



**T.C.
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KARBON FİBER TAKVİYELİ KOMPOZİT
MALZEMELERİN DELİNMESİNDE DESTEK
PLAKASI KULLANILMASININ DELAMİNASYONA
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Veli ÇELİKYÜREK

BURDUR, 2021

**T.C.
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KARBON FİBER TAKVİYELİ KOMPOZİT
MALZEMELERİN DELİNMESİNDE DESTEK
PLAKASI KULLANILMASININ DELAMİNASYONA
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Veli ÇELİKYÜREK

Danışman: Doç. Dr. Gültekin BASMACI

BURDUR, 2021

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum **“Karbon Fiber Takviyeli Kompozit Malzemelerin Delinmesinde Destek Plakası Kullanılmasının Delaminasyona Etkisinin İncelenmesi”** başlıklı bu tezin;

- Kendi çalışmam olduğunu,
- Sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi,
- Bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi,
- Kullandığım verilerde değişiklik yapmadığımı,
- Tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı,
- Bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı,

bildirir, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

01 / 12 / 2021

Veli ÇELİKYÜREK

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile her aşamada yardımcı olan değerli Danışman Hocam Doç. Dr. Gültekin Basmacı'ya teşekkürlerimi sunarım. Deneylerimi yapmam için laboratuvarlarını bana açan ve araştırmalarımnda hiçbir yardımı esirgemeyen değerli hocalarım Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi'nden Prof. Dr. Uğur Köklü'ye teşekkür ederim.

Yüzey pürüzlülüğü analizler için Süleyman Demirel Üniversitesi Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezine çalışanlarına ve Öğr. Gör. Bahri Şekerci'ye teşekkür ederim.

0670-YL-20 numaralı proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

Eğitim hayatımın boyunca beni her anlamda destekleyen aileme, dostum ve meslektaşım Hüseyin Cahit Hamamcıoğlu'na ve sevgili eşim Muazzez Çelikyürek'e sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Aralık, 2021

Veli ÇELİKYÜREK

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL DİZİNİ.....	iii
ÇİZELGE DİZİNİ	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	v
ÖZET	vii
SUMMARY	viii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Kompozit Malzeme Türleri	6
2.1.1. Seramik Takviyeli Kompozit Malzemeler	6
2.1.2. Polimer Takviyeli Kompozit Malzemeler	7
2.1.3. Metal Takviyeli Kompozit Malzemeler	7
2.2. Karbon Fiber Takviyeli Kompozit Malzemeler	7
2.3. Karbon Fiber Takviyeli Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri.....	7
2.4. Karbon Fiber Takviyeli Kompozit Malzemenin İşlenebilirliği.....	8
2.5. Karbon Fiber Takviyeli Kompozit Malzemenin Delme Esnasında Oluşan Delaminasyon Analizi	10
2.6. Yüzey Pürüzlülüğü	12
2.6.1. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler.....	13
2.7. Literatür Özeti	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	21
3.1. Taguchi Deney Tasarım Metodu	21
3.2. Deney Düzenegi	22
3.3. CNC Tezgâhı	22
3.3.1. Kuvvet Ölçme Sistemi	24
3.4. Kesme ve İlerleme Parametreleri	24
3.4.1. Kompozit Malzemenin Deneye Hazırlanması	25
3.4.2. Destek Plakaları Seçimi ve Hazırlanması	26
3.4.3. Kompozit Malzemenin Mekanik Özellikleri.....	26
3.4.4. Deneyde Kullanılan Kesici Takım	27
3.4.5. Kesici Takım Aşınması	27
3.4.6. Yüzey Pürüzlülüğü	28
3.5. Deneysel Çalışma	30
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	32
4.1. Kesme Kuvveti Ölçümleri.....	32
4.2. Deliklerin Elektron Mikroskop Görüntüsü.....	34
4.3. Deliklerin Taramalı Elektron Mikroskobu ile Alınmış Görüntüleri	37
4.4. Deliklerin Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü	43
4.5. Delaminasyon Değerleri.....	46
5. SONUÇ.....	49
KAYNAKLAR.....	51
EKLER	56

ŞEKİL DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Kompozit malzeme iç yapısı.....	3
Şekil 2.2. a) Parçacık matris b) Elyaf takviye c) Tabaka takviye	5
Şekil 2.3. a) Kesik elyaf takviyeli kompozit b) Sürekli elyaf takviyeli kompozit	6
Şekil 2.4. Kompozit bir plakanın delinmesinden kaynaklanan hatalar	9
Şekil 2.5. Takım ucunu etkileyen kuvvetler.....	10
Şekil 2.6. Kompozit malzemenin delinmesi esnasında oluşabilecek delaminasyon.....	11
Şekil 2.7. Delaminasyon etkisi	11
Şekil 3.1. Deney düzeneği.....	22
Şekil 3.2. a) CNC tezgâh b) Dinamometre c) Amplifikatör.....	23
Şekil 3.3. Kuvvet ölçme sistemi.....	24
Şekil 3.4. 120 x 200 x 4 mm kompozit malzeme	25
Şekil 3.5. Deney için hazırlanan altlıklar a) Kestamit b) Ahşap c) Alüminyum.....	26
Şekil 3.6. Kesici takım görüntüsü	27
Şekil 3.7. Dijital mikroskop ile kesici takımı görüntüleme.....	28
Şekil 3.8. Yüzey pürüzlülüğü için hazırlanan numuneler	29
Şekil 3.9. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü	30
Şekil 3.10. Delme işlemi	31
Şekil 4.1. 3.000 dev/dak. fener mili hızında delme işleminde elde edilen kesme kuvveti..	32
Şekil 4.2. 6.000 dev/dak. fener mili hızında delme işleminde elde edilen kesme kuvveti..	33
Şekil 4.3. 3.000 dev/dak. fener mili hızında delinen deliklerin yüzey pürüzlülük değerleri	44
Şekil 4.4. 6.000 dev/dak. fener mili hızında delinen deliklerin yüzey pürüzlülük değerleri	45
Şekil 4.5. 3.000 dev/dak. fener mili hızında delinen deliklerin delaminasyon değerleri	46
Şekil 4.6. 6.000 dev/dak. fener mili hızında delinen deliklerin delaminasyon değerleri	47

ÇİZELGE DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Epkosi ile poliüretanın farkları	4
Tablo 3.1. Dinamometre özellikleri	24
Tablo 3.2. Kesme parametreleri	25
Tablo 3.3. Karbon fiber takviyeli kompozit malzemenin mekanik özellikleri	26
Tablo 3.4. Kesici ucun teknik özellikleri	27
Tablo 3.5. Dijital mikroskop özellikler	28
Tablo 4.1. 3.000 dev/dak. fener mili hızında delinen deliklerin elektron mikroskobu ile 50 kat büyütülmüş görüntüleri	35
Tablo 4.2. 6.000 dev/dak. fener mili hızında delinen deliklerin elektron mikroskobu ile 50 kat büyütülmüş görüntüleri	36
Tablo 4.3. 3.000 dev/dak. fener mili hızı, 300 mm/dak. ilerleme delinen deliklerin taramalı elektron mikroskobu ile alınmış görüntüleri	38
Tablo 4.4. 3.000 dev/dak. fener mili hızı, 1.500 mm/dak. ilerleme delinen deliklerin taramalı elektron mikroskobu ile alınmış görüntüleri	39
Tablo 4.5. 6.000 dev/dak. fener mili hızı, 300 mm/dak. ilerleme delinen deliklerin taramalı elektron mikroskobu ile alınmış görüntüleri	40
Tablo 4.6. 6.000 dev/dak. fener mili hızı, 1.500 mm/dak. ilerleme delinen deliklerin taramalı elektron mikroskobu ile alınmış görüntüleri	41
Tablo 4.7. Hommel Tester T500 yüzey pürüzlülük cihazı özellikleri	43
EK 1 – Tablo 4.1. Desteksiz delme metodu yüzey pürüzlülük ölçümleri	56
EK 1 – Tablo 4.2. Ahşap destekli delme metodu yüzey pürüzlülük ölçümleri	56
EK 1 – Tablo 4.3. Alüminyum destekli delme metodu yüzey pürüzlülük ölçümleri	57
EK 1 – Tablo 4.4. Kestamit destekli delme metodu yüzey pürüzlülük ölçümleri	57
EK 1 – Tablo 4.5. Desteksiz delme metodu kuvvet verileri	58
EK 1 – Tablo 4.6. Kestamit destekli delme metodu kuvvet verileri	58
EK 1 – Tablo 4.7. Ahşap destekli delme metodu kuvvet verileri	59
EK 1 – Tablo 4.8. Ahşap destekli delme metodu kuvvet verileri	59
EK 1 – Tablo 4.9. 3.000 dev/dak. fener mili hızında delinen deliklerin elektron mikroskobu ile 30x büyütme ile alınmış görüntüler	60
EK 1 – Tablo 4.10. 6.000 dev/dak. fener mili hızında delinen deliklerin elektron mikroskobu ile 30x büyütme ile alınmış görüntüler	61

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

μm	: Mikrometre
AlN	: Alüminyum Nitrit
BN	: Bor Nitrit
cm^3	: Santimetre küp
d	: Delik çapı
DAQ	: Veri toplama ünitesi
dev/dak.	: Devir/dakika
DIN	: Alman Standartlar Enstitüsü
d_{max}	: En büyük çap
f	: İlerleme hızı
F_d	: Delaminasyon faktörü
F_r	: Radyal kuvvet
F_v	: İlerleme kuvveti
F_z	: Kesme kuvveti
G	: Gram
GPa	: Gigapaskal
KFTP	: Karbon fiber takviyeli polimer
kN	: Kilo Newton
mm/dak.	: Milimetre/dakika
mm	: Milimetre
MP	: Megapiksel
MPa	: Megapaskal
SQL	: Minimum miktar yağlama
N	: Newton
Nm	: Nanometre
pc/n	: Yer yüzeyi sınıflandırma numarası
R_a	: Ortalama yüzey pürüzlülüğü
R_a	: Yüzey pürüzlülüğünün aritmetik ortalaması
R_T	: Tüm ölçüm uzunluğu için maksimum yükseklik ile maksimum derinliğin toplamı
R_z	: Kaba pürüzlülük değeri
R_z	: Maksimum pürüzlülük derinliği

S	: Fener mili hızı
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
Si₃N₄	: Silisyum Nitrür
Sn	: Saniye
TiN	: Titanyum Nitrür
UV	: Ultraviyole
V_t	: Tarama hızı



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Karbon Fiber Takviyeli Kompozit Malzemelerin Delinmesinde Destek Plakasının Delaminasyona Etkisinin İncelenmesi

Veli ÇELİKYÜREK

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Gültekin Basmacı

Aralık, 2021

Kompozit malzemeler yüksek sertlik, hafiflik, yüksek mukavemet gibi üstün özelliklerinden nedeniyle havacılık, spor, uzay, denizcilik sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin işlenmesi genellikle uygun toleransları elde etmek içindir. Bu çalışmada talaşlı imalatla büyük önem taşıyan ve verimliliği etkileyen önemli etkenler biri olan delme işlemi sırasında oluşan delaminasyon incelenmiştir. Deneylerde karbon fiber malzemesinin desteksiz, alüminyum destekli, kestamit destekli ve ahşap destekli plakalarla, 300, 600, 900, 1.200 ve 1.500 mm/dak. ilerleme hızlarıyla ve 3.000, 6.000 dev/dak. fener mili hızı parametreleri kullanılarak doğrudan delme metodu ile dik işleme tezgahında yapılmıştır. Deneylerde kaplamalı matkap ile delme işlemleri yapılmıştır. Delinen deliklerde alınan ölçülerle delaminasyon hesaplaması yapılmıştır. Deneyler sonucunda deliklerin yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapılmış, elektron mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobu ile görüntüleri alınmış hem delaminasyonu hem de delik kalitesi incelenmiştir. Deneyler sonucunda en iyi delaminasyon performansını alüminyum destekli plakalı delik delme işleminde düşük ilerleme hızı, düşük fener mili hızında ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kompozit malzeme, delaminasyon, yüzey pürüzlülüğü, işlenebilirlik

Hazırlanan bu Yüksek Lisans Tezi Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 670-YL-20 proje numarası ile desteklenmiştir.

SUMMARY

M. Sc. Thesis

Investigation of the Effect of Using Backing Plate on Delamination in Drilling of Carbon Fiber Reinforced Composite Materials

Veli ÇELİKYÜREK

**Burdur Mehmet Akif Ersoy University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Materials Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Gültekin Basmacı

December, 2021

Composite materials are widely used in aviation, sports, space and maritime sectors due to their superior properties such as high hardness, lightness and high strength. The machining of composite materials is usually to achieve the appropriate tolerances. In this study, delamination that occurs during drilling, which is one of the most important factors affecting productivity and is of great importance in machining, has been examined. In the experiments, the carbon fiber material was tested with 300, 600, 900, 1.200 and 1.500 mm/min. with feed rates and 3.000, 6.000 rpm. It was made on a vertical machining center by direct drilling method using spindle speed parameters. Drilling operations were carried out with a coated drill in the experiments. Delamination calculation was made with the measurements taken in the drilled holes. As a result of the experiments, surface roughness measurements of the holes were made, images were taken with electron microscope and scanning electron microscope, and both delamination and hole quality were examined. As a result of the experiments, the best delamination performance was achieved at low feed rate and low spindle speed in aluminum supported plate drilling.

Keywords: Composite material, delamination, surface roughness, machinability

The present M.Sc. was supported by Burdur Mehmet Akif Ersoy University Scientific Research Projects Coordinator Under the Project number of 670-YL-20.

1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler, üstün mekanik özelliklerinden dolayı araştırmacılar için üzerine yoğunlaşılacak bir konu haline gelmiştir. Günümüzde çoğu uygulamada geleneksel malzemelerin yerini kompozit malzemeler almaktadır. Kompozit malzemeler yüksek mukavemet özellikleri, düşük ağırlıkları gibi üstün özellikleri nedeniyle birçok sektörde kendine yer bulmuştur. Uzay araçlarından, inşaat yapılarına, araç parçalarından uçak ve denizaltı gövdelerine kadar çeşitli alanlarda ismi çokça geçmektedir (Cao vd., 2009). Yüksek mukavemet özelliği ve düşük ağırlığının yanı sıra, çatlak büyümesine karşı yüksek direnç, yüksek özgül sertlik, şekillendirilebilirlik, yüksek yorulma direnci, tamir edilebilirlik, iyi darbe dayanımı, korozyon, termal dayanım ve kör çentik mukavemeti gibi çok sayıda avantaj sunar (Fotouhi vd., 2015; Thirukumaran vd., 2018). Kompozit malzemelerin bu avantajlarının yanı sıra dezavantajları da vardır. Üretimi metallere göre nispeten pahalı olmakla birlikte, hava ve nem koşullarından ise etkilenirler. Kompozit malzemelerin imalatı metallere göre daha karmaşıktır. Kompozit malzemelerde en çok kullanılan talaş kaldırma yöntemi delik delmedir. Fazlaca kullanılmasının sebebi ise kompozit malzemelerin diğer malzemelere montajlamanın tek yolu cıvatalı ya da pimli bağlantısının olmasıdır.

Kompozit malzemelerde cıvata ve pim delikleri açılırken özen gösterilmesi gerekir. Eğer delik kalitesi yeterli seviyede olmaz ise montaj kalitesi de yeterli seviyede olmaz. Bu nedenle yüksek verimlilik için kompozit parçaların hassas bir şekilde delinmesi gerekir (Faraz vd., 2009; Gaissin vd., 2016). Ama kompozit malzemelerin heterojen karakteristiği ve anizotropik yapısı, aşırı ısınma, yüksek kesme kuvveti, takım aşınması, matrizen lif kopması, delaminasyon ve istenmeyen yüzey kalitelerinin oluşmasına neden olur (Gaissin vd., 2016). Delme sırasında birçok kuvvet etki eder. Bu kuvvetler delik kalitesini dolayısıyla parça kalitesi ve parçanın fiziksel özelliklerini doğrudan etkiler. Delik delerken kullanılan parametreler kuvvetlerin ortaya çıkardığı hatalar lif çekme, parçanın çatlaması, termal hasarlar ve delaminasyondur. Bu hatalardan en ciddi olanı ise delaminasyondur. Çünkü bu hata malzeme bütünlüğünü bozabilir.

Delaminasyon delik delme esnasında matkabın parçanın girişi veya çıkışında parçaya bıraktığı hasar ya da kompozit malzemenin tabakalarının birbirinden ayrılması olarak tanımlanmaktadır. Delaminasyon değeri parçanın fiziksel özelliklerini düşüren bir sorundur. Delaminasyonu etkileyen faktörlerle ilgili farklı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda

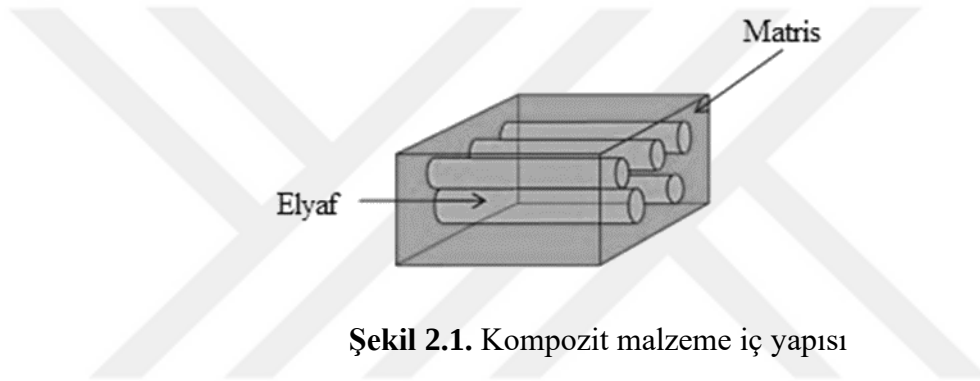
matkap cinsi, matkap kaplaması, kademe açısı ve boyu, uç açısı, ilerleme hızı, kesme hızı gibi faktörlerin delaminasyona olan etkisi incelenmiştir. Bu konu üzerinde fazlaca durulmasına rağmen delaminasyonu tamamen yok edecek bir yöntem bulunamamıştır.

Bu çalışmada kompozit malzemeyi destek plakası ile desteklenip, delik giriş ve çıkışında oluşan yüzey hasarları, kesici takım, kesme parametreleri ve kesici takım geometrisi gibi faktörleri dikkate alınarak kompozit malzemedeki delaminasyon faktörünü incelemek amaçlanmıştır.



2. GENEL BİLGİLER

Kompozit malzeme, birbiri içerisinde çözünmeyen ve birbirinden farklı şekil veya malzeme kompozisyonuna sahip iki veya daha fazla bileşenin karışımından veya birleşmesinden oluşan bir malzeme sistemidir. Kompozit malzemeler, doğrudan doğruya istenilen maksatta kullanılmayan en az iki farklı malzemeden belli olan bir özelliği elde edebilmek için, bu malzemelerin belli şartlar altında ve belli bir oranda fiziksel olarak birleştirilmesiyle elde edilirler. Bir kompozit malzeme genelde dayanıma sahip reçine veya matris ana fazı ile bunun içinde dağılmış daha az oranda kullanılan takviye elemanından oluşmaktadır. Kompozit malzemenin iç yapısı Şekil 2.1’de verilmiştir (Şahin, 2000).



Şekil 2.1. Kompozit malzeme iç yapısı

Kompozit malzemeler kendilerini oluşturan malzemelerin sahip olduğu özelliklerin üstüne, yüksek mukavemet, hafiflik, tasarım esnekliği, boyutsal stabilite, yüksek dielektrik direnimi, korozyon dayanımı, kalıplama kolaylığı, yüzey uygulamaları, yüksek ısıl dayanım, şeffaflık özelliği, yüksek kimyasal direnç, titreşim sönümlendirme, akustik iletkenlik, ses yutuculuğu gibi avantajları sağlar. Aynı ağırlıktaki mukavemetleri, metallere oranla çok yüksektir. Aynı yönlü aramid, karbon fiber takviyeli epoksi, aynı yönlü grafit takviyeli epoksi kompozit malzemeler, çelik ve alüminyumdan daha yüksek çekme dayanımına sahiptir. Kullanım alanına ve özelliklerine bağlı olarak gereksinim duyulan özellikler artırılır, kontrol edilir (Şahin, 2000; Ersoy, 2001).

Matris malzemeler kompozit yapıda elyafları bir arada tutar, yükü elyaflara dağıtır ve elyafları çevresel etkilerden korur. Matris malzemenin ilk aşamada akışkan olması istenir. Çünkü elyaf matrisin içinde kalsın ki kompozit istenilen özelliğe ulaşsın. Daha sonra katı formuna geçmesi istenir.

Kompozit yapılarda yükü taşıyan elyaf malzemelerdir ama elyaf malzemelere düzgün şekilde dağılması sağlamak ise matrisin görevidir. Örneği elyaf yapıyı düzgün

çevrelememiş bir kompozit malzemeye yük altında bırakırsak yükü bütün elyaflar üzerinde eşit olarak dağılmadığını görürüz. Yani matrisin görevi tam anlamıyla yerine getirmediği sonucuna ulaşabiliriz.

Günümüzde popüler olarak kullanılan 4 farklı matris reçinesi bulunmaktadır. Bunlar;

- Epoksi reçine
- Polyester reçine
- Üretan reçine
- Fenolik reçine

Epoksi reçinelerin, havacılık, ulaşım spor, deniz araçlarında kullanımı görülmektedir. Mekanik özellikleri çok yüksek olan epoksi reçinelerin, ısı dayanımı da yüksektir, her yüzeye yapışabilir, solvent dayanımı yüksektir, ayrıca hijyenik ve antibakteriyeldir (Beşergil, 2021).

Üretan reçineler, poliüretan bağlantıları ile birleştirilen organik üniteler zincirinden oluşan bir polimerdir. Üretan reçinelerin kimyasal, toz ve nem dirençleri çok yüksektir. Yüksek elektrik dirençleri vardır, elastiktir, UV dirençleri yüksektir. Solvent dayanımları düşüktür, yüksek kopma direnci, darbe dayanımı ve aşınma direnci vardır.

Günümüzde çok kullanılan epoksi ve poliüretanın farkları Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Epoksi ile poliüretanın farkları

Epoksi	Poliüretan
Çok sert	Yumuşak
Kırılgan	Elastik
Neredeyse her yüzeye yapışır	Seçicidir
UV direnci yoktur	UV direnci vardır
Solvent dayanımı yüksektir	Solvent dayanımı düşüktür
Dolgu ve ankrajda sabitleyicidir	Dolgu ve ankrajda hareketlidir
Çizilebilir	Çizilmesi çok zordur
Isısal etkilere dayanımı yüksektir	Şok ısılara dayanımı vardır

Polyester reçineler, termoset reçinedir. İnşaat ve denizcilik alanında çok kullanılmaktadır. Polyesterler genellikle 3 çeşit olarak kullanılır. Kompozitlerde yaygın olarak kullanılan türünde ise suya dayanımı yüksek, kimyasallara karşı dayanıklı, rijitlik gibi özellikleri bulunmaktadır. Kompozit malzeme reaksiyonlarında sertleştirici kullanımı görülmektedir.

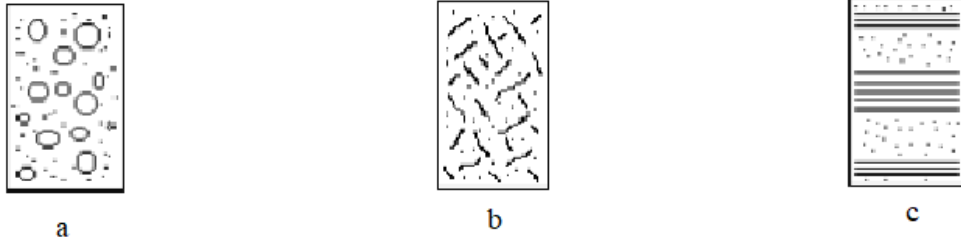
Fenolik reçineler, fenol formaldehitten elde edilen sentetik bir reçinedir. Bazı kaynaklarda bakalit olarak da adlandırılmaktadırlar. Çoğunlukla katı ve sıvı fazlarda bulunurlar. Elektrikli ev aletlerinde, fren balatalarında izolasyon malzemeleri gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır.

Kompozitin malzemenin büyük bir kısmını fiber malzeme taşımaktadır. Matris ise kompozite yapısal şekil ve rijitlik sağlar. Matrisin özelliğine bağlı olarak darbe direnci, süneklik, kimyasal etmenlere direnç gibi özellikleri kompozite kazandırır (Mazumdar, 2002).

İç yapılarında farklı malzemeler kullanılan kompozitler çok fazladır. Bu kompozitleri yapılarına göre sınıflandırma yapmak mümkündür. Kompozit malzemeler matris malzemelerine göre 3 gruba ayrılır. Bunlar;

- Parçacık matrisli kompozit malzemeler,
- Elyaf (Fiber, lif) matrisli kompozit malzemeler,
- Tabakalı kompozit malzemeler.

Şekil 2.2’de kompozit malzemelerin iç yapılarına göre sınıflandırılmış görüntüleri verilmiştir.

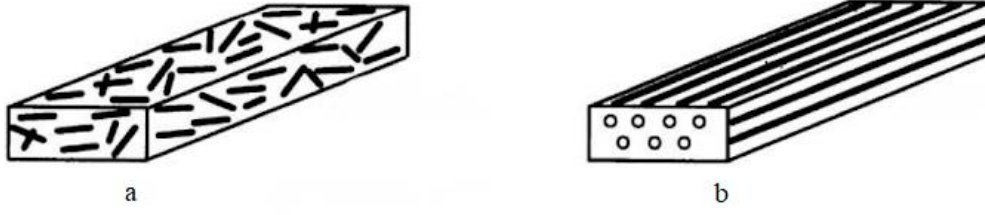


Şekil 2.2. a) Parçacık matris b) Elyaf takviye c) Tabaka takviye (Ünal, 2021)

Elyaf matrisli kompozitler de kendi aralarında 3 gruba ayrılır. Bunlar;

- Sürekli elyaf takviyeli kompozit malzemeler,
- Kesikli elyaf takviyeli kompozit malzemeler,
- Rastgele elyaf takviyeli kompozit malzemeler.

Şekil 2.3’te elyaf takviyeli kompozit malzemelerin iç yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.3. a) Kesik elyaf takviyeli kompozit b) Sürekli elyaf takviyeli kompozit

2.1. Kompozit Malzeme Türleri

Metal kompozitlerde matris malzemesi alüminyum, bakır, titanyum, gibi hafif metaller kullanılmasıyla meydana gelir. Metal matrisli kompozit malzemeler mukavemet, aşınma, korozyon, sertlik parametrelerde üstün performans göstermeleri sebebiyle havacılık, otomotiv alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Ünsal, 2016).

Seramik kompozitlerde matris olarak AlN, Si₃N₄, BN gibi seramik malzemeler kullanılarak meydana gelir. Seramik matrisli kompozitleri öne çıkaran özellikler ise üstün ısı dayanımı, düşük yoğunluklu ve çok sert olmalarıdır. Avantajı olan sertlik kompozitin çok gevrek olması sebebiyle dezavantajı olarak da göz önünde bulundurulması gerekir.

Polimer kompozitlerde (Fiberglas), matris malzemesi olarak polyeester kullanılır. Polimer kompozitlerin günlük hayatta en çok karşımıza çıkanı kompozittir. Polimer kompozitler yüksek mukavemet, yüksek rijitlik, yüksek yorulma ve sürünme dayanımı, düşük sürtünme katsayısı, iyi aşınma dayanımı, yüksek tokluk, yüksek kimyasal korozyon, düşük elektriksel direnç, yüksek termal iletkenlik gibi üstün özelliklere sahiptir. Polimer kompozitlerin dezavantajı ise termal dayanımları çok düşüktür. Bu sebeple de genleşme değerleri de yüksektir (Yalçın ve Gürü, 2002).

2.1.1. Seramik Takviyeli Kompozit Malzemeler

Seramik takviyeli kompozitler metal-ametal elementleri ile kurulan güçlü bağlar sonucunda oluşur. Bu bağların oluşan malzemeye yüksek sıcaklık dayanımı, yüksek elastik modülü, yüksek sertlik, yüksek basma dayanımı özelliklerini katar. Bu üstün özelliklerin yanında düşük kırılma tokluğu, düşük mekanik özellik, gevreklik, kırılğan yapı, düşük çekme dayanımı gibi özellikleri de barındırmaktadır. Genellikle seramik kompozit malzemelerin düşük tokluğu nedeniyle ani kopmalar yaşadığı görülmektedir (Hüner, 2008).

2.1.2. Polimer Takviyeli Kompozit Malzemeler

Polimer takviyeli kompozitler diğer kompozit malzeme türlerine göre daha düşük yoğunlukta dırlar. Düşük yoğunluklarından dolayı işlenebilirlik kabiliyetleri daha yüksektir. Dezavantajı ise mekanik özellikleri düşüktür ve çevresel faktörlerden fazla etkilenmektedir.

En yaygın kullanılan kompozit türü polimer kompozitlerdir. Polimer kompozitler arasında en çok kullanılanı ise karbon fiber, cam elyafı, aramid, epoksi gibi malzemelerdir. Kompozit malzemeler kullanım yerine göre üretilmektedir. Günlük hayatta kullandığımız birçok ürün polimer kompozit olarak karşımıza çıkmaktadır (Ünsal, 2021).

2.1.3. Metal Takviyeli Kompozit Malzemeler

Metallerin yüksek tokluğu, yüksek rijitliği, özgül dayanımı ve termal dayanımına sahip olmaları sebebiyle kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılmaktadır. Diğer takviye elemanlarından üstün özellikleri ise yüksek tokluk, sürtünme ve aşınma dirençlerinin daha yüksek olmasıdır (Aydın, 2019).

2.2. Karbon Fiber Takviyeli Kompozit Malzemeler

Karbon elyafı günümüzde ağırlığın önemli olduğu hava ve uzay araçlarında, spor arabalarda ve spor malzemelerinde sıkça kullanılmaktadır. Karbon elyafı yüksek elastisite katsayısı, hafifliği, termal direnci, korozyon direnci, yüksek sertliği, yüksek mukavemet özellikleri nedeniyle çok tercih edilmektedir.

Karbon fiberlerin yapısında farklı kristal yapılar bulunur. Karbon fiber yapısında kullanılan kristaller ise grafit veya hegzagonal yapıdadır. Bu kristallerin yaptığı bağlar sayesinde karbon fiber malzemelerin üstün özellikleri ortaya çıkmaktadır (Duboust vd., 2020).

2.3. Karbon Fiber Takviyeli Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Mekanik özellik denilince, malzemelerin sabit yükler altında, gerilme durumunda ve termal etkileşimin sonucunda yapısında meydana gelen plastik deformasyonun zamana bağlı değişimini belirten olgudur. Fiber takviyeli polimer kompozit plakaların mekanik özellikleri genellikle matris içindeki fiberin konumuna ve miktarına göre değişir. Özellikle çift yönlü fiber takviyeli plakalardaki kompozitler, her iki yönde maksimum sertlik ve mukavemete sahiptir (Brinksmeier vd., 2011).

Sürtünme dayanımı kompozit malzemedeki kullanılan yapıların cinsine, kullanım alanına, sıcaklığa, yükleme miktarına ve yükleme cinsine bağlıdır. Malzemelerde bahsedilen

fiziksel etmenlerden kaynaklanan sürünme olayı istenmeyen bir durumdur. Sıcaklık ve zorlama miktarındaki artış sürünmedeki artışı etkiler. Kullanım alanındaki sıcaklık, basınç ve zorlamalardan dolayı sürünme zorlamasına maruz kalan malzemelerin yapılarında değişiklik yapılması yaygın bir yöntemdir (Ünsal, 2016). Yapı üzerindeki değişimler nedeniyle kullanım alanına uygun özellikleri olan malzemelerin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Çok sert yapıda olan metal malzemelerdeki gibi karbon liflerle güçlendirilmiş plastikler de gevrek ve kırılgan bir yapıya sahiptir. Karbon elyaflı kompozitlerin darbe direnç performansları çok iyi değildir. Kompozit malzemelerde elyaflar kuvvet yönüne dik, paralel veya rastgele yerleştirilebilir. Elyaflar düzgün dizilmiş durumdayken kompozit anizotropik yapıdadır. Elyafların rastgele konumlanmasıyla kompozit malzemenin düzlemsel boyutta izotropik yapıya uygun hale getirilir. Malzemeye uygulanan kuvvet yönü ile elyafların yönü birbirine paralel ise yapıda bulunan elyaflar ve matris malzemesi aynı miktarda deformasyona uğrar. Bu duruma, eş şekil değiştirme durumu denir (Şahin, 2000).

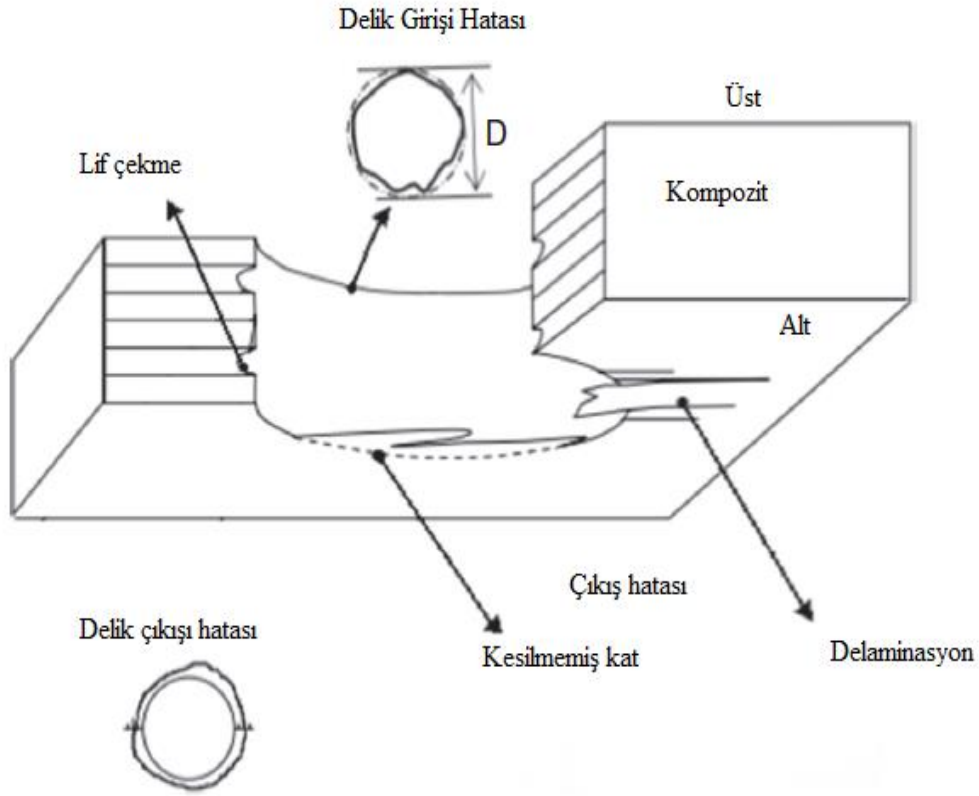
2.4. Karbon Fiber Takviyeli Kompozit Malzemenin İşlenebilirliği

Kompozit malzemeler genellikle tek bir parça halinde kullanılmamaktadır. Kompozit malzemeler diğer kompozit malzemelerle veya metallerle montajlanarak kullanılır. Bu işlem için cıvatalı ya da perçinli bağlantı elemanları tercih edilir. Bu bağlantı için kompozit malzemelerin talaşlı imalatla işlem görmesi gerekir (Subramanian ve Cook, 1997; Sorrentino vd., 2018).

Talaşlı kaldırma diğer adıyla talaşlı imalat olarak bilinen yöntem, en önemli ve en yaygın imalat şekli olup, malzemenin yüzeyinden geleneksel yöntemlerle kesici takım ile talaş şeklinde parça kaldırarak hedeflenen son geometrinin verildiği işlemlerdir. Tornalama, frezeleme, delik delme bunlardan en yaygın olarak bilinenlerdir.

Kompozitlerin malzemelerin homojen olmamasından dolayı işlenmesinde karşılaşılan başlıca problemler, matris malzemesinin kesilmesi ve kırılması ve fiber boyunca kırılma kırılmadır. Delme, metallerde ve kompozitlerde de delik açmak için yaygın olarak kullanılır. Kompozit plakaların delinmesinde neden olunan başlıca kusurlar, delik girişinde ve çıkışında delaminasyon ve fiber çekmedir. Bu kusurların çoğu hem termoset hem de termoplastik matris kompozitler için benzerdir. Bir kompozit levhanın ömrünün herhangi bir anında çeşitli nedenlerle delaminasyon meydana gelebilir ve bunun çeşitli etkileri vardır. Delaminasyon bölgesine bağlı olarak gerilme mukavemeti performansını etkileyebilir. Delaminasyon, kompozit malzemenin dayanıklılığında bir azalmaya neden olabilir ve

malzemenin taşıma mukavemetinde ve yapısal bütünlüğünde bir azalmaya neden olarak performans sorunlarına neden olabilir. Bu zararlı kuvvetler uygun kesici takım malzemesi, takım geometrisi seçimi ve uygun kesme koşullarında işleme ile azaltılabilir. Bir kompozit plakanın delinmesi sırasında ortaya çıkan kusurlar Şekil 2.4'te gösterilmektedir (Krishnamoorthy vd., 2019).



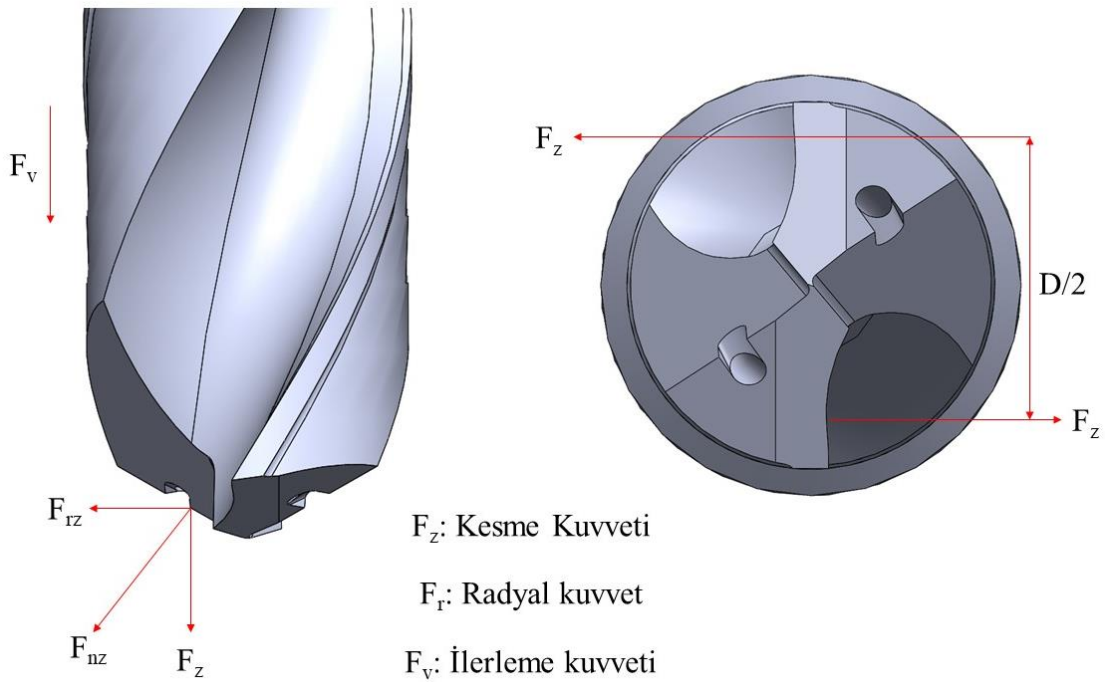
Şekil 2.4. Kompozit bir plakanın delinmesinden kaynaklanan hatalar
(Krishnamoorthy vd., 2019)

Delaminasyon, kompozitin delme yönünde mukavemet eksikliği nedeniyle delinmiş malzemelerde başlıca hata biçimlerinden biridir. Çekme kuvvetlerinin neden olduğu delaminasyon, esas olarak levhaların istifleme sırasına bağlanmıştır. Genellikle düzlem dışı gerilme gerilmelerinin yanı sıra döngüsel yükler nedeniyle katlar arasında oluşur. Bu tür bir delaminasyon yavaştır çünkü çatlak büyüme hızı çok yavaştır. Döngüsel yükler çekme veya sıkıştırıcı olabilir. Delaminasyon, yapının sıkıştırıcı yük taşıma kapasitesinde bir azalmaya neden olabilir. Delaminasyonun meydana gelmesinin ana nedenlerinden bazıları yüksek itme kuvveti ve ilerleme hızıdır. Diğer nedenler arasında hızlı takım aşınması ve güç sayılabilir. Delme, delik oluşturmak için standart işlemdir ve kompozitleri sistemin diğer

yapılarına uydurmak için havacılık, otomotiv ve akışkan endüstrilerinde en sık uygulanan işleme yöntemidir. Tipik bir uçak kanadında 5.000 kadar delik olabilir. Bu nedenle talaşlı imalat, kompozitlerin üretiminde bir maliyet faktörüdür. Cıvatalama ve perçinleme, havacılık ve otomotiv kompozit yapılarının montajında kompozit kaplamaların metale veya diğer kompozit parçalara sabitlenmesi için şu anda tercih edilen yöntemlerdir. Delinen deliklerin kalitesi, yapının yorulma mukavemetinin yanı sıra ürünün güvenilirliğini güçlü bir şekilde etkiler. Bu nedenle montaj bölümüne alınmadan önce kompozit üzerinde hasarsız delikler açılmasına ihtiyaç vardır (Krishnamoorthy vd., 2019).

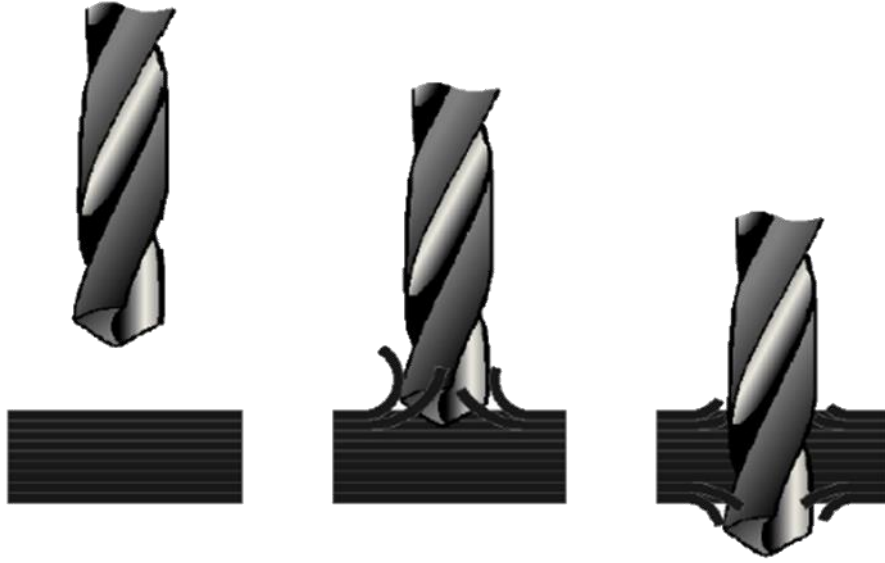
2.5. Karbon Fiber Takviyeli Kompozit Malzemenin Delme Esnasında Oluşan Delaminasyon Analizi

Delik delme esnasında takım üzerindeki meydana gelen kuvvetler Şekil 2.5'te verilmiştir. Delaminasyonu anlamak için bu kuvvetler ve etkilerine bilmek gerekir.



Şekil 2.5. Takım ucunu etkileyen kuvvetler (Çakıroğlu, 2011)

Delme kaynaklı delaminasyon genellikle delinmiş delik çevresinin delik girişinde ve delik çıkışında meydana gelir. Oluşum mekanizmasına göre, delik giriş delaminasyonu genellikle soyma delaminasyonu olarak adlandırılırken, delik çıkışında oluşan delaminasyona ise itme delaminasyonu adı verilir. Şekil 2.6'da delik girişi ve çıkışında oluşan delaminasyon gösterilmiştir.

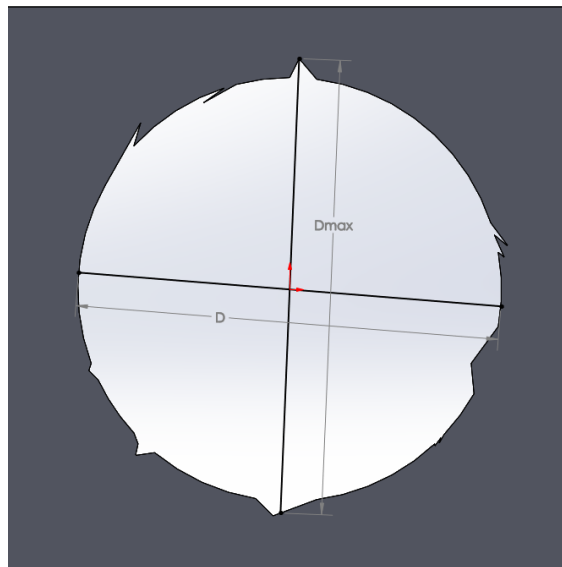


Şekil 2.6. Kompozit malzemenin delinmesi esnasında oluşabilecek delaminasyon
(Baş, 2019)

Delaminasyon değerini F_d ile hesaplarız. Bu değer en büyük çapın (D_{max}) matkap çapına (D) oranlaması ile bulunur.

$$F_d = \frac{D_{max}}{D} \quad (2.1)$$

Şekil 2.7’de delaminasyonun olduğu deliğin delaminasyon değeri hesaplamak için alınacak ölçüm yerlerini göstermektedir.



Şekil 2.7. Delaminasyon etkisi

Delme kaynaklı delaminasyonun boyutunun itme kuvveti ile ilgili olduğu geniş çapta rapor edilmiştir ve altında delaminasyonun oluşmadığı kritik bir itme kuvvetinin olduğu inanılmaktadır. İtme delaminasyonun başlangıcındaki kritik itme kuvveti, delaminasyonun önlenmesinde etkili bir kılavuz olarak kullanılabilir. Delaminasyon olmadan optimum itme kuvveti, verimliliği en üst düzeye çıkarmak için zaman içinde itme geri bildirimi ile delme makinesinin ilerleme hızını kontrol etmek için kullanılabilir (Sorrentino vd., 2018).

Matkap, delik çıkış tarafına yaklaştığında, matkabın altındaki kesilmemiş katlar, kalınlığın azalması ve aradaki levhaların tek başına yüksek rijitliği olmaması nedeniyle bu alanın deformasyonuna ve özellikle bükülmesine karşı daha duyarlı hale gelir. Sonunda, ara katman gerilim, ara katman bağlanma gücünü aşarsa, dışarı itme delaminasyonu oluşur (Franck vd., 2017; Anand ve Patra, 2017). Alt yüzey katlarının kırılmasından meydana gelen delinecek kompozit malzeme eksenel bir kuvvete ve bükülmeye maruz kalır. Dışarı itme delaminasyonu, delme işlem sırasında üretilen itme kuvvetini telafi edebilecek bir yedekleme kuvvetinin olmaması nedeniyle genellikle soyma delaminasyonundan daha kritiktir (Shyha vd., 2010). Bu nedenle, önceki çalışmalarda itme delaminasyonuna daha fazla dikkat edilmiştir. Genel olarak, itme kuvvetinin ve torkun dikkate alındığı birkaç kapsamlı analiz varken, itme delaminasyon oluşumuyla ilgili hemen hemen tüm ilgili çalışmalar itme kuvvetine odaklanmıştır. Bunun nedeni, tork ve delaminasyon başlangıcı arasındaki alaka düzeyinin düşük veya neredeyse ihmal edilebilir olmasıdır. Ayrıca, bir sıcaklık artışının delme kaynaklı delaminasyonda bir artışa neden olabileceği bildirilmiştir (Geng vd., 2017).

2.6. Yüzey Pürüzlülüğü

Talaşlı imalatta yüzey kalitesi, ürünün işlenmiş halinde istenen yüzey hassasiyetini sağlanması bakımından önemlidir. Son yüzey kalitesini etkileyen faktörler kullanım amacı, malzemesi, uygulanan imalat işlemlerdir. Her talaşlı imalatla elde edilen malzemede yüzey kalitesi ve yüzey pürüzlülüğü farklılık göstermektedir. Talaşlı imalatla birden fazla yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktör bulunmaktadır. Bunlar; kesici takımın malzemesi, kesici takım kaplaması, kesme açıları, işlenecek malzemenin sertliği, soğutma sıvısı ve tezgâhın konstrüksiyonu, kesme hızı ve ilerleme hızı, paso derinliği, sıcaklık gibi etkenlerdir. Bu parametrelerden herhangi birinin değişmesi yüzey kalitesini de etkilemektedir. Fakat değişen parametre etkileri birbirinden farklı ve etkilemeyeceği gibi birbirlerine bağlı parametreler de olabilir. Yüzey pürüzlülüğünü, üretim aşamasında meydana gelen küçük düzensizlikler oluşturmaktadır (Arafat, 2009).

2.6.1. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler

Kesici takım ve malzeme kalitesi dışında yüzey pürüzlülüğüne etki eden bazı faktörler bulunmaktadır. İş parçası üzerinde meydana gelen bu düzensizliklerin, yüksekliği, şekli, düzenliliği ve yönü gibi faktörlerde yüzey pürüzlülüğüne olumsuz etki etmektedir.

Yüzey pürüzlülüğü etkileyen talaş kaldırma parametresi olarak; kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, kesici takım parametresi olarak; kesici uç yarıçapı, kanal açısı, takım ucu açısı, kesici kenar uzunluğu, takım çapı gibi parametreler etki etmektedir. Bunların dışında iş parçası ve kesici takım uygunluğu, kesme sıvısı, takım bağlama yöntemi, iş parçası bağlama yöntemi de yüzey pürüzlülüğü üzerinde büyük etkileri vardır.

2.7. Literatür Özeti

Wang ve Zang (2003), tek yönlü karbon elyaf tabakalı kompozit malzemelerin frezelenmesi üzerinde deneysel olarak çalışmışlardır. Deneylerde kullanılmak üzere F593 prepregler tek yönlü 4 mm kalınlığında karbon/epoksi paneller oluşturmak için 0,6 MPa basınç altında 177°C sıcaklıkta 2 saat boyunca kürlenmiştir. 300x500x4 mm ebatlarında oluşturulan bu paneller 15x45 mm boyutlarında kesmişlerdir. Yapılan deneylerde kesme hızı 1 m/dak. ile sabit tutulmuştur. Deneylerde 7° kanal açısı ve -20° ila 40° talaş açısına sahip tungsten karbür kesici takım ile deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda kesici takımın talaş açısının yalnızca yüzey pürüzlülüğünü etkilediğini tespit etmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü, yüzey altı hasarı ve kesme kuvvetinin elyaf yönlendirmesiyle önemli ölçüde değiştiğinin belirtmişlerdir. Bununla birlikte malzemelerin mekanik özelliklerinde değişiklik olmamasına rağmen, kompozit malzemenin sertleşmesi durumunda işlenebilirlik üzerinde bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Tsao ve Hocheng (2004), burgulu matkap, mum çubuklu matkap ve testere matkabı kullanırken delaminasyonun bir tahminini ve değerlendirmesini sunmuşlardır. Deneylerde, kesme değişkenleri olarak farklı çaplarda, ilerleme hızlarında ve fener mili hızlarında üç farklı matkap ucu kullanılmıştır. Yazarlar, ilerleme hızının ve matkap çapının genel performansı etkileyen en etkili faktörler olduğunu göstermiştir.

El-Sonbaty ve arkadaşları (2004), fiber takviyeli kompozit malzemelerin delinmesinde fiber-hacim oranı, ilerleme hızı, kesme hızı ve matkap boyutunun itme kuvveti, tork ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yazarlar, kesme hızının, epoksi reçinenin itme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemsiz bir etkiye sahip olduğu ve besleme ile matkap çapının yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde etkilediği sonucuna varmıştır.

Hocheng ve Tsao (2006), delaminasyon faktörü F_d ile ortalama eksenel kuvvet F_z arasında doğrusal veya parçalı-doğrusal bir ilişki olduğu sonucuna varmıştır. Bu ilişkiye dayanarak, ortalama eksenel kuvvet F_z 'deki bir artışla, delaminasyon faktörü F_d orantılı olarak artar. İş parçasının altında bir destek plakası kullanarak aşağıya doğru delaminasyonu azaltmak için bir yöntem önermişlerdir.

Herbert ve arkadaşları (2014), kaplamasız ve TiN kaplı katı karbür matkaplar kullanılarak iki yönlü karbon-kumaşla güçlendirilmiş bir polimer kompozit delinirken kesme parametrelerinin delaminasyon üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Yazarlar, matkap çapının delaminasyon üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ima etmişlerdir. Deneysel çalışma ayrıca delaminasyonun matkap çapının ve ilerleme hızının artmasıyla arttığını ve fener mili hızının artmasıyla azaldığını göstermiştir.

Wang ve arkadaşları (2014), KFTP malzemelerde delaminasyon analizi yapmışlardır. Delme işleminde farklı fener mili hızı, ilerleme hızı, matkap çapı kullanmışlardır. Deneyler sonucunda delaminasyon faktörü F_d ile itme kuvveti F_z arasında doğru ilişki olduğunu ve delaminasyon faktörünün, fener mili hızının, ilerleme hızı ve matkap çapının artmasıyla arttığının sonucuna varmışlardır.

Giasin ve arkadaşları (2015), fener mili hızlarının ve ilerleme hızlarının itme kuvveti, tork, yüzey pürüzlülüğü ve delik kalitesi üzerindeki etkisini değerlendirmek için delme işlemine yönelik deneysel bir araştırma üzerine çalışmışlardır. İlerleme hızı arttıkça kesme kuvvetinin azaldığı, fener mili hızı arttıkça kesme kuvvetinin arttığını gözlemlemişlerdir. Fener mili hızının yüzey pürüzlülüğü ve delik kalitesi açısından en önemli etken olduğunu görmüşlerdir. Giasin ve ark. en iyi yüzey pürüzlülüğüne düşük fener mili hızı ve ilerleme hızında ulaşmışlardır. Fener mili hızının ve ilerleme hızının artmasıyla birlikte delaminasyon değeri artarken, iyi bir gövde kalitesine ulaşmışlardır. Araştırma sonucunda fener mili hızı ve ilerleme hızının kesme kuvveti üzerinde önemli ölçüde etki ettiğini görmüşlerdir. Ama sabit ilerleme hızında delme yaparken kesme kuvvetlerini önemli ölçüde azalttığı sonucuna varmışlardır.

Takmaz ve arkadaşları (2016), “Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemenin Kenar Frezelemesinde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin İstatistiksel Olarak İncelemesi” üzerinde çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada cam elyaf takviyeli plastik kompozit malzemeyi 2 ve 4 ağız sayılı kesici takım, 20 ve 60 m/dak. kesme hızı, 0,08 ve 0,12 mm/dev. farklı ilerleme hızı ve 3 ve 6 mm kesme derinliği parametrelerinde kenar frezelemesi yapılarak, işlem gören yüzeylerin yüzey pürüzlülüğü ölçmüşlerdir. Alınan verileri Anova Yöntemi ile analiz etmişlerdir. Deneyler sonucunda yüzey pürüzlülüğünü

etkileyen değerin %44,79 oranla kesici takım ağzı, %11,25 oranla kesme hızı, %5,00 oranla kesme derinliği olduğunu gözlemlemişlerdir. En düşük yüzey pürüzlülüğünü 4 ağız sayılı takım ile 60 m/dak. kesme hızında, 0,08 mm/dev ilerleme, 6mm kesme derinliğinde 2,14 μ m olarak elde etmişlerdir.

Kılıçkap ve arkadaşları (2017), “Karbon Elyaf Takviyeli Plastik Kompozitlerin Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğü ve Takım Aşınmasına Etki Eden Parametrelerin Araştırılması” konusunda çalışma yapmışlardır. Çalışmada dönme devri olarak 600, 1.000 ve 1.400 dev/dak., ilerleme hızı olarak 0,052, 0,104, 0,162 mm/dev. kullanmışlardır. Kesici takım malzemesi olarak TiAlN PVD kaplı takım ile kuru tornalama yapmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda dönme hızındaki artış yüzey pürüzlülüğünü azaltırken, ilerleme hızındaki artış yüzey pürüzlülüğünü arttırdığını gözlemlemişlerdir. Kesici takımdaki aşınmayı incelemişler ve belli bir aşınma değerine kadar hızlı, belli bir değere ulaştıktan sonra yavaşladığını gözlemlemişlerdir.

Kuş ve Ekici (2017) yaptığı çalışmada bal peteği geometrisi kullanılmış farklı malzemelerden üretilmiş malzemelerin delme işlemi sonucunda delik giriş ve çıkışında oluşan delaminasyon faktörünü araştırmışlardır. Deneyde Taguchi L_{18} metodu kullanılarak tasarım yapılmıştır. Deneyler sonucunda delaminasyon için optimum parametreleri belirlemişlerdir. Numunelerde elektron mikroskop analizi görüntüleri alınmış ve analiz yapılmıştır. Analizler sonucunda delik çıkışında delaminasyon, kesilmemiş elyaf ve parçalanma hasarı olduğunu görmüşlerdir. Giriş bölgesinde kesme hızının delaminasyona etkisini %46, delik çıkışında ilerleme hızının delaminasyona etkisini %32,8 olarak belirtmişlerdir.

Koenig ve Grab (2017), delaminasyonun ana nedeninin, bir eşik değerine ulaştığında önemli bir rol oynayan itme kuvveti olduğunu göstermiştir.

Motorcu ve Bilge (2017), “Kompakt Laminat Panellerin Delinmesinde Delik Girişi ve Çıkışı Delaminasyon Faktörü İçin Delme Parametrelerinin Optimizasyonu” üzerinde çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında HSS helisel matkap ile kompozit laminatların delinmesinde delik giriş ve çıkış delaminasyonları etkileyen faktörleri incelemişlerdir. Deneylerde 12 mm çapında, 118° uç açısına sahip kesici takım ile 178 m/dak., 250 m/dak., 350 m/dak. kesme hızı, 0,07, 0,111, 0,156 mm/dev. ile doğrusal ve kademeli delik delme yöntemi ile deneyler yapılmıştır. Sonuç analizlerini Gri İlişkisel Analizi ile gerçekleştirmişlerdir. Deneyler sonucunda minimum giriş ve çıkış delaminasyonu için 178 m/dak. kesme hızı, 0,156 mm/dev. ilerleme hızı ve kademeli delik delme yöntemi olduğunu

belirtmişlerdir. Delaminasyon üzerindeki en büyük etkiyi delme yöntemi ve kesme hızı olduğunu belirtmişlerdir.

Aydın ve Nalbant (2019), KFTP Al-7075 alaşımının destek malzemesi olarak kullanarak 120°, 130° ve 140° uç açlarına sahip kaplamasız karbür matkaplar ile 50 m/dak. kesme hızı, 0,05 mm/dev. ilerleme hızı, doğrudan delme yöntemi ile kuru ortamda delinebilirliği üzerine araştırma yapmışlardır. Anova analiz yöntemi ile karşılaştırılan sonuçlara göre en iyi delaminasyon, yüzey pürüzlülüğü değerlerini 130° uç açılı matkapta elde etmişlerdir. Arkasından 120° ve 140° uç açlarına sahip matkaplar gelmiştir.

Özkaya ve arkadaşları (2019), cam küre takviyeli polipropilen kompozit malzemelerin delaminasyon faktörünü deneysel olarak incelemişlerdir. Deneylerde 15, 20, 25 m/dak. kesme hızı 0,05, 0,1, 0,15 mm/dev ilerleme hızı, 4 mm çapında matkap ve HSS, TiN kaplı HSS, kaplamasız karbür matkap kullanmışlardır. Delaminasyon ölçümleri SEM ile alınan görüntüler ile yapmışlardır. Deneyler sonucunda en düşük delaminasyon değerini 0,05 mm/dev. ilerleme hızında, 15 m/dak. kesme hızında karbür matkapta elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Krishnamoorthy ve arkadaşları (2019), ilerleme hızıyla delaminasyonun asıl sebeplerinden biri olan itme kuvveti arasındaki bağlantıyı 2 farklı dereceli matkap ucuyla ANOVA yöntemi kullanarak incelememişlerdir. İlerleme hızının ve bunların etkileşimlerinin, delme işlemindeki itme kuvvetini önemli ölçüde etkilediği sonucuna varmışlardır.

Hussein ve arkadaşları (2019), “Karbon Fiber Takviyeli Polimerin Titreşim Destekli Delme İçin Talaş Morfolojisi ve Delaminasyon Karakterizasyonu” konusu üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada düşük ve yüksek frekans sırasında titreşim destekli delme yapılırken delaminasyonu azaltmak ve geometrik doğruluğu sağlamak amaçlanmıştır. Deneylerde düşük, yüksek, ultrasonik destekli delme metodu uygulanmıştır. Hussein ve arkadaşları en iyi delaminasyon, kesme sıcaklığı ve geometrik doğruluk verilerini düşük frekanslı titreşim destekli delme işleminde olduğunu belirtmişlerdir.

Basmacı ve Yörük (2020), KFTP malzemedede 20 m/dak. ve 50 m/dak. kesme hızın, 0,075, 0,15 0,225, 0,03 mm/dev. ilerleme hızı, 4 ve 6 mm çapta matkaplarla kuru ve kriyojenik ortamda yaptıkları deneylerde kesme değerlerine, delaminasyon, delik çapı ve yüzey kalitesi üzerinde çalışmışlardır. Deneyler sonucunda 4 mm çapta, kuru ortamda daha iyi delaminasyon değerleri elde etmişlerdir.

Çobanoğlu ve Şeker (2020), yeni tasarlanmış çift kademeli matkap geometrisinin, KFTP malzemeleri için delme işlemi süresi ve delik kalitesi üzerindeki etkileri üzerine

çalışmışlardır. Çobanoğlu ve Şeker bu çalışmalarında delaminasyon ve silindiriklik toleransı değerlerini ön planda tutarak yeni bir matkap geometrisi tasarımı üzerinde çalışmışlar ve bu matkabı karbon fiber takviyeli kompozit malzeme üzerinde deneyimlemişlerdir. En iyi delaminasyon sonucunu, burun açısını, silindirikliği ve kademeyi hangi matkap türüyle elde edebileceklerini belirtmişlerdir.

Murthy ve arkadaşları (2020), bazalt/karbon fiber takviyeli epoksi hibrit kompozitlerin delinmesi sırasında meydana gelen delaminasyon hasarını incelemişlerdir. Araştırmalarında delaminasyonla matkap çapının ve ilerle hızının doğru orantılı fener mili hızıyla ters orantılı olduğunu gözlemlemişlerdir. Bunun yanında matkap boyundaki artışta kompozit malzemeyle temas yüzeyini artmasından dolayı delaminasyona yüksek oranda etki ettiğini belirtmişlerdir. Delaminasyonun üzerinde en büyük faktörlerden birini matkap çapı olduğunu gözlemlemişlerdir. Taguchi, ANOVA ve Pareto analizi uygulaması kullanılarak delme işlemi parametrelerinin yani kesme hızı, besleme hızı ve delme çapı optimum değerleri hakkında sonuca ulaşmışlardır.

Janakiraman ve arkadaşları (2020), delme sırasında çevrenin etkisini araştırmışlardır. Kuru delme metodunda ilerleme hızı yüzey pürüzlülüğü üzerinde en önemli etken olduğunu gözlemlemişlerdir. Kriyojenik delme sırasında fener mili hızının yüzey pürüzlülüğündeki etkisinin kuru delme ortamına kıyasla daha değişken olduğunu gözlemlemişlerdir. Bunun sebebini ise kriyojenik ortamda plaka katmanlarının sünek ve kırılğan olmasından dolayı olduğu sonucuna varmışlardır. Janakiraman ve arkadaşları sabit kesme hızında 2 farklı ilerleme hızı kullanarak itme kuvvetini, delaminasyon faktörünü ve ortalama yüzey pürüzlülüğünü ölçmüşler ve ilerleme hızının itme kuvveti, delaminasyon faktörünü ve yüzey pürüzlülüğünün arttığı gözlemlemişlerdir. MQL ve kriyojenik ortamda yapılan deneylerde en iyi yüzey pürüzlülüğünü ve en az delaminasyon değerini düşük ilerleme hızı, düşük kesme hızı ve kriyojenik ortamda elde etmişlerdir. Araştırma sonucunda ilerleme hızını önemli biçimde etkili olurken kesme hızı etkisinin belli bir fark yaratmadığı sonucuna ulaşmışlardır.

Motorcu ve Ekici (2020), KFTP/Ti6Al4V yığınların kademeli matkapla delinmesinde karbon fiber matrisli kompozit malzemede minimum delaminasyon faktörü için kontrol faktörlerinin optimizasyonu incelemişlerdir. Bu çalışmada, Taguchi L18 ortogonal dizi deney tasarımından yararlanarak kullanılan KFTP/Ti6Al4V yığın üstünde farklı kesme hızları, ilerleme miktarları ve delme stratejilerinde delme deneyleri yapılmıştır. Delaminasyon faktörünü incelemek için çoklu performans optimizasyonu gri ilişkisel analizi yöntemini kullanmışlardır. Deneyler sonucunda delik giriş ve çıkışında oluşan delaminasyon

üzerinde en etkili parametreleri delme yöntemi ve ilerleme miktarı olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

An ve arkadaşları (2020), KFTP/Ti yığınlarının delme işlemi üzerinde araştırma yapmışlardır. An ve arkadaşları delme kuvvetleri, sıcaklıklar, talaş yapıları, delinmiş delik kalitesi içeren temel işleme tepkileri, kesme koşullarının delme üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Delme işlemi sırasında takım ucundaki yüksek sıcaklıktan dolayı takıma reçinenin yaptığını ve bu yapışan reçinenin delme işleminde karbon fiber kompozit malzemede mekanik ve termal hasar bıraktığını gözlemlemişlerdir. Titanyum destek plakası ile delme işleminde ilerleme hızının artmasıyla delik çapının takım çapından daha fazla büyüdüğünü gözlemlemişlerdir. Delme işleminde optimum delik doğruluğu ve kalitesi ve en az delaminasyon hasarı için karbon fiber kompozit malzemenin titanyum destek plakası ile delinmesi gerektiği sonucuna ulaşmışlardır.

John ve Kumaran (2020), delme işleminde yedek destek plakasının etkisi üzerine araştırma yapmışlardır. Yaptıkları deneylerde yığın metoduyla yaptıkları delme işlemlerinde iş parçası modülünün fazla olduğu destek plakasında diğer destek plakasına göre daha iyi işleme kabiliyeti olduğunu fark etmişlerdir. Sandviç delme metodunda desteksiz delmeye göre daha az çapak kaldığını gözlemlemişlerdir. John ve Kumaran'ın yaptığı araştırmalar sonucunda kritik itme kuvvetinden daha yüksek itme kuvveti ve ilerleme hızında bile daha az delaminasyon hasarı ve çapaksız işlenmiş delik elde etmişler ve malzeme için tatmin edici bulmuşlardır.

Kumar ve arkadaşları (2020), grafen oksit ve karbon fiberle güçlendirilmiş nano kompozitlerin delme işleminde delaminasyon ve itme kuvvetini azaltmak için bir yöntem üzerinde çalışmışlardır. Bu yöntemde doğrultusunda ilerleme hızını arttırdıklarında matkap ucundaki itme kuvvetinden dolayı matkap kompozit malzeme üstünde zımba etkisi yarattığı için delik giriş ve çıkışındaki delaminasyon değerini arttırdığı, ilerleme hızı arttırıldığında ise kesici takımın üzerindeki yük artar ve itme kuvvetini arttırır. İlerleme hızı arttırıldığında bir diğer etki ise besleme açısını arttırır ve bu besleme arttıkça matkabın çalışma alanını azaltır. Bunun sonucunda matkap ucundaki itme değeri artar. Kesme hızı arttırıldığında ise takım kenarlarındaki hızdan dolayı katman kesilmesi ve bu kesilmeler sonucunda çatlak ilerlemesi hızlanacağı sonucuna varmışlardır. Delaminasyon değeri için hem ilerleme kuvvetinden hem de itme kuvvetinden belirgin bir şekilde etkisi olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

An ve arkadaşları (2020), “KFTP/Ti Yığınlarının Kesme Tepkilerinin İncelenmesi: Delme Sıralarının Etkilerine Özel Vurgu Yapılarak” konusu üzerinde çalışmışlardır.

Araştırmada T800 ve X850 türü laminat kullanmışlardır. KFTP farklı kalınlıklarda ve farklı dereceli elyaflar kullanmışlardır. Deneylerde 6.35 mm çapında, 30° helis açısı, 140° uç açısı sahip kesici takım kullanılmıştır. Yapılan deneyler KFTP katmanını delerken ortaya çıkan kesme kuvvetleri, sıcaklık Ti destek plakasını delerken ortaya çıkan değerlerden daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca KFTP giriş çapı ile Ti plakanın giriş çapı arasında ilerleme hızı arttıkça artmıştır. KFTP/Ti kullanılmasının delaminasyonu azalttığını belirtmişlerdir.

Gaga ve Dilibal (2020), “Havacılık Endüstrisinde Kullanılan Karbon Prepreg Kompozit Malzemelerin Talaşlı İmalat Proses Özelliklerini Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi” üzerinde çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada CNC tezgâhta 3 ağız sayılı kaplamasız karbür takım, 4 ağır sayılı Ti-Al kaplamalı karbür takım ve 7 ağız sayılı Ti-Al kaplamalı karbür takım kullanmışlardır. 1.000, 2.000 ve 3.000 dev/dak. fener mili hızı, 100, 150 ve 200 mm/dak. ilerleme hızı parametreleri ile kesme deneylerini yapmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda ağız sayısı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığını, deformasyonun arttığını, kesme kuvveti değerlerinin azaldığını ve devir sayısı arttıkça yüzey pürüzlülüğü, deformasyon ve kesme kuvvetinin azaldığını gözlemlemişlerdir. İlerleme hızı arttığında deformasyonun ve kesme kuvveti değerleri arttığını, yüzey pürüzlülüğünün azaldığını gözlemlemişlerdir.

Koyunbakan ve arkadaşları (2021) yaptığı deneysel çalışmada cam elyaf takviyeli polimer kompozit malzemenin farklı kesme hızı, ilerleme hızı ve farklı çapların delaminasyon faktörünü incelemişlerdir. Deneylerde Taguchi L₉ ortogonal metodunu kullanılarak delme parametreleri kullanılmıştır. Hem delik girişi hem delik çıkışı için delaminasyon oranını optik mikroskoptan alınan görüntülere göre hesaplamışlardır. Deneyler sonucunda delik girişinde oluşan delaminasyonda matkap çapının, delik çıkışında oluşan delaminasyonda ise itme kuvvetinin etkisi olduğunu belirtmişlerdir.

Kırhasanoğlu ve Turgut (2021) yaptıkları deneysel çalışmada karbon elyaf takviyeli kompozit malzemenin istifli delinmesinde çıkış hasarı üzerinde çalışmışlardır. Deneylerde 90° ve 118° uç açılı matkap, 15° ve 22,5° helis açılı matkap, 45, 67, 100 m/dak. kesme hızı, 0,05, 0,1, 0,2 mm/dev. ilerleme hızı parametrelerini kullanmışlardır. Yaptıkları deneyler sonucunda kesme hızının artmasıyla delaminasyon oranının azaldığını, kesme hızının artmasıyla matkaba metal sıvamasını azaldığı bunun da delaminasyon azalttığını belirtmişlerdir. Çalışmalarda en düşük delaminasyon oranını 118° uç açılı, 22,5° helis açılı matkap ile 100 m/dak. kesme hızı, 0,05 mm/dev. ilerleme hızı parametresinde yapılan delik delme işleminde elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Saraçyakupoğlu (2021), aşındırıcılı su jeti ile kesimde basınç değişiminin karbon fiber takviyeli polimer malzemelerinde delaminasyon oluşumunun araştırılması üzerinde çalışmıştır. Aşındırıcılı su jeti ile kesim işleminde malzeme türü, basınç, ilerleme hızı, su jeti çapı malzemenin yüzey kalitesini belirlediğini belirtmiştir. Aşındırıcılı su jeti ile kesimde kesim esnasında termal yükün ve mekanik yüklerin geleneksel yöntemlere göre daha az olmasından dolayı kesim yüzeylerinde bu yükler oluşmamakta ve bu yüklere bağlı hasarlar oluşmadığını belirtmiştir. Numuneleri 2 farklı grupta otoklav cihazında sertleştirildikten sonra kesme işlemini gerçekleştirmiştir. Daha sonra numuneleri taramalı elektron mikroskobu ile incelemiştir. Çalışmanın sonucunda karbon fiber malzemenin su jeti ile kesme işleminde delaminasyona etki eden kuvvetin basınç olduğu belirtmiştir.

Popan ve arkadaşları (2021), aşındırıcı su jeti delme sırasında karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerin delaminasyonunu önleme üzerinde çalışmışlardır. Delme sırasında farklı su basıncı, uzaklık mesafesi, aşındırıcı giriş açısı ve aşındırıcı gecikme süresi parametreleri kullandıklarını belirtmişlerdir. Aşındırıcı su jeti ile kompozit malzemelerin delme işlemi sırasında malzemeye çarpan yüksek hızlı su jeti tarafından kompozit malzemeye çarpması sonucu delaminasyon oluştuğunu belirtmişlerdir. Deneyler sonunda delik yüzeyleri mikroskop altında incelendiğinde, delaminasyon, partikül gömülmesi, kesilmemiş lifler ve boyutsal hatalar olduğunu belirtmişlerdir. Delaminasyon üzerinde aşındırıcı giriş açısı 40° , 136 MPa'dan daha düşük basınçta, 3.5 mm'den daha az mesafede daha iyi delaminasyon sonuçlarını elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Demirhan (2021), "Cam Elyaf Takviyeli PA66 Kompozit Malzemenin İşlenebilirliğinin Araştırılması" üzerine çalışma ortaya koymuştur. Bu çalışmada, poliamidlerin yüksek sertlik, aşınma değeri, sürtünme direnci ve kimyasal direncini nedeniyle poliamid 66'nın delinebilirliği araştırılmasını yapmıştır. Deneylerde 3 farklı kesme hızı, 3 farklı ilerleme, 2 farklı matkap miktarı kullanmıştır. Deneyler sonucunda en düşük itme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerini 120 m/dak. kesme hızı, 0,06 mm/dev. ilerleme hızı ve kaplamalı matkap kullandıkları deney sonucunda ulaşmıştır. Deneylerde kaplamalı matkapların kaplamasız matkaplara göre daha iyi sonuç verdiğini belirtmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında karbon fiber takviyeli kompozit malzemesinin delme sırasında destek plakasına etkisi hakkında inceleme yapılması amaçlanmıştır. Bu çalışmada desteksiz, alüminyum destek, kestamit destek ve ahşap destek metotları ile 3.000, 6.000 dev/dak. fener mili hızı ve 300, 600, 900, 1.200, 1.500 mm/dak. ilerleme hızları kullanılarak deneyler yapılmıştır. Bütün parametreler ile 3 adet delik delme işlemi yapılmıştır. Delme işlemi deneyleri Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde yapılmıştır. Malzeme delme işlemi kuru bir ortamda CNC tezgahında yapılmıştır. Delme işlemi sırasında kesme kuvvetleri dinamometre yardımıyla ölçülmüştür. Delaminasyon değerleri için delinen kompozit malzemeden çap ölçümleri yapıp değerler kayıt altına alınmıştır. Ölçülen çap değerleri ile delaminasyon değeri hesaplanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü değerleri ise test cihazı ile ölçülmüştür. Kompozit malzemede açılan deliklerin taramalı elektron mikroskobu ile deliklerin görüntüleri kaydedilip incelenmiştir. Delme sonucunda kullanılan destek plakalarında delaminasyon, yüzey pürüzlülüğü ve delik hasarları incelenmiştir.

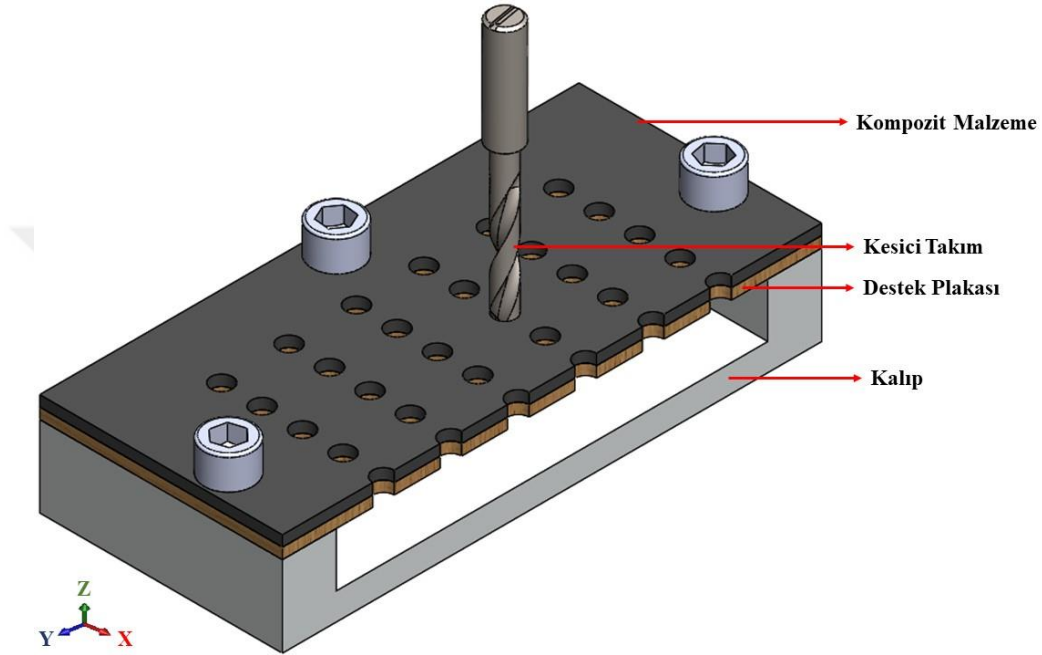
3.1. Taguchi Deney Tasarım Metodu

Kaliteyi iyileştirmek değişkenliğin azaltılmasından geçmektedir. Kalite için harcanacak emekler, sıfır sapma ve sıfır bozulma için yapılmalıdır. Taguchi, bir ürünün reddedilmesinin en önemli sebebinin ürün spesifikasyonlarındaki değişkenlik olduğunu gözlemlemiş ve ürünün tasarım aşamasında belirlenmiş hedef değerinde üretilmesi gerektiğini söylemiştir. Taguchi, değişkenliğin kaynağı olan faktörleri; kontrol edilebilir ve kontrol edilemez değişkenler olarak ikiye ayırmıştır. Kontrol edilebilir değişkenler, ürün üzerindeki etkisinin kolaylıkla ayarlanabildiği değişkenlerdir. Bu tür değişkenlere malzeme, üretim yöntemi, makine vb. örnek verilebilir. Kontrol edilemeyen değişkenler ise, ürün üzerindeki etkilerinin ayarlanması ya çok güç ve pahalı ya da mümkün olmayan değişkenlerdir. Bu değişkenlere örnek olarak çevre ısısı, nem, makine yıpranması vb. verilebilir. Taguchi'nin amacı, üründe değişkenlik meydana getiren bu faktörlerden kontrol edilebilir olanların değerlerini en iyi seçerek, kontrol edilemeyen değişkenlerin etkisinin minimum olduğu üretim sürecini sağlamaktır (Taguchi ve Wu, 1979).

Bu deneylerin kontrol edilebilen değişkenlerini yani fener mili hızı, ilerleme hızı Taguchi Deney Tasarım Metodu ile belirlenmiştir.

3.2. Deney Düzeneği

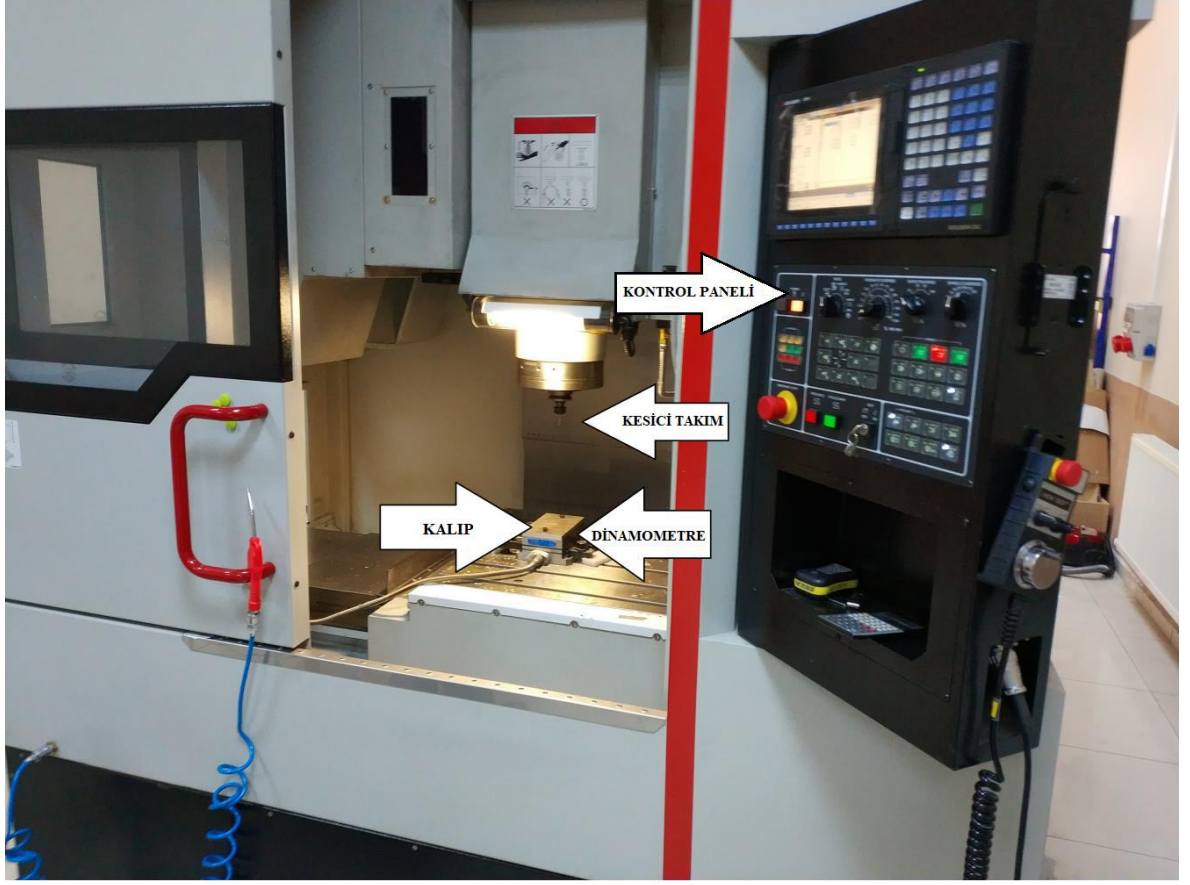
Deneylerde kesme kuvvetini ölçmek için dinamometre işleme merkezi tablasına paralel ve rijit bir şekilde monte edilmiştir. Daha sonra dinamometre üzerine delme işlemi yapabilmek için imal edilen bağlama kalıbı bağlanmıştır. Kalıbın üzerine destek plakası üzerine ise kompozit malzeme bağlanmıştır. Deneyde her parametre ile 3 adet delme işlemi yapılmıştır. Deney düzeneği Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Deney düzeneği

3.3. CNC Tezgâhı

Bu deneylerin yapılmasında kullanılan 3 eksenli, fener mili hızı 10.000 dev/dak. olan 17.5 kW gücünde olan Quaser MV154C dik işlem tezgahında yapılmıştır. Deney anında itme kuvvetini 9257 B tipi kistler kuvvet ölçüm dinamometresi ile ölçülmüş ve Kistler 5070S amplifikatör, Kistler 5697 A tipi veri toplama sistemi (DAQ kartı) ve DynoWare yazılımı ile kuvvet değerleri alınmıştır. Şekil 3.2’de CNC tezgâhı, dinamometre ve amplifikatör gösterilmiştir.



a



b



c

Şekil 3.2. a) CNC tezgâh b) Dinamometre c) Amplifikatör (Kistler, 2021)

3.3.1. Kuvvet Ölçme Sistemi

Deney aşamasında takımın kesme kuvvetinin ölçülmesi önemli bir veridir. Deney anında bu kuvvetleri Kistler 9257 B tipi kuvvet ölçüm dinamometresi yardımı ile kompozit malzemenin delik çıkışında oluşan kesme kuvveti F_z ölçülmüş, bu veriler Kistler 5697 A tipi DAQ kartı kullanılarak bilgisayar ortamında aktarılmıştır. Bunun yanında Kistler 5070 A tipi amplifikatör ve Dynoware yazılımı kullanılmıştır. Ölçme sistemi Şekil 3.3'te verilmiştir.

					
Dinamometre (Kistler Tip 9257B)	Yüksek empedanslı bağlantı kablosu	Şarj amplifikatörü (Kistler Tip 5070S)	Bağlantı kablosu	DAQ cihazı	DynoWare

Şekil 3.3. Kuvvet ölçme sistemi (Kistler, 2021)

Tablo 3.1'de Kistler tip 9257 B dinamometresi özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.1. Dinamometre özellikleri (Kistler, 2021)

Model	Kistler Tip 9257 B
Ölçüm Aralığı	-5...5 kN
Duyarlılık	$F_x, F_y \sim 7.5$; $F_z \sim 3.7$ pC/N
Deney Sıcaklık Aralığı	0...70 °C
Uzunluk	≈ 170 mm
Genişlik	≈ 100 mm
Yükseklik	≈ 60 mm

3.4. Kesme ve İlerleme Parametreleri

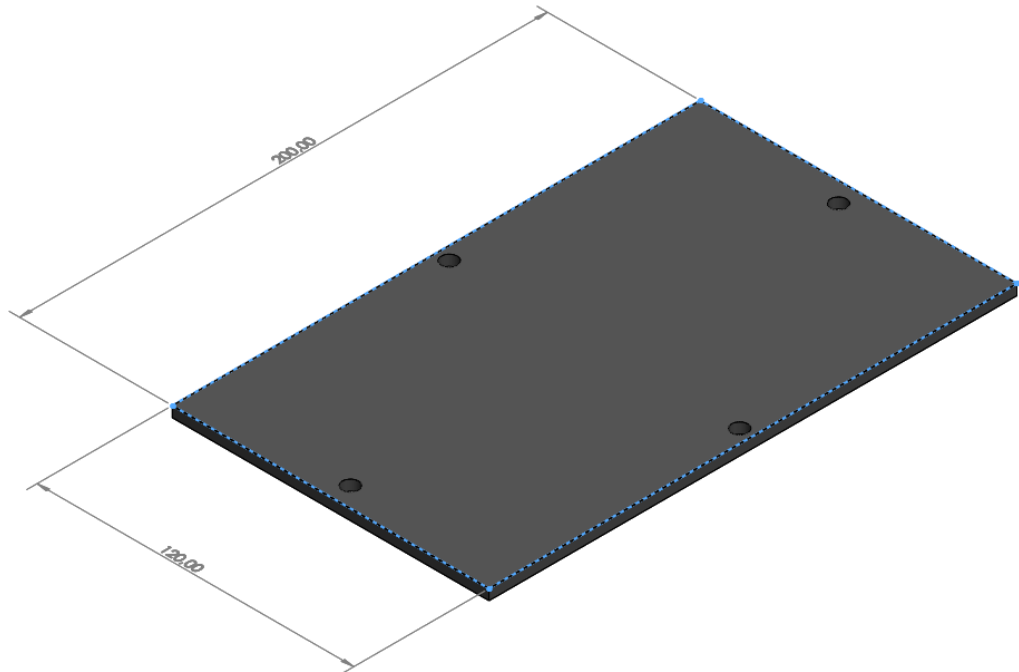
Yapılan deneylerde 2 farklı fener mili hızı, 5 farklı ilerleme hızı 4 farklı destek metodu ile kuru şartlar altında kesme işlemleri yapılmıştır. Kesme parametreleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Kesme parametreleri

Deney Sayısı	İşleme Tipi	Fener Mili Hızı (dev/dak.)	İlerleme Hızı (mm/dak.)
1	Kuru	3.000	300
2			600
3			900
4			1.200
5			1.500
6		6.000	300
7			600
8			900
9			1.200
10			1.500

3.4.1. Kompozit Malzemenin Deneye Hazırlanması

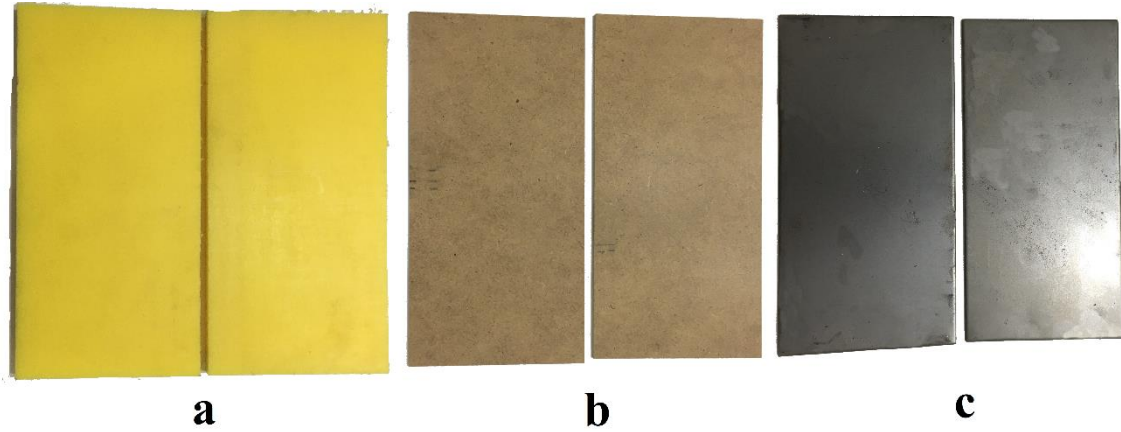
Deneyde kullanılan karbon fiber takviyeli kompozit malzeme 480 x 480 x 4 mm ölçülerinde Dost Kimya Endüstriyel Hammaddeler San. Tic. Ltd. Şti.'den alınmıştır. Lazerli CNC tezgahında ile 120 x 200 x 4 mm ölçülerinde kesilip deneyde kullanılacak kalıba bağlanabilmesi için uygun delikler açılmıştır. Kesilen parçalar Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. 120 x 200 x 4 mm kompozit malzeme

3.4.2. Destek Plakaları Seçimi ve Hazırlanması

Destek plakası olarak 4 mm kalınlığında 2 adet 3 farklı malzeme hazırlanmıştır. Destek plakası malzemesi olarak ahşap, kestamit ve alüminyum malzemeleri seçilmiştir. Deney kalıbına uyması için altlıklar 120 x 200 x 4 mm ölçülerinde CNC tezgahında işlenmiştir. Deney için hazırlanan altlıklar Şekil 3.5’te verilmiştir.



Şekil 3.5. Deney için hazırlanan altlıklar a) Kestamit b) Ahşap c) Alüminyum

3.4.3. Kompozit Malzemenin Mekanik Özellikleri

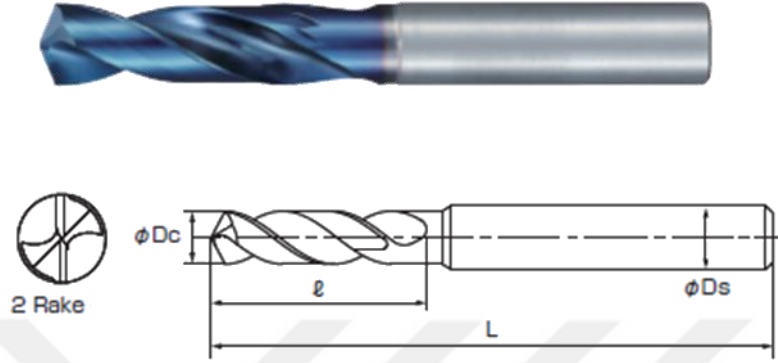
Tablo 3.3’te karbon fiber takviyeli kompozit malzemenin mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.3. Karbon fiber takviyeli kompozit malzemenin mekanik özellikleri

Yapı	0°- 90°
Ağırlıkça Fiber İçeriği	>%60
Hacme Göre Fiber İçeriği	>%50
Gerilme Direnci	>775 MPa
Basınç Dayanımı	>475 MPa
Bükülme Mukavemeti	>725 MPa
Eğilme Modülü	>60 GPa
Yoğunluk	>1,5 g/cm ³

3.4.4. Deneyde Kullanılan Kesici Takım

Deneylerde kesici takım olarak 4 mm çapında 12 adet kompozit malzeme işlemeye uygun olan karbür matkap seçilmiştir. Kesici uç Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.6. Kesici takım görüntüsü (Nachi America, 2021)

Kesici takımın teknik özellikleri Tablo 3.4’te verilmiştir.

Tablo 3.4. Kesici ucun teknik özellikleri (Nachi America, 2021)

Malzeme	Karbür
Takım Çapı (ØDc)	Ø4 mm
Çap Toleransı	h7
Uç Açısı	135°
Kademe Açısı	30°
Gövde Kalınlığı (ØDs)	6 mm
Takım Uzunluğu (ℓ)	22 mm
Tam Boy (L)	60 mm
Ağız	Çift Ağızlı

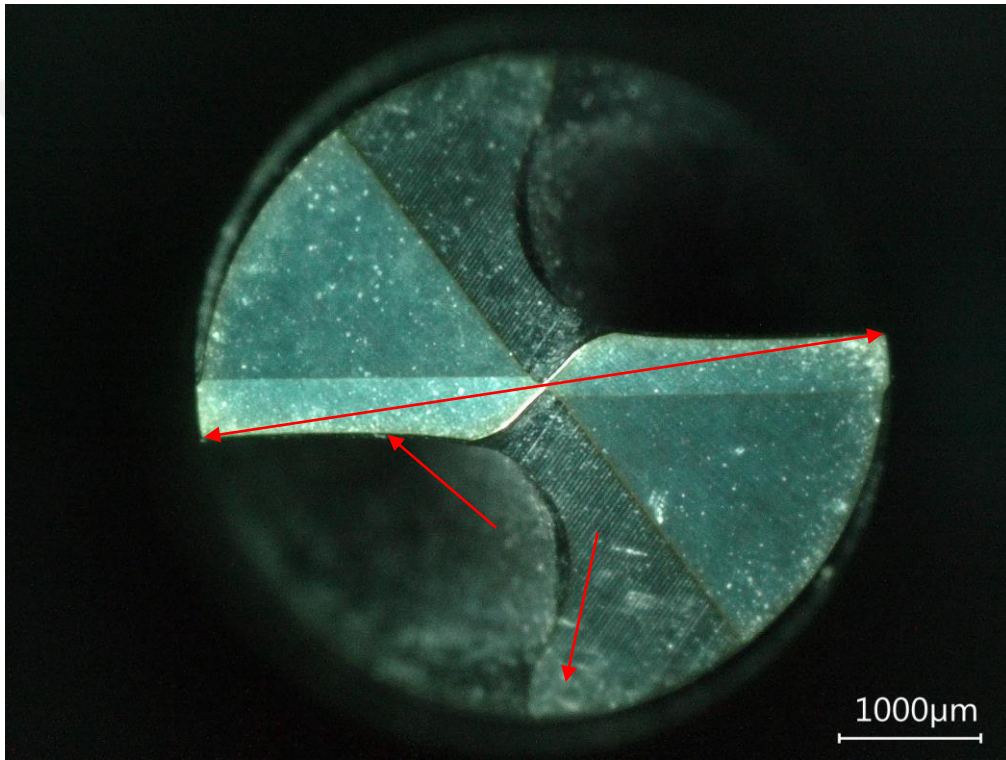
3.4.5. Kesici Takım Aşınması

Kesici uçlarda oluşan aşınmayı gözlemleyebilmek için Keyence VHX-900 dijital mikroskop kullanılmıştır. Dijital mikroskop özellikleri Tablo 3.5’te verilmiştir.

Tablo 3.5. Dijital mikroskop özellikleri (Keyence, 2021)

Görüntü Çözünürlüğü	18 MP
Büyütme Oranı	200
Çalışma Mesafesi	23 cm
Işık Rengi	Beyaz

Kullanılan kesici takımlarda meydana gelen aşınma dijital mikroskop ile incelenmiştir. Kesici takımın mikroskop görüntüsü Şekil 3.7’de görülmektedir.



Şekil 3.7. Dijital mikroskop ile kesici takım görüntüleme

3.4.6. Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğünün talaşlı imalattan işlenip kullanılacak ürünler için önemi büyüktür. Kompozit malzemelerde talaşlı işlem sonrasında malzemenin yüzey pürüzlülüğünün fazla olması ürünün performansına etki etmektedir. Yüzey pürüzlülüğü işleme koşullarına, malzeme sertliği, kullanılan yöntem, kesme hızına, ilerleme hızı, uç açısı gibi parametrelere göre değişiklik gösterir. Bu parametrelerden birinde yaşanan değişiklik pürüzlülük değerini değiştirmektedir. Yapılan literatür araştırmasında sonucunda genel

olarak ilerleme hızındaki artışla yüzey pürüzlülük değeri arasında doğru orantı olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca yüzey pürüzlük değerini etkileyen diğer 2 parametre ise kesme hızı, matkap kademe sayısıdır. Kesme hızının yüzey olması ve matkap kademe çapının artmasıyla yüzey kalitesi de artmaktadır.

Farklı parametreler ile delinen deliklerin bulunduğunu parça üzerinden bir 50 mm uzunlukta bir parça yüzey pürüzlülüğü deneyi için hazırlanmıştır. Hazırlanan parça Şekil 3.8’de görülmektedir.

DESTEKSİZ DELME METODU İLE DELİNEN KOMPOZİT MALZEME



ALÜMİNYUM DESTEK DELME METODU İLE DELİNEN KOMPOZİT MALZEME



KESTAMİT DESTEK DELME METODU İLE DELİNEN KOMPOZİT MALZEME

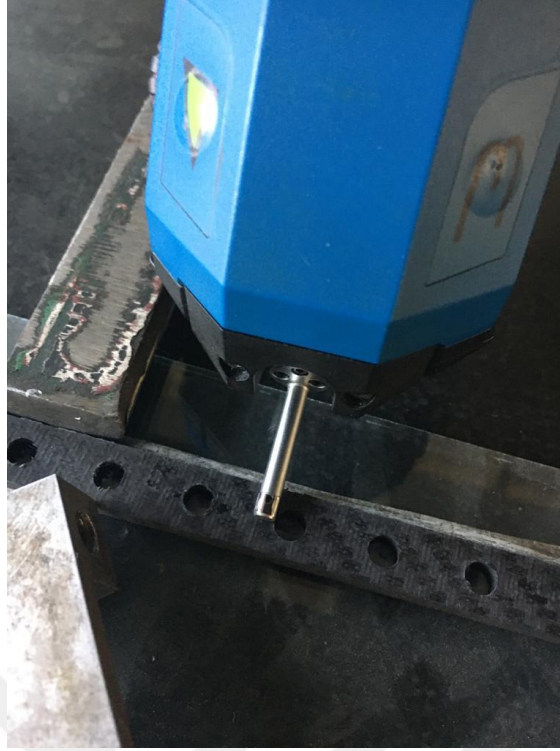


AHŞAP DESTEK DELME METODU İLE DELİNEN KOMPOZİT MALZEME



Şekil 3.8. Yüzey pürüzlülüğü için hazırlanan numuneler

Deneyde delinen deliklerden 1 tanesinin delik çıkışından ve 3 farklı noktadan yüzey pürüzlülüğü ölçümü yapılarak ölçülen değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Delik çıkışındaki yüzey pürüzlülüğün ölçümü sırasında alınmış bir görüntü Şekil 3.9’de gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü

3.5. Deneysel Çalışma

Bu çalışmada değişken olarak 300, 600, 900, 1.200 ve 1.500 mm/dak. ilerleme hızı, 3.000 ve 6.000 dev/dak. fener mili hızı, desteksiz, alüminyum, kestamit, ahşap destek plakası kullanılarak delme işlemi yapılmıştır. Bu deneylerde toplam 12 adet kesici takım kullanılmıştır. Çalışmada destek plakası olarak ahşap, kestamit, alüminyum ve desteksiz olmak üzere 4 adet destek yöntemi kullanılmıştır. Her destek yönteminde 2 farklı ilerleme hızı ve 5 farklı fener mili hızı kullanılarak delme işlemleri yapılmıştır. Delikler delinirken sadece kompozit malzeme delinmiştir. Deneyler bittikten sonra her deliğin görüntüsü kayıt altına alınmıştır. Görüntü alma işleminden sonra her deliğin SEM görüntüsü çekilmiştir. Bu işlemden sonra deliklerin çıkışlarındaki takım ucunun bıraktığı delaminasyon hasarını tespit etmek için yüzey pürüzlülüğü deneyi yapılmıştır. Bu deliklerin delaminasyon değerleri hesaplanıp ilerleme ve kesme hızına göre karşılaştırılmıştır. Delme işlemi sırasında çekilmiş bir görüntü Şekil 3.10’da verilmiştir.



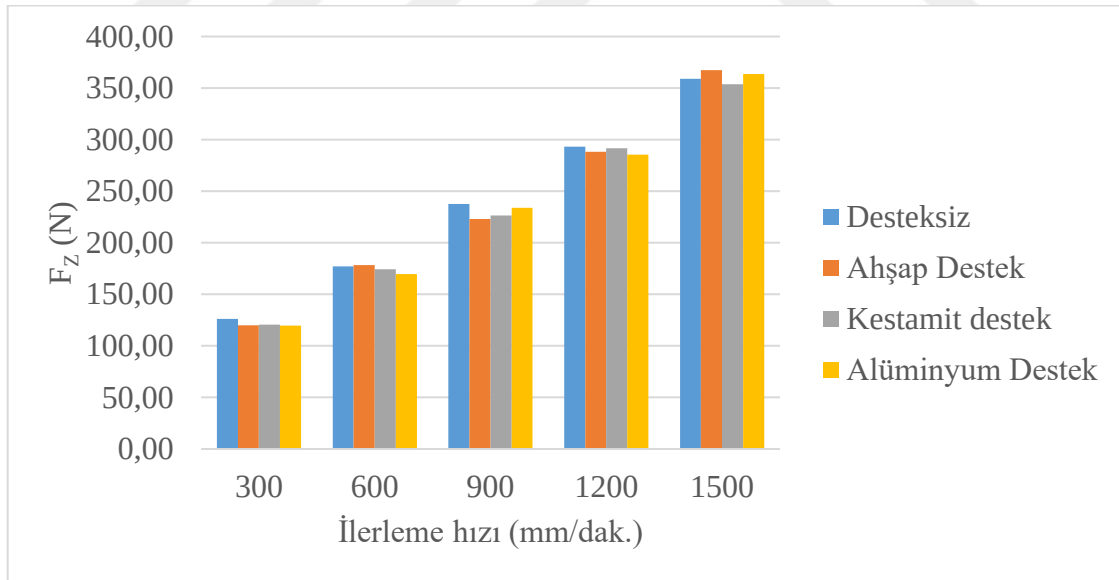
Şekil 3.10. Delme işlemi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Karbon fiber takviyeli kompozit malzemenin delinmesinde destek plakasının kullanılmasının delaminasyona etkisi farklı fener mili hızı, farklı ilerleme hızı ve farklı destek plakaları kullanılarak deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışmalar sonucunda elde edilen veriler aşağıda verilmiştir.

4.1. Kesme Kuvveti Ölçümleri

Kesme kuvvetlerinin ölçümü delaminasyon faktörünün değerlendirmesinde önemli bir parametredir. Kesme kuvvetini deneyler sırasında Kistler 9257 B tipi dinamometre ile ölçülmüştür. Ölçülen kesme kuvveti deney düzeneğinde belirtilen z eksenı yönündeki kesme kuvveti değeri olarak kullanılmıştır. Delik delme sırasında delik girişinde, ortasında ve sonunda farklı kesme kuvveti değeri ölçülmüştür. Destek plakasının kesme kuvvetine olan etkilerini incelediğimiz için delik çıkışındaki kesme kuvveti değeri ele alınmıştır. Her parametre ile 3 adet delme işlemi yapılmıştır. Kesme kuvveti olarak her delik için 3 değerin ortalaması kullanılmıştır. 3.000 dev/dak. fener mili hızında yapılan delme işleminde elde edilen kesme kuvveti değeri Şekil 4.1’de verilmiştir.



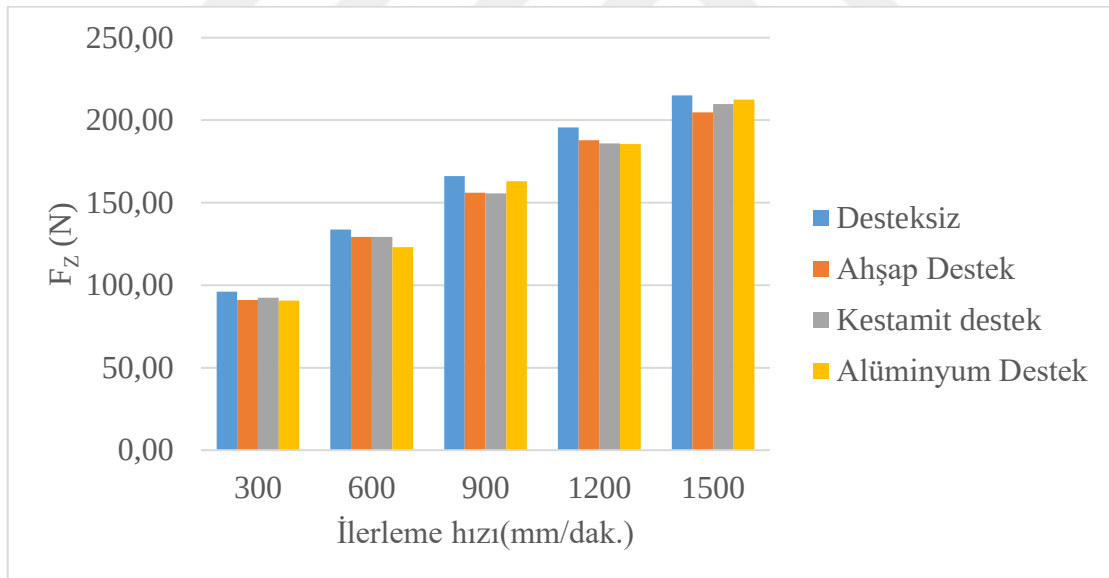
Şekil 4.1. 3.000 dev/dak. fener mili hızında delme işleminde elde edilen kesme kuvveti

3.000 dev/dak. fener mili hızında ilerleme hızı arttıkça kesme kuvvetinin de arttığı görülmektedir. 300 mm/dak. ilerleme hızında en düşük kesme kuvveti alüminyum destek

delme metodunda iken, en yüksek kesme kuvveti desteksiz delme metodunda görülmektedir. 600 mm/dak. ilerleme hızında en düşük kesme kuvveti alüminyum destek delme metodunda iken, en yüksek kesme kuvveti ahşap destek delme metodunda görülmektedir. 900 mm/dak. ilerleme hızında en düşük kesme kuvveti ahşap destek delme metodunda iken, en yüksek kesme kuvveti desteksiz delme metodunda görülmektedir. 1.200 mm/dak. ilerleme hızında en düşük kesme kuvveti alüminyum destekli delme metodunda iken, en yüksek kesme kuvveti desteksiz delme metodunda görülmektedir. 1.500 mm/dak. ilerleme hızında en düşük kesme kuvveti kestamit destekli delme metodunda iken, en yüksek kesme kuvveti ahşap destek delme metodunda olduğu görülmektedir.

3.000 dev/dak. fener mili hızına bakıldığında en düşük kesme hızı 300 mm/dak. ilerleme hızında alüminyum destek metodu ile delinen delikte olduğu görülmektedir. En yüksek kesme hızı ise 1.500 mm/dak ilerle hızında ahşap destek delme metodu ile delinen delikte olduğu görülmektedir.

6.000 dev/dak. fener mili hızında yapılan delme işleminde elde edilen kesme kuvveti değerleri Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. 6.000 dev/dak. fener mili hızında delme işleminde elde edilen kesme kuvveti

6.000 dev/dak. fener mili hızında ilerleme hızı arttıkça kesme hızının da arttığı görülmektedir. 300 ve 600 mm/dak. ilerleme hızında en düşük kesme kuvveti alüminyum destekli delme metodunda iken, en yüksek kesme kuvveti desteksiz delme metodunda görülmektedir. 900 mm/dak. ilerleme hızında en düşük kesme kuvveti kestamit destekli

delme metodunda iken, en yüksek kesme kuvveti desteksiz delme metodunda görülmektedir. 1.200 mm/dak. ilerleme hızında en düşük kesme kuvveti alüminyum destekli delme metodunda iken en yüksek kesme kuvveti desteksiz delme metodunda görülmektedir. 1.500 mm/dak. ilerleme hızında en düşük kesme kuvveti ahşap destek delme metodunda iken, en yüksek kesme kuvveti desteksiz delme metodunda görülmektedir.

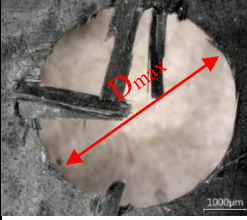
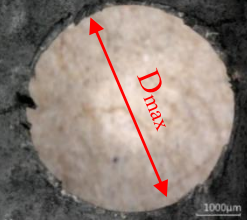
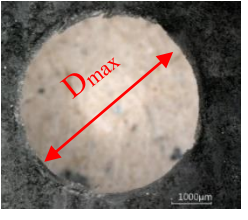
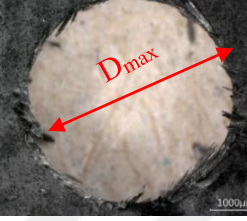
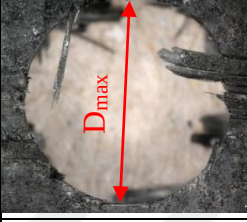
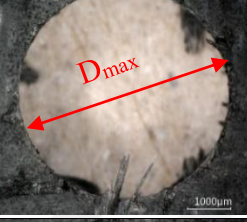
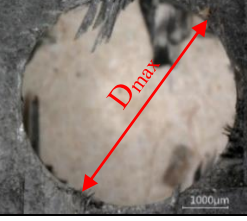
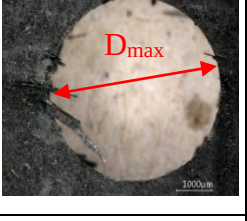
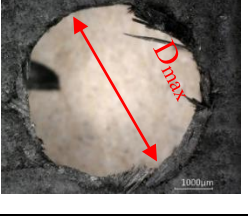
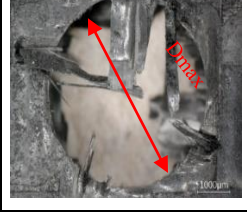
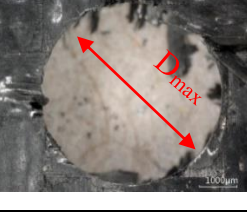
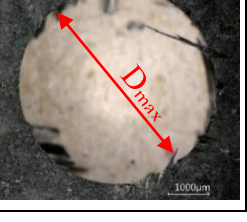
6.000 dev/dak. fener mili hızına bakıldığında en düşük kesme hızı 300 mm/dak. ilerleme hızında, alüminyum destek metodu ile delinen delikte olduğu görülmektedir. En yüksek kesme hızı ise 1.500 mm/dak. ilerleme hızında desteksiz delme metodu ile delinen delikte olduğu görülmektedir.

Şekiller incelendiğinde ilerleme hızındaki artışla kesme kuvvetinin de doğru oranda arttığı görülmektedir. Fakat fener mili hızındaki artış kesme kuvvetini ters oranda etkilemektedir. 3.000 ve 6.000 dev/dak. fener mili hızında kesme kuvvetleri karşılaştırılacak olursa 3.000 dev/dak. ilerleme hızındaki kesme kuvveti değeri daha yüksek olduğu görülmüştür. En düşük kesme kuvveti 6.000 dev/dak. fener mili hızında 300 mm/dak. ilerleme hızında alüminyum destek delme metodunda olduğu görülmektedir. En yüksek kesme kuvveti ise 3.000 dev/dak. fener mili hızında 1.500 mm/dak. ilerleme hızında ahşap destek delme ile delinen delikte olduğu görülmektedir.

4.2. Deliklerin Elektron Mikroskop Görüntüsü

Delikleri delmek için aynı çapta, aynı türde ve aynı özellikte kesici takım kullanılmıştır. Deneylerde farklı ilerleme hızı, fener mili hızı ve destek plakasıdır. 3.000 dev/dak. fener mili hızında delinen deliklerin matkabın çıktığı yüzeyin elektron mikroskopu altında 50 kat büyütülmüş görüntüleri Tablo 4.1’de verilmiştir. 6.000 dev/dak. fener mili hızında delinen deliklerin matkabın çıktığı yüzeyin elektron mikroskopu altında 50 kat büyütülmüş görüntüleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.1. 3.000 dev/dak. fener mili hızında delinen deliklerin elektron mikroskobu ile 50 kat büyütülmüş görüntüleri

İlerleme Hızı	Desteksiz	Ahşap Destekli	Kestamit Destekli	Alüminyum Destekli
300 mm/dak.				
600 mm/dak.				
900 mm/dak.				
1.200 mm/dak.				
1.500 mm/dak.				

Tablo 4.2. 6.000 dev/dak. fener mili hızında delinen deliklerin elektron mikroskobu ile 50 kat büyütülmüş görüntüleri

İlerleme Hızı	Desteksiz	Ahşap Destekli	Kestamit Destekli	Alüminyum Destekli
300 mm/dak.				
600 mm/dak.				
900 mm/dak.				
1.200 mm/dak.				
1.500 mm/dak.				

Tabloda farklı destek metotlarıyla delinen deliklerin en büyük çapı gösterilmiştir. Farklı ilerleme hızları ve fener mili hızlarına göre delinmiş deliklerin büyütülmüş elektron mikroskop görüntüleri gruplanmıştır. Bu görüntülerde görünen en büyük çaplar ölçülmüş delaminasyon değerleri hesaplanmıştır.

Görüntülere bakarak delikler hakkında yorum yapılır ise desteksiz delme metodu ile delinen deliklerde delaminasyon ve lif kopma hasarı fazla şekilde görülmektedir. Ahşap destek metodu ile delinen deliklerde delik çıkış hasarı görülmektedir. Kestamit destek metodu ile delinen deliklerde delaminasyon ve delik çıkış hasar görülmektedir ama diğer

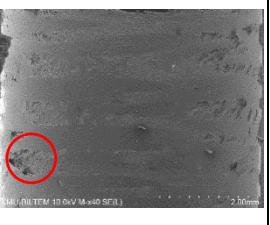
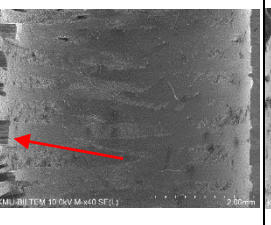
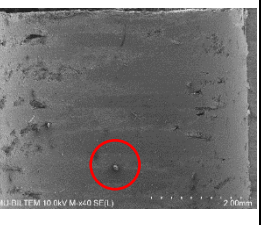
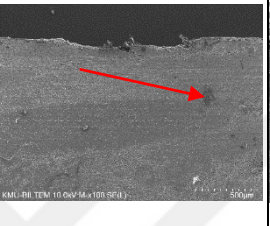
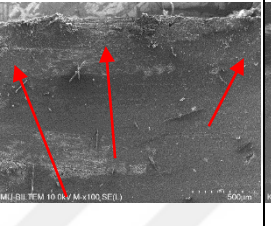
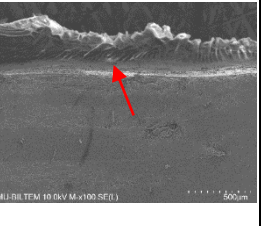
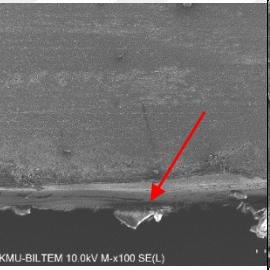
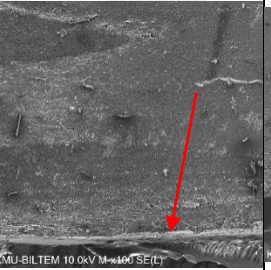
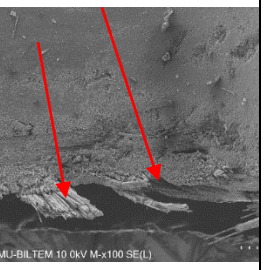
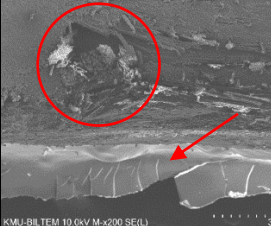
destek metotları ile karşılaştırıldığında hasar değerleri daha az görülmektedir. Alüminyum destek metodu ile delinen deliklerde delik çıkış hasarı ve delaminasyon görülmektedir.

Literatürde yapılan çalışmalarda delik çıkışında oluşan hasarların benzer olduğu görülmektedir. Literatürde bu hasarların sebebini yüksek ilerleme hızı, düşük kesme hızının sebebiyle olduğunu belirtmişlerdir.

4.3. Deliklerin Taramalı Elektron Mikroskobu ile Alınmış Görüntüleri

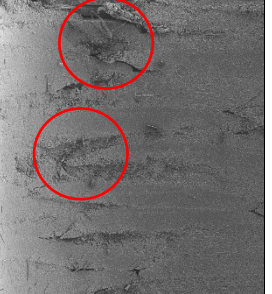
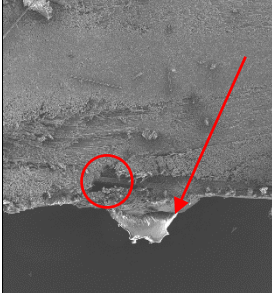
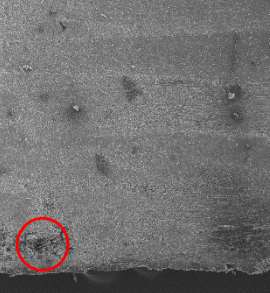
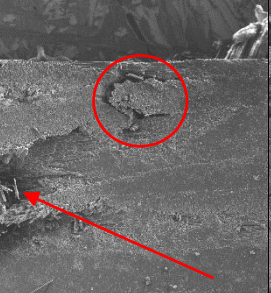
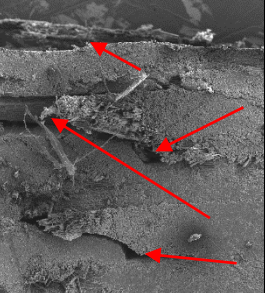
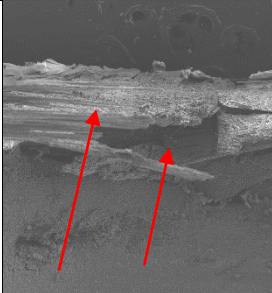
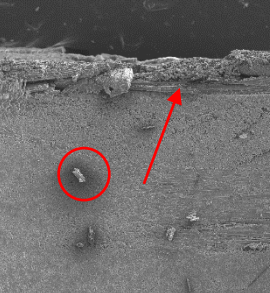
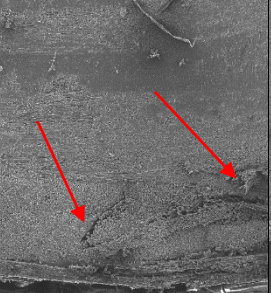
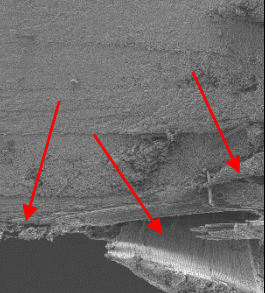
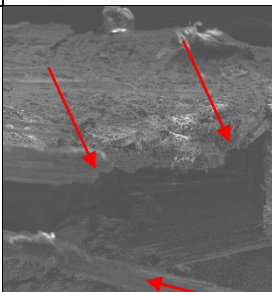
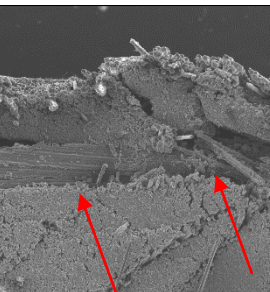
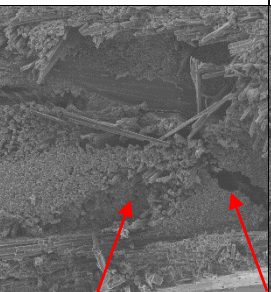
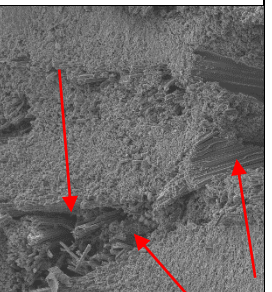
Taramalı elektron mikroskobu, bir elektron demeti ile parça yüzeyini tarayarak 1 μ m büyüklüğündeki cisimleri ayırt edebilen inceleme cihazıdır. Bu mikroskop elektronların yaydığı ışınları bir objeye odaklayarak odaklandığı objeyi bir milyon defa büyüterek görüntü alır. Tablo 4.2’de bütün olarak adlandırılan kısım delik ortası, üst olarak adlandırılan kısım delik girişi, alt olarak adlandırılan kısım delik çıkışı, alt2 olarak adlandırılan kısım alt kısmın karşı kısmıdır. 3.000 dev/dak. fener mili hızı, 300 mm/dak. ilerleme delinen deliklerin taramalı elektron mikroskobu ile alınmış görüntüleri Tablo 4.3’te verilmiştir.

Tablo 4.3. 3.000 dev/dak. fener mili hızı, 300 mm/dak. ilerleme delinen deliklerin taramalı elektron mikroskobu ile alınmış görüntüleri

	Alüminyum	Kestamit	Ahşap	Desteksiz
Bütün				
Üst				
Alt				
Alt2				

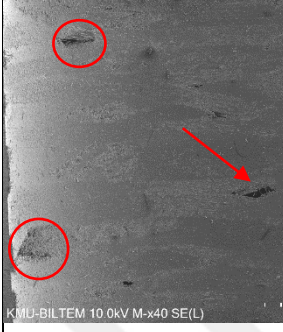
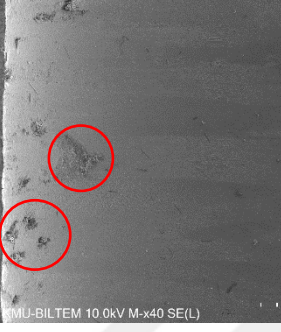
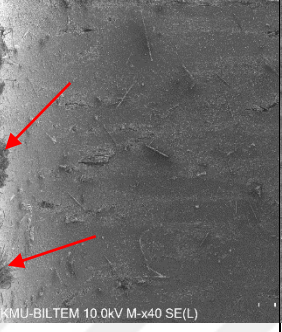
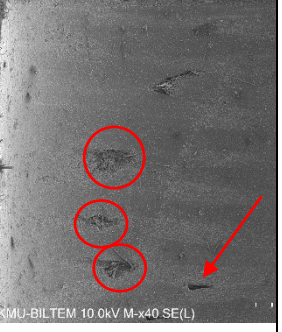
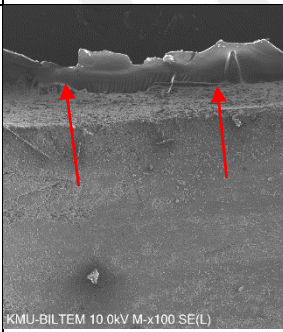
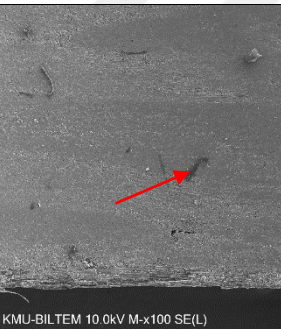
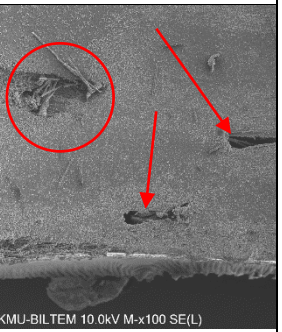
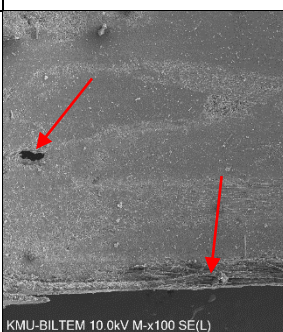
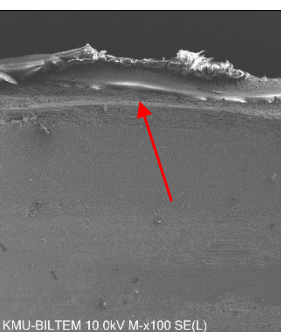
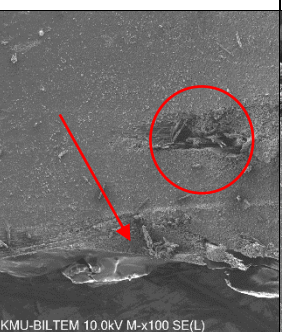
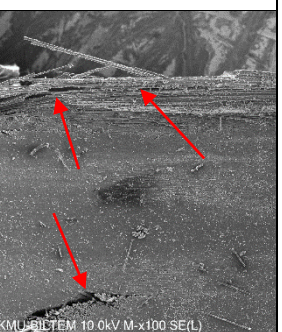
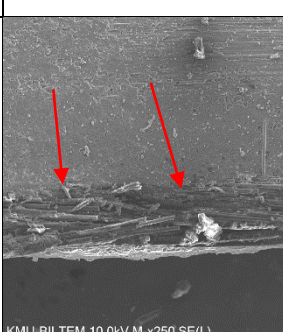
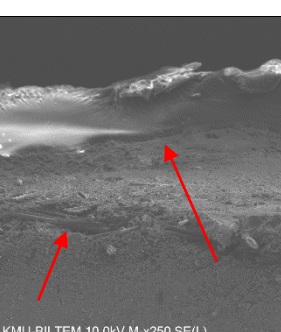
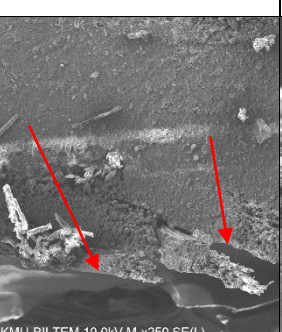
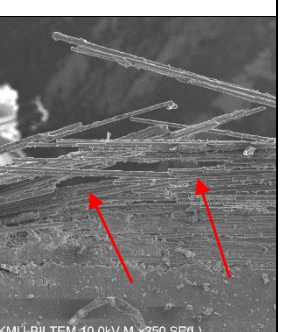
3.000 dev/dak. fener mili hızı, 1.500 mm/dak. ilerleme delinen deliklerin taramalı elektron mikroskobu ile alınmış görüntüleri Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4. 3.000 dev/dak. fener mili hızı, 1.500 mm/dak. ilerleme delinen deliklerin taramalı elektron mikroskobu ile alınmış görüntüleri

	Alüminyum	Kestamit	Ahşap	Desteksiz
Bütün	 KMU-BILTEM 10.0kV M-x40 SE(L)	 KMU-BILTEM 10.0kV M-x40 SE(L)	 KMU-BILTEM 10.0kV M-x40 SE(L)	 KMU-BILTEM 10.0kV M-x40 SE(L)
Üst	 KMU-BILTEM 10.0kV M-x100 SE(L)	 KMU-BILTEM 10.0kV M-x100 SE(L)	 KMU-BILTEM 10.0kV M-x100 SE(L)	 KMU-BILTEM 10.0kV M-x100 SE(L)
Alt	 KMU-BILTEM 10.0kV M-x100 SE(L)	 KMU-BILTEM 10.0kV M-x100 SE(L)	 KMU-BILTEM 10.0kV M-x100 SE(L)	 KMU-BILTEM 10.0kV M-x100 SE(L)
Alt2	 KMU-BILTEM 10.0kV M-x250 SE(L)	 KMU-BILTEM 10.0kV M-x250 SE(L)	 KMU-BILTEM 10.0kV M-x250 SE(L)	 KMU-BILTEM 10.0kV M-x250 SE(L)

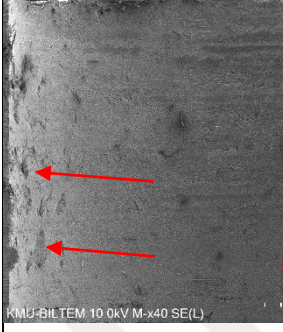
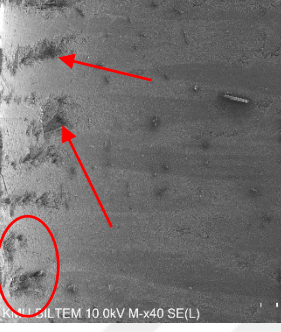
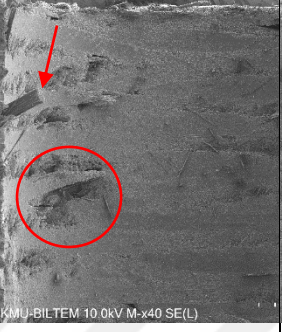
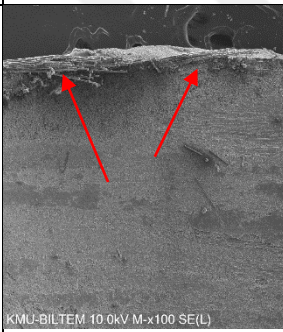
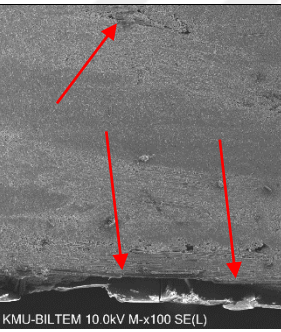
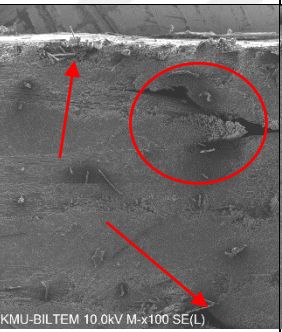
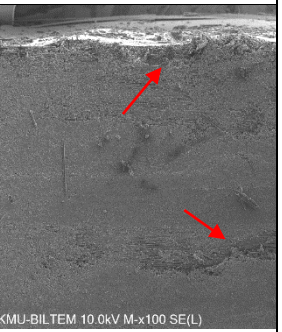
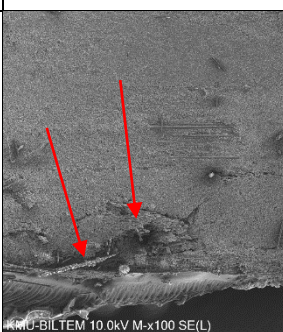
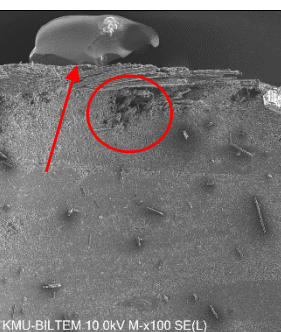
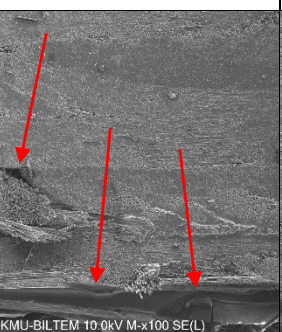
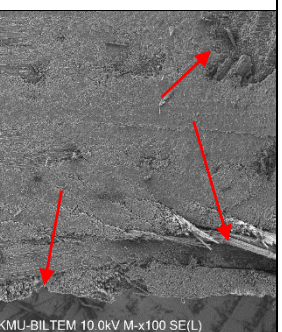
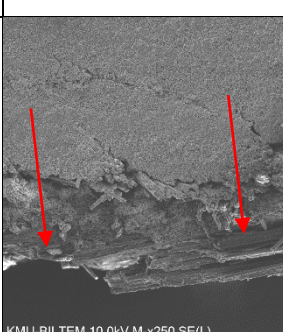
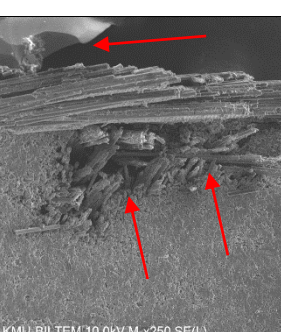
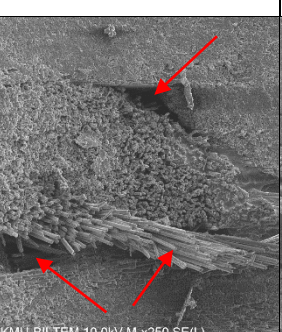
6.000 dev/dak. fener mili hızı, 300 mm/dak. ilerleme delinen deliklerin taramalı elektron mikroskobu ile alınmış görüntüleri Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.5. 6.000 dev/dak. fener mili hızı, 300 mm/dak. ilerleme delinen deliklerin taramalı elektron mikroskobu ile alınmış görüntüleri

	Alüminyum	Kestamit	Ahşap	Desteksiz
Bütün				
Üst				
Alt				
Alt2				

6.000 dev/dak. fener mili hızı, 1.500 mm/dak. ilerleme delinen deliklerin taramalı elektron mikroskobu ile alınmış görüntüleri Tablo 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.6. 6.000 dev/dak. fener mili hızı, 1.500 mm/dak. ilerleme delinen deliklerin taramalı elektron mikroskobu ile alınmış görüntüleri

	Alüminyum	Kestamit	Ahşap	Desteksiz
Bütün	 KMU-BILTEM 10.0kV M-x40 SE(L)	 KMU-BILTEM 10.0kV M-x40 SE(L)	 KMU-BILTEM 10.0kV M-x40 SE(L)	 KMU-BILTEM 10.0kV M-x39 SE(L)
Üst	 KMU-BILTEM 10.0kV M-x100 SE(L)	 KMU-BILTEM 10.0kV M-x100 SE(L)	 KMU-BILTEM 10.0kV M-x100 SE(L)	 KMU-BILTEM 10.0kV M-x100 SE(L)
Alt	 KMU-BILTEM 10.0kV M-x100 SE(L)	 KMU-BILTEM 10.0kV M-x100 SE(L)	 KMU-BILTEM 10.0kV M-x100 SE(L)	 KMU-BILTEM 10.0kV M-x100 SE(L)
Alt2	 KMU-BILTEM 10.0kV M-x250 SE(L)	 KMU-BILTEM 10.0kV M-x250 SE(L)	 KMU-BILTEM 10.0kV M-x250 SE(L)	 KMU-BILTEM 10.0kV M-x250 SE(L)

Alüminyum destekli delme metodunda 3.000 dev/dak.'da 300 mm/dak. ilerleme hızında delik delinen deliğin bütününde matris hataları görülmektedir. Deliğin üst kısmında matris hataları, fiber kopması görülmektedir. Delik çıkışında matris hataları görülmektedir. 1.500 mm/dak.'da ise delik bütünde yüzey hasarı görülürken, delik üst kısmında delaminasyon lif ayrılması görülmektedir. Deliğin alt kısmında ise yüzey hataları, lif kopması, delaminasyon hasarları da görülmektedir. 6.000 dev/dak. fener mili hızında 300 mm/dak. ilerleme hızında delik bütünde katman ayrılmaları görülmektedir. Delik girişinde delaminasyon hasarı görülmektedir. Delik çıkışında katman ayrılması, lif kopmaları ve düşük yüzey kalitesi görülmektedir. 1.500 mm/dak.'da ise delik bütününde yüzey hataları görülmektedir. Delik girişinde delaminasyon hasarı görülmektedir. Delik çıkışında ise lif kopması, delaminasyon hasarı görülmektedir.

Kestamit destekli delme metodunda 3.000 dev/dak. fener mili hızı 300 mm/dak. ilerleme hızında delik bütününde katman ayrılması ve düşük yüzey kalitesi görülmektedir. Delik girişinde küçük yüzey hatları görülmektedir. Delik çıkışında ise delaminasyon hasarı görülmektedir. 1.500 mm/dak.'da ise deliğin bütünde yüzey hataları arttığı görülmektedir. Deliğin üst kısmında küçük yüzey hataları görülmektedir. Delik çıkışındaki delaminasyon artmış ve katman ayrılması ve lif kopma hasarı da görülmüştür. 6.000 dev/dak.'da 300 mm/dak. ilerleme hızında delik bütününde küçük yüzey hataları görülmektedir. Deliği üst kısmında ufak lif hasarları görülmektedir. Delik çıkışında ise katman ayrılması ve delaminasyon hasarı görülmektedir. 1.500 mm/dak.'da ise deliğin bütünde yüzey hataları arttığı görülmektedir. Delik girişinde katman ayrılması oluşmuştur. Delik çıkışında ise lif kopması, katman ayrılması görülürken, delaminasyon hasarı artmıştır.

Ahşap destek metodu ile delme metodunda 3.000 dev/dak.'da 300 mm/dak. ilerleme hızında delik bütünde lif kopması, yüzey hataları görülmektedir. Deliğin üst kısmında ise takımın bıraktığı delaminasyon hasarı görülmektedir. Delik çıkışında ise lif kopması ve delaminasyon hasarı görülmektedir. 1.500 mm/dak. ilerleme hızında ise delik bütününde yüzey hataları görülmektedir. Deliğin üst kısmında ise katman ayrılmaları ve yüzey hasarları görülmektedir. Delik çıkışında oluşan delaminasyon, katman ayrılması, lif kopma hasarları görülmektedir. 6.000 dev/dak.'ya baktığımızda 300 mm/dak. ilerleme hızında delik bütünde yüzey hataları görülmektedir. Deliğin üst kısmında söz edilecek bir hasar görülmemektedir. Delik çıkışında ise katman ayrılması, çıkış hasarı, lif kopması görülmektedir. 1.500 mm/dak. ilerleme hızında ise deliğin bütünde yüzey hataları ve katman ayrılması görülmektedir. Deliğin üst kısmında ise katman ayrılması görülmektedir. Delik çıkışında ise katman ayrılması, yüzey hataları, lif kopması, çıkış hasarı görülmektedir.

Desteksiz delme metodunda 3.000 dev/dak.'da 300 mm/dak. ilerleme hızında delik bütünde küçük yüzey hasarları görülmektedir. Deliğin üst kısmında ise giriş delaminasyonu görülmektedir. Delik çıkışında ise lif kopması, katman ayrılması ve delaminasyon hasarı görülmektedir. 1.500 mm/dak. ilerleme hızında ise delik bütünde yüzey hataları görülürken, delik girişinde katman ayrılması görülmektedir. Delik çıkışında katman ayrılması ve delaminasyon hasarı görülmektedir. 6.000 dev/dak. fener mili hızında, 300 mm/dak. ilerleme hızında delik bütünde az miktarda yüzey hasarı görülmektedir. Deliğin üst kısmında ise katman ayrılması hasarı görülmektedir. Delik çıkışında delaminasyon hasarı görülmektedir. 1.500 mm/dak. ilerleme hızında yüzey hataları görülmektedir. Deliğin üst kısmında ise ufak yüzey hataları görülmektedir. Delik çıkışında katman ayrılması, lif kopması gibi hasarlar görülmektedir.

Bütün destek metodlarındaki görüntüleri incelediğimizde desteksiz delme metodu ile delinen deliklerin daha fazla hasar aldığı görülmektedir. Aynı delme metodu ile delinen deliklerin yüksek fener mili hızı ve düşük ilerleme hızında delinen deliklerin daha iyi değerler verdiği görülmüştür.

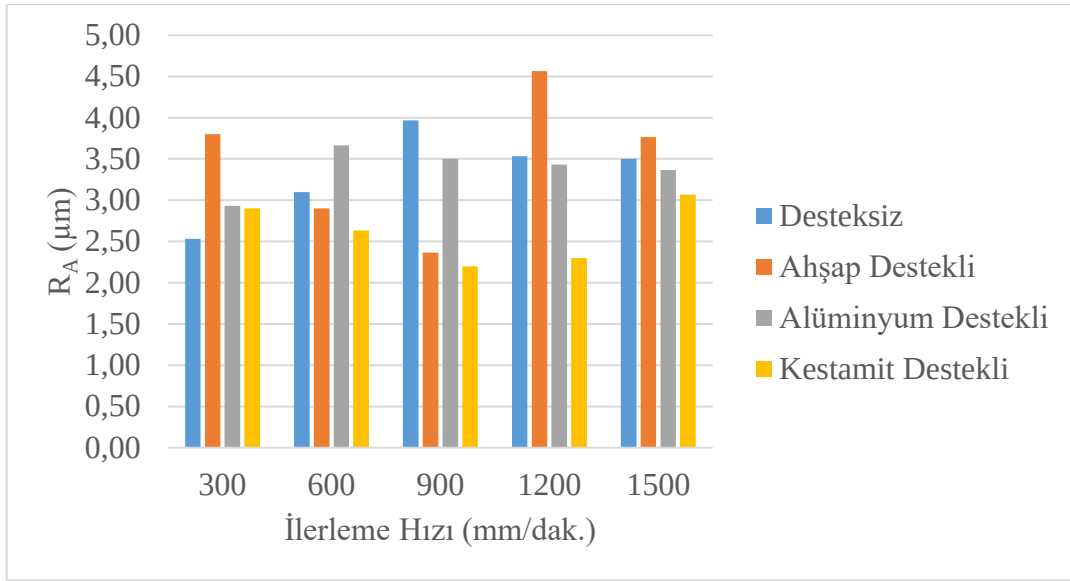
4.4. Deliklerin Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Delme işlemi sonrasında her deliğin 3 farklı noktasında yüzey pürüzlülüğü ölçümü yapılmış, ortalama değerleri aşağıdaki tablolarda verilmiştir. Testler Süleyman Demirel Üniversitesi Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezinde Hommel Tester T500 ile ölçülmüştür. Hommel Tester T500'ün teknik özellikleri Tablo 4.7'te verilmiştir.

Tablo 4.7. Hommel Tester T500 yüzey pürüzlülük cihazı özellikleri

Yüzey Değerlendirme Parametreleri	DIN 4768- R_A , R_Z , DIN , R_{max}
Tarama hızı V_t (mm/sn.)	1-5
Ölçüm aralığı	1 +20/- 20 μ m 10 nm
	+20/- 60 μ m 20 nm
	2 +40/- 40 μ m 20 nm
	+40/- 120 μ m 40 nm
En Küçük Görüntü Değeri	0,01 μ m
Ölçüm Birimi	μ m ve μ inç

3.000 dev/dak. fener mili hızında delinen deliklerin yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 4.3'te verilmiştir.

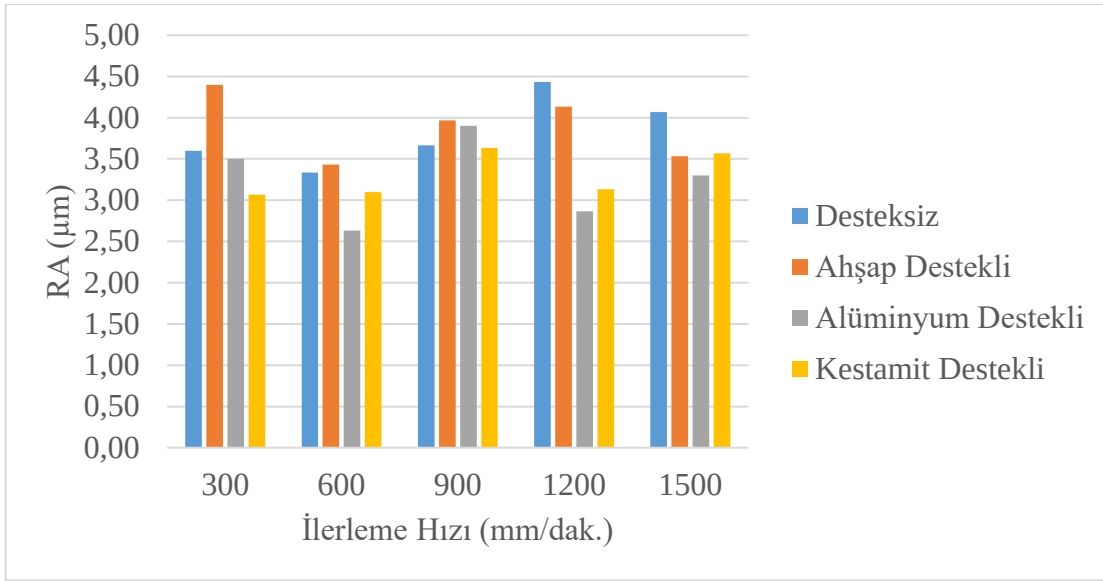


Şekil 4.3. 3.000 dev/dak. fener mili hızında delinen deliklerin yüzey pürüzlülük değerleri

3.000 dev/dak. fener mili hızında delinen deliklerin yüzey pürüzlülüklerini karşılaştırdığımızda 300 mm/dak. ilerleme hızında en düşük yüzey pürüzlülüğü desteksiz delme metodunda iken en yüksek yüzey pürüzlülüğü ahşap destekli delme metodunda olduğu görülmüştür. 600 mm/dak. ilerleme hızında ise en düşük yüzey pürüzlülüğü kestamit destek delme metodunda iken en yüksek yüzey pürüzlülüğü alüminyum destek delme metodunda olduğu görülmüştür. 900 mm/dak. ilerleme hızında en düşük yüzey pürüzlülüğü kestamit destek delme metodu iken, en yüksek yüzey pürüzlülüğü desteksiz delme metodunda olduğu görülmektedir. 1.200 ve 1.500 mm/dak. ilerleme hızında en düşük yüzey pürüzlülüğü kestamit destekli delme metodunda iken en yüksek yüzey pürüzlülüğü ahşap destekli delme metodunda olduğu görülmektedir.

3.000 dev/dak. fener mili hızına bakıldığında en düşük yüzey pürüzlülüğü 900 mm/dak. ilerleme hızında kestamit destek delme metodunda iken, en yüksek yüzey pürüzlülüğü 1.200 mm/dak. ilerleme hızında ahşap destekli delme metodunda olduğu görülmektedir.

6.000 dev/dak. fener mili hızında delinen deliklerin yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4. 6.000 dev/dak. fener mili hızında delinen deliklerin yüzey pürüzlülük değerleri

6.000 dev/dak. fener mili hızında delinen deliklerin yüzey pürüzlülüklerini karşılaştırdığımızda 300 mm/dak. ilerleme hızında en düşük yüzey pürüzlülüğü kestamit destekli delme metodunda iken, en yüksek yüzey pürüzlülüğü desteksiz delme metodunda olduğu görülmektedir. 600 mm/dak. ilerleme hızında en düşük yüzey pürüzlülüğü alüminyum destekli delme metodunda iken, en yüksek yüzey pürüzlülüğü ahşap destekli delme metodunda olduğu görülmektedir. 900 mm/dak. ilerleme hızında en düşük yüzey pürüzlülüğü kestamit destekli delme metodunda iken, en yüksek yüzey pürüzlülüğü ahşap destekli delme metodunda oluşmuştur. 1.200 ve 1.500 mm/dak. ilerleme hızında en düşük yüzey pürüzlülüğü alüminyum destekli delme metodunda iken, en yüksek yüzey pürüzlülüğü desteksiz delme metodu olduğu görülmektedir.

6.000 dev/dak. fener mili hızına bakıldığında en düşük yüzey pürüzlülüğü 600 mm/dak. ilerleme hızında alüminyum destek delme metodunda iken, en yüksek yüzey pürüzlülüğü 1.200 mm/dak. ilerleme hızında desteksiz delme metodunda olduğu görülmektedir.

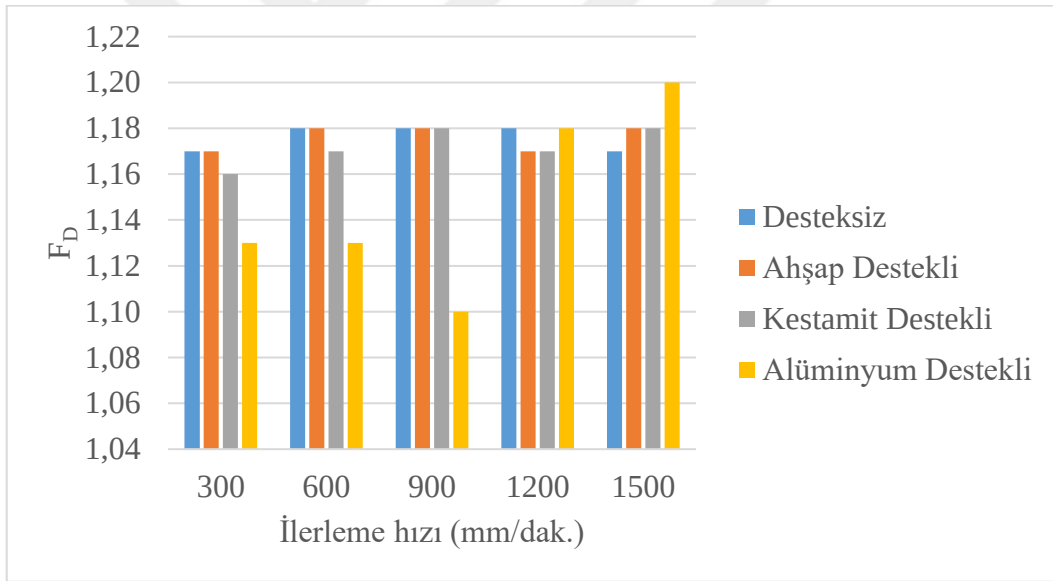
3.000 ve 6.000 dev/dak. fener mili hızına bakıldığında en düşük yüzey pürüzlülüğü 3.000 dev/dak. fener mili hızında 900 mm/dak. ilerleme hızında kestamit destekli delme metodunda oluştuğu, en yüksek yüzey pürüzlülüğü 3.000 dev/dak. fener mili hızında 1.200 mm/dak. ilerleme hızında ahşap destekli delme metodunda olduğu görülmektedir.

Destek metotlarında yapılan tüm delme parametrelerini ele aldığımızda kestamit destekli delme metodunda ortalama daha düşük yüzey pürüzlülüğü olduğu görülürken, ahşap destekli delme metodunda daha yüksek ortalama yüzey pürüzlülüğü olduğu görülmüştür.

Literatürde yapılan çalışmalarda metal destek plakası kullanılan deneylerde takım sıvanması sebebiyle daha kötü yüzey pürüzlülüğü değerleri elde ettiklerini belirtmişlerdir. Bunun dışında kesme hızının azaltılmasıyla daha düşük yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir.

4.5. Delaminasyon Değerleri

Deney sonunca elde edilen deliklerin görüntülerinden yararlanarak delik çıkış çapındaki delaminasyon oranı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar fener mili hızı, ilerleme hızına göre gruplandırılmış sonra şekilleri çizilmiştir. Delaminasyon oranları maksimum çapın takım çapına oranlanmasıyla hesaplanmıştır. 3.000 dev/dak. fener mili hızında delinen deliklerin delaminasyon değerleri Şekil 4.5'te verilmiştir.



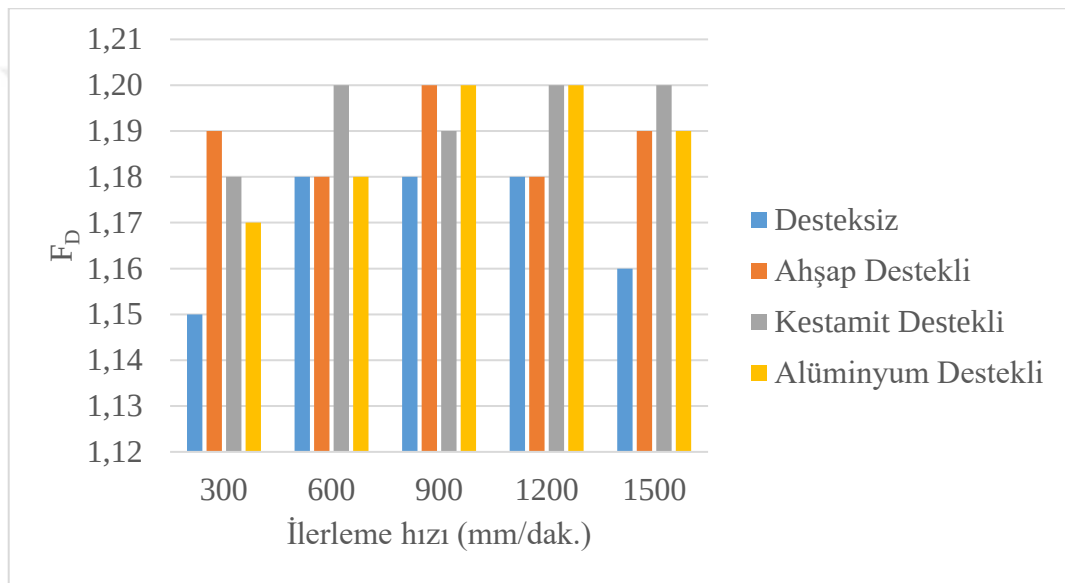
Şekil 4.5. 3.000 dev/dak. fener mili hızında delinen deliklerin delaminasyon değerleri

3.000 dev/dak. ilerleme hızında 300 ve 600 mm/dak ilerleme hızında en düşük delaminasyon değeri alüminyum destekli delme metodunda iken, en yüksek delaminasyon değeri desteksiz ve ahşap destekli delme metodunda görülmüştür. 900 mm/dak. ilerleme hızında en düşük delaminasyon değeri alüminyum destekli delme metodunda iken, diğer destek metotlarında daha yüksek çıkmıştır. 1.200 mm/dak. ilerleme hızında kestamit ve ahşap destek delme metodunda düşük iken, desteksiz ve alüminyum destek delme

metodunda yüksek olduğu görülmektedir. 1.500 mm/dak. ilerleme hızında en düşük desteksiz delme metodunda iken, en yüksek alüminyum destek delme metodunda olduğu görülmüştür.

3.000 dev/dak. fener mili hızında delinen deliklere genel olarak bakıldığında en düşük delaminasyon değeri 900 mm/dak. ilerleme hızında alüminyum destekli delme metodunda, en yüksek delaminasyon değeri 1.500 mm/dak. ilerleme hızında alüminyum destekli delme metodunda olduğu görülmüştür.

6.000 dev/dak. fener mili hızında delinen deliklerin delaminasyon değerleri Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. 6.000 dev/dak. fener mili hızında delinen deliklerin delaminasyon değerleri

6.000 dev/dak. fener mili hızında 300 mm/dak. ilerleme hızında en düşük delaminasyon değeri desteksiz delme metodunda iken, en yüksek delaminasyon değeri ahşap destekli delme metodunda görülmüştür. 600 mm/dak. ilerleme hızında desteksiz, ahşap destekli, alüminyum destekli delme metodunda düşük iken, kestamit destekli delme metodunda yüksektir. 900 mm/dak. ilerleme hızında en düşük delaminasyon değeri desteksiz delme metodunda iken en yüksek delaminasyon değeri alüminyum ve ahşap destekli delme metodunda görülmektedir. 1.200 mm/dak. ilerleme hızında desteksiz ve ahşap destekli delme metodunda düşükken, alüminyum ve kestamit destekli delme metodunda yüksektir. 1.500 mm/dak. ilerleme hızında en düşük delaminasyon değeri desteksiz delme metodunda

iken, en yüksek delaminasyon değeri kestamit destekli delme metodunda olduğu görülmektedir.

6.000 dev/dak. fener mili hızına genel olarak bakıldığında en düşük delaminasyon değeri 300 mm/dak. ilerleme hızında desteksiz delme metodunda iken, en yüksek delaminasyon değeri 600 mm/dak. ilerleme hızında kestamit destek delme metodunda, 900 mm/dak. ilerleme hızında alüminyum ve ahşap destek delme metodunda, 1.200 mm/dak. ilerleme hızında alüminyum ve kestamit destek delme metodunda, 1.500 mm/dak. ilerleme hızında kestamit destek delme hızında olduğu görülmüştür.

3.000 ve 6.000 dev/dak. fener mili hızına genel olarak bakıldığında en düşük delaminasyon değeri 3.000 dev/dak. fener mili hızında 900 mm/dak. ilerleme hızında alüminyum destek delme metodunda iken, en yüksek delaminasyon değeri 3.000 dev/dak. fener mili hızında 1.500 mm/dak. ilerleme hızında alüminyum destekli delme metodunda, 6.000 dev/dak. fener mili hızında 600 mm/dak. ilerleme hızında kestamit destekli delme metodunda, 900 mm/dak. ilerleme hızında alüminyum ve ahşap destekli delme metodunda, 1.200 mm/dak. ilerleme hızında alüminyum ve kestamit destekli delme metodunda, 1.500 mm/dak. ilerleme hızında kestamit destekli delme metodunda olduğu görülmüştür.

Literatürde daha önceki yapılan çalışmalarda delaminasyonun kesme hızının artmasıyla azaldığı, ilerleme hızının arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında karbon fiber takviyeli kompozit malzemenin kuru şartlar altında farklı kesme parametreleri kullanılarak delme işlemi yapılmıştır. Deneysel çalışmada 3.000, 6.000 dev/dak. fener mili hızı, 300, 600, 900, 1.200, 1.500 mm/dak. ilerleme hızı, desteksiz, alüminyum, kestamit, ahşap destek plakası kullanılmıştır. Deneysel çalışmada sırasında anlık olarak itme kuvvetleri, deneyden sonra ise delaminasyon hasarı, delinen deliklerin morfolojisi, takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Delinen deliklerin yüzey pürüzlülüğünde ise en düşük yüzey pürüzlülüğü kestamit destekli delme işleminde daha düşük yüzey pürüzlülüğü oluşmuştur. En yüksek yüzey pürüzlülüğü ise ahşap destekli delme metodunda oluşmuştur.

Deliklerin elektron mikroskobundan alınan görüntüler incelendiğinde desteksiz delme sonucunda delik çıkışında yüksek hasar çapı, katman ayrılması ve lif kopma sorunu görülmektedir. Alüminyum destekli delme işleminde ise lif kopma sorunu ve delik çapı hasarı görülmektedir. Alüminyum destekli delme işleminde alüminyum delinirken sıcaklık ve fiber malzemenin aşındırıcı etkisinden dolayı alüminyum talaşlarının yapıştığı gözlenmiştir. Kestamit destekli delik delme işleminde en iyi delik çıkış geometrisi elde edilmiştir. Ahşap destekli delik delme işleminde katman ayrılması ve lif kopma sorunları yaygın görülmüştür.

SEM görüntülerinde artan ilerleme hızıyla delik çıkışındaki hasarın arttığı görülmüştür. Fener mili hızının artmasıyla daha az hasarlı yüzeyler gözlemlenmiştir. Genel olarak destek metotlarına bakıldığında kestamit destekli delme metodunda delinen deliğin daha hasarsız olduğu görülmüştür.

Çalışmalar incelendiğinde farklı destek malzemeleri farklı kesme hızları kullanılarak yapılan deneylerde yüzey pürüzlülüğü, yüzey kalitesi, delaminasyon sonuçlarını ve numunelerin incelenmesi sonucunda en iyi delaminasyon sonucunu veren destek plakası alüminyum olduğu görülmüştür. En iyi delik kalitesi için ise kestamit destek plakası olduğu görülmüştür. Alınan en düşük delaminasyon değeri alüminyum destek metodu ile delinen delikte alınmıştır. Yapılan deneylerde kullanılan destek metotları farklı etkiler göstermiştir. İlerleme hızı ve fener mili hızı olduğu görülmüş ve bu hem yüzey pürüzlülüğü hem yüzey kalitesi hem de delaminasyon sonuçlarına yansımıştır.

Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara dayanarak alüminyum destekli delme metodu kullanımı daha iyi delaminasyon sonucu vermiştir.

Yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçların literatürdeki çalışmalarla benzerlik gösterdiği görölmüştür.



KAYNAKLAR

- An, Q., Dang, J., Li, J., Wang, C., Chen, M., 2020. Investigation on The Cutting Responses of CFRP/Ti Stacks: With Special Emphasis on The Effects of Drilling Sequences. *Composite Structures*, 253, 112794.
- Anand, R. S., Patra, K., 2017. Mechanistic Cutting Force Modelling For Micro-Drilling of CFRP Composite Laminates. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 16,055-63.
- Arafat, M., 2009. CNC Delme İşleminde Delme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Açısından Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. Erciyes Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, Türkiye.
- Aydın, E., 2019. Karbon Fiber Takviyeli Polimer Kompozit (CFRP) ile Alüminyum Alaşımının (Al 7075) İstiflenmiş Halde Delinebilirlik Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Aydın, E., Nalbant, M., 2019. CFRP/Al-7075 İstifli Delmede Matkap Uç Açılarının Delinebilirlik Üzerine Etkisi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35, 917-931.
- Basmacı, G., Yörük, A. S., 2020. Karbon Fiber Takviyeli Kompozit Malzemenin Kuru ve Kriyojenik Şartlarda Delinebilirliğinin Deneysel Araştırılması. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11, 164-175.
- Baş, S. H. 2019. Tabakalı Kompozit Yapılarda Delaminasyonun Malzemenin Mekanik Davranışına Etkisinin Sayısal Yöntemlerle Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak Bilimleri Fakültesi, İstanbul, Türkiye.
- Beşergil, B., 2021. Ticari Polimerler. (http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/3_40.html) (08.06.2021).
- Brinksmeier, E., Fangmann, S., Rentsch, R., 2011. Drilling of Composites and Resulting Surface Integrity. *CIRP Annals*, 57-60.
- Cao, S., WU, Z., Wang, X., 2009. Tensile Properties of CFRP and Hybrid FRP Composites at Elevated Temperatures. *Journal of Composite Materials*, 43:315-30.
- Çakıroğlu, R., 2011. Delik Delme İşlemlerinde Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Oluşan Sıcaklığın Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

- Çobanoğlu, T., Şeker, U., 2020. Design and Test of a New Step Drill to Reduce The Operation Time and Increase The Hole Quality for CFRP Materials. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 42, 553.
- Demirhan, M., 2021. Cam Elyaf Takviyeli PA66 Kompozit Malzemenin İşlenebilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük, Türkiye.
- Duboust, N., Watson, M., Marshall, M., O'Donnel, G. A., Kerrigan, K., 2020. Towards intelligent CFRP composite machining: Surface analysis methods and statistical data analysis of machined fibre laminate surfaces. Proc IMechE Part B, J Engineering Manufacture, 1-16.
- El-Sonbaty, I., Khashaba, U. A., Machaly, T., 2004. Factors Affecting the Machinability of GFR/Epoxy Composites. Composite Structures, 63, 329-338.
- Ersoy, H., 2001. *Kompozit Malzeme*. Literatür Yayıncılık Dağıtım Pazarlama, San. ve Tic. Ltd. Şti., İstanbul, Türkiye.
- Faraz, A., Biermann, D., Weinert, K., 2009. Cutting Edge Rounding: An Innovative Tool Wear Criterion in Drilling CFRP Composite Laminates. Int. J. Machine Tools Manufact., 49, 1185.
- Fotouhi, M., Saeedifar, M., Sadeghi, S., Najafabadi, M. A., Minak, G., 2015. Investigation of The Damage Mechanisms for Model Delamination Growth in Foam Core Sandwich Composites Using Acoustic Emission. Structural Health Monitoring, 14, 265-280.
- Franck, G., Dau, F., Gutiérrez-Orrantia, E., 2017. New Analytical Model for Delamination of CFRP Dring Dilling. Journal of Materials Processing Technology, 240, 332-343.
- Gaga, L. A., Dilibal, S., 2020. Havacılık Endüstrisinde Kullanılan Karbon Prepreg Kompozit Malzemelerin Talaşlı İmalat Proses Özelliklerini Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi. Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind., 4, 225-238.
- Gaissin, K., Ayvar-Soberanis, S., Hodzic, A., 2016. Evaluation of Cryogenic Cooling and Minimum Quantity Lubrication Effects on Machining Glare Laminates Using Design of Experiments. J. Celan Peod., 135,533.
- Geng, D., Lu, Z., Yao, G., Liu, J., Li, Z., Zhang, D., 2017. Cutting Temperature and Resulting Influence on Machining Performance in Rotary Ultrasonic Elliptical Machining of Thick CFRP. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 123, 160-170.

- Giasin, K., Ayvar-Soberanis, S., Hodzic, A., 2015. An Experimental Study on Drilling of Unidirectional GLARE Fibre Metal Laminates. *Composite Structures*, 113, 794-808.
- Herbert, M. A., Shetty, D., Vijay, G., Shetty, R., 2014. Evaluation of Drilling Induced Delamination of Carbon Fiber Reinforced Polymer Composite Using Solid Carbide Drills. *European Scientific Journal*, 10, 279-292.
- Hocheng, H., Tsao, C. C., 2006. Effects of Special Drill Bits on Drilling Induced Delamination of Composite Materials. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46, 1403-1416.
- Hussein, R., Sadek, A., Elbestawi, M. A., Attia, M. H., 2019. Chip Morphology and Delamination Characterization for Vibration-Assisted Drilling of Carbon Fiber-Reinforced Polymer. *Manufacturing and Materials Processing*, 3, 23.
- Hüner, Ü., 2008. Plastik Esasli Kompozit Malzemelerin Sıcak Birleştirme İşlemlerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, Türkiye.
- Janakiraman, A., Pemmasani, S., Sheth, S., Chidambaram, K., Balan, A. S., 2020. Experimental Investigation and Parametric Optimization on Hole Quality Assessment During Drilling of CFRP/GFRP/Al Stacks. *Journal of The Institution of Engineers (India)*, 101, 291-302.
- John, K. M., & Kumaran, S. T., 2020. Backup Support Technique Towards Damage-Free Drilling of Composite Materials: A Review. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, 3, 267-364.
- Kılıçkap, E., Çelik, Y. H., Yardımeden, A., 2017. Karbon Elyaf Takviyeli Plastik Kompozitlerin Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğü ve Takım Aşınmasına Etki Eden Parametrelerin Araştırılması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 8, 175180.
- Kırhasanoğlu, E. Ö., Turgut, Y., 2021. Karbon Elyaf Takviyeli Kompozitlerin İstifli Delinmesinde Delik Çıkış Hasarının Deneysel Araştırılması. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 152-159.
- Koenig, W., Grab, P., 2017. Quality Definitions and Assessments in Drilling of Fibre Reinforced. *CFRP Annals - Manufacturing Technology*, 38, 119-124.
- Koyunbakan, M., Ünüvar, A., Eskizeybek, V., Avcı, A., 2021. CETP Kompozitlerin Ağaç Matkabıyla Delinme Performanslarının Deneysel İncelenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 770-776,10.

- Krishnamoorthy, A., Prakash, S., Lilly Mercy, J., Ramesh, S., 2019. Machinability Studies in Drilling Carbon Fiber Reinforced Composites. *Hole-Making and Drilling Technology for Composites*, 161-180.
- Kumar, J., Verma, R. K., Debnath, K., 2020. A New Approach to Control The Delamination and Thrust Force During Drilling of Polymer Nanocomposites Reinforced by Graphene Oxide/Carbon Fiber. *Composite Structures*, 253, 112786.
- Kuş, A., Ekici, E., 2017. Sandviç Kompozitlerin Delinmesinde Delaminasyon. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 3, 22.
- Mazumdar, S., 2002. *Composites Manufacturing: Materials, Product, and Process Engineering*. CRC Press.
- Motorcu, A. R., Bilge, T., 2017. Kompakt Laminat Panellerin Delinmesinde Delik Girişi ve Çıkışı Delaminasyon Faktörü İçin Delme Parametrelerinin Optimizasyonu. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 6, 167-179.
- Motorcu, A. R., Ekici, E., 2020. Uluslararası Malzeme ve Mühendislik Teknolojileri Konferansı. CFRP/Ti6Al4V Yığınların Kademeli Matkapla Delinmesinde CFRP’de Minimum Delaminasyon Faktörü İçin Kontrol Faktörlerinin Optimizasyonu. Çanakkale, Türkiye.
- Murthy, B. R., Beedu, R., Bhat, R., Naik, N., Prabakar, P., 2020. Delamination Assessment in Drilling Basalt/Carbon Fiber Reinforced Epoxy Composite Material. *Journal of Materials Research and Technology*, 9, 7424-7433.
- Özkaya, F., Özen, F., İhan, E., Aslanlar, S., 2019. Cam Küre Takviyeli Polipropilen Kompozit Malzemelerin Delaminasyon Faktörünün Deneysel Olarak İncelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19, 843-849.
- Popan, I. A., Bâlc, N., Popan, A. I., 2021. Avoiding CFRP Delamination During Abrasive Water Jet Piercing: A New Piercing Method. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*.
- Saraçyakupoğlu, T., 2021. Aşındırıcılı Su Jeti(ASJ) ile Kesimde Basınç Değişiminin Karbon Fiber Takviyeli Polimer Malzemelerde Delaminasyon Oluşumunun Araştırılması. 2. *International Sciences and Innovation Congress*, Ankara, 413-423.
- Shyha, I., Soo, S. L., Aspinwall, D., Bradley, S., 2010. Effect of Laminate Configuration and Feed Rate on Cutting Performance When Drilling Holes in Carbon Fibre Reinforced Plastic Composites. *Journal of Materials Processing Technology*, 210, 1023-1034.

- Sorrentino, L., Turchetta, S., Bellini, C., 2018. A New Method to Reduce Delaminations During Drilling of FRP Laminates by Feed Rate Control. *Composite Structures*, 186, 154-164.
- Subramanian, K., Cook, N., 1997. Sensing of Drill Wear and Prediction of Drill Life. *Trans ASME J Eng Indus*.
- Şahin, Y., 2000. *Kompozit Malzemelere Giriş*. Gazi Kitapevi, Ankara.
- Taguchi, G., Wu, Y., 1979, Introduction To Off-Line Quality Control, Central Japan Quality Control Association, Nagaya.
- Takmaz, A., Erkan, Ö., Yücel, E., 2016. Cam Elyaf Takviyeli Plastik Kompozit Malzemenin Kenar Frezelenmesinde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin İstatistiksel Olarak İncelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4, 567-573.
- Thirukumaran, M., Siva, I., Winowlin Jappes, J., Manikandan, V., 2018. Forming and Drilling of Fiber Metal Laminates–A review. *J. Reinf. Plast.Compos.*, 37, 981-990.
- Tsao, C. C., Hocheng, H., 2004. Taguchi Analysis of Delamination Associated With Various Drill Bits in Drilling of. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 44, 1085-1090.
- URL-1, 2021. Kistler: www.kistler.com, (Erişim Tarihi: 9.08.2021).
- URL-2, 2021. www.keyence.com, (Erişim Tarihi: 28.09.2021).
- URL-3 2021. www.nachiamerica.com, (Erişim Tarihi: 28.09.2021).
- Ünal, O., 2021. Kompozit Malzemeler. *Yapı Malzemesi Ders Notları*. (<http://www.kocaelimakine.com/ders-notlari/kompozit-malzemeler-ders-notlari-osman-unal/>) (06.06.2021).
- Ünsal, O., 2016. *Haddemetal*. <http://www.haddemetal.com.tr/>, (15.04.2021).
- Wang, H., Li, H., Lu, L., Xie, Y., Xiao, Y., 2014. Delamination Analysis in Drilling Carbon Fiber-Reinforced Composites. *Scientific.net*, 697, 62-66.
- Wang, X.M., Zhang L.C., 2003. An experimental investigation into the orthogonal cutting of unidirectional fibre reinforced plastics, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43, 1015-1022.
- Yalçın, H., Gürü, M., 2002. *Malzeme Bilgisi*, Palme Yayınevi. Ankara.

EKLER

EK 1 – Tablo 4.1. Desteksiz delme metodu yüzey pürüzlülük ölçümleri

Desteksiz					
Fener mili hızı (dev/dak.)	İlerleme Hızı (mm/dak.)	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ra (μm)
3.000 dev/dak.	300	2,30	2,90	2,40	2,53
	600	1,70	3,60	4,00	3,10
	900	3,40	5,40	3,10	3,97
	1.200	4,70	2,70	3,20	3,53
	1.500	2,80	3,20	4,50	3,50
6.000 dev/dak.	300	3,40	3,40	4,00	3,60
	600	2,60	2,70	4,70	3,33
	900	3,30	3,80	3,90	3,67
	1.200	3,70	4,70	4,90	4,43
	1.500	3,00	2,80	6,40	4,07

EK 1 – Tablo 4.2. Ahşap destekli delme metodu yüzey pürüzlülük ölçümleri

Ahşap Destekli					
Fener mili hızı (dev/dak.)	İlerleme Hızı (mm/dak.)	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ra (μm)
3.000 dev/dak.	300	3,80	-	3,80	3,80
	600	3,70	2,20	2,80	2,90
	900	2,10	2,00	3,00	2,37
	1.200	2,50	5,00	6,20	4,57
	1.500	3,10	3,00	5,20	3,77
6.000 dev/dak.	300	3,40	5,00	4,80	4,40
	600	4,00	2,00	4,30	3,43
	900	3,80	4,20	3,90	3,97
	1.200	6,30	2,40	3,70	4,13
	1.500	2,10	3,60	4,90	3,53

EK 1 – Tablo 4.3. Alüminyum destekli delme metodu yüzey pürüzlülük ölçümleri

Alüminyum Destekli					
Fener mili hızı (dev/dak.)	İlerleme Hızı (mm/dak.)	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ra (µm)
3.000 dev/dak.	300	2,50	2,30	4,00	2,93
	600	4,00	3,50	3,50	3,67
	900	3,20	2,60	4,70	3,50
	1.200	3,50	2,50	4,30	3,43
	1.500	3,40	3,20	3,50	3,37
6.000 dev/dak.	300	3,10	3,30	4,10	3,50
	600	1,90	2,00	4,00	2,63
	900	3,10	4,20	4,40	3,90
	1.200	2,50	2,90	3,20	2,87
	1.500	3,20	3,20	3,50	3,30

EK 1 – Tablo 4.4. Kestamit destekli delme metodu yüzey pürüzlülük ölçümleri

Kestamit Destekli					
Fener mili hızı (dev/dak.)	İlerleme Hızı (mm/dak.)	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ra (µm)
3.000 dev/dak.	300	2,20	2,60	3,90	2,90
	600	2,60	2,50	2,80	2,63
	900	2,70	2,00	1,90	2,20
	1.200	1,80	2,20	2,90	2,30
	1.500	2,50	2,90	3,80	3,07
6.000 dev/dak.	300	2,80	3,10	3,30	3,07
	600	2,80	2,30	4,20	3,10
	900	2,10	4,90	3,90	3,63
	1.200	3,00	3,50	2,90	3,13
	1.500	3,10	3,30	4,30	3,57

EK 1 – Tablo 4.5. Desteksiz delme metodu kuvvet verileri

Desteksiz									
Fener mili hızı (dev/dak.)	İlerleme hızı (mm/dak.)	F _{Z1} (N)	T ₁ (sn)	F _{Z2} (N)	T ₂ (sn)	F _{Z3} (N)	T ₃ (sn)	Ort_Fz (N)	Ort_T (sn)
3.000 dev/dak.	300	126,70	0,80	125,30	0,77	126,50	0,56	126,17	0,71
	600	173,50	0,63	176,20	0,65	181,80	0,62	177,17	0,63
	900	226,30	0,60	239,80	0,62	246,80	0,76	237,63	0,66
	1.200	300,40	0,39	284,30	0,31	295,30	0,23	293,33	0,31
	1.500	344,30	1,21	365,30	0,78	367,70	1,05	359,10	1,01
6.000 dev/dak.	300	90,92	0,19	98,67	0,16	98,93	0,19	96,17	0,18
	600	130,30	0,40	134,20	0,49	136,50	0,35	133,67	0,41
	900	167,50	0,32	168,50	0,23	162,60	0,18	166,20	0,24
	1.200	195,60	0,42	191,90	0,57	199,40	0,51	195,63	0,50
	1.500	202,50	0,47	209,40	0,52	232,90	0,27	214,93	0,42

EK 1 – Tablo 4.6. Kestamit destekli delme metodu kuvvet verileri

Kestamit destek									
Fener mili hızı (dev/dak.)	İlerleme hızı (mm/dak.)	F _{Z1} (N)	T ₁ (sn)	F _{Z2} (N)	T ₂ (sn)	F _{Z3} (N)	T ₃ (sn)	Ort_Fz (N)	Ort_T (sn)
3.000 dev/dak.	300	117,60	0,75	117,50	0,86	126,90	0,35	120,67	0,65
	600	171,70	0,59	166,70	0,83	184,40	0,37	174,27	0,60
	900	213,70	0,56	230,50	0,65	234,70	0,80	226,30	0,67
	1.200	287,30	0,68	292,70	0,48	295,10	0,48	291,70	0,55
	1.500	363,00	0,64	336,30	0,56	362,00	0,84	353,77	0,68
6.000 dev/dak.	300	87,37	0,36	93,40	0,22	96,50	0,26	92,42	0,28
	600	120,90	0,45	133,10	0,24	133,70	0,22	129,23	0,30
	900	145,70	0,37	158,40	0,40	162,60	0,41	155,57	0,40
	1.200	179,20	0,57	188,00	0,32	190,30	0,71	185,83	0,54
	1.500	208,40	0,40	209,30	0,75	211,70	0,71	209,80	0,62

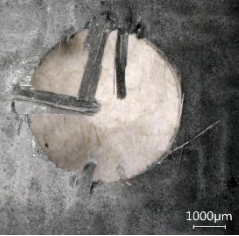
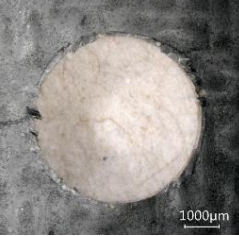
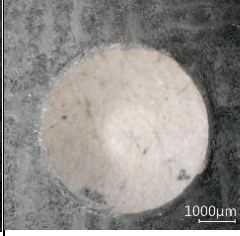
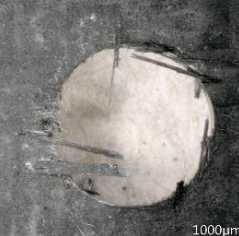
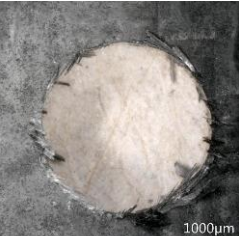
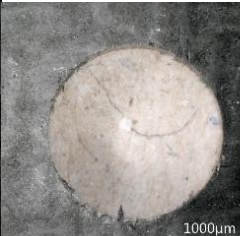
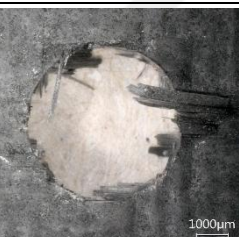
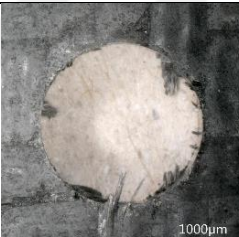
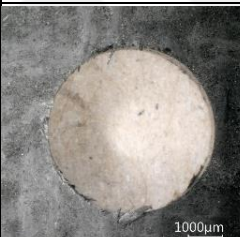
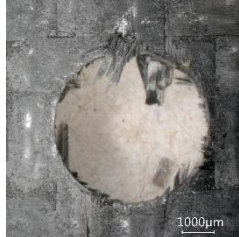
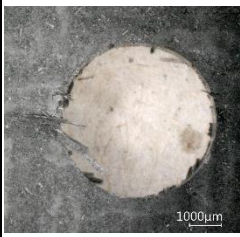
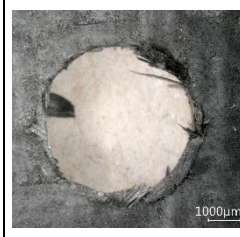
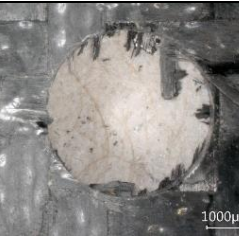
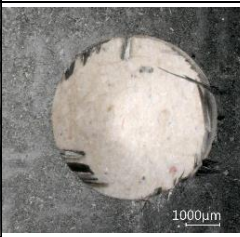
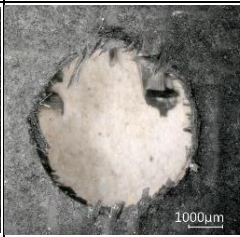
EK 1 – Tablo 4.7. Ahşap destekli delme metodu kuvvet verileri

Ahşap Destek									
Fener mili hızı (dev/dak.)	İlerleme hızı (mm/dak.)	F _{Z1} (N)	T ₁ (sn)	F _{Z2} (N)	T ₂ (sn)	F _{Z3} (N)	T ₃ (sn)	Ort_F _Z (N)	Ort_T (sn)
3.000 dev/dak.	300	119,40	0,23	118,50	0,22	122,10	0,20	120,00	0,22
	600	170,30	0,22	180,20	0,59	184,40	0,25	178,30	0,36
	900	222,40	0,61	232,40	0,49	214,20	0,65	223,00	0,58
	1.200	278,90	0,70	286,40	0,66	299,30	0,63	288,20	0,66
	1.500	370,30	0,56	366,20	0,63	365,60	0,77	367,37	0,65
6.000 dev/dak.	300	86,68	0,14	92,29	0,17	94,19	0,14	91,05	0,15
	600	124,00	0,32	133,00	0,31	130,70	0,26	129,23	0,30
	900	153,40	0,46	156,70	0,37	157,80	0,46	155,97	0,43
	1.200	172,60	0,22	189,80	0,52	201,20	0,64	187,87	0,46
	1.500	206,40	0,49	207,30	0,60	200,50	0,61	204,73	0,57

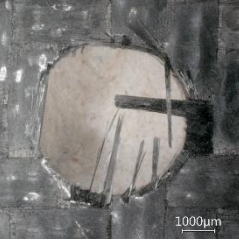
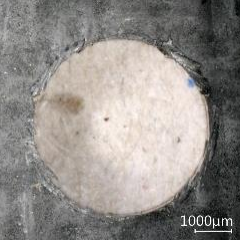
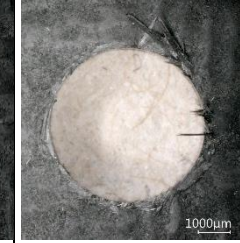
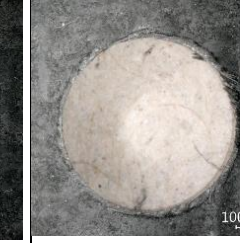
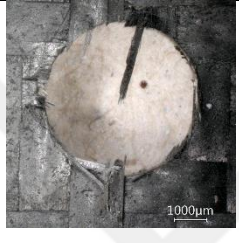
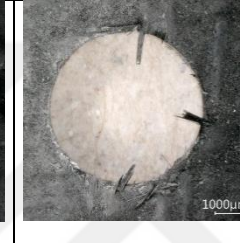
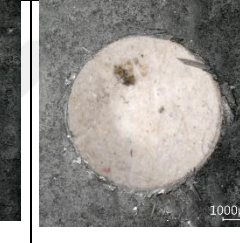
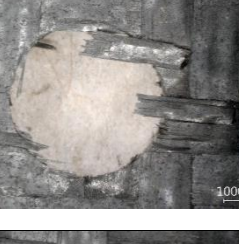
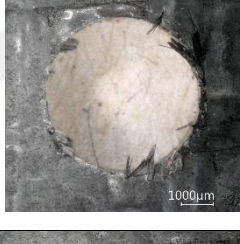
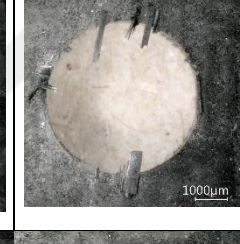
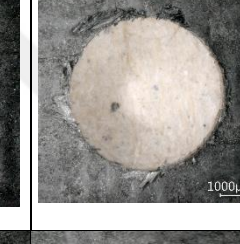
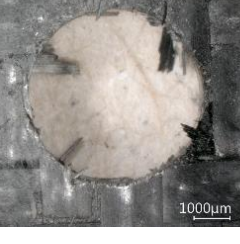
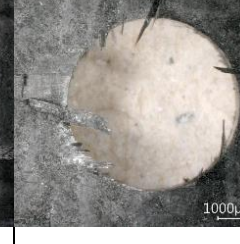
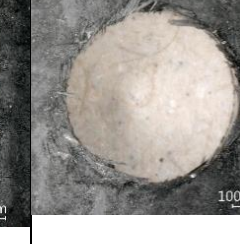
EK 1 – Tablo 4.8. Ahşap destekli delme metodu kuvvet verileri

Alüminyum Destek									
Fener mili hızı (dev/dak.)	İlerleme hızı (mm/dak.)	F _{Z1} (N)	T ₁ (sn)	F _{Z2} (N)	T ₂ (sn)	F _{Z3} (N)	T ₃ (sn)	Ort_F _Z (N)	Ort_T (sn)
3.000 dev/dak.	300	115,30	0,60	123,20	0,32	120,10	0,23	119,53	0,38
	600	163,50	0,60	169,00	0,55	176,70	0,30	169,73	0,48
	900	227,60	0,83	233,10	0,53	240,90	0,48	233,87	0,61
	1.200	274,40	0,67	281,70	0,44	300,30	0,63	285,47	0,58
	1.500	353,40	0,57	364,60	0,54	372,90	0,73	363,63	0,61
6.000 dev/dak.	300	83,43	0,27	92,99	0,21	95,72	0,27	90,71	0,25
	600	117,90	0,46	125,60	0,30	125,40	0,33	122,97	0,36
	900	146,60	0,37	171,80	0,37	170,80	0,37	163,07	0,37
	1.200	176,60	0,24	183,50	0,50	196,40	0,59	185,50	0,44
	1.500	206,30	0,37	216,10	0,73	214,90	0,23	212,43	0,44

EK 1 – Tablo 4.9. 3.000 dev/dak. fener mili hızında delinen deliklerin elektron mikroskobu ile 30x büyütme ile alınmış görüntüler

3.000 dev/dak				
İlerleme hızı	Desteksiz	Ahşap Destekli	Kestamit Destekli	Alüminyum Destekli
300 mm/dak.				
600 mm/dak.				
900 mm/dak.				
1.200 mm/dak.				
1.500 mm/dak.				

EK 1 – Tablo 4.10. 6.000 dev/dak. fener mili hızında delinen deliklerin elektron mikroskobu ile 30x büyütme ile alınmış görüntüler

6.000 dev/dak				
İlerleme hızı	Desteksiz	Ahşap Destekli	Kestamit Destekli	Alüminyum Destekli
300 mm/dak.				
600 mm/dak.				
900 mm/dak.				
1.200 mm/dak.				
1.500 mm/dak.			