

## Karbon Fiber Takviyeli Kompozit Malzemenin Kuru ve Kriyojenik Şartlarda Delinebilirliğinin Deneysel Araştırılması

Gültekin BASMACI<sup>1\*</sup>, Ahmet Said YÖRÜK<sup>2</sup><sup>1</sup>Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Burdur  
<sup>2</sup>Iğdır Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Iğdır

Geliş Tarihi (Received): 31.05.2020, Kabul Tarihi (Accepted): 25.07.2020

✉ Sorumlu Yazar (Corresponding author\*): [gbsmaci@mehmetakif.edu.tr](mailto:gbsmaci@mehmetakif.edu.tr)

☎ +90 248 2132715 📠 +90 248 2132704

### ÖZ

Bu çalışmada, Karbon Fiber Takviyeli Kompozit Malzemelerin (CFRP) kuru ve kriyojenik şartlar altında farklı kesme parametreleri ve farklı çaplı matkaplarla delinmesi, delaminasyon hasarı, delik çapı ve yüzey kalitesine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmada iki farklı kesme hızı (20 ve 50 m/dak.), dört farklı ilerleme miktarı (0.075mm/dev., 0.15mm/dev., 0.225mm/dev. ve 0.3mm/dev) ve 2 farklı çaplı matkaplar (4 mm ve 6 mm) kuru ve kriyojenik şartlar altında yapılan deneysel tasarımın değerleri uygulanmıştır. Sonuçlar, daldırma kriyojenik tekniği ile CFRP'nin delinmesinin kolaylaştığı, delinmiş parçaların yüzey pürüzlülüğünü azaltarak işlenebilirliği büyük ölçüde artırdığını göstermiştir. Bununla birlikte, itme kuvveti ve delaminasyon faktörü artmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** CFRP, delaminasyon, delik delme, kriyojenik

## Experimental Study on the Drilling of the Carbon Fiber Reinforced Polymer Composites under Dry and Cryogenic Conditions

### ABSTRACT

In this study, the effect of drilling Carbon Fiber Reinforced Products (CFRP) under dry and cryogenic conditions with different diametered drill bits and different cutting parameters on delamination injury, hole diameter and on surface quality were investigated experimentally. Two different cutting speed (20 and 50 m/min), four different moving amount (0.075 mm/rev, 0.15 mm/rev, 0.225 mm/rev and 0.3 mm/rev) and two different diametered drill (4 mm and 6 mm) values for experimental design have been applied under dry and cryogenic conditions in this study. The results showed that the penetration of CFRP by the immersion cryogenic technique was facilitated, greatly improving the machinability by reducing the surface roughness of the drilled parts. However, thrust and delamination factor increased.

**Keywords:** CFRP, delamination, drilling, cryogenic

### GİRİŞ

Bilimsel gelişmeler, mühendislik alanındaki problemlere farklı bir yaklaşım getirmiştir. Bilinen malzeme ve üretim yöntemlerin, yerini yeni materyallere, üretim ve imalat şekillerine bırakmışlardır. Materyal seçimleri, materyallerin çalışma şekline göre yenilediği gibi imalat şekilleri

de bu materyallerin üretimine uygun olarak tasarlanmıştır. Bunun için kompozit malzemelerin, diğer malzemelerden yüksek olan yönleri dolayısıyla pek çok sanayi alanında daha önceki malzemelerin yerine geçmiştir. İmalat yöntemleri yeniden tasarlanmış, önceki imalat yöntemleri ile farklılıklar gözlemlenerek bu malzemelerin özel

liklerinin daha ileriye götürmek için araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Liyakhath ve ark. (2015) çalışmalarında farklı imalat yöntemlerinin geliştirildiği ve farklı imalat metodlarının belirlendiği bu süreçte ve yakın bir zaman diliminde daha da ilerleyeceği görülmektedir.

Farklı yapıya sahip birden çok malzemenin, aralarında farklılık gösteren bir ara yüzey bulunan ve bu malzemelerin mikroskobik birlikteliği neticesinde, bir araya getirilen malzemelerin gösteremediği veya daha iyi fiziksel özellikleri elde etmek için kompozit malzemeler imal edilir. Kompozit malzemelerin mühendislik uygulamalarında tercih edilme sebebi diğer malzemelere göre daha yüksek rijitlik, mukavemet ve yüksek sıcaklık performansı, korozyon direnci, sertlik ve iletkenlik ve daha hafif olmaları gibi etkenlerdir. Ananda ve ark. (2009) çalışmalarında kompozit malzeme genel olarak, kendisini oluşturan malzemelerin tek başlarına gösterdikleri fiziksel özelliklerden daha iyi neticeler belirtmişlerdir. Kesme kenarının önündeki ilk fiber ayrılmasından dolayı komponentleri zorlamaya ek olarak, CFRP malzemesinin kanat yüzü üzerindeki elastik yay geri etkileri nedeniyle ilave kuvvet bileşenleri dikkate alınır. Delme kinematiği ile birleştiğinde ve eğik kesme koşulları göz önüne alındığında, itme kuvveti ve tork değerleri, yarım takım dönüşü sırasında tüm fiber kesme açılı aralığı için analitik olarak belirlenmişlerdir (Sheeholzer ve ark., 2020).

Karbon fiber takviyeli polimer matrisli kompozitler (CFRP), yüksek dayanım ve mukavemet kapasitesinin yanında düşük yoğunlukları sebebiyle, özellikle son yıllarda, hafif yapılar da ve imalat alanında kullanılmaktadır. Yüksek performanslı kompozitlerde termosetlerin kullanılmasıyla birlikte, termoplastikler de düşük su geçirgenliği, yüksek sıcaklıklarda kimyasal direnç, yüksek tokluk, şekillendirilebilme kabiliyeti, boyutsal kararlılık, geri dönüşüm, toksik ve korozif olmama gibi çeşitli fiziksel özelliklerinden dolayı tercih edilmektedir (Ekici ve Işık, 2009).

Delik delme işlemi, diğer talaşlı imalat yöntemleri içinde ki oranı kayda değer yüksekliktedir. Talaşlı imalatla ekseriyetle delik delme işlemi esnasında karşılaşılan sorunların halledilmesine yönelik olarak yapılacak hamleler büyük önem arz etmektedir. Talaşlı imalat işlemlerinde, son yapılan kesme işlemlerinde yüzey kalitesini etkileyen kesme değerleri bulunmaktadır. Bunlar; Kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme hızı değerleri kontrol edilebilen parametrelerdir. Fakat takım geometrisi, takım aşınması, talaş yükleri ve talaş oluşumu veya

takım, iş parçası malzeme özellikleri gibi değerler kontrol altına alınamamaktadır. (Meral ve ark., 2011). Karbon fiber takviyeli plastikler (CFRP) hafiflik, yüksek, mukavemet ve sertlik gerektiren havacılık ve otomobil mekanik parçalarına yaygın olarak uygulanır. Havacılık ve otomobil endüstrisinde yerini almıştır (Palanikumar ve ark., 2016).

CFRP yüksek korozyon dayanımı ve hafifliğin yanısıra düşük ısıl genleşme katsayısı gibi önemli özellikleri sahiptir. Bunun neticesinde modern havacılık ve uzay sektöründe CFRP kullanımı her geçen gün daha da artmaktadır (Gaitonde ve ark., 2008). CFRP malzemeler montaj sırasında en çok delik delme işlemine maruz kalmaktadır. Delme işlemi sırasında delik kalitesi ve bütünlüğü olarak da farklılık göstermektedir (Shunmugesh ve Panneerselvam, 2016). Delaminasyon oluşum mekanizması, delaminasyon niceleme metodolojileri ve ölçüm teknolojileri, delaminasyon bastırma stratejileri (takım tasarımı optimizasyonu dahil), delme koşulları optimizasyonu ve yüksek performanslı delme yöntemlerini kapsamaktadır (Geng ve ark., 2019).

Karbon fiber takviyeli kompozitlerin delik delinmesi esnasında, delaminasyon (delik yüzey hasarı) ve fiber çekilme sorunları ile karşılaşılır. Artan taleple birlikte gelişmiş kompozit malzemeler için farklı kesme koşulları gerekmektedir. Delik delinirken en yaygın kusur delaminasyondur. Delaminasyon, kompozit malzemenin yapısındaki lifler ve matris arasındaki heterojenlik yüzünden meydana geldiğini ifade etmişlerdir (Brinksmeier ve ark., 2011). Karbon fiber takviyeli polimerlerin (CFRP'ler) delme işleminde oluşan çapaklar, delaminasyona neden olabilir, bu nedenle işlem sırasında bileşenlerin taşıma kapasitesini önemli ölçüde azalttığını göstermiştir (Wang ve ark., 2020).

Çalışmamızda, karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerin kuru ve kriyojenik şartlar altında farklı kesme parametreleri ile delinmesinde matkap çapının itme kuvveti, delaminasyon hasarı ve delik çapı etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Kriyojenik koşulda işlemede deneylere başlanmadan sıvı nitrojenin kalıbın üzerindeki boşluktan CFRP malzemenin üzerine yüksekliği parçanın kalınlığını 5 mm geçecek şekilde dökülmesi ve CFRP plakanın soğutulması sağlanmıştır. Bu şekilde uygulanmasındaki sebep sıvı nitrojenin hızla buharlaşmasının önüne geçmektir. Basıncısız sıvı nitrojen tankı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Sıvı nitrojen muhafaza kabı ve deney kalıbına dökülmesi

## MATERYAL VE YÖNTEM

### İşleme Koşulları ve Kesme Parametreleri

Deneysel çalışmada iki farklı kesme hızı, dört farklı ilerleme miktarı, iki farklı çapa sahip matkap ile kuru ve kriyojenik şartlar altında yapılan deneysel tasarımın değerleri Tablo 1’de verilmiştir. Bu kesme parametreleri kesici takım firma önerileri ve detaylı literatür taramalarından elde edilmiştir.

Deneysel çalışma 3 eksen, 10 000 dev/dak. fener mili hızına sahip 17.5 kw gücünde olan Quaser MV154C dik işlem merkezinde gerçekleştirilmiştir. Kesme kuvvetleri ölçümü talaşlı imalatta malzemenin işlenebilirlik değerlendirmesinde önemli bir cihaz Kist’lerdir. Deney anında itme kuvvetleri 9257 B tipi kistler kuvvet ölçüm dinamometresi ve yardımcı ekipmanları (Kistler 5070A amplifikatör, Kistler 5697A veri toplama sistemi (DAQ kartı) ve DynoWare yazılımı) ile yapılmıştır. Kuvvet ölçüm sistemi ve deney düzeneği Şekil 2.’de verilmiştir. Ayrıca Tablo 1’de kesme şartları gösterilmiştir.



Şekil 2. Kuvvet ölçüm sistemi ve deney düzeneği

Deneylerde kuvvet ölçüm dinamometresi işleme merkezi tablasına paralel ve rijit bir şekilde monte edilmiştir.

Daha sonra dinamometre üzerine kriyojenik şartlar altında işleme yapabilmek için özel olarak imal edilen bağ-

lama kalıbı bağlanmıştır. Bağlama kalıbı içerisine yalıtkan kalıp monte edilmiştir. Yalıtkan kalıp içerisine kompozit plaka yerleştirilmiştir. Üst kalıp parçası dinamometre üzerindeki bağlama kalıbına bağlanarak numune deneye hazır hale gelmiştir.

### Kesici Takım ve Kompozit Malzeme

Delik delme deneylerinde 4 ve 6 mm çaplı matkaplar kullanılmıştır. Deneylerde Guhring firmasının G1149 seri numaralı kompozit malzemeleri delmek için geliştirilen matkaplar tercih edilmiştir. Her bir deneyde yeni matkap kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan matkapların görüntüsü Şekil 3'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Kesme şartları

Deney Sayısı		Çap(Ø)	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme Miktarı (mm/dev)
1	Kuru	4 mm	20 m/dak	0,075
2				0,15
3				0,225
4				0,3
5			0,075	
6			0,15	
7			0,225	
8			0,3	
9		6 mm	20 m/dak	0,075
10				0,15
11				0,225
12				0,3
13			0,075	
14			0,15	
15			0,225	
16			0,3	
17	Kriyojenik	4 mm	20 m/dak	0,075
18				0,15
19				0,225
20				0,3
21			0,075	
22			0,15	
23			0,225	
24			0,3	
25		6 mm	20 m/dak	0,075
26				0,15
27				0,225
28				0,3
29			0,075	
30			0,15	
31			0,225	
32			0,3	



Şekil 3. Deneysel çalışmada kullanılan farklı çaplı matkaplar (4 ve 6 mm)

Karbon fiber takviyeli polimer kompozit malzemeler özellikle uzay, havacılık, otomotiv, spor ürünleri ve denizcilik sektöründe yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yapılar her ne kadar final şekle yakın üretilseler bile hala son işlem olarak talaşlı imalat yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda bu tez çalışmasında karbon fiber

takviyeli kompozit malzeme 480x480x5 mm boyutlarında temin edilmiştir. Bu kompozit malzemenin bağlama kalıbına bağlanabilmesi için 200x150 mm boyutlarında kesilerek deneye hazır hale Şekil 4 'deki gibi getirilmiştir. Karbon fiber takviyeli kompozit malzemenin mekanik özellikleri temin edildiği firma tarafından elde edilerek Tablo 2' de belirtilmiştir.



Şekil 4. Deneysel çalışmada kullanılan kompozit malzeme (200x150 mm)

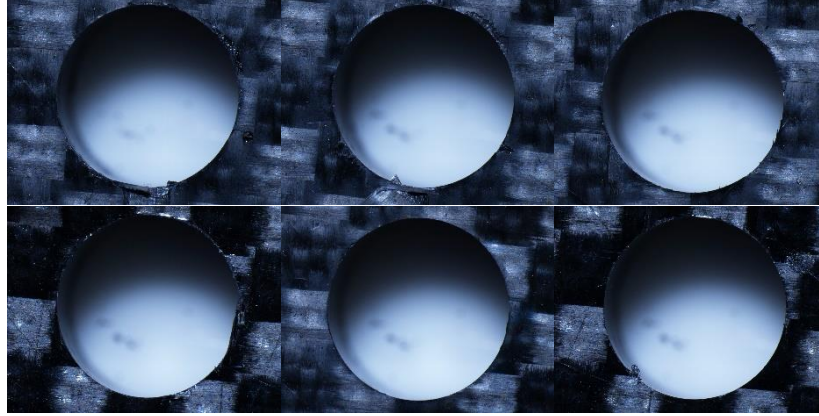
Tablo 2. Karbon fiber takviyeli kompozit malzemenin mekanik özellikleri

Elyaf tipi	Karbon elyaf	Birim veya bulunma yüzdesi
Reçine tipi	Epoksi	-
Ağırlıkça Elyaf İçeriği	> 60	%
Hacimce Elyaf İçeriği	>50	%
Yoğunluk	>1.5	g/cm <sup>3</sup>
Çekme mukavemeti (elyaf yönünde)	775	Mpa
Basma mukavemeti (elyaf yönünde)	475	Mpa
Çekme modülü (elyaf yönünde)	63	Gpa
Bükülme mukavemeti (elyaf yönünde)	725	Mpa
Bükülme modülü (elyaf yönünde)	60	Gpa

Ölçümlerin yapılması itme kuvveti matkap ilerleme yönüne zıt yönde oluşan ve matkap uç bölgesinde aşınmalara neden olabilen bu kuvvetin, delme prosesinde irdelenmesi bilimsel tamamlayıcılığı açısından önemlidir (Capello, 2004). Bu bağlamda bu çalışmada kesme anında on-line olarak itme kuvveti ölçülmüştür. Matkap ile delme anında oluşan sadece Z yönündeki itme kuvveti dikkate alınmıştır.

Delaminasyon faktörü, deformasyon bölgesindeki en büyük çapın matkap çapına oranı şeklinde ve aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır (Dokur, 2009). Deformasyon ölçümleri optik bir mikroskop (Olympus SZX7 stereo trinocular mikroskop ile 12.5X büyütme) kullanılarak Şekil 5 'te görüldüğü gibi yapılmıştır.

$$d = D_{maks}/D_{delik} \quad (1)$$



Şekil 5. Deformasyon ölçümlerinin görüntüleri

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Karbon fiber takviyeli polimer kompozit malzemenin kuru ve kriyojenik şartlar altında farklı kesme parametreleri ve farklı çaplı matkaplarla delinmesi deneysel olarak araştırılmıştır. Bu çalışmada deneylerin yapımı anında itme kuvveti, deneyden sonra ise delaminasyon faktörü ve delik çapı incelemesi yapılmıştır.

## İtme Kuvveti Ölçüm Sonuçları

Matkap ile delik delme anında en fazla kuvvet matkabın ilerleme yönünde olduğundan diğer yönlerde oluşan kuvvetler ihmal edilerek sadece Z yönündeki itme kuvveti dikkate alınır. Bu çalışmada sadece itme kuvveti dikkate alınmıştır. Verilen kesme hızı ve ilerleme miktarına karşılık oluşan itme kuvveti Tablo 3'de gösterilmiştir.

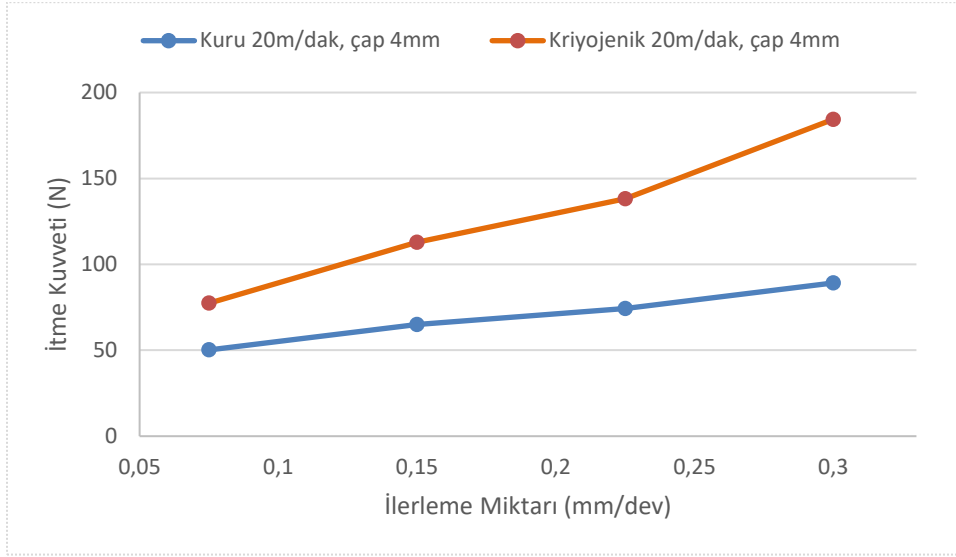
**Tablo 3.** Kesme Değerlerine karşılık oluşan itme kuvvetleri

Deney Sayısı		Çap (Ø)	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme Miktarı (mm/dev)	İtme Kuvveti (N)
1	Kuru	4 mm	20 m/dak	0,075	50,2
2				0,15	65,07
3				0,225	74,22
4				0,3	89,17
5			50 m/dak	0,075	39,83
6				0,15	54,02
7				0,225	66,11
8				0,3	66,11
9		6 mm	20 m/dak	0,075	52,67
10				0,15	73,58
11				0,225	98,19
12				0,3	119,4
13			50 m/dak	0,075	42,57
14				0,15	87,7
15				0,225	121
16				0,3	152,3
17	Kriyojenik	4 mm	20 m/dak	0,075	77,39
18				0,15	112,9
19				0,225	138,2
20				0,3	184,4
21			50 m/dak	0,075	55,4
22				0,15	85,97
23				0,225	109
24				0,3	134,8
25		6 mm	20 m/dak	0,075	80,48
26				0,15	186,4
27				0,225	221,9
28				0,3	257,1
29			50 m/dak	0,075	146,2
30				0,15	207,1
31				0,225	269,4
32				0,3	339,9

Kuru kesme şartları ile yapılan deney sonunda elde edilen itme kuvveti grafiği Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6'da görüldüğü üzere 4 mm çaplı matkaplar daha düşük itme kuvveti oluşturmaktadır. Küçük çaplı matkapta kesme hızının artması itme kuvvetini düşürürken çap artması ile tam tersi bir durum ortaya çıkmıştır. Ayrıca ilerleme miktarının artması ile itme kuvveti artmaktadır.

görüldüğü üzere 4 mm çaplı matkaplar daha düşük itme kuvveti oluşturmaktadır. Küçük çaplı matkapta kesme hızının artması itme kuvvetini düşürürken çap artması ile tam tersi bir durum ortaya çıkmıştır. Ayrıca ilerleme miktarının artması ile itme kuvveti artmaktadır. Son olarak kriyojenik şartlarda oluşan itme kuvvetleri kuru kesme şartlarında yaklaşık 2 kat daha fazladır.

Kriyojenik şartları ile yapılan deney sonunda elde edilen itme kuvveti grafiği Şekil 6'da verilmiştir. Grafiklerden de



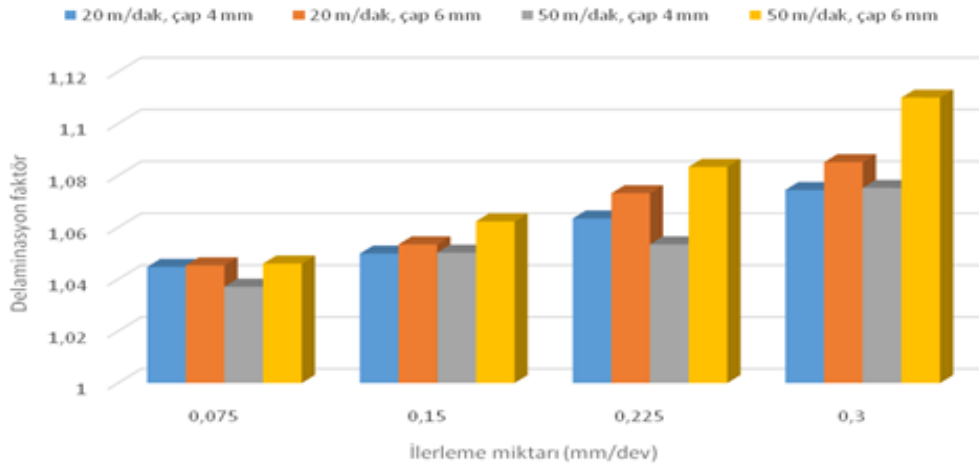
**Şekil 6.** Kuru ve Kriyojenik Kesme Şartlarında Farklı Kesme Şartlarının İtme Kuvvetine etkisi

Karbon fiber takviyeli kompozit malzemeye 50m/dak. kesme hızı ile, 0.15mm/dev. ilerleme miktarı ile 6 mm çaplı matkapla 324 delik açılmıştır. Deneyler hem kuru hem de kriyojenik şartlar ile yapılmıştır. Delik sayısının artması ile itme kuvvetleri her iki kesme şartlarında da artmıştır. Ayrıca kriyojenik şartlarda daha fazla kuvvet oluşmaktadır

### Delaminasyon Ölçüm Sonuçları

Karbon fiber takviyeli kompozit malzemenin delinmesi anında malzemede birçok hasar oluşmaktadır. Bunlardan en önemlisi delaminasyon hasarıdır. Delaminasyon

faktör diye adlandırılır ve maksimum hasarlı çapın nominal çapa bölünmesi ile elde edilir. Şekil 7’de kesme parametreleri ve matkap çapının delaminasyon faktöre etkisi verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi ilerleme oranının artması ile delaminasyon hasarı artmaktadır. Büyük çaplı matkap daha fazla delaminasyon hasarı oluşturmaktadır. 4 mm çaplı matkap ile 50 m/dak kesme şartlarına en az delaminasyon hasarı oluşurken, 6 mm çaplı matkap ile 50 m/dak kesme hızında yapılan deneyden ise en fazla delaminasyon oluşmaktadır.



**Şekil 7.** Kuru Kesme Şartlarında Farklı Kesme Şartlarının Delaminasyon Hasarına Etkisi

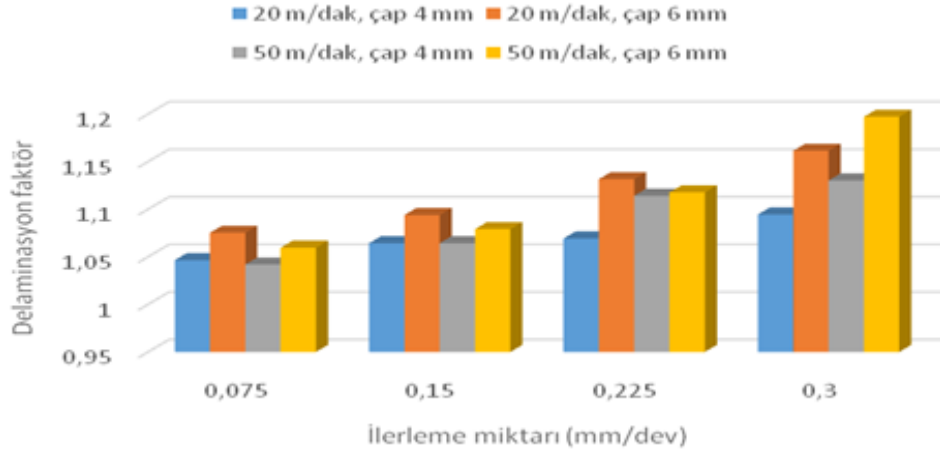
Kriyojenik şartlar ile karbon fiber takviyeli kompozit malzemenin delinmesinde farklı çapların, kesme hızı ve ilerleme oranlarının delaminasyon hasarına etkisi Şekil 8’de

verilmiştir. Büyük çaplı matkap daha fazla delaminasyon hasarı oluşturmaktadır. En az delaminasyon hasarı 20



m/dak. kesme hızında 4 mm çaplı matkapla elde edilirken, en fazla delaminasyon ise 20 m/dak. kesme hızında 6 mm çaplı matkap ile elde edilmiştir. Kriyojenik şartlar

ile kuru kesmeye nazaran daha fazla delaminasyon hasarı elde edilmiştir.



Şekil 8. Kriyojenik kesme şartlarında farklı kesme şartlarının delaminasyon hasarına etkisi

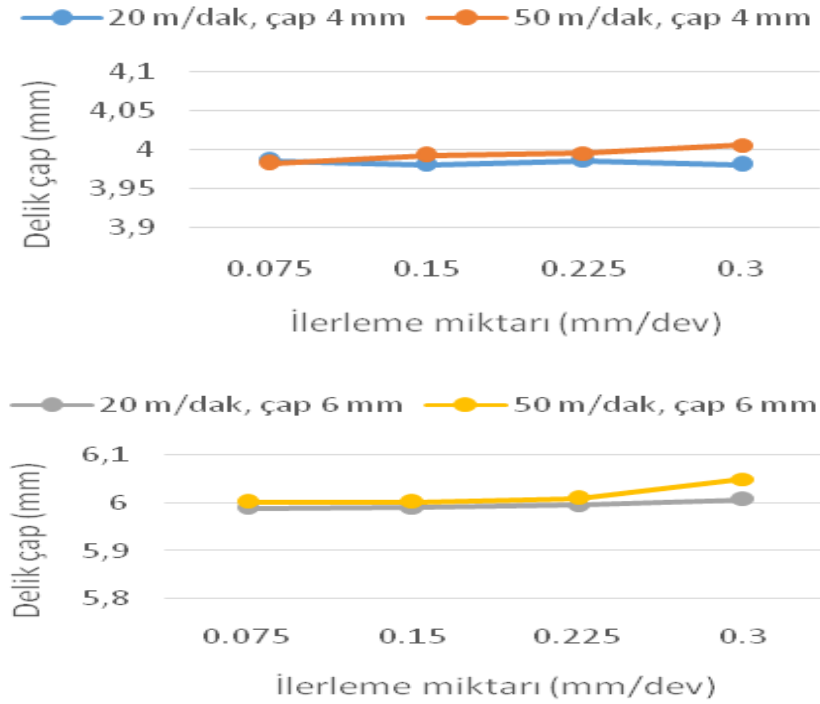
Karbon fiber takviyeli kompozit malzemeye 50 m/dak. kesme hızı ile, 0.15 mm/dev. ilerleme miktarı ile 6 mm çaplı matkapla 324 delik açılmıştır. Deneyler hem kuru hem de kriyojenik şartlar ile yapılmıştır. Delik sayısının artması ile delaminasyon hasarı artmaktadır. Ayrıca kriyojenik şartlarda daha fazla hasar oluşmaktadır.

#### Koordinat Ölçüm Cihazı (CMM) Ölçüm Sonuçları

Kuru kesme şartlarında yapılan deney neticesinde elde edilen delikler CMM cihazında Şekil 9'da ölçülmüş olup elde edilen değerler grafiklere Şekil 10'da ve Şekil 11'de olduğu gibi dönüştürülmüştür. Matkap çapları 4 ve 6 mm'dir. 4 mm çaplı matkap ile yapılan delme testlerinde 50 m/dak. kesme hızı ile yapılan deneyin istenen çapa daha yakın çıktığı grafikten görülmektedir. 6 mm çaplı matkap kullanılmasıyla yapılan deneyde ise 20 m/dak. kesme hızının daha iyi netice verdiği söylenebilir.



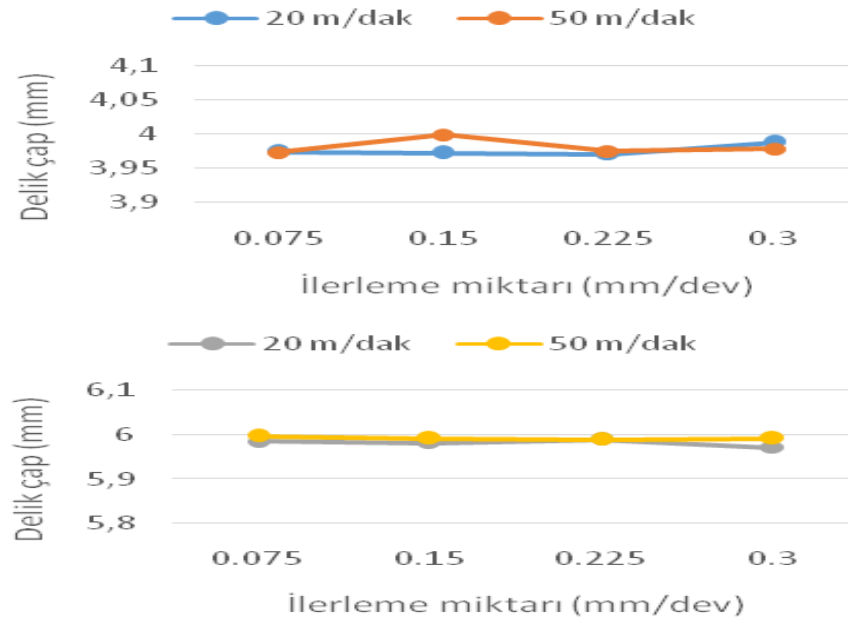
Şekil 9. CMM cihazında delik ölçümü



**Şekil 10.** Kuru kesme şartlarında kesme parametrelerinin delik çapına etkisi

4 mm çaplı matkap kullanarak 50 m/dak. kesme hızı ile yapılan deneyde dalgalı bir çap değişimi izlenirken, 20 m/dak. kesme hızında daha stabil bir eğri elde edilmiştir. İstenen çaptan sapmalar burada da meydana gelmiştir. 6 mm çaplı matkap ile yapılan deneyden elde edilen çap değerleri incelendiğinde 20 m/dak. kesme hızının daha

iyi neticeler verdiği söylenebilir. Çap 6 mm kriyojenik şartlar da elde edilen delikler kuru kesmeye nazaran daha iyi olduğu aşikârdır. Çap 4 mm ise kuru şartlarda daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.



**Şekil 11.** Kriyojenik kesme şartlarında kesme parametrelerinin delik çapına etkisi

Karbon fiber takviyeli kompozit malzemeye 50 m/dak. kesme hızı ile, 0.15 mm/dev. ilerleme miktarı ile 6 mm çaplı matkapla 324 delik açılmıştır. Deneyler hem kuru hem de kriyojenik şartlar ile yapılmıştır. Kuru ve kriyoje-

nik şartlarda elde edilen deliklerin ölçüleri Şekil 12'de görüldüğü gibi 6 mm den daha az çıkmıştır. Kriyojenik şartlarda daha dalgalı ölçümler elde edilirken, kuru kesme da daha stabil çap değerleri elde edilmiştir.



Şekil 12. Delik sayısı artışı ile delik çap değişimi

## SONUÇLAR

Bu çalışmada karbon fiber takviyeli polimerik kompozit malzemenin kuru ve kriyojenik şartlar altında farklı kesme parametreleri kullanarak delinebilirlik performansı deneysel olarak araştırılmıştır. Deneysel çalışmada iki farklı kesme hızı (20 ve 50 m/dak.), dört farklı ilerleme miktarı (0.075mm/dev., 0.15mm/dev., 0.225mm/dev. ve 0.3mm/dev) ve 2 farklı çaplı matkaplar (4 mm ve 6 mm) kullanılmıştır. Deneysel çalışma anında on-line olarak itme kuvvetleri, deneylerden sonra ise delaminasyon hasarı görüntülenmiştir.

Karbon fiber takviyeli polimerik kompozit malzemenin delinmesinde kriyojenik şartlarda oluşan kuvvet kuru kesme şartlarında oluşan kuvvetin yaklaşık 2 kat daha fazla çıkmıştır.

Kriyojenik şartlar altında daha fazla kuvvet oluşmasının nedeni ise malzemenin aşırı soğuğa maruz kalmasıyla malzemenin young modülünü, çekme gerilmesini artırmasıdır. Çekme gerilmesinin artması ile malzeme sert ve kırılğan bir yapıya dönüştüğünden talaş kaldırma operasyonu zorlaşmaktadır.

Daldırma kriyojenik tekniği ile CFRP'nin delinmesinin kolaylaştığı, delinmiş parçaların yüzey pürüzlülüğünü azaltarak işlenebilirliği büyük ölçüde artırdığını göstermiştir.

Delaminasyon oluşumu ile oluşan kuvvet arasında doğrudan bir ilişki vardır. Bu bağlamda kriyojenik şartlarda kuru kesme şartlarına göre daha fazla delaminasyon oluşmaktadır.

Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlara göre 4 mm çaplı matkap 6 mm çaplı matkap dan daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Tasarım olarak izin verilen tüm durumlarda küçük çaplı matkaplar tercih edilmesi daha iyi sonuçlar vereceği görülmüştür.

## KAYNAKLAR

- Ananda, R.S., Patra, K. (2017). Mechanistic cutting force modelling for micro-drilling of CFRP composite laminates. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 16: 55–58.
- Brinksmeier, E., Fangmann, S., Rentsch, R. (2011). Drilling of Composites and Resulting Surface Integrity, *CIRP Annals–Manufacturing Technology*. 60: 57–60.
- Capello, E. (2004). Workpiece Damping and Its Effect on Delamination Damage in Drilling Thin Composite Laminates. *Journal of Materials Processing Technology*. 148:186–195.
- Dokur, M. M. (2009). Karbon Fiber Esaslı Polimerik Matrisli Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Ekici, E., Işık, B. (2009). Cam Elyaf Takviyeli Polimer Kompozit Malzemenin Delinmesi Esnasında Oluşan Yüzey Hasarının Deneysel Olarak İncelenmesi 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 13-15 Mayıs, Karabük, Türkiye, Book of Proceedings, 20-26p.
- Gaitonde, N., Karnik, S.R., Rubio Campos J., Correia Esteves A., AbraoAM., Paulo Davim J. (2008). Analysis of Parametric Influence on Delamination in High-Speed Drilling of Carbon Fiber Reinforced Plastic Composites. *Journal of Materials Processing Technology*. 203: 431–438.
- Geng, D., Liu, Y., Shao, Z., Lui, Z., Cai, J., Li, X., Jiang, X., Zhang, D. (2019). Delamination formation, evaluation and suppression during drilling of composite laminates: A review. *Composite Structures*

216: 168-186.

- Liyakhath, A.S., Kumar, M. P. (2015). Cryogenic drilling of Ti-6Al-4V Alloy Under Liquid Nitrogen Cooling. *Materials and Manufacturing Processes*, 31: 951-959.
- Meral, G., Dilipak, H., Sarıkaya, M. (2011). AISI 1050 Malzemenin Delinmesinde İlerleme Kuvvetleri Ve Yüzey Pürüzlülüğünün Regresyon Metoduyla Modellenmesi. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 4(1): 31-41.
- Palanikumar, K., Srinivasan, T., Rajagopal, K., Latha, B. (2016). Thrust Force Analysis in Drilling Glass Fiber Reinforced/Polypropylene (gfr/pp) Composites. *Materials and Manufacturing Processes*, 31: 581-586.

- Seeholzer, L., Scheuner, D., Wegener, K. (2019). Analytical force model for drilling out unidirectional carbon fibre reinforced polymers (CFRP). *Journal of Materials Processing Technology*. 1: 116-489.
- Shunmugesh, K., Panneerselvam, K. (2016). Machinability Study of Carbon Fiber Reinforced Polymer in the Longitudinal and Transverse Direction and Optimization of Process Parameters Using PSO-GSA. *Eng. Sci. Technol. Int. J.* 19 1552-1563.
- Wang, F., Wang, X., Zhao, X., Bi, G., Fu, R. (2020). A numerical approach to analyze the burrs generated in the drilling of carbon fiber reinforced polymers (CFRPs). *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 106:3533-3546.
-