Eu içi), 9 Hz (Eu dışı)
Odaklama	Manuel
Spektral Aralık	8 -14 µm
Sıcaklık Aralığı	0 – 350 °C
Resim Ekranı	3.5" LCD, 320x240 piksel
Video Akışı	25 Hz
Renk Paleti	9 opsiyon

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

UD, +45/-45 ve 0/90 elyaf açılı KETP'lerin delme işlemleri; T1, T2 ve T3 takımlarıyla 1000, 3000 ve 5000 dev/dk iş mili devirlerinde ve 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev ilerleme oranlarında CNC dik işleme tezgâhında soğutucu sıvı kullanılmadan gerçekleştirilmiştir. Kompozit numunelerin kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülükleri, deformasyon faktörleri, çekme kuvvetleri ve yorulma ömürleri ayrı ayrı tespit edilmiştir. Bu verilerin; kesici takım türü, iş mili devri ve ilerleme oranı ile arasındaki ilişkileri incelenmiştir. Deneylelerden elde edilen tüm sonuçlar ayrıca Ek-1'de verilmiştir.

4.1. Kesme Kuvveti Analizi

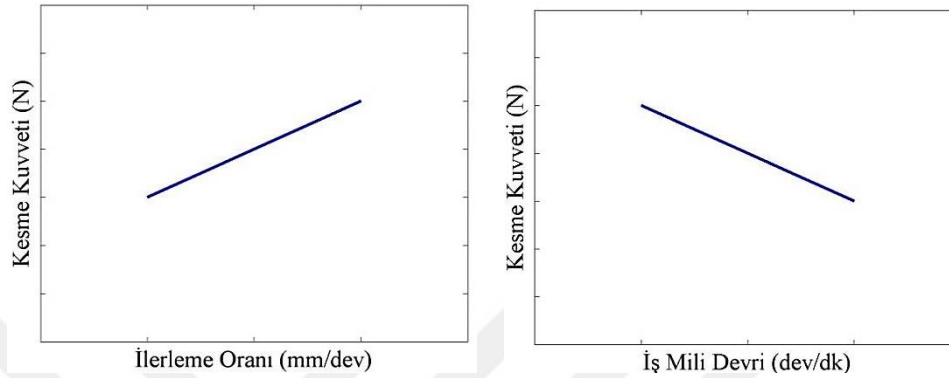
KETP'lerde delme sürecinde meydana gelen kesme kuvvetlerini Şekil 4.1'de görüldüğü gibi 5 aşamaya ayırmak mümkündür. İlk aşamada takımın kesici ağzının KETP'e değmeye başladığı anda kuvvet artmaya başlar. İkinci aşamada takımın kesici ağzının KETP'i kesmesi ile kuvvette ani artış olur. Üçüncü aşamada takımın kesici ağzının tamamı KETP'in içerisinde ve esas delme işlemi burada gerçekleşir. Kuvvet bu aşamada maksimum seviyeye geldikten sonra yavaşça azalmaya başlar. Dördüncü aşamada takımın kesici ağzı numunenin alt kısmından çıkmaya başlar, kuvvet bu aşamada hızla azalmaya devam eder. Beşinci aşamada ise takımın kesici ağzı numunenin alt kısmından tamamen çıkar ve kuvvet sıfır olur.



Şekil 4.1. Delme işleminde zamana bağlı kuvvet grafiği

Delme parametreleri ile kesme kuvvetlerinin ilişkisini inceleyen birçok araştırmacı olmuştur. Araştırmacılar Şekil 4.2'de gösterildiği gibi ilerleme oranının artmasıyla kesme kuvvetinin arttığını ve iş mili devrinin artmasıyla da kesme kuvvetinin

azaldığını gözlemlemişlerdir (Chen, 1997; Murhpy ve ark., 2002; Linbo ve ark., 2003; El-Sonbaty ve ark., 2004; Khashaba, 2004; Velayudhum ve ark., 2005; Arul ve ark., 2006; Fernandes ve ark., 2006; Sardinas ve ark., 2006; Abrao ve ark., 2008; Singh ve ark., 2008; Faraz ve ark., 2009; Rawat ve ark., 2009; Drao ve ark., 2010; Khashaba ve ark., 2010; Lui ve ark., 2010; Liu ve ark., 2012).

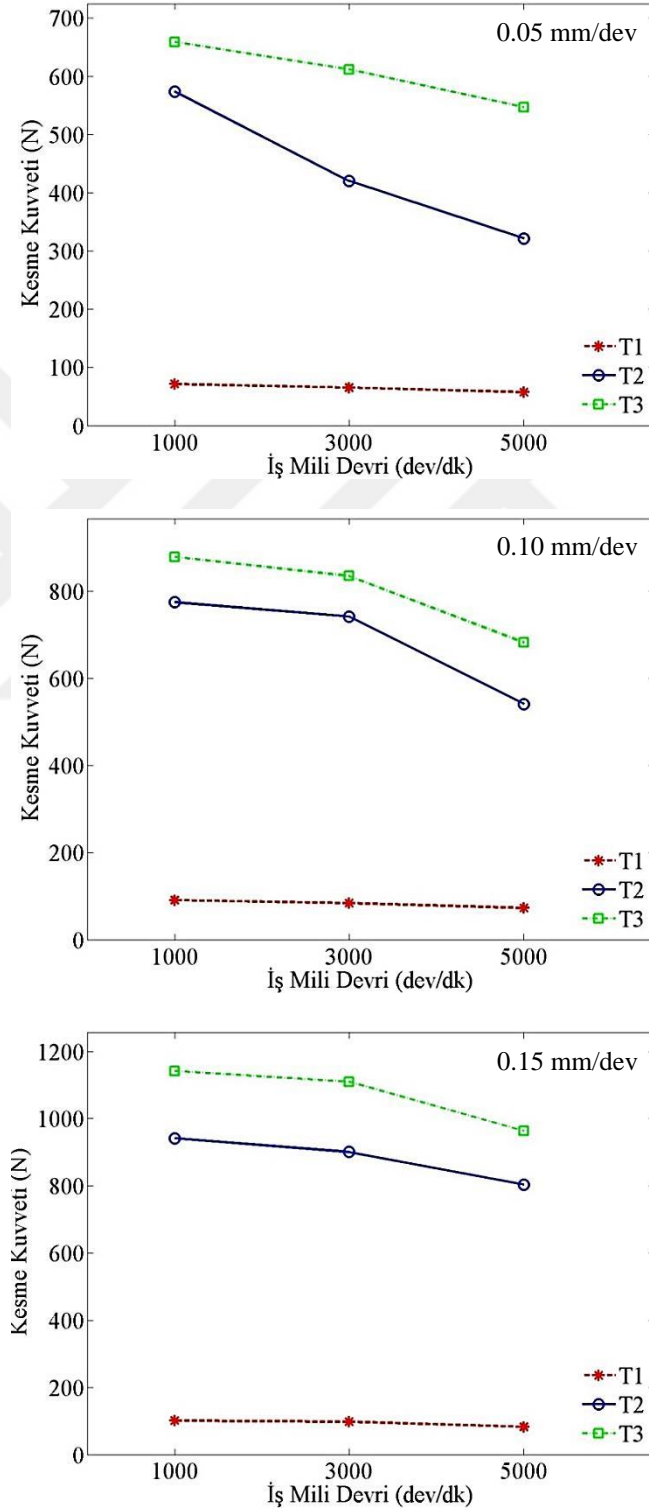


Şekil 4.2. Literatür çalışmalarında delme parametrelerine bağlı kesme kuvvetinin değişimi

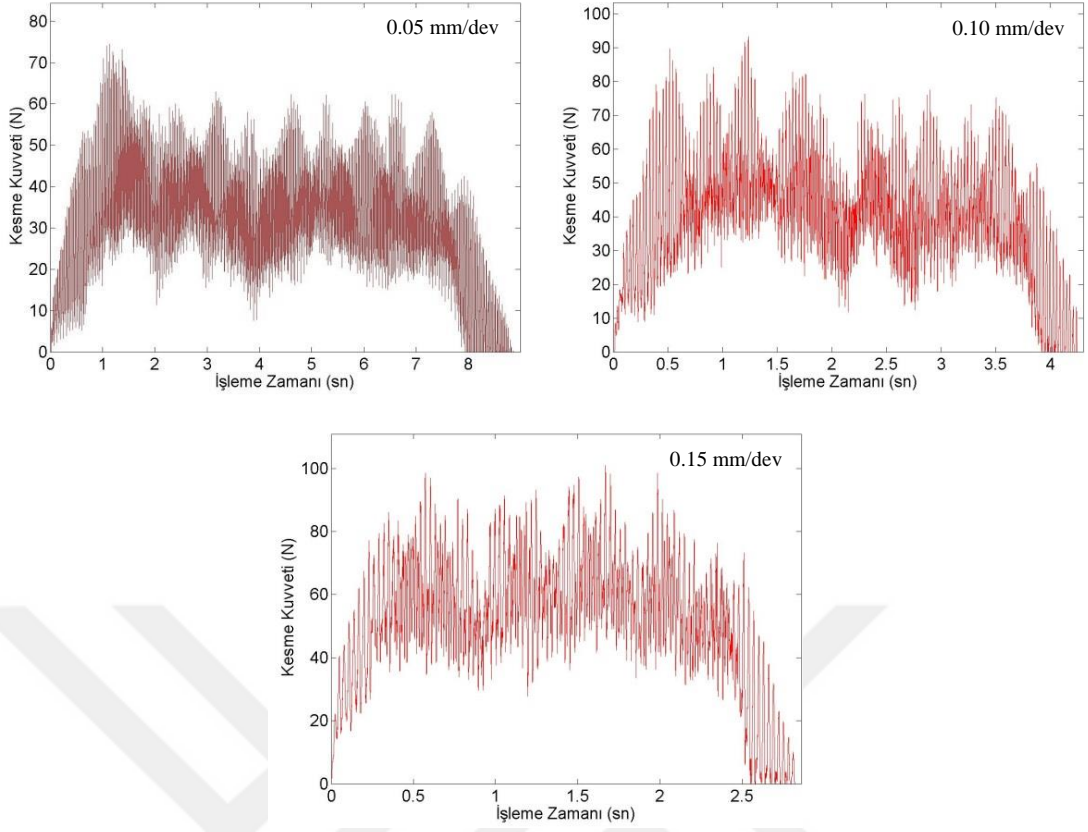
4.1.1. +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin kesme kuvveti analizi

+45/-45 elyaf açılı KETP'lerin T1, T2 ve T3 takımlarıyla yapılan delme işlemlerinde delme parametrelerinin kesme kuvvetine etkileri Şekil 4.3'te gösterilmiştir. İş mili devrinin artması ile kesme kuvvetinin azaldığı, ilerleme oranının artmasıyla kesme kuvvetinin arttığı tespit edilmiştir. Artan iş mili devirlerinde delik bölgesinde ısı artışı meydana gelmekte ve düşük ısı iletim katsayısına sahip olan matris ısıyı delik bölgesinden uzaklaştıramadığı için yumuşayarak kesme kuvvetinin azalmasına neden olmaktadır (Faraz ve ark., 2009; Kishore ve ark., 2009; Palanikumar, 2011; Krishnaraj ve ark., 2012; Kavadi ve ark., 2014; Xu ve ark., 2014; Nasır ve ark., 2015). Artan ilerleme oranlarında ise kesici takımın bir devirde kaldırması gereken talaş miktarı arttığından dolayı elyafı kesmeye yeterince vakit bulamadığından, kesici takım elyafı tam olarak kesemez ve elyafı eğilmeye veya kopmaya maruz bırakır (Uysal, 2009; Xu ve ark., 2014). Bu durum kesme kuvvetinin artmasına neden olur. T1 takım ucunun ısı iletim katsayısı 63-84 W/mK (Hugh, 1996; Shackelford, 2001) ve sertliği 1700-1800 HV'dir (Tosun ve ark., 2011). T2 ve T3 takım ucunun ısı iletim katsayısı 24 W/mK (Anonim, 2017) ve sertliği 850-920 HV'dir (Tosun ve ark., 2010). T1 takımının üsü iletim katsayısının, sertliğinin, aşınma ve sürtünme direncinin daha iyi olması nedeniyle (Milton, 1984; Trent, 2000; Tosun, 2010) bu takım ile yapılan delme işlemlerinde kesme kuvveti daha düşük gözlemlenmiştir. En düşük kesme kuvveti T1 takım ile 5000

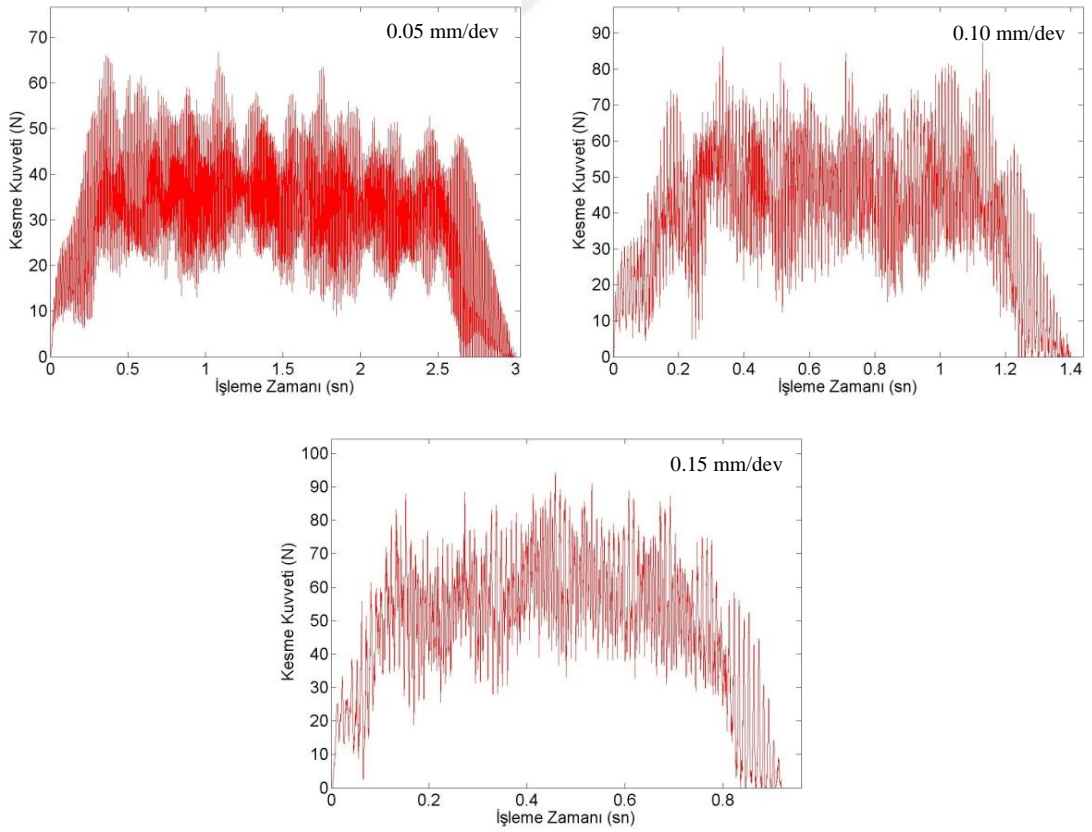
dev/dk iş mili devri ve 0.05 mm/dev ilerleme oranında yapılan delmede 57.4 N, en yüksek kesme kuvveti T3 takım ile 1000 dev/dk iş mili devri ve 0.15 mm/dev ilerleme oranında yapılan delmede 1141.7 N elde edilmiştir. +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin delinmesine ait kesme kuvveti- zaman grafikleri Şekil 4.3.1- 4.3.9'da gösterilmiştir.



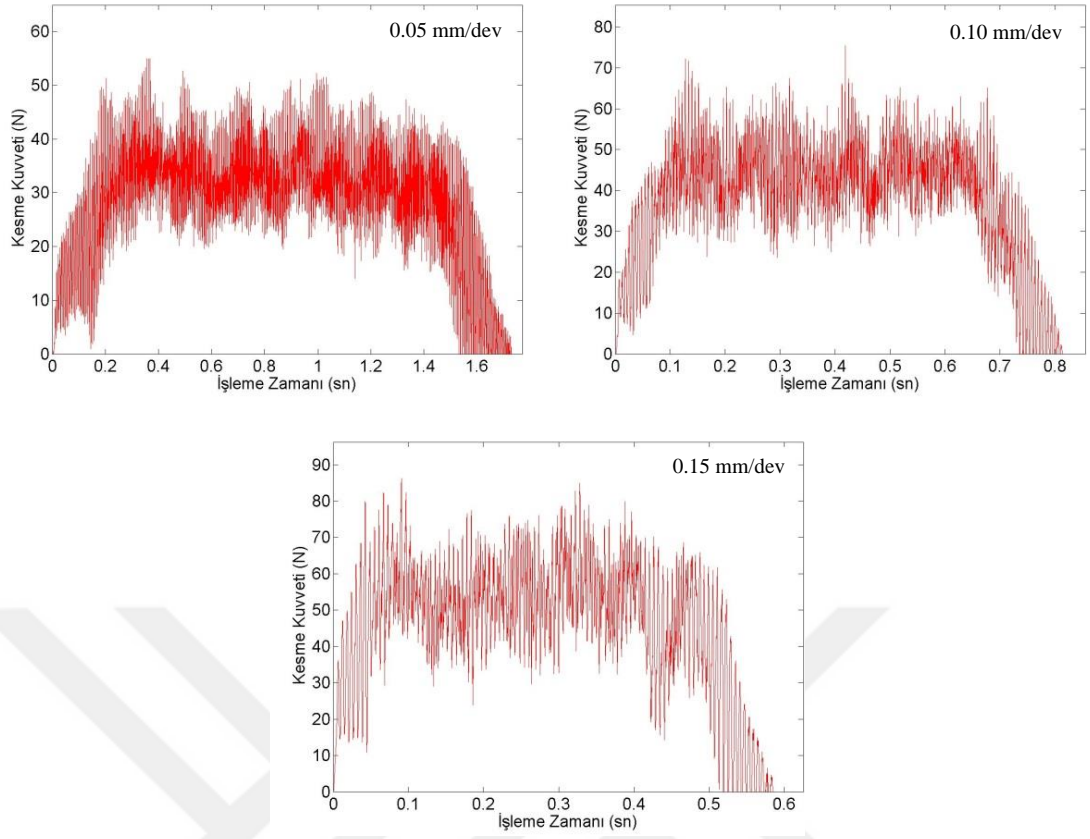
Şekil 4.3. +45/-45 elyaf açılı KETP'lerde delme parametrelerinin kesme kuvveti üzerine etkileri



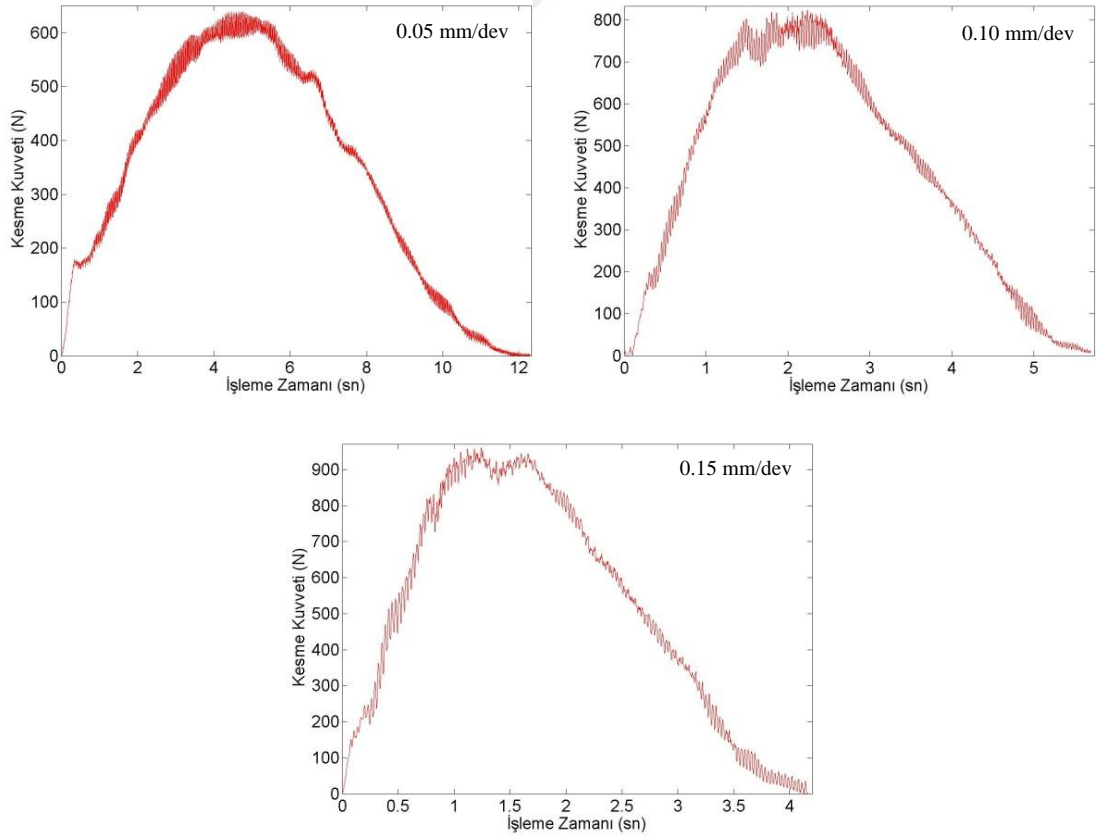
Şekil 4.3.1. T1 takımla 1000 dev/dk'da delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği



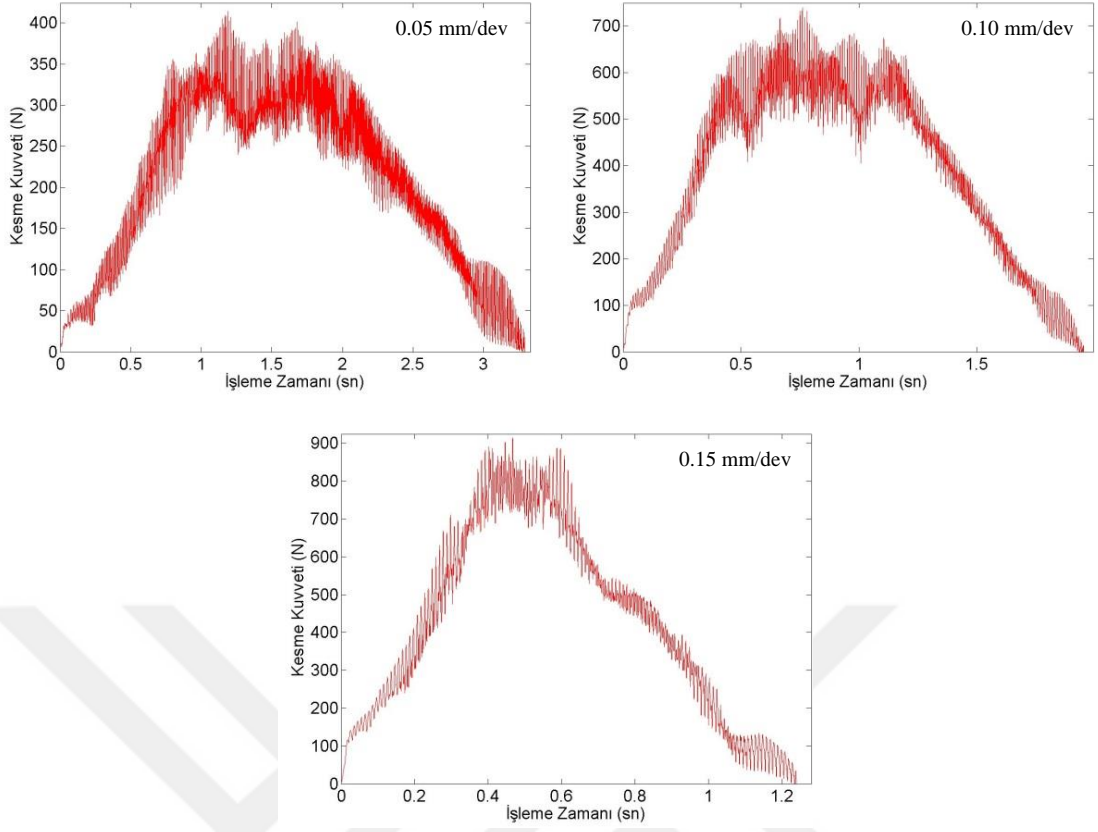
Şekil 4.3.2. T1 takımla 3000 dev/dk'da delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği



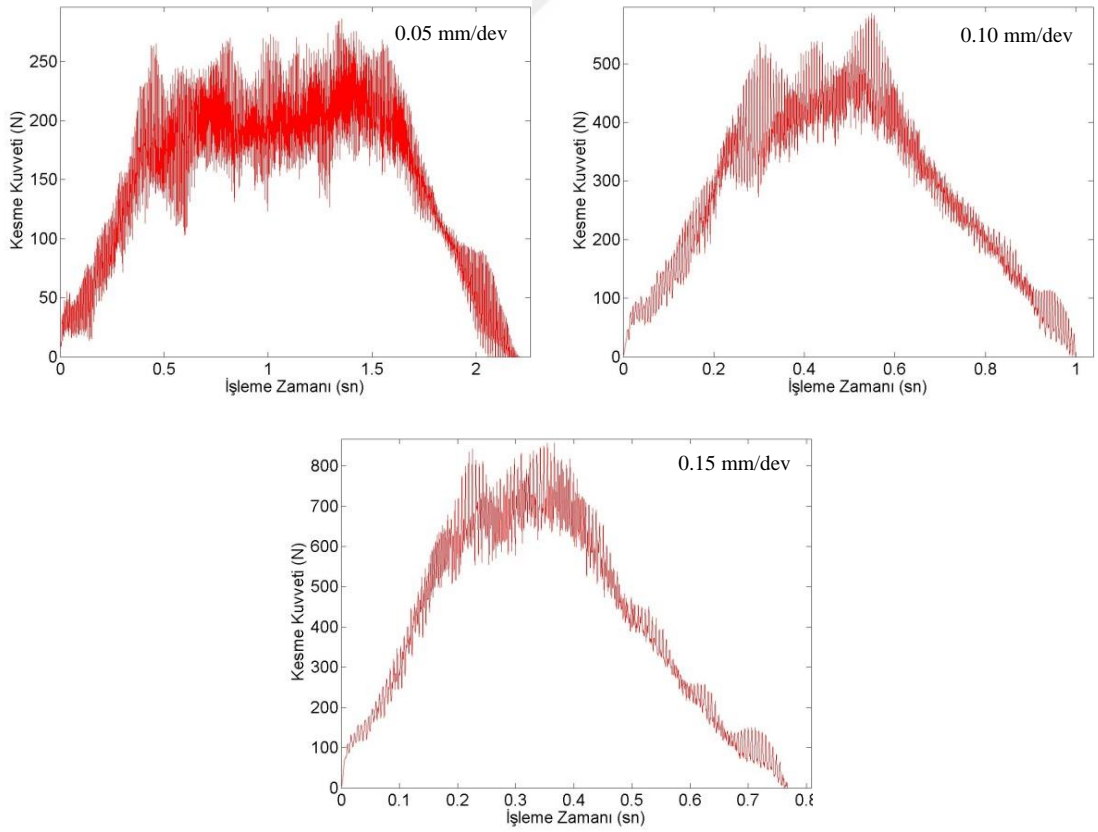
Şekil 4.3.3. T1 takımla 5000 dev/dk'da delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği



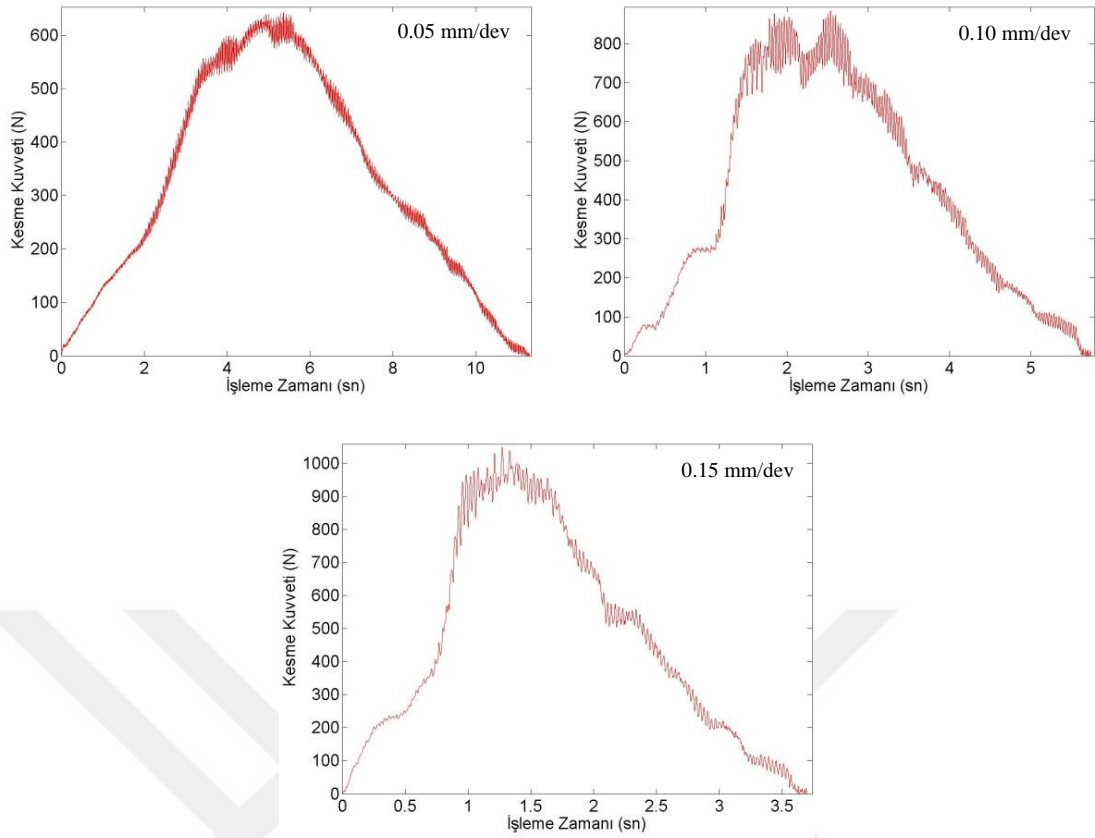
Şekil 4.3.4. T2 takımla 1000 dev/dk'da delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği



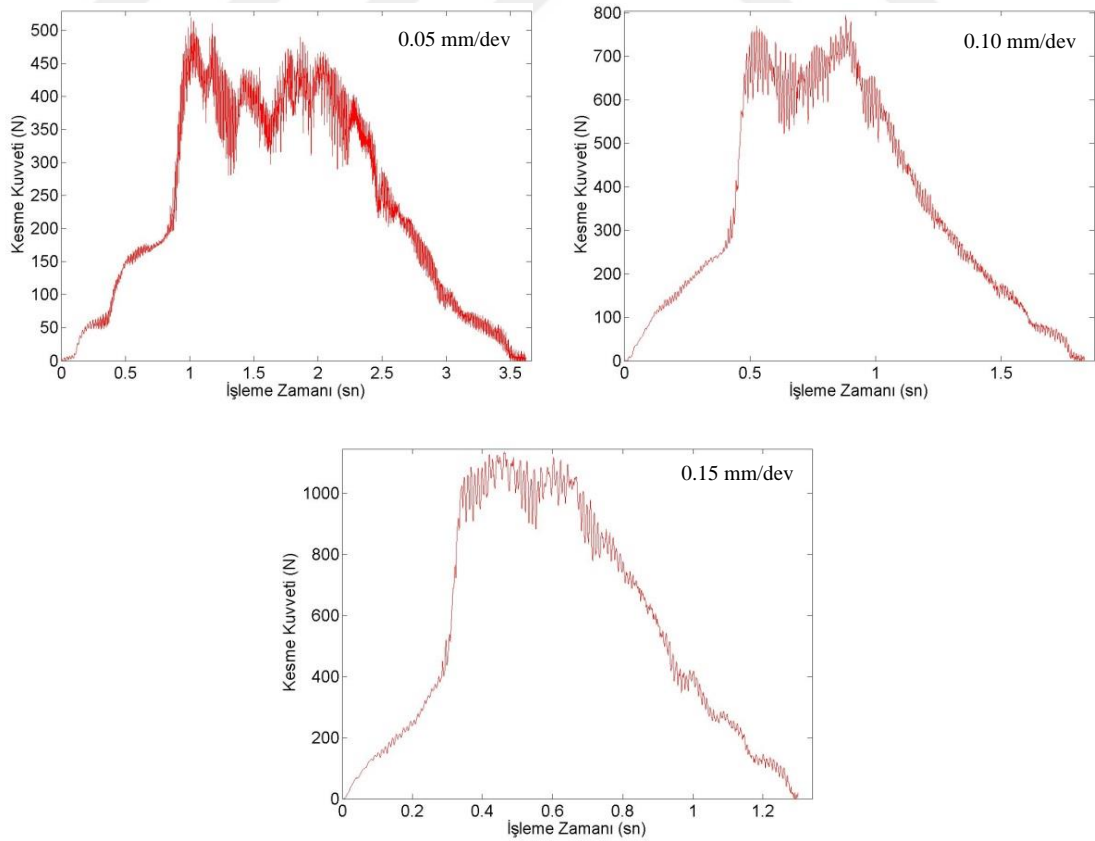
Şekil 4.3.5. T2 takımla 3000 dev/dk'da delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği



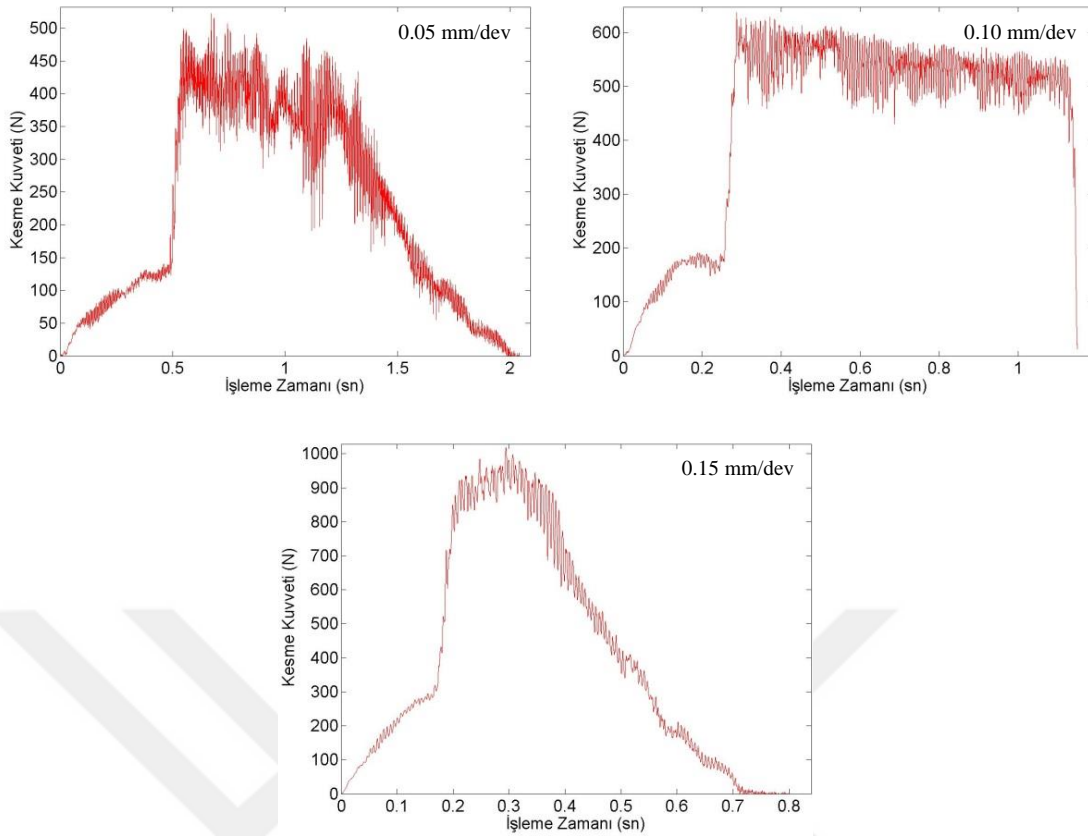
Şekil 4.3.6. T2 takımla 5000 dev/dk'da delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği



Şekil 4.3.7. T3 takımla 1000 dev/dk'da delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği



Şekil 4.3.8. T3 takımla 3000 dev/dk'da delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği

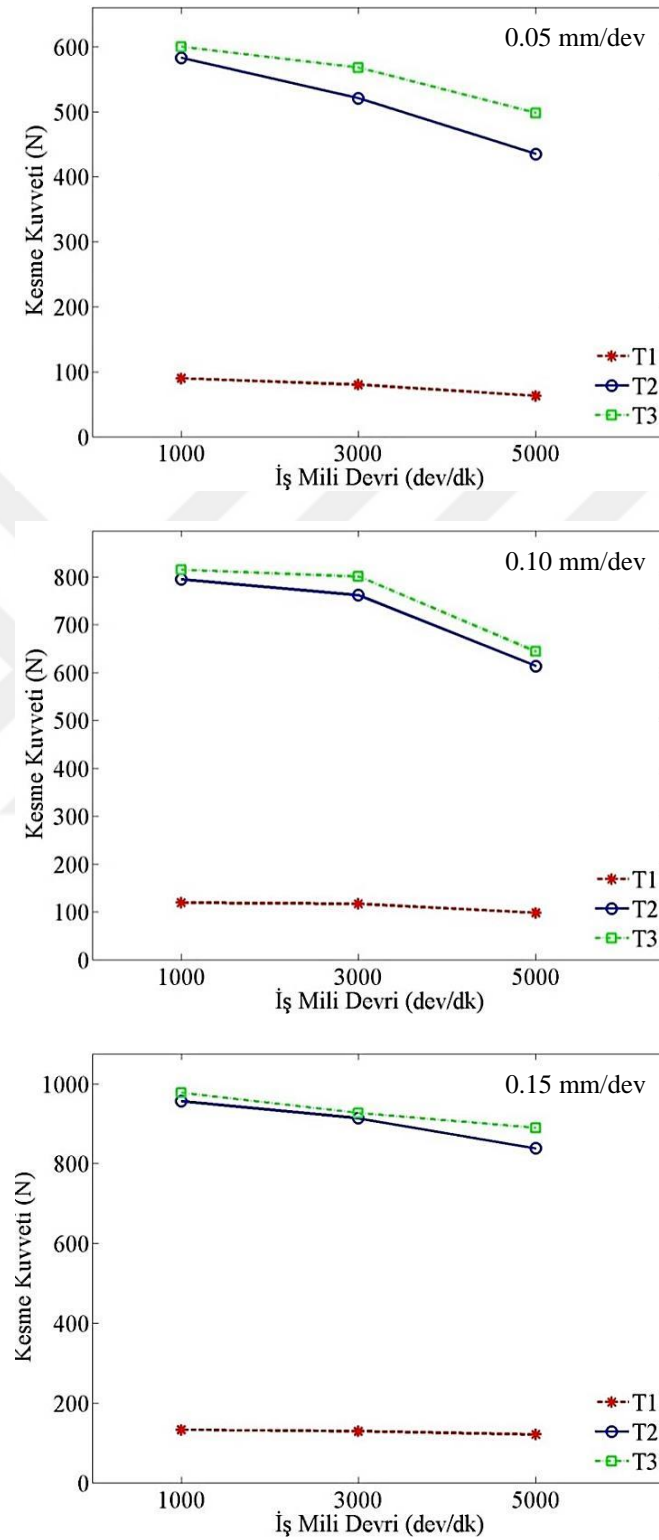


Şekil 4.3.9. T3 takım ile 5000 dev/dk'da delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği

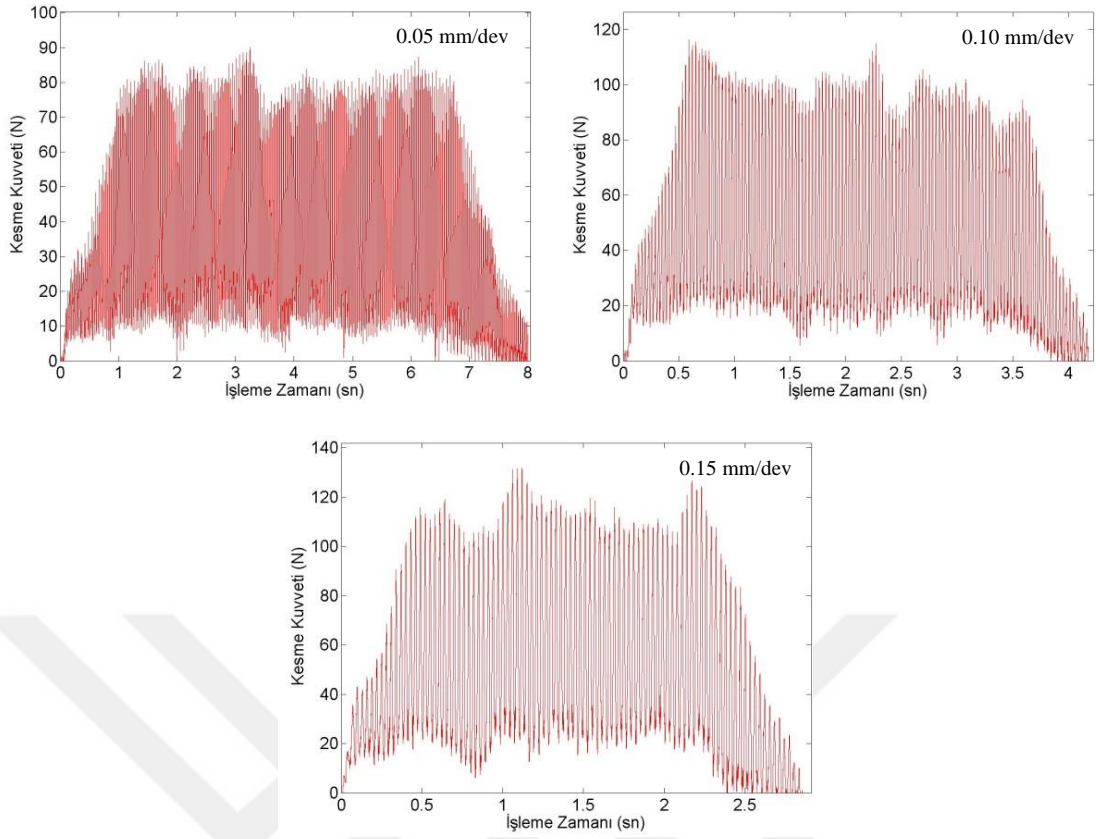
4.1.2. UD elyaf açılı KETP'lerin kesme kuvveti analizi

UD elyaf açılı KETP'lerin farklı takım uçlarıyla yapılan delme işlemlerinde delme parametrelerinin kesme kuvveti üzerine etkileri Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Bu kompozitlerin delinmesinde iş mili devrinin artmasıyla kesme kuvveti azalırken, ilerleme oranının artmasıyla kesme kuvveti artmıştır. İş mili devrinin artmasıyla delik bölgesinde ısı artışı meydana gelmekte ve düşük ısı iletim katsayısına sahip olan matris yumuşayarak kesme kuvvetinin azalmasına neden olmaktadır. Yüksek ilerleme oranlarında ise kesici takım elyafı kesmeye yeterince vakit bulamadığından kesme kuvvetinin artmasına neden olur. T1 takımının T2 ve T3 takımına göre ısı iletkenlik katsayısının, sertliğinin, aşınma ve sürtünme direncinin daha iyi olması nedeniyle sürtünmeden kaynaklanan ısı hem daha az seviyede meydana gelmekte hem de delme bölgesinden daha hızlı uzaklaştırılarak takım aşınmasını ve takımın ısınmasını engellemektedir. Bu nedenle T1 takım ile yapılan delmede kesme kuvveti daha düşük gözlemlenmiştir. En düşük kesme kuvveti T1 takım ile 5000 dev/dk iş mili devri ve 0.05 mm/dev ilerleme oranında 62.7 N, en yüksek kesme kuvveti T3 takım ile 1000 dev/dk iş mili devri ve 0.15 mm/dev ilerleme oranında yapılan delmede 977.5 N elde

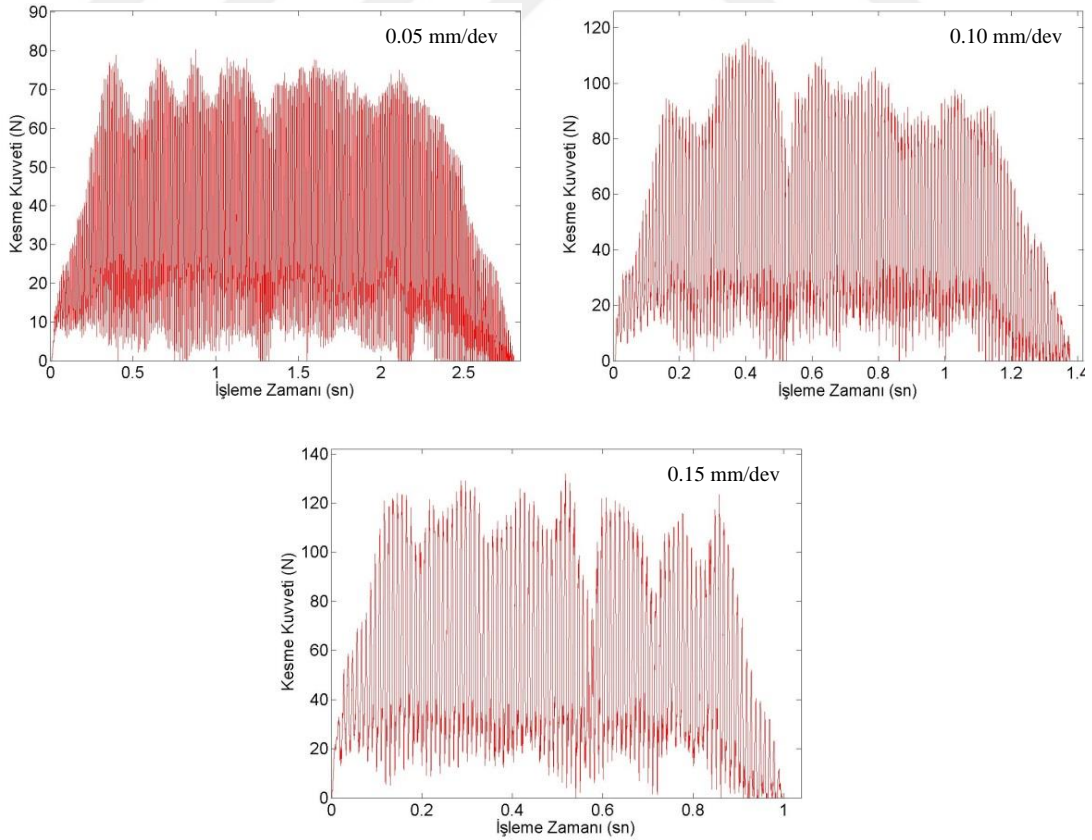
edilmiştir. UD elyaf açılı KETP'lerin delinmesi esnasında meydana gelen kesme kuvveti–zaman grafikleri Şekil 4.4.1- 4.4.9'da gösterilmiştir.



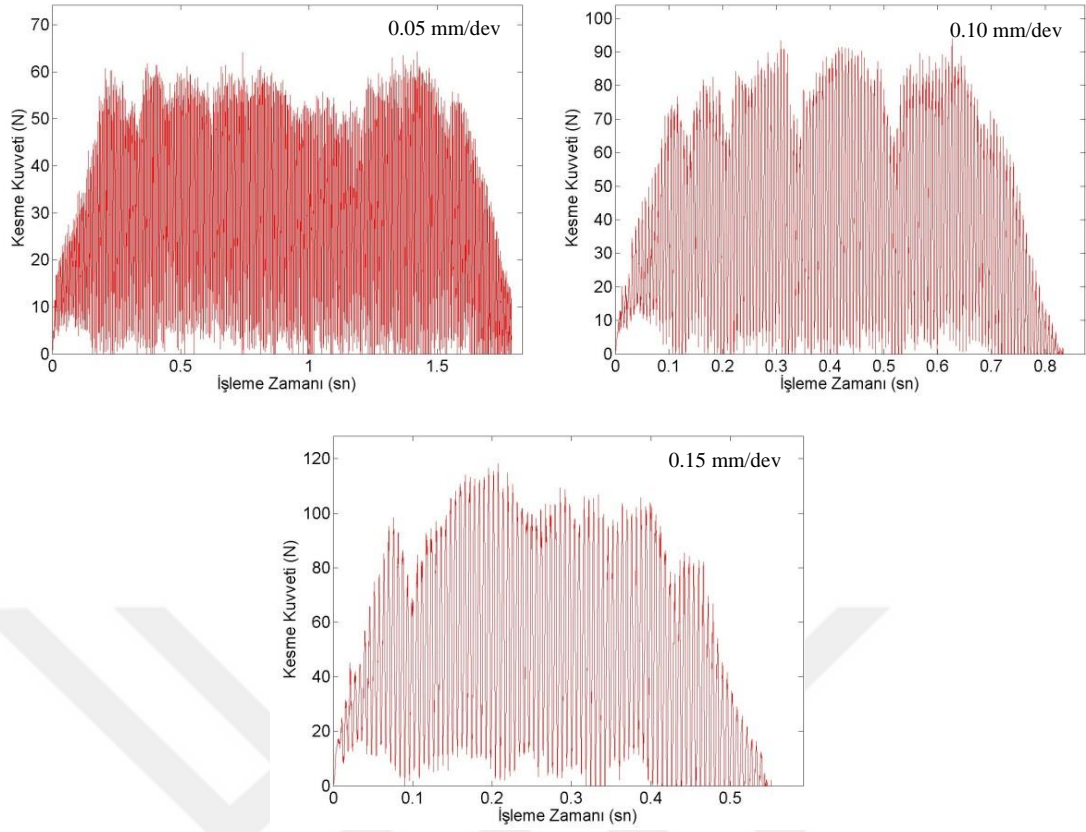
Şekil 4.4. UD elyaf açılı KETP'lerde delme parametrelerinin kesme kuvveti üzerine etkileri



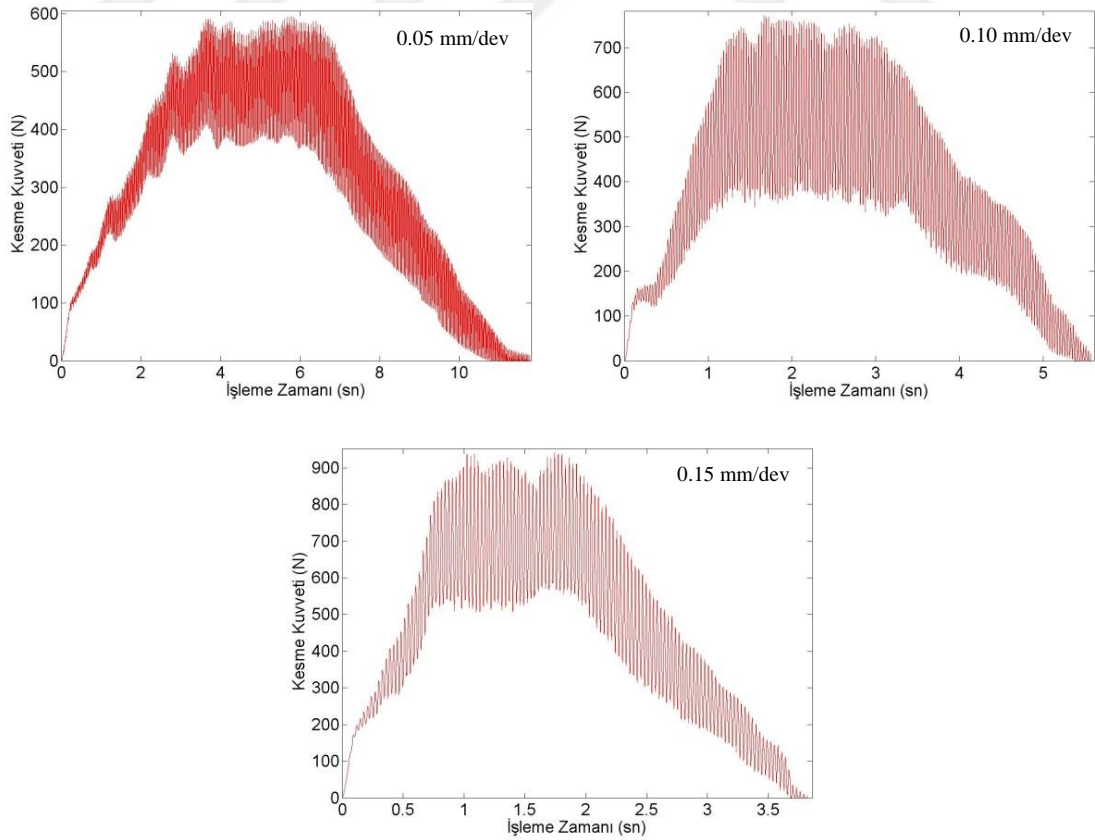
Şekil 4.4.1. T1 takımla 1000 dev/dk'da delinen UD elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği



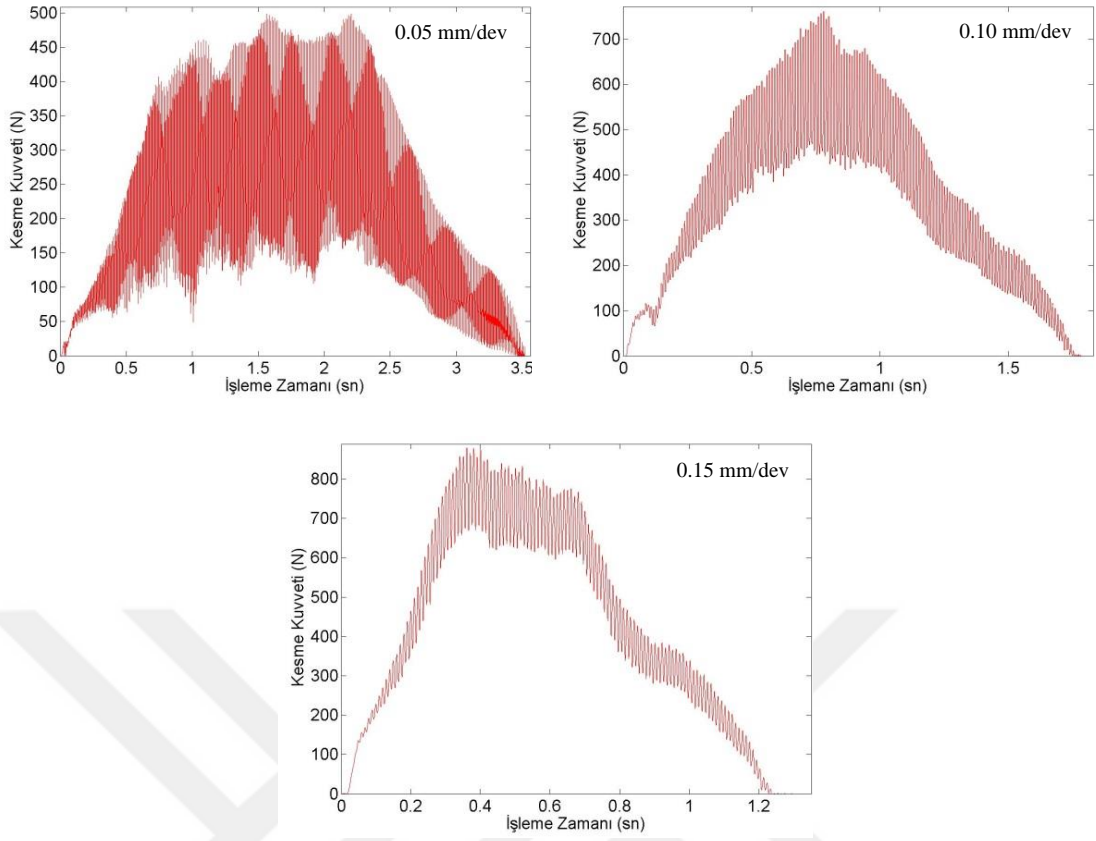
Şekil 4.4.2. T1 takımla 3000 dev/dk'da delinen UD elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği



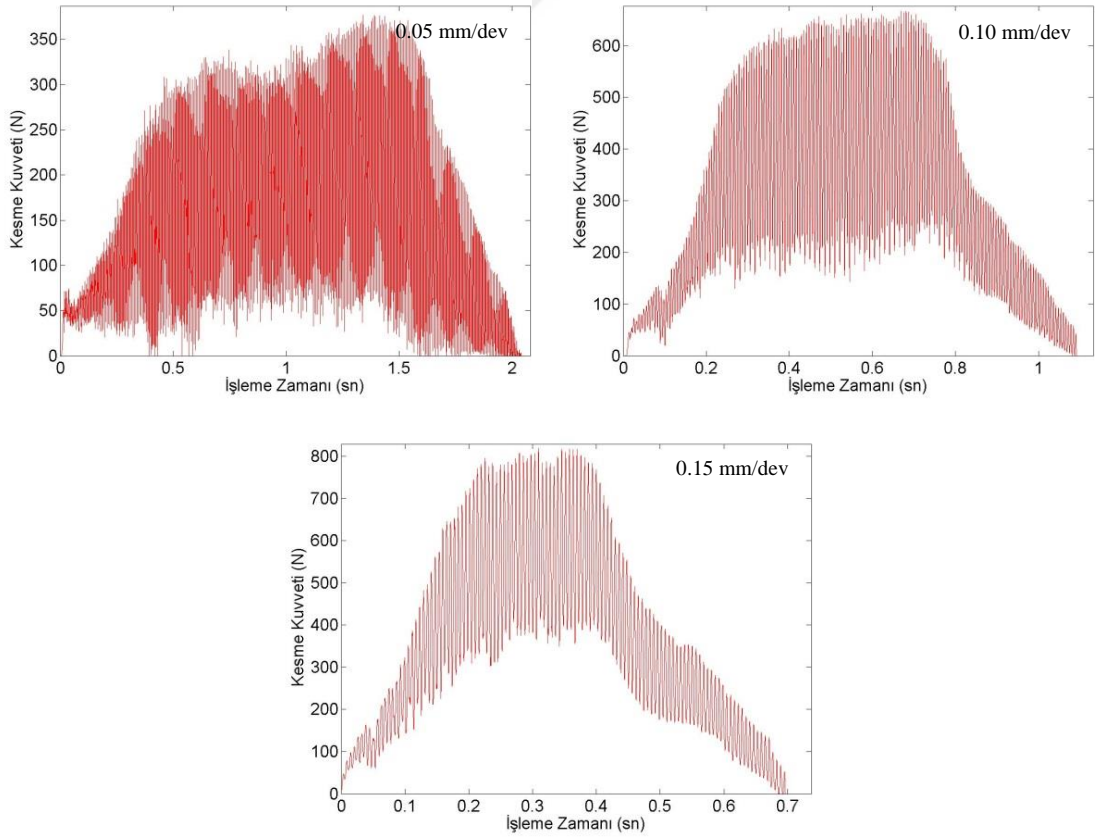
Şekil 4.4.3. T1 takımla 5000 dev/dk'da delinen UD elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği



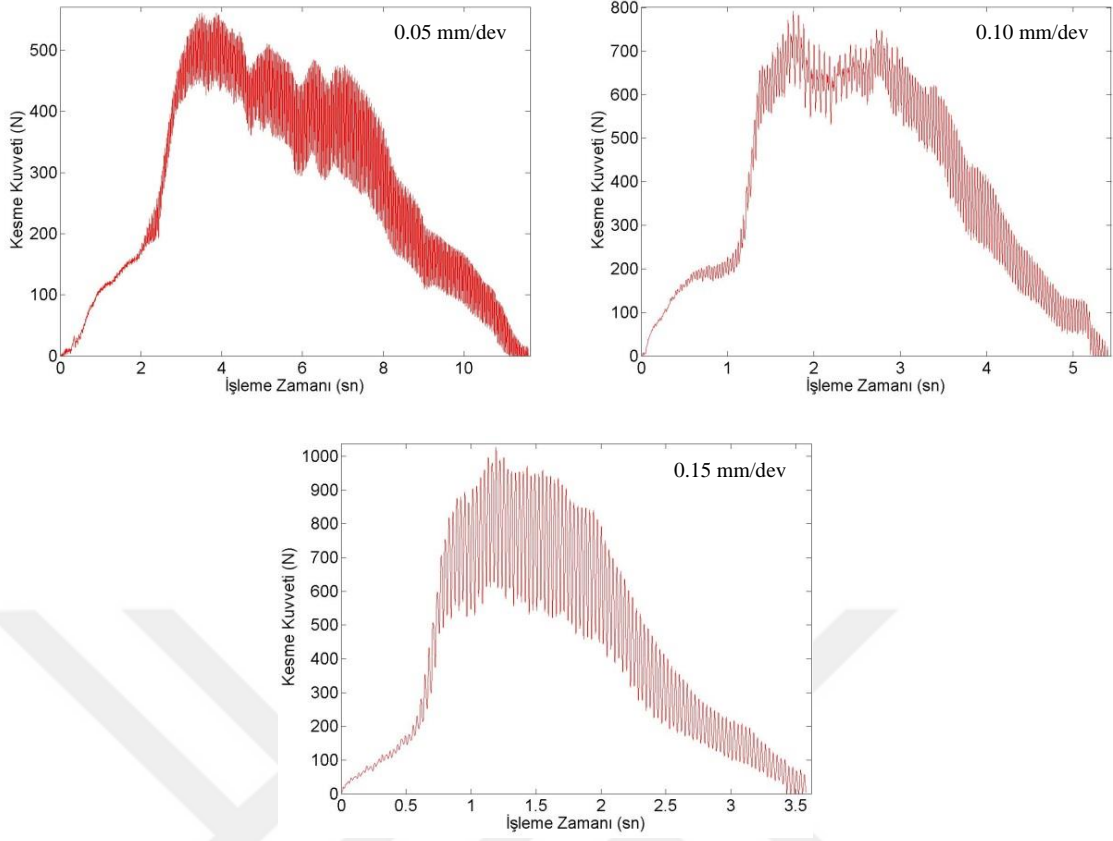
Şekil 4.4.4. T2 takımla 1000 dev/dk'da delinen UD elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği



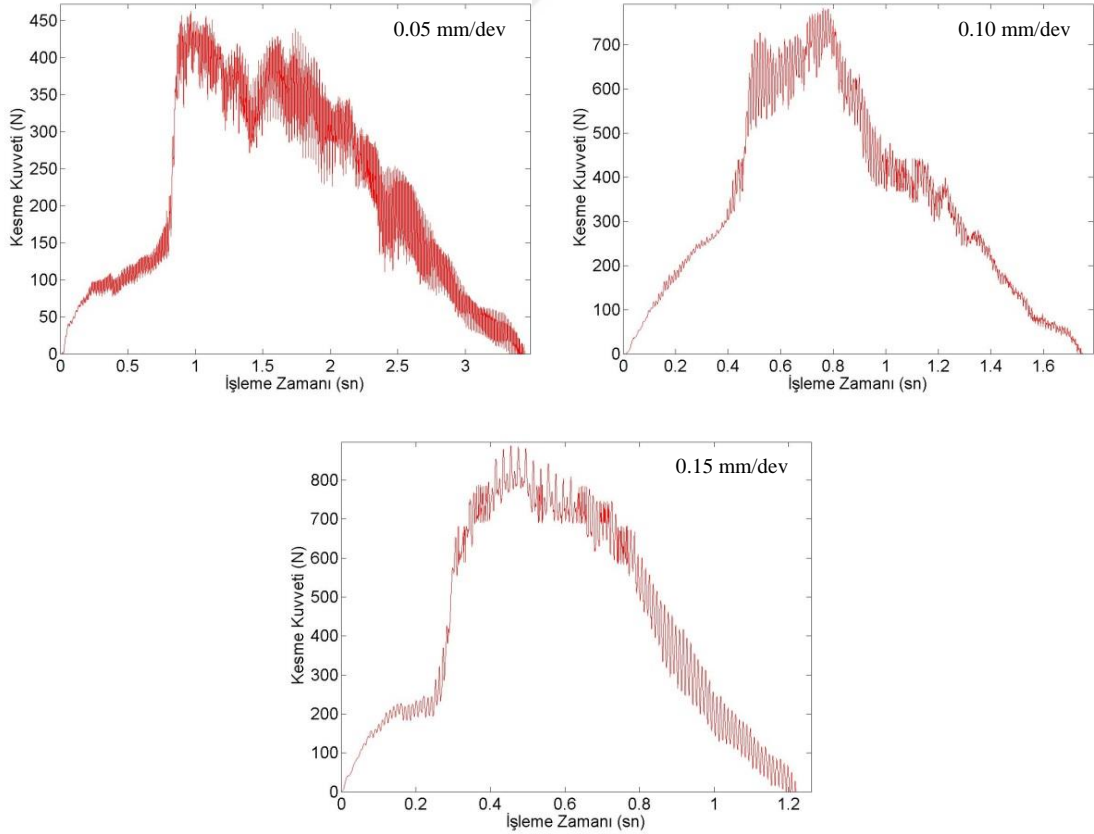
Şekil 4.4.5. T2 takımla 3000 dev/dk'da delinen UD elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği



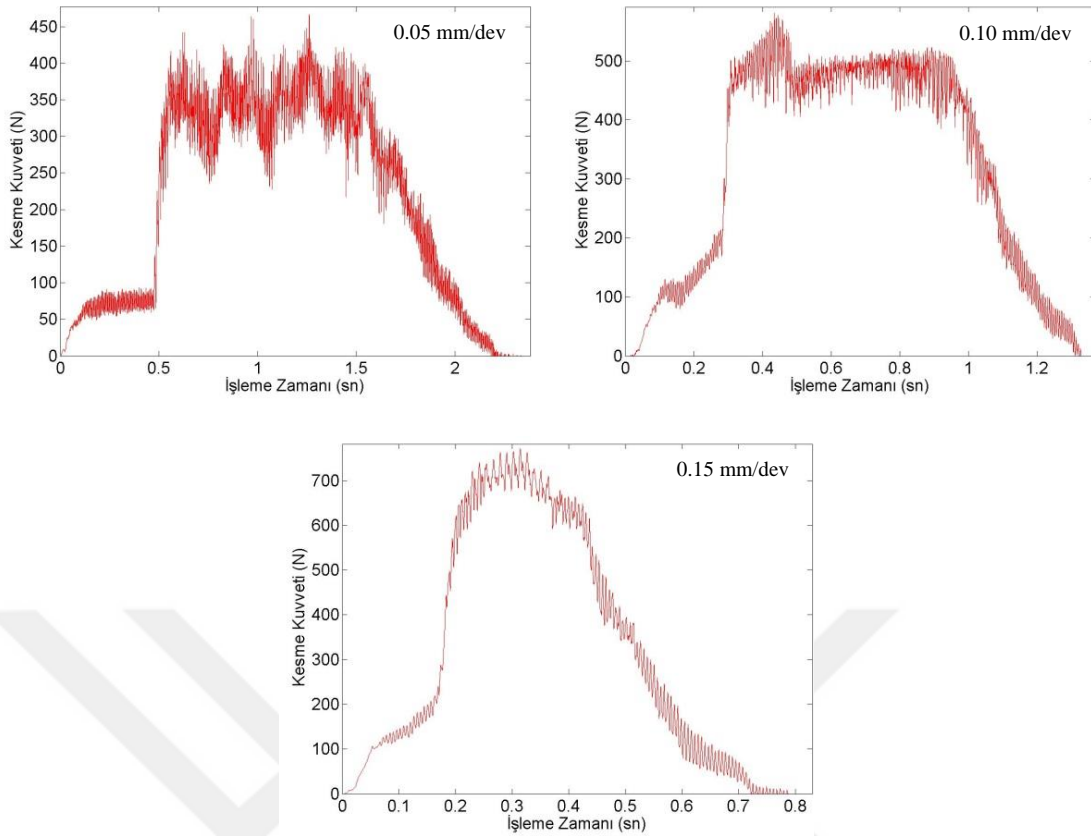
Şekil 4.4.6. T2 takımla 5000 dev/dk'da delinen UD elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği



Şekil 4.4.7. T3 takımla 1000 dev/dk'da delinen UD elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği



Şekil 4.3.8. T3 takımla 3000 dev/dk'da delinen UD elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği

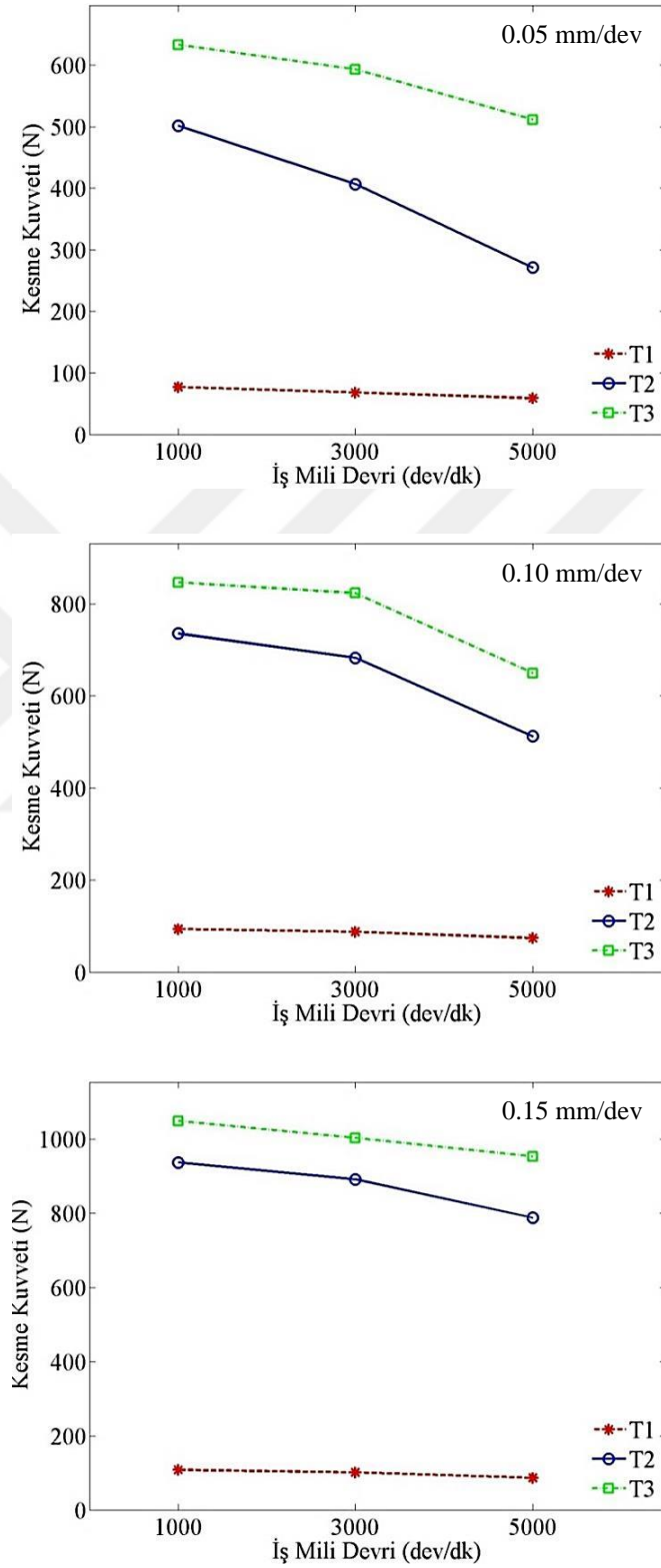


Şekil 4.4.9. T3 takım ile 5000 dev/dk'da delinen UD elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği

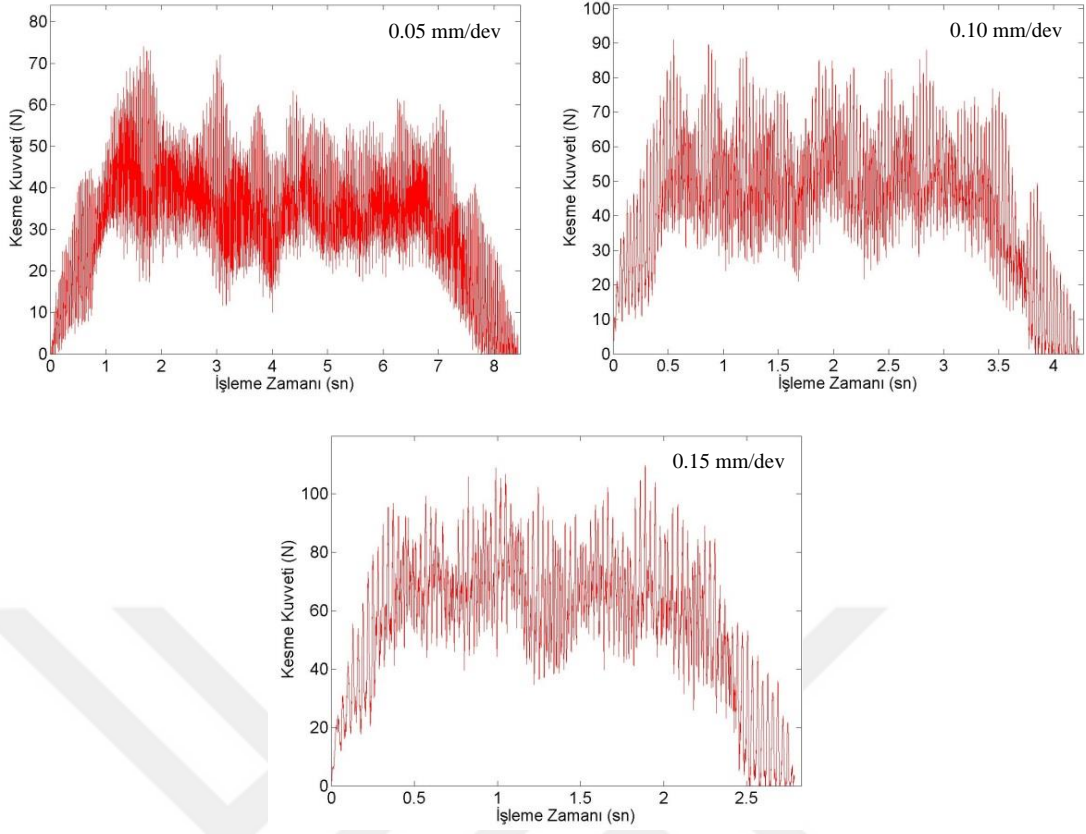
4.1.3. 0/90 elyaf açılı KETP'lerin kesme kuvveti analizi

0/90 elyaf açılı KETP'ler için delme parametrelerine bağlı kesme kuvveti grafikleri Şekil 4.5'te gösterilmiştir. 0/90 elyaf açılı KETP'lerin delinmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerine etkileri +45/-45 ve UD elyaf açılı KETP'lerin delinmesinde elde edilen kesme kuvvetlerine benzerlik göstermiştir. İş mili devrinin artması ile kesme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Yüksek iş mili devirlerinde delik bölgesinde ısı artışı meydana gelmekte ve düşük ısı iletim katsayısına sahip olan matris yumuşayarak kesme kuvvetinin azalmasına neden olmaktadır. İlerleme oranının artması ile kesme kuvvetinin arttığı görülmüştür. Yüksek ilerleme oranlarında kesici takım kompozit malzeme içerisinde hızlı bir şekilde ilerlediği için elyafı kesmeye zaman bulamaz. Bu da kesme kuvvetinin artmasına neden olur. T1 takımının T2 ve T3 takımına göre ısı iletim katsayısının, sertliğinin, aşınma ve sürtünme direncinin daha iyi olması T1 takım ile yapılan delmede kesme kuvveti daha düşük elde edilmiştir. En düşük kesme kuvveti T1 takım ile 5000 dev/dk iş mili devrinde 0.05 mm/dev ilerleme oranında yapılan delmede 59.1 N olarak elde edilirken, en yüksek kesme kuvveti T3 takımını ile 1000 dev/dk iş mili devrinde ve 0.15 mm/dev ilerleme oranında yapılan

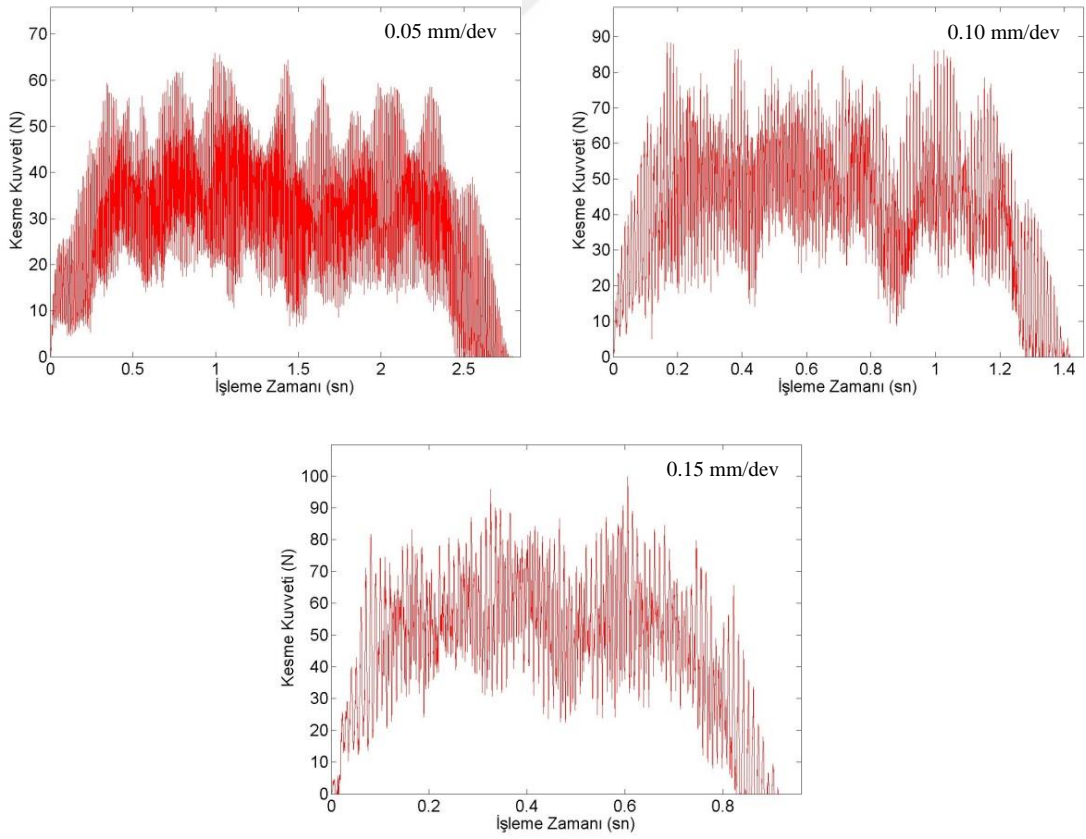
delmede 1049 N olarak elde edilmiştir. 0/90 elyaf açılı KETP'in delinmesi esnasında meydana gelen kesme kuvveti – zaman grafikleri Şekil 4.5.1- 4.5.9'da gösterilmiştir.



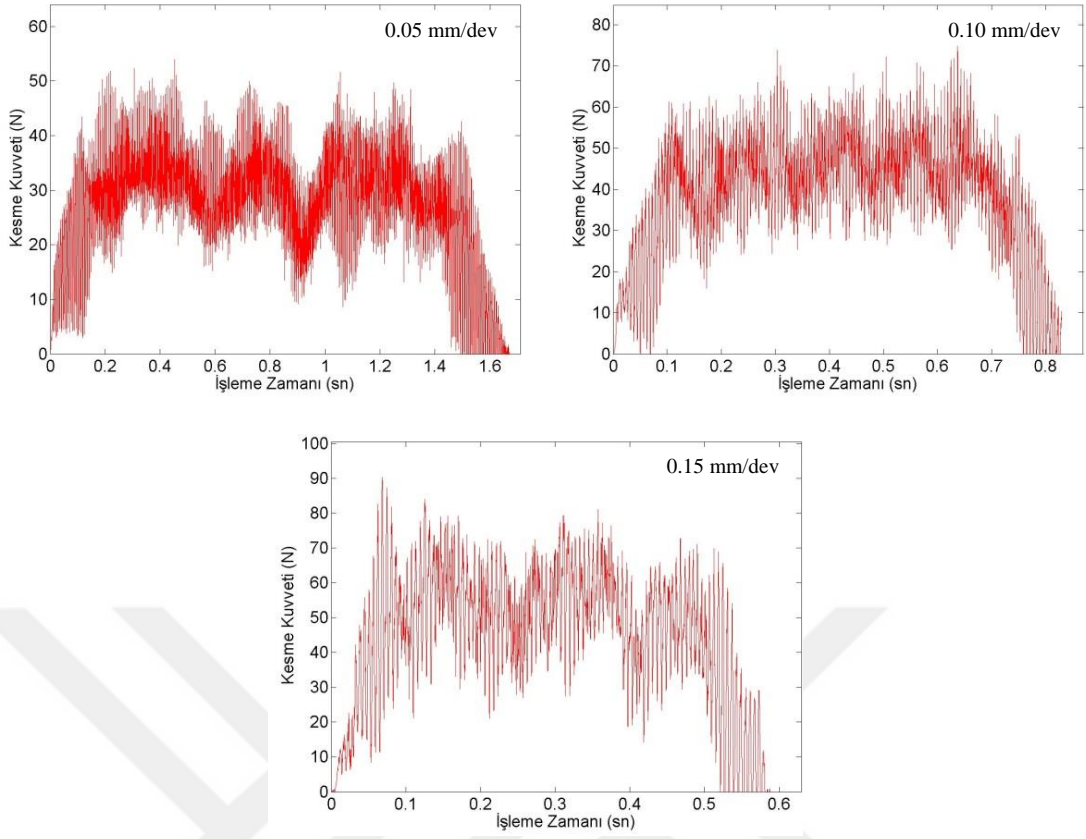
Şekil 4.5. 0/90 elyaf açılı KETP'lerde delme parametrelerinin kesme kuvveti üzerine etkileri



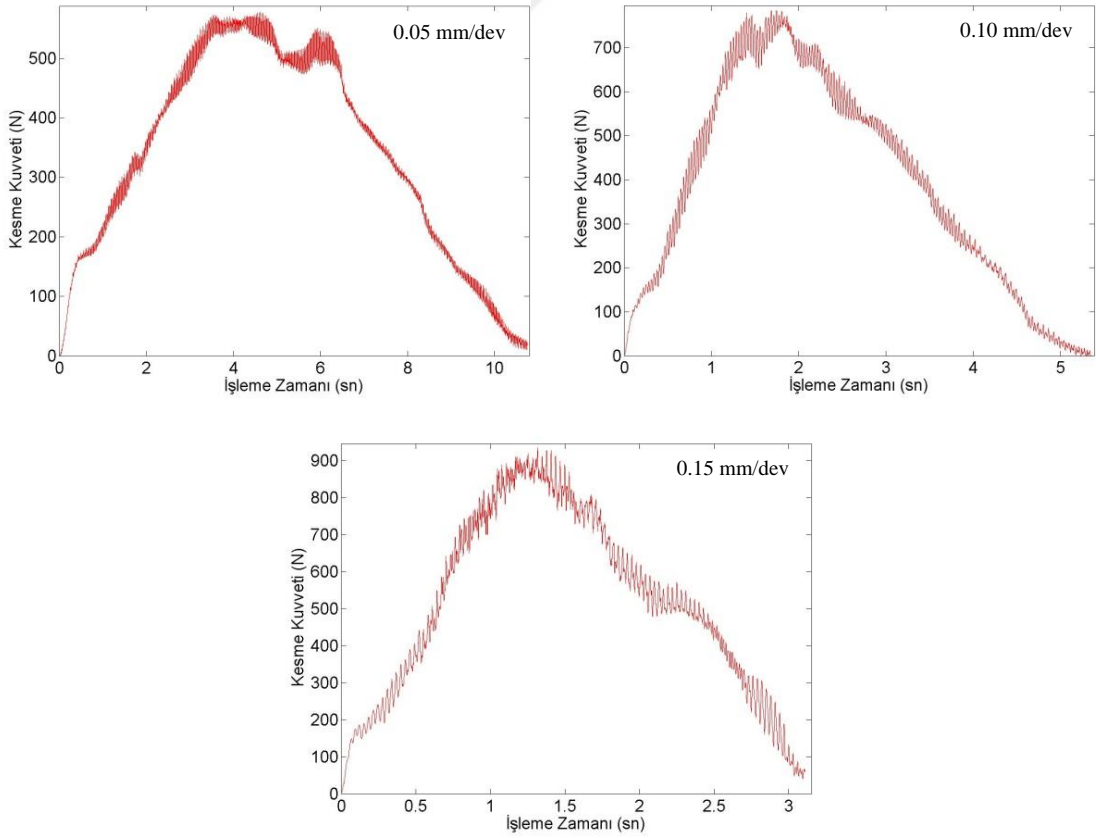
Şekil 4.5.1. T1 takımla 1000 dev/dk'da delinen 0/90 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği



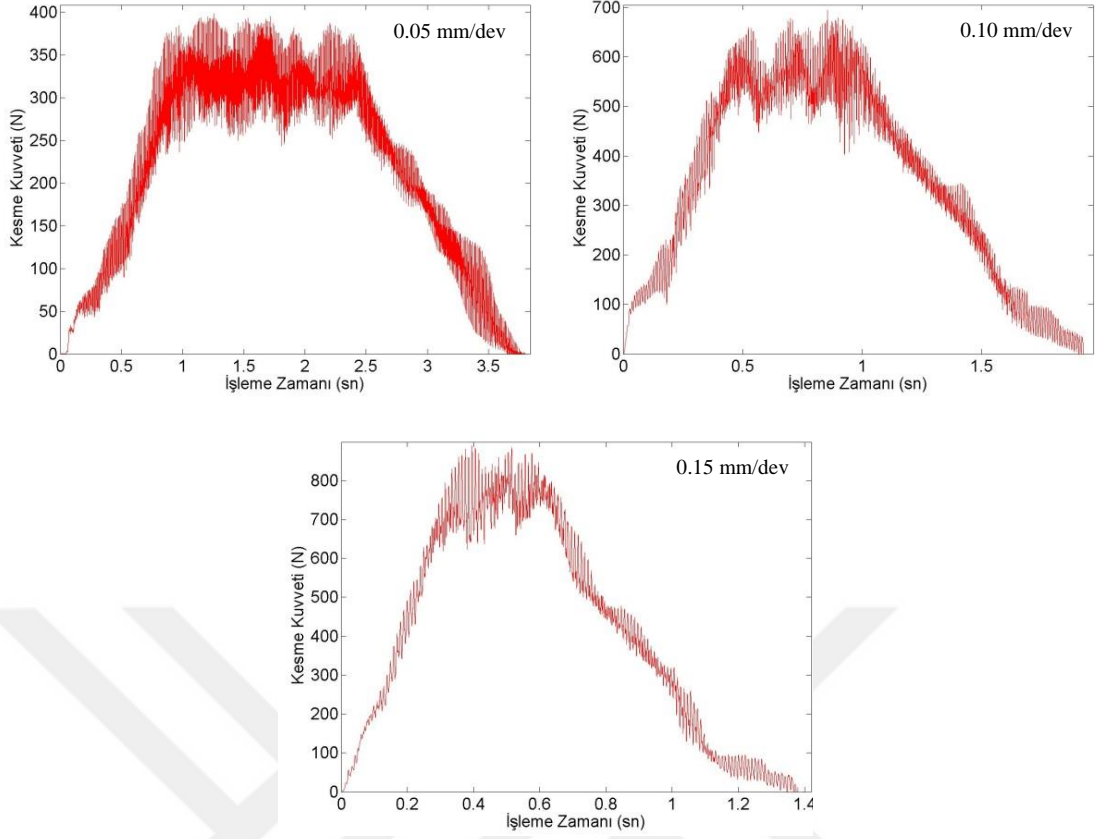
Şekil 4.5.2. T1 takımla 3000 dev/dk'da delinen 0/90 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği



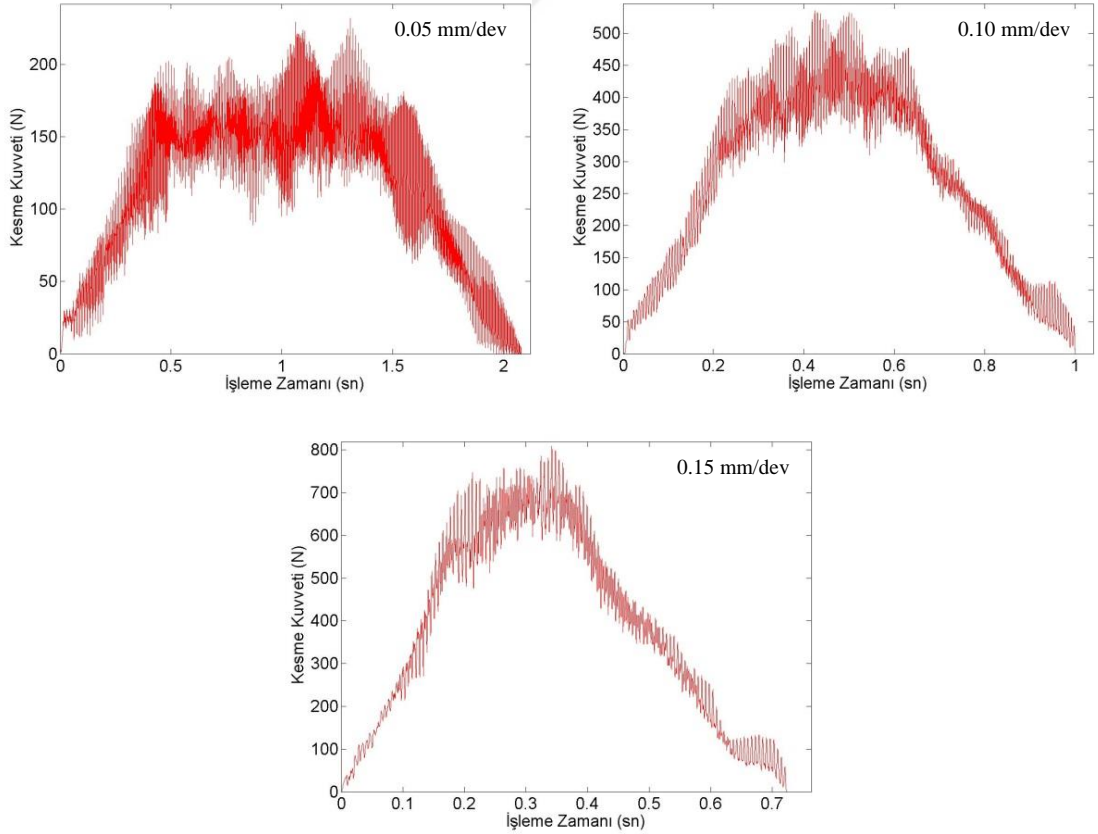
Şekil 4.5.3. T1 takımla 5000 dev/dk'da delinen 0/90 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği



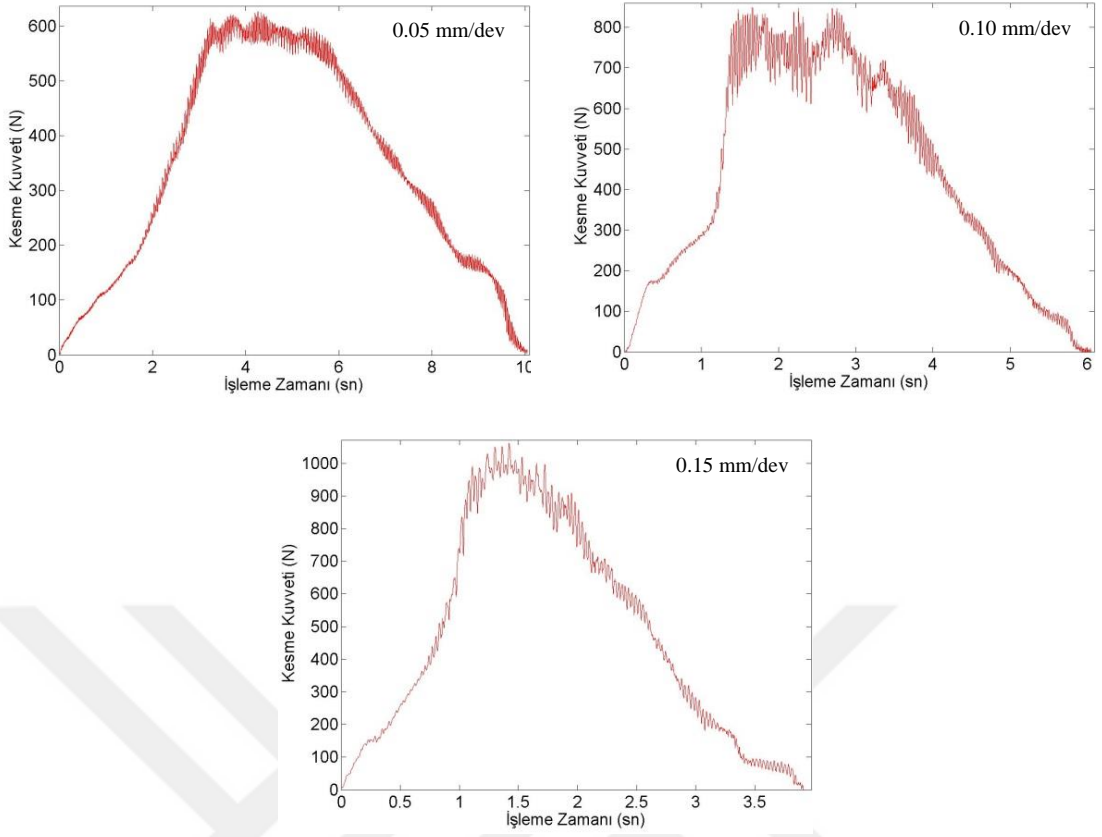
Şekil 4.5.4. T2 takımla 1000 dev/dk'da delinen 0/90 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği



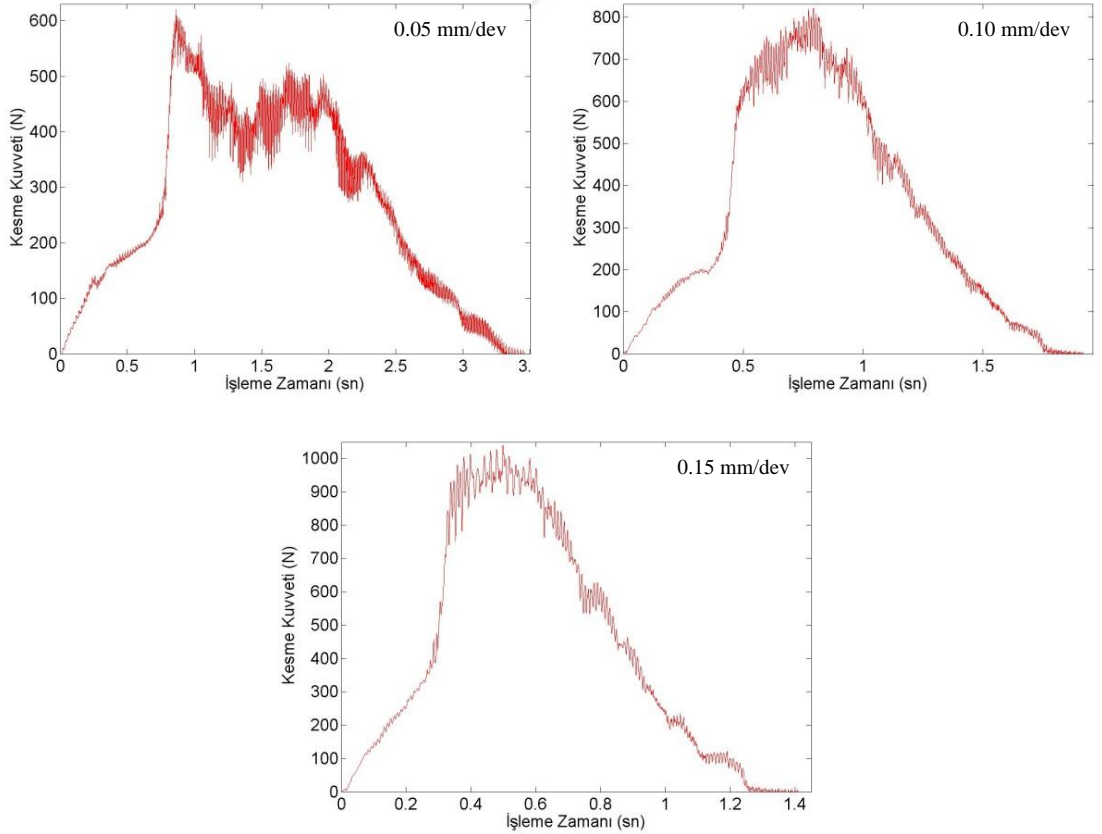
Şekil 4.5.5. T2 takımla 3000 dev/dk'da delinen 0/90 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği



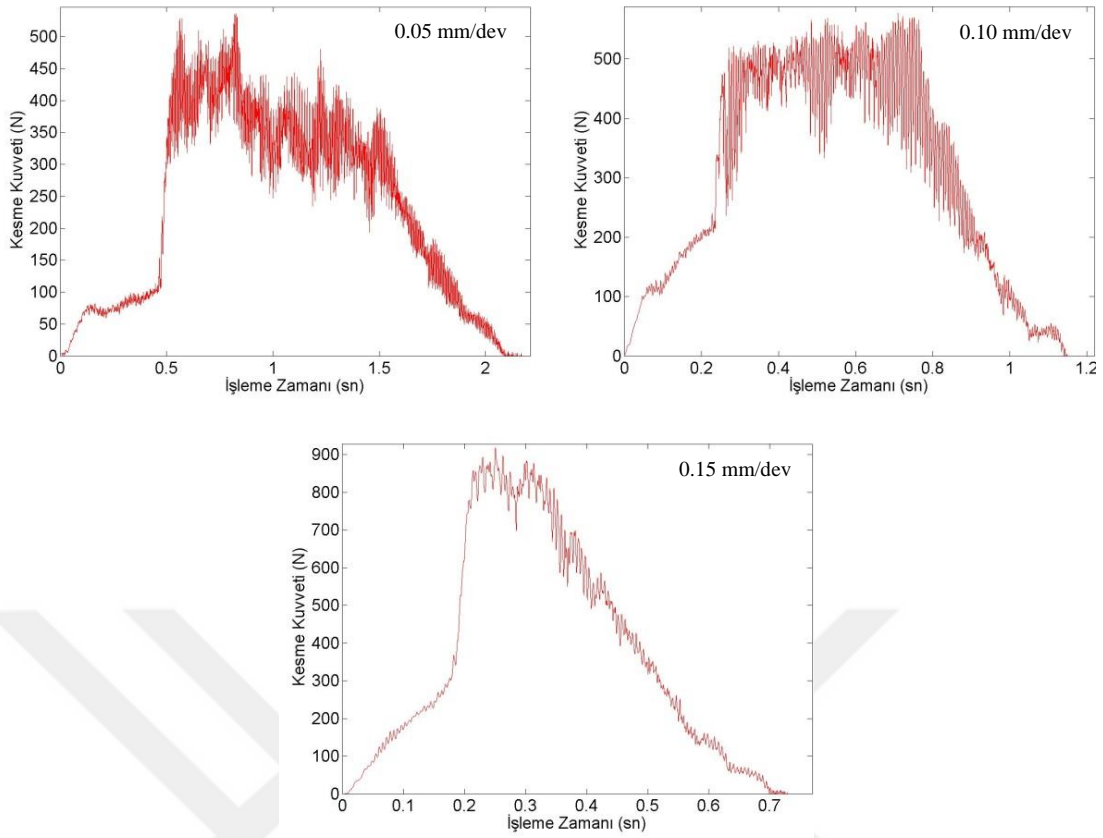
Şekil 4.5.6. T2 takımla 5000 dev/dk'da delinen 0/90 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği



Şekil 4.5.7. T3 takımla 1000 dev/dk'da delinen 0/90 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği

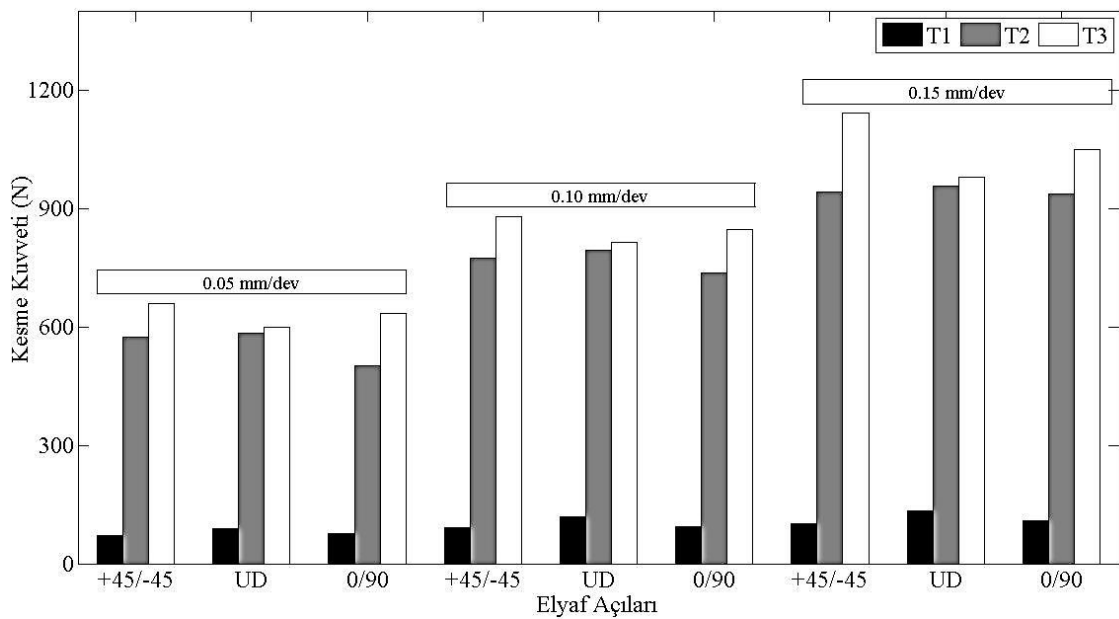


Şekil 4.5.8. T3 takımla 3000 dev/dk'da delinen 0/90 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği



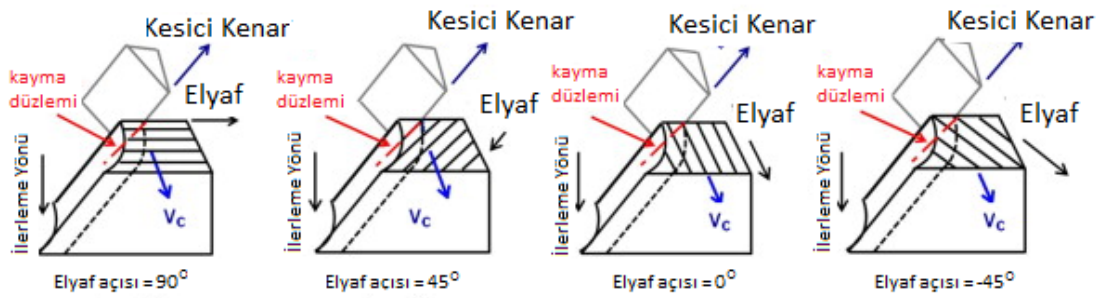
Şekil 4.5.9. T3 takımla 5000 dev/dk'da delinen 0/90 elyaf açılı KETP'e ait kesme kuvveti grafiği

+45/-45, UD ve 0/90 elyaf açılına sahip KETP kompozitlerin 1000 dev/dk iş mili devri ve 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev ilerleme oranlarında T1, T2 ve T3 takımlarıyla delinmesinde elde edilen kesme kuvvetleri Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



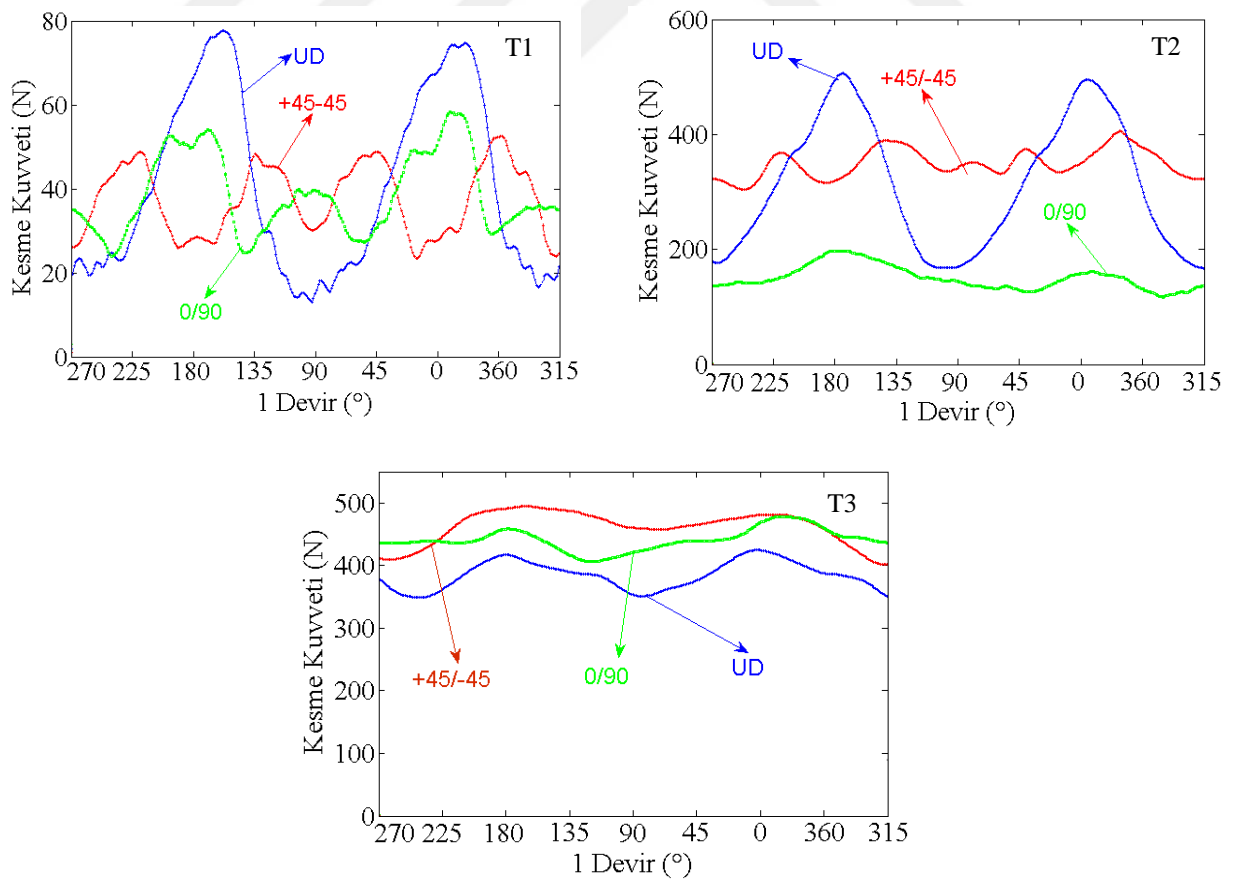
Şekil 4.6. Delme parametrelerinin ve elyaf açısının kesme kuvvetine etkileri (1000 dev/dk)

4.8’de gösterilmiştir. Elyaf açısı ile kesici kenar arasındaki açının azalmasıyla kesme kuvveti azalmaktadır (Rajamurugan ve ark., 2012).



Şekil 4.8. Elyaf yönlendirme açıları için kesme modelleri (Bonnet ve ark., 2015)

Farklı elyaf açılı KETP’lerin T1, T2 ve T3 takımlarıyla 1000 dev/dk iş mili devrinde ve 0.05 mm/dev ilerleme oranında delinmesinde bir devirde meydana gelen kesme kuvveti profilleri Şekil 4.9’da gösterilmiştir. Takım pozisyonu tespit edilirken önce F_x ve F_y kesme kuvvetleri incelenmiştir. F_x ve F_y kuvvetlerinin minimum olduğu noktalar tespit edildikten sonra diğer pozisyonlamalar yapılmıştır.

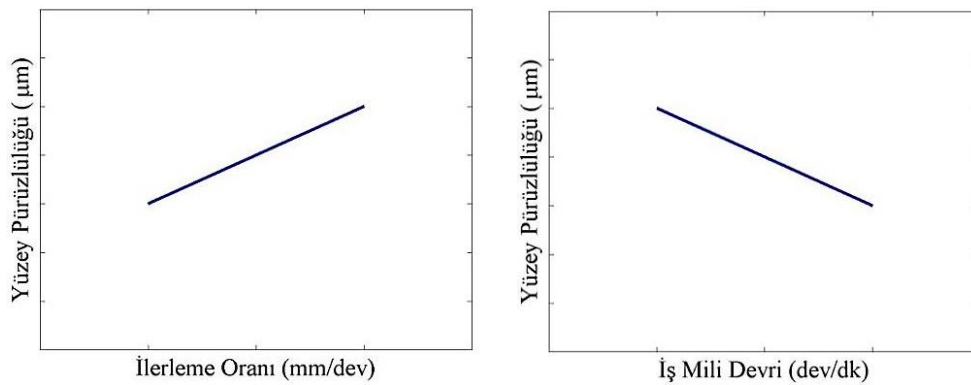


Şekil 4.9. Farklı elyaf açılı KETP’lerin delinmesinde bir devirdeki kesme kuvveti profilleri

Kesme kuvveti profilleri incelendiği zaman kesici kenarın elyafa dik olduğu pozisyonlarda kesme kuvvetlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. UD elyaf açılı KETP'lerin delinmesinde kesici takım deliğın 90° ve 270° pozisyonlarında, +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin delinmesinde kesici takım deliğın 45°, 135°, 225° ve 315° pozisyonlarında, 0/90 elyaf açılı KETP'lerin delinmesinde kesici takım deliğın 90° ve 270° pozisyonlarında iken en yüksek kesme kuvvetleri elde edilmiştir.

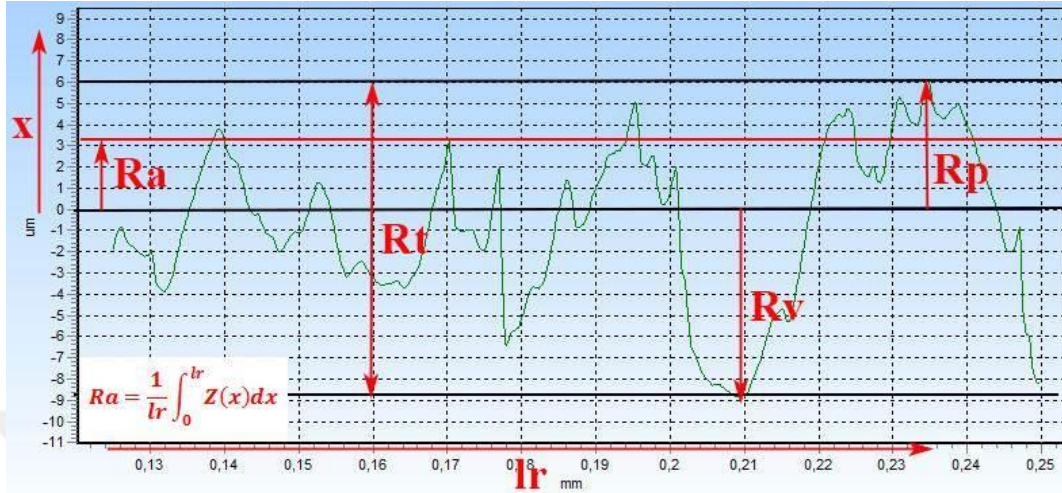
4.2. Yüzey Pürüzlülüğü Analizi

Yüzey pürüzlülüğü geometrik toleransla ilgili bir kavramdır. Delik yüzeyinin karakterize edilmesine olanak sağlar (Xu ve ark., 2014). Kompozitlerin delinmesinde delme performansı yüzey kalitesi üzerinde önemli bir rol oynar. İyi bir yüzey kalitesi, yorulma ömrünü, çekme dayanımını ve sürtünme ömrünü önemli derecede iyileştirir. Yüzey kalitesini belirleyen özelliklerinden biri de yüzey pürüzlülüğüdür. Yüzey pürüzlülüğü işleme parametrelerinden önemli derecede etkilenir. Elyaf takviyeli kompozitlerin delinmesi ile ilgili daha önce yapılan çalışmalarda delme parametreleri ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki detaylı olarak incelenmiştir. Delme parametreleri ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkiyi inceleyen araştırmacılar varyans analizleri, yapay sinir ağları, bulanık mantık, eğri uydurma gibi yöntemler kullanarak çeşitli modeller oluşturmuşlardır. Şekil 4.10'da gösterilen grafikten iş mili devrinin artması ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığı (Pandit ve ark., 2007; Rawat ve ark., 2009; Khashaba ve ark., 2010; Palanikumar, 2011; Amran ve ark., 2013), ilerleme oranının artmasıyla da yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür (Santhanakrishnan, 1990; Ogawa ve ark., 1997; Pandit ve ark., 2007; Rawat ve ark., 2009; Khashaba ve ark., 2010; Palanikumar, 2011; Sadek ve ark., 2012; Xu ve ark., 2014;).



Şekil 4.10. Literatür çalışmalarında delme parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülüğünün değişimi

T3 takımla 5000 dev/dk iş mili devrinde ve 0.05 mm/dev ilerleme oranında delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'in deliğin 90°'lik pozisyonundaki yüzey pürüzlülüğü grafiği Şekil 4.11'de gösterilmiştir.

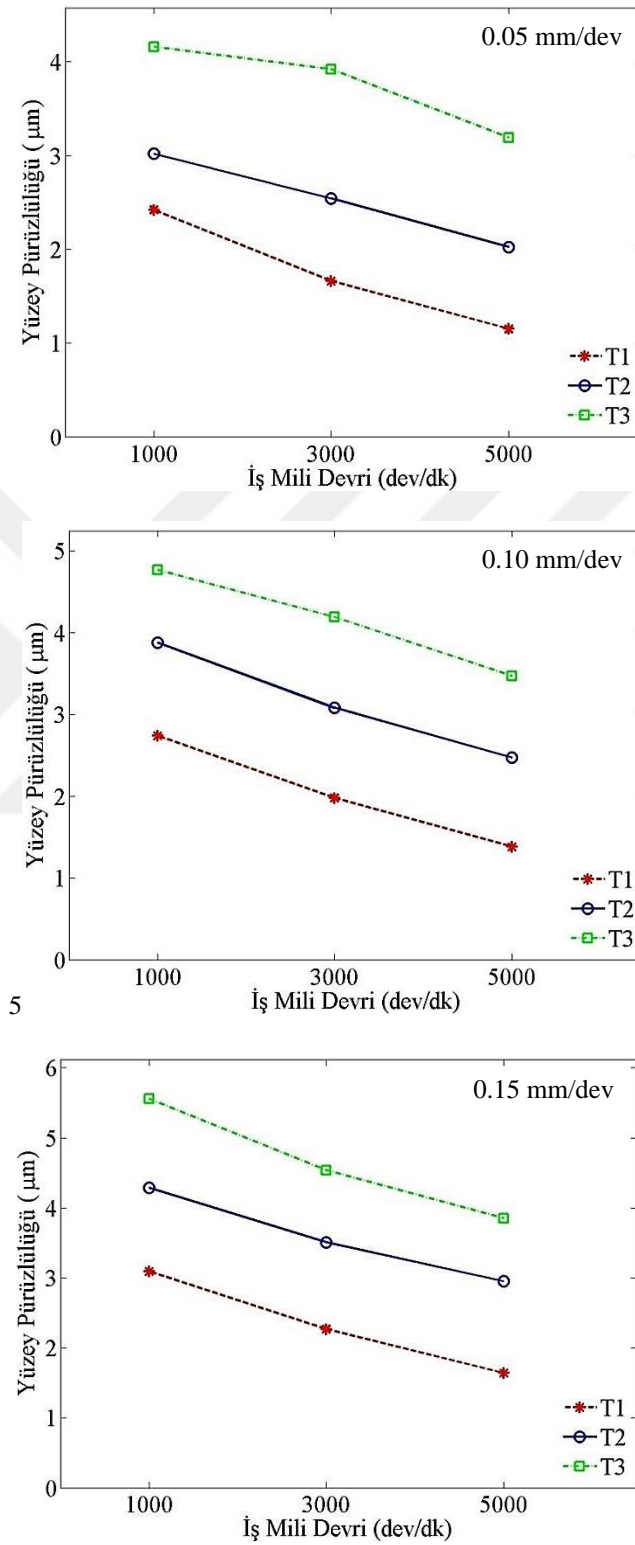


Şekil 4.11. T3 takımla delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'in pürüzlülüğü grafiği

4.2.1. +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülüğü analizi

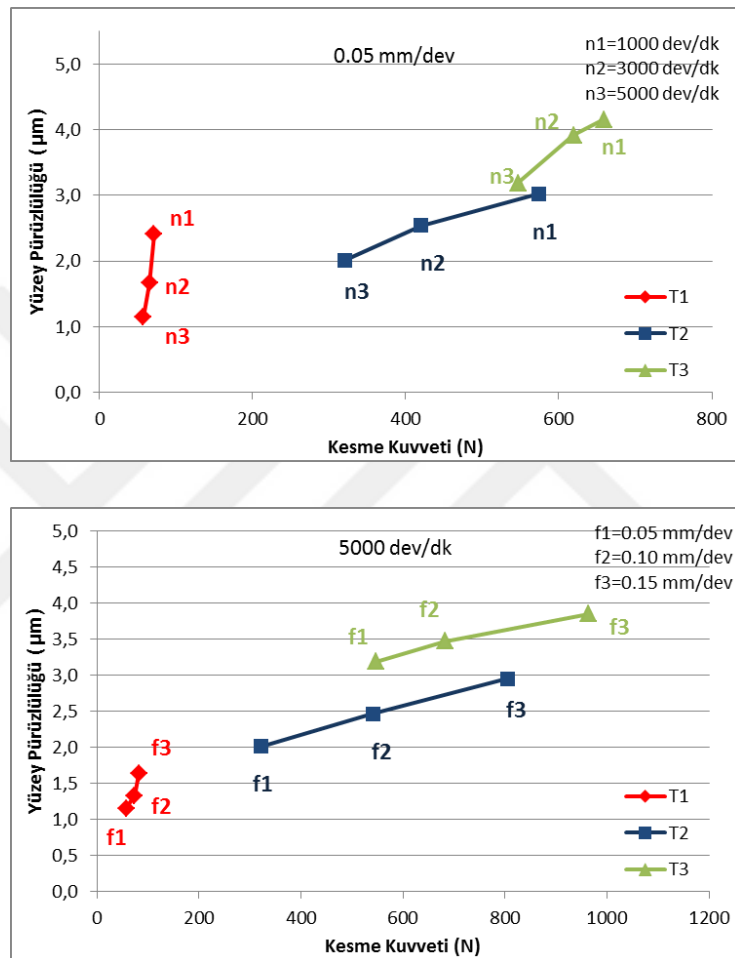
T1, T2 ve T3 takımlarıyla farklı delme parametrelerinde delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'lere ait yüzey pürüzlülüğü grafikleri Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri kesme kuvveti üzerine etkilerine benzerlik göstermiştir. Her üç kesici takım için artan iş mili devirlerinde delik bölgesinde ısı artışı meydana gelmekte ve düşük ısı iletim katsayısına sahip olan matris ısıyı delik bölgesinden uzaklaştıramadığı için yumuşamaya veya erimeye başlayarak delme işlemini kolaylaştırmaktadır (Faraz ve ark., 2009; Xu ve ark., 2014; Kavad ve ark., 2014; Kishore ve ark., 2009; Palanikumar, 2011; Krishnaraj ve ark., 2012 Nasır ve ark., 2015). Artan ilerleme oranlarında ise kesici takımın bir devirde kaldırması gereken talaş miktarı arttığından dolayı elyafı kesmeye yeterince vakit bulamaz. Bu durumda kesici takım elyafı tam olarak kesemez ve elyafı eğilmeye veya kopmaya maruz bırakır (Uysal, 2009; Xu ve ark., 2014). Kopan elyaf delik yüzeyinde boşluklar meydana getirerek yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olur (Kavad ve ark., 2014). T1 takımının ısı iletim katsayısının, sertliğinin, aşınma ve sürtünme direncinin daha iyi olması nedeniyle T1 takımıyla yapılan delme işlemlerinde en düşük yüzey pürüzlülükleri elde edilmiştir. En düşük yüzey pürüzlülüğü T1 takım ile 5000 dev/dk iş mili devri ve 0.05 mm/dev ilerleme oranında yapılan delmede 1.15 µm, en yüksek

yüzey pürüzlülüğü T3 takım ile 1000 dev/dk iş mili devri ve 0.15 mm/dev ilerleme oranında yapılan delmede 5.56 μm elde edilmiştir.



Şekil 4.12. +45/-45 elyaf açılı KETP'ler için delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri

+45/-45 elyaf açılı KETP'lerin T1, T2 ve T3 takımlarıyla yapılan delme işlemlerinde kesme kuvvetinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi Şekil 4.13'te gösterilmiştir. Şekil 4.13'ten kesme kuvvetinin arttığı durumlarda yüzey pürüzlülüğünün arttığı gözlemlenmiştir. Kesme kuvveti ile yüzey pürüzlülüğü arasında lineer bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir.

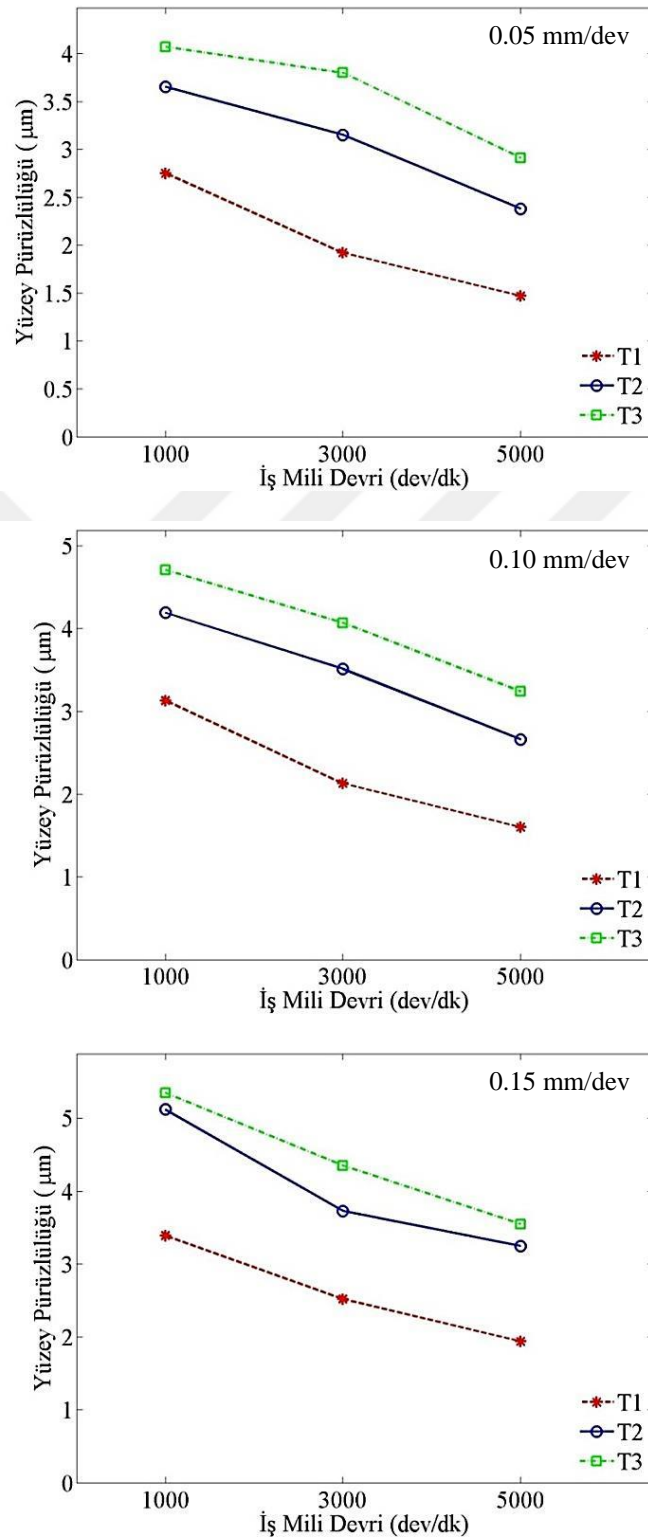


Şekil 4.13. +45/-45 elyaf açılı KETP'lerde kesme kuvveti ile yüzey pürüzlülüğünün ilişkisi

4.2.2. UD elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülüğü analizi

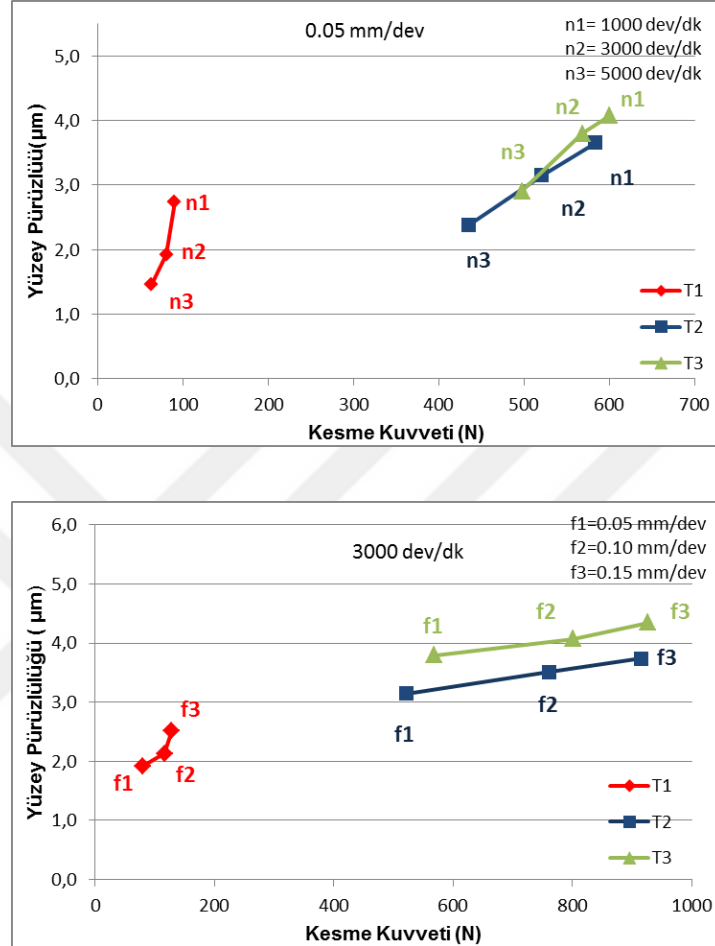
Farklı takımlarla delinen UD elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülüklerine ait grafikler Şekil 4.14'te gösterilmiştir. Artan iş mili devirlerinde yüzey pürüzlülüğü artarken artan iş mili devirlerinde yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. En düşük yüzey pürüzlülükleri T1 takımla yapılan delme işlemlerinden elde edilirken, en yüksek yüzey pürüzlülükleri T3 takımla yapılan delme işlemlerinden elde edilmiştir. En düşük yüzey pürüzlülüğü T1 takım ile 5000 dev/dk iş mili devri ve 0.05 mm/dev ilerleme oranında yapılan delmede 1.27 µm olarak elde edilirken, en yüksek yüzey pürüzlülüğü T3 takım

ile 1000 dev/dk iş mili devri ve 0.15 mm/dev ilerleme oranında yapılan delmede 1.67 μm olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.14. UD elyaf açılı KETP'ler için delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri

UD elyaf açılı KETP'lerin delme işlemlerinde kesme kuvvetinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi Şekil 4.15'te gösterilmiştir. Şekilden kesme kuvveti ile yüzey pürüzlülüğü arasında lineer bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir.

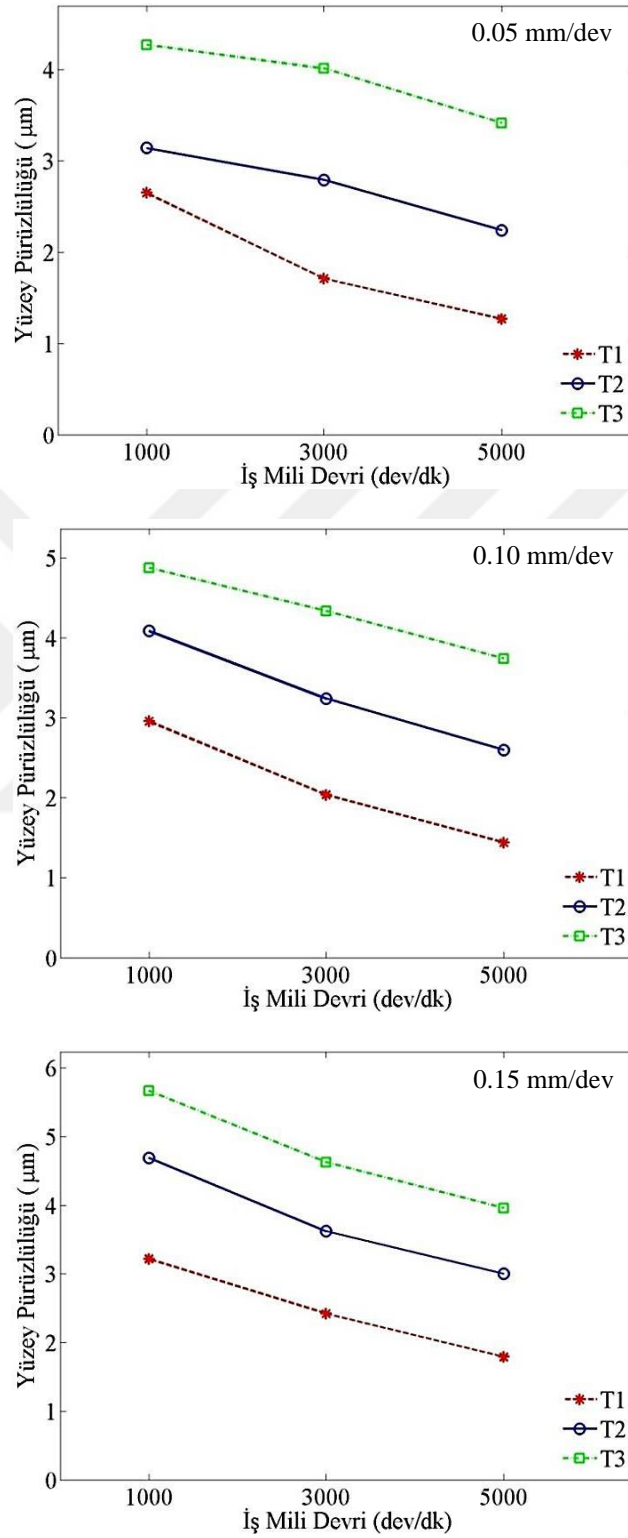


Şekil 4.15. UD elyaf açılı KETP'lerde kesme kuvveti ile yüzey pürüzlülüğünün ilişkisi

4.2.3. 0/90 elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülüğü analizi

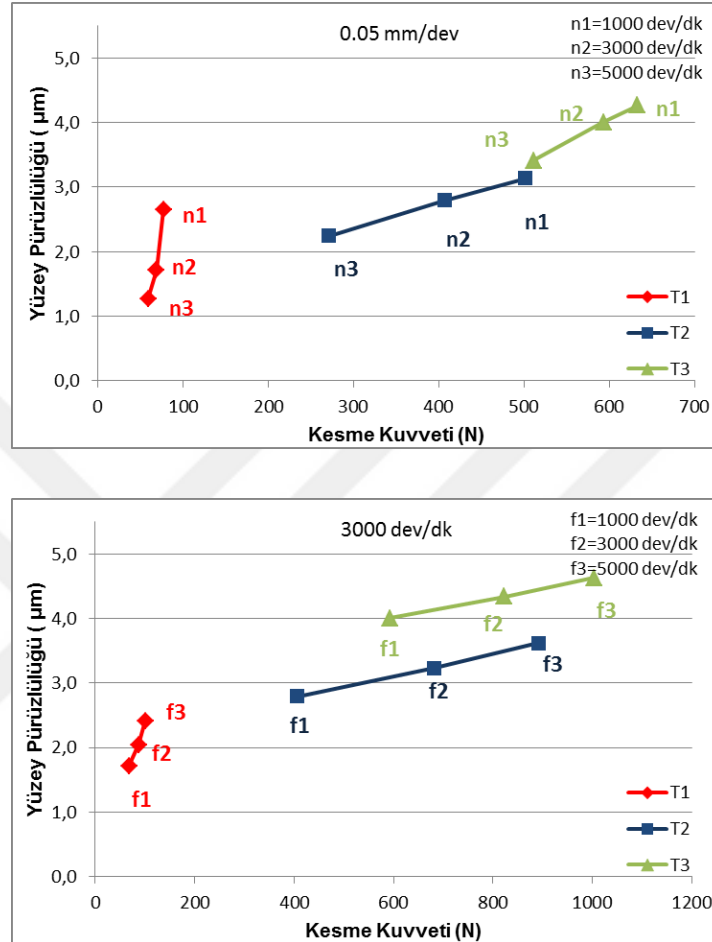
0/90 elyaf açılı KETP'lerin 1000, 3000 ve 5000 dev/dk iş mili devri ve 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev ilerleme oranında T1, T2 ve T3 takımlarıyla gerçekleştirilen delme işlemlerine ait yüzey pürüzlülüğü sonuçları Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Benzer şekilde iş mili devrinin artmasıyla yüzey pürüzlülüğü azalırken, ilerleme oranının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü artmıştır. En düşük yüzey pürüzlülükleri T1 takımıyla gerçekleştirilen delme deneylerinden elde edilirken, en yüksek yüzey pürüzlülükleri T3 takımıyla yapılan delme işlemlerinden elde edilmiştir. En düşük yüzey pürüzlülüğü T1 takımıyla 5000 dev/dk iş mili devri ve 0.05 mm/dev ilerleme oranında yapılan delme işleminde 1.47 µm olarak; en yüksek yüzey pürüzlülüğü ise T3 takımıyla 1000 dev/dk iş

mili devri ve 0.15 mm/dev ilerleme oranlarında yapılan delme işleminde $5.35 \mu\text{m}$ olarak elde edilmiştir.



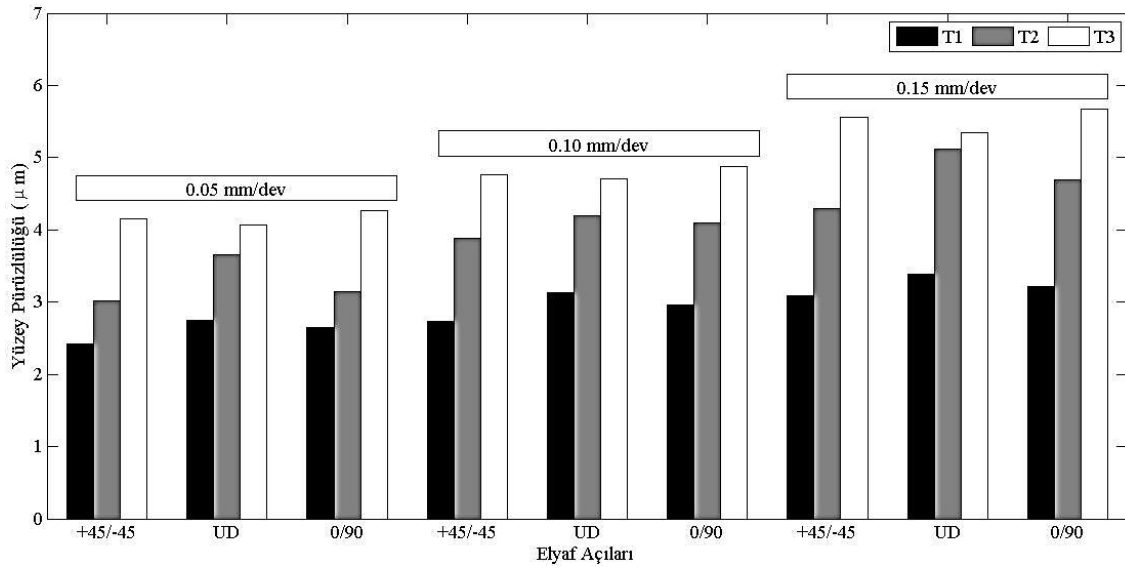
Şekil 4.16. 0/90 elyaf açılı KETP'ler için delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri

0/90 elyaf açılı KETP'lerin delme işlemlerinde kesme kuvvetinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi Şekil 4.17'de gösterilmiştir. Şekilden kesme kuvveti ile yüzey pürüzlülüğü arasında lineer bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.17. 0/90 elyaf açılı KETP'lerde kesme kuvveti ile yüzey pürüzlülüğünün ilişkisi

+45/-45, UD ve 0/90 elyaf açılı KETP'lerin 1000 dev/dk iş mili devri ve 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev ilerleme oranında T1, T2, T3 takımlarıyla gerçekleştirilen delme işlemlerine ait yüzey pürüzlülüğü sonuçları Şekil 4.18'de gösterilmiştir.



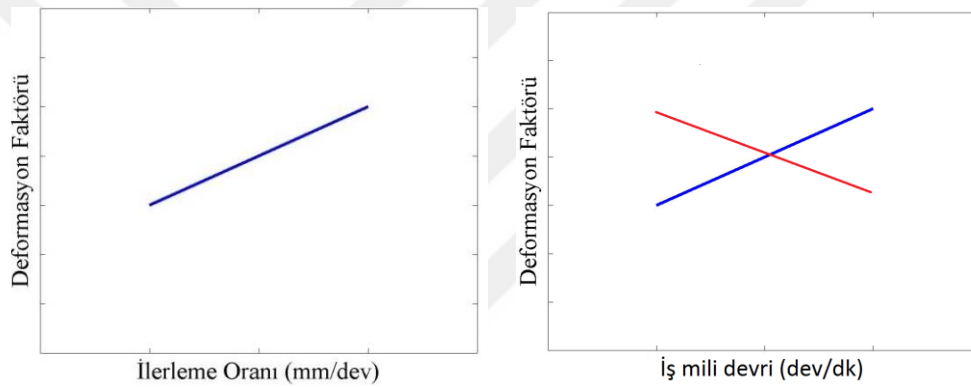
Şekil 4.18. Delme parametrelerinin ve elyaf açısının yüzey pürüzlülüğüne etkileri

T1 ve T2 takım ile yapılan delme işlemlerinde en yüksek yüzey pürüzlülükleri UD elyaf açılı KETP'lerin delinmesinde meydana gelirken, en düşük yüzey pürüzlülükleri +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin delinmesinde elde edilmiştir. T3 takım ile yapılan delme işlemlerinde ise en yüksek yüzey pürüzlülükleri 0/90 elyaf açılı KETP'lerin delinmesinden elde edilirken en düşük yüzey pürüzlülükleri UD elyaf açılı KETP'lerin delinmesinden elde edilmiştir. Ek-2'de +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin, Ek-3'te UD elyaf açılı KETP'lerin ve Ek-4'te 0/90 elyaf açılı KETP'lerin delik yüzeylerindeki 90° ve 270° açılara denk gelen noktalarından ölçülen yüzey pürüzlülüğü grafikleri verilmiştir.

4.3. Deformasyon Faktörü Analizi

Tabaka ayrılması ve elyaf kopması olarak ta bilinen deformasyon kompozitlerin delinmesinde en çok görülen hasar türüdür. Deformasyon, takım ucunun ilerleme kuvvetinden ya da talaş kaldırma esnasında meydana gelen çekme kuvvetinden dolayı meydana gelmektedir. Deformasyon kompozit malzemenin dayanımını önemli derecede etkilemektedir. Delme işleminden kaynaklanan deformasyondan dolayı uçak endüstrisinde kompozit parçaların %60 atıl duruma gelmektedir (Liu, 2012). Elyaf takviyeli kompozitlerin delinmesi ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiği zaman ilerleme oranının artmasıyla deformasyon faktörünün arttığını gözlemlemiştir (Davim ve ark., 2003; Davim ve ark., 2004; Khashaba ve ark., 2004; Tsao ve ark., 2005; Arul ve ark., 2006; Sardinas ve ark., 2006; Gaitonde ve ark., 2008; Karnik ve ark., 2008;

Kilickap, 2010; Rubio ve ark.,2008; Rawat ve ark., 2009;). Araştırmacılar, iş mili devrinin deformasyon faktörüne etkisiyle ilgili farklı sonuçlar gözlemlemişlerdir. Bazı araştırmacılar iş mili devrinin artması ile deformasyon faktörünün azaldığını (Khashaba ve ark., 2004;2010; Gaitonde ve ark., 2008; Karnik ve ark., 2008; Rubio ve ark.,2008; Rawat ve ark., 2009; Arul ve ark., 2006; Tsao ve ark., 2005), bazı araştırmacılar ise deformasyon faktörünün arttığını (Davim ve ark., 2003; Davim ve ark., 2004; Sardinas ve ark., 2006; Kilickap, 2010) gözlemlemişlerdir (Şekil 4.19). İş mili devri ile deformasyon faktörü arasındaki ilişkiyi belirlemek için kesme kuvvetinin incelemesi gerekmektedir. Kesme kuvvetinin artmasıyla deformasyon faktörünün arttığı bilinmektedir. Yapılan deneylerde iş mili devrinin artmasıyla kesme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Buna bağlı olarak deformasyon faktörü de azalmıştır.

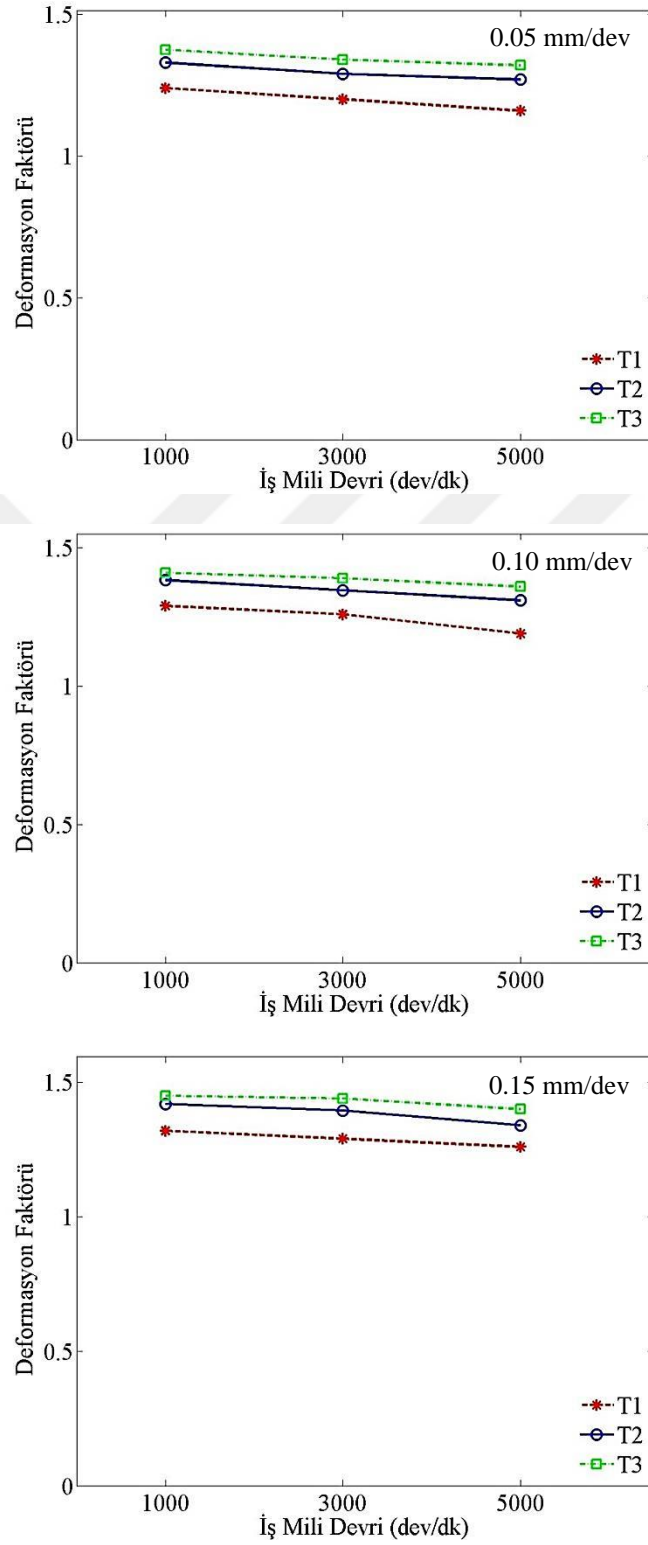


Şekil 4.19. Literatür çalışmalarında delme parametrelerine bağlı deformasyon faktörünün değişimi

4.3.1. +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin deformasyon analizi

+45/-45 elyaf açılı KETP'lerin delme parametrelerine bağlı deformasyon faktörü değişimi Şekil 4.20'de ve Tablo 4.1'de gösterilmiştir. İlerleme oranının artmasıyla iş parçası ve takım arasındaki temas ve ilerleme kuvveti arttığından dolayı KETP'de kırılmalar meydana gelerek deformasyon faktörünün atmasına neden olmuştur (Krishnamorthy ve ark., 2009). T1 takımının T2 ve T3 takımına göre ısı iletim katsayısının, sertliğinin, aşınma ve sürtünme direncinin daha iyi olması nedeniyle bu takım ile yapılan delme işlemlerinde kesme kuvveti daha düşük gözlemlenmişti. T3 takımla yapılan delmede kesme kuvveti daha düşük olduğundan deformasyon faktörleri de daha düşük elde edilmiştir. +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin delinmesinde en düşük deformasyon faktörü T1 takımla 5000 dev/dk iş mili devri ve 0.05 mm/dev ilerleme oranında 1.16 olarak, en yüksek deformasyon faktörü T3 takımla 1000 dev/dk iş mili devri ve 0.15 mm/dev ilerleme oranında 1.45 olarak elde edilmiştir. Ayrıca delik

girişindeki deformasyon faktörlerinin delik çıkışıındaki deformasyon faktörlerinden düşük olduğu gözlemlenmiştir.



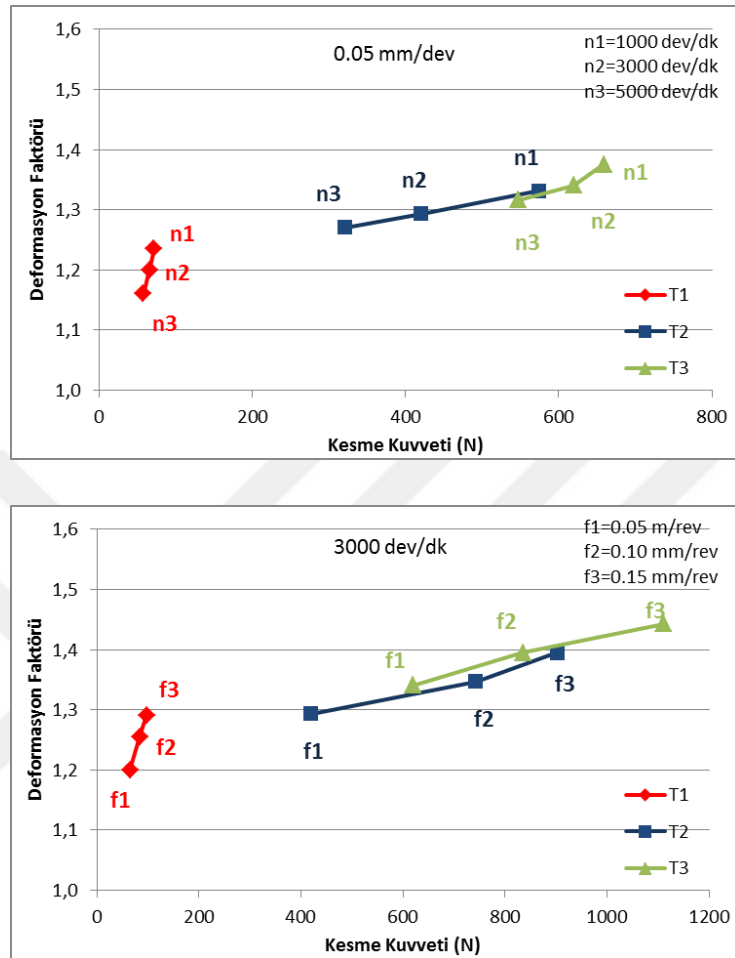
Şekil 4.20. +45/-45 elyaf açılı KETP'ler için delme parametrelerinin deformasyon faktörüne etkileri

Tablo 4.1. +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin delik giriş ve çıkışındaki deformasyonları

Takım	Devir dev/dk	0.05 mm/dev		0.10 mm/dev		0.15 mm/dev	
		Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
T1	1000						
	3000						
	5000						
T2	1000						
	3000						
	5000						
T3	1000						
	3000						
	5000						

+45/-45 elyaf açılı KETP'lerin T1, T2 ve T3 takımlarıyla yapılan delme işlemlerinde kesme kuvvetinin deformasyon faktörüne etkisi Şekil 4.21'de gösterilmiştir. Şekil 4.21'den kesme kuvvetinin arttığı durumlarda deformasyon

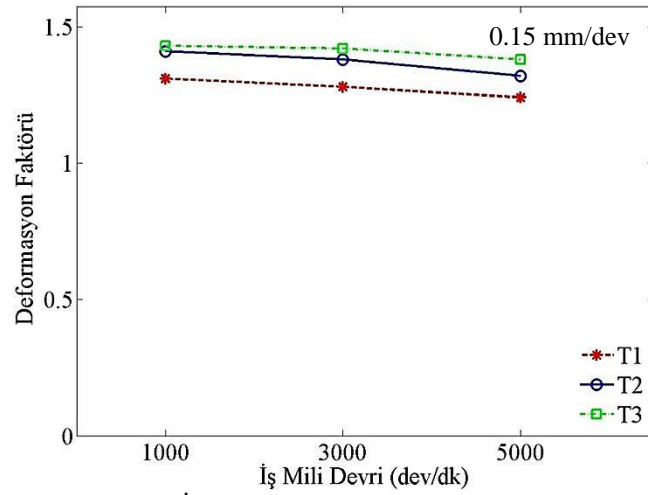
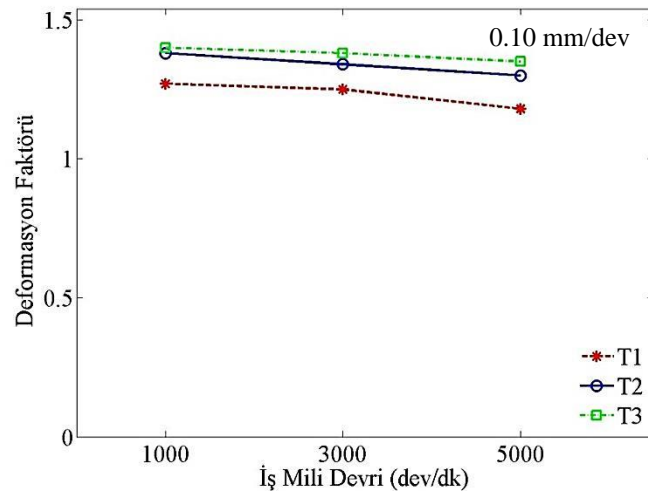
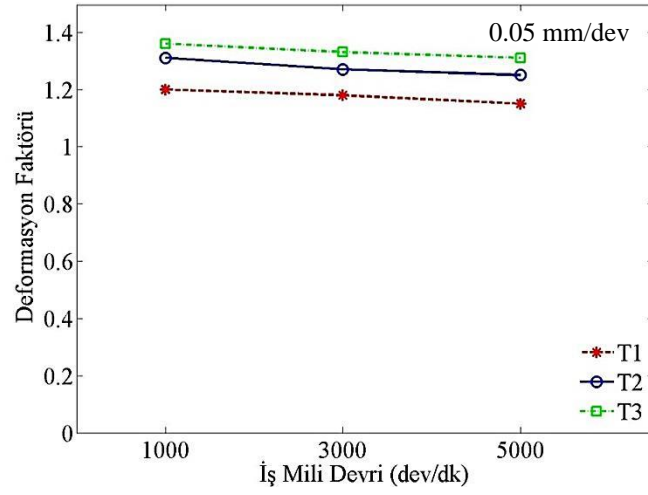
faktörünün arttığı gözlemlenmiştir. Kesme kuvveti ile deformasyon faktörü arasında lineer bir ilişki olduğu söylenebilir.



Şekil 4.21. +45/-45 elyaf açılı KETP'lerde kesme kuvveti ile yüzey pürüzlülüğünün ilişkisi

4.3.2. UD elyaf açılı KETP'lerin deformasyon analizi

UD elyaf açılı KETP'lerin deformasyon faktörlerinin iş mili devri, ilerleme oranı ve takım tipine bağlı olarak değişimi Şekil 4.19'da ve Tablo 4.2'de gösterilmiştir. İlerleme oranının artmasıyla iş parçası ve takım arasındaki temas ve ilerleme kuvveti arttığından dolayı KETP'de kırılmalar meydana gelerek ve deformasyon faktörünün atmasına neden olmuştur. En düşük deformasyon faktörü T1 takımla 5000 dev/dk ve 0.05 mm/dev'de 1.15 olarak, en yüksek deformasyon faktörü T3 takımla 1000 dev/dk ve 0.15 mm/devde 1.43 olarak elde edilmiştir.



c) İlerleme oranı = 0.15 mm/dev

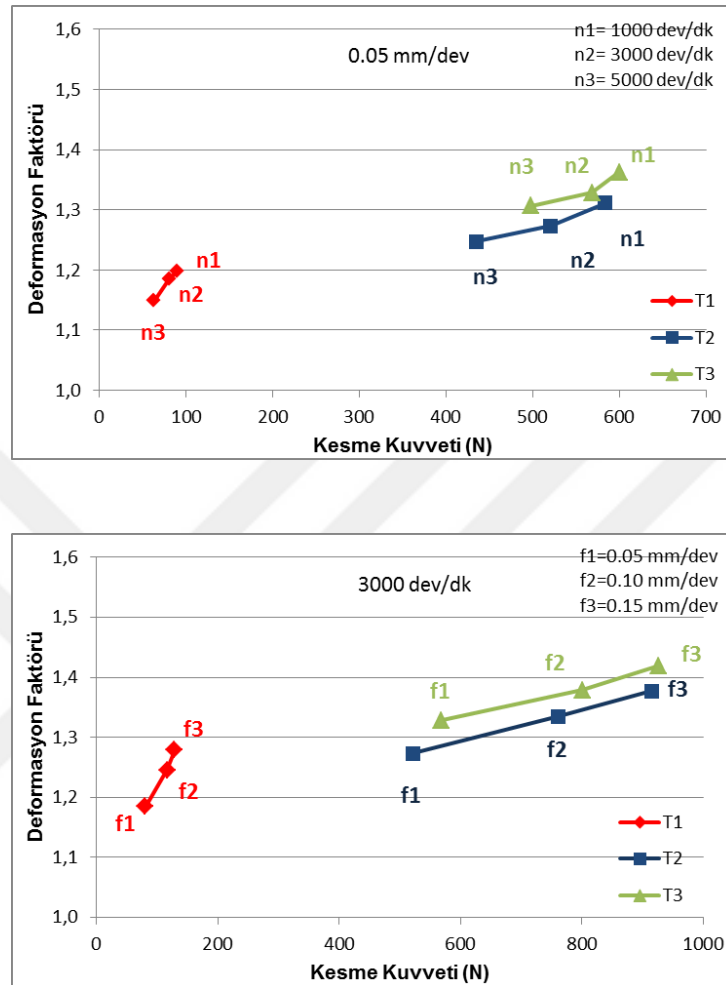
Şekil 4.22. UD elyaf açılı KETP'ler için delme parametrelerinin deformasyon faktörüne etkileri

Tablo 4.2. UD elyaf açılı KETP'lerin delik giriş ve çıkışındaki deformasyonları

Takım	Devir dev/dk	0.05 mm/dev		0.10 mm/dev		0.15 mm/dev	
		Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
T1	1000						
	3000						
	5000						
T2	1000						
	3000						
	5000						
T3	1000						
	3000						
	5000						

UD elyaf açılı KETP'lerin T1, T2 ve T3 takımlarıyla yapılan delme işlemlerinde kesme kuvvetinin deformasyon faktörüne etkisi Şekil 4.23'te gösterilmiştir. Şekil 4.23'ten kesme kuvvetinin arttığı durumlarda deformasyon faktörünün arttığı

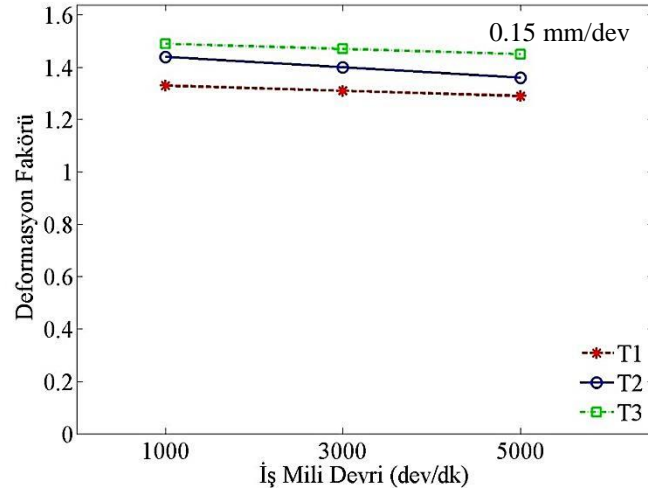
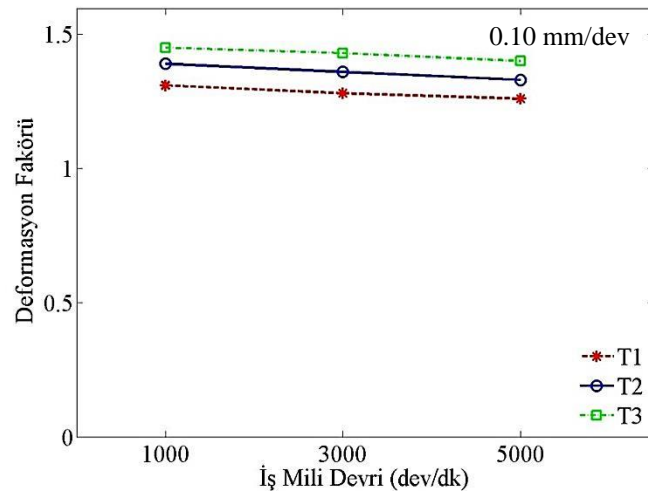
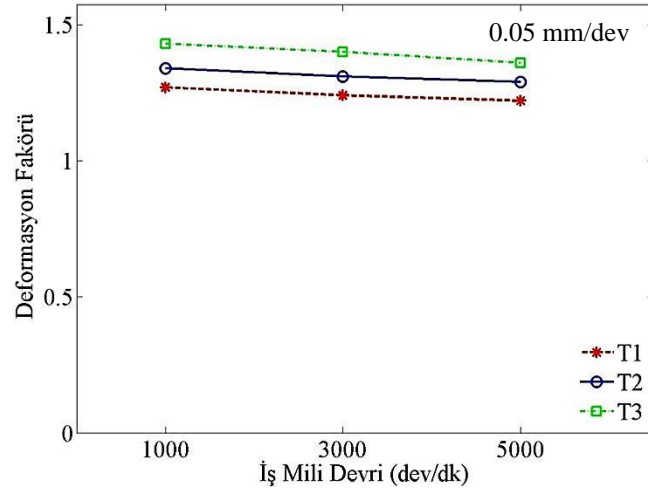
gözlemlenmiştir. Kesme kuvveti ile deformasyon faktörü arasında lineer bir ilişki olduğu söylenebilir.



Şekil 4.23. UD elyaf açılı KETP'lerde kesme kuvveti ile yüzey pürüzlülüğünün ilişkisi

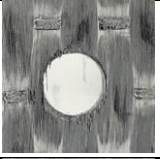
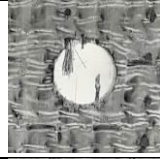
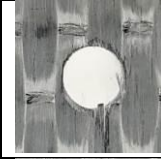
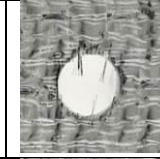
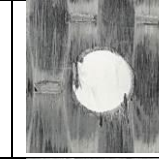
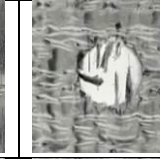
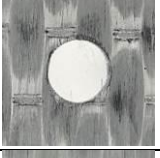
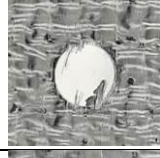

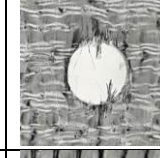

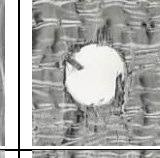
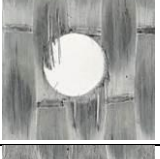
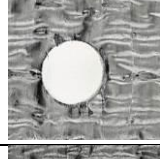



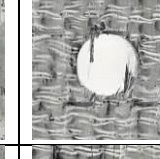

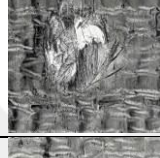



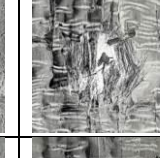
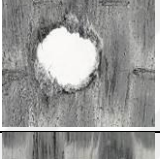
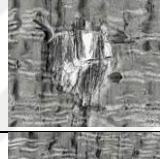



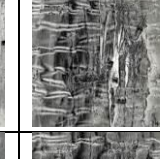

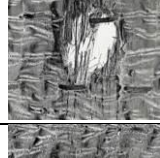

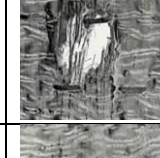
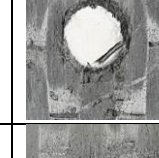
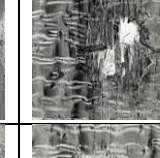

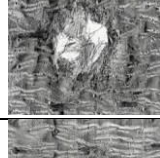



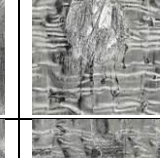

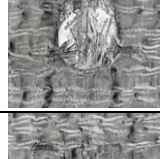



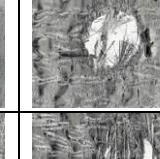






4.3.3. 0/90 elyaf açılı KETP'lerin deformasyon analizi

0/90 elyaf açılı KETP'lerin deformasyon faktörlerinin iş mili devri, ilerleme oranı ve takım tipine bağlı olarak değişimi Şekil 4.24'te ve Tablo 4.3'te gösterilmiştir. Diğer elyaf açılı KETP'lerin delinmesi esnasında oluşan deformasyon faktörlerine benzer sonuçlar göstermiştir. En düşük deformasyon faktörü T1 takımla 5000 dev/dk iş mili devri ve 0.05 mm/dev ilerleme oranında 1.22 olarak, en yüksek deformasyon faktörü T3 takımla 1000 dev/dk iş mili devri ve 0.15 mm/dev ilerleme oranında 1.49 olarak elde edilmiştir. Ayrıca delik girişindeki deformasyon faktörlerinin delik çıkışındaki deformasyon faktörlerinden düşük olduğu gözlemlenmiştir.



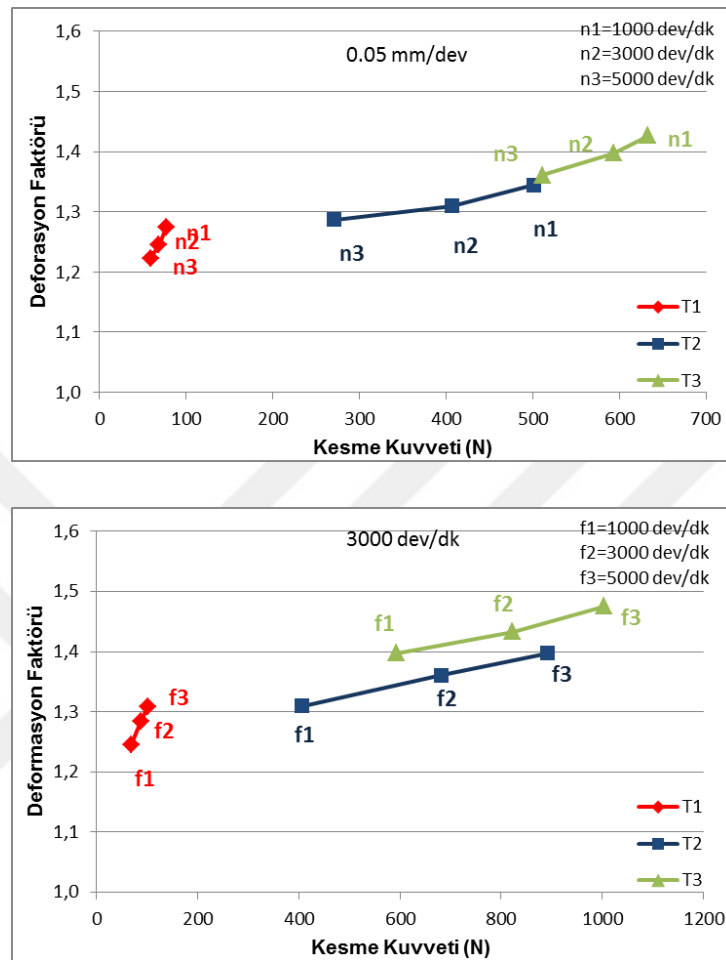
Şekil 4.24. 0/90 elyaf açılı KETP'ler için delme parametrelerinin deformasyona etkileri

Tablo 4.3. 0/90 elyaf açılı KETP'lerin delik giriş ve çıkışındaki deformasyonları

Takım	Devir dev/dk	0.05 mm/dev		0.10 mm/dev		0.15 mm/dev	
		Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
T1	1000						
	3000						
	5000						
T2	1000						
	3000						
	5000						
T3	1000						
	3000						
	5000						

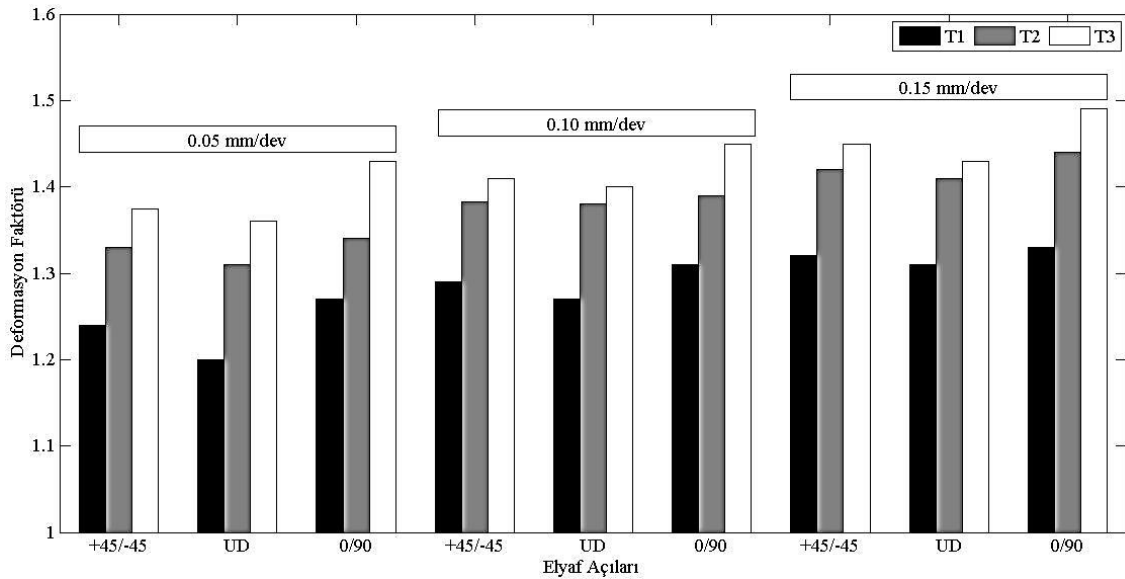
0/90 elyaf açılı KETP'lerin T1, T2 ve T3 takımlarıyla yapılan delme işlemlerinde kesme kuvvetinin deformasyon faktörüne etkisi Şekil 4.25'te gösterilmiştir. Şekil 4.25'ten kesme kuvvetinin arttığı durumlarda deformasyon

faktörünün arttığı gözlemlenmiştir. Kesme kuvveti ile deformasyon faktörü arasında lineer bir ilişki olduğu söylenebilir.



Şekil 4.25. 0/90 elyaf açılı KETP'lerde kesme kuvveti ile yüzey pürüzlülüğünün ilişkisi

+45/-45, UD ve 0/90 elyaf açılı KETP'lerin T1, T2 ve T3 takımlarıyla 1000 dev/dk iş mili devri ve 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev ilerleme oranlarında delinmesine ait deformasyon faktörleri Şekil 4.26'da gösterilmiştir. Her üç kesici takım için en düşük deformasyon faktörleri UD elyaf açılı KETP'lerin delinmesinden, en yüksek deformasyon faktörleri 0/90 elyaf açılı KETP'lerin delinmesinden elde edilmiştir.



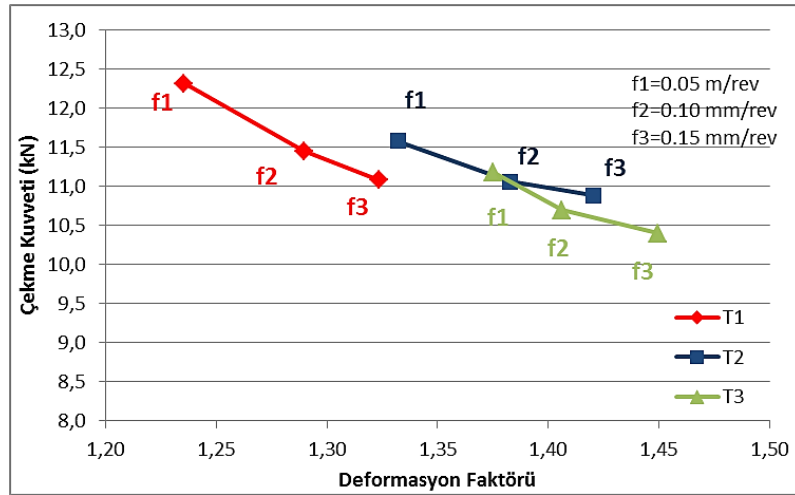
Şekil 4.26. Delme parametrelerinin ve elyaf açısının deformasyon faktörlerine etkileri

4.4. Çekme Kuvveti Analizi

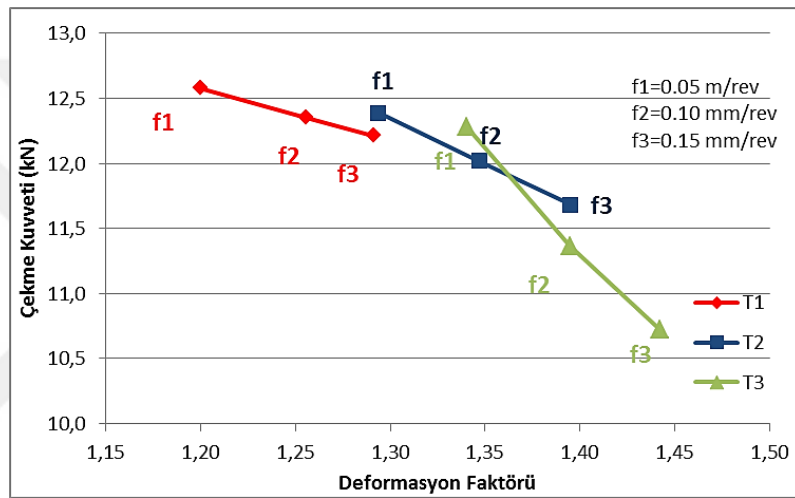
Daha önceki bölümlerde elyaf yönlendirme açısının, kesici takım tipinin, iş mili devrinin ve ilerleme oranının; kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve deformasyon üzerine etkileri açıklanmıştı. İş mili devrinin artması delme kalitesini artırırken, ilerleme oranının artması delme kalitesini azaltmıştır. T1 takımla yapılan delmede en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Delme kalitesinin iyi olması malzeme dayanımındaki kaybın daha düşük olmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla kompozit malzemeye en az hasar veren delme parametrelerinin seçilmesi, delmeden kaynaklanan dayanım kaybını düşürecektir. Elyaf takviyeli kompozitlerin farklı delme parametrelerinde delinmesinde ilgili yapılan daha önceki çalışmalarda, delme parametrelerinin kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve deformasyon faktörü üzerine etkileri araştırılmıştır. Ancak delme parametreleri ve deformasyon faktörünün delinmiş kompozitlerin çekme kuvvetine etkisini çok az sayıda araştırmacının dikkatini çekmiştir. Tezin bu kısmında farklı kesici takımlarıyla farklı iş mili devirlerinde ve farklı ilerleme oranlarında delme işlemleri gerçekleştirilen +45/-45, 0/90 ve UD elyaf açılı KETP'lerde delme parametreleri ve deformasyon faktörünün çekme kuvvetine etkisi incelenmiştir.

4.4.1. +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin çekme kuvveti analizi

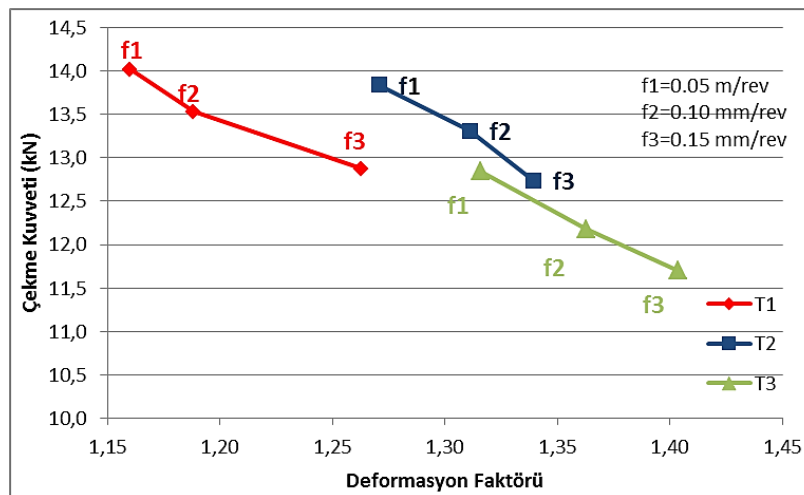
T1, T2 ve T3 takımlarıyla 1000, 3000 ve 5000 dev/dk iş mili devirlerinde ve 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev ilerleme oranlarında delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'lere ait deformasyona bağlı değişen çekme kuvveti grafikleri Şekil 4.27'de gösterilmiştir.



a) 1000 dev/dk iş mili devri



b) 3000 dev/dk iş mili devri

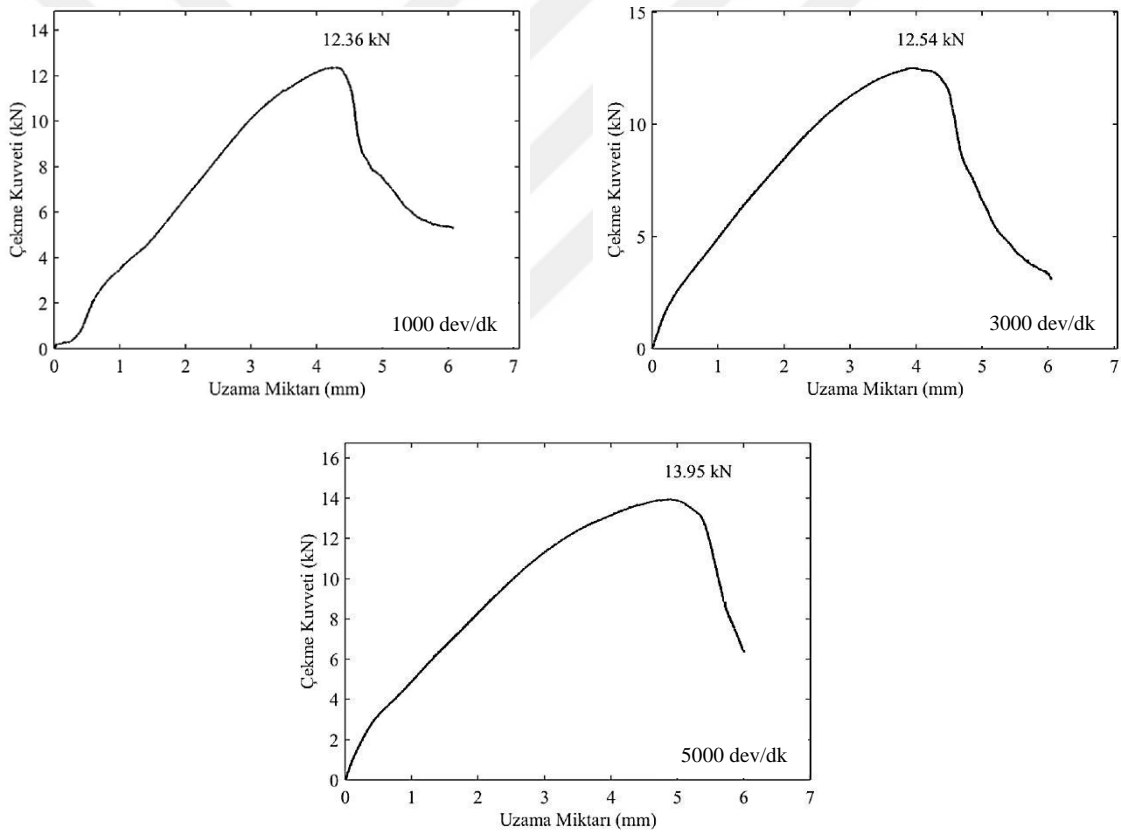


c) 5000 dev/dk iş mili devri

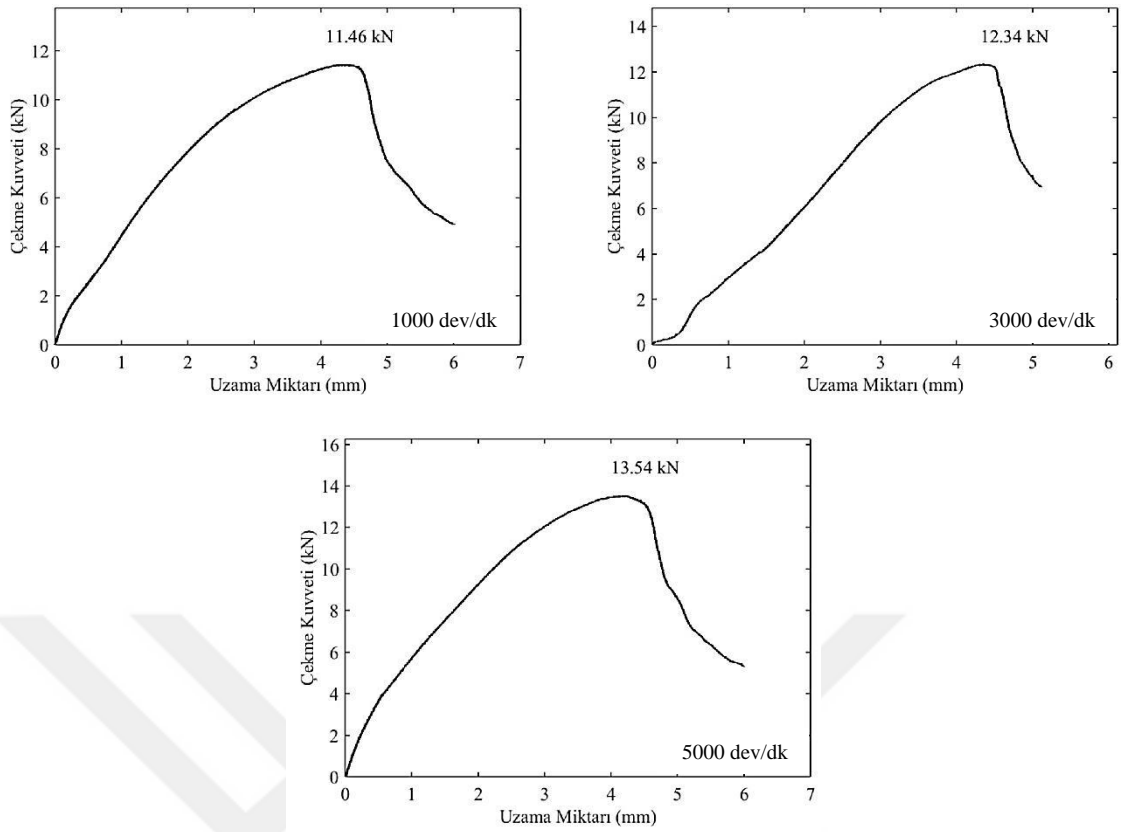
Şekil 4.27.+45/-45 elyaf açılı KETP'lerde delme parametreleri ve deformasyonun çekme kuvvetine etkisi

Yüksek iş mili devirlerinde ve düşük ilerleme oranlarında daha düşük deformasyon faktörleri elde edildiğinden dolayı bu parametrelerde delinen KETP'lerin

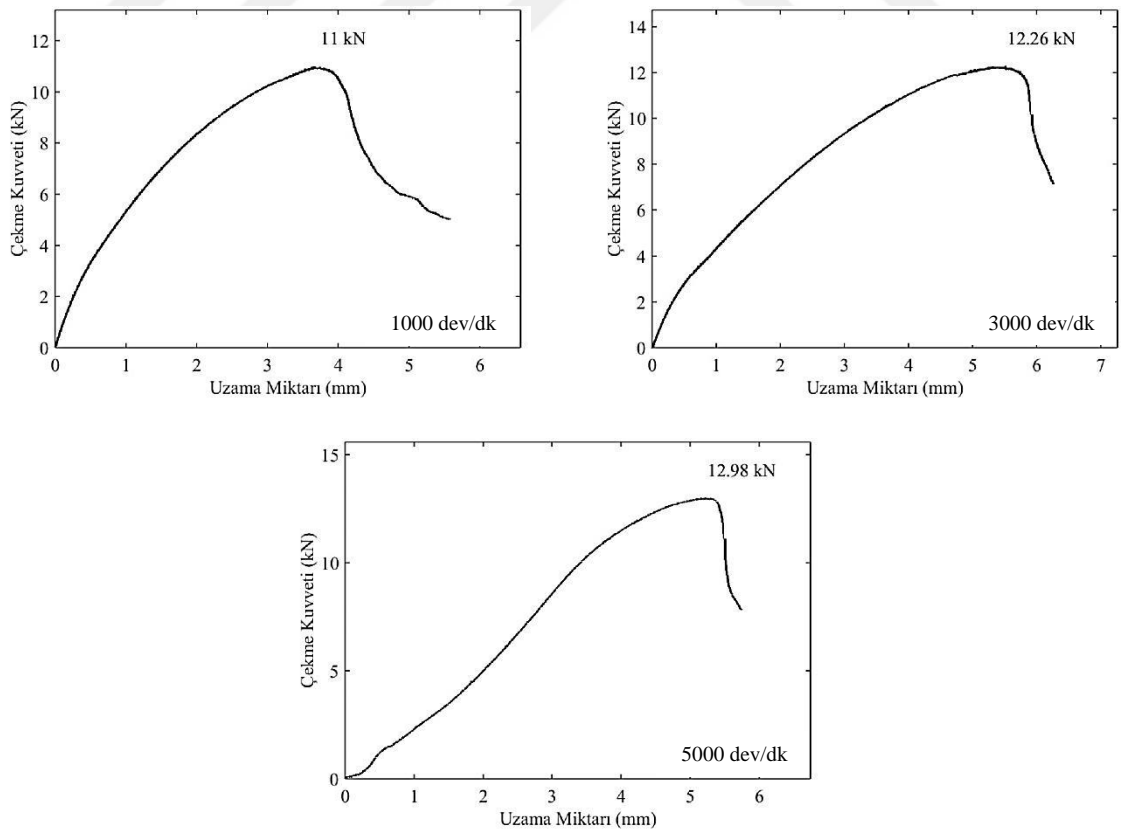
çekme kuvvetleri daha yüksek elde edilmiştir. KETP'lerin deformasyon faktörü arttıkça çekme kuvvetlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. En düşük çekme kuvveti T3 takım ile 1000 dev/dk iş mili ve 0.15 mm/dev ilerleme oranında delinmiş +45/-45 KETP'te 10.40 kN olarak tespit edilirken, en yüksek çekme kuvveti T1 takım ile 5000 dev/dk iş mili devri ve 0.05 mm/dev ilerleme oranında delinmiş +45/-45 KETP'te 14.02 kN olarak tespit edilmiştir. Doğru delme parametrelerinin seçilmesi durumunda +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin çekme kuvvetindeki düşüşün %26 oranında engellenebileceği görülmüştür. Ayrıca Şekil 4.27.1- 4.27.9'da +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin çekme kuvveti- uzama grafikleri gösterilmiştir. Çekme kuvveti- uzama grafiklerinden +45/45 elyaf açılı KETP'lerde çekme kuvveti – uzama diyagramında akma olmadığı ve malzemenin sünek malzeme davranışı sergilediği görülmüştür.



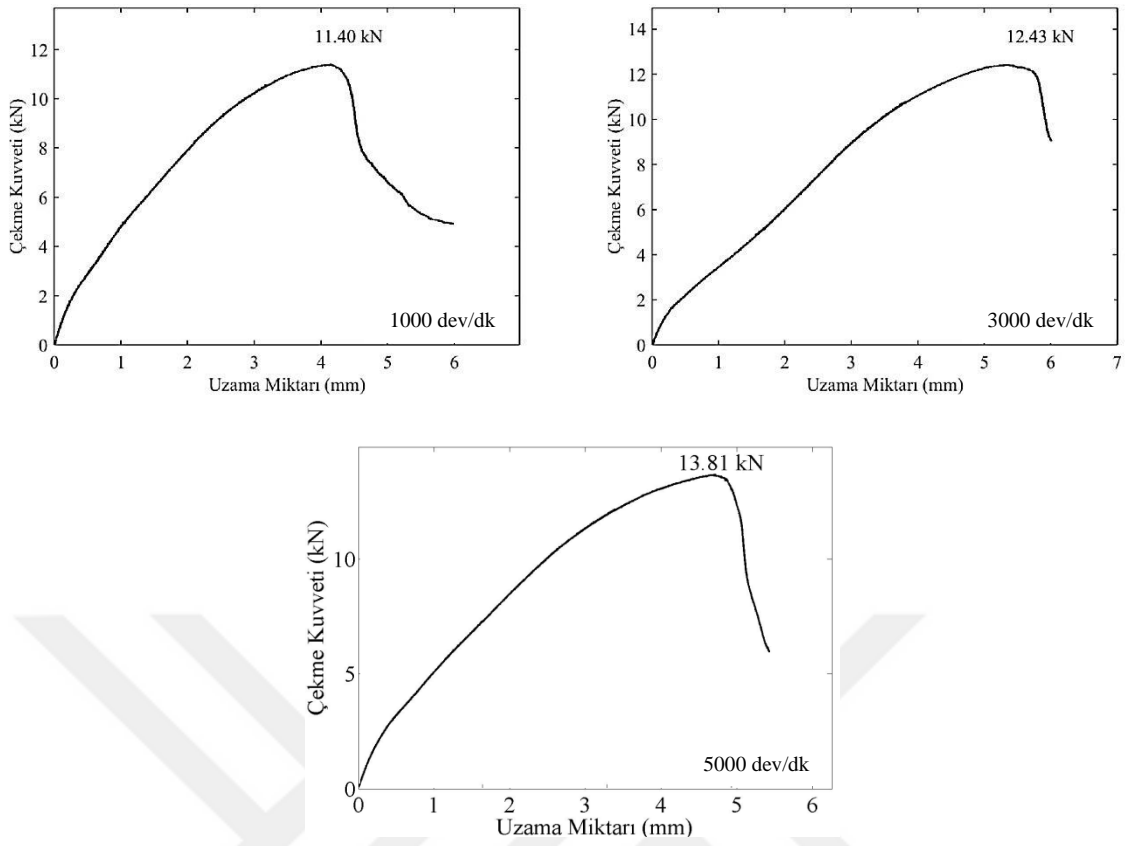
Şekil 4.27.1. T1 takım ile 0.05 mm/dev'de delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği



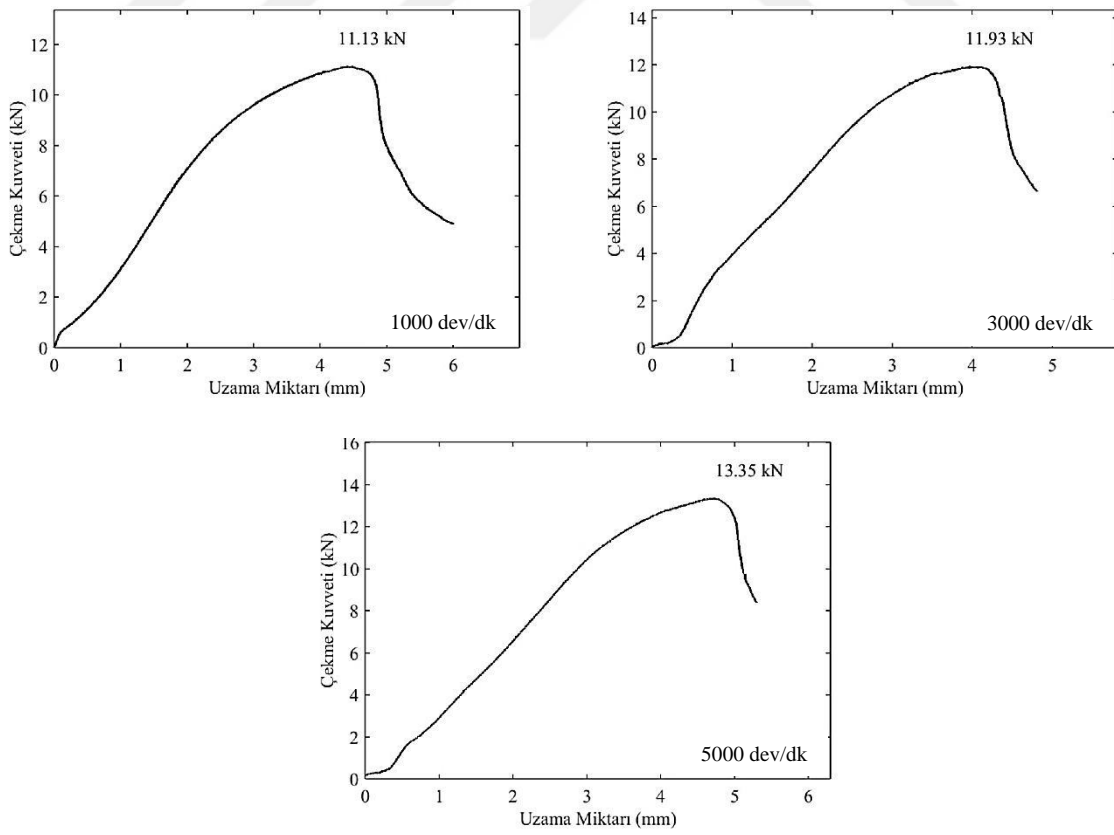
Şekil 4.27.2. T1 takım ile 0.10 mm/dev'de delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği



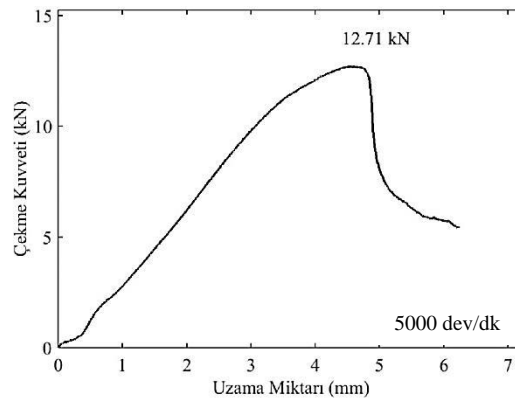
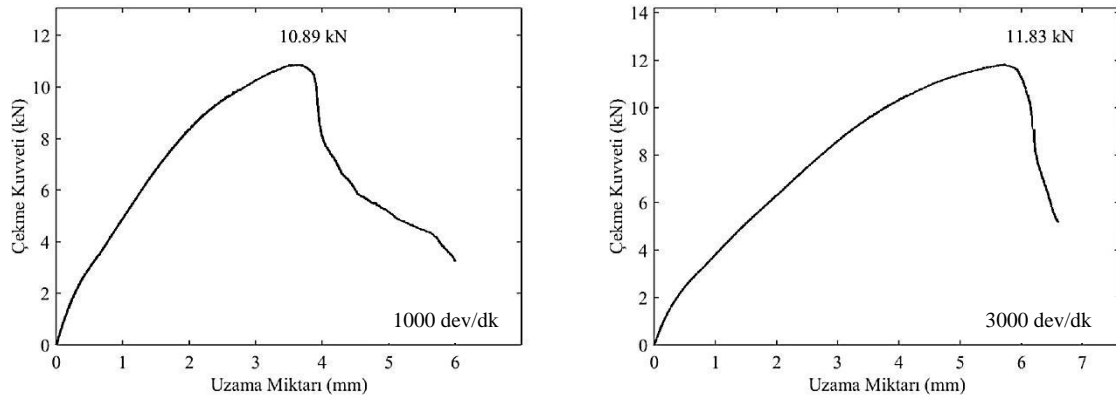
Şekil 4.27.3. T1 takım ile 0.15 mm/dev'de delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği



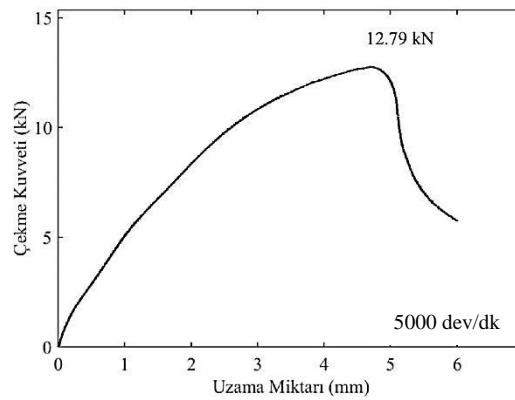
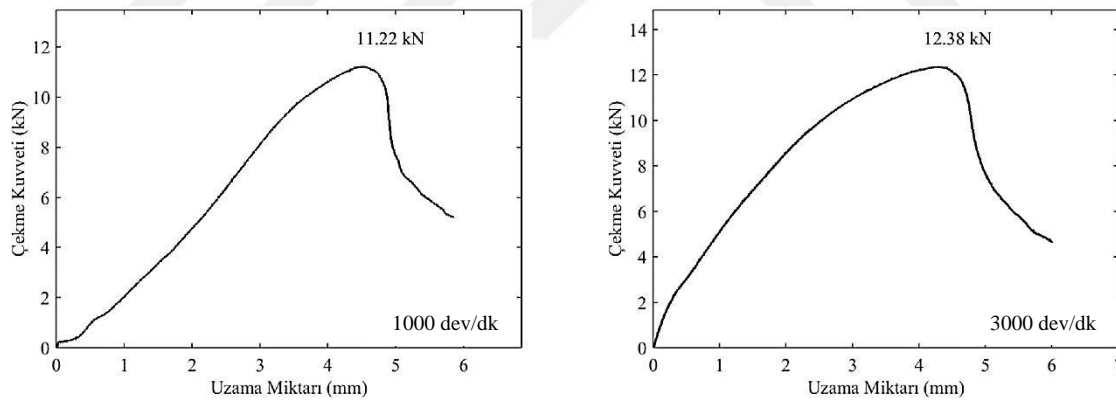
Şekil 4.27.4. T2 takım ile 0.05 mm/dev'de delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği



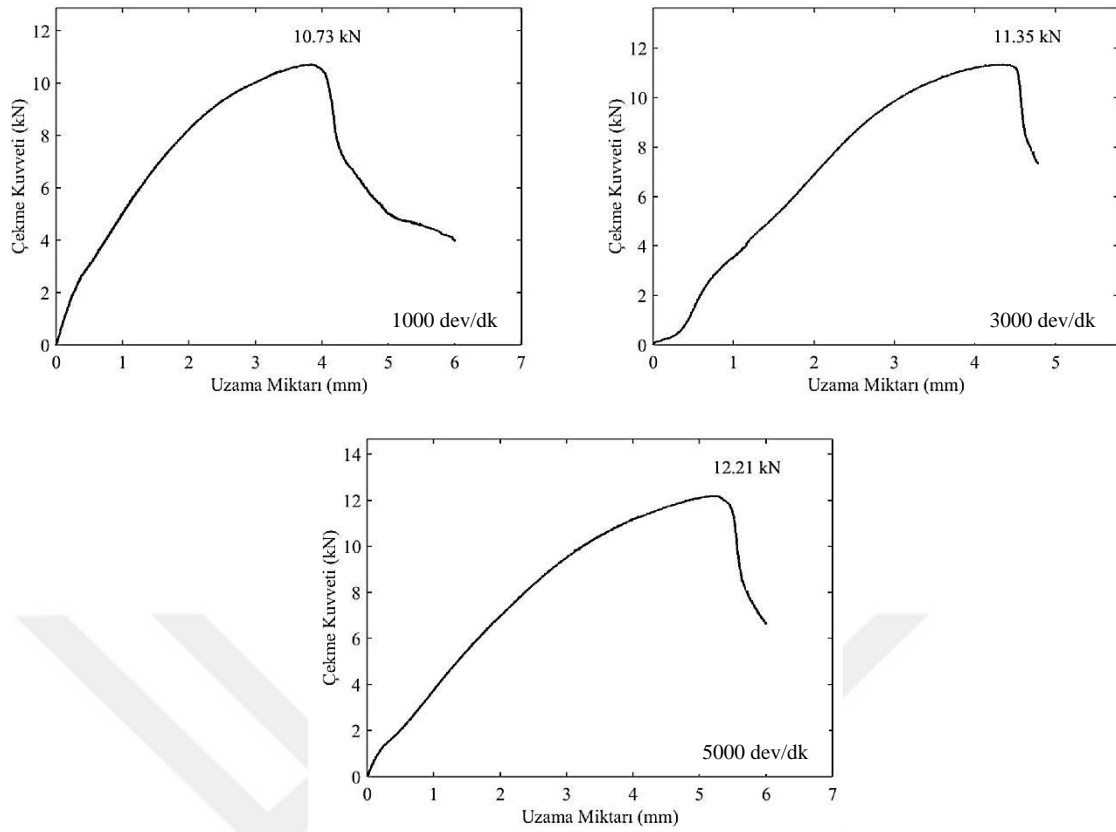
Şekil 4.27.5. T2 takım ile 0.10 mm/dev'de delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği



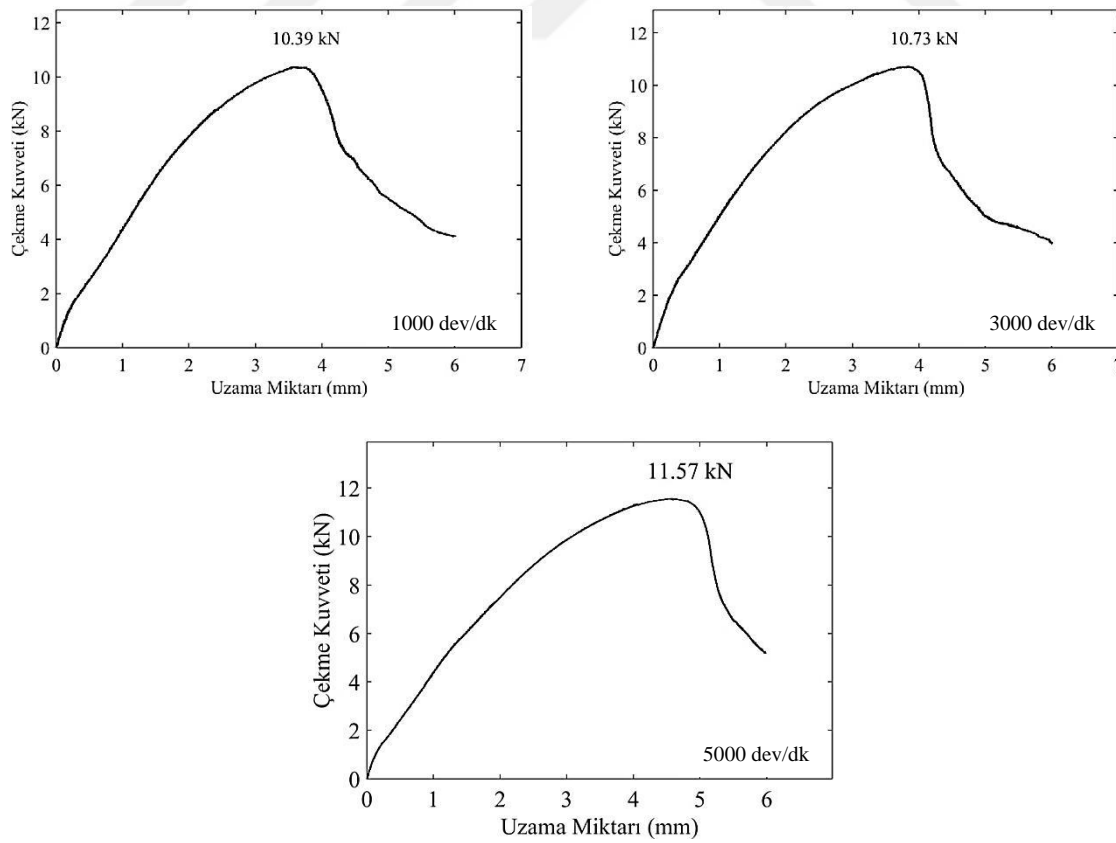
Şekil 4.27.6. T2 takım ile 0.15 mm/dev'de delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği



Şekil 4.27.7. T3 takım ile 0.05 mm/dev'de delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği



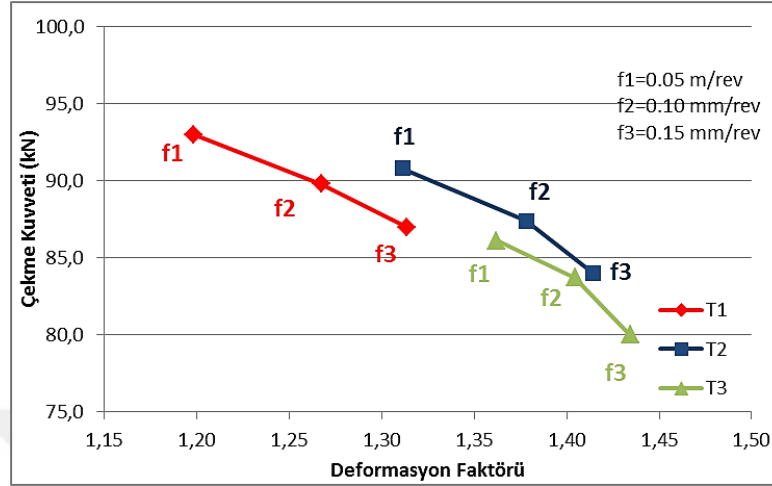
Şekil 4.27.8.T3 takım ile 0.10 mm/dev’de delinen +45/-45 elyaf açılı KETP’in çekme kuvveti grafiği



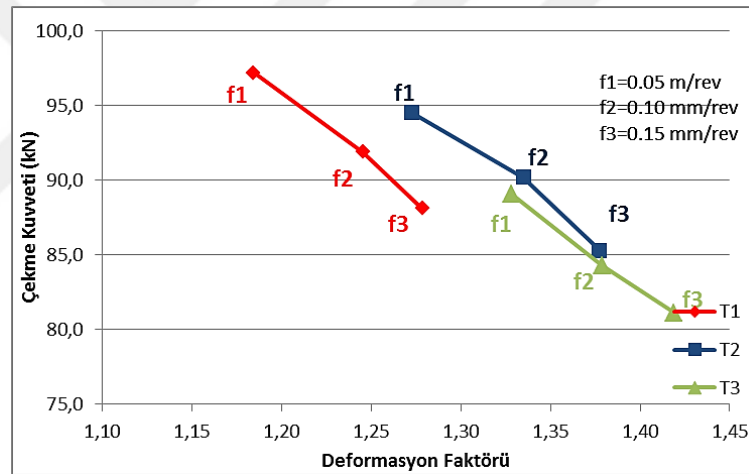
Şekil 4.27.9.T3 takım ile 0.15 mm/dev’de delinen +45/-45 elyaf açılı KETP’in çekme kuvveti grafiği

4.4.2. UD elyaf açılı KETP'lerin çekme kuvveti analizi

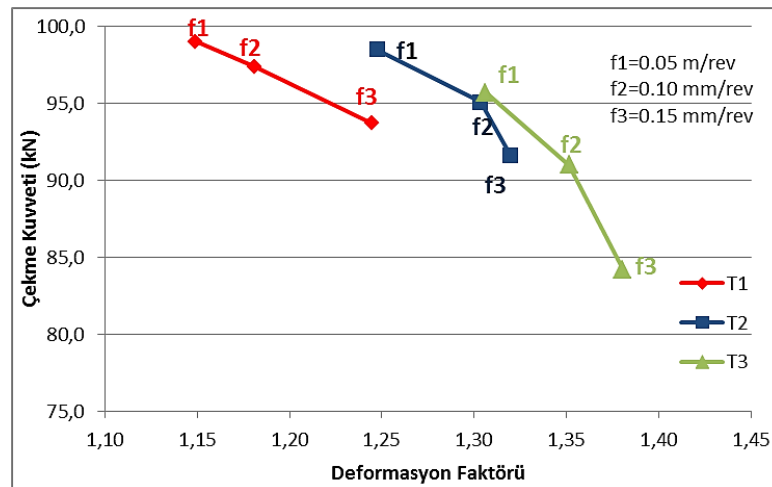
UD elyaf açılı KETP'lerin delinmesinde, delinmiş numunelerde oluşan deformasyonun çekme kuvveti üzerine etkileri Şekil 4.28'de gösterilmiştir.



a) 1000 dev/dk iş mili devri



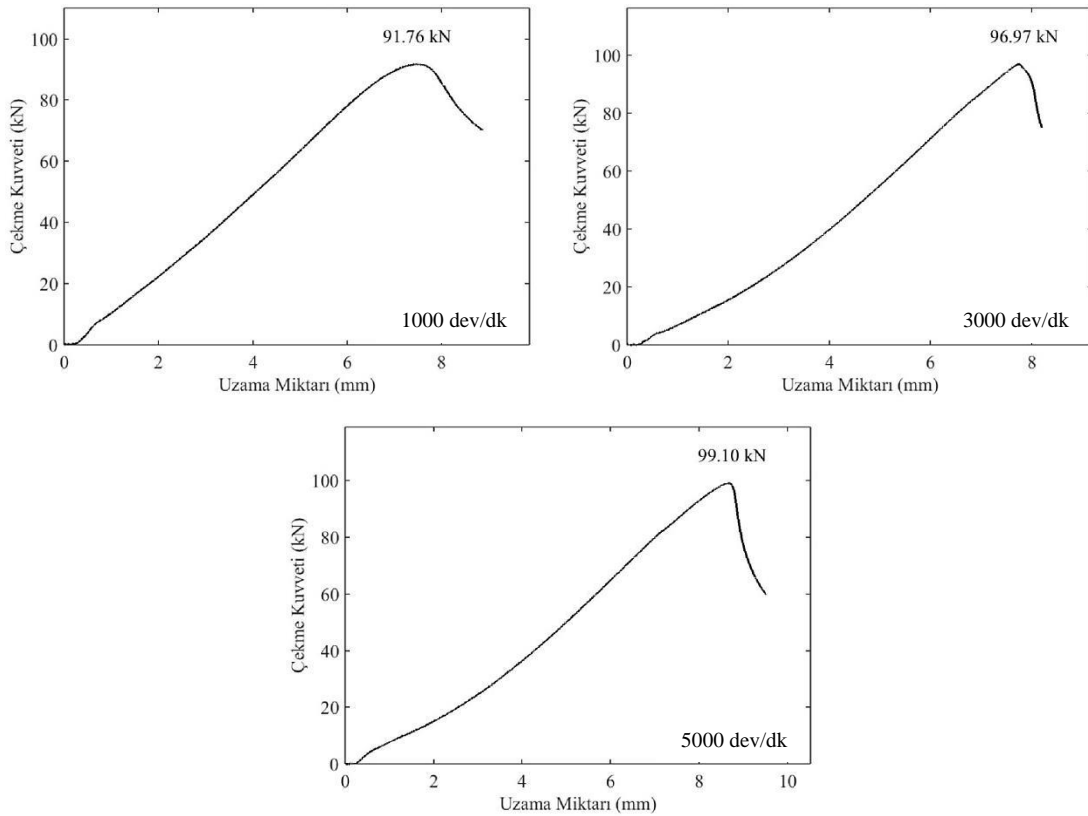
b) 3000 dev/dk iş mili devri



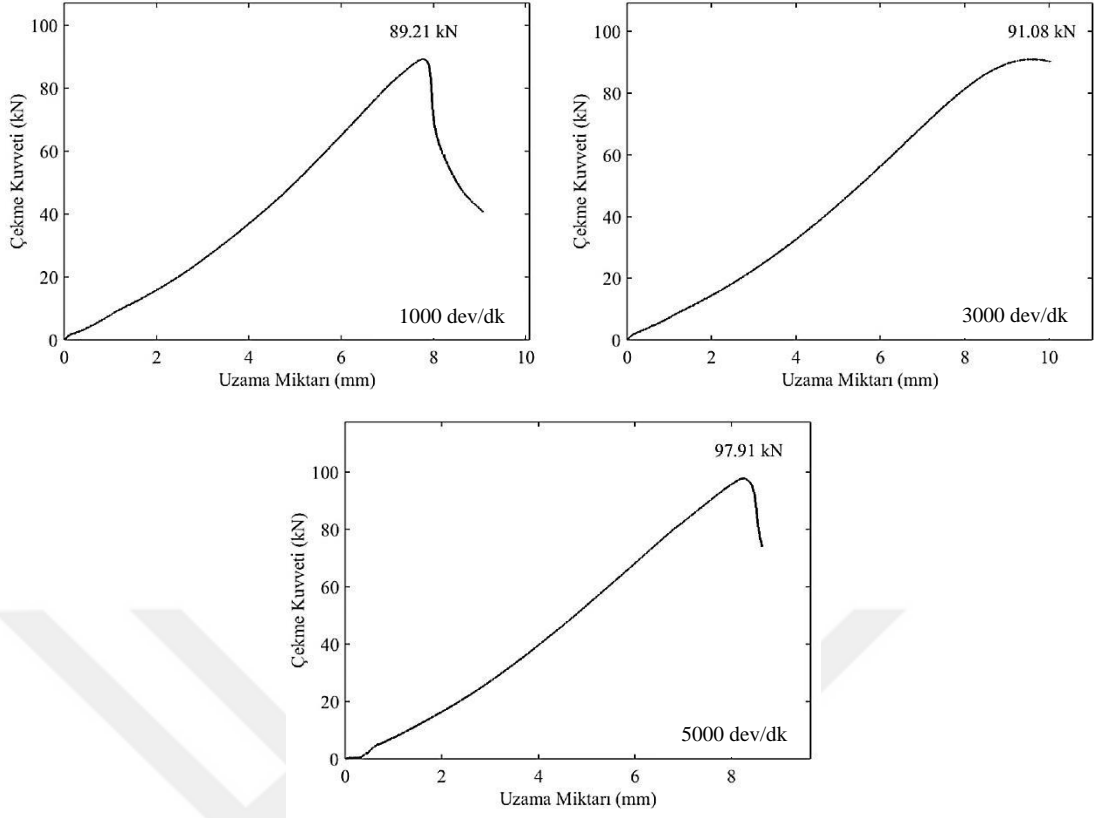
c) 5000 dev/dk iş mili devri

Şekil 4.28. UD elyaf açılı KETP'lerde delme parametreleri ve deformasyonun çekme kuvvetine etkisi

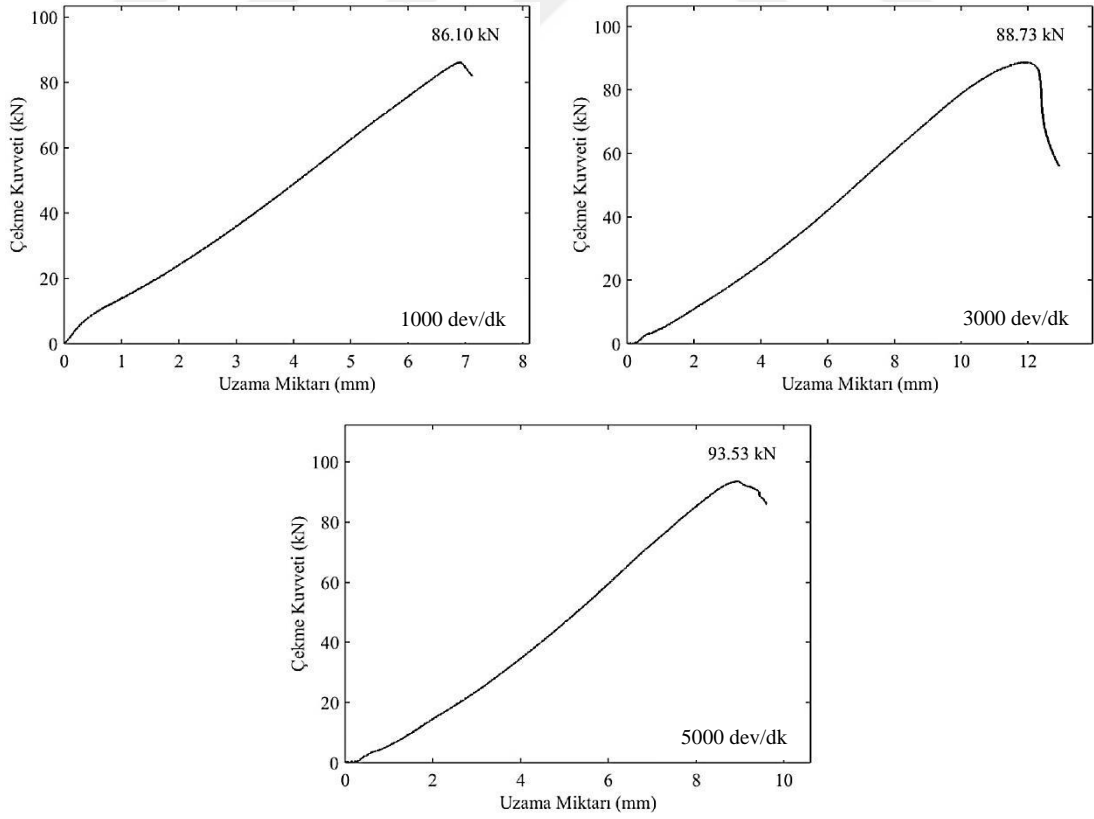
Yüksek iş mili devirlerinde yapılan delme işlemlerinde daha düşük deformasyon faktörleri elde edildiğinden UD elyaf açılı KETP'lerin çekme kuvvetleri daha yüksek elde edilirken, yüksek ilerleme oranlarında yapılan delme işlemlerinde daha yüksek deformasyon faktörleri elde edildiğinden UD elyaf açılı KETP'lerin çekme kuvvetleri daha düşük elde edilmiştir. T1 takım ile delinen UD elyaf açılı KETP'lerin çekme kuvvetleri daha yüksek elde edilirken, T3 takım ile delinen UD elyaf açılı KETP'lerin çekme kuvvetleri daha düşük elde edilmiştir. T1 takımının KETP malzemeye daha az hasar vermesinden dolayı çekme kuvvetlerinin daha yüksek elde edildiği, T3 takımının ise KETP malzemeye daha fazla hasar vermesinden dolayı çekme kuvvetlerinin daha düşük çıktığı tespit edilmiştir. UD elyaf açılı KETP'in çekme kuvvetleri incelendiğinde en düşük çekme kuvveti T3 takımıyla 1000 dev/dk iş mili devri ve 0.15 mm/dev ilerleme oranında delme işlemleri yapılan UD KETP'te 80 kN olarak elde edilirken, en yüksek çekme kuvveti T1 takımıyla 5000 dev/dk iş mili devri ve 0.05 mm/dev ilerleme oranında delme işlemi yapılan UD KETP'te 99 kN olarak elde edilmiştir. Doğru delme parametrelerin seçilmesi durumunda UD elyaf açılı KETP'in çekme kuvvetindeki düşünün %19 oranında engellenebileceği görülmüştür. Şekil 4.28.1- 4.28.9'da UD elyaf açılı KETP'lere ait çekme kuvveti – uzama grafikleri gösterilmiştir.



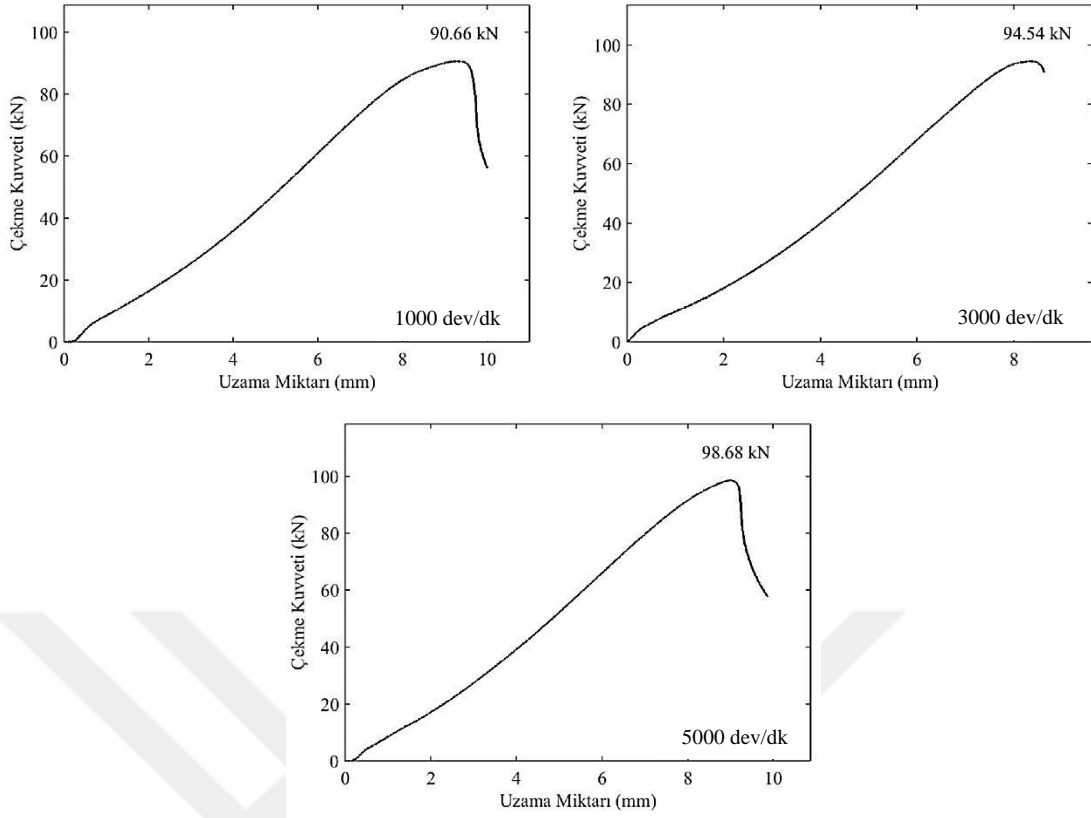
Şekil 4.28.1. T1 takım ile 0.05 mm/dev'de delinen UD elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği



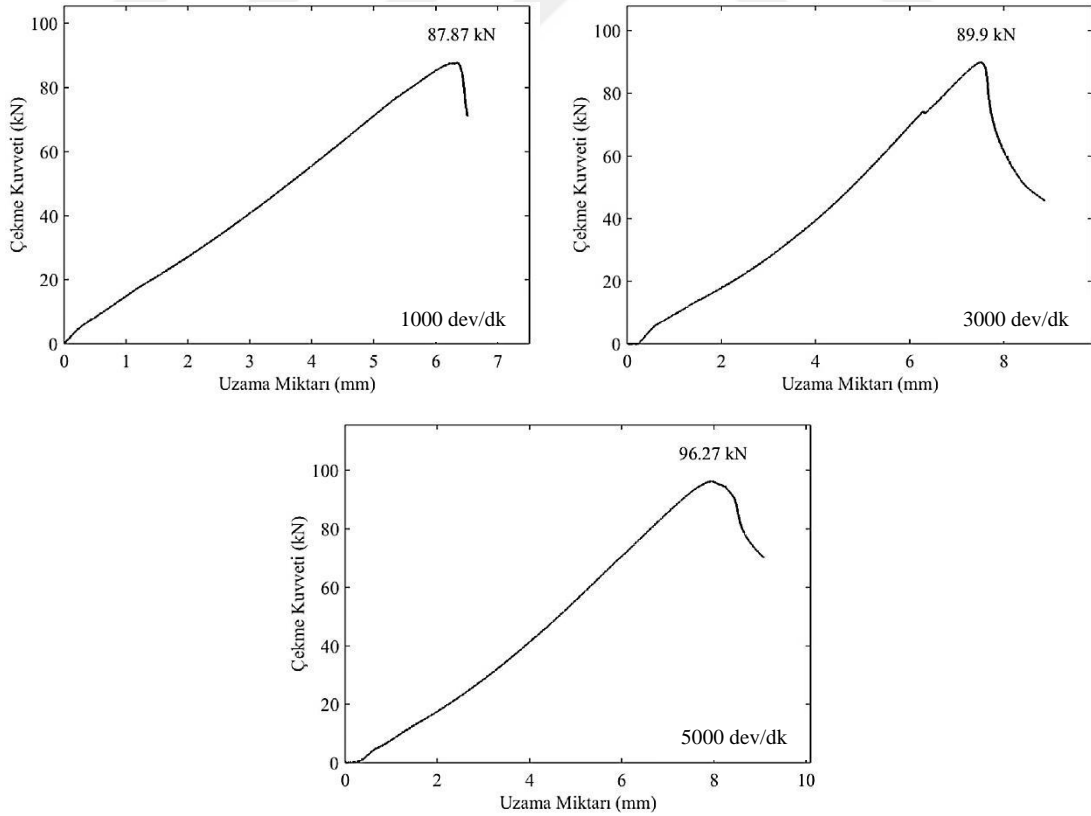
Şekil 4.28.2. T1 takım ile 0.10 mm/dev’de delinen UD elyaf açılı KETP’in çekme kuvveti grafiği



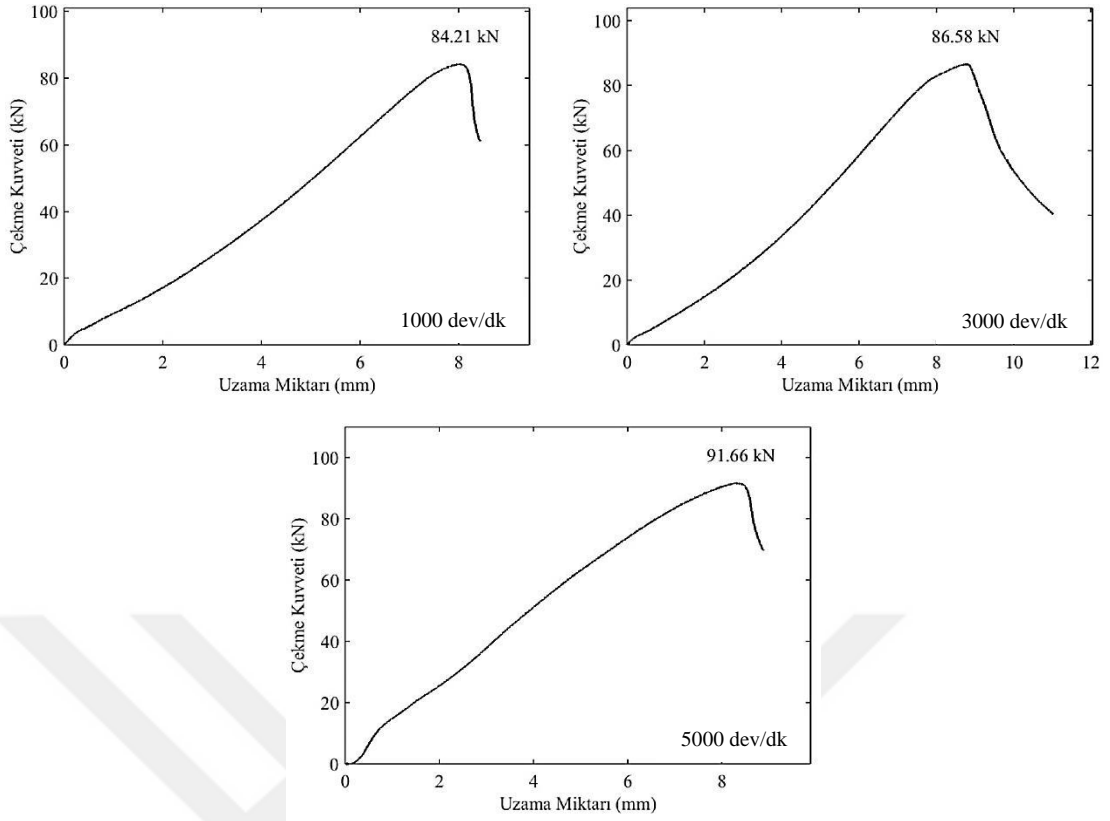
Şekil 4.28.3. T1 takım ile 0.15 mm/dev’de delinen UD elyaf açılı KETP’in çekme kuvveti grafiği



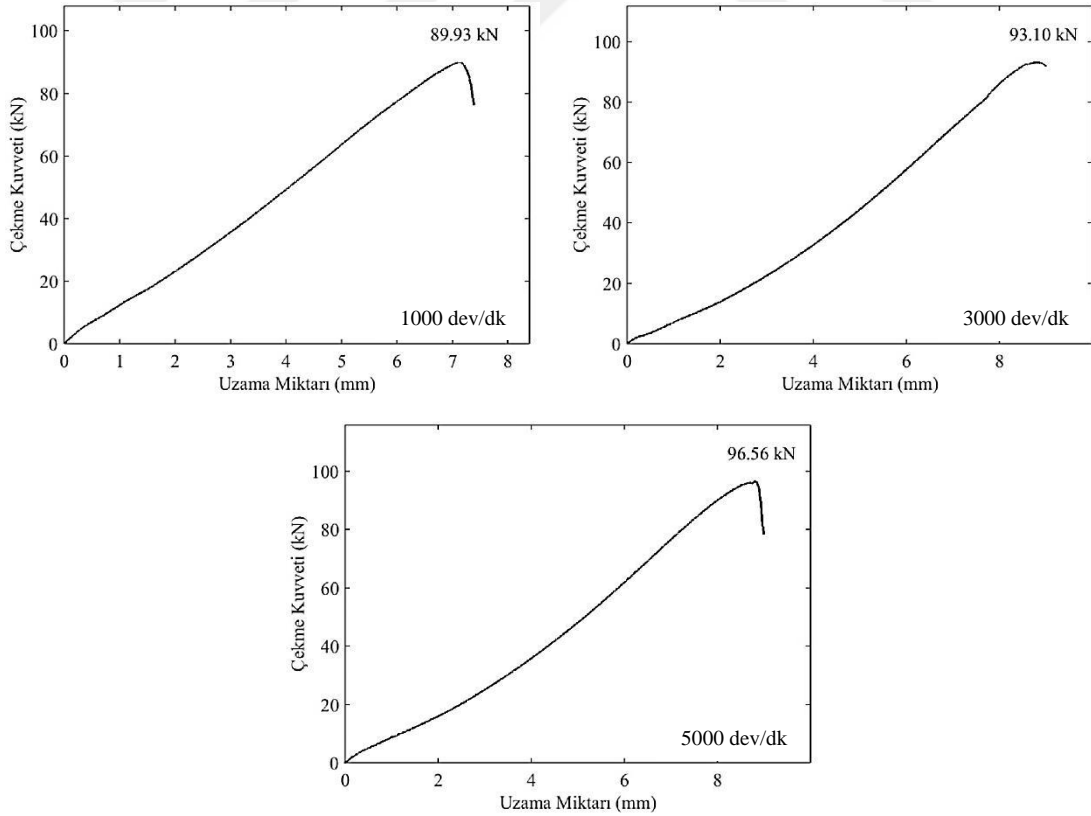
Şekil 4.28.4. T2 takım ile 0.05 mm/dev’de delinen UD elyaf açılı KETP’in çekme kuvveti grafiği



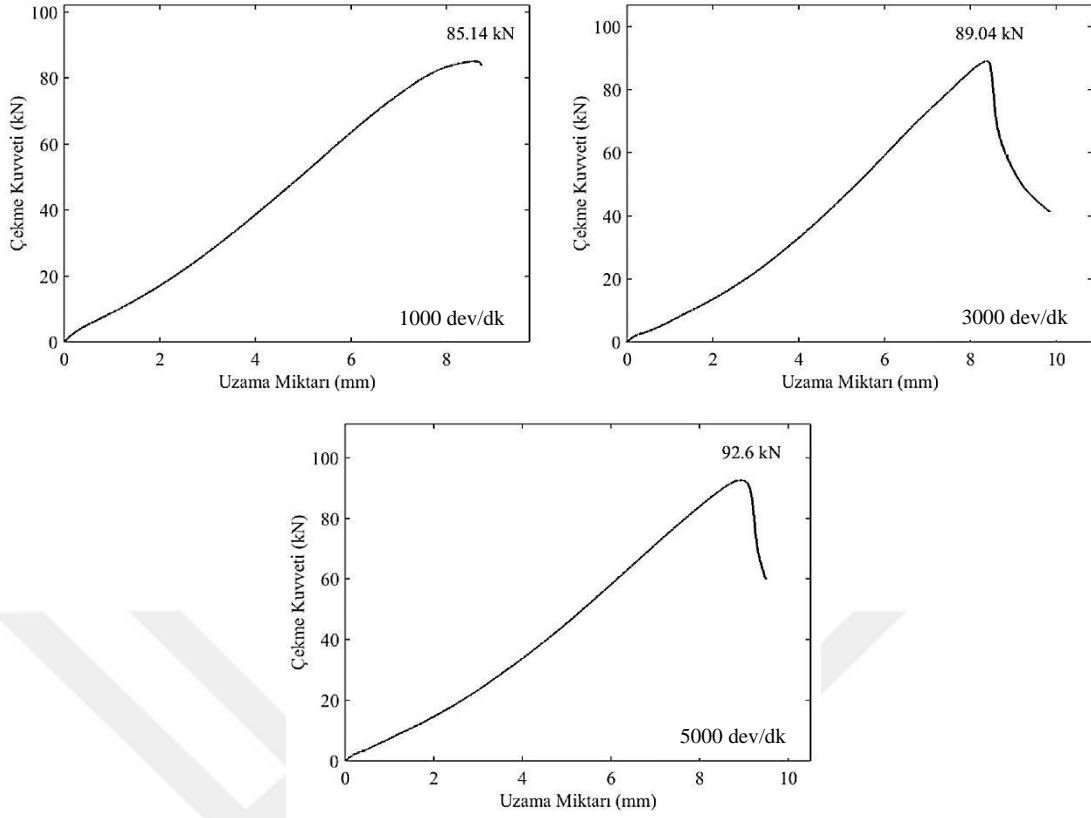
Şekil 4.28.5. T2 takım ile 0.10 mm/dev’de delinen UD elyaf açılı KETP’in çekme kuvveti grafiği



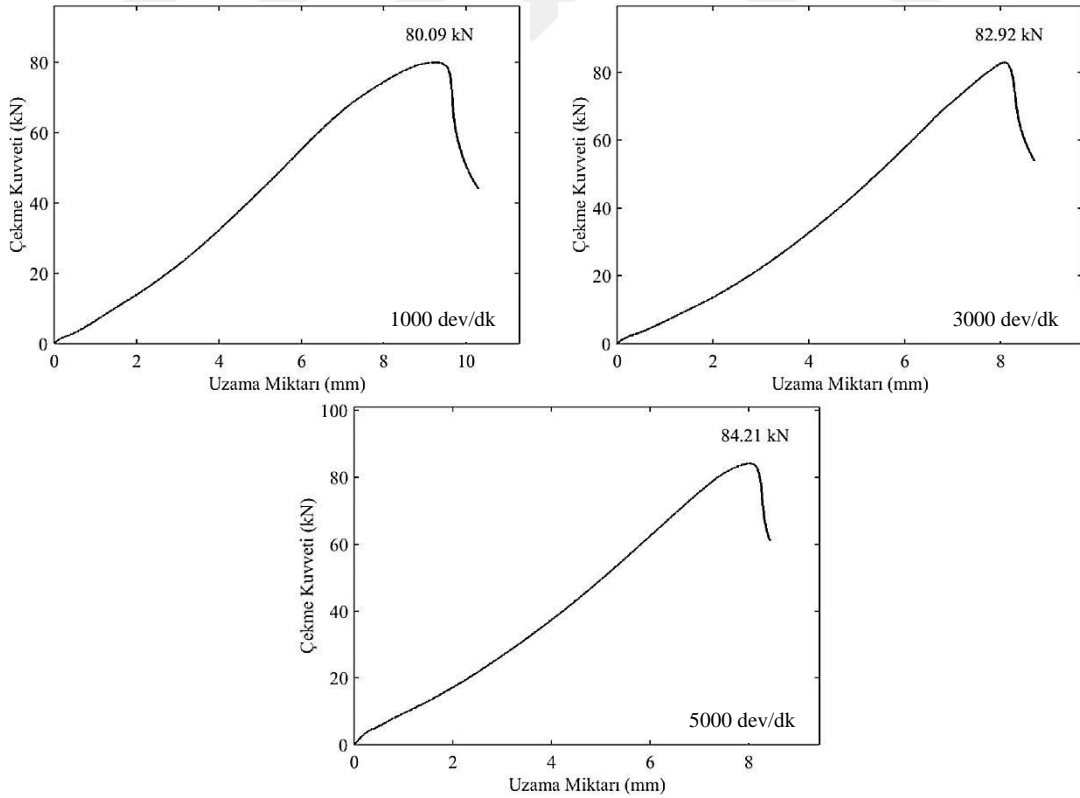
Şekil 4.28.6. T2 takım ile 0.15 mm/dev’de delinen UD elyaf açılı KETP’in çekme kuvveti grafiği



Şekil 4.28.7. T3 takım ile 0.05 mm/dev’de delinen UD elyaf açılı KETP’in çekme kuvveti grafiği



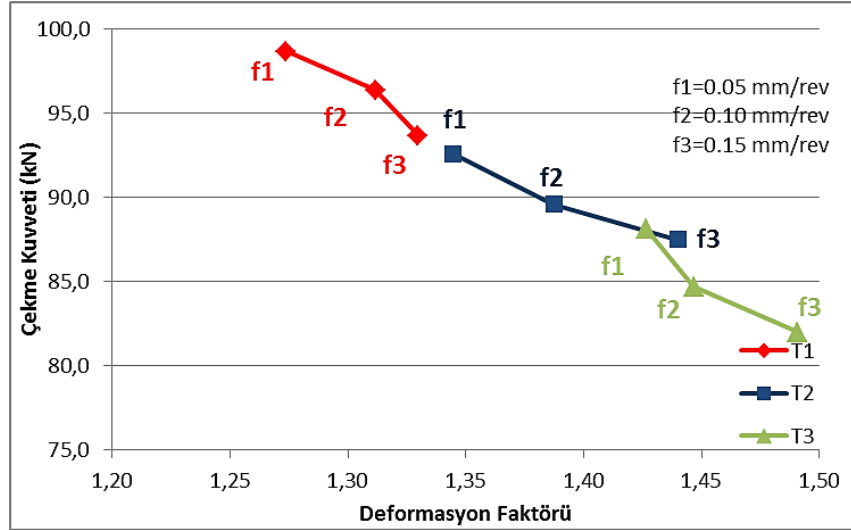
Şekil 4.28.8. T3 takım ile 0.10 mm/dev’de delinen UD elyaf açılı KETP’in çekme kuvveti grafiği



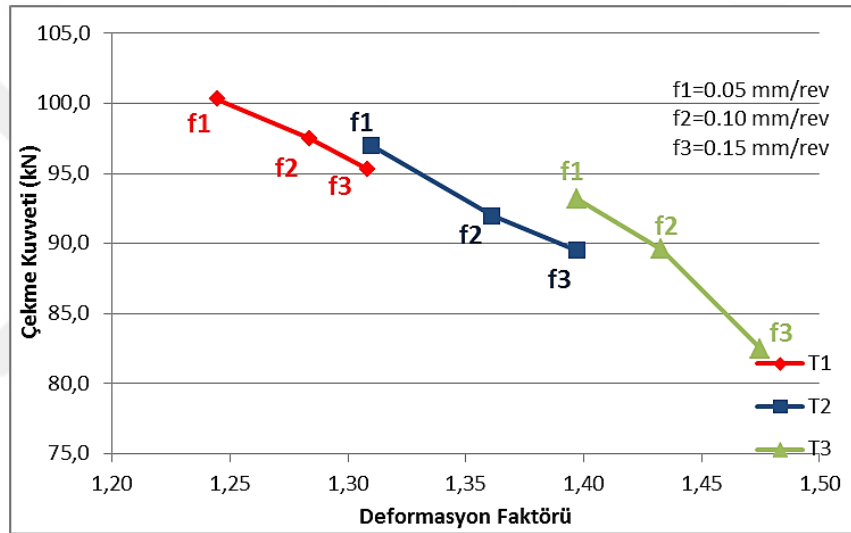
Şekil 4.28.9. T3 takım ile 0.15 mm/dev’de delinen UD elyaf açılı KETP’in çekme kuvveti grafiği

4.4.3. 0/90 elyaf açılı KETP'lerin çekme kuvveti analizi

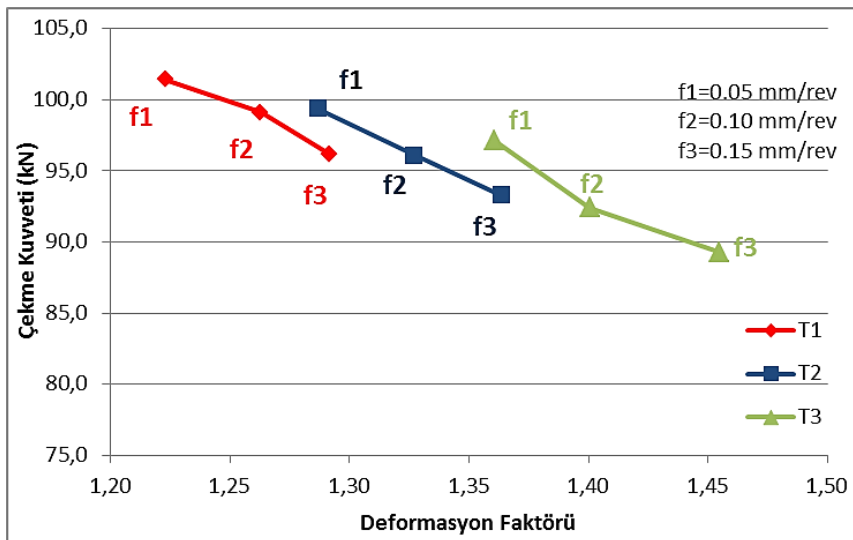
T1, T2 ve T3 takımları ile 1000, 3000 ve 5000 dev/dk iş mili devirlerinde ve 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev ilerleme oranlarında delinen 0/90 elyaf açılı KETP'lere ait deformasyon, iş mili devri ve ilerleme oranına bağlı değişen çekme kuvveti grafikleri Şekil 4.23'te gösterilmiştir. Şekil 4.29 ve Şekil 4.28'e benzer sonuçlar elde edilmiştir. Yüksek iş mili devirlerinde delme işlemleri gerçekleştirilen 0/90 elyaf açılı KETP'lerde yüksek çekme kuvvetleri elde edilirken, yüksek ilerleme oranlarında delme işlemleri gerçekleştirilen 0/90 KETP'lerde ise düşük çekme kuvvetleri elde edilmiştir. Yüksek iş mili devirlerinde ve düşük ilerleme oranlarında deformasyon daha az olduğundan dolayı bu parametrelerde delinen 0/90 elyaf açılı KETP'lerin çekme kuvvetleri daha yüksek elde edilmiştir. T1 takımının delme işlemi esnasında 0/90 elyaf açılı KETP malzemeye daha az hasar vermesinden dolayı çekme kuvvetlerinin daha yüksek elde edildiği, T3 takımının delme işlemi esnasında 0/90 elyaf açılı KETP malzemeye daha fazla hasar vermesinden dolayı çekme kuvvetlerinin daha düşük çıktığı gözlemlenmiştir. 0/90 elyaf açılı KETP'lerde en düşük çekme kuvveti T3 takımıyla 1000 dev/dk iş mili devri ve 0.15 mm/dev ilerleme oranında delinmiş KETP'te 82 kN olarak elde edilirken, en yüksek çekme kuvveti T1 takımıyla 5000 dev/dk iş mili devri ve 0.05 mm/dev ilerleme oranında delinmiş KETP'te 101.4 kN olarak elde edilmiştir. Doğru delme parametrelerin seçilmesi durumunda 0/90 elyaf açılı KETP'lerin çekme kuvvetindeki düşüşün %19 oranında engellenebileceği görülmüştür. Şekil 4.29.1- 4.29.9'da 0/90 elyaf açılı KETP'lere ait çekme kuvveti – uzama grafikleri gösterilmiştir. Çekme kuvveti- uzama grafiklerinden 0/90 elyaf açılı KETP'lerde çekme kuvveti – uzama diyagramında akma olmadığı ve malzemenin sünek malzeme davranışı sergilediği görülmüştür. Ayrıca maksimum çekme kuvvetine ulaştıktan hemen sonra kopmanın gerçekleştiği görülmüştür. Bu durum 0/90 açılı KETP'lerin 0 yönünde çekme dayanımının çok düşük olmasından kaynaklanmaktadır.



a) 1000 dev/dk iş mili devri

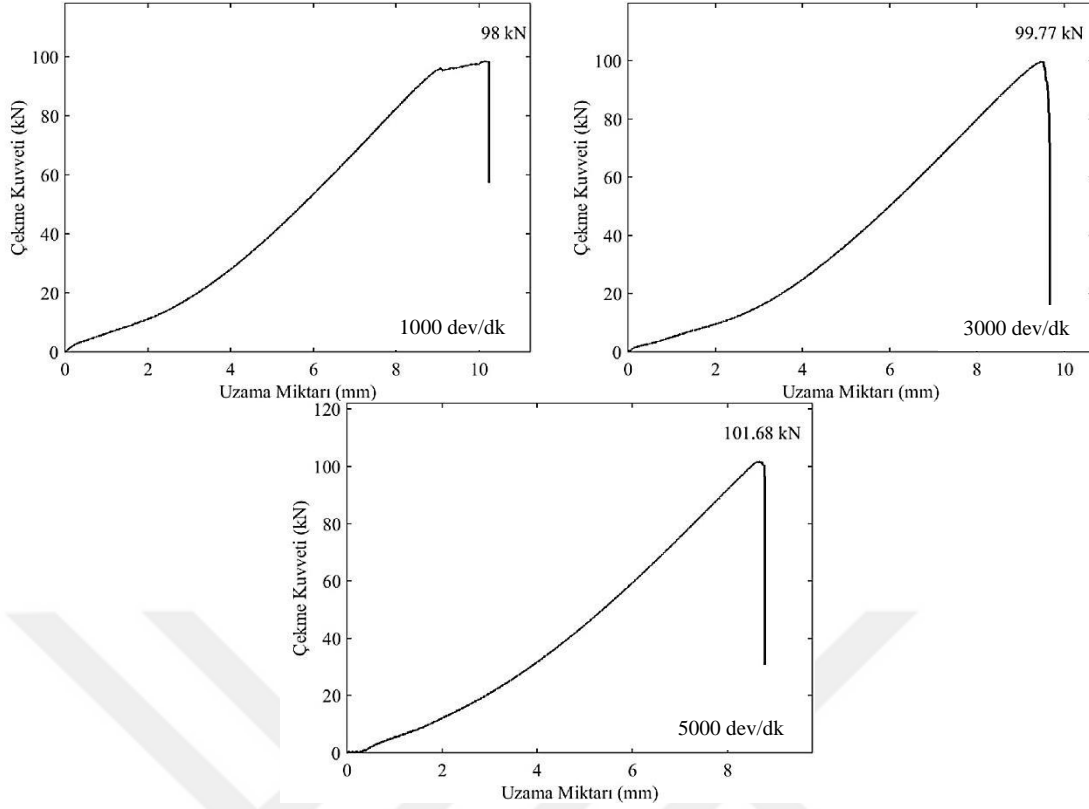


b) 3000 dev/dk iş mili devri

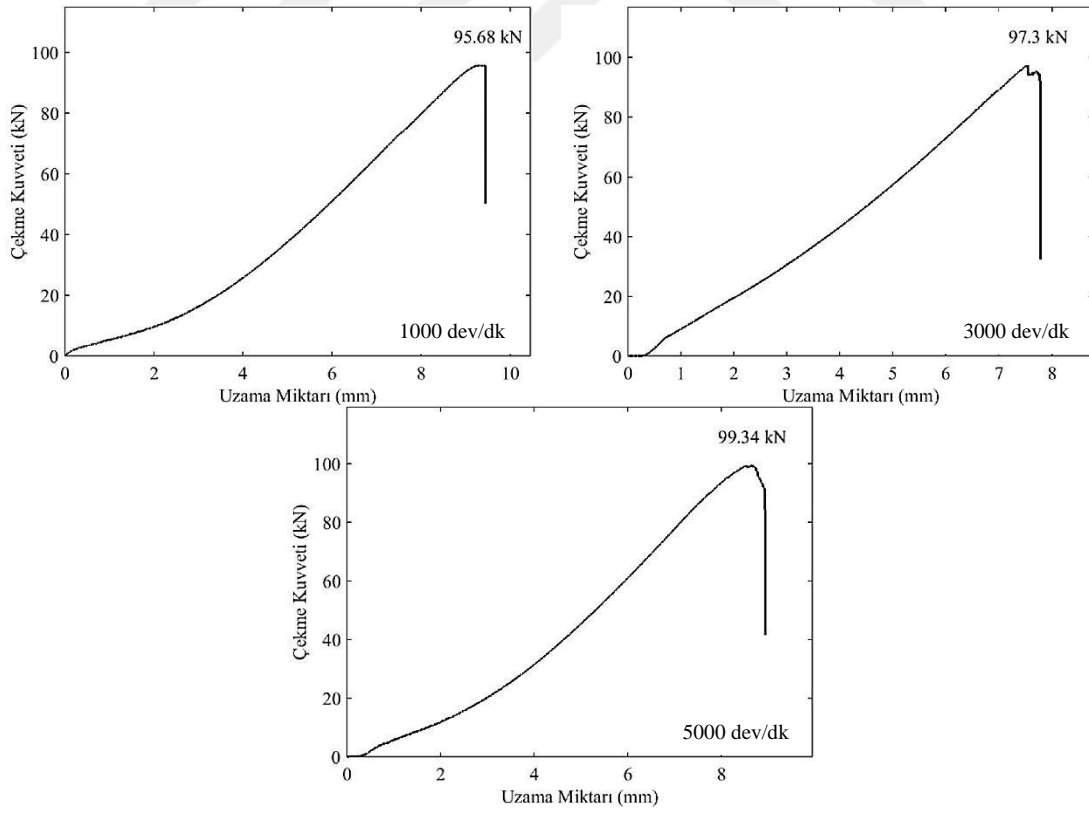


c) 5000 dev/dk iş mili devri

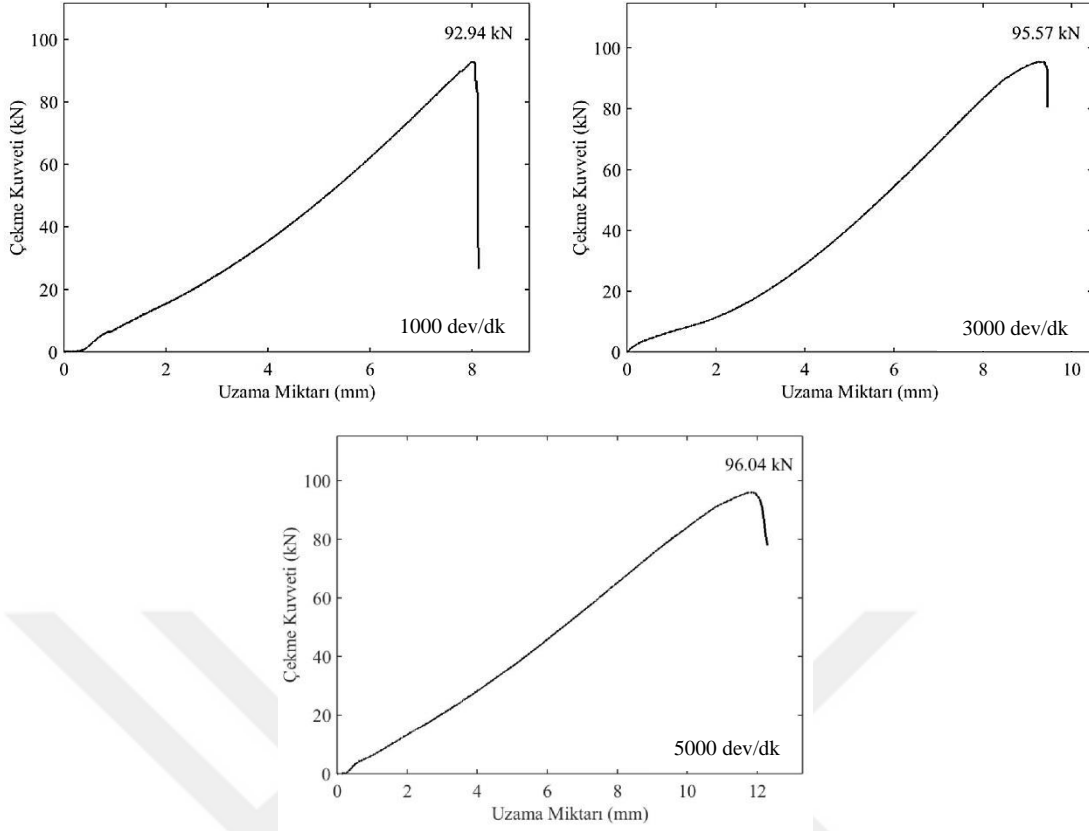
Şekil 4.29. 0/90 elyaf açılı KETP'lerde delme parametreleri ve deformasyonun çekme kuvvetine etkisi



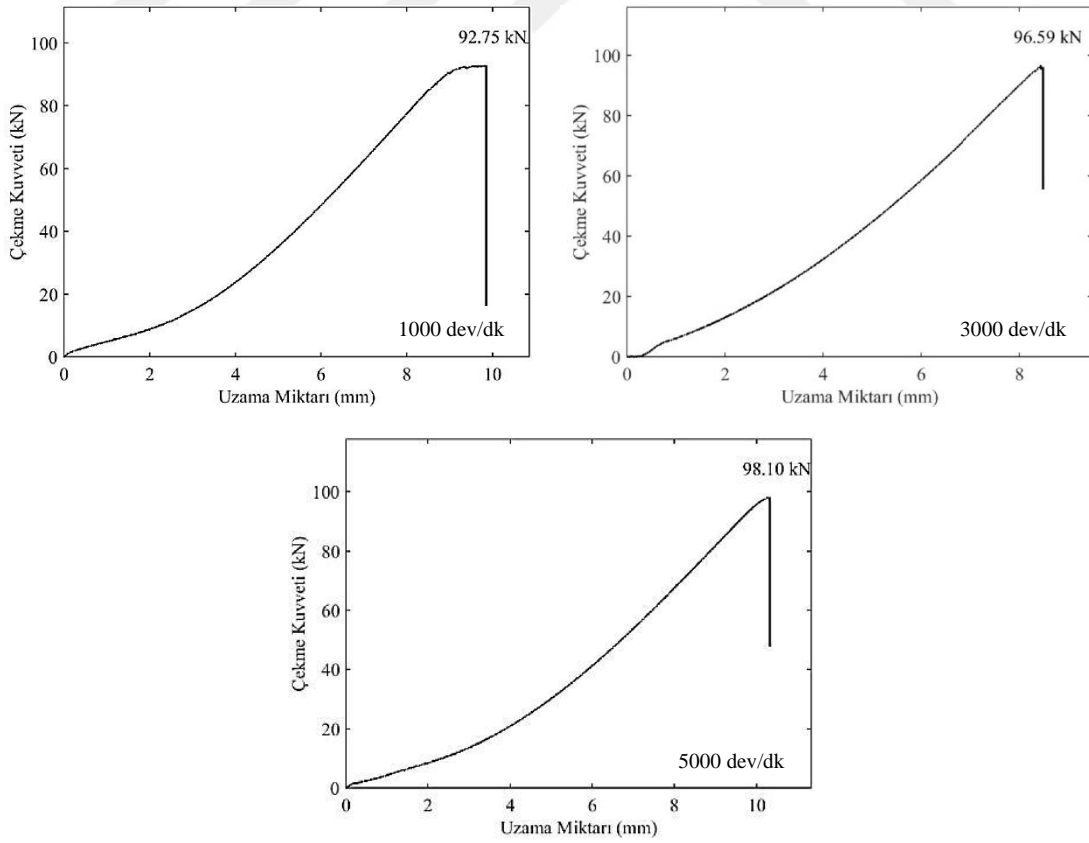
Şekil 4.29.1. T1 takım ile 0.05 mm/dev'de delinen 0/90 elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği



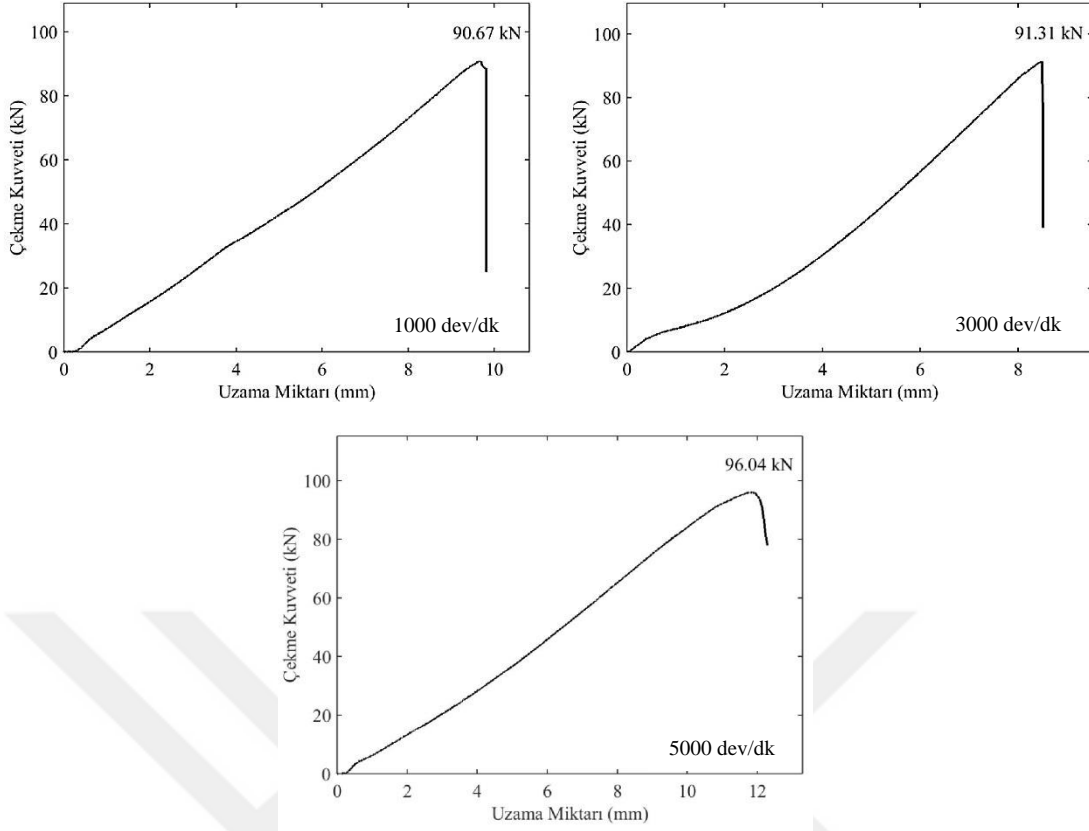
Şekil 4.29.2. T1 takım ile 0.10 mm/dev'de delinen 0/90 elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği



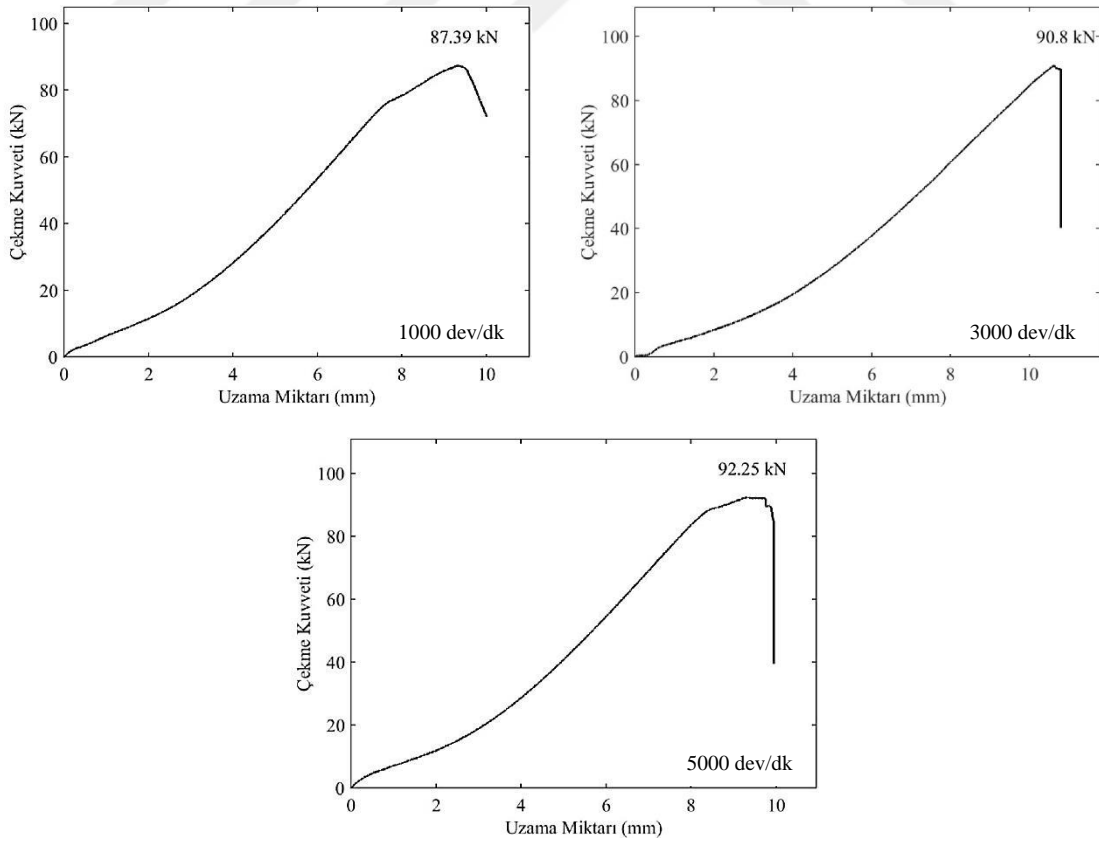
Şekil 4.29.3. T1 takım ile 0.15 mm/dev’de delinen 0/90 elyaf açılı KETP’in çekme kuvveti grafiği



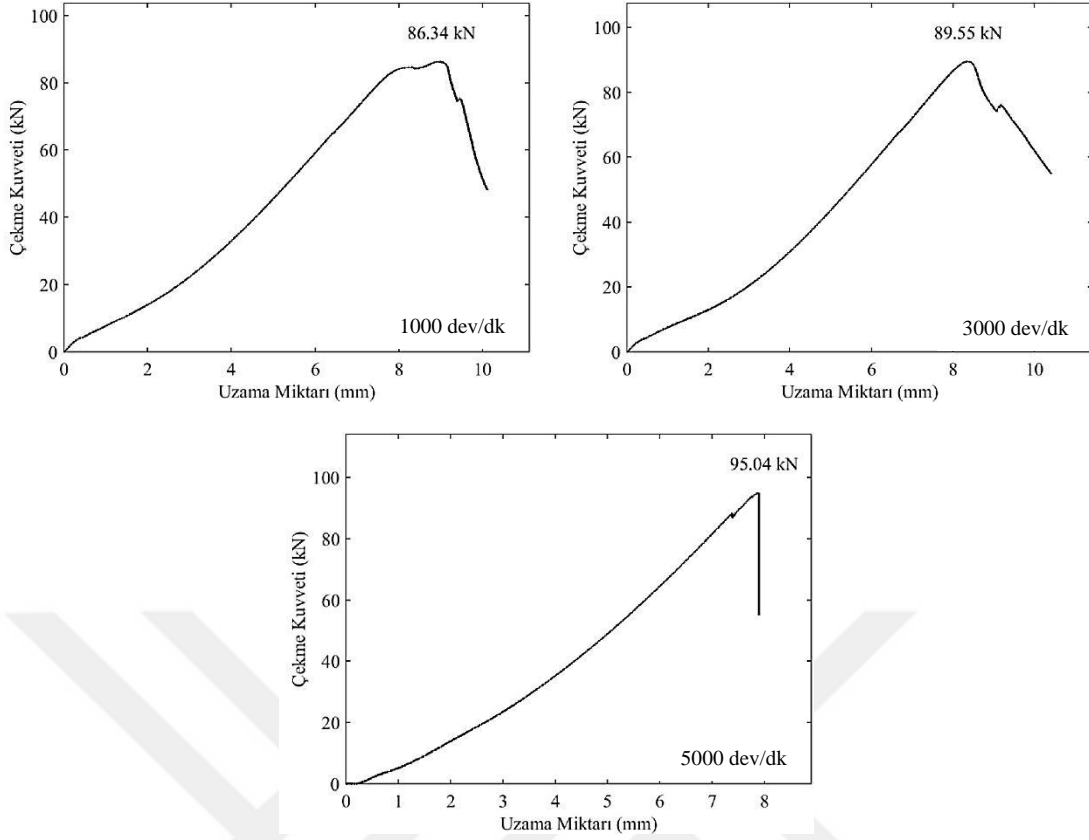
Şekil 4.29.4. T2 takım ile 0.05 mm/dev’de delinen 0/90 elyaf açılı KETP’in çekme kuvveti grafiği



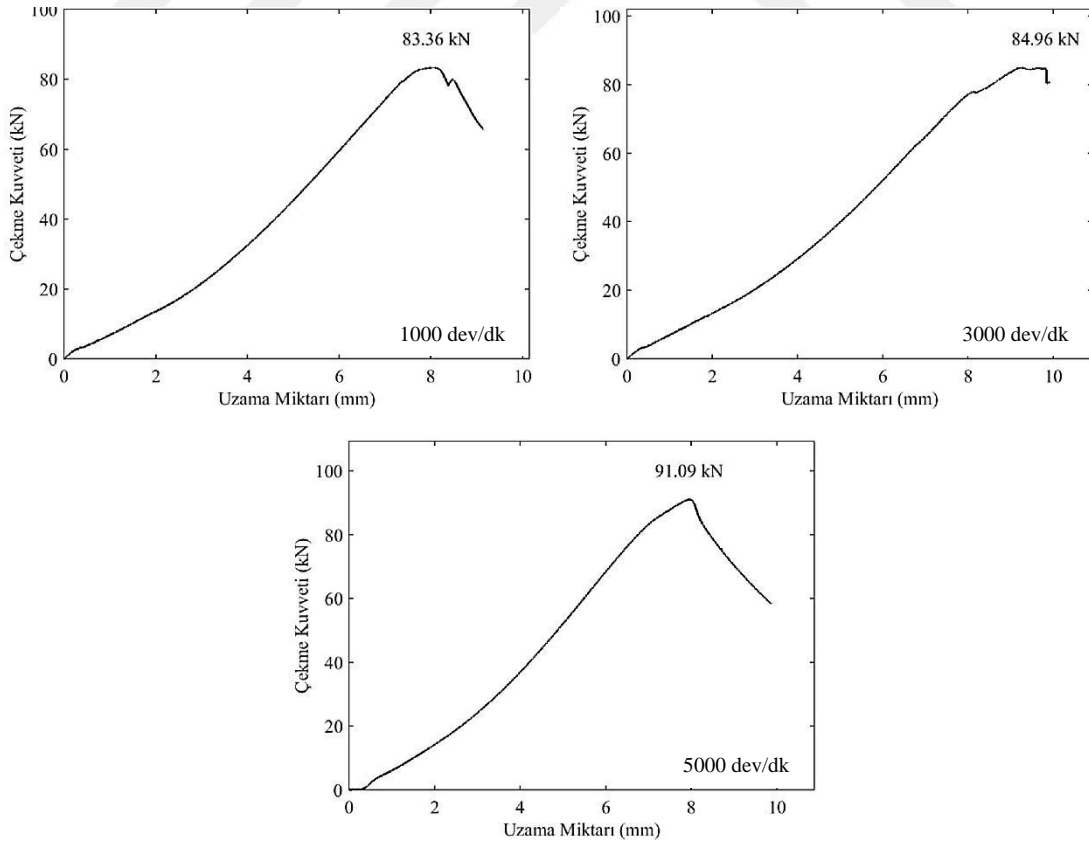
Şekil 4.29.5. T2 takım ile 0.10 mm/dev'de delinen 0/90 elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği



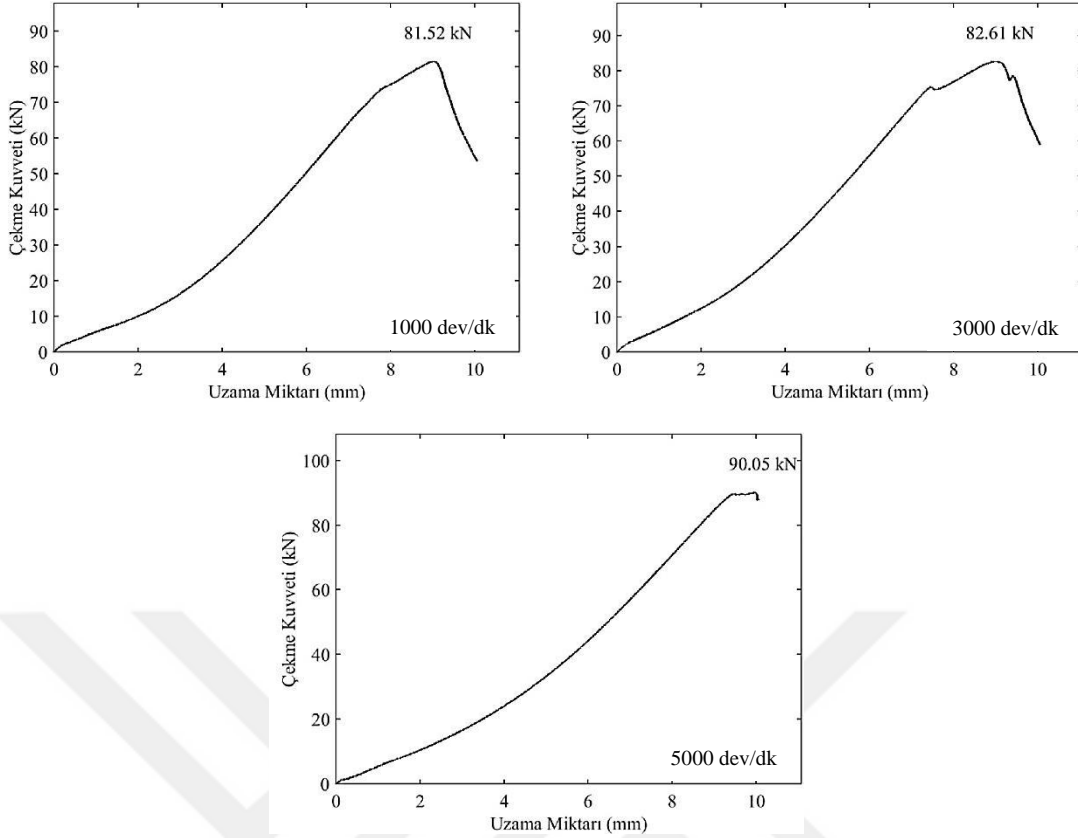
Şekil 4.29.6. T2 takım ile 0.15 mm/dev'de delinen 0/90 elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği



Şekil 4.29.7. T3 takım ile 0.05 mm/dev'de delinen 0/90 elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği

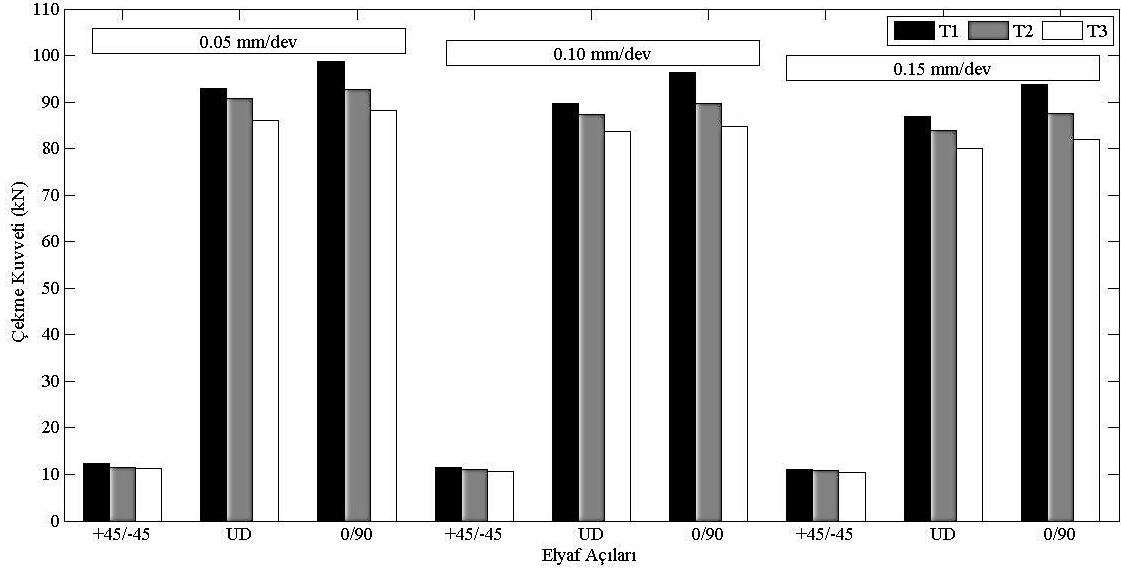


Şekil 4.29.8. T3 takım ile 0.10 mm/dev'de delinen 0/90 elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği



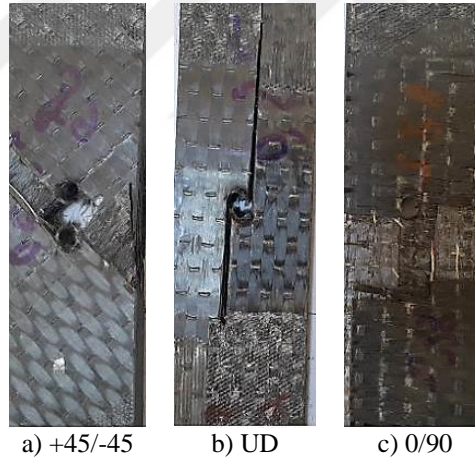
Şekil 4.29.9. T3 takım ile 0.15 mm/dev’de delinen 0/90 elyaf açılı KETP’in çekme kuvveti grafiği

T1, T2 ve T3 takımlarıyla 1000 dev/dk iş mili devri ve 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev ilerleme oranlarında delme işlemleri gerçekleştirilen +45/-45, 0/90 ve UD elyaf yönlendirme açısına sahip KETP’lerin çekme kuvvetleri Şekil 4.30’da gösterilmiştir. İlerleme oranının artmasıyla deformasyon faktörünün arttığı ve buna bağlı olarak ta çekme kuvvetlerinin azaldığı tespit edilmiştir. İş mili devrinin artmasıyla deformasyon faktörünün daha az olduğu dolayısıyla çekme kuvvetlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. +45/-45 elyaf açılı KETP’in çekme kuvvetlerinin en düşük olduğu, 0/90 elyaf açılı KETP’in çekme kuvvetinin en yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 4.30. T3 takım ile 1000 dev/dk'da delinen 0/90 elyaf açılı KETP'in çekme kuvveti grafiği

Delinmiş farklı elyaf yönlendirme açlarına sahip KETP'lerin çekme deneyinde meydana gelen hasarlar Şekil 4.31'de gösterilmiştir.



Şekil 4.31. KETP kompozitlerde oluşan çekme hasarları

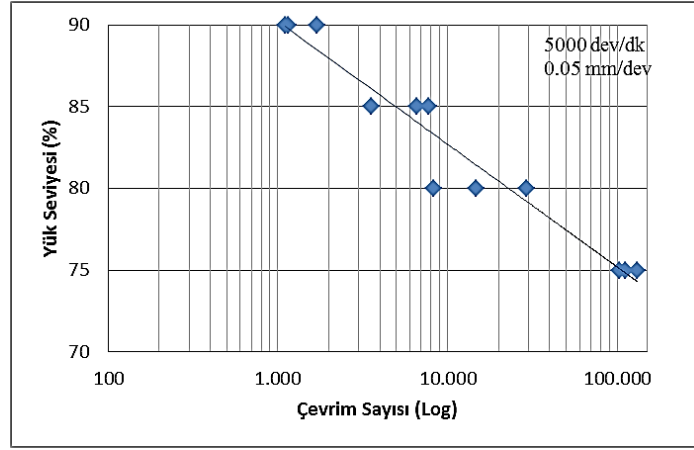
4.5. Yorulma Ömrü Analizi

Tezin bu kısmında delik etrafında farklı seviyelerde deformasyonlar bulunan farklı elyaf yönlendirme açlarına sahip KETP'lere farklı seviyelerde yükler uygulanarak yorulma ömürleri tespit edilmiştir. Yorulma deneyleri ASTM D7615/D7615M-11 standardına uygun olarak R=0.10 yük oranında ve 5 Hz çevrim frekansında %90, %85, %80 ve %75 yük seviyelerinde gerçekleştirilmiştir. +45/-45, UD ve 0/90 elyaf açılı KETP'ler için yük seviyeleri Tablo 4.4'te verilmiştir. Diğer tüm araştırma sonuçları Ek-1'de ayrıca verilmiştir.

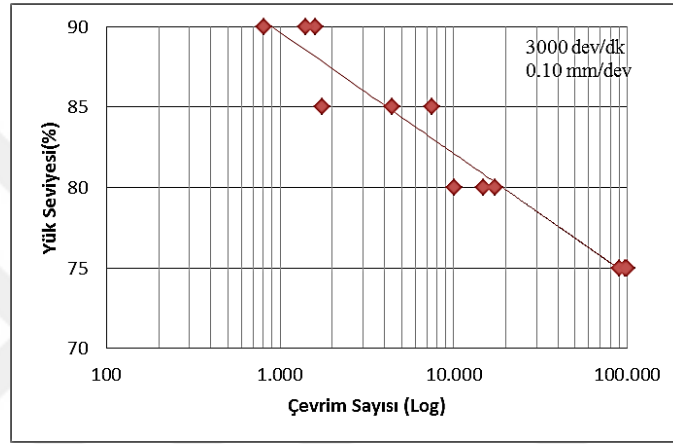
Tablo 4.4. Kompozit numuneler için yük seviyeleri

Malzeme	Delme Parametresi		Kesme Kuvveti (N)	Deformasyon Faktörü	Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	Maksimum Çekme Kuvveti (kN)	Uygulanan Yük Seviyesi				
	Devir (dev/dk)	İlerleme (mm/dev)					%90	%85	%80	%75	
UD	T1	5000	0.05	62.8	1.15	1.47	99	72	68	64	60
	T2	3000	0.10	761	1.33	3.51	90.2	72	68	64	60
	T3	1000	0.15	978	1.43	5.35	80	72	68	64	60
0/90	T1	5000	0.05	59	1.22	1.27	101.4	73.8	69.7	65.6	61.5
	T2	3000	0.10	682	1.36	3.24	92	73.8	69.7	65.6	61.5
	T3	1000	0.15	1049	1.49	5.67	82	73.8	69.7	65.6	61.5
45/-45	T1	5000	0.05	57.4	1.16	1.15	14.02	9.36	8.84	8.32	7.80
	T2	3000	0.10	742.2	1.35	3.08	12.02	9.36	8.84	8.32	7.80
	T3	1000	0.15	1141.6	1.45	5.56	10.40	9.36	8.84	8.32	7.80

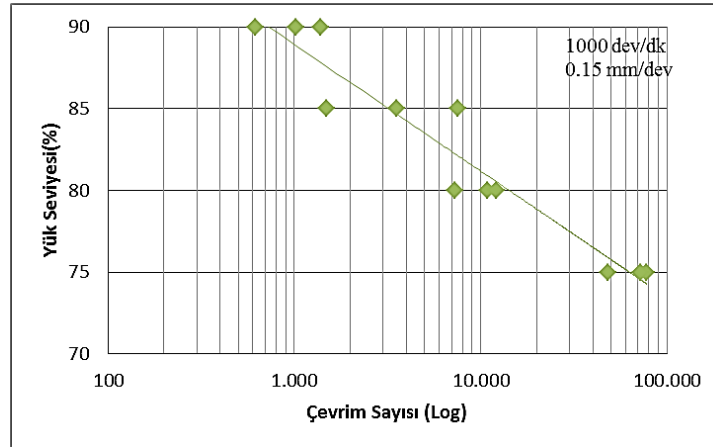
En iyi delik kalitesi T1 takım ile 5000 dev/dk iş mili devri ve 0.05 mm/dev ilerleme oranında delinmiş KETP'lerden, en kötü delik kalitesi T3 takım ile 1000 dev/dak iş mili devri ve 0.15 mm/dev ilerleme oranında delinmiş KETP'lerden elde edilmiştir. Ayrıca ara bir değer olarak T2 takım ile 3000 dev/dk iş mili devri ve 0.10 mm/dev'de ilerleme oranı seçilmiştir. Şekil 4.32'de farklı parametrelerde delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'ler için yük seviyelerine bağlı olarak yorulma ömürleri gösterilmiştir. T1 takımla delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin yorulma ömrünün hem T2 takımla delinen KETP'lerin hem de T3 takımla delinen KETP'lerin yorulma ömürlerinden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. %90 yük seviyesinde en yüksek yorulma ömrü T1 takımla delinen KETP'lerde ortalama 1325 çevrim iken, en düşük yorulma ömrü T3 takımla delinen KETP'lerde ortalama 1010 çevrimdir. %85 yük seviyesinde en yüksek yorulma ömrü T1 takımla delinen KETP'lerde ortalama 5945 çevrim iken, en düşük yorulma ömrü T3 takımla delinen KETP'lerde ortalama 4200 çevrimdir. %80 yük seviyesinde en yüksek yorulma ömrü T1 takımla delinen KETP'lerde ortalama 17464 çevrim iken, en düşük yorulma ömrü T3 takımla delinen KETP'lerde ortalama 10120 çevrimdir. %75 yük seviyesinde ise en yüksek yorulma ömrü T1 takımla delinen KETP'lerde ortalama 115742 çevrim iken, en düşük yorulma ömrü T3 takımla delinen KETP'lerde ortalama 66213 çevrimdir.



a) Takım: T1



b) Takım: T2



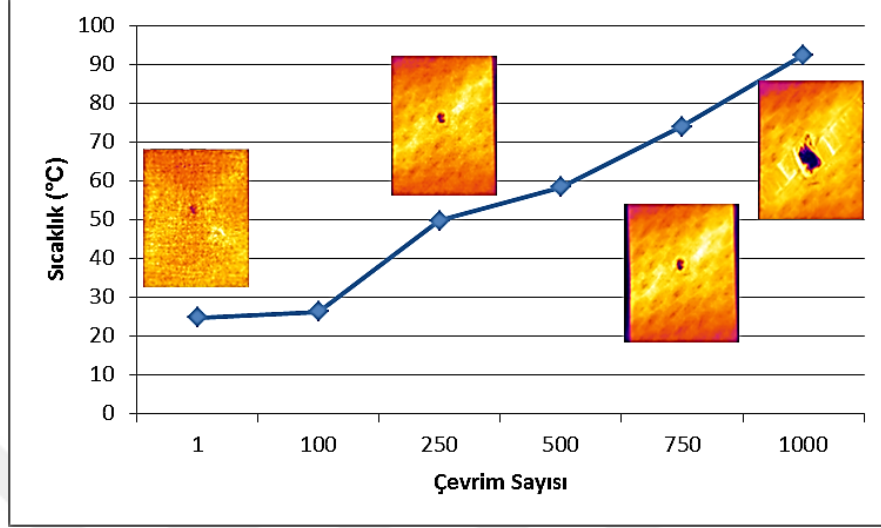
c) Takım: T3

Şekil 4.32. Farklı parametrelerde delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin yorulma ömür grafikleri

+45/-45 elyaf açılı kompozitler için delme parametrelerine bağlı olarak %90 yük seviyesinde %23'lük, %85 yük seviyesinde %29'lük, %80 yük seviyesinde %42'lik ve %75 yük seviyesinde %43'lik yorulma ömür kaybının engellenebileceği görülmüştür.

Şekil 4.33'te T3 takımıyla 1000 dev/dk iş mili devri ve 0.15 mm/dev ilerleme oranında delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'e %90 yük oranında yorulma testi yapılırken

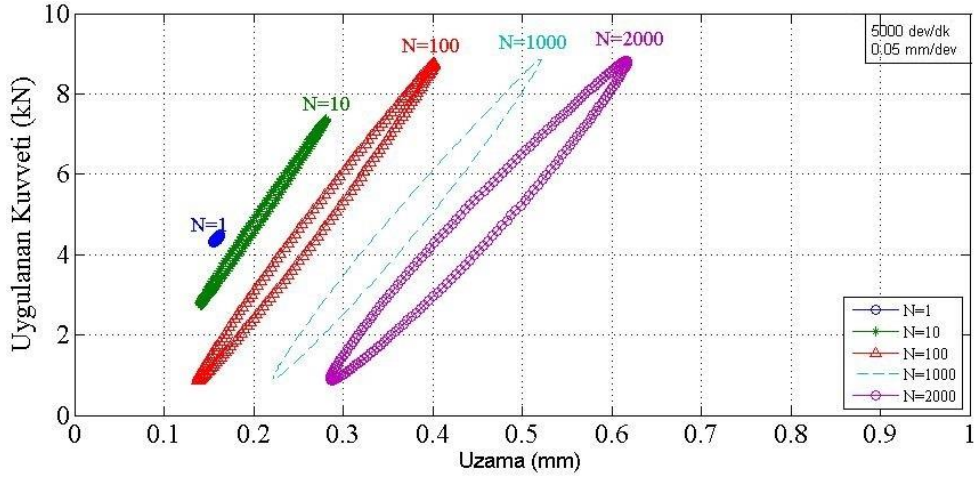
sıcaklığın çevrim sayısına bağlı değişimi gösterilmiştir. 100. çevrime kadar ciddi bir sıcaklık artışı meydana gelmezken, 100. çevrimden sonra sıcaklık hızlı bir şekilde artarak KETP'in hasara uğramasına neden olmuştur.



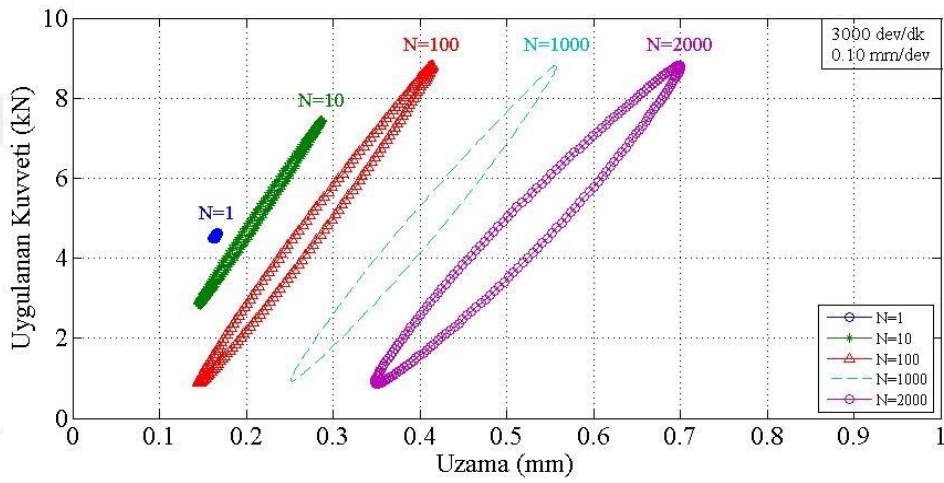
Şekil 4.33. T3 takımla delinen 45/-45 elyaf açılı KETP'e ait çevrim sayısı- sıcaklık grafiği

Kompozitlerin anizotropik özelliklerinden dolayı yorulma ömrünün metaller gibi çatlak ilerlemesinden hesaplanması mümkün değildir. Bu nedenle kompozitlerde yorulma davranışı, şekil değişim enerjisi (Histerezis) ile ifade edilmektedir. Çevrim sayısı arttıkça histerezis eğrisi arasındaki alan artmakta ve histerezis eğim açısı da azalmaktadır. Eğim açısının azalması malzemenin rijitliğini kaybettiği anlamına gelmektedir.

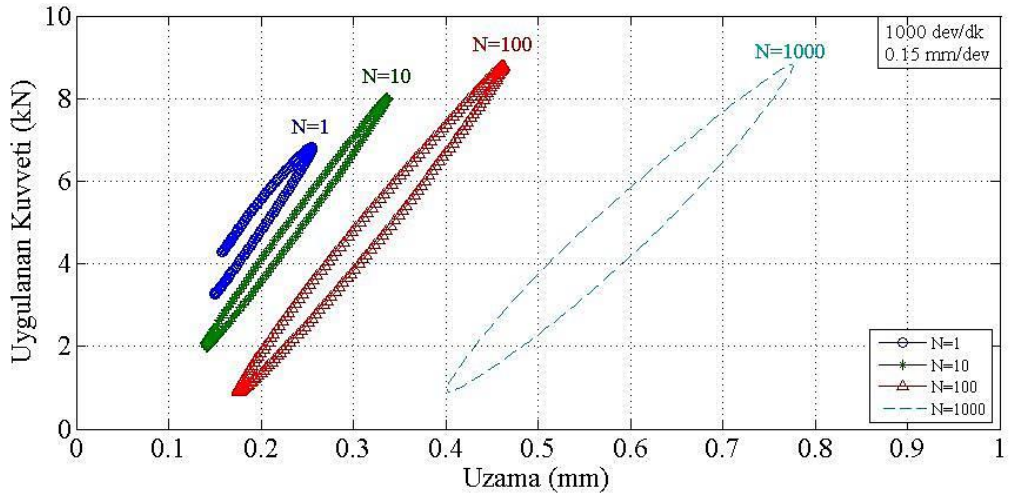
Şekil 4.34'te T1, T2 ve T3 takımlarıyla delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin %90 yük seviyesinde gerçekleştirilen yorulma deneyine ait histerezis eğrileri gösterilmiştir. Çevrim sayısı arttıkça histerezis eğrisinin arasında kalan alan artmıştır. Histerezis alanının artması KETP'in rijitliğinin azaldığını göstermektedir. Ayrıca T1 takımla delinen KETP'lerin histerezis alanı, hem T2 takımla hem de T3 takımla delinen KETP'lerin histerezis alanından daha düşük olduğundan daha rijit olduğu tespit edilmiştir.



a) Takım: T1



b) Takım: T2



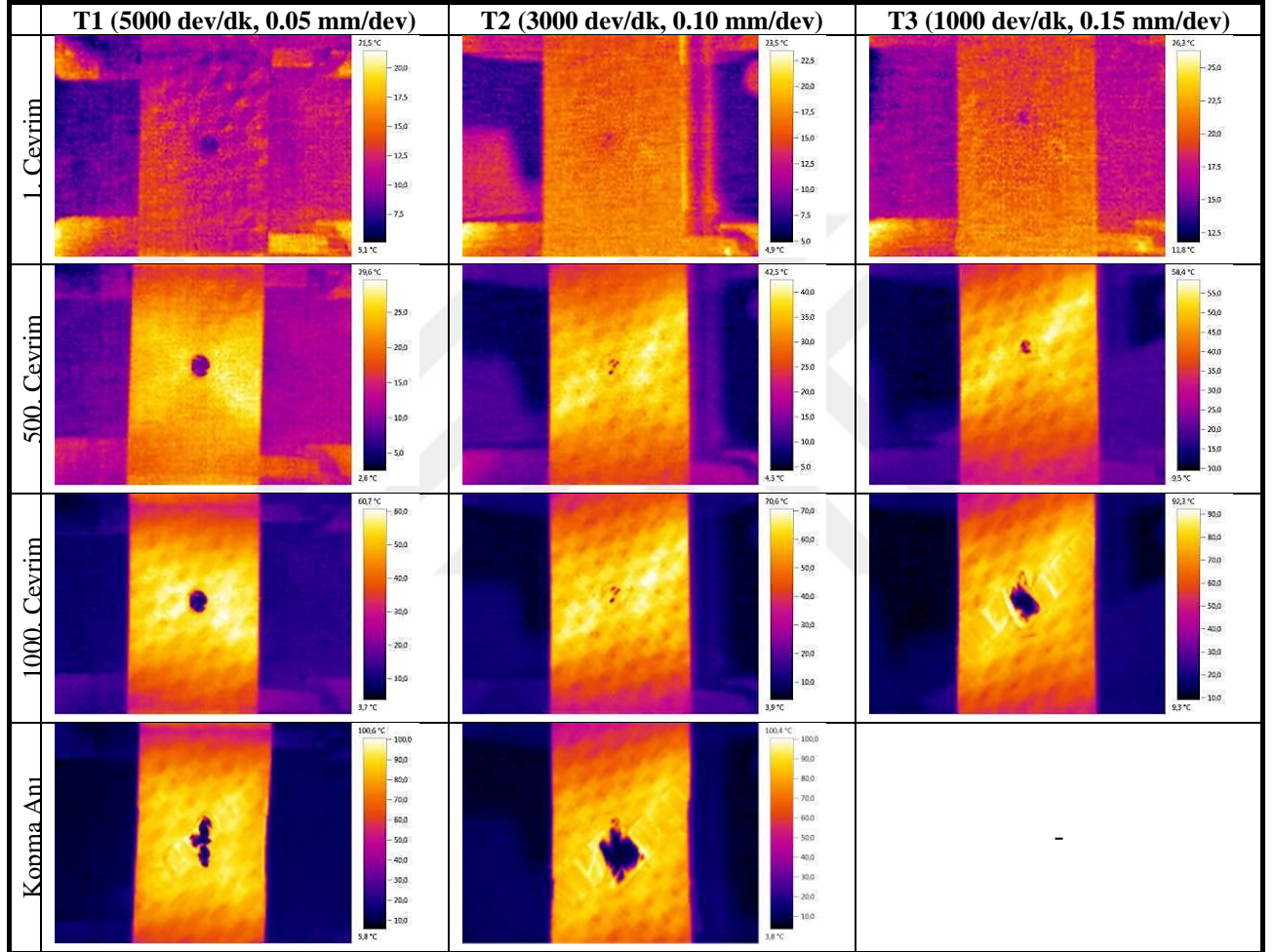
c) Takım: T3

Şekil 4.34. +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin %90 yük seviyesinde yorulma deneyine ait histeresis eğrileri

Tablo 4.5'te ise T1, T2 ve T3 takımlarıyla farklı parametrelerinde delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin %90 yük seviyesindeki çevrimlere ait termal görüntüleri verilmiştir. T1 takımla delinen numunelerinin sıcaklıklarının T2 ve T3 takımlarıyla

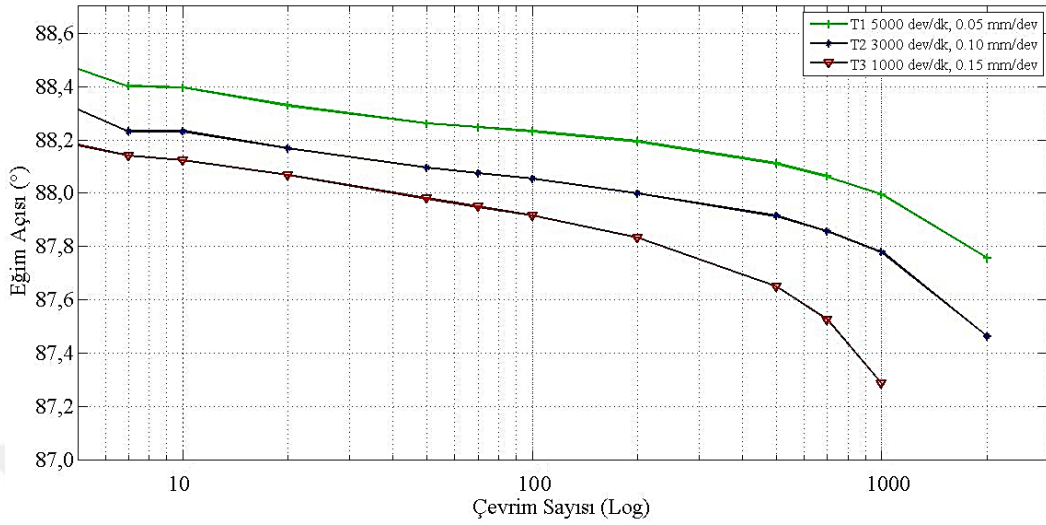
delinen numunelerin sıcaklıklarına göre daha geç arttığı gözlemlenmiştir. T3 takımla delinen numuneler daha erken hasara uğrarken T1 takımla delinen numuneler daha geç hasara uğramıştır. Çevrim sayısı arttığında histerezis eğrisi arasındaki alan arttığından dolayı KETP'in harcadığı enerji de artmıştır. Bu enerjinin ısıya dönüşmesi sonucu çevrim sayısının artmasıyla sıcaklık artmıştır.

Tablo 4.5. %90 yük seviyesinde 45/-45 elyaf açılı KETP'lerin farklı çevrimlerdeki termal görüntüleri



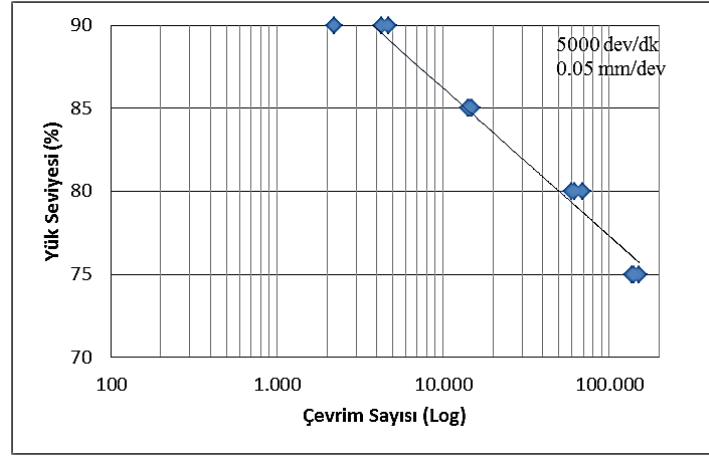
Şekil 4.35'te T1, T2 ve T3 takımlarıyla farklı parametrelerde delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin %85 yük seviyesinde gerçekleştirilen yorulma deneylerinde elde edilen histerezis eğim açıları gösterilmiştir. Şekilden anlaşılacağı üzere çevrim sayısının artması ile histerezis eğrisinin eğimi azalmıştır. Çevrim sayısı arttıkça elyaf kopmaları meydana geldiğinden eğim açısı da azalmıştır (Karahana ve ark., 2013). Ayrıca T1 takımla delinen KETP'lerde daha yüksek histerezis eğim açıları elde edilirken T3 takımla delinen KETP'lerde daha düşük histerezis eğim açıları elde edilmiştir. Dolayısıyla T1 takım ile delmede daha rijit malzemeler elde edilmiştir. T1 takımla

delinen numune 1000. , T2 takımla delinen numune 1000. ve T3 takımla delinen numune ise 500. çevrimden sonra rijitliğini kaybetmiştir.

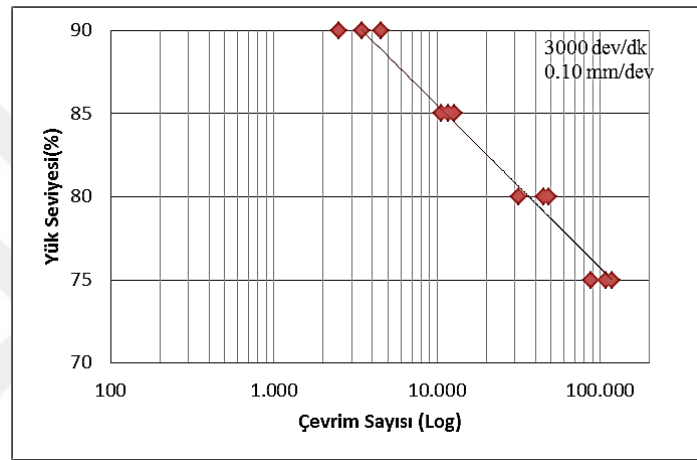


Şekil 4.35. Farklı parametrelerde delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin histerezis eğimleri

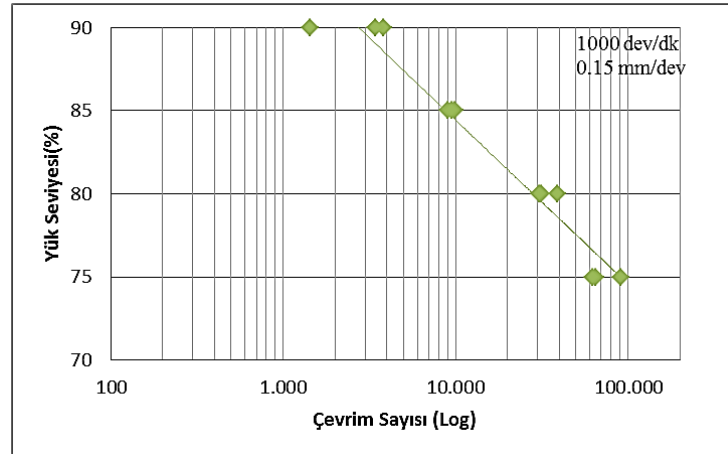
Şekil 4.36'da T1, T2 ve T3 takımlarıyla farklı parametrelerde delinen UD elyaf açılı KETP'ler için yük seviyelerine bağlı olarak yorulma ömürleri gösterilmiştir. Şekil 4.36'ya bakıldığı zaman yük seviyelerinin artması ile yorulma ömürlerinin azaldığı görülmüştür. T1 takımla delinen UD elyaf açılı KETP'in yorulma ömrünün en yüksek olduğu gözlemlenmiştir. %90 yük seviyesinde en yüksek yorulma ömrü T1 takımla delinen KETP'lerde ortalama 3410 çevrim iken, en düşük yorulma ömrü T3 takımla delinen KETP'lerde ortalama 2205 çevrimdir. %85 yük seviyesinde en yüksek yorulma ömrü T1 takımla delinen KETP'lerde ortalama 12121 çevrim iken, en düşük yorulma ömrü T3 takımla delinen KETP'lerde ortalama 7357 çevrimdir. %80 yük seviyesinde en yüksek yorulma ömrü T1 takımla delinen KETP'lerde ortalama 48800 çevrim iken, en düşük yorulma ömrü T3 takımla delinen KETP'lerde ortalama 25394 çevrimdir. %75 yük seviyesinde ise en yüksek yorulma ömrü T1 takımla delinen KETP'lerde ortalama 122559 çevrim iken, en düşük yorulma ömrü T3 takımla delinen KETP'lerde ortalama 60869 çevrimdir. UD elyaf açılı kompozitler için delme parametrelerine bağlı olarak %90 yük seviyesinde %35'lük, %85 yük seviyesinde %39'lük, %80 yük seviyesinde %48'lik ve %75 yük seviyesinde %50'lik yorulma ömür kaybının engellenebileceği görülmüştür.



a) Takım: T1



b) Takım: T2

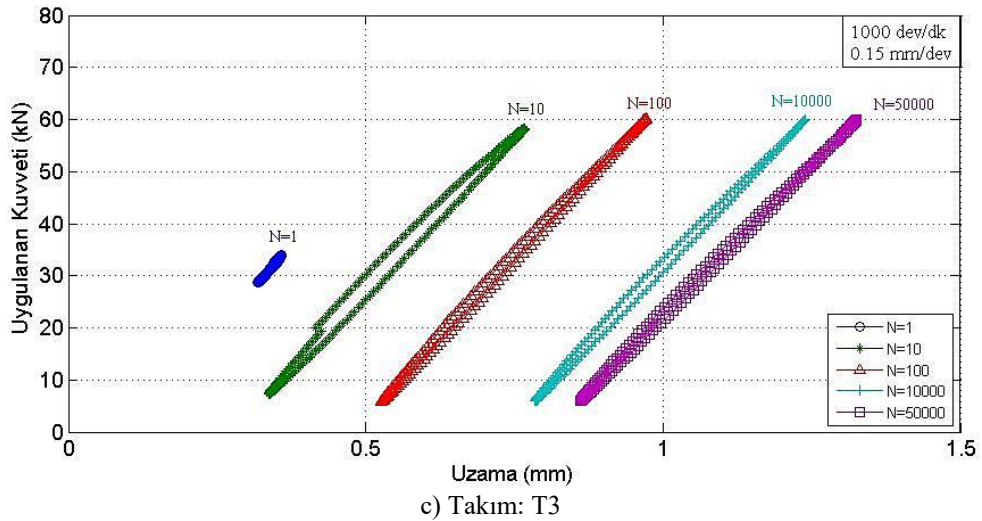
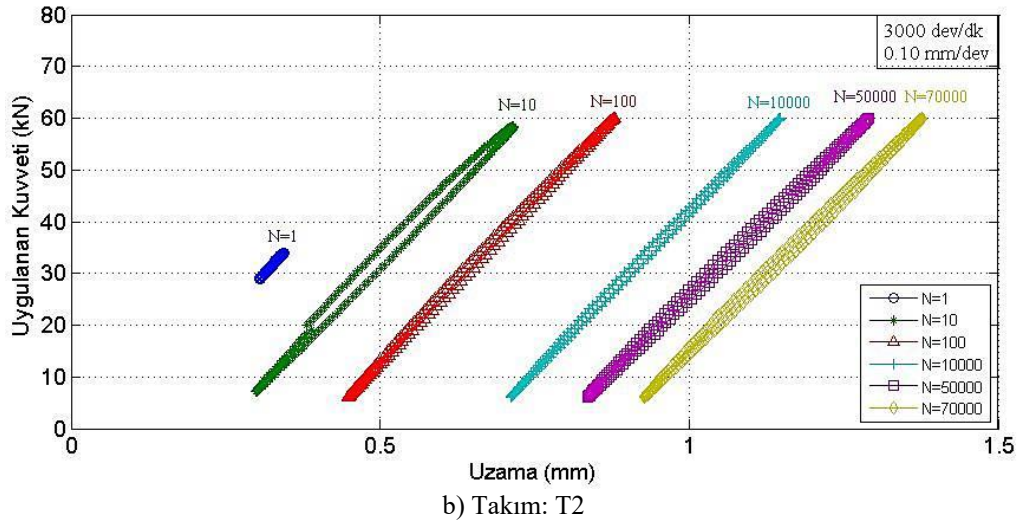
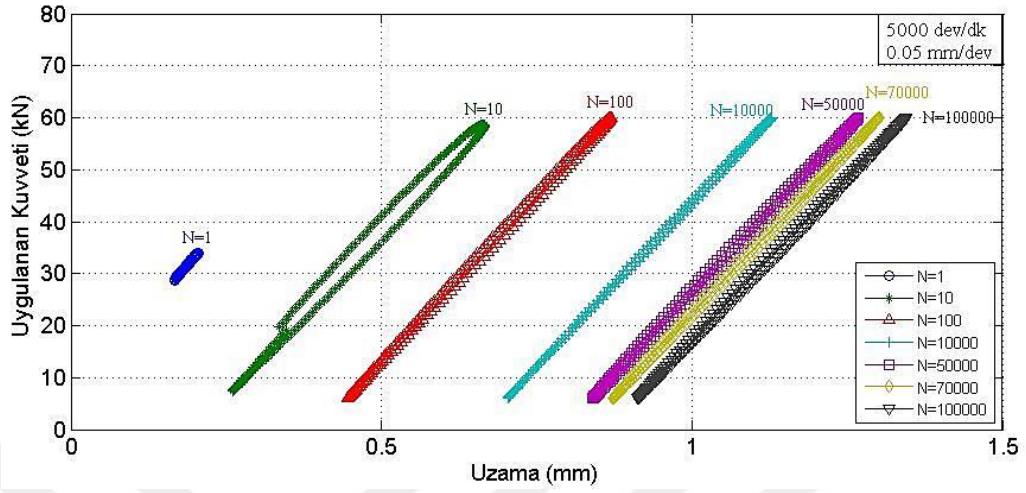


c) Takım: T3

Şekil 4.36. Farklı parametrelerde delinen UD elyaf açılı KETP'lerin yorulma ömür grafikleri

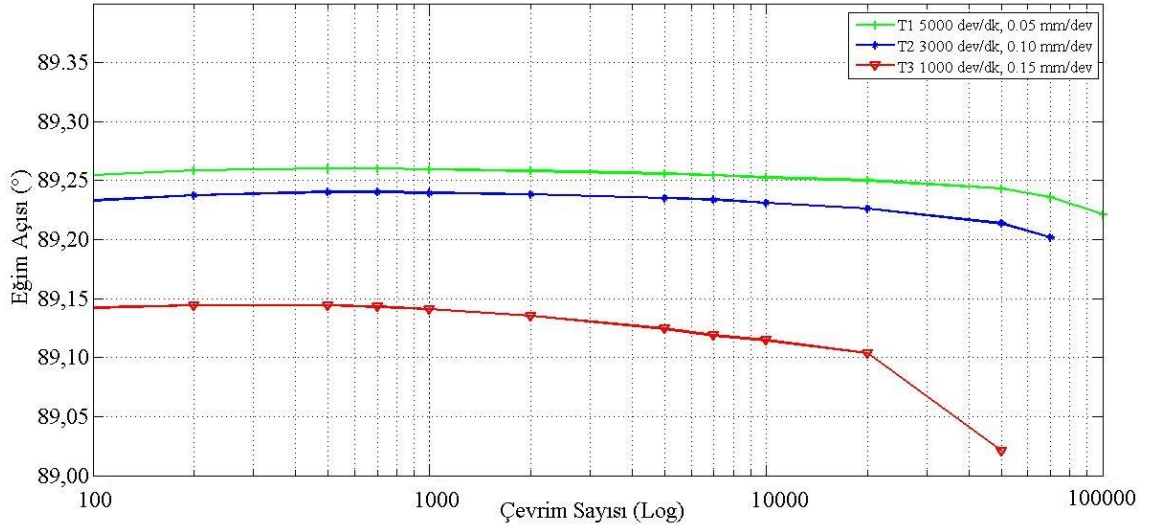
Şekil 4.37'de T1, T2 ve T3 takımlarıyla delinen UD elyaf açılı KETP numunelere %75 yük seviyesinde yük uygulanarak yapılan yorulma deneylerine ait histerezis eğrileri gösterilmiştir. T1 takımla delinen KETP'in histerezis alanı, T2 ve T3

takımla delinen KETP'lerin histerezis alanından daha düşük gözlemlenmiştir. T1 takımla delinen KETP'ler daha rijit bir davranış sergilemiştir.



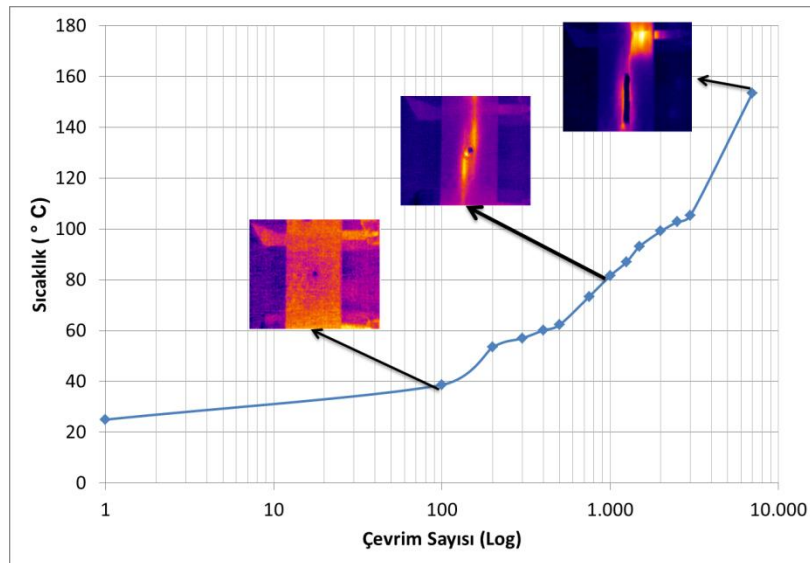
Şekil 4.37. UD elyaf açılı KETP'lerin %75 yük seviyesindeki yorulma deneyine ait histerezis eğrileri

Şekil 4.38’de T1, T2 ve T3 takımlarıyla delinen UD elyaf açılı KETP’lerin %75 yük seviyesinde yük uygulanarak yapılan yorulma deneylerine ait histerezis eğim açıları gösterilmiştir. Çevrim sayısının artması ile histerezis eğrisinin eğimi azalmıştır. Ayrıca T1 takımla delinen KETP’lerde daha yüksek, T3 takımla delinen KETP’lerde daha düşük histerezis eğim açıları elde edilmiştir. Önceki sonuçlara benzer olarak T1 takım ile delinen KETP’ler diğer takımlarla delinen KETP’lere göre daha rijit olmuştur.



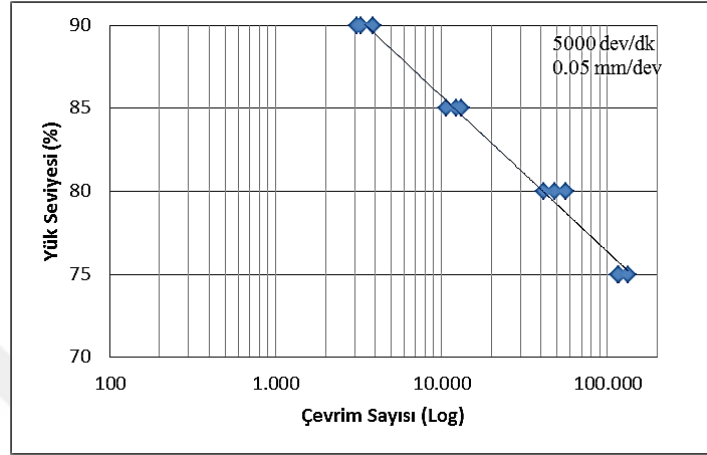
Şekil 4.38. Farklı parametrelerde delinen UD elyaf açılı KETP’lerin histerezis eğimleri

Şekil 4.39’da T3 takımla delinen UD elyaf açılı KETP’in %85 yük seviyesinde yapılan yorulma deneyinde çevrim sayısına bağlı sıcaklık artışı gösterilmiştir. 200. çevrimden sonra sıcaklık artışı hızlanarak 7000. çevrimden sonra hasar gerçekleşmiştir.

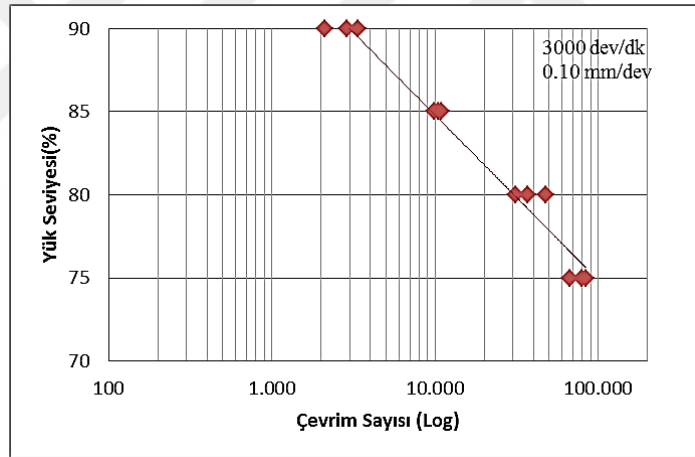


Şekil 4.39. T3 takımla delinen UD elyaf açılı KETP’in %85 yük seviyesinde sıcaklık değişimi

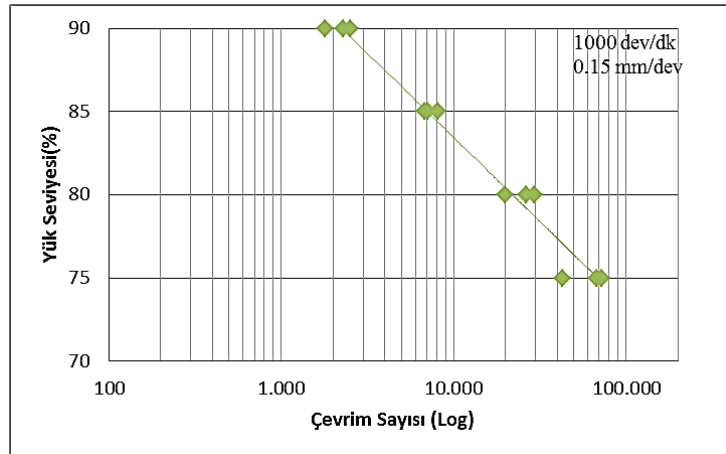
Şekil 4.40'ta farklı takımlarla delinen 0/90 elyaf açılı KETP'ler için yük seviyelerine bağlı olarak yorulma ömürleri gösterilmiştir. T1 takımla delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'in yorulma ömrünün T2 ve T3 takımla delinen KETP'lerin yorulma ömürlerinden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.



a) Takım: T1



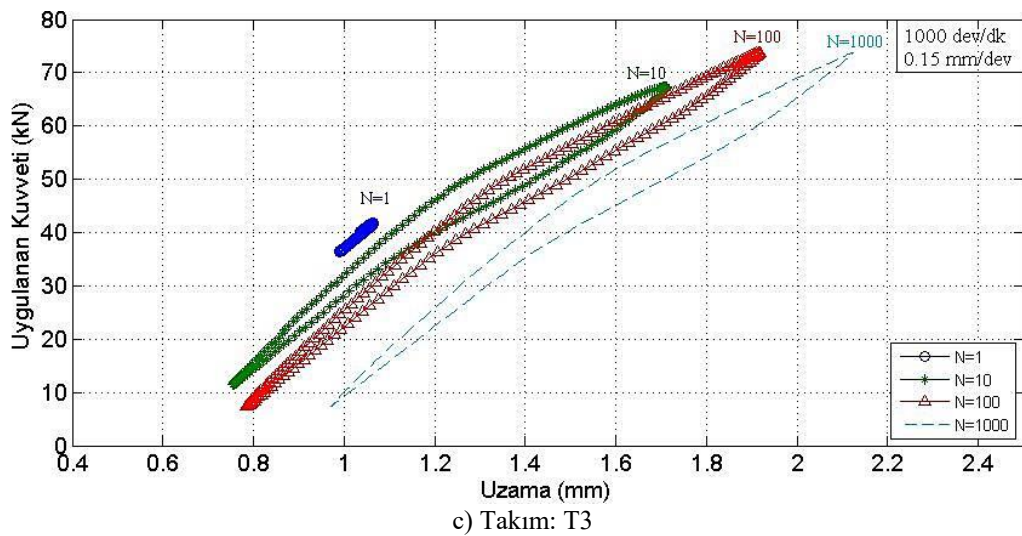
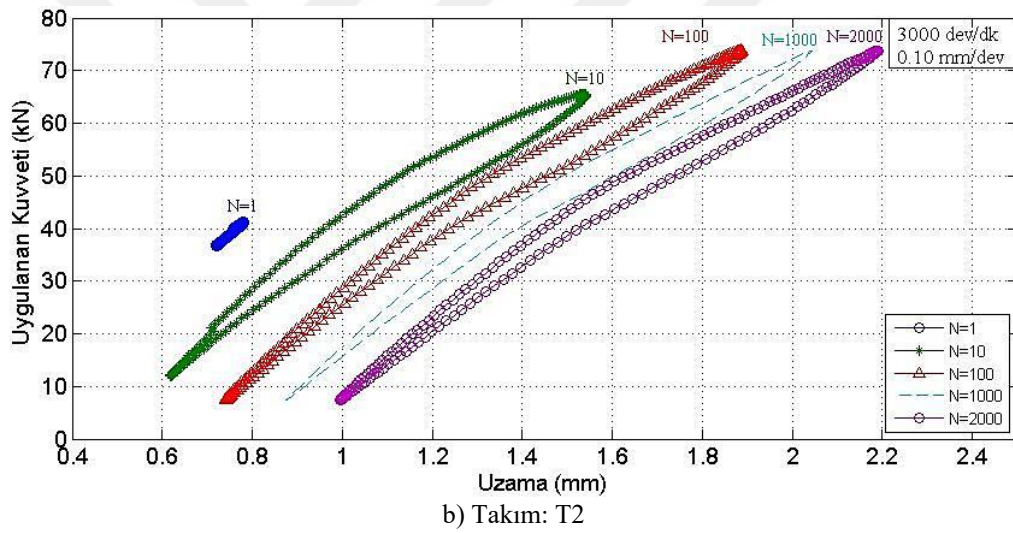
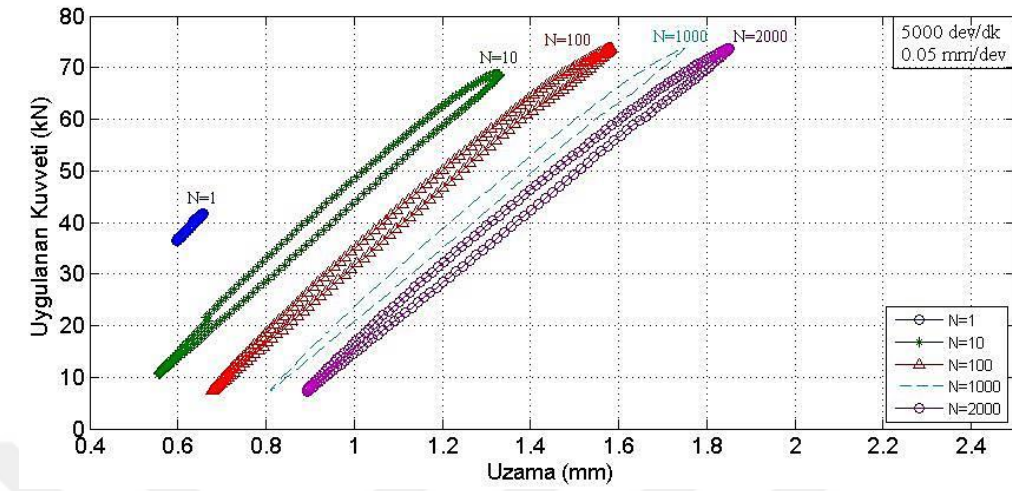
b) Takım: T2



c) Takım: T3

Şekil 4.40. Farklı parametrelerde delinen 0/90 elyaf açılı KETP'lerin yorulma ömür grafikleri

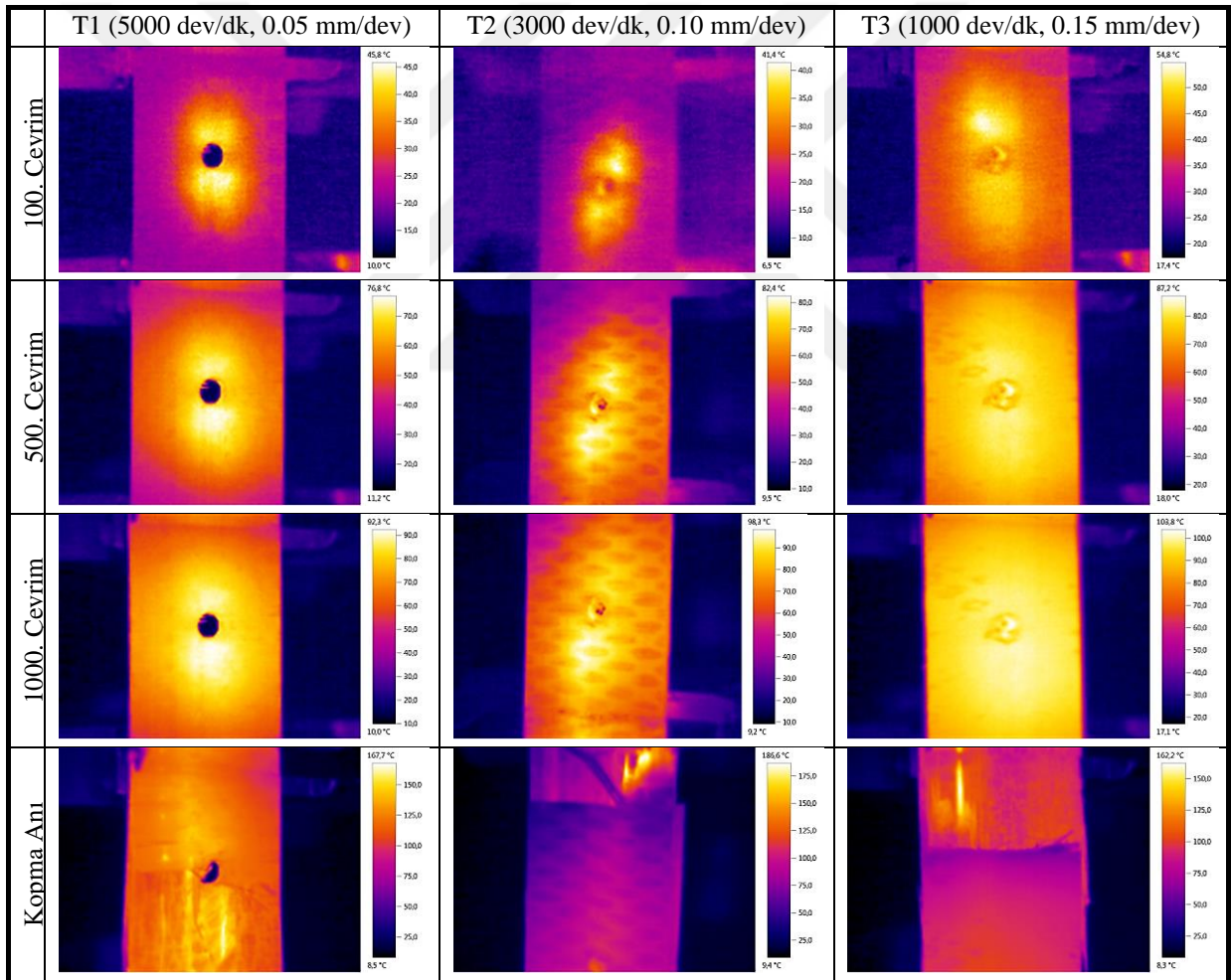
Şekil 4.31’de farklı takımlarla delinen 0/90 elyaf açılı KETP’lerin %90 yük seviyesinde gerçekleştirilen yorulma deneyine ait histerezis eğrileri gösterilmiştir.



Şekil 4.41. 0/90 elyaf açılı KETP’lerin %90 yük seviyesindeki yorulma deneyine ait histerezis eğrileri

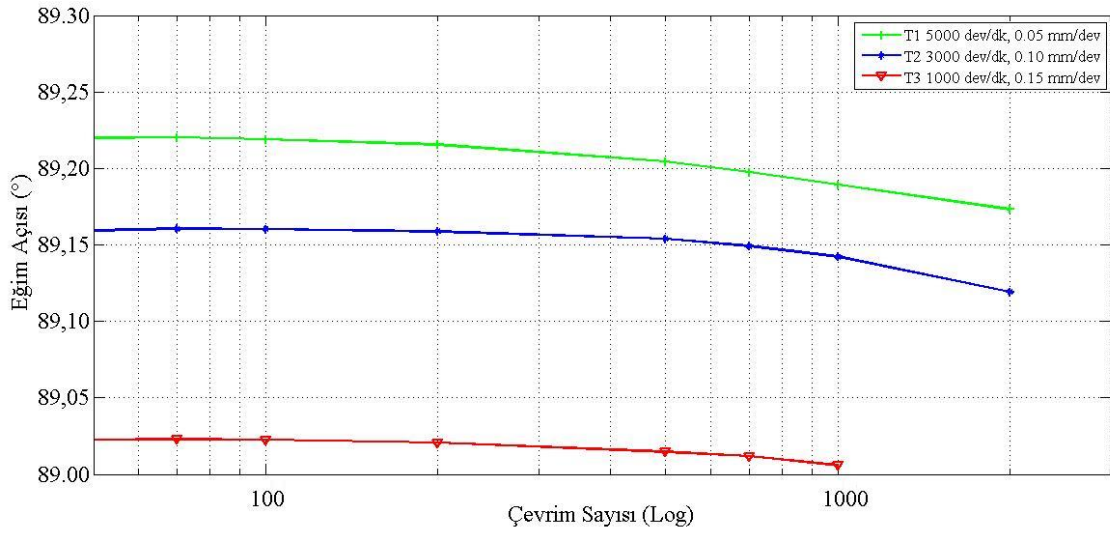
T1 takımla delinen KETP'in histerezis alanı en yüksek, T3 takımla delinen KETP'in histerezis alanı en düşük elde edilmiştir. Ayrıca T2 ve T3 takımla delinen KETP'lerde 40 kN'dan sonra histerezis eğrileri hafif eğimler gözlemlenmiştir. Bu durum malzemede plastik şekil değişimlerinin meydana geldiğini göstermiştir. Tablo 4.6'da T1, T2 ve T3 takımlarıyla delinen 0/90 KETP'lerin %90 yük seviyesindeki çevrimlere ait termal görüntüleri verilmiştir. T1 takımla delinen numunelerinin sıcaklıklarının T2 ve T3 takımlarıyla delinen numunelerin sıcaklıklarına göre daha geç arttığı gözlemlenmiştir. T3 takımla delinen numuneler daha erken hasara uğrarken T1 takımla delinen numuneler daha geç hasara uğramıştır.

Tablo 4.6. %90 yük seviyesinde 0/90 elyaf açılı KETP'lerin farklı çevrimlerdeki termal görüntüleri



Şekil 4.42'de farklı parametrelerde delinen 0/90 elyaf açılı KETP'lerin %90 yük seviyesinde gerçekleştirilen yorulma deneylerinde elde edilen histerezis eğim açıları gösterilmiştir. T1 takımla delinen KETP'lerde daha yüksek histerezis eğim açıları elde edilirken T3 takımla delinen KETP'lerde daha düşük histerezis eğim açıları elde

edilmiştir. T1 takımla delinen numune 700. , T2 takımla delinen numune 700. ve T3 takımla delinen numune ise 500. çevrimden sonra rijitliğini kaybetmiştir.°



Şekil 4.42. Farklı parametrelerde delinen 0/90 elyaf açılı KETP'lerin histerezis eğimleri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada +45/-45, UD ve 0/90 elyaf açılı KETP'lerin delinmesinde iş mili devri, ilerleme oranı ve takım tipi gibi delme parametrelerinin kesme kuvveti, deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülükleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Ayrıca farklı delme parametrelerinde delinen KETP'lerin çekme kuvveti ve yorulma ömürleri deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla +45/-45, UD ve 0/90 elyaf açılı KETP'ler; WC, HSS ve AĞAÇ (HSS) takımlarıyla 1000, 3000 ve 5000 dev/dk iş mili devirlerinde ve 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev ilerleme oranlarında delme işlemlerine tabi tutulmuştur. Delme işlemleri esnasında kesme kuvvetleri ve sonrasında deformasyon faktörleri ve yüzey pürüzlülükleri tespit edilmiştir. +45/-45, UD ve 0/90 elyaf açılı KETP'lerin çekme deneyleri yapıldıktan sonra elde edilen veriler incelenerek, çekme kuvvetlerinin en az, orta ve en fazla elde edildiği delme parametreleri tespit edilerek bu delme parametrelerinde KETP'lerin delme işlemleri tekrar edilmiştir. Sonrasında +45/-45, UD ve 0/90 elyaf açılı KETP'lerin %75, %80, %85 ve %90 yük seviyesinde yorulma deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Delme parametrelerinin kesme kuvvetine etkileri

- Tüm KETP'lerde ilerleme oranının artmasıyla kesme kuvveti artmış, iş mili devrinin artmasıyla kesme kuvveti azalmıştır. En düşük kesme kuvvetleri WC takım ile gerçekleştirilen delme deneylerinde elde edilirken, en yüksek kesme kuvvetleri ağaç (HSS) takım ile gerçekleştirilen delme deneylerinde elde edilmiştir.
- WC ve HSS takımları ile gerçekleştirilen delme deneylerinde UD elyaf açılı KETP'lerin delinmesinde en yüksek kesme kuvvetleri elde edilirken, +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin delinmesinde en düşük kesme kuvvetleri elde edilmiştir. Ayrıca ağaç (HSS) takım ile gerçekleştirilen delme işlemlerinde en yüksek kesme kuvvetleri +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin delinmesinde, en düşük kesme kuvvetleri UD elyaf açılı KETP'lerin delinmesinde elde edilmiştir.
- +45/-45, UD ve 0/90 elyaf açılı KETP'lerin delinmesinde elde edilen en düşük kesme kuvvetleri WC takımıyla 5000 dev/dk iş mili devri ve 0.05 mm/dev ilerleme oranında değerinde yapılan delme işlemlerinde sırasıyla 57.40 N, 59.07N ve 62.75 N olarak elde edilirken, en yüksek kesme kuvvetleri ağaç (HSS) takımıyla 1000 dev/dk iş mili devri ve 0.15 mm/dev ilerleme oranında

yapılan delme işlemlerinde sırasıyla 1141.6 N, 1049 N ve 977.53 N olarak elde edilmiştir.



Delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri

- İlerleme oranının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü artmış, iş mili devrinin artmasıyla yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. En düşük yüzey pürüzlülükleri WC takımla yapılan delme işlemlerinde elde edilirken, en yüksek kesme kuvvetleri ise ağaç (HSS) takımla yapılan delme işlemlerinde elde edilmiştir.
- WC ve HSS takımları ile gerçekleştirilen delme deneylerinde en yüksek yüzey pürüzlülükleri UD elyaf açılı KETP'lerin delinmesinde elde edilirken, en düşük yüzey pürüzlülükleri +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin delinmesinde elde edilmiştir. Ağaç (HSS) takım ile gerçekleştirilen delme işlemlerinde ise en yüksek yüzey pürüzlülükleri 0/90 elyaf açılı KETP'lerin delinmesinde, en düşük yüzey pürüzlülükleri UD elyaf açılı KETP'lerin delinmesinde elde edilmiştir.
- +45/-45, UD ve 0/90 elyaf açılı KETP'lerin delinmesinde elde edilen en düşük yüzey pürüzlülükleri WC takımla 5000 dev/dk iş mili devri ve 0.05 mm/dev ilerleme oranında değerinde sırasıyla 1.15 μm , 1.27 μm , 1.47 μm elde edilirken, en yüksek yüzey pürüzlülükleri AĞAÇ (HSS) takımla 1000 dev/dk iş mili devri ve 0.15 mm/dev ilerleme oranında sırasıyla 5.56 μm , 5.67 μm 5.35 μm olarak elde edilmiştir.

Delme parametrelerinin deformasyon faktörüne etkileri

- İlerleme oranının artmasıyla deformasyon faktörü artarken iş mili devrinin artmasıyla deformasyon faktörü azalmıştır.
- Tüm KETP'lerde en düşük deformasyon faktörleri WC takımla yapılan delme işlemlerinden elde edilirken en yüksek deformasyon faktörleri ağaç (HSS) takımla yapılan delme işlemlerinden elde edilmiştir.
- +45/-45, UD ve 0/90 elyaf açılı KETP'lerin delinmesinde elde edilen en küçük deformasyonlar WC takımla 5000 dev/dk iş mili devri ve 0.05 mm/dev oranında sırasıyla 1.16, 1.22 ve 1.15 olarak elde edilirken, en büyük deformasyonlar ise ağaç (HSS) takımla 1000 dev/dk iş mili devri ve 0.15 mm/dev ilerleme oranında sırasıyla 1.45, 1.49 ve 1.43 olarak elde edilmiştir.

Delme parametrelerinin Çekme kuvvetine etkileri

- Delme parametreleri deformasyon faktörünü etkilediğinden dolayı çekme kuvvetini doğrudan etkilemiştir. WC takımla yapılan delme işlemlerinde daha yüksek çekme kuvvetleri elde edilirken, ağaç (HSS) takımla yapılan delme işlemlerinde düşük çekme kuvvetleri elde edilmiştir.
- 0/90 elyaf açılı KETP'lerin çekme kuvvetleri en yüksek elde edilirken +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin çekme kuvvetleri daha düşük elde edilmiştir.
- +45/-45 KETP'lerin delinmesinde en düşük çekme kuvveti ağaç (HSS) takımla 1000 dev/dk ve 0.15 mm/dev'de 10.4 kN olarak tespit edilirken, en yüksek çekme kuvveti WC takımla 1000 dev/dk ve 0.05 mm/dev'de 14.02 kN olarak tespit edilmiştir.
- UD KETP'lerin delinmesinde en düşük çekme kuvveti ağaç (HSS) takımla 1000 dev/dk ve 0.15 mm/dev'de 80 kN olarak tespit edilirken, en yüksek çekme kuvveti WC takımla 1000 dev/dk ve 0.05 mm/dev'de 99 kN olarak tespit edilmiştir.
- 0/90 KETP'lerin delinmesinde en düşük çekme kuvveti ağaç (HSS) takımla 1000 dev/dk ve 0.15 mm/dev'de 82 kN olarak tespit edilirken, en yüksek çekme kuvveti WC takımla 1000 dev/dk ve 0.05 mm/dev'de 101.40 kN olarak tespit edilmiştir.
- Delme parametrelerin doğru seçilmesi durumunda düşük deformasyon faktörü oluşan +45/-45, UD ve 0/90 elyaf açılı KETP'lerin çekme kuvvetlerinde sırasıyla %26, %19 ve %19 oranında iyileşme görülmüştür.

Delme parametrelerinin Yorulma ömrüne etkileri

- Artan deformasyon faktörüne bağlı olarak tüm KETP'lerin yorulma ömürlerinde düşüşler meydana gelmiştir. WC takımla yapılan delme işlemlerinde daha düşük deformasyon faktörleri elde edildiğinden dolayı bu takımla delinen KETP'lerin yorulma deneylerinde daha yüksek yorulma ömürleri elde edilmiştir. Ağaç (HSS) takımla yapılan delme işlemlerinde daha yüksek deformasyon faktörleri elde edildiğinden bu takımla delinen KETP'lerin yorulma ömürleri daha düşük gözlemlenmiştir.
- 0/90 elyaf açılı KETP'lerin yorulma ömürleri en yüksek elde edilirken +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin yorulma ömürleri daha düşük elde edilmiştir.

İlerleme oranının azalması ve iş mili devrinin artması KETP'lerin kesme kuvvetlerini, yüzey pürüzlülüklerini, deformasyon faktörlerini azaltmış ve bunlara bağlı olarak çekme kuvvetlerini ve yorulma ömürlerini arttırmıştır. WC takım ile gerçekleştirilen delme işlemlerinde daha iyi sonuçlar elde edilirken ağaç (HSS) takım ile gerçekleştirilen delme işlemlerinde daha kötü sonuçlar elde edilmiştir. +45/-45, 0/90 ve UD elyaf açılı KETP'ler için en doğru delme parametrelerinin WC takım, 0.05 mm/dev ilerleme oranı ve 5000 dev/dk iş mili devri olduğu tespit edilmiştir.

5.2. Öneriler

Yapılan çalışmada delme parametrelerinin, kesici takım malzemesi ve geometrisinin kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, deformasyon, çekme kuvveti ve yorulma ömrü üzerinde etkilerinin olduğu görülmüştür. Delme parametrelerin doğru seçilmesi halinde KETP malzemenin çekme kuvvetinde ve yorulma ömründe iyileşmeler gözlemlenmiştir. Sonraki çalışmalarda KETP'lerin delinmesi esnasında titreşim ve akustik ölçümler alınarak delme kalitesi ayrıntılı olarak incelenebilir, delinen numunelerin delik yüzeyinde meydana gelen deformasyonlar 3d tarayıcı ile görüntülenip, hasar bölgeleri detaylı olarak incelenebilir. Delme parametreleri ile KETP'lerin çekme kuvveti ve yorulma ömrü arasında matematiksel modeller geliştirilebilir, sonlu elemanlar yazılımlarıyla (Ansys, Abaqus gibi) delme işlemleri doğrulanabilir. Ayrıca karbon elyafı dışında cam, aramid gibi elyaf kullanılarak hibrit kompozitler için çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Abrao, A. M., Faria, P. E., Rubio, J. C., Reis, P., & Davim, J. P. 2007. Drilling of fiber reinforced plastics: A review. *Journal of Materials Processing Technology*, 186(1), 1-7.
- Abrao, A. M., Rubio, J. C., Faria, P. E., & Davim, J. P. 2008. The effect of cutting tool geometry on thrust force and delamination when drilling glass fibre reinforced plastic composite. *Materials & Design*, 29(2), 508-513.
- Akkurt, A. 2004. Su jeti ile kesme sistemleri ve uygulama alanlarının değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 7(2), 129-139.
- Amran, M. A., Salmah, S., Hussein, N. I. S., Izamshah, R., Hadzley, M., Kasim, M. S., & Sulaiman, M. A. 2013. Effects of machine parameters on surface roughness using response surface method in drilling process. *Procedia Engineering*, 68, 24-29.
- Anonim, 2017. <http://www.dostkimya.com/tr/urunler/kumaslar>. Ziyaret tarihi 20 Kasım 2017.
- Anonim, 2017. <https://www.quartus.com/resources/composites-101/>. Ziyaret tarihi 20 Kasım 2017
- Anonim, 2017. www.taylorspecialsteels.co.uk/pdfdownload/m35.pdf Ziyaret Tarihi: 11 Kasım 2017
- Anonim, 2017. www.teskon.com/yzey-portatif-puruzluluk-puruzsuzluk-cihaz-urun288.html Ziyaret tarihi 11 Kasım 2017
- Anonim, 2017. <https://www.kistler.com/fileadmin/files/divisions/sensor-technology/cutting-force/960-002e-05.14.pdf> Ziyaret tarihi 01 Ocak 2018
- Arul, S., Vijayaraghavan, L., Malhotra, S. K., & Krishnamurthy, R. 2006. Influence of tool material on dynamics of drilling of GFRP composites. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 29(7), 655-662.
- Arul, S., Vijayaraghavan, L., Malhotra, S. K., & Krishnamurthy, R. 2006. The effect of vibratory drilling on hole quality in polymeric composites. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46(3), 252-259.
- Ashby, M. F. 2011. *Materials selection in mechanical design*. DOI: 10.1016/B978-1-85617-663-7.00001-1.
- Azmi, A. 2012. *Machinability study of fibre-reinforced polymer matrix composites*, PhD. Thesis, The University of Auckland.
- Babalık, F.C. ve Çavdar K. 2012. *Makine Elemanları ve Konstrüksiyon Örnekleri*. Dora Yayıncılık
- Barbero, E.J. 2014. *Finite Element Analysis of Composite Materials Using Ansys 2nd Edition*.
- Benaarbia, A., Chrysochoos, A., & Robert, G. 2015. Thermomechanical behavior of PA6. 6 composites subjected to low cycle fatigue. *Composites Part B: Engineering*, 76, 52-64.
- Bonnet, C., Poulachon, G., Rech, J., Girard, Y., & Costes, J. P. 2015. CFRP drilling: Fundamental study of local feed force and consequences on hole exit damage. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 94, 57-64.
- Botelho, E. C., Silva, R. A., Pardini, L. C., & Rezende, M. C. 2006. A review on the development and properties of continuous fiber/epoxy/aluminum hybrid composites for aircraft structures. *Materials Research*, 9(3), 247-256.
- Buckly, J.,D., 1993. *Carbon-Carbon Materials and Composites* National Aeronautics and Space Administration Langley Research Center Hampton, Virginia
- Budynas, R. G., Nisbett, J. K. 2008. *Shigley's mechanical engineering design* (Vol. 9). New York: McGraw-Hill.
- Cambridge University Engineering Department, 2003. *Materials Data Book*.
- Chen, W. C. 1997. Some experimental investigations in the drilling of carbon fiber-reinforced plastic (CFRP) composite laminates. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 37(8), 1097-1108.
- Chung, D. D. L. 1994. *Carbon Fiber Composites* Butterworth.
- Çavuş, Y. 2015. Karbon fiber takviyeli kompozit (KFTK) malzemelerin alışılmış takımlarla işlenebilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

- Celik, Y.H., Kilickap, E. ve Yenigun, B., 2017. Fıstık kabuğu takviyeli kompozitlerin aşınma davranışlarının incelenmesi, 2nd International Science Symposium -ISS2017, Tiflis-Gürcistan, 160-220.
- Davim, J. P., & Reis, P. 2003. Drilling carbon fiber reinforced plastics manufactured by autoclave— experimental and statistical study. *Materials & design*, 24(5), 315-324.
- Davim, J. P., & Reis, P. 2003. Study of delamination in drilling carbon fiber reinforced plastics (CFRP) using design experiments. *Composite structures*, 59(4), 481-487.
- Davim, J. P., Reis, P., & Antonio, C. C. 2004. Experimental study of drilling glass fiber reinforced plastics (GFRP) manufactured by hand lay-up. *Composites Science and Technology*, 64(2), 289-297.
- Debnath, K., & Singh, I. 2017. Low-frequency modulation-assisted drilling of carbon-epoxy composite laminates. *Journal of Manufacturing Processes*, 25, 262-273.
- Dilli, B., G., Sivaji, B., K., & Uma Maheswar Gowd, B. 2014. Determination of delamination and tensile strength of drilled natural fiber reinforced composites. In *Applied Mechanics and Materials Vol. 592*, pp. 134-138
- Dillingham, G. L., 2011. Status of FAA's Actions to Oversee the Safety of Composite Airplanes. United States Gov. Account. Off. Rep. to Congr. Requesters, no. GAO-11-849.
- Dogrusadik, A., & Kentli, A. 2017. Comparative assessment of support plates' influences on delamination damage in micro-drilling of CFRP laminates. *Composite Structures*, 173, 156-167.
- Durao, L. M. P., De Moura, M. F. S. F., & Marques, A. T. 2006. Numerical simulation of the drilling process on carbon/epoxy composite laminates. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 37(9), 1325-1333.
- Durão, L. M. P., Gonçalves, D. J., Tavares, J. M. R., de Albuquerque, V. H. C., Vieira, A. A., & Marques, A. T. 2010. Drilling tool geometry evaluation for reinforced composite laminates. *Composite Structures*, 92(7), 1545-1550.
- Elmarakbi, A. 2013. *Advanced composite materials for automotive applications: Structural integrity and crashworthiness*. John Wiley & Sons.
- El-Sonbaty, I., Khashaba, U. A., & Machaly, T. 2004. Factors affecting the machinability of GFR/epoxy composites. *Composite structures*, 63(3), 329-338.
- Eneyew, E. D., 2014. *Experimental Study of Damage and Defect Detection during Drilling of CFRP Composites*. PhD. Thesis, University of Washinton.
- Eneyew, E. D., & Ramulu, M. 2014. Experimental study of surface quality and damage when drilling unidirectional CFRP composites. *Journal of Materials Research and Technology*, 3(4), 354-362.
- Ersoy M.A. 2005, *Lif takviyeli polimerik kompozit malzeme tasarımı*, Doktora Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Faraz, A., Biermann, D., & Weinert, K. 2009. Cutting edge rounding: An innovative tool wear criterion in drilling CFRP composite laminates. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 49(15), 1185-1196.
- Feito, N., Alvarez, J.D., Alvarez, A.D, Cantero, J. L., & Miguelez, M. H. 2014. Experimental analysis of the influence of drill point angle and wear on the drilling of woven CFRPs. *Materials*, 7(6), 4258-4271.
- Feito, N., Alvarez, J.D., Cantero, J. L., & Miguelez, M. H. 2015. Influence of special tool geometry in drilling woven CFRPs materials. *Procedia Engineering*, 132, 632-638.
- Feito, N., Alvarez, J.D., Puente, J.L. & Miguelez, M. H. 2016. Numerical analysis of the influence of tool wear and special cutting geometry when drilling woven CFRPs. *Composite Structures*, 138, 285-294.

- Fernandes, M., & Cook, C. 2006. Drilling of carbon composites using a one shot drill bit. Part II: empirical modeling of maximum thrust force. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46(1), 76-79.
- Flaum, M., Karlsson, T. 1987. Cutting of fiber-reinforced polymers with CW CO₂ laser. *SPIE-High Power Lasers and Their Industrial Applications*, 801, 142–149.
- Gaitonde, V. N., Karnik, S. R., Rubio, J. C., Correia, A. E., Abrao, A. M., & Davim, J. P. 2008. Analysis of parametric influence on delamination in high-speed drilling of carbon fiber reinforced plastic composites. *Journal of materials processing technology*, 203(1), 431-438.
- Gardiner, G., 2012, Sixth Element: Lamborghini accelerates CFRP, <http://www.compositesworld.com/articles/sixth-element-lamborghini-accelerates-cfrp>. Ziyaret tarihi 20.11.2017.
- Geier, N., & Szalay, T. 2017. Optimisation of process parameters for the orbital and conventional drilling of uni-directional carbon fibre-reinforced polymers (UD-CFRP). *Measurement*, 110, 319-334.
- Government Accountability Office (GAO), 2011. Status of FAA's actions to oversee the safety of composite airplanes. *AVIATION SAFETY*.
- Greimel, H., 2013, Toyota's carbon-fiber foray, <http://www.autonews.com/article/20130107/OEM01/301079971/toyotas-carbon-fiber-foray>. Ziyaret tarihi 20 Kasım 2017.
- Harris, M., Qureshi, M. A. M., Saleem, M. Q., Khan, S. A., & Bhutta, M. M. A. 2017. Carbon fiber-reinforced polymer composite drilling via aluminum chromium nitride-coated tools: Hole quality and tool wear assessment. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 36(19), 1403-1420.
- Heisel, U., & Pfeifroth, T., 2012. Influence of point angle on drill hole quality and machining forces when drilling CFRP. *Procedia CIRP*, 1, 471-476.
- Herzog, D., Jaeschke, P., Meier, O., & Haferkamp, H. 2008. Investigations on the thermal effect caused by laser cutting with respect to static strength of CFRP. *International journal of machine tools and manufacture*, 48(12), 1464-1473.
- Hiçyılmaz, N., 1999. Toz metalurjisi yöntemleri ile elde edilen seramik tanecik destekli alüminyum esaslı kompozit malzemelerin aşınma özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2-4,134.
- Hocheng, H. (Ed.). 2012. *Machining technology for composite materials: principles and practice*. Elsevier.
- Hocheng, H., & Tsao, C. C. 2006. Effects of special drill bits on drilling-induced delamination of composite materials. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46(12), 1403-1416.
- Ibrahim, I. D., Jamiru, T., Sadiku, R. E., Kupolati, W. K., Agwuncha, S. C., & Ekundayo, G. 2015. The use of polypropylene in bamboo fibre composites and their mechanical properties—A review. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 34(16), 1347-1356.
- Isbilir, O., & Ghassemieh, E. 2013. Numerical investigation of the effects of drill geometry on drilling induced delamination of carbon fiber reinforced composites. *Composite Structures*, 105, 126-133.
- Jain, S., & Yang, D. C. 1993. Effects of feedrate and chisel edge on delamination in composites drilling. *Transactions-american society of mechanical engineers journal of engineering for industry*, 115, 398-398.
- Jayabal, S. and Natarajan, U. 2010. Influence of Cutting Parameters on Thrust Force and Torque in drilling of E-Glass/Polyester Composites. *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, Vol. 17, pp. 463-470.

- Jia, Z., Fu, R., Niu, B., Qian, B., Bai, Y., & Wang, F. 2016. Novel drill structure for damage reduction in drilling CFRP composites. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 110, 55-65.
- Karahan, M., Lomov, S. V., Bogdanovich, A. E., & Verpoest, I. 2013. 3-Boyutlu Karbon-Epoksi Kompozit Malzemelerde Yorulma Davranışı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(7).
- Karimi, N. Z., Heidary, H., Fotouhi, M., & Minak, G. 2017. Experimental analysis of GFRP laminates subjected to compression after drilling. *Composite Structures*, 169, 144-152.
- Karnik, S. R., Gaitonde, V. N., Rubio, J. C., Correia, A. E., Abrão, A. M., & Davim, J. P. 2008. Delamination analysis in high speed drilling of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) using artificial neural network model. *Materials & Design*, 29(9), 1768-1776.
- Karpat, Y., Değer, B., & Bahtiyar, O. 2012. Drilling thick fabric woven CFRP laminates with double point angle drills. *Journal of materials processing technology*, 212(10), 2117-2127.
- Kavad, B. V., Pandey, A. B., Tadavi, M. V., & Jakharia, H. C. 2014. A review paper on effects of drilling on glass fiber reinforced plastic. *Procedia Technology*, 14, 457-464.
- Khashaba, U. A. 2004. Delamination in drilling GFR-thermoset composites. *Composite Structures*, 63(3), 313-327.
- Khashaba, U. A., El-Sonbaty, I. A., Selmy, A. I., & Megahed, A. A. 2010. Machinability analysis in drilling woven GFR/epoxy composites: Part I–Effect of machining parameters. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41(3), 391-400.
- Khashaba, U. A., El-Sonbaty, I. A., Selmy, A. I., & Megahed, A. A. 2010. Machinability analysis in drilling woven GFR/epoxy composites: Part II–Effect of drill wear. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41(9), 1130-1137.
- Kıvık T. 2007. Inconel 718'in delinebilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kishore, R. A., Tiwari, R., Dvivedi, A., & Singh, I. 2009. Taguchi analysis of the residual tensile strength after drilling in glass fiber reinforced epoxy composites. *Materials & design*, 30(6), 2186-2190.
- Kilickap, E. 2010. Optimization of cutting parameters on delamination based on Taguchi method during drilling of GFRP composite. *Expert Systems with Applications*, 37(8), 6116-6122.
- Kilickap, E., Yenigun, B., & Celik, Y. H. 2017. The effect of drilling parameters on strength of glass fibre-epoxy laminates by produced hand lay-up. *Engineering Sciences*, 12(4), 244-252.
- Kistler Type 9257B, 1997. Three Component Dynamometer Operating Instructions, Kistler,
- Klotz, S., Gerstenmeyer, M., Zanger, F., & Schulze, V. 2014. Influence of clamping systems during drilling carbon fiber reinforced plastics. *Procedia CIRP*, 13, 208-213.
- Koç, E., 2013. Makine Elemanları Cilt I, Adana Nobel Kitabevi, Adana, 27.
- Krishnamoorthy, A., Boopathy, S. R., Palanikumar, K., 2009. Delamination Analysis in Drilling of CFRP Composites Using Response Surface Methodology, *Journal of Composite Materials*, 43;(24), 2885-1902,
- Krishnaraj, V., Prabukarthi, A., Ramanathan, A., Elanghovan, N., Kumar, M. S., Zitoune, R., & Davim, J. P. 2012. Optimization of machining parameters at high speed drilling of carbon fiber reinforced plastic (CFRP) laminates. *Composites Part B: Engineering*, 43(4), 1791-1799.
- Krishnaraj, V., Zitoune, R., & Davim, J. P. 2013. Drilling of polymer-matrix composites. Heidelberg: Springer.
- Langella, A., & Durante, M. 2008. Comparison of tensile strength of composite material elements with drilled and molded-in holes. *Applied Composite Materials*, 15(4-6), 227-239. Doi:10.1007/s10443-008-9069-z
- Lin, H. J., & Tang, C. S. 1994. Fatigue strength of woven fabric composites with drilled and moulded-in holes. *Composites science and technology*, 52(4), 571-576.

- Linbo, Z., Lijiang, W., & Xin, W. 2003. Study on vibration drilling of fiber reinforced plastics with hybrid variation parameters method. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 34(3), 237-244.
- Linganiso, L. Z., & Anandjiwala, R. D. 2016. 4-Fibre-reinforced laminates in aerospace engineering. *Advanced Composite Materials for Aerospace Engineering: Processing, Properties and Applications*, 101.
- Liu, D., Tang, Y., & Cong, W. L. 2012. A review of mechanical drilling for composite laminates. *Composite Structures*, 94(4), 1265-1279. Doi: 10.1016/j.compstruct.2011.11.024
- Liu, D., Xu, H. H., Zhang, C. Y., & Yan, H. J. 2010. Drilling force in high speed drilling carbon fibre reinforced plastics (CFRP) using half core drill. In *Advanced Materials Research* (Vol. 102, pp. 729-732). Trans Tech Publications.
- Makhdum, F., Jennings, L. T., Roy, A., & Silberschmidt, V. V. (2012). Cutting forces in ultrasonically assisted drilling of carbon fibre-reinforced plastics. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 382, No. 1, p. 012019). IOP Publishing.
- Makhdum, F., Norddin, D. N. P., Roy, A., & Silberschmidt, V. V. 2012. Ultrasonically assisted drilling of carbon fibre reinforced plastics. In *Solid State Phenomena* (Vol. 188, pp. 170-175). Trans Tech Publications.
- Makhdum, F., Phadnis, V. A., Roy, A., & Silberschmidt, V. V. (2014). Effect of ultrasonically-assisted drilling on carbon-fibre-reinforced plastics. *Journal of Sound and Vibration*, 333(23), 5939-5952.
- Malkoç, A, 2007. <http://www.alimalkoc.com/index.php/archives/23>. Ziyaret tarihi 20 Kasım 2017.
- Milton, C., & Shaw, M. C. 1984. *Metal cutting principles*. Clarendon Press, Oxford
- Miracle, D. B. 2005. Metal matrix composites—from science to technological significance. *Composites science and technology*, 65(15), 2526-2540.
- Mishra, R., Malik, J., Singh, I., & Davim, J. P. 2010. Neural network approach for estimating the residual tensile strength after drilling in uni-directional glass fiber reinforced plastic laminates. *Materials & Design*, 31(6), 2790-2795. Doi: 10.1016/j.matdes.2010.01.011
- Montesano, J., Bougherara, H., & Fawaz, Z. 2017. Influence of drilling and abrasive water jet induced damage on the performance of carbon fabric/epoxy plates with holes. *Composite Structures*, 163, 257-266.
- Murphy, C., Byrne, G., & Gilchrist, M. D. 2002. The performance of coated tungsten carbide drills when machining carbon fibre-reinforced epoxy composite materials. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 216(2), 143-152.
- Nasir, A. A., Azmi, A. I., & Khalil, A. N. M. 2015. Measurement and optimisation of residual tensile strength and delamination damage of drilled flax fibre reinforced composites. *Measurement*, 75, 298-307. Doi: 10.1016/j.measurement.2015.07.046
- Nunes, J.P., and Silva, J.F. 2016. Sandwiched composites in aerospace engineering. *Advanced Materials for Aerospace Engineering: Processing, Properties and Applications*, 129.
- Ogawa, K., Aoyama, E., Inoue, H., Hirogaki, T., Nobe, H., Kitahara, Y., & Gunjima, M. 1997. Investigation on cutting mechanism in small diameter drilling for GFRP (thrust force and surface roughness at drilled hole wall). *Composite structures*, 38(1-4), 343-350.
- Palanikumar, K., Karunamoorthy, L., & Karthikeyan, R. 2006. Assessment of factors influencing surface roughness on the machining of glass fiber-reinforced polymer composites. *Materials & design*, 27(10), 862-871.
- Palanikumar, K., Prakash, S., & Shanmugam, K. 2008. Evaluation of delamination in drilling GFRP composites. *Materials and Manufacturing Processes*, 23(8), 858-864.
- Palanikumar, K. 2011. Experimental investigation and optimisation in drilling of GFRP composites. *Measurement*, 44(10), 2138-2148.

- Panchagnula, K. K., & Palaniyandi, K. 2017. Drilling on fiber reinforced polymer/nanopolymer composite laminates: a review. *Journal of Materials Research and Technology*.
- Pandit, G. D., & Prasad, K., 2017. Experimental Study of Residual Tensile Strength of Drilled Composite. *International Journal of Materials Science and Engineering*. Vol.5-1 pp:35- 46 doi: 10.17706/ijmse.2017.5.1.35-46
- Paoletti, A. 2003. The influence of drilling parameters and hole damage on GFRP composites fatigue strength. *WIT Transactions on Engineering Sciences*, 40.
- Park, K. Y., Choi, J. H., & Lee, D. G. 1995. Delamination-free and high efficiency drilling of carbon fiber reinforced plastics. *Journal of composite materials*, 29(15), 1988-2002.
- Persson, E., Eriksson, I., & Zackrisson, L. 1997. Effects of hole machining defects on strength and fatigue life of composite laminates. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 28(2), 141-151.
- Phadnis, V. A., Makhadmeh, F., Roy, A., & Silberschmidt, V. V. 2012. Experimental and numerical investigations in conventional and ultrasonically assisted drilling of CFRP laminate. *Procedia Cirp*, 1, 455-459.
- Phadnis, V. A., Roy, A., & Silberschmidt, V. V. (2013). A finite element model of ultrasonically assisted drilling in carbon/epoxy composites. *Procedia Cirp*, 8, 141-146.
- Priarone, P. C., Robiglio, M., Melentiev, R., & Settineri, L. 2017. Diamond drilling of Carbon Fiber Reinforced Polymers: Influence of tool grit size and process parameters on workpiece delamination. *Procedia CIRP*, 66, 181-186.
- Rajamurugan, T. V., Shanmugam, K., Rajakumar, S., & Palanikumar, K. 2012. Modelling and analysis of thrust force in drilling of GFRP composites using response surface methodology (RSM). *Procedia Engineering*, 38, 3757-3768.
- Ramulu, M., & Arola, D. 1993. Water jet and abrasive water jet cutting of unidirectional graphite/epoxy composite. *Composites*, 24(4), 299-308.
- Rana, S., & Figueiro, R. (Eds.). 2016. *Advanced composite materials for aerospace engineering: Processing, properties and applications*. Woodhead Publishing.
- Rawat, S., & Attia, H. 2009. Characterization of the dry high speed drilling process of woven composites using Machinability Maps approach. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 58(1), 105-108.
- Rawat, S., & Attia, H. 2009. Wear mechanisms and tool life management of WC-Co drills during dry high speed drilling of woven carbon fibre composites. *Wear*, 267(5), 1022-1030.
- Red, C., 2015. Composites in commercial aircraft engines, 2014-2023. <http://www.compositesworld.com/articles/composites-in-commercial-aircraft-engines-2014-2023>. Ziyaret tarihi 20.10. Eylül 2017.
- Rubio, J. C., Abrao, A. M., Faria, P. E., Correia, A. E., & Davim, J. P. 2008. Effects of high speed in the drilling of glass fibre reinforced plastic: evaluation of the delamination factor. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 48(6), 715-720.
- Ruh, R., Palazotto, A. N., & Watt, G. 1988. Introduction to Ceramic Matrix Composites in Aerospace Applications. *Journal of Aerospace Engineering*, 1(2), 65-73.
- Sadek, A., Meshreki, M., & Attia, M. H. 2012. Characterization and optimization of orbital drilling of woven carbon fiber reinforced epoxy laminates. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 61(1), 123-126.
- Saleem, M. 2010. Analytical and experimental investigation of the effects of the machining processes on the mechanical behaviour of carbon epoxy composite laminates. PhD. Thesis. Ryerson University. Toronto.
- Santhanakrishnan, G. 1990. Investigations on machining of FRP composites and their tribological behaviour PhD thesis, IIT Madras, Chennai, India.

- Sardinas, R. Q., Reis, P., & Davim, J. P. 2006. Multi-objective optimization of cutting parameters for drilling laminate composite materials by using genetic algorithms. *Composites Science and Technology*, 66(15), 3083-3088.
- Schaff, J.R., 2001. Fatigue and life prediction, *ASM Handbook Volume 21, Composites*,
- Sedlacek, J., & Slany, M. 2010. Analysis of delamination in drilling of composite materials. *MM Science journal*, 2010(02), 194-197.
- Shah, D. U., Schubel, P. J., & Clifford, M. J. 2013. Can flax replace E-glass in structural composites? A small wind turbine blade case study. *Composites Part B: Engineering*, 52, 172-181.
- Sheehan, J. E. 1987. *Engineered Materials Handbook, Vol. 21: Composites*. ASM International, Metals Park, OH, 920
- Sheikh-Ahmad, J. Y. 2009. *Machining of polymer composites*, New York: Springer. DOI: 10.1007/978-0-387-68619-6
- Shetty, N., Herbert, M. A., Shetty, R., Shetty, D. S., & Vijay, G. S. 2016. Soft computing techniques during drilling of bi-directional carbon fiber reinforced composite. *Applied Soft Computing*, 41, 466-478.
- Singh, I., Bhatnagar, N., & Viswanath, P. 2008. Drilling of uni-directional glass fiber reinforced plastics: experimental and finite element study. *Materials & Design*, 29(2), 546-553.
- Sriraman, P., Prasanna, G., Pradeep, S., Praveen, R.D. 2015. A Review on Experimental Optimisation in Drilling of CFRP composite. *Internatinal Journal for Trends in Engineering & Technology Vol:10-3*
- Şahin, Y. 2015. *Kompozit malzemelere giriş*. Seçkin Yayınevi. Ankara
- Tao, C., Qiu, J., Yao, W., & Ji, H. 2016. The effect of drilling-induced delamination on tensile strength and prediction of residual strength of carbon fiber-reinforced polymer laminate. *Journal of Composite Materials*, 50(24), 3373-3384.
- Testo Ltd. Şti. Testo 881-2 Termal görüntüleme cihazı teknik veriler kataloğu.
- Topkaya, T., 2017. *Bal Peteği Sandviç Kompozitlerin Darbe Ön Hasarı Sonrası Yorulma Davranışlarının Araştırılması*. Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi.
- Tosun, N., Kuru, C., Altıntaş, E., & Erdin, O.E. 2010. Hava ve Geleneksel Soğutma Yöntemi ile Frezelemede Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(1).
- Trent, E. 2000. m. and Wright, PK, "Metal cutting fourth edition".
- Tsao, C. C., & Hocheng, H. 2005. Computerized tomography and C-Scan for measuring delamination in the drilling of composite materials using various drills. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45(11), 1282-1287.
- Tsao, C. C., & Hocheng, H. 2007. Parametric study on thrust force of core drill. *Journal of Materials Processing Technology*, 192, 37-40.
- Tsao, C. C., & Hocheng, H. 2008. Evaluation of thrust force and surface roughness in drilling composite material using Taguchi analysis and neural network. *Journal of materials processing technology*, 203(1), 342-348.
- Tsao, C. C., Hocheng, H., & Chen, Y. C. 2012. Delamination reduction in drilling composite materials by active backup force. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 61(1), 91-94.
- Turki, Y., Habak, M., Velasco, R., Aboura, Z., Khellil, K., & Vantomme, P. 2014. Experimental investigation of drilling damage and stitching effects on the mechanical behavior of carbon/epoxy composites. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 87, 61-72.
- Uysal, A. 2009. Investigation of the effects of cutting parameters on surface roughness in drilling of polymer composite materials. *Int. J. Arts Sci*, 3, 27-32.
- Velayudham, A., Krishnamurthy, R., & Soundarapandian, T. 2005. Evaluation of drilling characteristics of high volume fraction fibre glass reinforced polymeric composite. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45(4), 399-406.

- Xu, J., An, Q., & Chen, M. 2014. A comparative evaluation of polycrystalline diamond drills in drilling high-strength T800S/250F CFRP. *Composite Structures*, 117, 71-82.
- Xu, X. X., Mo, Y. L., Liu, C. S., & Zhao, B. 2009. Drilling force of SiC particle reinforced aluminum-matrix composites with ultrasonic vibration. In *Key Engineering Materials* (Vol. 416, pp. 243-247). Trans Tech Publications.
- Yardimeden, A., Kilickap, E., & 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.
- Zackrisson, L., Eriksson, I., & Bäcklund, J. 1994. Method and tool for machining a hole in a fiber-reinforced composite material. Swedish Patent, (500933).
- Zitoune, R., Krishnaraj, V., Almabouacif, B. S., Collombet, F., Sima, M., & Jolin, A. 2012. Influence of machining parameters and new nano-coated tool on drilling performance of CFRP/Aluminium sandwich. *Composites Part B: Engineering*, 43(3), 1480-1488.

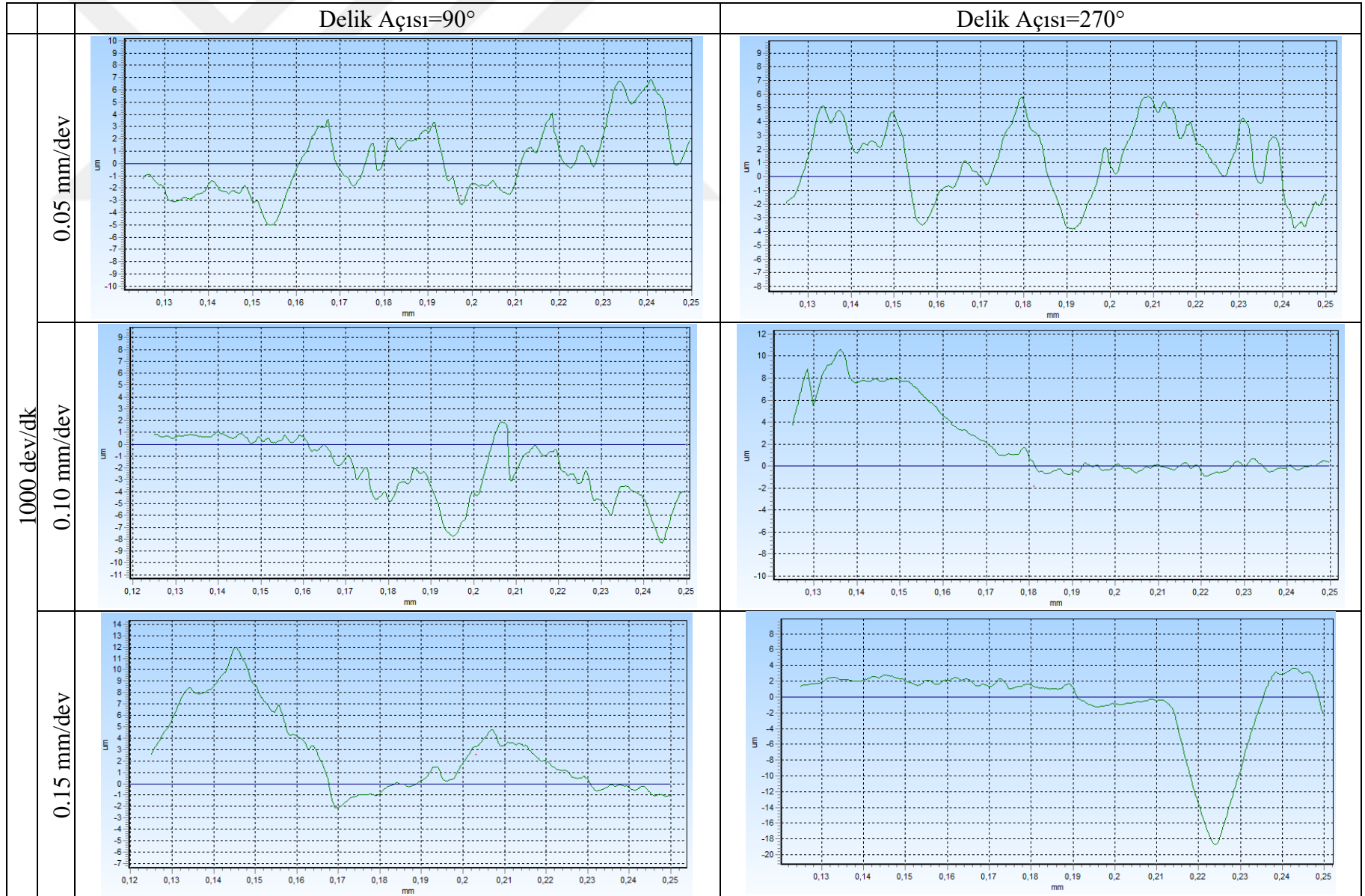


EKLER**EK-1. DENEYSEL SONUÇLAR****Tablo Ek-1.1. Kompozit Malzemelerin Delme Deneylerinde Elde Edilen Tüm Sonuçlar**

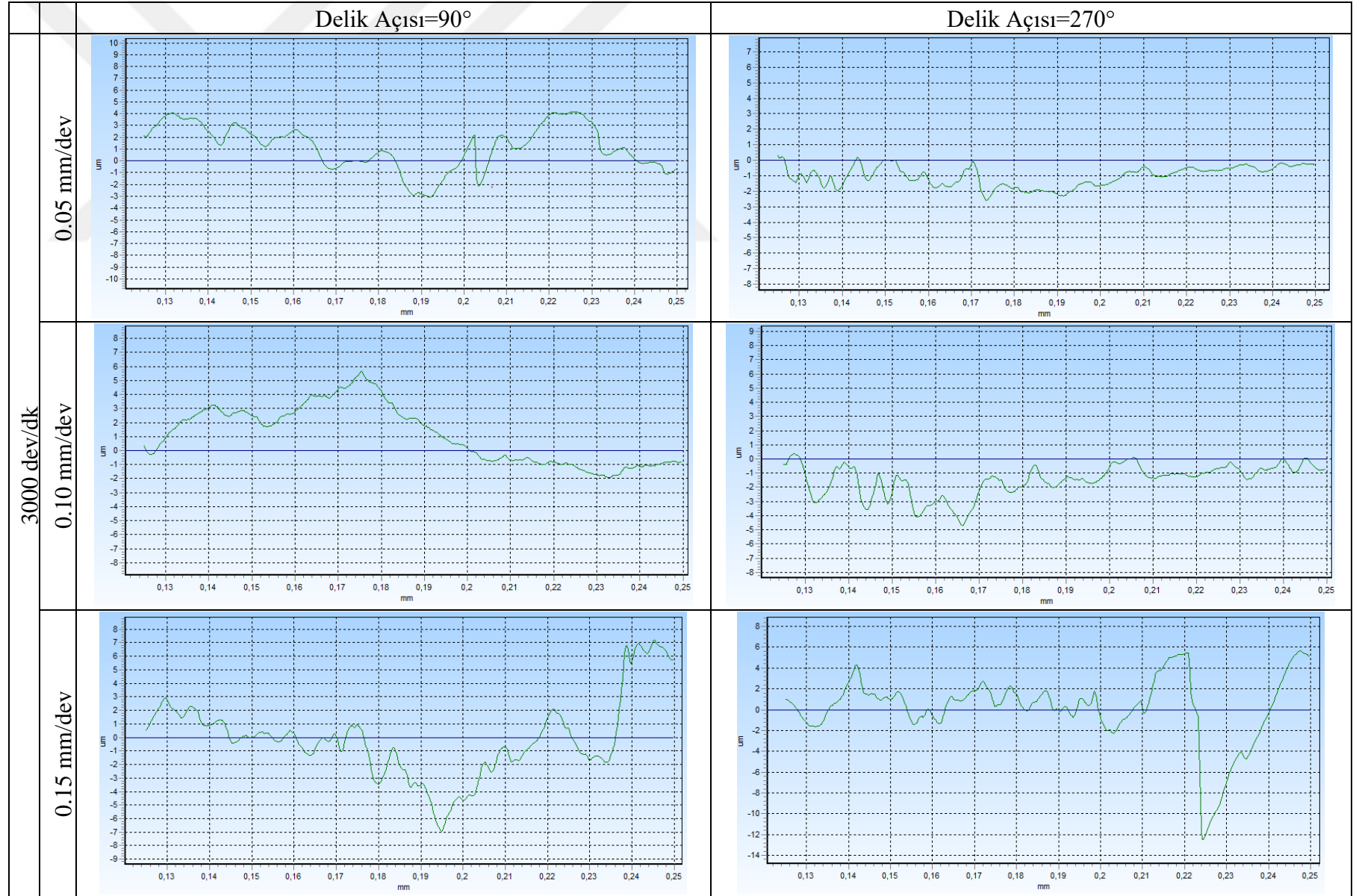
45/-45													
		KESME KUVVETİ (N)			YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ (µm)			DEFORMASYON FAKTÖRÜ			ÇEKME KUVVETİ (kN)		
İlerleme Oranı mm/dev		Devir (mm/dev)											
		1000	3000	5000	1000	3000	5000	1000	3000	5000	1000	3000	5000
T1	0.05	71.50	65.62	57.40	2.42	1.66	1.15	1.24	1.20	1.16	12.32	12.58	14.02
	0.10	90.87	84.12	73.47	2.74	1.98	1.38	1.29	1.26	1.19	11.45	12.35	13.53
	0.15	101.2	97.90	82.60	3.09	2.27	1.64	1.32	1.29	1.26	11.08	12.21	12.87
T2	0.05	574.4	419.9	321.0	3.02	2.54	2.02	1.33	1.29	1.27	11.58	12.39	13.84
	0.10	775.2	742.1	541.2	3.88	3.08	2.47	1.38	1.35	1.31	11.06	12.02	13.31
	0.15	941.8	901.4	804.7	4.29	3.52	2.95	1.42	1.40	1.34	10.88	11.68	12.74
T3	0.05	659.1	619.1	547.0	4.16	3.92	3.19	1.38	1.34	1.32	11.18	12.28	12.84
	0.10	878.6	834.6	682.4	4.88	4.19	3.47	1.41	1.39	1.36	10.70	11.37	12.18
	0.15	1141	1109	963.2	5.56	4.54	3.86	1.45	1.44	1.40	10.40	10.72	11.70
0/90													
		KESME KUVVETİ (N)			YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ (µm)			DEFORMASYON FAKTÖRÜ			ÇEKME KUVVETİ (kN)		
İlerleme Oranı mm/dev		Devir (mm/dev)											
		1000	3000	5000	1000	3000	5000	1000	3000	5000	1000	3000	5000
T1	0.05	77.00	68.40	59.07	2.65	1.71	1.27	1.27	1.24	1.22	98.70	100.30	101.40
	0.10	93.62	87.40	74.01	2.96	2.04	1.44	1.31	1.28	1.26	96.40	97.50	99.10
	0.15	108	101.1	86.74	3.22	2.42	1.79	1.33	1.31	1.29	93.70	95.30	96.20
T2	0.05	501.7	406.6	271.0	3.14	2.79	2.24	1.34	1.31	1.29	92.60	97.00	99.40
	0.10	735.2	682.1	512.2	4.09	3.24	2.60	1.39	1.36	1.33	89.60	92.00	96.10
	0.15	937	891.	787.7	4.69	3.62	3.00	1.44	1.40	1.36	87.50	89.50	93.30
T3	0.05	633.1	593.0	511.0	4.27	4.01	3.41	1.43	1.40	1.36	88.10	93.20	97.10
	0.10	846.0	823.0	649.0	4.88	4.34	3.74	1.45	1.43	1.40	84.70	89.60	92.40
	0.15	1049	1003	953.4	5.67	4.63	3.96	1.49	1.47	1.45	82.00	82.50	89.30
UD													
		KESME KUVVETİ (N)			YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ (µm)			DEFORMASYON FAKTÖRÜ			ÇEKME KUVVETİ (kN)		
İlerleme Oranı mm/dev		Devir (mm/dev)											
		1000	3000	5000	1000	3000	5000	1000	3000	5000	1000	3000	5000
T1	0.05	89.67	80.24	62.75	2.75	1.92	1.47	1.20	1.18	1.15	93.00	97.20	99.00
	0.10	119.0	116.6	97.85	3.13	2.13	1.60	1.27	1.25	1.18	89.80	91.90	97.40
	0.15	132.6	128.6	121.0	3.39	2.52	1.94	1.31	1.28	1.24	87.00	88.10	93.70
T2	0.05	583.4	520.8	434.5	3.65	3.15	2.38	1.31	1.27	1.25	90.80	94.54	98.50
	0.10	796	761.5	614.0	4.19	3.51	2.66	1.38	1.33	1.30	87.40	90.20	95.10
	0.15	955.6	914.5	839.0	5.12	3.73	3.25	1.41	1.38	1.32	84.00	85.30	91.60
T3	0.05	600.0	568.6	497.7	4.07	3.80	2.91	1.36	1.33	1.31	86.10	89.10	95.70
	0.10	815.0	801.0	644.0	4.71	4.07	3.24	1.40	1.38	1.35	83.70	84.30	91.00
	0.15	977.5	927.1	890.0	5.35	4.35	3.55	1.43	1.42	1.38	80.00	81.10	84.21

EK-2. +45/-45 Elyaf Açılı KETP'ler için Yüzey Pürüzlülüğü Grafikleri

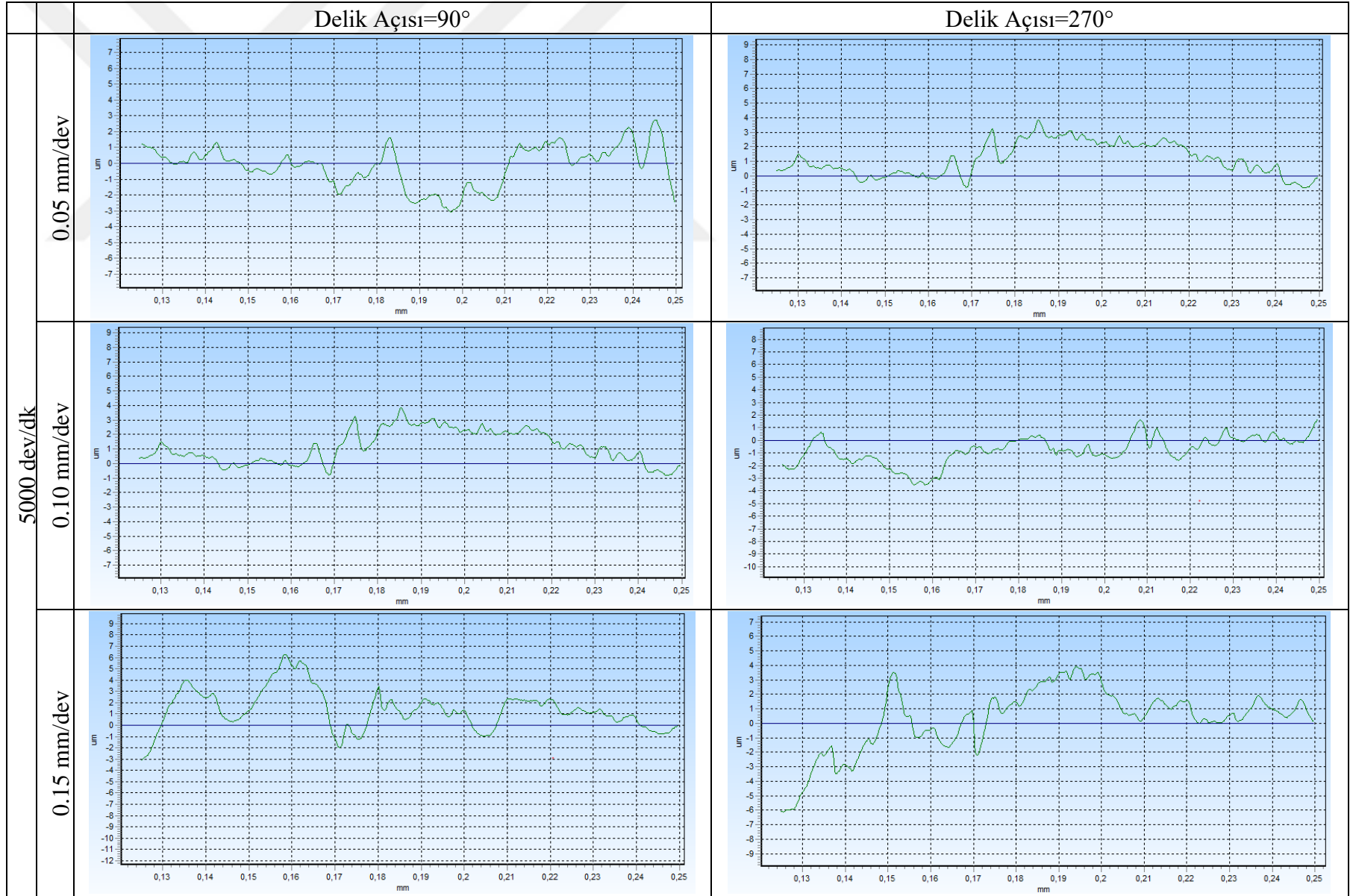
Tablo Ek-2.1. T1 takımı ile delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri



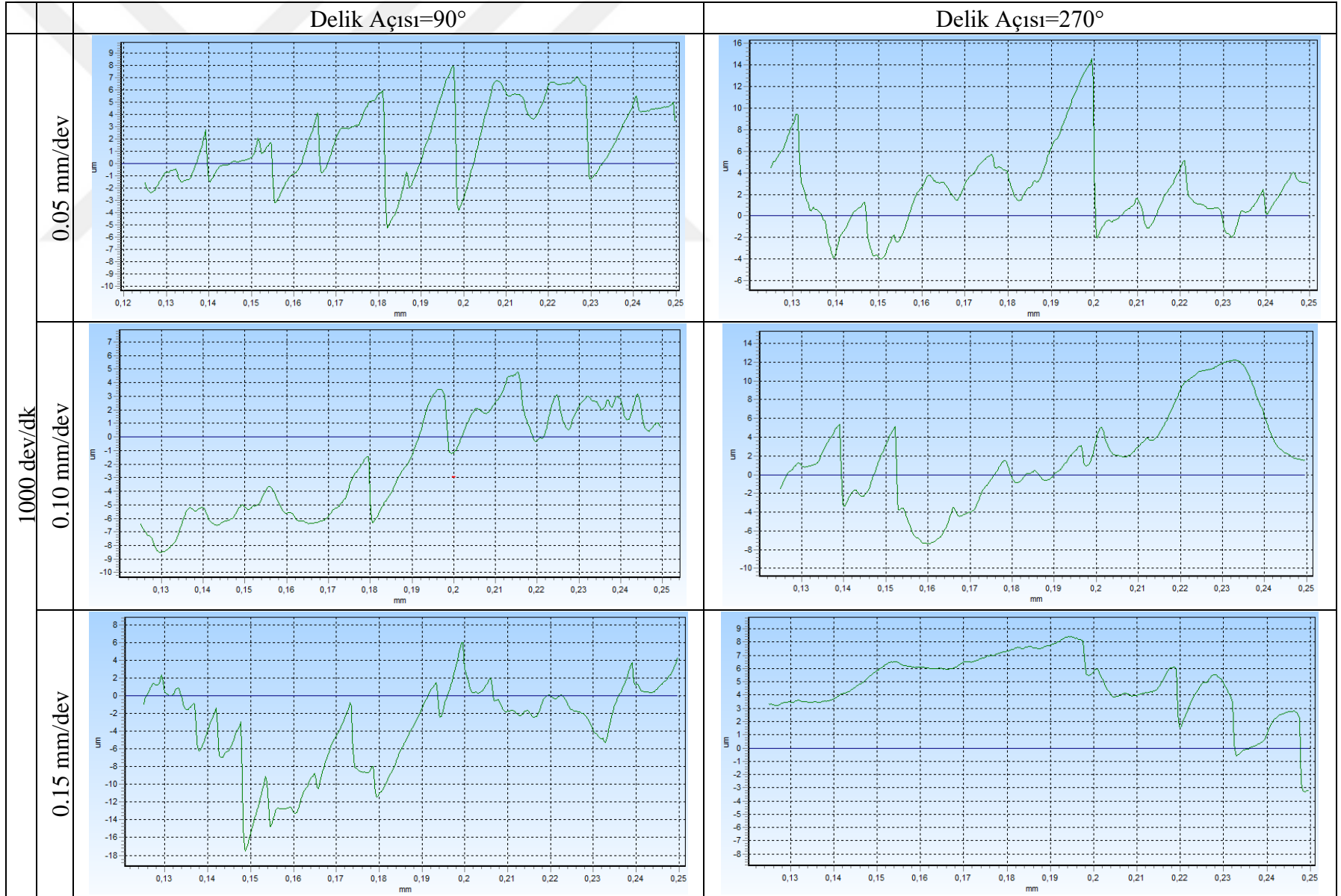
Tablo Ek-2.1. T1 takımı ile delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri (devamı)



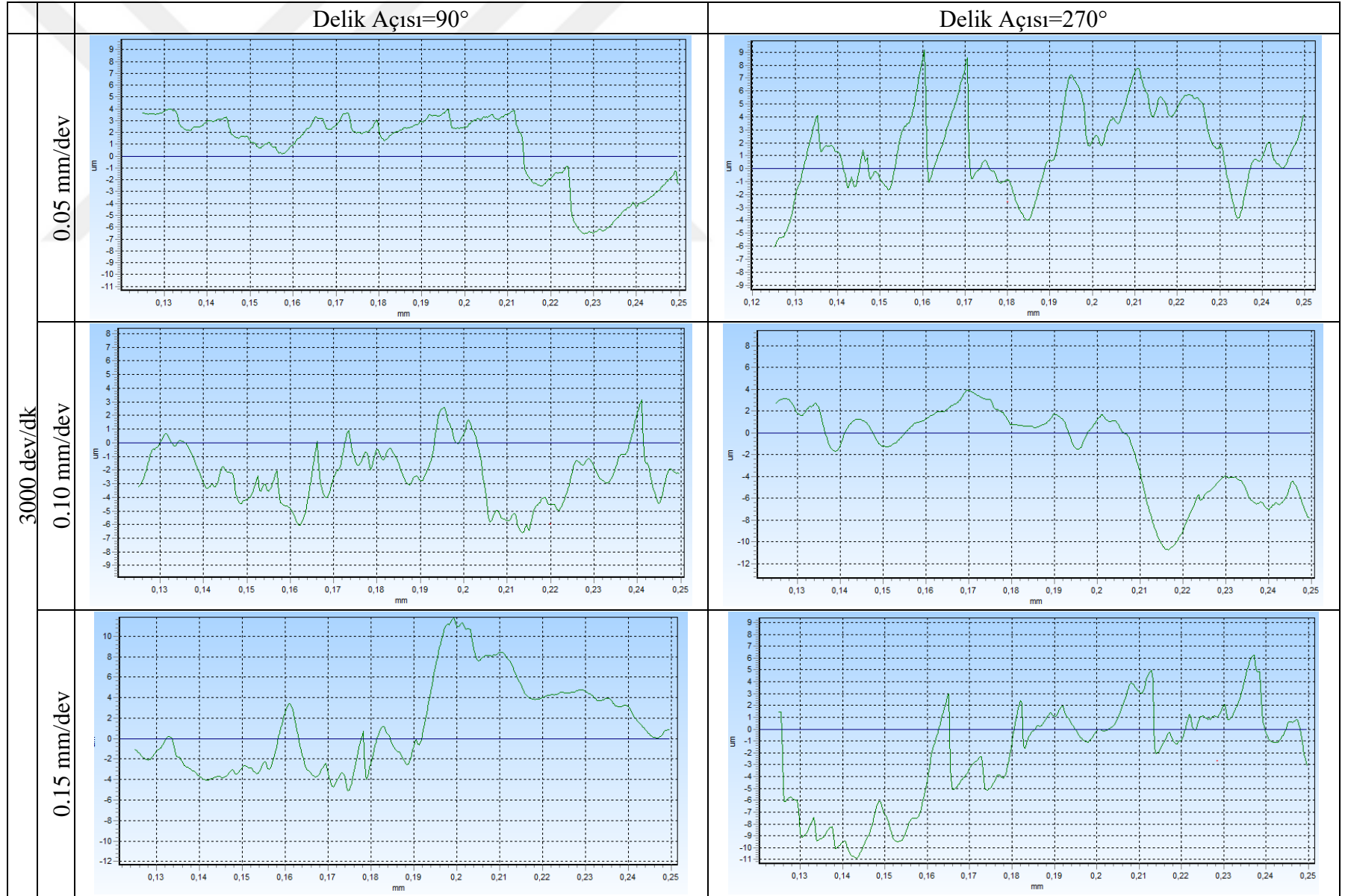
Tablo Ek-2.1. T1 takımı ile delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri (devamı)



Tablo Ek-2.2. T2 takımı ile delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri



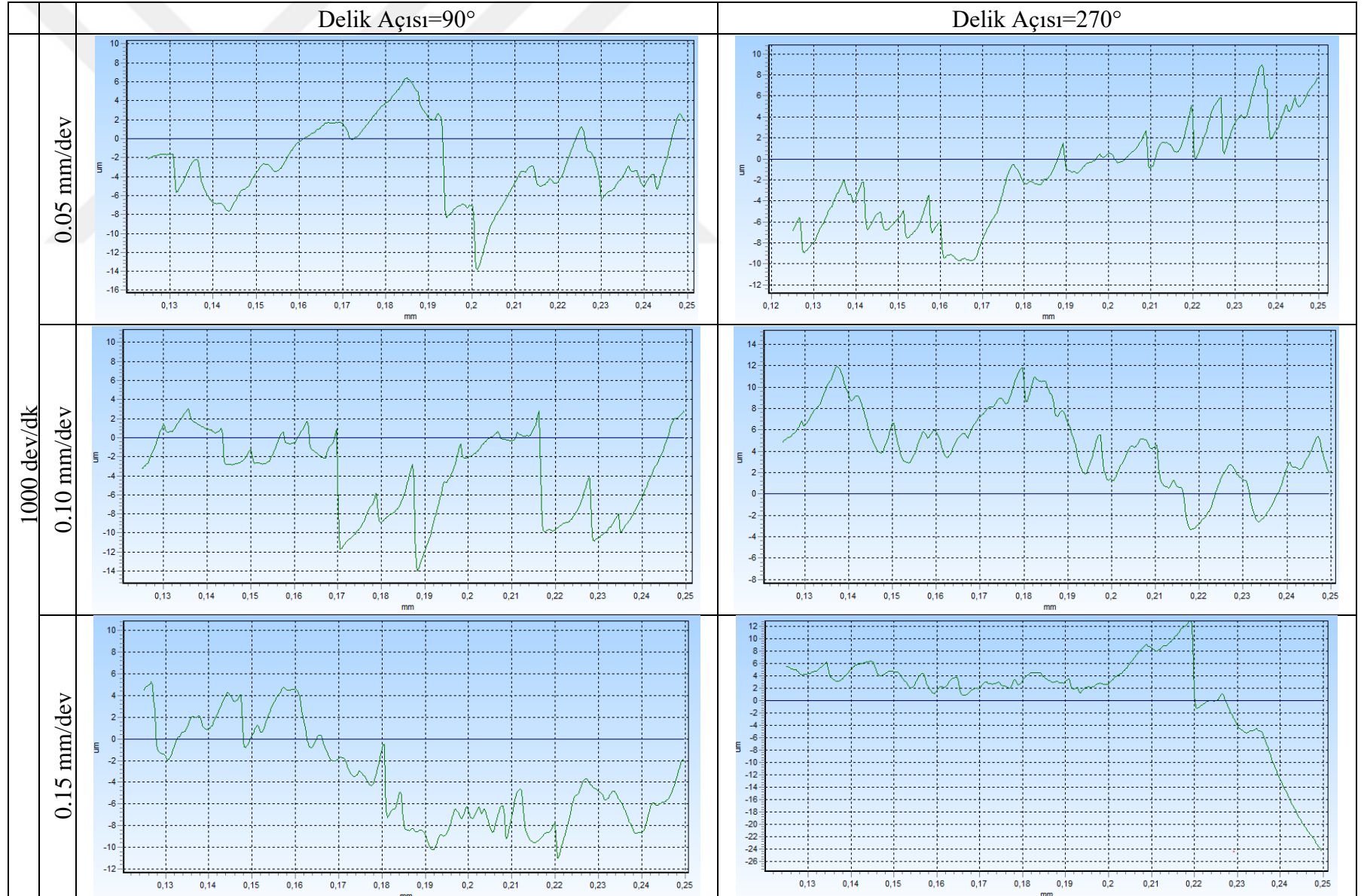
Tablo Ek-2.2. T2 takımı ile delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri (devamı)



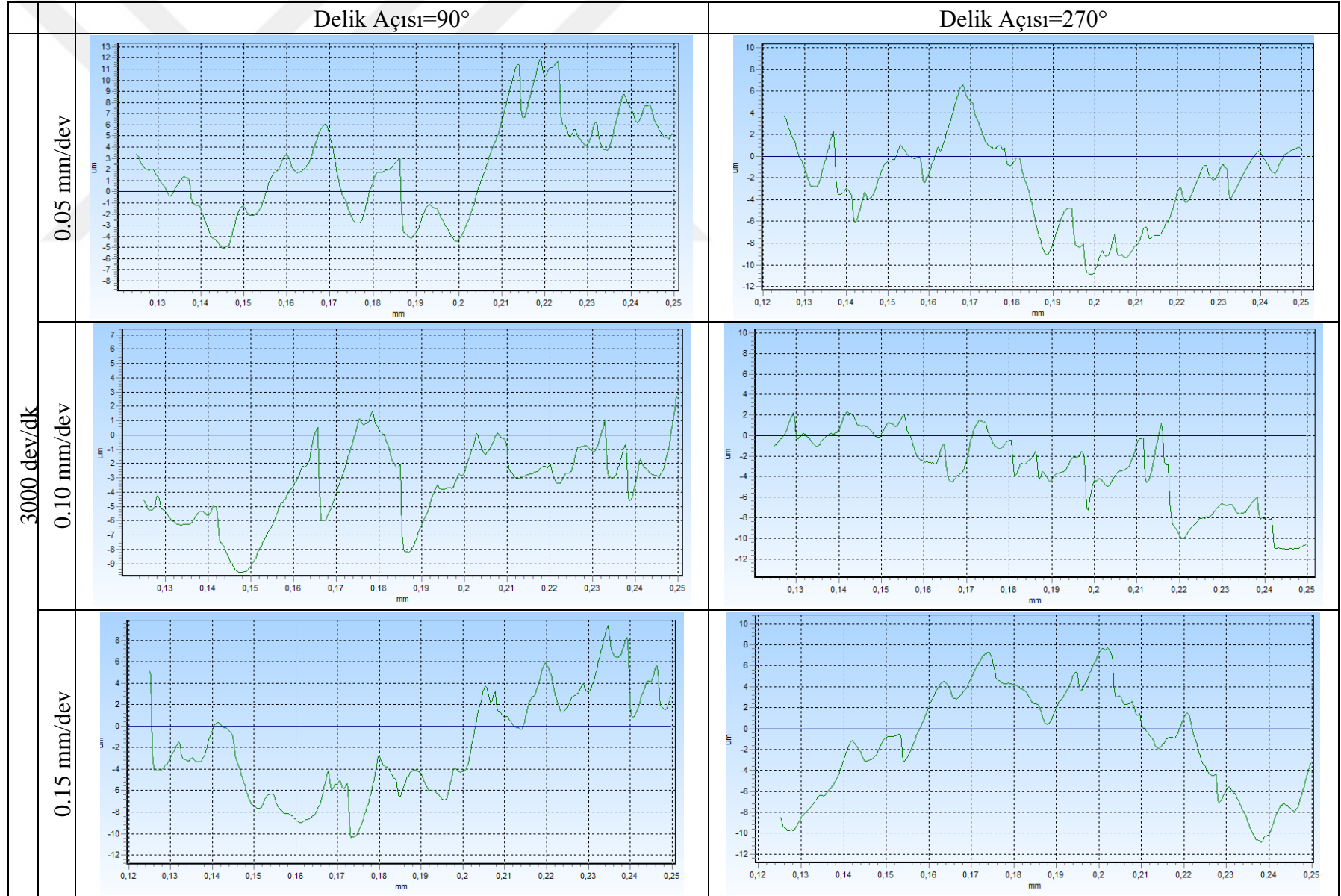
Tablo Ek-2.2. T2 takımı ile delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri (devamı)



Tablo Ek-2.3. T3 takımı ile delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri



Tablo Ek-2.3. T3 takımı ile delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri (devamı)

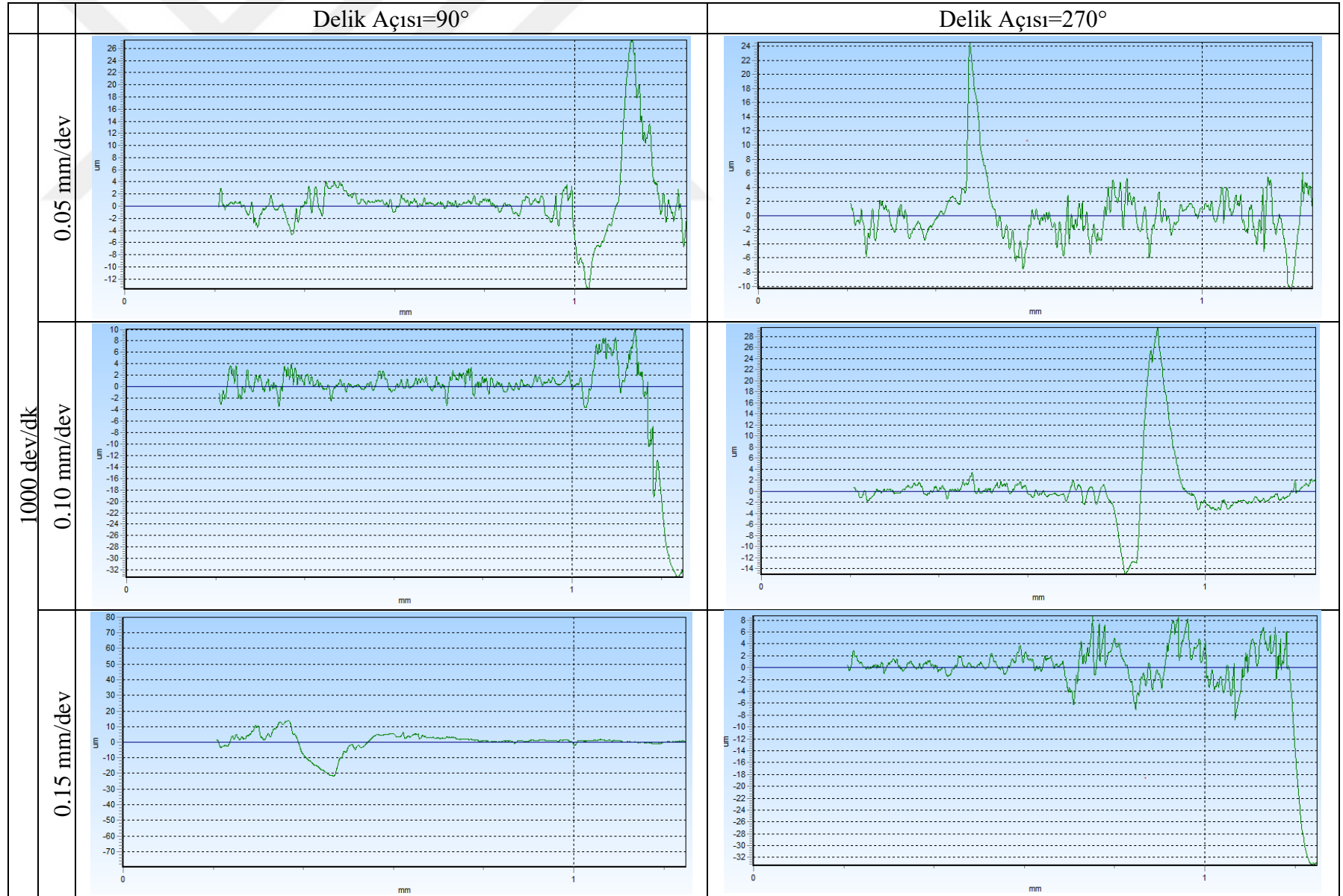


Tablo Ek-2.3. T3 takımı ile delinen +45/-45 elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri (devamı)

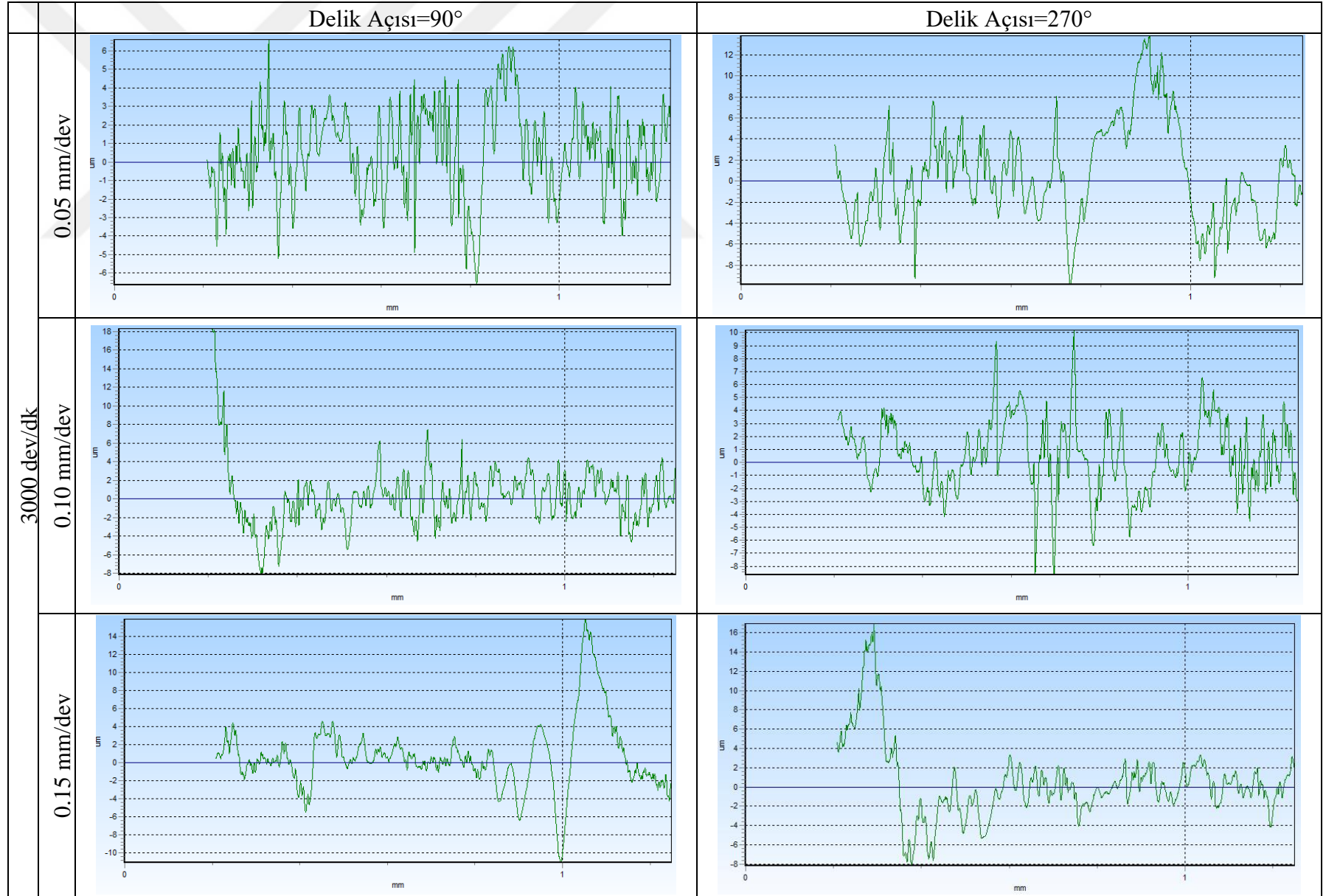


EK-3. UD Elyaf Açılı KETP'ler için Yüzey Pürüzlülüğü Grafikleri

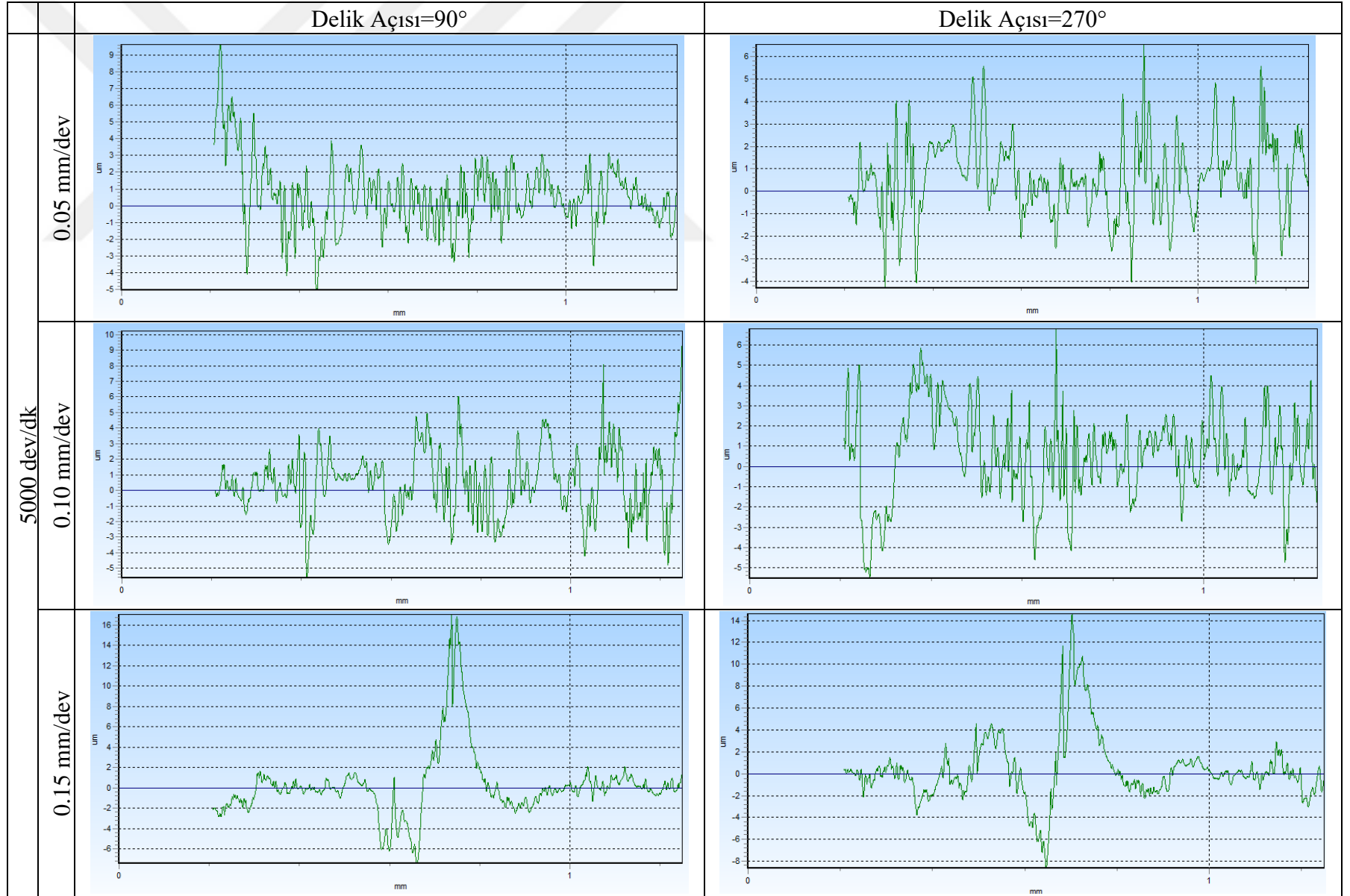
Tablo Ek-3.1. T1 takımı ile delinen UD elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri



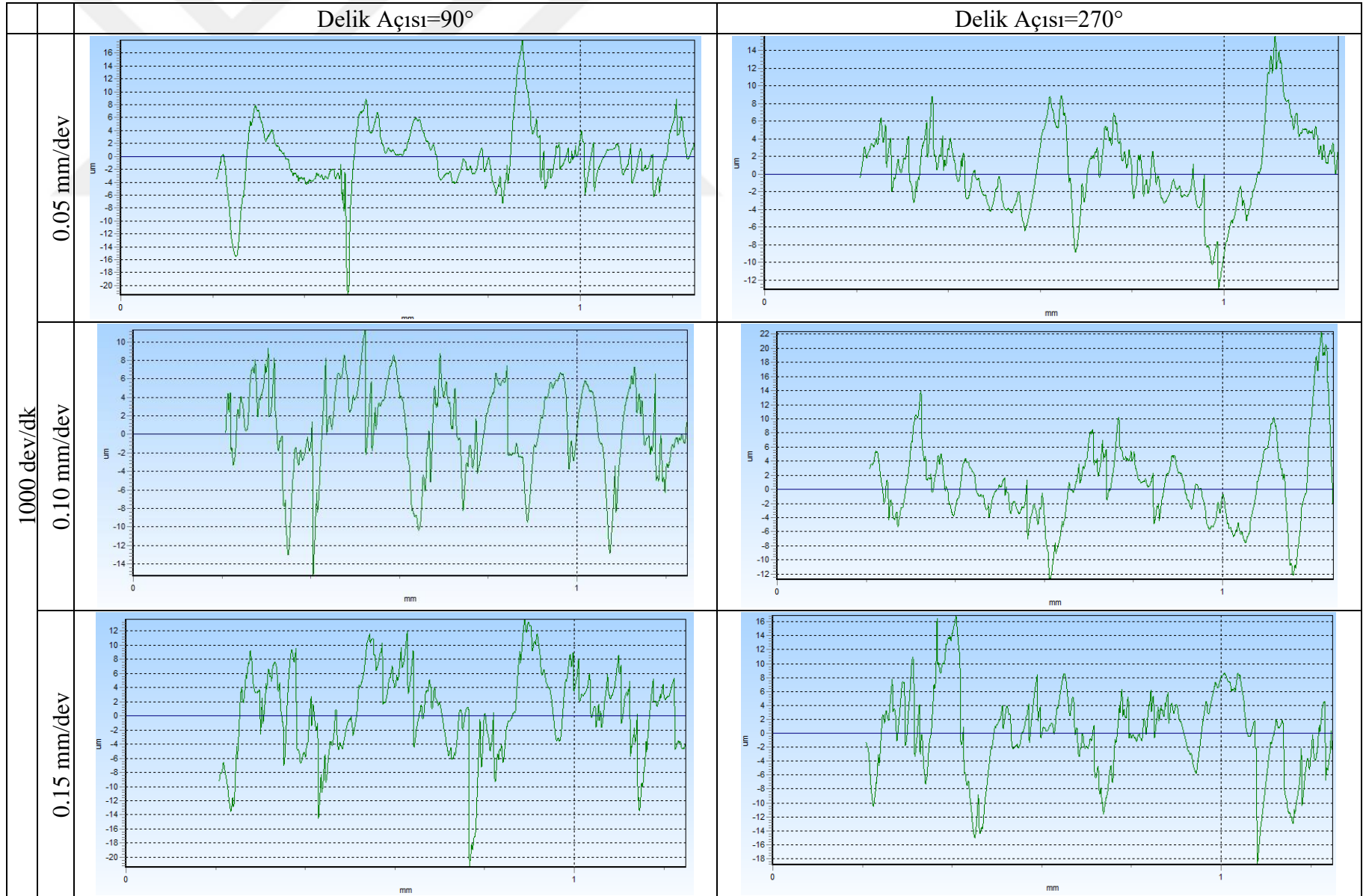
Tablo Ek-3.1. T1 takımı ile delinen UD elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri (devamı)



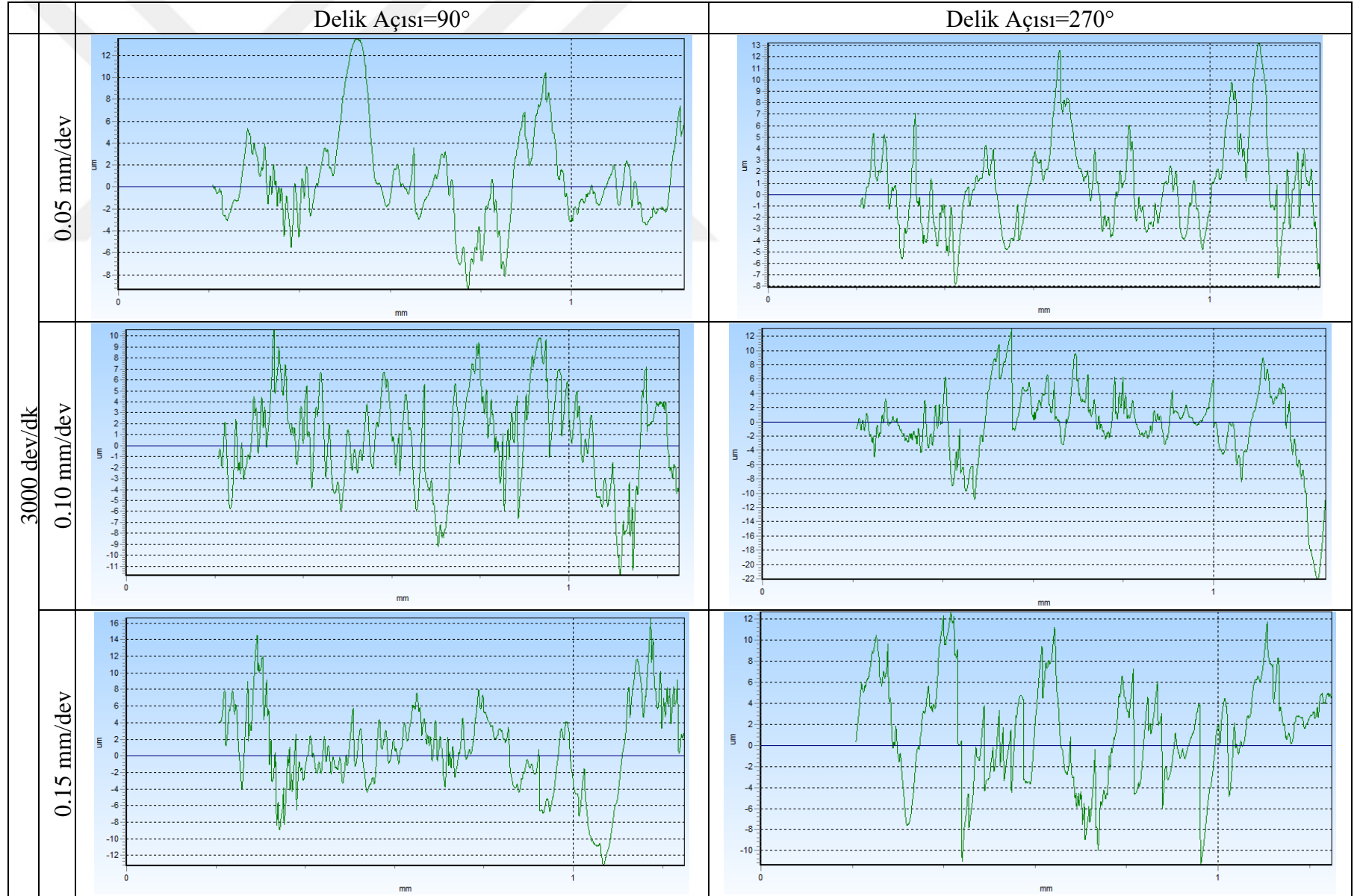
Tablo Ek-3.1. T1 takımı ile delinen UD elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri (devamı)



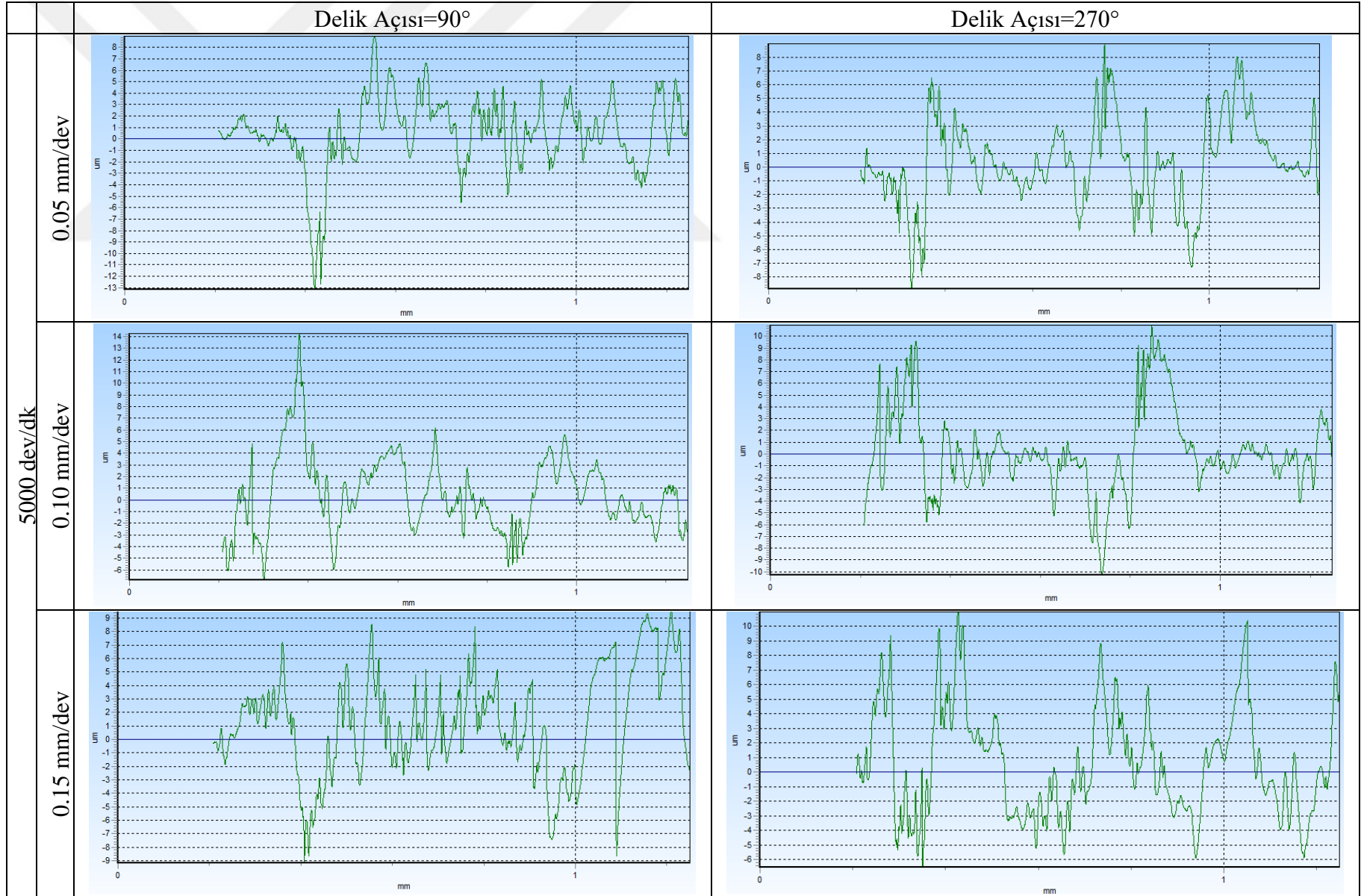
Tablo Ek-3.2. T2 takımı ile delinen UD elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri



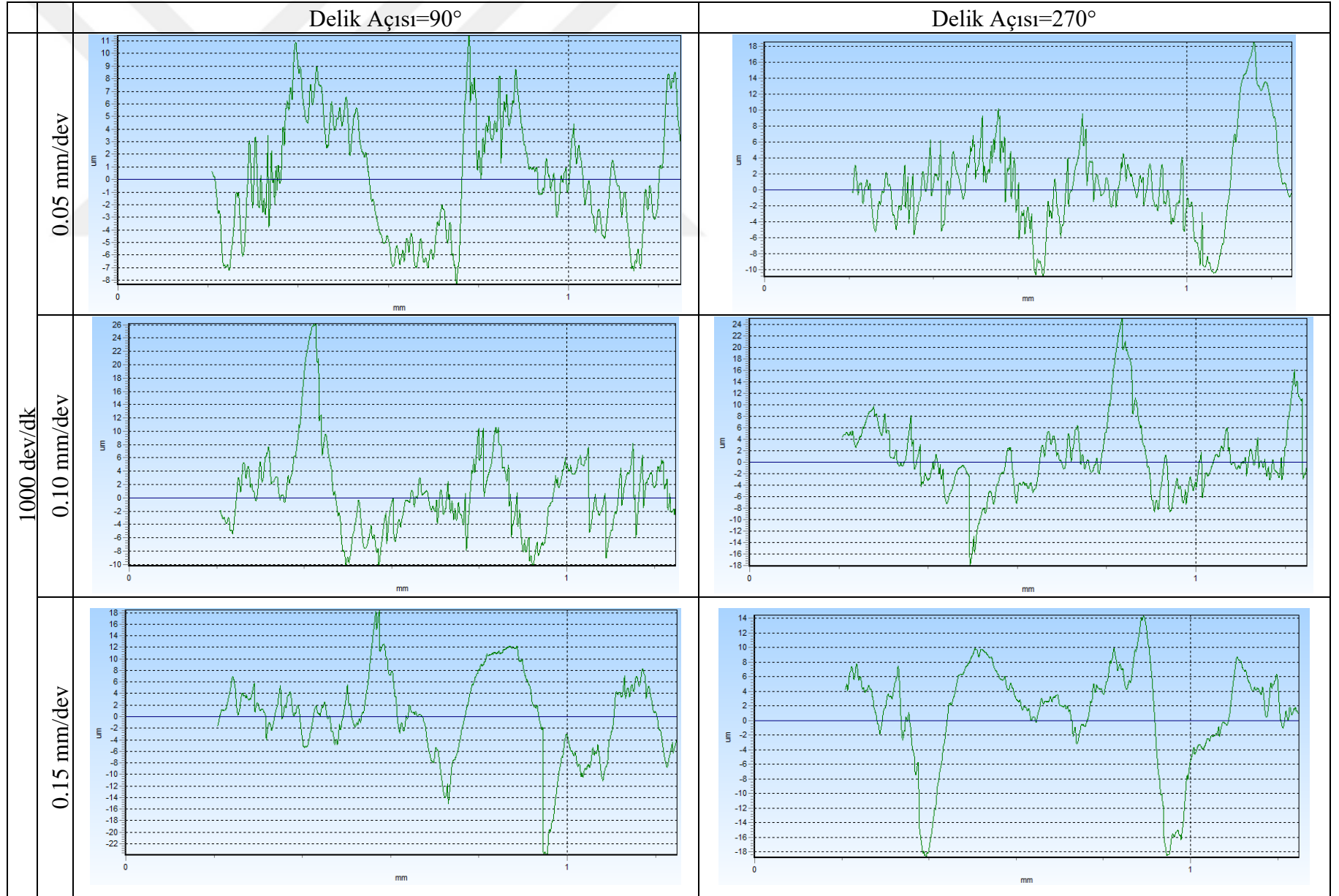
Tablo Ek-3.2. T2 takımı ile delinen UD elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri (devamı)



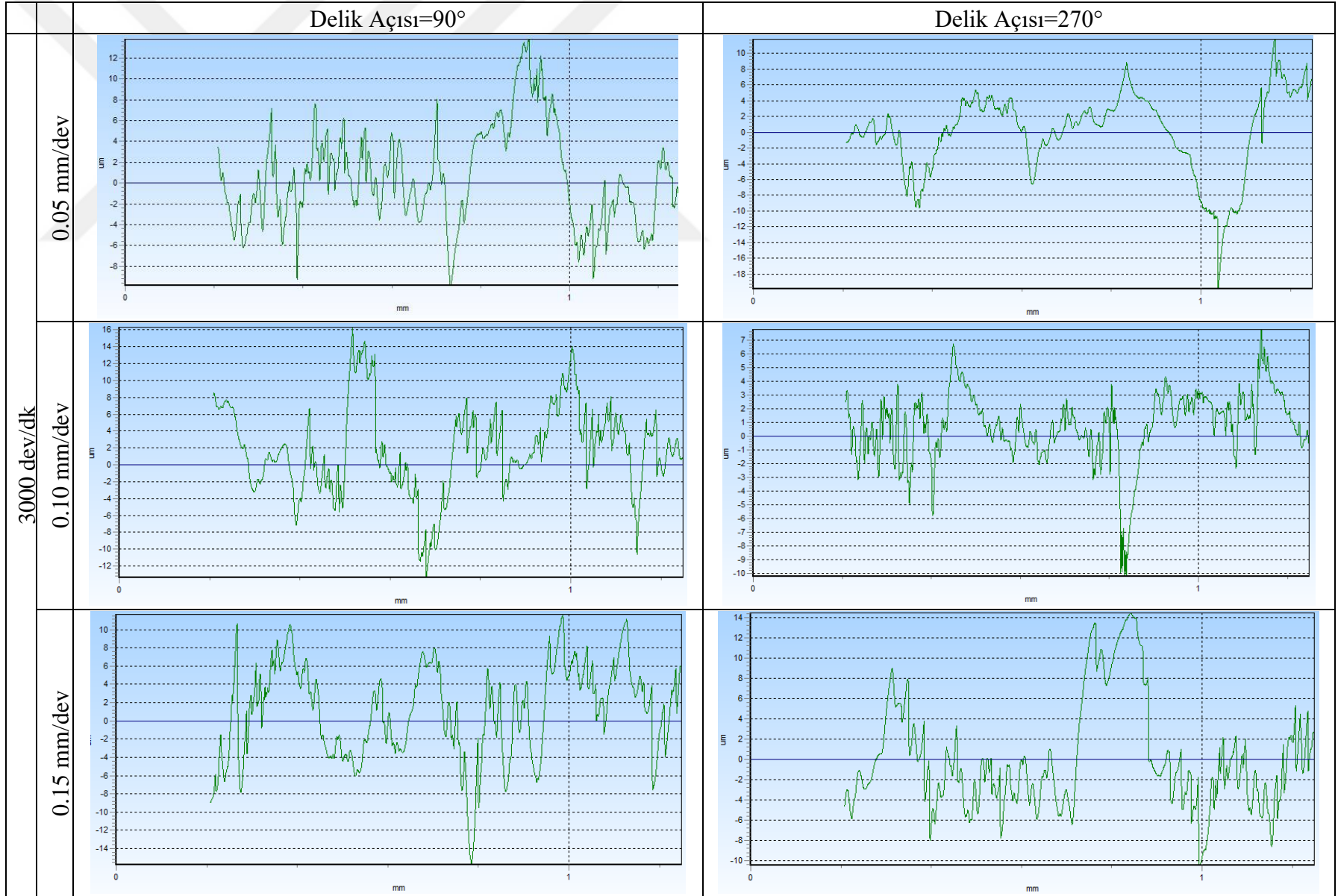
Tablo Ek-3.2. T2 takımı ile delinen UD elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri (devamı)



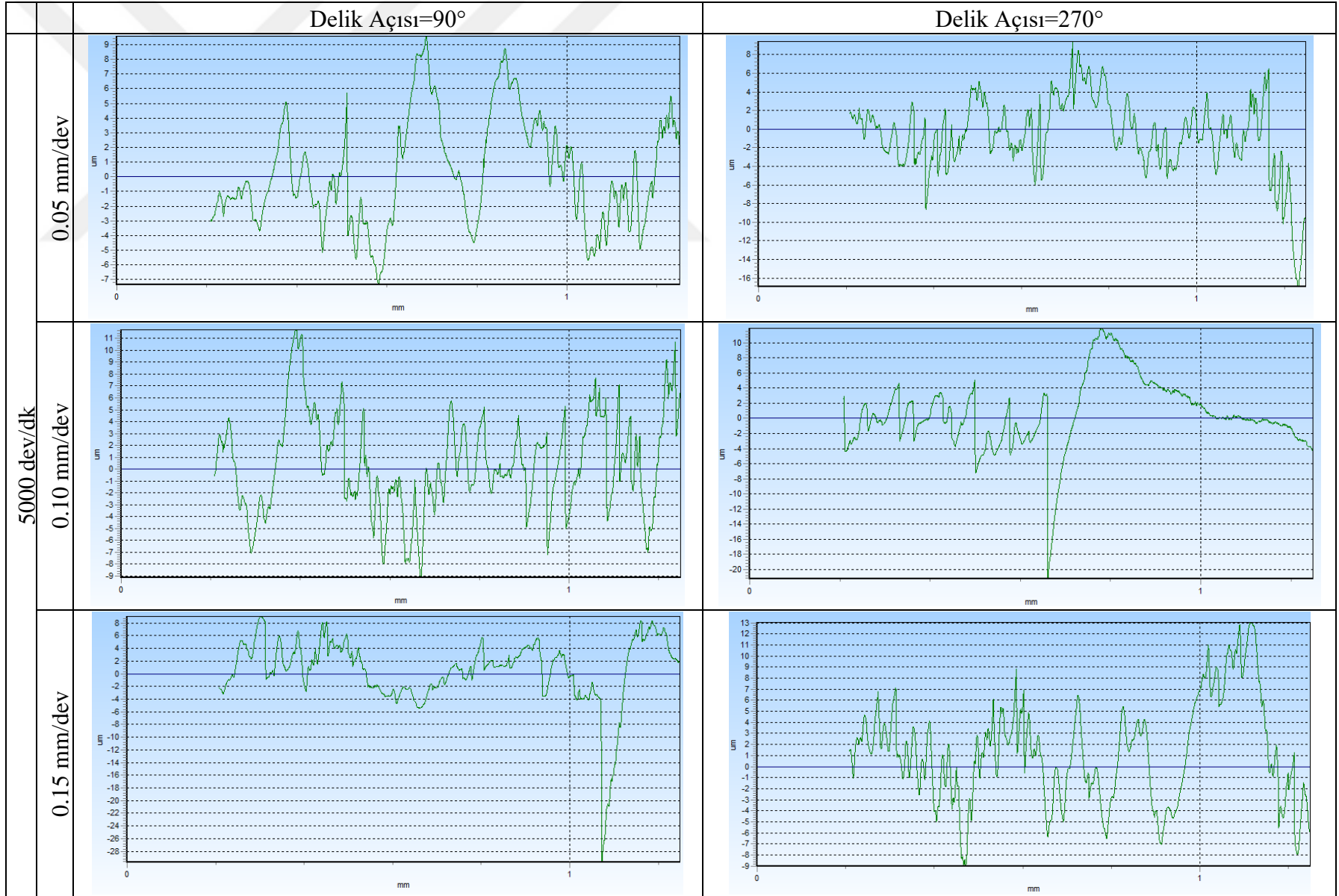
Tablo Ek-3.3. T3 takımı ile delinen UD elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri



Tablo Ek-3.3. T3 takımı ile delinen UD elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri (devamı)

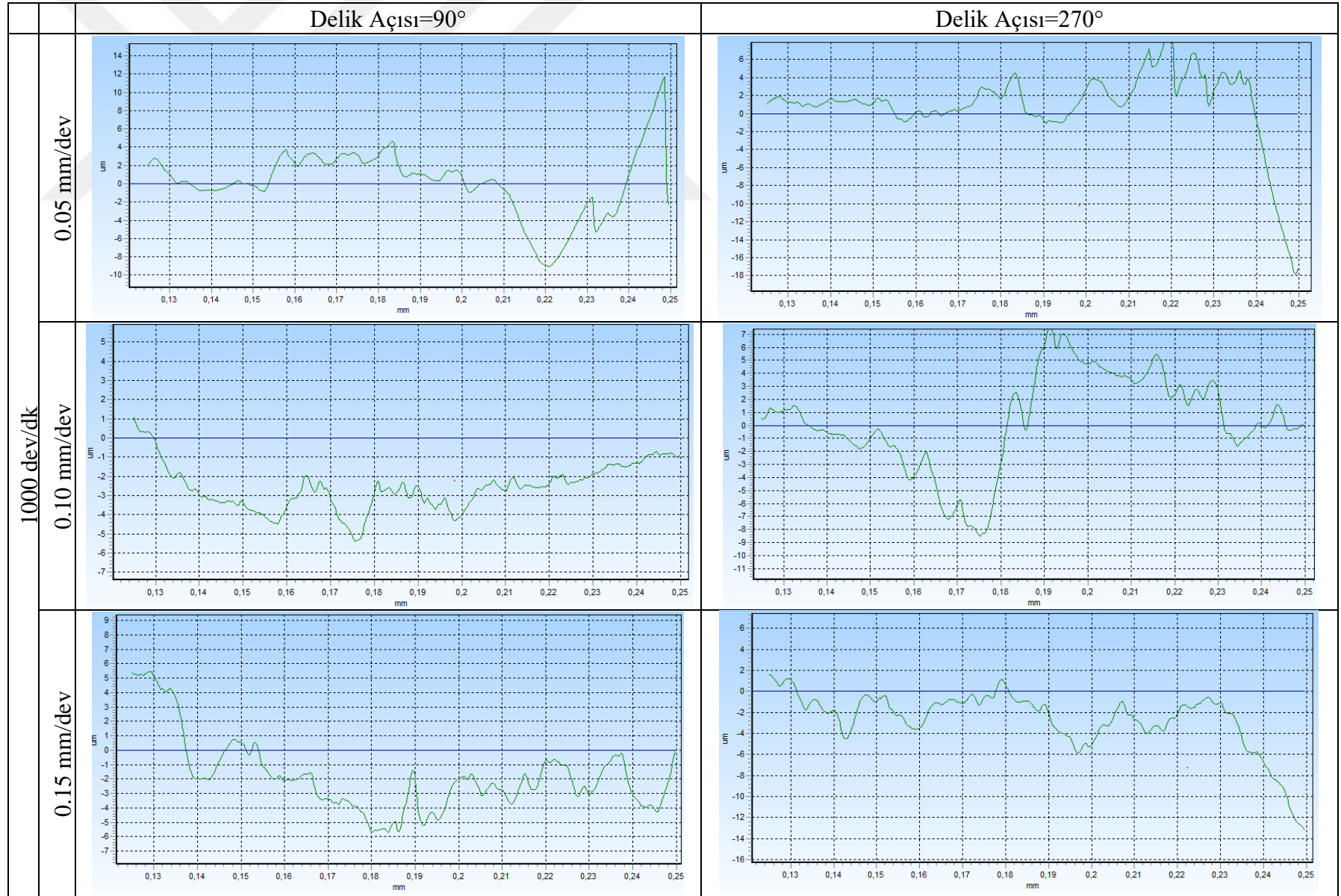


Tablo Ek-3.3. T3 takımı ile delinen UD elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri (devamı)



EK-4. 0/90 Elyaf Açılı KETP'ler için YüzeY Pürüzlülüğü Grafikleri

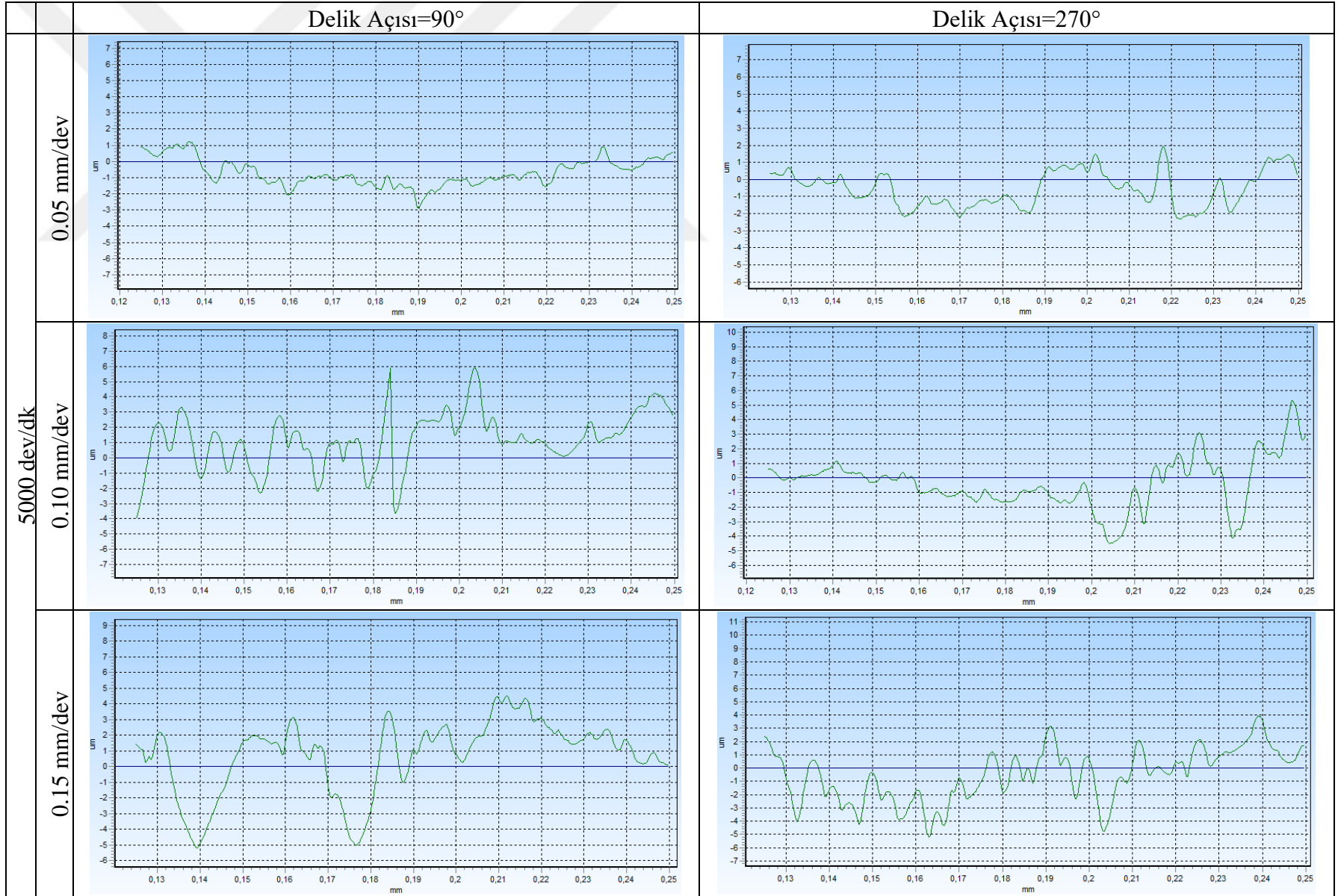
Tablo Ek-4.1. T1 takımı ile delinen 0/90 elyaf açılı KETP'lerin yüzeY pürüzlülük grafikleri



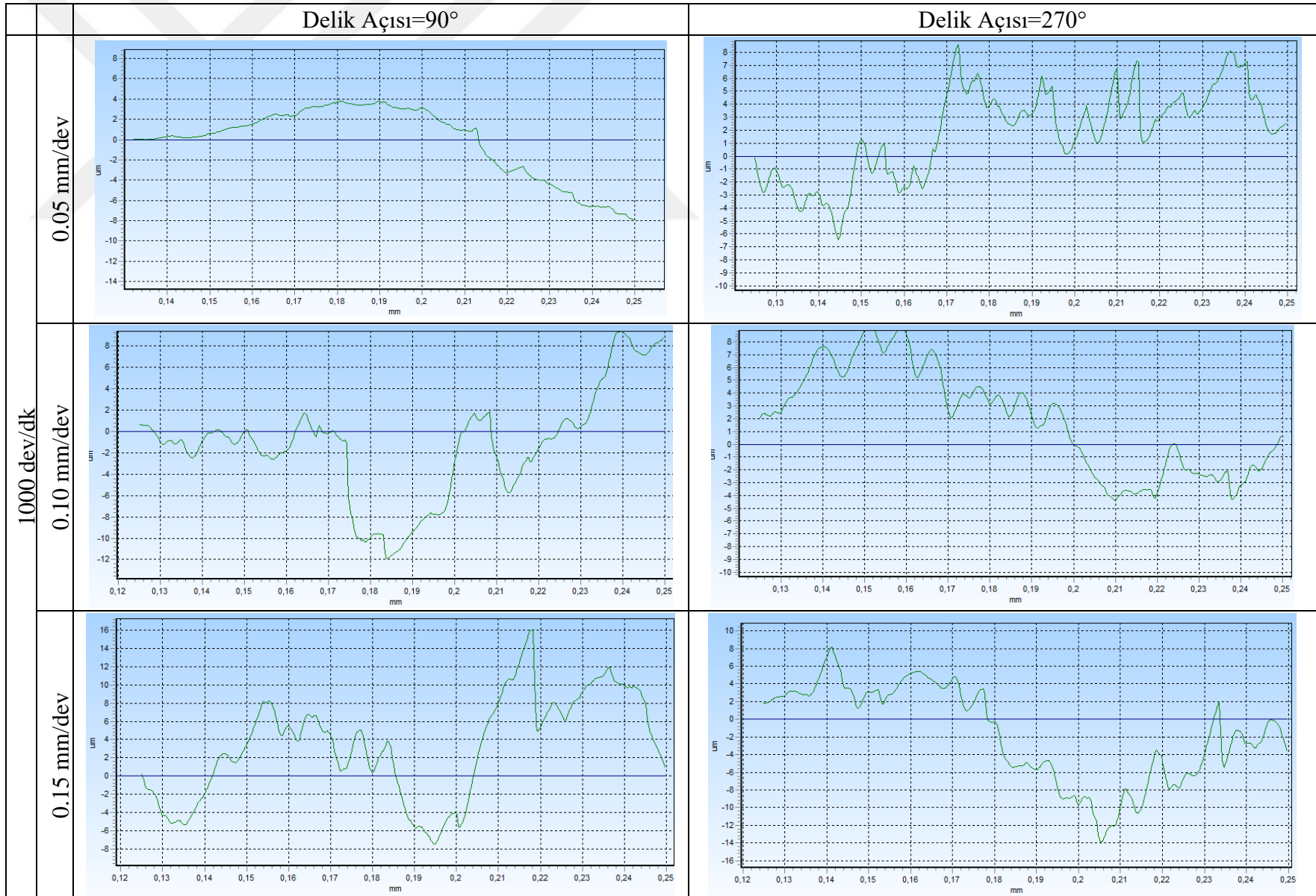
Tablo Ek-4.1. T1 takımı ile delinen 0/90 elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri (devamı)



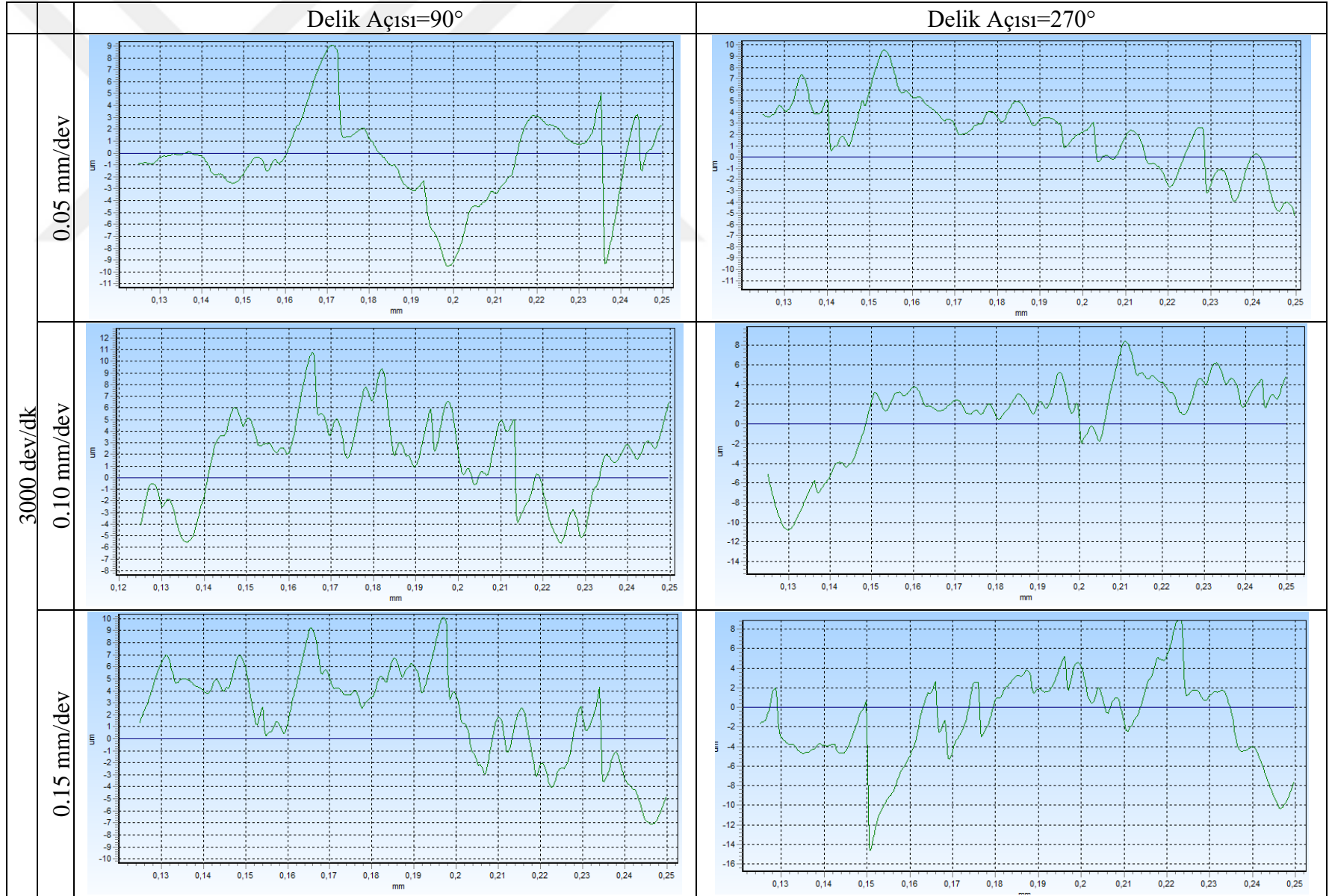
Tablo Ek-4.1. T1 takımı ile delinen 0/90 elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri (devamı)



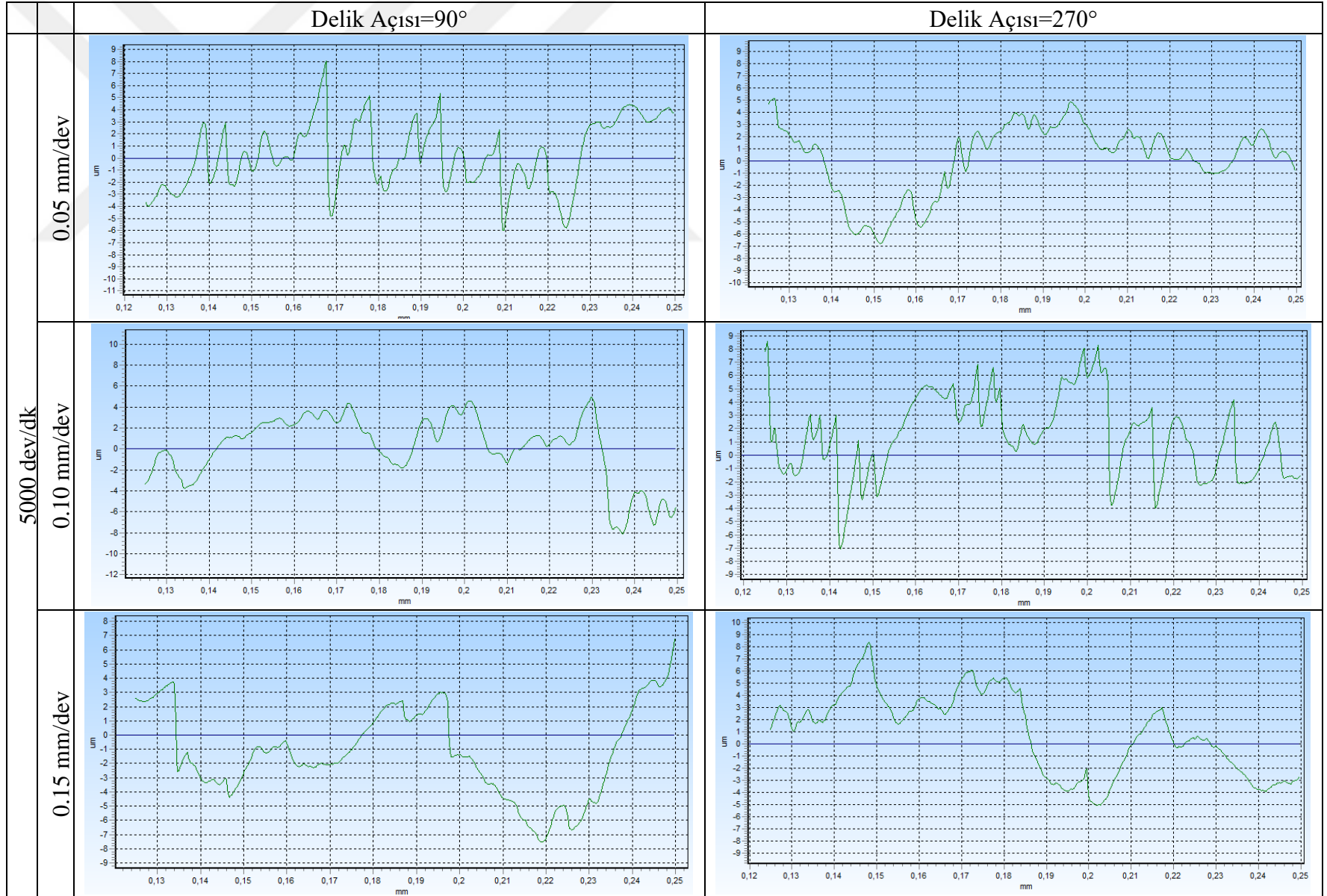
Tablo Ek-4.2. T2 takımı ile delinen 0/90 elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri



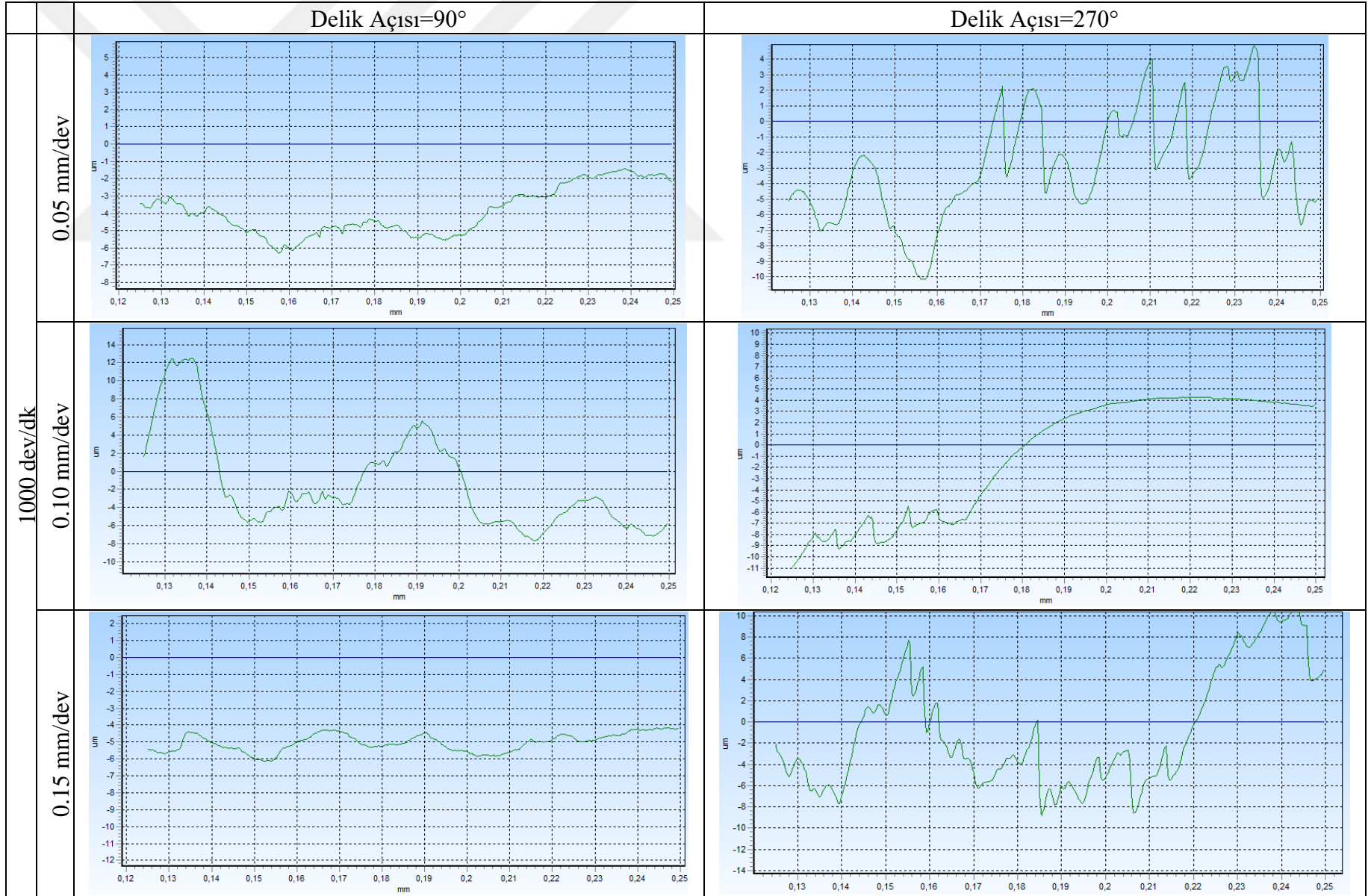
Tablo Ek-4.2. T2 takımı ile delinen 0/90 elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri (devamı)



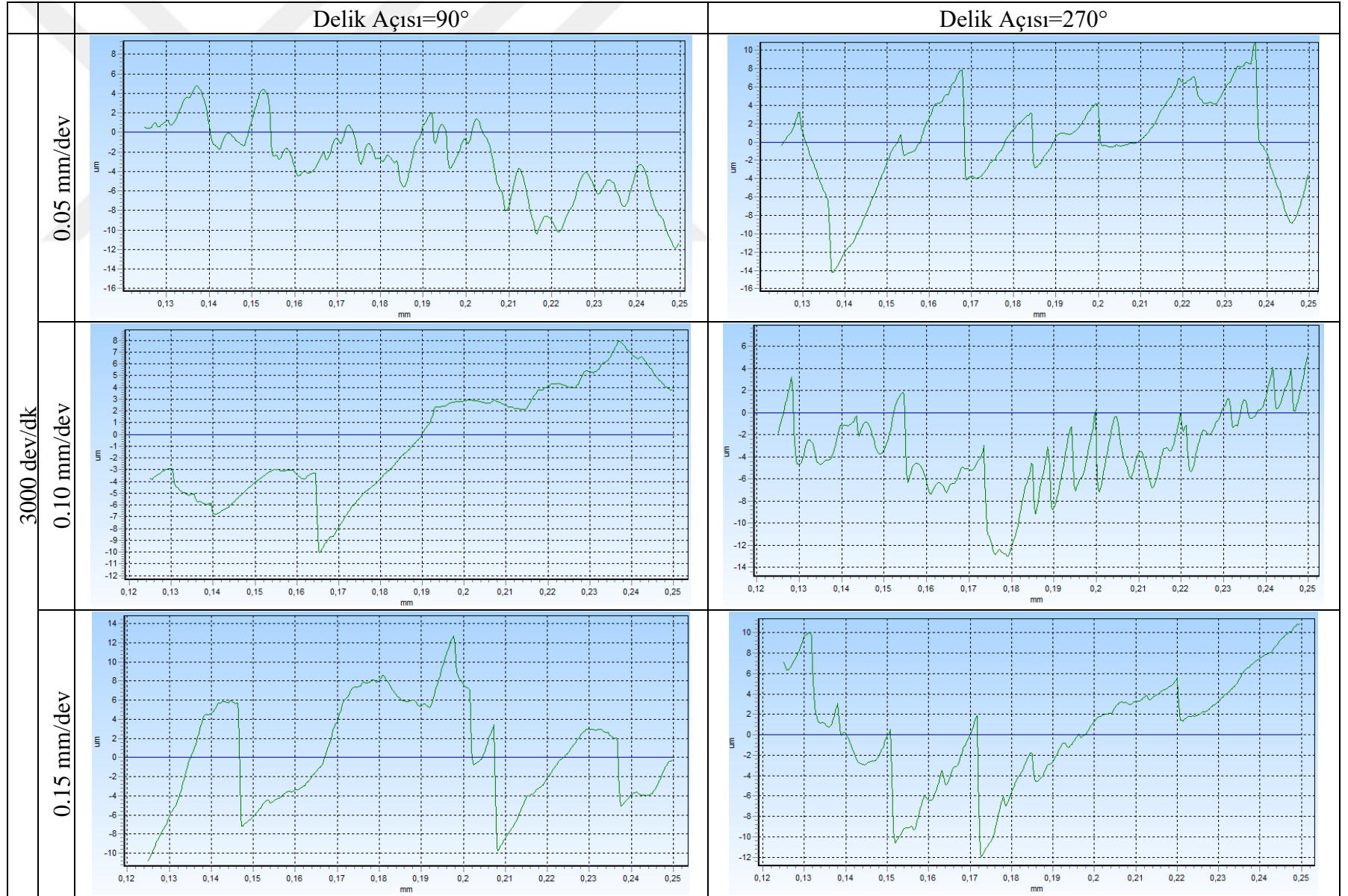
Tablo Ek-4.2. T2 takımı ile delinen 0/90 elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri (devamı)



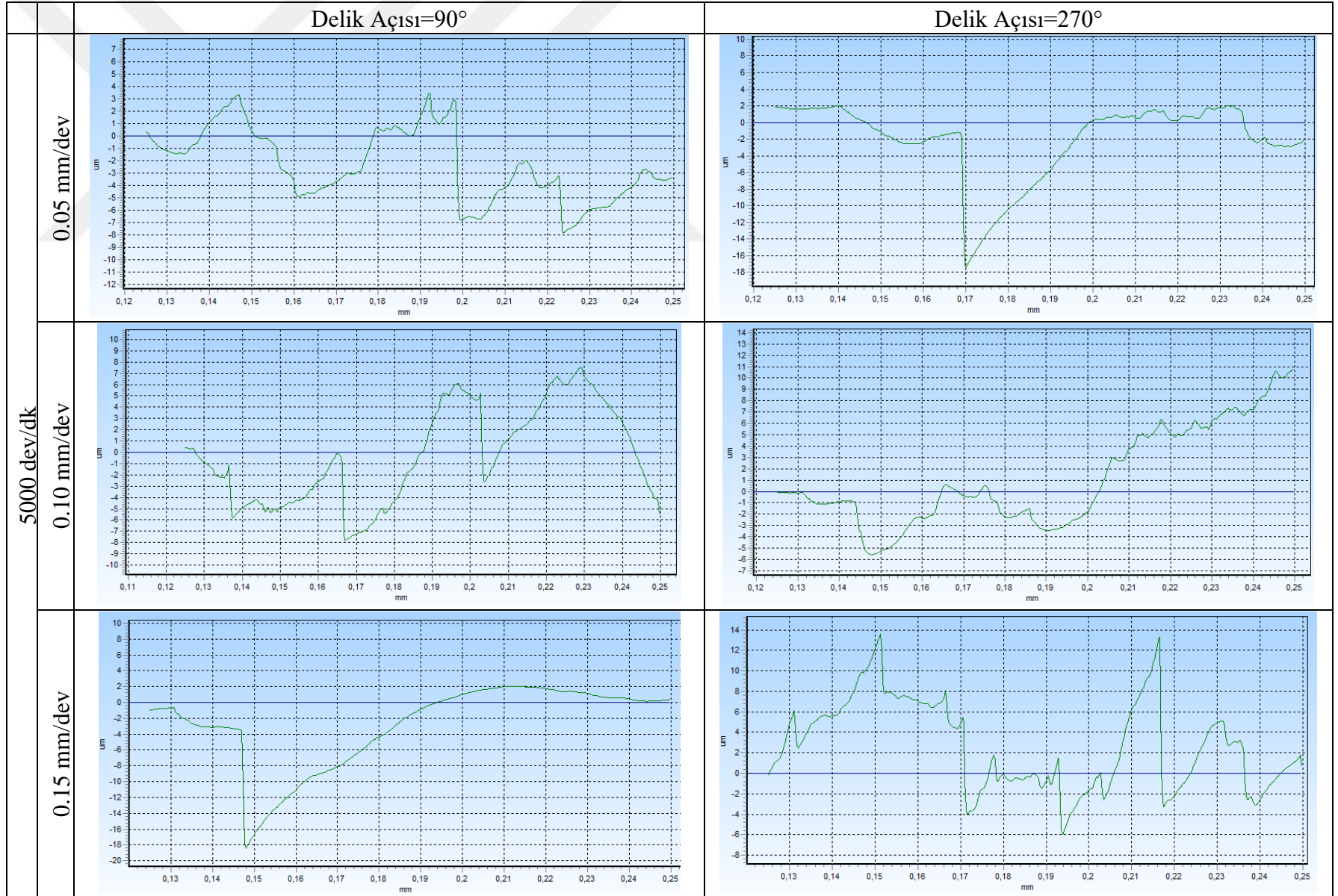
Tablo Ek-4.3. T3 takımı ile delinen 0/90 elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri



Tablo Ek-4.3. T3 takımı ile delinen 0/90 elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri (devamı)



Tablo Ek-4.3. T3 takımı ile delinen 0/90 elyaf açılı KETP'lerin yüzey pürüzlülük grafikleri (devamı)



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Burak Yenigün
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : Midyat – 1988
Telefon : 0539 349 46 16
Faks :
e-mail : burak.yenigun@batman.edu.tr

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Zühtü Kurtulmuş Lisesi, Zeytinburnu, İstanbul	2006
Üniversite	: Harran Üniversitesi, Merkez, Şanlıurfa	2010
Yüksek Lisans	: Harran Üniversitesi, Merkez, Şanlıurfa	2013

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2011-2012	Harran Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2012- Devam Ediyor	Batman Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR