

## CFRP/Al İstifli Delmede Matkap Uç Açısının İtme Kuvveti ( $F_z$ ) ve Takım Aşınması Üzerine Etkilerinin Araştırılması

Erman AYDIN<sup>1\*</sup>

**ÖZET:** Bu çalışmada günümüz askeri ve sivil havacılık endüstrisinde yoğun olarak kullanılmakta olan CFRP/Al istifli yapının farklı matkap uç açıları ile delinebilirliği araştırılmıştır. Delme işlemleri 30° helis açılı ve 120°-130°-140° farklı uç açısındaki kaplamasız karbür matkaplar ile doğrudan delme yönteminde, 50m dk<sup>-1</sup> sabit kesme hızı, 0.05mm dev<sup>-1</sup> ilerleme değerlerinde kesme sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilmiştir. Delme işlemleri neticesinde elde edilen  $F_z$  değerleri ve matkaplardaki aşınmalar incelenmiştir. Kaplamasız karbür matkaplar talaş yapıları bakımından benzer sonuçlar verirken itme kuvveti değerleri 130° uç açılı matkapta daha düşük elde edilmiştir. Daha düşük kuvvetlerde gerçekleşen delme işlemlerinde, matkap aşınmaları da daha az meydana gelmiştir. Çalışma neticesinde kaplamasız karbür 130° uç açılı matkabın doğrudan delme yönteminde CFRP/Al istifli yapının delinmesinde hem takım aşınması hem de  $F_z$  bakımından 120° ve 140° uç açılı matkaplara kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Al7075, CFRP, CFRP/Al delme, itme kuvveti, takım aşınması

### Investigation of the Effects of Drill Point Angle on Thrust Force ( $F_z$ ) and Tool Wear in CFRP/Al Stacked Drilling

**ABSTRACT:** In this study, the drillability of CFRP/Al stacked structure, which is widely used in military and civil aviation industry, has been investigated with different drill point angles. Drilling operations were performed by direct drilling method with uncoated carbide drills, 30° helix angle and 120°-130°-140° point angles. The experiments were carried out at constant cutting speed of 50 m min<sup>-1</sup> and 0.05 mm rev<sup>-1</sup> feed without using cutting fluid. Thrust force ( $F_z$ ) values and tool wear values obtained during drilling operations were examined. Uncoated carbide drills gave similar results in terms of chip structure, while thrust values were lower in 130° point angle drill. In drilling operations at lower thrust forces, tool wear was also occurred less. As a result of the study, it was seen that the uncoated carbide 130° point angle drill compared to 120° and 140° point angle drills has the best results in both thrust force and tool wear in drilling of CFRP/Al stacked structure in this experimental conditions.

**Keywords:** Al7075, CFRP, CFRP/Al drilling, thrust force, tool wear

<sup>1</sup> Erman AYDIN (Orcid ID: 0000-0002-9568-1966), Artvin Çoruh Üniversitesi, Borçka Acarlar Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Artvin, Turkey.

\*Sorumlu yazar: Erman AYDIN, e-mail: ermanaydin@artvin.edu.tr

Bu çalışma Erman AYDIN'ın Doktora Tez çalışmasının bir bölümünden oluşturulmuştur.

Geliş tarihi / Received: 01.02.2019  
Kabul tarihi / Accepted: 14.06.2019

## GİRİŞ

Günümüzde malzeme teknolojisi alanındaki gelişmeler hiç durmadan devam etmektedir. Geliştirilen yeni malzemeler artık çelik, alüminyum, titanyum gibi geleneksel malzemelerin yerini almakta ve verimlilik, dayanım, ömür, ağırlık gibi faktörlerde çok daha üstün özellikler sergilemektedirler. Özellikle karbon fiber takviyeli polimer kompozitler farklı üretim türleri ile birlikte askeri/sivil havacılık endüstrisi ve uzay endüstrisinde geleneksel malzemelerin yerine yoğun olarak kullanılmaktadır. Bir Airbus A380 ya da Boeing 787 Dreamliner'da yapısal elemanların %50'si kompozit malzemelerden oluşmaktadır. Ancak bu kullanım süreçlerinde işlenmesi gereken kompozit malzemeler, geleneksel malzemeler ile aynı şartlarda işlenememektedir. Özellikle karbon fiber malzemeler alüminyum ve titanyum gibi metal malzemeler ile CFRP/Al, CFRP/Ti ya da CFRP/Ti/Al gibi istifli yapılarda da kullanılmaktadır. Bu istifli yapılar en çok havacılık alanında uçak gövde elemanlarında karşımıza çıkmaktadır (Soutis, 2005; Sheikh-Ahmed, 2009; Islam, 2010; Anonymous, 2019). İstifli yapıların oluşturulabilmesi için malzemelerin delinerek birbirlerine tutturulmaları gerekmektedir. Bu durum da iki ayrı malzemenin aynı anda delinmesinde sorunlar ortaya çıkarmaktadır. Bu sorunlar CFRP malzemede karbon fiber liflerinin kopması, yırtılması, fiber katmanlarında ayrılma, delik giriş ve çıkış yüzeylerinde delaminasyon meydana gelmesi ve oluşabilecek yüksek ısıdan dolayı reçine erimesi şeklinde oluşmaktadır. Metal malzemede ise talaş tahliyesinde yaşanan sorunlar takım ömrünü olumsuz etkilemekte, aşınan matkap kesici kenarları hem metal hem de CFRP malzemede delik ortalama yüzey pürüzlülüklerini arttırmaktadır (Wang ve ark., 1995; Hussain ve ark., 2011). Bu durumların malzeme servis ömrünü olumsuz yönde etkilediği ve üretim maliyetlerini arttırdığı

görülmüştür. Bu sorunların ise uygun takım geometrisi ve delme parametreleri seçimi ile bertaraf edilebileceği belirtilmiştir (Wen-Chou, 1996; Feito ve ark., 2014). Ayrıca kesme hızı artışının kesici takımlarda aşınmaları arttırdığı ve böylece delme işleminde en önemli kuvvet bileşeni olan ( $F_z$ ) itme kuvveti değerinin de arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca CFRP malzemenin aşındırıcı yapısından dolayı matkap kesici yüzeylerinde yuvarlaklaşma meydana geleceğini ve düşük ilerleme değerinde daha düşük itme kuvveti oluşacağını belirtmişlerdir (Lin ve Chen, 1995; Miguel ve ark., 2010; Wang ve ark., 2012; Gaugel ve ark., 2016; Fernandez ve ark., 2017; Bayraktar Ş., 2018; Yaşar ve Günay, 2019). Kuru kesme şartlarında Al malzeme üzerinde gerçekleştirilen çalışmalarda genel problemler kesme bölgesinde meydana gelen ısının uzaklaştırılamaması sebebiyle sıcaklık artışıyla özellikle difüzyon meydana gelmesi olduğu belirtilmiştir (Kelly ve Cotterell, 2002; Naouari ve ark., 2005; Rivero ve ark., 2006; Bağcı ve Özçelik, 2006). Özellikle CFRP/Al istifli yapıda üzerine yapılan çalışmalarda itme kuvveti, delik yüzey kalitesi, takım aşınması ve tork değişimleri incelenmiştir (Zitoune ve ark., 2010; Zitoune ve ark., 2012; Dorazi ve ark., 2017; Yaşar ve ark., 2017; Kuo ve ark., 2018; Yaşar ve Günay, 2019).

Belirtilen çalışmalar doğrultusunda sabit kesme parametrelerinde, üç farklı uç açısına sahip kaplamasız karbür matkap ile doğrudan delme yönetiminde CFRP/Al 7075 istifli yapının delinmesinde, hangi matkap uç açısının itme kuvveti ve takım aşınması bakımından daha iyi performans sergilediğinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada  $0^\circ$  ve  $45^\circ$  fiber açılarında prepreg malzemenin twill dokuma tipinde karbon fiber plakalar kullanılmıştır. 10'ar mm kalınlığında CFRP ve Al 7075 T6 plakalar aşındırıcılı su jeti ile 100x75mm ölçülerinde

kesilmiştir. CFRP ve Al 7075 dört köşesinden M5 civata ile birleştirilmiştir. İstifli yapı arasında boşluk olmaması için malzeme ara katmanına 0.2mm~0.3mm kalınlığında epoksi

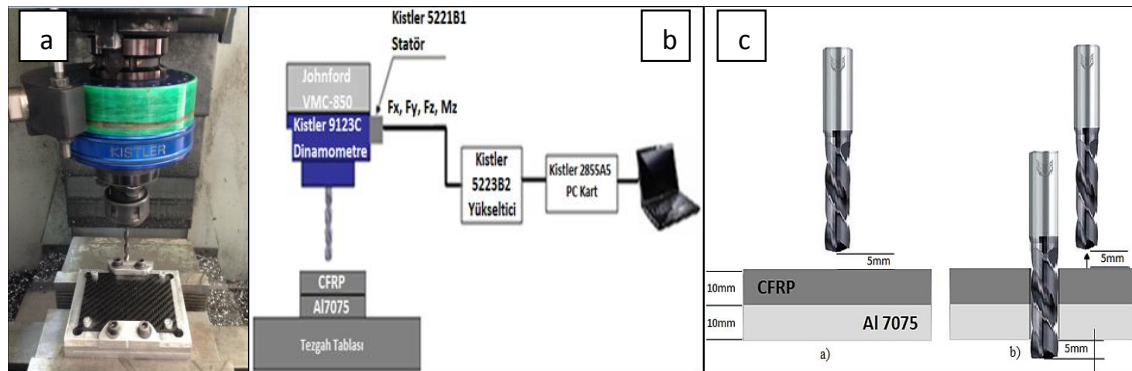
reçine uygulanmıştır. Çizelge 1’de delme işleminde kullanılan matkapların özellikleri belirtilmiştir.

Çizelge 1. Matkap özellikleri

Matkap Çapı mm	Matkap Malzeme Cinsi	Helis Açısı °	Kaplama	Uç açısı °	Kesici Kenar uzunluğu mm	Kesici Kenar Yüksekliği mm
5	Karbür	30	Kaplamasız	120	2.887	1.443
			Kaplamasız	130	2.759	1.166
			Kaplamasız	140	2.66	0.91

Şekil 1.a’da delme işlemine hazır numune, Şekil 1.b’de ise kesme kuvvetlerinin deneysel olarak belirlenmesi için üç kesme kuvveti bileşeni ve torku ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ,  $M_z$ ) aynı anda ölçme kapasitesine sahip, KISTLER 9123C tipi dinamometre, Kistler 5223B2 amplifier

(yükseltici) ve Kistler 2855A5 Pc kartın kullanıldığı deney düzeneği görülmektedir. Şekil 1.c’de belirtildiği üzere matkap doğrudan delme yönteminde, önce CFRP ardından Al malzemeyi delmiştir.



Şekil 1. a) İstifli yapı b) Test düzeneği şematik gösterimi c) Delme yöntemi

Deneyisel çalışmalar Johnford VMC–850 CNC dik işleme merkezi ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kesme parametreleri literatüre uygun olarak seçilmiş ve kesme hızı 50 m dk<sup>-1</sup> ve ilerleme değeri 0.05 mm dev<sup>-1</sup> olarak sabit tutulmuştur (Nouari ve ark., 2005; Marques ve ark., 2009; Zitoune ve ark., 2010-2012-2016; Kuo ve ark., 2018). Elde edilen sonuçlar JMP programı kullanılarak analiz edilmiştir. Anlamlılık değeri çoğu mühendislik alanında kabul edilen  $P \leq 0.05$  referans alınarak gerçekleştirilmiştir (Kaplan, 2010). Matkaplarda meydana gelen aşınmalar ve talaş sıvanmaları

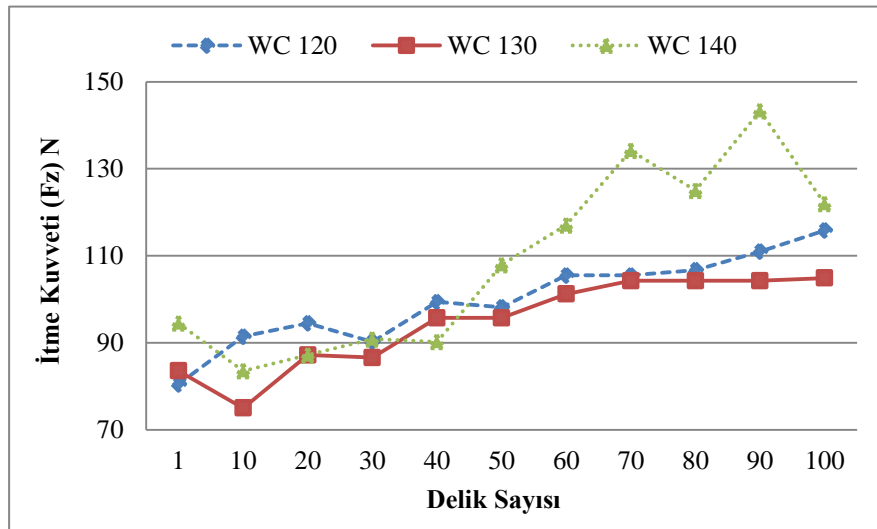
Dino Lite dijital mikroskop ve Jeol JEM 6060 LV (SEM) tarama elektron mikroskobu ile belirlenmiştir.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Delme işlemlerinde ilk olarak ( $F_z$ ) itme kuvveti ölçümleri üzerinde durulmuştur. Şekil 2’de CFRP’deki kuvvet değerleri gösterilmiştir. CFRP malzemede  $F_z$  75N ile 140N aralığında değişimler göstermiştir. 120° uç açılı matkap 80N’lık bir  $F_z$ ’den 120N’lık bir kuvvete kadar artmıştır. Delik sayısı ile kuvvette artış gözlenmiş, bu artış yapılan diğer çalışmalarda da

görüldüğü üzere, matkabın kuru kesme şartlarında Al malzeme ile daha yoğun yapılaşma eğilimi göstermesi ve Şekil 4'ten anlaşılacağı üzere çapaklanma yaşamasından kaynaklanmıştır (Kelly ve Cotterell, 2002; Naouari ve ark., 2005). 130°'lik matkap ilk 10 delikte  $F_z$  85N ile 75N arasında aşağı yönlü bir eğilim gösterirken delik sayısı ile  $F_z$  artışı sürmüştür. 100. delikte 105N'lık bir  $F_z$  olduğu gözlemlenmektedir. 140°'lik matkapta daha yüksek  $F_z$  değerleri ölçülmüştür. Matkap kesici kenarlarında talaş sıvanması, çapaklanma ve CFRP'nin aşındırıcı etkisinden dolayı matkapta meydana gelen aşınmalar neticesinde CFRP'deki kuvvet değerleri de artış göstermiştir (Rawat ve Attia, 2009; Romoli ve Lutey, 2019). Özellikle

50.delikten sonra 140° uç açılı matkapta  $F_z$  145N değerinin de üzerinde artmıştır. Özellikle CFRP'de küçük matkap uç açısı batmayı kolaylaştırırken (Feito ve ark., 2014; Bayraktar, 2018), Al malzemede ise 130°-135° gibi matkap uç açıları daha iyi delme performansı sergilemektedir (Kelly ve Cotterell, 2002; Nouari ve ark., 2005). Bu durum takım talaş kesit alanının azalması ile kesme işleminin zorlanması, kesici kenarda daha fazla yığıntı talaş oluşumu ve büyük uç açısının kesmeyi zorlaştırmasına atfedilmiş, ayrıca bu durum CFRP/Al 7075 istifli delmede 130° uç açılı matkabın daha iyi delme işlemi gerçekleştirmesi ile sonuçlanmıştır (Heisel ve Pfeifroth, 2012; Yaşar ve ark., 2017; Romoli ve Lutey, 2019).



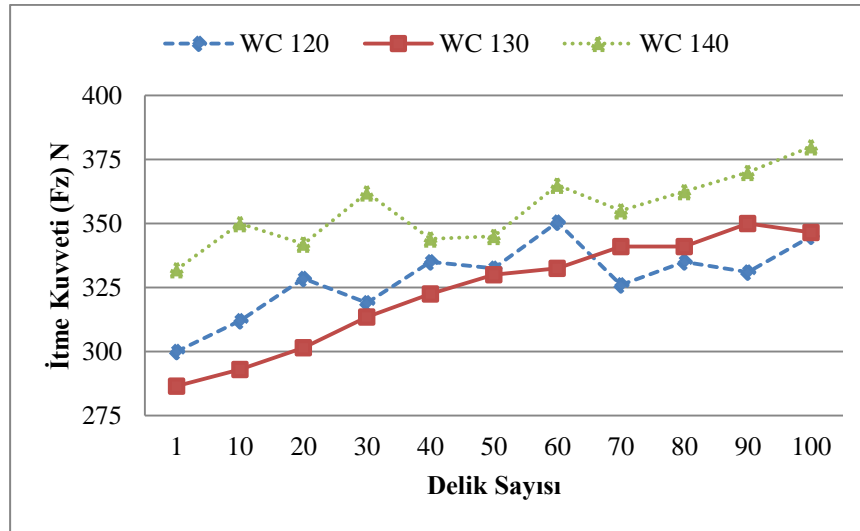
Şekil 2. Kaplamasız karbür doğrudan delme CFRP kuvvet dağılımı

Şekil 3'te Al 7075'de elde edilen  $F_z$  değerleri belirtilmiştir. 120°'lik matkapta  $F_z$  300N ile 351N arasında görülmektedir. 60.delige kadar kuvvette artış meydana gelmiş, 60. ve 70. delikler arasında 25N'lık kuvvet düşüşü olmuştur. Bu durum matkap kesici kenarlarında meydana gelen çapakların matkaptan ayrılması ve talaş sıvanması yaşanmaması ile açıklanmaktadır.

Son 30 delikte  $F_z$  350N'a kadar artmıştır. 130°'lik matkapta 285N ile 350N aralığında  $F_z$  değerleri ölçülmüştür. 50.delige kadar olan

süreçte belirgin bir kuvvet artışı gözlemlenirken, 60. ve 100.delikler arasında daha düşük bir kuvvet artışı oluşmuştur. 140° matkapta yüksek  $F_z$  değerleri görülmüştür. Özellikle 50. delikten sonra ölçülen kuvvetler 350N'ın üzerinde seyretmiştir.

Malzeme, uç açısı ve delik sayısının itme kuvveti üzerindeki etkisi istatistiksel olarak incelenmiştir. Çizelge 2'deki varyans analizi ile değişkenlerin etkisi belirtilmiştir.  $P < 0.0001$  olduğundan  $F_z$  üzerinde malzeme, uç açısı ve delik sayısının etkisi olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 3. Kaplamasız karbür doğrudan delme Al 7075 kuvvet dağılımı

Varyans analizi sonucunda malzeme\*uç açısı etkileşiminin itme kuvvet ( $F_z$ ) üzerinde etkili olduğu, malzeme\*delik sayısı ve uç

açısı\*delik sayısı etkileşimlerinin ise itme kuvveti üzerinde istatistiksel olarak etkili olmadıkları görülmüştür.

Çizelge 2.  $F_z$  itme kuvvetine etki eden değişkenlerin varyans analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P	E.O. %
Malzeme	1	8911378	8911378	48628.45	<.0001	97,37
Uç açısı	2	39706	19853	108.33	<.0001	0,43
Delik sayısı	99	84968	858	4.683	<.0001	0,92
Malzeme*Uç açısı	2	24329,3	12165	66.381	<.0001	0,26
Malzeme*delik sayısı	99	16413	166	0.90	0.7094	
Uç açısı*delik sayısı	198	38993	197	1.07	0.306	
Hata	198	36284	183			
<b>Toplam</b>	<b>599</b>	<b>9152073</b>				

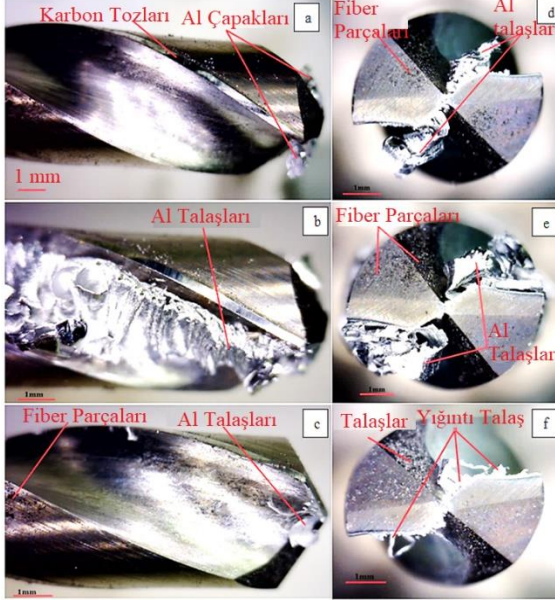
Kuvvetler bakımından  $120^\circ$  ve  $140^\circ$  uç açılı matkapların yüksek  $F_z$  değeri sergilediği  $130^\circ$  uç açılı matkabın ise hem daha düşük hem de delik sayılarındaki artışla oranlı olarak daha düzenli bir kuvvet artışı sergilediği görülmüştür. Böylece  $50 \text{ m dk}^{-1}$  kesme hızı  $0.05 \text{ mm dev}^{-1}$  ilerleme değerinde CFRP/Al 7075 istifli yapının delinmesinde doğrudan delme işlemindeki kuvvet değerleri baz alındığında  $130^\circ$  uç açılı matkabın daha uygun olduğu görülmüştür (Yaşar ve ark., 2017; Yaşar ve Günay, 2019).

Ayrıca delme işlemlerinde 30-60-100 numaralı deliklerin delinmesinin ardından matkap görüntüleri alınarak, matkaplarda meydana gelen talaş yapışmaları ve aşınmalar da gözlenmiştir. Şekil 4'te  $120^\circ$  matkapta ait

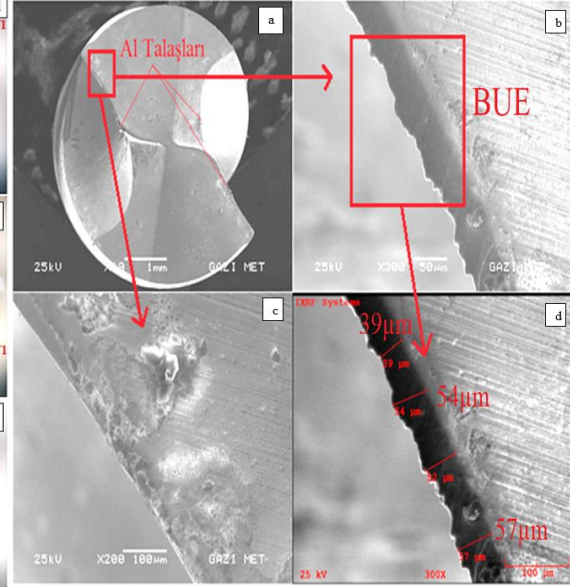
matkap-talaş yapıları gösterilmiştir. Karbon tozları matkap gövdesi üzerinde yapışma eğilimi göstermiştir. Ayrıca matkap uç noktalarında Al malzeme talaşlarının yığıntı talaş (BUE) oluşturduğu, matkap gövdesinde ise difüzyonun etkisiyle Al talaşlarının yapıştığı görülebilmektedir (Kelly ve Cotterell, 2002; Naouari ve ark., 2005; Rivero ve ark., 2006). Artan delik sayısı ile yükselen ısı değeri CFRP malzemede reçinenin erimesine sebep olmuştur. Bu durum karbon liflerin parçalanması ile sonuçlanmıştır. 60.delige ulaşıldığında matkap kanallarının tamamıyla Al malzeme ile kaplandığı görülmektedir. Ayrıca matkap gövdesinde Al ve karbon tozlarından oluşan kaynaklanmış bölge daha da büyüyerek artmıştır

(Brinksmeier ve Janssen, 2002; Zitoune ve ark., 2016). Bu durumun kesme sıvısı kullanılmaması sebebiyle uzaklaştırılmayan talaşların, yoğun ısı sebebiyle erimiş olan reçine ile yapışmasından dolayı oluştuğu düşünülmektedir. Şekil 5’de 100 delik sonunda 120°lik matkaba ait SEM

görüntüleri verilmiştir. SEM görüntülerinde kesici kenarlarda yapışmış Al talaşları, difüzyon oluşumları ve 39µm ile 57µm boyutlarındaki talaş formları görülmektedir. Bu yapılar delme işleminde matkabın kısa sürede aşınmasına ve delik kalitelerinin düşmesine sebep olmaktadır.



Şekil 4. Kaplamasız karbür 120°  
a)30.delik b)60.delik c)100.delik  
d)30.delik e)60.delik f)100.delik



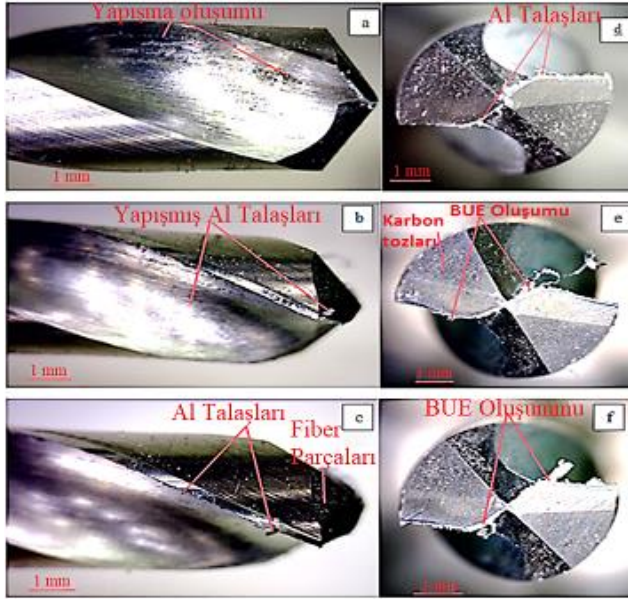
Şekil 5. Kaplamasız karbür 120° SEM  
a)19X b)BUE 300X c)Al-Karbon  
BUE 200X d)300X BUE

Şekil 6’da 130° matkaba ait matkap-talaş görüntüleri verilmiştir. 130°lik matkap kesici kenarlarında ve serbest yüzeyde az bir oranda BUE oluşumu meydana geldiği, haricinde matkap üzerinde Al sıvanma probleminin oluşmadığı, ancak talaş tahliyesi sırasında sürtünen Al malzemenin matkabın üzerine ince bir tabaka şeklinde yapıştığı görülmüştür. Bu durum tüm deliklerde karşılaşılan bir sorun olmuştur. Şekil 7’de 100 delik sonunda 130°lik matkaba ait SEM görüntüleri verilmiştir. SEM görüntüleri dijital mikroskop ile elde edilen görüntülerle paralellik göstermektedir. Matkap uç noktalarında Al malzemenin kaynaklı yapışmalar mevcuttur. 100 deliklik işlem sürecinde kuru kesme şartlarında sadece görüntü alınan sayılardaki deliklerde değil, diğer deliklerde de matkap daha kolay bir delme süreci yaşamıştır. Bu durum CFRP malzemede delik iç

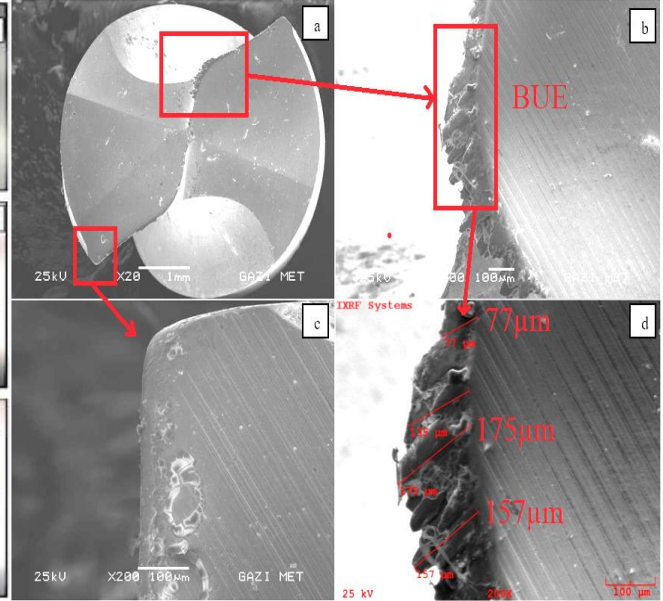
yüzeylerinde oluşabilecek kusurların da önlenmesi bakımından çok büyük öneme sahip olmuştur. Aksi durumda CFRP malzemede liflerde kopma, katmanlarda ayrılma ve delaminasyon oranında artışlar gözlenebilmektedir.

Şekil 8’de kaplamasız karbür 140° matkap ile 100 delik delme işlemi sonucunda elde edilen matkap görüntüleri verilmiştir. 30.delige kadar olan süreçte yüksek talaş sıvanması ve delme esnasında zorlanma pek görülmemişken, artan delik sayısı ile matkap kanalları neredeyse tamamen Al malzeme talaşları ile dolmuştur. Buna ek olarak Al malzemenin karbon tozları ile birleşerek matkap gövdesi üzerinde kaynaklandığı da görülmüştür. 100 delik neticesinde matkap yoğun bir talaş yapışması ve kesici kenarlarda çapaklanmaya maruz kalmıştır.





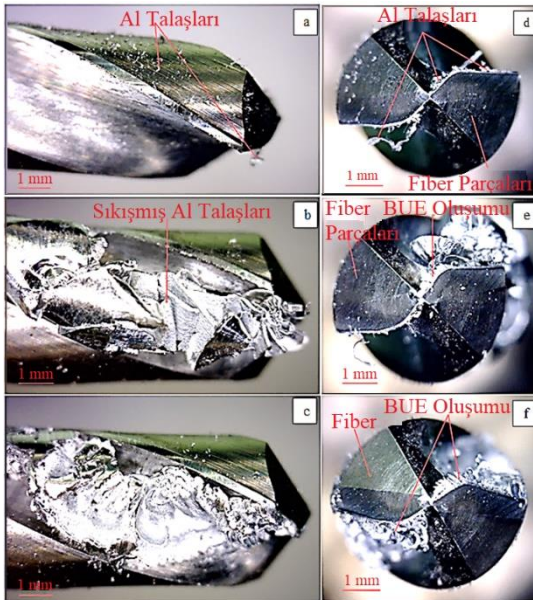
**Şekil 6.** Kaplamasız karbür 130°  
a)30.delik b)60.delik c)100.delik  
d)30.delik e)60.delik f)100.delik



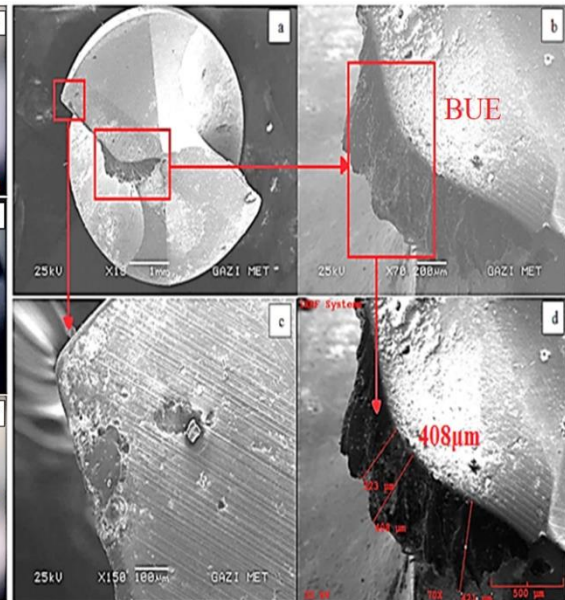
**Şekil 7.** Kaplamasız karbür 130° SEM  
a)20X b)BUE 200X c)Al-Karbon BUE  
200X d)200X BUE ölçüleri

Bu sorunlar doğrultusunda kaplamasız karbür 140° lik uç açısına sahip matkabın CFRP/Al 7075 malzemede delme işlemi için uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Şekil 9'da 100 delik sonunda kaplamasız karbür 140°'lik

matkaba ait SEM görüntüleri verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde matkabın yoğun talaş yapışması yaşadığı, 100. delikte matkap uç noktasında oluşan BUE'nin 408µm'a kadar arttığı görülmüştür (Nouari ve ark., 2005).



**Şekil 8.** Kaplamasız karbür 140°  
a)30.delik b)60.delik c)100.delik  
d)30.delik e)60.delik f)100.delik



**Şekil 9.** Kaplamasız karbür 140° SEM  
a)18X b)BUE 70X c)Al-Karbon BUE  
150X d)70X BUE ölçüleri

Matkap kesici kenarlarında serbest yüzey aşınmaları da meydana gelmiştir. 120° ve 130° uç açılı matkaplarla kıyaslandığında en yoğun

talaş sıvanması 140° uç açılı matkapta görülmüştür. Bu durum matkap ömrünün azalmasına ve delik kalitelerinin de düşmesine

sebeplere olmuştur. Tüm bu durumlar göz önüne alındığında  $140^\circ$  uç açılı matkabın CFRP/Al 7075 istifli delme işleminde iyi bir performans sergileyemediği ortaya çıkmıştır. Elde edilen takım-talaş yapılarına göre matkaplar arasında bir sıralama yapıldığı takdirde,  $130^\circ$  uç açılı matkabın daha iyi performans gösterdiği,  $140^\circ$  matkabın ise en düşük performansı sergilediği görülmüştür.

## SONUÇ

CFRP/Al 7075 T6 istifli yapının delinebilirliği üzerine kaplamasız karbür  $120^\circ$ - $130^\circ$ - $140^\circ$  uç açılı matkaplar ile  $50 \text{ m dk}^{-1}$  sabit kesme hızı,  $0.05 \text{ mm dev}^{-1}$  ilerleme değerlerinde kesme sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilmiş deneysel çalışmalar neticesinde;

- Kaplamasız karbür matkapların farklı uç açılarında olmasına karşın CFRP/Al 7075 T6 istifli yapının delinmesinde özellikle 50. ve 60. deliğe kadar olan süreçte yakın performanslar sergilediği,
- CFRP malzemede delme işleminin  $130^\circ$  uç açılı matkaptaki 75N ile 105N, Al malzemede 285N ile 350N aralığında en düşük değerlerde gerçekleştiği,
- En yüksek  $F_z$  itme kuvveti değerinin  $140^\circ$  uç açılı matkaptaki 60. delikten sonraki süreçte CFRP malzemede 143N ile 90. delikte meydana geldiği, Al malzemede ise 400N'a kadar çıktığı,
- $140^\circ$  uç açılı matkaptaki 60. delikten sonraki süreçte yaşanan difüzyon sebebiyle, Al malzemenin yoğun olarak matkap helis kanallarına sıvandığı ve delme işlemini zorlaştırıcı etki yaptığı, Anova sonuçlarına göre  $F_z$  itme kuvveti üzerinde malzeme türü, matkap uç açısı ve delik sayısı faktörlerinin etkili olduğu,

SEM görüntüleri incelendiğinde 100. deliklerden sonra matkap kesici kenarlarında en az talaş yapışması, BUE oluşumu ve aşınmanın

$130^\circ$  uç açılı matkaptaki olduğu ve deney şartlarına göre CFRP/Al 7075 T6 istifli yapının delinmesinde  $130^\circ$  uç açılı kaplamasız karbür matkabın itme kuvveti, takım aşınmaları ve delik kaliteleri bakımından öncelikli tercih olması gerektiği sonucuna varılmıştır.

## TEŞEKKÜR

Deneysel çalışmalardaki desteklerinden dolayı Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümlerine teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- Anonymous: Composites in the airframe and primary structure, [http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr\\_4\\_06/article\\_04\\_2.htm](http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_4_06/article_04_2.htm) | Erişim Tarihi: 01.02.2019
- Bağcı E, Özçelik B, 2006. Investigation of the effect of drilling conditions on the twist drill temperature during step-by-step and continuous dry drilling. *Materials & Design*, 27: 446-454.
- Bayraktar Ş, 2018. Elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin farklı delme yöntemleri ile delinmesinde kesme performansının değerlendirilmesi: Literatür Taraması. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33 (2), 629-648.
- Brinksmeier E, Janssen R, 2002. Drilling of Multi-Layer Composite Materials consisting of Carbon Fiber Reinforced Plastics (CFRP), Titanium and Aluminum Alloys. *CIRP Annals*, 51(1): 87-90, ISSN 0007-8506
- Feito N, Díaz-Álvarez J, Díaz-Álvarez A, Cantero J.L, Miguélez M. H, 2014. Experimental Analysis of the Influence of Drill Point Angle and Wear on the Drilling of Woven CFRPs. *Materials*, 7(6), 4258-4271.



- Fernandez J. Cantero J.L, Diaz J, Miguelez M.H, 2017. Influence of cutting parameters on tool wear and hole quality in composite aerospace components drilling. *Composite Structures*, 178: 157-161.
- Gaugel S, Sripathy P, Haeger A, Meinhard D, Mernthaler T, Lissek F, Kaufeld M, Knoblauch V, Schneider G, 2016. A comparative study on tool wear and laminate damage in drilling of carbon-fiber reinforced polymers (CFRP). *Composite Structures*, 155: 173-183.
- Heisel U, Pfeifroth T, 2012. Influence of Point Angle on Drill Hole Quality and Machining Forces When Drilling CFRP, *Procedia CIRP*, 1: 471-476.
- Hussain S.A, Pandurangadu V, Kumar K.P, 2011. Machinability of glass fiber reinforced plastic (GFRP) composite materials. *Science and technology*, 3(4): 130-118.
- Islam S, 2010. Drilling of carbon fibre reinforced plastic composites. School of Mechanical Engineering, The University of Birmingham, Doctor of Philosophy (Printed).
- Kaplan Y, 2010. Delik delmede farklı parametrelerin kesme kuvveti, moment, titreşim, yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve çapak oluşumuna etkisi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi (Basılmış).
- Kelly J.F, Cotterell M.G, 2002. Minimum lubrication machining of aluminium alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, 120: 327-334.
- Kuo C.L, Soo S.L, Aspinwall D.K, Car C, Bradley S, M'Saoubi R, Leahy W, 2018. 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.
- Lin S.C, Chen I.K, 1995. Drilling carbon fiber-reinforced composite material at high speed, *An International Journal on the Science and Technology of Friction, Lubrication and Wear*, 194: 156-162.
- Marques A.T., Durão L.M., Magalhães A.G., Silva J.F, Tavares J.M.R.S., 2009. Delamination analysis of carbon fibre reinforced laminates: Evaluation of a special step drill. *Composites Science and Technology*, 69 (14): 2376-2382, ISSN 0266-3538
- Miguel P, Goncalves JS, Tavares RS, Albuquerque C, Aguiar A, Torres A, 2010. Drilling tool geometry evaluation for reinforced composite laminates. *Composite Strucuter*, 92: 1545–1550.
- Nouari M, List G, Girot F, Gehin D, 2005. Effect of machining parameters and coating on wear mechanism in dry drilling of aluminium alloys. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45: 1436-1442.
- Rawat S, Attia H, 2009. Wear mechanisms and tool life management of WC–Co drills during dry high speed drilling of woven carbon fibre composites. *Wear*, 267 (5-8): 1022-1030.
- Rivero A, Aramendi G, Herranz S, Lacalle L.N, 2006. An experimental investigation of the effect of coating and cutting parameters on the dry drilling performance of aluminium alloys. *international journal advanced manufacture technology*, 28: 1-11.
- Romoli L., Lutey, A.H.A. (2019). Quality monitoring and control for drilling of CFRP laminates. *Journal of Manufacturing Processes*, 40, 16-26.
- Sheikh-Ahmed J.Y, 2009. *Machining of polymer composites*. Springer, pp: 1-137, 187-208, DOI:10.1007/978-0-387-68619-6, New York, USA.

- Soutis C, 2005. Carbon fiber reinforced plastics in aircraft construction. *Materials Science and Engineering*, 412 (1-2): 171-176.
- Wang D.H, Ramulu M, Arola D, 1995. Orthogonal cutting mechanisms of graphite/epoxy composite. Part I: unidirectional laminate. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 35 (12): 1623-1638, ISSN: 0890-6955.
- Wang X, Kwon Y.P, Sturtevant Kim, D.C, Lantrip J, 2012. Tool wear of coated drills in drilling CFRP. *Journal of Manufacturing Processes*, 15: 127-135.
- Yaşar N, Günay M, 2019. 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.
- Yaşar N, Korkmaz M.E, Günay M, 2017. *Investigation on hole quality of cutting conditions in drilling of CFRP composite*. In MATEC Web of Conferences, 112: 01013.
- Zitoune R, Krishnaraj V, Coolombet F, 2010. Study of drilling of composite material and aluminium stack. *Composite Structures*, 92: 1246-1265.
- Zitoune R, Krishnaraj V, Almabouacif B.S, Collombet F, Sima M, Jolin A, 2012. Influence of machining parameters and new nano-coated tool on drilling performance of CFRP/Aluminium sandwich. *Composites*, 43: 1480-1488.
- Zitoune R, Krishnara V. J, Coolombet F, Le Roux S, 2016. Experimental and numerical analysis on drilling of carbon fibre reinforced plastic and aluminium stack. *Composite Structures*, 146: 148-158.