



## Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

### PEEK-CF30 Termoplastik Malzemenin Delinmesinde Delme Parametrelerinin Etkileri: İtme Kuvveti, Yüzey Pürüzlülüğü ve Delaminasyon

Mehmet BOY

Karabük Üniversitesi, TOBB Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü,  
78000, Karabük, Türkiye

Mehmet BOY, ORCID No: 0000-0003-2471-8001

\*Sorumlu yazar e-posta: mboy@karabuk.edu.tr

#### Makale Bilgileri

Geliş: 16.04.2022  
Kabul: 20.07.2022  
Online Aralık 2022  
DOI: 10.53433/yyufbed.1104700

#### Anahtar Kelimeler

Delaminasyon,  
Delme kuvveti,  
PEEK CF30,  
Termoplastik kompozit,  
Yüzey pürüzlülüğü

**Öz:** Bu çalışmada, Poli-eter-eter-eton (PEEK)-CF30 kompozit malzemenin kaplamasız HSS matkapla delinmesinde oluşan itme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve delaminasyon faktörünün kesme parametrelerine göre değişimleri araştırılmıştır. Delme deneyleri üç farklı kesme hızı (40, 80, 120 m/dk) ve ilerleme miktarı (0.1, 0.15, 0.2 mm/dev) kullanılarak kuru işleme şartlarında yapılmıştır. Delmede oluşan itme kuvvetleri Kistler dinamometre ve ekipmanlarıyla ölçülmüş ve elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması alınarak analiz edilmiştir. Delik yüzeyinde oluşan pürüzlülük ile delik çıkışında oluşan delaminasyon hasarları ölçülmüştür. İlerleme miktarının artmasıyla itme kuvvetinde %3-%25'lik artış olurken, kesme hızının artmasıyla itme kuvvetlerinde %9-%28 aralığında artışlar görülmüştür. Kesme hızındaki azalma ve ilerleme miktarındaki artışla birlikte yüzey kalitesinde iyileşme olurken, delaminasyon faktöründe artış görülmüştür. En düşük yüzey pürüzlülüğü 40 m/dk kesme hızı ve 0.2 mm/dev ilerlemede 1.18 µm, en yüksek yüzey pürüzlülüğü 120 m/dk kesme hızı ve 0.1 mm/dev ilerlemede 2.96 µm olarak elde edilmiştir.

### Effects of Drilling Parameters on Drilling of PEEK-CF30 Thermoplastic Material: Thrust Force, Surface Roughness and Delamination

#### Article Info

Recieved: 16.04.2022  
Accepted: 20.07.2022  
Online December 2022  
DOI: 10.53433/yyufbed.1104700

#### Keywords

Delamination,  
Drilling force,  
PEEK CF30,  
Surface roughness,  
Thermoplastic composite

**Abstract:** In this study, the variations of thrust force, surface roughness and delamination factor according to cutting parameters were investigated in the drilling of Poly-ether-ether-ketone (PEEK)-CF30 composite material with uncoated HSS drill. Drilling experiments were carried out under dry machining conditions using three different cutting speeds (40, 80, 120 m/min) and feed rates (0.1, 0.15, 0.2 mm/rev). The thrust forces in drilling were measured with the Kistler dynamometer and equipment, and the results were analyzed by taking the arithmetic average of the data. The roughness on the hole surface and the delamination damages on the hole exit were measured. With the increase of the feed rate, there was an increase of 3%-25% in the thrust force, while the increase in the thrust forces was observed in the range of 9%-28% with the increase of the cutting speed. The surface quality improved with the decrease in cutting speed and increase in feed rate while the delamination factor increased. The lowest surface roughness was obtained as 1.18 µm at 40 m/min cutting speed and 0.2 mm/rev feed, and the highest surface roughness was 2.96 µm at 120 m/min cutting speed and 0.1 mm/rev feed.

## 1. Giriş

Poli-eter-eter-eton (PEEK) yüksek erime sıcaklığı, kimyasal ve aşınma direnci ve mükemmel mekanik özellikleri ile bilinen bir mühendislik termoplastik polimeridir. PEEK'in erime sıcaklığı 340 °C, camı geçiş sıcaklığı 143 °C olup, bu malzeme 250 °C 'ye kadar mekanik ve fiziksel özelliklerinde değişim olmadan kullanılabilir (Davim & Reis, 2004). Termoplastik kompozitler, termoset kompozitlere kıyasla yüksek tokluk, yüksek darbe direnci, radyasyon dayanımı, kısa kalıplama döngüsü, yüksek üretim verimliliği, onarımı ve atık malzemelerin yeniden kullanımı gibi birçok avantaja sahiptir. Yüksek performanslı PEEK, otomotiv, havacılık, biyomekanik ve robotlar dahil üzere birçok endüstriyel alanda motor parçaları, pompa gövdesi, pompa çarkları, dişliler, valf yuvaları, valf contaları, elektrik yalıtkanları, zincir yatakları, uçaklarda masa ve bağlantı elemanları, tahrik milleri, gövde paneli parçaları, ortopedik ve spinal implantlar gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. PEEK malzemesine %30 oranında kısa liflerin eklenmesi, takviye edilmemiş termoplastiklere göre sertlik ve mukavemet gibi özelliklerde daha fazla gelişme ve servis sıcaklığında faydalı bir artış sağlar. Karbon ve cam elyaflar, düşük genleşme oranı ve yüksek eğilme modülü nedeniyle PEEK malzemesinde yaygın olarak kullanılan takviyelerdir (Davim & Mata, 2008; Mata ve ark., 2009; Thiruchitrambalam ve ark., 2020; Xu ve ark., 2020).

Termoplastik kompozitlerin çoğu, çeşitli işleme teknikleri kullanılarak net şekillere yakın olarak üretilse de perçin ve montaj gerektiren yerlerde delik delme gibi işlemlere gerek duyulmaktadır. Termoplastik kompozitlerin işleme davranışı, farklı yapıları nedeniyle termoset ve plastik kompozitlerden farklıdır. Termoplastiklerin termal iletkenlik katsayıları düşük olduğundan işleme sırasında oluşan ısının çoğu yüzeyde kalmakta ve bu malzemenin ısınmasına ve hatta çok ısındığında ergime noktasına yaklaşmakta bu da işlenebilirliği etkilemektedir (Weinert & Kempmann, 2004; Xu ve ark., 2020). Kesme hızı, ilerleme miktarı, kaldırılan talaş hacmi, takım malzemesi, takım geometrisi gibi birçok işleme parametresi delinebilirliği etkilemektedir. Delik delme işleminde, delme parametreleri işleme sırasında oluşan kesme kuvvetlerini, yüzey kalitesini, sıcaklığını ve delik kalitesini etkilemektedir. PEEK malzeme şu anda PBT, POM ve PMMA gibi diğer mühendislik termoplastiklerinin fiyatının dört katından fazla olan pahalı bir polimerdir (McLauchlin ve ark., 2014). Ayrıca kompozit PEEK malzemeler özel üretilmekte bu da maliyetleri daha da arttırmaktadır.

Son yıllarda PEEK-CF30 ve PEEK-GF30 termoplastik malzemelerin işlenebilirliği ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde genellikle tornalama (Davim & Mata, 2007; Mata ve ark., 2010; Cabrera ve ark., 2012) ve frezeleme (Azmi ve ark., 2013; Izamshah ve ark., 2013) ile ilgili çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Xu ve ark. (2020) karbon/PI ve karbon/PEEK termoplastik kompozitlerin delinmesinde, delme kuvvetlerini, işleme sıcaklıklarını, delaminasyon hasarını, yüzey morfolojisini, delik boyut doğruluğunu ve takım aşınmasını araştırmışlardır. Karbon/PEEK kompozitlerin delinmesinde karbon/PI malzemeye göre daha yüksek delme kuvvetleri, daha yüksek kesme sıcaklıkları, daha büyük delaminasyon ve aşırı takım aşınması olduğu görülmüştür. Kesme hızı ve ilerleme miktarının kesme kuvveti ve delaminasyon miktarını önemli ölçüde etkilediğini belirtmişlerdir. Domingo ve ark. (2020), PEEK-GF30 kompozitin delinmesinde kesme parametrelerinin ve ortam sıcaklığının itme kuvvetleri, enerji ve malzeme hızı gibi değişkenler üzerindeki etkisini analiz etmişler ve optimum parametreleri belirlemek için varyans analizi, ortalama analizi, yanıt yüzeyi kullanmışlardır. Başka bir çalışmada, PEEK GF30'un kuru delinmesinde gereken enerjiyi analiz etmişlerdir. 6000, 7000 ve 8000 d/dk kesme hızı ve 300, 400 ve 500 mm/dk ilerleme hızına ve farklı geometriye göre üç farklı tipte matkap kullanmışlardır. TiAlN kaplamalı ve elmas uçlu karbür matkaplarla benzer sonuçlar elde edilmiştir (Domingo ve ark., 2013). Diğer yandan, takviyeli kompozit malzemelerin talaşlı imalatı sırasında oluşan hatalar delik kalitesini etkilemektedir. Özellikle yüzey kalitesi, çapak oluşumu ve delaminasyon sonucu birçok ürün hurdaya ayrılmakta ya da kenar budama, frezeleme, lazerle işleme gibi ikincil operasyonlara gerek duyulmaktadır (Can, 2019). Du ve ark. (2022), %60 karbon takviyeli PEEK kompozitin delinmesinde matkap ucu geometrisinin delme sıcaklığı, itme kuvveti ve hasar üzerindeki etkileri araştırmışlardır. PEEK reçinesinin ısı ile yumuşadığını ve matrisin hem girişte hem de çıkışta plastik deformasyon, çapak kaynaklı aglomerasyon ve kıvrılma oluşturduğunu analiz etmişlerdir. Lopez-Arraiza ve ark. (2012), karbon fiber takviyeli poli-siklik bütülen tereftalattan (CF/pCBT) delinmesinde üç farklı kesicinin performansını karşılaştırmışlardır. Takım geometrisinin ortaya çıkan delik delaminasyon hasarında çok önemli bir rol oynadığını ve twist matkabın karbon fiberin ve pCBT matrisinin daha net kesilmesi nedeniyle en az delaminasyon hasarına neden olduğunu

bulmuşlardır. Domingo ve ark. (2015), PA66 (Poli-Amit), PEEK (Poli-Eter-Eter-Keton) ve PTFE (Poli-Tetra-Floro-Etilen) malzemelerin delme işlemi sırasında delaminasyonu analiz etmişler ve uygun kesme koşullarını belirlemişlerdir. Delme işleminde 90°lik uç açısına ve 35°lik helis açısına sahip 6.3 mm çapında karbür matkap kullanmışlardır. Test sonuçlarında, her bir faktörün etkisini ilişkilendirmek için varyans analizi yapmışlar ve delaminasyon faktörlerini 1.004 ile 1.2125 arasında bulmuşlardır.

Literatür değerlendirildiğinde, PEEK esaslı kompozitlerin işlenebilirliğinin genellikle tomalama ve frezeleme yöntemleriyle araştırıldığı görülmektedir. Delik delme üzerine araştırmalarda ise PEEK ve PEEK-GF30 malzemelerin kullanıldığı belirlenmiştir. Diğer yandan, PEEK malzemenin maliyetinin yüksek olması ve son yıllarda artan kullanım gereksinimi nedeniyle delinebilirlik performansını tam olarak anlamak ve endüstriyel uygulamalarını genişletmek için kapsamlı araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte, kesme hızı, ilerleme hızı, matkap malzemesi ve geometrisi gibi delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ile boyutsal ve geometrik toleransları etkilediği bilinmektedir (Klocke ve ark., 2017; Yaşar ve ark., 2017; Sur & Erkan, 2018; Susac ve ark., 2019; Batista ve ark., 2020). Bu bağlamda, PEEK-CF30 termoplastik malzemenin HSS kaplamasız matkapla delinmesinde delme parametrelerinin itme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve delaminasyon üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Bu çalışma ile PEEK-CF30 malzemenin delinmesinde kullanılacak en uygun delme parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. İş parçası ve matkap özellikleri

Deney numunesi olarak 200x200x10 mm ebatlarında ağırlıkça %30 karbon fiber ile takviye edilmiş Quadrant marka PEEK-CF30 termoplastik plakalar hazır olarak temin edilmiştir. PEEK-CF30 plakalar su jeti ile kesilerek bağlama kalıbı için gerekli olan 75x100x10 mm ölçüsüne getirilmiştir. PEEK CF30 malzemesine ait mekanik ve fiziksel özellikler Çizelge 1’de verilmiştir. Delme işlemlerinde, 5 mm çapında 118° uç ve 25° helis açısına sahip ticari olarak kullanılan Nachi marka kaplamasız HSS matkaplar kullanılmıştır.

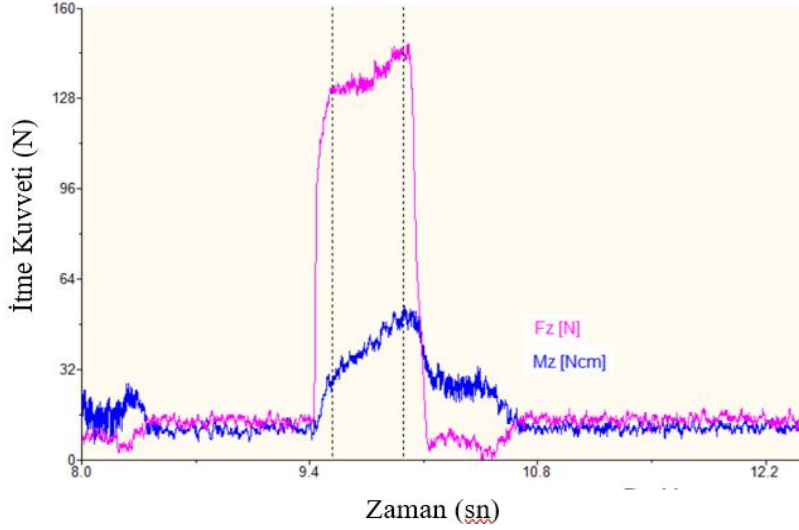
Çizelge 1. PEEK-CF30 fiziksel ve mekanik özellikleri

Renk	Siyah
Yoğunluk	1.4 gr/cm <sup>3</sup>
Termal Özellikler	
Erime sıcaklığı	340 °C
Termal iletkenlik	0.92 W/K.m
Çalışma sıcaklığı	250 °C
Mekanik Özellikleri	
Çekme gerilmesi	144 MPa
Çekme gerinimi	%3.5
Elastikiyet modülü	9200 MPa
Basma gerilmesi	69 MPa
Kesme dayanımı	103 MPa
Sertlik	102 HRM

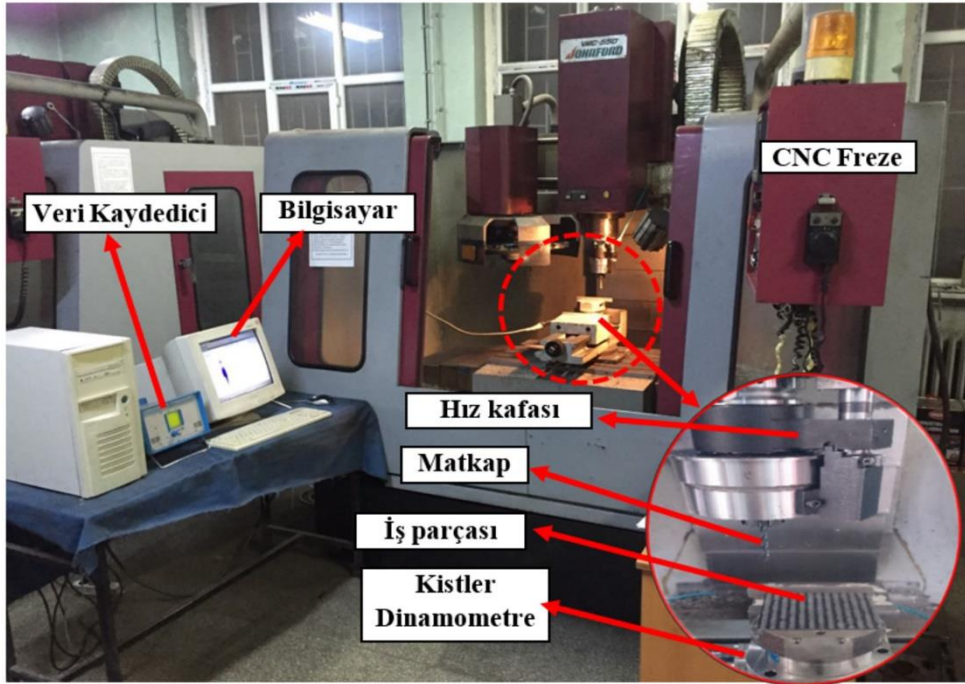
### 2.2. Deney düzeneği ve delme parametreleri

Delme deneyleri, 10 HP ve 6000 d/dk kapasiteye sahip CNC dik işleme (Johnford VMC–550) merkezinde yapılmıştır. Delme sırasında oluşan kuvvetlerin ölçümünde takım tezgahına bağlanan Kistler 9272 tipi dinamometre ve veri aktarımı için KISTLER 5070A tipi çok kanallı amplifier kullanılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen değerler KISTLER Dynoware yazılımı kullanılarak bilgisayar ortamında analiz edilmiştir. Delme sırasında oluşan itme kuvvetinin ortalaması alınmış olup, örnek bir uygulama Şekil 1’de verilmiştir. Deneylerde kullanılan deney düzeneği Şekil 2’de gösterilmiştir. Delme deneyleri, literatürde yapılan araştırmalar incelenerek belirlenen üç farklı kesme hızı (40, 80, 120 m/dk) ve ilerleme hızında (0.1, 0.15, 0.2 mm/dev) gerçekleştirilmiştir. Delme işleminde yüksek devirlere ihtiyaç duyulduğundan yüksek devir sayılarına ulaşabilmek için maksimum 30.000

d/dk hıza çıkabilen hız kafası kullanılmıştır. Delme deneyleri kuru ortamda ve her bir deneyde matkap değiştirilerek yapılmıştır.



Şekil 1. Kuvvet ölçüm grafiği (V=120 m/dk, f=0.2 mm/dev).

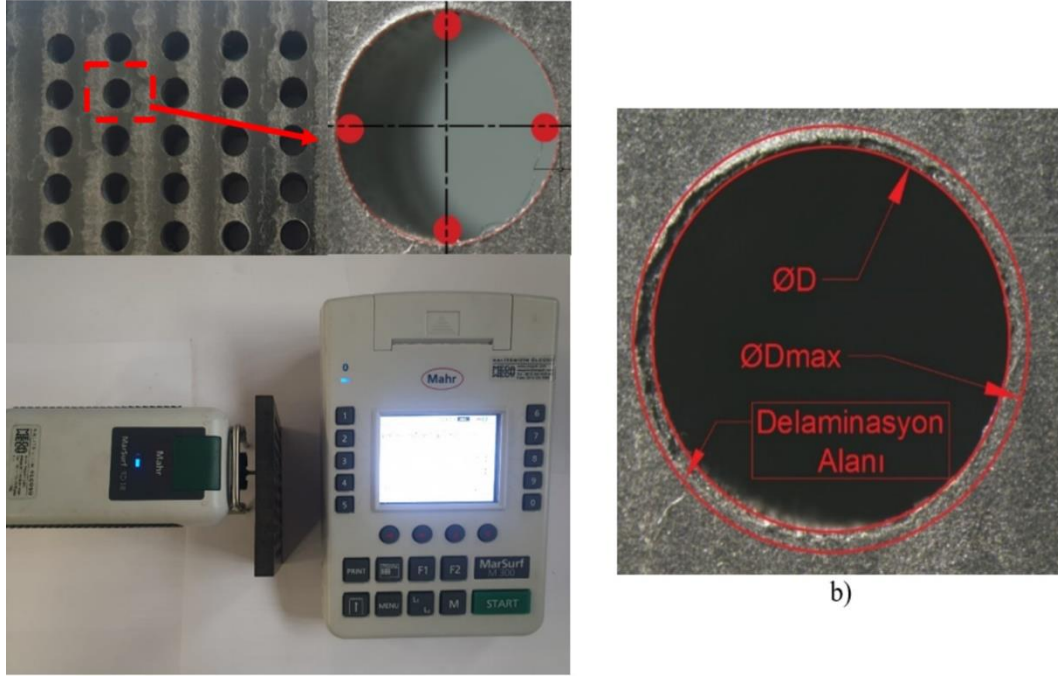


Şekil 2. Deney düzeneği.

### 2.3. Yüzey pürüzlülüğü ve delaminasyon faktörü

Delme deneyleri sonucunda, delik yüzeylerinin pürüzlülük değerleri MarSurf M300 tipi yüzey pürüzlülük cihazı ile ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinin yapılabilmesi için delik çapına uygun prob kullanılmıştır. Ölçümler, delik eksenine paralel olacak şekilde her delik için delik çıkışında aynı mesafeden ve her ölçüm için parça eşit açıda (yaklaşık 90°) döndürülerek yapılmıştır. Ölçüm uzunluğu 5.6 mm alınarak her delik için dört ölçüm yapılmış ve ölçümlerin aritmetik ortalaması alınarak değerlendirilmeler yapılmıştır (Şekil 3a). Delik çıkışında oluşan hasarları incelemek için Nikon SMZ745T takım mikroskobu kullanılmış ve her bir deliğin fotoğrafı alınmıştır. Elde edilen resimler AutoCAD programına aktarılarak deliklerin etrafındaki hasarların (delaminasyon faktörü, Fd) boyutları

belirlenmiştir (Şekil 3b). Delaminasyon faktörü ( $F_d$ ), maksimum çapın ( $D_{max}$ ), normal delik çapına ( $D$ ) bölünmesi ile elde edilmiştir.



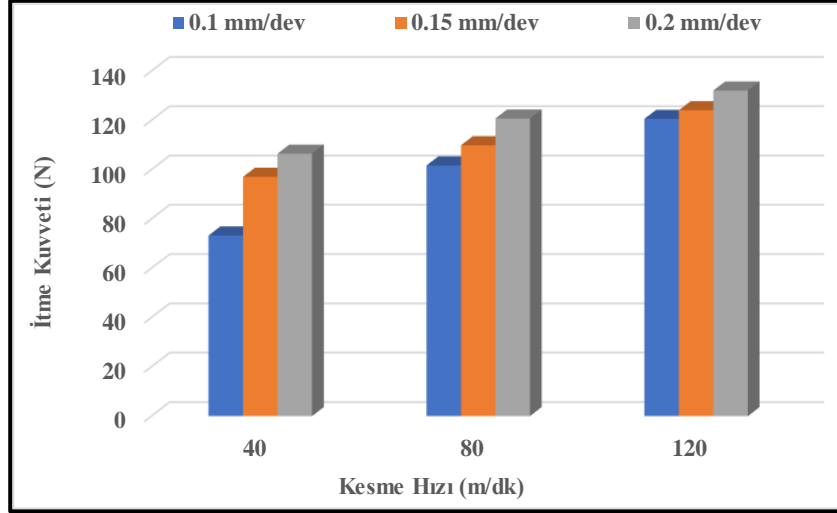
Şekil 3. Delik kontrolü; a) yüzey pürüzlülüğü ölçümü, b) delaminasyon faktörü.

### 3. Tartışma ve Sonuç

#### 3.1 İtme kuvvetlerinin değerlendirilmesi

İtme kuvveti, kesme düzlemine uygulanan işleme yükünü ifade eder ve kompozit malzemelerin yorulma mukavemetini azaltacak olan delme kaynaklı delaminasyonun temel nedenidir (Bayraktar ve ark., 2017; Seo ve ark., 2020). Polimer esaslı kompozit malzemelerin delinmesinde işleme parametreleri ile itme kuvveti, tork ve kesme gerilimi arasındaki ilişki, işlenmiş deliğin kalitesini doğrudan etkilemesi nedeniyle birçok araştırmanın konusudur (Batista ve ark., 2020; Xu ve ark., 2022; Uslu ve ark., 2022). Kaplamasız HSS matkap kullanılarak yapılan delme işleminde, itme kuvvetinin ilerleme hızı ve kesme hızına göre değişimi Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4'te görüldüğü gibi, itme kuvvetleri hem kesme hızı hem de ilerlemedeki artışla birlikte orantılı olarak artmıştır. 0.1 mm/dev ilerleme hızı ile 40 m/dk, 80 m/dk ve 120 m/dk kesme hızlarında delme işlemi yapıldığında, sırasıyla 73.3 N, 101.7 ve 120.6 N'luk itme kuvvetleri meydana gelmiştir. İlerleme miktarı sırasıyla 0.15 mm/dev ve 0.2 mm/dev ilerlemeye çıkarıldığında, itme kuvvetlerinde 40 m/dk kesme hızında %25 ve %9'luk, 80 m/dk ile delmede %7 ve %9'luk artış ve 120 m/dk kesme hızında %3 ve %6'lık bir artış oluşmuştur. Kesme hızının 40 m/dk'dan 120 m/dk'ya arttırılmasıyla itme kuvvetlerinde %9-%28 arasında bir artış görülmüştür. Literatürde, kesme hızının artmasıyla sıcaklığın arttığı ve termoplastik malzemenin matrisinde yumuşamaya neden olarak itme kuvvetlerinin azaldığından bahsedilmektedir (Weinert & Kempmann, 2004; Xu ve ark., 2020). Aksine, Şekil 4'te gösterilen grafikler incelendiğinde artan ilerleme ve kesme hızı ile itme kuvvetlerinde artış olduğu görülmektedir. PEEK-CF30 malzemenin delinmesi ile ilgili yapılan çalışmalarda 0.1 mm/dev ilerleme ve 120 m/dk kesme hızında 10 mm derinlikte matkapta 280 °C sıcak meydana geldiği belirtilmiştir. Bu sıcaklık termoplastik malzemeler için belirtilen camsı geçiş sıcaklık (143 °C) ile erime sıcaklığı arasında (335 °C) olup, bu sıcaklıkta polimer daha sünek hale gelir ve statik sürtünme katsayısı yükselir (Weinert & Kempmann, 2004; Weinert ve ark., 2007). Bu bağlamda, kesme hızının artmasıyla artan sıcaklık termoplastik malzemenin yumuşamasına ve sürtünme katsayısının artmasına sebep olarak matkap kesici kenarında yapışmaya neden olabilir. Böylece değişen takım geometrisi sonucunda kesme işlemi zorlaşacağından itme kuvvetlerinin artması kaçınılmaz olur. Ek olarak, artan ilerleme miktarı talaş hacminde artışa neden olarak talaşın koparılmaya karşı direncini

artırır. Ayrıca, talaş hacmindeki artış talaş tahliyesini de zorlaştırmaktadır. Bu oluşumlar da itme kuvvetlerini artırmaktadır. Diğer yandan, PEEK malzemenin içinde bulunan karbon fiber takviyeler kesme hızının artmasıyla parçalanmakta ya da kopmaktadır. Karbon fiber parçacıkları matkap ile iş parçası arasında kalarak tekrar kesilmeye maruz kaldığından itme kuvvetlerinde artışa neden olmaktadır (Yaşar ve ark., 2017).

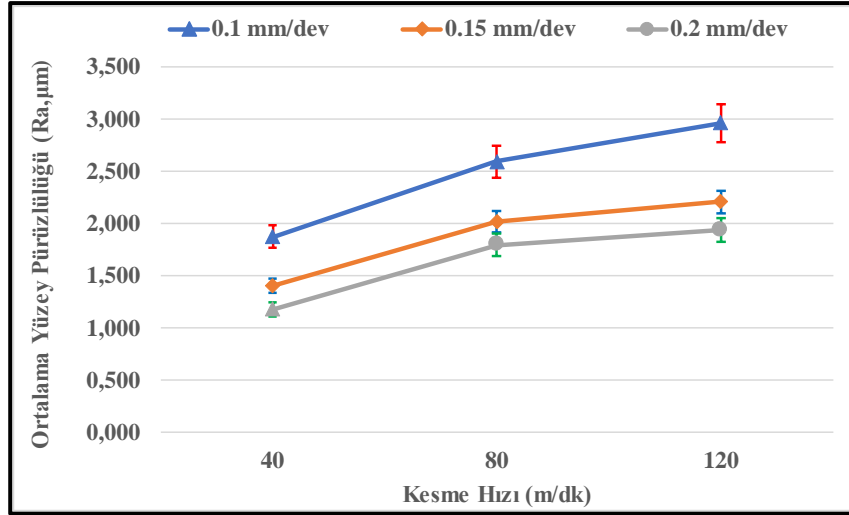


Şekil 4. İtme kuvvetlerinin kesme hızı ve ilerleme miktarına göre değişimi.

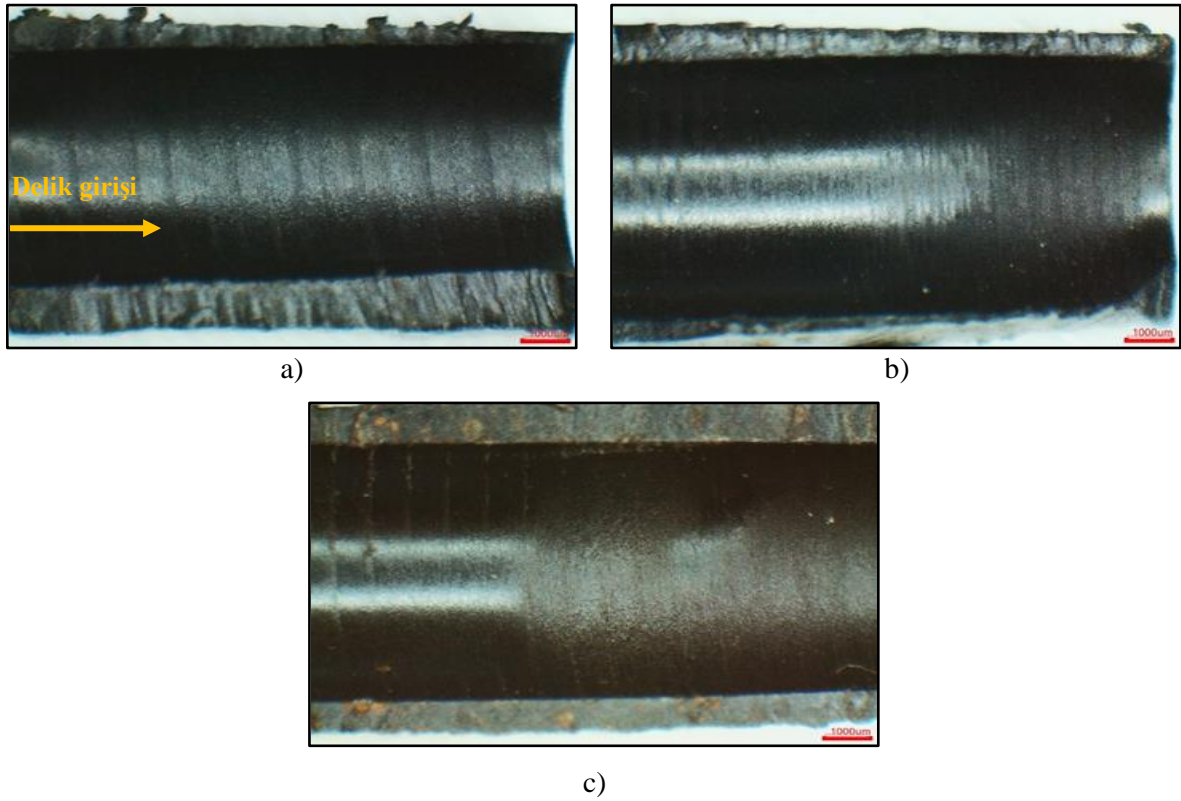
### 3.2. Yüzey pürüzlüğünün değerlendirilmesi

PEEK-CF30 termoplastik malzemenin farklı işleme parametrelerinde delinmesinde delik yüzeyinde oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ve ilerlemeye göre değişimi Şekil 5'te gösterilmiştir. En düşük yüzey pürüzlülüğü 40 m/dk kesme ve 0.2 mm/dev ilerleme hızında elde edilirken (1.18  $\mu\text{m}$ ), en yüksek yüzey pürüzlülüğü 120 m/dk kesme hızı ve 0.1 mm/dev ilerlemede (2.963  $\mu\text{m}$ ) olarak elde edilmiştir. İlerleme hızının 0.1 mm/dev'den 0.15 mm/dev'e ve 0.2 mm/dev sırasıyla artmasıyla pürüzlülük değerlerinde 40 m/dk kesme hızında %34 ve %19'lük, 80 m/dk kesme hızında %29 ve %12'lik, 120 m/dk kesme hızında %1 ve %14'lük bir azalma tespit edilmiştir.

Kesme hızının artırılması, sürtünme sürecine bağlı olarak daha fazla ısı oluşumuna neden olur. Buna karşılık, daha yüksek ilerleme hızları, kesme kenarının daha kısa temas uzunluğuna neden olur. Bu açıdan değerlendirildiğinde termoplastik plastik malzemenin işlenmesinde düşük kesme hızı ve yüksek ilerlemelerde daha düşük yüzey pürüzlülüğü elde edilmektedir (Ficici ve ark., 2017; Vigneshwaran ve ark., 2018; Susac ve ark., 2019). Polimerlerin delinmesi sırasında oluşan ısı dağılımı, metal malzemelerin delinmesindeki fenomene göre farklıdır. Metal kesmede, üretilen ısının büyük bir kısmı talaş, geriye kalan iş parçası ve kesici takım tarafından taşınır. Ancak polimerlerin delinmesinde, polimerik iş parçası termal olarak neredeyse iletken olmadığı için üretilen ısının büyük bir kısmı kesici takım tarafından dağıtılır (Rahman ve ark., 1999; Weinert & Kempmann, 2004; Xu ve ark., 2020). Dolayısıyla, polimerlerin işlenmesinde kesici takım-iş parçası temas yüzeyi arttıkça, iş parçasına dağılan ısı miktarı artacağından iş parçası üzerinde oluşan termal hasarlar artar. Weinert & Kempmann (2004) çalışmasında bahsettiği gibi, delik yüzeylerinde yüksek sıcaklığa bağlı oluşan ısıl bozunma (pyrolysis) olduğu ve bunun delik çıkışına doğru arttığı görülmektedir (Şekil 6). Ergime nedeniyle delik yüzeylerinde oluşan bu oluşum delik yüzey kalitesinin kötüleşmesine neden olmaktadır. Sonuç olarak, PEEK-CF30 termoplastik malzemenin delinmesinde, özellikle kesme hızındaki artışla oluşması muhtemel yüksek ısı yukarıda bahsedilen oluşumların gelişmesini sağlayarak yüzey kalitesini olumsuz etkilemiştir.



Şekil 5. Yüzey pürüzlüğünün kesme hızı ve ilerleme miktarına göre değişimi.

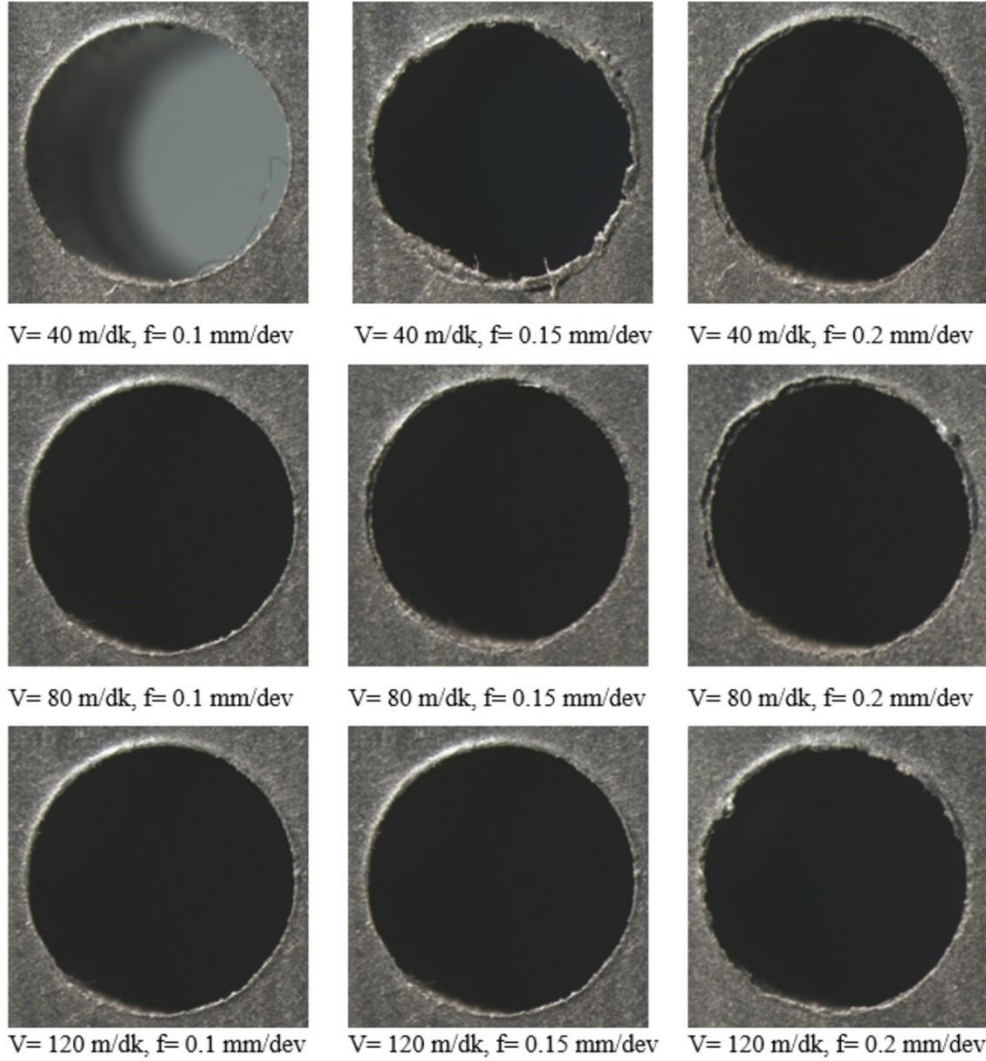


Şekil 6.  $f=0.15$  dev/dk ilerlemede delik yüzeyleri; a)  $V=40$  m/dk, b)  $V=80$  m/dk, c)  $V=120$  m/dk.

### 3.3. Delaminasyon faktörünün değerlendirilmesi

Delaminasyon, kompozit yapıların yapısal bütünlüğünü azaltan ve genellikle fiber takviyeli kompozitlerin işlenmesiyle ilişkili önemli bir problemdir. Delaminasyon, montaj kalitesini ve özellikle de perçinleme olarak delmeye müteakip işlemlerde toleransı etkiler. Bu nedenle, bu hasarı en aza indirecek işleme koşullarının belirlenmesi önemlidir. Delik girişi ve çıkışlarında kompozit malzemenin özelliğine göre farklı türlerde delaminasyonlar oluşabilmektedir. Delinmiş malzemenin çıkış noktasında dışarı itme delaminasyonu meydana gelir. Matkap deliğın sonuna doğru hareket ettiğında malzemedeki kesilmemiş kalınlık azalır ve böylece deformasyona karşı direnç azalır. Sonuç olarak takım çıkış noktasına girdiğında bir çıkış delaminasyon bölgesi gelişir (Domingo ve ark., 2015; Yaşar & Günay,

2019). Şekil 7’de PEEK-CF30 termoplastik kompozitin delinmesinde delik çıkışlarında oluşan hasarlar görülmektedir. Delaminasyon faktörünün ( $F_d$ ) kesme parametrelerine göre değişimlerini değerlendirmek amacıyla bu görüntülerden yararlanılmıştır. Dolayısıyla, hesaplanan  $F_d$  değerlerinin parametrelere göre değişimleri Şekil 8’de grafik olarak verilmiştir.



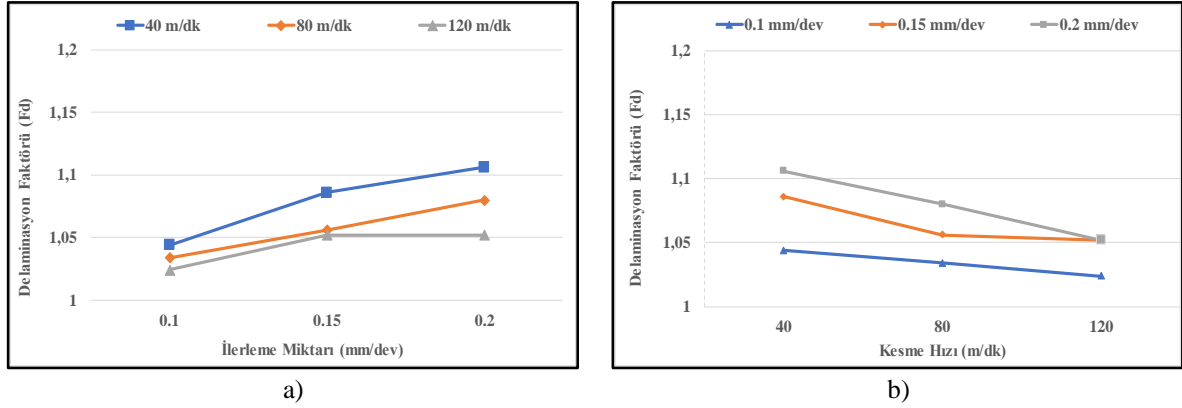
Şekil 7. Kesme parametrelerine göre delaminasyon görüntüleri.

Şekil 8a ve 8b’de, delaminasyon faktörünün kesme hızı ve ilerleme hızına göre değişimleri gösterilmiştir. Genel olarak grafikler incelendiğinde, en düşük kesme hızı ve en yüksek ilerleme hızında delaminasyon faktörünün maksimum değere ulaştığı görülebilir. Ancak kesme hızının artırılması veya ilerleme hızının düşürülmesi, delaminasyon hasarının azaltılmasına fayda sağlama eğilimindedir. Şekil 8’deki grafik incelendiğinde, 120 m/dk kesme hızı ve 0.1 mm/dev ilerleme miktarında en düşük delaminasyon faktörü 1.024 elde edilirken, 40 m/dk kesme hızı ve 0.2 mm/dev ilerleme miktarında en yüksek delaminasyon 1.106 elde edilmiştir. Tüm delme parametrelerinde elde edilen delaminasyon faktörlerinin nominal değer olan 1.2 altında kaldığı görülmüştür (Yaşar & Günay, 2019).

Kompozit malzemelerin delinmesinde oluşan delaminasyon faktörü için sınır değer, nominal çap değerinin maksimum 1 mm fazlası kabul etmektedirler. Bu çalışmada delaminasyon faktörü için nominal değer 1.2 olarak alınmıştır. Şekil 8’deki grafik kaplamasız HSS matkapla farklı kesme parametreleri kullanılarak elde edilen delaminasyon faktörünün değişimini göstermektedir. Delaminasyon faktörü ilerleme miktarının artan değerlerine bağlı olarak artış eğilimi sergilemektedir (Şekil 8a). İlerleme miktarının artmasıyla itme kuvvetlerinin artması kaçınılmaz bir sonuç olduğundan (Xu ve ark., 2020; Ficici, 2021; Yazman, 2021), itme kuvvetlerinde meydana gelen artışlar



delaminasyon faktörünün artışına neden olmaktadır. Şekil 8b'den görüldüğü gibi, kesme hızındaki artışla birlikte delaminasyon faktörü azalmıştır. Delme işleminde, kesme hızının artmasıyla artan kesme sıcaklığı matris malzemesini yumuşatarak kesme sürecinde oluşan itme kuvvetlerini azaltarak delaminasyonun azalmasına katkı sağlamaktadır (Palanikumar ve ark., 2012; Rajamurugan ve ark., 2013; Ficici ve ark., 2017). Ayrıca, artan kesme sıcaklığıyla birlikte matkap kesici ağızlarına yapışan malzeme minimize edilerek veya engellenerek kesme kuvvetlerinin artmasından kaynaklı delaminasyonun azalmasına yardımcı olur. Dolayısıyla, PEEK-CF30 termoplastik kompozitin delinmesinde kesme hızındaki artış delaminasyon oluşumunu azaltmıştır.



Şekil 8. Delaminasyon faktörü değişimi; a) ilerleme miktarına göre, b) kesme hızına göre.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, PEEK CF30 termoplastik malzemenin kaplamasız HSS matkap ile delinmesi sırasında kesme hızı ve ilerleme hızının itme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve delaminasyon faktörüne etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- PEEK-CF30 malzemenin delinmesinde ilerleme ve kesme hızının artmasıyla itme kuvvetlerinde artış görülmüştür. En düşük itme kuvveti 40 m/dk kesme hızı ve 0.1 mm/dev ilerlemede elde edilmiştir.
- Kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerleri artarken, ilerleme miktarı arttıkça yüzey pürüzlülüklerinin azaldığı belirlenmiştir. Bu sonuç, düşük ilerleme hızında artan kesme süresi ve yüksek kesme hızında artan sıcaklığa bağlı delik yüzeyinde oluşan ısıl bozulmadan kaynaklanmıştır.
- İlerleme hızı arttıkça delaminasyon faktöründe artış, kesme hızı arttıkça delaminasyon faktöründe azalma meydana gelmiştir. En düşük delaminasyon faktörü 120 m/dk kesme hızı ve 0.1 mm/dev ilerleme miktarında 1.024 elde edilirken, en yüksek delaminasyon faktörü 40 m/dk kesme hızı ve 0.2 mm/dev ilerleme miktarında 1.106 ölçülmüştür.
- Bundan sonraki çalışmalarda, PEEK-CF30'un delinmesinde oluşan itme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve delaminasyon faktörünü farklı kesme parametrelerinde tahmin edebilmek için matematiksel modeller geliştirilebilir.

#### Teşekkür

Bu çalışma, Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından KBÜ-BAP-16/2-YL-09 numaralı proje ile desteklenmiş olup katkılarından dolayı teşekkür ederim.

#### Kaynakça

Azmi, I., Lin R. J. T., & Bhattacharyya, D. (2013). Machinability study of glass fibre-reinforced polymer composites during end milling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 64, 247-261. doi: 10.1007/s00170-012-4006-6

- Batista, M. F., Basso, I., Toti, F. A., Rodrigues, A. R., & Tarpani, J. R. (2020). Cryogenic drilling of carbon fibre reinforced thermoplastic and thermoset polymers. *Composite Structures*, 25, 112625. doi: 10.1016/j.compstruct.2020.112625
- Bayraktar, Ş., Sıyambaş, Y., & Turgut, Y. (2017). Drilling process: A review. *Sakarya University Journal of Science*, 21(2), 120-130. doi: 10.16984/sofenbilder.296833
- Cabrera, F. M., Khamlichi, A., Losilla, I., & Hanafi, I. (2012). Mathematical modelling for predicting surface roughness during machining of PEEK CF30 composite. *International Review of Applied Sciences and Engineering*, 3(2), 87-96. doi: 10.1556/IRASE.3.2012.2.1
- Can, A. (2019). Study on the machinability of SMC composites during hole milling: influence of tool geometry and machining parameters. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44, 7599-7616. doi: 10.1007/s13369-019-03865-z
- Davim, J. P., & Reis, P. (2004). Machinability study on composite (polyetheretherketone reinforced with 30% glass fibre-PEEK GF30) using polycrystalline diamond (PCD) and cemented carbide (K20) tools. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 23, 412-418. doi: 10.1007/s00170-003-1779-7
- Davim, J. P., & Mata, F. (2007). New machinability study of glass fiber reinforced plastics using polycrystalline diamond and cemented carbide (K15) tools. *Materials & Design*, 28, 1050-1054. doi: 10.1016/j.matdes.2005.09.019
- Davim, J. P., & Mata, F. (2008). Chemical vapour deposition (CVD) diamond coated tools performance in machining of PEEK composites. *Materials & Design*, 29, 1568-1574. doi: 10.1016/j.matdes.2007.11.002
- Domingo, R., García, M., & Gómez, M. R. (2013). Determination of energy during the dry drilling of PEEK GF30 considering the effect of torque. *Procedia Engineering*, 63, 687-693. doi: 10.1016/j.proeng.2013.08.195
- Domingo, R., Marín, M., Agustina, B., & Calvo, R. (2015). Delamination analysis of polymeric materials during the drilling process. *Procedia Engineering*, 132, 448-455. doi: 10.1016/j.proeng.2015.12.518
- Domingo, R., Agustina, B., & Marín M. M. (2020). Study of drilling process by cooling compressed air in reinforced polyether-ether-ketone. *Materials*, 13(8), 1965. doi: 10.3390/ma13081965
- Du, Y., Yang, T., Liu, C., & Sun, Y. (2022). Damage performance in drilling of carbon fiber-reinforced polyetheretherketone composites using drills with different geometries. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 121, 1743-1753. doi: 10.1007/s00170-022-09430-7
- Ficici, F., Ayparcasi, Z., & Ünal, H. (2017). Influence of cutting tool and conditions on machinability aspects of polyphthalamide (PPA) matrix composite materials with 30 % glass fiber reinforced. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 90, 3067-3073. doi: 10.1007/s00170-016-9626-9
- Ficici, F. (2021). Investigation of thrust force in drilling polyphthalamide (PPA) composites. *Measurement*, 182, 109505. doi: 10.1016/j.measurement.2021.109505
- Izamshah, R., Azam, M. A., Hadzley M., Md Ali, M. A., Kasim, M. S., & Abdul Aziz M. S. (2013). Study of surface roughness on milling unfilled polyetheretherketones engineering plastics. *Procedia Engineering*, 68, 654-660. doi: 10.1016/j.proeng.2013.12.235
- Klocke, F., Shirobokova, A., Kerchnawe S., Wahl, M., Mannensa, R., Feuerhacka, A., & Mattfelda, P. (2017). Experimental investigation of the hole accuracy, delamination, and cutting force in piercing of carbon fiber reinforced plastics. *Procedia CIRP*, 66, 215-220. doi: 10.1016/j.procir.2017.03.297
- Lopez-Arraiza A., Amenabar I., Agirregomezhorta, A., Sarrionandia, M., & Aurrekoetxea, J. (2012). Experimental analysis of drilling damage in carbon-fiber reinforced thermoplastic laminates manufactured by resin transfer molding. *Journal of Composite Materials*, 46, 717-25. doi: 10.1177/0021998311414218
- Mata, F., Gaitonde, V. N., Karnik, S. R., & Davim J. P. (2009). Influence of cutting conditions on machinability aspects of PEEK, PEEK CF 30 and PEEK GF 30 composites using PCD tools. *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 1980-1987. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2008.04.060

- Mata, F., Beamud, E., Hanafi, I., Khamlichi, A., Jabbouri, A., & Bezzazi, M. (2010). Multiple regression prediction model for cutting forces in turning carbon-reinforced PEEK CF30. *Advances in Materials Science and Engineering*, 1-7. doi: 10.1155/2010/824098
- McLauchlin, A. R., Ghita, O. R., & Savage, L. (2014). Studies on the reprocessability of poly (ether ether ketone) (PEEK). *Journal of Materials Processing Technology*, 214, 75-80. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2013.07.010
- Palanikumar, K., Latha, B., Senthilkumar, V., & Paulo, D. J. (2012). Analysis on drilling of glass fiber-reinforced polymer (GFRP) composites using Grey relational analysis. *Materials and Manufacturing Processes*, 27, 297-305. doi: 10.1080/10426914.2011.577865
- Rahman, M., Ramakrishna, S., & Thoo, H. C. (1999). Machinability study of carbon/PEEK composites. *Machining Science and Technology*, 3(1), 49-59. doi: 10.1080/10940349908945682
- Rajamurugan, T. V., Shanmugam, K., & Palanikumar, K. (2013). Analysis of delamination in drilling glass fiber reinforced polyester composites. *Materials & Design*, 45, 80-87. doi: 10.1016/j.matdes.2012.08.047
- Seo, J., Banerjee, N., Kim, Y., Kim, D. C. & Park, H. W. (2020). Experimental and analytical investigation of the drilling forces of the carbon fiber reinforced plastics including thermal effects, *Journal of Manufacturing Processes*, 58, 1126-1137. doi: 10.1016/j.jmapro.2020.08.063
- Sur, G., & Erkan, Ö. (2018). Cutting tool geometry in the drilling of CFRP composite plates and Taguchi optimisation of the cutting parameters affecting delamination. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 36(3), 619-628.
- Susac, F., Tabacaru, V., Teodor, V. G., & Baroiu, N. (2019). Effect of cutting parameters on the hole quality in dry drilling of some thermoplastic polymers. *Materiale Plastice*, 56, 1. doi: 10.37358/MP.19.1.5160
- Thiruchitrabalam, M., Bubesh Kumar, D., Shanmugam D., & Jawaid, M. (2020). A review on PEEK composites - Manufacturing methods, properties and applications. *Materials Today: Proceedings*, 33, 1085-1092. doi: 10.1016/j.matpr.2020.07.124
- Uslu, G., Demirhan, M., Yaşar, N., & Korkmaz, M. E. (2022). Influence of glass fiber ratio on machining characteristics of PA66 polymer for aerospace applications. *İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları*, 3(1), 59-66. doi: 10.52795/mateca.1080444
- Vigneshwaran, S., Uthayakumar, M., & Arumugaprabu, V. (2018). Review on machinability of fiber reinforced polymers: A drilling approach. *Silicon*, 10, 2295-2305. doi: 10.1007/s12633-018-9764-9
- Weinert, K., & Kempmann, C. (2004). Cutting temperatures and their effects on the machining behavior in drilling reinforced plastic composites. *Advanced Engineering Materials*, 6(8), 684-689. doi: 10.1002/adem.200400025
- Weinert, K., Brinkel, F., Kempmann, C., & Pantke, K. (2007). The dependency of material properties and process conditions on the cutting temperatures when drilling polymers. *Production Engineering - Research and Development*, 1, 381-387. doi: 10.1007/s11740-007-0015-y
- Xu, J., Huang X., Davim J. P., Ji, M., & Chen, M. (2020). On the machining behavior of carbon fiber reinforced polyimide and PEEK thermoplastic composites. *Polymer Composites*, 41, 3649-3663. doi:10.1002/pc.25663
- Xu, J., Yin, Y., Davim, J. P., Li, L., Ji, M., Geier, N., & Chen, M., (2022). A critical review addressing drilling-induced damage of CFRP composites. *Composite Structures*, 294, 115594. doi: 10.1016/j.compstruct.2022.115594
- Yaşar, N., Korkmaz, M. E., & Günay, M. (2017). Investigation on hole quality of cutting conditions in drilling of CFRP composite. *MATEC Web of Conferences*, 112, 01013. doi: 10.1051/mateconf/20171120101
- Yaşar, N., & Günay, M. (2019). Experimental investigation on novel drilling strategy of CFRP laminates using variable feed rate. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 41, 150. doi: 10.1007/s40430-019-1658-2
- Yazman, Ş. (2021). The effects of back-up on drilling machinability of filament wound GFRP composite pipes: Mechanical characterization and drilling tests. *Journal of Manufacturing Processes*, 68, 1535-1552. doi: 10.1016/j.jmapro.2021.06.054