



The effect of drill point angles on drillability in CFRP/Al-7075 stacking drilling

Erman Aydın^{1*} , Muammer Nalbant² 

¹Electronic and Automation, Artvin Çoruh University, Borçka, 08400, Turkey

²Manufacturing Engineering, Gazi University, Ankara, 06500, Turkey

Highlights:

- CFRP/Al7075 Stacking drilling with different point angle drills
- Determination of average surface roughness and cutting forces
- Investigation of drill point angles effect on delamination

Keywords:

- Karbon fiber takviyeli polimer kompozit
- Al 7075 drilling
- CFRP/Al7075
- Stacking drilling
- Hole Surface Roughness
- Delaminations

Article Info:

Research Article
Received: 03.04.2019
Accepted: 22.10.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.548419

Acknowledgement:

The authors would like to thank Gazi University for technical and academic support.

Correspondence:

Author: Erman Aydın
e-mail:
ermanaydin@artvin.edu.tr
phone: + 90 466 215 10 00 /
3218

Graphical/Tabular Abstract

Carbon fiber reinforced polymer composite CFRP/Al 7075 are used in the field of military and civil aviation, space industry and many other advanced technology fields. The application CFRP / Al 7075 stacked structure of these two materials is used in aircraft wings, engine components and tail components. In forming this stacked structure, one of the most widely used machining applications is the drilling process. The problems are occurred because of these two materials, which have different chemical and physical properties, in drilling at the same time. These problems occur in the fibers for CFRP material as break, fragmentation, delamination and resin burning. In Al 7075, the problems of chip evacuation and build up-edge (BUE) at the main cutting edge are the most important problems. In this respect, the thrust force, moment, chip structure, delamination, average hole surface roughness and tool wear are the problems that need to be considered at the same time.

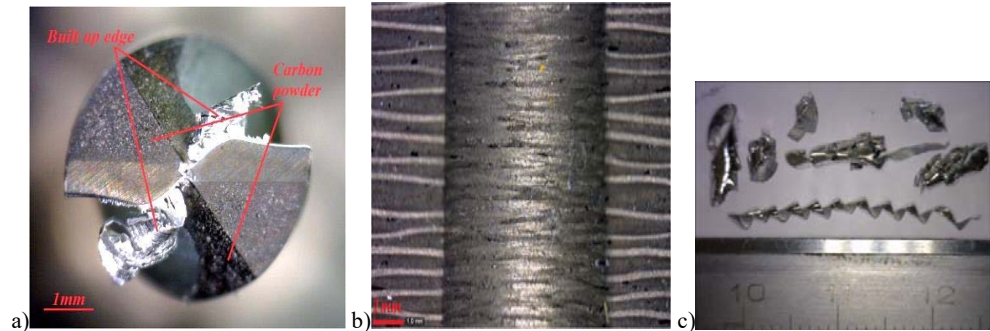


Figure A. After drilling operations a) 120° point angle drill b) CFRP in-hole c) Al 7075 chips

Purpose: The main objective of this study is to investigate the drillability of the CFRP/Al 7075 stacked structure with drills with different point angles.

Theory and Methods:

Experimental studies were performed by drilling 100 holes in each drill under constant cutting (V_c : 50 m/min and f : 0.05mm/rev) parameters. Analysis of variance (ANOVA) was also employed to determine the level of the effect drill point angles for the thrust force and average surface roughness on CFRP and Al 7075.

Results:

The experimental and statistical results showed that the drill point angle was the significant variable for the thrust force, moment, delamination and average surface roughness in drilling CFRP/Al 7075 stacked structure. Whereas, the chip forms were not significantly affected by the drill point angle.

Conclusion:

It was concluded that the point angle of 130 degrees should be the first choice in the drilling of the CFRP/Al 7075 stacked structure.



CFRP/Al-7075 istifli delmede matkap uç açıları delinebilirlik üzerine etkisi

Erman Aydın^{1*}, Muammer Nalbant²

¹Artvin Çoruh Üniversitesi, Borçka Acarlar Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, 08400, Artvin, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, 06500, Teknikokullar Ankara, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- CFRP/Al7075 Stacking drilling with different point angle drills
- Determination of average surface roughness and cutting forces
- Investigation of drill point angles effect on delamination

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 03.04.2019

Kabul: 22.10.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.548419

Anahtar Kelimeler:

Karbon fiber takviyeli polimer kompozit, Al-7075, istifli delme, delik yüzey pürüzlülüğü, delaminasyon

ÖZET

Bu çalışmada, askeri ve sivil havacılık alanında yoğun olarak kullanılmakta olan karbon fiber takviyeli polimer kompozit (CFRP) malzeme ve Al-7075 alaşımının oluşturduğu CFRP/Al-7075 istifli yapının, 120°-130°-140° uç açılarına sahip kaplamasız karbür matkaplar ile delinebilirliği araştırılmıştır. Delme süreçlerinde itme kuvveti (F_z), moment (M_z), delik ortalama yüzey pürüzlülükleri (R_a), talaş yapıları ve CFRP malzemede meydana gelen delaminasyonlar (F_d) incelenmiştir. Deneysel çalışmalar kuru kesme şartlarında 50 m/min kesme hızı ve 0,05 mm/dev sabit ilerleme değerinde, doğrudan delme yönteminde gerçekleştirilmiştir. 120° ve 130° uç açılı matkaplar CFRP malzemede yakın F_z ve F_d değerleri sergilerken, uç açılarına göre en düşük F_z , M_z , R_a ve en düşük F_d verileri sırasıyla 130°-120°-140° uç açılı matkaplarda elde edilmiştir. 140° uç açılı matkapta, esas kesici kenarda yoğun miktarda çapaklanma ve yığıntı talaş (Built up edge BUE) meydana gelmiş ayrıca matkap helis kanallarında Al talaşları sıvanmıştır. Deneysel çalışmaların ardından matkap uç açılarının itme kuvveti (F_z) ve ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) üzerine etkileri %95 güven aralığında ANOVA ile belirlenmiş ve çoklu karşılaştırma testleri uygulanmıştır. Sonuç olarak, 130° uç açılı kaplamasız karbür matkabın moment, itme kuvveti, ortalama yüzey pürüzlülüğü ve delaminasyon bakımından belirtilen kesme parametreleri ve delme koşulları doğrultusunda CFRP/Al-7075 istifli delme işleminde daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür

The effect of drill point angles on drillability in CFRP/Al-7075 stacking drilling

H I G H L I G H T S

- CFRP / Al7075 Farklı nokta açılı matkaplarla istifleme delme
- Ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerinin belirlenmesi
- Delme noktası açıları delaminasyona etkisinin araştırılması

Article Info

Research Article

Received: 03.04.2019

Accepted: 22.10.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.548419

Keywords:

Karbon fiber takviyeli polimer kompozit, Al-7075, stacking drilling, hole surface roughness, delamination

ABSTRACT

In this study, the drillability of CFRP/Al-7075 stacked structure which is formed by carbon fiber reinforced polymer composite (CFRP) material, which is used intensively in the field of military and civil aviation, and Al-7075 alloy has been investigated by drilling with uncoated carbide drills with different point angles. In the drilling processes thrust force (F_z), moment (M_z), hole average surface roughness (R_a), chip structure and delamination (F_d) occurring in CFRP material were investigated. Experimental studies were performed under dry cutting conditions with 50 m/min cutting speed and 0.05 mm/rev constant feed rate by using three different drill (120°-130°-140°) point angles uncoated carbide drills have different. 120° and 130° point angle drills are showed close F_z and F_d values in the CFRP material, while the lowest F_z , M_z , R_a and lowest F_d value are obtained respectively in 130°-120°-140° point angle drills. In the 140° point angle drill, a large amount of burring and built-up edge (BUE) was formed on the main cutting edge and Al chips were plastered in the drill helix flutes. After experimental studies, the effects of drill point angles on thrust force and average surface roughness were determined by ANOVA at 95% confidence interval and multiple comparison tests were applied. As a result, it has been seen that uncoated carbide drill has 130° point angle gives better results in terms of moment, thrust force, average surface roughness and delamination, under specified cutting parameters and drilling conditions in CFRP/Al-7075 stacking drilling.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: ermanaydin@artvin.edu.tr, nalbant@gazi.edu.tr / Tel: +90 466 215 10 00 / 3218

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kompozit malzemelerin kullanımı her geçen gün sürekli artış göstermektedir. Kullanım alanlarının çeşitliliği çok olmasına karşın özellikle havacılık, uzay, uydu ve otomotiv endüstrisinde çok önemli bir malzeme durumundadır. Özellikle karbon fiber takviyeli polimer kompozit (CFRP) malzemeler dayanım, uzun ömür ve hafiflik gibi sergiledikleri üst düzey özellikler sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Geleneksel malzemeler kompozit malzemelerin sergiledikleri performansları karşılayamamaktadır. Karbon fiber kompozit malzeme sahip olduğu düşük yoğunluk sayesinde hafifliğe ve buna ek olarak yüksek dayanım ile rijitliğe sahiptir. CFRP malzemeler hafif yapıları ile çeliklerden daha güçlü ve titanyum (Ti) malzemenin daha kararlı bir yapıya sahiptirler [1-3]. Bir Boeing 787'nin imalinde kullanılan yapısal elemanların %50'den fazlasını kompozit malzemeler oluşturmaktadır. Bu şekilde havacılık endüstrisinde yapısal elemanların ağırlığını düşürerek yakıt tasarruf sağlamayı mümkün kılmaktadır. Kompozit malzemeler böylelikle çok büyük bir verimlilik boşluğunu doldurmaktadır. Kompozit malzemelerin çeliğin yerini almasıyla %60-80 ve alüminyumun (Al) yerini almasıyla ise %20-50 oranında ağırlıktan kazanım mümkün olmuştur [3-5].

CFRP malzemenin tek başına kullanımından ziyade Al ya da Ti gibi metal malzemeler ile istifli halde kullanılmalarıyla daha üst düzey özelliklere sahip yapılar oluşturulabilmektedir. CFRP/Ti, CFRP/Al, CFRP/Al/CFRP şeklinde oluşturulan istifli yapılar, bu iki farklı malzemeyi birleştirmek ve eş merkezli delikler elde edebilmek amacıyla aynı anda delinmelerini gerektirmektedir. Çoğu imalat sektöründe olduğu gibi havacılık sektöründe de delik delme işlemi önemli bir imalat yöntemi durumundadır. Bir Airbus A350'de 55 000 kadar delik delme işlemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu delme işlemi özellikle farklı yapısal özelliklere sahip malzemelerin aynı anda delinmesi gerekliliğinde çok önemli bir sorunu ortaya çıkarmaktadır. CFRP malzemelerin delinmesi esnasında delaminasyon (katman kalkması), fiberlerin yırtılması, pul pul dökülme, ve alüminyumun talaş tahliyesi sürecinde sıvanması, CFRP malzemenin delik yüzeylerini bozması ve kesici takımın CFRP'nin aşırı aşındırıcı yapısından dolayı kısa sürede aşınması şeklinde sorunlar ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca delaminasyon, darbe etkisi ya da üretim hatasından meydana gelebilmekte ve yapının basma yük taşıma kapasitesinde önemli bir azalmaya neden olmaktadır. Bu gibi sorunlar işlenmiş parçaların servis ömürlerini, güvenilirlikleri ve kalitelerini düşürmekte, ayrıca havacılık ve uzay sanayi gibi ileri teknoloji gereksinimi duyan alanlarda maliyetlerin de yükselmesine sebep olmaktadır [6-10]. Delme işleminde yaşanan bu sorunların bertaraf dileyebilmesi için kompozit malzemelerin keskin bir kesici uç ile işlenmesi gerekmektedir. Aksi takdirde kesici kenarın aşırı aşınması halinde lifler kesilmeyip kopacak, bu durum tabakaların kalkmasına neden olacaktır. Bu sebeple doğru kesme verilerinin ve matkap geometriyelerinin kullanılması çok

önemlidir. Özellikle ilerleme değerinin iyi saptanması gerekmektedir. Aksi takdirde parçanın kesilme yerine ezilmesine sebep olunacak ve liflerde kesilme yerine kopma, parçalanma hasarları görülecektir. Hatalı yapılan delme işlemleri neticesinde karbon fiber liflerinde karşılaşılan kopma, parçalanma ve katman ayrılmaları sadece delik giriş ve çıkışlarında değil, malzeme ara katmanlarında da meydana gelecektir [11-14]. Lin ve Chen [15] yüksek hızda CFRP kompozit malzemenin delinebilirliği üzerine gerçekleştirdikleri çalışmalarında 25° ve 30° helis açılı ve 120° uç açısına sahip iki farklı karbür matkap kullanmışlardır. Artan kesme hızına bağlı olarak matkap aşınmasında artış olduğunu, bununla beraber matkap aşınmasından dolayı itme kuvvetinin yükseldiğini, düşük ilerleme değeri ile daha düşük itme kuvveti meydana geldiğini belirtmişlerdir. Zitoun ve diğerleri CFRP/Al istifli yapıda çift konili matkap kullanarak kesme kuvvetleri ve işleme kalitesi üzerine çalışmışlardır. 2020 dev/min ve 0,1 mm/dev değerlerinde arzu edilen biçimde kırılmış alüminyum talaşları gözlemlenmiş, ayrıca çift konili matkap ile yapılan delme işlemi neticesinde geleneksel matkaba oranla daha düşük itme kuvveti meydana geldiğini belirtmişlerdir [16]. Ayrıca yapılan çalışmalarda kesme sürecinin fiberlerinin serim açalarına da bağlı olduğu belirtilmiştir. Örneğin 0°, +45°, 90°, -45° gibi açı değerlerinde farklı talaş kaldırma mekanizmaları meydana geldiği görülmüştür. Fiberlerin kopmasının fiber yönelimlerine ve kesme açalarına bağlı olduğunu, itme kuvvetinin kesme hızından çok ilerleme miktarından etkilendiğini, itme kuvvetinin artan ilerleme miktarı ile arttığını ve kesme hızındaki artışla bir miktar azaldığını belirtilmiştir [17-19]. Mayuet ve diğerleri kaplamasız WC+Co matkaplar kullanarak CFRP'de delik giriş ve çıkış noktalarının hasarlarını incelemişlerdir. Kesme hızı ve ilerleme oranının delik giriş ve çıkış noktalarındaki aşınmalara ve kusurlara oransal olarak etki ettiğini gözlemlenmişlerdir. Ancak ilerleme artışının hasarlar üzerindeki etkisinin kesme hızı artışından daha etkili olduğunu belirtmişlerdir [20]. Karpat ve diğerleri endüstriyel şartlardaki CFRP'nin delinmesi esnasındaki matkap geometrisinin performansını incelemişlerdir. Kuvvetler arasındaki etkileşim ve tork değerlerini matkap açılarının ve kenar uzunluklarının bir fonksiyonu olarak sunmuşlardır [21]. Zitoun ve diğerleri CFRP/Al istifli yapının farklı kesme parametrelerinde, kesme sıvısı kullanmadan 4,6 mm ve 8 mm çaplarında kaplamasız (K20) karbür matkaplarla işlenebilirliğini incelemişlerdir. Çalışmalarında 4,2 mm kalınlığında CFRP ve 3 mm kalınlığında Al-2024 kullanmışlardır. Kesme parametreleri olarak sırasıyla 1050-2020-2750 dev/dak devir sayısı ve 0,05-0,10-0,15 mm/dev ilerleme değerlerini seçmişlerdir. Delme işlemi sonucunda oluşan delik yüzey pürüzlülükleri/kalitesi, daireselliği, itme kuvveti, tork ve talaş biçimlerini incelemişlerdir. Düşük ilerleme değerinde karbon fiber malzeme daireselliğin 6 µm civarında ölçüldüğünü, ancak yüksek ilerleme değerinde ise 25 µm'ye kadar çıktığını belirtmişlerdir [22]. Shyha ve diğerleri tek yönlü fiber malzeme kullanarak, Ti/CFRP/Al istifli yapının kesme sıvısı kullanılarak kaplamasız, TiAlN

kaplamalı ve elmas kaplamalı matkaplarla delinmesi neticesinde delik çaplarını, silindiriklik değerlerini, çapak yüksekliğini ve yüzey pürüzlülüğü değerleri incelemiştir. Delik çıkışlarında 0,5 mm değerinde, girişte oluşandan daha yüksek çapak ölçüleri gözlemlenmiştir. Yanak aşınması 0,3 mm olmak kaydıyla en iyi matkap ömrünü kaplamasız karbür ardından TiAlN ve en son elmas kaplamalı matkapta saptamışlardır [23]. Yine bir başka çalışmada Miguel ve diğerleri CFRP/Al istifli delmede yüzey pürüzlülük değerleri üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. İlerleme hızının 0,05 mm/dev'den 0,15 mm/dev'e kadar artması ile Al malzemede elde edilen yüzey pürüzlülük değerinin 0,43 μm 'den 0,98 μm 'ye, benzer şekilde karbon fiber malzemede ise 3,3 μm 'den 6,93 μm 'ye kadar çıktığını belirtmişlerdir. Ayrıca karbon fiber malzemede artan yüzey pürüzlülüğüne delik içerisinden sürekli geçmekte olan Al talaşlarının ve yüksek ilerleme değerinin de sebep olduğuna dikkat çekmişlerdir [24]. Wang ve diğerleri [25], gerçekleştirdikleri çalışmada matkap aşınmasının metal malzeme işleme süreçlerine kıyasla farklı gerçekleştiğini ve matkap kesici kenarlarında körelme ve kesici kenarda yuvarlaklaşmanın ana problemler olduğunu belirtmişlerdir. Bu problemlerin ise delik ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerlerinde artışlara sebep olduğuna dikkat çekmişlerdir. Rawat ve diğerleri [26], artan delik sayısı ile ortalama yüzey pürüzlülüğünün arttığını, bu durumun karbon fiber ara katmanlarında mikro çatlakların oluşmasına ve fiberlerde dökülmelere sebep olduğunu belirtmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğünün artmasında etkili olan bir sebebin de delme esnasında artan ısı miktarı olduğu belirtilmiştir. Bu durum Shyha ve diğerlerinin [27] CFRP malzemenin düşük termal iletkenliği sebebiyle 300°C–400°C arasında reçinede meydana gelen erimenin delme esnasında CFRP liflerinde tüylenmelere ve pullanmalara sebep olduğu belirtmeleri ile anlaşılmaktadır. Bu durum neticesinde CFRP liflerinde ortalama yüzey pürüzlülük değerleri yüksek çıkmaktadır. Kuo ve diğerleri [28], Ti/CFRP/Al istifli yapı üzerinde TiAlN/TiN ve kaplamasız karbür matkaplar ile gerçekleştirdikleri çalışmada, CFRP malzemede 0,53-11,68 μm ve Al malzemede 0,11-0,69 μm aralığında ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri elde etmişlerdir. Çalışmalarında en uzun matkap ömrünü kaplamasız karbür matkaplarda elde

etmişlerdir. Bu durumu kaplamasız karbür matkapların daha küçük kesici kenar radyüsüne sahip (daha keskin) olmalarına atfetmişlerdir. Wang ve diğerleri [29], CFRP/Al-7075-T651'in çift uç açılı elmas kaplamalı matkaplar ile delinmesinde oluşan kesme kuvveti, sıcaklık, delik yüzey kalitesi ve delik çap değerlerini incelemiştir. Meydana gelen ısının artan kesme hızı ile arttığını ve artan ilerleme değeri ile azaldığını belirtmişlerdir. Başka bir çalışmada [30] 125° uç açılı kaplamasız karbür matkap kullanılarak Al/CFRP istifli yapının farklı devir sayıları ve ilerleme değerlerinde delinebilirliği incelenmiştir.

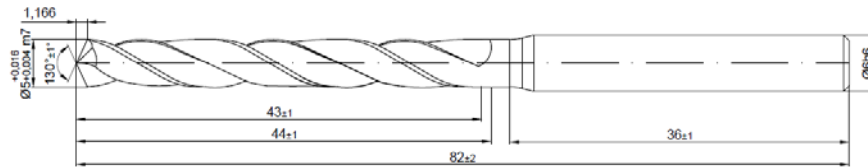
Yapılan çalışmalar incelendiğinde birçok araştırmacının farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde genellikle aynı uç açısına sahip farklı kaplama türlerinde matkaplar kullanarak, bu değişkenlerin oluşturduğu itme kuvveti, moment, dairesellikler ve delaminasyon gibi verileri inceledikleri görülmüştür. Yapılan çalışmada literatüre ek olarak, sabit kesme parametreleri altında matkap uç açısı değişiminin CFRP/Al-7075 istifli yapının delinmesinde ortalama yüzey pürüzlülüğü, itme kuvveti, moment, delaminasyon, takım aşınması ve talaş yapıları üzerine etkilerini hem deneysel hem de istatistiksel olarak saptayarak, bu doğrultuda delinebilirliği nasıl etkilediği ve CFRP/Al 7075 istifli yapının delinmesinde en uygun matkap uç açısının belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. DENEYSEL METOT (EXPERIMENTAL METHOD)

Çalışmada Şekil 1'de de belirtildiği üzere üç adet 5 mm çapında 30° helis açısına sahip kaplamasız karbür (WC) 120°-130°-140° uç açılı matkaplar kullanılmıştır.

Tablo 1'de matkaplara ait özellikler verilmiştir.

Sağladığı üstün özellikler [9] doğrultusunda havacılık sektörü kullanımına uygun olarak 245 gr/m² 2x2 3K twill karbon fiber ile Huntsman XU3508 reçine sistemi (sertleştirilmiş epoksi reçine, sıvı beyaz renkte) kullanılarak (reçine emdirilmiş) imal edilen prepregler kullanılmıştır. Prepreg malzeme 0° ve 45° fiber açıları ile cam bir yüzeye simetrik olarak serilmiş; vakum torbalama yöntemi ile



Şekil 1. 130° uç açılı matkap (130° point angle drill)

Tablo 1. Matkap özellikleri (Specifications of drills)

Matkap Çapı	Matkap Malzeme Cinsi	Helis Açısı	Sertlik (HV)	Sürtünme Katsayısı	Termal İletkenlik (kW/mK)	Uç Açısı	Kesici Kenar Uzunluğu	Kesici Kenar Yüksekliği
5 mm	Karbür (WC)	30°	1600	0,45	0,08	120°	2,887 mm	1,443 mm
						130°	2,759 mm	1,166 mm
						140°	2,66 mm	0,91 mm

plakalar imal edilmiştir. Plakalar 120°C’de 4 saat kürlenmiştir. Yeterli miktarda prepreg üretiminden sonra prepreg malzeme 100 mm x 75 mm ölçülerinde kesilmiştir. 10 mm plaka için 40 kat takviye malzemesi kullanılmıştır. Twill dokuma tipinde karbon lifler 0° ve 90° yönünde örgü oluşturdukları için serim açısı olarak sadece 0° ve 45° lik açılar kullanılmıştır. İstifli yapının diğer bir malzemesini de Al-7075 oluşturmuştur. Tablo 2’de Al-7075’e ait kimyasal özellikler, Tablo 3’te ise mekanik özellikler verilmiştir.

Al-7075 10 mm kalınlığında 100 mmx75 mm ölçülerine getirilmiş, CFRP malzeme ile 4 köşesinden Şekil 2a’da gösterildiği biçimde sabitlenerek, istifli yapının içine yerleştirilebileceği önceden hazırlanmış bağlama kalıbına tutturularak CNC dik işleme merkezine bağlanmıştır. Şekil 2b’de doğrudan delme yönteminin uygulanışı belirtilmiştir. Deneyler Johnford VMC-850 marka CNC dik işleme merkezinde gerçekleştirilmiştir. Deliklerin delinmesi

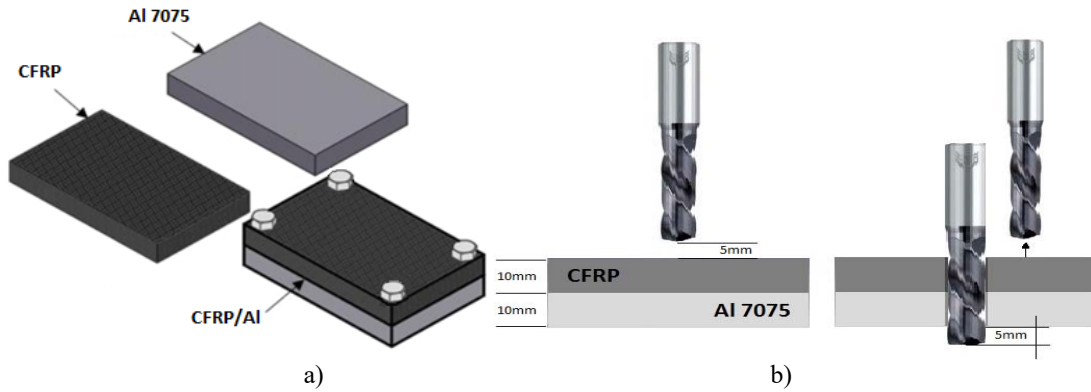
esnasında CFRP malzemede oluşan delaminasyon, fiber kopması-ayrılması, parçalanma gibi sorunlar işleme esnasında kesici takım tarafından uygulanan itme kuvveti ve tork değerlerinin delme üzerindeki etkilerinden kaynaklanmaktadır [31-33]. Bu sebepten dolayı delme esnasında kesme kuvvetlerinin belirlenmesi için Şekil 3’de belirtilen üç kesme kuvveti bileşenini ve torku (F_x , F_y , F_z , M_z) aynı anda ölçme kapasitesine sahip, KISTLER 9123C tipi dinamometre ve Kistler 5223B2 amplifiyer (yükseltici) kullanılmıştır. Delik yüzeylerinde ve matkaplarda meydana gelen kusurlar Şekil 4a’da belirtildiği üzere Dinolite dijital mikroskop ile saptanmıştır. Delik iç yüzeylerinde oluşan yüzey pürüzlülük değerleri ölçüm işlemleri ise Şekil 4b’de belirtildiği üzere Mahr Perthometer M1 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir. İlk delikten itibaren her beş delikte bir üçer adet olmak üzere, delme yönünde delik orta noktalarından eşit mesafede ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Al 7075 T6’nın kimyasal özellikler (Chemical properties of Al-7075 T6)

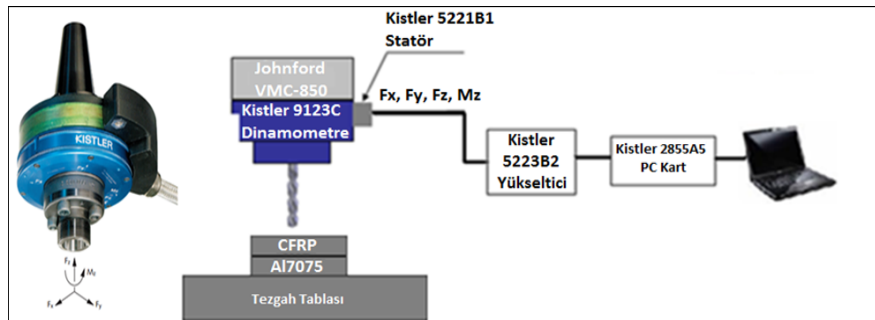
Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Zi+Ti	Diğer	Al
0,5	0,5	1,2-2,0	0,3	2,1-2,9	5,1-6,1	0,18-0,28	0,25	0,15	Kalan

Tablo 3. Al 7075 T6’nın Mekanik özellikler (Mechanical properties of Al-7075 T6)

Özellik	Al 7075 T6
Çekme Mukavemeti (MPa) min-max	530-570
Akma Mukavemeti (MPa) min-max	460-505
Uzama %50	10
Sertlik (Brinell) min-max	140-160



Şekil 2. Delme işlemi a) CFRP/Al-7075 istifli yapı b) Delme yöntemi
(Drilling operation a) CFRP/Al-7075 stacked structure b) Drilling method)



Şekil 3. Dinamometre ve test düzeneği (Dynamometer and tes setup)



Şekil 4. Görüntüleme işlemleri a) Dinolite Dijital mikroskop b) Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı
(Image processes a) Dino Lite Digital Microscope b) Surface roughness measuring device)

CFRP malzemenin işlenmesi geleneksel malzemelere göre farklılık göstermektedir. Yapısı gereği farklı fiber açıları, katman kalınlığı veya üretim yöntemi değişikliği aynı matkapla bile farklı sonuçlar farklı delik kaliteleri vermektedir. Bu sebeple seçilecek kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme) iyi tayin edilmelidir. Bu çalışmada literatür araştırmaları sonucunda belirlenen 50 m/min kesme hızı ve 0,05 mm/dev ilerleme değeri kullanılmıştır. Ayrıca delaminasyon değerleri birçok araştırmada kullanılan Eş. 1'deki formül ile hesaplanmıştır. Burada F_d delaminasyon faktörünü, D_{maks} (mm) oluşan en büyük delik çapı değerini ve D_{nom} (mm) elde edilmesi planlanan delik çap ölçüsünü (matkap çapı değeri) göstermektedir [2, 6, 11, 30, 32].

$$fd = \frac{D_{maks}}{D_{nom}} \quad (1)$$

Elde edilen (F_z) itme kuvveti ve (R_a) ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin matkap uç açılımlarına değişimleri göre %95 güven aralığında varyans analizi (ANOVA) ile incelenerek çoklu karşılaştırma (Post-Hoc) testlerine tabi tutulmuştur [23].

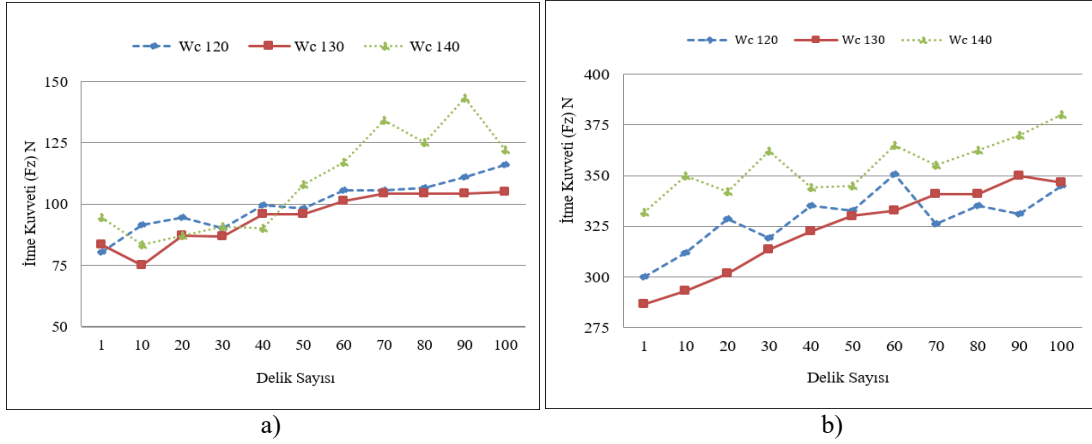
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

3.1. İtme Kuvveti (F_z) ve Momentin (M_z) Değerlendirilmesi (Evaluation of thrust force (F_z) and moment (M_z))

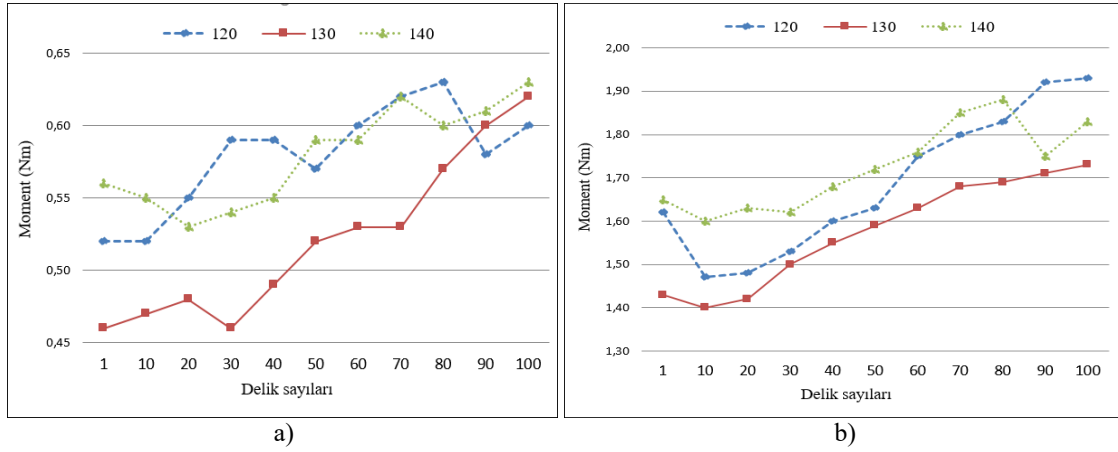
Delme işlemlerinde kesme kuvvetleri özellikle F_z itme kuvveti delme sürecinin gerçekleşmesinde oluşan temel kuvvet durumundadır. İtme kuvvetinin değişimleri, elde edilen deliklerin yüzey kalitelerinin, matkaplardaki aşınmaların ve CFRP malzemede meydana gelen delaminasyonlar gibi birçok hasar ve kusurun değerlendirilmesi için temel bileşendir [15-18]. Şekil 5'te kaplamasız karbür 120°-130°-140° uç açılımlarına sahip matkaplarla 100 delik üzerinden gerçekleştirilen delme işlemi sonucunda CFRP ve Al-7075 malzemede elde edilen itme kuvveti değerleri belirtilmiştir. Delme işleminde matkap ilk olarak CFRP malzeme üzerinde delik delme işlemini gerçekleştirmiş ardından Al-7075'e girmiştir. Şekil 5a incelendiğinde CFRP'de her üç farklı matkap uç açısına sahip matkap ile elde edilen kuvvet değerleri görülmektedir. Matkaplardaki kuvvet dağılımları değerlendirildiğinde 120° uç açılı matkabın yaklaşık 80N'lık kuvvet değeri ile gerçekleştirdiği ilk delme işleminin ardından, artan delik

sayısı ile birlikte sürekli bir kuvvet artışı olduğu [15] ve son deliğe gelindiğinde %43'lük kuvvet artışı ile 115N seviyelerinde son delik delme işlemini gerçekleştirdiği görülmektedir [31]. 130°'lik uç açısına sahip matkap ilk 10 delikte 83N'dan başlayan delme işleminde ilk 10 delikte kuvvette azalma görülecek şekilde delme işlemini gerçekleştirmiştir. Bu durum kesici takımın özellikle Al malzeme işleme sürecinde yaşanan talaş sıvanmasının 10. delikteki oluşumunun daha az olmasına atfedilmiştir. Artan delik sayısı ile kuvvet artışı düzenli bir şekilde yükselmiştir. 130°'lik matkap 120°'lik matkap ile kıyaslandığında %5-%10 seviyelerinde daha düşük kuvvet değerlerinde delme işlemini gerçekleştirdiği görülmektedir. 100. deliğe gelindiğinde 85 N değerinde başlayan delme işlemi son deliğe gelindiğinde %23 bir artışla 105 N değerine kadar çıkmıştır. Asıl büyük kuvvet değişimleri 140° uç açılı matkapta gözlenmiştir. İlk delikteki kuvvet değeri 80N olarak ölçülürken 40. delikte bir kırılma noktası yaşanmış, matkap yoğun Al malzeme ile sıvanmış, talaş tahliyesi sorunu yaşanmasına paralel olarak kuvvet değerleri özellikle 90. delikte %78 kuvvet artışı ile 143 N'a kadar yükselmiştir. Genel olarak bakıldığında 140°'lik matkabın delme sürecinde iyi bir performans sergileyemediği ve her üç matkap için de 40 ile 50 sayılı deliklerden sonraki süreçlerde matkaplardaki kuvvet artışlarının daha yüksek olduğu görülmüştür. İtme kuvveti artışlarıyla ilgili olarak, delik sayısı artışı ile birlikte kesici takımın, özellikle CFRP'nin aşındırıcı yapısına daha çok maruz kalması ve Al malzemeden kaynaklı talaş yapışması, BUE oluşumlarının artması, artan delik sayısı ile birlikte kesici takımın körleşmesine ve neticesinde matkabın delme işlemi yapmak yerine malzeme üzerinde itme yapmasından kaynaklı olarak artış göstermektedir.

Şekil 5b'de CFRP/Al-7075 istifli yapıda Al-7075'in delinmesi esnasında elde edilen kuvvet verileri belirtilmiştir. Şekil 5b incelendiğinde her üç matkap içinde genel olarak artan delik sayısı ile kuvvet değerlerinde yükseliş görülmüştür. CFRP yapının delinmesinde görülene benzer şekilde 140°'lik matkapta ölçülen kuvvet değerleri diğer iki matkaba göre de yüksek oluşmuştur. En istikrarlı delme işlemi 130°'lik matkapta gerçekleşmiştir [33-37]. Ortalama itme kuvveti (F_z) değeri sırasıyla 120°-130°-140° matkap uç açılımlarına göre CFRP ve Al-7075 malzemede, 101 N, 98 N, 103 N – 338 N, 330 N, 364 N olarak ölçülmüştür. Şekil 6'da CFRP ve Al-7075 malzemede her üç farklı uç açısına sahip



Şekil 5. İtme kuvveti (F_z) değişimleri a) CFRP b) Al-7075 (Changing of thrust force (F_z) a) CFRP b) Al-7075)



Şekil 6. Moment değişimleri a) CFRP b) Al-7075 (Changes of moment a) CFRP b) Al-7075)

matkapta oluşan moment değerleri belirtilmiştir. Şekil 6a'da verilen moment değişimleri incelendiğinde 0,46-0,63Nm aralığında bir değişim ile CFRP malzemenin delinebildiği görülmektedir. Aradaki fark çok büyük olmamakla birlikte en düşük moment değeri 80.delige kadar olan süreçte 130° uç açılı matkapta gözlenmiştir. Genel olarak kuvvet dağılımları ile de kıyaslandığında 130°'lik matkapta daha düşük moment verileri elde edilmiş, 120° ve 140° uç açılı matkaplar 50. delige kadar olan süreçte dalgalanmalar yaşamış ancak 50. delikten sonraki 40 delikte benzer bir seyir izlemişlerdir. 90. delige gelindiğinde 120° matkapta 0,05Nm'lik bir düşüş meydana gelmiş bu durum talaş tahliyesinde sorun olmamasına atfedilmiştir. CFRP malzemedeki moment değişimlerine istinaden genel olarak moment açısından uygun delme şartlarını sırasıyla 130°-120°-140° uç açılı matkapların sağlayabildiği görülmüştür. Moment değerlerindeki meydana gelen dalgalanmalar genel olarak matkapların malzeme içerisinde talaşlar sebebiyle sıkışması ve delik boyu artışıyla matkap malzeme temas yüzeyinin artmasına atfedilmektedir. Şekil 6b'de Al-7075 malzemede her üç farklı uç açısına sahip matkapta oluşan moment değerleri belirtilmiştir. Veriler incelendiğinde 50. delige kadar olan süreçte 130° ve 120° uç açılı matkapların yakın moment değeri sergiledikleri

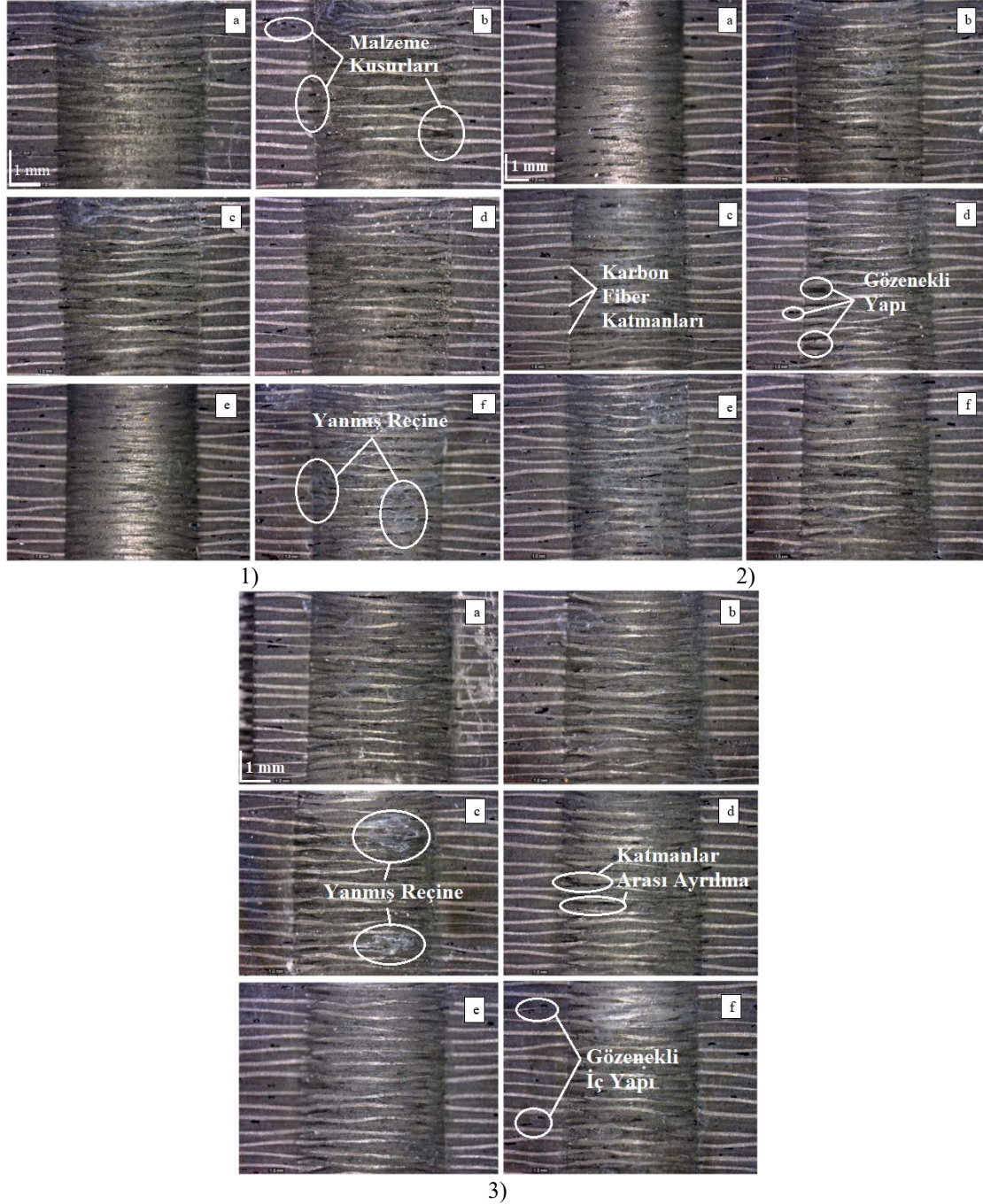
görülmüştür. 50. delikten sonraki süreçte 130° uç açılı matkapta meydana gelen moment değişimi daha düzenli bir artış göstermiştir. Genel olarak literatürde uç açısındaki artış ile tork değerinde düşüş meydana geldiği belirtilmekle birlikte [33, 38] kesme parametreleri ve delme koşulları altında 130° uç açılı matkap daha istikrarlı bir tork değerinde delme işlemlerini gerçekleştirmiştir. CFRP moment (M_z) değişimlerinin 120° ve 140°'lik matkaplarda 0,53 Nm ile 0,63 Nm aralığında hemen hemen aynı seyirde olduğu, 130°'lik matkapta ise özellikle 50. delige kadar olan süreçte 0,46 Nm-0,52 Nm aralığında olmak üzere daha düşük değerlerde gerçekleştiği görülmüştür. Al-7075'de ise 130° uç açılı matkapta M_z değişimi 1,40 Nm ile 1,72 Nm aralığında oluşmuştur.

3.2. Delik Yüzey Kaliteleri, Takım Aşınması ve Talaş Yapısının Değerlendirilmesi (Evaluation of Hole Surface Quality, Tool Wear And Chip Form)

Yüzey pürüzlülükleri talaşlı imalatta ürünlerin kullanılıp kullanılmayacağını gösteren en önemli faktörlerin başında gelmektedir. Elde edilen ürün uygun ölçüsel değerlerde olsa dahi, çalışma alanındaki gereksinimleri karşılayamayacak bir yüzey kalitesinde olması durumunda, bu ürünün

kullanımı mümkün olmamaktadır. Bu sebepten dolayı özellikle CFRP malzemelerin delik kaliteleri bu parçaların kullanıma uygun olup olmadıklarının tayini için çok büyük bir öneme sahiptir. CFRP malzemeler tek başlarına delindikleri takdirde istenilen yüzey pürüzlülük değerlerinin elde edilmesi istifli delme şartlarına kıyasla nispeten daha kolay olmaktadır [31-41]. Şekil 7'de sırasıyla 120°-130°-140° uç açlarına göre karbon fiber malzeme delme işlemi sonunda aşındırıcı su jeti ile delik orta noktalarından kesilen 1-20-40-60-80-100 numaralı deliklerin iç görüntüleri

verilmiştir. Delik yüzeylerinde eşit mesafede üçer adet R_a ölçümü gerçekleştirilmiştir. Elde edilen R_a değerleri malzeme iç yüzeylerinde delme esnasında ve üretim esnasında oluşan kusurlar doğrultusunda değişimler göstermektedir. Bu durum delik iç görüntülerinden anlaşılmaktadır. Al talaşlarının karbon fiber katmanlarına sürünerek delik dışına çıkması durumunda [23] delik iç yüzeylerinde katman kalkması, fiberlerde kopmalar ve yırtılmalar meydana getirmiştir. Özellikle reçinede meydana gelen yanmalar gri renk tonunda görülmektedir. Bu durum



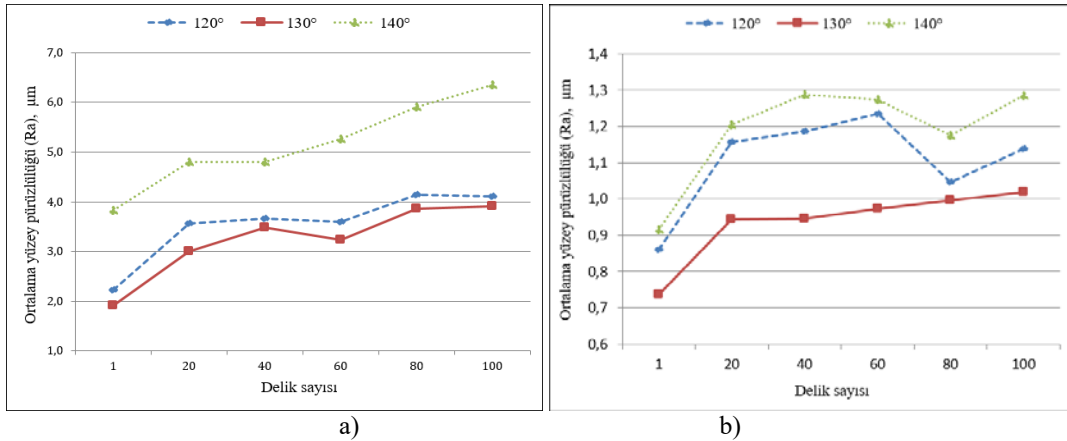
Şekil 7. CFRP delik içi görüntüleri 1) 120° 2) 130° 3) 140° a) 1.delik b) 20.delik c) 40.delik d) 60.delik e) 80.delik f) 100.delik (In-hole images of CFRP 1) 120° 2) 130° 3) 140° a) 1th hole b) 20th hole c) 40th hole d) 60th hole e) 80th hole f) 100th hole)

erimiş reçinenin delik iç yüzeyinde katman oluşmasına ve R_a değerinin yüksek çıkmasına sebep olmaktadır. Bu sorun 140° uç açılı matkapta yoğun olarak görülmektedir.

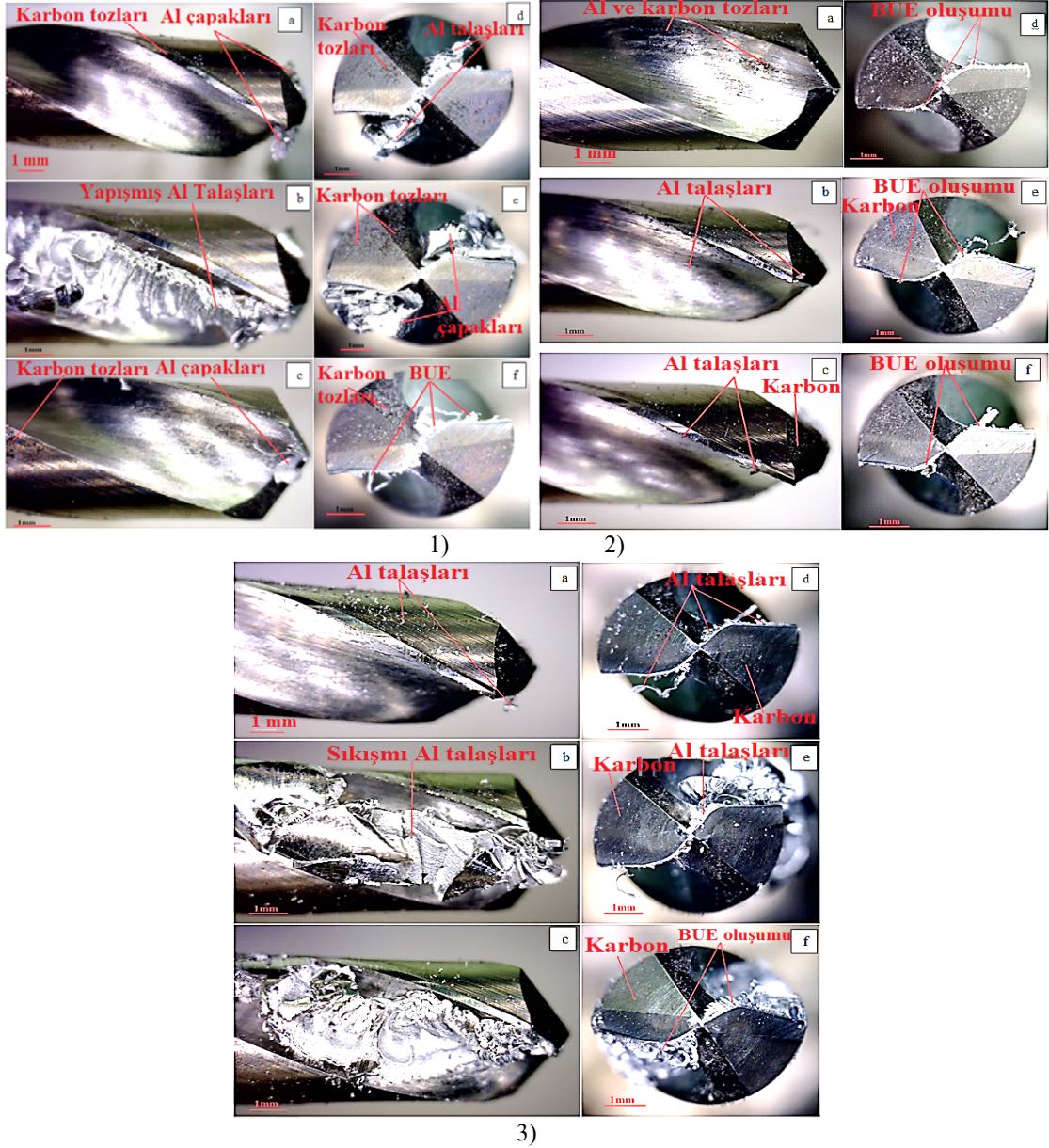
Şekil 8’de CFRP ve Al-7075 malzemede matkap uç açılına göre, ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir. Şekil 8a’da karbon fiber malzemede ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde delik sayısındaki artış ile pürüzlülük değerlerinde de artış olduğu görülmektedir. Kompozit malzemelerde özellikle karbon fiber takviyeli polimer kompozit malzemelerde ortalama yüzey pürüzlülük değeri R_a $3,2\mu\text{m}$, Al malzemede ise $1,6\mu\text{m}$ olarak kabul edilmektedir [23, 42, 43]. Ancak CFRP/Al ya da CFRP/Ti gibi istifli yapılarda bu değer delme koşullarına göre yükseliş göstermektedir. Ancak istifli yapı oluşturulduğunda kesme şartlarından dolayı metalik malzeme talaşlarının delik içerisindeki tahliye hareketi neticesinde fiberlerde kopmalara, yırtılmalara, katmanlarda ayrılmalara sebep olmaktadır. 120° uç açılı matkap incelendiğinde 40. deliğe kadarlık süreçte 130° ’lik matkabın üzerinde bir pürüzlülük değerinde seyrederken 60. deliğe doğru ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinde bir azalma gözlenmiştir. Ancak genel itibariyle pürüzlülük değeri 130° ’lik matkaptan daha yüksek çıkmıştır. 130° uç açılı kaplamasız karbür matkapta elde edilen R_a değerleri incelendiğinde yaklaşık $2\mu\text{m}$ değerinde başlayan pürüzlülük 40. deliğe kadar olan süreçte R_a $3,5\mu\text{m}$ değerini geçmeyecek seviyelerde devam etmiştir. 50. delikten sonraki süreçte $4,3\mu\text{m}$ ’ye kadar çıkmıştır. R_a değerinde görülen artış [44] metalik malzemelerin delinmesinde görülen, delik sayısı ile artan takım aşınması ilişkisine benzer gerçekleşmiştir. En belirgin pürüzlülük değeri 140° uç açılı matkapta yaşanmıştır. Belirtilen matkabın kuvvet ve moment değişim değerleri de incelendiğinde, delme işleminde zorlandığı, neticesinde CFRP malzeme yüzey kalitesinde yüksek pürüzlülükler sebepten dolayı anlaşılmaktadır. Elde edilen R_a değerleri literatürde bulunan verilerle tutarlı sonuçlar vermiştir [23, 36, 37, 45]. Belirtilen yüzey pürüzlülük değerlerine bakıldığında ise CFRP/Al-7075 istifli yapı için uygun pürüzlülük değerlerinin sırasıyla kaplamasız karbür 130° - 120° - 140° matkaplarda elde edildiği görülmüştür.

Al malzemeye geçildiğinde yüzey pürüzlülük değerleri daha düşük seviyelere inmektedir. Şekil 8b’de CFRP/Al-7075 istifli yapıda Al malzemenin kaplamasız karbür 120° - 130° - 140° uç açılı matkaplarla kuru kesme şartlarında doğrudan delme yöntemi ile delinmesinden elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerini göstermektedir. Şekil 8b’de Al-7075 malzemenin ölçülen değerler incelendiğinde en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerinin sırasıyla 130° - 120° - 140° uç açılı matkaplarda olduğu görülmektedir. 120° ve 140° uç açılı matkaplar 80. deliğe kadarlık süreçte benzer pürüzlülük değeri sergilerken, son 20 delikte 140° ’lik matkapta artan bir pürüzlülük değeri gözlenmektedir. Ayrıca 80. Şekil 8b’de 120° ve 140° uç açılı matkaplarda görülmekte olan yaklaşık $0,1$ - $0,2\mu\text{m}$ ’lik yüzey pürüzlülüğü düşüşü, matkap yüzeylerinde bulunan talaşların matkap kesici kenarlarından ve helis kanallarından tahliyesinin daha düzgün gerçekleşmesinden kaynaklanmıştır. Ardından 80 ve 100 numaralı deliklerde Şekil 9(1-2)’den de anlaşılacağı üzere, takım üzerinde yapışan talaşlar, ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin tekrardan yükselmesine sebep olmuştur. Kuvvet dağılım grafikleri de incelendiğinde, 140° ’lik matkabın delme işleminde yüksek oranda yığıntı talaş (Built up-edge) oluşumuna [23] maruz kaldığı ve talaş sıkışmaları olduğu görülmüştür. Bu durumda doğrudan Al malzeme yüzey pürüzlülüğüne olumsuz yönde etki oluşturmuştur. 130° ’lik matkap 20. deliğe kadar düşük yüzey pürüzlülüğü sergilerken ardından bu değerde artış gözlenmiş ve son deliğe kadar $0,06\mu\text{m}$ ’lik bir değişim içerisinde dalgalanma göstermiştir. Bu sonuçlar göz önüne alındığında CFRP/Al-7075 istifli yapının kuru kesme şartlarında doğrudan delme yöntemi ile işlenmesinde Al-7075 malzeme için en uygun ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin 130° uç açısına sahip kaplamasız karbür matkap ile elde edildiği görülmektedir.

Matkaplar üzerinde yapışan talaş yapıları incelendiğinde Al malzemenin kesme bölgesinden uzaklaştırılmamasının en büyük sorunu oluşturduğu görülmektedir. Şekil 9’da sırasıyla kaplamasız karbür 120° - 130° - 140° matkaplarla gerçekleştirilen delme işlemleri sonucundaki matkap görüntüleri verilmiştir. Matkap kesici kenarlarında Al



Şekil 8. Ortalama yüzey pürüzlülük (R_a) değişimleri a) CFRP b) Al-7075
(Changes of average surface roughness (R_a) a) CFRP b) Al-7075)



Şekil 9. Delme işlemi sonrası matkap görüntüleri 1) 120° uç açılı matkap 2) 130° uç açılı matkap 3) 140° uç açılı matkap
a) 30.delik b) 60.delik c) 100.delik / d) 30.delik e) 60.delik f) 100.delik
(Drill images after drilling process. 1) 120° point angle drill 2) 130° point angle drill 3) 140° point angle drill a) 30th hole b) 60th hole c) 100th hole / d) 30th hole e) 60th hole f) 100th hole

malzeme talaşları yığıntı talaş (BUE) oluşturmuş, CFRP malzeme ise takım üzerinde abrasif aşınmaya [42] sebep olmuştur. Ayrıca karbon tozları matkap gövdesi üzerinde yapışma eğilimi göstermiştir. İlerleyen süreçte artan delik sayısı ile doğru orantılı olarak yükselen ısı değeri CFRP malzemede reçinenin erimesine sebep olmuştur. Bu durum karbon liflerin parçalanması ile sonuçlanmıştır [23, 27, 29, 45]. 120° ve 140° lik matkap kanallarını tamamiyle Al malzeme ile kaplandığı görülmektedir. BUE oluşumu sürekli artış göstermiştir. Tüm bu durumlar göz önüne alındığında 140° uç açılı matkabın CFRP/Al-7075 istifli delme işleminde iyi bir performans sergileyemediği görülmüştür. Elde edilen verilere göre matkaplar arasında bir sıralama

yapıldığı takdirde, matkap talaş yapısı bakımından 130° uç açılı matkabın en iyi performansı, 140° uç açılı matkabın ise en düşük performansı sergilediği görülmüştür. Bu durum takım aşınması sürecinde de 140° uç açılı matkabın kısa sürede aşınmasına sebep olmaktadır.

Şekil 10'da matkap uç açılına göre oluşan Al-7075 talaş formları görülmektedir. Talaş formları arasında belirgin bir farklılık ile karşılaşılmazken 120° uç açılı matkapta oluşan bazı talaş formları uzun spiral bir yapıda meydana gelmiştir. Genel olarak talaş formları göz önüne alındığında ise matkap uç açısı değişimlerinin Al malzeme talaşlarında belirgin bir farklılık oluşturmadığı görülmektedir. Aynı durum karbon



Şekil 10. Matkap uç açılarına göre oluşan talaş formları a) 120° uç açısı b) 130° uç açısı c) 140° uç açısı
(Chip forms according to drill point angles a) 120° point angle b) 130° point angle c) 140° point angle)

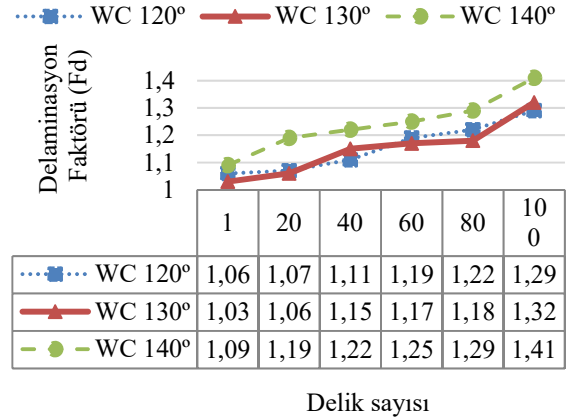
fiber malzeme talaşları içinde geçerli olmaktadır. Karbon fiber malzemeden oluşan talaşlar toz halinde ya da kesme şartlarına bağlı olarak iplikli formlarda oluşmuş ve talaş sıkışmasının yaşandığı delme işlemlerinde Al malzeme ile birleşerek katı bir yapı meydana getirmiştir. Bu durum delme esnasında artan ısıdan dolayı reçine, Al talaşları ve karbon tozlarının kaynaklanmasından meydana gelmektedir.

3.3. Delaminasyonun Değerlendirilmesi (Evaluation of delamination)

Delaminasyon özellikle CFRP/Al ya da CFRP/Ti gibi istifli yapılarda yoğun olarak karşılaşılan [8, 19, 20, 33, 39] malzeme dayanımını, kalitesini ve servis ömrünü olumsuz yönde etkileyen sorunların başında gelmektedir. Şekil 11'de her uç açısına göre CFRP malzeme delik girişlerine ait 1-20-40-60-80-100 numaralı deliklerden elde edilen delaminasyon değerleri verilmiştir. 100 delik üzerinden gerçekleştirilen delme işlemlerinde artan delik sayısı ile delaminasyon değerinde artış olduğu görülmektedir. Delaminasyonda meydana gelen bu artışın sebebi, artan delik sayısına bağlı olarak, matkabın özellikle CFR'nin aşındırıcı yapısından dolayı kesici özelliğini kademeli olarak kaybetmesi, Al talaşlarının kesici takım helis kanallarında yığılması sonucu delik girişlerinde bu talaşlı yapının CFRP liflerini çekerek koparmaya çalışması ve matkap uç açısı değişimi ile oluşan takım talaş temas alanının değişimi ile oluşan BUE'nin delme üzerinde oluşturduğu negatif etkisi, delaminasyon değerinin artmasına sebep olmuştur. Delaminasyon değeri CFRP de en fazla 1mm olması kabul edilebilen [2, 6, 46] hata miktarı, 5 mm'lik matkapta $F_d=1,2$ ye denk gelmektedir. $F_d=1,2$ değeri özellikle 50. deliğe kadar olan süreçte 120° ve 130° uç açılı matkaplarda sağlanabilirken, 140° uç açılı matkapta 40. delikten sonraki süreçte 1,42 seviyelerine kadar yükselmiştir.

Şekil 12'de sırasıyla 120°-130°-140° matkap uç açılarına göre 1-20-40-60-80-100 numaralı delik CFRP girişleri görülmektedir. Delme işlemlerinde CFRP/Al-7075 katmanları arası özellikle iki malzeme arasında oluşabilecek boşlukları engellemek amacıyla yaklaşık 0,3-0,5mm kalınlığında epoksi reçine [40] ile birleştirilmiştir. Delme işlemleri sonucunda CFRP delik girişlerinde oluşan kusurlar genellikle 140° uç açılı matkapta talaş tahliyesinde yaşanan sorunlarla birlikte artış göstermiştir [47]. Delik yan yüzeylerinde fiberlerde yırtılmalar ve kopmalar yaşanmıştır. 120° ve 130° uç açılı matkaplarda daha az kusurlu delik

girişleri elde edilmiştir. Düşük uç açısında delaminasyonun daha düşük olacağını belirtmesine [34] karşın, Al malzemenin varlığı istifli delmede düşük uç açısının delaminasyona olumsuz etki yaptığını göstermiştir. En önemli sorunlardan biri, istifli yapının delinmesinde kompozit ve alüminyum talaşlarının ısının sebebiyle reçine erimesiyle birlikte [48] delik yüzeylerine yapışması ve talaş tahliyesi esnasında yapışan bu malzemelerin koparak uzaklaşmasıdır. Bu durum delik girişlerinin bozulmasına ve delaminasyonun artmasına sebep olmuştur.



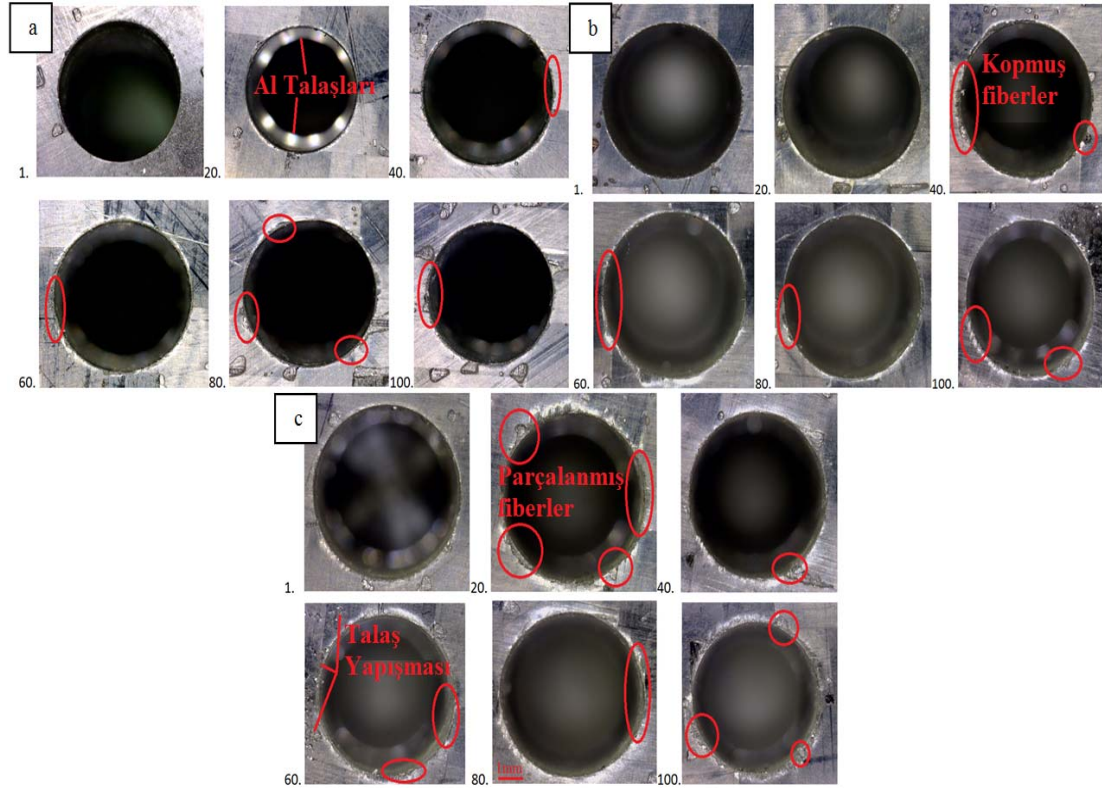
Şekil 11. Matkap uç açılarına göre delaminasyon değerleri
(F_d) (Delamination factors according to drill point angles (F_d))

3.4. İstatistiksel Analizler (Statistical Analysis)

Hem fen bilimleri hem de sosyal bilimlerde elde edilen verilerin sayısal olarak bir karar yargısı oluşturabilmesi için belirli yöntemler kullanılarak analiz edilmeleri gerekmektedir. Yapılan çalışmaların hem geçerlilikleri hem de güvenilirlikleri yapılan istatistiksel testler ile sağlanabilmektedir. Fen bilimlerinde genel olarak yapılan çalışmaların deneylerde kullanımına karar verilen bağımlı ve bağımsız değişkenlerin aralarındaki ilişki seviyeleri kontrolleri gerçekleştirilir. Ardından beklenen ilişki seviyeleri istatistiksel uyum değerleri içerisinde olduğu takdirde çalışmalara devam edilebilmektedir. Bu yöntemlerden en çok kullanılanlardan bir tanesi de ANOVA (analysis of variance) testidir. Bu metod Ronald Fisher tarafından 1930 yılında tarımsal çalışmaların sonuçlarını yorumlamak için bir yol olarak kullanılmıştır. ANOVA test

edilen ürün gruplarının ortalama performansındaki herhangi bir farklılığın tespit edilmesi için istatistiksel olarak temel alınan objektif bir karar verme aracıdır. Bu bağlamda kullanılacak paket programlardan biri de JMP programıdır. Çalışmada JMP 11.0 kullanılarak deney verileri analiz edilmiştir. Mühendislik, tıp, ziraat, biyoloji gibi çoğu bilim dalında kullanılan istatistiksel uygulamalarda veriler ışığında elde edilen sonuçların yanılma payı $P:0,05$ (%) olarak alınmaktadır [44]. Analizler bu hata payı doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Kaplamasız karbür matkapların uç açıları değişkenlerine bağlı olarak 100'er adet delik üzerinden yüzey pürüzlülüğü üzerine malzeme türü, matkap uç açısı ve delik sayısının etkileri incelenmiştir. Bu inceleme için H_0 ve H_1 şeklinde aşağıdaki gibi iki hipotez yazılmıştır. H_0 =Malzeme türü, delik sayısı ve uç açısındaki değişimin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisi yoktur. H_1 =Malzeme türü, delik sayısı ve uç açısındaki değişimin yüzey

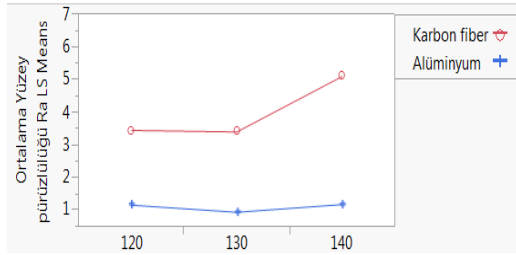
pürüzlülüğü üzerinde etkisi vardır. Bu hipotezlerin geçerliliği deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen verilerin varyans analizine tabi tutulması sonucunda değerlendirilebilmektedir. Bu sebeple Tablo 4'te deney değişkenleri olan malzeme türü, matkap uç açısı ve delik sayısının, yüzey pürüzlülük değerlerinde meydana getirdikleri etkinin varyans analizleri verilmiştir. Tablo 4'deki veriler incelendiğinde asıl değişkenleri oluşturan malzeme, uç açısı ve delik sayısına bağlı olarak P değerlerinin $P<,0001$ olduğu görülmektedir. Bu değer %5'lik yanılma oranının altındadır. Dolayısıyla H_0 hipotezi reddedilir ve H_1 hipotezi kabul edilir. Kısacası malzeme, uç açısı ve delik sayısı değişkenlerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili oldukları görülmektedir. Şekil 13'de malzeme ve uç açısına göre JMP'de elde edilen yüzey pürüzlülük değişimlerinin çoklu karşılaştırma sonuçları görülmektedir.



Şekil 12. Matkap uç açılarına göre CFRP (1-20-40-60-80-100) delik girişleri a) 120° b) 130° c) 140°
(Hole entrances on CFRP according to drill point angles a) 120° b) 130° c) 140°)

Tablo 4. Ortalama yüzey pürüzlülüğüne etki eden değişkenlerin varyans analizi
(Variance analysis of variables affecting on average surface roughness)

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P	EO %
Malzeme	1	750,56	750,56	8517,72	<,0001	75,70
Uç açısı	2	81,70	40,85	463,62	<,0001	8,24
Delik sayısı	20	29,68	1,48	16,84	<,0001	2,99
Malzeme*Uç açısı	2	58,38	29,19	331,24	<,0001	5,89
Malzeme*Delik sayısı	20	25,22	1,26	14,31	<,0001	2,54
Uç açısı*Delik sayısı	40	20,14	0,50	5,71	<,0001	2,03
Hata	292	25,73	0,09			
Toplam	377	991,43				



Şekil 14. Malzeme ve matkap uç açısına göre ortalama yüzey pürüzlülük (R_a) değişimi
(Change of average surface roughness (R_a) according to material and drill point angle)

Değişken	E.K.O.	Sınıflandırma
Al-7075, 120°	1,149	C
Al-7075, 130°	0,920	D
Al-7075, 140°	1,180	C
CFRP, 120°	3,341	B
CFRP, 130°	3,256	B
CFRP, 140°	5,107	A

Tablo 5. İtme kuvvetine (F_z) etki eden değişkenlerin varyans analizi
(Variance analysis of the variables affecting on thrust force)

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P	EO
Malzeme	1	8911378	8911378	48628,45	<,0001	97,37
Uç açısı	2	39706	19853	108,3378	<,0001	0,43
Delik sayısı	99	84968	858	4,6835	<,0001	0,92
Malzeme*Uç açısı	2	24329	12165	66,3812	<,0001	0,27
Malzeme*delik sayısı	99	16413	166	0,9047	0,7094	
Uç açısı*delik sayısı	198	38993	197	1,0747	0,3065	
Hata	198	36284	183			
Toplam	599	9152073				

En düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri hem CFRP hem de Al-7075 malzemede 130° uç açısına sahip kaplamasız karbür matkapta elde edildiği görülmektedir [37]. Malzeme, uç açısı ve delik sayısının kuvvet verileri üzerinde nasıl bir etkiye sahip oldukları istatistiksel analiz yöntemleri ile incelenmiştir. Bu inceleme için H_0 ve H_1 şeklinde aşağıdaki gibi yine iki hipotez belirlenmiştir. H_0 =Malzeme türü, uç açısı ve delik sayısındaki değişimin F_z itme kuvveti üzerinde etkisi yoktur. H_1 = Malzeme türü, uç açısı ve delik sayısındaki değişimin F_z itme kuvveti üzerinde etkisi vardır. Belirtilen hipotezlere göre malzeme, uç açısı ve delik sayısı değişkenlerinin F_z itme kuvveti üzerindeki etkisi Tablo 5'deki varyans analizi ile belirtilmiştir. P değerleri incelendiğinde $P < ,0001$ olduğundan F_z itme kuvveti üzerinde malzeme, uç açısı ve delik sayısının etkisi olduğu H_1 hipotezi doğrultusunda anlaşılmaktadır.

Her uç açısı için hem CFRP hem de Al malzemede Şekil 5'deki 100'er deliklik ortalama kuvvet değerleri incelendiğinde istatistiksel sonuçların bu doğrultuda uyumlu oldukları görülmektedir. 100 delik üzerinden yapılan değerlendirmede hem CFRP hem de Al-7075 malzemede en düşük F_z itme kuvveti değerleri kaplamasız karbür 130° uç açılı matkapta, en yüksek F_z itme kuvveti değerlerinin ise her iki malzemede de kaplamasız karbür 140° uç açılı matkapta olduğu görülmektedir.

4. SİMGELER (SYMBOLS)

F_z	: İtme kuvveti (N)
M_z	: Moment (Nm)
F	: İlerleme (mm/dev)
V	: Kesme hızı (m/min)
R_a	: Ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri (μm)
F_d	: Delaminasyon faktörü

BUE	: Yığıntı talaş (Built Up-Edge)
CFRP	: Carbon fiber reinforced polymer
WC	: Tungsten carbide

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Çalışmada, 20 mm kalınlığında CFRP/Al-7075 istifli yapı 120°-130°-140° uç açısına sahip kaplamasız karbür matkaplar ile kuru kesme şartlarında 50 m/min kesme hızı ve 0,05 mm/dev ilerleme değerinde doğrudan delme yöntemi ile delme işlemlerine tabii tutulmuştur. Matkap uç açısı değişiminin delaminasyon, itme kuvveti, moment, delik ortalama yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve talaş yapısı üzerine etkileri incelenmiştir. Gerçekleştirilen deneysel ve istatistiksel çalışmalar sonucunda aşağıda belirtilen sonuçlara varılmıştır;

- Hem CFRP'de hem de Al-7075'de artan delik sayısı ile (F_z) itme kuvvetinin artış göstermiştir. En düşük F_z değerleri 130° matkapta, en yüksek F_z değerinin ise 140°'lik matkapta meydana gelmiştir.
- Moment değerleri CFRP ve Al-7075 için 130°'lik uç açısına sahip matkapta daha düşük oluşmuştur.
- CFRP'de sırasıyla 120°-130°-140° uç açılı matkaplarda ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri 3,34 μm , 3,25 μm , 5,10 μm , Al-7075'de sırasıyla 1,14 μm , 0,92 μm , 1,18 μm olarak elde edilmiştir. Böylece en düşük R_a değeri 130°'lik uç açısına sahip matkapta elde edilmiştir.
- CFRP/Al-7075 istifli delmede matkap uç açılarının talaş formları üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür.
- Delaminasyon değerlerinin nominal çap 5 mm olduğu göz önüne alındığında özellikle 40. deliğe kadar olan süreçteki

$f_a < 1,2$ olarak elde edildiği, artan delik sayısı neticesinde delaminasyon değerinin yükseldiği buna karşın en düşük delaminasyonun 130° uç açılı matkapta olduğu görülmüştür.

- Varyans analizleri (ANOVA) neticesinde matkap uç açısı değişimlerin itme kuvveti (F_z) ve ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri üzerinde etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Deneysel çalışmalar Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Teknik ve akademik altyapısı desteğinden dolayı İmalat Mühendisliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümüne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Wen-Chou C., Some experimental investigations in the drilling of carbon fiber-reinforced plastic (CFRP) composite laminates, *Mach. Tools. Manufact.*, 37 (8), 1097-1108, 1997.
2. Shyha I., Drilling of carbon fibre reinforced plastic composites, Doctor of philosophy, The University of Birmingham, School of Mechanical Engineering, England, 2010.
3. Soutis C., Carbon fiber reinforced plastics in aircraft construction, *Material Science and Engineering: A*, 412 (1-2), 171-176, 2005.
4. Komanduri R., Machining of fiber-reinforced composites, *Machining Science and Technology*. 1 (1) 113-152, 1997.
5. Ersoy M.S., Lif takviyeli polimerik kompozit malzeme tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 2005.
6. Faraz A., Biermann D., Weinert K., Cutting edge rounding: An innovative tool wear criterion in drilling CFRP composite laminates, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 49 (15), 1185-1196, 2009.
7. Karslı Yılmaz N.G., Karbon elyaf takviyeli termoplastik karmaların üretimi ve özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2011.
8. Camanho P.P., Da Vila C.G., De Moura M.F., Numerical simulation of mixed-mode progressive delamination in composite materials, *Journal of Composite Materials*, 37 (16), 1415-1438, 2003.
9. Villareal H., Unger S., Lee F.W., Advancement of out of autoclave (OOA) technology, *Tencate advanced Composites*, 2014.
10. Mrazova M., Advancec composite materials of the future in aerospace industry, *Incas Bulletin*, 5 (3), 139-150, 2013.
11. Haijin W., Jie S., Jianfeng Li., Weidong Li., Investigation on delamination morphology during drilling composite laminates, *Int J Adv Manuf Technol*, 74 (1-4), 257-266, 2014.
12. Garrick R., Drilling advanced aircraft structures with PCD (Pol-crystalline diamond) drills, *SAE International*, ATC-18, 2007.
13. Bayraktar Ş., Karbon elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin frezeleme işleminde işlenebilirliğinin deneysel araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2011.
14. Çakır C., Modern Talaşlı İmalatın Esasları, Nobel Basımevi, 215, 2006.
15. Lin S.C., Chen I.K., Drilling carbon fiber-reinforced composite material at high speed, *An International Journal on the Science and Technology of Friction, Lubrication and Wear*, 194 (1-2), 156-162, 1996.
16. Zitoune R., Krishnaraj V., Collombet F., Roux S.Le., Experimental and numerical analysis on drilling of carbon fibre reinforced plastic and aluminium stacks, *Composite Structures*, 146 (1), 148-158. 2016.
17. Zitoune R., Collombet F., Lachaud F., Piquet R., Pasquet P., Experiment-calculation comparison of the cutting conditions representative of the long fibre composite drilling phase, *Composite Science Technology*, 65 (3-4), 455-466, 2005.
18. Wang DH., Ramulu M., Arola D., Orthogonal cutting mechanisms of graphite/epoxy, composite part II: multi directional laminate, *Int J Mach Tools Manuf*, 35 (12), 1639-1648, 1995.
19. Eneyew E.D., Ramulu M., Experimental study of surface quality and damage when drilling unidirectional CFRP composites, *Journal of Materials Research and Technology*, 3 (4), 354-362, 2014.
20. Mayuet P., Gallo A., Portal A., Arroyo P., Alvarez M., Marcos M., Damaged Area based Study of the Break-IN and Break-OUT defects in the Dry Drilling of Carbon fiber Reinforced Plastics (CFRP), *Prpcedia Engineering*, 63, 743-751, 2013.
21. Karpat Y., Değer B., Bahtiyar O., Drilling Thick Fabric Woven CFRP Laminates with Double Point Angle Tools, *Journal of Materials Processing Technology*, 212 (10), 2117-2127, 2012.
22. Zitoune R., Krishnaraj V., Coolombet F., Study of drilling of composite material and aluminium stack, *Composite Structures*, 92 (5), 1246-1265, 2010.
23. Shyha L.S., Soo S.L., Aspinwall D.K., Bradley S., Perry R., Harden P., Dawson S., Hole quality assessment following drilling of metallic-composite stack, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 51 (7-8), 569-578, 2011.
24. Miguel, A., Joel G., Corinne RW., Shantanu T., Athulan V., David D., Strategies for burr minimization and cleanability in aerospace and automotive manufacturing, *SAE transactions J. of Aerospace*, 114 (1), 1073-1082, 2006.
25. Wang X., Kwon Y. P., Sturtevant C., Kim D., Lantrip J., Tool wear of coated drills in drilling CFRP, *Journal of Manufacturing Processes*, 15 (1), 127-135, 2013.
26. Rawat S., Attia H., Wear mechanisms and tool life management of WC-Co drills during dry high speed

- drilling of woven carbon fiber composites, *Wear*, 267 (5-8), 1022–1030, 2009.
27. Shyha I.S., Aspinwall D.K., Soo S.L., Bradley S., Drill geometry and operating effects when cutting small diameter holes in CFRP, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 49 (12–13), 1008–1014, 2009.
 28. Kuo C.L., Soo S.L., Aspinwall D.K., Car C., Bradley S., M'Saoubi R., Leahy W., Development of single step drilling technology for multilayer metallic-composite stack using uncoated and PVD coated carbide tools, *Journal of Manufacturing Processes*, 31, 286–300, 2018.
 29. Wang C., Chen Y.H., An Q.L., Cai X.J., Ming W.W., Chen Ming., Drilling Temperature and Hole Quality in Drilling of CFRP/Aluminum Stacks Using Diamond Coated Drill, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 16 (8), 1689–1697, 2015.
 30. Angelone R., Caggiano A., Improta I., Nele L., Teti R., Characterization of hole quality and temperature in drilling of Al/CFRP stacks under different process condition, *Procedia CIRP*, 79, 319–324, 2019.
 31. Bayraktar Ş., Assessment of cutting performance on drilling with different drilling methods of fiber reinforced polymer composites: A Literature Review, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33 (2), 609–626, 2018.
 32. Davim J.P., Reis P., Study of delamination in drilling carbon fiber reinforced plastics (CFRP) using design experiments, *Composite Structure*, 59 (4), 481–487, 2003.
 33. Feito, N., Díaz-Álvarez, J., Díaz-Álvarez, A., Cantero, J.L., Miguélez, M.H., Experimental analysis of the influence of drill point angle and wear on the drilling of woven CFRPs. *Materials*, 7, 4258–4271, 2014.
 34. Gaitonde V.N., Karnik S.R., Rubio J.C., Correia A.E., Abrão A.M., Davim J.P., Analysis of parametric influence on delamination in high-speed drilling of carbon fiber reinforced plastic composites. *J. Mater. Process. Technol.*, 203, 431–438, 2008.
 35. Yaşar N., Günay M., Experimental investigation on novel drilling strategy of CFRP laminates using variable feed rate, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 41 (3), 150, 2019.
 36. Yaşar N., Korkmaz M. E., Günay M., Investigation on hole quality of cutting conditions in drilling of CFRP composite, In *MATEC Web of Conferences*, 112, 01013-01020, 3 July, 2017.
 37. Yaşar N., Boy M., Günay M., The effect of drilling parameters for surface roughness in drilling of AA7075 alloy, In *MATEC Web of Conferences*, 112, 01018-01026, 3 July, 2017.
 38. Ashrafi A.S., Sharif S., Farid A., Yahya M., Performance evaluation of carbide tools in drilling CFRP-Al stacks, *Journal of Composite Materials*, 48 (17), 2071–2084, 2014.
 39. Yaşar N., Günay M., The influences of varying feed rate on hole quality and force in drilling CFRP composite, *Gazi University Journal of Science*, 30 (3), 39–50, 2017.
 40. Brinksmeier E., Janssen R., Drilling of Multi-Layer Composite Materials Consisting of Carbon Fibre Reinforced Plastics (CFRP), Titanium and Aluminium Alloys, *Annals of CIRP*, 51 (1), 87–90, 2002.
 41. Liang X., Wu D., Gao Y., Chen K., Investigation on the non-coaxiality in the drilling of carbon-fibre-reinforced plastic and aluminium stacks, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 125, 1–10, 2018.
 42. Montoya M., Calamaz M., Gehin D., Girot F., Evaluation of the Performance of Coated and Uncoated Carbide Tools in Drilling Thick CFRP/Aluminium Alloy Stacks, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 68 (9–12), 2111– 2120, 2013.
 43. Mohan N.S., Kulkarni S.M., Ramachandra A., Delamination analysis in drilling process of glassfiber reinforced plastic (GFRP) composite materials, *Journal of Materials Processing Technology*, 186 (1-3), 265–271, 2007.
 44. Kaplan Y., Delik delmede farklı parametrelerin kesme kuvveti, moment, titreşim, yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve çapak oluşumuna etkisi, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
 45. Zitoune R., Krishnaraj V., Almabouacif B.S., Collombet F., Sima M., Jolin A., Influence of Machining Parameters and New Nano-Coated Tool on Drilling Performance of CFRP/Aluminium Sandwich, *Composites Part B: Engineering*, 43 (3), 1480–1488, 2012.
 46. Coromant S., Machining carbon fibre materials, Sandvik, 2010. Available: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.sandvik.coromant.com%2Fsitecollectiondocuments%2Fdownloads%2Fglobal%2Ftechnical%2520guides%2Fen-gb%2Fc-2920-30.pdf&date=2019-03-08> Son Erişim Tarihi: 01.04.2019.
 47. Aydın E., Nalbant M., CFRP/Al İstifli Delmede Matkap Uç Açılarının (Fz) İtme Kuvveti ve CFRP Delik Girişleri Üzerine Etkisi, 9th International Congress On Machining, Antalya-Türkiye, 221–229, 8–10 Kasım, 2018.
 48. Zhang L., Liu Z., Tian W., Liao W., Experimental studies on the performance of different structure tools in drilling CFRP/Al alloy stacks, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 81 (1–4), 241–251, 2015.

