



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

**KARBON FİBER TAKVİYELİ KOMPOZİT
MALZEMENİN KURU VE KRİYOJENİK ŞARTLARDA
DELİNEBİLİRLİĞİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI**

Ahmet Said YÖRÜK

BURDUR, 2017

**T.C.
MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS**

**KARBON FİBER TAKVİYELİ KOMPOZİT
MALZEMENİN KURU VE KRİYOJENİK ŞARTLARDA
DELİNEBİLİRLİĞİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI**

Ahmet Said Yörük

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Gültekin BASMACI

BURDUR, 2017

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

Ahmet Said YÖRÜK tarafından Yrd. Doç. Dr. Gültekin BASMACI yönetiminde hazırlanan “KARBON FİBER TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMENİN KURU VE KRİYOJENİK ŞARTLARDA DELİNEBİLİRLİĞİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 8/12/2017

Yrd. Doç. Dr. Gültekin BASMACI

(Başkan)

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
(İmza)

Doç. Dr. Uğur KÖKLÜ

(Jüri Üyesi)

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi
(İmza)

Yrd. Doç. Dr. Lokman YÜNLÜ

(Jüri Üyesi)

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
(İmza)

ONAY

Bu Tez, Enstitü Yönetim Kurulu'nun _____ Tarih ve _____ Sayılı Kararı ile Kabul Edilmiştir.

Prof. Dr. İskender GÜLLE

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

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 Malzemenin Kuru ve Kriyojenik Şartlarda Delinebilirliğinin Deneysel Araştırılması”** 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.

.... / / 20..

(İmza)

Ahmet Said YÖRÜK

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Yrd. Doç. Dr. Gültekin BASMACI 'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tez kapsamında deneysel çalışma ve gerekli ölçümleri yapmamda yardımcı olan değerli hocam, Doç. Dr. Uğur KÖKLÜ ile Arş. Gör. Sezer MORKAVUK'a teşekkür ederim.

0402-YL-16 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

Ayrıca maddi manevi destekleriyle beni teşvik eden babam Yrd.Doç.Dr Abdulkadir YÖRÜK'e teşekkürlerimi sunarım.

Aralık, 2017

Ahmet Said YÖRÜK

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ÖZET	vii
SUMMARY	viii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	1
2.1. Kompozitin Tarihçesi	2
2.2. Karbon Fiber Takviyeli Kompozit Malzemeler	6
2.2.1. Karbon Fiber.....	6
2.2.2. Karbon Fiberin Üretimi	6
2.2.3. Karbon Fiberin Fiziksel Özellikleri ve Kullanım Yerleri.....	8
2.2.4. Karbon Fiber Takviyeli Kompozit Malzemenin İşlenebilirliği.....	11
2.3. Delik Delme Prosesi	12
2.3.1. Kesme Kuvveti ve Moment	14
2.3.2. Güncel Literatür Taraması	15
3. MATERYAL ve METOT.....	18
3.1. Kriyojenik Sistem	18
3.2. Deney Düzeneği ve Kesme Parametreleri	19
3.3. Kesici Takım ve Kompozit Malzeme.....	22
3.4. Ölçümlerin Yapılması.....	24
3.4.1. Delaminasyon Nedir, Nasıl oluşur.....	24
4. BULGULAR	27
4.1. İtme Kuvveti Ölçüm Sonuçları.....	27
4.2. Delaminasyon Ölçüm Sonuçları	31
4.3. Koordinat Ölçüm Cihazı (CMM) Ölçüm Sonuçları	33
4.4. Taramalı Elektron Mikroskobu ve Atomik Kuvvet Mikroskobu Ölçüm Sonuçları.....	36
4.5. Aşınma	41
5. TARTIŞMA ve SONUÇLAR	43
KAYNAKLAR	44
ÖZGEÇMİŞ.....	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Kompozit malzemenin genel tanımı	1
Şekil 2.2. Boeing şirketine ait bir uçakta kullanılan malzemeler	10
Şekil 2.3. RC helikopterler için tasarlanmış karbon fiber kuyruk	11
Şekil 2.4. Kesici ucu etkileyen kuvvetler	14
Şekil 3.1. Sıvı nitrojen muhafaza kabı ve deney kalıbına dökülmesi	18
Şekil 3.2. Kuvvet ölçüm sistemi ve deney düzeneği CNC tezgaha monte edilişi	19
Şekil 3.3. Deney ve ölçüm seti	21
Şekil 3.4. Deneyleerde kullanılan farklı çaplı matkaplar (4 ve 6 mm)	22
Şekil 3.5. Deneyleerde kullanılan farklı çaplı matkaplar (4 ve 6 mm)	22
Şekil 3.6. Deneyleerde kullanılan kompozit malzeme	23
Şekil 3.7. Kompozit malzemelerin delinmesinde delaminasyon oluşum mekanizmaları..24	24
Şekil 3.8. Delaminasyon faktörünün belirlenmesi	25
Şekil 3.9. Deformasyon ölçümlerinin yapıldığı mikroskop (Olympus SZX7 stereo trinocular mikroskop ile12.5X büyütme)	26
Şekil 3.10. Deformasyon ölçümlerinin görüntüleri	26
Şekil 4.1. İtme kuvveti-zaman ilişkisi.....	27
Şekil 4.2. Farklı ilerleme miktarlarının itme kuvvetine etkisi	29
Şekil 4.3. Kuru kesme şartlarında farklı kesme şartlarının itme kuvvetine etkisi.....	29
Şekil 4.4. Kriyojenik kesme şartlarında farklı kesme şartlarının itme kuvvetine etkisi	30
Şekil 4.5. Delik sayısı değişimi ile kuvvet değişimi	30
Şekil 4.6. Kuru kesme şartlarında farklı kesme şartlarının delaminasyon hasarına etkisi..31	31
Şekil 4.7. Kriyojenik kesme şartlarında farklı kesme şartlarının delaminasyon hasarına Etkisi	32
Şekil 4.8. Delik sayısı değişimi ile delaminasyon hasar değişimi	32
Şekil 4.9. CMM cihazında delik ölçümü	33
Şekil 4.10. Kuru kesme şartlarında kesme parametrelerinin delik çapına etkisi	34
Şekil 4.11. Kriyojenik kesme şartlarında kesme parametrelerinin delik çapına etkisi	35
Şekil 4.12. Delik sayısı artışı ile delik çap değişimi	36

Şekil 4.13. Atomik kuvvet mikroskobu (AFM)	37
	Sayfa
Şekil 4.14. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)	37
Şekil 4.15. Çeşitli işleme koşullarında ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kök ortalama karesi pürüzlülüğü	38
Şekil 4.16. Kuru ve kriyojenik şartlarda delinmiş deliklerin üç boyutlu AFM görüntüleri	39
Şekil 4.17. Kuru kesme şartları altında deliklerin SEM görüntüleri,	40
Şekil 4.18. Kriyojenik delme şartları altında deliklerin SEM Görüntüleri	41
Şekil 4.19. Kuru ve kriyojenik şartlarda takımın aşınma miktarı	42



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Kesme şartları	20
Çizelge 3.2. Karbon fiber takviyeli kompozit malzemenin mekanik özellikleri	23
Çizelge 4.1. Kesme değerlerine karşılık oluşan itme kuvvetleri.....	28



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

AFM	: Atomik kuvvet mikroskobu
CFRP	: Karbon fiber takviyeli polimer matrisli kompozitler
CNC	: (Computer Numerical Control), bilgisayar sayımlı yönetim
CMM	: (Coordinate Measurement Machines)Kordinat ölçüm cihazı
D	: Matkap çapı
d	: Delaminasyon oranı
D_{maks}	: En büyük çap
D_{delik}	: Delik çapı
Fvz	: İlerleme kuvveti
Frz	: Radyal kuvvet
Fsz	: Kesme kuvveti
g/cm³	: gram / santimetre küp
GPa	: Giga pascal
LN₂	: Sıvı nitrojen
m	: Metre
mm	: Milimetre
m/dak	: metre/ dakika
MPa	: Mega pascsal
mm/dev	: milimetre / devir
N	: Newton
PAN	: Poliakrilonitril
RC	: (Remote Control) uzaktan kumanda
Ra	: Ortalama yüzey pürüzlülüğü
Rq	: Kök kare ortalama pürüzlülük
Sn	: Saniye
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
°C	: Derece santigrad
°	: Derece
µm	:Mikro metre

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

**Karbon Fiber Takviyeli Kompozit Malzemenin
Kuru Kriyojenik Şartlarda Delinebilirliğinin Deneysel Araştırılması**

Ahmet Said Yörük

**Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Malzeme Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Gültekin BASMACI

Aralık, 2017

Karbon fiber takviyeli polimerik (CFRP) malzemelerin homojen olmaması ve anizotropi nedeniyle işlenmesi oldukça zor bir görevdir. CFRP işlendiğinde malzeme içinde çeşitli hatalar oluşur ve bu malzeme özellikleri nedeniyle işleme kalitesi bozulur. Son yıllar da çevreye duyarlı, temiz ve toksik olmayan bir soğutucu olarak kabul edilen sıvı azot, işlenebilirliği artırmak ve malzemenin işlenmesi esnasında oluşan yüzey hasarını önlemek için kullanılmaktadır. Bu çalışmada CFRP delinmesi için daldırma kriyojenik işleme olarak adlandırılan yeni, bir kriyojenik işleme tekniği uygulanmıştır. Bu deneysel çalışmada ilerleme hızı ve matkap çapının oluşturduğu itme kuvveti, delaminasyon faktörü, yüzey kalitesi ve matkap aşınması üzerine etkisi araştırılmıştır. İşlenmiş yüzeyler taramalı elektron mikroskopu ve atomik kuvvet mikroskopu kullanılarak detaylı olarak analiz edilmiştir. Sonuçlar, daldırma kriyojenik tekniği ile CFRP'nin delinmesinin kolaylaştığı, delinmiş parçaların ve takım aşınmasının ve yüzey pürüzlülüğünü azaltarak işlenebilirliği büyük ölçüde artırdığını gösterdi. Bununla birlikte, itme kuvveti ve delaminasyon faktörü artmıştır.

Anahtar Kelimeler: CFRP; kriyojenik; delik delme; matkap aşınması; yüzey kalitesi

Hazırlanan bu Yüksek Lisans Tezi Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü Tarafından 0402-YL-16 proje numarası ile desteklenmiştir.

SUMMARY

M.Sc Thesis

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

Ahmet Said Yörük

**Mehmet Akif Ersoy University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Material Technologies Engineering**

Supervisor: Assit. Prof. Dr. Gültekin BASMACI

December, 2017

Machining of carbon fiber-reinforced polymer (CFRP) is a rather hard task due to the in homogeneity and anisotropy of this material. Several defects occur in the material when CFRP is machined and machining quality deteriorates owing to these material properties. In recent years, liquid nitrogen has been considered an environmentally safe, clean, and non-toxic coolant used to cut various materials in order to enhance machinability and prevent damage during machining. In this study, a new, eco-friendly cryogenic machining technique called dipped cryogenic machining was applied for the drilling of CFRP. This experimental study investigated the effect of feed rate and drill diameter on the thrust force, delamination factor, surface quality and drill wear. Machined surfaces were analyzed in detail using a scanning electron microscope and atomic force microscope. Results indicated that the drilling of CFRP with the dipped cryogenic machining approach greatly improved machinability by reducing the surface roughness of the drilled parts and tool wear. However, it increased the thrust force and delamination factor.

Key Words: CFRP; cryogenic; drilling; drill wear; surface quality

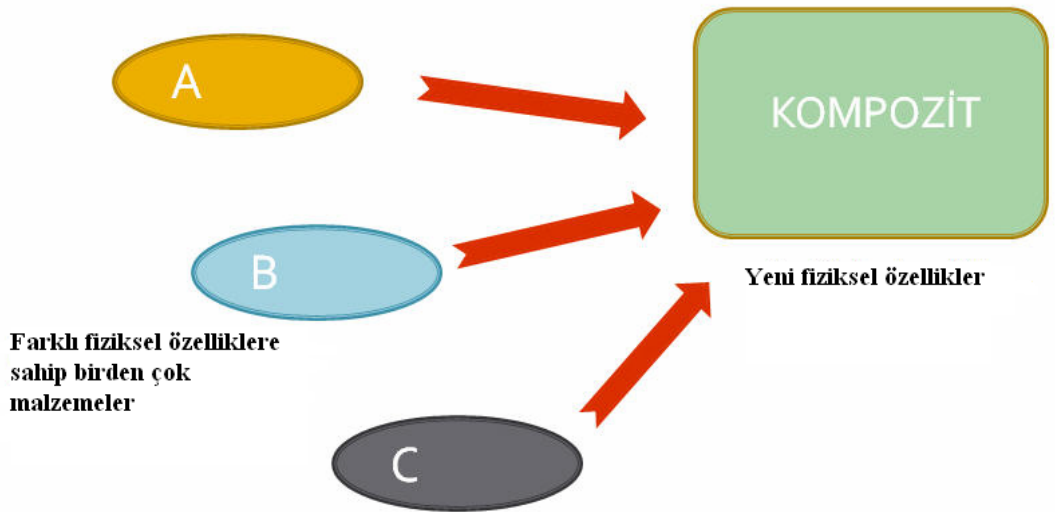
The present M. Sc. Thesis was supported by Mehmet Akif Ersoy University Scientific Research Projects Coordinatorship Under the Project number of 0402-YL-16.

1. GİRİŞ

Bilimsel gelişmeler, mühendislik alanındaki problemlere farklı bir yaklaşım getirmiştir. Bilinen malzeme ve üretim yöntemlerin, yerini yeni materyallere, üretim ve imalat şekillerine bırakmışlardır. Materyal seçimleri, materyallerin çalışma şekline göre yenilendiği gibi imalat şekilleri de bu materyallerin üretimine uygun olarak tasarlanmıştır. Bunun için kompozit malzemelerin, diğer malzemelerden yüksek olan yönleri dolayısıyla pek çok sanayi alanında daha önceki malzemelerin yerine geçmiştir. İmalat yöntemleri yeniden tasarlanmış, önceki imalat yöntemleri ile farklılıklar gözlemlenerek bu malzemelerin özelliklerinin daha ileriye götürmek için araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Farklı imalat yöntemlerinin geliştirildiği ve farklı imalat metotlarının belirlendiği bu süreçte ve yakın bir zaman diliminde daha da ilerleyeceği görülmektedir.(Acar, 2013).

2. GENEL BİLGİLERİ

Birçok farklı yapılarda olan malzemelerin fiziksel olarak birleşmesiyle meydana gelen malzemeler kompozit malzemeler denir. Bu malzemelerin içinde, herhangi bir kimyasal reaksiyon ya da bağ oluşturma gerçekleşmez. Kompozit malzemenin basitçe gösterimi Şekil 2.1’de görülmektedir.



Şekil 2.1. Kompozit malzemenin genel tanımı (Dokur, 2009).

Farklı yapıya sahip birden çok malzemenin, aralarında farklılık gösteren bir ara yüzey bulunan ve bu malzemelerin makroskobik birlikteliği neticesinde, bir araya getirilen malzemelerin gösteremediği veya daha iyi fiziksel özellikleri elde etmek için kompozit malzemeler imal edilir. Kompozit malzemelerin mühendislik uygulamalarında tercih edilme sebebi diğer malzemelere göre daha yüksek rijitlik, mukavemet ve yüksek sıcaklık performansı, korozyon direnci, sertlik ve iletkenlik ve daha hafif olmaları gibi etkenlerdir. Kompozit malzeme genel olarak, kendisini oluşturan malzemelerin tek başlarına gösterdikleri fiziksel özelliklerden daha iyi neticeler gösterir (Dokur, 2009).

Kompozitlerde kullanılan yapı elemanları, metaller, polimerler, kompozitler ve seramikler olmak üzere dört kategoride toplanmaktadır. Bazı kompozit malzemeler çok eski zamanlardan beri bilinip kullanılmaktadır (Şen vd., 2010).

2.1 Kompozitin Tarihçesi

Kompozit malzemeler eski çağlardan mevcuttur. Arkeologlar Mısırda M.Ö. 2800 yıllarında birleştirilerek elde edilmiş tahta tabakalar bulmuşlardır. Balçık harç yapımında kullanılan çamur içine karıştırılan eskitilmiş saman çöpleri ile yapılan kerpiç de bir kompozit malzemedir. Son bir asırda alüminyum alaşımları uçak iskeleti olarak kullanılmaktadır. Duralümin olarak isimlendirilen bu alaşım Cu, Mg ihtiva etmektedir. Saf Al daha ağır olmasına rağmen dayanımın yüksek olduğu tespit edilmiş olup ve I. Dünya savaşı sırasında bu malzemedan uçak üretimi gerçekleştirilmiştir. Kompozit malzemelerin ilerlemesi ise, II. Dünya savaşı esnasında mevcut malzemelerin ilerleyen teknoloji karşısında belli ihtiyaçlara cevap verememesi nedeni ile başlamış ve o zamandan beri bu malzemelerin üretimi ve geliştirilmesi için yapılan faaliyetler ilerleyerek devam etmektedir (Demirel, 2007).

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

Delik delme işlemi, diğer talaşlı imalat yöntemleri içinde ki oranı kayda değer yüksekliktedir. Talaşlı imalatta ekseriyetle delik delme işlemi esnasında karşılaşılan sorunların halledilmesine yönelik olarak yapılacak hamleler büyük önem arz etmektedir. Talaşlı imalat işlemlerinde, son yapılan kesme işlemlerinde yüzey kalitesini etkileyen kesme değerleri bulunmaktadır. Bunlar; Kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme hızı değerleri kontrol edilebilen parametrelerdir. Fakat takım geometrisi, takım aşınması, talaş yükleri ve talaş oluşumu veya takım, iş parçası malzeme özellikleri gibi değerler kontrol altına alınamamaktadır. (Sarıkaya, 2011).

İmalatın hedefi, hammadde ile başlayan serüveni ürün ile neticelendirebilmektir. Bu dönüşümün oluşması için farklı metot ve yöntemler kullanılmaktadır. İmal usulleri adı verilen bu yöntemler, talaşlı imalat ve talaşsız imalat yöntemleri olarak iki temel gruba ayrılabilir. Bunların arasındaki farklılık; talaşlı imalat yöntemlerinde hammaddeden ürüne doğru yol alma esnasında hammadde üzerinden talaş kaldırılması (tornalama, frezeleme, delme, vb), talaşsız imalat şeklinde ise hammadde üzerinden talaş kaldırmadan bu işlemlerin (kaynak, döküm, dövme, vb) yapılabilmesidir. Neticede, hammadden ürüne dönüşümü gerçekleştirmektir. Bu dönüşümün gerçekleştirilebilmesi için farklı teknolojik şekiller kullanılabilir. Talaşlı imalat; kesici takımın iş parçasına göre nispi hareketleri sonucunda, iş parçasının belirli bir bölümünden veya tamamından plastik deformasyon oluşturularak malzemenin şekillendirilmesidir.

Delik delme işlemi talaşlı imalatta genel olarak kullanılan yöntemlerden biridir, bunun için kullanılan makine ve teçhizat sayıca her gün daha da artış göstermektedir.

Delme işlemi genel olarak dönen ve aksel hareket eden iki ağıza sahip matkap ismi verilen kesici takım ile iş parçası üzerinde talaş kaldırılarak silindirik boşluklar oluşturma işlemi olarak tanımlanır. Matkap ismi verilen delme işlemi yapan iki veya daha fazla kesici kenara ve helisel veya düz kanala sahip, dönen bir takımdır. Bu kesici takımların muhtelif çap ve boylarda büyüklükleri vardır. Matkaplar talaşlı üretimde en çok kullanılan kesici takım gruplarından biridir. Dünya üzerinde sarf malzeme olarak en çok matkap takımı kullanılmakta olduğu tahmin edilmektedir. Bir başka araştırmada, havacılık endüstrisinde gerçekleştirilen delik delme işlemlerinin tüm metal işleme işlemlerinin % 40'ını kapsadığı bildirilmektedir (Kılıçkap, 2010).

Metal işleme sanayisinde delme işlemi önemli bir yer tutmaktadır. Burada sağlanacak performans artışları (proses parametrelerinin optimizasyonu ve matkap

uçlarının ömrünün artırılması) maliyetlere ve kaliteye kayda değer katkıda bulunacaktır (Savaşkan, 2010).

Talaşlı imalatın ideal ve ekonomik olması ve takım ömrünün uzunluğu için en uygun kesme değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Yatırım maliyetlerinin düşüklüğü, kullanılan makine ve teizatın ömrünün uzun oluşu, işleme değerlerinin en uygun şekilde olması ve en önemlisi de üretilen malzemenin ölçü ve yüzey kalitesinin iyi olması talaşlı imalatın diğer imalat yöntemlerine göre tercih sebeplerinin önünde gelmektedir (Yılmaz, 2010).

Talaşlı imalat, malzemenin arzu edilen boyutlara getirilmesi için iş parçası üzerinden malzemenin eksiltilmesidir. Talaşlı imalat, kesici takım ve iş parçasının birbirlerine olan hareketleri ile iş parçasının üzerinde belirli bir kısımda, gerilim oluşturması sonucu meydana gelmektedir. Talaş kaldırma sırasında da kesici takım ile malzeme arasında ki temas nedeniyle ortaya çıkan sürtünme ve malzeme deformasyonu sonucu gayet yüksek bir ısı meydana gelmektedir. Talaş kaldırma da kullanılan mekanik enerjinin büyük bir kısmına yakını ısı enerjisine dönüşür. Oluşan bu ısı  yolla kesme yerinden uzaklaştırılır (talaş, takım ve iş parçası). İş parçası üzerine fazla ısı oluşursa, gerilme ve genleşme nedeniyle parçanın ölçü tamlığında problem oluşur. Bu oluşan fazla ısı iş parçası yüzeyine ve mekanik özelliklerine zarar verebilir. Fazla ısının kesici takım üzerinde akımda yanma olur ve kesici takım bozulabilir ve takım ömrünü azalmasına neden olabilir. Talaşlı imalat sırasında kesme sıvısı kullanılması durumunda ise iş parçası ve takım arasındaki oluşan ısının uzaklaştırılması veya tahliyesi daha çabuk ve kolay olmaktadır. Takım-talaş arasında kullanılan soğutma sıvısı nedeniyle oluşan ısının en azından %50'si işlem sırasında talaşla ve soğutma sıvısıyla birlikte uzaklaştırılması sağlanır.

Talaşlı imalat da kullanılmakta olan soğutma sıvılarının, parçaların yüzey ve boyut kalitesini iyileştirmede ki önemi büyüktür. Soğutma sıvıları imalat sırasında meydana gelen ısı ve sürtünmeden kaynaklı yüzey hasarlarının önemli ölçüde azalmasına katkıda bulunmaktadır. Soğutma sıvıları, doğru uygulandığı ölçüde, bir yandan iş parçası üzerinde ki yüzey ve ölçülerinde uygunluğun rahatlığı ve daha iyi yüzey kalitesi oluşurken, diğer yandan kesici takımların ömrünün uzunluğu gözlemlenebilir. Talaşlı imalatta, kullanılan kesme sıvıları birçok olumlu etkileri sebebiyle çok önemli bir yere haizdir. Fakat bu kesme sıvıları evre için bir kimyasal atık tehlikesi doğurmakta ve imha edilmeleri ve arıtılmaları

artan ekonomik masraflara sebep olmaktadır. Büyük ölçüde yarar sağlamalarına rağmen talaşlı imalat çalışmalarında kesme sıvısı kullanımını azaltmak ve alternatif yöntemler bulmak için bir hayli gayret sarf edilmektedir (Tosun, 2010).

Talaşlı imalatta kesme ve soğutma sistemlerinin her geçen gün yenilenmesi ile birlikte takım ömrü ve yüzey kalitesinin artması ve yüzey kalitesinin daha yüksek değerlere ulaşması hedeflenmektedir. Matkapla delik delme işlemlerinde, kesme ve soğutma sıvılarının faydalarının artırıldığı, zararlarının minimize edildiği pek çok araştırma bulunmaktadır (Perçin, 2015).



2.2 Karbon Fiber Takviyeli Kompozit Malzemeler

2.2.1. Karbon Fiber

Karbon fiberlerin kullanımı geçtiğimiz zamanlara göre daha da artan, en yaygın kullanıma sahip takviye elemanlarından biridir. Bu fiberler, bünyelerinde %90'dan fazla karbon ve farklı oranlarda azot, oksijen ve hidrojen elementlerini bulundurmaktadır (Akgün, 2008).

Karbon elementi yoğunluğu 2.268 g/cm^3 olan gayet hafif elementler grubundadır. Bununla birlikte karbonun bünyesinde çok farklı kristal yapı bulunmaktadır. Fiber üretiminde, kullanılan takviye amaçlı karbon fiberler hegzagonal yapıda olan grafit kristalleri şeklindedir. Karbon, elmas şeklinde iken kovalent yapıda olup; grafit kristalleri, karbon atomlarının üç boyutta dizilmeleri sonucu meydana gelen elastiklik modülü yüksek değerleri sağlayan hegzagonal kristal şeklinde bulunmaktadır. Karbon fiberler sürekli veya kısa olabilmekle beraber fiber çapları $7-8 \text{ }\mu\text{m}$, boyutlarında bulunmaktadır (Sabancı, 2005 ve Bayraktar, 2011).

2.2.2. Karbon Fiberin Üretimi

Karbon fiber üretiminde birçok metot bulunmaktadır. Ticari amaçlı karbon fiberin üretimi piroliz (yanma) ve ısı işleminden geçirilmesi ile sentetik fiberlerin karbon ve grafit fiberlere dönüştürülmesi şeklinde olmuştur. Karbon/grafit fiber elde etme şekli, esas olarak ilk zift kullanıldığını kabullenmektedir. Bu zift, sıvı kristal "mesophase" zift haline dönüştürülmekte ve sıvılaştırılmış kristal zift, piroliz işleminden geçirilmektedir. Bu sıvıdan meydana gelecek fiberlerin yüksek elastiteye sahip takviye özelliği ve yüksek mukavemet değerlerine ulaşabilmesi için ısı verilmektedir. Isı verilen sıvı kristaller fiberlere dönüşmektedir. Karbon fiberlerin kimyasal özelliklerinden meydana gelen bazı farklılıklar bulunmaktadır. Fiberlerin boylarında bulunan sınırlı uzama miktarı bazı darbe problemlerini meydana getirmektedir. Bu dezavantajı kapatmak maksadıyla daha yüksek uzama miktarlarına sahip fiberler geliştirilmektedir. Karbon fiberin elektrik iletkenliğinin yüksek oluşu her alanda kullanılmasına olanak vermemektedir. Karbon fiberler demet, şerit ve kumaş halinde üretilmektedir. Daha çok termoplastik ve termoset hazır kalıplama şekillerinde katkı malzemesi olarak kullanılmak için, öğütülmüş ve kırılmış olarak bulunmaktadır. Grafit halindeki ısı iletkenliği çok yüksektir. Ağırlık olarak bakıra göre dörtte bir ağırlıkta olan grafit/karbon fiberin ısı iletkenliği bakırın üç, dört katı kadardır. Bu

fiziki özelliğinden dolayı yani kullanım alanları da meydana gelmektedir (Cam Elyaf, 2004).

Karbon fiberler, sentetik fiberlerin ısı verilerek değişmesi ile elde edilir. Üretiminde ham madde olarak zift veya poliakrilonitril (PAN) kullanılır. PAN' dan elde edilen karbon fiberler, ziftten meydana gelen fiberlere göre mekanik özellikleri daha iyi olmaktadır. Bunun için PAN' dan meydana gelen karbon fiberler daha fazla uygulama alanına sahiptir. PAN' dan karbon fiber elde edilmesi dört aşamada gerçekleşir. Bunlar;

oksidasyon,
karbonizasyon,
grafitizasyon,

kaplama şeklindedir. Akrilonitrilden üretilen PAN karbon fiber üretiminde kullanılmak için; ekstruder (sentetik fiberlerin eritme, karıştırma ve istenilen basınca ulaşması sağlayan makine) yardımı ile fiber şekli elde edilir. Karbon fiber üretimi için ilk aşama polimer fiberler buldukları yatay düzleme paralel olacak şekilde gerilir.

Oksidasyon: 200 – 300 °C sıcaklıklarda meydana gelir. Bu esnada, PAN'nın açık zincir şeklindeki kimyasal yapısı hegzogonal rengini alır.

Karbonizasyon: Azot ortamında şekildeki kararlı karbon-azot halkasına döner. Bunun neticesinde malzemenin erimesinin önüne geçilir. Bu işlem aşamasında, elyafların rengi beyaz, kahverengi, sonrada siyah meydana gelir. Burada ki, yüksek sıcaklıktan dolayı içinde bulunan uçucu malzemeler ortamdan ayrılarak safileşir. Karbonizasyon aşamasının neticesinde elde edilen karbon fiberler %92 oranında karbon içeriğine sahip hale gelirler.

Grafitizasyon: aşamasında, sıcaklık 1000–2500 °C çıkarılarak karbon fiberlerin mekanik özelliklerinin istenen şekli alması istenir. Karbon fiberlerin mekanik özellikleri grafitizasyon aşamasındaki gerilme ve yüksek sıcaklık ile belirlenir. Aynı sıcaklıkta 69 Gpa olan fiberler gerçekleşen grafitizasyon aşamasında, fiberlerin gerilmesi ile 690 Gpa çekme modülüne yüksele bilen fiberler elde edilir. Yüzeyi temizlenen fiberler, reçine ile kaplanarak son halini almaktadır (Akgün, 2008).

PAN' nın bünyesindeki mikro yapılarındaki farklılıklar karbon fiberi ve grafiti birbirinden ayırmaktadır. Grafitin yapısında bulunan karbon atomları uzun mesafeli bir dizilişe ile paralel katmanlar şeklindedir. Katmanlar arasında zayıf Vander Valls bağları ile bulunmaktadır. Grafitin gevrek bir malzeme olmasının nedeni katmanlar arasındaki bağların kırılabilir olması ve katmanlar birbiri üzerinden kaymasıdır. Karbon fiber ise grafitte

göre daha kısa mesafeli dizilen atomlara sahip olmaktadır. Karbon fiberler, birbirine paralel karbon katmanları yerine fiber eksenine paralel iki boyutlu karbon şeritler ihtiva etmektedir. Bu şeritler, fiber yüzeyine paraleldir. Karbon şeritlerin bazıları fiber eksenini boyunca uzanırken, bazıları düzensiz bir şekilde yönelir. Fiberlerin iç katmanlarının kıvrılma biçimi U şeklinde bulunmaktadır. Fiber eksenini boyunca uzanan katmanlar birbirlerine, kompleks bir şekilde bağlıdır. Karbon fiberlerin iç kısımlarında oluşan güçlü molekül bağları sayesinde yüksek mukavemete sahip olmaktadır. Bu yüzden, karbon fiberlerde karbon tabakaları grafitte olduğu gibi birbiri üzerinden kayamaz. karbon fiberler yüksek sıcaklıklarda daha kararlı bir hal almasının sebebi Grafitin rezonans ve düzenli yapısıdır (Akgün, 2008).

2.2.3. Karbon Fiberin Fiziksel Özellikleri ve Kullanım Yerleri

PAN dan elde edilen karbon fiberler, bünyesinde bulundurduğu yapı sayesinde yüksek mekanik özelliklere sahip malzemelerdir. Karbon fiberler, yorulma mukavemeti modül/ağırlık, mukavemet/ağırlık, oranları çok yüksek olan malzemelerdir. PAN esaslı karbon fiber malzemelerin elastitesi yüksektir; fakat gerilme eğrisi şekli lineer olmamaktadır. Bu malzemenin Young modülü, seçimli oryantasyonun derecesine, düzensiz bölgelerin ve kristalleşmiş grafitlerinin katmanlarına oranına göre değişkenlik gösterir. Bunun neticesinde, düzensiz yapıdaki PAN temelli karbon fiberlerin zift esaslı karbon fiberlere göre çekme mukavemeti yüksek olup Young modülü düşük olmaktadır. Katmanlar arasındaki yapının boşluklu ve kıvrımlı oluşu çatlakların büyümesine engel olmaktadır. Karbon fiber malzemeler kimyasal olarak bağ oluşturma özelliği bulunmadığı için, beraber buldukları malzemeler ile reaksiyona oluşturmazlar. Elektriksel ve termal iletkenlik değeri gayet yüksektir. Karbon fiberin içyapısında bulunan bağlardan dolayı ısıya karşı boyutsal stabilitesi yüksektir. Ayrıca, düşük yoğunluklu malzemeler olup çapları 5 - 8 μ arasında (insan saçından beş kat daha ince) değişmektedir.

Karbon fiberin yoğunluğunun ve mekanik özelliklerin yüksek oluşu en büyük avantajıdır. Bir mukayese yapmak gerekirse; karbon fiberler çeliğe nazaran 4,5 kat daha hafif olup gerilme direnci 3 kat daha yüksek olan malzemelerdir.

Karbon fiberlerin pahalı oluşu en büyük dezavantajlarıdır. Bunun yanında, 450 °C üzerinde ve atmosfer ortamında oksitlenmeleri; darbe dayanımının düşük olması dezavantajları arasındadır (Akgün, 2008).

Karbon fiber oda sıcaklığında, nemden, atmosferden, zayıf asit ve bazlardan etkilenmez. Düşük sıcaklıklarda, cam ve aramid fiberleri gibi gerilmeli korozyona karşı dayanıksız değildir. Yüksek sıcaklıklarda, diğer fiberler ile karşılaştırılmayacak kadar üstünlüklere sahiptir. Bunun yanında yüksek sıcaklıklarda oksitlenme önemli bir problemdir. Karbon fiberin özellikleri aşağıda verilmiştir.

- Fiber malzemeler arasında karbon fiber, en yüksek özgül mukavemete ve elastisite modüle sahiptir.
- Düşük yoğunluk ($2,3 \text{ gr/cm}^3$)
- Düşük ısıl genleşme katsayısı
- Oksijen bulunmayan koşullarda $3000 \text{ }^\circ\text{C}$ kadar termal kararlılık
- Mükemmel sürünme direnci
- Özellikle güçlü asitlere karşı kimyasal kararlılık
- Biyo uyumluluk
- Yüksek ısı iletkenliği
- Düşük elektrik direnci
- Sürekli aynı formda kullanılabilirliği
- Zamana bağlı azalan maliyet (Chung, 1994; Callister, 2011; Bayraktar, 2016).

Karbon fiber takviyeli plastikler (CFRP) hafiflik, yüksek, mukavemet ve sertlik gerektiren havacılık ve otomobil mekanik parçalarına yaygın olarak uygulanır. Havacılık ve otomobil endüstrisinde yerini almıştır (Duraod vd, 2010).

CFRP yüksek korozyon dayanımı ve hafifliğin yanısıra düşük ısıl genleşme katsayısı gibi önemli özellikleri sahiplenmektedir. Bunun neticesinde modern havacılık ve uzay sektöründe CFRP kullanımı her geçen gün daha da artmaktadır (Davimve Reis, 2002).

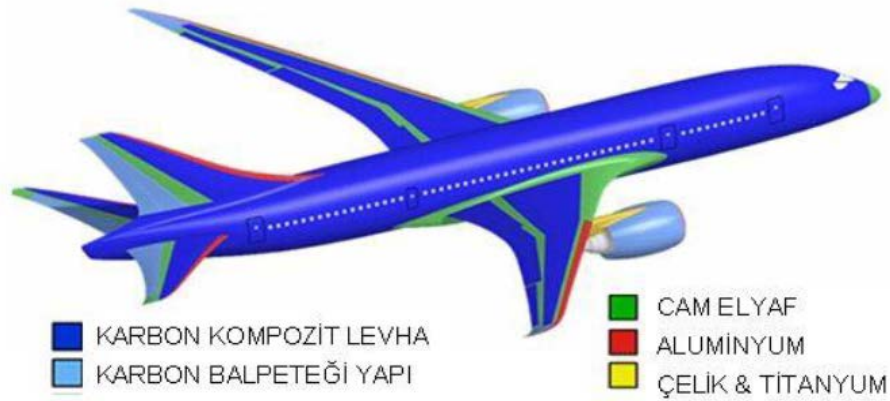
CFRP malzemeler montaj sırasında en çok delik delme işlemine maruz kalmaktadır. Delme işlemi sırasında delik kalitesi ve bütünlüğü olarak da farklılık göstermektedir (Shunmugesh, 2016).

Havacılığın önemli sınıfı CFRP malzemelerinin yüksek özelliklerinden dolayı yüksek mukavemet ve sertlik, uzun bir yorulma ömrü, düşük yoğunluk ve yüksek korozyon ve aşınma direnci; düşük (sıfıra yakın) doğrusal termal genleşme katsayısı nedeniyle, yüksek dereceli boyutlara sahip geniş bir sıcaklık aralığında kullanılabilir.

Bu kompozitler uçakların yapısal parçaları için büyük oranda kullanılır. Örneğin, Airbus A350 ağırlığının %52, Boeing 787 ve Bombardier C serisini %46'sı; CFRP gibi kompozit malzemelerin kullanımları giderek artmaktadır.

Kanat kutuları gibi farklı uçak parçalarında, gövde, kanatçık, kanat, spoyler, dikey stabilizatörler, cowlings, tuzaklar ve struts. Karbon serisinin yaklaşık %80 kanat kompozit malzemeler halinde, özellikle CFRP'den yapılmış kutu ve kanat derileri genellikle üretim süreci için, parça işleme, düzeltme, frezeleme ve delik delme şeklinde sıralana bilir. Bu yalnızca montaj için değil aynı zamanda Kontrollü olarak yüksek kaliteli parça yüzeyleri üretmek içinde geçerlidir (Seyedbehzad, 2015).

Airbus firmasında üretilen uçakların içinde bulunan Airbus A350XWB tipi uçağın %52'si karbon fiber takviyeli kompozit malzeme den oluşmaktadır. Rüzgar kanatları, gövde parçalarının imalatı CFRP den yapılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar neticesinde alüminyum alaşımlı uçakların ağırlığındaki düşüş %20'yi bulurken aerodinamik verimi yükselme sağlamıştır. Bu faydalarla birlikte kompozit malzeme den imal edilmiş uçakla alüminyum alaşımdan imal edilmiş uçak arasında fazla fiyat farkı görülmemektedir. Şekil 2.2'de Boeing firmasının ürettiği uçaklarda kullandığı malzemeler görülmektedir.



Şekil 2.2. Boeing şirketine ait bir uçakta kullanılan malzemeler (Özel ve Töre, 2007)

Ticari kullanımının yanı sıra hobi amaçlı drone, quadcopter gibi Remote Control (RC) yaygın olarak kullanılmakta olan hava araçları da bulunmaktadır. Bu gibi cihazlar her geçen gün kullanım amaçları sadece hobi olarak değil insanların gidemeyeceği uzaklık ve yükseklikteki yerlerin görüntülenmesi için de kullanılır haldedir. Bu tip araçların çalışma şekli genel de elektrikli motor sayesinde. Enerjilerini üzerlerinde bulundukları

pillerden alırlar. Enerjilerinin çabuk bitmemesi ve cihazın aktif kullanım süresinin fazla olabilmesi için pillerden çekilen akımın azalması gerekmektedir. Bu nedenle cihazın hafifliğinin yüksek olmasıyla birlikte mukavemetli olması da gerekmektedir. Kompozit malzeme kullanımının önemi burada bir daha gözönüne gelmektedir. Şekil 2.3’de RC helikopterler için kullanılıp tasarlanan CFRP kuyruk görülmektedir.



Şekil 2.3. RC helikopterler için tasarlanmış karbon fiber kuyruk (Anonymous, 2016)

2.2.4. Karbon Fiber Takviyeli Kompozit Malzemenin İşlenebilirliği

Havacılık ve uçak imalatı gibi sanayi alanlarında, karbon fiber takviyeli kompozitleri mükemmel mekanik özelliklerinden dolayı kullanılır. Kompozit malzemelerin delinmesi çok yaygın bir işlemdir.

Karbon fiber takviyeli kompozitlerin delik delinmesi esnasında, delaminasyon (delik yüzey hasarı) ve fiber çekilme sorunları ile karşılaşılır. Artan taleple birlikte gelişmiş kompozit malzemeler için farklı kesme koşulları gerekmektedir. Delik delinirken en yaygın kusur delaminasyondur. Delaminasyon, kompozit malzemenin yapısındaki lifler ve matris arasındaki heterojenlik yüzünden meydana gelir (Brinksmeier vd, 2011).

Zitoune ve diğerleri CFRP kompozit malzemenin kademeli matkap ile delinmesinde itme kuvveti, çap oranını, ilerleme hızı parametrelerinin önemini vurgulamaktadır (Zitoune, 2013).

Gaitone ve diğeri değişken ilerleme hızı CFRP kompozitlerinin soğutulmuş hava koşullarında delinmesinden sonra yüzey pürüzlülüğü ve bütünlük çalışmışlardır (Gaitone, 2008).

Rawat ve arkadaşları, CFRP malzemenin yüksek hızlarda delinmesi esnasında delaminasyona etki eden parametreler üzerinde çalışmışlardır (Rawat, 2009).

Capello, farklı matkaplarla delme işlemi yaparak CFRP malzemelerde oluşan delaminasyon uzantıları dijital güçlendirilmiş radyografi ve hesaplamalı görüntü işleme ve analiz teknikleri üzerinde çalışmışlardır (Capello, 2004).

2.3. Delik Delme Prosesi

Delik delme prosesi %33 oranında talaşlı imalatta yer alan en önemli işlemlerin başında gelmektedir. Buna ilaveten talaş imalat yapılırken geçen sürenin %25'i delik delme zamanını kapsamaktadır. Talaşlı imalatta ana hedef her zaman yüksek performans, düşük maliyet için uygun işleme şartlarını oluşturmak olmaktadır (Meral vd, 2011).

Yüzey pürüzlülüğü, kullanılan imalat yöntemleri ve başka etkilerle ortaya çıkan, parça yüzeyinde meydana gelen girintili ve çıkıntılı yüzey düzensizliklerinin ortalama değeri olarak tanımlanır.

Talaşlı imalatta yüzey kalitesi, ürünün nihai halinde istenen yüzey hassasiyetlerini sağlanması bakımından önemi büyüktür. Son yüzey kalitesini etkileyen faktörler kullanım amacı, malzemesi, uygulanan imalat işlemleri etki etmektedir. Her talaşlı imalat neticesinde elde edilen yüzey kalitesi ve yüzey pürüzlülüğü farklılık göstermektedir. Talaşlı imalat içerisinde birçok yüzey pürüzlülüğünü etki eden faktör bulunmaktadır. Bunlar; kesici takımın kalitesi kesme açıları, malzemenin sert veya yumuşak oluşu, soğutma sıvısı ve tezgâhın konstrüksiyonu, kesme hızı ve ilerleme oranı, paso derinliği, sıcaklık, gibi etkenlerdir. Bu etkenlerin birinin bile değiştirilmesi yüzey kalitesini de etkilemektedir. Fakat değişmeye sebebiyet veren faktörlerin etkileri birbirinden farklı ve bağımsız olabilecekleri gibi birbirlerini etkilemek yoluyla da de olabilir. Yüzey pürüzlülüğünü, üretim aşamasında meydana gelen küçük düzensizliklerden oluşturmaktadır (Arafat, 2009).

Makine parçalarının çalışması esnasındaki verimlilik açısından yüzey pürüzlülüğü önemli bir yer tutmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü yüzey kalitesinin belirlenmesinde kullanılan etkidir. Bu etken, ısı ve elektrik iletimi, sızdırmazlık, hidrodinamik, aşınma, sürtünme ve yağlama gibi farklı göz önün de bulundurulması gereken önemli bir değerdir.

İlerleme ve kesme derinliği, kesme hızı, gibi değerler yüzey pürüzlülüğünü direkt etkilemektedir (Tekaslan, 2008).

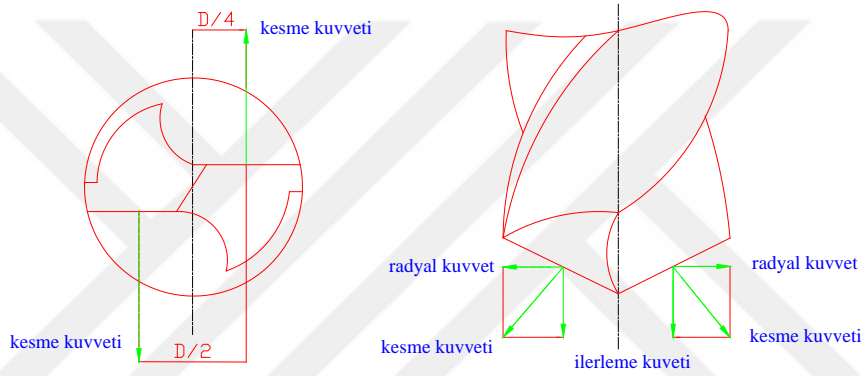
İlerleme ve kesme derinliği ve hızı gibi değerlerin iyi belirlenmediği durumda, çentik etkisine sebep olarak çatlak oluşumuna, yüzey kalitesinin azalmasına, yorulma ve korozyon dayanımının düşmesine sebep olmaktadır. Talaşlı imalat işlemlerinin optimizasyonu yüzey kalitesi yönünden önem arz etmektedir (Sur, 2011).

Talaşlı imalatta nihai işlemlerinin genel olarak sonucusu delik delme işlemidir. Üretimde aşamasında, ekonomik açısından büyük öneme taşımaktadır. Talaşlı imalat bünyesindeki Tornalama ve frezeleme işlemleri araların da, kinematik ve dinamik yapısının benzerlik oluşturup talaş akışı ve kesme sıcaklığı dağılımı aynı şekilde meydana gelir. Fakat talaş oluşumunun kapalı yerde gerçekleşiyor olması sebebiyle delik delme de, talaşın kontrol altına alınması zorlaşmaktadır. İş parçasından çıkan talaşın kalınlığı talaş akışını belirleyen faktördür. Delik delme işleminin ana sorunlarından biri matkap ile iş parçası arasında oluşan sürtünmeden dolayı yüzeyde oluşan sıcaklığın yetersizliği ve dönme ekseninde kesme hızının sıfır olmasıdır. Bunun neticesinde, malzemesinin geliştirilmesi, matkap geometrisi ile ilgili çalışmalar devam etmektedir (Bayraktar vd, 2016).

Matkap ile delik delmenin gerçekleşmesi, radyal ağzın parçaya teması ile başlayıp ve ana kesme ağzlarının kesme işlemine katılması ile aktif olarak devam eder. Helisel kanallar vasıtasıyla, oluşan talaş tahliye edilir. Matkabin dönme ve ilerlemesi ile Radyal ağzın parçadan talaş kaldırması sağlanır. Bunun neticesinde matkabin eksen yönünde ilerlemesi gerçekleşir. Matkabin etkili kesme açıları helisel yüzey boyunca hareket eden takımın kesme ağzının etkisi yönünde sürekli değişkenlik göstermektedir (Akkurt, 1998). Delik kalitesini belirleyen faktörler delik yüzey pürüzlülüğü ve çap doğruluğudur (Rogar ve Russell, 1998). Bunun için delik kalitesinin belirlenmesinde, matkap performansı ve kesme değerleri ve matkap malzemelerinin önemi yüksektir. Delme performansının en iyi hale getirilmesi için yoğun araştırma ve çalışmalar yapılmaktadır (Kurt, 2009). Delik delme işlemi yapılırken yüzey pürüzlülüğü, çapak oluşumu, aksenal kaçıklık ölçü tamlığı ve dairesellik gibi faktörlerde göz önüne alınmalıdır. Bu etkenler, kesme hızı, ilerleme, matkap geometrisi ve malzemesi, iş parçası malzemesi gibi çeşitli kesme koşullarına bağlıdır (Kılıçkap ve Hüseyinoğlu, 2010). Bu kesme parametreleri; kesme kuvvetini, takım aşınmasını, kesme sıcaklığını, talaş tipini ve delik kalitesini doğrudan etkileyen faktörlerdir (Bayraktar vd, 2016).

2.3.1. Kesme Kuvveti ve Moment

Bir malzemenin talaşlı işlenebilirliğini gösteren değerlerden biri kesme kuvvetidir (Bayraktar, 2017). İşleme sırasında oluşan, kesme kuvvetlerinin düşük olması arzu edilir. Kesme kuvvetleri, matkapların takım ömrüyle birlikte yüzey kalitesini de etkilemektedir (Meral vd, 2011). Kesme momentinin deki artış, iş parçası ve takım arasında oluşan ısının artmasına sebep olmaktadır. Matkapın bir ağzı göz önüne alındığında, burada oluşan kuvvetler ilerleme kuvveti, radyal kuvvet ve kesme kuvveti olarak sıralanmaktadır. Şekil 2.4’de gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Kesici ucu etkileyen kuvvetler (Mendi, 1996).

2.3.2. Güncel Literatür Taraması

Kılıçkap, cam elyaf takviyeli plastik (CETP) kompozit malzemeleri farklı kesme hızı, farklı ilerleme oranı ve farklı matkap uç açıları ile delinebilirliğini deneysel olarak araştırmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan kesme şartları 5, 10, 15 ve 20 m/dak. kesme hızlarında, 0,1mm/dev. 0,2mm/dev. 0,3mm/dev. ve 0,4mm/dev. ilerleme oranlarında ve 118° , 135° , matkap uç açılarında şeklindedir. Delik giriş ve çıkışında oluşan deformasyona bağlı olarak deformasyon faktörü hesaplanmıştır. Minimum deformasyonun düşük kesme hızı ve ilerleme oranının da olduğu tespit edilmiştir (Kılıçkap, 2010).

Bayraktar ve Turgut, elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin talaşlı şekillendirilebilirliği ile ilgili literatür taraması yapmıştır. Çalışmalarında elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin en fazla delik delme, sonra frezeleme, daha sonra ise tornalama ve taşlama süreçleri yapıldığı belirtilmiştir. Yapılan çalışmada bu kompozit yapıların talaşlı imalatı esnasında elyaf kopması ve delaminasyon gibi istenmeyen bazı hasarlar ortaya çıktığını vurgulamışlardır. Yapılan çalışmalar neticesinde Taguchi, Anova, Yapay Sinir Ağları ve Regresyon analizi gibi istatistiksel yöntemler kullanılarak yorumlandığı belirtilmiştir. Sonuç olarak bu tür kompozit yapıların yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme değerlerinin kullanılması gerektiği vurgulanmıştır (Bayraktar ve Turgut, 2013).

Ekici ve Işık, cam elyaf takviyeli polimer kompozit malzemenin delinmesi esnasında oluşan yüzey hasarını deneysel olarak incelemişlerdir. Deneysel çalışmada değişken olarak kesme hızı, ilerleme ve takım uç geometrisi seçilmiştir. Deneylemlerden sonra ise delik çıkış yüzeyinde oluşan hasar faktörü ölçümleri yapılmıştır. Ortaya çıkan sonuçlar yorumlanarak daha az yüzey hasarı için tercih edilmesi gereken optimum kesme parametreleri için önerilerde bulunulmuştur (Ekici ve Işık, 2009).

Çaydaş ve Çelik, cam elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin delinmesinde gri ilişkisel analiz yöntemiyle delaminasyon hasarını incelemişlerdir. Çalışmada kesme hızı, ilerleme miktarı ve matkap uç açısı değerleri belirli sınırlar içerisinde değiştirilmiş ve işlem koşullarına bağlı olarak delaminasyon hasarları ölçülmüştür. Gri ilişki derecesi değerine göre, delaminasyon üzerinde matkap uç açısının diğer faktörlere nazaran daha büyük bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir (Çaydaş ve Çelik, 2016).

Khashaba ve diğerleri cam elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemenin farklı kesme şartları ve matkap çapları ile işlemenin itme kuvvetine ve delaminasyona etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Deneysel çalışma sonucunda cam elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemenin seçilen kesme şartları ile işlenmesi neticesinde delaminasyonuz delik elde etmenin mümkün olmadığını belirtmişlerdir (Khashaba, 2010).

El-Sonbaty ve diğerleri, elyaf takviyeli kompozit malzemenin işlenmesi de elyaf hacim miktarı, ilerleme oranı, kesme hızı ve matkap çapının itme kuvvetine, momente ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırmışlardır. Kesme hızı ve itme kuvveti ve yüzey

pürüzlülüğünde etki etmediğini, ilerleme miktarı ile matkap çapının birleşmesi yüzey pürüzlülüğünde etkili olduğu belirtilmiştir (El-Sonbaty vd, 2004).

Cam elyaf takviyeli epoksi polipropilen termoplastik malzemenin delinme prosesinde matkap çapı, ilerleme miktarı ve fener mili hızının delaminasyona etkisi Srinivasan ve diğerleri tarafından araştırılmıştır. Delik delme prosesinde oluşan delaminasyonu optimize etmek ve modellemek için yanıt yüzey metodu kullanılmıştır. Delaminasyonu tahmin etmede kullanılan model etkili olduğu, delaminasyon oluşumunda en etkili parametrenin ise ilerleme miktarı olduğu yazarlar tarafından belirtilmiştir (Cam Elyaf, 2004).

Tsao ve Hocheng, üç farklı geometriye sahip matkap kullanarak kompozit malzemenin delinmesinde oluşan delaminasyon değerlendirmiş ve tahmin etmiştir. Çalışmada farklı çaplarda, farklı ilerleme miktarlarında ve farklı fener millerinde kesme parametreleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda ilerleme miktarı ve matkap çap tüm performansını etkileyen en önemli parametre olduğu göstermişlerdir (Tsao ve Hocheng, 2004).

Herbert ve arkadaşları, kaplamasız ve TiN kaplı karbür matkaplar kullanarak tek yönlü karbon elyaf takviyeli polimerik kompozit malzemenin delinmesinde kesme parametrelerinin delaminasyona etkisini araştırmışlardır. Delaminasyon oluşumunda matkap çapının önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Ayrıca matkap çapının ve ilerleme miktarının artmasının delaminasyon hasarını artırdığı belirtilmiştir (Herbert vd, 2014).

Palanikumar ve diğerleri polipropilen lamine malzemenin delinme prosesinde ilerleme oranı, fener mili hızı ve matkap çapının itme kuvvetin etkisini sunmuşlardır. Kesme parametrelerinden sonuçlara en etkili olan ilerleme miktarı olduğu, ikinci etkili parametrenin ise matkap çapı olduğu belirtilmiştir (Palanikumar vd, 2016).

Literatürde kriyojenik şartlar altında metallerin (Wstawska, 2016; Perçin, 2016; Ahmed, 2016), alüminyum (İslam, 2016), magnezyum (Kheireddine vd, 2015), çelik (Govindaraju vd, 2014), beyaz dökme demirlerin (Murthy, 2010) delinmesi ile ilgili pek çok çalışma vardır. Ancak polimerik kompozit yapıların kriyojenik şartlar altında

delinmesi ile ilgili çok az çalışma vardır. Xia ve arkadaşları (Xia vd, 2016) karbon elyaf takviyeli polimerik kompozit yapının kriyojenik şartlar altında delinebilirliğini kapsamlı bir şekilde araştırmıştır. Kriyojenik ortamda yapılan delik delme neticesinde kesici takım aşınmasının azaldığı ve açılan deliklerin kalitesinin iyileştirdiği belirtilmiştir. Fakat kriyojenik sıvı kullanılarak yapılan talaş kaldırma neticesinde kuru kesmeye nazaran daha fazla itme kuvveti ve tork oluştuğu belirtilmiştir. Buna bağlı olarak ta delminasyon artmıştır.

Giasin ve diğerleri ,minimum miktarda yağlama ve sıvı nitrojen soğutma şartlarının cam alüminyum takviyeli epoksi elyaf metal kompozit malzemenin delinmesini araştırmışlardır. Minimum miktarda yağlama ve sıvı nitrojen kullanılması durumunda işleme kuvvetlerinin arttığı, fakat yüzey pürüzlülüğü, yapışma olaylarının ise azaldığı belirtilmiştir. Yazarların başka bir çalışmasında ise delik kalitesi araştırılmıştır. Bu çalışmada talaş oluşumu, delik büyüklüğü ve dairesellik araştırılmıştır. Minimum miktarda yağlama ve sıvı nitrojen kullanılması durumunda çıkış ta oluşan çapağın kayda değer bir şekilde azaldığı belirtilmiştir (Giasin vd, 2016).

3. MATERYAL ve METOT

Karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerin kuru ve kriyojenik şartlar altında farklı kesme parametreleri ile delinmesinde matkap çapının itme kuvveti, delaminasyon hasarı, takım aşınması, delik çapı ve yüzey kalitesine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Bu tez çalışmasında yapılanlar aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

3.1. Kriyojenik Sistem

Kriyojenik terimi, -150°C 'dan daha düşük sıcaklıklar da kaynama noktasına sahip olan sıvılar için kullanılmaktadır. Buna göre kriyojenik akışkanlar olarak sıvılaştırılmış Hidrojen, Argon, Nitrojen, Oksijen ve Helyum gazlarından bahsedilebilir (Ghosh, 2006).

1953 yılında kriyojenik olarak ilk işleme meydana getirilmiştir. Soğutma sıvılarının içeriği zehirli kimyasallar bulundurduğu için çevre ve insan sağlığı yönünden sakıncaları bulunmaktadır. Bu sıvılar bazı durumlarda ki ısı transferi işleme için yeterli olmadığından bu açığı kriyojenik soğutucular ile kapatılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Sıvı nitrojen (LN_2) hem bol hem temiz hem güvenli kriyojenik soğutucu olması nedeniyle yaygın kullanıma sahiptir (Jeon vd, 2013).

Kriyojenik koşulda işlemede deneylere başlanmadan sıvı nitrojenin kalıbın üzerindeki boşluktan CFRP malzemenin üzerine yüksekliği parçanın kalınlığını (5mm) geçecek şekilde dökülmesi ve CFRP plakanın soğutulması sağlanmıştır. Bu şekilde uygulanmasındaki sebep sıvı nitrojenin hızla buharlaşmasının önüne geçmektir. Basıncsız sıvı nitrojen tankı Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Deney esnasında soğuğa dayanıklı eldiven kullanılarak kriyojeniği kalıba dökülmesi sırasında meydana gelebilen soğuk yanığı gibi iş kazalarının önlemi alınmalıdır.



Şekil 3.1. Sıvı nitrojen muhafaza kabı ve deney kalıbına dökülmesi

3.2 Deney Düzeneği ve Kesme Parametreleri

Deneyisel çalışmada iki farklı kesme hızı, dört farklı ilerleme miktarı, iki farklı çapa sahip matkap ile kuru ve kriyojenik şartlar altında yapılan deneyisel tasarımın değerleri izelge 3.1’de verilmiştir. Bu kesme parametreleri kesici takım firma önerileri ve detaylı literatür taramalarından elde edilmiştir.

Deneyisel alışma 3 eksen,10 000 dev/dak. fener mili hızına sahip 17.5 kw gücünde olan Quaser MV154C dik işlem merkezinde gerçekleştirilmiştir. Kesme kuvvetleri ölçümü talaşlı imalatta malzemenin işlenebilirlik değerlendirmesinde önemli bir cihaz kistlerdir. Deney anında itme kuvvetleri 9257 B tipi kistler kuvvet ölçüm dinamometresi ve yardımcı ekipmanları (Kistler 5070A amplifikatör, Kistler 5697A veri toplama sistemi (DAQ kartı) ve DynoWare yazılımı) ile yapılmıştır.Kuvvet ölçüm sistemi ve deney düzeneği şekil 3.2’de verilmiştir (www.kistler.com).

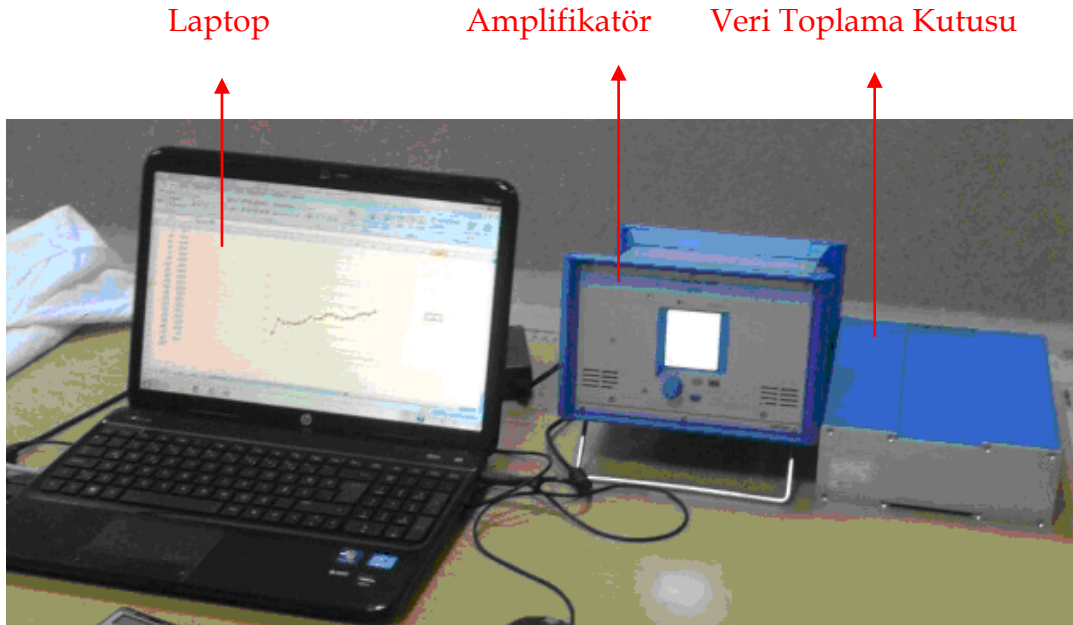
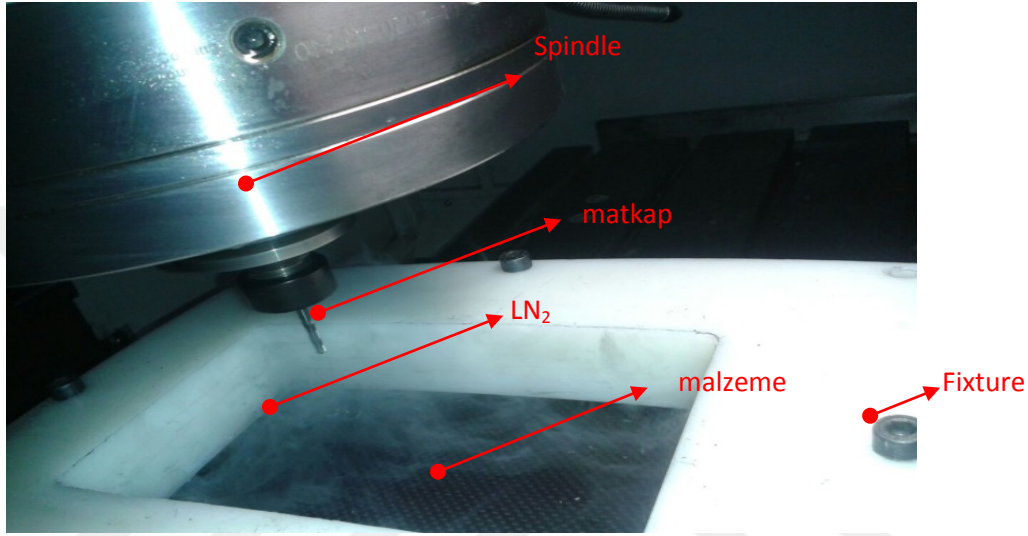


Resim 3.2. Kuvvet ölçüm sistemi ve deney düzeneği

Çizelge 3.1. Kesme şartları

Deney Sayısı		Çap(Ø)	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme Miktarı (mm/dev)
1	Kuru	4 mm	20 m/dak	0,075
2				0,15
3				0,225
4				0,3
5			50 m/dak	0,075
6				0,15
7				0,225
8				0,3
9		6 mm	20 m/dak	0,075
10				0,15
11				0,225
12				0,3
13			50 m/dak	0,075
14				0,15
15				0,225
16				0,3
17	Kriyojenik	4 mm	20 m/dak	0,075
18				0,15
19				0,225
20				0,3
21			50 m/dak	0,075
22				0,15
23				0,225
24				0,3
25		6 mm	20 m/dak	0,075
26				0,15
27				0,225
28				0,3
29			50 m/dak	0,075
30				0,15
31				0,225
32				0,3

Deneyslerde kuvvet ölçüm dinamometresi işleme merkezi tablasına paralel ve rijit bir şekilde monte edilmiştir. Daha sonra dinamometre üzerine kriyojenik şartlar altında işleme yapabilmek için özel olarak imal edilen bağlama kalıbı bağlanmıştır. Bağlama kalıbı içerisine yalıtkan kalıp monte edilmiştir. Yalıtkan kalıp içerisine kompozit plaka yerleştirilmiştir. Üst kalıp parçası dinamometre üzerindeki bağlama kalıbına bağlanarak numune deneye hazır hale gelmiştir. Şekil 3.3'de deneysel tasarım ve ölçüm sistemi gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Deney ve ölçüm seti

3.3. Kesici takım ve kompozit malzeme

Delik delme deneylerinde 4 ve 6 mm çaplı matkaplar kullanılmıştır. Deneylerde Guhring firmasının G1149 seri numaralı kompozit malzemeleri delmek için geliştirilen matkaplar tercih edilmiştir. Her bir deneyde yeni matkap kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan matkapların görüntüsü Şekil 3.4 ve Şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.4. Deneylerde kullanılan farklı çaplı matkaplar (4 ve 6 mm)



Şekil 3.5. Deneylerde kullanılan farklı çaplı matkaplar (4 ve 6 mm)

Karbon fiber takviyeli polimer kompozit malzemeler özellikle uzay, havacılık, otomotiv, spor ürünleri ve denizcilik sektöründe yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yapılar her ne kadar final şekle yakın üretilseler bile hala son işlem olarak talaşlı imalat yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda bu tez çalışmasında karbon fiber takviyeli kompozit malzeme 480X480X5 mm boyutlarında Dost Kimya firmasından temin edilmiştir. Bu kompozit malzemenin bağlama kalıbına bağlanabilmesi için 200x150 mm

boyutlarında kesilerek deneye hazır hale Şekil 3.6'deki gibi getirilmiştir. Karbon fiber takviyeli kompozit malzemenin mekanik özellikleri temin edildiği firma tarafından elde edilerek Çizelge 3.2' de belirtilmiştir.



Şekil 3.6. Deneyde kullanılan kompozit malzeme (200x150)

Çizelge 3.2. Karbon fiber takviyeli kompozit malzemenin mekanik özellikleri

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

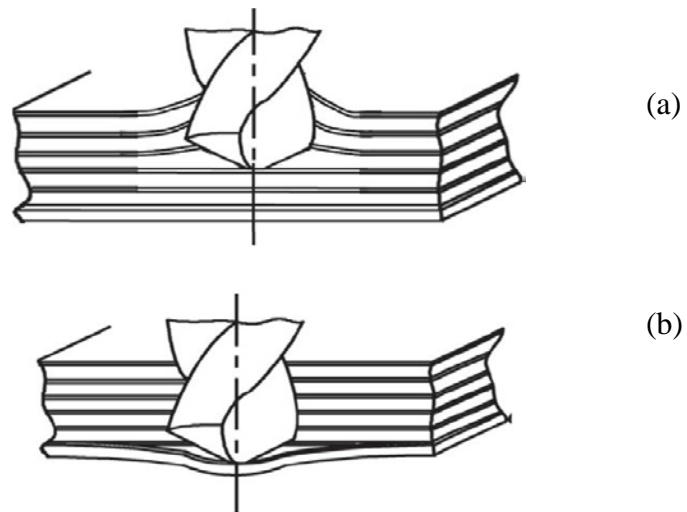
3.4. Ölçümlerin yapılması

İtme kuvveti matkap ilerleme yönüne zıt yönde oluşan ve matkap uç bölgesinde aşınmalara neden olabilen bu kuvvetin, delme prosesinde irdelenmesi bilimsel tamamlayıcılığı açısından önemlidir (Kurt vd, 2009). Bu bağlamda bu tez çalışmasında da kesme anında on-line olarak itme kuvveti ölçülmüştür. Matkap ile delme anında oluşan sadece Z yönündeki itme kuvveti dikkate alınmıştır.

3.4.1. Deleminasyon Nedir, Nasıl Oluşur?

Delme işlemi sonrası delik yüzeyinin çevresinde, matkap giriş ve çıkış bölgelerinin her ikisinde de delaminasyon hasarları oluşmaktadır. Bu bölgeler, farklı hasar boyutları sergilemektedir. Şekil 3.7’de giriş ve çıkış bölgelerinde meydana gelen delaminasyon mekanizmaları şematik olarak görülmektedir.

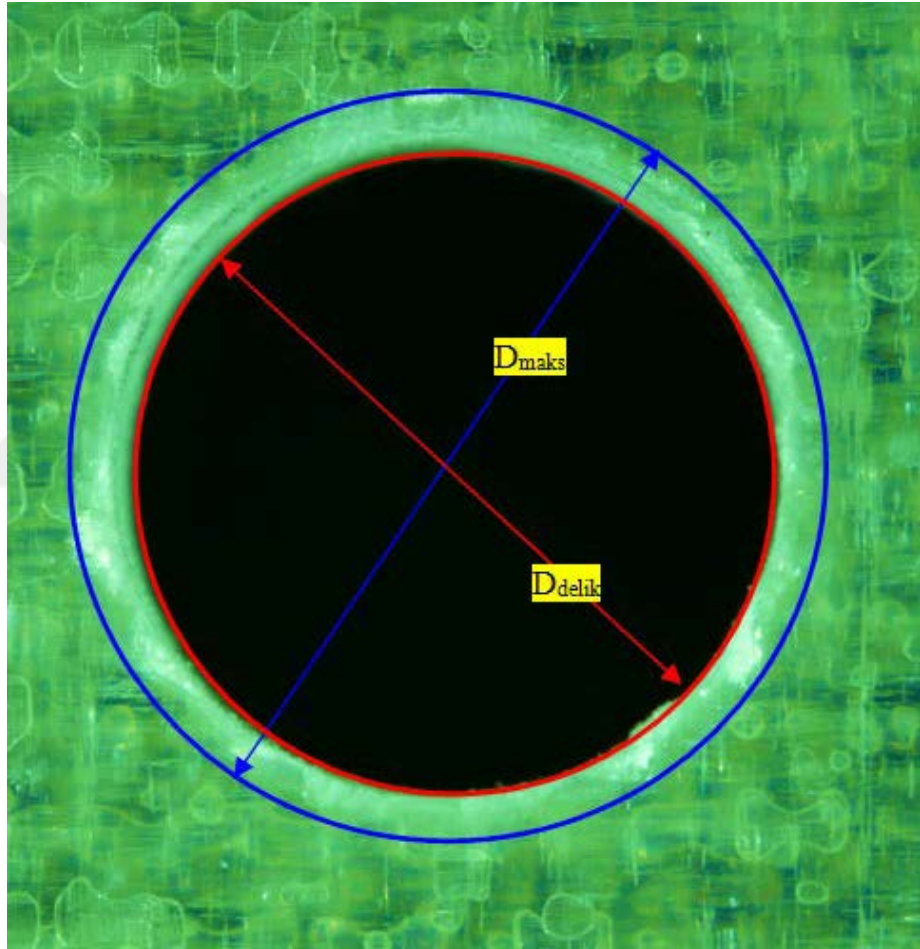
Giriş bölgesinde, matkap takımının kesme kenarları, kompozit tabakalarına temas ederek katmanların birbirinden kesilerek ayrılmasına ve helisel kanallara doğru yönelmesine yol açarak bir sıyırma kuvveti oluşturmaktadır. Takımın malzemedan çıkış bölgesine yakın noktada ise, matkap ucunun altında yer alan kompozit katmanının kalınlığı azaldığı için, malzeme kesilme yerine çatlama/yırtılma şeklinde bir şekil değişimine maruz kalmaktadır. Çıkış bölgesindeki delaminasyonun boyutu daha fazla olmaktadır (Çaydaş ve Çelik, 2016).



Şekil 3.7. Kompozit malzemelerin delinmesinde delaminasyon oluşum mekanizmaları (a:giriş delaminasyonu, b:çıkış delaminasyonu) (Çaydaş ve Çelik, 2016).

Delaminasyon faktörü Şekil 3.8’de gösterildiği gibi, deformasyon bölgesindeki en büyük çapın matkap çapına oranı şeklinde ve aşağıdaki formül (3,1) yardımıyla hesaplanmıştır (Çaydaş ve Çelik 2016). Deformasyon ölçümleri optik bir mikroskop (Olympus SZX7 stereo trinocular mikroskop ile 12.5X büyütme) kullanılarak Şekil 3.9 ve Şekil 3.10’da görüldüğü gibi yapılmıştır.

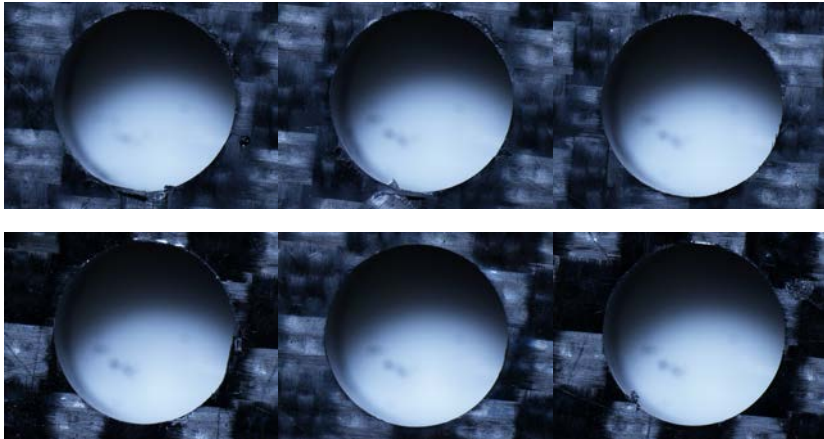
$$d = D_{maks}/D_{delik} \quad (3.1)$$



Şekil 3.8. Delaminasyon faktörünün belirlenmesi



Şekil 3.9. Deformasyon ölçümlerinin yapıldığı mikroskop (Olympus SZX7 stereo trinocular mikroskop ile 12.5X büyütme)



Şekil 3.10. Deformasyon ölçümlerinin görüntüleri

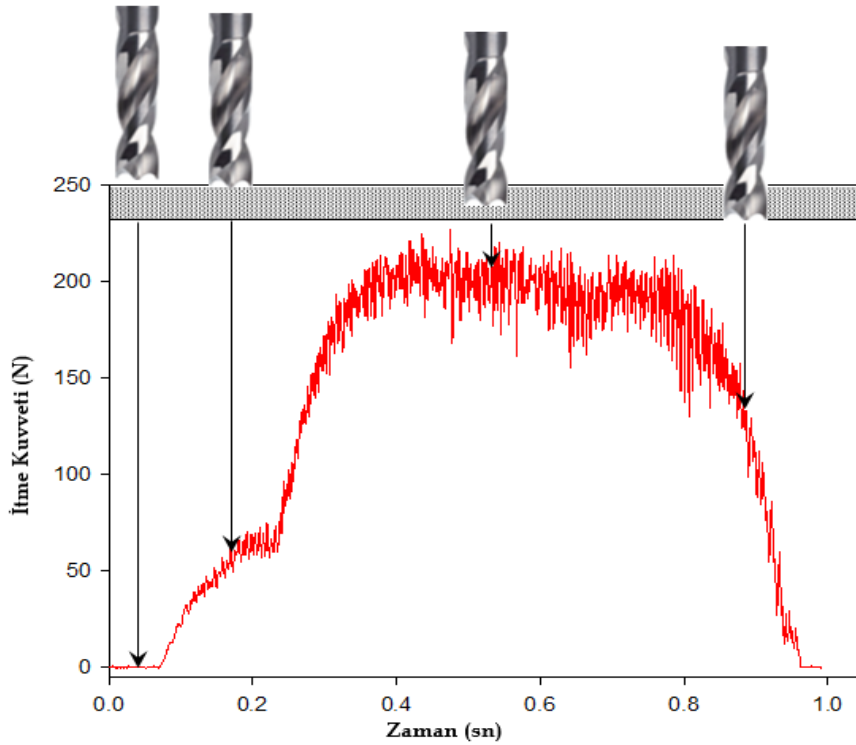
4. BULGULAR

Karbon fiber takviyeli polimer kompozit malzemenin kuru ve kriyojenik şartlar altında farklı kesme parametreleri ve farklı çaplı matkaplarla delinmesi deneysel olarak araştırılmıştır. Bu tez çalışmasında deneyler yapımı anında itme kuvveti, deneyden sonra ise delaminasyon faktörü, delik çapı, takım aşınması ve detaylı delik içi yüzey incelemesi yapılmıştır. Aşağıda ölçülen çıktılar sırasıyla verilmiştir.

4.1. İtme kuvveti ölçüm sonuçları

Matkap ile delik delme anında en fazla kuvvet matkabın ilerleme yönünde olduğundan diğer yönlerde oluşan kuvvetler ihmal edilerek sadece Z yönündeki itme kuvveti dikkate alınır. Bu tez çalışmasında da sadece itme kuvveti dikkate alınmıştır. Verilen kesme hızı ve ilerleme miktarına karşılık oluşan itme kuvveti Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

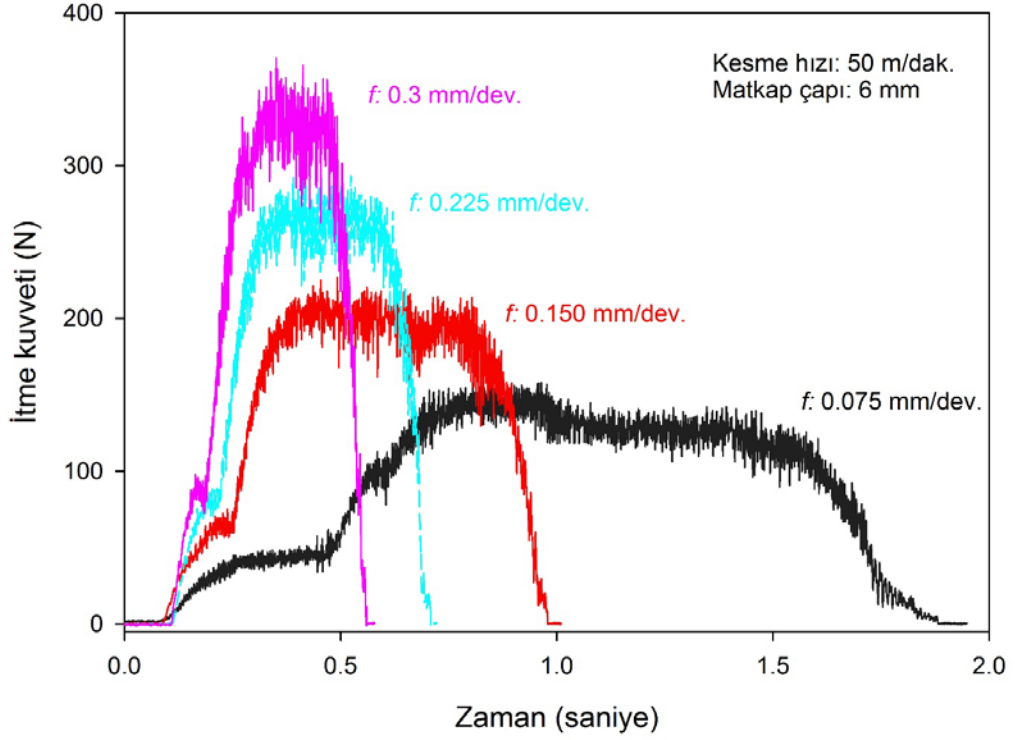
Karbon fiber takviyeli kompozit malzemeye bir delik açılmasında oluşan itme kuvveti grafiği şekil 4.1’de verilmiştir. Şekil 4.1’deki grafikte 0.075mm/dev. ilerleme miktarında ve 20 m/dak. kesme hızı sabit tutulmuştur. Şekil 4.2’de ise 50 m/dak kesme hızında, 6mm çaplı matkap ile 4 farklı ilerleme de oluşan itme kuvveti verilmiştir.



Şekil 4.1. İtme kuvveti-zaman ilişkisi

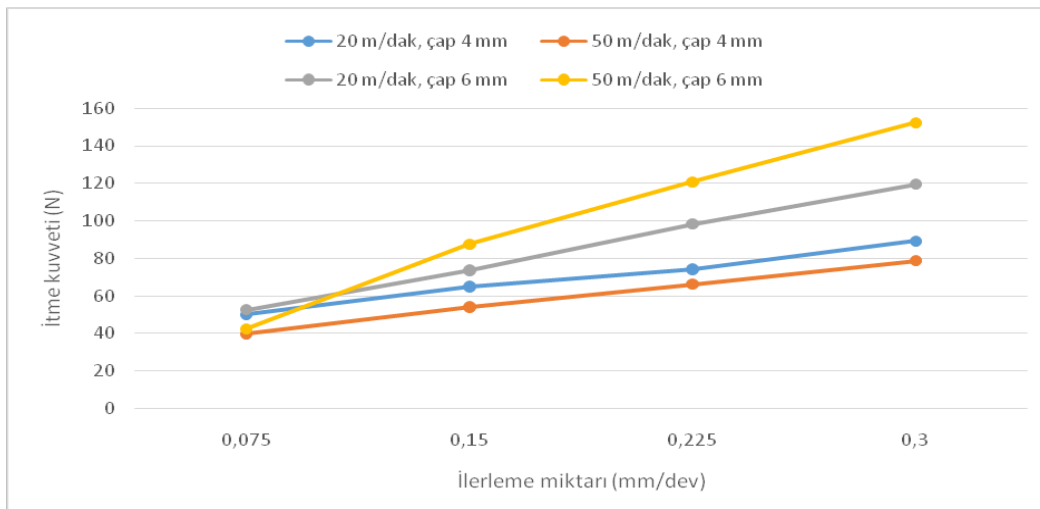
Çizelge 4.1. Kesme Değerlerine karşılık oluşan itme kuvvetleri

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



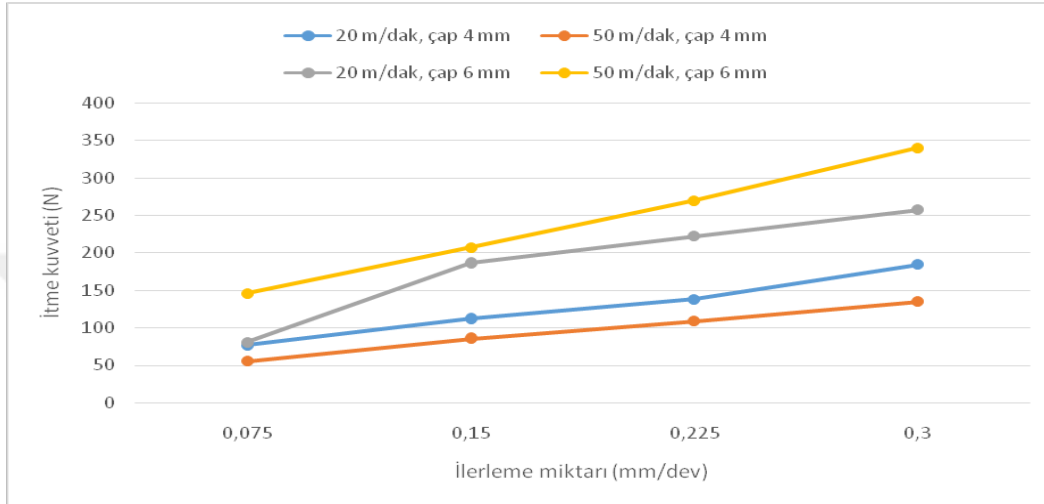
Şekil 4.2. Farklı İlerleme Miktarlarının İtme Kuvvetine Etkisi

Kuru kesme şartları ile yapılan deney sonunda elde edilen itme kuvveti grafiği Şekil 4.3’de verilmiştir. Grafiklerden de görüldüğü üzere 4 mm çaplı matkaplar daha düşük itme kuvveti oluşturmaktadır. Küçük çaplı matkapta kesme hızının artması itme kuvvetini düşürürken çap artması ile tam tersi bir durum ortaya çıkmıştır. Ayrıca ilerleme miktarının artması ile itme kuvveti artmaktadır.



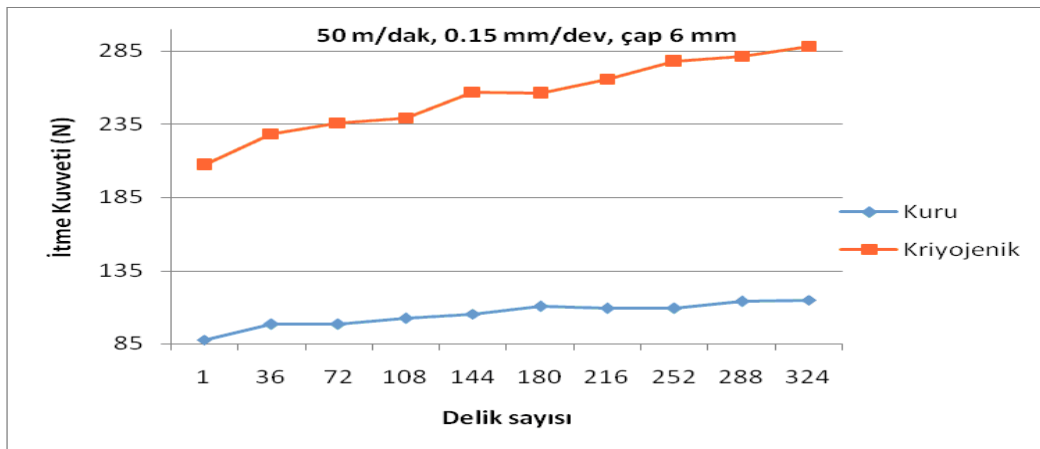
Şekil 4.3. Kuru kesme Şartlarında Farklı Kesme Şartlarının İtme Kuvvetine Etkisi

Kriyojenik şartları ile yapılan deney sonunda elde edilen itme kuvveti grafiği Şekil 4.4’de verilmiştir. Grafiklerden de görüldüğü üzere 4 mm çaplı matkaplar daha düşük itme kuvveti oluşturmaktadır. Küçük çaplı matkapta kesme hızının artması itme kuvvetini düşürürken çap artması ile tam tersi bir durum ortaya çıkmıştır. Ayrıca ilerleme miktarının artması ile itme kuvveti artmaktadır. Son olarak kriyojenik şartlarda oluşan itme kuvvetleri kuru kesme şartlarında yaklaşık 2 kat daha fazladır.



Şekil 4.4. Kriyojenik Kesme Şartlarında Farklı Kesme Şartlarının İtme Kuvvetine etkisi

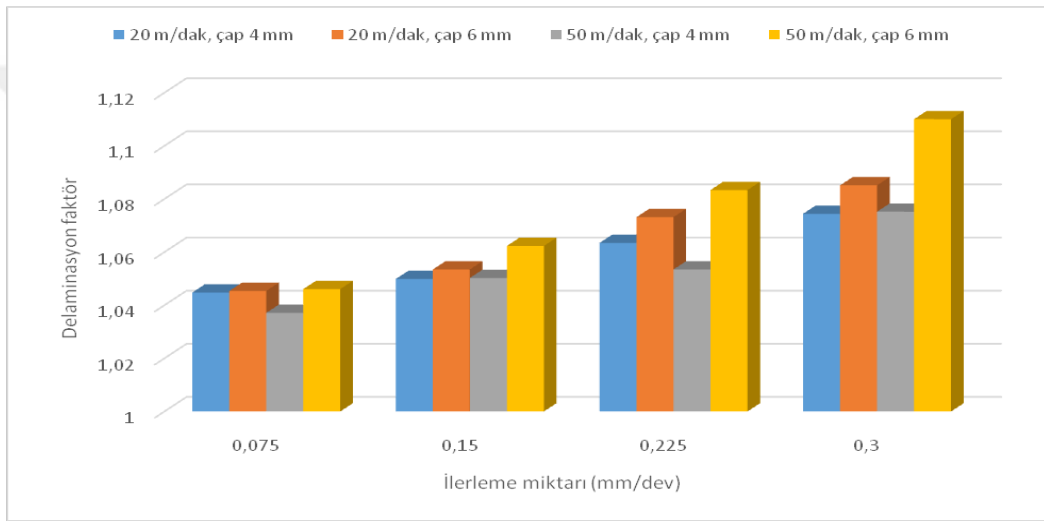
Karbon fiber takviyeli kompozit malzemeye 50m/dak. kesme hızı ile, 0.15mm/dev. ilerleme miktarı ile 6 mm çaplı matkapla 324 delik açılmıştır. Deneyler hem kuru hem de kriyojenik şartlar ile yapılmıştır. Delik sayısının artması ile itme kuvvetleri her iki kesme şartlarında da artmıştır. Ayrıca kriyojenik şartlarda daha fazla kuvvet Şekil 4.5’de görüldüğü gibi oluşmaktadır.



Şekil 4.5. Delik sayısı değişimi ile kuvvet değişimi

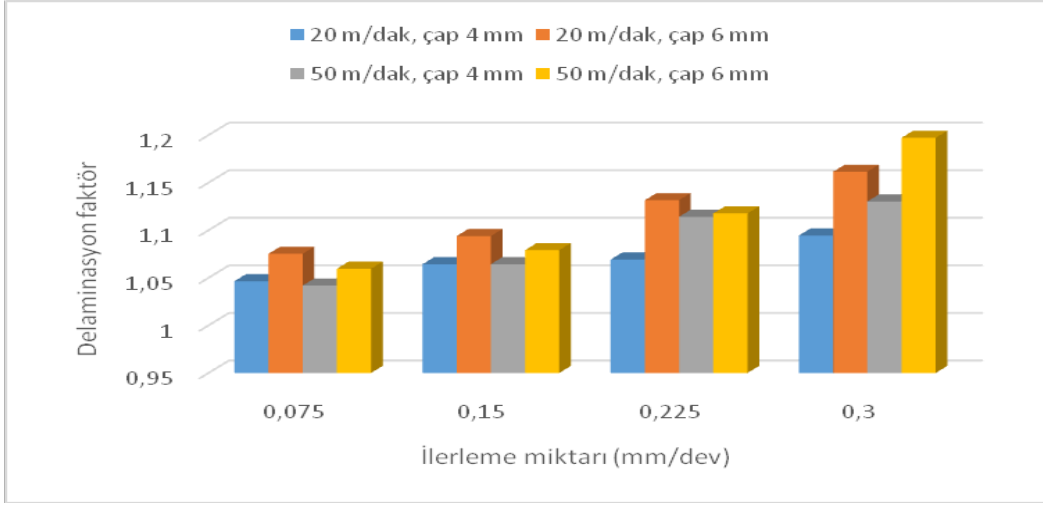
4.2 Delaminasyon Ölçüm Sonuçları

Karbon fiber takviyeli kompozit malzemenin delinmesi anında malzemede birçok hasar oluşmaktadır. Bunlardan en önemlisi delaminasyon hasarıdır. Delaminasyon faktör diye adlandırılır ve maksimum hasarlı çapın nominal çapa bölünmesi ile elde edilir. Şekil 4.6'de kesme parametreleri ve matkap çapının delaminasyon faktöre etkisi verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi ilerleme oranının artması ile delaminasyon hasarı artmaktadır. Büyük çaplı matkap daha fazla delaminasyon hasar oluşturmaktadır. 4 mm çaplı matkap ile 50 m/dak kesme şartlarına en az delaminasyon hasar oluşurken, 6 mm çaplı matkap ile 50 m/dak kesme hızında yapılan deneyden ise en fazla delaminasyon oluşmaktadır.



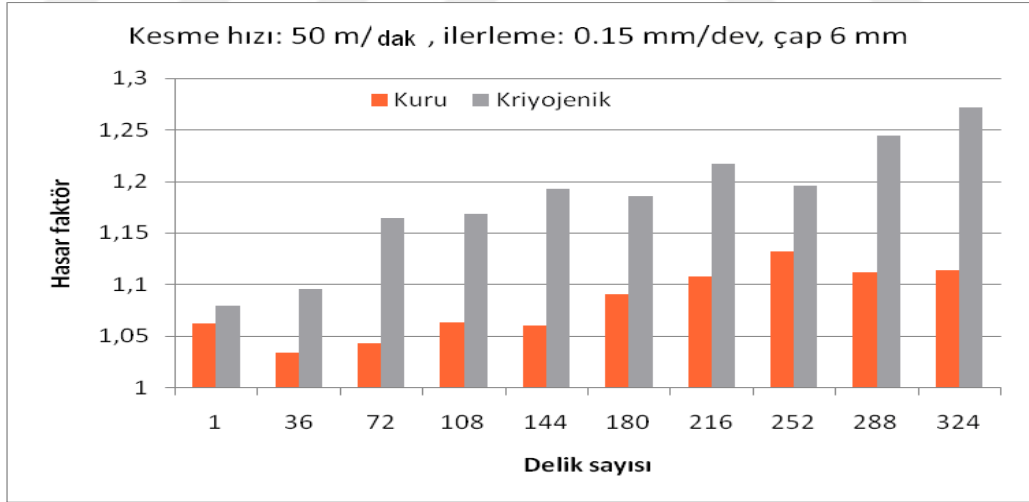
Şekil 4.6. Kuru Kesme Şartlarında Farklı Kesme Şartlarının Delaminasyon Hasarına Etkisi

Kriyojenik şartlar ile karbon fiber takviyeli kompozit malzemenin delinmesinde farklı çapların, kesme hızı ve ilerleme oranlarının delaminasyon hasarına etkisi Şekil 4.7'de verilmiştir. Büyük çaplı matkap daha fazla delaminasyon hasar oluşturmaktadır. En az delaminasyon hasar 20 m/dak. kesme hızında 4 mm çaplı matkapla elde edilirken, en fazla delaminasyon ise 20 m/dak. kesme hızında 6 mm çaplı matkap ile elde edilmiştir. Kriyojenik şartlar ile kuru kesmeye nazaran daha fazla delaminasyon hasarı elde edilmiştir.



Şekil 4.7. Kriyojenik kesme şartlarında farklı kesme şartlarının delaminasyon hasarına etkisi

Karbon fiber takviyeli kompozit malzemeye 50 m/dak. kesme hızı ile, 0.15 mm/dev. ilerleme miktarı ile 6 mm çaplı matkapla 324 delik açılmıştır. Deneyler hem kuru hem de kriyojenik şartlar ile yapılmıştır. Delik sayısının artması ile delaminasyon hasarı artmaktadır. Ayrıca kriyojenik şartlarda daha fazla hasar Şekil 4.8’de görüldüğü gibi oluşmaktadır.



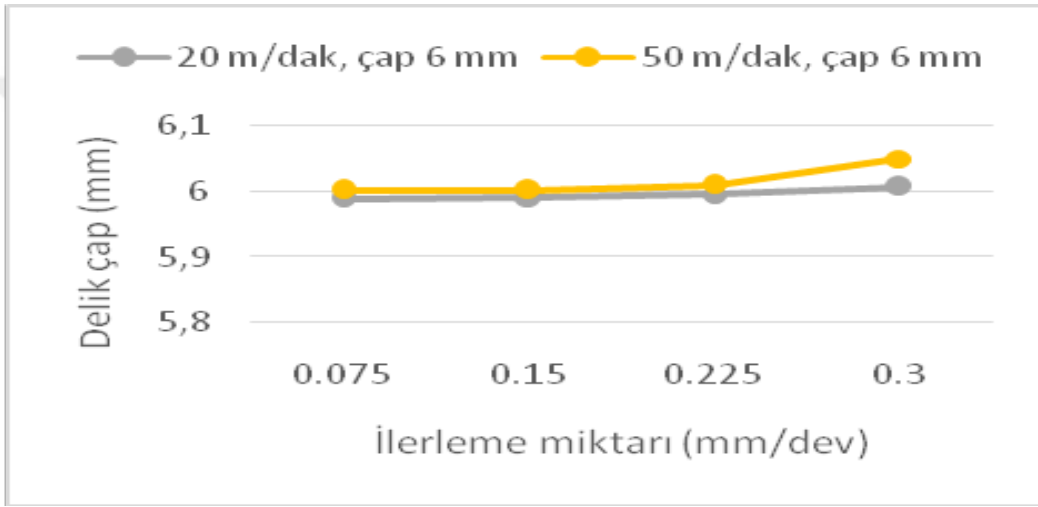
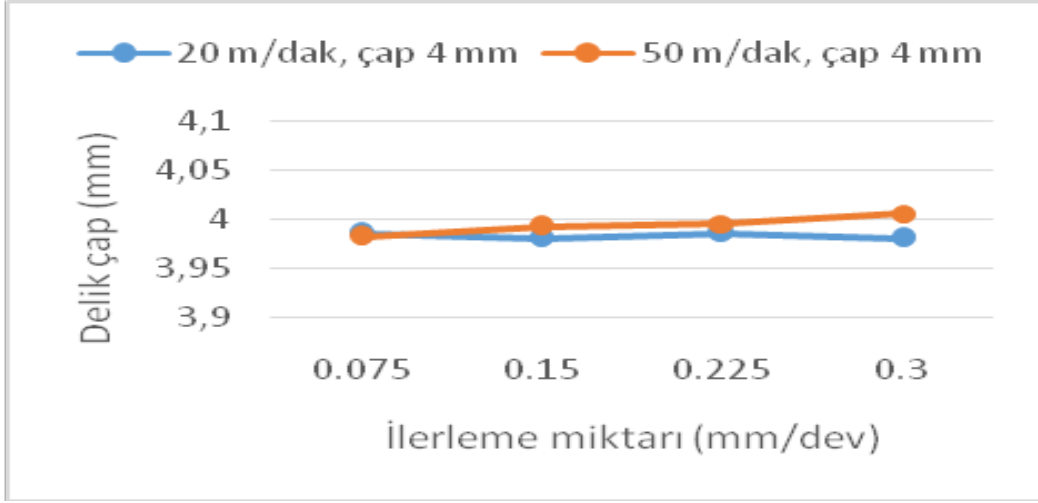
Şekil 4.8. Delik Sayısı Değişimi İle Delaminasyon Hasar Değişimi

4.3 Koordinat Ölçüm Cihazı (CMM) Ölçüm Sonuçları

Kuru kesme şartlarında yapılan deney neticesinde elde edilen delikler CMM cihazında Şekil 4.9'de ölçülmüş olup elde edilen değerler grafiklere Şekil 4.10'de ve Şekil 4.11'de olduğu gibi dönüştürülmüştür. Matkap çapları 4 ve 6 mm'dir. 4 mm çaplı matkap ile yapılan delme testlerinde 50 m/dak. kesme hızı ile yapılan deneyin istenen çapa daha yakın çıktığı grafikten görülmektedir. 6 mm çaplı matkap kullanılmasıyla yapılan deneyde ise 20 m/dak. kesme hızının daha iyi netice verdiği söylenebilir.

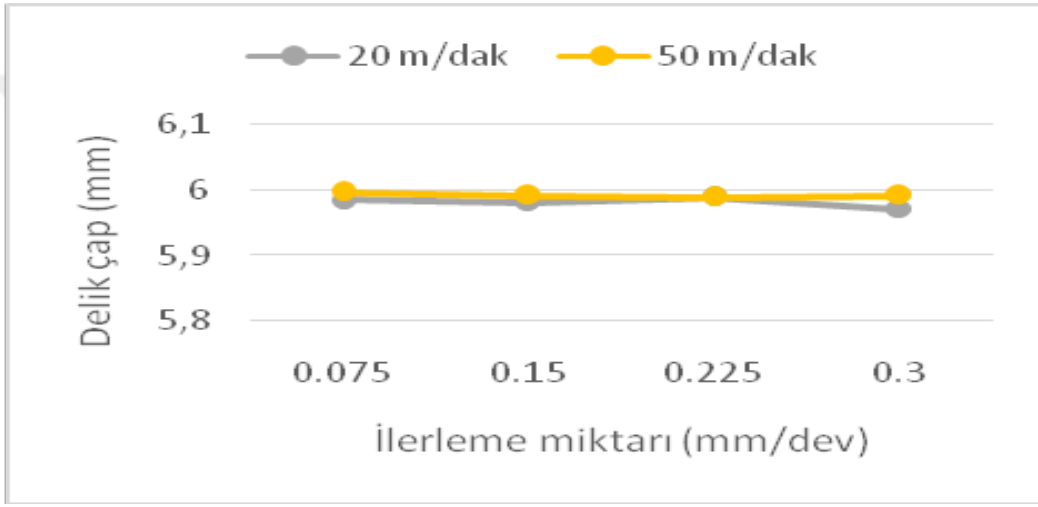
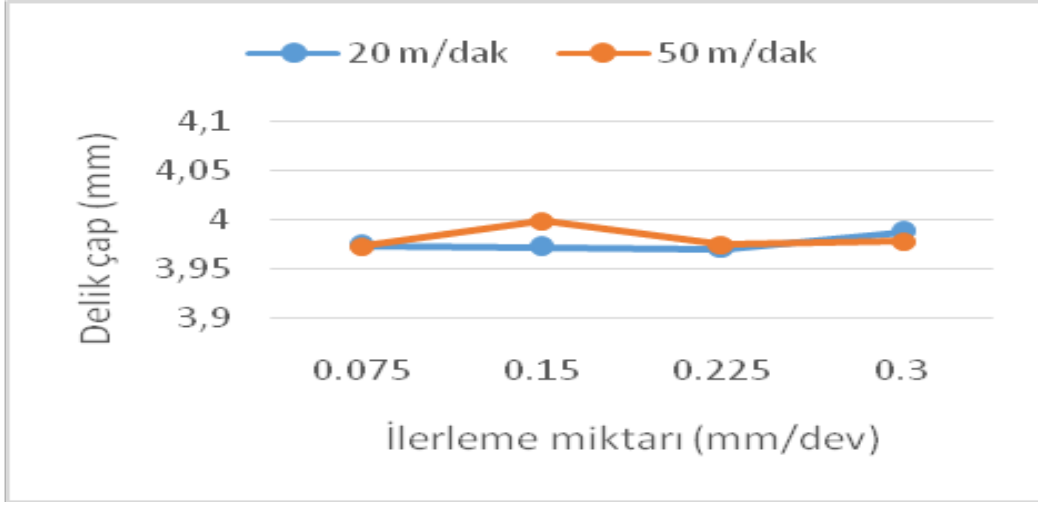


Şekil 4.9. CMM cihazında delik ölçümü



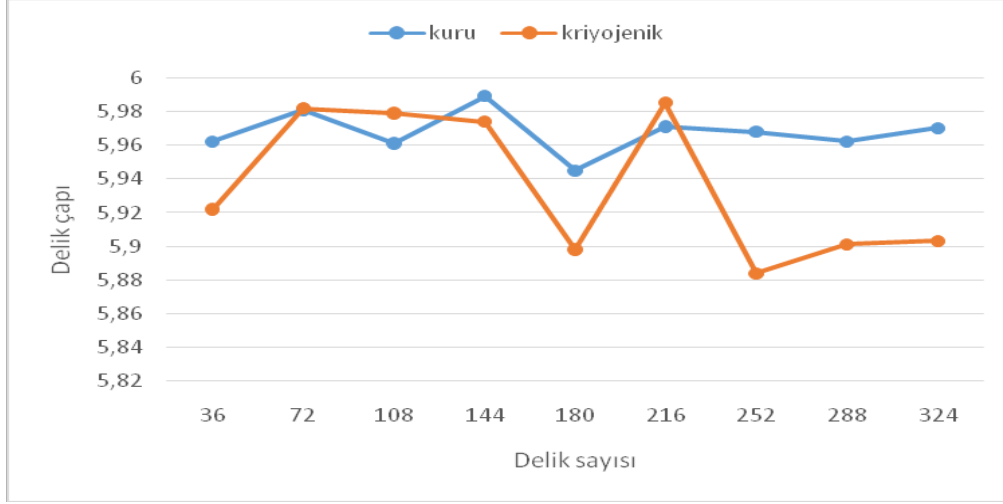
Şekil 4.10. Kuru kesme şartlarında kesme parametrelerinin delik çapına etkisi

4 mm çaplı matkap kullanarak 50 m/dak. kesme hızı ile yapılan deneyde dalgalı bir çap değişimi izlenirken, 20 m/dak. kesme hızında daha stabil bir eğri elde edilmiştir. İstenen çaptan sapmalar burada da meydana gelmiştir. 6 mm çaplı matkap ile yapılan deneyden elde edilen çap değerleri incelendiğinde 20 m/dak. kesme hızının daha iyi neticeler verdiği söylenebilir. Çap 6 mm kriyojenik şartlar da elde edilen delikler kuru kesmeye nazaran daha iyi olduğu aşikârdır. Çap 4 mm ise kuru şartlarda daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.11. Kriyojenik kesme şartlarında kesme parametrelerinin delik çapına etkisi

Karbon fiber takviyeli kompozit malzemeye 50 m/dak. kesme hızı ile, 0.15 mm/dev. ilerleme miktarı ile 6 mm çaplı matkapla 324 delik açılmıştır. Deneyler hem kuru hem de kriyojenik şartlar ile yapılmıştır. Kuru ve kriyojenik şartlarda elde edilen deliklerin ölçüleri Şekil 4.12’de görüldüğü gibi 6 mm den daha az çıkmıştır. Kriyojenik şartlarda daha dalgalı ölçümler elde edilirken, kuru kesme da daha stabil çap değerleri elde edilmiştir.



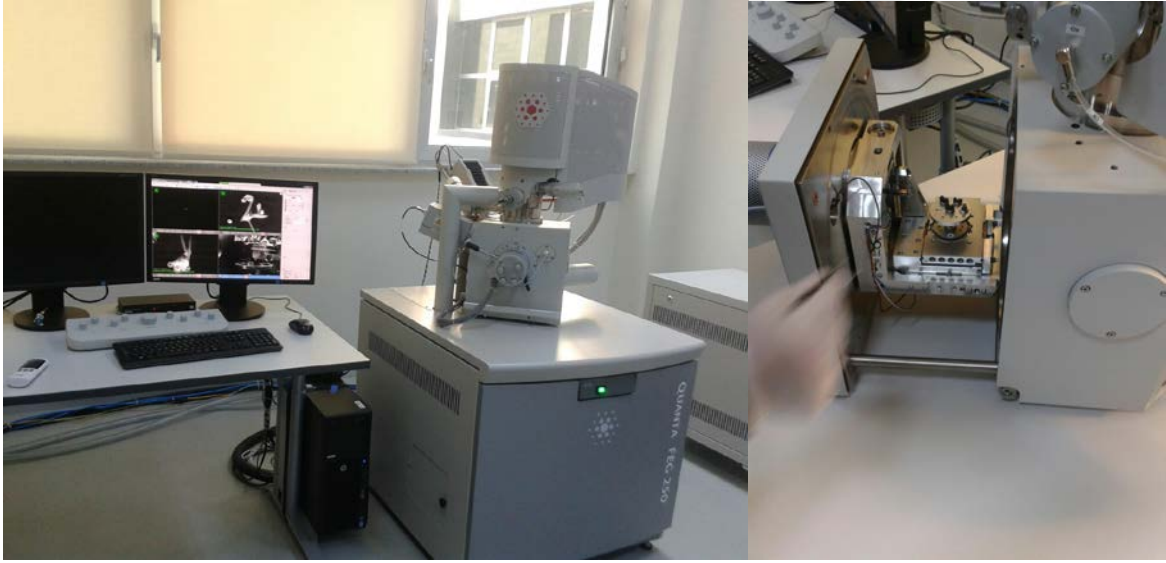
Şekil 4.12. Delik sayısı artışı ile delik çap değişimi

4.4 Taramalı Elektron Mikroskobu ve Atomik Kuvvet Mikroskobu Ölçüm Sonuçları

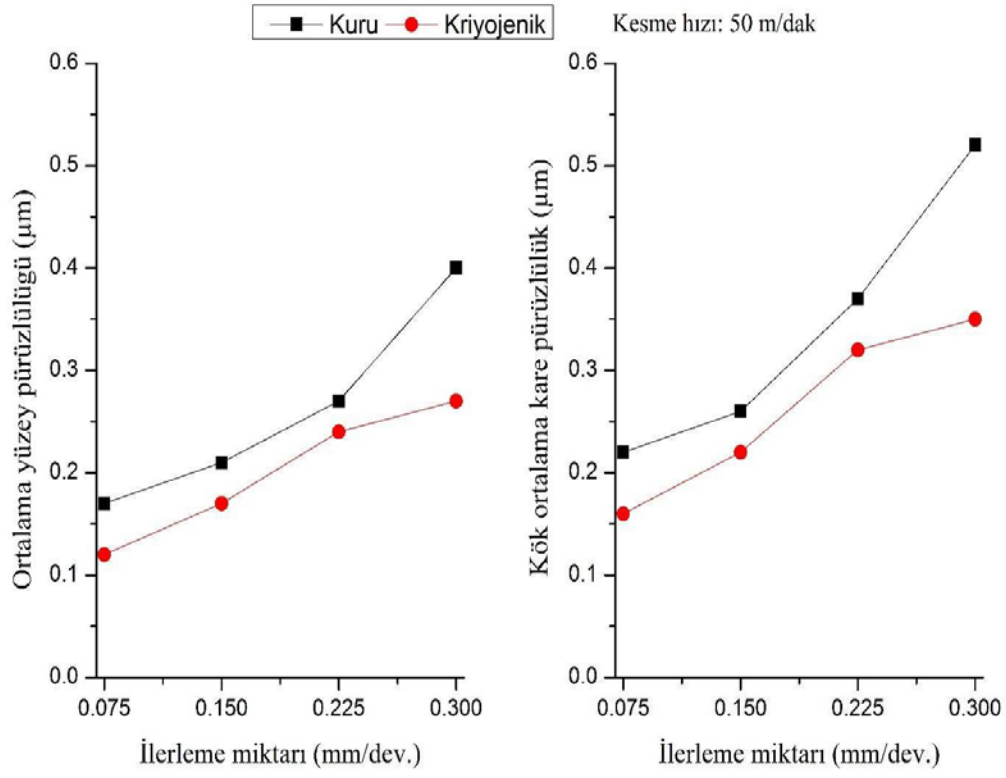
Kompozit malzeme 4 mm çaplı matkap ile, 50m/dak. kesme hızında 0.075 mm/dev., 0.15mm/dev., 0.225mm/dev. ve 0.3mm/dev. ilerleme miktarında kuru ve kriyojenik kesme şartları ile delindikten sonra delikler el testeresi yardımıyla ikiye kesilerek delik içi detaylı bir şekilde hem atomik kuvvet mikroskobu (AFM) Şekil 4.13’de görüldüğü gibi hem de taramalı elektron mikroskobu (SEM) Şekil 4.14 ile incelenmiştir. AFM ölçümünde 30x30 µm bir alan 60 µ/sn lik bir tarama hızı ile taranmıştır. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve kök kare ortalama pürüzlülük (Rq) değerleri AFM den elde edilerek Şekil 4.15’de verilmiştir. Ayrıca bu ölçümlerin üç boyutlu görünüşleri de Şekil 4.16’da verilmiştir. Şekil 4.15’den de açıkça görüldüğü üzere ilerleme hızının artması ile hem kuru hem de kriyojenik şartlarda yüzey pürüzlülükleri artmaktadır. Yani yüzey kötüleşmektedir. Bunlara ilaveten kriyojenik şartlar altında yapılan kesme testlerinden kuru kesmeye göre daha iyi yüzeyler elde edildiği söylenebilir. Kriyojenik şartlarda yüzey kalitesinin iyileşmesinin sebebi ise kesme anında kriyojenik sıvının hem soğutma hem de yağlama görevi görmesidir.



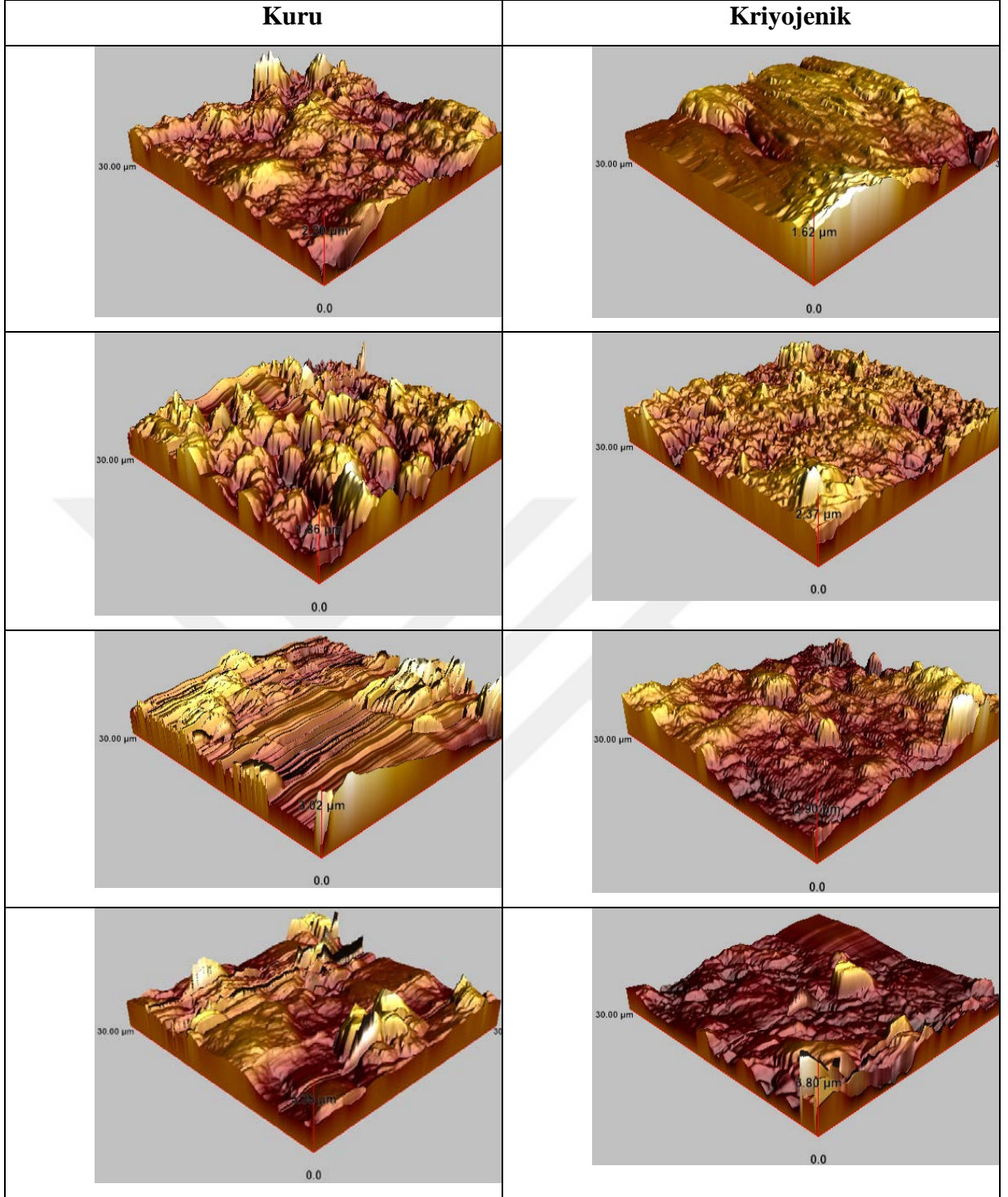
Şekil 4.13. Atomik kuvvet mikroskobu (AFM)



Şekil 4.14. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)



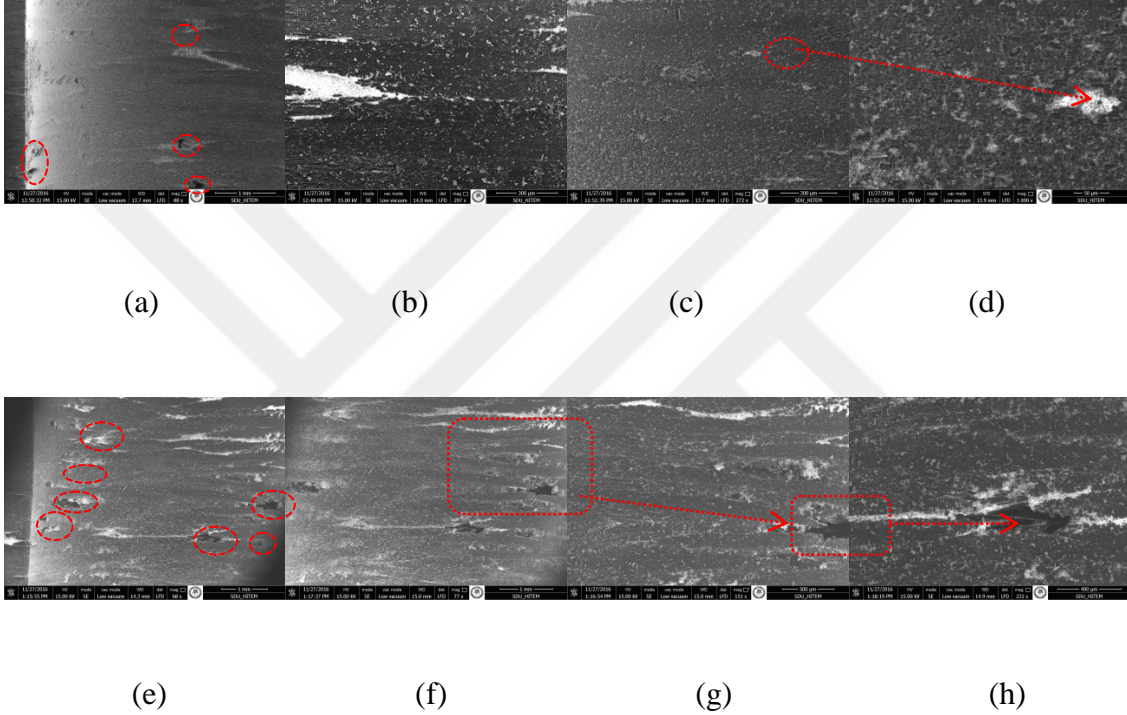
Şekil 4.15. Çeşitli işleme koşullarında ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kök ortalama kare pürüzlülüğü



Şekil 4.16. Kuru ve kriyojenik şartlarda delinmiş deliklerin üç boyutlu AFM görüntüleri

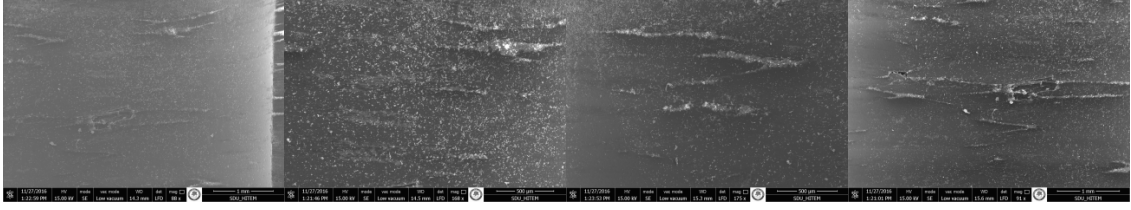
Delik delme anında kesme bölgesinde yüksek sıcaklık oluşmaktadır. Kompozit malzemede homojen bir yapıya sahip olmadığından matkap delerken kompoziti oluşturan tabakaları birbirinden ayırır. Anılan bu sebeplerden dolayı kompozite açılan delikler SEM ile görüntülenmiştir. Delik içi yüzey morfolojisi ile delikte meydana gelen hasar ve

ayrılmalar görüntülenmiştir. SEM analizi neticesinde, fiber kırılması, fiberlerin yerinden ayrılması, matris kırılması ve erimesi gözlemlenmiştir. 50m/dak. kesme hızında, 0.15 mm/dev. ilerleme oranı ile kuru ve kriyojenik şartlar altında kompozit levhaya 324 delik açılmıştır. Şekil 4.17’de kuru kesme şartları altında elde edilen deliklerin SEM görüntüleri verilmiştir. Şekilden de açıkça görüleceği üzere 324. delikte 1. deliğe göre daha fazla hasar oluşmaktadır. Bunun ana sebebi ise kesici takım aşınmasıdır.



Şekil 4.17. Kuru Kesme Şartları Altında Deliklerin SEM Resimleri,1. Delik içi resimler (a, b, c ve d) ve 324. delik içi resimler (e, f, g ve h)

Şekil 4.18’de ise kriyojenik kesme şartları altında elde edilen deliklerin SEM görüntüleri verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere 324. delikte 1. deliğe göre daha fazla hasar oluşmaktadır. Bunun ana sebebi ise kesici takım aşınmasıdır. Ayrıca kriyojenik şartlar ile yapılan delme işleminde kuru kesmeye nazaran daha az hasar oluşmuştur ve daha düz yüzeyler elde edilmiştir. Kriyojenik şartlar ile daha az hasarlı ve düz yüzey elde edilmesinin temel sebebi kesme anında sıcaklık artmadığından matris yumuşamamıştır. Sıvı nitrojen kullanımı kesme anında sıcaklığın yükseltmediğinden işlenen yüzey kalitesini artırdığı hem AFM hem de SEM görüntüleri ile gözlemlenmiştir.

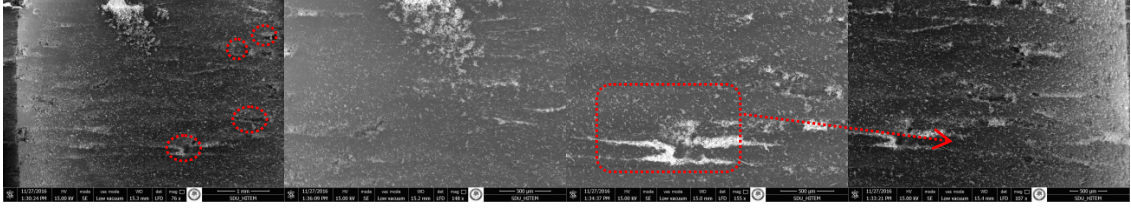


(a)

(b)

(c)

(d)



(e)

(f)

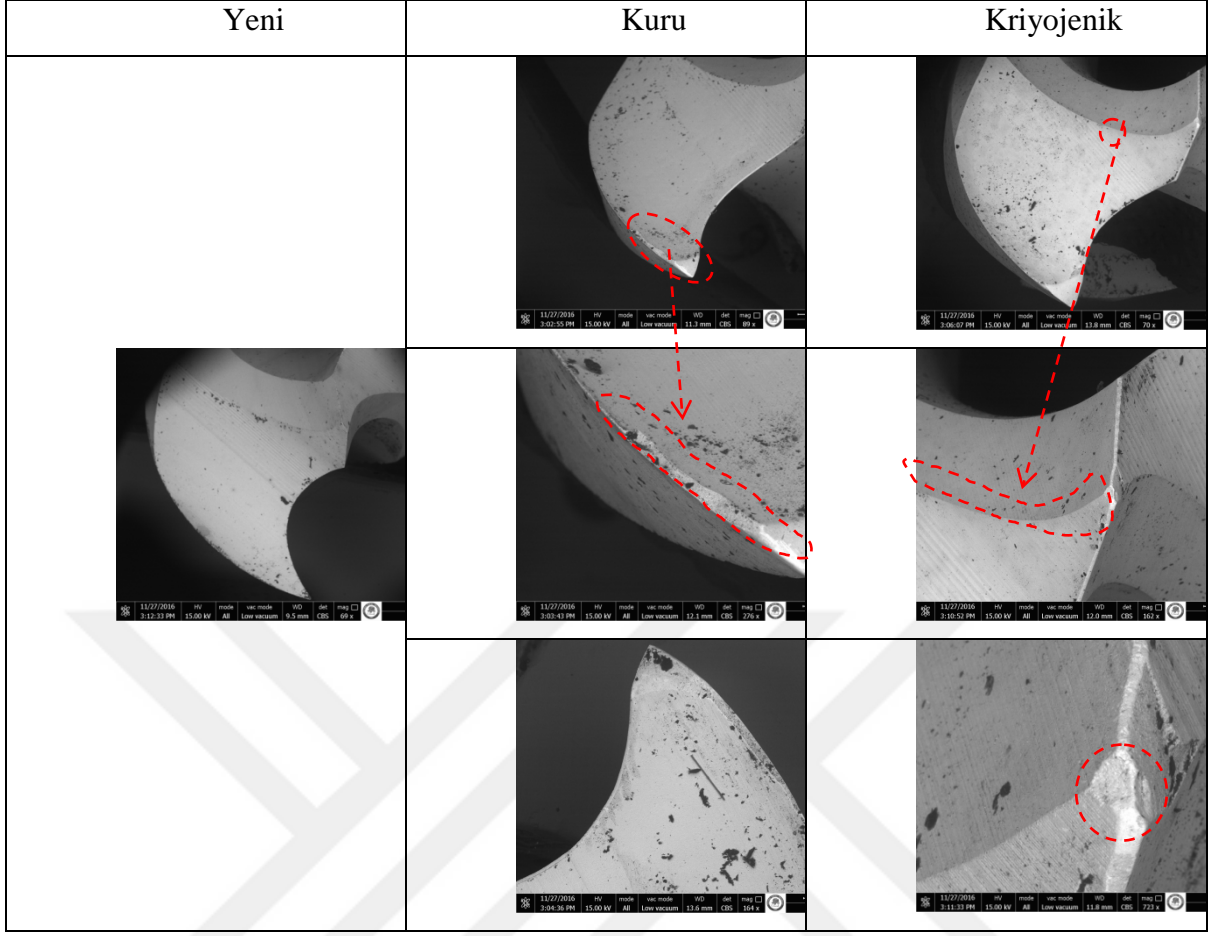
(g)

(h)

Şekil 4.18. Kriyojenik Delme Şartları Altında Deliklerin SEM Görüntüleri,1. Delik İçi Resimler (a, b, c ve d) ve 324. Delik İçi Resimler (e, f, g ve h)

4.5 Aşınma

Talaş kaldırma anında oluşan kesici takım aşınması pek çok istenmeyen duruma (kesme kuvvetinin artması, kesme bölgesinde oluşan ısının artması, çok fazla güç tüketimi v.b) yol açmaktadır. Kesici takımda meydana gelen aşınma SEM ile görüntülenmiştir. Sabit 50m/dak. kesme hızında, 0.15mm/dev. ilerleme oranında kompozit plakaya kuru ve kriyojenik şartlar ile 324 delik açılması neticesinde oluşan aşınmalar Şekil 4.19'da gösterilmiştir. Hem kuru hem de kriyojenik şartlar altında yapılan deneylerde kesici takımda köşe aşınması gözlemlenmiştir. Deneylerde kullanılan kesici takımın köşesinin çok keskin olduğu aşağıda gösterilmiştir. Kuru şartlarda yapılan deneylerde kullanılan matkap ta en fazla dış köşe aşınması ve asıl kesme kenar aşınması oluşmuştur. Kriyojenik şartlarda yapılan deneylerde ise en fazla aşınma kesici kenar aşınması oluşmuştur.



Şekil 4.19. Kuru ve Kriyojenik Şartlarda Takımda Oluşan Aşınma Miktarı (324 Delik Açıldıktan Sonra)

5. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

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

Karbon fiber takviyeli polimerik kompozit malzemenin delinmesinde kriyojenik şartlarda oluşan kuvvet kuru kesme şartlarında oluşan kuvvetin yaklaşık 2 kat daha fazla çıkmıştır. Kriyojenik şartlar altında daha fazla kuvvet oluşmasının nedeni ise malzemenin aşırı soğuğa maruz kalmasıyla malzemenin young modülünü, çekme gerilmesini artırmasıdır. Çekme gerilmesinin artması ile malzeme sert ve kırılabilir bir yapıya dönüştüğünden talaş kaldırma operasyonu zorlaşmaktadır.

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

Karbon fiber takviyeli polimerik kompozit malzemeye açılan delikler AFM ve SEM görüntüleri alınarak detaylı incelemeler neticesinde kriyojenik şartlar ile yapılan deneylerde kuru kesmeye nazaran daha düz, daha az hasarlı yüzeyler elde edilmiştir.

Kriyojenik şartlarda daha kaliteli yüzeyler elde edilmesinin temel sebebi kesme anında sıcaklık artmadığındandır. Kesici takım aşınması açısından elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde; kuru kesme şartlarında daha fazla takım aşınması olduğu gözlemlenmiştir. Buradaki takım aşınmasında da kesme bölgesindeki sıcaklığın önemli rol oynadığı söylenebilir.

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

KAYNAKLAR

- Ahmed, L.S.; Kumar, M.P. 2016. Cryogenic drilling of Ti-6Al-4V Alloy Under Liquid Nitrogen Cooling. *Mater Manuf Process* 31, 951-959
- Akgün Hale, 2008. Poliüretan-Karbon Fiber Kompozitlerin Hazırlanma ve Karakterizasyonu İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- Akkurt M., 1998. “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgâhları”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 23-90.
- Anand R.S. , K. Patra 2017. *CFRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 16 55–6356
- Arafat, M., 2009. CNC Delme İşleminde Delme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Açısından Optimizasyonu. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 87 s.
- Asaafi, S.M., and Ismail, A.F., 2002. Development and Characterization of Polyacrylonitrile (PAN) Based Carbon Hollow Fiber Membrane, *Songklanakarın Journal of Science and Technology*, 24, 843-854.
- Bayraktar Ş. ve Turgut Y. 2013. Elyaf Takviyeli Polimer Kompozit Malzemelerin Talaşlı Şekillendirilebilirliği, 1. Uluslararası Plastik ve Kauçuk Teknolojileri Sempozyumu ve Sergisi 29 – 31 Mayıs, Ankara, Türkiye
- Bayraktar Şenol, Siyambaş Yusuf, Turgut Yakup, 2017. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 120–130
- Bayraktar Ömer, 2016. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi
- Brinksmeier, E., Fangmann, S., Rentsch, R., 2011. Drilling of Composites and Resulting Surface Integrity, *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 60:57– 60.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. 2013. *Fundamentals of Materials Science and Engineering*, Wiley, (471660817), 164–185
- Cam Elyaf Sanayii A.Ş. 2004. Yayınları CTP Teknolojisi. 15–47
- Capello E 2004. Workpiece Damping and Its Effect on Delamination Damage in Drilling Thin Composite Laminates. *J Mater Process Technol* 148:186–195.
- Chung, D. 1994. *Carbon Fiber Composites*. Elsevier, 65–78
- Çaydaş U ve Çelik M 2016. Cam Elyaf Takviyeli Polimer (CETP) Kompozit Malzemelerin Delinmesinde Gri İlişkisel Analiz Yöntemiyle Delaminasyon Hasarlarının İncelenmesi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

- Demirel, A., 2007. “Karbon Elyaf Takviyeli Epoksi Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu”,Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Dokur, Mehmet Mümtaz. 2009. Karbon Fiber Esaslı Polimerik Matrisli Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi
- Ekici, E.ve Işık, B., 2009. CamElyaf Takviyeli Polimer Kompozit Malzemenin Delinmesi Esnasında Oluşan Yüzey Hasarının Deneysel Olarak İncelenmesi 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 13-15 Mayıs, Karabük, Türkiye
- El-Sonbaty, I.; Khashaba, U.A.; Machaly, T. 2004, Factors Affecting the Machinability of Gfr/Epoxy Composites. Compos Struct, 63, 329–338.
- Faraz, A., Biermann, D., Weinert, K., 2009, Cutting Edge Rounding An Innovative Tool Wear Criterion in Drilling CFRP Composite Laminates, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 49:1185–1196.
- Gaitonde VN, Karnik SR, Rubio Campos J, Correia Esteves A,AbraoAM, Paulo Davim J 2008 Analysis of Parametric İnfluence on Delamination in High-Speed Drilling of Carbon Fiber Reinforced Plastic Composites. J Mater Process Technol 203:431–438
- Giasin, 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 Clean Prod 135, 533–548.
- Ghosh, R., 2006, Technology Assessment On Current Advanced Research Projects in Cryogenic Machining, The Association for Manufacturing Technology, Virginia-USA, 1-3
- Giasin, K.; Ayvar-Soberanis, S.; Hodzic, A. 2016. The effects of Minimum Quantity Lubrication and Cryogenic Liquid Nitrogen Cooling on Drilled Hole Quality in Glare Fibre Metal Laminates. Mater Design 89, 996–1006.
- Govindaraju, N.; Ahmed, L.S.; Kumar, M.P. 2014. Experimental İvestigations on Cryogenic Cooling in the Drilling of AISI 1045 Steel. Mater Manuf Process 29, 1417-1421.,
- Herbert, M.A.; Shetty, D.; Vijay, G.; Shetty, R. 2014 Evaluation of Drilling İnduced Delamination of Carbon Fiber Reinforced Polymer Composite Using Solid Carbide Drills. European Scientific Journal, ESJ, 10 p.
- Islam, M.N.; Boswell, B.,2016. Effect of Cooling Methods on Hole Quality in Drilling of Aluminium 6061-6t. Iop Conf Ser-Mat Sci, 114 p.
- Jeon, Y., Park, H. W. ve Lee, C. M., 2013. Current Research Trends in External Energy Assisted Machining, International Journal of Precision Engineering and Composites, Noyes Publications, New Jersey

- Kılıçkap E., Hüseyinoğlu M., 2010. "Tepki Yüzey Modeli ve Genetik Algoritma Kullanılarak AISI 316'nın Delinmesinde Oluşan Çapak Yüksekliğinin Modellenmesi ve Optimizasyonu Mühendislik Dergisi, 1, 71-80
- Khashaba, U.A.; El-Sonbaty, I.A.; Selmy, A.I.; Megahed, A. 2010. Machinability Analysis in Drilling Woven Gfr/Epoxy Composites: Parti - Effect of Machining Parameters. Compos Part A Apple, 41, 391-400.
- Kheireddine, A.; Ammouri, A.; Lu, T.; Dillon Jr, O.; Hamade, R.; Jawahir, I., 2015. An Experimental and Numerical Study of the Effect of Cryogenic Cooling on the Surface Integrity of Drilled Holes in AZ31B Mg Alloy. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 78, 269–279.
- Kılıçkap, E., 2010. CETP Kompozitlerin Delinmesinde Oluşan Deformasyona Delme Parametrelerinin. Etkisinin İncelenmesi, 2.Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, 77, Kasım, 76–84.
- Kılıçkap Erol, and Mesut Hüseyinoğlu, 2010. "Tepki Yüzey Modeli Ve Genetik Algoritma Kullanılarak AISI 316'nın Delinmesinde Oluşan Çapak Yüksekliğinin Modellenmesi ve optimizasyonu." Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Dergisi Cilt 1 71–80
- Kurt Mustafa, Kaynak Yusuf, Bakır Barkın, Köklü Uğur, Atakök Gürcan, 2009. Kutlu Levent Experimental Investigation and Taguchi Optimization For The Effect of Cutting Parameters On The Drilling Of Al 2024-T4 Alloy With Diamond Like Carbon (Dlc) Coated Drills, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs Karabük, Türkiye
- Kurt M, E. Bağci, and Y. Kaynak, 2009. "Application of Taguchi Methods in the Optimization of Cutting Parameters for Surface Finish and hole Diameter Accuracy in Dry Drilling Processes", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 40(5), 458-469
- Lazar, M., Xirouchakis, P., 2011, Experimental Analysis of Drilling Fibre-Reinforced Composites, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 51.937–946.
- Liow, J.L., 2009, Mechanical Micromachining: A Sustainable Micro-Device Manufacturing Approach? Journal of Cleaner Production, 17.662–667.
- Morgan, P., 2005. Carbon Fiber and Their Composites, CRC Press, Boca Raton
- Murthy, N.H.; Krishna, M. Performance Analysis of Cryogenically Treated Carbide Drills in Drilling White Cast Iron. International Journal of Applied Engineering Research 2010, 1, 553.
- Meral, G., Dilipak, H., & Sarıkaya, M., 2011. AISI 1050 Malzemenin Delinmesinde İlerleme Kuvvetleri Ve Yüzey Pürüzlülüğünün Regresyon Metoduyla Modellenmesi. TÜBAV Bilim Dergisi, 4(1), 31–41.

- Mendi F., “Takım Tezgahları Teori ve Hesapları”,Gazi Kitap evi, Ankara, 1996, 5-40.
- Meral G., Dilipak H., ve Sarıkaya M., 2011. “AISI 1050 Malzemenin Delinmesinde Delme Parametrelerinin Delik Kalitesi Üzerindeki Etkisinin Çoklu Regresyon Metoduyla Modellenmesi”, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 8(1), 37-46
- Meral G., Dilipak H., ve Sarıkaya M., 2011.Delme İşlemlerinde Kesme Parametrelerinin Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 27(4): 332-338,
- Özel, D. ve Töre, C., 2007, Kompozit Uçak Yüzeyinde Elektrik İletkenliği, Mühendis ve Makine, Cilt: 48 (Sayı: 566).
- Perçin Mustafa, Mikro Delik Delme İşleminde Ti-6Al-4v Alaşımı İçin Kesme Şartlarının Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- Palanikumar, K.; Srinivasan, T.; Rajagopal, K.; Latha, B., 2016. Thrust Force Analysis in Drilling Glass Fiber Reinforced/Polypropylene (gfr/pp) Composites. Mater Manuf Process, 31, 581-586.
- Percin, M.; Aslantas, K.; Uçun, I.; Kaynak, Y.; Cicek, A. 2016. Micro-drilling of Ti-6Al-4V Alloy.The Effects of Cooling/Lubricating. Precis Eng, 45, 450–462.
- Rahamathullah, I., Shunmugam, M.S., 2013, Analyses of Forces and Hole Quality in Micro-Drilling of Carbon Fabric Laminate Composites, Journal of Composite Materials, 47/9: 1129–1140.
- Rahamathullah, I., Shunmugam, M.S., 2014, Mechanistic Approach for Prediction of Forces in Micro-Drilling of Plain and Glass-Reinforced Epoxy Sheets, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 75:1177–1187.
- Rao, G.V.G., Mahajan, P., Bhatnagar, N., 2007, Micro-Mechanical Modeling of Machining of FRP – Cutting Force Analysis, Composites Science and Technology, 67:579–593.
- Rawat S, Attia H.,2009. Characterization of the Dry High Speed Drilling Process of Woven Composites Using Machinability Maps Approach. CFRP Annals ManufTechnol 58:105–108
- Roger M.S., and Russell V.L., 2016. “Experimental Design For Process Settings in Aircraft Manufacturing. In Statistical Case Studies a Collaboration Between Academe and Industry”, Society for Industrial and Applied Mathematics, 235–247, 1998
- Sabancı, Ş., 2005. “Fiber Takviyeli Polimer Matriksli Kompozitlerin Enjeksiyon Yöntemiyle Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Savaşkan, Metin, Yılmaz Taptık, and Mustafa Ürgen, 2010. "Deney Tasarımı Yöntemi ile Matkap Uçlarında Performans Optimizasyonu." İTÜDERGİSİ/d 36

- Seçkin, Erde., and Hasan Yıldız. "Karbon Fiber Takviyeli Termoplastik Kompozitlerde Ara Yüzey Dayanımının Arttırılmasında Kullanılan Yöntemler." *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi* 3.1 (2009): 39-56.
- Seyedbehzad Ghafarizadehl, Gilbert Lebrun Jean, Francois Chatelain, 2015. Experimental Investigation of the Cutting Temperature and Surface Quality During Milling of Unidirectional Carbon Fiberrein Forced Plastic
- Shunmugesh K., Panneerselvam K., 2016. Machinability Study of Carbon Fiber Reinforced Polymer in the Longitudinal and Transverse Direction and Optimization of Process Parameters Using PSO–GSA, *Eng. Sci. Technol. Int. J.* 19 1552–1563.
- Srinivasan, T.; Palanikumar, K.; Rajagopal, K.; Latha, B. ,2017. Optimization of Delamination Factor in Drilling GFRP Composites. *Mater Manuf Process*, 32, 226–233.
- Tosun, Nihat, 2010. "Hava ve Geleneksel Soğutma Yöntemi ile Frezelemede Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi." *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi* 25.1
- Tsao, C. ; Hocheng, H., 2004 Taguchi Analysis of Delamination Associated With Various Drill Bits in Drilling of Composite Material. *Int Mach Tool Manufacturing* 44, 1085–1090.
- Wstawka, I; Slimaka, K., 2016. The Influence of Cooling Techniques on Cutting Forces and Surface Roughness During Cryogenic Machining of Titanium Alloys. *Archives of Mechanical Technology and Materials*, 36, 12-17.
- Xia, T.; Kaynak, Y.; Arvin, C.; Jawahir, I.S., 2016. Cryogenic Cooling Induced Process Performance and Surface Integrity in Drilling CFRP Composite Material. *Int J Adv Manuf Tech*, 82, 605–616.
- Yılmaz Esra, and Ferhat Güngör., 2010. "Gri İlişkisel Analiz Yöntemine Göre Farklı Sertliklerde Optimum Takım Tutucusunun Belirlenmesi." 2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi. **11-12** Kasım, Balıkesir
- Zitoune R, El M, Krishnaraj V., 2013. Tribo-Functional Design of Double Cone Drill Implications in Tool Wear During Drilling of Copper Mesh CFRP Woven Ply. *Wear* 302:1560–1567

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Ahmet Said YÖRÜK

Doğum Yeri ve Yılı : ISPARTA/ 1981



<u>Eğitim Durumu</u>	<u>Yıl</u>
Lise : Açık Öğretim Lisesi	1998
Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi Müh.Mim Fak Makine Mühendisliği Bölümü	2005
Yüksek Lisans : Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Malzeme Teknolojileri Mühendisliği Ana Bilim Dalı	2017
<u>Çalıştığı Kurum / Kurumlar</u>	<u>Yıl</u>
1- Sidre Mühendislik Ltd Şti' de Makine Mühendisi	2007
2- Şehrigül Yapı Denetim Ltd Şti' de Proje Kontrol Denetçisi	2011-2014
3- Birebir Yapı Denetim Ltd Şti' de Proje Kontrol Denetçisi ve Şirket Müdürü	2014-2017

Yayımları (SCI ve diğer makaleler)

1- Impact of Cryogenic Condition and Drill Diameter on Drilling Performance of CFRP

Applied Sciences 2017, 7(7), 667; doi: 10.3390/app7070667 (21.06.2017)