

**FARKLI YÖNLENDİRME AÇILARINA SAHİP KENAF ELYAF
TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN DELİNMESİNİN
ARAŞTIRILMASI**

UMUT KAYA

HAZİRAN 2022

DİYARBAKIR

**DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI YÖNLENDİRME AÇILARINA SAHİP KENAF ELYAF
TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN DELİNMESİNİN
ARAŞTIRILMASI**

UMUT KAYA

DİCLE ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM-ÖĞRETİM VE SINAV
YÖNETMELİĞİNİN BİR PARÇASI OLARAK
MÜHENDİSLİK ANA BİLİM DALINDA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
OLARAK HAZIRLANMIŞTIR

HAZİRAN 2022

DİYARBAKIR

**FARKLI YÖNLENDİRME AÇILARINA SAHİP KENAF ELYAF
TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN DELİNMESİNİN ARAŞTIRILMASI**

Umut KAYA tarafından Dicle Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin bir parçası olarak hazırlanan bu çalışma, aşağıda bilgileri yazılı jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek **Mühendislik Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ

Müdür, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Prof. Dr. Erol KILIÇKAP

Danışman, **Makine Mühendisliği Bölümü,**

Dicle Üniversitesi

Sınav Jürisi:

Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

Makine Mühendisliği Bölümü, Batman Üniversitesi

Prof. Dr. Erol KILIÇKAP

Makine Mühendisliği, Dicle Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Haluk KEJANLI

Makine Mühendisliği, Dicle Üniversitesi

ONAY

Savunma Tarihi: 20 / 06 / 2022

(*) Sınav Jürisi kısmının birinci satırına Jüri Başkanının bilgilerini yazınız.

(**) Sınav Jürisi kısmının ikinci satırına Tez Danışmanının bilgilerini yazınız.

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılıyıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanıyla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Ad, Soyad: Umut KAYA

İmza:

TEŞEKKÜR

Öncelikle danışmanım Prof. Dr. Erol KILIÇKAP'a ve deneyler aşamasında desteğini esirgemeyen Doç. Dr. Ahmet YARDIMEDEN'e, tezin fikir aşamasından başlayarak yüksek lisans eğitimim boyunca her konuda desteğini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Mesut HÜSEYİNOĞLU'na, kompozit malzemenin üretim aşamasında yardımlarından ötürü Dr. Öğr. Üyesi Gurbet ÖRÇEN'e ve Dicle Üniversitesi Laboratuvarlarından faydalanma imkânı sağlayan Makine Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Vedat ORUÇ'a, statik çekme deneyleri esnasında yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Taner AYDIN hocama ve yüksek lisans eğitimi konusunda beni cesaretlendiren Dr. Öğr. Üyesi Haluk KEJANLI'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca benden desteğini hiç esirgemeyen 181 Hat Mekanik Atölyesi'ndeki mesai arkadaşlarıma, benimle beraber yeniden üniversiteye başlayan ve bu süre zarfında her zaman yanımda olan hayat arkadaşım Miray KAYA'ya, hayatımıza yeni katılan canım kızım Deniz Pera KAYA'ya, her ne kadar uzakta olsam da sürekli yanımda hissettiğim annem Gülbade KAYA ve babam Orhan KAYA'ya çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	V
İÇİNDEKİLER.....	Vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	Viii
TABLolar LİSTESİ.....	X
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	Xi
ÖZET	Xii
ABSTRACT	Xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Kaynak Araştırması.....	3
2. DOĞAL LİFLER	15
2.1 Gövde lifi bitkiler.....	17
2.1.1 Keten.....	17
2.1.2 Jüt.....	18
2.1.3 Bambu.....	19
2.1.4 Muz.....	20
2.1.5 Kenaf.....	20
2.1.6 Rami.....	21
2.2 Doğal Liflerin Bazı Özellikleri	22
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	23
3.1 Kenaf Lif Takviyeli Plastik Kompozitin Üretilmesi	23
3.2 Deneylerde Kullanılan Makine ve Cihazlar	25
3.2.1 Statik çekme deneyi.....	25
3.2.2 Delme işleminde kullanılan takım tezgâhı.....	26
3.2.3 KETP kompozitlerin delinmesinde kesme kuvvetinin tespiti.....	27
3.2.4 KETP kompozitlerin delinmesinde sıcaklık ölçümü	28
3.2.5 Deformasyonun ölçümü ve deformasyon faktörünün belirlenmesi	29

3.2.6 Delme deneyi.....	30
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	31
4.1 KETP Kompozitlerin Çekme Deneyi.....	31
4.2 0°/90°, 30°/-60° ve ±45° KETP Kompozitlerin Delinmesi	35
4.2.1 KETP kompozitlerin delinmesinde kesme kuvvetinin belirlenmesi	36
4.2.2 KETP kompozitlerin delinmesinde kesme sıcaklığının belirlenmesi.....	42
4.2.3 KETP kompozitlerin delinmesinde deformasyon faktörünün belirlenmesi	46
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	52
KAYNAKLAR.....	54
ÖZGEÇMİŞ.....	58

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Keten bitkisinin çiçek yaprakları	18
Şekil 2.2 Jüt Bitkisi Ve İşleme Süreci	19
Şekil 2.3 Bambu Bitkisi	19
Şekil 2.4 Muz Bitkisi	20
Şekil 2.5 Kenaf Bitkisi	21
Şekil 2.6 Rami Bitkisi	21
Şekil 3.1 Kenaf dokuma kumaş	23
Şekil 3.2 Reçine ve sertleştiricinin belirtilen oranda karıştırılması	24
Şekil 3.3 Vakum İnfüzyon Cihazı (VİC)	24
Şekil 3.4 KETP malzemenin üretim aşaması	25
Şekil 3.5 İnstron 8801 Statik Çekme Test Cihazı	26
Şekil 3.6 KETP Kompozitlerin Delinmesinde Kullanılan Dik İşlem Merkezi	26
Şekil 3.7 Kesme kuvvetinin ölçülmesi	27
Şekil 3.8 Dinamometre üzerindeki kuvvet bileşenleri	28
Şekil 3.9 Testo 831 kızıl ötesi sıcaklık ölçüm cihazı	28
Şekil 3.10 Dino-Lite AM7915MZT dijital mikroskop	29
Şekil 3.11 KETP üzerinde oluşan deformasyonun görüntüsü	29
Şekil 4.1 0°/90° KETP kompozitin Çekme Kuvveti-Uzama Grafiği	32
Şekil 4.2 0°/90° KETP kompozitin çekme deneyi	32
Şekil 4.3 0°/90° KETP kompozite ait kırılmış yüzey resmi	32
Şekil 4.4 30°/-60° KETP kompozitin Çekme Kuvveti-Uzama Grafiği	33
Şekil 4.5 30°/-60° KETP kompozitin çekme deneyi	33
Şekil 4.6 30°/-60° KETP kompozite ait kırılmış yüzey resmi	33
Şekil 4.7 ±45° KETP kompozitin Çekme Kuvveti-Uzama Grafiği	34
Şekil 4.8 ±45° KETP kompozitin çekme deneyi	34
Şekil 4.9 ±45° KETP kompozite ait kırılmış yüzey resmi	34
Şekil 4.10 Yönlendirme açısına bağlı olarak maksimum hasar yükü	35
Şekil 4.11 0°/90° KETP kompozite ait kesme kuvveti-Zaman diyagramı (n=1000 dev/dak)	37
Şekil 4.12 30°/-60° KETP kompozite ait kesme kuvveti-Zaman diyagramı (n=2000 dev/dak)	37

Şekil 4.13 $\pm 45^\circ$ KETP kompozite ait kesme kuvveti-Zaman diyagramı (n=3000 dev/dak)	37
Şekil 4.14 İş mili devrinin kesme kuvveti üzerine etkisi	38
Şekil 4.15 İlerlemenin kesme kuvveti üzerine etkisi	39
Şekil 4.16 Yönlendirme açısının kesme kuvveti üzerine etkisi.....	40
Şekil 4.17 İş mili devrinin kesme sıcaklığı üzerine etkisi.....	43
Şekil 4.18 İlerlemenin kesme sıcaklığı üzerine etkisi.....	44
Şekil 4.19 Yönlendirme açısının kesme sıcaklığı üzerine etkisi	45
Şekil 4.20 İş mili devrinin kesme deformasyon faktörü üzerine etkisi	48
Şekil 4.21 İlerlemenin deformasyon faktörü üzerine etkisi	49
Şekil 4.22 Yönlendirme açısının deformasyon faktörü üzerine etkisi.....	50

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1 Doğal liflerin sınıflandırılması(Hodzic ve Shanks, 2014; Özdemir, 2019)	15
Tablo 3.1 Kistler 9257B dinamometrenin özellikleri	28
Tablo 3.2 Deneylerde kullanılan malzeme ve parametreler.....	30
Tablo 4.1. $0^{\circ}/90^{\circ}$, $30^{\circ}/-60^{\circ}$ ve $\pm 45^{\circ}$ KETP kompozitlerin delme deneylerinden elde edilen kesme kuvveti, kesme sıcaklığı ve deformasyon faktörüne ait toplu sonuçlar	36
Tablo 4.2 KETP kompozitlere ait giriş ve çıkıştaki deformasyon oluşumu	47



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simge

Açıklama

n	Dakikadaki Devir Sayısı
F	Kuvvet
D_{max}	Maksimum Delik Çapı

Kısaltma

Açıklama

DF	Deformasyon Faktörü
KETP	Kenaf Elyaf Takviyeli Plastik
DLK	Doğal Lifli Kompozit
VİC	Vakum İnfüzyon Cihazı

ÖZET

FARKLI YÖNLENDİRME AÇILARINA SAHİP KENAF ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN DELİNMESİNİN ARAŞTIRILMASI

Kaya, Umut.

Yüksek Lisans, Makine Mühendisliği Bölümü

Danışman: Prof. Dr. Erol KILIÇKAP

Haziran 2022, 57 sayfa

Sentetik esaslı kompozit malzemeler birçok avantajlarından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu kompozit malzemeler fosil yakıtların tüketimini ve sera gazı emisyonlarını arttırmaktadır. Bu yüzden mühendisler ve araştırmacılar ekolojik olarak uyumlu ve çevre dostu ürünlerin gelişimine yönelmişlerdir. Bunun neticesinde ise sentetik esaslı kompozitler yerine doğal elyaf takviyeli kompozitler tercih edilmeye başlanılmıştır. Doğal kompozitlerde kullanılan takviye elemanları bitkilerden, hayvanlardan ve minerallerden elde edilmektedir. Bitkisel kökenden elde edilen elyaflardan biride kenaftır. Bu tez çalışmamızda, farklı yönlendirme açılarına ($0^{\circ}/90^{\circ}$, $30^{\circ}/-60^{\circ}$ ve $\pm 45^{\circ}$) sahip kenaf elyaf takviyeli polimer (KETP) kompozitler vakum infüzyon yöntemi kullanılarak üretildi. Üretilen kompozitlerin ilk önce çekme hasar yükü belirlendi. Daha sonra KETP kompozitlerin delinmesi araştırıldı. KETP kompozitlerin delinmesinde iş mili devri ve ilerleme gibi delme parametrelerinin kesme kuvveti, deformasyon faktörü ve kesme sıcaklığı üzerine etkilerini deneysel olarak araştırıldı. $0^{\circ}/90^{\circ}$, $30^{\circ}/-60^{\circ}$ ve $\pm 45^{\circ}$ yönlendirme açısına sahip KETP kompozitlerin çekme deneylerinden, en yüksek çekme kuvveti $0^{\circ}/90^{\circ}$ KETP kompozitlerden elde edildi. KETP kompozitlerin delinmesinde oluşan kesme kuvvetleri, iş mili devrinden ve ilerleme değerlerinden etkilendiği belirlendi. İş mili devrinin artması ile kesme kuvvetleri düşerken, ilerlemenin artması ile kesme kuvvetleri artmıştır. En düşük kesme kuvveti $30^{\circ}/-60^{\circ}$ yönlendirme açısına sahip KETP kompozitlerin delinmesinden elde edilirken, en yüksek kesme kuvveti ise $\pm 45^{\circ}$ yönlendirme açısına sahip KETP kompozitlerin delinmesinden elde edilmiştir. Kesme sıcaklığı ve deformasyon faktörü, iş mili devrinin ve ilerlemenin artması ile artmaktadır. Yüksek ilerleme değerleri ve iş mili devri delik bölgesinde oluşan deformasyonun artmasına neden olmaktadır. Deformasyon faktörü, kompozit malzemelerin yönlendirme açısından da etkilenmektedir. En düşük deformasyon faktörü $30^{\circ}/-60^{\circ}$ yönlendirme açısına sahip KETP kompozitin delinmesinde elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kenaf, Delme, Kesme Kuvveti, Deformasyon.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF DRILLING OF KENAF FIBER REINFORCED COMPOSITES HAVING DIFFERENT ORIENTATION ANGLES

Kaya, Umut

Master of Science in Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Erol KILIÇKAP

Jun 2022, 57 pages

Synthetic-based composite materials are widely used because of their many advantages. However, these composite materials increase the consumption of fossil fuels and greenhouse gas emissions. Therefore, engineers and researchers have turned to the development of ecologically compatible and environmentally friendly products. As a result of this, natural fiber reinforced composites have started to be preferred instead of synthetic-based composites. Reinforcing elements used in natural composites are obtained from plants, animals and minerals. One of the fibers obtained from plant origin is kenaf. In this thesis, kenaf fiber reinforced polymer (KETP) composites with different orientation angles ($0^\circ/90^\circ$, $30^\circ/-60^\circ$ and $\pm 45^\circ$) were produced using the vacuum infusion method. First, the tensile damage load of the produced composites was determined. Then, the drilling of KETP composites was investigated. The effects of drilling parameters such as spindle speed and feed on the cutting force, deformation factor and cutting temperature were experimentally investigated in drilling of KETP composites. From the tensile tests of KETP composites with $0^\circ/90^\circ$, $30^\circ/-60^\circ$ and $\pm 45^\circ$ orientation angles, the highest tensile strength was obtained from $0^\circ/90^\circ$ KETP composites. It was determined that the cutting forces formed in the drilling of KETP composites were affected by the spindle speed and feed values. While the cutting forces decreased with the increase of the spindle speed, the cutting forces increased with the increase of the feed. The lowest cutting force was obtained from the drilling of KETP composites having an orientation angle of $30^\circ/-60^\circ$, while the highest cutting force was obtained from the drilling of KETP composites having an orientation angle of $\pm 45^\circ$. Cutting temperature and delamination factor increased with increasing spindle speed and feed. High feed and spindle speed cause an increase in the deformation in the hole region. The delamination factor is also affected by the orientation angles of composite materials. The lowest delamination factor was obtained in the drilling of the KETP composite with $30^\circ/-60^\circ$ orientation angle.

Keywords: Kenaf, Drilling, Cutting Force, Delamination.

1. GİRİŞ

Kompozit malzemelerin tarihi, kerpiçlerin saman ve çamurun birleştirilmesiyle bina yapımında kullanıldığı zamana kadar uzanmaktadır. Her ne kadar tarihi eskiye dayansa da 2. Dünya Savaşı sırasında askeri amaçlarla kullanılan kompozit malzemeler, 1946 yılından sonra dünyada ticari boyuta gelebilmiştir.

En basit tanımıyla kompozitler, iki veya daha fazla malzemenin bir araya gelerek tek bir malzeme oluşturması olarak tanımlanabilir. Teknoloji ilerledikçe tanım da rafine edildi ve bu nedenle fiziksel ve kimyasal özelliklerde farklılık gösteren iki veya daha fazla bileşen malzemedan yapılmış mühendislik malzemeleri olarak tanımlandı

Kompozit malzemeler, metallere kıyasla mukavemet-ağırlık, sertlik-ağırlık, korozyon direnci, yorulma ve termal genleşme gibi mükemmel mekanik özelliklere sahiptir. Ayrıca, kompozit malzemelerin oranları, bileşenleri ve tabakalardaki her katın yönü kasıtlı olarak tasarlanarak, malzeme özellikleri belirli ihtiyaçlara uyacak şekilde özelleştirilebilmektedir. Bu yüzden kompozit malzemeler birçok endüstride uygulamalarını artmaktadır.

Son birkaç on yılda, araştırmacıların ve mühendislerin ilgisi, yüksek mukavemet/ağırlık oranı, aşındırıcı olmayan özellik ve yüksek kırılma tokluğu gibi benzersiz avantajları nedeniyle geleneksel malzemelerden fiber takviyeli polimer bazlı kompozitlere kaymaktadır. Karbon, cam ve aramid gibi yüksek mukavemetli liflerden ve düşük mukavemetli polimerik matristen oluşan bu kompozit malzemeler artık havacılık, eğlence, otomotiv, inşaat ve spor endüstrilerine hâkim olmuştur. Ancak bu liflerin yenilenemez olması, geri dönüştürülemez olması, üretim sürecinde yüksek enerji tüketimi, solunduğunda sağlık riski oluşturması, çevrenin ciddi boyutta kirlenmesine sebep olması, biyolojik olarak parçalanamaz olması gibi nedenlerden dolayı, sürdürülebilir bir dünya için yenilenebilir malzemelere olan ihtiyacın farkındalık seviyesinin yükselmesi, klasik takviye malzemeleri yerine doğal lifli malzemelere olan yönelimi artırmıştır. Bu durum dünyamızın geleceği açısından ve malzeme bilimine yeni malzemeler kazandırılabilmesi açısından doğru bir adım olmuştur (Çelik vd., 2019).

Oluşan çevre bilincinden dolayı, bir çok ülkede çevre mevzuatı ve tüketici talebi, malzeme ve nihai ürün üreticileri üzerindeki, geri dönüşüm ve nihai bertaraf dahil olmak üzere yaşam döngülerinin tüm aşamalarında çevresel etkileri dikkate alma baskısını artırmaktadır. Bu kapsamda; Amerika Birleşik Devletleri'nde, imalatçılar, atılacak çöp miktarını ve zehirliliğini kaynağında azaltma, kapları ve ürünleri yeniden kullanma, kırılanı onarma ve geri dönüştürülmüş içeriğe sahip ürünleri satın alma konusunda bilgilendirilmektedir (Cheung ve Lau, 2017).

Dünyanın geleceği, biyolojik çeşitlilik ve bunlara verilen zararlarla ilgili endişeler gün geçtikçe artmakta olup yenilenebilir kaynaklara duyulan ihtiyaçların fazlalığı yadsınamaz bir hal almıştır. Küresel ısınma, mevsim değişiklikleri, temiz su kaynaklarının kirlenmesi gibi sonuçlara sebep olan sanayi ham madde kullanımında yenilenebilir kaynaklara yer vermek zorunda kalmıştır. Bu doğrultuda doğal yenilenebilir ve doğada kolayca çözülebilen malzemelerin üretilmesi ön plana çıkmıştır (Prabu ve Anand, 2016) ve sürdürülebilir kaynaklardan gelen doğada kolayca parçalanabilen dolgu maddelerine olan ilgi artmıştır (Banerjee ve Morella, 2011; La Mantia ve Morreale, 2011). Bu nedenle, doğal elyaf ve biyolojik olarak parçalanabilen matris, yeni bir biyokompozit türü için kullanılırsa ve cam elyaf takviyeli polimer kompozitler ile benzer işlevler ve dayanıklılık elde edebilirse, yukarıda bahsedilen birçok çevresel sorunun çözülmesine ve gezegenimizdeki yaşam ortamının iyileştirilmesine yardımcı olacaktır (Lau ve Cheung, 2017).

Çeşitli endüstriyel uygulamalarda genişleyen doğal fiber takviyeli kompozitlerin (DFTK) kullanım yelpazesinin bir sonucu olarak, bu malzemelerin işlenmesi, geleneksel metalik malzemelerin işlenmesinden farklı davranışları açısından titizlikle algılanması gereken büyük önem taşımaktadır. Metal işlemede kullanılan takım ve metal işleme teknolojisi kompozitlerde de kullanılmasına rağmen, kompozitlerin işlenmesi metallerin işlenmesinden oldukça farklıdır. Metallerin aksine, kompozitler homojen değildir ve işleme sırasında kesici takımla etkileşimleri iyi anlaşılmayan karmaşık bir olgudur. Fiber takviyeli kompozit malzemelerin işlenmesi, özellikle homojen olmamaları, anizotropileri ve plastik deformasyon yapılarının olmaması nedeniyle, geleneksel metallerin ve alaşımların işlenmesinden birçok yönden önemli ölçüde farklıdır. İşleme sırasında deformasyon, çatlama, fiber çekme ve yanma gibi

kusurların artması nedeniyle işleme kompozit parçanın kalitesini olumsuz etkileyebilir. Takviye liflerinin aşındırıcılığı ve düzgün bir şekilde kesme ihtiyacı, takım malzemelerinin ve geometrinin seçimine ek gereksinimler ve kısıtlamalar getirmektedir (Arul vd., 2006)

DFTK'nin şekillendirilmesinde kullanılan yöntemlerden biri de delme işlemidir. Ancak delme işleminde malzemede bazı hasarlarla karşılaşmaktadır. Delme işleminin neden olduğu istenmeyen hasarlar, kompozitlerin uzun vadeli performansı için son derece zararlı olabilecek yorulmaya karşı mukavemetin düşmesine neden olur. Bu nedenle, kompozitte takviye veya dolgu olarak kullanılan elyafın türü ve mekanik ve termal özelliklerinin yanı sıra işleme parametrelerinin seçimine de büyük önem verilmelidir. Bir kompozitin işlenebilirliğinin, önemli ölçüde, takviyenin mekanik özelliklerine ve bağlı içeriğine ve matris malzemesine bağlı olduğu ve bu parametreler, fiber oryantasyonu, hacim oranı, fiberin fiziksel ve mekanik özellikleri gibi birçok parametreye bağlı olduğu dikkate alınmalıdır. Bu nedenle, ilerleme, kesme hızı, matkap tipi, matkap çapı gibi kesme parametrelerinin ve imalat yöntemi, lif hacim oranı ve lif yönü gibi imalat parametrelerinin doğru seçilmesiyle, işlenmiş kompozitlerde boyutsal ve montaj gereksinimlerini karşılamak için istenen kalite etkin bir şekilde elde edilebilir (Alsaeed vd., 2013).

Daha önce yapılan çalışmalardan kenaf doğal lif takviyeli kompozitlerle ilgili az sayıda araştırma olmasından dolayı, yaptığımız bu tez çalışmasında kenaf takviyeli doğal kompozitlerin üretimi ve işlenebilirliğini araştırdık. Tezimizin amacı; farklı yönlendirme açılarına ($0^\circ/90^\circ$, $30^\circ/-60^\circ$ ve $\pm 45^\circ$) sahip kenaf elyaf takviyeli kompozitin vakum infüzyon yöntemi ile üretilip, üretilen kompozitin delinmesinde iş mili devri ve ilerleme gibi delme parametrelerinin kesme kuvveti, deformasyon faktörü ve kesme sıcaklığı üzerine etkilerini deneysel olarak araştırmaktır.

1.1 Kaynak Araştırması

Kompozit malzemelerin günümüzün vazgeçilmez ulaşım metodu olan havacılıkta ne kadar büyük bir yer kapladığı aşîkardır. Tüm endüstrilerde olduğu gibi havacılık endüstrisinde de en önemli unsurun maliyet olduğunu düşünürsek, yüksek maliyetli

sentetik lif içeren kompozitler yerine uygun maliyetli doğal lifli kompozitlerin seçilecek olması kaçınılmaz bir gerçektir (Beg ve Pickering, 2008).

Tüketicinin artan talebi, sentetik malzeme kullanımının azaltılması, daha yüksek sürdürülebilirlik, biyolojik olarak parçalanabilirlik, çevre dostu ve geri dönüştürülebilirlik, ucuz, düşük yoğunluklu vb. nedenlerle Endüstrilerin yeşil kompozit üretimine geçişi gerçekleşmektedir (Lalit vd., 2018).

Son yıllarda, polimer matrislerle bitki liflerinin kullanımı, çevresel etkilerden dolayı giderek önem kazanmaktadır. Bu biyo-tabanlı, çevre dostu bileşenler, daha yüksek verimlilik, sürdürülebilir, ucuz, çevre dostu ve hafif kompozitler için yeni nesil hammadde olarak kabul görmüştür. Sürdürülebilir malzemeler üretmek için farklı türde sentetik ve doğal biyopolimerler ve biyo-bazlı nano partiküller uygulanmaktadır. Biyopolimer kompozitler, hem eko-takviye hem de sürdürülebilir reçinenin benzersiz özelliklerini gösterir (Mohit, 2022).

Cam veya karbon lif takviyeli malzemelerin sert yapısı ve aşındırıcı yüzeyleri talaşlı imalat aşamasında erken takım aşınmalarına ve işleme maliyetlerinin yükselmesine sebep olurlar, lif yapılarındaki kırılabilirlik, dolayısı ile kopmalara istenmeyen mukavemet kayıplarına ve yüzey pürüzlülüklerine sebep olmaktadır (Davim, 2011; Davim vd., 2004; Wern vd.,1993). Polimer matris kompozit malzemeler, düşük yoğunlukları, işleme kolaylığı, uygun maliyetli ve basit üretim yöntemleri nedeniyle modern dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır. Dünyanın dört bir yanında mühendisler ve bilim adamları, yapısal, havacılık, otomobil ve evsel uygulamalar için uygun maliyetli ve kullanıcı dostu polimer matrisli kompozitler geliştirmek için çaba sarf etmektedirler.

Doğal lifler, günümüzde sentetik liflerden ziyade çevre dostu yapıları nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir. Kenaf, sisal, kenevir, rami, jüt ve keten gibi doğal lifler, düşük yoğunluğu ve çevre dostu yapıya sahip olduklarından sıklıkla kullanılan lif takviyeleridir (Parthipan vd., 2020).

Kenaf lifi, üçüncü dünya ülkelerinde yetiştirilen önemli bir bitki olarak ortaya çıkmış ve endüstriyel bir bitki olarak kabul edilmiştir. Cam elyafı gibi sentetik elyafın yerini almak için büyük bir potansiyele sahiptir. Kenaf lifinin kullanımı, geleneksel malzemelerden daha düşük yoğunluğa sahip sentetik elyafla karşılaştırılabilir mekanik özellikler, yani çekme mukavemeti sağlayabilir, bu da hafif ve çevre dostu polimer kompozitlerle sonuçlanır. Kenaf takviyeli polimer kompozitlerin performansı, kimyasal işlem, lif içeriği, kenaf lifinin kullanılan kısmı, lifin şekli ve su emme gibi çeşitli faktörlerden etkilenir. Lif içeriğinin yanı sıra, kenaf takviyeli polimer kompozitlerin çekme özellikleri, lif oryantasyonundan güçlü bir şekilde etkilenir. Sandviç kompozitlerin mekanik özellikleri üzerinde elyaf yönlendirme açısının etkisini incelediğinde kayma düzlemine olan oryantasyon açısı önemli rol oynamıştır (Rahman ve Putra, 2019).

Cam lifleri üretmek için gereken enerji, küresel ısınmadan sorumlu ana faktör olan CO₂ gazı emisyonunu da arttırmaktadır. Ayrıca cam elyafı geri dönüştürülemez ve yakılamaz. Düzenli depolama alanlarına atılan bir atık olarak çevre kirliliğine yol açmaktadır. Çevresel kaygılar, yaşam kalitesi ile çevre kirliliği açısından toplum tarafından talep edilen karbon ayak izinin azaltılmasıdır. Aynı zamanda şirketlere çevre ile etkileşimlerinde yeni bir misyon yüklemiştir. Alternatif olarak, sentetik lifleri doğal liflerle değiştirmek için çalışmalar hızlandırılmıştır, çünkü doğal lifler yalnızca maliyetleri düşürmekle kalmaz, aynı zamanda yenilenebilir ve biyolojik olarak parçalanabilir (Maciel, 2018).

Kyoto protokolü başta olmak üzere çevreye verilen zararı azaltmak adına tüm dünyada üretim için çeşitli normlar belirlenmiştir ve bu belirlenen normlara uyabilmek içinde üretimde ister istemez çevreci ve doğayla dost olmak zorundadır. Milyonlarca ton plastiğin dünya çapında atılması, kutuplardaki buzulların azalması, küresel sıcaklığın artması, petrol kaynaklarının hızla tükenmesi, deniz seviyelerinin artması gibi küresel çevresel kaygılar çevre üzerinde bir yük oluşturmaktadır. Yukarıda belirtilenler, savunulabilir kalkınma için aşamalı olarak onaylanan yeşil ve sürdürülebilir ürünler geliştirme gerekliliğinin nedenleridir (Singh vd., 2018). Son kullanıcı ürünleri olan otomobilleri üreten otomotiv sektörü de Euro egzoz normlarına uyabilmek adına düşük yakıt tüketimine sahip araçlar üretmeye

başlamışlardır. Yakıt tüketimini düşürmenin en kolay yöntemi araçları hafifletmek ve bu da metallerin yerine kompozitler kullanmakla olmaktadır. Bu sebepten kullanılan kompozit malzemelerin hem üretim hem de işleme aşamasında daha az enerjiye ihtiyaç duyulan organik lifli malzemelerden üretilmesi gerekir, bu da ancak organik lifli kompozitlerin yaygınlaşması ile mümkün olabilir (Bakkal ve Savaş, 2012).

Çelik vd. başta Kyoto Protokolü olmak üzere emisyon oranlarını düşürmek için uygulanan yaptırımlar nedeniyle doğal, çevre dostu, yenilenebilir ve düşük yoğunluklu/maliyetli malzemelere ilgi her geçen gün artmaktadır. Son yıllarda mühendislik uygulamalarında keten, jüt ve sisal gibi doğal liflerin kullanıldığı çevre dostu kompozitlerin kullanımı artmıştır. Frezeleme işlemi, plaka şeklindeki parçalar için istenen boyut ve toleransları elde edebilen sıklıkla önemli bir işleme yöntemi olmuştur. Bu çalışmada, farklı yönlendirme açısına ($0^\circ/90^\circ$, $30^\circ// -60^\circ$ ve $\pm 45^\circ$), sement karpür parmak frezeler (iki, üç ve dört adet kanallı) kullanılarak incelenmiştir. Kesme kuvveti, deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğünün ilerleme hızı ve kesme hızlarından etkilendiği bulunmuştur. Ayrıca kesici takımların kanal sayısının artırılması kesme kuvvetini, deformasyon faktörünü ve yüzey pürüzlülüğünü azalttığını tespit etmişlerdir.(Çelik ve Kilickap, 2019)

Biyokompozit malzemeler, çok çeşitli özelliklere sahip birçok mühendislik uygulamasında giderek daha fazla kullanılmaktadır. Doğal lifler, bitkilerden, hayvanlardan veya minerallerden elde edilme kökenlerine göre sınıflandırılır. Bitki lifleri arasında yaprak lifleri (ananas, sisal ve abaka), çekirdek lifleri (kenevir, jüt ve kenaf), çim ve kamış lifleri (buğday, mısır ve pirinç), tohum lifleri (pamuk, kepek ve hindistancevizi), gövde liflerinden (keten, jüt, kenevir, rami ve kenaf) oluşmaktadır. (Lotfi vd., 2020).

Petrol kaynaklarının tükenmesi, plastik atık bertaraf sorunları ve yanma sırasında oluşan emisyonlar nedeniyle takviye olarak petrol bazlı sentetik lifler yerine çevre dostu doğal lifler kullanılmaktadır. Bu doğal liflerde düşük maliyeti, hafifliği ve dayanıklılığı nedeniyle matris malzemesi olarak termoplastik veya termoset malzemeler kullanılmaktadır. Demir vd., jüt takviyeli kompozitlerin çekme dayanımı üzerine oryantasyon açısı ($0/90^\circ$ ve $\pm 45^\circ$) ve matris tipinin (termoset ve

termoplastik) etkilerini incelemişlerdir. Oryantasyon açısı, kayma süresi (600, 1200 ve 1800 s) ve uygulanan yükün (5, 10 ve 15 N) tribolojik özelliklere etkisi belirlemişlerdir. Aşınma deneylerinde en etkili parametrenin yük ve kayma süresindeki artışın olduğunu ve yönlendirme açısının sadece kompozitlerin çekme dayanımı üzerinde etkili olduğu belirlemişlerdir. Aşınma deneylerinde en etkili parametrenin yük ve kayma süresindeki artışın olduğunu ifade etmişlerdir (Çelik vd., 2019).

Sentetik veya doğal lifli malzemelerin frezeleme işlemleri sırasında işlenen yüzeyde lif kopmaları, mikro çatlaklar, matris yanmaları gibi olumsuz sonuçlar gözlenmiştir. Bu durum kompozit malzemenin performansını kötü etkilemektedir (Babu, ve Gowd, 2013; Nassar vd., 2017).

Fiber takviyeli kompozitler, kullanılabilirlikleri ve dayanıklılıkları nedeniyle günlük hayatımızda çok sayıda uygulamaya sahiptir. Doğal lifli kompozitler, geleneksel malzemelerden oldukça güçlü ve daha az yoğundur. Sentetik kompozitlerden daha fazla mukavemet ağırlık oranına sahiptirler. Doğal lifli kompozitler günümüzde otomotiv, denizcilik, havacılık, inşaat endüstrileri gibi alanlarda yoğunlukla kullanılmaktadır. Delme, fiber takviyeli parçaların işlenmesinde en önemli işleme süreçlerinden biridir. Doğal lifli kompozitlerin günlük işlenmesi için, daha az miktarda deformasyonun gerçekleştirilebilmesi için optimum delme parametrelerinin belirlenmesi esastır. İşlem parametrelerinin optimize edilmesi, işleme sürecinde yüksek kalite elde etmek için önemlidir. Bu nedenle, delme parametrelerinin optimize edilmesi gerekmektedir (Rajaraman vd., 2020).

Kompozit malzemelerin işlenmesi sırasında, çeşitli zorluklar ortaya çıkar ve bu da yük altındaki kompozit parçaların performansını önemli ölçüde etkiler. Üretilen kompozit parçadaki deformasyon, özellikle havacılık endüstrisinde üretilen parçaların kullanılmamasının ana nedenlerinden biridir ve genellikle yapısal uygulamalarda kullanılmasının ana sınırlayıcılarından biridir. Kompozit malzemelerde deformasyon, esas olarak matkap ucunun giriş noktasında bulunan bölgedeki lokalize bükölme nedeniyle meydana gelir. Bu durum montaj toleranslarını ve daha sonra kompozit parçaların uzun vadeli performansını azaltır ve

yorulmaya karşı mukavemeti büyük ölçüde düşürür. Kompozit malzemelerin delinmesinde deformasyon, lif çekilmesi, kenar ufalanması, kesilmemiş lifler ve gibi hasarlar meydana gelir. Mekanik bileşenler, hasarlı delinmiş delikler, deliksiz bölgeye kıyasla kırılma direncinin gerilmede %40 ila %60 ve sıkıştırmada %15 oranında azalmasına neden olur. Daha sonra zayıf montaj toleranslarını, malzemenin yapısal bütünlüğünü ve uzun vadeli performansını azaltır. Bu tür hasarların varlığı, üretilen parçaların hasar toleransı, ömür ve dayanımı üzerinde oldukça olumsuz bir etkiye sahiptir (Suhaily vd., 2018).

Kee, yaptığı çalışmada, üç farklı tip kesici takım kullanarak kenaf takviyeli polimer kompozitlerin delinmesini araştırmışlardır. Deneyinde, kaplamasız karbür DR30, kaplamalı karbür DR30 ve kaplamasız karbür DR45 118° kesme açısına sahip matkap uçları kullanmıştır. Deneyler, 1000 ila 2000 dev/dak iş mili devri ve 0,1 ila 0,3 mm/dev ilerleme değerlerinde yapılmıştır. Deney sonuçları analizinden, iş mili devrinin artması ve ilerlemenin azalması ile deformasyonun azaldığını tespit etmiştir. Kaplamalı karbür DR30 takım ile yapılan deneylerde, deformasyon faktörü en düşük olarak elde edilmiş ve kesici takımlar arasında en iyi performansı göstermiştir. Tüm kesici takımlar için 2000 dev/dak iş mili devri ve 0,1 mm/dev ilerleme bu araştırmada delme işlemi için en iyi kesme parametreleri olarak belirlenmiştir (Kee, 2020).

Ngah. delme parametrelerinin kenaf-cam elyaf takviyeli polyester kompozitlerin deformasyonu üzerindeki etkilerini araştırdılar. Delme işleminin kompozit parçaların birbirine sabitlenmesini işleminde gerekli işlem olduğunu ve bu malzemelerin delinmesinde deformasyon gibi birtakım sorunlarla karşılaşıldığını ifade etmişlerdir. Deformasyon, kompozit üzerinde gerilme yığılmasına yol açmaktadır. Onlar çalışmalarında, kenaf-cam elyafı ile güçlendirilmiş polyester kompozitin delme işlemi sırasında kompozitin yaşadığı deformasyonun büyüklüğü ve deformasyon üzerine iş mili devri, ilerleme, matkap ucu tipi ve geometrisi gibi işlem parametrelerinin etkisine odaklanmışlardır. Sonuçlara göre en önemli parametre ilerleme olduğunu ortaya çıkarmıştır. Minimum deformasyon, 0,05 mm/dev ilerleme ve 700 dev/dak iş mili hızında elde edildiğini belirlemişlerdir (Ngah vd., 2021).

Kılıçkap vd., 0/90 ve ± 45 fiber açılı karbon fiber takviyeli plastiklerin (CFRP) yorulma ömrüne etkisi araştırmışlardır. CFRP'ler farklı ilerleme ve iş mili hızlarında, farklı geometri ve malzemelere sahip sert karbür, HSS ve Brad Spur takım tipleri kullanılarak delinmiştir. CFRP'lerin delinmesi sırasında ilerleme kuvvetleri, delme işlemlerinden sonra yüzey pürüzlülükleri, deformasyon faktörleri ve maksimum çekme kuvvetlerini ölçülmüşlerdir. İş mili hızı arttıkça ilerleme kuvveti, deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğünün azaldığını belirlemişlerdir. Ayrıca en iyi delik kalitesinin, sert karbür takım kullanılarak 5000 dev/dak iş mili hızında ve 0,05 mm/dev ilerleme hızında yapılan delme işleminden elde etmişlerdir. (Yenigun ve Kılıçkap, 2021).

Rajaraman, kenaf-muz elyaf takviyeli kompozitlerin delinmesinde delme parametrelerinin deformasyon üzerine etkilerini deneysel ve istatistiksel olarak araştırmışlardır. Onlar çalışmalarında, kenaf ve muz lifi takviyeli kompozitin delinmesi sırasında proses parametrelerinin deformasyona etkisini Taguchi yöntemi ile analiz etmişlerdir. Tungsten karbür ile kaplanmış HSS matkap uçları (5, 10, 15 mm) kullanılarak tasarlanan deneylerde iş mili hızının 3000 dev/dak ve ilerlemenin 150 mm/dak değerlerinde olduğunu belirlemişlerdir (Rajaraman, 2020).

Bhadra ve Dhar araştırmalarında doğal elyaf takviyeli epoksi nanokompozit malzemelerin delinmesinde matkabın kesme hızı, çapı ve ilerlemenin deformasyon faktörünün üzerine etkilerini araştırmışlardır. Sisal ve Hindistan cevizi hibrit nano kompozitte liflerinin ağırlık oranının, yüzey pürüzlülüğü ve deformasyon faktörünü düşürdüğü ve en iyi delik kalitesini sağladığı ve en aza indirdiği gözlemlemişlerdir (Bhadra ve Dhar, 2022).

Melese vd., delme kaynaklı hasar, kompozit malzemelerin hem işleme hem de birleştirme (mekanik bağlama) özelliklerini etkileyen önemli bir sorundur. Dokuma jüt hasır takviyeli kompozitler de delik açma işleminde büyük endişelerden biri de delme kaynaklı hasardır. Parabolik delme noktası geometrisi, deliklerin kalitesi ve daha düşük delme kuvvetleri açısından daha iyi bir performans gösterdiği deneylerle ölçmüşlerdir (Melese vd., 2021).

Çelik ve Alp, yaptıkları araştırmada doğal elyaf takviyeli kompozit malzemelerin sadece ekolojik faydalar sağlamakla kalmayıp aynı zamanda düşük ağırlıkları ile yüksek mekanik özelliklere de ulaşmaları nedeniyle kullanım alanı her geçen gün arttığına değinmişlerdir. Doğal elyaf takviyeli kompozitlerin imalatından sonra kullanım alanlarına göre frezeleme, delme ve tornalama işlemleri gibi ikincil işlemlere tabi tutulmaları gerekmektedir. Farklı işleme parametrelerinde deneyler yapılmışlar. Bu parametrelerin kesme kuvveti, titreşim genliği, deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırmışlardır. Artan iş mili hızı ile titreşim genliği ve deformasyon faktörü arttığını, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü azaldığını tespit etmişlerdir. Artan ilerleme hızı ile kesme kuvveti, titreşim genliği, deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü arttığını belirlemişlerdir (Çelik ve Alp, 2022).

John ve Kumaran, işleme parametrelerinin doğal liflerle güçlendirilmiş kompozitlerin yüzey kalitesine etkilerini araştırmışlardır. Doğal elyaf takviyeli kompozitlerin frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve deformasyon problemlerini en aza indirmek için, işleme parametrelerinin (iş mili hızı ve ilerleme) ve malzeme kaldırma kinematiğinin etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmada, kenaf, jüt ve pirinç kabuğu takviyeli polipropilen kompozitlerin parmak frezeleme sırasında işleme parametrelerinin işlenmiş yüzey kalitesi ve deformasyon faktörü üzerindeki etkileri analiz edilmiştir (John ve Kumaran, 2020).

Doğal lifli kompozitlerin (DLK) işlenmesi, mekanik olarak homojen olmayan yapı, yüksek aşındırıcılık ve sert takviyeli lifler nedeniyle oldukça karmaşık bir iştir. Talaşlı imalat süreçlerinde, özellikle deformasyon, fiber soyulma, fiber sıyrılma, parçalanma, delik büzülmesi, tüylenme ve termal bozunma dahil olmak üzere, birçok önemli problem karşılaşılr. Delme işleminin neden olduğu istenmeyen hasarlar, kompozitlerin uzun vadeli performansı için son derece zararlı olabilecek yorulmaya karşı mukavemetin düşmesine neden olur. Bu nedenle, kompozitlerde takviye veya dolgu olarak kullanılan lif türleri ve bunların mekanik ve termal özelliklerinin yanı sıra işleme parametrelerinin ve kesici takımların seçimine daha fazla dikkat edilmelidir. Bir kompozitin işlenebilirliğinin, fiber oryantasyonu, fiberin yüzey

özellikleri, hacim oranı, fiziksel ve fiberin mekanik özelliklerinin yanı sıra kompozitin yapısı gibi parametreler belirler. Bu nedenle, her bir parametrenin bu tür malzemelerin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerinin araştırılması ve kesme mekanizmasındaki rollerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. İlerleme hızı, kesme hızı, matkap tipi, matkap çapı gibi işleme parametrelerinin ve imalat yöntemi, lif hacim oranı ve lif yönü gibi imalat parametrelerinin doğru seçilmesiyle, işlenmiş kompozitlerde boyutsal ve montaj gereksinimlerini karşılamak için arzu edilen kalite sağlanabilir (Lotfi vd., 2021).

DLK'lerin heterojen ve anizotropik doğası nedeniyle, delme davranışı metallere farklıdır. DLK'lerin delme davranışının oldukça karmaşık olduğunu ve üstün kaliteli delikler üretmek için işlem mekanizmasının daha iyi anlaşılmasını gerektirdiğini bilmek gerekir. Deformasyon, parçalanma, yüzey pürüzlülüğü, lif çekilmesi, ufalanma vb. nedenlerle delme hasarları meydana gelir. Bu tür hasarların önemli nedenleri daha yüksek delme kuvvetleri ve sıcaklıktır. Zayıf katmanlar arası yapıştırma, kompozitlerin mekanik ve işleme performansını da etkiler. Karbon, aramid, cam vb. gibi sentetik liflere dayalı polimer kompozitlerin işlenebilirliğine odaklanan bir dizi araştırma çalışması rapor edilmiştir, ancak doğal liflere dayalı kompozitin delme karakterizasyonunun analizi henüz başlangıç aşamasındadır (Singh, 2021).

DLK'lerin tek başlarına kullanılabildikleri gibi hibrit olarak da kullanılabilmektedirler. Mekanik testlerden edilen sonuçlar doğrultusunda, hibrit takviyeli kompozitin diğer kompozit tabakalara nazaran mukavemet, talaşlı işlem, su emme oranı ve montaj işlemleri göz önüne alındığında daha iyi performans sergilediğini belirlemişlerdir. Biyolojik tabanlı Kompozit malzemelerin geleceğin yapısal malzemeleri olarak kullanılacak olması bu alanda yapılan çalışmalara hız vermiştir (Yan vd.,2014). Hindistan cevizi kompozitleri jüt ve kenaf kompozitlerinden daha yüksek darbe mukavemeti göstermiştir (Chandramohan ve Marimuthu, 2011).

Jüt, kenevir ve kenaf gibi doğal liflerin işlenmesi ve içsel özellikleri cam, aramid veya karbon lifleri gibi inorganik liflerinkinden çok farklı olduğundan, doğal lifli kompozitlerin kalıplanması inorganik liflerin kalıplanmasına göre zorlu bir görev

olabilir. Doğal lifleri işlerken göz önünde bulundurulması gereken ana hususlar, higroskopik davranışları ve matris olarak kullanılabilecek reçine seçimlerini etkin bir şekilde sınırlayan yüksek sıcaklığa karşı düşük dirençleridir. Neyse ki, doğal lifli kompozitlerin oluşturulmasına yönelik teknikler, geleneksel inorganik lifli kompozitler için kullanılanlara nispeten benzerdir, bu da endüstrilerin çeşitli uygulamalar için doğal lifli kompozitleri benimsemesini kolaylaştırmıştır. Talaşlı imalat esnasında artan takım ucu hızının hasar faktörünü kötüleştirdiği ve parmak frezede lif takviyeli kompozitte plastik deformasyonun arttığını gözlemlenmiştir (Erkan ve Yücel, 2018).

Lif takviyeli plastiğin işlenmesinde ilerlemenin kesme hızından ziyade deformasyonu etkilediği ve polimer kompozitin işlenmesini incelendiğinde yüksek kesme hızı ile daha iyi bir yüzey kalitesi elde edilebileceği görülmüştür (Abrão vd., 2007).

Yapılan çalışmalar, parçaların montajında son işleme sürecinde delmenin oldukça önemli olduğunu ortaya koymuştur. Malzemelerin izotropik olamayan doğası nedeniyle fiber takviyeli matrislere sahip kompozitlerde delme yapmak zordur. Günümüzde fiber bazlı kompozitte deformasyonsuz delik delme, araştırmacıların karşılaştığı zorlu bir görevdir. Bu durum delme işlemi için alternatif teknolojinin düşünülmesine yol açmaktadır. Ayrıca, farklı geometriye sahip matkap uçlarının, önceden delinmiş delik, destek plakası ve farklı geleneksel olmayan delme tekniklerinin uygulamaları incelenmesine ihtiyaç doğurmuştur. Fiber takviyeli kompozitlerdeki destek plakaları, delik duvarlarını soyularak deformasyona karşı koruduğu tespit edilmiştir. Deformasyon, lineer elastik kırılma modeli ve üç boyutlu sonlu eleman modeli olmak üzere iki yöntemle analiz edilmiştir. Sonuçlar, kevlar esaslı kompozitte, negatif uç açılı yüksek hız çeliği matkap ucu ile delmenin başarılı bir şekilde yapıldığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, delme sırasında sıcaklığın etkisi kompozit numunede deformasyona neden olur. Takım ilerlemesinin ve matkabın çapının, delme işleminin genel performansına daha fazla katkıda bulunduğunu ortaya koymaktadır (Mohan Kumar vd., 2021).

Bazı araştırmacılar, kompozitlerin frezelenmesinde kesme derinliğinin etkisinin kesme hızı ve ilerleme hızı kadar önemli olmadığını, ancak yine de işleme süreci üzerinde önemli bir etki sağladığını ve bunlara ek olarak kesici takım tarafından açılan kanalı daha pürüzsüz hale getirdiği ifade etmişlerdir (Palanikumar, 2007; Ramulu ve Arola, 1994). İşleme parametrelerinin uygun olarak seçimi iş parçasının yüzey kalitesini belirleyen bir faktördür (Erkan ve Yücel, 2018). Davim ve Reis çalışmalarında, ilerleme hızının diğer işleme parametrelerinden daha fazla etkin olduğunu hem deneysel hem de istatistiksel olarak belirtmişlerdir (Davim ve Reis, 2005).

Sosiati vd., kenaf ve cam liflerinden üretilen hibrit kompozitlerin sadece camdan üretilen kompozitlerden 120 MPa daha yüksek gerilme kuvveleri sergilemişlerdir (Sosiati vd., 2018). Deformasyon faktörü konusunda kesici takım geometrisi ve frezeleme parametreleri, kenaf lif takviyeli plastik kompozitin frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğü değerini ve deformasyon faktörünü etkileyen başlıca faktörlerdir. Çalışmalarında, frezeleme işlemi sırasında kesme parametreleri ile bunların kenaf takviyeli plastik kompozit malzemeler üzerindeki etkileri arasındaki ilişkinin araştırılmasına odaklanmışlardır. 16 m/dk kesme hızı, 0.1 mm/dev ilerleme hızı ve 2 mm kesme derinliğinde yapılan talaşlı işlem sonucunda daha iyi bir yüzey elde edildiğini belirtmişlerdir. İlerleme hızı ve kesme hızının, yüzey pürüzlülüğüne ve deformasyon faktörüne en büyük katkıyı yaptığı tespit etmişlerdir. Farklı uç geometrilerine sahip takımlarla yapılan talaşlı işlemenin kenaf lif takviyeli plastik kompozit malzemelerin frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğünü ve deformasyon faktörünü etkilediği belirtilmiştir (Azmi vd., 2021).

Kompozitler, tek yönlü özelliklerinden dolayı deformasyona ve lif kopmalarına eğilimlidir. Deformasyon kusurları mevcut olabilir, yani delinmiş delikte soyulma ve aşağı itme deformasyonu gibi doğal lif esaslı kompozitte deformasyonun ölçümü ya doğrudan ya da dolaylıdır. Dolaylı ölçüm, üretilen talaş, hasar genişliği, yüzey pürüzlülüğü ve deformasyon faktörlerini ölçer. Ölçüm, delme işlemi sırasında oluşan kesme kuvveti ve kesme momenti değerlendirilmesini içerir. Deformasyonun doğrudan değerlendirme yöntemlerinin çoğunda, dikkate alınan temel parametre deformasyon faktörüdür. Deformasyon, temel olarak aşağı itme ve soyma

deformasyonu olmak üzere iki türe ayrılır. Delme işlemi sırasında kusurları önlemek için aşağıdaki parametrelerin uygun olduğu kabul edilir: delme hızı, ilerleme oranı, takım geometrisi ve malzemesi. Kademeli matkap geometrisi kullanılarak düşük delme hızında delme sırasında daha az eksenel kuvvet ve deformasyon faktörü tespit edilir. Artan kesme hızı ile deformasyon faktörünün azaltıldığı belirtilmiştir (Mohan vd., 2021).



2. DOĞAL LİFLER

Doğal lifler, yenilenebilir ve doğal kaynaklardan elde edilmiş ve petrol bazlı malzemelerin ve suni liflerin yerini alacak yeni nesil takviye elemanlarıdır. Saplardan, yapraklardan, bitki gövdelerinden, meyvelerden ve tohum bitkilerinden elde edilen doğal lifler, fiziksel, mekanik ve benzersiz yüzey özelliklerine sahiptir.

Çevresel etkilerden, ekonomik faydalardan ve üretimdeki düşük enerji talebi nedeniyle doğal lif takviyeli kompozitlerin kullanımı sürekli olarak artmaktadır. Doğal lifler, bitkilerden, hayvanlardan ve minerallerden elde edilmektedir (Tablo 2.1).

Tablo 2.1 Doğal liflerin sınıflandırılması(Hodzic ve Shanks, 2014; Özdemir, 2019)

Doğal Lifler		
Bitki Kökenli	Gövde Lifi	Keten Jüt Bambu Muz Kenaf Rami
	Yaprak Lifi	Abaca Ananas Sisal
	Sap Lifi	Mısır Buğday Arpa Yulaf Pirinç Çavdar
	Tohum Lifi	Pamuk Kepek Pirinç kabuğu
	Meyve Lifi	Hindistan cevizi
Hayvan Kökenli	Salgı Kaynaklı	İpek Örümcek Ağı
	Kıl Kaynaklı	Yün Kaşmir Keçi Kılı Kaşgora
Mineral Kökenli	Asbest	Lifli Burusit İnorganik

Elyaf bitki türleri, kompozit malzemelerin nihai özellikleri üzerinde büyük önem taşımaktadır. Bu özelliklerden başlıcaları;

1. Fiziksel özellikler

- ✓ Nem emme
- ✓ Morfolojik yapı
- ✓ Parçalanabilirlik
- ✓ Yoğunluk

2. Mekanik özellikler

- ✓ Çekme mukavemet
- ✓ Basma mukavemeti
- ✓ Eğilme mukavemeti
- ✓ Makaslama mukavemeti
- ✓ Yorulma mukavemeti
- ✓ Süneklik
- ✓ Young modülü
- ✓ Poisson oranı
- ✓ Sertlik
- ✓ Sürünme direnci

3. Termal özellikler

- ✓ Termal genleşme katsayısı
- ✓ Termal iletkenlik
- ✓ Özgül ısı kapasitesi

4. Kimyasal özellikler

5. Elektriksel özellikler

6. Üretim özellikleri

- ✓ Kolay işleme
- ✓ Sertleştirme kabiliyeti
- ✓ Şekillenebilirlik
- ✓ Mevcudiyet
- ✓ Birleştirme teknikleri

7. Çevresel Etki

8. Maliyet'tir (Çelik vd., 2019; El Messiry, 2017).

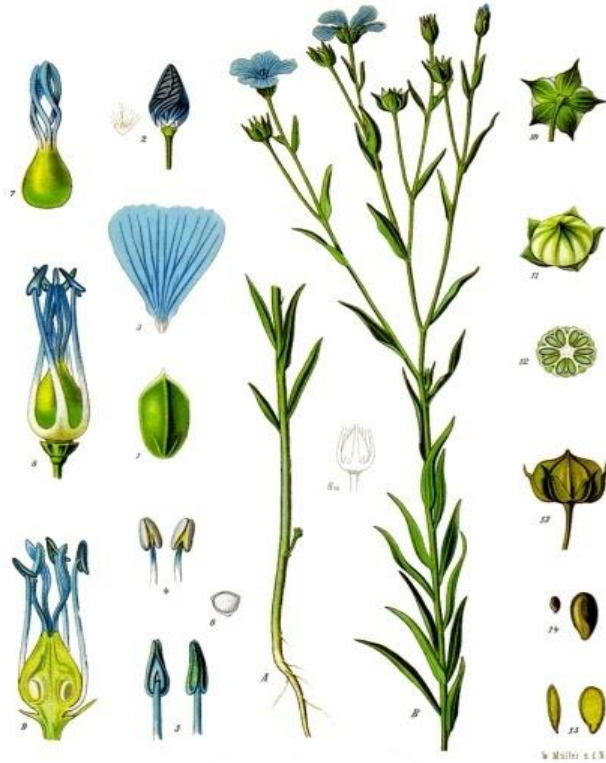
Endüstride kullanılan malzemelerin seçiminde, malzemeye ait özelliklerin birbiri ile uyumu aranmaktadır. Bunlar;

- Young modülü/yoğunluk ilişkisi
- Spesifik young modülü-özgül mukavemet ilişkisi
- Termal iletkenlik-genleşme katsayısı ilişkisi
- Doğal frekans- yoğunluk ilişkisi
- Maksimum çalışma sıcaklığı – mukavemet ilişkisi
- Mukavemet-uzama ilişkisi
- Güç-maliyet ilişkisi
- Spesifik rijitlik-özgül mukavemet ilişkisi (Çelik vd., 2019; El Messiry, 2017).

2.1 Gövde lifi bitkiler

2.1.1 Keten

Keten (*linum usitatissimum*), ketengiller familyasından cinsinin en yaygın türüdür (Şekil 2.1). Haziran-Ağustos ayları arasında ipeğe benzeyen, maviye yakın veya sarı renkli çiçekler açan bir bitkidir. 15 ila 60 santimetre arasında boylanırlar. Tohumu ve lifi için yetiştiriciliği yapılan bitkinin doğal ve kültür yöntemi ile yetiştiriciliği bulunur. Yaprakları sapsızdır, yeşil renklidirler, dik veya yatık gövde üzerinde dizilmişlerdir. Ketenin kimyasal yapısında; %10 su %3 pektin ve %80 selüloz bulunmaktadır. Keten neredeyse her çeşit toprak türünde yetişebilir. Lif ketenleri olgunlaşmadan toplanır ve gövdeler iyice ezilerek lifleri çıkarılır. Demet halinde hazırlanırlar ve havuzlara batırılarak bekletilirler. Taraklardan geçirilerek işlenir, düzleşmesi sağlanır ve kullanılmak üzere sarılarak yumak haline getirilir. Maliyeti düşüktür ve cam elyafı ile karşılaştırılabilir mekanik özelliklere sahiptir. Keten elyaf ile termoplastik, termoset ve biyolojik olarak parçalanabilen matrislerle yapılan kompozitler iyi mekanik özellikler sergilemektedirler.



Şekil 2.1 Keten bitkisinin çiçek yapıları

2.1.2 Jüt

Jüt, corchours türlerinden üretilen bir çeşit lif bitkisidir. Ticarete kullanılan jüt, corchours capsularis ve corchours olitorius olmak üzere iki farklı türdeki bitkiden elde edilir. Bu bitkiler bir sene içerisinde 2-4 metre boyuna ulaşır. Dünyada jüt üretiminin neredeyse tamamına yakını Hindistan'a ve Bangladeş'te yapılmaktadır. Bu ülkeleri ise Çin, Özbekistan ve Nepal takip eder. Jüt toplaması oldukça zor bir bitkidir. Bitki üç ayda yetişkin hale gelir ve çiçek açtığı vakit toplanması gerekir. Tohum ihtiva eden mahsul oldukça ağırdır ve lifleri kalınlaşmış ve sertleşmiştir. Toplanan jüt bitkisi balyalanarak havuzlara atılır. Havuzların üzeri ormandaki bitkiler ve hayvanlara ait dışkıları ile kapatılarak bekletilir. Bu kirli ve havasız ortam içerisinde jüt kabukları çürüyerek ayrılır ve liflerin işlenmesine izin verir. Bundan sonraki işlemlere fabrikalarda makinelerle devam edilir. Tıpkı pamuk ipliği işlenmesinde kullanıldığı gibi taraklardan geçirilerek kirlerinden arındırılır ve tamamen liflerine ayrılır, ip olarak bobinlere sarılır. Jüt bitkisine ve işleme sürecine ait görsel Şekil 2-2' verilmiştir.



Şekil 2.2 Jüt Bitkisi Ve İşleme Süreci

2.1.3 Bambu

Bambu (Bambusoideae), buğdaygiller familyasının 1200'e yakın alt üyesinden biridir. Buğdaygiller familyasının üyeleri genelde birbirlerinden çok farklı görsel özelliklere sahip olabilirler. Bambu türleri Afrika'da, Asya'da, Amerika'da ve Çin'de yetişirler. Bambu 75-80 cm kalınlığa ve 35 metre üzerinde uzunluğa ulaşabilirler. Bazı türleri nadiren çiçek açarlar ki bu sıklık yüz yıla kadar uzayabilir. Bambu bitkisine ait görsel Şekil 2-3'te verilmiştir.



Şekil 2.3 Bambu Bitkisi

2.1.4 Muz

Anavatanı Güneydoğu Asya'nın tropikal bölgeleri olan muz ilk olarak Papua Yeni Gine olarak yetiştirildi. Besin maddesi olarakda meyve kısmından yararlandığımız bitkinin bazı bölgeleri; evinizi süsleyip giyim eşyası olarak da kullanılmasının yanında içerdiği doğal lifler sayesinde kompozit teknolojisinde de hak ettiği ilgiyi bulmuştur. Muz liflerinin nem emici olma özelliği bu liflerin nem oranı yüksek iklim şartlarında üretilecek malzemelerde kullanılmasına olanak tanır. Ülkemizde Akdeniz bölgesinde de son yıllarda muz bitkisi meyvesi dışında gövdesinden elde edilen lifler için de üretilmeye başlamıştır. Muz ağacının gövde liflerini gösteren görsel şekil 2-4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Muz Bitkisi

2.1.5 Kenaf

Kenaf (*Hibiscus cannabinus*) Doğu ve Orta Afrika'ya özgü bir lif bitkisidir. Halat, sicim, torba ve kilim gibi ürünler için tekstil ürünü olan kenaf kompozit üretimi içinde oldukça uygun bir lif kaynağıdır. Dikiminden hasatına kadar 120 gün geçmektedir. Dikimi takip eden 2-4 gün içerisinde filizlenen kenaf, ortalama bir hasat döneminde 1000 m² bir dikim alanında ortalama 60 ton gibi yıllık ürün sunarak

kompozit üretimde sağladığı başarıyı ticari bir tarım ürünü olarak da sürdürmektedir. Kenaf bitkisine ait görsel Şekil 2-5 gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Kenaf Bitkisi

2.1.6 Rami

Ramie, yaklaşık 100 tür içeren Urticaceae (Boehmeria) familyasına aittir. Ramie'nin tekstil elyafı olarak popülaritesi, büyük ölçüde üretim bölgeleri ve ticari olarak önemli olan diğer bast elyaflarından beklenenden daha kapsamlı ön işlem gerektiren kimyasal bir bileşim ile sınırlandırılmıştır.



Şekil 2.6 Rami Bitkisi

2.2 Doğal Liflerin Bazı Özellikleri

Kompozit malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri esas itibariyle liflerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin bir fonksiyonu olan takviye cinsine bağlıdır. Kompozit malzemenin özellikleri, uygulanan yüke, takviye açısına, matris malzemesine, ortam şartlarına vb. durumlara bağlı olarak değişmektedir. Bazı bitkisel liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 2.2’de verilmiştir (Kılıçkap, 2018)

Tablo 2.2. Bazı bitkisel liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri (Faruk, 2012; Kumar, 2020)

Elyaf	Kopma mukavemeti (MPa)	Young modülü (GPa)	Kopma uzaması (%)	Yoğunluk (gr/cm ³)
Abaka	400	12	3-10	1,5
Bambu	140-230	11-17	-	0,6-1,1
Keten	345-1035	27,6	2,7-3,2	1,5
Kenevir	690	70	1,6	1,48
Jüt	393-773	26,5	1,5-1,8	1,3
Kenaf	930	53	1,6	-
Sisal	511-635	9,4-22	2,0-2,5	1,5
Rami	560	24,5	2,5	1,5
Ananas	400-627	1,44	14,5	0,8-1,6
Hindistan Cevizi	175	4-6	30	1,2
Palmiye	248	3,2	25	0,7-1,55

3. MATERYAL VE YÖNTEM

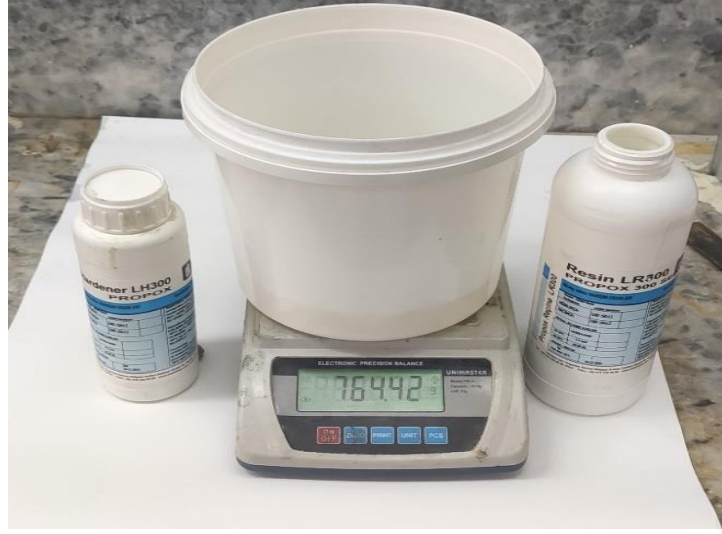
Bu bölümünde, deneylerde kullanacağımız farklı yönlendirme açılarına ($0^\circ/90^\circ$, $30^\circ/-60^\circ$ ve $\pm 45^\circ$) sahip kenaf elyaf takviyeli kompozit numuneler vakum infüzyon yöntemi üretimi ve delinmesinin ayrıntıları ve deneysel prosedür açıklanmıştır.

3.1 Kenaf Lif Takviyeli Plastik Kompozitin Üretilmesi

Deneysel çalışmada, kenaf dokuma kumaş takviye malzemesi olarak kullanıldı. Kenaf kumaşlar 200 mm x 400mm boyutlarında olup 140 g/m^2 ağırlığındadır. Matris malzemesi olarak; Propox Resin LR300 epoksi reçine ve Propox Resin LH300 sertleştirici seçilmiştir. Reçine, üretici firmasının önerdiği karışım oranına göre 100 gr epoksi içerisine 50 gr sertleştirici ilave edilerek hazırlanmıştır. Propox Resin LR300 epoksi reçine $1,15 \text{ g/cm}^3$, Propox Resin LH300 epoksi sertleştirici $1,05 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda viskoziteleri 600-900mPas'tır. Epoksi reçine ile sertleştiricinin karışım oranı ağırlıkça $100:50 \pm 2$ g'dır. Takviye malzemesi ve matris malzemesine ait görseller Şekil 3.1 ve 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.1 Kenaf dokuma kumaş



Şekil 3.2 Reçine ve sertleştiricinin belirtilen oranda karıştırılması

Kompozit malzemeler 1200mmx1500mm çalışma tablasına sahip XX marka vakum infüzyon cihazında üretildi (Şekil 3.3). Cihazın tablası 24-120°C çalışma sıcaklığına sahip olup istenilen sıcaklığa ayarlanabilmektedir. Vakum infüzyon cihazında vakumun gerçekleştirilmesi için, 0.2 Pa, 1Hp, 220 V ve 50 Hz özelliklerinde vakum pompası bulunmaktadır.



Şekil 3.3 Vakum İnfüzyon Cihazı (VIC)

Nemden arındırılmış kenaf dokuma $0^\circ/90^\circ$, $30^\circ/-60^\circ$ ve $\pm 45^\circ$ yönlendirme açlarına sahip olacak şekilde kesildi ve kompozitin üretimine başlandı. 12 tabakadan oluşacak kompozitin üretim aşamalarına ait görseller Şekil 3.4’te verilmiştir.



Şekil 3.4 KETP malzemenin üretim aşaması

3.2 Deneylerde Kullanılan Makine ve Cihazlar

3.2.1 Statik çekme deneyi

Vakum infüzyon yolu ile üretilen $0^\circ/90^\circ$, $30^\circ/-60^\circ$ ve $\pm 45^\circ$ yönlendirme açlarına sahip KETP kompozit numunelerin çekme testleri Dicle Üniversitesi Merkezi laboratuvarında bulunan, kapasitesi 10 kN yük kapasitesine sahip Instron marka BS8801 tipindeki universal test cihazında (Şekil 3.6.) gerçekleştirilmiştir. Deneyler 1mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir. KETP kompozit numuneler, cihazın çenelerine bağlandıktan sonra numunelerin yük-uzama verileri bilgisayara aktarılmış ve kaydedilmiştir. Daha sonra bu veriler kullanılarak deneylere ait grafik oluşturulmuştur.



Şekil 3.5 Instron 8801 Statik Çekme Test Cihazı

3.2.2 Delme işleminde kullanılan takım tezgâhı

Farklı yönlendirme açlarına ($0^\circ/90^\circ$, $30^\circ/-60^\circ$ ve $\pm 45^\circ$) sahip kompozitlerin delinmesi deneyleri Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Talaşlı İmalat Laboratuvarında bulunan Brother marka Speedio S500X1 model işleme merkezi kullanılarak gerçekleştirildi. Bu işleme merkezinin maksimum devri 10.000 dev/dak olup motor gücü 9.5kW'tır (Şekil 3.6).



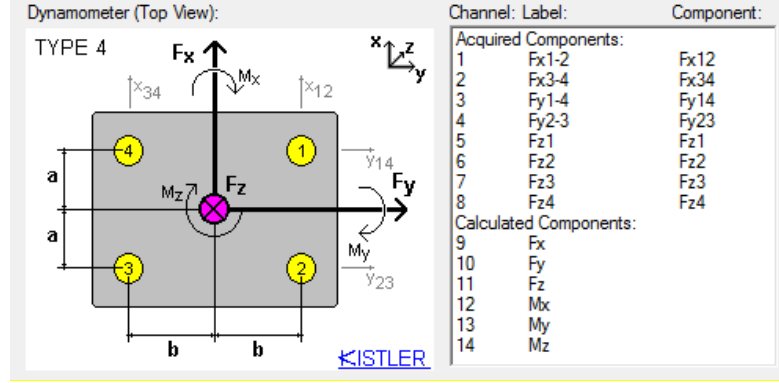
Şekil 3.6 KETP Kompozitlerin Delinmesinde Kullanılan Dik İşlem Merkezi

3.2.3 KETP kompozitlerin delinmesinde kesme kuvvetinin tespiti

KETP kompozitlerin delinmesi esnasında kesme kuvvetlerinin belirlenmesi için Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan üç eksenli Kistler 9257B tipi dinamometreden faydalanılmıştır. Kistler 9257B tipi dinamometre Brother marka S500X1 model dik işleme merkezinin tablasına sabitlenmiştir. Dinamometreden alınan kuvvet verileri, bilgisayara bağlı bir analog-dijital dönüştürücü olan Kistler marka 5070A model yükseltici aracılığıyla dönüştürülmüş ve Kistler DynoWare 2825D-02 yazılımına aktarılarak kesme kuvveti grafikleri elde edilmiştir. Dinamometrenin tezgâh ve bilgisayara bağlanmış görüntüsü Şekil 3.7’de, Kistler Dinamometre bileşenleri Şekil 3.8’de ve Kistler marka 9257B model dinamometreye ait özellikler Tablo 3.1’de verilmiştir (Kistler 9257B, 2018).



Şekil 3.7 Kesme kuvvetinin ölçülmesi



Şekil 3.8 Dinamometre üzerindeki kuvvet bileşenleri

Tablo 3.1 Kistler 9257B dinamometrenin özellikleri

Özellikler	Birimi	Type 9257B
Ölçüm aralığı (F_x , F_y , F_z)	kN	-5.00, 10.0
Eksen sayısı	-	3
Ölçüm modu	-	Direkt
İşlem sıcaklık aralığı	°C	0...70
Boyut	mm	170x100x60
Koruma derecesi	IP	67

3.2.4 KETP kompozitlerin delinmesinde sıcaklık ölçümü

KETP kompozitlerin delinmesi esnasında kesme sıcaklığının belirlenmesi için Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan TESTO 831 kızılötesi termometre kullanılmıştır (Şekil 3.9.).



Şekil 3.9 Testo 831 kızıl ötesi sıcaklık ölçüm cihazı

3.2.5 Deformasyonun ölçümü ve deformasyon faktörünün belirlenmesi

KETP kompozitlerin delinmesinde, malzemenin giriş ve çıkışında oluşan deformasyonun belirlenmesi için Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan 5 megapiksel çözünürlüğüne sahip Dino-Lite AM7915MZT dijital mikroskop kullanılmıştır (Şekil 3.10.).

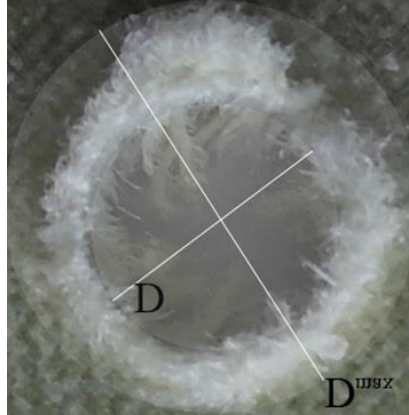


Şekil 3.10 Dino-Lite AM7915MZT dijital mikroskop

KETP kompozitlerin delinmesinde delik çevresinde meydana gelen deformasyon faktörünü hesaplamak için, deformasyon bölgesindeki maksimum çapın (D_{maks}) ölçülmesi gerekmektedir (Şekil). D_{maks} ölçüldükten sonra aşağıda verilen eşitlik 3.1 kullanılarak deformasyon faktörü hesaplanmaktadır (Arul vd., 2006).

$$Fd = \frac{D_{maks}}{D_{min}} \quad (3.1)$$

Burada, D_{maks} deformasyon alanındaki maksimum çapı ve D_{min} ise matkap çapını ifade etmektedir (Şekil 3.11.).



Şekil 3.11 KETP üzerinde oluşan deformasyonun görüntüsü

3.2.6 Delme deneyi

0°/90°, 30°/-60° ve ±45° yönlendirme açılarına sahip kenaf elyaf takviyeli kompozit 1000, 2000 ve 3000 dev/dak iş mili devrinde ve 0.5, 0.1 ve 0.15 mm/dak ilerleme değerlerinde delme işlemine tabi tutulmuştur. Deneyler, Tablo 3.2’de verilen sıralama ile yapılmıştır.

Tablo 3.2 Deneylerde kullanılan malzeme ve parametreler

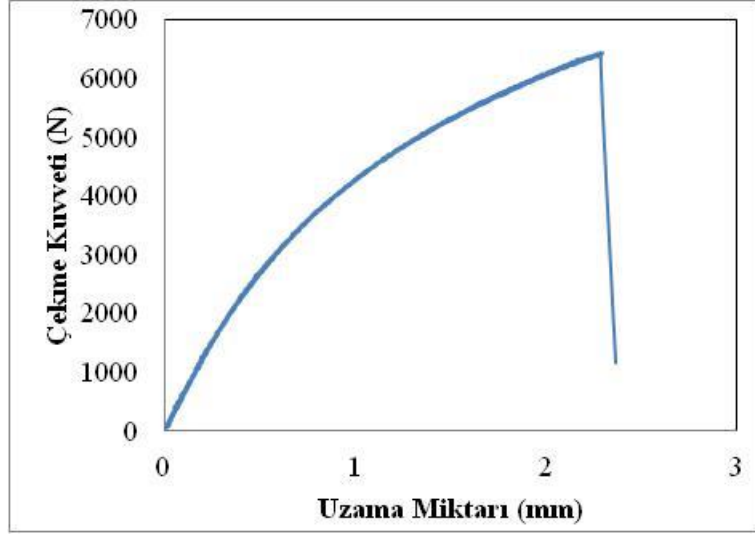
Deney No.	Malzeme Yönlendirme Açısı	İş Mili Devri n, (dev/dak)	İlerleme f, (mm/dev)
1	0°/90°	1000	0.05
2	0°/90°	1000	0.1
3	0°/90°	1000	0.15
4	0°/90°	2000	0.05
5	0°/90°	2000	0.1
6	0°/90°	2000	0.15
7	0°/90°	3000	0.05
8	0°/90°	3000	0.1
9	0°/90°	3000	0.15
10	30°/-60°	1000	0.05
11	30°/-60°	1000	0.1
12	30°/-60°	1000	0.15
13	30°/-60°	2000	0.05
14	30°/-60°	2000	0.1
15	30°/-60°	2000	0.15
16	30°/-60°	3000	0.05
17	30°/-60°	3000	0.1
18	30°/-60°	3000	0.15
19	±45°	1000	0.05
20	±45°	1000	0.1
21	±45°	1000	0.15
22	±45°	2000	0.05
23	±45°	2000	0.1
24	±45°	2000	0.15
25	±45°	3000	0.05
26	±45°	3000	0.1
27	±45°	3000	0.15

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Üretilen KETP kompozit malzemelerin, önce çekme deneyi yapılarak çekme kuvvetleri belirlendi. Daha sonra bu malzemelerin delme deneyleri yapıldı. $0^{\circ}/90^{\circ}$, $30^{\circ}/-60^{\circ}$ ve $\pm 45^{\circ}$ yönlendirme açılarına sahip KETP kompozitlerin çekme deney sonuçları ve delme işlemi esnasında ve sonrasında elde edilen kesme kuvveti, deformasyon faktörü, kesme sıcaklığı sırası ile aşağıdaki bölümlerde verildi.

4.1 KETP Kompozitlerin Çekme Deneyi

$0^{\circ}/90^{\circ}$, $30^{\circ}/-60^{\circ}$ ve $\pm 45^{\circ}$ yönlendirme açılarına sahip KETP kompozitlerin çekme deneylerinden elde edilen çekme kuvveti değerleri çekme grafiği haline getirilerek, $0^{\circ}/90^{\circ}$ ait grafik, çekme deneyine ait resim ve çekme numunesinin kırılma resmi Şekil 4.1.-4.3.'te sırasıyla verilmiştir. Benzer şekilde $30^{\circ}/-60^{\circ}$ ait grafik, çekme deneyine ait resim ve çekme numunesinin kırılma resmi Şekil 4.4.-4.6.'da ve $\pm 45^{\circ}$ yönlendirme açına sahip KETP kompozitlere ait grafik, çekme deneyine ait resim ve çekme numunesinin kırılma resmi Şekil 4.7.-4.9.'da sırasıyla verilmiştir.



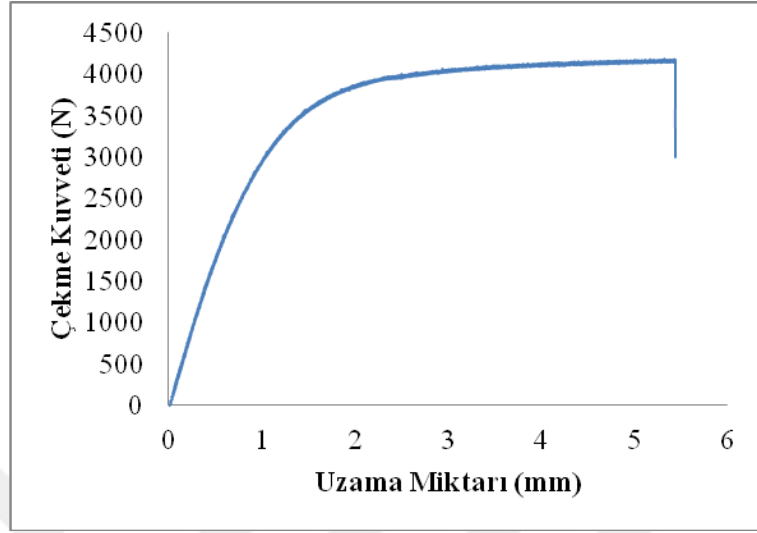
Şekil 4.1 0°/90° KETP kompozitin Çekme Kuvveti-Uzama Grafiği



Şekil 4.2 0°/90° KETP kompozitin çekme deneyi



Şekil 4.3 0°/90° KETP kompozite ait kırılmış yüzey resmi



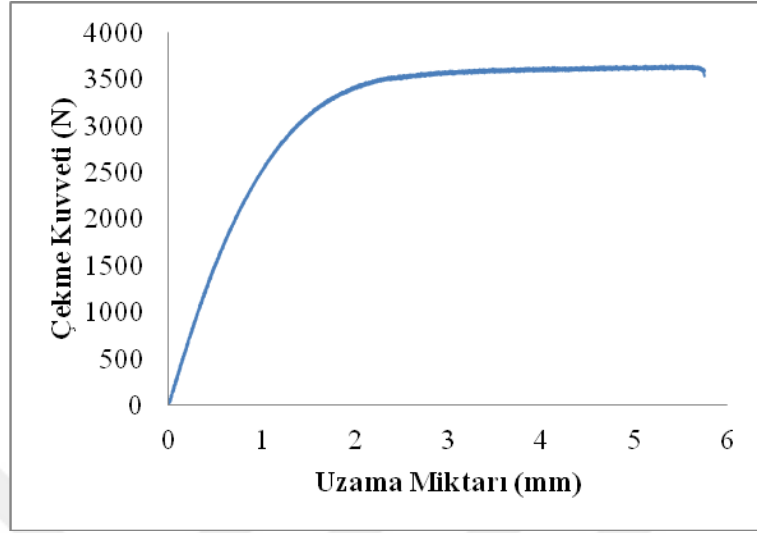
Şekil 4.4 30°/-60° KETP kompozitin Çekme Kuvveti-Uzama Grafiği



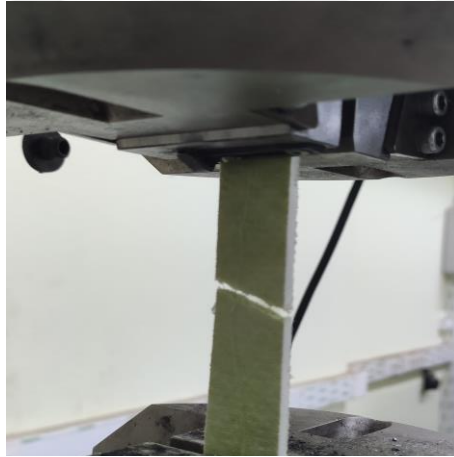
Şekil 4.5 30°/-60° KETP kompozitin çekme deneyi



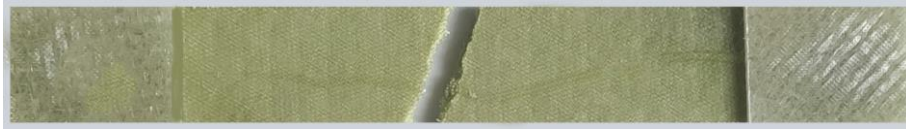
Şekil 4.6 30°/-60° KETP kompozite ait kırılmış yüzey resmi



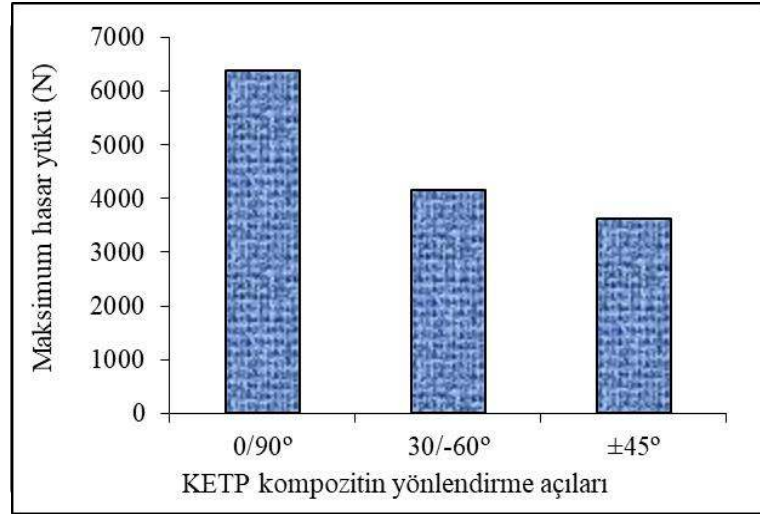
Şekil 4.7 $\pm 45^\circ$ KETP kompozitin Çekme Kuvveti-Uzama Grafiği



Şekil 4.8 $\pm 45^\circ$ KETP kompozitin çekme deneyi



Şekil 4.9 $\pm 45^\circ$ KETP kompozite ait kırılmış yüzey resmi



Şekil 4.10 Yönlendirme açısına bağlı olarak maksimum hasar yükü

0°/90°, 30°/-60° ve ±45° yönlendirme açılarına bağlı olarak KETP kompozitlerin çekme deneylerinde elde edilen maksimum çekme kuvvetleri sırasıyla 6379 N, 4159 N ve 3627 N olarak elde edilmiştir. En yüksek çekme kuvveti değeri 0°/90° yönlendirme açısına sahip KETP kompozitlerin çekme deneylerinden elde edilirken en düşük çekme kuvveti ±45° yönlendirme açısına sahip KETP kompozitlerin çekme deneylerinden elde edilmiştir. 30°/-60° yönlendirme açısına sahip kompozitlerin çekme deneylerinden elde edilen çekme kuvveti, 0°/90° ve ±45° yönlendirme açılarına sahip KETP kompozitlerin çekme kuvveti arasında bir değerde çıkmıştır. 0°/90° yönlendirme açısına sahip KETP kompozitlerin çekme kuvvetinin büyük çıkmasının nedeni, numunenin çekme yönünde liflere sahip olmasındandır. ±45° yönlendirme açılarına sahip KETP kompozitlerin çekme kuvvetinin düşük çıkması ise elyaf yönlendirme açılarının asal kayma düzleminde olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 4.3, 4.6 ve 4.9'dan görüldüğü gibi çekme numunelerinin kırılma şekilleri, malzemelerin yönlendirme açılarına benzer şekilde çıkmıştır.

4.2 0°/90°, 30°/-60° ve ±45° KETP Kompozitlerin Delinmesi

0°/90°, 30°/-60° ve ±45° yönlendirme açılarına sahip KETP kompozitlerin farklı iş mili devri ve ilerleme gibi delme parametrelerinde elde edilen kesme kuvveti, kesme sıcaklığı ve deformasyon faktörüne ait deney sonuçları Tablo 4.1.'de toplu halde verilmiştir.

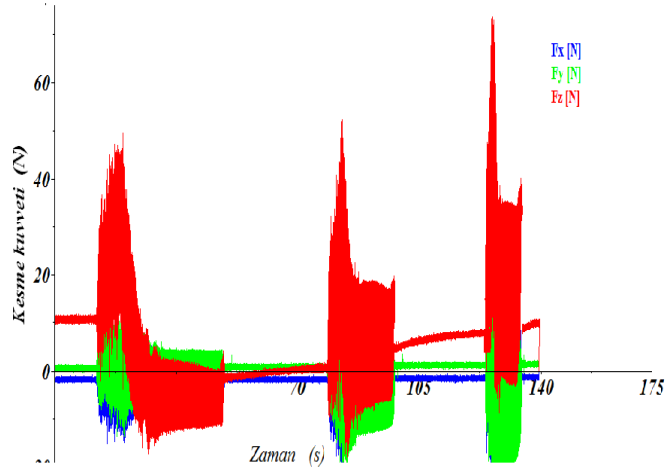
Tablo 4.1. 0°/90°, 30°/-60° ve ±45° KETP kompozitlerin delme deneylerinden elde edilen kesme kuvveti, kesme sıcaklığı ve deformasyon faktörüne ait toplu sonuçlar

İş Mili Devri n, (dev/dak)	İlerleme f, (mm/dev)	Kesme Kuvvet, F (N)			Kesme Sıcaklığı, T (°C)			Deformasyon Faktörü, DF		
		0°/90°	30°/-60°	±45°	0°/90°	30°/-60°	±45°	0°/90°	30°/-60°	±45°
1000	0,05	50	34	73	51	45	62	1,15	1,11	1,20
	0,10	70	47	77	56	49	65	1,22	1,16	1,25
	0,15	84	50	88	60	53	70	1,25	1,20	1,31
2000	0,05	38	30	62	58	50	68	1,21	1,14	1,23
	0,10	57	38	69	64	57	73	1,27	1,19	1,29
	0,15	68	47	74	70	62	80	1,30	1,23	1,33
3000	0,05	32	28	52	63	54	77	1,26	1,20	1,28
	0,10	43	33	55	68	60	82	1,32	1,25	1,35
	0,15	55	44	61	73	67	89	1,36	1,29	1,39

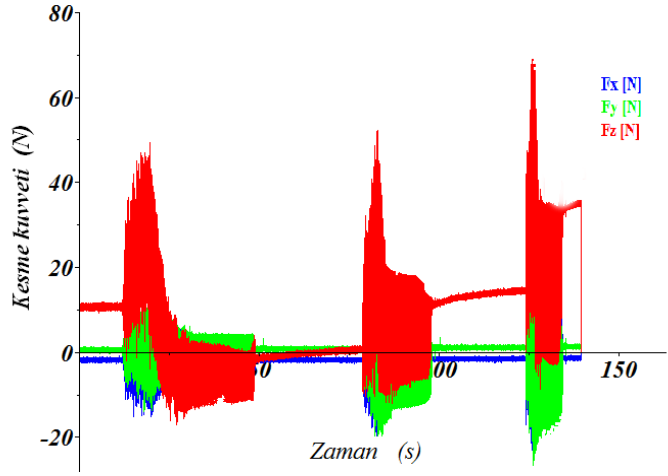
4.2.1 KETP kompozitlerin delinmesinde kesme kuvvetinin belirlenmesi

Talaşlı işleme, malzeme üzerinden istenmeyen malzemeleri çıkararak arzu edilen şekil ve boyuta getirmek için yapılan bir talaş kaldırma işlemidir. Kompozitlerin homojen olmayan doğası nedeniyle, kompozitlerin işlenmesi karmaşık bir süreçtir ve fiber takviyeli kompozitlerin talaşlı işlenmesi metalik malzemelerden oldukça farklıdır. Doğal fiber takviyeli kompozitlere yönelik yoğun ilgi, özellikle talaşlı işleme sırasında işleme parametrelerini optimize etmek ile ilgili kapsamlı araştırma gerektirir.

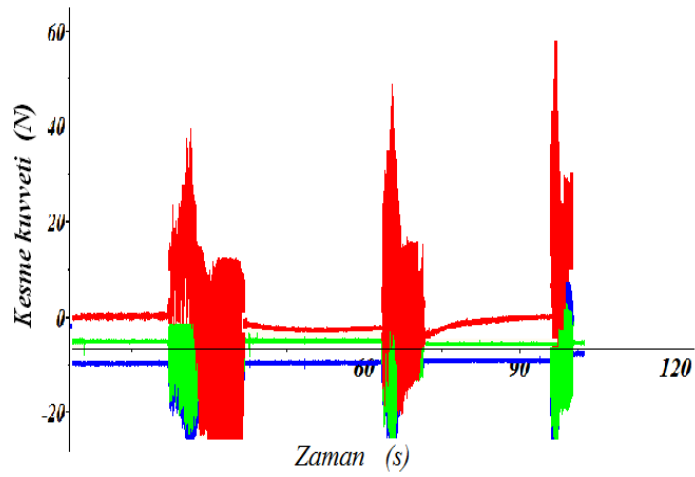
0°/90°, 30°/-60° ve ±45° yönlendirme açılarına sahip KETP kompozitlerin delinmesinde, farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde oluşan kesme kuvvetlerine ait kesme kuvvetleri bileşenlerinin zamana bağlı diyagramları Şekil 4.11-4.13'te gösterilmiştir. İş mili devrine, ilerlemeye ve yönlendirme açısına bağlı olarak elde edilen kesme kuvvetleri Şekil 4.14-4.16'da verilmiştir.



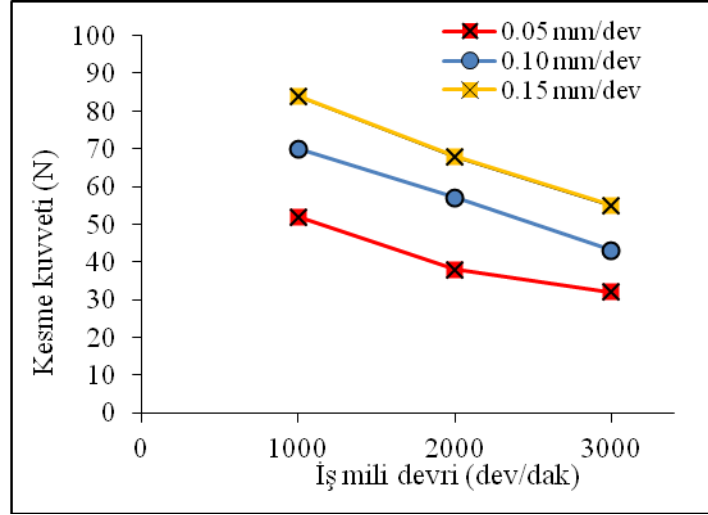
Şekil 4.11 0°/90° KETP kompozite ait kesme kuvveti-Zaman diyagramı (n=1000 dev/dak)



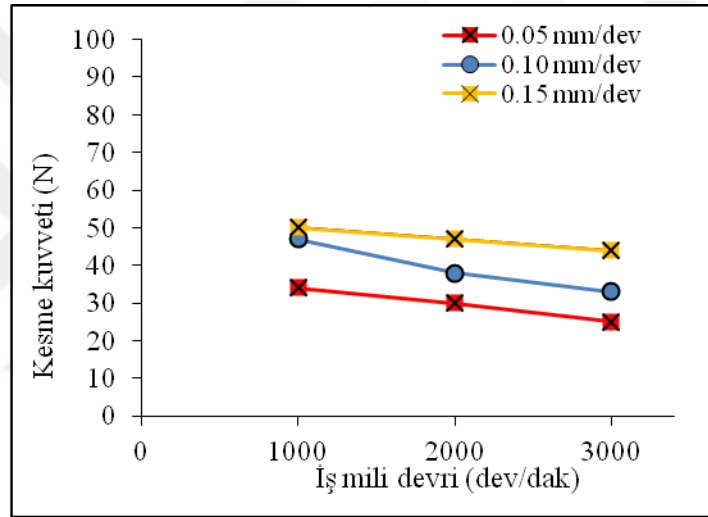
Şekil 4.12 30°/-60° KETP kompozite ait kesme kuvveti-Zaman diyagramı (n=2000 dev/dak)



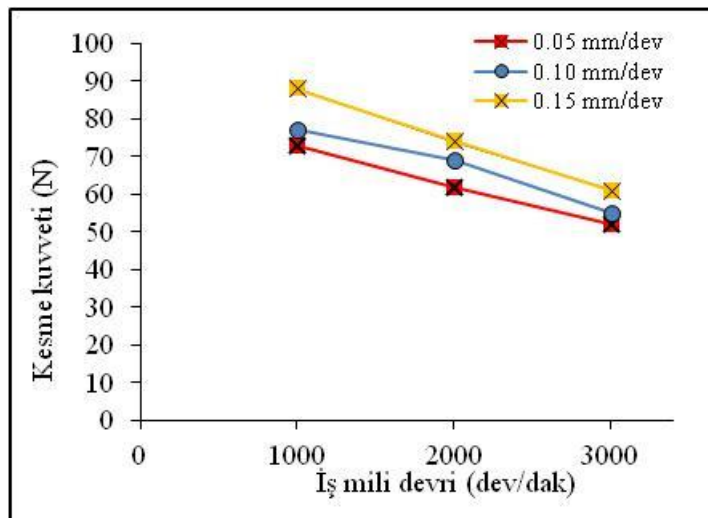
Şekil 4.13 ±45° KETP kompozite ait kesme kuvveti-Zaman diyagramı (n=3000 dev/dak)



a) Yönlendirme açısı: 0°/90°

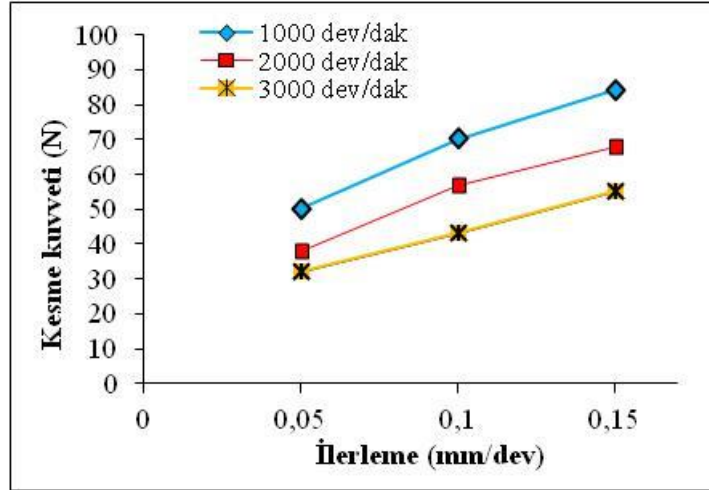


b) Yönlendirme açısı: 30°/-60°

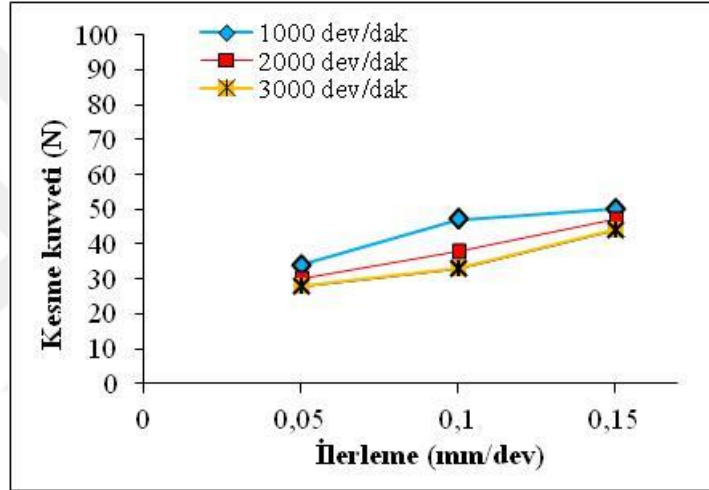


c) Yönlendirme açısı: ±45°

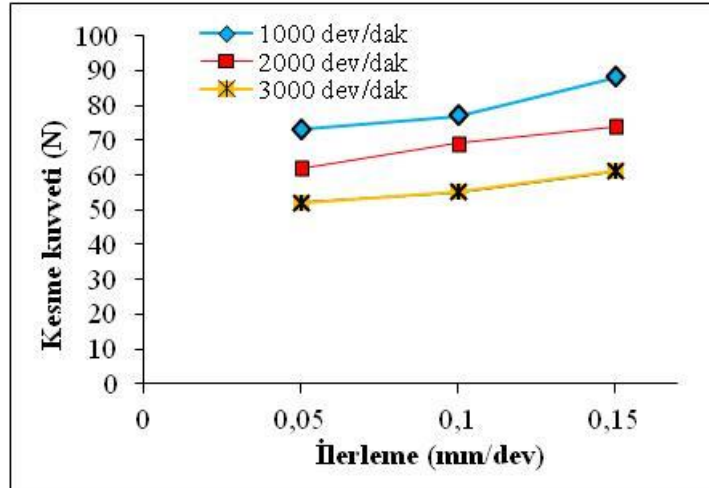
Şekil 4.14 İş mili devrinin kesme kuvveti üzerine etkisi



a) Yönlendirme açısı: 0°/90°

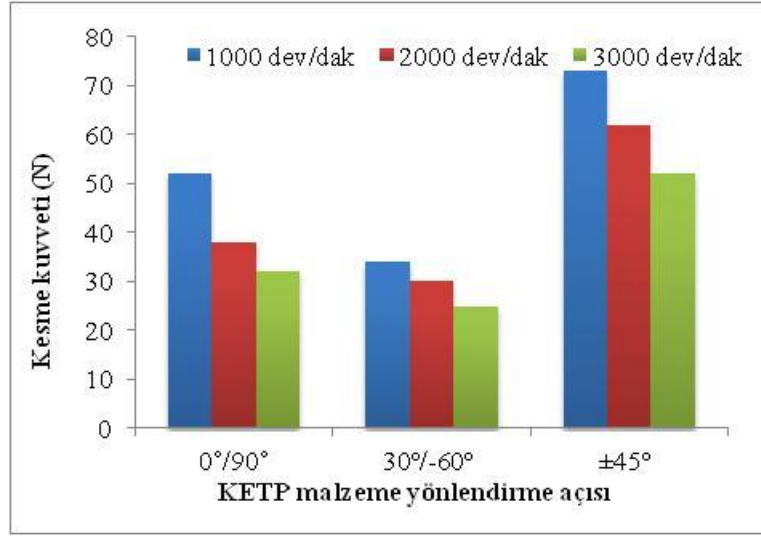


b) Yönlendirme açısı: 30°/-60°

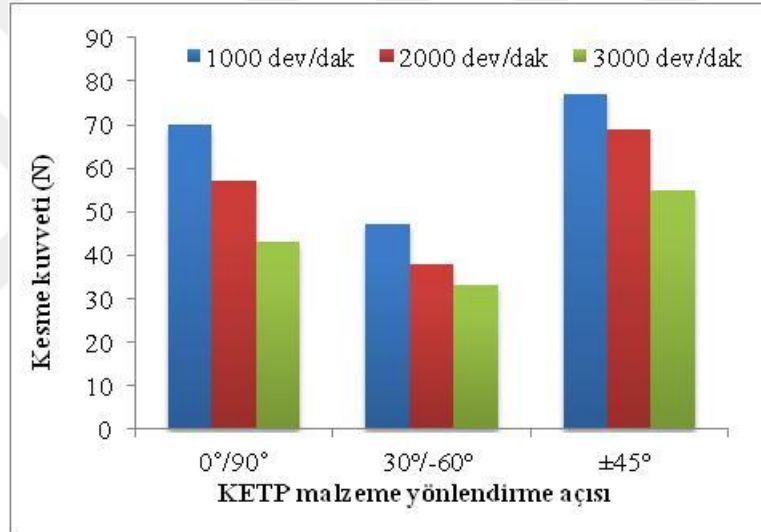


c) Yönlendirme açısı: ±45°

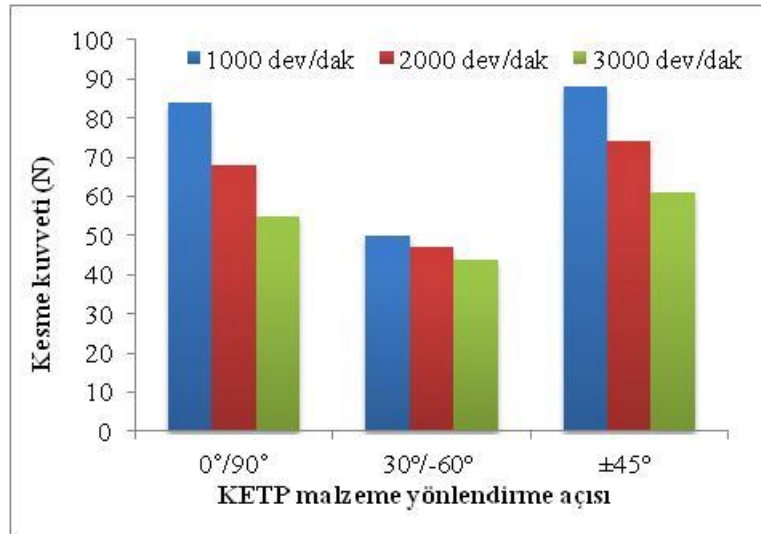
Şekil 4.15 İlerlemenin kesme kuvveti üzerine etkisi



a) İlerleme:0,05 mm/dev



b) İlerleme:0,10 mm/dev



c) İlerleme:0,15 mm/dev

Şekil 4.16 Yönlendirme açısının kesme kuvveti üzerine etkisi

Şekil 4.11-Şekil 4.13'te kompozitlerin farklı delme parametrelerinde delinmesine ait kesme kuvveti zaman grafiklerinde görülen kesme kuvveti bileşenleri; Fz takımın ilerleme doğrultusuna oluşan ilerleme kuvveti olup, Fx ve Fy kuvvetleri ile sırasıyla X ve Y yönündeki kuvvetlerdir. Fx, Fy ve Fz kuvvetleri kullanılarak kesme kuvveti (F) hesaplanmaktadır. Kesme kuvvetinin hesaplamasında denklem 4.1'den faydalanılmaktadır.

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

İş mili devrinin artması ile kesme kuvveti düşmektedir. Matris malzemesinin düşük ısı iletim özelliğine sahip olması nedeni ile iş mili devrinin artması kesme bölgesinin sıcaklığını arttırmaktadır. Artan sıcaklık ile KETP kompozit malzemenin kesme bölgesinde matriste bir miktar yumuşama olduğu ve bu yumuşamanın da kesme kuvvetinde düşmeye neden olduğu düşünülmektedir. Kiprawi vd., dönme hızı arttıkça kesici takım iş parçası arayüzündeki sıcaklığın arttığını ve sıcaklıktaki bu artışın iş parçasının yumuşamasına neden olduğunu bu nedenle malzemeyi iş parçasından çıkarmak için daha az sürtünme ve kesme kuvvetleri gerektiğini belirlemişlerdir(Kiprawi vd.,2017). Pecat vd. elyaf takviyeli kompozitlerin işlenmesinde, yüksek kesme hızlarının iş parçası sıcaklığını arttırmasından kaynaklı düşük kesme kuvveti elde edildiğini ve bunun medenin de termo-mekanik yükten kaynaklandığını belirtmişlerdir(Pecat vd.,2012).

KETP kompozitlerin delinmesinde ilerleme miktarının artması kesme kuvvetlerinde bir artışa neden olmaktadır. Bu artışın kesici takımın KETP kompozitin elyaflarını kesecek zaman bulamaması ve zorlanmasından kaynaklanmaktadır. İlerlemenin artmasıyla kesme kuvvetindeki bu artışın nedeni, ilerleme arttıkça dış başına talaş yükünün artmasından kaynaklanmaktadır (Alauddin vd., 1998).Özdemir vd., artan ilerleme oranının dinamik etkilere sebep olduğunu ve bunun da kesme kuvvetini arttırdığını ifade etmişlerdir. Birim zamanda iş parçası/takım ara yüzey etkileşiminin artmasından dolayı kesme kuvvetinde artış olmaktadır(Özdemir, 2019). KETP kompozitin yönlendirme açısının değişmesi kesme kuvvetini değiştirmektedir. En düşük kesme kuvveti 30°/-60° yönlendirme açısına sahip KETP kompozitin

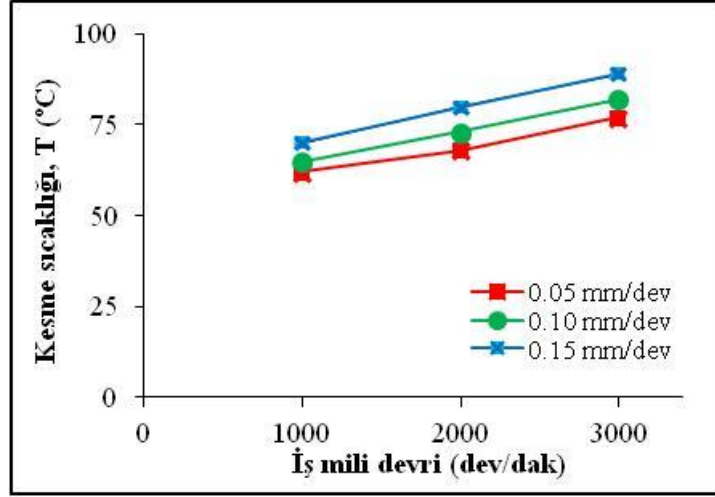
delinmesinde elde edilirken, en yüksek kesme kuvveti ise $\pm 45^\circ$ yönlendirme açısına sahip KETP kompozitin delinmesinden elde edilmiştir.

4.2.2 KETP kompozitlerin delinmesinde kesme sıcaklığının belirlenmesi

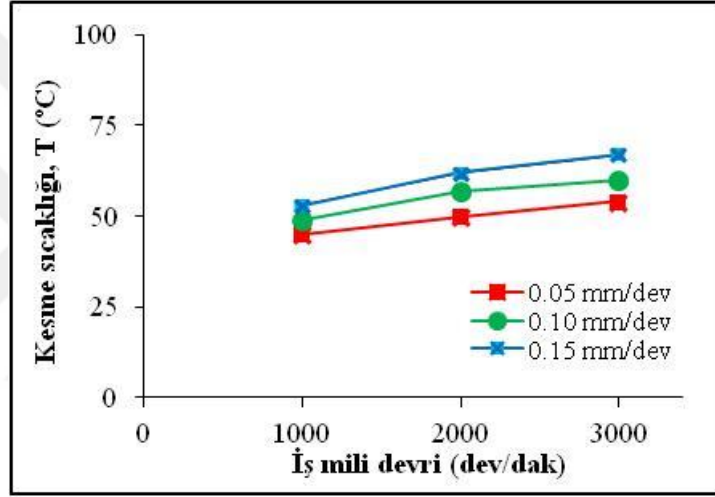
Talaşlı işlemede, özellikle delme işlemi kompozit parçaların montaj aşamasında en çok ihtiyaç duyulan işlemlerden biridir. Malzemelerin delinmesinde talaş kaldırma işlemi beraberinde bir ısı yük oluşturmaktadır. Bu nedenle, kesme bölgesindeki sıcaklığı azaltacak kesme parametrelerinin seçimi önem arz etmektedir. $0^\circ/90^\circ$, $30^\circ/-60^\circ$ ve $\pm 45^\circ$ yönlendirme açılarına sahip KETP kompozitlerin delinmesinde, farklı iş mili devri ve ilerleme değerlerinde oluşan kesme sıcaklığına ait grafikler Şekil 4.17-4.19’da gösterilmiştir.

Şekil 4.17’de görüldüğü gibi, iş mili devrinin artması ile kesme sıcaklığının arttığı belirlenmiştir. En düşük kesme sıcaklığı 1000 dev/dak iş mili devrinde elde edilirken en yüksek kesme sıcaklığı 3000 dev/dak iş mili devrinde elde edilmiştir. Şekil 4.18’den, ilerlemenin artması ile kesme sıcaklığının arttığı tespit edilmiştir. 0.5 mm/dev ilerleme değerinde en düşük kesme sıcaklığı elde edilmiştir. En yüksek kesme sıcaklığı 0.15 mm/dev ilerleme değerinde elde edilmiştir. Sabit iş mili devrinde ve ilerleme değerlerinde, kesme sıcaklığı KETP yönlendirme açısına bağlı olarak ta değişmektedir. En düşük kesme sıcaklığı $30^\circ/-60^\circ$ yönlendirme açısına sahip KETP kompozitlerden elde edilirken en yüksek kesme sıcaklığı $\pm 45^\circ$ yönlendirme açısına sahip KETP kompozitlerden elde edilmiştir. $0^\circ/90^\circ$ KETP kompozitlerin delinmesinde elde edilen kesme sıcaklığı diğer iki yönlendirme açısına sahip KETP kompozitlerin delinmesinde elde edilen kesme sıcaklıkları arasında olduğu belirlenmiştir.

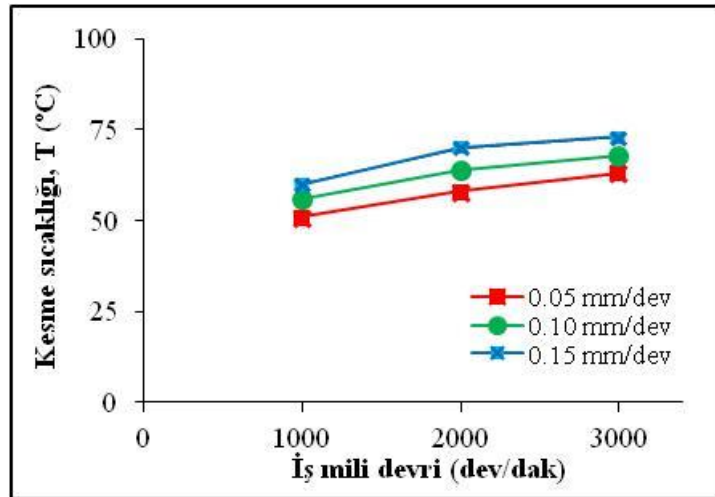
Kesici takım/iş parçası arasındaki sürtünme arttığı için iş mili devrinin artmasıyla kesme sıcaklığı da $0^\circ/90^\circ$ KETP kompozitlerin delinmesinde elde edilen kesme sıcaklığı 51-73 °C arasında belirlenirken, $30^\circ/-60^\circ$ KETP kompozitlerde 45-67 °C arasında ve $\pm 45^\circ$ KETP kompozitlerde ise 62-89 °C olarak ölçülmüştür.



a) Yönlendirme açısı: 0°/90°

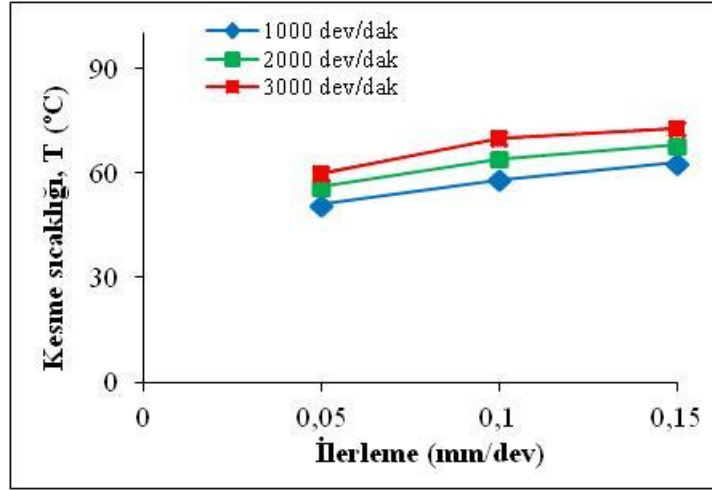


b) Yönlendirme açısı: 30°/-60°

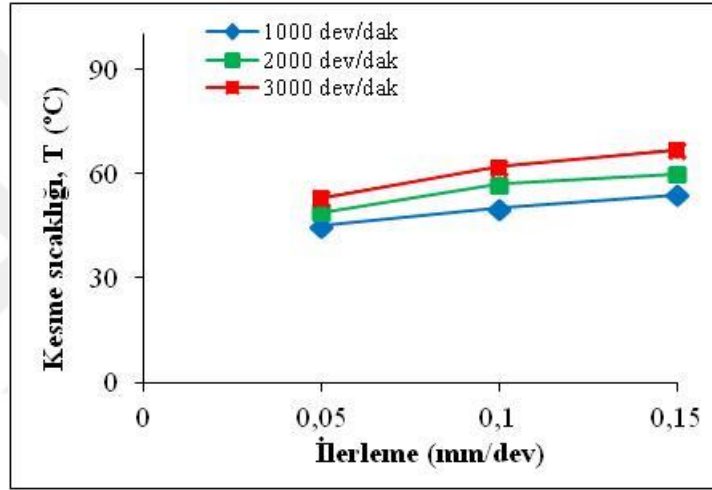


c) Yönlendirme açısı: ±45°

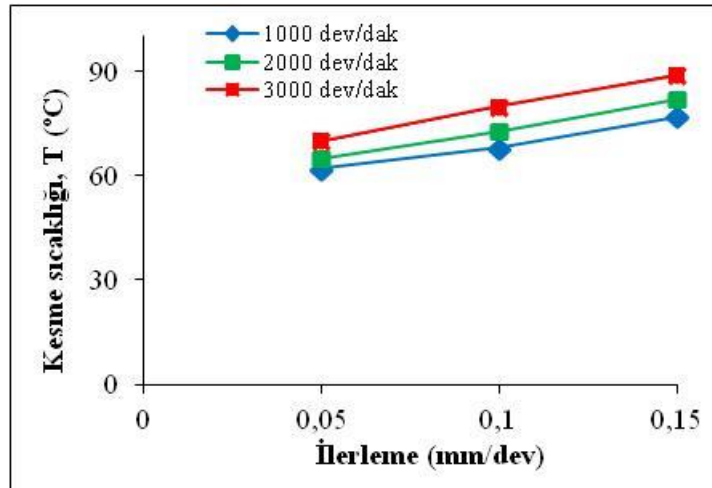
Şekil 4.17 İş mili devrinin kesme sıcaklığı üzerine etkisi



a) Yönlendirme açısı: 0°/90°

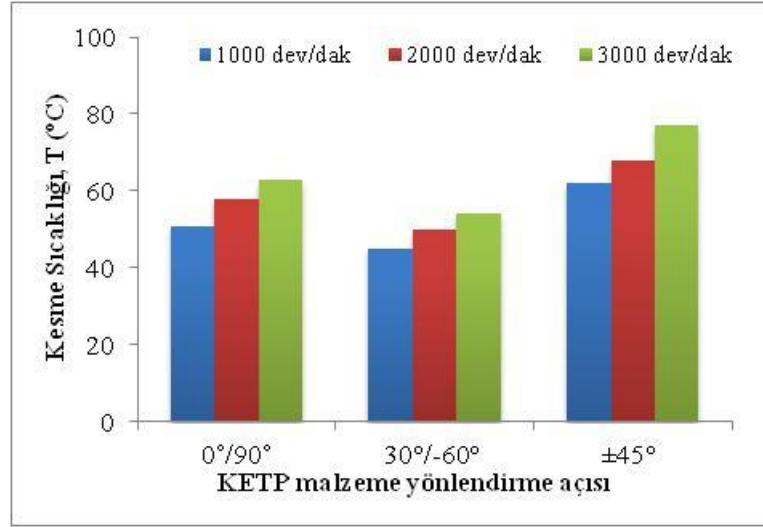


b) Yönlendirme açısı: 30°/-60°

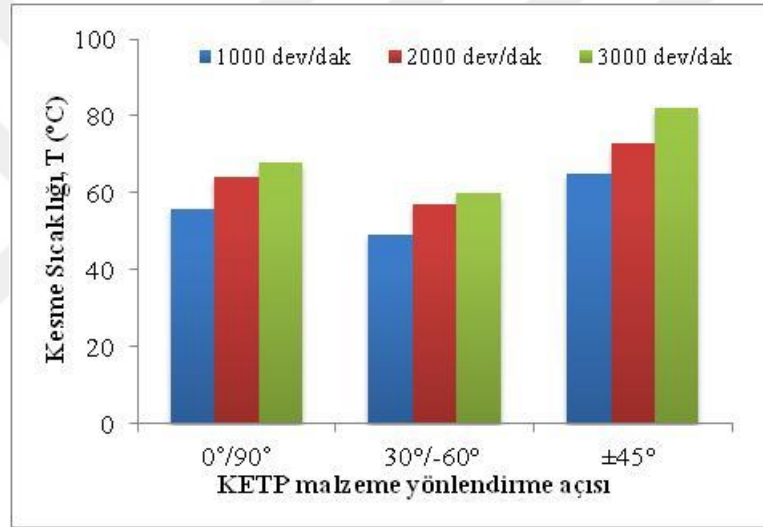


c) Yönlendirme açısı: ±45°

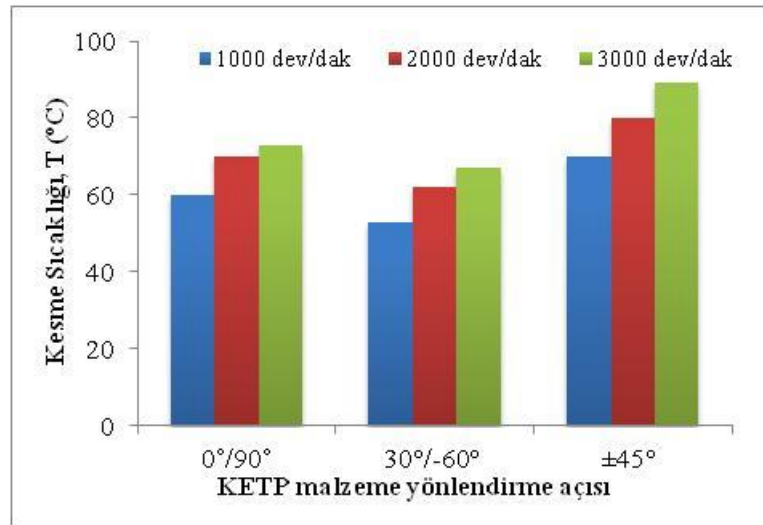
Şekil 4.18 İlerlemenin kesme sıcaklığı üzerine etkisi



a) İlerleme:0,05 mm/dev



b) İlerleme:0,10 mm/dev



c) İlerleme:0,15 mm/dev

Şekil 4.19 Yönlendirme açısının kesme sıcaklığı üzerine etkisi

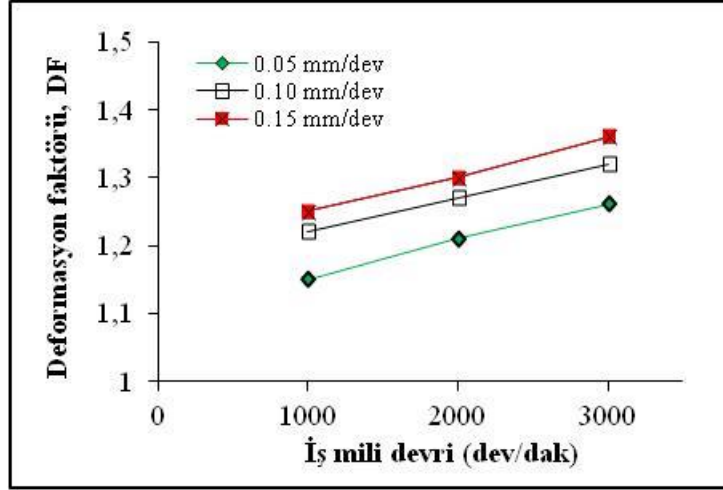
4.2.3 KETP kompozitlerin delinmesinde deformasyon faktörünün belirlenmesi

Elyaf takviyeli kompozitlerin delinmesinde delik etrafında ve delik yüzeyinde lif kopması, lif yırtılması, lif ve matris arasında çatlak oluşması, delik giriş ve çıkışında deformasyon oluşması gibi hatalarla karşılaşmaktadır. Deformasyonun oluşumunda delme parametrelerinin etkisi son derece önemlidir. $0^{\circ}/90^{\circ}$, $30^{\circ}/-60^{\circ}$ ve $\pm 45^{\circ}$ yönlendirme açılarına sahip KETP kompozitlerin delinmesinde deformasyon oluşumu Tablo 4.2’de ve iş mili devri ile ilerlemenin deformasyon faktörü üzerine etkileri Şekil 4.20-4.22’de verilmiştir.

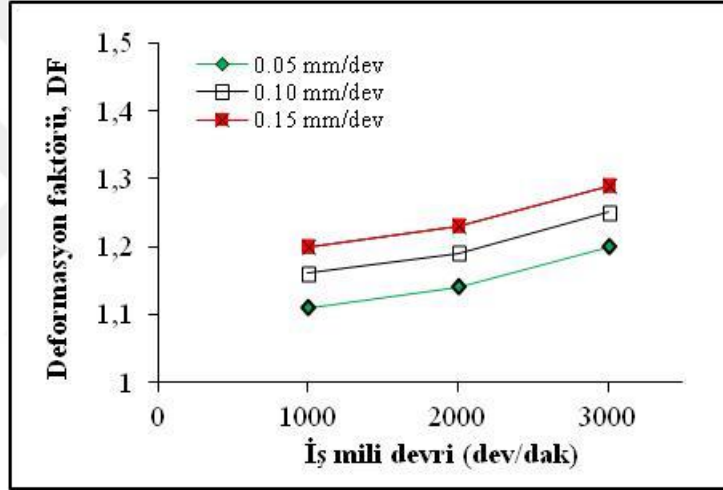


Tablo 4.2 KETP kompozitlere ait giriş ve çıkıştaki deformasyon oluşumu

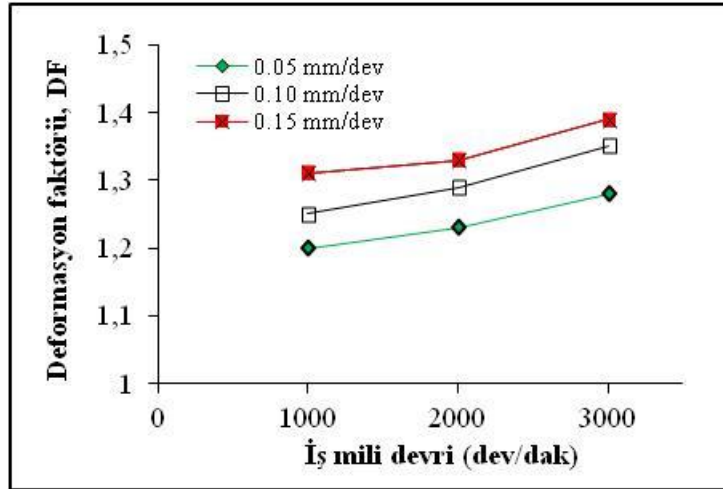
İş Mili Devri n, (dev/dak)	İlerleme f, (mm/dev)	0°/90°		30°/-60°		±45°	
		Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
1000	0,05						
	0,10						
	0,15						
2000	0,05						
	0,10						
	0,15						
3000	0,05						
	0,10						
	0,15						



a) Yönlendirme açısı: 0°/90°

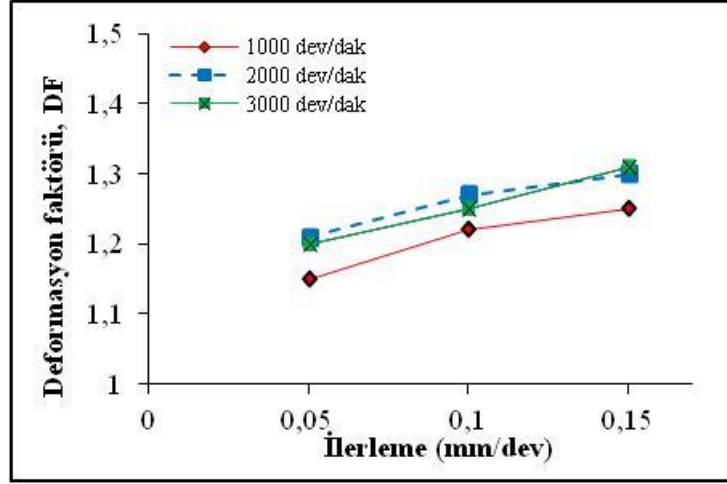


b) Yönlendirme açısı: 30°/-60°

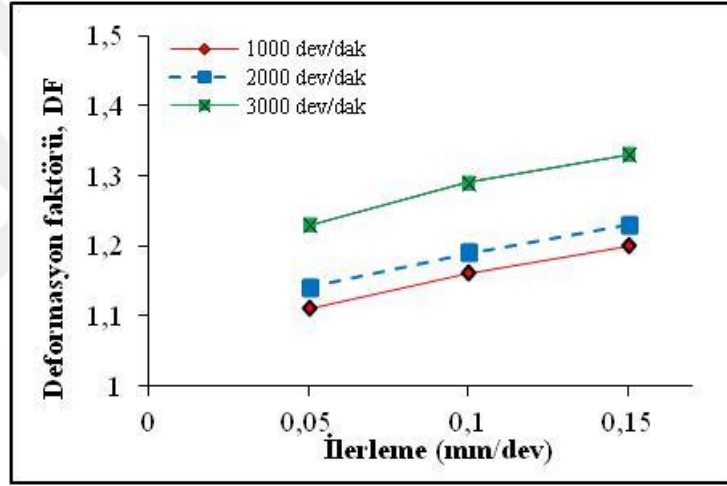


c) Yönlendirme açısı: ±45°

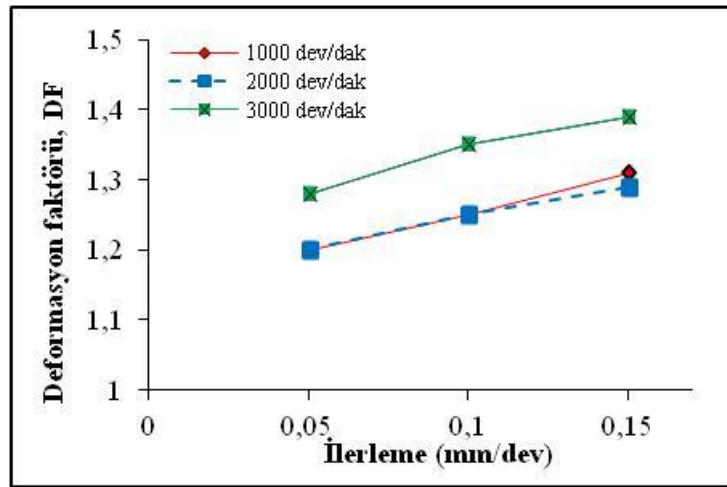
Şekil 4.20 İş mili devrinin kesme deformasyon faktörü üzerine etkisi



a) Yönlendirme açısı: 0°/90°

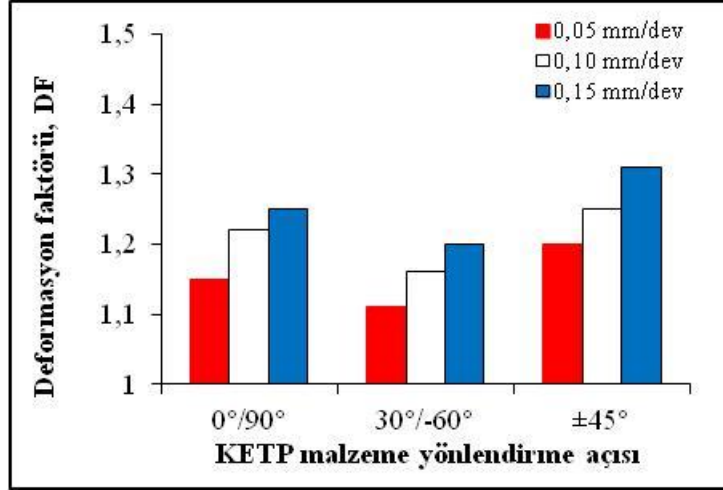


b) Yönlendirme açısı: 30°/-60°

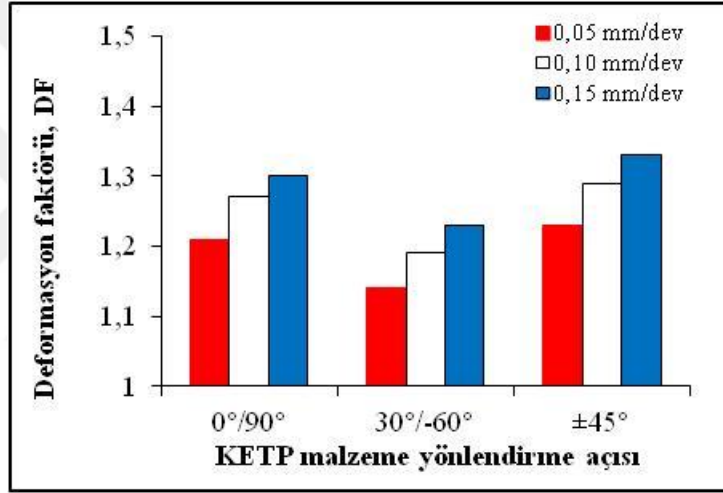


c) Yönlendirme açısı: ±45°

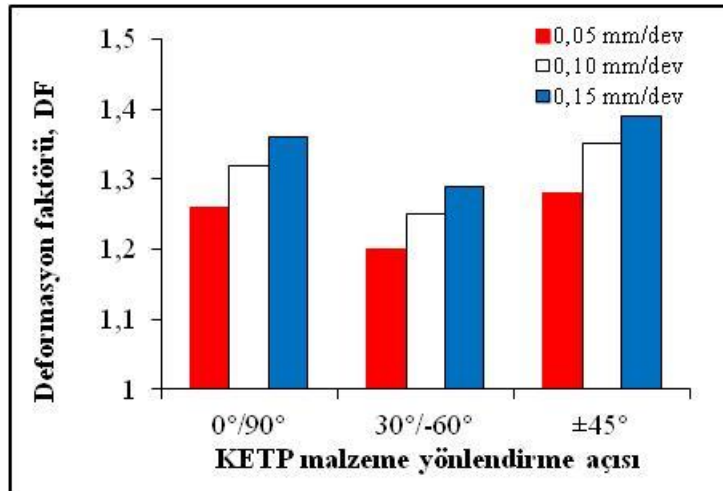
Şekil 4.21 İlerlemenin deformasyon faktörü üzerine etkisi



a) İş mili devri:1000 dev/dak



b) İş mili devri:2000 dev/dak



c) İş mili devri:3000 dev/dak

Şekil 4.22 Yönlendirme açısının deformasyon faktörü üzerine etkisi

Şekil 4.20 ve 4.21'den, tüm kesme hızlarında ilerlemenin artmasıyla deformasyon faktörünün arttığı görülmüştür. En düşük deformasyon faktörü 0,05 mm/dev'lık ilerleme değerinde elde edildi. $0^{\circ}/90^{\circ}$, $30^{\circ}/-60^{\circ}$ ve $\pm 45^{\circ}$ yönlendirme açılara sahip KETP kompozitler için, kesme hızı sabit tutulduğunda ilerlemenin artmasıyla deformasyon faktörünün arttığı belirlendi. Yüksek ilerleme değerlerinde kesici takım kompozit malzemedeki liflerin kesecek zaman bulamamaktadır. İlerleme değerinin artması ile yüksek itme kuvveti oluşmaktadır. Bu kuvvet kesilmemiş liflerin ilerleme yönünde itilmesine neden olmaktadır. Bu durum tabakalar arasında ve özellikle kompozitin son birkaç tabakasında ciddi deformasyonlara yol açmaktadır. Krishnamorthy vd. ilerleme değerindeki artışın iş parçası ile kesici takım arasındaki teması arttırdığına ve itme kuvvetinin yüksek olduğuna dikkat çekmiştir. İş mili devrinin artmasıyla deformasyon faktörünün arttığı görülmüştür. İş mili devrinin artması ile kesme sıcaklığı artmıştır. Matris malzemesinin ısı iletkenlik değerinin düşük olması nedeniyle, delme işlemi sırasında oluşan ısı dışarı atılamamaktadır. Oluşan bu ısı matkap ucunun etrafında birikmekte ve bu durum matrisin yapısının bozulmasına neden olmuştur. Artan sıcaklıkla matris yumuşamakta ve bu, fiber ile matris arasındaki bağ kuvvetini azalttığından yüksek deformasyona neden olmaktadır(Krishnamoorthy vd., 2009).

En düşük deformasyon $30^{\circ}/-60^{\circ}$ yönlendirme açısına sahip KETP kompozitlerde oluşurken, en yüksek deformasyon faktörü $\pm 45^{\circ}$ yönlendirme açısına sahip KETP kompozitlerin delinmesinde oluşmuştur.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, vakum infüzyon yöntemi ile üretilmiş $0^\circ/90^\circ$, $30^\circ/-60^\circ$ ve $\pm 45^\circ$ yönlendirme açılarına sahip KETP kompozit malzeme ilk önce çekme kuvveti belirlenmiş ve daha sonra bu malzemelerin farklı iş mili devri ve ilerleme değerlerinde delinmesi deneysel olarak analiz edilmiştir. Delme parametrelerinin kesme kuvveti, kesme sıcaklığı ve deformasyon faktörü üzerindeki etkisi araştırılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- $0^\circ/90^\circ$, $30^\circ/-60^\circ$ ve $\pm 45^\circ$ sahip kenaf takviyeli kompozitlerin üretimi başarıyla başarılı bir şekilde yapılmıştır.
- $0^\circ/90^\circ$, $30^\circ/-60^\circ$ ve $\pm 45^\circ$ yönlendirme açısına sahip KETP kompozitlerin çekme deneylerinden, en yüksek çekme kuvveti $0^\circ/90^\circ$ yönlendirme açısına sahip KETP kompozitlerden elde edilirken en düşük çekme kuvveti $\pm 45^\circ$ yönlendirme açısına sahip KETP kompozitlerden elde edilmiştir.
- $0^\circ/90^\circ$, $30^\circ/-60^\circ$ ve $\pm 45^\circ$ yönlendirme açısına sahip KETP kompozitlerin delinmesi oluşan kesme kuvvetleri iş mili devrinden ve ilerleme değerlerinden etkilenmektedir.
- İş mili devrinin artması ile kesme kuvvetleri düşerken, ilerlemenin artması ile kesme kuvvetleri artmaktadır. Kesme kuvveti üzerine ilerlemenin etkisi daha fazla olmuştur.
- En düşük kesme kuvveti $30^\circ/-60^\circ$ yönlendirme açısına sahip KETP kompozitin delinmesinden, en yüksek kesme kuvveti ise $\pm 45^\circ$ yönlendirme açısına sahip KETP kompozitin delinmesinden elde edilmiştir.
- Kesme sıcaklığı iş mili devrinin artması ve ilerlemenin artması ile artmaktadır. $30^\circ/-60^\circ$ yönlendirme açısına sahip KETP kompozitin delinmesinde oluşan sıcaklık en düşük olarak ölçülmüştür. En yüksek kesme sıcaklığı $\pm 45^\circ$ yönlendirme açısına sahip KETP kompozitin delinmesi sırasında ölçülmüştür.
- Deformasyon faktörü iş mili devrinin artması ile artmıştır.
- Yüksek ilerleme, delik civarında oluşan deformasyonun artmasına neden olmuştur.
- Deformasyon faktörü kompozit malzemenin yönlendirme açısından etkilenmektedir. En düşük deformasyon faktörü $30^\circ/-60^\circ$ yönlendirme

açısına sahip KETP kompozitin delinmesinde meydana gelirken, en yüksek deformasyon faktörü $\pm 45^\circ$ yönlendirme açısına sahip KETP kompozitin delinmesinde meydana gelmiştir.



KAYNAKLAR

- Abrão, A. M vd.,(2007). Drilling of fiber reinforced plastics: A review. *Journal of Materials Processing Technology*, 186(1-3), 1-7.
- Alauddin, M. vd.,(1998). Cutting forces in the end milling of Inconel 718. *Journal of Materials Processing Technology*, 77(1-3), 153-159.
- Arul, S. vd.,(2006). The effect of vibratory drilling on hole quality in polymeric composites. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46(3-4), 252-259.
- Azmi, H. vd.,(2021). Effect of Milling Parameter and Fiber Pull-Out on Machinability Kenaf Fiber Reinforced Plastic Composite Materials. In *Advances in Mechatronics, Manufacturing, and Mechanical Engineering* (pp. 85-96): Springer.
- Babu, G. D., ve Gowd, B. U. M. (2013). Effect of machining parameters on milled natural fiber-reinforced plastic composites. *Journal of Advanced Mechanical Engineering*, 1(1), 1-12.
- Bakkal, M., ve Savaş, M. (2012). Cam elyafla güçlendirilmiş doğal elyaf takviyeli kompozitlerin geliştirilmesi, 3. *Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, 29-30.
- Banerjee, S. G., ve Morella, E. (2011). *Africa's water and sanitation infrastructure: access, affordability, and alternatives*: World Bank Publications.
- Beg, M. D. H., ve Pickering, K. L. (2008). Accelerated weathering of unbleached and bleached Kraft wood fibre reinforced polypropylene composites. *Polymer Degradation and Stability*, 93(10), 1939-1946.
- Bhadra, D., ve Dhar, N. R. (2022). Study of the delamination factor and taper angle in drilling of natural fiber reinforced epoxy nanocomposite materials. *Materials Today: Proceedings*.
- Chandramohan, D., ve Marimuthu, K. (2011). A review on natural fibers. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, 8(2), 194-206.
- Çelik, Y. H., ve Alp, M. S. (2022). Determination of milling performance of jute and flax fiber reinforced composites. *Journal of Natural Fibers*, 19(2), 782-796.
- Çelik, Y. H. vd., (2019). An experimental study on milling of natural fiber (jute)-reinforced polymer composites. *Journal of composite materials*, 53(22), 3127-3137.
- Davim, J. P. (2011). *Tribology for engineers: A practical guide*: Elsevier.

- Davim, J. P., ve Reis, P. (2005). Damage and dimensional precision on milling carbon fiber-reinforced plastics using design experiments. *Journal of Materials Processing Technology*, 160(2), 160-167.
- Davim, J. P.vd., (2004). Experimental study of drilling glass fiber reinforced plastics (GFRP) manufactured by hand lay-up. *Composites Science and Technology*, 64(2), 289-297.
- Çelik, Y. H. vd., (2019). Effect of matrix material and orientation angle on tensile and tribological behavior of jute reinforced composites. *Materials Testing*, 61(8), 806-812.
- El Messiry, M. (2017). *Natural fiber textile composite engineering*: Apple academic press.
- Erkan, Ö., ve Yücel, E. (2018). *AA 7075 malzeme üzerine delinen delik yüzeylerinin pürüzlülük optimizasyonu ve istatistiki analizi*. Paper presented at the International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology (EurasianSciEnTech).
- Hodzic, A., ve Shanks, R. (2014). *Natural fibre composites: materials, processes and properties*: Woodhead Publishing.
- John, K., ve Kumaran, S. T. (2020). A feasible strategy to produce quality holes using temperature-assisted drilling on CFRP. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 110(11), 3113-3127.
- Kee, C. H. (2020). *A Study on Optimizing Different Cutting Conditions Using Different Cutting Tools to Reduce Delamination in Drilling Kenaf Polymer Composite*. Tunku Abdul Rahman University College,
- Kılıçkap, A. İ. (2018). *Farklı Oryantasyon Açılarına Sahip Jüt Takviyeli Kompozitlerin Frezelenmesinin Araştırılması*. (Yüksek Lisans). Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, (529053)
- Kiprawi, M. A. vd., (2017). *Study of cutting edge temperature and cutting force of end mill tool in high speed machining*. Paper presented at the MATEC Web of Conferences.
- Krishnamoorthy, A.vd., (2009). Delamination analysis in drilling of CFRP composites using response surface methodology. *Journal of composite materials*, 43(24), 2885-2902.
- La Mantia, F., ve Morreale, M. (2011). Green composites: A brief review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 42(6), 579-588.
- Lalit, R. vd., (2018). Natural fibers and biopolymers characterization: A future potential composite material. *Strojnícky časopis-Journal of Mechanical Engineering*, 68(1), 33-50.

- Lotfi, A. vd., (2020). Analytical and experimental investigation of the parameters in drilling flax/poly (lactic acid) bio-composite laminates. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 109(1), 503-521.
- Lotfi, A. vd., (2021). Natural fiber–reinforced composites: A review on material, manufacturing, and machinability. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 34(2), 238-284.
- Maciel, N. vd., (2018). Comparative tensile strength analysis between epoxy composites reinforced with curaua fiber and glass fiber. *Journal of materials research and technology*, 7(4), 561-565.
- Melese, K. G.vd., (2021). Adhesive joining of sisal/jute/hybrid composites with drilled holes in lap area. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 235(2), 255-264.
- Mohan Kumar vd., (2021). Investigation of Drilling Process Parameters of Palmyra Based Composite. *Advances in Materials Science and Engineering*.
- Mohan Kumar vd., (2021). Comparative analysis of drilling behaviour of synthetic and natural fiber-based composites. *Advances in Materials Science and Engineering*.
- Mohit, H. vd.,(2022). A comprehensive review on performance and machinability of plant fiber polymer composites. *Polymer Composites*, 43(1), 608-623.
- Nassar, M. vd., (2017). Machinability of natural fiber reinforced composites: a review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 88(9), 2985-3004.
- Ngah, A. vd., (2021). Effects of drilling parameters on delamination of kenaf-glass fibre reinforced unsaturated polyester composites. *Journal of Industrial Textiles*, 15280837211062053.
- Özdemir, M. (2019). *Rami elyaf takviyeli kompozitin frezelenmesinin araştırılması*. Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Palanikumar, K. (2007). Modeling and analysis for surface roughness in machining glass fibre reinforced plastics using response surface methodology. *Materials and design*, 28(10), 2611-2618.
- Parthipan, N. vd., (2020). Effect of silane treated silicon (IV) oxide nanoparticle addition on mechanical, impact damage and drilling characteristics of Kenaf fibre-reinforced epoxy composite. *Silicon*, 12(2), 459-467.
- Pecat, O. vd., (2012). Influence of milling process parameters on the surface integrity of CFRP. *Procedia Cirp*, 1, 466-470.
- Prabu, A., ve Anand, R. (2016). Emission control strategy by adding alumina and cerium oxide nano particle in biodiesel. *Journal of the Energy Institute*, 89(3), 366-372.

- Rahman, R., ve Putra, S. Z. F. S. (2019). Tensile properties of natural and synthetic fiber-reinforced polymer composites. *Mechanical and physical testing of biocomposites, fibre-reinforced composites and hybrid composites*, 81-102.
- Rajaraman, G. vd., (2020). Investigation on effect of process parameters on delamination during drilling of kenaf-banana fiber reinforced in epoxy hybrid composite using Taguchi method. *Polymer Composites*, 41(3), 994-1002.
- Ramulu, M., ve Arola, D. (1994). The influence of abrasive waterjet cutting conditions on the surface quality of graphite/epoxy laminates. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 34(3), 295-313.
- Singh, H. vd., (2021). Experimental study on drilling characteristics of the hybrid sisal-jute fibre epoxy composites. *Journal of Micromanufacturing*, 4(2), 157-168.
- Singh, H. vd., (2018). A brief review of jute fibre and its composites. *Materials Today: Proceedings*, 5(14), 28427-28437.
- Sosiati, H. vd., (2018). *Tensile properties of Kenaf/E-glass reinforced hybrid polypropylene (PP) composites with different fiber loading*. Kyushu University Fukuoka, Japan,
- Suhaily, M. vd., (2018). *Analysis and modeling of delamination factor in drilling of woven kenaf fiber reinforced epoxy using Box Behnken experimental design*. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
- Wern, C. vd., (1993). A study of the surface texture of composite drilled holes. *Journal of Materials Processing Technology*, 37(1-4), 373-389.
- Yan, R. vd., (2014). Manufacturing technique and acoustic evaluation of sandwich laminates reinforced high-resilience inter/intra-ply hybrid composites. *Fibers and Polymers*, 15(10), 2201-2210.
- Yenigun, B., ve Kilickap, E. (2021). Influence of hole quality on fatigue life of drilled CFRP with the different ply orientation angle. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 43(1), 1-14.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyad, Ad

Umut KAYA

Web sayfası

(Research Gate, Academia, vs.)

Eğitim Bilgileri

Derece

Kurum

Mezuniyet Yılı

Yüksek Lisans

Dicle
Üniversitesi

2022

Lisans

Dicle
Üniversitesi

2018

Ön Lisans

Hava
Astsubay
MYO

2007

Lise

Hasan Ali
Yücel AÖL

2005

İş Denevimi

Dönem (Yıl)

Şirket, Kurum

Görev

2007-2022

Hava
Kuvvetleri
Komutanlığı

Uçk.Bkm. Asb.

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Özel İlgiler

Askeri , sivil havacılık, havacılık motorları ve motor tasarımı

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK BİLDİRİMİ FORMU

Öğrencinin Adı, Soyadı	Umut KAYA
Öğrenci No	18818203
Ana Bilim Dalı	Makine Mühendisliği
Program Türü	Proje ☐ Yüksek Lisans X Doktora ☐
Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	Prof. Dr. Erol KILIÇKAP
(Varsa) II. Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	
Tez Başlığı	Farklı Yönlendirme Açılarına Sahip Kenaf Elyaf Takviyeli Kompozitlerin Delinmesinin Araştırılması
RAPOR BİLGİLERİ	
Raporlama Aşaması	Tez Savunma Sınavı Sonrası
Sayfa Sayısı	57
Raporlama Tarihi	20.06.2022
Benzerlik Oranı (%)	%24

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmamın toplam 57 sayfalık kısmına ilişkin, 20/06/2022 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin isimli intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %24 olarak tespit edilmiştir.

Uygulanan filtrelemeler:

☒ Başlangıç Bölümleri (Kabul ve Onay sayfası, Teşekkür sayfası, Özet/Abstract) hariç

☐ Kaynaklar hariç

☐ Alıntılar hariç/dâhil

☐ Diğer (Açıklayınız)

Tezimin benzerlik oranı, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İntihal Raporu Uygulama Esaslarında belirtilen üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır. Benzerlik oranım üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu bildirir, gereğini arz ederim.

Öğrencinin Adı, Soyadı: Umut KAYA İmza:

Tarih:20.06.2022

Danışman Adı, Soyadı: Prof. Dr. Erol İmza:

KILIÇKAP

Tarih:20.06.2022

Ana Bilim Dalı Başkanı Adı, Soyadı: Prof. İmza:

Dr. Vedat ORUÇ

Tarih:20.06.2022

