



## Karbon elyaf takviyeli polimer kompozitin farklı matkap uçlarıyla delinmesinde işleme parametrelerinin delaminasyon hasarına etkisinin değerlendirilmesi

### *Evaluation of the effect of machining parameters on delamination damage in drilling of carbon fiber reinforced polymer composite with different drill bits*

Meltem Altın Karataş<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Gerede Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, [meltemaltin@ibu.edu.tr](mailto:meltemaltin@ibu.edu.tr), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1628-1316>

#### MAKALE BİLGİLERİ

*Makale Geçmişi:*

Geliş 15 Aralık 2021  
Revizyon xxx  
Kabul 18 Ocak 2022  
Online 30 Mart 2022

*Anahtar Kelimeler:*

*Karbon elyaf takviyeli polimer, delme, delaminasyon, Taguchi metodu.*

#### ÖZ

Bu çalışmada, 0°/90° fiber oryantasyon açısında üretilmiş olan karbon elyaf takviyeli polimer (KETP) kompozit malzemenin farklı matkap uçlarıyla 5 eksen CNC kontrollü dik işleme merkezinde delinmesi sonucu elde edilen delaminasyon faktörü ( $F_d$ ) değerleri analiz edilmiştir. Taguchi yöntemi ile deneysel tasarım uygulanmıştır. Delme deneyleri, Minitab 19 yazılımı kullanılarak Taguchi  $L_{18}$  ortogonal dizinine göre yapılmıştır. Deney sonuçları sinyal/gürültü (S/N) oranı esas alınarak değerlendirilmiştir. Kontrol faktörleri olarak iki farklı matkap ucu (HSS ve karbür), üç farklı iş mili devri (750, 1000, 1500 dev/dak) ve üç farklı ilerleme değeri (0.05, 0.10, 0.15 mm/dev) seçilmiştir. Varyans analizi (ANOVA) uygulanarak kontrol faktörlerinin  $F_d$  üzerindeki etki seviyeleri bulunmuştur. ANOVA analizi ile %94.85 güvenilirlik seviyesi elde edilmiştir. En düşük  $F_d$  değeri karbür matkap ucu kullanılarak, 1500 dev/dak iş mili devri ve 0.05 mm/dev ilerleme değeri 1.3905 olarak tespit edilmiştir.

#### ARTICLE INFO

*Article history:*

Received 15 December 2021  
Received in revised form xxx  
Accepted 18 January 2022  
Available online 30 March 2022

*Keywords:*

*Carbon fiber reinforced polymer, drilling, delamination, Taguchi method.*

#### ABSTRACT

In this study, the delamination factor ( $F_d$ ) values obtained as a result of drilling the carbon fiber reinforced polymer (KETP) composite material produced at the fiber orientation angle of 0°/90° with different drill bits in a 5-axis CNC controlled vertical machining center were analyzed. Experimental design was applied with the Taguchi method. Drilling experiments were performed according to Taguchi  $L_{18}$  orthogonal array by using Minitab 19 software. The test results were evaluated on the basis of the signal to noise (S/N) ratio. Two different drill bits (HSS and carbide), three different spindle speeds (750, 1000, 1500 rpm) and three different feed rates (0.05, 0.10, 0.15 mm/rev) were chosen as control factors. The effect levels of control factors on  $F_d$  were found by applying analysis of variance (ANOVA). A confidence level of 94.85% was obtained with ANOVA analysis. The lowest  $F_d$  value was determined as 1.3905 at a spindle speed of 1500 rpm and a feed rate of 0.05 mm/rev using a carbide drill bit.

Doi: 10.24012/dumf.1037211

\*Sorumlu Yazar

## Giriş

Kompozit malzemeler, günümüzde özellikle otomotiv, uzay, denizcilik, demiryolu taşımacılığı ve spor malzemeleri gibi endüstriyel sanayi alanlarının birçoğunda kullanılmakta ve düşük özgül ağırlıklarına karşı sergiledikleri mükemmel dayanım özellikleri nedeniyle geleneksel malzemelerin (demir, çelik, alüminyum, pirinç, bakır, ahşap, plastik, vb.) yerine kullanımları gün geçtikçe artarak devam etmektedir [1]. İleri kompozit malzemelerden biri olan karbon elyaf takviyeli polimer (KETP) kompozit malzemeler, düşük yoğunluğa sahip olmalarına karşın titanyuma göre daha sert malzemelerdir. Bununla birlikte; KETP kompozitlerin iyi yorulma dayanımına, sürünme direnci ve aşınma direncine, kimyasal ve boyutsal kararlılığa, düşük sürtünme katsayısına, yüksek tokluk değerine, korozyon direncine, düşük elektrik direnci ile titreşim sönmülme yeteneklerine sahip olması bu malzemenin tercih edilme sebeplerindedir [2]. KETP kompozit malzemeler, ilk olarak balık oltaları, golf sopaları ve diğer spor malzemelerinde kullanılmış olsa da son yıllarda daha geniş olarak uçak malzemelerinde ve tıbbi malzeme gibi endüstriyel amaçlar için kullanılmaktadır [3]. Kompozit malzemelerin Airbus 350 ve Boeing 787 uçaklarında kullanılması yaklaşık olarak ağırlıkça %50 ve hacimce % 90'dır [4].

Delme işlemi, imalat işlemleri arasından perçinli, cıvatalı vb. parçaların montajı sırasında en çok kullanılan işleme yöntemlerinden biridir [5]. El-Sonbaty ve ark., küçük motorlu bir uçakta bağlantı elemanları için yüz binden fazla, büyük uçaklarda ise milyonlarca deliğin bulunduğunu bildirmişlerdir [6]. Kompozit malzemelerin anizotropik (her yönde farklı özelliklere sahip olması) ve homojen olmayan yapısı nedeniyle bu tür malzemelerin işlenmesinde matris çatlamaları, kabarma, fiber çekilmesi, fiber itilmesi, ve delaminasyon gibi hasar türleri oluşmaktadır [7]. Bu tür farklı hasar çeşitlerinin oluşması birçok iş parçasının reddedilmesine neden olmaktadır [8]. Uçak endüstrisinde, delaminasyon hasarından dolayı parçaların montajı sırasında %60'ı gibi büyük bir oranının kullanılmadan reddedildiği bildirilmektedir [1, 8]. İşlenen malzeme yüzeyinde meydana gelen bu tür hasarlar, ürün kalitesi üzerinde çok büyük etkiye sahiptir ve bu tür yüzey hasarlarını engellemek/azaltmak için çalışmalar yapılmaya devam etmektedir [5, 7, 9-18].

Literatürde; Durão ve ark., takviyeli kompozit malzemelerin delinmesinde, düşük ilerleme oranı kullanılmasıyla delaminasyon başlama riskinin azaldığını, bu durumun aksenel kuvveti de azaltması nedeniyle kompozit tabakaların delinmesi için uygulanabileceğini belirtmişlerdir [19]. Gaitonde ve ark., KETP kompozit malzemenin delme işlemi sonucunda delaminasyonun kesme hızı artışı ile azalma gösterdiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca delaminasyon hasarını azaltmak için düşük ilerleme oranı ve matkap uç açısı kombinasyonunun kullanılmasını önermişlerdir [7]. Kılıçkap, yapmış olduğu delme işlemleri sonucunda cam elyaf takviyeli plastik (CETP) malzemelerin delinmesinde delik çıkışında oluşan delaminasyonun delik girişinde oluşan delaminasyondan fazla (%13-30 oranında) olduğunu tespit etmiş olup en düşük delaminasyon faktörünü düşük kesme hızı ve düşük

ilerleme oranında elde etmiştir [20]. Abrão ve ark., CETP kompozit malzemenin delinmesinde, malzemede delaminasyon hasarına uğrayan alanın ilerleme değeriyle önemli ölçüde arttığını tespit etmişlerdir [5]. Fernández-Pérez ve ark., KETP kompozit malzemenin delinmesinde, yüksek kesme hızlarının itme kuvvetini arttıracak ve bunun da delaminasyon ile sonuçlanacağını belirtmişlerdir [21]. Eneyew ve Ramulu, KETP kompozit malzemenin delinmesinde minimum delaminasyon faktörü değerini, 0.064 mm/dev ilerleme değeri ve 4500-6000 dev/dak kesme hızında tespit etmişlerdir [9]. Miller ve ark., KETP kompozit malzemenin delinmesinde çoğunlukla delaminasyonun katmanların arasındaki bölgede görüldüğünü belirtmişlerdir. Tabaka çıkışındaki delaminasyon oluşumunda ilerleme değerinin (kesme hızına göre) daha etkili olduğu; ilerleme değerinin artmasıyla delaminasyonun arttığını, kesme hızının artmasıyla da azaldığı sonucuna varmışlardır. Düşük ilerleme değeri ve yüksek kesme hızı kombinasyonunun kullanılmasıyla daha düşük delaminasyon elde edileceğini belirtmişlerdir [22]. Gangel ve ark., zayıf mikroyapısal kaliteye sahip KETP kompozit malzemenin delinmesinde delaminasyon hasarının önemli ölçüde yüksek olacağını, kaplamasız matkap uçları kullanıldığında doğrusal bir delaminasyon hasarı gelişimi gözlemleneceğini ifade etmişlerdir [23]. Wang ve Jia, KETP kompozit malzemenin daha küçük kesici kenar uzunluğuna sahip matkap kullanılarak daha düşük ilerleme değerinde yapılan delme işlemi sonucunda delaminasyonun azaltılacağını belirtmişlerdir [24]. Rahme ve ark., KETP kompozit malzemenin delinmesinde delik yüzey çıkışındaki delaminasyonu azaltmak için deliğin çıkışına bir cam dokuma kumaş katı eklemişlerdir ve bu yöntem ile (yani; deliğin çıkışına bir cam dokuma kumaş katının eklenmesinin) kritik itme kuvvetinin arttığını ve ardından delaminasyon etkisinin azaldığını gözlemlenmişlerdir [25]. Kwon ve ark., KETP kompozit malzemenin delinmesinde daha küçük itme kuvvetinin daha düşük delaminasyon hasarına neden olduğu belirterek, delaminasyonun ve kesilmemiş elyafın en aza indirilmesi için kademeli matkap tasarımı yapmışlardır. Geliştirdikleri kademeli matkap ile 0.1 mm/dev ilerleme değerinde delaminasyonsuz delme işlemi gerçekleştirmişlerdir [26]. Ayrıca; birçok araştırmacı kompozit malzemelerin işlenmesinde büyük önem teşkil eden delaminasyon faktörünü azaltmaya yönelik farklı çalışmalar yapmışlardır [27-29].

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde; KETP kompozit malzemenin delinmesi üzerine yapılan çalışmaların çoğunda delaminasyon hasarı gözlenmeden delik yüzeyi elde edebilmek için çeşitli alternatif yöntemler geliştirilmeye ve işleme parametreleri optimize edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada, farklı geometrilere sahip iki farklı matkap ucu, üç farklı iş mili devri ve üç farklı ilerleme değeri kullanılarak KETP kompozit malzemenin delinmesi sonucunda delaminasyon hasarının en aza indirgenebilmesi için işleme parametrelerinin optimum olanı belirlenmeye çalışılmıştır.

## Materyal ve Metot

### İş Parçası

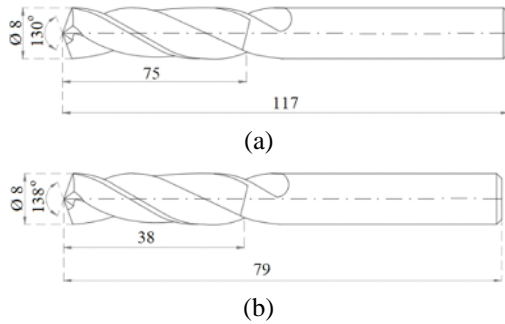
Delme deneylerinde, iş parçası olarak uzay ve havacılık sektöründe sıklıkla tercih edilen KETP kompozit malzeme kullanılmıştır. Kompozitteki karbon fiberin oryantasyon açısı  $0^\circ/90^\circ$ , ağırlığı  $245 \text{ gr/m}^2$  ve dokuma tipi twill ( $2 \times 2$ )'dir. Kompozit malzeme, 40 kat prepreg malzeme ile epoksi reçine kullanılarak %50 fiber hacim oranında vakum torbalama yöntemiyle  $150 \times 50 \times 5 \text{ mm}$  boyutunda üretilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. KETP kompozit malzeme.

### Kesici Takım

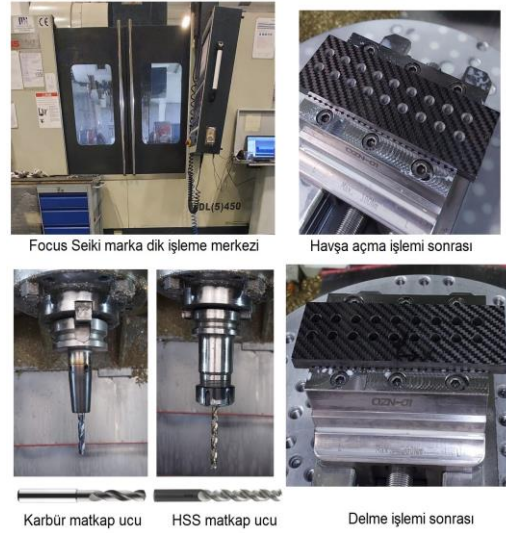
Deneylerde kullanılan matkap uçlarının özellikleri ve boyutları Şekil 2'de verilmiştir. Deneylerde kullanılan matkap uçlarından HSS matkap ucu Ruko marka, DIN 338, VA tipi, HSSE-Co 5 helisel matkap ucudur. Karbür (elmas) matkap ucu olarak ise; Karcan marka, DIN 6535, HA tipi matkap ucu kullanılmıştır.



Şekil 2. (a) HSS (b) Karbür matkap ucu geometrisi.

### Deneyel Çalışma

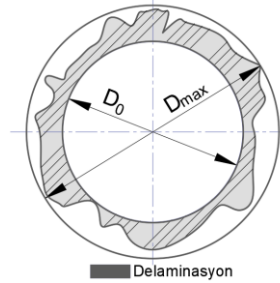
KETP kompozit malzemenin delme işlemleri Focus Seiki DL (5) 450 marka 2010 model 5 eksen CNC kontrollü dik işleme merkezinde uygulanmıştır (Şekil 3). Çalışmada; 8 mm çapında iki farklı matkap ucu (HSS ve karbür), üç farklı ilerleme değeri (0.05, 0.10, 0.15 mm/dev) kullanılarak delme işlemi gerçekleştirilmiştir. Delme işlemi öncesinde malzemede hasar oluşmaması için  $2 \times 90^\circ$  havşa açılmıştır. Deneyler, soğutma sıvısı kullanılmadan kuru şartlarda gerçekleştirilmiştir. Matkap ucu her delik delme işlemi sonrasında değiştirilmiştir.



Şekil 3. KETP kompozit malzemenin delme işlemi aşamalarının görüntüsü.

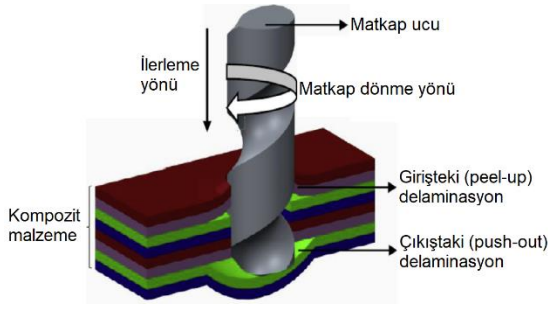
Delaminasyon, yani tabakalar arası çatlama, tabakalı kompozitlerde en yaygın ve kritik hasar biçimlerinden biridir [30]. Delaminasyon hasarı önemli sertlik ve mukavemet kayıplarına yol açarak yapısal bütünlük ve güvenlik için büyük tehdit oluşturmaktadır [24, 31]. Denklem 1'de verilmiş olan delaminasyon faktörü ( $F_d$ ), deliğin çevresindeki en büyük çap ( $D_{max}$ ) ile delik çapı ( $D_0$ ) arasındaki oran olarak ifade edilmiştir (Şekil 4) [10].

$$\text{Delaminasyon faktörü: } F_d = \frac{D_{max}}{D_0} \quad (1)$$



Şekil 4. Delaminasyon faktörünün gösterimi [10].

Tabakalı kompozit malzemelerin delinmesinde, tabaka giriş ve çıkışında hasar miktarı farklılık gösterecektir. Oluşabilecek bu farktan dolayı görüntüler tabaka girişinden (üst) ve tabaka çıkışından (alt) olacak şekilde malzemenin iki yönünden alınmıştır. Delaminasyon faktörü, ya delik girişinde (liflerin soyulduğu yer) ya da delik çıkışında (liflerin aşağı itildiği yer) değerlendirilebilir (Şekil 5). Delik girişinde, bitişik katlar, matkap ucu oluklarının eğimi nedeniyle bir soyma kuvveti ile ayrılabilir. Delik çıkışında, matkabın altındaki kesilmemiş katlar, azaltılmış kalınlıkları nedeniyle deformasyondan etkilenebilir. Dışarı iterek oluşan (push-out) delaminasyon, özellikle matkap tarafından uygulanan itme kuvveti, katlar arası bağlanma mukavemetinden daha büyük olduğunda, sıyrılarak (peel-up) delaminasyondan daha sık gözlenmektedir [12].



Şekil 5. Delaminasyon oluşumunun gösterimi [32].

Bu çalışmada; KETP kompozit malzemenin 5 eksen-CNC kontrollü dik işleme merkezinde delme işlemi sonrası malzemede oluşabilecek delaminasyon oluşumunu görebilmek ve böylece delaminasyon faktörünü hesaplamak için tabaka girişi ve tabaka çıkışındaki deliklerin görüntüleri max. 200x büyütme Dino Capture 2.0 optik mikroskobu kullanılarak elde edilmiştir.

Optimizasyon işlemi için Taguchi metodu kullanılmıştır. KETP kompozit malzemenin delinmesinde etkileri araştırılacak işleme parametreleri olarak; matkap türü, iş mili devri ve ilerleme değeri seçilmiş ve Tablo 1’de verilen seviyelerde delme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Optimum delme parametrelerini belirlemek ve bunların  $F_d$ ’ye etkilerini tespit etmek için  $L_{18}$  ortogonal dizisi seçilmiştir (Tablo 2). Taguchi deney tasarım metodu ile farklı işleme parametrelerinde, farklı seviyeler arasında delme parametrelerinin optimum seviyeleri belirlenmiştir. Taguchi metoduna göre yapılan analizler Minitab 19 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. En etkili işleme parametresinin tespiti Varyans analizi (ANOVA) ile elde edilmiştir.

Tablo 1. Deneylerde kullanılan parametreler ve seviyeleri.

Sembol	Parametre	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
M	Matkap türü		Karbür	HSS	-
N	İş mili devri	(dev/dak)	750	1000	1500
F	İlerleme hızı	(mm/dev)	0.05	0.10	0.15

Tablo 2. Taguchi  $L_{18}$  ortogonal dizisi.

Deney No	İşleme Parametreleri		
	Matkap türü (M)	İş mili devri (N) (dev/dak)	İlerleme değeri (F) (mm/dev)
1	1	1	1
2	1	1	2
3	1	1	3
4	1	2	1
5	1	2	2
6	1	2	3
7	1	3	1
8	1	3	2
9	1	3	3
10	2	1	1
11	2	1	2
12	2	1	3
13	2	2	1
14	2	2	2
15	2	2	3
16	2	3	1
17	2	3	2
18	2	3	3

## Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada; geleneksel yöntemle yapılan delme işleminden dolayı delaminasyon oluşumunu görebilmek ve böylece delaminasyon faktörünü hesaplamak için tabaka girişi ve tabaka çıkışındaki deliklerin görüntüleri alınmıştır. Tabaka girişindeki delaminasyonu önlemek için malzemenin üst yüzeyine 2 mm derinliğinde havşa açılmıştır. Havşa açma işlemi sonrasında HSS matkap ucuyla ve karbür matkap ucuyla delinen deliklerin üst yüzeyinde herhangi bir delaminasyon hasarına rastlanmamıştır (Şekil 6).

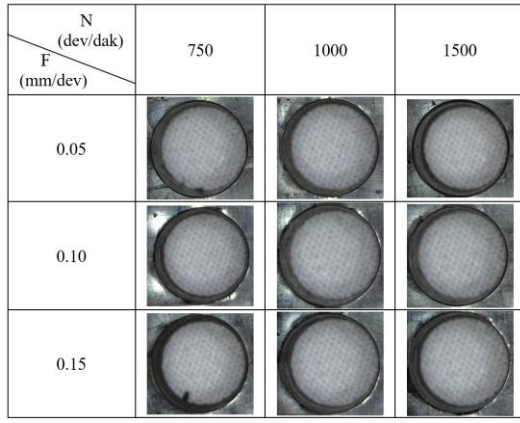
Tabaka çıkışındaki delaminasyon hasarını tespit etmek için çıkış yüzeyindeki delik görüntüleri alınarak Denklem 1’de verilen eşitliğe göre 18 delik için delaminasyon faktörü hesaplanmıştır (Tablo 3). Çalışmada; optimizasyon yöntemi olarak Taguchi metodu kullanılmıştır. Bu yöntemde, ortogonal diziler kullanılarak test sayısı önemli ölçüde azalmakta ve kontrol edilemeyen faktörlerin etkileri en aza indirgenmektedir. Taguchi metodunda, daha yüksek sinyal-gürültü (S/N) oranı daha iyi kalite özelliklerine karşılık geldiğinden kalite karakteristiği olarak S/N oranı tercih edilmiştir. Bu çalışmada, en düşük delaminasyon hasarını elde etmek için uygun olan S/N oranını hesaplamada Denklem 2’de verilen "daha küçük daha iyidir" yaklaşımı seçilmiştir. Denklem 2’de “ $y_i$ ” delme parametrelerinin sonuçlarını, “ $n$ ” tekrar sayısını ifade etmektedir.

$$\text{Daha küçük daha iyidir} : S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (2)$$

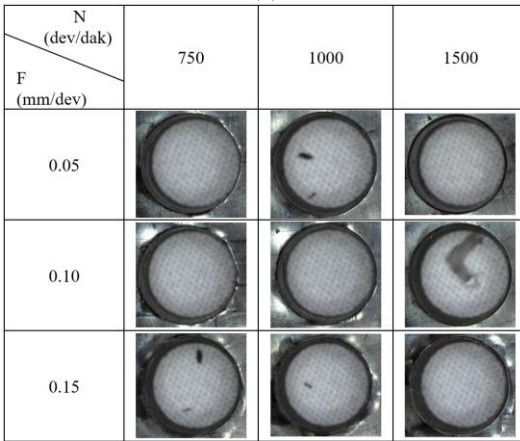
Tablo 3. Taguchi  $L_{18}$  deney tasarımına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve S/N oranları.

Deney No	M	N (dev/dak)	F (mm/dev)	$F_d$	S/N $F_d$ (dB)
1	HSS	750	0.05	1.7903	-5.0583
2	HSS	750	0.10	1.8028	-5.1187
3	HSS	750	0.15	1.9320	-5.7201
4	HSS	1000	0.05	1.6543	-4.3720
5	HSS	1000	0.10	1.6593	-4.3982
6	HSS	1000	0.15	1.6623	-4.4139
7	HSS	1500	0.05	1.5520	-3.8178
8	HSS	1500	0.10	1.6030	-4.0987
9	HSS	1500	0.15	1.6170	-4.1742
10	Karbür	750	0.05	1.6640	-4.4231
11	Karbür	750	0.10	1.7225	-4.7232
12	Karbür	750	0.15	1.7545	-4.8831
13	Karbür	1000	0.05	1.5700	-3.9180
14	Karbür	1000	0.10	1.5908	-4.0320
15	Karbür	1000	0.15	1.6298	-4.2424
16	Karbür	1500	0.05	1.3905	-2.8634
17	Karbür	1500	0.10	1.4815	-3.4140
18	Karbür	1500	0.15	1.5393	-3.7462
				En düşük	1.3905 -5.7201
				En yüksek	1.9320 -2.8634
				Ortalama	1.6453 -4.3010





(a)

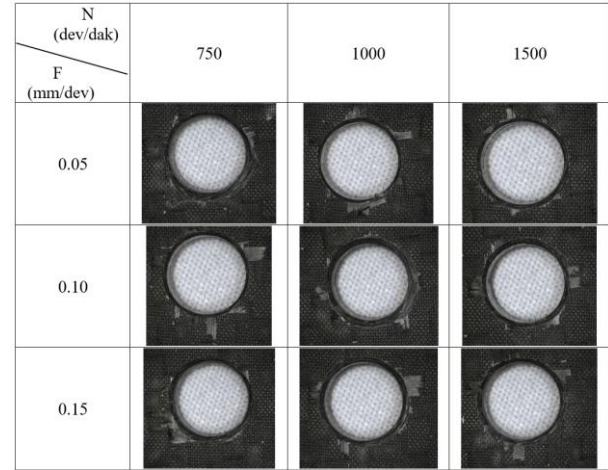


(b)

Şekil 6. Karbür matkap ucu (a) ve HSS matkap ucu (b) ile elde edilen deliklerin üst yüzey görüntüsü.

Tablo 3 incelendiğinde; 7 numaralı deneyde en düşük  $F_d$  değerinin elde edildiği görülmektedir. En düşük  $F_d$  yüksek iş mili devri ve düşük ilerleme değerinde elde edilmiştir [9, 11, 22]. En düşük  $F_d$  değeri karbür matkap ucu kullanılarak, 1500 dev/dak iş mili devri ve 0.05 mm/dev ilerleme değerinde 1.3905 olarak tespit edilmiştir. Karbür matkap ucunun HSS matkap ucuna göre daha düşük delaminasyon hasarına sebebiyet verdiği gözlemlenmiştir [11]. Karbür matkap ucuyla delinmiş deliklerin çıkış yüzey görüntüleri Şekil 7'de verilmiştir. Delaminasyon genellikle yapının gücünü azaltabilen delik çıkışında meydana gelmektedir [18]. Rahme ve ark., kompozitlerin delinmesinde delik yüzey çıkışındaki delaminasyonu azaltmak için deliğin çıkışına bir cam dokuma kumaş katının eklenmesinin kritik itme kuvvetini arttırdığını ve ardından delaminasyon etkisinin azaldığını belirtmişlerdir [25]. Delaminasyonun önlenmesinde itme kuvvetini azaltmak için uygun delme parametrelerinin seçilmesi esastır. Bunu başarmak için, bazı araştırmacılar itme kuvvetine odaklanarak delaminasyonu azaltmak için çalışmalar yapmışlardır [29, 33, 34]. Jia ve ark., delaminasyonu azaltmak için, itme kuvvetinin kritik değeri aşmayacak şekilde sınırlandırılması gerektiğini bildirmiştir. [18]. Bununla birlikte, delme sıcaklığının da kompozitin özelliklerini etkileyebilen önemli bir faktör olduğunu belirten araştırmacılar, delaminasyon koşulları üzerinde termal etki ile delaminasyonu analiz etmek gerektiğini vurgulamışlardır [18, 35]. Delaminasyon

faktörünün değişimi bunlarla sınırlı değildir. Yardımeden ve ark., delme işleminde kullanılan matkap uç açısının delaminasyon faktörünü etkilediğini ve delaminasyonu azaltmak için uygun uç açısına sahip matkapların kullanılmasını gerektiğini belirtmişlerdir [28]. Ayrıca Çelik ve ark., KETP kompozitlerin üretiminde, kompozite ilave edilen nano takviyelerinin de delaminasyon üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ifade etmişlerdir [27].



Şekil 7. Karbür matkap ucu ile elde edilen deliklerin alt yüzey görüntüsü.

Ayrıca; M, N ve F kontrol faktörlerinin delaminasyon hasarına etkisi, S/N oranı tepki tablosu kullanılarak analiz edilmiştir. Delaminasyon hasarı için optimum seviye  $M_2N_3F_1$  olarak elde edilmiştir (Tablo 4) (Şekil 8).

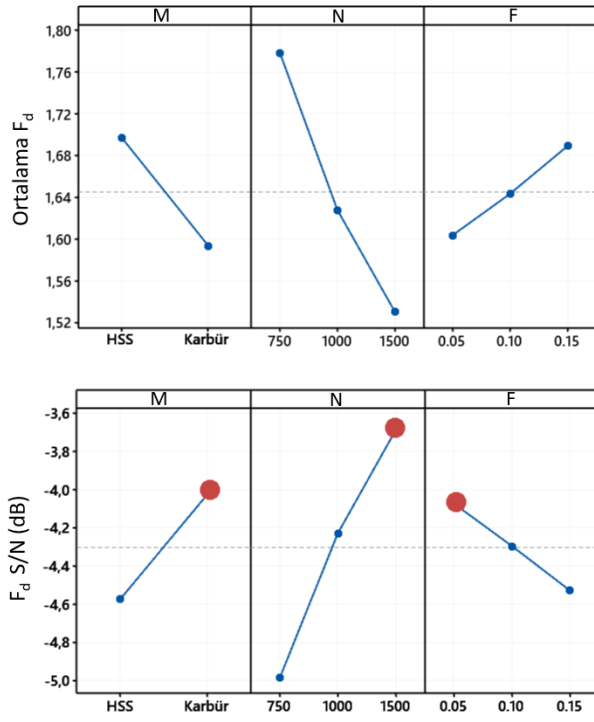
Tablo 4.  $F_d$ 'ye ait (a) ortalama değerler ve (b) S/N oranları için tepki tablosu.

Ortalama	Seviye	M	N	F
	1	1.697	1.778	<b>1.603*</b>
2	<b>1.594*</b>	1.628	1.643	
3		<b>1.531*</b>	1.689	
Fark	0.103	0.247	0.086	
Sıralama	2	1	3	

S/N Oranı (dB)	Seviye	M	N	F
	1	-4.575	-4.988	<b>-4.075*</b>
2	<b>-4.027*</b>	-4.229	-4.297	
3		<b>-3.686*</b>	-4.530	
Fark	0.547	1.302	0.455	
Sıralama	2	1	3	

KETP kompozit malzemenin farklı matkap uçlarıyla farklı işleme parametreleri altında dik işleme merkezinde delme işlemi sonrası işleme parametrelerinin değişken faktörler üzerindeki etki derecelerini belirlemek için uygulanan ANOVA, P 0.05 anlamlılık ve %95 güvenilirlik seviyesinde gerçekleştirilmiştir.  $F_d$  için yapılan ANOVA sonuçları Tablo 5'te verilmiştir.  $F_d$  üzerinde, matkap ucu türünün, iş mili devrinin ve ilerleme değerinin etkisi sırasıyla %17.80, %68.89 ve %8.16 olarak elde edilmiştir.



S/N: Daha küçük daha iyidir

Şekil 8.  $F_d$  için ortalama ve S/N oranı grafikleri.

Tablo 5.  $F_d$  için ANOVA sonuçları.

Parametre	DF	Adj SS	Adj MS	F değeri	P değeri	Katkı (%)
M	1	0.0481	0.0481	41.49	0.000	17.80
N	2	0.1860	0.0930	80.31	0.000	68.89
F	2	0.0220	0.0110	9.51	0.003	8.16
Hata	12	0.0139	0.0012			5.15
Toplam	17	0.2700				100.00
S = 0.03403 R <sup>2</sup> = 94.85% R <sup>2</sup> (adj) = 92.71%						

## Kaynaklar

- [1] M. A. Karataş and H. Gökkaya, "A review on machinability of carbon fiber reinforced polymer (CFRP) and glass fiber reinforced polymer (GFRP) composite materials," *Defence Technology*, vol. 14, no. 4, pp. 318-326, 2018.
- [2] D. D. Chung, *Composite materials: science and applications*. Springer Science & Business Media, 2010.
- [3] H. Arisawa, S. Akama, and H. Niitani, "High-Performance Cutting and Grinding Technology for CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic)," *Mitsubishi Heavy Industries Technical Review*, vol. 49, no. 3, p. 3, 2012.
- [4] M. Hashish, "Trimming of CFRP Aircraft Components," *2013 WJTA-IMCA Conference and Expo, Houston, Texas, 2013*.
- [5] A. Abrao, J. C. Rubio, P. Faria, and J. Davim, "The effect of cutting tool geometry on thrust force and delamination when drilling glass fibre reinforced plastic composite," *Materials Design*, vol. 29, no. 2, pp. 508-513, 2008.
- [6] I. El-Sonbaty, U. Khashaba, and T. J. C. s. Machaly, "Factors affecting the machinability of GFR/epoxy composites," vol. 63, no. 3-4, pp. 329-338, 2004.
- [7] V. Gaitonde, S. Karnik, J. C. Rubio, A. E. Correia, A. Abrao, and J. P. Davim, "Analysis of parametric influence on delamination in high-speed drilling of carbon fiber reinforced plastic composites," *Journal of materials processing technology*, vol. 203, no. 1, pp. 431-438, 2008.
- [8] A. Alberdi, T. Artaza, A. Suárez, A. Rivero, and F. Giro, "An experimental study on abrasive waterjet cutting of CFRP/Ti6Al4V stacks for drilling operations," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, pp. 1-14, 2015.
- [9] E. D. Eneyew and M. Ramulu, "Experimental study of surface quality and damage when drilling unidirectional CFRP composites," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 3, no. 4, pp. 354-362, 10// 2014.
- [10] M. A. Karataş, A. R. Motorcu, and H. Gökkaya, "Study on delamination factor and surface roughness in abrasive water jet drilling of carbon fiber-reinforced polymer composites with different fiber orientation angles," *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences Engineering*, vol. 43, no. 1, pp. 1-29, 2021.
- [11] D. Kumar, K. Singh, and R. Zitoun, "Experimental investigation of delamination and surface roughness

## Sonuç ve Öneriler

Bu deneysel çalışmada, karbon elyaf takviyeli polimer (KETP) kompozit malzemenin farklı matkap uçlarıyla farklı işleme parametreleri altında dik işleme merkezinde delinmesi sonucunda delaminasyon hasarı üzerinde delme parametrelerinin etkisi araştırılmış ve minimum delaminasyon hasarı için delme parametrelerinin optimum seviyeleri belirlenmiştir. Yüksek iş mili devri ve düşük ilerleme değerinde delaminasyon hasarının azaldığı tespit edilmiştir. Karbür matkap ucunun kullanılmasıyla HSS matkap ucuna göre daha düşük delaminasyon hasarı elde edilmiştir. KETP kompozit malzemenin delik yüzeyinde en düşük delaminasyon hasarı 1.3905 olarak ölçülmüştür. Delaminasyon hasarı için optimum seviye  $M_2N_3F_1$  olarak tespit edilmiştir. ANOVA analizinden elde edilen sonuçlar neticesinde  $F_d$  üzerinde, matkap ucu türünün, iş mili devrinin ve ilerleme değerinin etkisi sırasıyla %17.80, %68.89 ve %8.16 olarak elde edilmiştir.

## Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur.

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Yazar Katkıları

Makaledeki tüm katkı yazara aittir.

- in the drilling of GFRP composite material with different drills," *Advanced Manufacturing: Polymer Composites Science*, vol. 2, no. 2, pp. 47-56, 2016.
- [12] R. Melentiev, P. C. Priarone, M. Robiglio, and L. Settineri, "Effects of tool geometry and process parameters on delamination in CFRP drilling: an overview," *Procedia Cirp*, vol. 45, pp. 31-34, 2016.
- [13] P. Rahme, Y. Landon, F. Lachaud, R. Piquet, and P. Lagarrigue, "Delamination-free drilling of thick composite materials," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 72, pp. 148-159, 2015.
- [14] D. Rajkumar, P. Ranjithkumar, and M. Jenarathanan, "Experimental investigation and analysis of factors influencing delamination and thrust force during drilling of carbon-fibre reinforced polymer composites," *Pigment & Resin Technology*, 2017.
- [15] C. Tsao, H. Hocheng, and Y. Chen, "Delamination reduction in drilling composite materials by active backup force," *CIRP annals*, vol. 61, no. 1, pp. 91-94, 2012.
- [16] E. Kılıçkap, Y. H. Çelik, and A. Yardımeden, "Karbon elyaf takviyeli plastik kompozitlerin tornalanmasında yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasına etki eden parametrelerin araştırılması," *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, vol. 8, no. 1, pp. 175-180, 2017.
- [17] M. Kıyak, "Investigation of the Effect of Drill Bit Feature on Hole Surface Quality and Tool Wear," *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, vol. 12, no. 4, pp. 661-667, 2021.
- [18] Z. Jia, C. Chen, F. Wang, and C. Zhang, "Analytical study of delamination damage and delamination-free drilling method of CFRP composite," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 282, p. 116665, 2020.
- [19] L. M. P. Durão, D. J. S. Gonçalves, J. M. R. S. Tavares, V. H. C. de Albuquerque, A. Aguiar Vieira, and A. Torres Marques, "Drilling tool geometry evaluation for reinforced composite laminates," *Composite Structures*, vol. 92, no. 7, pp. 1545-1550, 6// 2010.
- [20] E. Kılıçkap, "CETP Kompozitlerin Delinmesinde Oluşan Deformasyona Delme Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi," *2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, p. 77, 2010.
- [21] J. Fernández-Pérez, J. Díaz-Álvarez, M. Miguelez, and J. Cantero, "Combined analysis of wear mechanisms and delamination in CFRP drilling," *Composite Structures*, vol. 255, p. 112774, 2021.
- [22] J. Miller, E. D. Eneyew, and M. Ramulu, "Machining and Drilling of Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP) Composites," *SAMPE Journal, Volume 49, No.2*, 2013.
- [23] S. Gaugel *et al.*, "A comparative study on tool wear and laminate damage in drilling of carbon-fiber reinforced polymers (CFRP)," *Composite Structures*, vol. 155, pp. 173-183, 2016.
- [24] Q. Wang and X. Jia, "Analytical study and experimental investigation on delamination in drilling of CFRP laminates using twist drills," *Thin-Walled Structures*, vol. 165, p. 107983, 2021.
- [25] P. Rahmé, P. Moussa, F. Lachaud, and Y. Landon, "Effect of adding a woven glass ply at the exit of the hole of CFRP laminates on delamination during drilling," ed: Elsevier, 2020.
- [26] B.-c. Kwon, N. D. D. Mai, E. S. Cheon, and S. L. Ko, "Development of a step drill for minimization of delamination and uncut in drilling carbon fiber reinforced plastics (CFRP)," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 106, no. 3, pp. 1291-1301, 2020.
- [27] Y. H. Çelik, E. Kilickap, and N. Koçyiğit, "Evaluation of drilling performances of nanocomposites reinforced with graphene and graphene oxide," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 100, no. 9, pp. 2371-2385, 2019.
- [28] A. Yardımeden, E. Kilickap, and Y. H. Celik, "Effects of cutting parameters and point angle on thrust force and delamination in drilling of CFRP," *Materials Testing*, vol. 56, no. 11-12, pp. 1042-1048, 2014.
- [29] E. Kiliçkap, A. Yardımeden, and Y. H. Çelik, "Investigation of experimental study of end milling of CFRP composite," *Science and Engineering of Composite Materials*, vol. 22, no. 1, pp. 89-95, 2015.
- [30] S. Samborski, "Prediction of delamination front's advancement direction in the CFRP laminates with mechanical couplings subjected to different fracture toughness tests," *Composite Structures*, vol. 202, pp. 643-650, 2018.
- [31] X. Chao, L. Qi, W. Tian, K. Yang, and H. Li, "Evaluation for interfacial fracture of fiber-reinforced pyrocarbon matrix composites by using a zero-thickness cohesive approach," *Journal of Alloys Compounds*, vol. 820, p. 153378, 2020.
- [32] S. O. Ismail, H. N. Dhakal, I. Popov, and J. Beaugrand, "Comprehensive study on machinability of sustainable and conventional fibre reinforced polymer composites," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 19, no. 4, pp. 2043-2052, 2016.
- [33] N. Guibert, H. Paris, and J. Rech, "A numerical simulator to predict the dynamical behavior of the self-vibratory drilling head," *International Journal of Machine Tools Manufacture*, vol. 48, no. 6, pp. 644-655, 2008.
- [34] A. A. A. Nasir, A. I. Azmi, T. C. Lih, and M. S. A. Majid, "Critical thrust force and critical feed rate in drilling flax fibre composites: A comparative study of various thrust force models," *Composites Part B: Engineering*, vol. 165, pp. 222-232, 2019.
- [35] S. O. Ismail, S. O. Ojo, and H. N. Dhakal, "Thermo-mechanical modelling of FRP cross-ply composite laminates drilling: delamination damage analysis," *Composites Part B: Engineering*, vol. 108, pp. 45-52, 2017.