



**KARBON ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN İSTİFLİ
DELİNMESİNDE DELAMİNASYONUN ARAŞTIRILMASI**

Elif Özge ÜNALP

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2021

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Elif Özge ÜNALP

01/07/2021

KARBON ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN İSTİFLİ DELİNMESİNDE DELAMİNASYONUN ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Elif Özge ÜNALP

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2021

ÖZET

Elyaf takviyeli kompozit malzemeler uzay, havacılık, otomotiv sanayisinde yoğunlukla tercih edilmektedirler. Bu malzemeler birbirleri arasında cıvata ve perçinli birleştirmelerin yapılabilmesi için delme operasyonlarına tabi tutulmaktadır. Uygun olmayan parametre seçimi delik yüzeyinde termal hasara, laminattan bir matkap ucu çıktığında aşağıya doğru delaminasyon ve elyaf kopması gibi istenmeyen durumlara sebep olmaktadır. Bu çalışmada, karbon elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin istifli delinmesinde delik giriş ve çıkış delaminasyonu; matkap uç açısı, matkap helis açısı, kesme hızı ve ilerleme değerine bağlı olarak deneysel araştırılmıştır. Bu bağlamda, Al6013/KETPK/Al6013 istifli yapı 90° ve 118° uç açısı ile 15° ve 22,5° helis açısına sahip kaplamasız HSS matkaplarla delinmiştir. Delme işleminde 0,05; 0,1; 0,2 mm/dev ilerleme değeri ve 45, 67, 100 m/dak kesme hızı parametreleri kullanılmıştır. Delik delme işlemleri sonucunda belirtilen şartlarda delik giriş ve çıkış delaminasyonları araştırılmıştır. Deneyler sonucunda, delaminasyon oranının kesme hızının artması ve ilerleme değerinin azalması ile azaldığı görülmüştür. Deneylerde delik giriş hasarının delik çıkış hasarından daha yüksek çıktığı görülmüştür. Ayrıca büyük uç açısı ve büyük helis açısında delaminasyon oranının daha az olduğu görülmüştür. İdeal delaminasyon oranı 118° uç açılı, 22,5° helis açılı matkaplarla, 100 m/dak kesme hızı ve 0,05 mm/dev ilerleme değerinde elde edilmiştir.

Bilim Kodu : 91438

Anahtar Kelimeler : Delaminasyon, karbon elyaf takviyeli polimer kompozit, delik hasarı, istifli yapı

Sayfa Adedi : 92

Danışman : Doç. Dr. Yakup TURGUT

INVESTIGATION OF DELAMINATION IN STACK DRILLING OF CARBON FIBER REINFORCED COMPOSITES

(M. Sc. Thesis)

Elif Özge ÜNALP

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2021

ABSTRACT

Fiber reinforced composite materials are mostly preferred in aerospace, aviation and automotive industries. These materials are subjected to drilling operations in order to make bolt and riveted joints between each other. Improper parameter selection causes undesirable conditions such as thermal damage to the hole surface, push-down delamination and fiber breakage when a drill comes out of the laminate. In this study, the stack drilling of carbon fiber-reinforced polymer (CFRP) composites was experimentally investigated in terms of entry and exit damage, point angle, helix angle, cutting speed, and feed rate. In this study, the Al6013/KETPK/Al6013 stacked structure was drilled with uncoated HSS drills with 90° and 118° point angles and 15° and 22.5° helix angles. 0,05; 0,1; 0,2 mm/rev feed rate, 45, 67, 100 m/min cutting speed parameters were used. The hole entry and exit delaminations were investigated according to the drilling results. As a result of the experimental study, delamination decreased with increasing cutting speed decreases and decreased feed rate. In the experiments, it was observed that the hole entrance damage was higher than the hole exit damage. Moreover, it was observed that the delamination rate was less at large point angle and large helix angle. In this study, the lowest delamination ratio was acquired at the highest cutting speed (100 m/min) and the lowest feed rate (0,05 mm/rev) with the drill which had 118° point angle and 22,5° helix angle.

Science Code : 91438

Key Words : Delamination, carbon fiber reinforced polymer composites, hole damages, stacks

Page Number : 92

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Yakup TURGUT

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca bilgi, tecrübe, yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli hocam ve danışmanım Doç. Dr. Yakup TURGUT'a, deneysel çalışmalarımda katkı sağlayan değerli Arş. Gör. Bahattin YILMAZ'a, Arş. Gör. Duygu GÜRKAN'a ve maddi, manevi her zaman beni destekleyen aileme sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	5
3. KOMPOZİT MALZEMELER	21
3.1. Takviye Elemanına Göre Kompozitler	24
3.1.1. Elyaf takviyeli kompozitler	25
3.1.2. Parçacık takviyeli kompozitler	30
3.1.3. Tabakalı katmanlı kompozitler	30
3.1.4. Karma kompozitler	31
3.1.5. Kılcal kristal (whisker) takviyeli kompozitler	31
3.2. Matris Elemanına Göre Kompozitler	32
3.2.1. Polimer matrisli kompozitler	33
3.2.2. Metal matrisli kompozitler	33
3.2.3. Seramik matrisli kompozitler.....	34
3.3. Kompozit Malzemelerin Delinebilirliği	35
3.4. Kompozit Malzemelerde Delaminasyon	36

	Sayfa
4. DELİK DELME İŞLEMLERİ	39
4.1. Delik Delme İşlemini Etkileyen Faktörler	40
4.2. Delik Delme İşlemlerinde Kesme Kuvvetleri	44
4.3. Delik Delme Takımları (Matkaplar)	47
4.3.1. Matkap malzemeleri	48
4.3.2. Matkapların sınıflandırılması	49
4.4. Delik Delme Yöntemleri	52
4.5. Delik Delme İşleminde Talaş Oluşumu	54
4.6. Delik Delme İşleminde Delik Kalitesi	55
4.6.1. Delik yüzeyinin kalitesi	55
4.6.2. Geometrik toleranstan sapmalar	56
5. MATERYAL ve METOT	59
5.1. Deneylerde Kullanılan Takım Tezgahı	59
5.2. Deneylerde Kullanılan Malzemeler	60
5.3. Kullanılan Kesici Takımlar	62
5.4. Kesme Kuvvetleri Ölçülmesi	63
5.5. Delme İşlemleri	64
5.6. Delaminasyonun Belirlenmesi ve Hesaplanması	65
6. DENEYSEL SONUÇLAR ve TARTIŞMA	67
6.1. İtme Kuvveti ve Momentler	67
6.2. Matkap Uç Açısı ve Helis Açısına Bağlı Delaminasyonlar	71
6.3. Kesme Hızına Bağlı Delaminasyonlar	73
7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	77
KAYNAKLAR	79

	Sayfa
EKLER.....	87
EK-1	88
EK-2	89
EK-3	90
EK-4	91
ÖZGEÇMİŞ.....	92



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Cam elyaf türlerinin harf gösterimleri ve karakteristik özellikleri	28
Çizelge 3.2. Sık kullanılan seramiklerin tipik özellikleri	35
Çizelge 4.1. Delik delme için özgül kesme kuvvetleri.....	44
Çizelge 4.2. N tipi matkap için kesme açıları	50
Çizelge 5.1. Deney değişken tablosu	59
Çizelge 5.2. Johnford VMC-500 marka dik işleme merkezi teknik özellikleri	60
Çizelge 5.3. Deneylerde kullanılan KETPK malzemenin ASTM D792'ye göre fiziksel özellikleri	60
Çizelge 5.4. Al6013-T651 alaşımı kimyasal bileşimi (ağırlık, %)	61
Çizelge 5.5. Al6013-T651 alaşımı mekanik özellikler.....	61
Çizelge 5.6. Deneylerde kullanılan matkapların teknik bilgileri	62

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Kompozit malzemelerin fiber ve matris malzemesine göre gruplandırılması	22
Şekil 3.2. Kompozit malzeme örnekleri: a)rasgele yönlenmiş partikül takviyeli b)yönlenmiş kısa fiber takviyeli c)rasgele yönlenmiş kısa fiber takviyeli d)yönlenmiş sürekli fiber takviyeli.....	22
Şekil 3.3. Takviye elemanına göre kompozitlerin sınıflandırılması a)elyaf takviyeli a)elyaf takviyeli kompozitler b)kılcal kristal (whisker) takviyeli kompozitler c)parçacık takviyeli kompozitler.....	25
Şekil 3.4. Geleneksel tabakalı yapı (tek bir parça halinde bağlanan iki veya daha fazla tabaka	31
Şekil 3.5. a)delaminasyon faktörü b)kompozitlerin delinmesi sırasında oluşan delaminasyon	37
Şekil 3.6. Elyaf takviyeli polimer kompozitlerin delinmesinde esas alınan öğeler	38
Şekil 4.1. Delik delme işlemi.....	39
Şekil 4.2. Talaşlı imalat işlemlerinin karşılaştırılması a)talaşlı imalat işlemlerinin dağılımı b)işlem başına düşen süre	40
Şekil 4.3. Matkabın genel kısımları	42
Şekil 4.4. Kesici takım uç açıları	43
Şekil 4.5. Kesme kuvvetleri.....	45
Şekil 4.6. Kesme kuvvetlerinin oluşturduğu kesme momenti	46
Şekil 4.7. Matkap tipleri	50
Şekil 4.8. Doğrudan delik delme (G81) yöntemi	53
Şekil 4.9. Talaş kırmalı delik delme (G73) yöntemi.....	53
Şekil 4.10. Talaş boşaltmalı delik delme (G38) yöntemi	54
Şekil 4.11. Talaş oluşumuna etki eden faktörler.....	55
Şekil 4.12. DIN ISO132 yüzey pürüzlülük gösterimi	56
Şekil 5.1. Deney numunesi delik planı	62

Şekil	Sayfa
Şekil 5.2. Deney düzeneği	63
Şekil 5.3. Kistler 9272A dinamometre kuvvet grafiği	64
Şekil 5.4. Kompozit malzemenin giriş ve çıkışında oluşan delaminasyon	65
Şekil 5.5. Delaminasyon faktörü.....	66
Şekil 5.6. Deneylerde kullanılan KETPK malzemenin çıkış delaminasyonu	66
Şekil 6.1. 90° ve 118° uç açılı 15°(H1) ve 22,5°(H2) helis açılı matkaplarla üç kesme hızında ilerleme oranına bağlı itme kuvvetleri (H1:A,B,C; H2:D,E,F)	68
Şekil 6.2. 90° ve 118° uç açılı 15°(H1) ve 22,5°(H2) helis açılı matkaplarla üç kesme hızında ilerleme oranına bağlı moment değerleri (H1:A,B,C; H2:D,E,F)	70
Şekil 6.3. 90° ve 118° uç açılı 15°(H1) ve 22,5°(H2) helis açılı matkaplarla üç kesme hızında ilerleme oranına bağlı delaminasyon oranı (H1:A,B,C; H2:D,E,F) .	72
Şekil 6.4. 90° ve 118° uç açılı 15°(H1) ve 22,5°(H2) helis açılı matkaplarla üç ilerleme oranında kesme hızına bağlı delminasyon oranı (H1:A,B,C; H2:D,E,F).....	74

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. a) karbon elyaf takviyeli malzeme b) başlıca elyaf dokuma türleri c) frezeleme işlemi uygulanmış karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme..	26
Resim 3.2. Cam elyaf	28
Resim 4.1. Değiştirilebilir uçlu matkap	52
Resim 5.1. Deneyde kullanılan Johnford VMC-550 tezgah ve deney düzeneği	59
Resim 5.2. Deneylerde kullanılan malzemenin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü	60
Resim 5.3. Al6013-T651 ve KETP kompozit malzeme ile oluşturulan istifli yapı	61
Resim 5.4. a) KISTLER 5070A tip amplifier b)KISTLER 9272A tip dinometre	63
Resim 6.1. Matkap uç görüntüleri (A-B: 15° helis açılı ve 118° uç açılı matkap, C-D: 22,5° helis açılı ve 118° helis açılı matkap.....	69
Resim 6.2. Matkap uç görüntüleri (A-B: 100 m/dak ve 0,05mm/dev, C-D: 45 m/dak ve 0,05 mm/dev)	75

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

D	Delik çapı
D_{max}	Maksimum delik çapı
f	İlerleme (mm/dev)
F_a	Eksenel kuvvet
f_d	Delaminasyon faktörü
F_{vz}	İlerleme kuvveti
F_{sz}	Kesme kuvveti
F_{rz}	Radyal kuvvet
F_z	İtme kuvveti
h	Talaş kalınlığı (mm)
h₁	Teorik talaş kalınlığı (mm)
h₂	Deformasyona uğramış talaş kalınlığı (mm)
k_c	Özgül kesme kuvveti (N/mm ²)
M_{sz}	Bir ağızdaki kesme momenti
M_s	Kesme momenti
M_z	İtme kuvvetine bağlı moment
n	Devir sayısı
V	Kesme hızı (m/dak)
V_f	İlerleme hızı (mm/dak)
z	Kesici takım ağız sayısı

Kısaltmalar

Açıklamalar

ANOVA	Varyans analizi
B₄C	Bor karbür
BUE	Build up-edge (talaş sıvanması)

Kısaltmalar**Açıklamalar**

CBN	Kübik bor nitrür
CGS	Santimetre gram saniye
CNC	Bilgisayarlı sayısal denetim
DIN	Alman standartları
ETPK	Elyaf takviyeli polimer kompozit
H1	15° helis açısı
H2	22,5° helis açısı
HSS	Yüksek hız çeliği
KETPK	Karbon elyaf takviyeli polimer kompozit
KLK	Kompakt laminat kompozit
KMS	Komple sert metal
LSC	En küçük merkez daire
MRS	Minimum radyal sapma
ML	Minimum miktarda yağlama
PAN	Poliakrilonitril
PCD	Çok kristalli elmas
PMC	Polimer matrisli kompozit
PVD	Fiziksel buhar çökeltme
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
S/N	Sinyal gürültü
SiC	Silisyum karbür
SiO₂	Silisyum dioksit
TiAlN	Titanyum alüminyum nitrür
TiC	Titanyum karbür
TiGr	Titanyum/grafit
TiN	Titanyum nitrür
WC	Tungsten karbür
ZrO₂	Zirkonyum dioksit

1. GİRİŞ

Malzemeler genellikle metal ve ametal malzemeler olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. Bu malzemelerin birbirlerine göre üstün veya zayıf yönleri vardır. Metal ve ametal malzemelerin yanında bu malzemelerin üstün özelliklerinin bir arada toplandığı karma (kompozit) malzemeler vardır. Kompozit malzemeler, aynı anda farklı gruplardaki iki veya daha fazla malzemenin, üstün özelliklerinin tek bir malzeme makro düzeyde bir araya getirilerek oluşturulmuş daha üstün özellikteki malzemelerdir [1]. Kompozit malzemeler şekil ve kimyasal bileşimleri farklı, birbirleri içinde pratik olarak çözülmemiş makro ölçüde heterojen karakterli, çıplak gözle incelendiği zaman bileşenlerinin ayrı ayrı görüldüğü, yapı bileşenlerinin kimyasal olarak herhangi bir tepkimeye girmeyen (inert) malzemelerdir [2].

Kompozit malzemeler çok eski yıllardan beri kullanılan ve örneklerini doğadan aldığımız malzemelerdir. Kompozit malzemeye en iyi örneklerden biri çam ağacının gövdesidir. Çam ağacının gövdesinde yaz ve kış aylarında meydana gelen yaş halkalar vardır. Kış aylarında meydana gelen kış halkası sert ama kırılgan yapıdadır. Yaz aylarında meydana gelen yaz halkası ise yumuşak ama esnektir. Bu sertlik ve esneklik özellikleri bir araya gelmiş ve gövdenin sağlam yapıda olmasını sağlamıştır. Mısırda M.Ö. 2800 yıllarında arkeologlar bina yapımında kullanılmış kerpiçler bulmuşlardır. Kerpiçler çekme kuvvetine dayanıklı saman ve basma kuvvetlerine dayanıklı çamurun bir araya getirilmesiyle ortaya çıkan kompozit malzemeye iyi bir örnektir [3].

Uçak iskeleti yapımında son 15 yıldır alüminyum (Al) alaşımları kullanılmaktadır. Al ile birlikte az oranda bakır (Cu) ve magnezyum (Mg) içeren saf Al kadar hafif olmayıp dayanımı daha yüksek olan duralüminyum olarak adlandırılan bu alaşım tesadüfen bulunmuştur. Bu alaşım I. Dünya Savaşında birkaç uçak üretiminde kullanılmıştır [1].

Kompozit malzemelerin gelişmesi, 1940'lı yıllarda II. Dünya Savaşı sırasında hali hazırda kullanılan malzemelerin, gelişen teknolojiyle beraber yeterli düzeyde gelişmemesiyle olmuştur. O günden bugüne bu malzemelerin üretimi, mekanik özelliklerin iyileştirilmesi, yüksek dayanım/yoğunluk ve yüksek elastiklik modülü/yoğunluk oranı elde etmek için devam etmektedir [4].

Kompozit malzemelerin genişletilebilecek özellikleri şunlardır;

- Dayanım,
- Rijitlik,
- Korozyon direnci,
- Hafiflik,
- Aşınma direnci,
- Kırılma tokluğu,
- Isı direnci,
- Isı, elektrik ve akustik iletkenliği,
- Boyutsal stabilite,
- Elektrik direnci,
- Ses izolasyonu,
- Isı izolasyonu,
- Fiyat,
- Estetik görünüm.

Bu özelliklerin her birinin malzemede aynı anda bulunması beklenmez. Kullanım alanına ve özelliklerine göre istenen özellikler geliştirilerek elde edilirler.

Kompozitlerin avantajlarının yanında dezavantajları da mevcuttur. Bunlardan bazıları;

- Üretim güçlüğü,
- Yüksek maliyet,
- İstenilen yüzey kalitesinin elde edilememesi,
- Geri dönüşümünün olmaması,
- Sınırlı raf ömrüne sahip olma gibi faktörler sayılabilir [2-3].

Kompozit malzemelerde, özellikle lifli kompozitlerde, talaş oluşum mekaniği diğer malzemelere göre farklıdır. Delik delme veya parmak freze ile işlemede kesici kenarın keskin olmaması veya aşınması halinde kesici, lifleri kesmeyip kopararak tabakalar halinde ayırmasına (delaminasyona) neden olabilmektedir. Bu sebeple kompozit malzemelerin işlenmesinde doğru kesici ile ilerleme hızı, kesme hızı ve kesici geometrisi gibi parametrelerin doğru seçimi delaminasyon gibi hataların önüne geçmek için önem arz etmektedir.

Soutis yaptığı çalışmada, modern uçak yapımında kullanılan kompozitlerdeki son gelişmeleri araştırmıştır. Elyaf takviyeli polimerlerin, özellikle karbon elyaf takviyeli polimer kompozitlerin (KETPK), gelecekte yapısal kütlenin % 50'sinden daha fazlasına katkıda bulunabileceği belirtilmiştir. Bununla birlikte ister havacılık ister askeri alanda satın alınabilirliğin havacılık imalatının anahtarı olduğu, bu nedenle imalat ve montaj işleminin analizine ve hesaplamalı simülasyonuna ve ayrıca yapının performans simülasyonuna

önem verilmesi gerektiği belirtilmiştir. Karbon fiberlerin ilk geliştiği zamanlarda pahalı olduğunu ve daha sonra fiyatının 10£/kg altına düştüğünde havacılık sektörünün üretimde ilk başta %20 sini oluştururken sonrasında bu oranın arttığı belirtilmiştir. KETPK'nin sağladığı temel avantajlar arasında kütle ve parça azaltma, karmaşık şekil üretimi, azalan hurda, iyileştirilmiş yorgunluk ömrü, tasarım optimizasyonu ve genel olarak geliştirilmiş korozyon direncinin bulunduğunu, kullanımlarını kısıtlayan başlıca zorlukların ise maddi ve işleme maliyetleri, hasar ve hasar toleransı, onarım ve muayene, boyutsal tolerans ve kuvvet üzerindeki büyüklük etkileri olduğu belirtilmiştir. Karbon, cam ve kevlar olarak bahsedilen ikincil yapılar için % 40'a yaklaşan ağırlık tasarrufu hafif metal alaşımlar yerine kompozitler kullanılarak yapılabilirken, birincil yapılar, suchas kanatları ve uçak gövdesi için bu oran % 20 olduğunu fakat zamanla bu oranların değişebileceğini, buluşların ise kompozitleri daha ekonomik hale getirmenin anahtarı olduğu belirtilmiştir [5].

Bu çalışmada, karbon elyaf takviyeli kompozit malzemenin istifli delinmesinde, farklı uç açısı ve helis açılarındaki matkaplarla farklı ilerleme ve kesme hızlarında delik yapısı ve delaminasyonlar araştırılmıştır. Bu amaçla iki alüminyum plaka arasına alınan karbon fiber kompozit malzeme, üç farklı ilerleme değeri (0,05; 0,1; 0,2 mm/dev), üç farklı kesme hızı (45, 67, 100 m/dak) değeri, iki farklı helis açısı (15°, 22,5°) ve iki farklı uç açısına (90°, 118°) sahip kaplamasız taşlanmış HSS (yüksek hız çeliği) matkaplarla delinmiştir. Deneysel çalışmalar neticesinde Al 6013/KETPK/Al 6013 istifli yapının delinebilirliği için uygun ilerleme değeri, kesme hızı, kesici takım helis ve uç açısına göre elde edilen veriler değerlendirilerek delaminasyonu azaltan en uygun ilerleme ve kesme hızı parametreleri ve matkap uç ve helis açısı belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Günümüze kadar farklı kompozit malzemelerin delinmesi/işlenmesi üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada daha çok lifli kompozit malzemeler üzerine yapılan çalışmalar üzerinde durulmuştur.

Bayraktar ve Turgut yaptıkları çalışmada delaminasyonu belirlemek için 80x50x10 mm ölçülerinde Al 6013- T651 ve karbon elyaf takviyeli karbon matrisli kompozit malzeme istifli yapı kullanılmıştır. Delme işlemi için 8 mm çapında 30° helis açılı 90°-118°-135° uç açılı kaplamasız TiN ve TiAlN kaplamalı HSS matkap kullanılmıştır. Sonuçlarda, kaplamasız matkapların kaplamalı matkaplara göre daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir. Maksimum kesme hızı minimum ilerleme değerinin giriş ve çıkış delaminasyonunu azalttığı, istifli yapının delaminasyonu azalttığı belirtilmiştir. Delaminasyona sebep olan en önemli faktörlerin sırasıyla ilerleme değeri, matkap uç açısı ve kesme hızı olduğu belirtilmiştir [6].

Bayraktar ve ark. delik delme ile ilgili yaptıkları literatür araştırması ile ilerleme hızının artmasıyla delik yüzeyinde pürüzlülüğün arttığını, elyaf takviyeli kompozit malzemelerin delinmesinde oluşan delaminasyona ilerleme kuvveti, moment ve kesici takım geometrisi gibi parametrelerin etki ettiği belirtmişlerdir [7].

Bayraktar ve Turgut elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin delinmesi üzerine yaptıkları çalışmada, delaminasyona faktörüne ilerleme oranı kesme hızı, matkap uç geometrisi gibi parametrelerinin etki ettiği, özellikle ilerleme oranının artmasıyla delaminasyon faktörünün atmakta olduğunu belirtmişlerdir. Matkap uç açısı ve helis açısının artmasıyla delaminasyonda artış olduğu, kesme hızının azalmasıyla delaminasyonun azaldığı belirtilmiştir [8].

Xu ve Mansori yaptıkları çalışmada, KETPK malzemeyi titanyum alaşımı ile istifleyerek (KETPK - Ti ve Ti - KETPK) delaminasyonu, farklı delme operasyonlarını, farklı matkap geometrileri ve malzemelerinin delme performansındaki etkilerini, matkap-delme etkileşiminin özelliklerini ve iki malzemede işlenebilirlik sınıflandırmasını çalışmışlardır. Çalışmada, 4'er mm kalınlığında 254x34,5x8 mm boyutunda KETPK/ Ti istifi yapı

kullanılmıştır. Titanyum alaşımı (Ti6Al4V) ve KETPK, (T300/914 KETPK) lamine (%60 fiber hacim oranı) 45°, -45°, 0°, 90° istiflenmiştir. Çalışmada, iki farklı tip matkap kullanılmış, ilk matkap ucu (A), kesme kenarı 0.11mm ve 20° helis açısı, 135° uç açısına sahip kaplamasız karbür matkap, ikinci matkap ucu (B) ise, PVD TiAlN kaplanmalı, 0,22 mm kesme kenarına, 27,2° helis açısına ve 140° uç açısına sahip iki ağızlı karbür matkaptır. Kesme parametreleri; 4 adet kesme hızı (15, 30, 40, 60 m/dak) ve 5 adet ilerleme hızı (0,03; 0,06; 0,09; 0,12; 0,15 mm/dev) kullanılmıştır. Sonuç olarak, delik çıkışındaki hasar KETPK/Ti da Ti/KETPK ya göre aynı kesme şartlarında daha az delaminasyon olduğu, ilerleme hızının delaminasyonda önemli bir etkiye sahip olduğu, kaplama etkisinin az olduğu, kaplamasız matkapla yapılan deneylerde kaplamalı matkaplara göre daha az delme kuvveti oluşturduğu belirtilmiştir. Yüzey kalitesinde ilerleme hızının önemli faktör olduğu, matkap geometrisinin (helis açısı, uç açısı vb.) matkabın malzeme özelliklerinden daha önemli bir etkiye sahip olduğu ve delik kalitesinde matkap ve kesme parametrelerinin önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir [9].

Zitoune ve ark. yaptıkları çalışmada, KETPK ile Al (Al 2024) istiflenmiş, delme parametrelerinin kesme kuvvetleri, delik kalitesi ve matkap uçlarındaki etkisi araştırılmıştır. Çalışmada, 4,2 mm kalınlığında kompozit malzeme kullanılmıştır. Kompozit malzemeler, her biri 0,26 mm kalınlığında olan katmanlarla 16 adet tek yönlü katlar halinde karbon/epoksi lifler (T700-M12) ile imal edilmiştir. Kompozitler, 90°,45°, 0°, -45° istifleme dizisi kullanılarak 180°C de 120 dakika 0,7 bar vakum altında şekillendirilmiştir. Delme işleminde üç ilerleme değeri (0,05; 0,1; 0,15 mm/dev) ve iki devir sayısı (2020 ve 2750 dev/dak) kullanılmıştır. Dört farklı geometrik özelliklere sahip 6,35 mm çapta karbür (K20) matkap kullanılmıştır. Her deney yeni matkap kullanılarak 5'er kere yapılmıştır. Sonuç olarak, farklı matkaplarla yapılan deneylerde delik çıkışındaki delaminasyon oluşumunda, 2020 dev/dak'da 0,05 mm/dev ilerleme değerinde delaminasyon oluşmazken, 0,15 mm/dev ilerleme değerinde delaminasyon olduğu belirtilmiştir. KETPK delik çıkışında alüminyum kullanımı delaminasyonu azalttığı belirtilmiş, alüminyum plaka kalınlığının 1 mm'den küçük olması durumunda ilerleme kuvvetinde önemli etkiye sahip olmadığı belirtilmiştir [10].

Ashrafi ve ark. yaptıkları çalışmada, KETPK/Al2024/KETPK istifinin kuru şartlarda delinmesini farklı geometrilere sahip kaplamalı ve kaplamasız dört farklı matkap kullanarak kesme parametrelerinin delik kalitesine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada %57

karbon hacim oranına sahip 3,5 mm kalınlığında çift yönlü düz dokuma karbon/epoksi, 6,5 mm kalınlığa sahip Al 2024 kullanılmıştır. Delme parametreleri olarak, sabit kesme hızı (2000 dev/dak) ve üç adet ilerleme değeri (0,03; 0,1; 0,25 mm/dev) kullanılmıştır. Matkap uçları (%90 WC, %10 kobalt) 6 mm çaplara sahip olup biri TiAlN ile kaplanmıştır. Sonuç olarak, 1. KETPK girişinde ve 2.KETPK çıkışında delaminasyon görülmüştür. Yüksek ilerleme değerinde 1. KETPK da daha fazla delaminasyon oluşmuş fakat 2. KETPK delik çıkışındaki delaminasyon düşük ilerlemede daha baskın olduğu belirtilmiştir. Delaminasyon açısından delik kalitesi 2. KETPK'da 1. KETPK'ya göre daha iyi olduğu belirtilmiştir [11].

Zhenchao ve ark. yaptıkları çalışmada delme sırasındaki metal-ETPK (elyaf takviyeli polimer kompozit) malzemenin delaminasyonunu araştırmışlardır. Metal-ETPK ve ETPK-metal olmak üzere iki tür çalışma yapılmıştır. Kritik itme kuvvetinin etkisi için mekanik model oluşturulmuştur. Sonuç olarak ETPK-metal delme esnasında metal plaka kalınlığının kritik kalınlığı aştığı durumlarda delaminasyon gözlemlenmeyeceği belirtilmiştir [12].

Bayraktar, ETPK malzemelerin yekpare ve metaller ile istiflenmiş halde delinmesi ile ilgili literatürde yapılan çalışmaları araştırmıştır. Yaptığı çalışmanın sonucunda, kompozit malzemelerin delinmesi sırasında delik giriş ve çıkışlarında delaminasyon, matris yapıda hasar, elyaf kopması ve yüzey pürüzlülüğü gibi olumsuz durumlar olduğu ve bu olumsuz durumların minimize edilebilmesi için genel olarak yüksek kesme hızları ile birlikte düşük ilerleme değerlerinin kullanılması gerektiği sonucuna varmıştır. Kesme parametrelerinin yanı sıra kesici takım geometrisi, kaplama yöntemi ve malzeme türünün de kesme performansı üzerine önemli etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. İlerlemenin artmasıyla ETPK malzemede delik giriş ve çıkışında delaminasyonun, kesici takımda ise ilerleme kuvvetleri ve tork değerlerinin arttığı belirtilmiştir. Ayrıca kesme hızının arttığında ETPK malzemede delaminasyonda azalma gözlemlendiği, fakat istiflenmiş yapılarda optimum kesme hızı parametrelerinin, her bir malzeme için ayrı ayrı kullanılması gerektiği belirtmiştir. İstiflenmiş yapılarda delinmede özellikle yüksek ilerleme değerlerinde matris fazında bozulma, Ti veya Al kesici kenarlarında talaş sıvanması (build up-edge - BUE) oluşumu, abrasiv aşınma ve delik giriş ve çıkışında çapak nedeniyle delaminasyon olduğu belirtilmiştir [13].

Karnik ve ark. delme işlemi parametrelerinin bir fonksiyonu olarak delaminasyonu araştırmışlardır. Deneyler 36 takım parametre kombinasyonundan oluşmaktadır ve kesme hızı 4000, 8000, 40.000 dev/dak, ilerleme hızı 1000, 3000, 6000, 9000 mm/dak değerleri kullanılmıştır. Çalışmada, KETPK malzeme ve 5 mm çapında matkap, 25° helis açısı ve farklı uç açılarına sahip (85°, 115°, 130°) karbür matkaplar kullanılmıştır. Sonuç olarak, minimum giriş delaminasyonu için yüksek kesme hızı, düşük ilerleme ve küçük matkap uç açısı kullanılması gerektiği belirtilmiştir [14].

Hocheng ve ark. yaptıkları çalışmada, delaminasyonun başlangıcında kritik itme kuvvetinin teorik tahminlerini araştırmış ve bu farklı matkap uçlarının etkilerini karşılaştırmışlardır. Deney numunesi olarak dokuma WFC 200 kumaş karbon fiber ve biri kaplamalı olmak üzere toplam 4 adet HSS matkap kullanılmıştır. Delme işlemi sırasında kaplamalı matkap hariç yanma olmaması için işlem soğutma sıvısı kullanılarak yapılmıştır. Deneylerde 900 ve 1000 dev/dak kesme hızı, 0,003; 0,005; 0,008; 0,0088; 0,009; 0,01; 0,011; 0,0111; 0,012; 0,0122; 0,0133 mm/dev ilerleme değerleri baz alınmıştır. Sonuç olarak, daha yüksek ilerleme değerinde veya düşük kesme hızında delaminasyon meydana gelmediği belirtilmiştir [15].

Gaitonde ve ark. KETPK malzemenin yüksek hızda delinmesi sırasındaki oluşan delaminasyonda deney parametrelerinin etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, KETPK ve karbür matkap kullanılmıştır. 5 mm çapında, 25° helis açısı, 85°, 118° ve 135° uç açılarına sahip üç adet matkap kullanılmıştır. Matkap uçlarına göre kesme hızı 60, 120 ve 600 m/dak, ilerleme hızı 1, 3 ve 6 m/dak, uç açısı 85°, 115° ve 130° parametreleri kullanılmıştır. Çalışmada 27 adet deney yapılmış ve delaminasyon faktörü hesaplanmıştır. Sonuç olarak, yüksek kesme hızının delik girişindeki delaminasyonun azalmasında önemli role sahip olduğu, düşük ilerleme hızı ve uç açısı da KETPK'ların delinmesi sırasında oluşan delaminasyonun azaltılmasında önemli olduğu belirtilmiştir [16].

Durao ve ark. Yaptıkları çalışmada farklı matkap geometrileri ve ilerleme hızının delaminasyon üzerinde etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla delme sırasında itme kuvveti, delik pürüzlülüğü ve delaminasyon değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışmada 6 mm çap ve 120°, 85° uç açılarına sahip beş adet karbür matkap kullanılmıştır. Sonuçlarda, 120° uç açılı matkap kullanıldığında daha az delaminasyon meydana geldiği belirtilmiştir. Matkap geometrisi veya ilerleme hızı gibi faktörlerin kombinasyonunun delaminasyonun

azaltılmasını sağlayacağı belirtilmiştir. Helis açısının ise delaminasyonda etkili olmadığı belirtilmiştir [17].

Isbilir ve ark. yaptıkları çalışmada, TiAlN kaplamalı tungsten karbür matkap ucu kullanılarak KETPK, Ti-6Al-4V ve KETPK / Ti-6Al-4V istiflerinin delinmesi sırasındaki delaminasyon ve delme parametrelerinin etkisini araştırmışlardır. Deneylerde, 8 mm çapta matkaplar kullanılmış ve her deney 52'şer defa tekrar edilmiştir. Sonuç olarak, itme kuvveti, tork, çapak oluşumu ve ortalama yüzey pürüzlülüğü; artan ilerleme değeri ile arttığı ve Ti-6Al-4V'nin delinmesinde bu değerlerin artan kesme hızıyla azaldığı belirtilmiştir. KETPK'nın delinmesinde, delaminasyon ve ortalama yüzey pürüzlülüğü kesme parametreleriyle benzer bir eğilime sahip olduğu, ancak artan kesme hızı ile itme kuvveti ve tork değerlerinin yükseldiği belirtilmiştir. KETPK / Ti-6Al-4V istifinde 15 adet delme işleminden sonra, KETPK'de ölçülen itme kuvvetlerinin % 20, Ti-6Al-4V'de % 45 oranında arttığı belirtilmiştir. Tek bir KETPK'ye kıyasla istif haldeki KETPK'de delaminasyonun daha küçük olduğu belirtilmiştir [18].

Brinksmeier ve Janssen, çalışmalarında çok katmanlı malzemelerin delme işlemlerini araştırmışlardır. Gelişmiş geometrilere ve kaplamalara sahip farklı karbür matkap tasarımları incelenmiş ve kesme kuvvetleri, takım aşınması, delik kalitesi ve talaş oluşumu karakterize edilerek karşılaştırılmıştır. Bunlara ek olarak titanyum işlenirken yüksek mekanik ve termal yükler nedeniyle deliğin yüzey kusurları ve bunun sonucunda ortaya çıkan çap toleransları araştırılmıştır. Araştırmalar, titanyum iş parçası katmanlarının kuru işlenmesinin artan takım aşınmasına, talaş oluşumu sorunlarına ve alüminyum ve KETPK katmanlarında yüzey hasarına yol açtığını göstermiştir. Deneyler farklı kesme sıvıları ve minimum miktarda yağlama (MQL) kullanılarak yapılmış, 30 mm kalınlığında farklı kombinasyonlarda alüminyum, KETPK ve titanyum sandviç malzemeleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Numuneler, 6 mm (ön delme) ve 16 mm çapında karbür matkaplar kullanılarak iki aşamalı bir işlemde delinmiştir. Sonuç olarak, alüminyum katman MQL kullanılarak delindiğinde talaş sıvanması (build-up egde - BUE) oluşumunun azaldığı belirtilmiştir. Geliştirilmiş karbür matkaplarının kullanımı çap toleranslarını, yüzey kalitesini ve takım aşınmasını iyileştirdiği, matkaba uygulanan farklı kaplamaların sadece takım aşınmasını iyileştirdiği belirtilmiştir. Çok katmanlı malzemeler delinirken, iç beslemeli MQL kullanılması gerektiği ve ön delme işleminin yapılması gerektiği de belirtilmiştir [19].

Shyha ve ark. çalışmalarında Titanyum/KETPK/Alüminyum sandviç yapının işlenebilirliğini araştırmışlardır. Çalışmalarda, 30 mm kalınlığındaki sandviç yapı ve 6,35 mm çapında 30° helis açısı ve 130° uç açısına sahip kaplamalı ve kaplamasız matkap kullanılmıştır. Sonuçlarda, alüminyum veya KETPK bölümlerinden ziyade titanyumda delme esnasında hasar meydana geldiği, en iyi takım ömrü/performansı daha düşük kesme hızı ve ilerleme değerinde kaplamasız karbür matkapla elde edildiği belirtilmiştir [20].

Denka ve ark. yaptıkları çalışmada, helisel frezeleme sırasında eksenel ve teğetsel ilerlemenin proses kuvvetleri üzerindeki etkisini ve delik kalitesini araştırmışlardır. Proses kuvvetleri ve delik çapı arasındaki ilişkinin doğrulanabilir olduğunu, sabit eksenel ilerlemede yüksek teğetsel ilerlemeler ve sabit teğetsel ilerlemelerde düşük eksenel ilerlemeler düz biçimsiz talaş geometrileri ile sonuçlandığı belirtilmiştir [21].

Xu ve arkadaşları çalışmalarında, FRP / Ti sandviç yapının delme sonuçlarına ilişkin son teknolojik sonuçlar ve ilerlemeler ile ilgili literatür araştırması yapmışlardır. Sonuçlarda, delme işleminin daha kontrollü yapılması, FRP kısmında meydana gelen delaminasyon ve titanyum kısmında meydana gelen çapak hatasının genellikle kötü montaj ve işlenmemiş kısımlarda fazla ıskarta oluşmasına neden olduğu belirtilmiştir [22].

Kuş ve Ekici çalışmalarında, bal peteği geometrisinde farklı çekirdek malzemelerden üretilen sandviç kompozitlerin delinmesinde delik giriş ve çıkış bölgelerinde oluşan delaminasyon faktörünü araştırmışlardır. Yapılan deneylerde kontrol faktörleri olarak kesme hızı, ilerleme miktarı ve çekirdek malzeme tipi esas alınmıştır. Deneylerde, CNC dik işleme merkezinde 6,3 mm çapında TiAlN kaplı karbür matkap kullanılmıştır. Deneyde kullanılan KETPK plakalar, (0°/90°/0°) lamina oryantasyonuna göre 3 kat vakum infüzyon prosesi ile üretilmiştir. Deneyler boydan boya kuru kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Sonuçlarda, delik giriş bölgesinde delaminasyon faktörü üzerinde en etkili parametrenin %46 ile kesme hızı, kesme hızını %24,5 ve %13,6 katkı oranı ile çekirdek malzeme/kesme hızı etkileşimi ve ilerleme miktarı takip ettiği belirtilmiştir. Delik çıkış bölgesinde delaminasyon faktörü üzerinde en etkili parametrenin %32,8 katkı oranı ile ilerleme miktarı, ilerleme miktarını %23,7 çekirdek malzeme ve %21,8 katkı oranı ile kesme hızı takip ettiği belirtilmiştir. Kesme hızı ve ilerleme miktarındaki artışın giriş delaminasyonunu arttırırken yüksek kesme hızı ve ilerleme miktarının da çıkış bölgesindeki delaminasyonu arttırdığını, giriş ve çıkışlardaki delaminasyon faktörü

alüminyumda genel olarak daha az olduğu, delik çıkış bölgesinde oluşan hasar tipleri delaminasyon, kesilmemiş elyaf ve parçalanma olduğu belirtilmiştir [23].

Ekici ve Işık çalışmalarında, delme işlemi esnasında delik yüzeyinde oluşan yüksek gerilme hasarını cam elyaf takviyeli polimer kompozit malzeme, değişik kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme, takım uç geometrisi) altında delik delinerek delik çıkış yüzey hasar faktörü araştırılmıştır. Deneylerde 10 mm kalınlığında 14 katmanlı plakalar halinde hasır biçiminde örülerek hazırladıkları CTP malzeme ve 8mm çapında 2, 3, 4 ağızlı, 60°, 90°, 120° uç açılara sahip matkaplar kullanılmıştır. Her uç geometrisi için 9 deney olmak üzere toplam 81 adet deney yapılmıştır. Sonuçlarda, yüksek kesme hızı ve düşük ilerlemenin delaminasyon faktörünü azalttığını, kesici takım uç açısının ve ağız sayısının artması ile delaminasyon faktörünün arttığını, en düşük delaminasyon faktörünün 90 m/dak kesme hızı 0,06 mm/dev ilerleme hızı ve 60° uç açısına sahip 2 ağızlı kesici takımda meydana geldiği belirtilmiştir [24].

Karaca yaptığı çalışmada deformasyon faktörüne etki eden kesme hızı, ilerleme değeri ve matkap uç açısı gibi delme parametrelerinin etkisini araştırmıştır. 104x140x25 mm boyutlarındaki KETPK malzeme ve 8 mm çapında 30° helis açıları, 118°, 125°, 130° ve 140° uç açısına sahip HSS matkaplar kullanılmıştır. Bütün deneyler kuru ortamda gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, delaminasyon faktörüne etki eden en önemli etkenin ilerleme miktarı olduğu, kompozitlerin delinmesinde düşük ilerleme miktarları seçilmesi gerektiği, KETPK malzemelerin delinmesinde küçük uç açılı matkapların tercih edilmesi gerektiği ve kesme hızının deformasyon faktörüne önemli bir etkisi olmadığı belirtilmiştir [25].

Kılıçkap yaptığı çalışmada cam fiber takviyeli plastik kompozit malzemelerin delinmesinde oluşan deformasyon üzerine etki eden kesme parametrelerinin ve matkap uç açısının etkisini araştırmıştır. Deneylerde kesme sıvısı kullanılmadan 5, 10, 15 ve 20 m/dak kesme hızı, 0,1; 0,3; 0,4 mm/dev ilerleme değeri, 118°, 135° uç açısına sahip 5 mm çapında HSS matkap ve (400x30x10 mm) boyutlarında KETPK malzeme kullanılmıştır. Sonuçlarda, en düşük deformasyon faktörü düşük kesme hızı ve ilerleme oranında, delik giriş ve çıkışlardaki en düşük deformasyon 5 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme oranında elde edildiği belirtilmiştir. Deformasyon faktörü üzerindeki bir diğer etkinin ise matkap geometrisi olduğunu, düşük deformasyon faktörü elde etmek için kademeli veya

118° uç açılı matkap kullanılması gerektiği belirtilmiştir [26].

Bilge ve ark. yaptığı çalışmada, ön delik delinmiş (çap 8 mm) kompakt lamine kompozit malzemenin yeni (T1) ve aşınmış düz parmak freze takımlarla (T2) delinmesinde delik çıkış bölgelerinde oluşan delaminasyonu incelemiş ve delik parametrelerinin delaminasyon faktörü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. İkinci olarak da aşınmış takımlarla işlemeyi sürdürmenin delaminasyon üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. İş parçası malzemesi EN 438-2 standardında, CGS sınıfı standart 300x100x12 mm boyutlarında (kompakt laminat kompozit) KKK'dır. Deney sırasında aşınmış ve kullanılmaya devam eden 12 mm çapındaki düz parmak frezeler kullanılmıştır. Deney başlangıcında çap 8 mm HSS helisel matkapla ön delik delinmiş ardından 12,7 mm çapında T1 ve T2 takımlarla doğrusal delik delme ve kademeli delik delme operasyonları gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, tungsten karbür takımlarla delmede delik girişlerinde işlemin kalitesini yansıtan soyulma şeklinde delaminasyon oluşmazken, delik çıkışında kaliteyi etkileyecek delaminasyonlar olduğu belirtilmiştir. T1 takımlarla kademeli delik delme işleminde delik çıkış yüzeyindeki maksimum deforme olmuş çap (13,080mm) ve delaminasyon faktörü (1,030) T2 takımlardan daha düşük olduğu, KKK malzemeyi T2 takımlarla delmede maksimum deforme olmuş çap T1 takımlara göre %42 oranında daha büyük olduğu belirtilmiştir. T1 takımlarla delaminasyon üzerinde en etkili parametreler sırasıyla kesme hızı, ilerleme miktarı ve delme tipi olarak belirlenmiş iken T2 takımlarda ilerleme miktarı, delme tipi ve kesme hızı şeklinde olduğu belirtilmiştir. Kademeli delik delme operasyonu, parmak freze ile delik büyütmede minimum delik çıkış yüzeyi deformasyonu elde etmek için, düşük kesme hızı ve ilerleme miktarı tercih edilmesi gerektiği belirtilmiştir [27].

Velaga ve ark. yaptıkları çalışmada hem deney hem de sayısal analiz için delme işlemi sırasında hız ve ilerleme hızı gibi kesme parametrelerinin etkisini araştırmış ve analiz etmişlerdir. Deneylerde 10 mm çapında matkap ve 0° ve 90° lif yönlenme açılı cam elyaf kullanılmıştır. Deneyler, 200x150 mm boyutlarında deney malzemesi ve 0,2; 0,4; 0,6 mm/dev ilerleme değeri, 400, 700 ve 1000 dev/dak hız değerleri kullanılarak yapılmıştır. Her bir parametre grubu için üç deneme yapılmıştır. Sonuç olarak 700 dev/dak hız ve 0,4 mm/dev ilerleme seçilen matkap uç geometrisi için optimum değer olduğu belirtilmiştir [28].

Rajamurugan ve ark. yaptığı çalışmada, cam elyaf takviyeli plastik kompozitlerinin delinmesinde lif yönlendirme açısı, ilerleme hızı, dönme hızı ve takım çapı gibi delme

parametreleri arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Cam elyaf takviyeli plastik kompozit 10mm kalınlığına ve 180x90x12 mm ölçülerine sahiptir. Deneyler, 500, 875, 1250, 1650, 2000 dev/dak devir, 50, 112,5, 175, 237,5, 300 mm/dak ilerleme hızı, 4, 6, 8, 10, 12 mm matkap çapı, 0°, 22.5°, 45°, 67.5°, 90° fiber yönelim açısı parametreleri ile yapılmıştır. Sonuç olarak, ilerleme arttıkça delaminasyon faktörünün de arttığı, devirin artmasıyla azaldığı belirtilmiştir. Fiber yönelim açısının değişimi genel bir eğilim göstermediğini fakat cam elyaf takviyeli polimerlerde fiber yönelim açısının artmasıyla delaminasyon faktörünün arttığı, itme kuvveti ve matkap çapının artmasıyla delaminasyonun arttığını ve takım ilerlemesi delaminasyonu etkileyen en önemli parametre olduğu belirtilmiştir [29].

Park ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, GLARE laminatı delme işleminde, işleme değişkenlerinin kesme mekanizması üzerindeki etkisini incelemişlerdir. HSS-Co ve karbür olmak üzere iki çeşit takım seçmişlerdir. Deneyler, 400 dev/dak dönme hızı, 7,5 kW gücünde ve 3 eksenli CNC dik işleme merkezi kullanılarak, 600, 1800, 3000 dev/dak devir sayısı ve 0,04; 0,12; 0,20 mm/dev ilerleme değeri parametreleri ile yapılmıştır. Sonuç olarak, ilerleme ve kesme hızının etkileşiminin hasar oluşumunda en önemli belirleyicisi olduğu belirtilmiştir. Delaminasyon olmaması için ve daha iyi yüzey kalitesi için yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme değeri kullanılması gerektiği belirtilmiştir [30].

Mohan ve ark. yaptığı çalışmada, Taguchi ve tepki yüzey metodolojisini kullanarak delaminasyona etki eden faktörleri belirlemek ve minimum delaminasyona neden olacak işleme koşullarını araştırmışlardır. Taguchi metodunu, istenen en uygun kesme ve delaminasyon görünümünü minimuma indiren parametreleri bulmak için, sonuçların analizi ve raporu için ise ANOVA kullanmışlardır. Deney sonuçları daha sonra sinyal-gürültü oranına (S/N) çevrilmiştir. Daha büyük bir S/N oranı daha iyi kaliteye karşılık geldiği belirtilmiştir. Deneylerde cam elyaf takviyeli plastik kompozit, 3, 6, 10 ve 12 mm çaplarında karbür matkaplar kullanılmıştır. Deneyler, 600, 900, 1200 ve 1500 dev/dak kesme hızı, 50, 75, 100 ve 125 mm/dak ilerleme hızı parametreleri ile yapılmıştır. Sonuçlarda, S/N oranına göre minimum giriş delaminasyonunun ilerlemenin 50 mm/dak, kesme hızının 1200 dev/dak, takım çapının 6mm ve malzeme kalınlığının 12mm olduğu parametrelerde meydana geldiği belirtilmiştir. Minimum çıkış delaminasyonunun ilerlemenin 50 mm/dak, kesme hızının 600 dev/dak, takım çapının 100mm ve malzeme kalınlığının 10 mm olduğu parametrelerde meydana geldiği belirtilmiştir. Genellikle, yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme matkap giriş ve çıkışlarında minimum delaminasyon,

iyi yüzey kalitesi ve takım ömrü için kullanılması gerektiği belirtilmiştir. Malzeme kalınlığının yanında ilerlemenin de giriş ve çıkış delaminasyonunda etkili olduğu ve her türlü hasarda ilerlemenin çok kritik değer olduğunu belirtilmiştir. Ayrıca S/N oranı ve ANOVA'nın veri analizlerinde aynı sonuçları verdiği belirtilmiştir [31].

Priarone ve ark., yaptığı çalışmada, karbon fiber takviyeli polimerin matkapla delinmesini araştırmışlardır. Çalışmada, 4 mm kalınlığında 10 adet tabakadan meydana gelen karbon epoksi kompozit lamine, 6 mm çapında ince ve kalın parçacıklı elmas kaplamalı matkap, 30 ve 40 m/dak kesme hızı ve 0,02 ve 0,06 mm/dev ilerleme değerleri kullanılmıştır. Sonuç olarak, ilerleme değerinin delaminasyon ve itme gücü açısından önemli parametre olduğu belirtilmiştir. En kaba elmas parçacıkları ile kaplamalı matkaplar, daha ince elmas parçacıkları ile kaplanmış matkaplara kıyasla delaminasyon, itme kuvveti ve tork açısından daha iyi sonuçlar elde edildiği belirtilmiştir [32].

Shyha ve ark. yaptıkları çalışmada çeşitli koşullar altında Ti/KETPK/Al istifinin delinmesi sırasında delik kalitesi ve bütünlüğünü, kaplamalı ve kaplamasız karbür matkap performansı, çapak yüksekliği, delik kalitesi gibi kilit noktaları araştırmışlardır. Deneyler, 6,35 mm çapında, 30° helis açısı ve 130° uç açısına sahip kaplamalı ve kaplamasız karbür matkaplarla, 20, 40, 60, 80 ve 120 m/dak ilerleme hızı, 0,05; 0,10; 0,15 mm/dev ilerleme değeri kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlarda, KETPK malzemenin Al ve Ti ile desteklenerek istiflenmesi delaminasyonu önemli ölçüde azalttığı belirtilmiştir [33].

Tsao ve Hocheng yaptıkları çalışmada, matkaplarda taşlama nedeni ile matkap uç noktası merkezinin, delme noktası merkezinden kaçması ile oluşan eksantrikliğin sebep olduğu delaminasyonu ideal matkaplarla karşılaştırarak araştırmışlardır. Sonuçlarda kritik itme kuvveti eksantriklik oranının artmasıyla azaldığını ve delaminasyonu önlemek için daha düşük ilerleme değerinin kullanılması gerektiği belirtilmiştir [34].

Khashaba yaptığı çalışmada delaminasyon içermeyen farklı elyaf takviyeli termoset kompozitlerin delinmesinde delme değişkenlerinin (kesme hızı ve ilerleme değeri) ve malzeme değişkenlerinin (matris tipi, dolgu maddesi ve elyaf şekli) itme kuvveti, tork ve delaminasyona etkisini araştırılmıştır. Delme işlemi çapraz sarım / polyester, sürekli sarım dolgu/polyester, doğranmış/polyester, dokuma /polyester ve dokuma /epoksi kompozitler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, sürekli sarımlı kompozitlerde kum dolgusunun

sadece kesme kuvvetleri ve itme delaminasyonunun değerini artırmakla kalmayıp aynı zamanda artan kesme hızı ile değerlerini arttırdığı belirtilmiştir. Buna karşılık, çapraz sarma, dokuma ve doğranmış kompozit delme işleminde kesme hızının artırılması, itme kuvvetinin azaltılmasının bir sonucu olarak itme delaminasyonunu azalttığını belirtilmiştir. Kesilmiş kompozitler, dokuma elyaflardan yapılanlardan daha düşük itme delaminasyonuna sahip olduğu aynı elyaf şekli için, dokuma /epoksi kompozitin sıyrılma ve itme delaminasyonları dokuma/polyester kompozitlerden daha düşük olduğu belirtilmiştir. Kıyılmış ve sürekli sarımlı kompozitlerin delinmesinde delaminasyon, ufalanma ve yayılma hasarı mekanizmaları belirtilmiştir. Dokumalı kompozitlerde delme işleminde, liflerin iki ortogonal yönünün (çözü ve dolgu) birbirine geçmesiyle yapılan örgülerin varlığından dolayı farklı kenar pozisyonu açılarında delaminasyon görüldüğü belirtilmiştir. Kesme hızının giriş delaminasyonuna etkisinin, polyester bazlı kompozitler (sürekli sarma, çapraz sarma ve dokuma/polyester kompozitler) için çıkış delaminasyonunun zıttı olduğu belirtilmiştir. Ayrıca giriş delaminasyonunun çıkış delaminasyonundan daha fazla olduğu da belirtilmiştir. Dokuma/epoksi ve dokuma/polyester kompozitlerin yaklaşık eşit itme kuvvetine sahip olmalarına rağmen aynı elyaf şekli için giriş ve çıkış delaminasyonu epoksi kompozitin daha düşük olduğu belirtilmiştir [35].

Liu ve ark. yaptıkları derleme çalışmasında, literatürdeki kompozit delme işlemlerini matkap ucu geometrisi ve malzemesi, itme kuvveti, delaminasyon ve takım aşınması faktörlerini kapsayan gelişimini özetlemişlerdir. Geliştirilen özel matkaplar, helisel matkap ile karşılaştırıldığında daha büyük bir ilerleme hızında çalıştırılabilir olduğu belirtilmiştir. Cam elyafların ve özellikle karbon elyafların sertliği yüksek düzeyde takım aşınmasına neden olduğu belirtilmiştir. Karbür takımları, kaplamalı karbür takımları ve PCD takımları, kompozit laminelerin delinmesi sırasında takım aşınması ve takım ömrü açısından iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Özel matkap uçları, destek plakası, önceden delinmiş pilot delik, titreşim destekli delme ve yüksek hızlı delme uygulamaları deliklerde önemli iyileştirme sağladığı belirtilmiştir. İlerleme oranının, kompozit laminelerin delinmesi sırasında delaminasyon, itme kuvveti ve takım aşınmasına göre daha önemli bir parametre olduğu belirtilmiştir. Genel olarak, düşük ilerleme hızı ve yüksek kesme hızı kullanımı, minimum delme işlemine bağlı delaminasyonu ve takım ömrünü uzattığı belirtilmiştir [36]. Ramulu ve ark., yaptıkları çalışmada, Grafit/Bismaleimide (Gr/Bi), Gr/Bi-Ti istifinin delinmesinde meydana gelen hasarları standart geometriye sahip farklı kesme malzemeleri

kullanılarak araştırmışlardır. Deneylerde, yüksek hız çeliği (HSS), HSS-Co ve Karbür matkaplar kullanılmıştır. Gr/Bi'nin çıkış yüzeyinde, deliğin etrafındaki delaminasyon oluşumuna hem ısı hem de metal talaşların neden olduğu iki farklı hasar belirtilmiştir. Birbirine benzeyen mekanik ve ısı özellikler, takım ömrünü etkilediği ve kesici takım malzemesinden bağımsız olarak titanyumda matrisin bozulma ve çapak oluşumunun artmasına sebep olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak, yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme değeri kullanıldığında daha az sayıda delik üretildiği belirtilmiştir. Ayrıca karbür matkaplarının, takım ömrü, minimum yüzey hasarı ve her iki iş parçası malzemesin de termal hasar açısından diğer tüm takımlardan daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir. HSS ve HSS-Co matkapların delme işlemlerinde artan hız, Ti işlemede ısı oluşumu, daha büyük giriş ve çıkış çapakları, daha büyük delaminasyon ve azaltılmış delik sayısı nedeniyle artan takım aşınmasına yol açtığı belirtilmiştir [37].

Davim ve Reis, karbon fiber takviyeli epoksi kompozit malzemede hasarsız delik delmek için uygun kesme parametrelerinin seçilmesini amaçlamışlardır. Yaklaşım, Taguchi tekniklerine ve varyans analizine (ANOVA) dayanmaktadır. Taguchi tekniği ile, bir otoklav karbon fiber takviyeli plastik (KETPK) laminatede, belirlenmiş kesme parametreleriyle delikler delinmiştir. ANOVA, KEPTK'lerin yüksek hız çeliği (HSS) ve karbür (K10) matkaplar kullanılarak kesme özellikleri araştırılmıştır. Deneyde 0,04; 0,08; 0,15 mm/dev ilerleme değeri, 16, 20, 32 m/dak kesme hızı ve 1000, 1500, 2000 dev/dak devir sayıları kullanılarak dokuz adet deneyle KETPK malzemenin delaminasyonu incelenmiştir. Sonuç olarak, helisel K10 matkabı KETPK kompozitte dört ağızlı karbür (K10) matkaptan daha az hasara yol açarak, delaminasyon faktörünün (f_d) daha küçük olduğu, karbür (K10) matkabın KETPK malzemeyi delmek için daha iyi bir seçim olduğu belirtilmiştir. Ayrıca delaminasyon, düşük kesme hızı ve yüksek ilerleme değerlerinde daha büyük olduğu belirtilmiştir. Karbür matkaplar neredeyse hiç aşınma görülmezken HSS matkapta aşınma olduğu belirtilmiştir. Doğrulama testlerinde ise, f_d delaminasyon faktörü ile ilişkili hatanın (maksimum değer % 2 ve minimum değer % 0,4) oldukça iyi olduğu da belirtilmiştir [38].

Kim ve Ramulu yaptıkları çalışmada, grafit/bismaleimid-titanyum alaşımı (Gr / Bi-Ti) istifinin (7,62 mm kalınlığında Gr/Bi ve 3,1 mm kalınlığında Ti) delme işlemi, delik kalitesi ve işleme maliyetini araştırmışlardır. Delme deneyleri, iki farklı kesici malzeme olan HSS-Co ve karbür kullanılarak yapılmıştır. İlerleme değerini ve kesme hızını

optimize etmek için sadece her delik kalitesi parametresini mümkün olan en üst düzeye çıkarmak için değil aynı zamanda işleme maliyetini en aza indirmek için program kullanılmıştır. İstenilen delik kalitesini ve işlem maliyetini elde etmek için optimum işlem koşullarının karbür matkaplar kullanılırken düşük ilerleme ve düşük kesme hızı ile HSS-Co matkaplar ile delme sırasında yüksek ilerleme ve düşük kesme hızın bir kombinasyonu olduğu belirtilmiştir [39].

Zitoun ve ark., çalışmalarında itme kuvveti ve tork değerlerinin yüzey kalitesi üzerindeki parametrik etkisini araştırmışlardır. Çalışmalar, 4, 6, 8 mm çapında düz karbür (K20) matkap kullanarak 4,2 mm kalınlığında 16 katmandan oluşan KETPK/alüminyum (Al2024) istifinde soğutmasız ve beş tekrarlı şekilde gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, KETPK/Al' un Ø4 mm ve Ø6 mm matkaplar kullanılarak delinmesi sırasında itme kuvveti ve tork artışı, Ø8 mm matkapla karşılaştırıldığında daha düşük, bunun nedeninin çapakların kesit alanında dik artış ve daha yüksek çapta kesici kenar uzunluğunun daha büyük olması olduğu belirtilmiştir. KETPK için, ilerleme değerinde daireselliğin 6 µm civarında olduğu, ilerleme değeri arttığında daireselliğin 25 µm'ye yükseldiği belirtilmiştir. Bununla birlikte, devir sayısının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin az olduğu belirtilmiştir. KETPK malzeme çıkışında alüminyumun kompozitin altında kalması nedeni ile 59 adede kadar kayda değer bir delaminasyon bulunmadığı, ancak deliklerin sayısı 60'ın üstüne çıktığında delaminasyon oluştuğu belirtilmiştir [40].

Poutorda ve ark. çalışmalarında, 25,5 mm kalınlığında titanyum alaşımı (Ti6Al4V) ve 20,7 mm kalınlığında KETPK istifinin delinmesini, modellenmesini ve takım aşınma analizini araştırmışlardır. Ti6Al4V'nin neden olduğu aşınmanın, çoğunlukla kesme kenarı köşesinde meydana geldiği, metal malzemenin delinmesi sırasında malzemenin yapışması matkabı kimyasal bir aşınma işlemiyle zayıflatabileceği, matkap kuvvetlerinin ve torkun matkap aşınması için ana faktör olduğu belirtilmiştir. Ayrıca itme kuvvetinin tüm kenarları etkilediğini dolayısıyla tüm kenarlarda açılan deliklerin sayısı ile basıncın eşit şekilde artacağı belirtilmiştir [41].

Kim ve ark. yaptıkları çalışmada, delme işleminde titanyum/grafit hibrit kompozitlerin (TiGr) işlenebilirliğini araştırmışlardır. Çalışma, yüksek sıcaklığa karşı güçlü bir TiGr kompozit oluşturmak için iki parça titanyum folyo ile 8 kat PIXA-M termoplastik polimer matris kompozit (PMC) birleştirilerek yapılmıştır. Sonuç olarak TiGr kompozit deliklerde

PMC katlarında matris bozulması ve elyaf çekilmesi olduğu belirtilmiştir. İki farklı materyalin bağlanması nedeniyle girişin yanı sıra çıkışta da Ti çapaklar ve delaminasyon meydana geldiği belirtilmiştir. İlerleme hızının tüm delme işlemlerinde hem itme kuvveti hem de tork ile doğru ilişki gösterdiği belirtilmiştir [42].

Wang ve ark. yaptıkları çalışmada, karbür matkap kullanılarak delme parametrelerinin delme kuvveti, delme sıcaklığı, delik çapı ve delik yüzey kalitesine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, 8,74 mm kalınlığında T800/X850 KETPK ve 6 mm kalınlığında 7075-T651 Al'dan oluşan KETPK/Al istif malzemeler kullanılmıştır. Sonuç olarak devir sayısının artmasıyla maksimum delme sıcaklığının arttığı, ilerleme değeri ile birlikte azaldığı belirtilmiştir. Uzun ve esnek Al talaşlarının tahliye zorluğu nedeni ile Al katmanının delinmesi sırasında itme kuvvetinin ve delme sıcaklığının anormal şekilde arttığı belirtilmiştir [43].

Zhang ve ark. yaptıkları çalışmada, KETPK ve 7075 alüminyum alaşımlı istiflenmiş malzemelerin farklı matkaplarla delindiği deneyleri, proses parametreleri ve aletlerinin delik tamlığı, pürüzlülüğü ve çapak yüksekliğini ve ayrıca kesme kuvvetini nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Sonuçlarda, CVD kaplamalı karbür matkabın kesme yeteneğinin, KETPK/Al istifini soğutmasız delerken, kaplamasız matkaptan çok daha yüksek olduğunu belirtilmiştir. Kaplamalı matkap ile delmede pürüzlülüğün endüstri ihtiyacını karşılamada yeterli olabileceği belirtilmiştir [44].

Lin ve Chen yaptıkları çalışmada, KETPK kullanılarak artan kesme hızının farklı matkaplar için ortalama itme kuvveti, tork, takım aşınması ve delik kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deneyler üç farklı devir sayısı ve 3 farklı ilerleme değeri ile yapılmıştır. 25° helis açılı ve 120° uç açılı karbür matkap ve 30° helis açılı tungsten karbür matkap olmak üzere iki farklı karbür matkap deneylerde kullanılmıştır. Sonuç olarak kesme hızının artması ile takım aşınmasını hızlandığı belirtilmiştir. Matkap aşınması arttıkça itme kuvveti de arttığı, takım aşınmasının hızlı ilerlemesi nedeniyle takım geometrileri hızlı bir şekilde değişse de kesme hızı arttıkça itme kuvvetinin önemli ölçüde arttığını ve düşük ilerleme değerlerinde kabul edilebilir bir delik girişi ve çıkış kalitesi olduğu belirtilmiştir. Karbon fiber takviyeli kompozit malzemeleri yüksek hızda delerken takım aşınmasının karşılaşılan en büyük sorun olduğu belirtilmiştir [45].

Zitoune ve Collombet yaptıkları çalışmada, yarı-statik delme testleriyle uzun elyafli kompozit yapıların delinmesi esnasında sonlu elemanlar analizi kullanılarak deliğin çıkışındaki hasarlara neden olan itme kuvvetlerini araştırmışlardır. Deneyler iki yönlü önceden reçinelendirilmiş karbon/epoksi, üç ağızlı 118° uç açısına sahip 4,8 mm çapında karbür matkap kullanılarak yapılmıştır. Sonuç olarak sayısal olarak elde edilen sonuçlar ile deneysel olarak elde edilenler sonuçlar arasında doğru korelasyon olduğu belirtilmiştir. Karbon/epoksi de kullanılan iki yönlü önceden reçinelendirme diğer kompozitlerde de kullanılabilir olduğu belirtilmiştir [46].

Park ve ark. yaptıkları çalışmada, tungsten karbür (WC) ve polikristalin elmas (PCD) matkaplarının titanyum üzerine istiflenmiş KETPK delmede oluşan aşınma mekanizmalarını araştırmışlardır. Deneylerde ortalama her bir katma 0,1141 mm olmak üzere 7,54 mm kalınlığında KETPK ve 6,73 mm kalınlığında Titanyum (Ti-6Al-4V) malzeme paslanmaz çelik cıvatalarla birleştirilmiştir. Delme işlemleri 9,525 mm çapında ve 135° uç açısına sahip WC ve PCD olmak üzere iki farklı matkapla yapılmıştır. İlerleme değerleri KETPK için 0,0762 mm/dev, Titanyum için ise 0,0508 mm/dev olarak belirtilmiştir. Sonuç olarak deliklerin sayısı arttıkça hem WC hem de PCD matkaplarının delme kuvvetleri, takım aşınması nedeniyle hem KETPK hem de Ti'de yavaş yavaş arttığı, PCD matkabı için delme kuvvetleri delik sayısında önemli bir artış göstermediği belirtilmiştir. WC matkaplarında PCD matkaplardan daha fazla Ti yapışması gözlemlendiği ve PCD matkap üzerinde mikro talaşlanma veya mikro kırılma gözlemlendiği belirtilmiştir [47].

António ve ark., yaptıkları çalışmada, 6 mm çapında dört farklı karbür matkap ile karbon fiber/epoksi kompoziti delme sırasında oluşan delaminasyonu itme kuvveti açısından karşılaştırmışlardır. Sonuçlarda, kesme hızı 53 m/dak ve ilerleme değeri 0,025 mm/dev değerlerinin delaminasyonu önlemeye yardımcı olabileceği belirtilmiştir [48].

Chen yaptığı çalışmada, tek yönlü ve çok yönlü KETPK malzemenin 5 mm çapında karbür matkap ve HSS matkap ile delerek delaminasyonu araştırmıştır. Çalışmada, KETPK malzemeyi kuru ortamda delme işleminde takım geometrisi ve delme parametrelerinin kesme kuvveti değişimleri üzerindeki etkileri de deneysel olarak incelenmiştir. Sonuç olarak delaminasyon faktörü ile tek yönlü KETPK lamineleri bir karbür matkapla delmek için ortalama itme kuvveti arasında doğrusal ilişki olduğunu, delaminasyon faktörü ve

ortalama itme kuvveti arasındaki ilişki, aynı takım malzemesi ve kesme koşulları altındaki farklı kompozit laminelerle değiştiği, delaminasyon faktörünün matkap aşınması arttıkça arttığı belirtilmiştir [49].

Rahman ve ark., yaptıkları çalışmada, KETPK işlenmesi için uygulanabilir teknikler geliştirmeyi amaçlayarak, kesme hızları, ilerleme hızı ve kesme derinliği gibi işleme parametrelerinin değiştiği KETPK işlenmesi ile ilgili temel çalışmalar yapmışlardır. Çalışmada, iki tip numuneyi kısa (süreksiz) ve uzun (sürekli) fiber karbon epoksi kompozitleri delmek için kaplamasız tungsten karbürler, seramik ve kübik bor nitrür (CBN) gibi üç tip matkap kullanılmıştır. Sonuç olarak CBN matkap diğer iki matkaba göre en düşük yüzey pürüzlülüğü sonuçları verdiği belirtilmiştir [50].

Literatürdeki çalışmalardan, işleme parametrelerinden ilerleme değerinin ve kesme hızının delaminasyonlara önemli derecede etki ettiği görülürken, matkap geometrisinden de matkap uç açısı ve helis açısının delaminasyonlarda önemli derecede etkisinin olduğu görülmüştür. Çalışmalarda düşük ilerleme değerleri, yüksek kesme hızları ve düşük matkap uç açısının istifli yapıların delinmesinde delaminasyonu azalttığı belirtilmiştir. Bazı çalışmalarda ise istifli yapılardaki delik delme işlemlerinde delaminasyonların araştırıldığı görülmüştür. Bu çalışmada ise hem istifli yapı hem kesme parametreleri hem de matkap geometrisinin delik giriş ve çıkışındaki delaminasyonlara etkisi araştırılmıştır. KETPK malzeme Al 6013 malzemesi ile istifleterek 3 farklı ilerleme değeri, 3 farklı kesme hızı değerlerinde, 2 farklı uç açısı ve 2 farklı helis açısına sahip matkaplarla delinmesinde bu değişkenlerin delaminasyona etkileri araştırılmıştır.

3. KOMPOZİT MALZEMELER

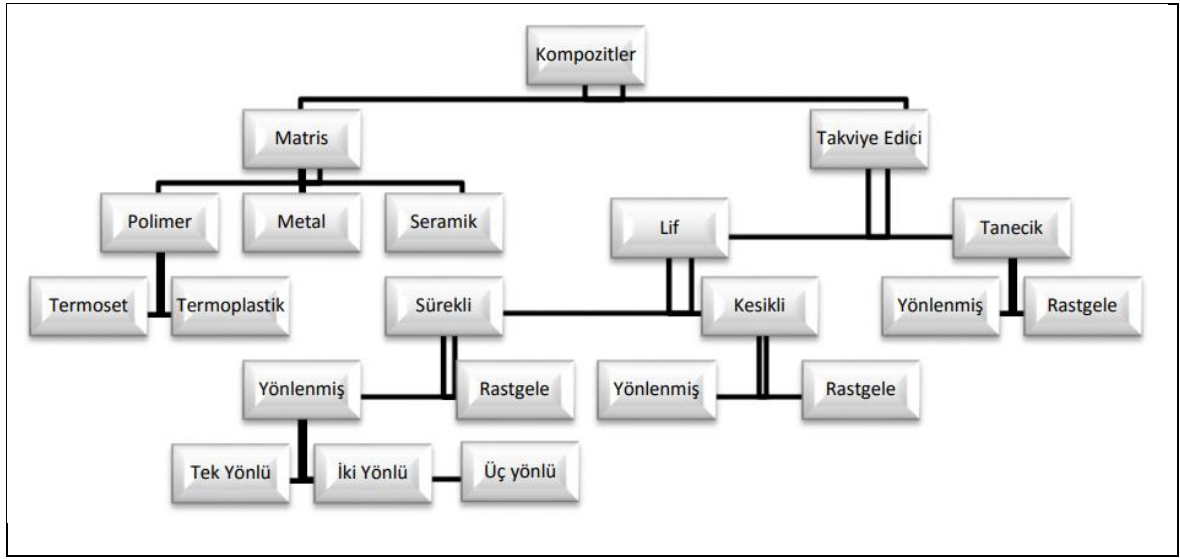
Kompozit malzemeler asırlardır pek çok farklı uygulamalarda kullanılmaktadır. İlk kullanım tarihleri kesin olarak bilinmemekle beraber en eski uygulamalara Mısırlılar, İnka ve Maya medeniyetlerinde rastlanmıştır. Geliştirilmesi ise 1940'lı yıllarda II. Dünya Savaşı ile olmuştur.

Malzemeler genel olarak metal ve metal olmayan malzemeler olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. Bu gruplar birbirlerine göre kendilerini üstün kılan farklı özellikler taşırlar. Metal ve metal olmayan malzemelerin yanında aynı ya da farklı gruplardan iki veya daha fazla malzemenin en iyi özelliklerini makro düzeyde bir araya getirilerek elde edilen malzemeler de kompozit (karma) malzemeler olarak adlandırılır [1].

Kompozit malzemeler yapılarını oluşturan malzemelerin en iyi özelliklerini bünyesinde taşırlar. Kompozit malzemeler üretilirken mukavemet, yorulma dayanımı, aşınma dayanımı, korozyon dayanımı, kırılma tokluğu, yüksek sıcaklık özellikleri, ısıl iletkenlik, elektrik iletkenliği, akustik iletkenlik, rijitlik, hafiflik, fiyat ve estetik görünüm gibi özelliklerin geliştirilmesi hedeflenmiştir [51].

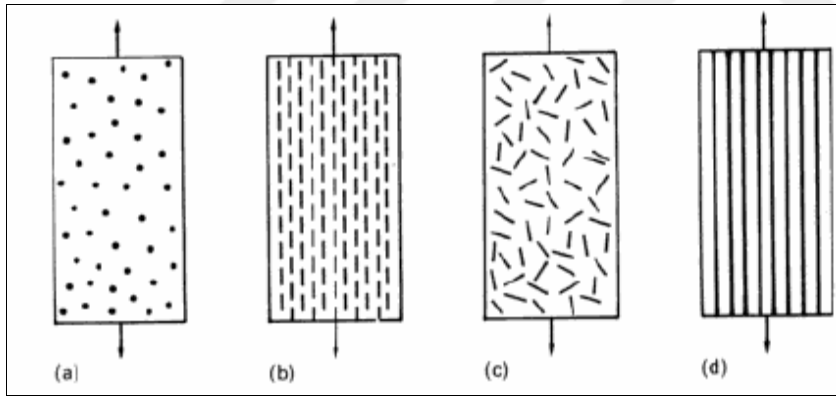
Kompozit malzemeler, takviye elemanları (örn. fiber) ve ana malzeme (matris) olmak üzere iki bileşenden meydana gelirler. Takviye elemanı, malzemenin yük taşıma özelliğini, mukavemetini, malzemenin tokluğunu arttırmak ve yüksek sıcaklıklarda çalışma performansını iyileştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Ana malzeme (matris) malzemenin hacimsel çoğunluğunu oluşturarak deformasyonda oluşabilecek çatlakları ve çatlakların ilerlemesini önlemek, kopmayı ve kırılmayı geciktirmek ve yükü homojen olarak dağıtarak yük altında bir arada kalabilmeyi sağlaması amacıyla kullanılmaktadır [52].

Kompozit malzemeler genellikle takviye ve matris malzemesine göre gruplandırılır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Kompozit malzemelerin fiber ve matris malzemesine göre gruplandırılması [2]

Takviye malzemesi geometrik yapısına göre fiber ve partikül takviyeli olarak iki gruba ayrılırlar (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Kompozit malzeme örnekleri: a) rasgele yönlenmiş partikül takviyeli, b) yönlenmiş kısa fiber takviyeli, c) rasgele yönlenmiş kısa fiber takviyeli, d) yönlenmiş sürekli fiber takviyeli [53]

Bir malzemenin kompozit malzeme olarak adlandırılabilmesi için şu özelliklere sahip olması gerekmektedir;

- İnsan yapımı olması
- Farklı özellikleri taşıyan en az iki bileşenden meydana gelmesi,
- Malzemeyi oluşturan bileşenlerin tümünün en iyi özelliklerini taşıması
- Herhangi tek bir bileşenle elde edilmeyen mekanik özellikleri taşıyor olması gerekir [52].

Kompozit malzemelerin avantajlarını şu şekilde sıralanabilir;

- Yüksek dayanım,
- Yüksek yorulma direnci,
- Yüksek aşınma direnci,
- Yüksek ısı direnci,
- Yüksek korozyon direnci,
- İyi ısı iletkenliği,
- Düşük yoğunluk.

Kompozit malzemelerin avantajlarının yanında dezavantajları da vardır. Bunlar;

- Yüksek maliyet,
- Raf ömürlerinin sınırlı oluşu,
- İstenilen yüzey kalitesinin elde edilememesi,
- Üretim güçlükleri,
- Geri dönüşümün olmayışı,
- Plastik şekil değişiminin az olması gibi faktörler sıralayabiliriz.

Kompozit malzemelerin bu dezavantajlarını yok edilmeye yönelik çalışmaların olumlu sonuçlanmasıyla kompozit malzemelerin metal malzemelere tercih edilebileceği düşünülmektedir.

ETPK malzemeler yüksek mukavemet, hafiflik, korozyona karşı yüksek direnç, sönümleme, yüksek dayanım gibi üstün mühendislik özelliklerine sahiptirler. Bu özelliklerinde dolayı ETPK malzemeler uzay, havacılık, savunma sanayisinde, inşaat ve yapı sektöründe, otomotiv ve denizcilik sektöründe, gıda ve tarım sektörlerinde, spor malzemeleri üretimi gibi birçok uygulamada yoğunlukla tercih edilmektedirler. Örnekleri ayrıntılı inceleyecek olursak, inşaat sektöründe taşıyıcı kolonlar, balkon korkulukları, köprüler, kapı ve pencere elemanları yapımında kullanılmaktadır. Savunma sanayinde ise koruyucu giysisi ve başlıklar, hava taşıtları yapımında kullanılmaktadır. Otomotiv sektöründe otomobil lastikleri, emniyet kemerleri, hava yastığı üretiminde kullanılır. Havacılık ve uzay sektöründe, uçaklar helikopterler, uzay araçları uydu gövde tasarımında

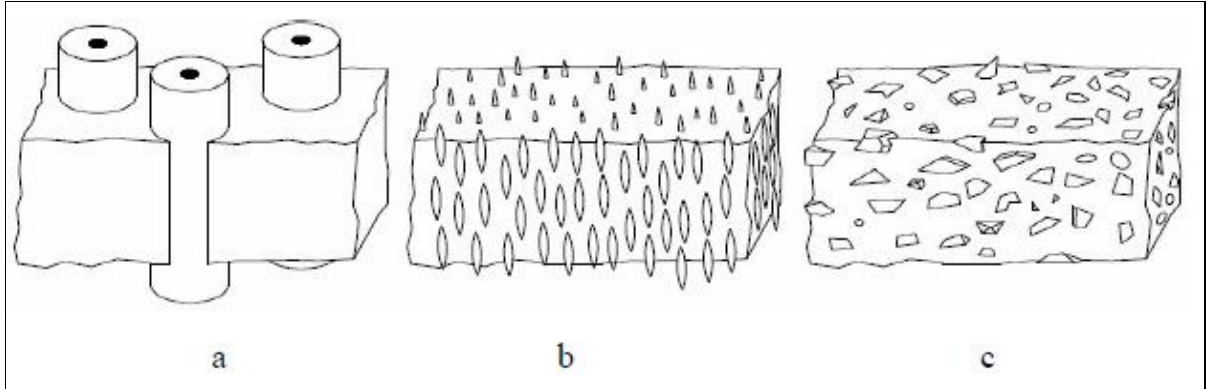
kullanılmaktadır. Denizcilik sektöründe ise, iskele, duba, tekne, kano üretiminde kullanılır. Enerji sektöründe, rüzgar türbinleri, elektrik direkleri, antenlerin üretiminde çoğunlukla kullanılırlar. Spor malzemelerinde ise, kano kayak takımları, yarış bisikletleri, golf sopaları, tenis racketleri, sörf tahtaları, olta, yüzme paletlerinde kompozit malzemeler tercih edilir. Son olarak tarım ve gıda sektöründe, sulama kanalları depolama tankları, kültür balıkçılığı ekipmanlarında kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Bu örnekler kompozit malzemelerin kullanım alanlarının sadece bir kısmıdır ve bu alanları daha da arttırmak mümkündür [54-55,13].

Kompozit malzemeler takviye elemanlarının şekline göre ve matris malzemesinin türüne göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir;

- Takviye elemanına göre kompozitler
 - Elyaf takviyeli kompozitler,
 - Parçacık takviyeli kompozitler,
 - Tabakalı (katmanlı) kompozitler,
 - Karma kompozitler,
 - Kılcal kristal (whisker) takviyeli kompozitler.
- Matris elemanına göre kompozitler
 - Metal esaslı kompozitler,
 - Seramik esaslı kompozitler,
 - Polimer esaslı kompozitler.

3.1. Takviye Elamanına Göre Kompozitler

Kompozit malzemede takviye elemanı malzemeye gelen yükü yaklaşık %90 oranında taşır. Tabi ki yükün bu büyük kısmını taşıya bilmesi için matris ile takviye elemanının ara yüzey bağ kuvvetinin de iyi olması gerekmektedir. Takviye elemanı, matris malzemesine rijitlik kazandırır ve malzemenin dayanımını artırır. Aynı zamanda, elektrik iletkenliği, yalıtıcılık, yüksek sıcaklığa dayanım, yüksek sertlik, yüksek elastiklik modülü gibi özellikler sağlar. Takviye elemanları geometrik şekillerine göre, elyaf takviyeli, parçacık, tabakalı ve karma olarak sınıflandırılır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Takviye elemanın şekline göre kompozitlerin sınıflandırılması a) Elyaf takviyeli kompozitler b) Kılcal kristal (whisker) takviyeli kompozitler c) Parçacık takviyeli kompozitler [56]

3.1.1. Elyaf takviyeli kompozitler

Kompozit malzemelerinin en yaygın türü olan elyaflar uygulamalarda en çok tercih edilen takviye malzemesidir. Çünkü elyaflar üretilen malzemenin en önemli özelliğini taşırlar. Bu sebeple kompozitler üzerinde ilk çalışmalar elyaf takviyeli malzemeler ile yapılmıştır.

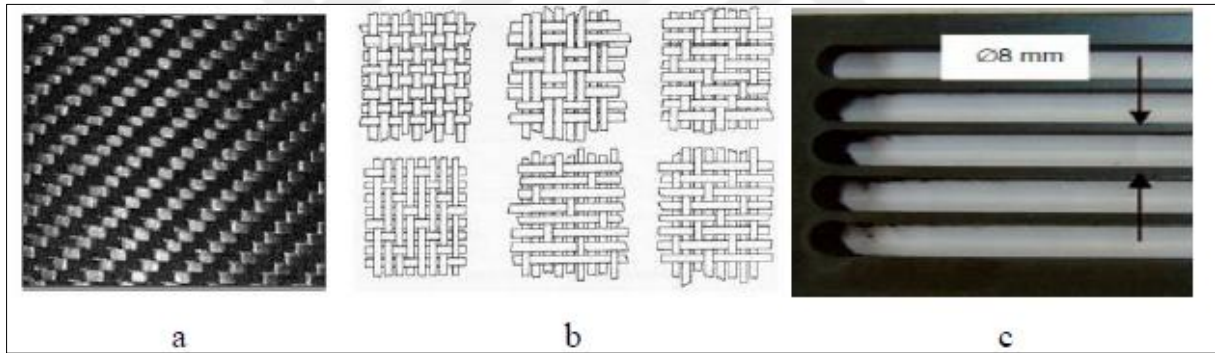
Bu kompozit tipi ince elyafların matris içinde yer almasıyla meydana gelmektedir. Elyaflar boyları çaplarının minimum 100 katı olacak şekilde malzemede yer alır ve kompozitlerde yükü taşıyan ana elemanlar elyaflardır. Elyafların ana malzeme içerisinde yerleşimi mukavemet açısından oldukça önemlidir. Birbirlerine göre paralel olarak yerleşmiş elyaflar, elyaf yönünde kompozite yüksek mukavemet sağlarken, elyafa dik yönde mukavemeti azaltırlar. İyi yönlü yerleşmiş elyaflar iki yönde de eşit mukavemet sağlarken, matris içinde homojen olarak yerleşmiş kısa elyaflar ise izotrop yapı oluştururlar. Elyaf ile ana malzeme arasındaki bağ kompozitin mukavemeti açısından oldukça önemli bir unsurdur. Eğer matris içerisinde boşluklar bulunuyorsa elyaf ile matris teması azalacaktır. Ayrıca kompozit malzemenin nem almasıyla matris ile elyaf arasında bağlamayı güçsüzleştirecektir. Sürekli elyaf takviyeliler ve kırılmış elyaf takviyeliler olarak iki grupta incelenirler. Bunlar da liflerin düzenli ve gelişigüzel bulunmalarına göre sürekli ve süreksiz olarak iki gruba ayrılırlar. Kullanılan matris ve takviye elemanın çeşidinin yanında elyaf yönlenmesi, elyaf hacim oranı ve lif-matris ara yüzey özellikleri de en önemli parametrelerdir.

En yaygın kullanılan takviye elemanı elyaflar rijit ve oldukça dayanıklıdır. Korozyona karşı dirençli olmalarının yanı sıra düşük yoğunluk ve yüksek elastik modülüne sahiptirler.

Elyaf takviyeli kompozitlerin kullanımını sınırlandıran en önemli unsur yüksek mukavemet ve yüksek elastik modülüne sahip elyafların üretim zorluğu ve yüksek maliyettir. Günümüzde kompozit malzemelerin güçlendirilmesinde boyutsal ve şekilsel olarak karbon elyaf, cam elyaf, asbest elyaflar, çelik teller, karbon, aramid, bor elyaflar gibi çeşitli elyaflar kullanılmaktadır [51-52].

Karbon elyaflar

Gelişen teknolojiyle beraber hızla artan üretim sektöründe hafif ve yüksek mukavemete sahip malzemelere de ihtiyaç atılmıştır. Kompozit malzemeler de düşük yoğunluk ve yüksek mukavemetle bu artan ihtiyacı karşılayan en uygun malzemeler haline gelmiştir. Resim 3.1'de karbon elyaf takviyeli kompozit, elyaf dokuma türleri ve frezeleme işlemi uygulanmış karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme görüntüsü verilmiştir.



Resim 3.1. a) karbon elyaf takviyeli malzeme b) başlıca elyaf dokuma türleri c) frezeleme işlemi uygulanmış karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme [1]

Karbon elyaflar sektörün isteğini en uygun şekilde karşılayan ürün değeri yüksek ve stratejik ürün olup kompozit malzemelerde en yaygın kullanım alanları oldukça fazladır. Günümüzde daha çok kara, hava, deniz taşımacılığı, uzay, uydu sistemleri, havacılık, kişisel koruyucu malzemeler, basınçlı yapılar, inşaat, endüstriyel malzemelerde, spor malzemelerinde Formula 1 arabalarının iskelet sistemlerinde yaygın olarak tercih edilmektedirler. 1963 yılında yüksek mukavemet değerlerine sahip karbon elyaf üretimi geliştirilerek 1968 yılından itibaren ticari olarak üretime başlanmıştır. Dünyada 40 bin ton üretilen karbon elyaf ABD, Japonya, Almanya, Çin Fransa, İngiltere, Macaristan, Tayvan tarafından üretiliyordu. Türkiye 1971 yılından beri Aksa Akrilik Kimya Sanayi A.Ş. tarafından Türkiye ve dünyanın akrilik elyaf üreticisi olmasına rağmen karbon elyaf

üretimi yapmıyordu. Ancak 2009 yılından itibaren Aksa Akrilik Kimya Sanayi A.Ş. yeniçağın malzemesi diye adlandırdığı karbon elyafı AKSACA firması olarak üretiyor. Dünyada çok talep gören karbon elyaf 2015 yılında 80 bin ton üretilirken, 2020 yılında üretim miktarının 160 bin ton civarına çıkması öngörülüyor.

Karbon elyaf ipliksi yapıya sahip olup %90 civarında saf karbondan meydana gelmektedir [57]. Karbon (C), 2,268 g/cm³ yoğunluğuna sahip hafif bir elementtir. C oldukça farklı kristal yapıda bulunmalarıyla beraber takviye amaçlı kullanılan karbon elyaflar hegzagonal yapıya sahip grafit kristalleri şeklindedirler. Karbon elyaflarda, petrol veya kömürden üretilen elyaf çapları 7-8 µm, sürekli veya kısa olabilirler [1]. Karbon elyaflar, oksijensiz ortamda organik elyafların yüksek sıcaklıklarda yakılmasıyla (piloriz) üretilir. Poliakrilonitrit (PAN) ve zift tabanlı olmak üzere iki çeşidi vardır. PAN tabanlı üretimi en çok Amerika, zift tabanlı üretimi ise Japonya yapmaktadır. Fakat PAN tabanlı ürünler mukavemet değerleri ile diğer ürünlerden daha iyi olması sebebiyle daha çok üretilmektedir. PAN esaslı lifler sırasıyla stabilizasyon (200-400 °C havada düşük oksitlenme), karbonizasyon (1000-1500 °C soygaz atmosferi altında karbonlama) ve grafitleşme (2000-2500 °C soygaz atmosferi altında grafitleme aşaması) olmak üzere üç aşamadan geçerek üretilir. Kristal boyutu, kristal yönelimi, karbon yapısının saflığı ve gözeneklilik karbon elyafların özelliklerini etkileyen önemli etkenlerdir. Karbon elyaflar yüksek mukavemet, yüksek modül, yüksek kimyasal ve biyolojik direnç, yüksek iletkenlik ve düşük termal genleşme katsayısına sahiptir [58]. Oda sıcaklığında karbon elyaflar, nemden, zayıf asit ve bazlardan, atmosferden etkilenmezler. Yüksek sıcaklıklarda diğer elyaflara göre oldukça üstün özelliklere sahiptirler. Bununla beraber yüksek sıcaklıkta korozyon önemli bir problemdir. Düşük sıcaklıklarda ise gerilim korozyonuna karşı cam ve aramid elyaflar gibi daha dayanıksız değildir [51].

Cam elyaflar

Anorganik fiber grubunda yer alan cam fiberler, anorganik fiber üretiminin %90'ını oluşturmaktadır. Cam, silika kumu, kireç taşı, borik asit, sodyum sülfat, alüminyum hidroksit, susuz borakstan oluşur ve bu maddelerle beraber 1500-1700 °C'ye kadar ısıtılıp eritilir. Erimiş olan cam ince nozullara basılarak filemalar oluşturulur. Bu filemalar soğuyarak 5-24 µm çaplarında filemalar elde edilir [2].

Kompozit malzeme üretiminde en çok kullanılan düşük maliyetli elyaf türüdür. Cam

liflerinin, uzay, havacılık, askeri alanda, günlük eşyalarda ve endüstride kullanımı yaygındır [1]. Cam elyaflar (fiberler), yüksek mukavemete sahip, monolitik yapıda oldukları için su emmez ve suda boyutları değişmez ancak kırılğan ve yüzey hasarına karşı hassas yapıdadır [58]. Cam elyaflar, çekme mukavemeti ve kimyasallara karşı dirençleri yüksektir. Isıl dirençleri düşük ve elektrik iletmezler. Resim 3.2’de cam elyaf örneği gösterilmiştir [59]. Camı oluşturan gidilerin bileşimleri değiştirilerek daha farklı özelliklerde camlar elde edilebilmektedir (Çizelge 3.1).



Resim 3.2. Cam elyaf [59]

Çizelge 3.1. Cam fiber türlerinin harf gösterimleri ve karakteristik özellikleri

HARF GÖSTERİMİ	KARAKTERİSTİK ÖZELLİK
E- elektriksel	Düşük elektrik iletkenlik
S- dayanım	Yüksek dayanım
C- kimyasal	Yüksek kimyasal dayanıklılık
M-modül	Yüksek modül
A- alkali	Yüksek alkali cam
D- dielektrik	Düşük dielektrik sabiti

Asbest elyaf

Esası magnezyum silikat olan, yanmazlık özelliğine sahip asbest, lifli yapıya sahip doğal bir mineraldir. Kimyasal dirençleri yüksek ve alkali ortamlarda dayanımları oldukça iyidir. Genellikle levha, basınçlı boru üretiminde, çimento bağlayıcılarla birlikte kullanılmaktadır. Fakat son çalışmalarda sağlık yönünden sakıncalı olduğu belirtilmiş ve kullanım alanları sınırlandırılmıştır [52].

Aramid elyaf

Aramid, aromatik polyamid'in kısaltmasıdır. Polyamidler uzun zincirli polimerlerden oluşur. Aromidler, birbirine hidrojen atomuyla bağlı olduğu altı karbon atomundan oluşur. Kevlar 29 ve kevlar 49 olmak üzere iki aromid tipi vardır. Diğer takviye elemanları arasında ağırlığına göre gerilme dayanımları bakımından en yüksek değere sahiptirler. Darbe dayanımları yüksektir. Aramid elyaflar, karbon elyaflarla benzer şekilde negatif termal genleşme katsayısı sağlarlar. Yüksek sıcaklıklara karşı dayanımları yüksektir, Rijit yapıya sahiptirler ve korozyona karşı oldukça dayanıklıdır. Sülfirik aside ve güneş ışınlarına karşı duyarlı olmaları, işlenmelerinin zor oluşu negatif özellikleridir [52,60]. Koruyucu giysiler, balistik koruma alanları, hava araçlarının gövde yapısı, yatlar, yelken direkleri, fiber optik, elektromekanik kablolar, fren kampanaları, genel kullanım alanlarıdır [60].

Bor Elyaf

Kendi içlerinde kompozit yapıda olan bor lifleri çekirdek denilen ince flamanın üzerinin bor ile kaplanmasıyla imal edilirler. Bu çekirdek genellikle tungstendir. Üstün mekanik özelliklere sahip olan bor elyaflar genellikle uçak malzemesi olarak kullanılmaktadır. Silisyum karbür (SiC) ve Bor karbür (B₄C) kaplandıklarında daha yüksek sıcaklıklarda dayanımları daha yüksektir. Yüksek maliyetli olmaları nedeniyle çok tercih edilmezler.

Silisyum Karbür Elyaflar

Silisyum karbürün tungsten çekirdek üzerine kaplanması ile üretilirler. Yüksek sıcaklıklardaki dayanımları bor elyaflara göre daha iyidir. Bor elyaflar 640°C' de iken mukavemetinin %30'unu kaybederken silisyum karbür elyaflar için bu sıcaklık 1370°C' dir. Ayrıca bor elyaflarla karşılaştırıldığında silisyum karbür elyafların yoğunlukları daha yüksektir. Silisyum karbür elyaf genellikle titanyum ana malzemesi ile kullanılır.

Alümina Elyaflar

Lif formundaki alümina, 0,02 mm çapına sahip alümina flamanın silisyum dioksit (SiO₂)

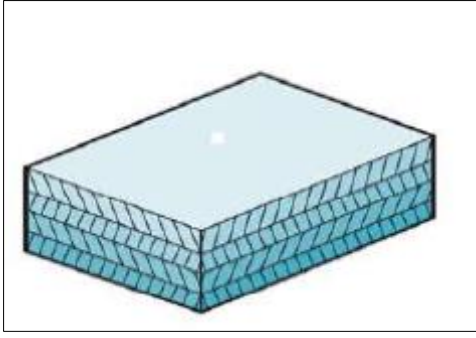
ile kaplanmasıyla üretilir. Alümina liflerinin çekme mukavemetleri çok yüksek olmamasına karşın basma mukavemetleri oldukça yüksektir.

3.1.2. Parçacık takviyeli kompozitler

Bu kompozitler, ama malzeme içerisinde tek veya iki boyutlu makro ölçekli partiküllerin veya sıfır boyutlu mikro ölçekli partiküllerin ilave edilmesiyle oluşan kompozit malzemelerdir. Partikül boyutu 1 μ m'den büyüktür ve hacimsel olarak %25'den daha az kullanılırlar. Parçacık boyutuna göre farklı isimler alabilirler. Örneğin, parçacık boyutu nanometre büyüklüğünde ise nanokompozit olarak isimlendirilirler. Matris içindeki parçacıklar ne kadar sertse kompozit malzemenin mukavemeti o kadar artar. Sürekli fiberle ve tabakalı kompozitlere göre daha fazla izotropik özellikler sergilerler. Parçacık dağılım şekillerinden dolayı tüm yönlerde aynı davranışı sergilerler. Parçacık takviyeli kompozitlerin dayanımı partiküllerin boyutuna, aralarındaki mesafeye, homojen dağılımlarına, partikül ve matris özelliklerine bağlıdır. Parçacık takviyeli kompozitler metal, seramik ve polimer ana malzemeleri ile de kullanılmalarına rağmen metal esaslı kompozitlerle daha yaygın kullanılırlar. Motor parçalarında metal matris içine yerleştirilmiş seramik takviyeli parçacık kompozitin sıcaklık dayanımı ve sertliği yüksektir. Yaygın olarak kullanılan polimer matris içine yerleştirilmiş metal takviyesi de elektrik ve ısı iletkenlik sağlar. Yüksek sıcaklık ve yüksek aşınma dayanımı gerektiren alanlarda daha yaygın kullanılırlar. Bu kompozitler genellikle uçak motoru parçalarında kullanılırlar [1,51,59,61].

3.1.3. Tabakalı (katmanlı) kompozitler

En yaygın ve en eski kullanım alanına sahip tabakalı kompozitler, birbirinden farklı özelliklere sahip en az iki tabakanın farklı elyaf yönlenmesiyle yapıştırıcıyla birleştirilmesi ile oluşur. Tabakalar halinde olması her tabakanın ayrı bir kompozit olmasını sağlamaktadır. Şekil 3.4'de geleneksel tabakalı yapı verilmiştir.



Şekil 3.4. Geleneksel tabakalı yapı (tek bir parça halinde bağlanan iki veya daha fazla tabaka [52])

Kompozitin tasarımı, üretimi, standartlaştırılması ve kontrolü diğer kompozit malzemelere göre daha kolaydır. Özel ihtiyaçları karşılamak amacıyla birden fazla tabakanın birlikte kullanılmasıyla sandviç yapı haline gelir. Farklı elyaf yönlenmeleriyle yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Metallere göre daha hafif ve daha yüksek mukavemet değerine sahip oldukları için tercih edilirler. Tabakalı kompozitler yüksek dayanım, düşük maliyet ve hafifliğin yanı sıra aşınma direnci, akustik yalıtım, gelişmiş görünüm ve yüksek ısıl genişleme özelliklerini de içermektedir. Korozyon ve aşınma direnci gibi özellikler kompoziti oluşturan tabakalara bağlıdır. Kullanım alanları genellikle uçak kanat, kuyruk bölümlerinin yüzey kaplamalarıdır. Ayrıca uçakların yük taşımayacak izolasyon gerektiren bölümlerinde kullanılır [52, 61,62].

3.1.4. Karma kompozitler

İki veya daha fazla takviye elamanının aynı kompozit yapıda bulunmasıyla oluşan kompozite karma (hibrid) kompozit denir. Bu kompozit yapı yeni tip kompozit yapıların gelişmesi için oldukça uygundur. Karma kompozit kullanımının en önemli nedenlerinden biri düşük maliyettir. Ucuz, tok ve basma mukavemeti düşük kevlar ile düşük tokluğa sahip pahalı ve basma mukavemeti yüksek grafiti örnek verebiliriz. Bu iki elyafın oluşturduğu kompozit yapının basma mukavemeti kevların basma mukavemetinden daha yüksek, tokluğu ve maliyeti ise grafitten daha düşüktür [1,61].

3.1.5. Kılcal kristal (whisker) takviyeli kompozitler

Kılcal kristal takviyeli kompozitler, şekil olarak liflere benzer, liflerle aynı çapa sahipler ama daha kısa ve küt yapıdalardır. Liflere göre daha üstün özelliklere sahiplerdir. Çelik

kılcal kristal takviyeli kompozitlerin kopma mukavemetleri teorik olarak 220.000 daN/cm² 'dir [1].

3.2. Matris Elemanına Göre Kompozitler

Matris, takviye elemanını bir arada tutan ve malzemeye gelen yükü takviye elemanı ile paylaşan ana fazdır. Üretilcek kompozit malzemedeki istenilen özellikleri elde etmek için matris elemanı oldukça önemlidir. Kullanılan matris elemanlarına göre kompozit malzemeler;

- Polimer matrisli kompozitler
- Metal matrisli kompozitler
- Seramik matrisli kompozitler olarak sınıflandırmak mümkündür [52].

Matrislerin kompozit malzeme üzerindeki etkilerini sıralayacak olursak;

- Matris elemanı elyafları bir arada tutarak tek başına hareketini engeller ve uygulanan gerilmenin büyük bir kısmını elyafa homojen bir şekilde iletir. Matris elemanı sünek ve elastiklik modülü elyafın elastiklik modülünden daha düşük olmalıdır.
- Elyafları, korozyon ve oksidasyon gibi kimyasal etkilerden, aşınma gibi fiziksel etkilerden korur. Bu etkiler yüzeyde çekme dayanımına neden olacak yüzey hatalarına yol açabilir.
- Matris malzemeye şekil ve rijitlik verir.
- Matris elemanı elyafları birbirinden ayırarak çatlakların elyaflar arası geçişini engeller ve ani kırılmaların önüne geçer, elyaflar teker teker hasar görseler bile birbirlerine yakın olan elyafların kırılması belli bir değere ulaşana kadar tüm kompozite hasar vermez [54,63].
- Matris seçerken su alma ve nem özellikleri önemlidir. Uzama, yorulma, kayma sertliği, boyuna basınç mukavemeti ve darbe özellikleri de göz önüne alınmalıdır. Matrisler genellikle sıvı fazda kullanıldığı için viskozite önemlidir. Fiziksel özelliklerinden sıcaklık ve erime noktası da önemli parametrelerdendir [63].

Matrisler genellikle plastik esaslı oldukları için kompozitler de çoğunlukla takviye edilmiş plastikler olarak isimlendirilir. Çok pahalı ve çalışılması çok zor olan metal matrisler büyük ölçekli projelerde kullanılmamalıdır. Kırılabilirliği yüksek olduğu için yeterli

dayanıma sahip olmayan seramik matrislerin ise kullanım alanları yüksek ısı gerektiren uygulamalarla sınırlıdır [64].

3.2.1. Polimer matrisli kompozitler

Polimerler geçtiğimiz 25-30 yıl içerisinde önemli derecede ilerleme kat etmiştir. Bu da polimeri hem günlük yaşamımızda em de endüstrinin hemen her alanında çokça kullanılan malzeme haline getirmiştir [63]. Polimerler diğer matris türlerine göre daha karmaşık yapıya sahip malzemelerdir. Matris olarak kullanılan polimerlerin kullanım sıcaklıkları ve elastik modülleri düşüktür. Polimerler diğer matris türlerinden yüksek mukavemet ve yüksek elastiklik modülüne sahip oldukları için üstün durumdadırlar [65].

Polimerlerin sıklıkla tercih edilme nedenlerinin sıralayacak olursak;

- Düşük yoğunluğa sahiptirler
- Partiler halinde üretimleri kolay, ekonomik ve hızlıdır
- Molekül yapıları değiştirilerek ve katkı maddesi kullanılarak özellikleri gelişebilir
- Boyar maddelerle renkleri değişebilir
- Diğer türlere kıyasla ucuz malzemelerdir.

Polimerler düşük mukavemete sahiptirler. Termoplastikler düşük gerilme altında kolayca deforme olmaları, termoset plastikler de gevrek olmaları sebebiyle yük taşıyıcı sistemlerde tercih edilmemektedirler. Düşük kararlılığa, ısı dirence ve ergime noktasına sahiptirler. Bu gibi özellikler polimerleri mühendislik malzemesi olarak kullanımını sınırlayan özelliklerdir [63].

3.2.2. Metal matrisli kompozitler

Otuz yılı aşkın süredir ekonomik ve yüksek kaliteye sahip malzeme üretim ihtiyacı dolayısıyla metal matrisli kompozitler ilgi odağı hale gelmiştir [63]. Metal ve metal alaşımları genellikle yüksek sıcaklıkta istenen özellikleri sunmalarına rağmen kırılındırlar. Fakat metalik fiberlerle takviyelendirilmiş metal esaslı kompozitler yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemet gösterirler [52].

Metal matrisli kompozitlerde tüm mühendislik malzemeleri, genellikle bir metal alaşımı kullanılmaktadır. Al, Ti, Fe, Mo, Co, Ni, Mg, Cu gibi mukavemet ve yüksek sünekliğe sahip metaller ve alaşımları, takviye elemanı olarak da Al_2O_3 , TiB_2 , TiC , W, C, WC, SiC, Br, Gr gibi seramik malzemeler tercih edilmektedir. Bu malzemeler düşük yoğunluk, yüksek elastiklik modülü, çekme mukavemeti, ergime noktası, ekonomik ve matris elemanına uygun olması sebebiyle tercih edilmektedir [63].

Al ve alaşımları, hafif olmaları, korozyon direncinin yüksek, tok ve sünek olması, mekanik özellikler ve bu özelliklerin ikincil işlemlerle geliştirilebilmesi, ekonomik olması ve şekillendirilebilmesi gibi özelliklerden dolayı çokça tercih edilmektedirler [63,66].

Metal matrisli kompozitlerin üstün özelliklerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Yüksek elastiklik modülüne sahiptir.
- Yüksek mukavemet göstermektedir.
- Hafiftir.
- Termal şoka karşı dirençlidir.
- Yüksek sıcaklıkta kullanılır.
- Tekrar üretilmeyi sağlayan mikro yapıya sahiptir.
- Kaynak gibi diğer yöntemlerle birleştirilebilir [52].

3.2.3. Seramik matrisli kompozitler

Metal ve ametallerin bir dizi işlemten sonra yüksek sıcaklıklarda sinterlenmesiyle oluşan inorganik bileşiklere seramik adı verilmiştir [54,65]. Seramik malzemelerin çokça tercih edilme nedenleri yüksek sıcaklıklarda dayanımlarının iyi, hafif ve zor çevre şartları altına karşı dayanımlarının yüksek olmasıdır [52,65]. Fakat seramiklerin yük taşıma kapasitelerinin az olması, gevrek olmaları, çentik ve çatlak gibi mikro yapı kusurları gerilme yığılmasına neden olduğu için çekme dayanımları düşüktür. Bu nedenler de kullanım alanlarını önemli ölçüde azaltır [63,65]. Seramik malzemeler düşük süneklikte kırılğan ve serttirler. Kayma dirençleri yüksek olduğu için plastik şekil değişimi olmaksızın gevrek olarak kırılırlar. Seramikler, termal şoka dayanıksızdırlar, düşük tokluk ve yüksek elastiklik modülüne sahiptirler. Elektriksel alanlarda çok iyi yalıtıkandırılar. En yaygın olarak kullanılan seramikler, Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 , CBN, B_4C , SiC, TiC, TiB, TiN ve

ZrO₂'dir. Bu malzemelerin önemli bazı özellikleri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir [63].

Çizelge 3.2. Sık kullanılan seramiklerin tipik özellikleri

Malzeme türü	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	Si ₃ N ₄	SiC
Eğilme dayanımı MPa	440	1020	880	500
Oda Sıc. Dayanım °C	500	1200	1000	1100
1200°C'de Dayanım	300	350	350	480
Kırılma tokluğu	4	9	6	4
Termal Şok Direnci (Suda)	200	350	900	370

Yüksek sıcaklıkta çalışacak parçalar için genellikle seramik esaslı kompozitler tercih edilmektedir [52]. Bu kompozitler çalışma şartları yaklaşık 1200°C' ye kadar olan yerlerde kullanılabilirler [63]. Seramik matrisli kompozitler takviye malzemelerin matris içine yerleştirilmesi ve ardından matrisin yoğunlaştırılmasıyla iki aşamada üretilirler. Farklı alanlarda bulunan seramik matrisli kompozitler çalışma alanlarına göre bir veya bir kaç birlikt kullanılarak yeni kompozit elde edilebilir. Seramiklerin, seramik fiberlerle birleştirilmesi ile ortaya çıkan yeni kompozitin mukavemeti ve korozyon direnci yüksek olur.

3.3. Kompozit Malzemelerin Delinebilirliği

Özellikle havacılık sektöründe uçaklarda birleştirme işlemi için milyonlarca delik delme prosesi uygulandığı bilinmektedir. Talaşlı imalat prosesleri açısından değerlendirildiğinde, delik delme prosesi diğer talaşlı şekil verme işlemlerinin %40'ını kapsamaktadır [67]. Kompozit malzemelerin işlenmesi diğer malzemelere göre işleme sırasında oluşan talaş tipleri kesici takım özellikleri ve işleme şartları açısından oldukça farklıdır. Bu şartlar fiber malzemesinin ve matrisin davranışlarının ayrıntılı olarak incelenmesini gerektirmektedir. Elyaf ve matris fazlarının ısı iletim katsayıları birbirinden farklı olduğu için delik toleransları tam olarak sağlanmaz bu da delme işlemi zorlaştırmaktadır. Delme işlemi sırasında kesme parametreleri, delaminasyon faktörü, kesici takım geometrisi ve malzemesi parametreleri en temel unsurlardır. Kompozitlerinde delinmesinde geleneksel delme, ultrasonik titreşim destekli delme, karot delme, lazer destekli delme, su jeti ile delme ve elektron erozyon ile delme gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden geleneksel delme, belli bir ilerleme değeri ve iş mili devri değerinde takım kesici kenarının

iş parçasına bastırılarak talaş kaldırılmasıdır. Bu yöntemde elyaf kopması, matris yanması gibi deformasyonlar meydana gelmektedir. Ultrasonik titreşim destekli delme yöntemi takıma veya iş parçasına ilerleme yönünde ultrasonik titreşim verilmesiyle uygulanan yöntemdir. Malzemenin çok büyük veya ağır olmadığı durumlarda dönen iş parçasına titreşim vermek zor olduğu için genellikle iş parçasına titreşim uygulanır. Geleneksel delme yöntemine kıyasla tork ve kesme kuvveti daha düşük olduğu için işleme kalitesi daha yüksektir. Karot delme, içi boş takım ucu kullanılarak geleneksel delme yöntemine kıyasla daha düşük kesme kuvveti ile abrasif talaş kaldırma yöntemi olan delme işlemidir. Kesme kuvveti daha düşük olduğu için deformasyon daha azdır. Lazer destekli delme yönteminde takım ile malzeme arasında temas olmaması nedeni daha düşük kesme kuvveti meydana gelmekte ve takım aşınması meydana gelmemektedir. Aynı zamanda termal bir yöntem olduğu için mukavemet ve malzeme sertliğinden etkilenmemektedir. Fakat malzeme kalınlığı ile artan ısı kesme verimliliğini düşürmekte bu da malzeme dayanımının düşmesine neden olmaktadır. Su jeti ile delme, iş parçasına yüksek basınca kadar sıkıştırılmış içerisine aşındırıcı partiküller koyulan ya da koyulmayan suyun, nozuldan yüksek hızla iş parçasına çarptırılması ile gerçekleştirilen çok hassas bir delme işlemidir. Fakat kompozit malzemelerin nem alma özelliği ve aşındırıcı partiküllerin malzeme yüzeyinde kalması gibi dezavantajları vardır. Elektro erozyon ile delme iş parçası ve elektron arasında kıvılcım üreterek tel veya dalma olmak üzere iki şekilde yapılır. Aralarındaki fark elektron şeklidir. Daldırmada elektron ilerleme yönünde yavaş hareket ettirilir, tel ile kesmede ise tel testere gibi kullanılarak deliğin etrafında gezdirilir [69].

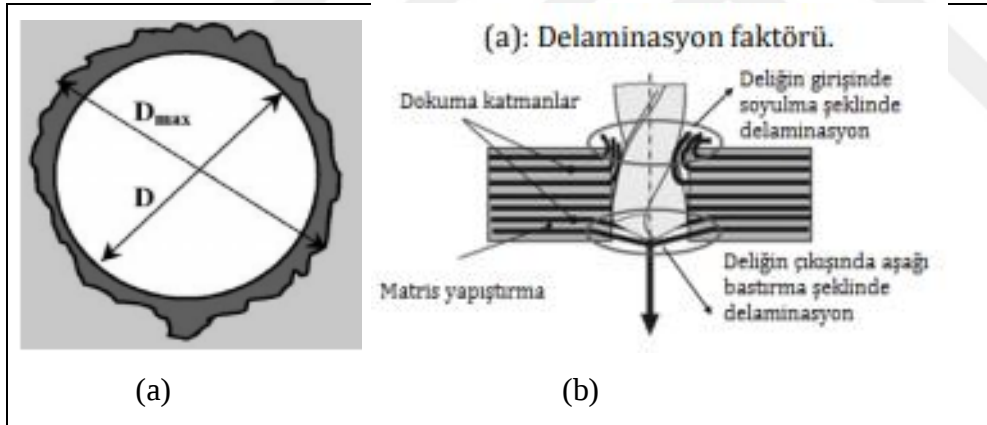
3.4. Kompozit Malzemelerde Delaminasyon

Delik delme işlemi, talaşlı imalat işlemlerinin yaklaşık üçte birini içeren genellikle son işlem uygulamasıdır. Kompozitlerin delinmesi metallerin delinmesinden farklıdır. Lif kopmaları, lif ve matris katmanlarının ayrılması, mikro çatlaklar ve delaminasyon delme sırasında oluşan hataların bir kısmıdır. Delaminasyon delik yüzey kalitesini etkileyen en önemli hatadır. Delik giriş ve çıkışında sırasıyla soyma ve dışarı itme şeklinde olur [6]. Havacılık endüstrisinde delme ile ilgili delaminasyon, uçağın son montajında oluşan hataların %60'ını oluşturur. Bu da ekonomik etki olarak oldukça önemlidir. Delik kalitesi, delik yüzeyinin pürüzlülüğü, delik kesitinin aksenel düzlüğü gibi etkenler perçin üzerinde yüksek gerilmelere neden olarak arızaya sebebiyet verebilir. Açılan deliklerle ilgili gerilim dağılımı, delaminasyon ve mikro çatlaklar kompozitin dayanımını oldukça azaltır.

Delaminasyon çeşitli yöntemlerle ölçülmüştür. Delik kenarları tetrabromoetan ile kaplanarak X-ışını ile, delaminasyon faktörü ile, 30X büyütmede marker's mikroskobu ile ve kompozit arkasına güçlü bir ışık kaynağı kullanılarak 10X büyütmede görsel inceleme gibi yöntemler kullanılarak hasarlı alan ölçülmüştür [35].

Delaminasyon faktörünü belirlemek için delik giriş ve çıkışlarda hasarlı delikteki maksimum delik çapının bulunması gerekmektedir. Şekil 3.5 (a)'da verildiği gibi hasarlı bölgedeki maksimum delik çapı (D_{max}) değerinin, istenilen delik çapına (matkap çapı) (D) oranı ile delaminasyon faktörü (f_d) hesaplanır (Eş.3.1). Delaminasyon delik girişinde yukarı doğru soyulma şeklinde, delik çıkışında ise aşağı doğru patlatma şeklinde görülmektedir (Şekil 3.5 (b))

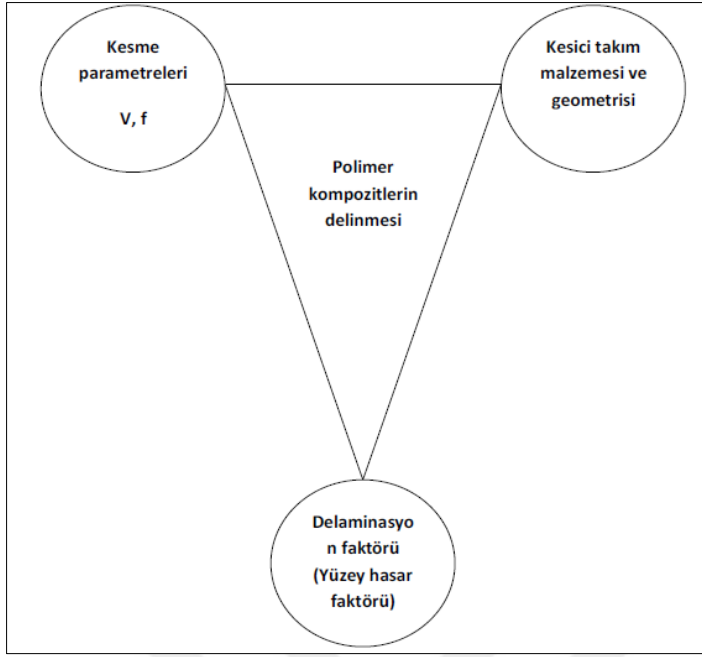
$$f_d = \frac{D_{max}}{D} \quad (3.1)$$



Şekil 3.5. a) Delaminasyon faktörü b) Kompozitlerin delinmesi sırasında oluşan delaminasyon [27]

Kompozit malzemelerde kalite istendiği ve kompozit malzemelerin geliştirilmesi istendiği için delaminasyonu azaltmaya ve engellemeye yönelik çalışmalar hala önemini korumaktadır [27].

Yapılan literatür çalışmalarında delaminasyon faktörünün ilerleme değeri, kesme hızı, matkap açısı, matkap helis açısı gibi delme parametrelerinden etkilendiği görülmüştür. Şekil 3.6'da elyaf takviyeli polimer kompozitlerin delinmesinde esas alınan öğeler gösterilmiştir.

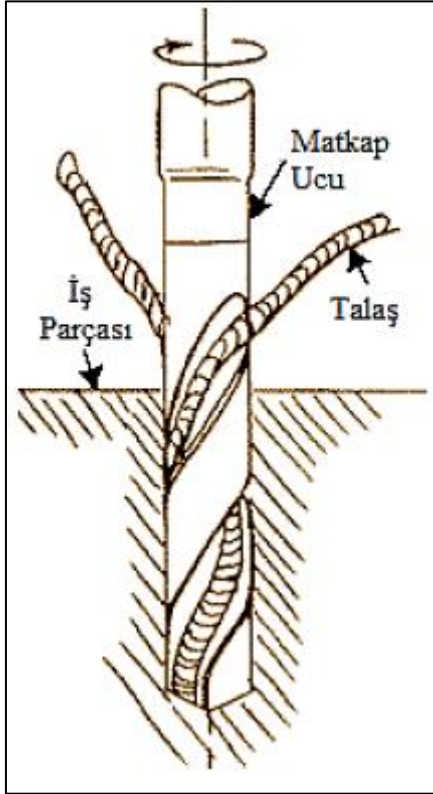


Şekil 3.6. Elyaf takviyeli polimer kompozitlerin delinmesinde esas alınan öğeler [8]

Literatür çalışmalarında yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme miktarında delaminasyonun azaldığı belirtilmiştir [8,27]. Literatürde düşük kesme hızı ve düşük ilerleme değerlerinin delaminasyonu azalttığı belirtilen çalışmalar da mevcuttur [26-27].

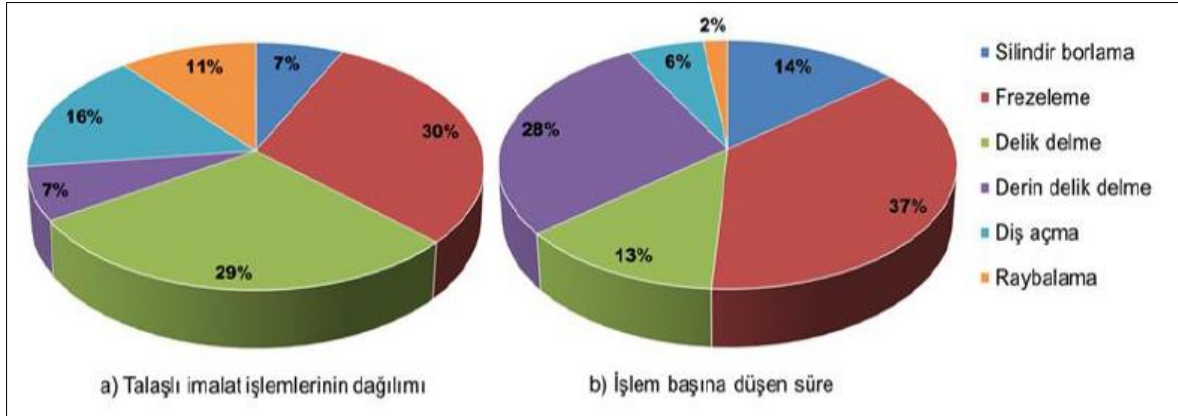
4. DELİK DELME İŞLEMİ

Delik delme işlemi, işlenen malzeme üzerinde aksenal ve dairesel hareketle kesici bir takımın silindirik şekilde boşluk oluşturma işlemlerinin genel adıdır. Delik delme işlemi Şekil 4.1’de gösterilmiştir [69].



Şekil 4.1. Delik delme işlemi [68]

Delik delme, talaşlı imalat yöntemlerinden en sık kullanılan ve uzun zaman alan işlemdir. Genellikle delik delme işlemi son işlem adımıdır. Bu nedenle yapılacak en ufak bir hata malzemenin hurdaya çıkmasına veya maliyetin artmasına neden olacaktır. Tüm delik delme işlemleri baz alınarak diğer operasyonlar içinde %36 oranla tek başına en çok gerçekleştirilen işlemdir. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi delik delme işlemlerinin %7’sini derin delik delme işlemi oluşturmaktadır. Ayrıca işlem süresi bakımından diğer operasyonlarla karşılaştırıldığında delik delme işlemi %50 ile en uzun zaman alan işlem olduğu görülmektedir. Bunu %28 ile frezeleme operasyonu takip etmektedir.



Şekil 4.2. Talaşlı imalat işlemlerinin karşılaştırması a) talaşlı imalat işlemlerinin dağılımı
b) işlem başına düşen süre

Delik delme işlemlerinde l/d oranı 12'den büyük olduğu durumlarda gerçekleşen delik delme işlemleri derin delik delme olarak adlandırılır. Delik derinliği delik çapının 150 katı olabilir bu yüzden uzmanlık gerektiren bir uygulamadır. Delik delme işlemleri adı altında derin ve kısa delik delme işlemi tabirleri haricinde raybalama, broşlama, parlatma (ovalama), havşa açma işlemleri de vardır [69,71]. Bu uygulamaların ortak özelliği takım veya iş parçası kendi eksenini etrafında dönerken, takımın bu ekseninde ilerlemesi ile talaş kaldırmasıdır [72].

Delik delme işlemlerinin bazı dezavantajları vardır. Talaş kapalı ortamda oluşmaktadır. Matkapta biriken talaşın tahliyesi zorlandığı için kesici takım ve iş parçası arasında sürtünmeyle ısı açığa çıkmaktadır. Dönme ekseninde kesici ağzının kesme hızı sıfır olduğu için tezgah ve iş parçası özelliklerinin kesici takıma uygun olması gerekmektedir [73]. Delik delme işlemlerinde en sık karşılaşılan problem talaşın uzaklaştırılmasıdır. Bu sorun derin delik delme işleminde daha fazladır. Delme işlemi sırasında talaş, kesici takımın kesme kenarından delik çıkışına kadar kesme bölgesinde sıkışır. Talaşın çıkış mesafesi talaşların birbirine veya takıma yapışması durumunda daha da artar. Bu problemi aşmak için ise soğutma sistemi kullanmak önemlidir. Soğutma sistemi kesici takımın kesme kenarını soğutup yağlayarak talaşın uzaklaşmasını sağlamaktadır [71].

4.1. Delik Delme İşlemini Etkileyen Faktörler

Matkapla delik delme işlemi kesici takımın veya iş parçasının dönmesiyle oluşmaktadır. Tezgahtaki fener milini kendi eksenini etrafında dakikadaki dönüş sayısı n (devir sayısı) ile

tezgah hareketi sağlamaktadır. Kesme hızı V_c olarak gösterilir ve matkabın çapıyla orantılı hesaplanır. Kesici takımın çapı d olarak gösterilir. Matkap her dönüşte çevresi $\pi \cdot d$ olan daire oluşturur. Takımın iş parçasına ya da iş parçasının takıma doğru hareketi sırasında birim zamanda aldığı yol ilerleme hızı ($V_f - \text{mm/dak}$) olarak adlandırılır. Bu değer tablanın veya takımın ilerleme hızı olarak da kullanılmaktadır. İlerleme hızını hesaplamak için devir başına ilerleme ($f - \text{mm/dev}$) kullanılır.

Delik delme işlemi, kesme hızı, ilerleme hızı, kesici takım geometrisi, kesme sıvısı, tezgah ve iş parçası gibi faktörlerden etkilenir.

Kesme hızı fener milinin dönmesine bağlı olarak Eş 4.1'deki gibi hesaplanır.

$$V = (\pi \cdot d \cdot n) / 1000 \text{ m/dak} \quad (4.1)$$

Eşitlikte d ; matkap çapı (mm), n ; devir sayısıdır (dev / dak).

Kesme hızı, güç tüketimi ve takım ömrü üzerinde etkilidir. Yüksek kesme hızı, yüzey aşınmasını hızlandırır. Kesme kenarlarında kalıcı deformasyona sebep olur. Delik kalitesini düşürür ve deliklerde ölçü tamlığının bozulmasına sebep olur. Düşük kesme hızı ise, talaş yığılmasına buna bağlı olarak talaş tahliyesinin zorlaşmasına, verimliliğin düşmesine ve maliyetin artmasına neden olur.

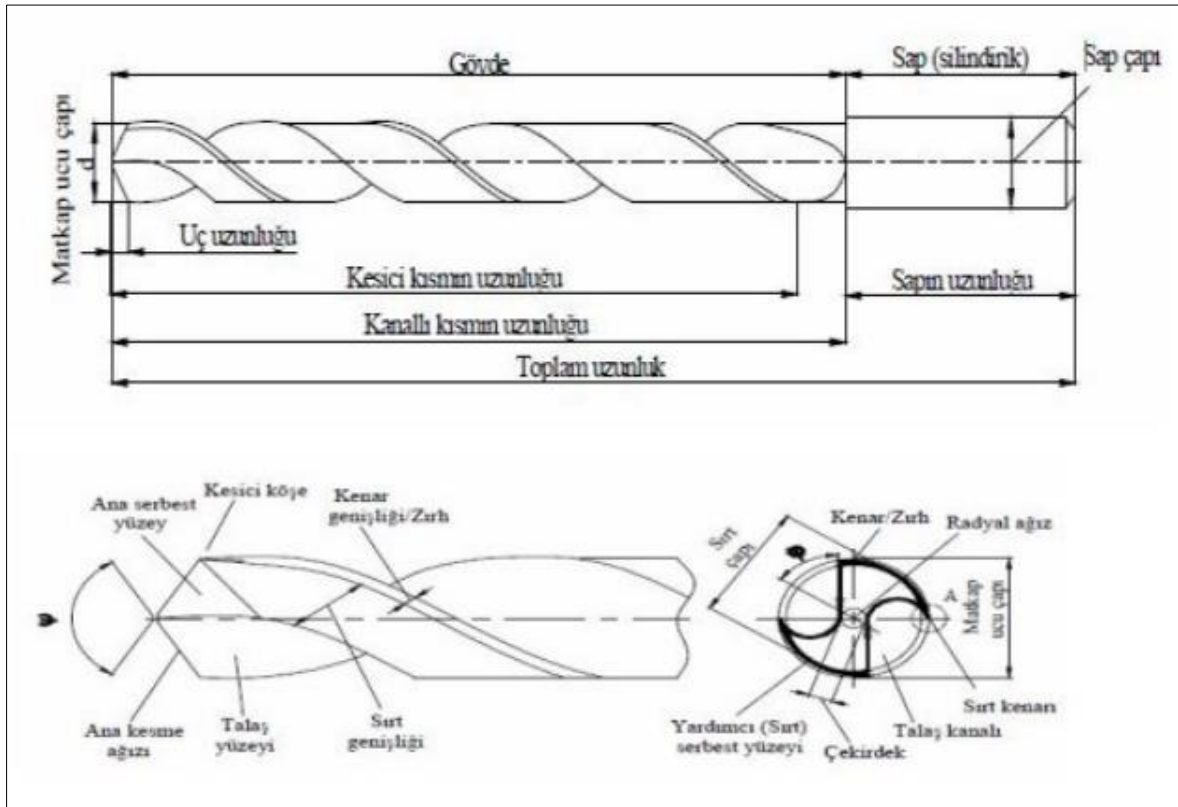
İlerleme, kesici takımın bir devirde aldığı yoldur. İlerleme hızı Eş 4.2'deki gibi hesaplanır.

$$u = z \cdot f \cdot n \quad (4.2)$$

Burada; z kesici akım ağız sayısı, f ilerleme (mm/dev), n devir sayısıdır (dev / dak).

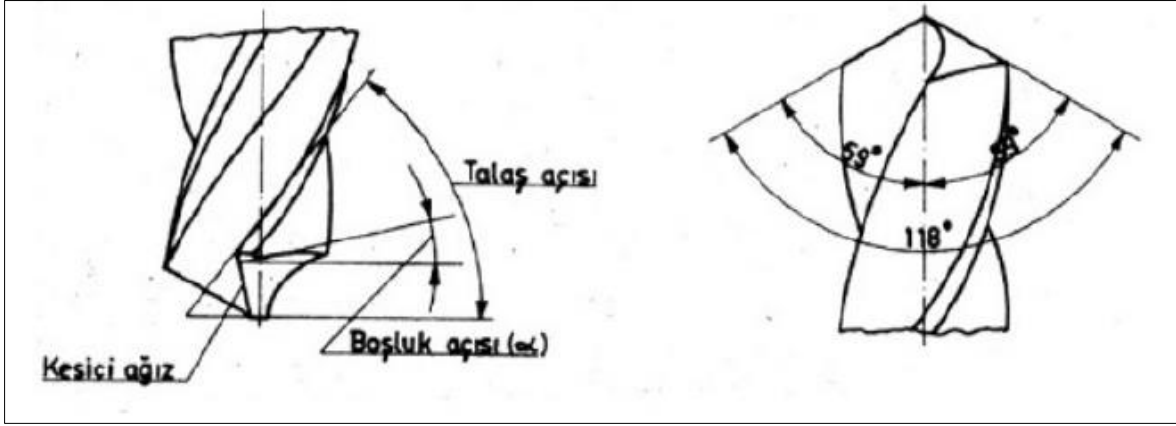
İlerleme hızı güç tüketiminde ve talaş oluşumunda etkili faktörlerdendir. Yüksek ilerleme hızında, talaş kontrolü iyi olur. Kesme süresi, takım aşınması azalır. Kesici takım aşınması azalır. Kesici takım kırılma ihtimali artar ve delik kalitesi düşer. Düşük ilerleme hızında ise talaş uzunluğu, takım aşınma hızı, kesme süresi ve maliyet artar. Delik kalitesi ise iyileşir. Kesici takım geometrisi delik delmeyi etkileyen faktörler arasında yer almaktadır.

Matkaplar, talaşlı imalat olan delik delme işleminde kullanılan temel ekipmanlardır. Helis açısına, helis şekline, kesme yönüne, uç açısına, bağlantı tipine, DIN standart normuna göre çeşitlendirilmektedir. Matkaplar, tek ağızlı, iki ağızlı, üç ve dört ağızlı olarak üretilirler. İşlenecek malzemenin özelliği, delme şartlarına, talaş tipine ve işleme hızına göre uygun kesici ağız sayısı azaldıkça talaş atılması daha rahat olur. Şekil 4.3'te matkabın genel kısımları verilmiştir [69].



Şekil 4.3. Matkabın genel kısımları [74]

Matkap helis geometrisi N tipi, W tipi ve H tipi olmak üzere üç çeşittir [75]. Matkap ana malzemesi ise genel hatlarıyla HSS (Yüksek Hız Çeliği), HSS-Co (Kobaltlı Yüksek Hız Çeliği) ve KMS (Komple Sert Metal) olarak tanımlanabilir. Uç açılarına göre 90°, 118°, 125°, 130°, 140° ölçülerinde standart olarak üretilmektedir. Şekil 4.4'de matkap uç açıları gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Kesici takım uç açıları [74]

Ayrıca istenilen kesme açısına göre özel imalat yapılmaktadır. Matkaplar TiC, TiN, TiCN, Al_2O_3 ve TiAlN ile kaplanırlar ve kaplandığı malzemeye göre tanımlanabilirler. Kaplama kalınlığı genellikle 3-5 μm arasında kaplama cinsine göre değişmektedir [76].

Talaşlı imalat işlemlerinde, matkap-talaş sürtünmesi ve matkap ucunda oluşan plastik deformasyondan kaynaklı yüksek miktarda ısı açığa çıkar. Kesme sıvıları bu ısıyı kontrol altına alır ve iş parçasını, matkap ucunu ve tezgahı soğutur. Kesme sıvıları aynı zamanda yağlayıcı görevi görür ve sürtünmeyi azaltarak hareketi kolaylaştırır ve yüzey aşınmasını azaltır. Ayrıca kesme sıvıları sürtünmeyi azaltarak malzemeyi işlemek için uygulanan gücü azaltır. Böylece daha az güç ve daha az ısı oluşur. Kesme sıvısı yüksek basınçlı işlemlerde talaş kırıcı olarak yol oynar. Küçük parçalara ayrılan talaşlar daha kolay delik içinden tahliye edilir. Böylece delikte oluşabilecek çizilmeler, takınmalar azalır [77-80].

Delik delmeyi etkileyen bir diğer faktör tezgahardır. Tezgah eksen hareketlerinde vidalı millerin sürtünmesi, ilerleme miktarı, yüksek hızlarda yataklarda oluşan ısının ve kesme işlemi sırasında oluşan titreşimlerin delik delmede olumsuz etkileri vardır.

Talaşlı imalatta işlenecek parçalar iş parçası olarak adlandırılır. İş parçaları döküm, hadde ve dövme işlemlerinden çıkan iş parçaları olabileceği gibi bu parçalardan üretilebilir. İş parçaları olarak, otomat çelikleri, düşük çelikler, alaşımlı çelikler, süper alaşımlar, paslanmaz çelikler, gri dökme demir, Ti ve alaşımları, Ni ve alaşımları, pirinç, bakır, bronz, Al ve alaşımları, plastikler ve kompozit malzemeler vb. kullanılmaktadır. Gereksinimlere göre seçilen iş parçaları kullanım sürecine göre çeşitli işlemlere tabi

tutulurlar. Bunlardan en yaygın olanı delik delme işlemidir. İş parçasının boyutu delik delmede önemli bir parametredir. Mikro büyüklükte iş parçaları kullanılırken makro büyüklükte iş parçası da kullanılmaktadır. Örnek olarak 4 m çapında dişli imalatı verilebilir. Farklı özellikteki malzemeler yüzey kalitesi, takım ömrü gibi sorunları ortaya çıkarabilir [80].

4.2. Delik Delme İşlemlerinde Kesme Kuvvetleri

Delik delme işlemi sırasında kesici takım, delik boyunca ilerlemek için enerji harcar. Matkap delik delmeye başladığında kesici kenarlarına kesme kuvvetleri etki etmeye başlar. Bu işlem için güce ihtiyaç vardır. Bu güç iş parçasına göre değiştiği için gücün, ilerleme kuvvetinin ve momentin hesaplanabilmesi için özgül kesme kuvveti olan k_c - N/mm^2 değerine ihtiyaç vardır. Özgül kesme kuvveti $1 mm^2$ 'lik talaş kesit alanını kesmek için gereken teğetsel kuvvetinin ya da efektif kesme kuvvetinin teorik talaş alanına oranı ile bulunur [80].

Özgül kesme kuvveti;

$$k_s = 1,2 k_{s11} h-z \quad (4.3)$$

$$k_{sh} = k_{s11} h-z \quad \text{değeri ile} \quad (4.4)$$

$$k_s = 1,2 k_{sh} \quad (4.5)$$

bağlantısı ile hesaplanmaktadır.

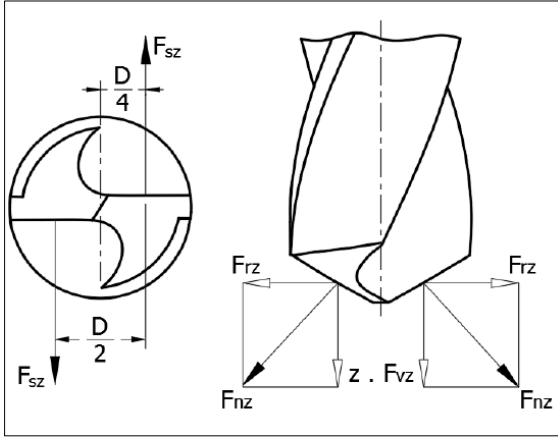
Eşitlikte yer alan (1,2) delik delme işleminin özelliklerini ifade olan bir düzeltme unsurudur.

Çizelge 4.1'de bazı malzemelerin delik delme işlemi için özgül kesme kuvvet değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. Delik delme için özgül kesme kuvvetleri [80]

Delik delinecek malzeme	Çelikler	Dökümler	Hafif metal alaşımları
k (N/mm^2)	1650	800	900

Delik delme sırasında kesme kenarlarında oluşan kuvvetler Şekil 4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Kesme kuvvetleri

Şekilde ilerleme kuvveti F_{vz} , kesme kuvveti F_{sz} , radyal kuvvet F_{rz} olarak gösterilmiştir. Konumları nedeniyle tüm ağızlardaki radyal kuvvetler birbirlerini dengelemektedir [69].

İki ağızlı bir matkap için aşağıdaki bağlantılar yazılabilir;

$$F_{vz} = F_{vz1} + F_{vz2} \quad (\text{ilerleme kuvvet}) \quad (4.6)$$

$$F_{rz1} = F_{rz2} \quad (\text{radyal kuvvet}) \quad (4.7)$$

$$F_{sz1} = F_{sz2} \quad (\text{kesme kuvveti}) \quad (4.8)$$

Burada F_{vz} ilerleme kuvveti genellikle deneysel yolla belirlenmektedir. Kesme kuvveti F_{sz} ve radyal kuvvet F_{rz} pratikte birbirine eşit kabul edilir [80].

Bir ağızdaki kesme kuvveti;

$$F_{sz} = A_{sz} k_{sz} = \frac{dsz}{2} k_s = \frac{ds}{4} k_s \quad (4.9)$$

toplam kesme kuvveti;

$$F_s = z F_{sz} = 2 F_{sz} = d_{sz} k_s = \frac{ds}{2} k_s \quad (4.10)$$

şeklinde ifade edilir.

Kesme kuvvetinin neden olduğu bir ağızdaki kesme momenti ise;

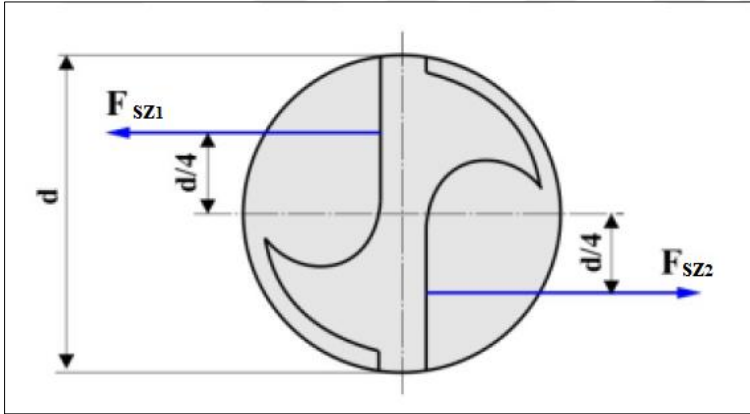
$$M_{sz} = F_{sz} \frac{d}{4} \quad (4.11)$$

Bu eşitliğe göre iki ağızlı matkabın kesme momenti;

$$M_s = z F_{sz} \frac{d}{4} = 2 F_{sz} \frac{d}{4} = F_s \frac{d}{4} \quad (4.12)$$

$$M_s = \frac{d^2 s k s}{8.10^3} \quad [\text{Nm}] \quad (4.13)$$

4.13 eşitliği kullanılarak d (mm), s (mm/dev), k (N/mm²) ve M_s (Nm) değerleri bulunabilir. Şekil 4.5' de kesme kuvvetlerinin oluşturduğu moment gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Kesme kuvvetlerinin oluşturduğu kesme momenti [80]

M_s kesme momentine göre delinebilecek delik çapı;

$$d = \sqrt{\frac{8.10^3 M_s}{f \cdot k s}} \quad [\text{mm}] \quad (4.14)$$

ile bulunur. İlerleme $f = z f_z$ eşitliği ile elde edilir. Toplam ilerleme kuvvetini hesaplamak için;

$$F_v = 2 \cdot F_{vz} = 2 \cdot F_{sz} \cdot \sin x = F_s \cdot \sin x \quad (4.15)$$

eşitliği kullanılır. İlerleme kuvveti F_v aksenal kuvvettir. Delme işlemi sırasında ana kesme ağzındaki aksenal kuvvetle beraber, radyal kesme ağzında aksenal F_1 ilerleme kuvveti de oluşur. Buna göre delik delinirken takıma etki eden ve aşılması gerekli aksenal kuvvet;

$$F_a = 2.F_{vz} + F_1 = F_v + F_1 \quad (4.16)$$

gibi olur.

Deneysel çalışmalar neticesinde matkaba etki eden aksenal kuvvet oranları %40 F_v , %57 F_1 , %3 sürtünme kuvvetidir. Delik delme sırasında F_a aksenal kuvvet, tezgah bileşenlerini ve yatakları (rulmanları) zorlar. Bu nedenle tezgahlar kataloglardaki maksimum aksenal kuvvet $F_{a \max}$ değerine göre tasarlanır. Eğer matkapta oluşan aksenal kuvvet tezgahın maksimum aksenal kuvvetinden büyük olursa tezgah bileşenleri ve rulmanlar bozulacaktır [81].

4.3. Delik Delme Takımları (Matkaplar)

Talaşlı imalatta delme işleminde en çok tercih edilen kesici takımlar matkap olarak isimlendirilir. Matkap eksenini etrafında dönerken aynı zamanda eksenini doğrultusunda ilerleyerek kesici ağız ile kesme yapar. Gereksinimlerden dolayı ortaya birçok matkap çeşidi bulunur [82].

Matkaplar sap ve gövde olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Konik veya silindirik şekle sahip olan sap kısmı matkabı tutucuya bağlar. Talaş tahliyesi yapan kanalların olduğu bölüm sap kısmı ile kaynaklanmış veya tek parça olabilir. Matkapların bazılarında sap ile gövde arasında boyun adı verilen bir bölüm vardır.

Delme işleminde matkap ucu kesme işlemini gerçekleştirir. Matkap ucunda iki veya üç kesici ağız bulunabilir. Her ağzın talaş yüzeyi ve serbest yüzeyi vardır. Bu ağzların oluşturdukları konik uç kısım sivri olmamakla beraber burada çekirdek adı verilen yassı bir kısım vardır. Çekirdeğin uç genişliği enlemesine kesici kenarı oluşturur. Konik alan ise *serbest yüzey*, iki kanal arasındaki kalan yüzler ise *sırt* olarak adlandırılır. Sırt bölgesinde kanallar boyunca bulunan helisel yüzey zırh olarak isimlendirilir. Zırhın kanal tarafı yardımcı kesici kenardır [69,74].

Matkaplar bir veya daha fazla kesici kenara, düz ya da helisel kanala sahip dönen bir takımdır. Tüm takımlarda kesme hızının merkezde sıfır, çevrede maksimum olması ortak problemdir. İşlem sırasında oluşan talaşlar iş parçasının yüzeyine zarar vermeden kolayca bölgeden tahliye edilebilecek şekle sahip olmalıdır. Takım seçerken delik çapı, derinliği, istenen toleranslar, iş parçası malzemesi, tezgah ve üretim hacmi gibi parametrelere göre belirlenir.

Matkapla delik delme işleminde dikkat edilmesi gereken hususlar;

- Kesme hızının delik ortasında sıfır olması,
- Zor talaş tahliyesi,
- Kesici kenarların aşınmaya maruz kalması,
- Zırhın delik yüzeyine sürtünerek aşınması,
- Kesme bölgesinde oluşan ısı dağılımı farklılıklarıdır [72,82].

Başarılı bir delik delme işlemi için temel hususlar;

- Tezgah rijitliği, takımın mandrene bağlanma kalitesi kontrol edilmeli,
- İlerleme kuvveti, güç ve tezgah fener milinde oluşacak tork kontrol edilmeli,
- Kesme sıvısı basıncı kontrol edilmeli,
- İşlem için uygun matkap seçilmeli, optimizasyon yapılmalı,
- Kolay talaş tahliyesi için ilerleme hızı ve kesme hızı optimize edilmeli,
- Matkapların bakımı düzenli olarak yapılmalıdır [83].

4.3.1. Matkap malzemeleri

Talaşlı imalat işlemlerinde işlenecek malzemenin cinsine, özelliklerine ve belirlenen hassasiyete göre farklı kesici takımlar kullanılır. Sınıflandırmaları da bu faktörlere göre yapılmaktadır.

Matkap malzemeleri metal, karbür ve seramik esaslı olarak üç ana başlık altında toplanabilir. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan matkap malzemeleri, yüksek hız çelikleri, kobalt yüksek hız çelikleri, sementit karbürler ayrıca takım ömründeki iyileşmeleri sonucunda kübik bor nitrür (CBN) ve elmas kaplı matkaplar tercih

edilmektedir.

Matkapların genel olarak sertlik, tokluk, aşınma direnci, uygun maliyet, uzun ömür, kolay ulaşılabilirlik gibi özelliklere sahip olması gerekir. Ayrıca kullanım alanına göre uygun, ısı iletim katsayısı ve genleşme özellikleri olmalıdır. Farklı kesme kuvvetleri ve zorlu işleme şartlarının uygulandığı işlemlerde matkapların basınç, iç yapısal, kenar ve ısı mukavemetleri, eğilme mukavemeti sürekliliği, korozyon direnci, sürtünmeye karşı dayanıklılık, difüzyon yayılma eğiliminin az olması gibi özelliklere sahip olması istenmektedir.

Sementit karbür uçlar, yüksek hız çelikleriyle işlenen malzemelerden daha sert malzemelerde ve daha yüksek devirde kullanılabilirler. Yüksek sıcaklıklara karşı direnci ve yüksek kesme hızı gerektiren işlemlerde aşınma direncinin yüksek olması sebebi ile daha geniş kullanım alanına sahiptir.

Titanyum karbür, alüminyum oksit, titanyum nitrit çelikler ve karbür matkaplar oldukça ince, sert, aşınmaya karşı dirençli, uzun ömürlü, kaplanabilme, yüksek kesme hızlarında çalışabilme, daha keskin kesici uç, harcanan tezgah günün azalması gibi avantajlara sahiptir.

Yüksek hız çelikleri genellikle yeterli oranda karbon ve yüksek oranda alaşım elementlerinden oluşur. Takım çelikleriyle karşılaştırıldığında yüksek ısıya dayanıklı ve daha yüksek sertliğe ulaşabilme gibi özellikleri vardır. Bu özellikler yapılarındaki karbürlerin dağılımı ve sayısına bağlıdır. Yüksek hız çelikleri, Wolfram içeren, Molibden içeren, Wolfram-Molibden içeren yüksek hız çelikleri olarak üç ana grupta sınıflandırılabilir [69,82].

4.3.2. Matkapların sınıflandırılması

Kesici takımlar DIN1414 standartlarına göre N, H ve W harfleriyle simgelenen üç çeşidi vardır. Bunlardan N tipi kesici takımlar demir ve çelik için kullanılır. H tipi kesici takımlar pirinç alaşımları için kullanılırken, değiştirilmiş H tipi kesici takımlar plastikler için kullanılır. W tipi kesici takımlar ise alüminyum alaşımları gibi yumuşak malzemeler için

kullanılır. Bu takımların kesme açıları birbirinden farklı olup d çapına bağlı olarak değişir. Örneğin, N tipi matkabın çapa bağlı olarak kesme açısı Çizelge 4.2’de verilmiştir.

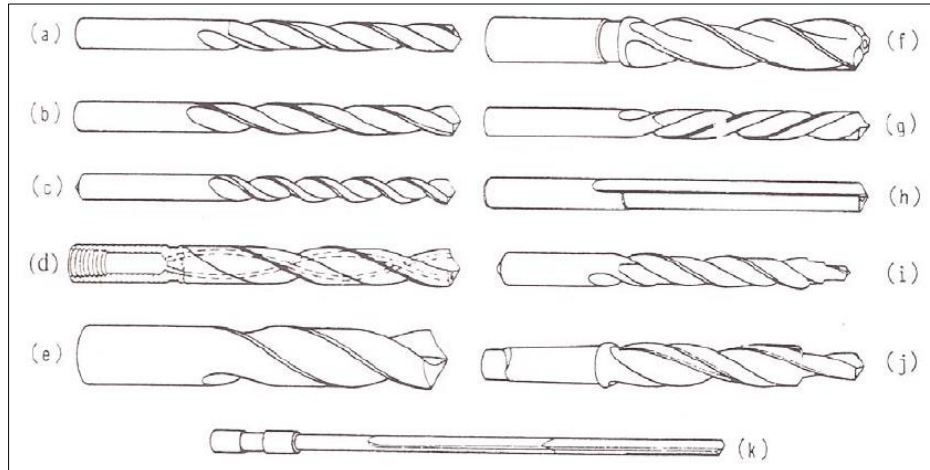
Çizelge 4.2. N tipi matkap için kesme açıları [82]

Matkap çapı (mm)	Yan serbest aç	Yan talaş açısı	Uç açısı
2,51...6,3	12°	22°	118°
6,31...10	10°	25°	
>10	8°	30°	

Çelik ve dökme demir malzemelerinde kullanılan N tipi matkapların uç açısı standart kabul edilen 118°’dir. Uç açıları 118°’den büyük olan matkaplar düz açılı, küçük olan matkaplar uzun açılı olarak isimlendirilir. Uç açısı büyüdükçe çabuk aşınan köşe açısı azalır ve daha çabuk aşınmaya sebep olur. Bu nedenle büyük açılı matkaplar imal edilirken çabuk aşınmayı önlemek için 70°’lik ikinci bir açı kullanılarak çift açılı üretilir [74,82].

Kısa derinlikteki delik delme işleminde en yaygın kullanılan matkap çeşidi spiral matkaplardır. Normal delik delme işlemleri için kullanılan bu matkaplar geometrik tasarımlara göre, normal spiral, delikli, delik genişletme, küt, sol helisli, kademeli, düz kanallı matkaplar olarak sınıflara ayrılırlar.

Normal spiral matkaplar, çelikler için kullanılan ekonomik matkaplardır. Çeşitli çap ve şekillerde imal edilirler. Şekil 4.7(a) normal helisli, Şekil 4.7(b)’de kısa helisli matkap geometrisi gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Matkap tipleri [82]

Delikli matkaplar, kesme sıvısını giriş sap ucundan ya da yandan matkap içine sevkini sağlar. Genellikle derin deliklerde ve çok adımlı proseslerde kullanılır. Şekil 4.7(d)' de delikli matkap geometrisi gösterilmiştir.

Delik genişletme matkapları delik genişletmek için kullanılır ve 3 veya 6 ağızlı olabilir. Daha yüksek ilerleme hızı istenen durumlarda kullanılır. (Şekil 4.7(f)).

Küt matkaplar, toplam uzunluğu normal matkaplara göre kısa, kanal uzunluğu ise normal matkapların yarısı kadardır. Ağır çalışma koşullarında ve çok adımlı proseslerde kullanılır. (Şekil 4.7(e)).

Sol helisli matkapların diğer matkaplarda tek farkı kanalların sol helisli olmasıdır. Dönme yönü normale göre tersttir. Çok adımlı proseslerde kullanılır. (Şekil 4.7(g)).

Kademeli matkaplar, Şekil 4.7 (i) ve Şekil 4.7 (j)'de gösterildiği gibi iki veya daha çok çapa sahip matkaplardır. Tek matkapla bir pasoda kademeli delik delme işlemlerinde kullanılır. Ayrıca delik genişletme işlemlerinde ilk pasoda delme ikinci pasoda genişletme işlemlerini tek matkapla yapılmasını sağlar.

Düz kanallı matkaplar ise ince parçalar ve pirinç gibi yumuşak malzemelerin işlenmesi için özel olarak tasarlanmış matkaplardır (Şekil 4.7(h)).

U matkap olarak adlandırılan değiştirilebilir uçlu matkaplar Resim 4.1'de gösterildiği gibi bir veya iki uçlu olabilirler. Büyük çaplı delikler için sadece değiştirilebilir kesici uçlu kısa matkaplar mevcuttur. Bu matkaplar alın tornalama ve boyuna tornalama işlemleri için kullanılabilir. Bu matkaplarla ince, kaba ve çok ince talaş kaldırma işlemi yapılarak boyut ve yüzey kalitesi çok iyi olan delikler açılabilir.



Resim 4.1. Değişirilebilir uçlu matkap [82]

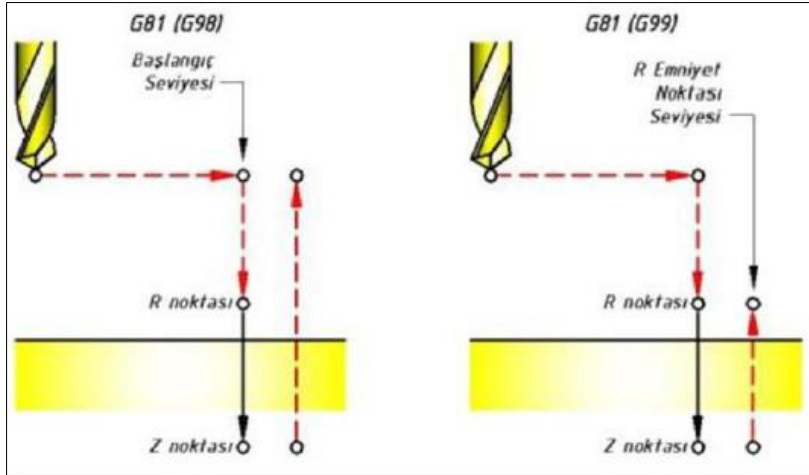
Derin delikli matkaplar, delik derinliğinin $l > 5d$ olduğu derin delik diye adlandırılan delikleri açmada kullanılır. Bu tip matkaplar tek ağızlı ve soğutma sıvılı matkaplardır. Dış talaş sıyrıcı ve iç talaş sıyrıcı olarak iki grupta sınıflandırılabilir. Dış talaş matkaplar, içi boş, tek ağızlı, tek kanallı matkaplardır. Kesici uç V şeklindedir. Matkabın ikiye ayrılmış kesme ağızından biri kesme işlemi yaparken diğeri ise talaşları küçük parçalara ayırmak için kullanılır. İç talaş taşıyıcı matkapların kesme kenarı sert metalden meydana gelir [69,82].

4.4. Delik Delme Yöntemleri

CNC Freze tezgahlarında delik boyu ve kesici takım çapına göre operatör tarafından tercih edilen delik delme yöntemlerine göre kodlar geliştirilmiştir. Bu delik delme yöntemleri ve ISO kodları şu şekildedir:

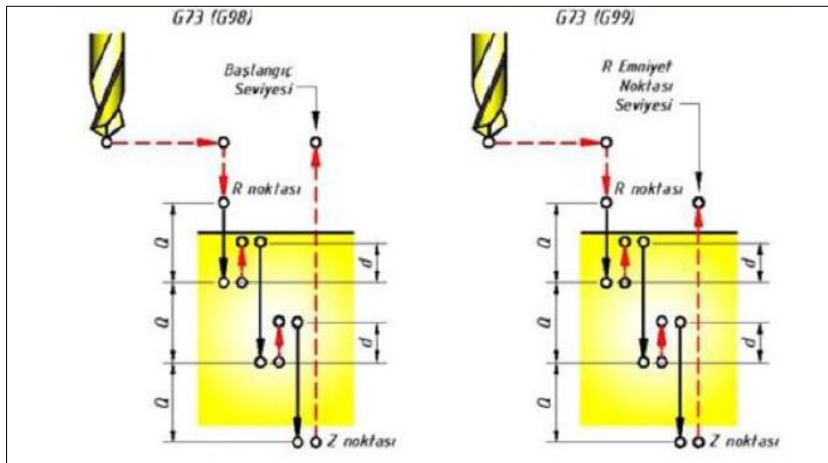
- Doğrudan delik delme yöntemi (G81)
- Talaş kırmalı delik delme yöntemleri (G82)
- Talaş boşaltmalı delik delme yöntemleri (G83)

Doğrudan delik delme yöntemi gagalama yapmadan tek seferde delme yöntemidir. Şekil 4.8'deki gibi kesici takım başlangıç seviyesinden R emniyet mesafesine kadar hızlı gelir, Z (delik derinliği) noktasına kadar delme işlemini devam eder ve hızlı bir şekilde yeniden delikten çıkarak delme işlemi sonlanır [69].



Şekil 4.8. Doğrudan delik delme (G81) yöntemi [69]

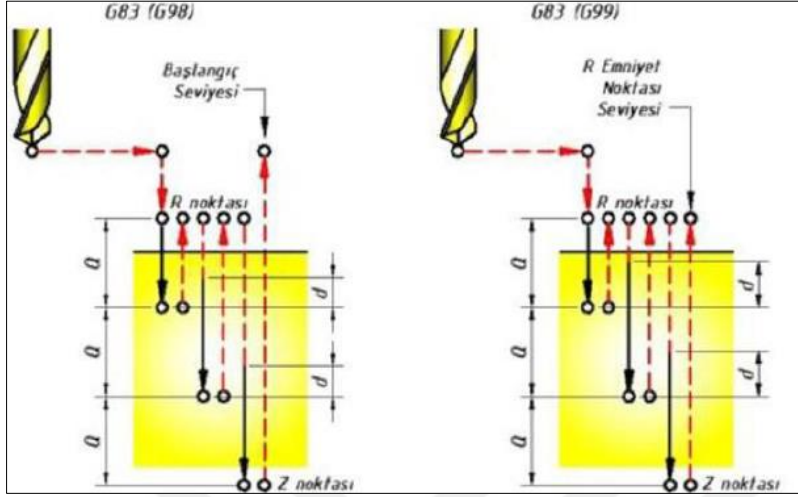
Talaş kırılmalı delik delme yönteminde talaş kırılarak delme işlemi gerçekleşir. Şekil 4.9’da gösterildiği gibi kesici takım Q ile gösterilen miktar kadar delme işlemi yapar ve d mesafesi kadar hızlı çıkarak talaş kırma işlemini gerçekleştirir. Ardından Q kadar tekrar delmeye başlar ve bu işlem tezgaha kodlanan Z (delik derinliği) değerine kadar devam eder. Z değerine ulaşıldığında kesici takım hızlıca delikten çıkar ve delme işlemi biter.



Şekil 4.9. Talaş kırılmalı delik delme (G73-G82) yöntemi [69]

Talaş boşaltmalı delik delme (G83) yönteminde kesici takım delme işlemini gagalama yaparak gerçekleştirir. Şekil 4.10’da gösterildiği gibi başlangıç seviyesinden R emniyet mesafesine kadar hızla gelen kesici takım Q kadar delme işlemi yapar ve takım R emniyet mesafesine kadar hızlı çıkarak talaş boşaltma işlemini gerçekleştirir. Ardından hızlı bir şekilde ilk delme derinliğinin d mesafesi kadar üzerinden Q kadar tekrar delmeye başlar.

Bu işlem Z noktasına kadar devam eder. Z noktasına ulaşıldığında kesici takım hızla delikten çıkar ve delme işlemi biter.



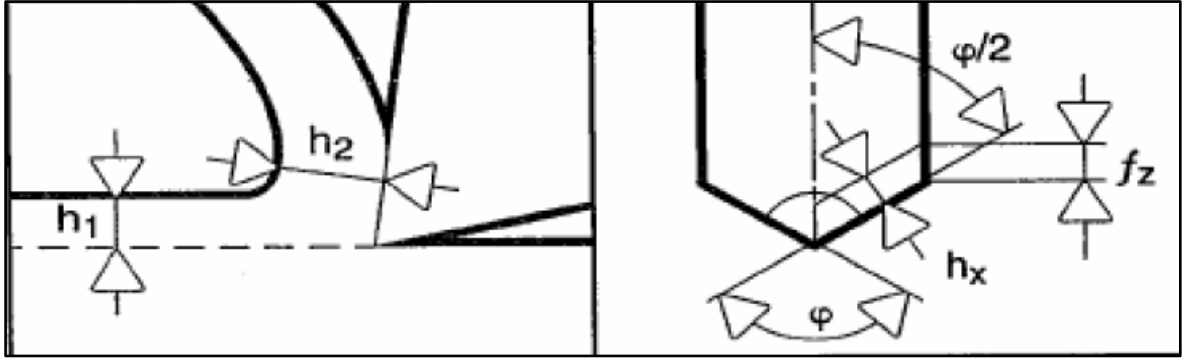
Şekil 4.10. Talaş boşaltmalı delik delme (G83) yöntemi [69]

4.5. Delik Delme İşleminde Talaş Oluşumu

Delik delme işlemindeki en önemli faktörlerden biri de talaş oluşumudur. Delik delme işleminin başarılı olması için uygun büyüklük ve şekilde talaş oluşumu ve oluşan talaşın tahliye edilmesi gerekmektedir. Eğer talaş tahliyesi yeterli olmazsa kesici takım delikte sıkışır ve delme işlemi gerçekleştirilemez.

Çoğu kesici takımın iki adet kesme kenarı ve iki adet talaş kanalı vardır. Oluşan talaş bu helisel kanallar vasıtasıyla delik içinden tahliye edilir. Son zamanlarda kesici takımlarda kullanılan kesme sıvısı matkabın içinden verilerek oluşan talaşın dışarı atılması sağlanmaktadır.

Talaş oluşumu, iş parçasının malzemesine, kesici takıma, kesme hızına, kesme sıvısına ve ilerleme değerine bağlıdır. Genelde ilerleme değerinin artması ve kesme hızının azaltılması talaş boyunu kısaltır. Talaş tahliyesi güvenilir bir şekilde oluşuyorsa talaşın şekli ve uzunluğu kabul edilebilirdir. Delme işlemi sırasında talaş plastik deformasyona uğrar. Teorik talaş kalınlığı (h_1), deformasyona uğrayan talaşın kalınlığından (h_2) farklı olur. Teorik talaş kalınlığı, uç açısı (ϕ) ve ilerleme değeriyle artar [69].



Şekil 4.11. Talaş oluşumuna etki eden faktörler [84]

4.6. Delik Delme İşleminde Delik Kalitesi

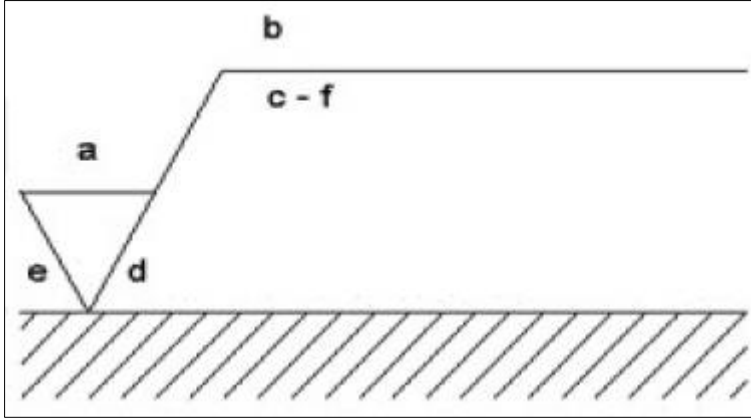
Talaşlı imalat ve diğer işleme türlerinde de olduğu gibi işleme performansını etkileyen bazı faktörler vardır. Bunlar; kesici takım malzemesi ve geometrisi, soğutma şartları, tezgah özellikleri, işlenen malzemenin yapısal özellikleri vb. olarak sıralanabilir. Delik delme işleminde delik kalitesi delik geometrisinin, çapının doğruluğu, yüzey hassasiyeti, matkabın ömrü, işlem süresi tasarımı toleranslarla belirlenir. Delik delme işleminde soğutma sıvısı seçimi (soğutma sıvısının kimyasal bileşimi, miktarı, uygulanıp uygulanmayacağı, özellikleri vb.) dikkatle incelenmelidir [80].

Delik kalitesini belirleyen özellikleri iki ana gruba ayırabiliriz;

- Delik yüzeylerinin kalitesi,
- Geometrik toleranstan sapmalar.

4.6.1. Delik yüzeyinin kalitesi

Delik yüzey pürüzlülüğü özellikle birbiri ile çalışan metal yapılarda oldukça önemlidir. Üretimde delik iç yüzeyinin ölçümü oldukça zaman alan bir işlem olduğu için yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi çok önemlidir. Yüzey pürüzlülüğü malzemenin belirli bir alanında ölçülmesi istenen yüzeyin şekil ve dalgalanma hataları dışındaki kusurlarıdır. İmalatta kullanılacak malzemelerin işlenebilirlik özelliklerini oluşturabilmek için yüzey pürüzlülük değerleri elde edilir [69]. Yüzey durumları imalat resimlerinde sembol ve rakamlarla belirtilir. Yüzey pürüzlülük değerlerinin imalat resimlerinde gösterimi Şekil 4.12'deki gibi DIN ISO 1302 standartlarına uygun olarak yapılır.



Şekil 4.12. DIN ISO 1302 yüzey pürüzlülük gösterimi [80]

- a: yüzey pürüzlülük değeri (μm)
- b: üretim metodu, yüzey işlemesi, kaplama
- c: ölçümde kullanılacak referans uzunluğu
- d: işleme izlerinin yönünü ifade etmektedir.

Kesici takım hataları ve işleme sırasındaki titreşim, parçanın yüzey kalitesini etkileyen faktörlerdendir [69,85]. Yüzey pürüzlülüğü, kesici kenar kalitesi, iş parçasının işlenebilirliği ve kesme parametreleriyle ilişkilendirilir.

Yüzey pürüzlülüğünü ölçmek için birçok ölçme metotları geliştirilmiştir. Bunlar; optik mikroskop, mekanik çalışma, hidrolik, pnömatik, dokunma, izleyici uçlu cihazlar yöntemi gibi metotlardır. İzleyici uçlu cihazlar yönteminde, sivri bir uç, pürüzlülüğün ölçülmesi istendiği hat boyunca sürüklenir ve bu sırada oluşan titreşimler cihaz vasıtasıyla yorumlanır [69].

4.6.2. Geometrik toleranstan sapmalar

Delik kalitesinde, yüzey kalitesi kadar delik geometrisinin kalitesi de önemlidir.

Uzay, savunma ve otomotiv sanayisinde delime işlemlerinin yaygın kullanımından ötürü deliklerin ölçü tamlığı oldukça önemlidir. Matkabin merkezden kaçması sonucu deliklerde büyüme meydana gelir. Ayrıca U drill olarak adlandırılan matkap türlerinde merkezden sapma sonucunda daha küçük çaplı delikler oluşmaktadır. Ölçü tamlığına neden olan diğer faktörler de tezgah fener milinde oluşan problemler, yüksek ilerleme değeri ve takım-parça

yetersiz bağlantı rijitliğidir. Belirlenen merkeze göre en küçük ve en büyük yarıçap farkı dairesellikten sapma olarak adlandırılır. Delik merkezi MRS (minimum radyal sapma) veya LSC (en küçük merkez daire) gibi metotlarla belirlenmektedir.

Delik derinliğinin (L), matkap çapına (D) oranının büyük olduğu derin delik işlemlerinde silindiriklikten sapma (eksenel kaçıklık) görülmektedir. Eksenel kuvvetin büyümesi tezgah ana milinde basınç oluşturarak sehime sebep olmaktadır. Bu da eksenel kaçıklığın artmasına neden olur. Termal bozulmalar da eksenel kaçıklığa sebebiyet vermektedir. Kesme sıvısı, kesme bölgesindeki sıcaklığı kontrol altına alarak eksenel kaçıklığın azalmasını sağlamaktadır [69].





5. MATERYAL ve METOT

Bu çalışmada, KETPK malzeme Al 6013-T651 malzeme ile alt-üst istifli olarak 90° ve 118° uç açısına ve 15° (H1) ve $22,5^\circ$ (H2) helis açısına sahip kaplamasız taşlanmış HSS matkaplarla delinmiştir. Delme işleminde 0,05; 0,1; 0,2 mm/dev ilerleme ve 45, 67, 100 m/dak kesme hızı değerleri kullanılmıştır. Delik delme işlemleri sonucunda belirtilen şartlarda itme kuvvetleri, momentler ve KETPK malzeme girişinde ve çıkışında oluşan delaminasyonlar araştırılmıştır. Çizelge 5.1’de deney değişken tablosu verilmiştir.

Çizelge 5.1. Deney değişken tablosu

Tezgah	Johnfordh VMC 550		
Matkaplar (Ø7)	Taşlanmış kaplamasız HSS	90° Uç açısı	15° (H1) Helis açısı
			22,5°(H2) Helis açısı
		118° Uç açısı	15° (H1) Helis açısı
			22,5°(H2) Helis açısı
Deney malzemesi	Karbon elyaf takviyeli polimer kompozit İstif: Al 6013-T651		
Kesme parametreleri	Kesme hızı (m/dak)	45, 67, 100	
	İlerleme oranı (mm/dev)	0,05; 0,1; 0,2	
Delik sayısı	Kesme parametreleri ve matkap kombinasyonları için toplam 36 adet		

5.1. Deneylerde Kullanılan Takım Tezgahı

Deneylerde Resim 5.1’de görülen Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümünde JOHNFORD VMC-550 marka CNC dik işleme merkezi kullanılmıştır. Bu tezgahın teknik özellikleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.



Resim 5.1. Deneylerde kullanılan JOHNFORD VMC-550 tezgah ve deney düzeneği

Çizelge 5.2. Johnford VMC-550 marka dik işleme merkezi teknik özellikleri

Tezgah gücü	7,5 kW
Maksimum devir sayısı	6000 dev/dk
Sırayla x,y,z, eksenleri	800, 500, 500 mm
Ölçü hassasiyeti	0,0001 mm
Kontrol ünitesi	Fanuc OM serisi

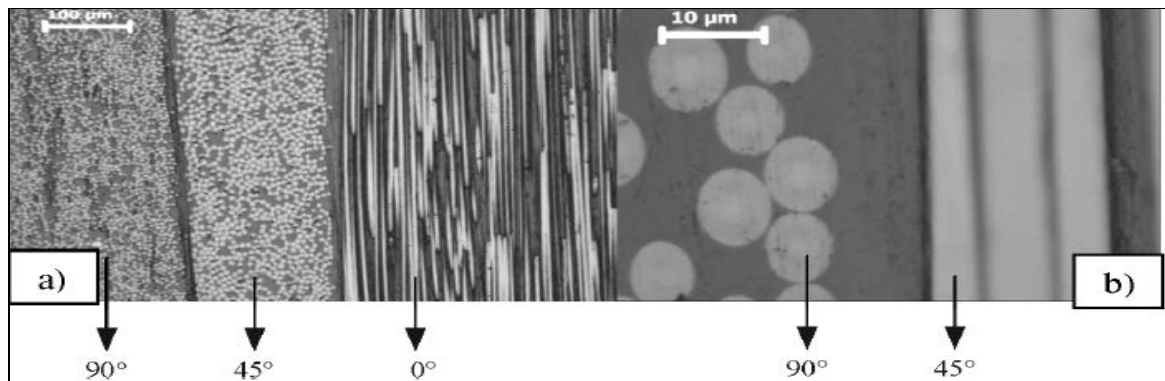
5.2. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Deneylerde, uzay ve havacılık ve savunma sanayi gibi birçok alanda çok tercih edilen KETPK malzeme kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan KETPK malzeme, $0^\circ/45^\circ/90^\circ/45^\circ/-45^\circ/90^\circ/45^\circ/0^\circ$ dizilimine sahip, 80x52x10 mm boyutlarında lamine olarak tasarlanmıştır ASTM D 792'ye göre CFRP malzemesinin yoğunluk testi sonucu, mekanik, termal ve elektriksel özellikleri Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Deneylerde kullanılan KETPK malzemenin ASTM D 792'ye göre fiziksel özellikleri

Malzeme	Yoğunluk (gr/cm ³)	Yüzde elyaf ağırlığı	Termal iletkenlik (W/mK)	Elyaf çapı (μm)	Elektriksel iletkenlik (μ-Ω-m)	Çekme gerilmesi (GPa)
KETPK	1,59	%74,6	5	7	18	3,75

Deneylerde kullanılan KETPK malzemenin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü Resim 5.2'de verilmiştir.



Resim 5.2. Deneylerde kullanılan malzemenin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü

İstifli yapının bir diğer elemanı ise Al 6013-T651 olarak belirlenmiştir. Malzeme ölçüleri

istifli yapıyı oluşturabilmek açısından 80x52x5 mm ölçülerine getirilmiştir. Al 6013-T651 alaşımının kimyasal özellikleri Çizelge 5.4’de ve mekanik özellikleri Çizelge 5.5’de verilmiştir.

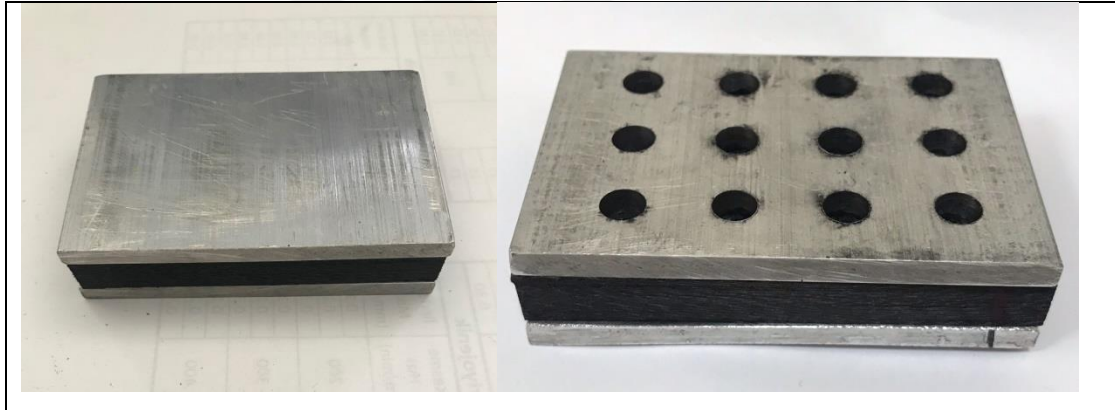
Çizelge 5.4. Al 6013-T651 alaşımı kimyasal bileşimi (ağırlık, %)

Fe%	Si%	Cu%	Mn%	Mg%	Zn%	Ti%	Cr%
0,5	0,6-1	0,8	0,6	1	0,25	0,1	0,1

Çizelge 5.5. Al 6013-T651 alaşımı mekanik özellikler

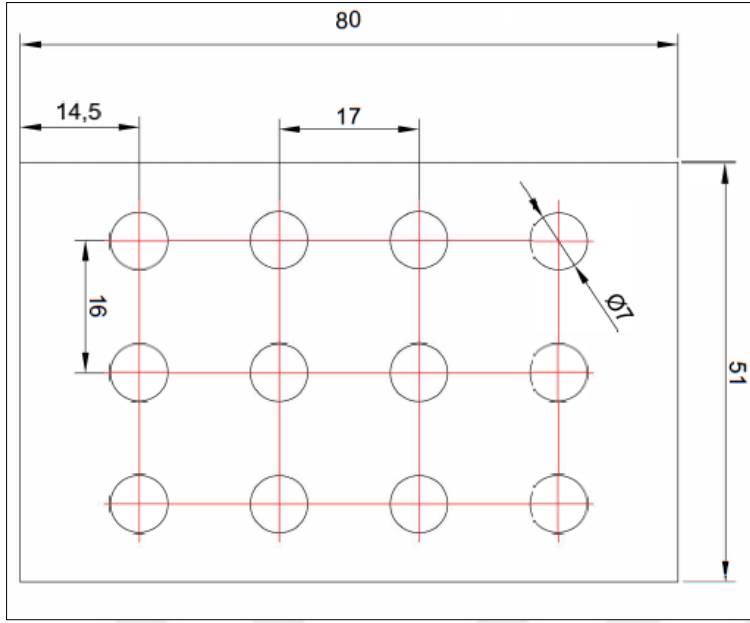
Akma gerilmesi (MPa) (Min-max)	Çekme gerilmesi (MPa) (Min-max)	Uzaman (%50) (Min-max)	Sertlik (Brinell) (HB) (Min-max)
344-356	369-377	4-5	125-130

Kenarları ve yüzeyi zımparalanarak temizlenen ve istenilen ölçülere getirilmiş Al 6013-T651 ve KETPK malzeme ile oluşturulan istifli yapının görüntüsü Resim 5.3’te verilmiştir.



Resim 5.3. Al 6013-T651 ve KETPK malzeme ile oluşturulan istifli yapı

Deney numunesinin delik delme planı ise Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Burada delikler arası en az 9 mm olacak şekilde belirlenmiştir. Böylece her bir delikte oluşabilecek delaminasyon veya olumsuzluğun (çapak, sıcaklık vb.) diğer delikleri etkilemesi engellenmiştir.



Şekil 5.1. Deney numunesi delik planı

5.3. Kullanılan Kesici Takımlar

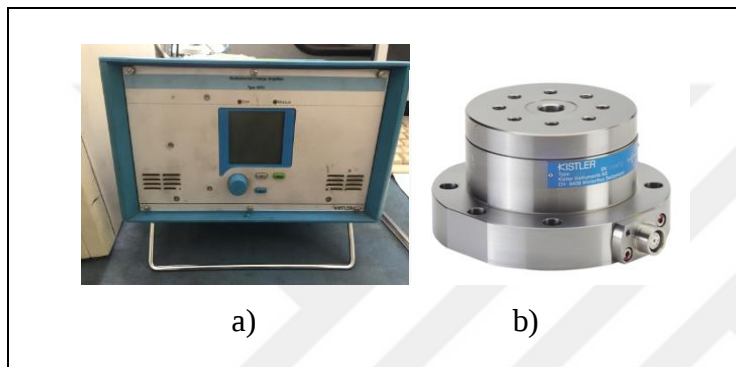
Deneylerde 7 mm çapa sahip Makine Takım Endüstrisi şirketinden temin edilmiş matkaplar kullanılmıştır. Daha önce gerçekleştirilmiş deneysel çalışmalar ve literatür araştırmaları sonucunda kaplamalı takımların, kaplamasız takımlara oranla daha çok talaş sıvanması meydana geldiği belirtilmiştir [6,9]. Bu nedenle takımlar kaplamasız taşlanmış HSS, uç açısı ve helis açısı sırayla 90° - 15° , 90° - $22,5^{\circ}$, 118° - 15° , 118° - $22,5^{\circ}$ olmak üzere dört farklı türde tercih edilmiştir. İki farklı uç açısı, iki farklı helis açısı, üç farklı ilerleme ve üç farklı kesme hızı değerleri doğrultusunda toplam 36 adet matkap ile delme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.6’da matkapların teknik bilgileri verilmiştir.

Çizelge 5.6. Deneylerde kullanılan matkapların teknik bilgileri

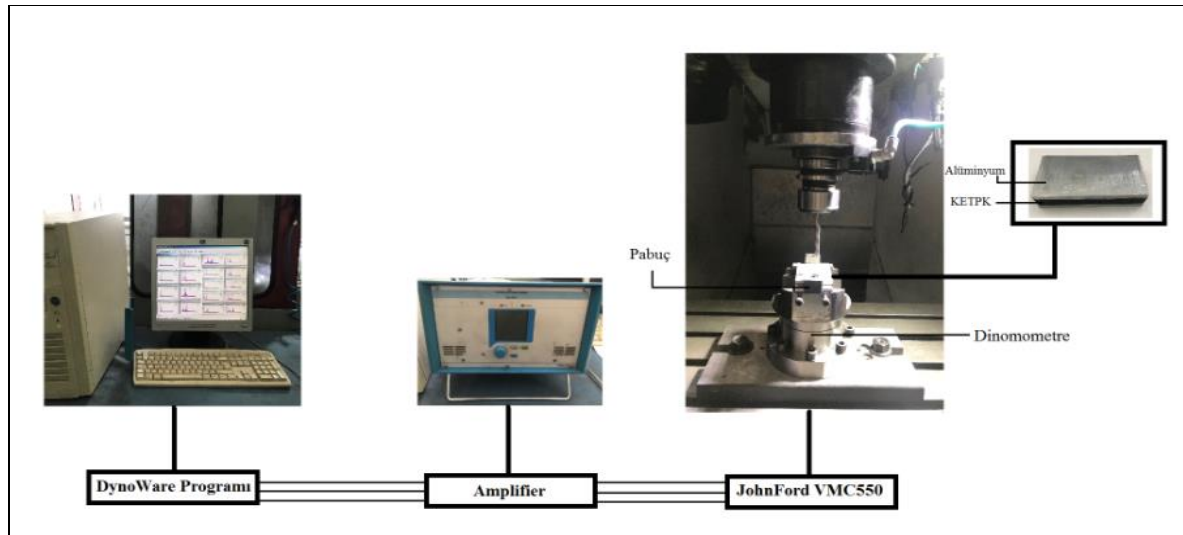
Matkaplar	Çap (mm)	Helis açısı	Uç açısı	Helis boyu (mm)	Boy (mm)	Matkap görünümü
Kaplamasız HSS	7	15°	90°	69	109	
Kaplamasız HSS	7	$22,5^{\circ}$	90°	69	109	
Kaplamasız HSS	7	15°	118°	69	109	
Kaplamasız HSS	7	$22,5^{\circ}$	118°	69	109	

5.4. Kesme Kuvvetleri Ölçülmesi

Deliklerin delinmesi sırasında KETPK malzemede meydana gelen delaminasyon ve fiber kopması, parçalanması gibi hatalar delme işlemi sırasında takımın uyguladı tork ve itme kuvvetleri değerlerinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle deneylerde delme işlemi sırasında kesme kuvvetlerinin belirlenmesi için İmalat Mühendisliği bölümünde yer alan Resim 5.4’ de gösterilen dinamometre ve amplifier kullanılmıştır. Oluşturulan deney düzeneği de Şekil 5.2’de verilmiştir.



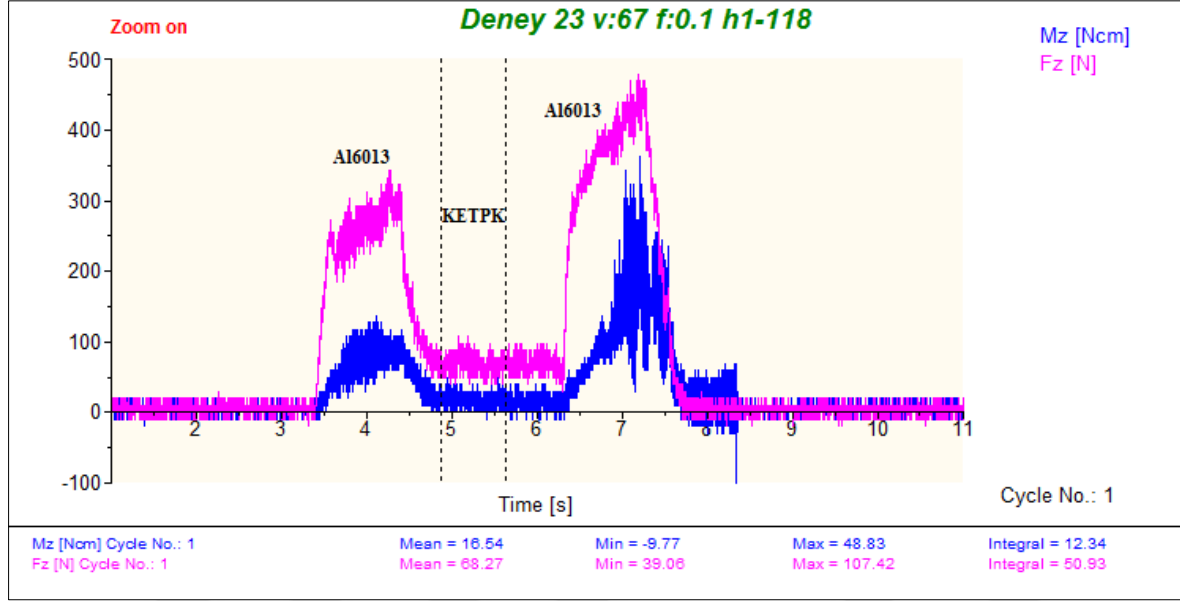
Resim 5.4. a) KISTLER 5070A Tip Amplifier b) KISTLER 9272A Tip Dinometre



Şekil 5.2. Deney düzeneği

Delme işlemlerinde DynoWare programı ile tüm kuvvet değerleri kayıt altına alınmıştır. Özellikle KETPK malzemede delaminasyon, liflerin kopması, çapaklanma gibi sorunlara yol açan itme kuvveti değerleri (F_z) ve itme kuvvetine bağlı olan moment değerleri (M_z)

dikkate alınmıştır. Delme işleminde alınan kuvvet (F_z) ve moment değerleri (M_z) her delik için ortalama değer olarak alınmıştır. Değerler, talaş kırılması, ani kuvvet değişimleri, delaminasyon, BUE gibi sorunların meydana geldiği ölçümlerdeki pik noktalardan değil pik noktaların öncesi ve sonrasından alınmıştır. Şekil 5.3'te kuvvet değerlerinin elde edilmesini gösteren örnek grafik verilmiştir.



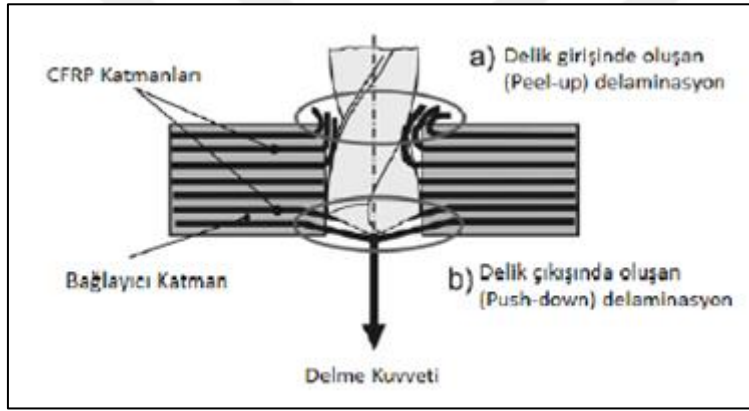
Şekil 5.3. Kistler 9272A dinamometre kuvvet grafiği

5.5. Delme İşlemleri

Son yıllarda, kesme sıvıları oluşturdıkları çevresel atıklar, kesme sıvısı kullanımı sırasında parça başına düşen ekstra maliyet gibi sebeplerden ötürü çok gerekmedikçe tercih edilmemektedirler. Ayrıca kesme sıvısı kullanıldığında fiber malzemenin nem alma riski bulunmaktadır. Bu nedenlerle ve literatür araştırmaları göz önüne alınarak delik delme deneyleri kuru kesme şartları altında yapılmıştır. Delme parametreleri, optimum sonuçlar elde etmek için literatürde tavsiye edilen ve belirlenmiştir. Delme işleminde Makine Takım Enstitüsü A.Ş.'den temin edilen 2 farklı uç açısına ve 2 farklı helis açısına sahip kaplamasız taşlanmış HSS matkaplar temin edilmiştir. Bu matkaplar için daha önceki çalışmalarda ve kesici takım firmasının tavsiye ettiği parametreler dikkate alınarak üç farklı ilerleme değeri ve üç farklı kesme hızı belirlenmiştir. Al6013/KETPK/Al6013 istifli yapı boydan boyca toplam 36 delik delinerek deneyler tamamlanmıştır.

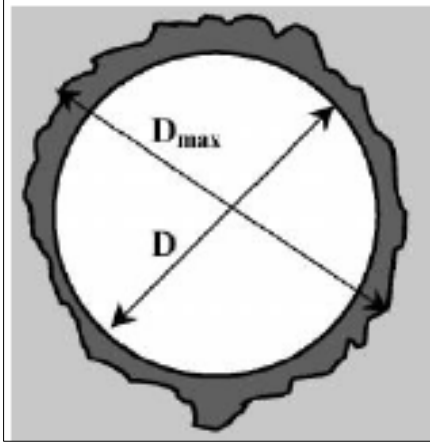
5.6. Delaminasyonun Belirlenmesi ve Hesaplanması

Delme işlemi havacılık ve uzay sektöründe önemli bir yere sahiptir. Havacılık sektöründe çokça kullanılan kompozit malzemelerin delme işlemleri diğer malzemelere göre daha zor ve önemlidir. Karbon elyaf takviyeli plastik kompozitlerin delinmesi sırasında oluşan delaminasyon sorunu malzemenin kalitesini ve dayanımını düşürmekte ve kullanım ömrünü azaltmaktadır. Malzemelerin hatalardan kaynaklı kalite kontrolden geçememe sebebi, %60 oranında delaminasyondan kaynaklanmaktadır. Delik delme işleminde kompozit malzemenin giriş ve çıkışlarında oluşan delaminasyon örneği Şekil 5.4’de verilmiştir [86].



Şekil 5.4. Kompozit malzemenin giriş ve çıkışında oluşan delaminasyon [86]

Oluşan delaminasyonun belirlenmesi için tarama ve mikroskop gözlemleri yapılmaktadır. Bunların neticesinde delaminasyon matematiksel olarak hesaplanabilmektedir. Delme işlemi sonrasında delik giriş ve çıkışlarında elyaf kopmaları gibi hatalar görülmektedir. Şekil 5.5’de belirtildiği gibi delaminasyon faktörü delik giriş ve çıkışlarda oluşan maksimum delik çapının, istenilen delik çapına oranı olarak Eş 5.1’de belirtilen formül ile hesaplanmaktadır.

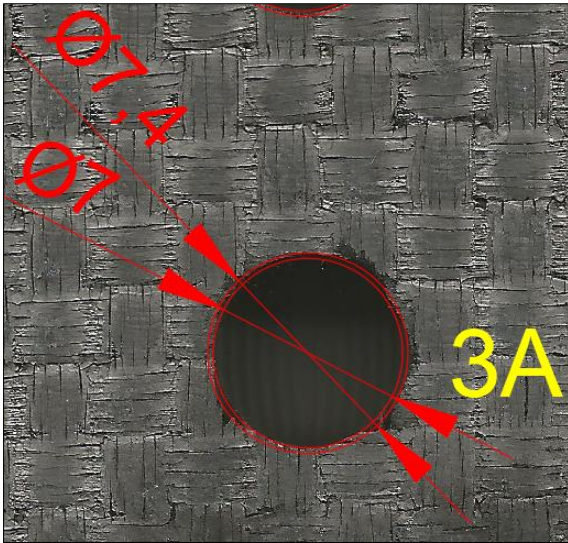


Şekil 5.5. Delaminasyon faktörü [13]

Delaminasyon faktörünün belirlendiği eşitlikte f_d delaminasyon faktörünü, D_{max} oluşan en büyük hasar çapını, D_{nom} istenilen delik çapını (matkap çap değeri) göstermektedir.

$$f_d = \frac{D_{max}}{D_{nom}} \quad (5.1)$$

Al6013/KETPK/Al6013 istifli yapı delme işlemi sonrasında KETPK malzemelerin görüntüleri taranıp Şekil 5.6’da gösterildiği gibi delaminasyon faktörü hesaplanabilmesi için gerekli olan D_{max} değerleri hesaplanmıştır. Bulunan D_{max} değeri Eş. 5.1’den yararlanılarak tespit edilmiştir.



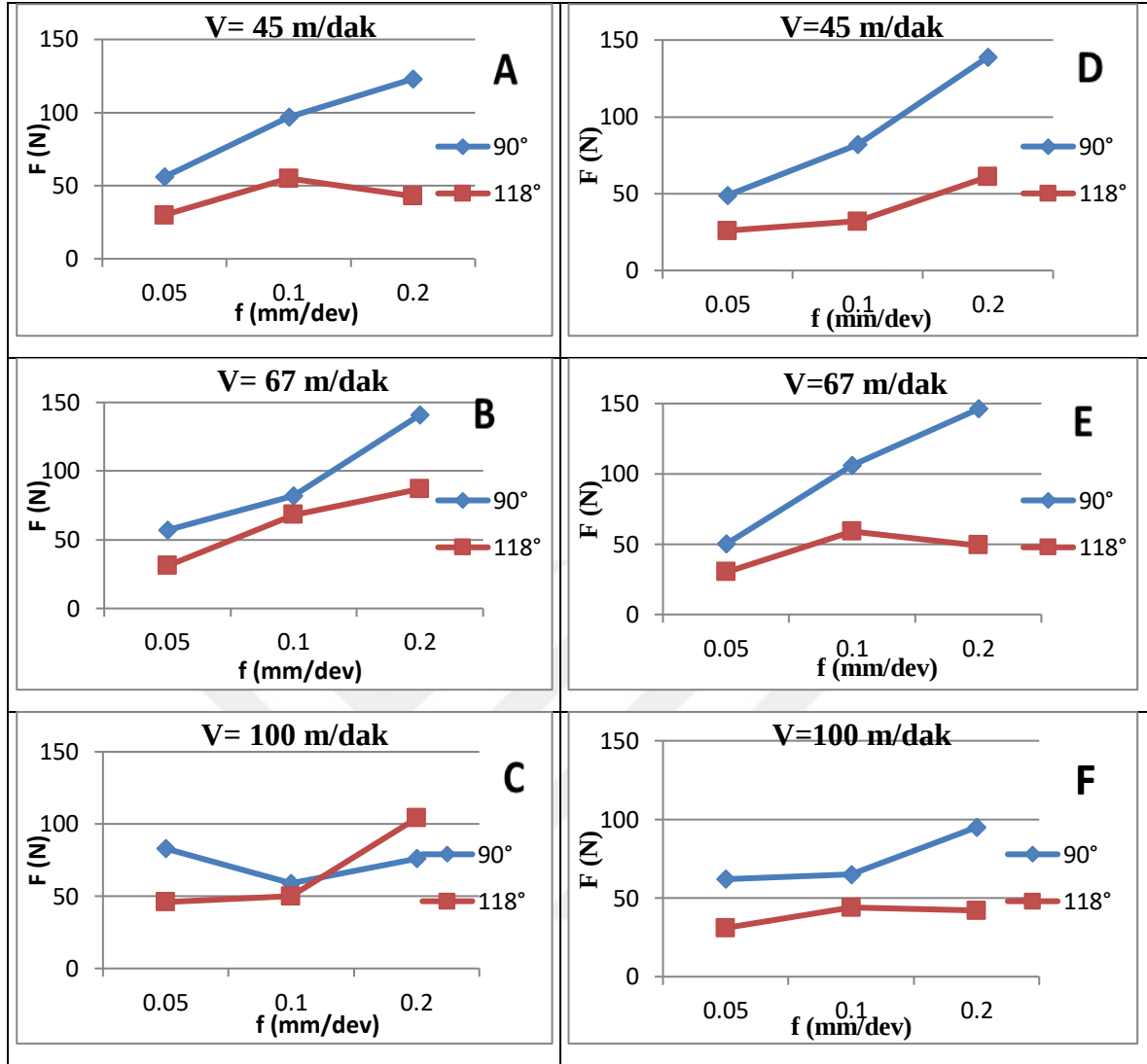
Şekil 5.6. Deneyde kullanılan KETPK malzemenin çıkış delaminasyonu

6. DENEYSEL SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Karbon elyaf takviyeli kompozitlerin istifli delinmesinde delaminasyonun araştırılması isimli bu tezde elde edilen bulgular, sırasıyla itme kuvveti ve momentler, matkap uç ve helis açılarına bağlı delaminasyonlar ve kesme hızlarına bağlı delaminasyonlar başlıkları altında ayrı ayrı sunulmuştur.

6.1. İtme Kuvveti ve Momentler

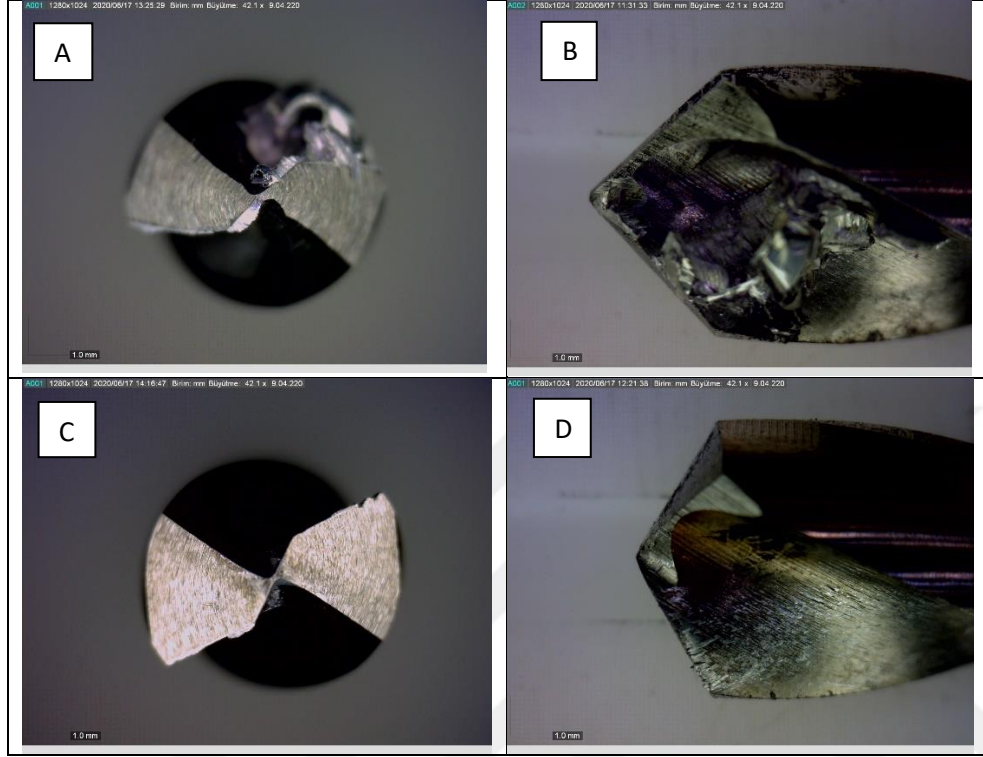
Şekil 6.1’de 90° ve 118° uç açılı ve H1 (15°) VE H2 ($22,5^\circ$) helis açılı matkapla yapılan deneyden üç kesme hızında ilerlemeye bağlı itme kuvvetleri verilmiştir. EK-1’de de matkap helis açılarına bağlı itme kuvveti grafikleri verilmiştir.



Şekil 6.1. 90° ve 118° uç açılı ve H1 (15°) ve H2 (22,5°) helis açılı matkaplarla üç kesme hızında ilerleme oranına bağlı itme kuvvetleri (H1: A,B,C; H2: D,E,F)

Şekil 6.1’de görüldüğü gibi ilerleme oranı arttıkça itme kuvveti artmıştır. Tsao ve Hocheng çalışmalarında itme kuvvetini etkileyen en önemli faktörün ilerleme oranı ve matkap çapı olduğunu belirtmişlerdir [34]. Bunun nedeni, ilerleme oranının artmasıyla iş parçası yüzeyinden kaldırılan talaş kesitinin artmasına bağlamak mümkündür [87-88]. Heisel ve Pfeifroth yaptıkları çalışmada, ilerleme oranının artmasıyla itme kuvvetinde artış olduğunu belirtmişlerdir [89]. Ayrıca genel olarak itme kuvveti, yüksek helis açısında (H2:22,5°) düşük helis açısına (H1:15°) göre daha düşük çıkmıştır. Bununla birlikte büyük uç açısı (118°) ve büyük helis açısında (H2:22,5°) itme kuvvetleri daha az gözlemlenmiştir. Bu her iki durumda da kuvvet üzerinde matkabın açılarının etkili olduğunu söylemek mümkündür. Burada matkap uç açısının etkisi daha net olarak gözükmemektedir. 90° uç açılı matkap ile yapılan deneylerde, 118° uç açılı matkaplarla yapılan deneylere göre itme kuvvetleri daha

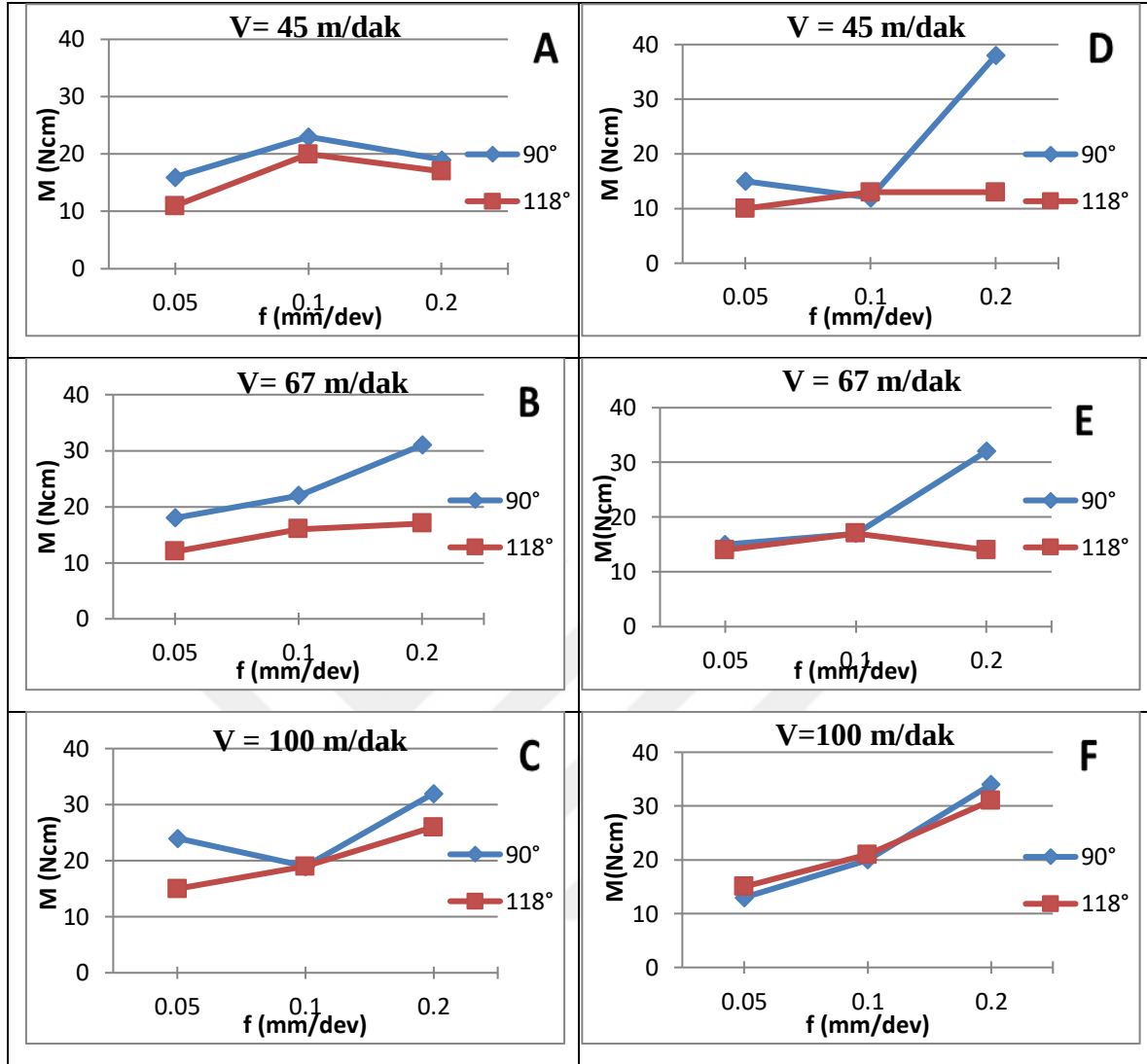
yüksek çıkmıştır. Kuvvet artışıdaki değişikliklerin sebebi helis kanallarına ve matkap ucuna sıvanan Al malzemedan kaynaklandığı düşünülmektedir (Resim 6.1).



Resim 6.1. Matkap uç görüntüleri (A-B: 15° helis açılı ve 90° uç açılı matkap, C-D: 15° helis açılı ve 118° uç açılı matkap)

Fiber takviyeli kompozitlerde delaminasyon itme kuvvetleri ve moment değerleri ile oldukça ilişkilidir [7, 90]. KETPK malzemelerin delinmesi esnasında talaş oluşumunda matris kırılması ve elyaf kopması görülmektedir. Buna bağlı olarak artan kesme hızıyla matris kırılmasının neden olduğu elyaf parçacıkları kesici takım ile iş parçası arasında yeniden kesilmeye maruz bırakılarak artan itme kuvvetine neden olurlar [91-92].

Şekil 6.2’de 90° ve 118° uç açılı, 15°(H1) ve 22,5°(H2) helis açılı matkaplarla yapılan deneylerde üç kesme hızında ilerlemeye bağlı moment değerleri verilmiştir. EK-2’de de matkap helis açılılarına bağlı moment grafikleri verilmiştir.



Şekil 6.2. 90° ve 118° uç açılı 15°(H1) ve 22,5°(H2) helis açılı matkaplarla üç kesme hızında ilerleme oranına bağlı moment değerleri (H1:A,B,C; H2:D,E,F)

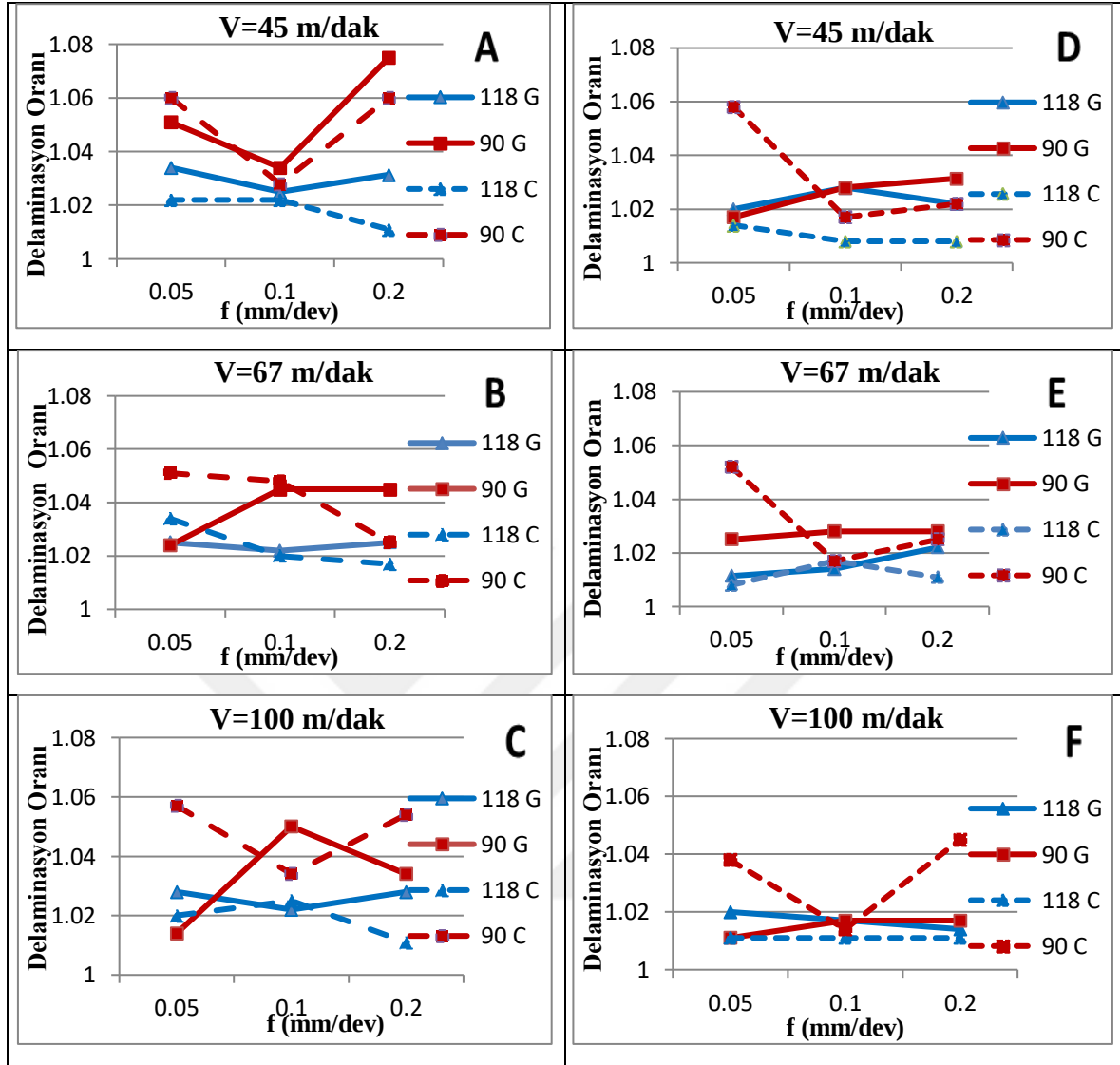
Şekil 6.2’de görüldüğü gibi ilerleme oranının artmasıyla moment değerleri artmıştır [93-94]. Küçük helis açılı matkapla (H1:15°) yapılan deneylerde genel olarak büyük helis açılı (H2:22,5°) matkaplarla yapılan deneylere göre moment daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca kesme hızın moment değerini çok fazla etkilemediği görülmüştür. Zeilmann ve Weingaertner’in yaptığı çalışmada, kesme hızının moment değerini çok fazla etkilemediği, moment değerindeki artışın asıl sebebinin talaş kesitinin artması olduğunu belirtmişlerdir. [95]. Şekil 6.2’de görüldüğü üzere 90° uç açılı matkaplarla yapılan deneylerde moment değeri 118° uç açılı matkaplarla yapılan deneylere göre daha yüksek çıkmıştır. Birçok çalışmada kesme parametreleri sabitken itme kuvveti ve moment değerlerinin artmasıyla delaminasyon arttığı belirtilmiştir [96-98].

6.2. Matkap Uç Açısı ve Helis Açısına Bağlı Delaminasyonlar

Şekil 6.3’de, 90° ve 118° uç açılı, 15° (H1) ve $22,5^\circ$ (H2) helis açılı matkaplarla yapılan deneylerde üç kesme hızında ilerleme oranına bağlı delik giriş ve çıkışlarındaki delaminasyon oranları verilmiştir. EK-3’te de matkap helis açılarına ilerleme oranına bağlı delaminasyon grafikleri verilmiştir.

Karbon elyaf takviyeli polimer kompozitlerin istifli delinme işlemleri delaminasyonu azaltmakla beraber istif malzemesi olarak metal esaslı malzemelerin kullanılması metal talaş oluşumu ve sıvanmasını neden olarak karbon fiber tabakaya zarar vermektedir [99-101].





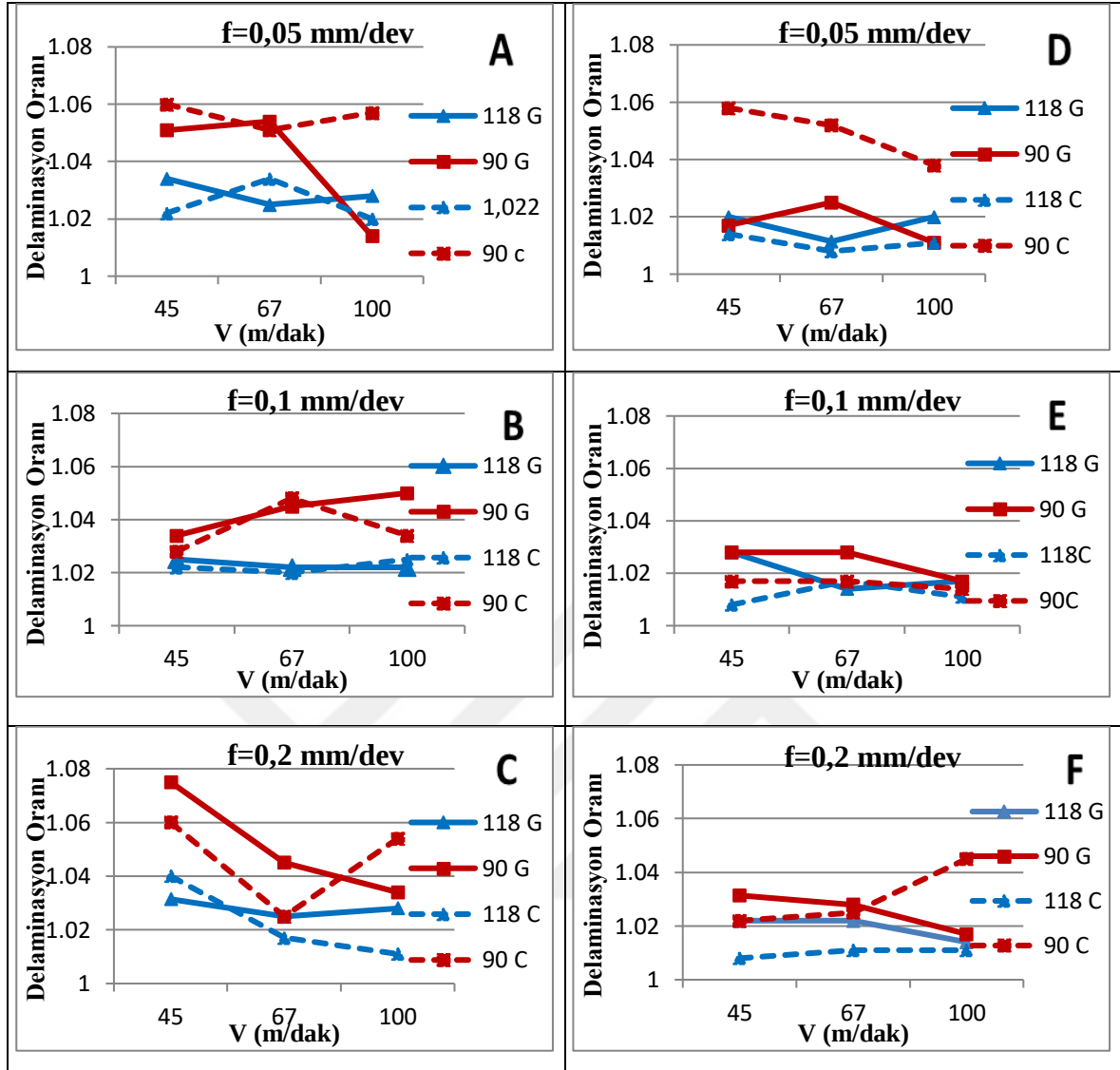
Şekil 6.3. 90° ve 118° uç açılı, 15° (H1) ve $22,5^\circ$ (H2) helis açılı matkaplarla üç kesme hızında ilerleme oranına bağlı delaminasyon oranları (H1:A,B,C; H2:D,E,F)

Şekil 6.3'te görüldüğü gibi 90° uç açılı matkaplarla yapılan deneylerde 118° uç açılı matkaplara nazaran delaminasyon oranları daha yüksek çıkmıştır. Delik delme işleminde matkap uç açısı değiştikçe itme kuvvetinin yönü de değiştirmektedir. Bu durum kesme bölgesinde deformasyonun yönünü değiştirir. Daha büyük uç açılı matkaplarla yapılan deneylerde deformasyon yönü stabil olan alt plakaya doğru iken uç açısı küçüldükçe yön, daha az stabil olan KETPK malzemeye yönelmektedir. Uç açısı büyük olan matkaplardaki delaminasyon oranının az olması bu duruma bağlanabilir [30]. Ayrıca giriş delaminasyon oranları çıkış delaminasyon oranlarına göre daha fazla çıkmıştır. Bunun sebebi de KETPK malzeme girişinde ve çıkışında matkabın ilerleme yönünde alt zemindeki malzemenin yapısı ve stabil oluşu ile alakalı olduğu düşünülmektedir. Kuvvetler girişte KETPK

malzeme üzerine çıkışta Al6013 malzeme üzerine gelmektedir. Bu iki malzemenin yapısal özellikleri delaminasyon oranlarında farklılığa sebep olmuştur. Şekil 6.3'te görüldüğü gibi küçük helis açılı ($H1=15^0$) matkaplarda oluşan delaminasyon oranı helis açısı büyük olan ($H2=22,5^0$) matkaplara göre daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi istifli yapının delinmesinde alüminyum ve kompozit talaşlarının ısınmasıyla delik yüzeyine yapışması ve talaş tahliyesi sırasında koparak uzaklaşması olarak değerlendirilmiştir [44]. İlerleme oranının artmasıyla beraber delaminasyon oranının arttığı gözlemlenmiştir. İlerleme oranının artması ile itme kuvvetinin arttığı, dolayısı ile delaminasyon oranının arttığı söylenebilir [17, 92, 103]. Genelde yüksek ilerleme oranında ısının artması nedeni ile BUE oluşur. Bunun da yüksek takım aşınmasına dolayısıyla da delaminasyon oranının artmasına neden olur [14].

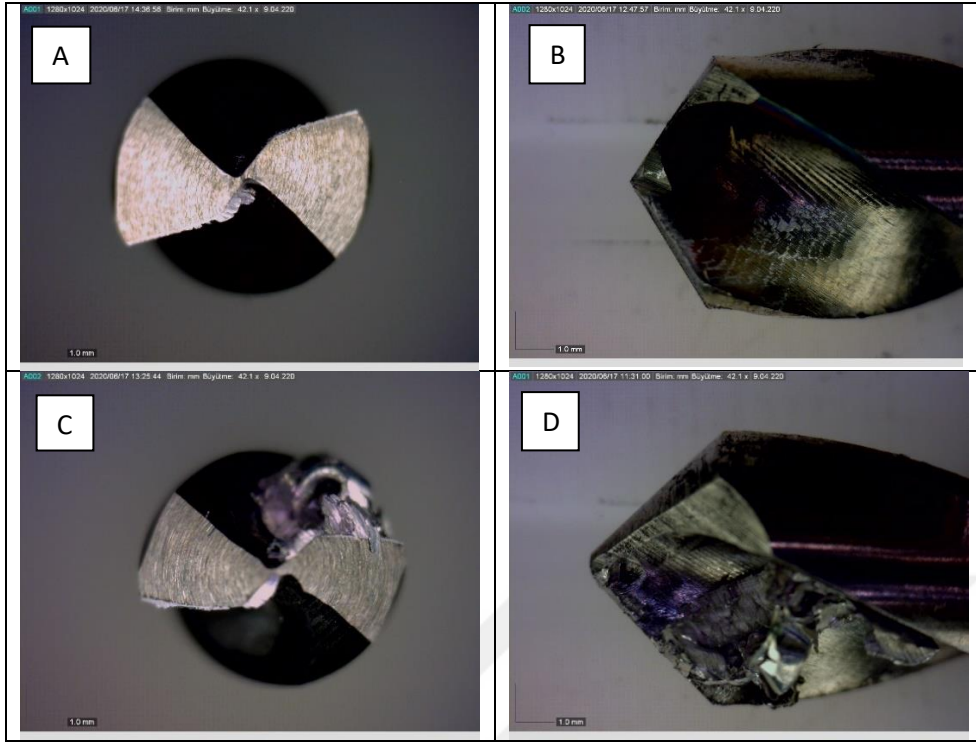
6.3. Kesme Hızına Bağlı Delaminasyonlar

Şekil 6.4'te, 90^0 ve 118^0 uç açılı, $15^0(H1)$ ve $22,5^0(H2)$ helis açılı matkaplarla yapılan deneylerde üç ilerleme oranında kesme hızına bağlı delik giriş ve çıkışlarındaki delaminasyon oranları verilmiştir. EK-4'te de matkap helis açılına kesme hızına bağlı delaminasyon grafikleri verilmiştir.



Şekil 6.4. 90° ve 118° uç açılı, 15° (H1) ve $22,5^\circ$ (H2) helis açılı matkapla üç ilerleme oranında kesme hızına bağlı delaminasyon oranları (H1:A,B,C; H2:D,E,F)

Şekil 6.4'te görüldüğü gibi delaminasyon oranları genel olarak kesme hızının artması ile azalma eğilimi göstermiştir. Kesme hızının artması kesme kuvvetlerini azalttığı ve dolayısı ile delaminasyonun azaldığı söylenebilir [17,99-100,103]. Bu durumu, kesme bölgesinde kesme hızına bağlı olarak artan sıcaklığın matris fazında yumuşamaya ve bunun da kesme işlemini kolaylaştırmasına bağlamak mümkündür [14].



Resim 6.2. Matkap uç görüntüleri (A-B: 100 m/dak ve 0,05mm/dev, C-D: 45 m/dak ve 0,05 mm/dev)

Ayrıca, kesme hızının artması ile delaminasyon oranının azalmasını, kesme hızının artması ile metal talaş sıvanması (BUE) eğiliminin azalmasına bağlamak mümkündür (Resim 6.2). Resim 6.2. c ve d’de gösterilen düşük hızlardaki BUE delaminasyonu artırmıştır.

Bu çalışmada ideal delaminasyon oranı 118° uç açılı, $22,5^\circ$ helis açılı matkaplarla, en yüksek kesme hızı 100 m/dak ve en düşük ilerleme oranı 0,05 mm/dev’de elde edilmiştir (Şekil 6.3 (F)). En kötü delaminasyon oranı ise 90° uç açılı, 15° helis açılı matkaplarla, en düşük kesme hızı 45 m/dak ve en yüksek ilerleme oranı 0,2 mm/dev’de elde edilmiştir (Şekil 6.3 (A)).



7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Karbon elyaf takviyeli polimer malzemenin istifli delinmesinde delik giriş ve çıkışlardaki delaminasyonların araştırıldığı bu çalışmada elde edilen sonuçlar genel olarak aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Genel olarak 118° uç açılı ve $22,5^\circ$ helis açılı matkaplarla yapılan deneylerde delaminasyon oranı, 90° uç açılı ve 15° helis açılı matkaplarla yapılan deneylere göre daha düşük çıkmıştır. Düşük uç açısı ve düşük helis açısı delaminasyonu arttırmıştır.
- Kesme hızının artması ile delaminasyon oranının azalması ve ilerleme oranının artması ile delaminasyon oranının arttığı görülmüştür.
- Karbon elyaf takviyeli kompozit malzemenin çıkışında alt zemindeki Al6013 malzemenin yapısı ve stabil olması sebebi ile delik çıkışlarındaki delaminasyon oranları delik girişlerindeki delaminasyon oranlarından daha az olduğu görülmüştür.
- İlerleme oranının artması itme kuvvetlerinin ve momentlerin arttırdığı görülmüştür. Bu durumun da delaminasyonu attırdığı görülmüştür.
- Deneylerde kullanılan matkapların kesici kenarlarında oluşan metal talaş sıvanmasının delaminasyonu arttırdığı görülmüştür.
- Kesme hızının artması ile metal talaş sıvanması eğiliminin azaldığı bu da delaminasyon oranının azalmasını sağladığı görülmüştür
- Karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin istifli delme işlemlerinde delaminasyon oranları azalmakta beraber istif malzemesi olarak metal esaslı malzeme kullanılması metal talaş oluşumu ve sıvanmasının karbon fiber malzemeye zarar verdiği görülmüştür.
- İdeal delaminasyon oranı 118° uç açılı, $22,5^\circ$ (H2) helis açılı matkaplarla, en yüksek kesme hızı 100 m/dak'da ve en düşük ilerleme oranı 0,05 mm/dev'de elde edilmiştir.
- En kötü delaminasyon oranının 90° uç açılı matkaplarla en düşük kesme hızı 45 m/dak'da yapılan deneylerde ortaya çıkmıştır.

Bu çalışma neticesinde aşağıdaki öneriler yapılabilir;

- İstif malzemesi Al haricinde sıvanma özelliği daha az olan malzemeler tercih edilebilir.
- İstif malzemesini delerken farklı, kompozit malzemeyi delerken farklı kesme parametreleri denenebilir.



KAYNAKLAR

1. Bayraktar, Ş. (2011). *Karbon Elyaf Takviyeli Polimer Kompozit Malzemelerin Frezeleme İşleminde İşlenebilirliğinin Deneysel Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 20-29.
2. Okutan, E. (2009). *Polimer Kompozitlerin Matkapla Delinme Karakteristiklerinin ve Oluşan Mekanizmalarının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 8-18.
3. Canpolat, N. (2008). *Değişik Takviyeli Kompozit Malzemelerin Matkapla Delinebilirliğinin ve Yüzey Pürüzlülüğünün Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 7-13.
4. Demirel, A. (2007). *Karbon Elyaf Takviyeli Epoksi Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 3-20.
5. Soutis C. (2005). Fibre reinforced composites in aircraft construction. *Progress in Aerospace Sciences*, 41(2), 143-151.
6. Bayraktar, Ş., ve Turgut, Y. (2020). Determination of delamination in drilling of carbon fiber reinforced carbon matrix composites/Al 6013-T651 stacks. *Measurement*, 154.
7. Bayraktar, Ş., ve Siyambaş, Y., ve Turgut, Y. (2017). Delik delme prosesi: bir araştırma. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 120-130.
8. Bayraktar, Ş., ve Turgut, Y. (2012, 04-05 Ekim). *Elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin delinmesi üzerine bir araştırma*. 3.Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumunda sunuldu, Ankara.
9. Xu, J., and Manosi, M.E. (2016). Experimental study on drilling mechanisms and strategies of hybrid CFRT/Ti stacks. *Composite Structures*, 157, 461-482.
10. Zitoun, R., Krishnaraj, V., Collombet, F., and Roux, L.S. (2016). Experimental and numerical analysis on drilling of carbon fibre reinforced plastic and aluminium stacks. *Compsite Structures*, 146, 148-158.
11. Ashrafi, S.A., Sharif, S., Farid, A.A., and Yahya, M.Y. (2014). Performance evaluation of carbide tools in drilling CFRP-Al Stacks. *Journal of Composite Materials*, 48(17), 2071-2084.
12. Qi, Z., Zhang, K., Li, Y., Liu, S., and Cheng, H. (2014). Critical thrust force predicting modeling delamination-free drilling of metal-FRP stacks. *Compsite Structures*, 107, 604-609.
13. Bayraktar, Ş. (2018). Elyaf Takviyeli Polimer Kompozit Malzemelerin Farklı Delme Yöntemleri İle Delinmesinde Kesme Performansının Değerlendirilmesi: Literaür Taraması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(2), 629-647.

14. Karnik, S.R., Gaitonde, V.N., Rudio, J.C., Correia, A.E., Abrao, A.M., and Davim, J.P. (2008). Delamination analysis in high speed drilling of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) using artificial neural network model. *Materials and Design*, 29 (9), 1768-1776.
15. Hocheng, H., and Tsao, C.C. (2006). Effects of special drill bits on drilling-induced delamination of composite materials. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46 (12-13), 1403-1416.
16. Gaitonde, V.N., Karnik, S.R., Campos, R.J., Esteves, C.A., Abroa, A.M., and Paulo, D.J. (2008). Analysis of parametric influence on delamination in high- speed drilling of carbon fiber reinforced plastic composites. *Journal Materials Processing Technology*, 203 (1-3), 431-438.
17. Durao, L.M.P., Gonçalves, D.J.S., Tavares, J.M.R., Albuquerque, V.H.C., Vieira, A.A., and Marques, A.T. (2010). Drilling tool geometry evaluation for reinforced composite laminates. *Composite Structures*, 92 (7), 1545-1550.
18. Isbilir, O., and Ghassemieh, E. (2013). Comparative study of tool life and hole quality in drilling of CFRP/Titanium stack using coated carbide drill. *Machining Science and Technology*, 17 (3), 380-409.
19. Brinksmeier, E., and 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.
20. Shyha, I., Soo, S.L., Aspinwall, D.K., Bradley, S., Dawson, S., and Pretorius, C.J. (2010). Drilling of Titanium/CFRP/Aluminium stacks. *Key Engineering Materials*, 447-448, 624-633.
21. Denka, B., Boehnke, D., and Dege, J.H. (2008). Helical milling of CFRP-titanium layer compounds. *CIRP Journal Manufacturing Science Technology*, 1(2), 64-69.
22. Xu, J., Mkaddem, A., and Mansori, E.M. (2016). Recent advances in drilling hybrid FRP/Ti composite: A state-of-the-art review. *Composite. Structures*, 135(1), 316-338.
23. Kuş, A., ve Ekici, E. (2017). Sandviç kompozitlerin delinmesinde delaminasyon faktörünün incelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 22(3), 153-162.
24. Ekici, E., ve Işık, B. (2009). Cam elyaf takviyeli polimer kompozit malzemenin delinmesi esnasında oluşan yüzey hasarının deneysel olarak incelenmesi. 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, 1-6.
25. Karaca, F. (2016). Cam elyaf takviyeli plastik kompozitlerde delme parametrelerinin deformasyon faktörüne etkisinin araştırılması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28(2), 23-27.
26. Kılıçkap E. (2010). CETP kompozitlerin delinmesinde oluşan deformasyona delme parametrelerinin etkisinin incelenmesi. 2. *Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, 77.

27. Bilge, T., Motorcu, A.R., ve Ivanov, A. (2017). Kompakt lamine kompozit malzemenin tungsten karbür takımla delinmesinde delaminasyon faktörünün değerlendirilmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(4), 427-436.
28. Velaga, M., and Cadambi, R. H. (2017). Drilling of GFRP composites for minimising delamination effect. *Science Direct*, 4, 11229-11236.
29. Rajamurugan, T.V., Shanmugan, K., and Palanikumar, K. (2013). Analysis of delamination in drilling glass fiber reinforced polyester composites. *Materials and Design*, 45, 80–87.
30. Park, S. Y., Choi, W.J., Choi, C.H., and Choi, H.S. (2017). Effect of drilling parameters on hole quality and delamination of hybrid glare laminate. *Composite Structures*, 185, 684-698.
31. Mohan, N.S., Kulkarni, S.M., and Ramachandra, A. (2006). Delamination analysis in drilling process of glass fiber reinforced plastic (GFRP) composite materials. *Journal of Materials Processing Technology*, 186, 265-271.
32. Priarone, P.C., Robiglio, M., Melentiev, R., and Settineri, L. (2017). Diamond drilling of carbon fiber reinforced polymers: Influence of tool grit size and process parameters on workpiece delamination. *Procedia CIRP*, 66, 181-186.
33. Shyha, I.S., Soo, S.L., Aspinwall, D.K., Bradley, S., Perry, R., Harden, P., and Dawson, S. (2011). Hole quality assessment following drilling of metallic-composite stacks. *International Journal Machine Tools Manufacture*, 51(7), 569-578.
34. Tsao, C.C., and Hocheng, H. (2005). Effect of eccentricity of twist drill and candle drill on delamination in drilling of composite material. *International Journal Machine Tools Manufacture*, 45 (2), 125-130.
35. Khashaba, U. (2004). Delamination in drilling GFR-thermoset composites. *Composite Structures*, 63 (3-4), 313-327.
36. Liu, D.F., Tang, Y.J., and Cong, W.L. (2012). A review of mechanical drilling for composite laminates. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 94(4), 1265-1279.
37. Ramulu, M., Branson, T., and Kim, D. (2001). A study on the drilling of composite and titanium stacks. *Composite Structures*, 54, 67-77.
38. Davim, J.P., and Reis, P. (2003). Study of delamination in drilling carbon fiber reinforced plastics (CFRP) using design experiments. *Composite Structures*, 59, 481-487.
39. Kim, D., and Ramulu, M. (2004). Drilling process optimization for graphite/bismaleimide–titanium alloy stacks. *Composite Structures*, 63, 101-114.
40. Zitoune, R., Krishnaraj, V., and Collombet, F. (2010). Study of drilling of composite material and aluminium stack, *Composite Structures*, 92, 1246-1255.

41. Poutorda, A., Rossia, F., Poulachona, G., M'Saoubib, R., and Abrivardc, G. (2013). Local approach of wear in drilling Ti6Al4V/CFRP for stack modelling. *Procedia CIRP*, 8, 316-321.
42. Kim, D., Ramulu, M., and Pedersen, W. (2005). Machinability of titanium/graphite hybrid composites in drilling. *Transactions of the North American Manufacturing Research Institute of SME*, 33, 445-452.
43. Wang, C.Y., Chen, Y.H., An, Q.L., Cai, X.J., Ming, W.W., and Ming, C. (2015). Drilling Temperature and Hole Quality in Drilling of CFRP/Aluminum Stacks Using Diamond Coated Drill. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 16, 1689-1697.
44. Zhang, L., Liu, Z., Tia, W., and Liao, W. (2015). Experimental studies on the performance of different structure tools in drilling CFRP/Al alloy stacks. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 81, 241-251.
45. Lin, S.C., and Chen, I.K. (1996). Drilling carbon fiber-reinforced composite material at high speed. *Wear*, 194, 156-162.
46. Zitoune, R., and Collombet, F. (2007). Numerical prediction of the thrust force responsible of delamination during the drilling of the long-fibre composite structures. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 38, 858–866.
47. Parka, K.H., Bealb, A., Kimb, D., Kwonc, P., and Lantripd, J. (2011). Tool wear in drilling of composite/titanium stacks using carbide and polycrystalline diamond tools. *Wear*, 271, 2826– 2835.
48. Marques, A.T., Durão, L.M., Magalhães, A.G., Silva, J.F., and Tavares, J.M. (2009). Delamination analysis of carbon fibre reinforced laminates: Evaluation of a special step drill. *Composites Science and Technology*, 69, 2376–2382.
49. Chen, W.C. (1997). Some experimental investigations in the drilling of carbon fiber-reinforced plastic (CFRP) composite laminates. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 37(8), 1097-1108.
50. Rahman, M., Ramakrishna, S., Prakash, J.R.S., and Tan, D.C.G. (1999). Machinability study of carbon fiber reinforced composite. *Journal of Materials Processing Technology*, 89–90, 292–297.
51. Erbay, K. (2009). *Silah Gövdeleri İçin Polimer Esaslı Kompozit Malzeme Üretimi Ve Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2-19.
52. Bulut, M. (2014). *Türkiyede Kompozit Malzeme Üretimi Ve Kompozit Malzeme Sektörünün Genel Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Bitirme Projesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 7-20.
53. Mattheys, F. L., and Rawlings, R. D. (Editörler). (1999). *Composite Materials: Engineering and Science*, Woodhead Publishing Limited, 1-8.

54. Asi, D. (2018). *Polimer Matrisli Kompozit Malzemelerde İlave Olarak Kullanılan Parçacıkların Geometrisinin Kompozit Malzemelerin Fiziksel Ve Mekaniksel Özelliklerine Etkisinin Araştırılması*, Doktora Tezi, Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uşak, 13-31.
55. Özer, H. (2015). *Sürekli Cam Elyaf Takviyeli Termoplastik Kompozit Malzemelerin Geliştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 10-37.
56. Sur, G. (2002). *Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Üretimi ve İşlenebilirliğinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-40.
57. Toptaş, E. (2015). *Sürekli Karbon Elyaf Takviyeli Kompozit İmalatında Ön Gerilmeden Kaynaklanan Mukavemet Kaybının İncelenmesi*, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 11-28.
58. Albayrak, O. (2019). *Cam Ve Karbon Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Farklı İstifleme Şekillerine Göre Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 8-19.
59. Uçak, Y.M. (2018). *Tabakalı Karbon Elyaf Kompozit Malzemelerde Nano Boyutta SiC, NiO, Kil Ve Karbon Tüp Partikül Katkılarının Mekanik Özelliklere Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 14-19.
60. İlik, Z. (2018). *Bioliflerden Üretilmiş Atık Tekstil Kumaşların, Kompozit Malzemelerde Takviye Elamanı Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 6-8.
61. Güneş, D. (2019). *Tek Yönlü Ve Çift Eksenli Karbon Elyaf Takviyeli Polyester Reçine Matrisli Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 20-21.
62. Karaca, H. (2018). *Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışına Asidik Ortamın Etkisi Ve Taguchi Metoduyla Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 3.
63. Deniz, M. E. (2005). *Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri ve Isıl İşlemlerle Presleme Tekniğini Kullanarak Kompozit Malzeme Üretecek Bir Düzeneğin Tasarım ve İmalatı*, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 36.
64. Tanboğa, B. (2007). *Darbe Altındaki Elyaf Takviyeli Kompozit Tüpün Sonlu Elemanlar Modellemesi İle İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 11-13.
65. Kurt, H. (2010). *Alüminyum-Alümina Kompozit Malzeme Üretiminde Karıştırma Tekniğinin Kompozitin Aşınma Davranışı Üzerine Etkilerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 6.

66. Çolak, M. (2019). *Nano Kompozit Ve Hibrit Kompozitlerin Üretim Ve Deneyleri Sırasında İnsan Sağlığını Etkileyen Riskler İle Alınması Gereken İş Sağlığı Ve Güvenliği Tedbirlerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Gaziantep, 12.
67. Bayraktar, Ş., ve Turgut, Y. (2013, 29-31 Mayıs). *Elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin talaşlı şekillendirilebilirliği*. 1. Uluslararası Plastik ve Kauçuk Sempozyumu ve Ürün Sergisinde sunuldu, Ankara.
68. Yenigün, B. (2018). *Elyaf Takviyeli Kompozitlerin Delinmesinde Delme Parametrelerinin Mekanik Özellikler Üzerine Etkilerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman, 15-21.
69. Üstün, T. (2019). *Delik Delmede Farklı Delme Uygulamalarının Takım Performansı Ve İşleme Ekonomisi Açısından Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 17-40.
70. Talaşlı İmalat İşlemleri ve Makineleri Tesviyecilik. (2006). *EMO-Makine Market Dergisi*.
71. Kuzu, A.T. (2016). *Kompakt Grafitli Dökme Demirin Delik Delme İşleminin İncelenmesi Ve Sıcaklık Modelinin Oluşturulması*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 11-12.
72. Avuncan, G. (1998). *Talaş Kaldırma Ekonomisi ve Kesici Takımlar*, İstanbul: Makine Takım Endüstrisi A.Ş.
73. Tonshoff, H. L., Spintig, W., Neises, A., and Konig, W. (1994). Machining of Holes Developments in Drilling Techonolgy. *Annals of the CIRP*, 43.
74. Akkurt, M. (1998). *Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları*. İstanbul: Birsan Yayınevi, 340.
75. Yaman, K., Bıçakçı, N., ve Özgedik, A. (2017). Matkap boyunun delik toleranslarına etkisinin incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 20 (4), 765-775.
76. Kurt, M., Kaynak, Y., and Bağcı, E. (2008). Evaluation of Drilled Hole Quality in Al 2024 Alloy. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 37, 1051-1060.
77. Sahin, Y. (2000). *Talas Kaldırma Prensipleri I*. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım, 400.
78. Byers, J.P. (2006). *Metalworking Fluids*. (İkinci Baskı). New York: Taylor & Francis, 104-105.
79. Akben, U. (2009). *Minimum Miktarda Yağlama (MMY) ile Kesmenin Takım Aşınması ve Yüzey Pürüzlüğüne Etkilerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 29-35.
80. Batman, Ö. (2019). *2011-T6 Alüminyum Alaşımının Delik Delme İşleminde Kesme Parametrelerinin Delik Kalitesi Üzerine Etkilerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 30-39.

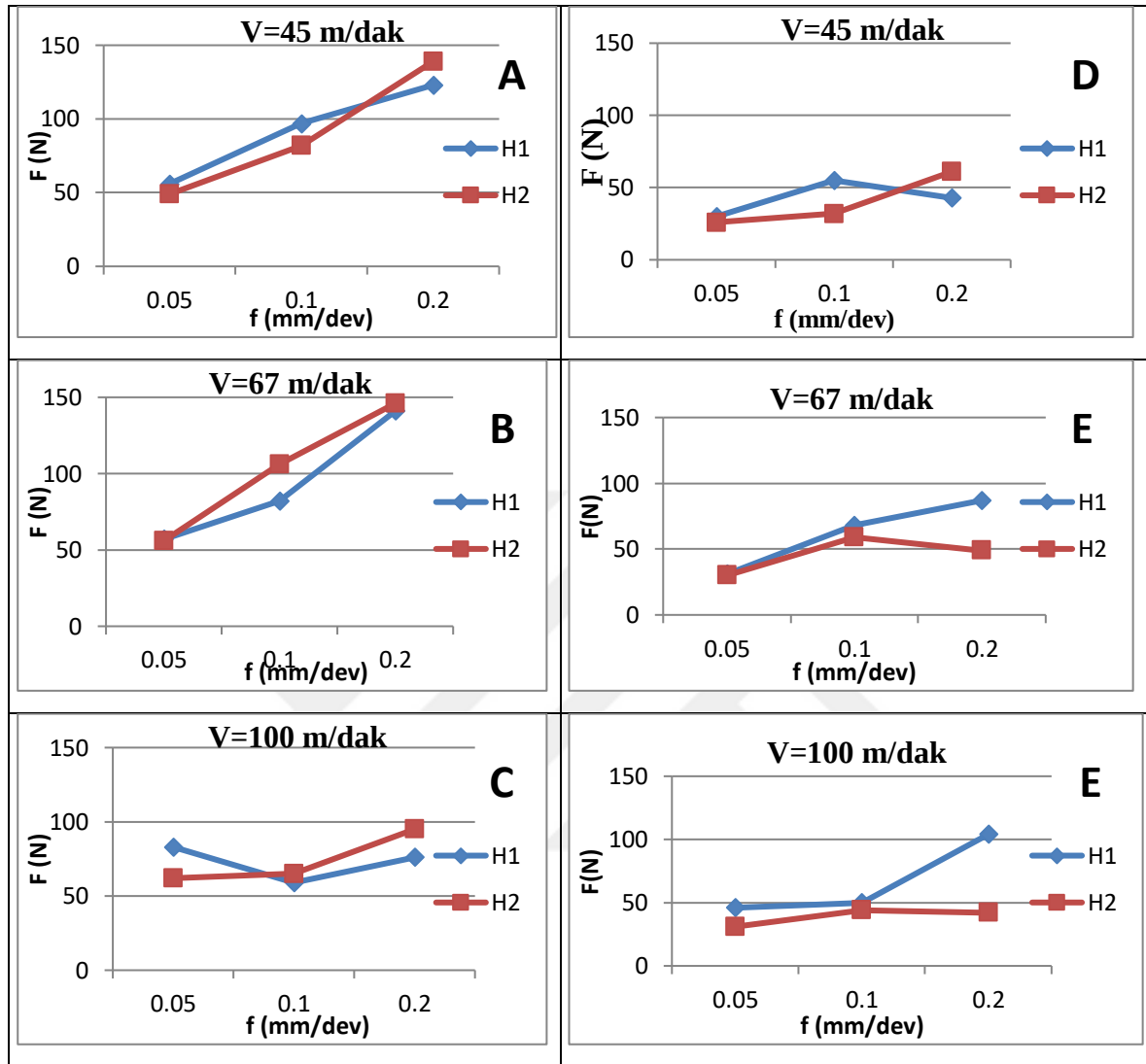
81. Mendi, F. (2000). *Takım Tezgahları Teori ve Hesapları*. Ankara: Gazi Kitapevi, 300.
82. Kaynak, Y. (2006). *Matkap İle Delik Delme Esnasında Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvveti Ve Sıcaklığın Değişimine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 20-34.
83. Yüksel, T. (2018). *DIN 1.2312 Kalıp Çeliğinin Delinmesinde Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 28-30.
84. Çakır, M. C. (2000). *Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri*. Bursa: Vipaş A.Ş.
85. Çakır, A. (2015). *AA 7075 Ve AA 2024 Alüminyum Malzemelerine Delik Delinmesinde Soğutma Yöntemlerinin İşleme Performansına Etkilerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 22-25.
86. Erman, A. (2019). *Karbon Fiber Takviyeli Polimer Kompozit (CFRP) İle Alüminyum Alaşımının (Al 7075) İstiflenmiş Halde Delinebilirlik Özelliklerinin Araştırılması*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 65-77.
87. Antonialli, A.I.S., Diniz, A.E., and Pederiva, R. (2010). Vibration analysis of cutting force in titanium alloy milling. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 50(1), 65-74.
88. Korkut, I., Yavuz, K., and Turgut, Y. (2009). An experimental investigation into the machinability of GGG-70 grade spheroidal graphite cast iron. *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, 16(2), 116-122.
89. Heisel, U., and Pfeifroth, T. (2012). Influence of point angle on drill hole quality and machining forces when drilling CFRP. *Procedia CIRP*, (1), 471-476.
90. Miguel, P.D.L., Manuel, T.J., Hugo, A. V., Filipe, M.J., and Oscar, A. (2014). Drilling Damage in Composite Material. *Materials*, (7), 3802-3819.
91. Perez, J.L.M., Royer, R., Soberanis, S. A., and Hodzic, E.A. (2015). On the temperatures developed in CFRP drilling using uncoated WC-Co tools part I: workpiece constituents, cutting speed and heat dissipation. *Composite Structures*, (123), 161–168.
92. Yaşar, N., and 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), 150.
93. Wang, L.P., Wang, L.J., He, Y.H., and Yang, Z.J. (1998). Prediction and computer simulation of dynamic thrust and torque in vibration drilling. *Proceedings Institution of Mechanical Engineers (Part B) Journal of Engineering Manufacture*, 212(6), 489-497.
94. Wang, L.P., Wang, J.S., Ye, P.Q., and Wang, L.J. (2001). A theoretical and experimental investigation of thrust and torque in vibration microdrilling. *Proceedings Institution of Mechanical Engineers (Part B) Journal of Engineering Manufacture*, 215(11), 1539-1548.

95. Zeilmann, R.P., and Weingaertner, W.L. (2006). Analysis of temperature during drilling of TiAl4V with minimal quantity of lubricant. *Journal of Materials Processing Technology*, 179(1-3), 124-127.
96. Hocheng, H., and Puw, H. (1992). On drilling characteristics of fibre-reinforced thermoset and thermoplastics. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 32(4), 583-592.
97. Chen, W. (1997). Some experimental investigations in the drilling of carbon fibre-reinforced plastic(CFRP) composite laminates. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 37(8), 1097-1108.
98. Hocheng, H., Puw, H., and Yao, K. (1992, 1-5 Kasım). *Experimental aspects of drilling of some fibre reinforced plastics*. The Machining of Composite Materials Sempozyumunda sunuldu. Chicago Illinois: ASM Materials week, 1992, 127-138.
99. Pecat, O., and Brinksmeier, E. (2014). Low damage drilling of CFRP/ Titanium compound materials for fastening. *Procedia CIRP*, (13), 1-7.
100. Wang, X., Kwon, P.Y., Sturtevant, C., Kim, D., and Lantrip, J. (2013). Tool wear of coated drills in drilling CFRP. *J Manuf Process*, (15), 127-135.
101. Aydın, E. (2019). CFRP/Al istifli delmede matkap uç açısının itme kuvveti (Fz) ve takım aşınması üzerine etkilerinin araştırılması. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(3), 1574-1583.
102. Basmacı, G., ve Yörük, A.S. (2020). Karbon Fiber Takviyeli Kompozit Malzemenin Kuru ve Kriyojenik Şartlarda Delinebilirliğinin Deneysel Araştırılması. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(2), 164-175.
103. Ismail, S.O., Dhakal, H.N., Popov, I. and Beaugrand, J. (2016). Comprehensive study on machinability of sustainable and conventional fibre reinforced polymer composites. *Engineering Science and Technology an International Journal*, 19 (4), 2043-2052.



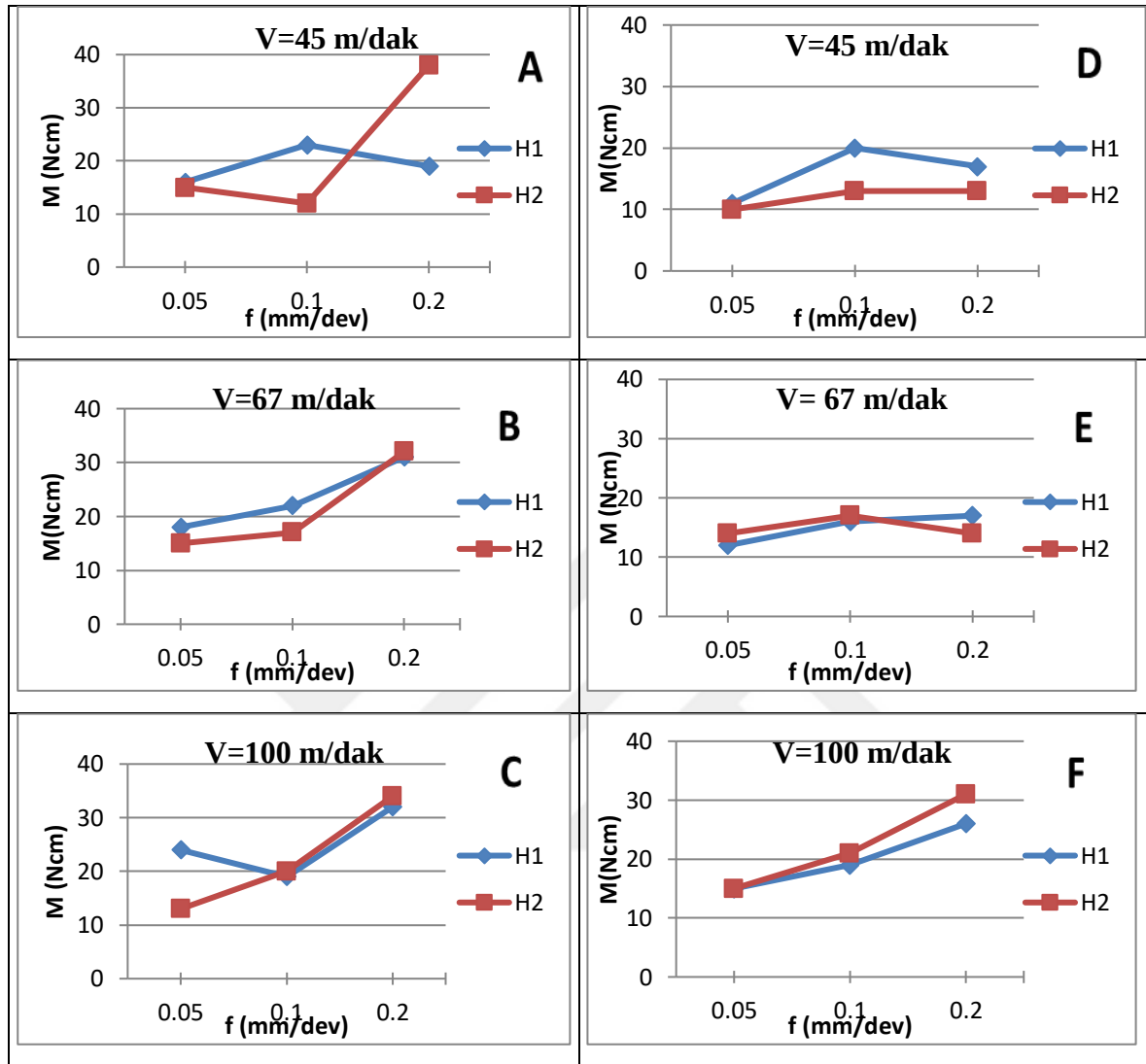
EKLER

EK-1. Matkap helis açısı ilerleme oranına bağlı itme kuvveti grafikleri



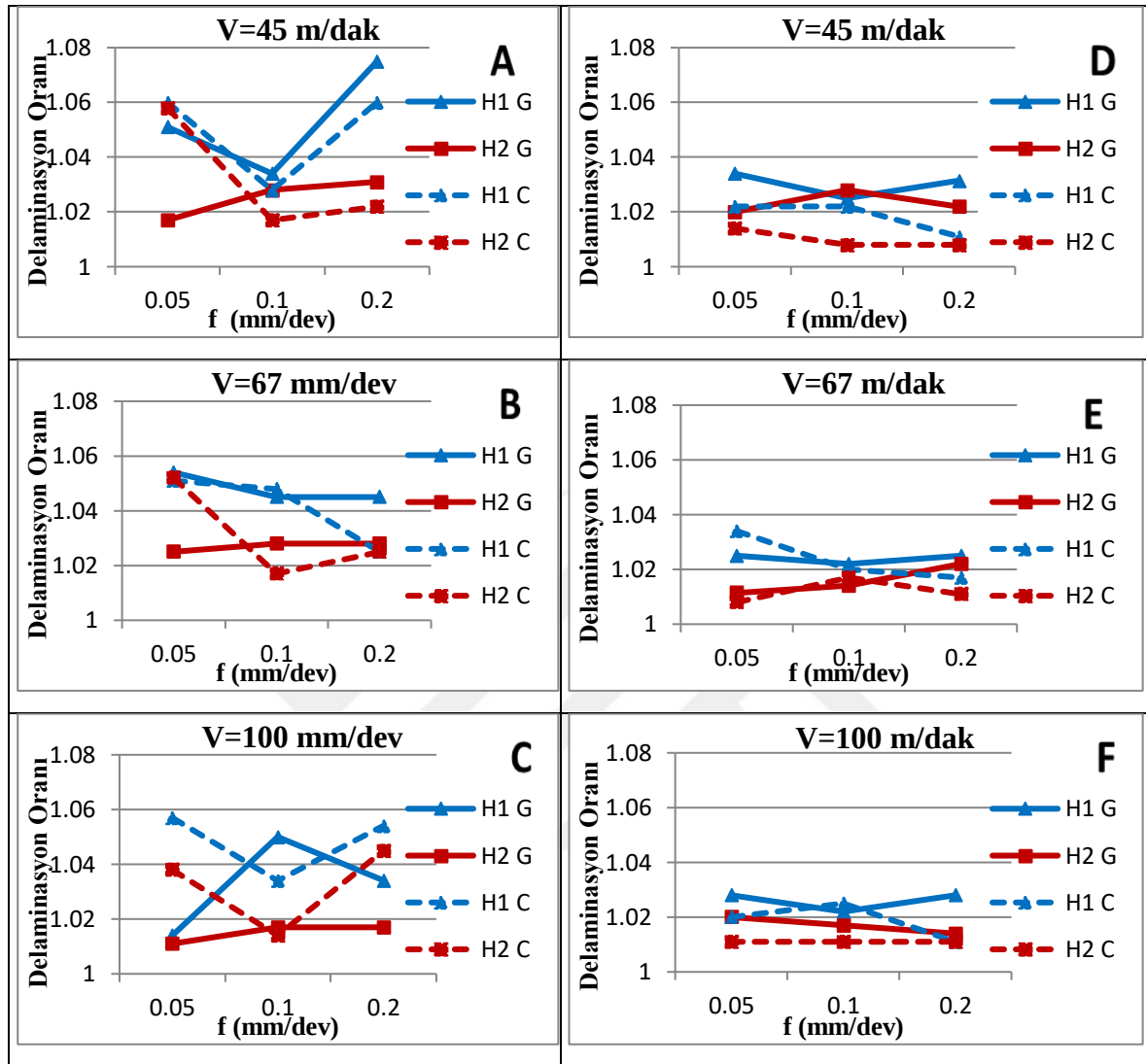
Şekil 1.1. 90° ve 118° uç açılı, 15° (H1) ve 22,5° (H2) helis açılı matkaplarla üç kesme hızında ilerleme oranına bağlı itme kuvvetleri (90°:A,B,C; 118°:D,E,F)

EK-2. Matkap helis açısı ilerleme oranına bağlı moment grafikleri



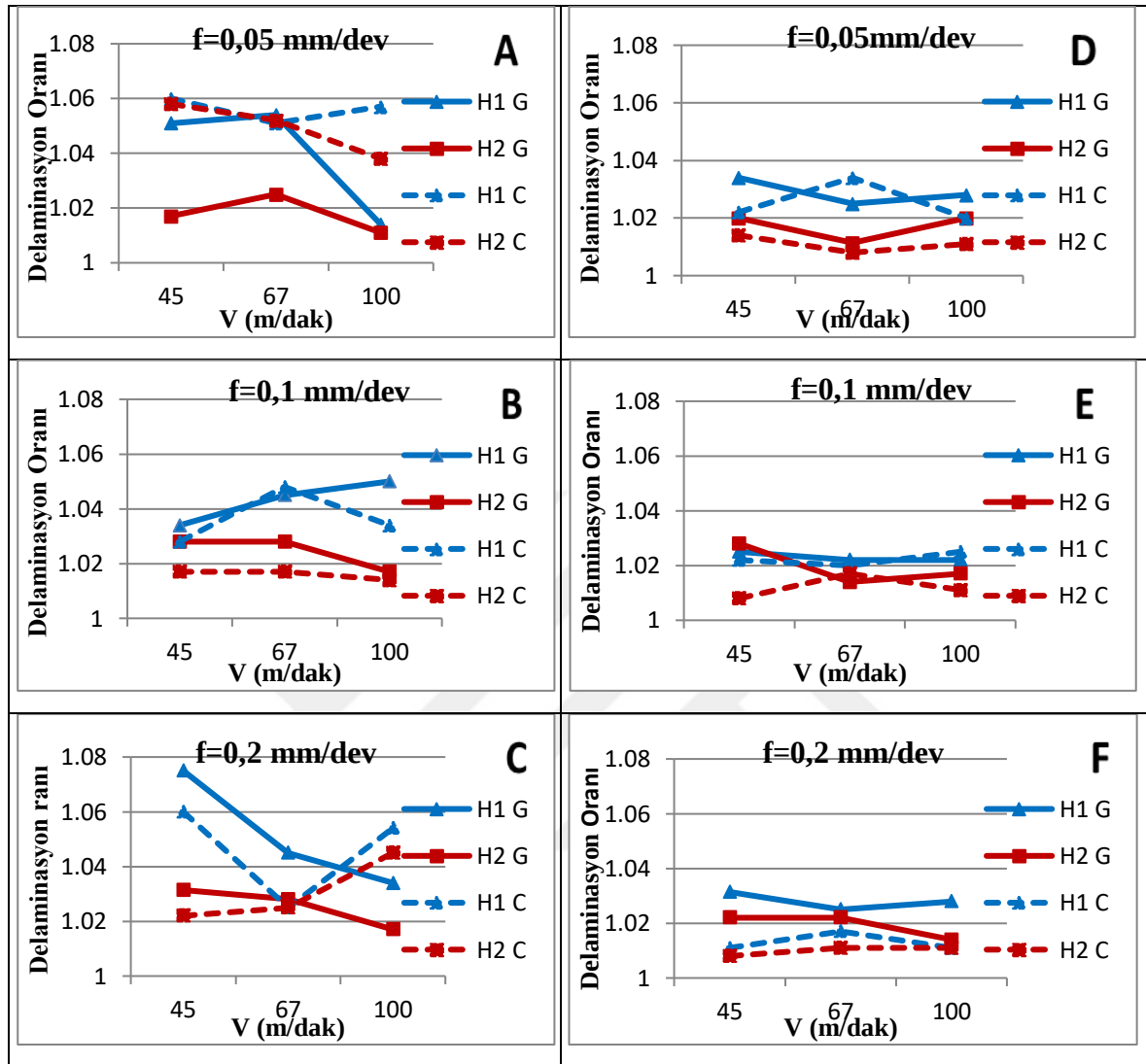
Şekil 2.1. 90° ve 118° uç açılı, 15°(H1) ve 22,5°(H2) helis açılı matkaplarla üç kesme hızında ilerlemeye bağlı moment değerleri (H1:A,B,C; H2:D,E,F)

EK-3. Matkap helis açısı ilerleme oranına bağlı delaminasyon grafikleri



Şekil 3.1. 90° ve 118° uç açılı, 15°(H1) ve 22,5°(H2) helis açılı matkaplarla üç kesme hızında ilerleme oranına bağlı delaminasyon oranları (H1:A,B,C; H2:D,E,F)

EK-4. Matkap helis açısı kesme hızına bağlı delaminasyon grafikleri



Şekil 4.1. 90° ve 118° uç açılı, 15°(H1) ve 22,5° (H2) helis açılı matkaplarla üç ilerleme hızında kesme hızına bağlı delaminasyon oranları (90°:A,B,C; 118°:D,E,F)



GAZİ GELECEKTİR..