



**T.C.
AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BAZALT ELYAF TAKVİYELİ NANOKOMPOZİT MALZEMELERİN
DELME İŞLEMLERİNDE TAKIM UCU GEOMETRİSİNİN
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEHMET KASTA

EYLÜL

**BAZALT ELYAF TAKVİYELİ NANOKOMPOZİT MALZEMELERİN
DELME İŞLEMLERİNDE TAKIM UCU GEOMETRİSİNİN
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mehmet KASTA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Doç. Dr. Halil Burak KAYBAL

**AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2023

Yüksek Lisans Tezi Kabul ve Onay Sayfası

Mehmet KASTA tarafından hazırlanan “Bazalt Elyaf Takviyeli Nanokompozit Malzemelerin Farklı Geometriye Sahip Takım Uçları Kullanılarak Delik Delme Performanslarının İncelenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Halil Burak KAYBAL

Mekanik Anabilim Dalı, Amasya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Hasan ULUS

Huğlu Meslek Yüksekokulu, Selçuk Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Harun YAKA

Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı, Amasya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Tez Savunma Tarihi: 08/09/2023

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ümit YILDIRIM

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Amasya 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.

Mehmet KASTA

08/09/2023

BAZALT ELYAF TAKVİYELİ NANOKOMPOZİT MALZEMELERİN DELME İŞLEMLERİNDE TAKIM UCU GEOMETRİSİNİN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Mehmet KASTA

AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2023

ÖZET

Kompozit malzemeler, dayanıklılık, hafiflik ve geliştirilebilir özelliklerin kombinasyonuyla birçok endüstride yaygın olarak kullanılan son derece değerli malzemelerdir. Bu malzemeler, farklı bileşenlerin bir araya getirilmesiyle oluşturulduklarından, geleneksel metallerden farklı şekilde işlenmeleri gerekebilir. Bu noktada, kompozit malzemelerin delik delme işlemleri, büyük önem taşır. Kompozit malzemelerin delik delme işlemleri, çeşitli zorluklar ve dikkate alınması gereken faktörlerle doludur. Birincil hedef, istenen boyuta ve özelliklere sahip bir deliği hassas ve etkili bir şekilde oluşturmaktır. Ancak, kompozit malzemelerin yapısı ve özellikleri nedeniyle delik delme işlemi sırasında dikkate alınması gereken bazı özel hususlar vardır. Kompozit malzemelerin doğası gereği lifli bir yapıya sahip olmaları ve farklı takviye malzemeleri içermeleri nedeniyle, delik delme işlemi sırasında çatlak oluşumu veya takviye malzemesinin zarar görmesi gibi sorunlar ortaya çıkabilir. Bu nedenle, delik delme işlemi için uygun yöntemler, aletler ve parametrelerin seçimi büyük önem taşır. Diğer yandan, nanoteknolojinin hayatımıza girmesi kompozit malzemeler için de yeni kapıların açılmasına sebep olmuştur. Yapılan çalışmalarda, nano takviyesi ile kompozit malzemenin birçok özelliğini geliştirerek daha güçlü, dayanıklı, termal olarak yönetilebilir ve özelleştirilebilir bir malzeme haline gelebileceğini göstermektedir. Bu avantajlar, farklı endüstrilerde kullanılan birçok uygulama alanında önemli katkılar sağlayabilir. Bununla birlikte kompozit malzemelerin delik delme proseslerinde çatlak oluşumunun azaltılması, aşınma direncinin artırılması ve termal iletkenliğin artırılması gibi önemli etkileri olduğu bilinmektedir. Yapılan bu tez çalışmasında, delme parametrelerinin incelenmesi adına el yatırma ve vakum kalıplama yöntemi bazalt elyaf takviyeli epoksi polimer matrisli kompozit (BFTK) plakalar üretilmiştir. Delme parametrelerine bağlı olarak ortaya çıkabilecek istenmeye hasarlar minimize etmek veya ortadan kaldırmak için matris malzemesi, halloysite nanotüp (HNT) ile modifiye edilmiş ve bazalt fiber takviyeli nanokompozit (BFTnK) malzemelerin üretimi de gerçekleştirilmiştir. Kompozit malzemelerin delik delme işlemleri için standart ve özel talaş kırıcı tasarıma sahip karbür matkap uçlar kullanılmıştır. Ayrıca, delik delme işlemlerinde kesme parametreleri olarak, 0,005, 0,05 ve 0,1 mm/dev ilerleme oranları, 50, 75, 100 m/dk kesme hızları kullanılmıştır. Çalışmada bazalt elyaf takviyeli epoksi polimer matrisli kompozit plakanın delinmesinde hem özel takım ucunun hem de nano modifikasyonunun itme kuvvetine, delaminasyon faktörüne ve delik yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir. Dahası, delme işlemi sonrasında, delik yüzeylerindeki hasar gelişimleri optik ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) yardımıyla incelenmiştir.

Sayfa Adedi : 59

Anahtar Kelimeler : Bazalt Elyaf, Nanokompozit, Halloysite nanotüp, Delik delme, İtme kuvveti, Deformasyon faktörü, Takım geometrisi

Danışman : Doç. Dr. Halil Burak KAYBAL

DRILLING OF BASALT FIBER REINFORCED NANOCOMPOSITE MATERIALS
INVESTIGATION OF THE EFFECT OF TOOL NOSE GEOMETRY ON OPERATIONS
(M. Sc. Thesis)

Mehmet KASTA

AMASYA UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

SEPTEMBER 2023

ABSTRACT

Composite materials are highly valuable materials widely used in many industries due to their combination of strength, lightweight, and special properties. Since these materials are formed by combining different components, they may require different processing methods than traditional metals or single materials. At this point, drilling processes in composite materials are of great importance. Drilling processes in composite materials are filled with various challenges and factors to be considered. The primary goal is to create a hole with the desired dimensions and properties in a precise and effective manner. However, the structure and properties of composite materials are different from traditional metals, and there are certain special considerations to be taken into account during the drilling process. Due to the fibrous nature and the inclusion of different reinforcement materials, problems such as crack formation or damage to the reinforcement material may occur during the drilling process. Therefore, the selection of appropriate methods, tools, and parameters is of great importance for drilling operations. On the other hand, the introduction of nanotechnology into our lives has opened new doors for composite materials as well. In various studies, nano particle reinforcement can enhance many properties of composite materials, making them stronger, more durable, thermally manageable, and customizable. These advantages can contribute significantly to various application areas in different industries. Furthermore, it is known that reducing crack formation, increasing wear resistance, and enhancing thermal conductivity are important effects in the drilling processes of composite materials. In this thesis study, hand lay-up and vacuum infusion methods were employed to produce basalt fiber-reinforced epoxy polymer matrix composite (BFTK) plates for the investigation of drilling parameters. To minimize or eliminate potential undesired conditions arising from drilling parameters, the matrix material was modified with halloysite nanotubes (HNT) to produce basalt fiber-reinforced nanocomposite (BFTnK) material. Standard and specially designed carbide drill bits were used for hole drilling in composite materials. Additionally, cutting parameters of 0,005, 0,05, and 0,1 mm/rev feed rates, and 50, 75, 100 m/min cutting speeds were applied in hole drilling processes. The study examined the effect of both the special tool tip and nano-modification on thrust force, delamination factor, and hole surface roughness in the drilling of basalt fiber-reinforced epoxy polymer matrix composite plates. Furthermore, post-drilling damage development on hole surfaces was analyzed using optical and scanning electron microscopy (SEM).

Number of pages : 59

Keywords : Basalt Fiber, Nanocomposite, Halloysite nanotube, Hole drilling
Thrust force, Deformation factor, Tool geometry.

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Halil Burak KAYBAL

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Öncelikle tez çalışmasında bana yön gösteren, her sorduğum soruya sabırla cevap veren eksik kaldığım noktalarda bana destek olan ve tezi en iyi şekilde yazmama yardım eden danışman hocam Doç. Dr. Halil Burak Kaybal’a teşekkürü bir borç bilirim.

Yük hücresinin temin edilmesinde katkıları bulunan Amasya Üniversitesi Makine Mühendisliği bölüm başkanı Prof. Dr. M. Burak Bilgin’e, numunelerin delinmesinde yardımlarını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Harun Yaka’ya ve malzemelerin temininden üretimine kadar bana destek olan Dr. Öğr. Üyesi Hasan Ulus hocalarıma teşekkür ederim. Kesici takımların üretilmesinde yardımcı olan Artex Kesici Takım Medikal San. ve Tic. Ltd. Şti firmasına teşekkür ederim.

Hayatımın her evresinde hep bana destek olan annem Zülfiye Kasta’ ya babam İsmail Kasta’ya, beni tez dönemi boyunca hep sabırla dinleyip bana yardımcı olan eşim Hasret Kasta’ya sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİSİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	6
2.1. Kompozit Malzemeler.....	6
2.1.1. Kompozit malzemelerde takviye elemanları	7
2.1.2. Bazalt fiber takviyesi	9
2.2. Kompozit Malzemelerin Üretim Metotları	9
2.2.1. Elle yatırma yöntemi	11
2.2.2. Vakum destekli reçine infüzyon yöntemi	11
2.3. Nanoteknoloji ve Nanokompozitler	12
2.3.1. Halloysit nanotüp.....	14
2.4. Kompozit Malzemelerde İşlenebilirlik	15
2.4.1. Kompozit malzemedeki delik delme prosesleri.....	17
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	19
3.1. Malzemelerin Temini	19
3.2. Kompozit Malzemelerin Üretimi	19
3.3. Delik Delme İşlemleri ve Kuvvet Ölçümleri	20
3.4. Deformasyon Faktörü Hesabı ve Hasar Oluşumu.....	22
3.5. Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri.....	23
3.6. Delik Delme Sonrası Hasar İncelemeler	24
4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	25
4.1. Delme Parametrelerinin İtme Kuvvetine Etkisi	25
4.1.1. Kesme hızının itme kuvvetine etkisi	26
4.1.2. İlerleme oranının itme kuvvetine etkisi	27

Sayfa

4.1.3. Matkap ucu geometrisinin itme kuvvetine etkisi.....	29
4.2. Delme Parametrelerinin İtme Kuvvetine Etkisi	30
4.2.1. Kesme hızının giriş yüzeyi deformasyon faktörüne etkisi	31
4.2.2. Kesme hızının çıkış yüzeyi deformasyon faktörüne etkisi	33
4.2.3. İlerleme oranının giriş yüzey deformasyon faktörüne etkisi	34
4.2.4. İlerleme oranının çıkış yüzey deformasyon faktörüne etkisi.....	36
4.2.5. Matkap ucu geometrisinin giriş yüzey deformasyon faktörüne etkisi.....	37
4.2.6. Matkap ucu geometrisinin çıkış yüzey deformasyon faktörüne etkisi	38
4.3. Delme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	39
4.3.1. Kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi.....	40
4.3.2. İlerleme oranının ve matkap ucu geometrisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi	41
4.4. Delme Sonrası Talaş Görüntülerinin İncelenmesi	43
4.5. Delme Sonrası Delik Yüzey Görüntülerinin İncelenmesi.....	44
4.6. Delme Sonrası Hasar Yüzeylerinin SEM ile İncelenmesi	45
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	48
5.1. Sonuçlar	48
5.2. Öneriler	52
KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Kullanılan matkapların fiziksel özellikleri	21
Çizelge 4.1. A ve B kodlu takım uçları ile delinmesi sonucunda yük hücresinden elde edilen itme kuvveti değerleri.....	25
Çizelge 4.2. A ve B kodlu takım uçları ile delinmesi sonucunda giriş ve çıkış yüzeylerin deformasyon faktör değerleri	30
Çizelge 4.3. A ve B kodlu takım uçları ile delinmesi sonucunda delik yüzeylerinden alınan yüzey pürüzlülük değerleri	40

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kompozit çeşitleri.....	7
Şekil 2.2. a) Dokuma b) Tek yönlü kumaş	8
Şekil 2.3. İki boyutlu dokuma tipleri.	8
Şekil 2.4. Elle yatırma yöntemi.....	11
Şekil 2.5. İşlenebilirlik verileri	16
Şekil 2.6. Kompozitlerin delinmesi için kullanılan delme prosesleri.	18
Şekil 3.1. BFTnK numunenin üretim işlemine ait prosesler	20
Şekil 3.2. a) CNC dik işleme merkezi b) Numune bağlama ve kuvvet ölçüm tertibatı.....	21
Şekil 3.3. Takım uçlarının şematik gösterimi a) A kodlu takım ucu b) B kodlu takım ucu	22
Şekil 3.4. Delikte oluşan deformasyon gösterimi	23
Şekil 3.5. Yüzey pürüzlülük cihazı	24
Şekil 4.1. Kesme hızlarını itme kuvvetlerine etkisi	27
Şekil 4.2. İlerleme oranının itme kuvvetine etkisi	28
Şekil 4.3. Takım ucunun itme kuvvetine etkisi.....	30
Şekil 4.4. Kesme hızının giriş yüzeyi deformasyon faktörüne etkisi	32
Şekil 4.5. Kesme hızının çıkış yüzeyi deformasyon faktörüne etkisi	34
Şekil 4.6. İlerleme oranının giriş yüzey deformasyon faktörüne etkisi	35
Şekil 4.7. İlerleme oranının çıkış yüzey deformasyon faktörüne etkisi.....	37
Şekil 4.8. Matkap ucu geometrisinin giriş yüzey deformasyon faktörüne etkisi.....	38
Şekil 4.9. Matkap ucu geometrisinin çıkış yüzey deformasyon faktörüne etkisi	39
Şekil 4.10. Kesme hızının yüzey deformasyon faktörüne etkisi.....	41
Şekil 4.11. İlerleme oranının ve matkap ucu geometrisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi	42

Şekil	Sayfa
Şekil 4.12. Delme sonrası numunelerden alınan talaş örnekleri	44
Şekil 4.13. Kompozit numunelerin delik yüzey görüntüleri.....	45
Şekil 4.14. 100 m/dk kesme hızı, 0,005 mm/dev ilerleme oranında delik delme işlemleri sonrası numune arayüzeyi SEM görüntüleri a) A kodlu matkap ucu b) B kodlu matkap ucu	46
Şekil 4.15. Numunelerin B kodlu matkap ucu ile delinmesi sonrası arayüzey hasar görüntüleri a) BFTK b) BFTnK	47

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİSİ

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, yanda açıklamaları verilmek üzere aşağıda listelenmiştir.

Simgeler

Açıklama

D	mm	Takım çapı
D _{maks}	mm	Deformasyonun maksimum çapı
f	mm/dev	İlerleme oranı
F _d	-	Deformasyon faktörü

Kısaltmalar

Açıklama

BFTK	Bazalt Fiber Takviyeli Kompozit
BFTnK	Bazalt Fiber Takviyeli Nanokompozit
CETP	Cam Elyaf Takviyeli Polimer
ÇDKNT	Çok Duvarlı Karbon Nanotüp
FMK	Fiber Metal Kompozitler
FTP	Fiber Takviyeli Polimer
HNT	Halloysit Nanotüp
HSD	Yüksek Hızlı Delme
KETP	Karbon Elyaf Takviyeli Polimer
KNL	Karbon Nanolifler
KNT	Karbon Nanotüp
PCA	Ana Bileşen Dönüşümü
SEM	Taramalı Elektron Mikroskop
UD-CFTP	Tek Yönlü Karbon Fiber Takviyeli Polimer
VATD	Titreşim Destekli Spiral Delme

1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler, ürün performansını arttıran ve üretim maliyetlerini düşüren en az iki farklı amaçlanan malzemeden oluşan malzemelerdir (Wiley ve Inc, 1999). Çoğu kez diğer terimlerle belirtilen pek çok malzeme de kompozit olarak kabul edilir (Sheikh-Ahmad, 2009). Günümüzde, özellikle özel fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı otomotiv parçaları, spor malzemeleri, havacılık bileşenleri, tüketici malları, denizcilik ve petrol endüstrileri gibi birçok mühendislik uygulamasında FTP kompozit lamineler tercih edilen malzemelerdir (Martensel, 2007).

FTP kompozit laminelerin öğrenilmesinin arkasındaki temel fikir, hiçbir hammaddede bulunmayan belirli özelliklere ve nihai özelliklere sahip malzemelerin kullanımı olasılığına dayanır. Bu malzemeler arasında cam elyaf takviyeli polimer (CETP) kompozit lamineler, karbon elyaf takviyeli polimer (KETP) kompozit lamineler ve nanopolimer kompozit lamineler yer almaktadır ve uygulamaları bu malzemelerin özellikleri temel alınarak yapılmaktadır (Liu, Tang ve Cong, 2012).

En son ticari uçak tasarımları, birincil yapısal bileşenlerin imalatı nanopolimer kompozitleri ile değiştirerek ağırlıkta %50 azalma önermektedir. Hafif ve yüksek mukavemetli kompozitler kullanmak, bu gelecekteki ticari uçak tasarım yeniliklerinin azaltılmış yakıt tüketimi ve daha iyi yolcu konforu hedeflerine ulaşmak için önemlidir (Zhang vd., 2016). Genel olarak, tüm kompozit malzemelerin imalat sürecinde veya belirli mühendislik uygulamalarında bazı işleme işlemlerinden geçmesi gerekmektedir. Mevcut endişeyle, delme, yapıların veya bileşenlerin montajı için en sık kullanılan delik açma işlemidir. Otomotiv, havacılık, denizcilik ve petrol endüstrileri gibi çeşitli endüstriler, yapılarında nanokompozitlerin kullanımına başlamıştır.

Delaminasyon adı verilen kompozit hasarı, delme tarafından indüklenen bir katman arası başarısızlık olgusudur ve kompozit lamineleri delerken beklenmedik ciddi bir sorun olarak kabul edilmiştir (Rajamurugan, Shanmugam ve Palanikumar, 2013). Kompozitlerin homojen olmaması, çok fazlı yapısı ve anizotropik doğası, delme sırasında katman arası bir başarısızlığa yol açar (Bonnet, Poulachon, Rech, Girard ve Costes, 2015). Bu nedenle,

kompozitlerde delinmiş deliklerin yaklaşık %60'ı sadece başlangıç aşamasında reddedilmektedir (Raj ve Karunamoorthy, 2016).

Delaminasyona ek olarak, kompozit işleme sırasında bir diğer önemli delme kaynaklı hasar alt yüzey deformasyonudur. Arayüz bağının kopması, matris deformasyonu, elyaf kopmaları, matris çatlama, delik büzülmesi ve dökülme alt yüzey deformasyonunun birkaç örneğidir (Ekici ve Işık, 2009; Guo, Wen ve Bao, 2011). Bu nedenle, işlenmiş deliklerin ürün performansını ve yapısal bütünlüğünü artırmak için, alt yüzey deformasyonu ve delaminasyon gibi malzeme kusurları, kesme parametrelerinin, takım geometrilerinin, takım tiplerinin ve kesme koşullarının doğru seçimiyle azaltılmalıdır (Ma, Zhu, Kang, Dong ve Zou, 2013; Xu, Zhang ve Wu, 2016). Bununla birlikte, yapısal bütünlük aynı zamanda elyaf matris arayüz etkileşimlerine, elyaf yönelimlerine, kesme yönlerine ve takım aşınmasına da güçlü bir şekilde bağlıdır.

Zhang vd. (2001) HSD spiral matkap kullanarak tek yönlü ve çok yönlü CFTP laminerlerinin delinmesi sırasında dış yüzeyde oluşan dökülme, tüylenme alt yüzey deformasyonu kusurlarını incelemişlerdir. Dökülme ve tüylenme, FRP kompozit laminerlerin delinmesi sırasında başlıca çıkış hasar mekanizmaları olarak kabul edilir ve bu hasarlar ilerleme hızının artması ve spindle hızının azalmasıyla artar. Delik çıkışında dökülme genellikle ciddi bir hasardır ve aynı delme koşulları altında tek yönlü karbon fiber takfiyeli polimer (TY-KFTP) kompozitler çok yönlü karbon fiber takfiyeli polimer kompozitlere kıyasla büyüktür. Khashaba, El-Sonbaty., Selmy ve Megahad (2010) GFTP kompozit delme sırasında daha yüksek besleme hızları ve kesme sıcaklıkları nedeniyle kompozit katmanlarının katastrofik kesme başarısızlığının gerçekleştiğini bildirmiştir, bu da işlenmiş deliklerin yüzey bütünlüğünü ve taşıma dayanıklılığını azaltmıştır. Heisel ve Pfeifronh (2012) CFRP laminerlerin delinmesi sırasında nokta açısının, kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve matkap delik kalitesi üzerindeki etkisini incelemiştir. Nokta açısının artması, kesme sıcaklığını artırarak epoksi matrisin delik hasarına ve düşük kaliteli deliklerin ve deformasyon oluşumunun meydana gelmesine neden olur.

Brinksmeier, Fangmann ve Rentsch (2011), yüzey kalitesini araştırmak amacıyla orbital ve geleneksel delme işlemlerinden sonra üç farklı malzeme (Alüminyum/KETP/Titanium) üzerinde denemeler yapmıştır. Geleneksel delme işlemine kıyasla, orbital delme daha düşük kesme sıcaklıkları ve yüksek kesme hızlarında, en ince matris çatlaklarına ve elyaf

kırıklarına sahip en iyi delik yüzeylerini sağlamaktadır. Arul, Vijayaraghavan ve Malhotra (2007) dokuma cam kumaş/epoksi kompozit laminalerin delinmesi sırasında işlenmiş deliğin kalitesini ve yüzey bütünlüğünü iyileştirmek için akustik emisyon tekniğini kullanmışlardır. Kesme parametrelerinin eksene etki eden kuvvet, yanıl aşınma ve delik küçülmesi üzerindeki etkisi yüksek aşınma ve erozyon dayanımı parametreleriyle izlenmiş ve ilişkilendirilmiştir. Abhishek, Datta ve Mahapatra (2014) KETP kompozitlerin delinmesi sırasında delaminasyonu ve alt yüzey hasar kusurlarını azaltmak için ana bileşen dönüşümü PCA-bulanık entegrasyonu ve Taguchi felsefesi tekniğini kullanmışlardır. Eneyew ve Ramulu (2014) TY-KFTP kompozit laminalerde kesme parametrelerinin, kesme yönünün ve elyaf yöneliminin delik yüzey kalitesi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. İtiş kuvvetinin daha düşük değeri, 135° ve 315° dönme açısında tespit edilmiştir ve elyaf çekmeleri, kesme yönü ve elyaf yönelimi arayüz açısının 135° ile 175° ve 315° ile 355° arasında olduğu iki kesme bölgesinde gözlenmiştir. İncelenen alt yüzey hasarları, yani delaminasyon, yüzey pürüzlülüğü, elyaf çekmeleri taramalı elektron mikroskop (SEM) ile yakalanmıştır.

Genellikle, matkap aleti FTP lamine ile etkileştiğinde, matkap ucu aksiyal yönde nominal bir itme kuvveti üretir ve ardından alet ile iş parçası arasındaki sürtünmeyle yüzey deformasyonu başlatır (Armarego ve Cheng, 1972; El-Sonbaty, Khashaba ve Machaly, 2004). Bu deformasyon, kompozit plakaların son iki katmanına kadar aynı kalabilir ve daha ileri matkap uzunluğunda daha küçük kesilmemiş talaş kalınlığı, deformasyona ve rijitliğe daha düşük direnç nedeniyle büyük ölçüde artar. Bu aşamada, laminalerin çıkış tarafı matrisin ciddi bir hasarına ve çatlak yayılmasının başlamasına maruz kalır, bu da delik yüzeylerinde kötüleşmesine neden olur (Davim ve Mata, 2007; Verma, Datta ve Pal, 2015: 49). Alet ve iş parçası arasındaki tribolojik etkileşimler de kompozitlerin alt yüzey deformasyonunun nedenleridir ve bu termomekanik mekanizmalar matkap aşınması şeklinde raporlanabilir (Ramirez, Poulachon, Rossi ve M'Soubi, 2014). Aşındırma, FTP ve nano kompozit plakaların delinmesi sırasında başlıca alet aşınma mekanizması olarak kabul edilir ve genellikle matkabın kesme kenarlarında ve delik yüzeylerinde ciddi aşınmalara neden olur. Bunun sonucunda delik yüzeylerinde hasarlar ve bu hasarlara bağlı olarak malzemelerin kullanım performansı azalır (Rawat ve Attia, 2009). Inoue vd. (1997) GFRP kompozitlerin küçük çaplı deliklerinin delinmesinde alet aşınmasının alt yüzey deformasyonu üzerindeki etkisini inceledi. Deneysel sonuçlara dayanarak, daha düşük

ilerleme hızlarında ve daha yüksek kesme hızlarında daha fazla yan aşınma meydana geldiği sonucuna varıldı.

GFTP ve CFTP gibi geleneksel kompozitler üzerinde delme sırasında meydana gelen kusurları azaltmak için, bu kompozitlere karbon nano-lifler (KNL'ler), karbon nanotüpler (KNT'ler), poliamid 6, Polipropilen-Silikon gibi ikincil takviyelerle modifikasyon yapılmaktadır. Bu nano-takviyeler, kompozit plakaların özelliklerinin geliştirilmesi için kullanılmaktadır. Abrao, Faria, Campos Rubia, Reis ve Dawim, (2007). FRP kompozitlerin delinmesi üzerine geniş kapsamlı bir literatür çalışması yapmışlardır. Bu derlemede, takım geometrisi, işleme parametreleri ve bunların itme kuvveti, tork ve delaminasyon üzerindeki etkileri incelenmiştir. Liu vd. (2012) FTP (KEFP, GFTP) ve fiber metal kompozit (FMK) laminatlar gibi kompozit malzemelerin mekanik delinmesi üzerine bir derleme sunmuştur. Bu derleme makalesi ayrıca taşlama delme, titreşim destekli spiral delme (VATD) ve yüksek hızlı delme (HSD) işlemlerini de içermektedir.

Starost ve Njuguna (2014) nanokompozit plakaların mekanik delinmesinin etkisini inceleyen bir rapor hazırlamışlardır. Çeşitli delme parametrelerinin delaminasyon ve nano boyutlu parçacıklar üzerindeki etkisi ve etkisi analiz edilmiştir. David, Wilkerson, Zhu ve Hadjiev (2011) amino fonksiyonlu tek cidarlı CNT'ler/CFTP'ler ve flor ile katkılı tek cidarlı CNT'ler/CFTP nanokompozit plakaların gerilme mukavemeti, rijitlik ve yorgunluk dayanıklılığında non-fonksiyonlu kompozitlere göre iyi bir iyileşme olduğunu bildirmişlerdir. Mikrodalga işlemleriyle tedavi edilen çok cidarlı CNT'ler/CFTP kompozit laminatlar delaminasyon ve delme aşındırması önlenmek amacıyla normal konvansiyonel termal tedavi edilen kompozitlerle karşılaştırılmıştır (Li, Li, Zhou, He ve Hao, 2015). Nano-doldurucu/mikro-doldurucu olarak ÇDKNT'ler eklenerek elyaf takviyeli kompozit laminatların termal iletkenliği büyük ölçüde artırılmıştır (Zhou, Wang, Liu ve Xiong, 2010).

Bu tez çalışması, kompozit malzemenin delik delme performansını incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında, delik delme işlemi için özel olarak tasarlanmış 120° karbür takım uçları kullanılmıştır. Bu takım uçlarından biri, özel bir tasarıma sahip olup bazalt elyaf takviyeli kompozit malzemenin delik delme işlemine etkisi detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Ayrıca, bazalt elyaf takviyeli kompozit malzemenin delik delme sırasındaki hasarlarını minimize etmek ve delik delme performansını artırmak amacıyla kompozit

malzemenin epoksi matrisi halloysite nanotüp (HNT) partikülleri ile modifiye edilmiştir. Çalışmada, farklı kesme hızları ve ilerleme oranları kullanılarak delik delme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu işlemler sonrasında itme kuvvetleri ve delik giriş/çıkış yüzeylerindeki deformasyon faktörleri değerlendirilmiştir. Ayrıca, delik delme işlemi sonrası delik duvarlarının yüzey pürüzlülük değerleri hesaplanmıştır. İşlem sırasında oluşan talaşların görüntüleri incelenerek takım uçlarının ve HNT katkısının etkisi araştırılmıştır. Delik delme işlemi sonrası delik duvarlarında meydana gelen hasarlar makro düzeyde bir görüntüleme cihazı ile incelenmiş, mikro boyuttaki hasarlar ise taramalı elektron mikroskopu (SEM) kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu çalışma, kompozit malzemelerin delik delme performansını geliştirmeye yönelik önemli bilgiler sunmaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler, en az iki farklı malzemenin bir araya getirilmesiyle oluşan malzemelerdir. Genellikle bir polimer matris (reçine) ve güçlendirici bir malzeme (genellikle fiber) kullanılarak üretilirler. Bu nedenle, kompozit malzemelerin özellikleri bileşenlerinin özelliklerine bağlıdır ve bu özelliklerin birleşimiyle oluşur. Kompozit malzemeler genellikle daha hafif, daha güçlü ve daha dayanıklıdır. Havacılık ve uzay endüstrisinde, yüksek mukavemetli, hafif parçaların yapımında kullanılırlar. Otomotiv endüstrisinde, yakıt verimliliği için hafif, yüksek dayanımlı parçaların yapımında kullanılırlar. Ayrıca, inşaat endüstrisinde, yüksek mukavemetli yapı malzemeleri ve denizcilik endüstrisinde suya dayanıklı parçaların yapımında kullanılırlar. Ancak, kompozit malzemelerin üretimi diğer malzemelere göre daha karmaşıktır ve bu nedenle maliyetleri daha yüksek olabilir. Ayrıca, bazı kompozit malzemeler geri dönüştürülebilir değildir ve bu nedenle çevresel etkileri konusunda endişeler olabilir.

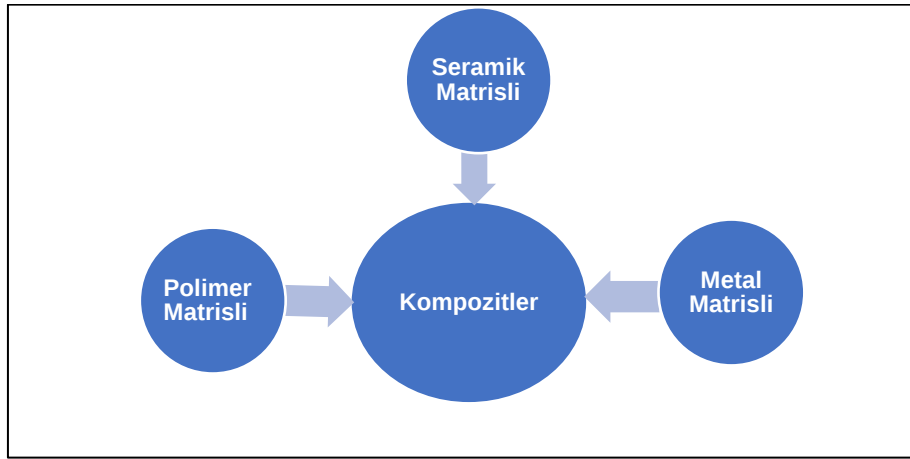
Kompozit malzemelerin birçok avantajı vardır, bunlardan bazıları şunlardır:

- Hafiftirler ve yüksek mukavemet sağlarlar.
- Kolayca şekillendirilebilir ve özelleştirilebilirler.
- Kimyasal ve çevresel koruma sağlayabilirler.

Kompozit malzemeler farklı özelliklerin bir arada kullanılmasıyla daha yüksek performans elde etmek için tasarlanmıştır. Genellikle üç ana bileşenden oluşur: matris, takviye malzemesi ve dolgu malzemesi. Kompozit malzemeler, kullanılan matris malzemesine göre sınıflandırılabilir. Matris malzemesi, kompozit malzemenin şeklini ve boyutunu korurken takviye malzemesine bağlı kalmasını sağlar. Matris malzemeleri, polimerik, metalik, seramik ve karbon gibi çeşitli malzemelerden oluşabilir. Kompozit malzemeler ayrıca takviye malzemelerine göre sınıflandırılabilir. Takviye malzemesi, kompozit malzemenin mekanik özelliklerini arttıran ana malzemedir. Takviye malzemeleri genellikle

cam elyafı, karbon elyafı, aramid elyafı, bazalt elyafı, doğal elyaf ve seramik elyaf gibi malzemelerdir.

Dolgu malzemeleri, kompozit malzemelerde takviye malzemesi ve matris malzemesi arasındaki boşlukları dolduran malzemelerdir. Bu malzemeler, kompozit malzemelerin yoğunluğunu azaltmak, sürtünmeyi azaltmak, ses yalıtımı sağlamak ve diğer özellikleri iyileştirmek için kullanılır. Kompozit çeşitleri Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



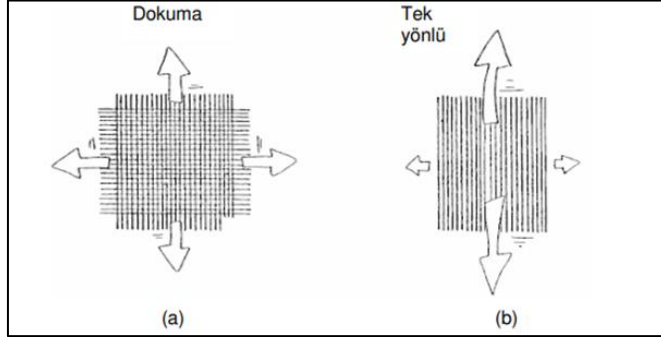
Şekil 2.1. Kompozit çeşitleri

2.1.1. Kompozit malzemelerde takviye elemanları

Kompoziti güçlendirmek için kullanılan çeşitli lif biçimleri, matris malzemesinden daha sert ve güçlüdür. Fiber takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi önemlidir. Liflerin uzunluğu, şekli, yönü ve bileşimi mekanik özelliklerin belirlenmesindeki etkenlerdir. Bu parametrelerden en önemlisi yönlendirici faktörüdür. 3 tip fiber takviye vardır. Tek yönlü, düz ve üç boyutlu takviyedir. Tek yönde takviye yönlenme doğrultusunda en yüksek mukavemet ve elastisiteye sahiptir. Düzlemsel takviye her yönde aynı veya farklı mukavemet gösterebilmektedir. Fiber sayısı o yündeki mukavemet ile orantılıdır (Kaybal, 2015; Ulus, 2014).

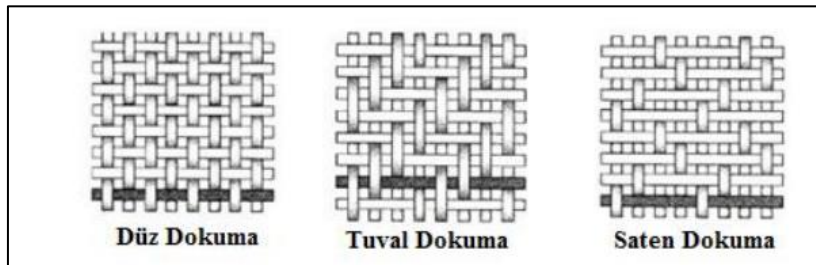
Fiber takviyeli kompozitler, enine kesit çaplarından çok daha uzun olan ince fiberlerden oluşur. Bu kompozitlerin lifleri sürekli, süreksiz (kısa), rastgele veya belirli bir sırada düzenlenmiş olabilir. Filamentlerin paralel dizilmesi ile lif yönünde yüksek mekanik özellikler, liflere dik yönde yüksek mekanik özellikler elde edilirken düşük mekanik

özellikler elde edilir. Yapısı anizotropiktir çünkü lifler belirli bir yönde yönlendirilmiştir (Kaybal, 2015; Ulus, 2014). Şekil 2.2’de Dokuma ve tek yönlü elyaf gösterilmiştir.



Şekil 2.2. a) Dokuma b) Tek yönlü kumaş (Akbulut, 2018)

Fiber kompozit malzemeler için organik ve inorganik fiberler mevcuttur. Organik liflerin genel özellikleri hafiflik, esneklik ve ısıya duyarlılıktır. İnorganik lifler, çok yüksek mukavemetleri, ısı dirençleri, sertlikleri ve düşük enerji absorpsiyonları ile bilinirler. Cam elyafı, grafik elyafı, bor elyafı, kevlar elyafı, bazalt elyafı, seramik elyafı mevcuttur. Cam, grafit ve organik lifler en yaygın olarak kullanılanlardır (Kaybal, 2014; Şahin, 2000). Polimer matrisli kompozitlerde elyaf takviyesinin temel amacı, uygulanan yükleri desteklemek, matrise mukavemet kazandırmak ve kullanılan takviyeye bağlı olarak mukavemet, ısı kararlılık, elektriksel iletkenlik veya izolasyon sağlamaktır (Eskizeybek, 2006; Kaybal, 2014). Elyaf malzemeleri olarak cam, kevlar, karbon ve boron gibi çeşitleri bulunur. En yaygın kullanım yeri havacılık sektörüdür (Kaybal, 2014). Şekil 2.3’te elyaflar, tekstil teknolojileri ile birleştirilmesiyle farklı dokuma kumaşları haline getirilmiştir (Kaybal, 2014; Camphell , 2004).



Şekil 2.3. İki boyutlu dokuma tipleri (Camphell, 2004; Kaybal, 2014).

2.1.2. Bazalt fiber takviyesi

Bazalt lifi, volkanik kayalardan biyolojik olarak türetilmiş bir mineral lifidir ve iyi kimyasal direnç ve mekanik özellikler gibi çeşitli avantajlara sahiptir (Chang, 2001). Bazalt elyafları cam elyaflara benzer çekme özellikleri ve daha yüksek maksimum servis sıcaklığına sahiptir. Bazalt elyaf kompozitlerde yapısal uygulamalar için cam elyaf kompozitlere sürdürülebilir bir alternatif olabilir. Ayrıca daha yüksek maksimum servis sıcaklığına ve iyi kimyasal dirence sahiptir (Campbell, 2004).

Bazalt elyafı, polimer kompozitler için takviye olarak kullanılan elyafı keşfetmek amacıyla birçok bilim adamı tarafından incelenmiştir (Technical Datasheet for Basalt Fibers, b.t.). Kombinasyon halinde iyi mekanik özelliklerle yüksek sıcaklık ve alkali direncine sahip bazalt elyaf, epoksi ve polyester gibi termoset matrisli kompozitler için iyi bir takviyedir (Wei, Cao ve Song, 2010). Sıcaklıktaki değişimlere karşı yüksek dirence ve önemli ölçüde geliştirilmiş mekanik performansa sahip epoksi hibrit kompozitlerdir. Bazalt elyaf takviyeli epoksi kompozitler de alkali ortamda ve ısıda yaşlanmaya karşı camınkinden daha yüksek direnç göstermiştir (Bhat, Chevali, Liu, Feih ve Mouritz, 2015). Metal yerine hafif, sürdürülebilir malzemelere olan talebin artmasıyla birlikte çeşitli sektörlerde küresel termoplastik kompozit pazarının 2023 yılına kadar 16,3 milyar ABD dolarına ulaşması öngörülmüyor (Arshad vd., 2021).

2.2. Kompozit Malzemelerin Üretim Metotları

Kompozit malzeme üretiminde, fiberler, reçineler, keçeler, fiberler, prepregler (polimer ile ıslatılmış fiberler) ve kalıplama bileşenleri de dâhil olmak üzere çeşitli tipte kompozit bir parçayı oluşturacak hammaddeler kullanılır. Her üretim yöntemi, farklı malzeme sistemleri, farklı işleme koşulları ve parça üretimi için yukarıda saydığımız hammaddelerin kombinasyonlarını gerektirmektedir. Her üretim tekniğinin işleme, parça boyutu, parça şekli, maliyeti vb. bakımından kendine ait avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Kompozit malzeme parçasının başarılı üretimi, üretim yönteminin doğru seçimine ve aynı zamanda işleme parametrelerinin doğru seçilmesine bağlıdır. Kompozit malzeme üretiminde birden fazla üretim yöntemi vardır. Bunlardan en yoğun olarak kullanılanla; basınçlı kalıplama, el yatırma, püskürtme, vakum infüzyon, vakum torbalama, reçine transferi ile kalıplama (RTM), vakum destekli reçine transfer kalıplama (VARTM),

enjeksiyon kalıplama yöntemleridir (Dalinkevich, Gumargalieva, Marakhovsky ve Soukhanov, 2009; Kaybal, 2015).

Elle yatırma yönteminde başlangıçta, fiber ön kalıpları, kolay çıkarma için ince bir yapışma önleyici kaplama tabakasının uygulandığı bir kalıba yerleştirilir. Reçine malzemesi takviye malzemesi üzerine fırça yardımıyla dökülür veya uygulanır. Rulo, takviyenin ardışık katmanları ile matris malzemeleri arasında gelişmiş bir etkileşim sağlamak amacıyla reçineyi kumaşlara emdirir (Gunge, Koppad, Nagamadhu, Kivade ve Murthy, 2019).

Püskürtme tekniğinin elle yatırmadan hiçbir farkı yoktur. Ancak bir kalıba reçine ve doğranmış elyaf püskürten bir tabanca kullanılıyor. Eş zamanlı olarak bu lifleri matris malzemesine kaynaştırmak için bir silindir kullanılır. Kıyılmış liflerin iyi bir uyum sağladığı ve elle yatırmaya göre daha hızlı üretilir, açık kalıp tipi bir tekniktir (Perna vd., 2019).

Vakumlu torba kalıplamada, parçayı dış havadan kapatmak ve yalıtmak için naylon polietilen veya polivinil alkol (PVA) gibi bir malzemeden yapılmış esnek bir film kullanılır. Çoğu zaman vakumlu torba kalıplama tekniği elle yatırma tekniğinin yardımıyla gerçekleştirilir. Laminat önce elle yatırma tekniği kullanılarak yapılır ve daha sonra elyafların matris malzemesine eşit bir şekilde infüzyonunu sağlamak için vakum torbası ile kalıp arasına yerleştirilir. Kalıp ile vakum torbası arasındaki hava daha sonra bir vakum pompası tarafından çekilirken atmosferik basınç parçayı sıkıştırır (Awan, 2018).

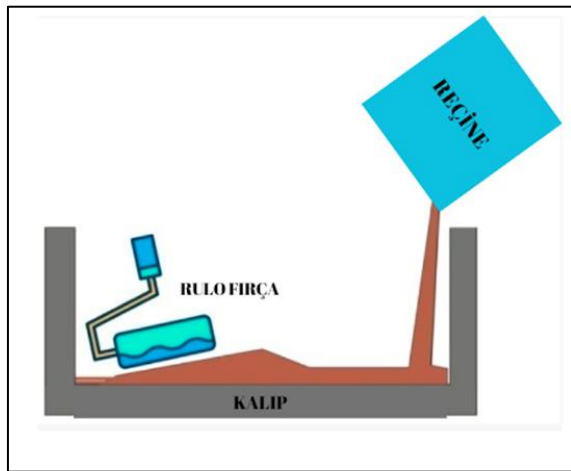
Reçine transfer kalıplamada kalıbın alt yarısında düzenlenen ön kalıp elyaf takviye matı veya dokuma fitil ve önceden ısıtılmış reçine, bir enjektör aracılığıyla basınç altında pompalanır. 3 boyutlu takviyelerde dahil olmak üzere fiber malzemenin çeşitli kombinasyonları RTM ile elde edilebilir. Kalıbın yüzeyine uygun yüzey kalitesine sahip, yüksek kaliteli, yüksek mukavemetli kompozit yapısal parçalar üretir (Ahmad, Bilal ve Khattak, 2018).

Vakum infüzyonu veya vakum destekli reçine transfer kalıplama (VARTM), ön biçimlendirilmiş elyafların bir kalıba yerleştirildiği ve delikli bir tüpün vakum torbası ile reçine kabı arasına yerleştirildiği yeni bir gelişmedir. İşlemden laminat yapının

sağlamlaştırılması için reçinenin, fiberler üzerindeki delikli tüpler yoluyla emilmesine neden olur . Bu işlem kompozit yapıda fazla havaya yer bırakmadığından. Uçak gövdeleri, tekne gövdeleri ve rüzgâr türbini kanatları gibi büyük nesnelerin üretiminde popülerdir (Plummer, Bourban ve Manson, 2016).

2.2.1. Elle yatırma yöntemi

Elle yatırma yöntemi, birçok alanda en yaygın kullanılan yöntemdir. Kompozit üretim yöntemlerinden biridir. Daha fazla estetik ve güzellik için polimer ayrıca matrise eklenen jelkot ve çeşitli katkı maddeleri içerebilir. Oluşturulan ve değiştirilmiş polimer matrisi, güç elemanına rulo ile emdirme edilir. Emdirme sırasında silindir alt tabaka üzerinde yuvarlayarak hava kabarcıklarının kaçmasına izin verir. Bu süreç bir sonraki pekiştirme seviyesini sağlar. İstenilen kalınlığa ulaşıncaya kadar devam eder (Kaybal, 2015). Elle yatırma yöntemi diğer yöntemlere göre çok daha fazla işçilik gerektirdiği için seri üretimlerde çok tercih edilen bir yöntem değildir. Ancak seri olmayan üretimlerde genellikle kullanımı mevcuttur. Elle yatırma yöntemi Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Elle yatırma yöntemi

2.2.2. Vakum destekli reçine infüzyon yöntemi

Vakum teknolojisi veya reçine infüzyonu, özellikle yüksek kaliteli, hızlı (kısa döngü süresi) ve temiz imalatın önemli olduğu büyük, karmaşık uygulamalar ve denizcilik endüstrisi için giderek daha popüler bir üretim yöntemi haline geldi (Global Thermoplastic Composites Market Report, 2019).

Kompozit malzemelerin imalatında Reçine Transfer Kalıplama (RTM) işlemine benzer olan vakumlu reçine infüzyon işlemini diğer işlemlerden ayıran en önemli özellik, reçine veya fazlalığı almak için ek bir vakum ile yardımcı olmasıdır. Genel tanımıyla; kapalı bir ortamda sertleştiricilerden reçinenin vakum kullanılarak emilmesi ve fazla reçinenin uzaklaştırılması yöntemidir. Kalıba kuru veya reçine takviyeleri yerleştirilir ve alt ve üst yüzeylere ayırıcı bir kumaş ve reçine dağıtma filesi yerleştirilir. Bu sistem vakumlu şeritlerle çevrelendikten sonra vakumlu naylon ile kapalı bir ortam oluşturulur. Vakum ve fazla ortam içine çekilen sisteme beslenen reçine takviye elemanları tarafından emilir. İşlem, reçine karterin içine akmaya başladığında ve sertleşmesine izin verildiğinde sona erer.

2.3. Nanoteknoloji ve Nanokompozitler

Nanoteknoloji, atomları ve molekülleri nano ölçekte işleyerek yapıları, cihazları ve sistemleri tasarlamaya, üretmeye ve kullanmaya adanmış bilim ve mühendislik dalını ifade eder. Nanoteknoloji uygulamalarının çoğu, daha büyük boyutlarda yapılan aynı malzemelerle karşılaştırıldığında çok farklı özelliklere ve yeni etkilere sahiptir. Bunun nedeni, daha büyük parçacıklara kıyasla nanopartiküllerin yüzey/hacim oranının çok yüksek olması ve bu kadar küçük ölçekte görünen ancak daha büyük ölçeklerde gözlemlenmeyen etkilerdir. Nanoteknoloji adının aksine modern sanayide endüstri alanında çok büyük bir girişim olmuştur. Teknolojik devrimin bu hızlı temposu nano ölçekli pazarların son on yılda hızla yaygınlaştığı görülebilmektedir (Zelzer ve Ulijn, 2010).

Küresel nanoteknoloji pazarının segmentleri de umut verici bir büyüme gösteriyor. Küresel grafen pazarının değeri 2022'de 175,9 milyon dolar olarak gerçekleşti ve 2023'ten 2030'a kadar %46,6'lık büyümesi bekleniyor. Nanoteknoloji araştırması, ABD, İngiltere, Avrupa ve Asya-Pasifik bölgesindeki büyük oyuncularla küresel bir ayak izine sahiptir. ABD Ulusal Nanoteknoloji Girişimi'ne göre dünya çapında bu alanda çalışan yaklaşık 20 000 araştırmacı var. Asya-Pasifik bölgesinin önümüzdeki on yılda en yüksek büyümeyi görmesi bekleniyor (Azonano, b.t.).

Nanomalzemeler genel olarak dört türe ayrılabilir: inorganik bazlı nanomalzemeler, karbon bazlı nanomalzemeler, organik bazlı nanomalzemeler ve kompozit bazlı nanomalzemelerdir. İnorganik bazlı nanopartiküller genellikle toksik değildir, hidrofobiktir, biyouyumludur ve oldukça stabildir. Bu özelliklerinden dolayı biyotıp uygulamalarında sıklıkla kullanılırlar. İnorganik bazlı nanopartiküllerin örnekleri arasında metal ve metal oksit nano materyalleri yer alır. Karbon bazlı nanopartiküller düşük toksisiteye sahiptir, stabildir ve yüksek elektriksel iletkenliğe, esnekliğe ve optik şeffaflığa sahiptir. Karbon bazlı nanopartiküllerin örnekleri arasında grafen ve karbon nanotüpler bulunur. Organik nanopartiküller biyolojik olarak uyumludur, biyolojik olarak parçalanabilir ve toksik değildir. Organik nanopartiküllerin örnekleri arasında lipozomlar, katmanlı biyopolimerler, protein agregatları, lipid cisimcikleri ve süt emülsiyonları yer alır. Kompozit bazlı nanopartiküller süneklik, yüksek mukavemet, elektriksel iletkenlik, ısı direnci ve artırılmış bariyer özellikleri gibi özelliklere sahiptir. Genellikle sensör teknolojisinde kullanılırlar. Kompozit bazlı nanopartiküller, çeşitli nanopartikül çiftlerinin birleştirilmesiyle oluşturulan çok çeşitli malzemeleri kapsar. Birçok kompozit malzeme çiftleri içerisinde karbon nanotüpleri, kuantum noktaları ve grafeni kullanır. Yarı tek boyutlu nanoteller karbon, silikon, germanyum gibi malzemelerden ve bakır gibi iletken metallerden üretilmiştir.

Polimer ve karbon nanofiberler, mikrofiberlerle karşılaştırıldığında geniş bir yüzey alanı/hacim oranına, iyi mekanik dayanıma, yüksek gözenekliliğe ve işlevselleştirme esnekliğine sahiptir. Karbon nanotüpler olağanüstü termal ve elektriksel iletkenliğe ve olağanüstü gerilme mukavemetine sahiptir. Karbon nanotüplerin özellikleri birçok alanda onlara ilgi duyulmasına neden olmuştur. Kuantum noktaları, ayrı moleküller ve toplu yarı iletkenler arasında benzersiz özelliklere sahip yarı iletken nanokristallerdir. Nanokompozitler, kendilerine özgü kimyasal veya fiziksel özelliklere sahip iki farklı kurucu malzemeden (tipik olarak bir polimer ve kil veya oksit gibi inorganik bir katı) üretilerek, kendisini oluşturan malzemelere göre üstün özelliklere sahip bir malzeme üretilir. Bazıları toplu bileşenlerden 1000 kata kadar daha dayanıklıdır (Onano, b.t.).

Polimer nano kompozit olarak adlandırılan malzemeler; polimer içerisinde dağıtılmış nano boyutlu organik ya da anorganik, doğal ya da sentetik ikinci bir faz veya katkı maddesi içeren yapıları tanımlamakta ve nano dolgulu polimer kompozitler ya da anorganik-organik hibrit malzemeler olaraktan adlandırılmaktadırlar (Kaybal, 2015; Krishnaraj vd., 2012).

Polimer nanokompozitlerin takviyesinde kullanılan nano dolgu maddeleri farklı türde, yapıda ve geometride olabilmektedirler. Bunlardan en çok kullanılanlar doğal ve sentetik killeri, karbon malzemeler (nano boyutlu karbon siyahı, tek ya da çok duvarlı karbon nanotüpler, nano boyutlu çeşitli metaller, metal tuzları ve metal oksitler, amorf silika, polihidrik silisyum bileşikleri ve selüloz lifleri olarak sıralanabilir (Kaybal, 2015; Sivasankaran, 2008).

Nanokompozit çeşitleri içerisinde kolay bulunabilen doğal kil ve silikat tabakasına dayanan çeşitler en çok kullanılan türlerdir. Kil materyalleri ve araya girme kimyası uzun zamandır çalışılan bir konudur. Dispersiyon ile elde edilen nano boyutlardaki taneciklere sahip olan bu nano kompozitler mekanik, termal, optik ve fiziki kimyasal özelliklerinin polimerlere ve konvensiyonel kompozitlere oranla daha üstündürler. Nanokompozitlerin malzemeye getirdiği diğer üstünlükler modülü arttırması, güçlendirmesi, ısı direncini arttırması, malzemeye gaz sızmasını engellemesi, yanıcılığını azaltması olarak sıralanabilir (Kaybal, 2015; Le, 1999).

2.3.1. Halloysit nanotüp

Halloysit Nanotüpler temeli 1826 yılında Berthier'in çalışmalarına kadar uzamaktadır. Churchman'ın 2000 yılında yapmış olduğu bir çalışmada, toprakların ve kaya parçalarının içerisinde halloysit kil tabakaları bulmuştur. Çalışmalarına devam eden Churchman magmatik olan veya olmayan kaya parçalarında bu kile rastlanabileceğini savunmuştur (Eskizeybek, 2006). Halloysitler, silisyum minerallerinin tetrahedral yapıda ve alüminyum minerallerin ise oktahedral yapıda eşit oranlarda stokiyometrik olarak etkileşimi ile oluşmuş, $\text{Al}_2[\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4].2\text{H}_2\text{O}$ formülüne sahip kaolin grubundaki kil mineralidir. Farklı endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır. Halloysitler doğada bulunan tortul kayaçlardan elde edilebilmektedir. Genellikle renkleri beyaz olarak görülür (Rosas-Aburto vd., 2015).

HNT takviyeli nanokompozitlerle yapılan çalışmalarda, kullanılan diğer polimer kompozitlere göre, HNT takviyeli polimer nanokompozitlerin düşük seviyelerde eklenen takviye elemanlarında bile üstün termodinamik ve fiziksel özellikler sergilediği görülmüştür (Chang, 2001). HNT'ler, yapı ve kimyasal yönlerinden diki ve kaolinit minarellere benzemektedir. Kaolinitler plakaların üst üste dizilmiş şekline benzerken HNT'ler ise içi boş silindire benzemektedir. HNT'ler yüksek en/boy orana sahiptir, çok

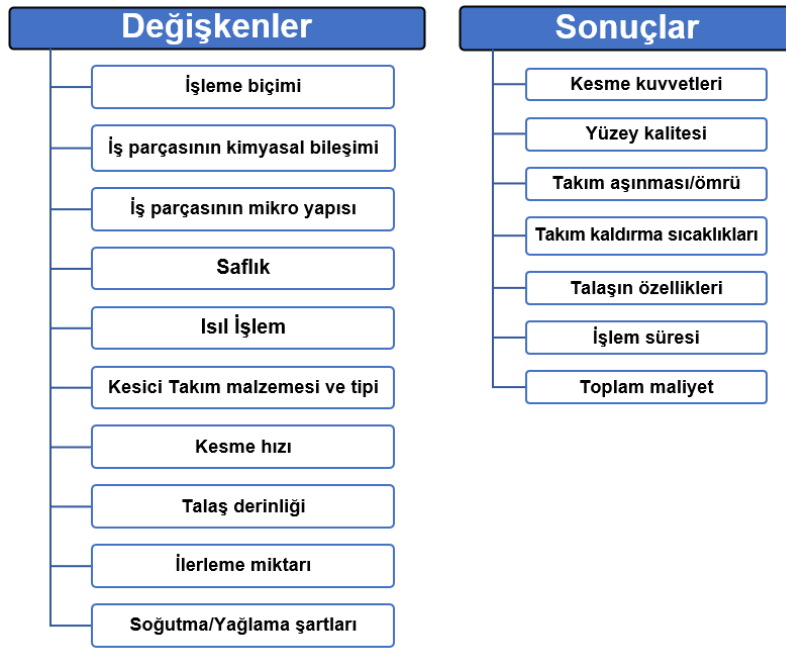
katmanlı inorganik nanotüptürler. Bu özellikleriyle nanotüp ve matrisler arasında yük transferini sağlayarak polimerlerde mukavemet artışına yardımcı olurlar. Bu sayede daha fazla potansiyel kullanım alanına sahip olurlar. Halloysit nanotüpler doğada kolaylıkla ve bol miktarda bulunduğundan üretim maliyetleri düşüktür (Liu, Jia, Jia ve Zhou, 2014).

2.4. Kompozit Malzemelerde İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, malzemelerde bir özellik olarak tanımlanabilen ve ölçülebilen kendine has bir özellik değildir. Genel olarak iş parçasının takım ile şekil verilirken karşılaşılan zorluk derecesi olarak düşünülebilir. Talaş adı verilen istenmeyen kalıbın gövdeden ayrıştırılması için gerekli talaşlı imalat işlemi olarak da tanımlanabilir (Seydibeyoğlu, Mohanty ve Misra, 2017).

İşlenebilirlik kavramını farklı değişkenlerle tanımlamak zordur. Bununla birlikte, en genel anlamda işlenebilirlik, işlenmiş malzemenin yüzey kalitesinin standart bir makineyle işleme sürecinin bir veya daha fazla karakteristik noktasına odaklanarak tanımlanabilir. Bu terimin tanımı basitleştirilirse, bir malzemenin istenilen şekle, yüzey kalitesine veya boyutuna getirilmesindeki kolaylık ve zorluk derecesini ifade eden bir terimdir (Mallick, 2007).

Talaşlı imalat çerçevesindeki talaşlı imalat, malzeme seçimi ve talaşlı imalat aşamalarına ilişkin tüm bilgileri içeren, tüm ana başlıklar altında birbiriyle ilişki içinde düzenlenmiş sistematik bir yaklaşımı gerektirir. Yukarıdaki yaklaşımda, bir işleme başlamadan önce makine tipi, kesme hızı, parça kimyası, kesme derinliği, ilerleme hızı, parça yapısı, temizlik, ısıtma işlemi, kesici takımın malzemesi ve tipi vb. belirlenir. Düzenleme uygulaması. Değişkenlere ek olarak, işlem sırasındaki kesme sıcaklıkları, kesme kuvvetleri, talaş özellikleri, yüzey kalitesi, işlem süresi ve toplam maliyetlerden bahsedilebilir (Tonshoff, Spintig, König ve Neises, 1994). İşlenebilirlik verileri Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5. İşlenebilirlik verileri (Özçatalbaş, 2020)

İşlenecek malzeme için yapılan testler sonucunda işlenebilirliği hakkında bazı veriler öngörülebilir. Ancak her işlenecek parça için aynı verileri kullanmak sağlıklı bir sonuç vermeyebilir. İşlenecek parça için sadece sertlik ve mukavemet değerlerine bakılarak işlenebilirliğine karar vermek zordur. İşlenebilirliği aşındırıcılar, yapı içindeki kalıntılar ve malzemenin sertliği gibi faktörler etkileyebilmektedir (Aydın, 2002; Kaybal, 2015).

Malzemeler genellikle düşük sertlik ve dayanım değerlerinde olması istenmektedir. Bununla birlikte, kesme kenarı üzerinde topakların oluşması nedeniyle çok sünek malzemeler bu kuralın bir istisnasıdır. Soğuk çekme ile sertliği artırma işleminin burada olumlu bir etkisi vardır (Aydın, 2002; Kaybal, 2015).

Genel olarak daha düşük süneklik değerleri tercih edilir. Bu durumda talaş oluşumu faydalıdır ve kesme işleminin enerjisi verimlidir. Düşük süneklik, yüksek sertlik anlamına gelir. İyi işlenebilirlik elde etmek için, genellikle sertlik ve süneklik arasında bir ara değer gereklidir (Aydın, 2002; Kaybal, 2015). Malzemenin yapısı işlenebilirliği etkiler. Bu, bazı yapıların aşındırıcı olması ve malzeme dayanıklılıklarının malzemenin yapısına göre değişmesinden kaynaklanan bir ilavedir. Yapı, çeliğin içindeki karbon ve diğer alaşım elementlerinin miktarından da etkilenir (Aydın, 2002; Kaybal, 2015). Kompozit malzemelerin işlenmesi zordur. Bu durum kesici takımlar için seçicidir. Bu malzemeler

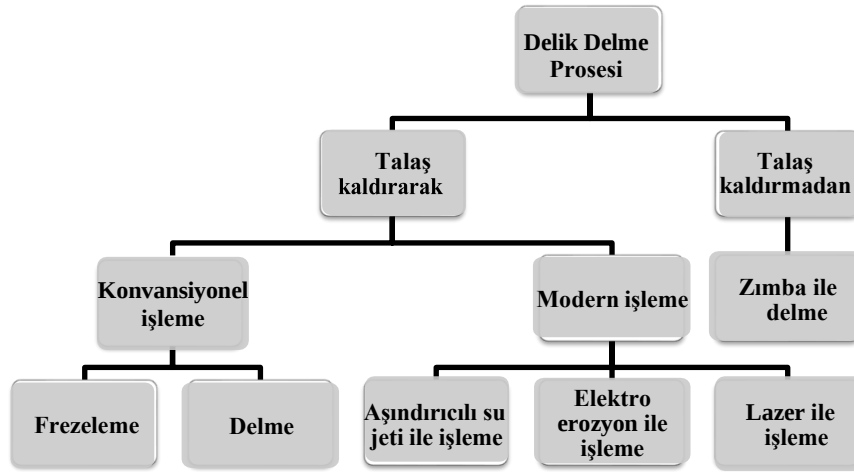
için en yaygın işleme operasyonları delme ve frezelemedir (Aydın, 2002; Kaybal, 2015). Karbon fiber kompozitleri işlerken, takım ömrü doğrudan kesme hızıyla ilişkilidir. Yüksek hızlar, kısa ömürlü takım anlamına gelir. Aramid fiber kompozitlerde itme gücü doğru ayarlanmışsa yüksek hızlara ulaşılabilir. Fiberglas kompozitlerin işlenebilirliği, karbon fiber kompozitlerinkine benzer. Yapı içindeki liflerin hacim oranının artması işlenebilirliği azaltır. İşlenebilirlik ile ilgili olarak, sadece kompozit türü değil, aynı zamanda elyaf ve matrisin hacmi arasındaki ilişki de dikkate alınmalıdır (Aydın, 2002; Kaybal, 2015).

Kısaca özetlemek gerekirse kompozitlerin işlenmesi zordur. Bu durum kesici takımlar açısından seçici olmayı gerektirir. Kompozitler keskin bir kesici uç ile işlenmelidirler. Takımın aşırı aşınması halinde fiber kesilmeyip kopacak bu da tabakaların ayrılmasına neden olacaktır. Çok ince taneli sert metal ve çok kristalli elmas takımların kullanılması gerekmektedir (Aydın, 2002; Kaybal, 2015).

2.4.1. Kompozit malzemedel delik delme prosesleri

Delik delme işlemi bir malzemenin belirli bir boyutta oyulmasına denir. Delme, kullanımının kolay olması, hızlı işletilmesi ve diğer talaşlı imalat yöntemlerine göre montaj sürecinde önemli avantajlara sahip olması nedeniyle en popüler talaşlı imalat yöntemlerinden biridir. Talaşlı imalatta yapılan 3 işlemin birisi delik delmedir. Ancak harcanan süre açısından tüm işlemlerin yalnızca dörtte birini kapsamakta, bu da işlemin diğerlerinden daha hızlı olduğunu göstermektedir (Çakır, 1999). Ancak istenen ürünün son halinin bitmeden önceki işlemlerden biri olan delik delme süreci çok dikkatli ve kontrollü bir şekilde uygulanmalıdır. Aksi takdirde, yalnızca bir uçak kanadında 50.000'den fazla delik açılacak ve güvenlik açısından kritik havacılık endüstrisi tarafından üretilen ürünün büyük bir kısmı boşa gidecektir (Tonshoff vd., 1994).

Delme, plastik matrisleri ve fiber kompozitleri diğer malzemelere bağlamak için kullanılması gereken imalat işlemlerinden biridir. Bunun nedeni, kompozit malzemelerin kaynaklı üretimle birleştirilememesi ve yapıştırılmış parçalara dönüştürülmesinin çok zor olmasıdır. Uzun adımlar ve karmaşık süreçler gereklidir. Bu nedenle mekanik bağlantı yöntemi, özellikle endüstride kompozit bileşenlerin diğer bileşenlere bağlanması için en yaygın ve en hızlı yöntemdir (De Lacalle vd., 2011). Kompozitlerin delinmesi için kullanılan delme prosesleri Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Kompozitlerin delinmesi için kullanılan delme prosesleri (Kayhan, 2019).

Kompozit parçalar nihai şekline yakın üretilir ancak ek işleme gerektirebilir. Delik delme işlemi, otomotiv ve havacılık endüstrilerinde kullanılan kompozit yapıların cıvatalaması ve perçinlenmesinde kullanılan önemli işlemlerdendir. Örneğin, küçük motorlu bir uçağın 100.000'den fazla deliği olduğu aktarılmaktadır (Morkavuk, 2023; Şahin, 2000). Delme işleminde yaygın olarak kullanılan iki ağızlı helisel matkaplardır. Bu matkaplar üç farklı yüzeye sahiptir. Radyal ağız, iki ana kesici kenar ve son olarak iki adet zırha sahiptir. Matkapta bulunan ana kesme kenarı serbest yüzey ve helisel kanallar birleşimi ile oluşmaktadır. Radyal ağız, matkapların uç noktasında bulunurlar ve serbest yüzeylerin birleşimi ile oluşmaktadır. Helis açıları matkapların talaş açılarını belirlemektedir. Helis açısı talaş açısı ile doğru orantılıdır. Helis açısı azaldıkça talaş açısında azalma meydana gelir (De Lacalle vd., 2011; Abdullah, Abdullah ve Sapuan, 2019). Elyaf takviyeli kompozitler, malzeme homojenliği, yüksek elyaf-hacim oranı vb. farklılıklar nedeniyle delinmesi zordur. Bu farklılıklar nedeniyle sorunu en aza indirmek için araştırmacılar, kompozitleri delerken geleneksel delmenin etkilerini incelemişlerdir (Kaybal, 2015; El-Sonbaty vd., 2004).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Malzemelerin Temini

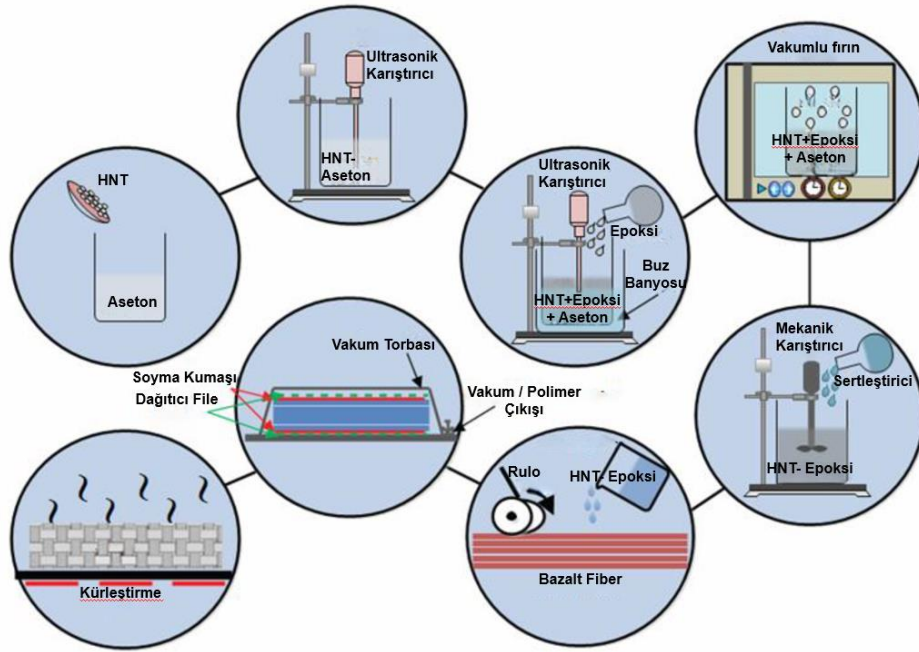
Kompozit laminantların üretimi için Momentive Şirketi'nden MGS L160 Düşük viskoziteli epoksi reçinesi ile MGS H160 sertleştirici ajan tercih edilmiştir. Düz dokuma bazalt kumaş (0/90) 300 g/m² yüzey yoğunluğuna sahip olarak Tila Kompozit firmasından temin edildi. ~20-40 nm çapında, 10 µm uzunluğunda ve %98 saflıkta olan HNT'ler, Eczacıbaşı Esan Şirketinden temin edilmiştir.

Kompozit malzemelerin delik delme işlemleri için kullanılan takım uçların üretimi Artex Kesici Takım San. Ve Tic. Ltd. Şti. 'de özel olarak gerçekleştirilmiştir.

3.2. Kompozit Malzemelerin Üretimi

Kompozit numunelerin üretiminin en önemli adımı, bazalt fiber takviyeli nano kompozitin (BFTnK) performansını güçlü bir şekilde etkileyen polimer matrise, nanotakviyeleri homojen bir şekilde ilave etmektir. Bu göz önüne alındığında, Şekil 3.1'de gösterilen bazalt fiber takviyeli kompozit (BFTK) ve HNT takviyeli BFTnK numunelerin üretim adımları için sistemli bir üretim yöntemi kullanılmıştır. HNT'ler/epoksi nanokompozitleri, ağırlıkça % 2,0 HNT'leri polimer matrisle üretildi ve bu oran daha önceki yapılan çalışmalardan alınmıştır (Özçatalbaş, 2020). Kısacası, istenen miktarda HNT, aseton içinde bir ultrasonik homojenizatör 15 dakika karıştırılmıştır. Ardından, karışıma yeterli miktarda epoksi reçinesi eklenmiştir. HNT'lerin homojen dağılımını sağlamak için HNT/epoksi karışımı, yüksek sıcaklık koşullarını önlemek için buz banyosunda 30 kHz'lik bir sonikasyon frekansı ile 60 dakika boyunca yeniden karıştırıldı. Daha sonra karışım, 70 °C'de bir vakum fırınına konuldu ve karışım içerisindeki aseton buharlaştırıldı. Ardından, amine sertleştirici (H160), karışıma oda sıcaklığında eklendi ve karışım mekanik bir karıştırıcı ile 5 dakika karıştırıldı. Son olarak, karışım, içerisindeki hava kabarcıklarını tahliye etmek için 70 °C'de bir vakum fırınına yerleştirildi. BFTnK laminatlarının üretimi iki sürecin birleştirilmesiyle gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, hazırlanmış olan HNT/epoksi karışımı 30 kat kesilmiş bazalt kumaş yığınının el yatırma yöntemi ile emdirilmiştir. Elle emprenye işlemi, tüm fiber katlarının HNT takviyeli epoksi matrisin bazalt liflerine emdirilmesini ve homojen bir şekilde dağıtılmasını sağlamıştır. İkinci olarak, ön emprenye edilmiş kumaşlar

bir elik kalıp üzerine serildikten sonra bir vakum torbası yardımıyla açık hava basıncı altında vakuma alınmış ve fazla miktardaki HNT/epoksi, elyaflar üzerinden dışarıya tahliye edilmiştir. Daha sonra, kompozit katmanların sırasıyla 70  C ve 120  C'de 60 dakika ve 4 saat boyunca krleştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Benzer krleştirme işlemi, HNT takviyesi olmayan, katkısız bazalt kumaş preformunun epoksi ile emprenye edilmesini takiben eşdeğer bir örnek olarak BFTK için yeniden yapılmıştır. Üretim sonunda 10x200x360 mm³ ebatlarında BFTK ve BFTnK plakalar elde edilmiş ve levhalar delik delme işlemleri için dairesel bir testere yardımıyla 10x90x120 mm³ boyutlarında kesme işlemleri yapılmıştır.

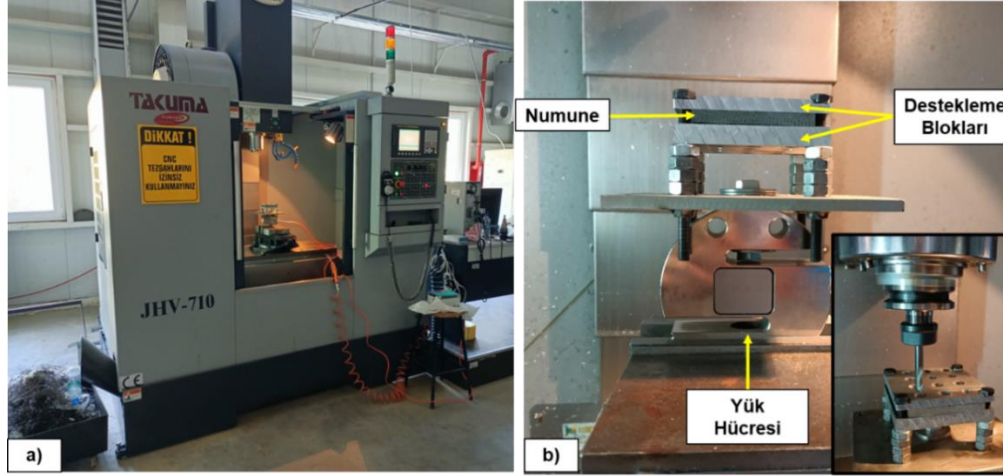


şekil 3.1. BFTnK numunenin üretim işlemine ait prosesler (Kaybal, Ulus ve Avcı, 2021)

3.3. Delik Delme İşlemleri ve Kuvvet lmleri

Bu çalışmada, delme işlemi, Takuma JHV-710 CNC işleme merkezi kullanılarak Amasya Üniversitesi Makine Mühendisliği atelyesinde gerçekleştirilmiştir (şekil 3.2a). Kompozit malzemeler CNC tezgh üzerine yerleştirilmeden önce $10 \pm 0,1$ mm kalınlığında ve 90x120 mm boyutlarında kesilmiştir. Her bir malzeme, 12 delik açabilecek elik destek blokları arasında sıkıştırılarak hazırlanmıştır (şekil 3.2b). Deneyler, aynı kesme parametreleri kullanılarak aynı parça levhası üzerinde üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Kesme sırasında ölçülen kuvvetler, S tipi Loadcell model yk hücresi

ve yük hücresine PLC sistemi kullanılarak ölçülmüştür. Kuvvet ölçüm sistemi, bağlama aparatı aracılığıyla destek bloklarının hemen altına sabitlenmiştir.

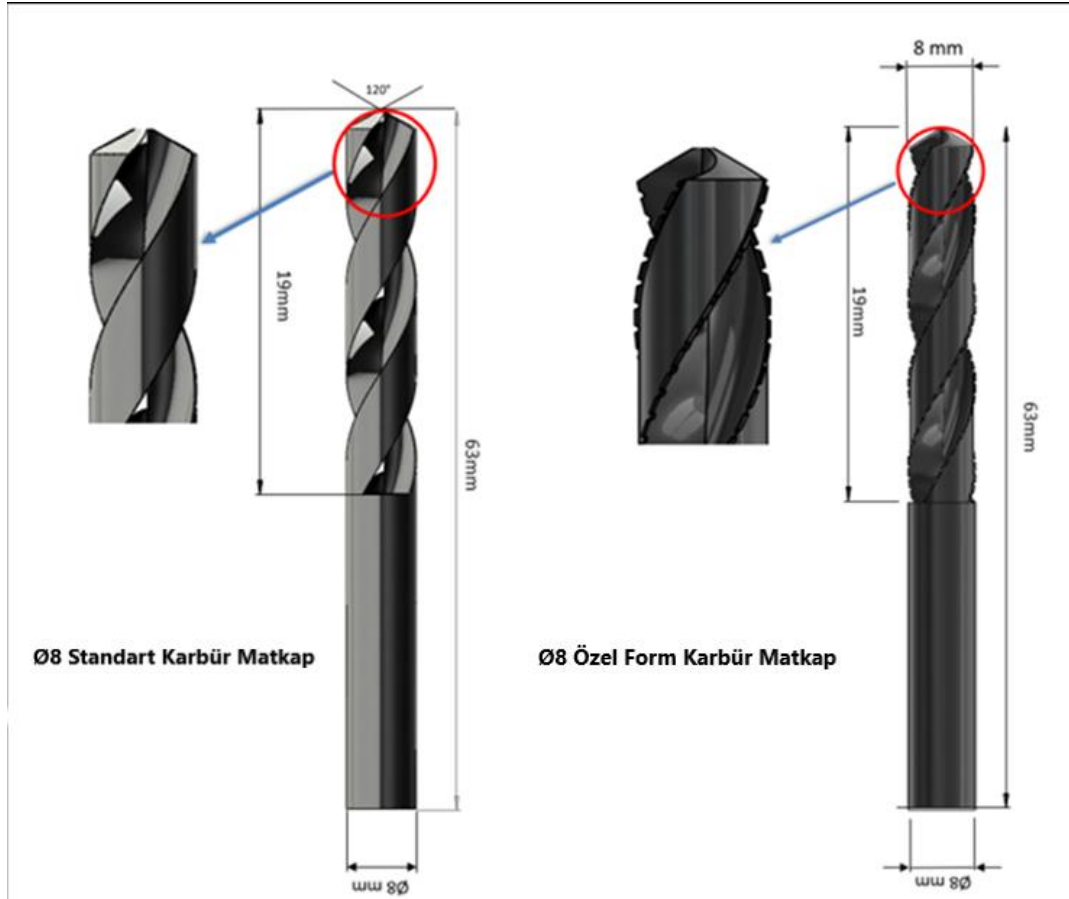


Şekil 3.2. a) CNC dik işleme merkezi b) Numune bağlama ve kuvvet ölçüm tertibatı

Delik delme işlemlerinde, matkap ucu olarak yüksek aşınma ve eğilme direncine sahip, yüksek işleme verimliliği sunan, uzun ve güvenilir bir takım ömrüne sahip olan 120° açılı kaplamasız karbür kullanılmıştır. Fakat takım uçlarından biri üzerinde özel bir form tasarlanarak talaş kırıcı kesme yüzeyleri oluşturulmuştur. Çalışmada, referans takım ucu A kodu ile özel tasarımı takım ucu ise B kodu ile isimlendirilmiştir. Her bir kesme parametresi üç tekrar halinde, 8 mm çapında delinerek işlem tamamlanmıştır (Şekil 3.3a-b). Takım uçlarının fiziksel özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Aynı matkap ucu, aşınma standartlarını aşmadan tekrar tekrar kullanılmıştır. Kesme hızı ve ilerleme oranı değerleri, literatürdeki çalışmaların ışığında belirlenmiştir (Özkan, Gök, Gökkaya ve Karaoğlanlı 2019; Sur ve Erkan 2020). Bu değerler, yüksek kesme hızlarının termal düzensizlikleri artırabileceği ve yüksek ilerleme oranlarının malzeme giriş ve çıkış yüzeylerinde deformasyon bölgelerini genişletebileceği sonuçlarına göre seçilmiştir.

Çizelge 3.1. Kullanılan matkapların fiziksel özellikleri

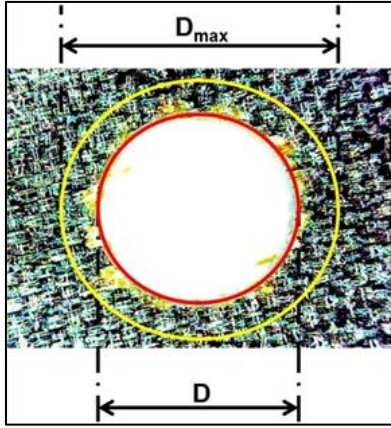
	Standart	Özel Form (Talaş Kırıcı)
Matkap Özellikleri	A Kodlu Takım	B Kodlu Takım
Malzeme cinsi	Karbür	Karbür
Matkap uç çapı (Ø)	Ø8	Ø8
Matkap shaft çapı (Ø)	Ø8	Ø8
Helis boyu (mm)	19	19
Tam boy (mm)	63	63
Uç açısı (°)	120	120



Şekil 3.3. Takım uçlarının şematik gösterimi a) A kodlu takım ucu b) B kodlu takım ucu

3.4. Deformasyon Faktörü Hesabı ve Hasar Oluşumu

Delik delme işlemlerinde takım ucu ve numuneler arası etkileşimlerde kaynaklı olarak, numunelerin delik giriş ve çıkışlarında deformasyonlar meydana gelmektedir. Bu hasarların yoğunluğu numunenin delinmesi için kullanılan işlem parametrelerine (Kesme hızı, ilerleme, takım ucu vs.) bağlı olarak değişmektedir. Kompozit numunelerin giriş ve çıkış yüzeylerinde meydana gelen hasarlar Dino-lite basic Model görüntüleme cihazı kullanılarak gözlenmiş ve fotoğraflanmıştır. Daha sonra, deformasyon faktörü, delik bölgesindeki oluşan maksimum hasar alanının ($D_{maksimum}$) matkap çapına oranı (D) ile hesaplanır. Şekil 3.4'te Deformasyon faktörünün hesabı gerçek bir delik üzerinde ifade edilmiştir.



Şekil 3.4. Delikte oluşan deformasyon gösterimi

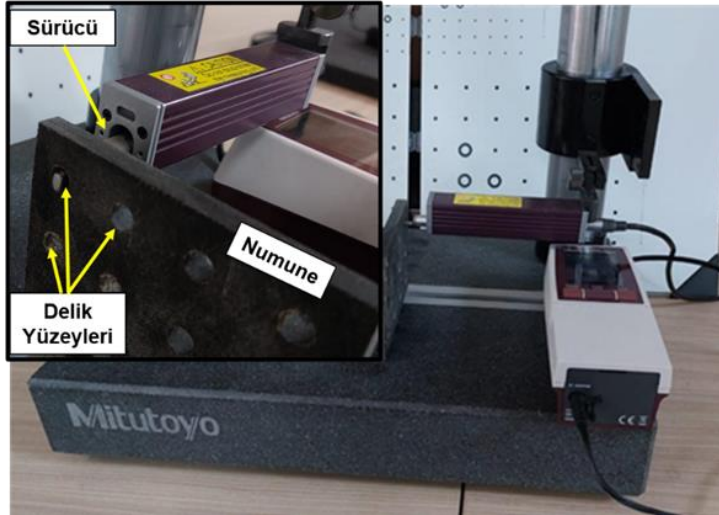
Deformasyon faktörü hesaplanması (F_d);

$$F_d = \frac{D_{maksimum}}{D} \quad (1)$$

Formülü ile hesaplanmaktadır. $D_{maksimum}$ delaminasyon bölgesindeki maksimum çap D ise matkap çapı olarak verilmiştir.

3.5. Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri

Delme işlemi sonrası takım ucu-malzeme etkileşimi ve kesme parametrelerinden kaynaklı delik yüzeylerinde meydana gelen düzensizlikler yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülük ölçümleri Mitutoyo marka SJ-210 Model iğne prob taramalı test cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 3.5). Kompozit plakalar probun delik içerisinde kolay bir şekilde hareket etmesi için sabitlenmiş ve ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Cihazın ana gövdesinde sürücü olarak adlandırılan bir bölümü vardır. İğne uçlu prob bu sürücü üzerine monte edilmektedir. Ölçümlerde sürücünün ilerleme hızı 0.5 mm/s dönüş hızı ise 2.5 mm/s olarak seçilmiştir.



Şekil 3.5. Yüzey pürüzlülük cihazı

3.6. Delik Delme Sonrası Hasar İncelemeler

Kompozit malzemelerin delik delme işlemleri sonrası, tıpkı takım ucu giriş ve çıkış yüzeylerinde olduğu gibi numunelerin kalınlık yönündeki delik yüzeylerinde de hasarlanmalar meydana gelmektedir. Numunelerde oluşan bu hasarlar matris çatlamları, delaminasyonlar ve fiber kopmaları olarak sınıflandırılmaktadır. Dahası, bu hasarların oluşumları kesme parametreleri, takım ucu tipi, takım aşınması vb. sebeplere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu çalışmada, takım ucu tasarımına ve hedef malzeme modifikasyonuna bağlı olarak hasar incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar sırasında, delik delme işlemi sonrası takım ucu tasarımına ve malzeme modifikasyonuna bağlı olarak, ortaya çıkan talaş yoğunluklarının birbirinden farklı olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, delme işlemi sonrası talaş görüntüleri Dino-Lite Basic görüntüleme cihazı kullanılarak alınmış ve ortaya çıkan talaş boyutları tartışılmıştır. Ayrıca, delik yüzeylerinde meydana gelen hasarların incelemesi için de bu görüntüleme cihazından faydalanılmıştır. Delik yüzeylerinin son hasar incelemeleri ise taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile gerçekleştirilmiştir. Numunelerin delik yüzeylerindeki morfolojik incelemeler ZEISS Evo LS marka SEM görüntü cihazı ile incelenmiştir.

4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bazalt fiber takviyeli kompozit (BFTK) ve HNT katkılı bazalt fiber takviyeli nanokompozit (BFTnK) malzemelerin 50, 75 ve 100 m/dk kesme hızlarında, 0,005, 0,05 ve 0,1 mm/dev ilerleme oranlarında, delik delme işlemleri sonucunda kesme parametrelerinin itme kuvvetlerine ve delik giriş/çıkış yüzeylerindeki deformasyon faktörlerine etkisi bu başlık altında incelenmiştir. Ayrıca geleneksel kesme parametreleri olan kesme hızı ve ilerleme oranı dışında 120 ° uç açısına sahip karbür standart takım ucu (A) ve aynı fiziksel özelliğe sahip talaş kırıcı tasarımı karbür takım ucunun (B) etkisi de incelenmiştir. Bunun yanında, matris elemanın HNT ile modifiyesinin bazalt fiber takviyeli kompozit malzemenin işlenebilirlik performansına katkısı da yorumlanmıştır.

4.1. Delme Parametrelerinin İtme Kuvvetine Etkisi

50,75 ve 100 m/dk kesme hızlarında ve 0,005, 0,05 ve 0,01 ilerleme oranlarında BFTK ve BFTnK malzemelerin A ve B kodlu takım uçları ile delinmesi sonucunda yük hücresinden elde edilen itme kuvveti değerleri Çizelge 4.1'deki gibidir.

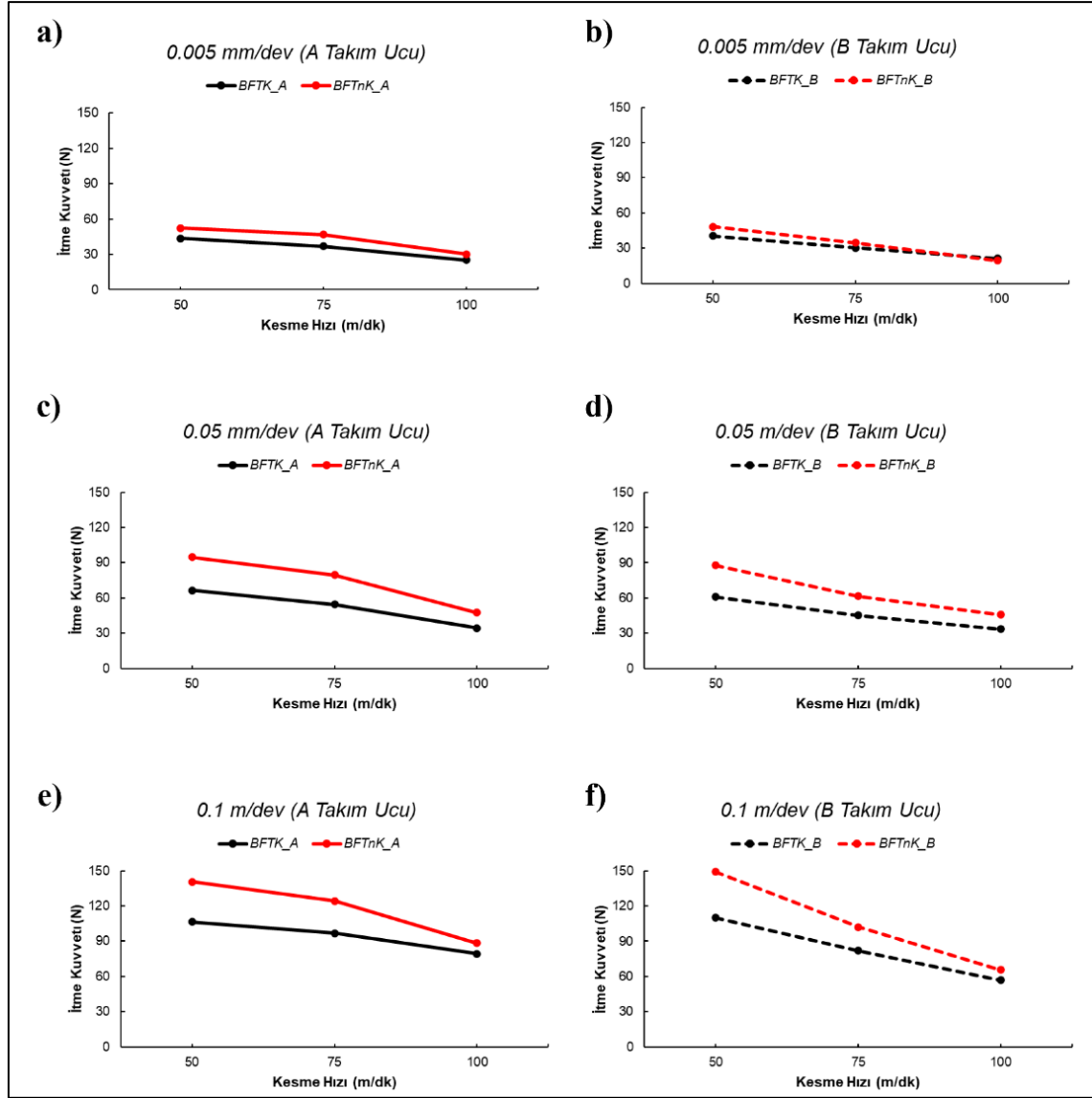
Çizelge 4.1. A ve B kodlu takım uçları ile delinmesi sonucunda yük hücresinden elde edilen itme kuvveti değerleri

Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme Oranı (mm/dev)	BFTK (İtme Kuvveti)	BFTnK (İtme Kuvveti)	
50 m/dk	0,005	43,5	52,3	A Kodlu Takım
	0,05	66,3	94,6	
	0,1	106,3	140,4	
75 m/dk	0,005	36,8	46,9	
	0,05	54,6	79,5	
	0,1	96,7	124,3	
100 m/dk	0,005	25,3	30,1	
	0,05	34,2	47,6	
	0,1	79,4	88,3	
50 m/dk	0,005	40,4	48,4	B Kodlu Takım
	0,05	60,9	87,8	
	0,1	110,1	149,2	
75 m/dk	0,005	30,3	34,5	
	0,05	45,1	61,6	
	0,1	81,9	102,2	
100 m/dk	0,005	21,2	19,6	
	0,05	33,6	45,9	
	0,1	56,9	65,7	

4.1.1. Kesme hızının itme kuvvetine etkisi

BFTK ve BFTnK malzemelerin A ve B kodlu takım uçları ile delme işlemleri sonucunda, 50, 75 ve 100 m/dk kesme hızlarında elde edilen itme kuvvetleri Şekil 4.1 'deki çizgi grafiğinde verilmiştir. Genel bir çıkarım ile kesme hızlarının artmasıyla itme kuvvetlerinin azalma eğiliminde olduğu gözlenmektedir. 0,005 mm/dev ilerleme oranlarında alınan kesme itme kuvveti değerleri her iki malzemede birbirine yakın olduğu fakat HNT katkılı BFTnK numunede BFTK numuneye göre daha yüksek itme kuvveti değeri ölçülmüştür (Şekil 4.1(a-b)). Talaş kırma tasarımlı B takım ucu ile delme işlemi sonucunda da BFTnK numune de yine itme kuvveti değeri genel olarak yüksek ölçülmüştür fakat 100 m/dk kesme hızında daha düşük bir itme kuvveti elde edilmiştir. İtme kuvveti değerleri, 100 m/dk kesme hızında A kodlu takım ucu için, BFTK ve BFTnK numunelerinde sırasıyla 25,3 N ve 30,1 N olarak en düşük değer olarak tespit edilmiştir. Diğer yandan, B kodlu takım için ise BFTK ve BFTnK malzeme için sırasıyla 21,2 N ve 19,6 N olarak en düşük değerde bulunmuştur. İlerleme oranının 0,05 mm/dev olduğu durumda, numuneler ve farklı takım uçları arasındaki itme kuvveti değişimleri daha belirgin hale geldiği görülmektedir (Şekil 4.1(c-d)). Nanokompozit malzemenin itme kuvvetindeki artış HNT katkısının numunenin işlenebilirlik davranışını net bir şekilde etkilediği bu eğrilerden açık bir şekilde anlaşılmaktadır. Nanokompozit malzemenin itme kuvveti sonuçlarındaki trendi bu ilerleme oranında da devam etmektedir. İlerleme oranının 0,1 mm/dev olduğu durumdaki artan kesme hızlarının itme kuvvetine etkisi Şekil 4.1 (e-f) gösterilmiştir. Diğer iki ilerleme oranında olduğu gibi artan kesme hızları 0,1 mm/dev ilerleme oranında da benzer itme kuvveti cevabı vermiştir. HNT katkılı malzeme yine daha yüksek itme kuvveti değerlerine sahip olurken, artan kesme hızları da itme kuvvetlerini düşürmüştür. Fakat, numuneler arasındaki en yüksek itme kuvveti değerleri bu kesme parametrelerinde meydana gelmiştir. A kodlu takım ucunda kompozit ve nanokompozit malzeme için sırasıyla 106,3 N ve 140,4 N itme kuvveti değerleri elde edilirken B kodlu takım ucunda bu değerler 110,1 N ve 149,2 N olarak ölçülmüştür. Magyar ve arkadaşlarının bazalt kompozit malzemelerin delik delme performansları üzerine yaptıkları çalışmalarda itme kuvvetlerini 0,05 mm/dev ilerleme ve 50 m/dk kesme hızında 90,9 N olarak ölçerlerken, aynı ilerleme oranının 100 m/dk kesme hızında 89,08 N olarak bulmuşlardır. Kesme hızının artmasıyla itme kuvvetinde neredeyse benzer itme kuvveti verisi elde edilmiştir. Öte yandan, 0,1 ilerleme oranı 50 m/dk kesme hızındaki delme işleminde itme kuvvetini

113.2 N olarak tespit etmişler ve devamında 100 m/dk kesme hızlarında 116-123 N aralığında hesaplamışlardır (Magyar ve Geler, 2023).

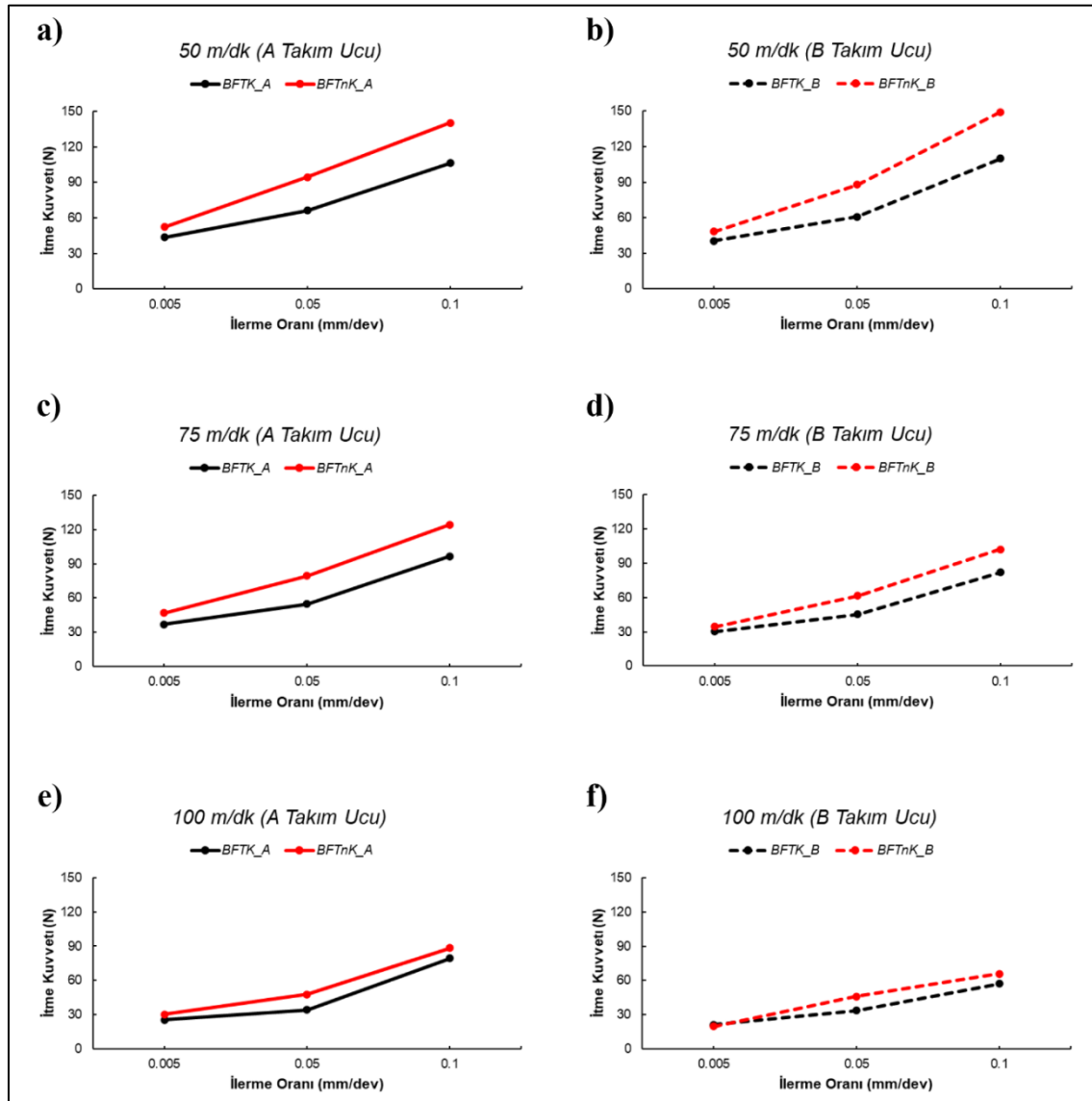


Şekil 4.1. Kesme hızlarını itme kuvvetlerine etkisi

4.1.2. İlerleme oranın itme kuvvetine etkisi

Numunelerin A ve B kodlu takım uçları ile delme işlemleri sonucunda, 0,005, 0,05 ve 0,1 mm/dev ilerleme oranlarında elde edilen itme kuvvetleri Şekil 4.2 ‘deki çizgi grafiğinde verilmiştir. Genel olarak, kesme hızının sabit tutulduğu her bir değerlendirmede ilerleme oranının artması sürpriz olmayan bir sonuçla itme kuvveti sonuçlarını arttırmaktadır (Patel, Patel, Chaudhary ve Gohil, 2022). Ayrıca, itme kuvveti değerlerinin HNT takviyeli bazalt kompozit numunede yine daha yüksek olarak seyrettiği görülmektedir. Numunelerin A

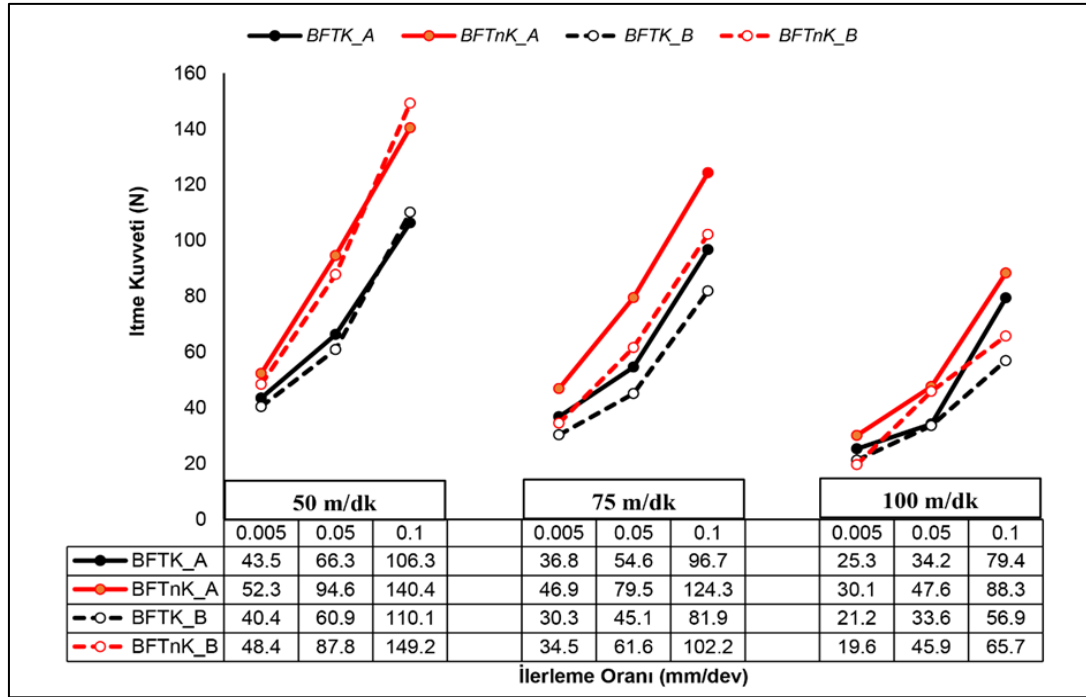
kodlu takım ucu ile delinmesi sonrası her bir kesme hızında en düşük itme kuvvetleri, 0,005 mm/dev ilerleme oranlarında, en büyük itme kuvveti değerleri ise 0,1 ilerleme oranlarında meydana gelmiştir (Şekil 4.2 (a-c-e)). Delme işlemlerinde talaş kırıcı tasarıma sahip B takım ucunun kullanılmasıyla grafiklerin eğri trendinden A takım ucuna göre herhangi bir değişiklik meydana gelmemiştir. Fakat, itme kuvvetlerindeki düşüş göze çarpmaktadır (Şekil 4.2 (b-d-f)). Dahası, her iki takım ucunda da ilerleme oranının 0,005 mm/dev değerinde en düşük itme kuvvetleri elde edilmiştir.



Şekil 4.2. İlerleme oranının itme kuvvetine etkisi

4.1.3. Matkap ucu geometrisinin itme kuvvetine etkisi

Farklı kesme hızları ve farklı ilerleme oranlarında delme işlemleri gerçekleştirilen katkısız ve HNT katkılı kompozit numunelerin matkap ucu geometrisinin izlenebilir etkisini değerlendirmek için Şekil 4.3'teki çizgi grafiği verilmiştir. 50 m/dk, 75 m/dk ve 100 m/dk kesme hızlarının ve 0,005 mm/dev, 0,05 mm/dev ve 0,1 mm/dev ilerleme oranlarının A ve B takımları ile olan etkileşimleri bu grafikten açıkça görülebilmektedir. Artan kesme hızları ile azalma eğilimindeki itme kuvvetleri, B kodlu matkap ucunun kullanılmasıyla da itme azaltma eğiliminde olduğu hem BFTK hem de BFTnK numunede izlenmektedir. Burada, matkap ucu geometrisinin itme kuvvetini kontrol altına alınması için önemli bir parametre olabileceği görülmektedir. Genel olarak HNT modifiyeli kompozit numunede daha yüksek itme kuvvetleri gözlenirse de en düşük itme kuvvetinin 100 m/dk kesme hızında yine HNT takviyeli kompozit numunede B kodlu takım ucu ile delinmesi sonucu bulunmuştur. Kumar vd., grafen oksit nano takviye kullanılarak polimer nanokompozitlerde itme kuvvetini kontrol altına almayı başarmışlardır. Ayrıca yüksek kesme hızlarının kompozit matrisini yumuşatabildiğini ve işleme arayüzü arasında sıcaklığı arttırıp daha az kesme kuvveti gereksinimini sağladığını belirtmişlerdir (Kumar, Verma ve Debnath, 2020). Liu, Qi, Wu, Zhang ve Zhu (2018) kompozitlerin delme işlemi deneylerini farklı matkap ucu geometrilerine sahip takım uçlarını itme kuvveti açısından araştırmışlar ve itme kuvvetlerinde düşüş sağlamışlardır. Feito, Muñoz-Sánchez, Díaz-Álvarez ve Miguelez'in (2019) gerçekleştirdikleri başka bir çalışmada, ANOVA analizleri kullanılarak kompozit malzemelerin delme işlemleri değerlendirilmiş ve itme kuvvetine etki eden parametrelerin başında gelen ilerleme oranı sonrası, takım geometrisinin de ikincil büyüklükte bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.3. Takım ucunun itme kuvvetine etkisi

4.2. Delme Parametrelerinin Yüzey Deformasyon Faktörlerine Etkisi

50,75 ve 100 m/dk kesme hızlarında ve 0,005, 0,05 ve 0,01 ilerleme oranlarında BFTK ve BFTnK malzemelerin A ve B kodlu takım uçları ile delinmesi sonucunda giriş ve çıkış yüzeylerin deformasyon faktörleri Denklem 1 'e göre hesaplanmış ve Çizelge 4.2 'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. A ve B kodlu takım uçları ile delinmesi sonucunda giriş ve çıkış yüzeylerin deformasyon faktör değerleri

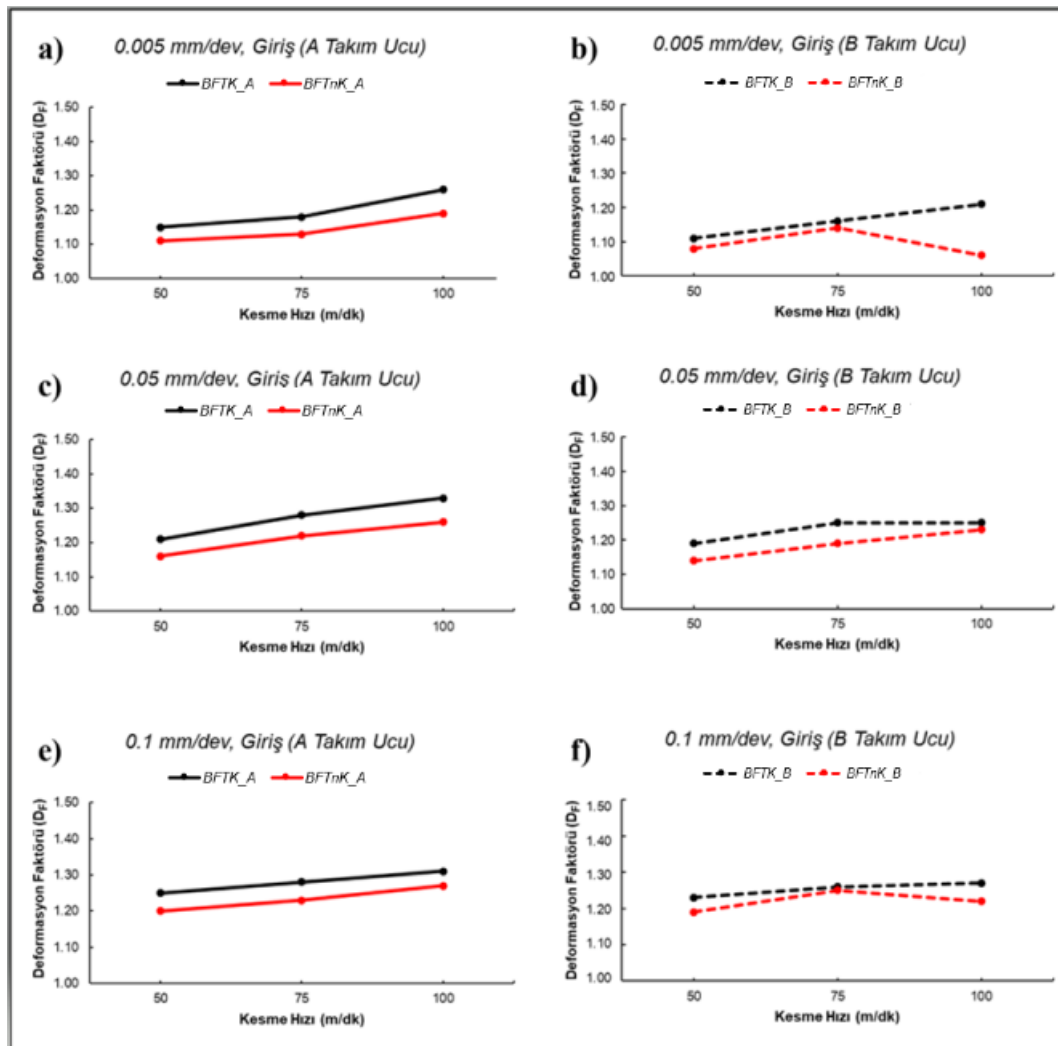
Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme Oranı (mm/dev)	Giriş D _F (BFTK)	Giriş D _F (Nano_BFTK)	
50 m/dk	0,005	1,15	1,11	A Kodlu Takım
	0,05	1,21	1,16	
	0,1	1,25	1,20	
75 m/dk	0,005	1,18	1,13	
	0,05	1,28	1,22	
	0,1	1,28	1,23	
100 m/dk	0,005	1,26	1,19	
	0,05	1,33	1,26	
	0,1	1,31	1,27	
50 m/dk	0,005	1,11	1,08	B Kodlu Takım
	0,05	1,19	1,14	
	0,1	1,23	1,19	
75 m/dk	0,005	1,16	1,14	
	0,05	1,25	1,19	
	0,1	1,26	1,25	
100 m/dk	0,005	1,21	1,06	
	0,05	1,25	1,23	
	0,1	1,27	1,22	

Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme Oranı (mm/dev)	Çıkış D _F (BFTK)	Çıkış D _F (Nano_BFTK)	
50 m/dk	0,005	1,25	1,22	A Kodlu Takım
	0,05	1,31	1,29	
	0,1	1,39	1,34	
75 m/dk	0,005	1,32	1,26	
	0,05	1,34	1,28	
	0,1	1,38	1,31	
100 m/dk	0,005	1,4	1,33	
	0,05	1,43	1,37	
	0,1	1,48	1,41	
50 m/dk	0,005	1,23	1,19	B Kodlu Takım
	0,05	1,27	1,21	
	0,1	1,35	1,3	
75 m/dk	0,005	1,27	1,24	
	0,05	1,3	1,27	
	0,1	1,33	1,29	
100 m/dk	0,005	1,21	1,16	
	0,05	1,23	1,21	
	0,1	1,31	1,26	

4.2.1. Kesme hızının giriş yüzeyi deformasyon faktörüne etkisi

50 m/dk, 75 m/dk ve 100 m/dk kesme hızlarının A ve B takım uçları ile gerçekleştirilen delme işlemleri sonucunda, BFTK ve BFTnK malzemelerin giriş yüzey deformasyonlarına etkisi Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Genel olarak giriş yüzey deformasyon sonuçları incelendiğinde, tüm durumlarda katkısız kompozit numunede HNT katkılı numuneye göre daha yüksek deformasyon faktörü verilerine ulaşılmaktadır. 0,005 mm/dev ilerlemede, kesme hızının artışı modifiyesiz numunede deformasyon faktöründe artışa neden olurken, HNT modifiyeli malzemede 50-75 m/dk kesme hızlarında artış, 75-100 m/dk kesme hızlarında ise düşüş meydana gelmiştir (Şekil 4.4 (a-b)). 0,05 mm/dev ilerleme oranının sabit kaldığı delme işlemlerinde ise her iki takım ucu içinde kesme hızının artması giriş yüzey deformasyonlarını arttırmıştır (Şekil 4.4 (c-d)). Ayrıca, 100 m/dk kesme hızında, B kodlu takım ucunun kullanıldığı işlemde deformasyonların her iki malzemede birbirine yakın derecede meydana geldiği görülmektedir. Şekil 4.4 (e-f) 'de 0,1 mm/dev ilerleme oranında gerçekleştirilen testlerde 0,005 mm/dev ilerlemede gerçekleştirilen delme işlemine benzer bir sonuç ortaya çıkmış ve özellikle nanokompozit malzemenin 75 m/dk kesme hızından sonra giriş deformasyonunda yine benzer bir düşüş meydana gelmiştir. Bu sonuç, nanokompozit malzemenin B kodlu matkap ucu kullanılarak delinmesinde özellikle 75 m/dk ve sonrası kesme hızları için limit bir kesme hızı olabileceğini göstermektedir. Bunun için daha yüksek kesme hızlarına çıkarılarak ya da ara kesme hızları üzerine optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilerek böyle bir durumun varlığı konusunda net bir sonuca ulaşılabilir. Grafen oksit ile takviye edilmiş kompozit bir malzemenin işlenebilirlik

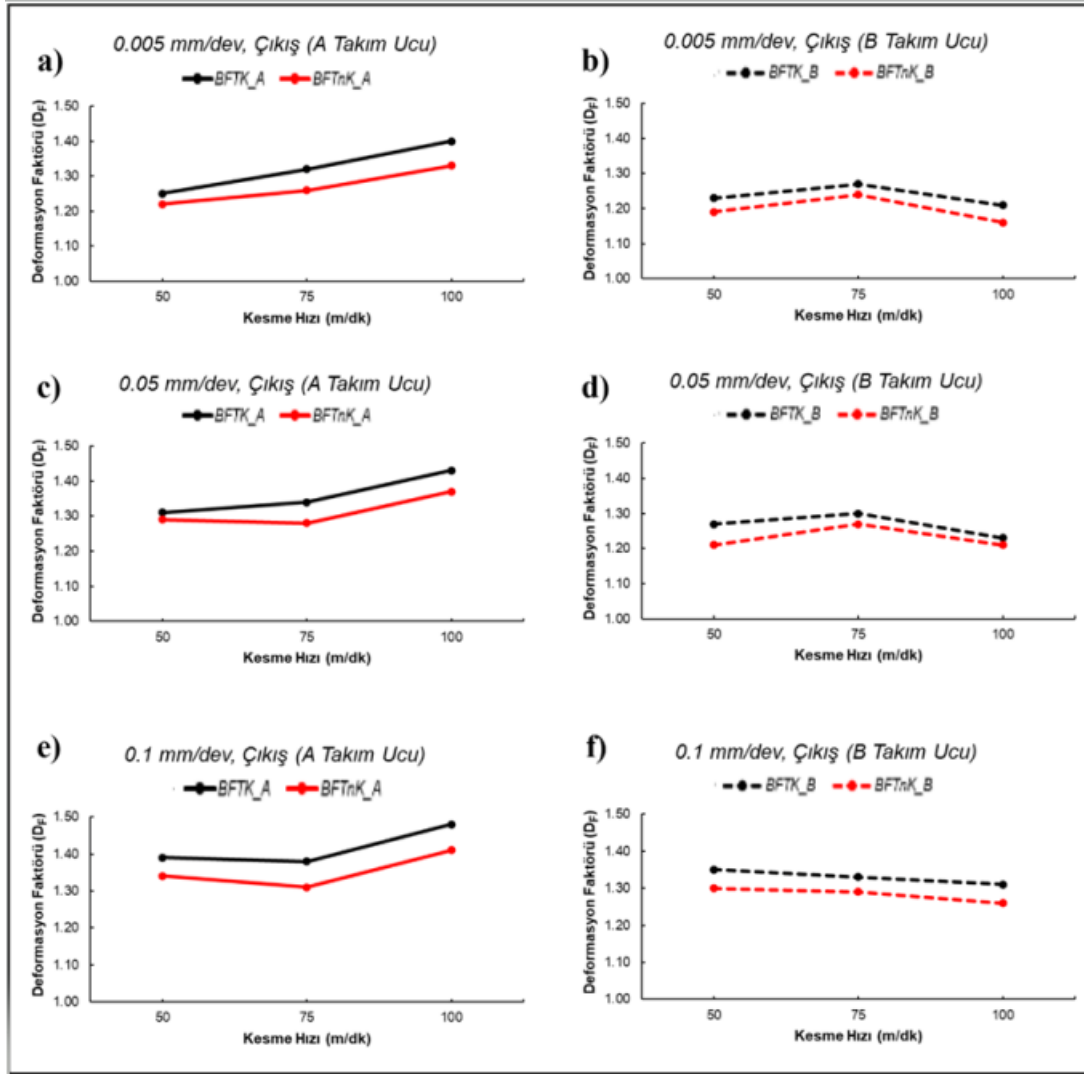
özellikleri incelenen bir çalışmada, yüksek kesme hızlarının deformasyonu azaltmada olumlu bir etkiye sahip olduğu bildirilmiştir. Bunun yanında nano malzeme kullanımı ile meydana gelebilecek yüzey hasarlarının da minimize edilebildiği belirtilmiştir (Kumar vd., 2020). Delme testlerinin karbon elyaf takviyeli kompozit malzemeler üzerinde gerçekleştirildiği başka bir çalışmada ise artan kesme hızlarının kompozit malzemenin deformasyon faktörünü arttırdığı yönünde bir sonuç rapor edilmiştir (Kaybal, Ünüvar, Koyunbakan ve Avcı, 2019). Görüldüğü üzere benzer delme parametrelerin, kompozit malzemelerin işlenebilirliği üzerine farklı tesirleri olabileceği ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4.4. Kesme hızının giriş yüzeyi deformasyon faktörüne etkisi

4.2.2. Kesme hızının çıkış yüzeyi deformasyon faktörüne etkisi

Kompozit numunelerin farklı kesme hızlarındaki delme işlemleri sonucu A ve B kodlu takım ucu için ortaya çıkan çıkış yüzey deformasyonlarına ilişkin grafikleri Şekil 4.5 'te verilmiştir. Genel durum itibarıyla, kesme hızlarının değişimi çıkış yüzeyi deformasyonları üzerinde farklı cevaplar verdiği görülmektedir. Hepsinden önce, çıkış deformasyon yoğunluklarının BFTK numunede daha fazla olduğu görülmektedir. A kodlu takım ucu ile delme işlemleri gerçekleştirilmiş numunelerde kesme hızının artışı istisnai durumlar haricinde deformasyon faktörünün artışı ile neticelenmiştir (Şekil 4.5 (a-c-e)). Numuneler 50-75 m/dk kesme hızlarında birbirinden farklı davranışlar sergilerken, 75 m/dk kesme hızı sonrası deformasyon faktörleri açık bir şekilde yükselmiştir. Çıkış deformasyon yüzeylerinin değerlendirildiği B kodlu takım ucu grafiklerinde ise 50-75 m/dk kesme hızları arasında, küçük ve orta ilerleme oranında deformasyon faktörleri artarken, yüksek ilerleme oranında deformasyon faktörü azalmıştır (Şekil 4.5 (b-d-f)). Dahası, 75 m/dk kesme hızından sonra her iki numunede de deformasyon faktörleri düşme eğilimindedir. Sonuç olarak hem BFTK hem de BFTnK numune için A kodlu matkap ucunda en düşük deformasyon faktörü 50 m/dk kesme hızında, B kodlu matkap ucunda ise 100 m/dk kesme hızında meydana gelmiştir. Bu çalışma sonuçlarının aksine, Çelik ve arkadaşlarının kompozit malzemelerin işlenebilirliği üzerine yaptıkları çalışmada, kesme hızı artışının çıkış deformasyon faktörünü arttırdığı vurgulanmıştır (Çelik, Kılıçkap ve Koçyiğit, 2019). Diğer yandan, kesme hızı artışına karşın çıkış deformasyonlarının azalabileceğini gösteren başka çalışmalarda mevcuttur (Kaybal, Ünüvar, Kaynak ve Avcı, 2020). Phadnis, Makhdom, Roy ve Silberschmidt (2013) yaptıkları çalışmalarında, kompozitlerin delinmesi sırasında artan kesme hızları ile deformasyonların kademeli olarak azaldığını bildirmişlerdir.

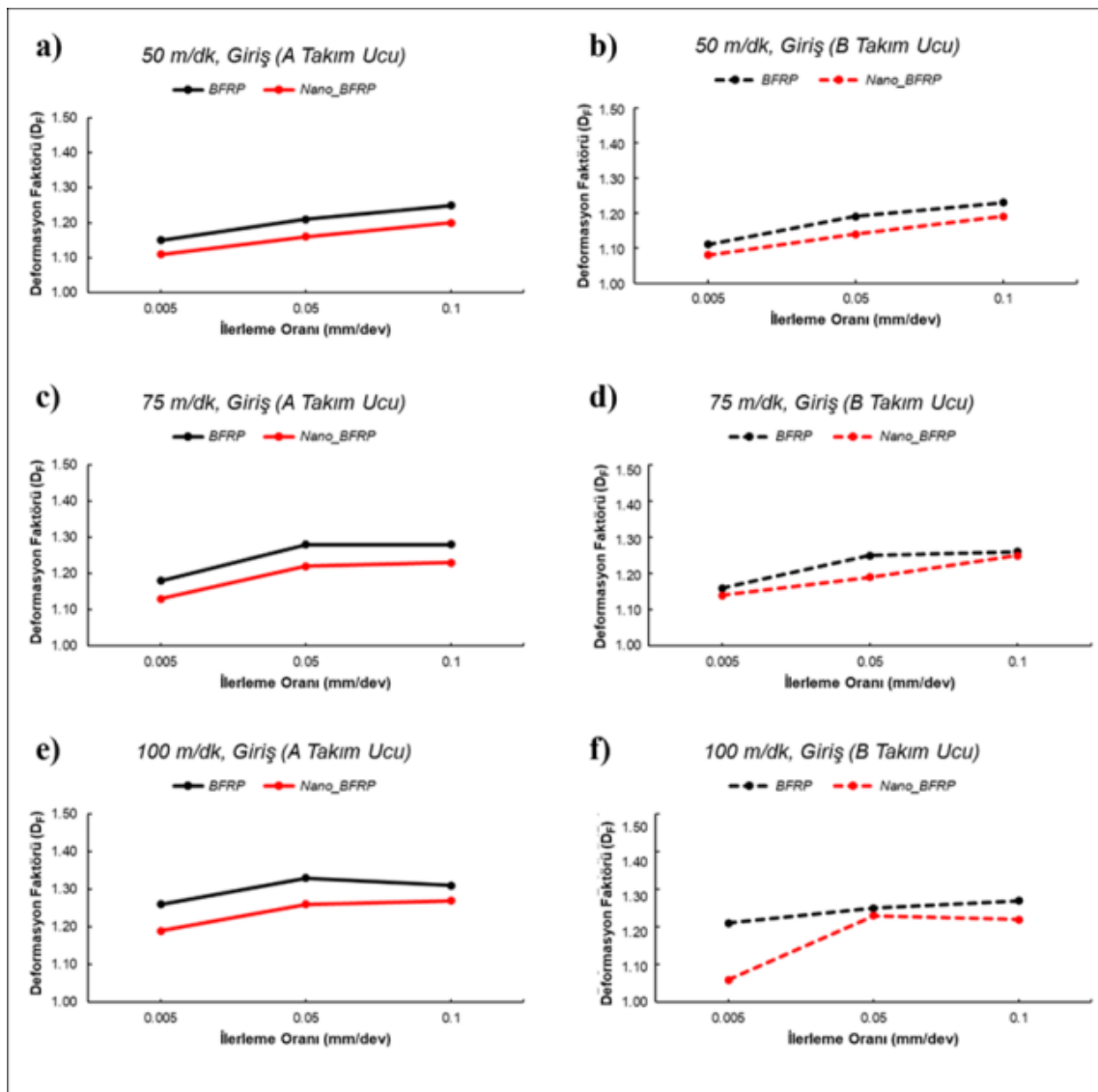


Şekil 4.5. Kesme hızının çıkış yüzeyi deformasyon faktörüne etkisi

4.2.3. İlerleme oranının giriş yüzey deformasyon faktörüne etkisi

BFTK ve BFTnK malzemelerin 50 m/dk, 75 m/dk ve 100 m/dk kesme hızları ile 0,005 mm/dev, 0,05 mm/dev ve 0,1 mm/dev ilerleme oranlarında A ve B takım ucu ile delme işlemi sonrası giriş yüzey deformasyon faktörleri Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Tüm kesme hızlarında ve her bir takım ucunda gerçekleştirilen test sonrası ilerleme oranlarının artması ile giriş deformasyon faktörleri artmıştır. Şekil 4.6 (a-b) 50 m/dk kesme hızlarında en düşük deformasyon faktörü değeri B takım ucunun kullanılmasıyla 0,005 mm/dev ilerleme oranında BFTnK numunede 1,08 olarak bulunmuştur. Şekil 4.6 (c-d), 75 m/dk kesme hızı oranında numunelerin gösterdiği eğri trendleri değişmemiştir. Fakat en düşük deformasyon faktörü bu kez A takım ucunun kullanılmasıyla BFTnK numunede 1,13 olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.6 (e-f) 'de verilen eğrilerde de ilerleme oranlarının deformasyon

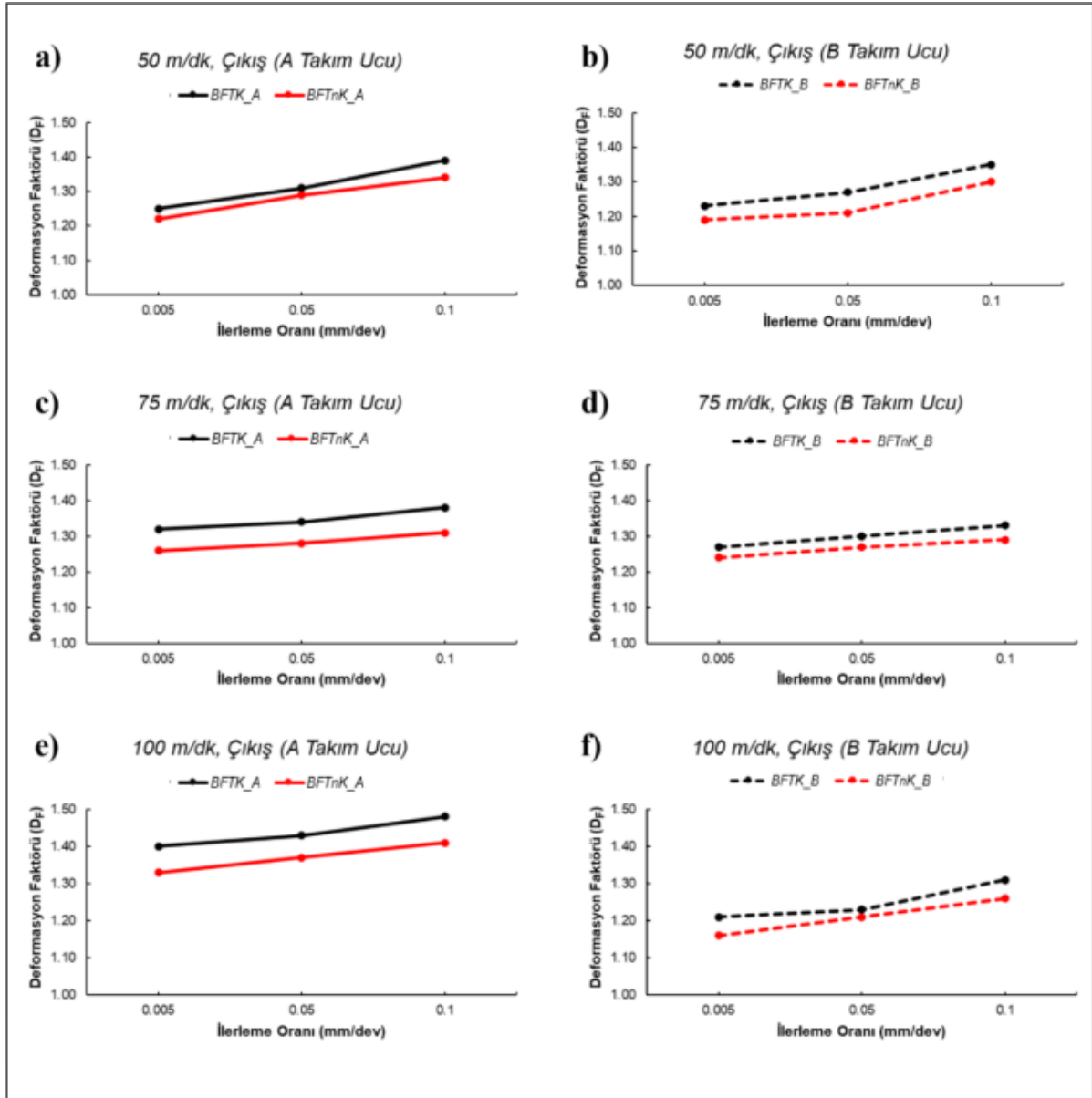
faktörleri üzerindeki etkisinin çok fazla değişmediği görülmektedir. Burada, en düşük deformasyon faktörü B takım ucunda nanokompozit numunede 1,06 olarak bulunmuştur. Kompozit numunelerin sıradan bir matkap ile delinmesi sırasında, numuneler eğilme deformasyonuna maruz kalır. Bunun sonucunda, itme kuvveti katmanlar arası bağlantının dayanımını aşar ve nihayetinde delaminasyonlar meydana gelir (Tsao, Kuo ve Hsu, 2012). Yaşar ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, delaminasyon sorununun ilerleme oranı direk irtibatlı olduğunu ve ilerlemenin artmasıyla delaminasyonun da arttığı sonucuna ulaşmışlardır (Yaşar ve Günay, 2019).



Şekil 4.6. İlerleme oranının giriş yüzey deformasyon faktörüne etkisi

4.2.4. İlerleme oranının çıkış yüzey deformasyon faktörüne etkisi

Delme sırasında oluşan deformasyonların, deliğin giriş yüzeylerine göre çıkış yüzeylerinde daha fazla meydana geldiği bilinmektedir (Qiu vd., 2018). Kompozit numunelerin değişen ilerleme oranlarına karşı çıkış deformasyon faktörü değerleri Şekil 4.7’de verilmiştir. Hesaplanan çıkış yüzeyi deformasyonları giriş yüzey deformasyonlarına göre yüksek çıkmıştır. Numunelerin 50 m/dk kesme hızında A kodlu takım ucu ile delinmesi sonrası en yüksek deformasyon faktörü değeri 0,1 mm/dev ilerleme oranında katkısız kompozitte 1,39 olarak hesaplanırken, en düşük değer ise 0,005 mm/dev ilerleme oranında B kodlu matkap ucunun kullanılmasıyla HNT katkılı nanokompozit malzemede 1,19 olarak bulunmuştur (Şekil 4.7 (a-b)). 75 m/dk kesme hızında B kodlu takım ucundaki ilerleme oranlarında A kodlu matkap ucundaki değerlere göre deformasyon faktörü değerlerinin hissedilir şekilde düşük olduğu görülmektedir (Şekil 4.7 (c-d)). Hesaplanan en düşük deformasyon faktörü değeri B takım ucunun kullanılmasıyla BFTnK malzemede 0,005 mm/dev ilerleme oranında 1,24 olarak ölçülmüştür. Şekil 4.7 (e-f)’de 100 m/dk kesme hızında, A kodlu takım ucu kullanılarak gerçekleştirilen farklı ilerleme oranlarında B kodlu matkap ucu ile gerçekleştirilenlere kıyasla daha yüksek bir çıkış deformasyon faktörü sonuçları hesaplanmıştır. En yüksek değer A takım ucunun 0,1 mm/dev ilerleme oranında BFTK malzemede 1,48 olarak ölçülürken, en düşük değer B takım ucunun 0,005 mm/dev ilerleme oranında 1,16 değerinde BFTnK malzemede görülmüştür.

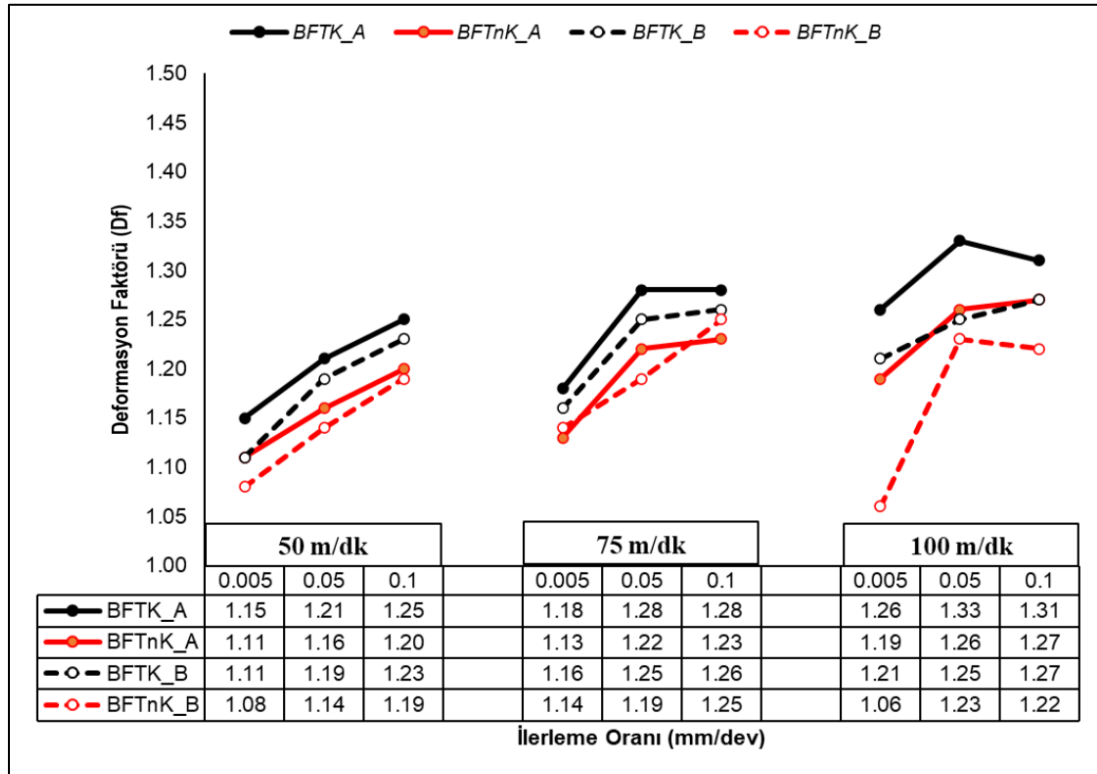


Şekil 4.7. İlerleme oranının çıkış yüzey deformasyon faktörüne etkisi

4.2.5. Matkap ucu geometrisinin giriş yüzey deformasyon faktörüne etkisi

Kompozit numunelerin farklı kesme hızları ve farklı ilerleme oranlarında A ve B kodlu takım uçları ile gerçekleştirilen delme işlemlerinin giriş deformasyon faktörüne etkisi Şekil 4.8’de verilmiştir. Bazalt elyaf takviyeli kompozit numunelerin geleneksel 120° uç açısına sahip karbür A kodlu takım ucu ile delinmesi sonrası deformasyon oranlarının B kodlu takım ucunun kullanıldığı delme testlerine göre daha yüksek çıktığı görülmektedir. Dahası, kompozit matrisinin HNT ile modifiye edildiği nanokompozit numunelerde ölçülen deformasyon faktörünün, katkısız malzemeye göre daha düşük seyrettiği izlenmektedir. Kesme hızının artması genel itibariyle deformasyon faktörünü arttırsa da en düşük giriş

deformasyon faktörü en yüksek kesme hızı olan 100 m/dk 'da BFTnK numunede 1,06 olarak bulunmuştur. BFTK numune için ise yine B kodlu takım ucunda 50 m/dk kesme hızında 1,11 gözlenmiştir.

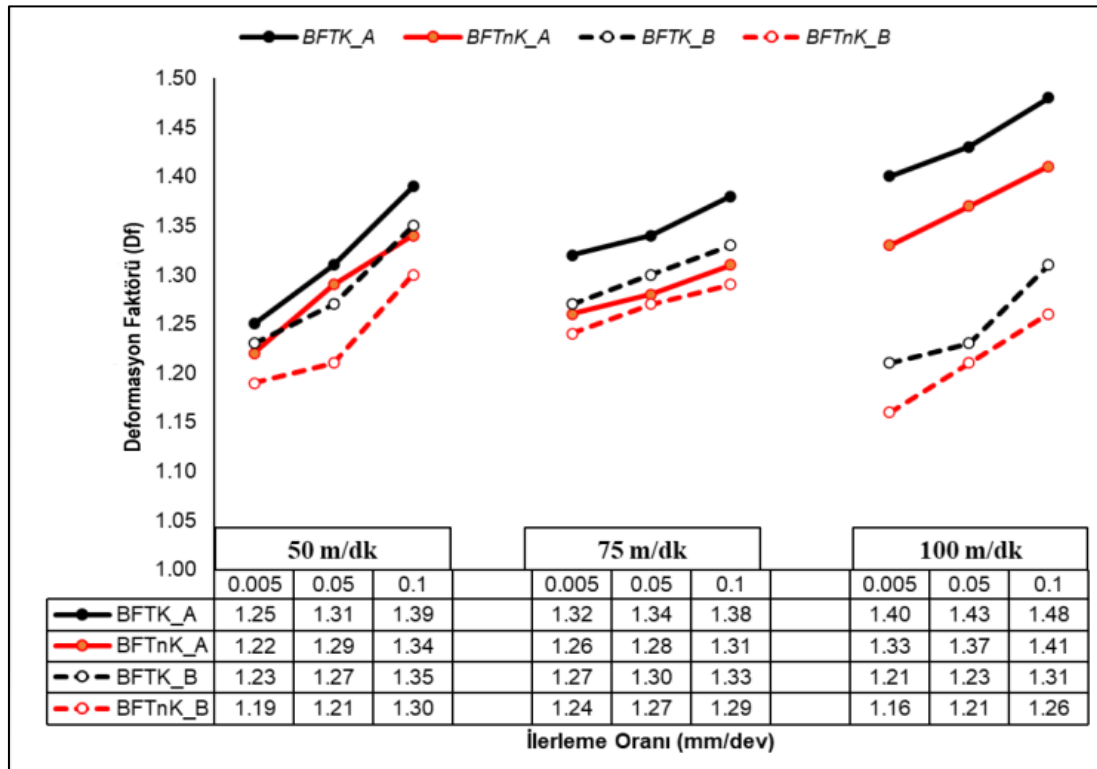


Şekil 4.8. Matkap ucu geometrisinin giriş yüzey deformasyon faktörüne etkisi

4.2.6. Matkap ucu geometrisinin çıkış yüzey deformasyon faktörüne etkisi

Delaminasyon kompozit malzemeler delinirken meydana gelen istenmeyen bir hasar türüdür. Deformasyon faktörü bu hasar türünün bir ölçüsüdür. Takım ucunun oluşturduğu itme kuvvetinin tesiri altında, uyumsuz eğilme modüllerine sahip fiber ve matris bileşeninden kaynaklı çıkış deliklerinde bu tür deformasyonlar oluşur (Mudhukrishnan, Hariharan ve Palanikumar, 2020). A ve B kodlu takım uçları ile yapılan delik delme işlemi sonrası numunelerin çıkış yüzey deformasyon faktörü değerleri Şekil 4.9'da verilmiştir. Numunelerin çıkış yüzeylerindeki deformasyon faktörü değerleri giriş yüzeylerine göre daha yüksek çıkmıştır (Kaybal vd., 2020). A kodlu takım ucunun kullanılması neticesinde en düşük çıkış yüzeyi deformasyon faktörü BFTK numune için 50 m/dk kesme hızında, 0,005 mm/dev ilerleme oranında 1,25 olarak bulunurken, BFTnK numunede aynı delme parametrelerinde 1,22 olarak hesaplanmıştır. B kodlu takım ucunun kullanılmasıyla

beraber, BFTK numune en düşük D_f değerine (1,21) 100 m/dk kesme hızında ve 0,005 ilerleme oranında ulaşmıştır. Öte yandan, BFTnK numunede ise aynı kesme parametrelerinde 1,6 en düşük D_f değeri ölçülmüştür. Çıkış yüzeylerindeki ortaya çıkan bu değerler, numuneler üzerinde oluşan itme kuvveti değerleri sonuçları ile paralellik göstermektedir. İtme kuvvetlerinin en düşük değerleri her iki numune için 0,005 mm/dev ilerleme oranlarında 50 m/dk kesme hızlarında bulunmuştur (Çizelge 4.1).



Şekil 4.9. Matkap ucu geometrisinin çıkış yüzey deformasyon faktörüne etkisi

4.3. Delme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

50,75 ve 100 m/dk kesme hızlarında ve 0,005, 0,05 ve 0,01 ilerleme oranlarında BFTK ve BFTnK malzemelerin A ve B kodlu takım uçları ile delinmesi sonucunda delik yüzeylerinden alınan yüzey pürüzlülük değerleri Çizelge 4.3 'te verilmiştir.

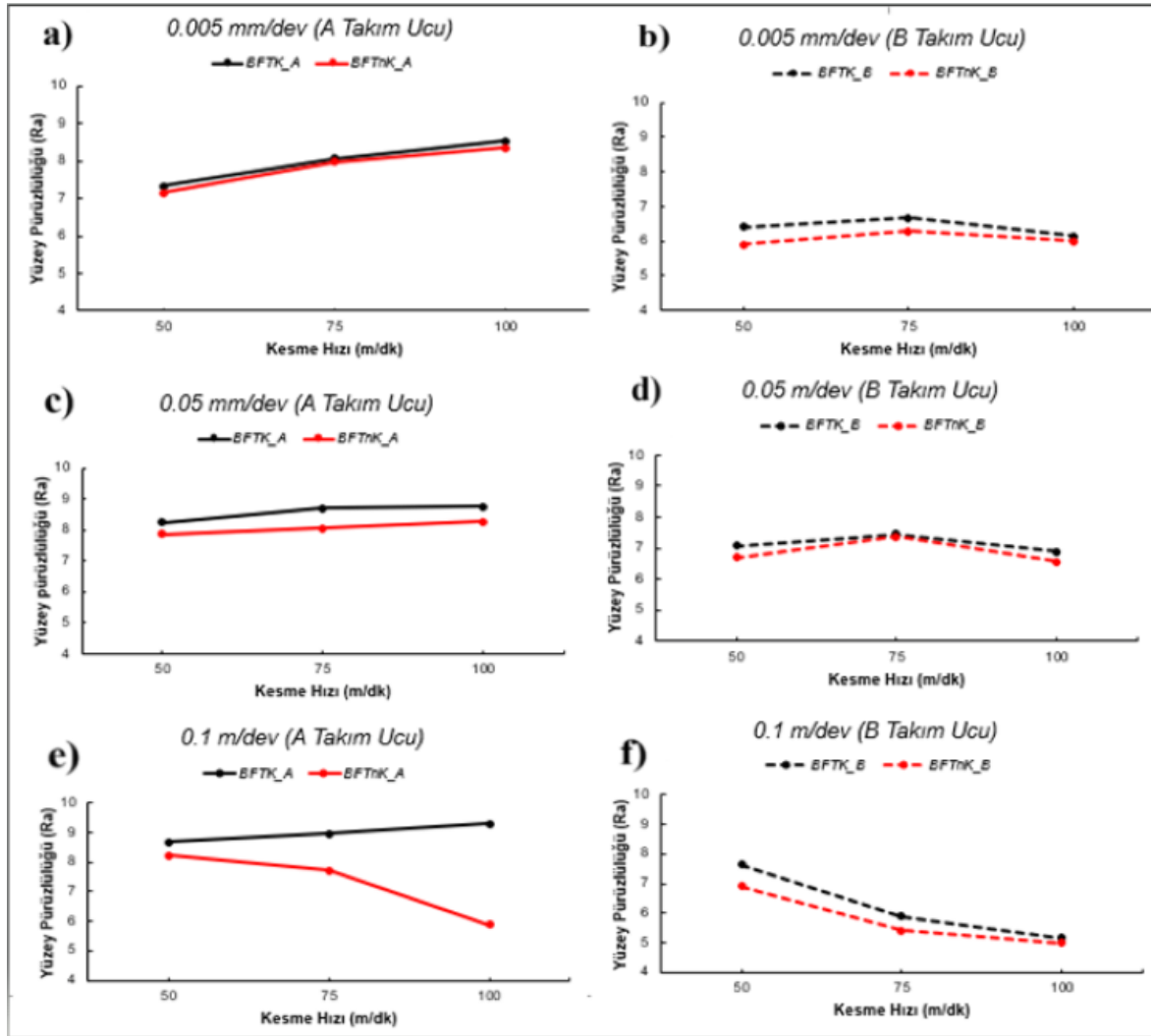
Çizelge 4.3. A ve B kodlu takım uçları ile delinmesi sonucunda delik yüzeylerinden alınan yüzey pürüzlülük değerleri

Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme Oranı (mm/dev)	Yüzey Pürüzlülük (μ) (BFTK)	Yüzey Pürüzlülük (μ) (Nano_BFTPK)	
50 m/dk	0,005	7,33	7,16	A Kodlu Takım
	0,05	8,23	7,87	
	0,1	8,66	8,23	
75 m/dk	0,005	8,05	7,98	
	0,05	8,71	8,04	
	0,1	8,97	7,71	
100 m/dk	0,005	8,54	8,36	
	0,05	8,75	8,27	
	0,1	9,30	5,88	
50 m/dk	0,005	6,40	5,90	B Kodlu Takım
	0,05	7,07	6,70	
	0,1	7,65	6,90	
75 m/dk	0,005	6,67	6,28	
	0,05	7,45	7,36	
	0,1	5,89	5,42	
100 m/dk	0,005	6,16	6,01	
	0,05	6,90	6,57	
	0,1	5,15	4,99	

4.3.1. Kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Kompozit numunelerin farklı kesme hızları kullanılarak standart karbür uç (A) ve talaş kırıcı tasarıma sahip karbür matkap uç (B) ile yapılan delme testleri sonrası delik yüzeylerinden ölçülen yüzey pürüzlülükleri Şekil 4.10 'da verilmiştir. A kodlu takım ucunun kullanılmasıyla, BFTK numunedeki yüzey pürüzlülük değerleri genelde benzer sonuç vermiş ve kesme hızındaki artış yüzey pürüzlülüğünü arttırmıştır (Şekil 4.10 (a-c-e)). Fakat, BFTnK numunede bu durum 0,1 mm/dev ilerleme oranında aksi yönde bulunmuş ve artan kesme hızının yüzey pürüzlülüğünde düşüş yaşattığı görülmüştür. Talaş kırıcı takım ucunun kullanılması numunelerin yüzey pürüzlülüklerini azalttığı Şekil 4.10 (b-d-f) grafiklerinden gözlenebilir. Fakat, değişen kesme hızları altında numuneler yüzey pürüzlülükleri için net bir davranış sergilememişlerdir. Düşük ve orta seviyedeki ilerleme oranında 50-75 m/dk kesme hızlarında yüzey pürüzlülük değerleri artarken sonraki kesme aralığında azalma eğilimindedir. Yüksek ilerleme oranında ise her iki malzemede de yüzey pürüzlülük değerleri artan kesme hızları ile düşüş trendini yakalamıştır. Değerlendirmeler

neticesinde en düşük yüzey pürüzlülük değerleri her iki malzeme için 100 m/dk kesme hızında olduğu görülmektedir.

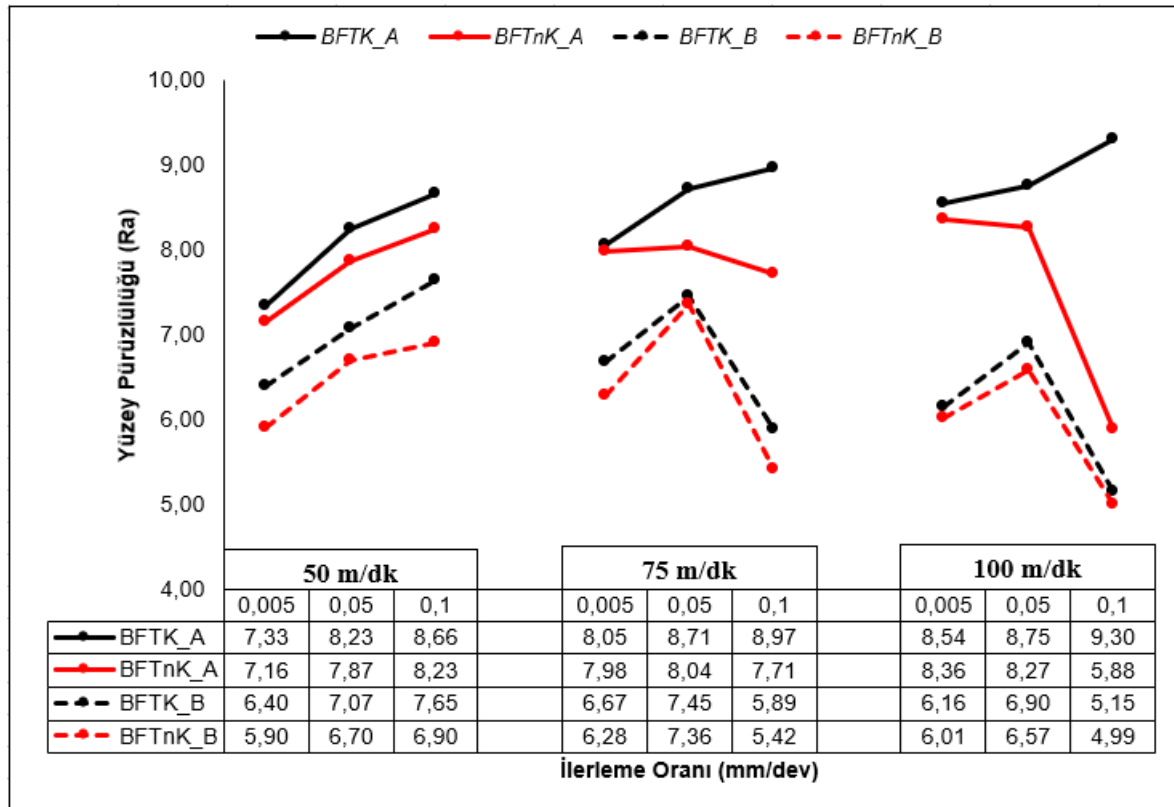


Şekil 4.10. Kesme hızının yüzey deformasyon faktörüne etkisi

4.3.2. İlerleme oranının ve matkap ucu geometrisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

İlerleme oranının ve matkap ucu geometrisinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi hem modifiyesiz hem de modifiyeli kompozit numune için Şekil 4.11’de incelenmiştir. 50 m/dk kesme hızında hem A hem de B kodlu takım ucu ile delme işlemlerinde yüzey pürüzlülük değerlerinin artan ilerleme oranı ile beraber arttığı gözlenmektedir. 50 m/dk ve 75 m/dk kesme hızlarının düşük ve orta seviye ilerleme oranında yüzey pürüzlülüğü genelde artış gösterirken, 0,1 mm/dev ilerleme oranında yüzey pürüzlülükleri düşüş eğilimindedir. İlerleme oranlarının yüzey pürüzlülüğünü direk olarak etkilediği açıktır. Fakat, değişen kesme hızlarında birbirinden farklı yüzey pürüzlülük cevabı ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak,

0,1 ilerleme oranında BFTK numune için 5,15 μm , BFTnK numune için 4,99 μm yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Diğer yandan, talaş kırıcı tasarıma sahip B kodlu takım ucunun delik delme testlerinde kullanılmasıyla, geleneksel takım ucuna göre yüzey pürüzlülük değerlerinin tüm durumlarda düşük olduğu görülmektedir. B takım ucundaki talaş kırma kanallarının delme sırasında fiber/matris yüzeyleri çekerek koparmak veya sıyırmaya zorlamak yerine kesmeye veya sürekli bir etkileşimle yorarak kırması neticesinde, böyle bir sonucun ortaya çıktığı düşünülmektedir.



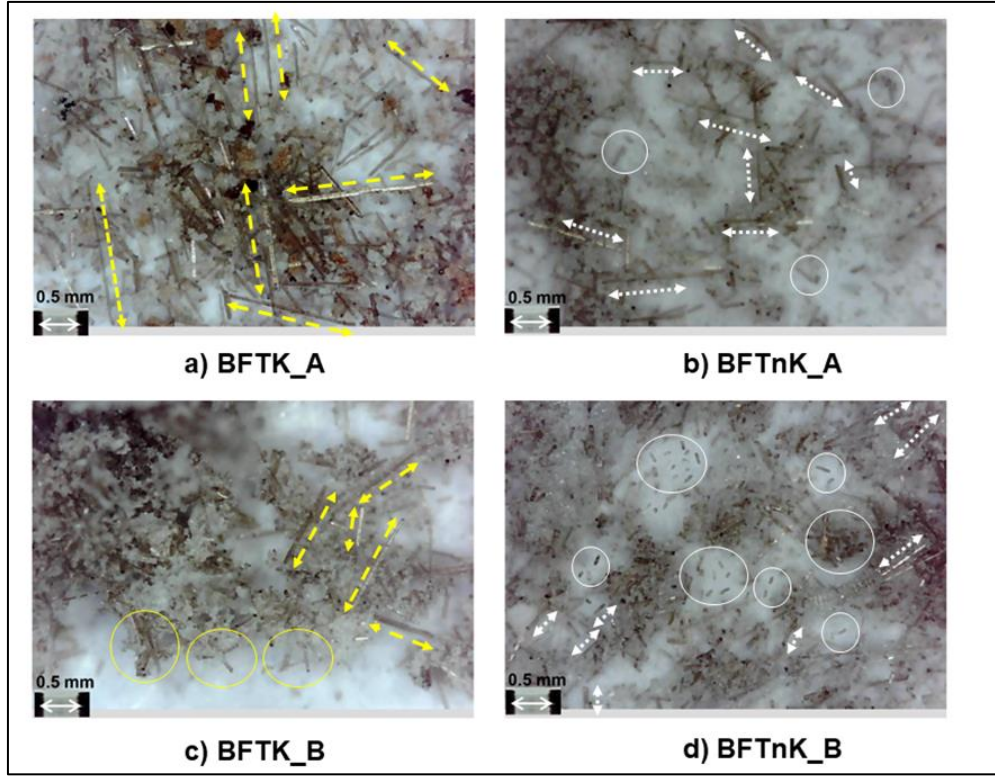
Şekil 4.11. İlerleme oranının ve matkap ucu geometrisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin delinmesi sırasında delik yüzeylerindeki yüzey pürüzlülüğü birçok çalışmaya konu olmuştur. Gerçekleştirilen bir çalışmada CFTP ‘nin işlenebilirlik özellikleri optimizasyon yöntemleri incelenmiş ve ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisinin yüksek olduğu görülmüştür (Rezghi-Maleki, Hamed, Kubouchi ve Arao, 2019). Kompozit numunenin üç farklı takım ucu ile delinmesini inceleyen başka bir çalışmada yüzey pürüzlülüğü etkileyen en önemli faktörün ilerleme hızı olduğunu, ardından kesme hızı ve matkap ucu tipinin geldiğini tespit edilmiştir. Ayrıca minimum ilerleme hızı ve maksimum kesme hızı parametreleri kullanılarak kompozit numune için düşük yüzey pürüzlülüğü değerine ulaşılabileceği belirtilmiştir (Shunmugesh

ve Panneerselvam, 2017). Bazalt fiber takviyeli ve karbon fiber takviyeli kompozit numunelerin delme işlemlerinin gerçekleştirildiği başka bir çalışmada, bazalt fiber takviyeli numunede karbon fiber kompozit numuneye göre daha şiddetli bir yüzey pürüzlülüğü ortaya çıkmıştır. Araştırmacılar bu durumu, kompozit tipinin oluşan hasarları etkilediğini ve yüzey pürüzlülüğün de kesme hızına bağlı değişimi olarak değerlendirmişlerdir (Magyar, Karoly, Xu ve Geler, 2022).

4.4. Delme Sonrası Talaş Görüntülerinin İncelenmesi

Şekil 4.12’da kompozit numunelerin 100 m/dk kesme hızı, 0,005 mm/dev ilerleme oranı değerlerindeki delme işlemi sonrası talaş resimlerini göstermektedir. Numunelerin talaş görüntüleri kesme işlemi sonrası boyut olarak birbirinden farklılık göstermiştir. A kodlu referans takım ucu ile kompozit numunelerin delinmesi sonrasında katkısız kompozit malzemeden çıkan talaş büyüklüklerinin, HNT katkılı nanokompozit malzemeye göre daha büyük ölçekte olduğu görülmektedir (Şekil 4.12 a-b). HNT takviyesinin fiber/matris ve tabakalar arayüzeylere yerleşerek kompozit malzemenin arayüzeylerinde iyileşmeler meydana getirmesi (Kaybal, 2019), delme işlemi sırasında birbirinden farklı talaş boylarının ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Diğer bir ifade ile nanokompozit numunedeki talaş büyüklüğünün küçük ölçekte olması fiber/matris arayüzey bağlantısının güçlü olduğunun bir delilidir (Şekil 4.12 b). Diğer yandan numunelerin talaş kırıcılı B kodlu takım ucu ile delinmesi sonrası, talaş büyüklüklerinde düşüş görülmüştür (Şekil 4.12 c-d). B takım ucundaki talaş kırıcı tasarım, fiberleri matkap keskileri dışında ekstra kesme ve kopmaya zorlaması ortaya çıkan talaşın incelmesine sebep olmuştur. Ayrıca, incelen talaş, takım ucu talaş tahliye kanalları vasıtasıyla kolayca ortamdan uzaklaşmasına neden olur. Dolayısıyla bunun bir sonucu olarak, kesme parametrelerinin itme kuvveti ve deformasyon faktörünü azalttığı söylenebilir.

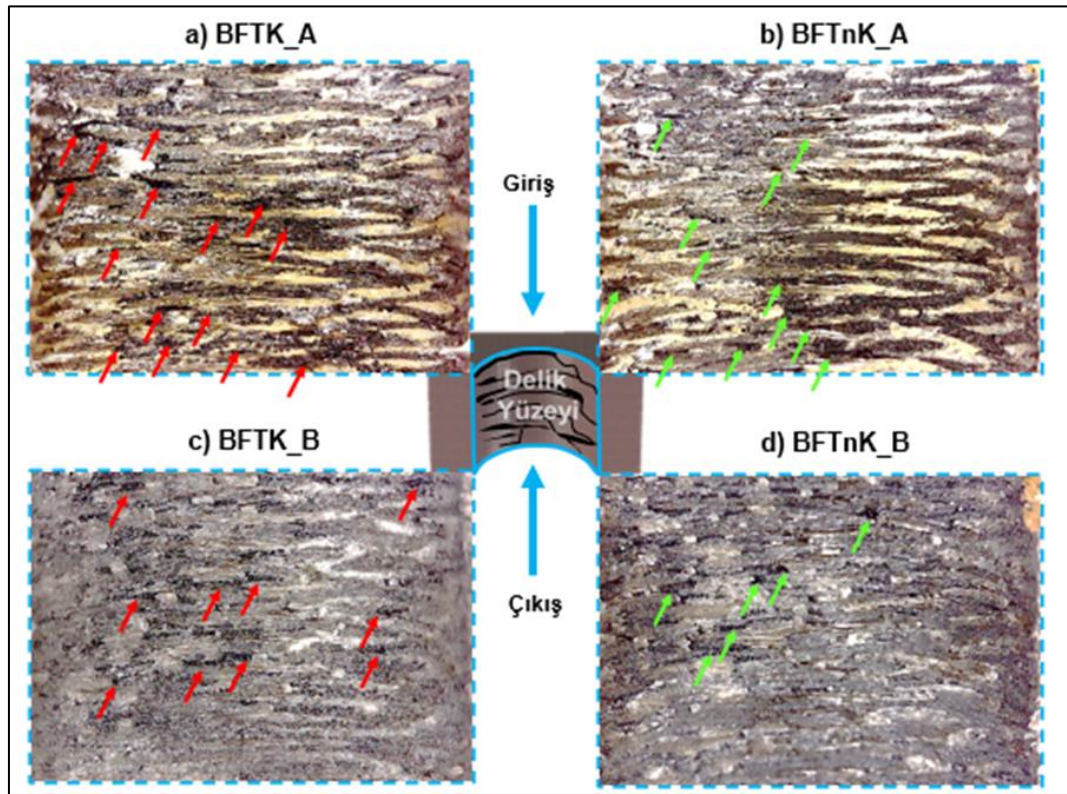


Şekil 4.12. Delme sonrası numunelerden alınan talaş örnekleri

4.5. Delme Sonrası Delik Yüzey Görüntülerinin İncelenmesi

Kompozit numunelerin delik yüzeyleri, yüksek kesme hızı (100 m/dk) ve düşük ilerleme oranında (0,005 mm/dev) sırasıyla A ve B kodlu takım uçları ile delinmesi sonrası makroskobik olarak Şekil 4.13'te incelenmiştir. Delik delme prosesi sonrası oluşan alışlagelmiş delaminasyon hasarları, numunelerin delik yüzeylerinde tehlikeli boyutlara ulaşmadığı hem A kodlu hem de B kodlu takım ucu için görülmektedir. Fakat buna rağmen A takım ucu kullanılması sonucu BFTK numunede daha yoğun bir hasar oluşumu gözlenirken, BFTnK numunede nispeten daha az yoğunlukta meydana gelmiştir (Şekil 4.13 a-b). Dahası, düşük ilerleme ve yüksek kesme hızı sonrası takım ucu-kompozit yüzeyleri arasındaki sürtünme birtakım fiziksel etkileşim meydana getirmiştir. Bu fiziksel etkileşimin matris malzemeyi negatif yönde etkilemesi endişe verici olduğundan bir kusur olarak ifade edilebilir. Bu etkileşimin detaylı etkisi bu çalışmanın kapsamı dışındadır. Kompozit numunelerin B kodlu takım ucu ile delinmesi sonrası sürtünme kaynaklı oluşan fiziksel değişim ortadan kalkmıştır (Şekil 4.13 c-d). B kodlu takım ucunun tasarımındaki talaş kırma/kesme kanalları, hem takım ucu-numune arasındaki sürtünmenin azalmasına, hem de fiberlerin daha rahat bir şekilde kesilmesine/kırılmasına olanak sağlamıştır. Bununla bir sonucu olarak, oluşan hasarlar neredeyse bir boşluk formunu almıştır. Fiber

takviyeli kompozit malzemelerin delik delme işlemlerinde, delaminasyon hasarları neredeyse kaçınılmaz olarak numunelerin çıkış yüzeylerine yakın katmanlarda itme kuvveti kaynaklı meydana gelmektedir. Fakat, bunun aksine özel tasarımlı B takım ucunun kullanılmasıyla çıkış deliklerine yakın bölgelerdeki katmanlarda meydana gelen hasarların A takım ucu sonuçlarına göre gözle fark edilebilir bir şekilde minimize olduğu görülmektedir.

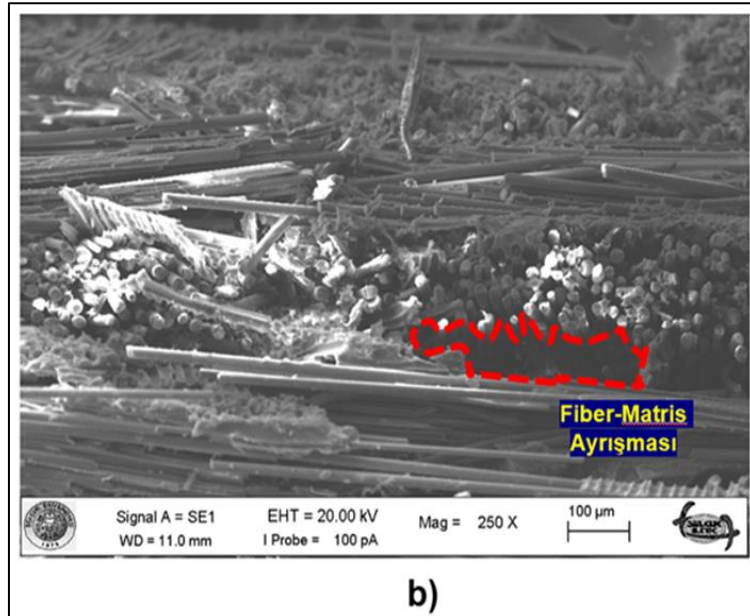
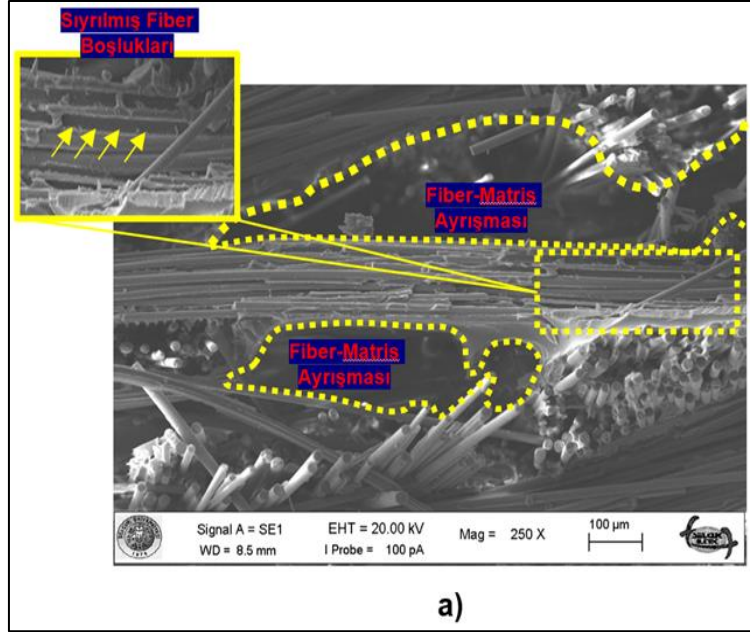


Şekil 4.13. Kompozit numunelerin delik yüzey görüntüleri

4.6. Delme Sonrası Hasar Yüzeylerinin SEM ile İncelenmesi

Şekil 4.14'te, 100 m/dk kesme hızı, 0,005 mm/dev ilerleme oranında, sırasıyla A ve B takım uçları ile delinmiş kompozit numunelerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri verilmiştir. A takım ucu ile delme işlemi yapılmış kompozit numunede, kesilmiş ve kesilmeye zorlanan bölgeler incelendiğinde fiber ve matris elemanın delme yüzeyinden ayrıştığı bölgeler görülmektedir. Mevcut A takım ucunun delme sırasında fiberleri çekmeye zorlayarak fiber-matris ayrışmasına ve fiber sıyrılmasına yol açtığı gözlenmektedir. Ayrıca, sıyrılmış fiber boşluklarının varlığı, A takım ucunun fiberleri çekmeye zorladığının bir göstergesidir. Öte yandan, B kodlu takım ucunun kullanıldığı

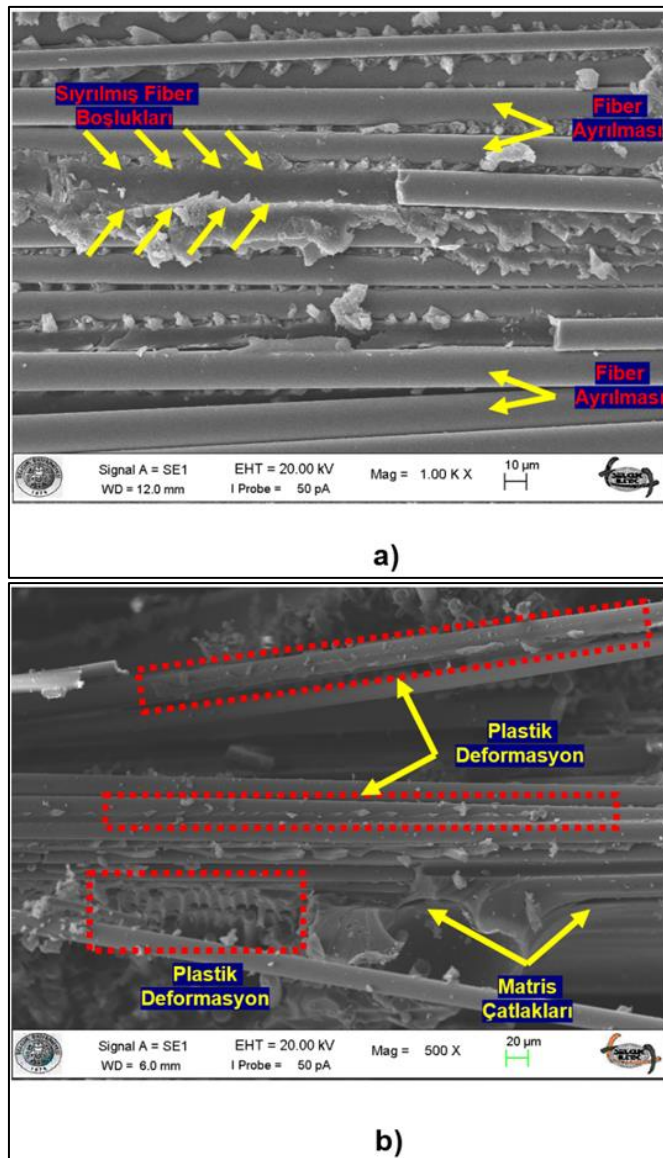
kompozit numunede ise kesilmiş ve kesilmeye zorlanan fiberlerin varlığı yoğunlukla göze çarpmaktadır. Bu da B takım ucundaki talaş kırma tasarımının fiberi çekmeye zorlamaktan ziyade kesmeye ve kırmaya zorladığının bir sonucudur. Bunun yanında az bir yoğunlukta da olsa fiber-matris ayrışması gözlenmiştir.



Şekil 4.14. 100 m/dk kesme hızı, 0,005 mm/dev ilerleme oranında delik delme işlemleri sonrası numune arayüzeyi SEM görüntüleri a) A kodlu matkap ucu b) B kodlu matkap ucu

Katkısız kompozit ve nanokompozit numunelerin B kodlu takım ucu ile delme işlemi sonrası fiber/matris arayüzey hasar görüntüleri Şekil 4.15'te verilmiştir. Kompozit

numunelerde, nispeten zayıf fiber/matris arayüzeyinden kaynaklı fiber ayrılmaları göze çarpmaktadır (Şekil 4.15 a). Delme sırasında takım ucunun fiberleri kesmeye zorlarken, fiberlerin kolayca matristen sıyrıldıkları görülmektedir. Sıyrılmış fiberlerin matris boşluklarında pürüzsüz ve keskin bir hasar yüzeyi matris ile fiber arasında zayıf yapışma durumuna işaret etmektedir (Kaybal, 2019). Diğer yandan, nanokompozit numunen hasar görüntülerin matris, fiber ve fiber/matris arayüzeyinde plastik deformasyon bölgelerinin varlığı göze çarpmaktadır (Şekil 4.15 b). Bu plastik deformasyon bölgeleri gelişmiş fiber/matris arayüzey etkileşimini açıklar (Kaybal, 2019; Ulus, 2019). Takım ucunun malzemeyi kesmeye zorlaması sırasında daha yüksek bir itme kuvvetinin ortaya çıkmasının sebebi gelişmiş fiber/matris arayüzeyidir (Kaybal, 2015).



Şekil 4.15. Numunelerin B kodlu matkap ucu ile delinmesi sonrası arayüzey hasar görüntüleri a) BFTK b) BFTnK

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışma, özel olarak tasarlanmış 120° karbür takım uçlarının kullanıldığı bir kompozit malzemenin delik delme performansını incelemeyi amaçlamaktadır. Özellikle, bazalt elyaf takviyeli kompozit malzemenin delik delme işlemine etkisi detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Ayrıca, bazalt elyaf takviyeli kompozit malzemenin delik delme sırasındaki hasarlarını minimize etmek ve delik delme performansını artırmak amacıyla malzemenin epoksi matrisi halloysite nanotüp (HNT) partikülleri ile modifiye edilmiştir. Çalışmada, farklı kesme hızları ve ilerleme oranları kullanılarak delik delme işlemleri gerçekleştirilmiştir. İşlem sonrasında itme kuvvetleri ve delik giriş/çıkış yüzeylerindeki deformasyon faktörleri değerlendirilmiştir. Ayrıca, delik delme işlemi sonrası delik duvarlarının yüzey pürüzlülük değerleri hesaplanmıştır. İşlem sırasında oluşan talaşların görüntüleri incelenerek takım uçlarının ve HNT katkısının etkisi araştırılmıştır. Delik delme işlemi sonrası delik duvarlarında meydana gelen hasarlar makro düzeyde bir görüntüleme cihazı ile incelenmiş, mikro boyuttaki hasarlar ise taramalı elektron mikroskopu (SEM) kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu çalışma, kompozit malzemelerin delik delme performansını geliştirmeye yönelik aşağıda yer verilen önemli bilgiler sunmaktadır.

- BFTK ve BFTnK malzemelerinin A ve B kodlu takım uçlarıyla yapılan delme işlemlerinde kesme hızının itme kuvvetleri üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmüştür. Genel olarak, kesme hızının artmasıyla itme kuvvetlerinin azaldığı gözlenmiştir. Bununla birlikte, HNT katkılı BFTnK numunelerinde BFTK numunelere göre daha yüksek itme kuvvetleri ölçülmüştür.
- İlerleme oranının, numunelerin A ve B kodlu takım uçlarıyla gerçekleştirilen delme işlemlerindeki itme kuvvetleri üzerinde önemli bir etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Genel olarak, ilerleme oranının artması, itme kuvvetlerinin artmasına neden olmuştur. Bu sonuç, kesme hızının sabit olduğu her bir değerlendirmede gözlemlenmiştir. HNT katkılı bazalt kompozit numunelerin, itme kuvveti değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. A kodlu takım ucu ile delinmesi sonrasında, her bir kesme hızı için en

düşük itme kuvvetleri 0,005 mm/dev ilerleme oranında elde edilmiştir. En yüksek itme kuvveti değerleri ise 0,1 ilerleme oranlarında gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, ilerleme oranının itme kuvvetleri üzerindeki etkisini net bir şekilde göstermektedir.

- B kodlu matkap ucu kullanıldığında da itme kuvvetlerinde azalma gözlenmiştir, bu azalma hem BFTK hem de BFTnK numunelerinde mevcuttur. Bu bulgular, matkap ucu geometrisinin itme kuvvetini düzenleme potansiyeline sahip önemli bir parametre olduğunu göstermektedir.
- HNT ile modifiye edilen kompozit numuneler genellikle daha yüksek itme kuvvetlerine sahiptir, ancak en düşük itme kuvveti değeri, 100 m/dk kesme hızında, yine HNT takviyeli kompozit numunelerde B kodlu matkap ucu kullanıldığında elde edilmiştir.
- Giriş yüzeyi deformasyon faktörü incelenirken, tüm kesme hızlarında katkısız kompozit numunelerde HNT katkılı numunelere göre daha yüksek deformasyon faktörleri elde edilmiştir. Kesme hızının artışı, modifiyesiz numunelerde deformasyon faktörünün artışına neden olurken, HNT katkılı numunelerde bazı hızlarda düşüş gözlenmiştir. Çıkış yüzeyi deformasyonlarına bakıldığında ise BFTK numunelerinde daha fazla deformasyonun olduğu görülmüştür. A kodlu matkap ucunun kullanıldığı durumlarda, kesme hızının artışı deformasyon faktörünü arttırmıştır. B kodlu matkap ucunun kullanıldığı işlemlerde ise bazı hızlarda deformasyon faktörü artarken, yüksek kesme hızlarında düşüş gözlenmiştir. Sonuç olarak, her iki matkap ucu için en düşük deformasyon faktörleri farklı kesme hızlarında meydana gelmiştir. Bu sonuçlar literatürdeki benzer çalışmalarla kıyaslandığında farklı sonuçlara işaret etmektedir, bu da kompozit malzemelerin işlenebilirliği üzerindeki çoklu etkileri göstermektedir.
- Giriş yüzey deformasyon faktörleri, artan ilerleme oranları ile genellikle artmıştır. İlerleme oranının artışı, genellikle daha yüksek deformasyon faktörleri ile sonuçlanmıştır. Ancak, bazı durumlarda, ilerleme oranının artması, deformasyon faktörlerinde düşüslere neden olmuştur. Bu sonuçlar literatürdeki benzer çalışmalarla uyumlu olmayabilir, bu da kompozit malzemelerin işlenebilirliği üzerindeki karmaşıklığı göstermektedir. Çıkış yüzey deformasyon faktörleri, giriş yüzeylerine göre genellikle daha yüksek değerler göstermiştir. İlerleme oranlarındaki artış, çıkış deformasyon faktörlerini artırmıştır. Ancak, bazı durumlarda, farklı ilerleme oranlarında farklı eğilimler gözlemlenmiştir.

- Giriş yüzey deformasyon faktörleri, farklı kesme hızları ve ilerleme oranları altında farklı takım uçları kullanıldığında değişmektedir. Özellikle bazalt elyaf takviyeli kompozit numunelerde, geleneksel 120° uç açısına sahip karbür A kodlu takım ucu ile delinmesi, B kodlu takım ucuna göre daha yüksek deformasyon faktörlerine yol açmaktadır. Ayrıca, HNT ile modifiye edilen nanokompozit numuneler, katkısız numunelere göre daha düşük deformasyon faktörleri göstermektedir. Çıkış yüzey deformasyon faktörleri, giriş yüzeylerine göre genellikle daha yüksek değerler sergilemektedir. Takım ucu geometrisi ve kesme hızı gibi faktörler, çıkış yüzeylerindeki deformasyon faktörlerini etkilemektedir. Örneğin, A kodlu takım ucu kullanıldığında en düşük çıkış yüzeyi deformasyon faktörleri BFTK numunesi için 50 m/dk kesme hızında ve 0,005 mm/dev ilerleme oranında elde edilmiştir. B kodlu takım ucu kullanıldığında ise en düşük değerler 100 m/dk kesme hızında ve 0,005 mm/dev ilerleme oranında BFTK numunesi için ölçülmüştür.
- A kodlu takım ucu kullanıldığında, BFTK numunesinde yüzey pürüzlülük değerleri genellikle artmıştır ve kesme hızındaki artış yüzey pürüzlülüğünü artırmıştır. Ancak, BFTnK numunesinde 0,1 mm/dev ilerleme oranında artan kesme hızının yüzey pürüzlülüğünü azalttığı gözlenmiştir. Diğer yandan, talaş kırıcılı takım ucunun kullanılması numunelerin yüzey pürüzlülüğünü azaltmıştır. Ancak, kesme hızındaki değişiklikler altında numunelerin yüzey pürüzlülüğü belirgin bir davranış sergilememiştir. Değerlendirmeler sonucunda her iki malzeme için en düşük yüzey pürüzlülük değerlerinin 100 m/dk kesme hızında olduğu görülmüştür.
- 100 m/dk kesme hızında hem A hem de B kodlu takım ucu ile yapılan delme işlemlerinde yüzey pürüzlülük değerlerinin artan ilerleme oranlarıyla arttığı görülmüştür. Ancak, 0,1 mm/dev ilerleme oranında yüzey pürüzlülüğü düşüş eğilimi göstermiştir. Bu sonuçlar ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğünü etkilediğini net bir şekilde ortaya koymaktadır. Ayrıca, talaş kırıcılı tasarıma sahip B kodlu takım ucunun kullanılmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinin genellikle daha düşük olduğu gözlenmiştir. Bu durum, talaş kırıcı takım ucu tasarımının delme sırasında yüzey pürüzlülüğünü olumlu yönde etkilediğini düşündürmektedir.
- A kodlu referans takım ucu ile yapılan delme işlemi sonucunda, katkısız kompozit malzemeden çıkan talaşların, HNT katkılı nanokompozit malzemeye göre daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Bu fark, HNT takviyesinin kompozit malzemenin

arayüzeylerinde iyileştirmeler meydana getirmesiyle açıklanmaktadır. Bu nedenle nanokompozit numunesinde talaşların daha küçük olduğu tespit edilmiştir.

- Diğer bir taraftan, talaş kırıcılı B kodlu takım ucu ile yapılan delme işlemi sonrasında talaşların boyutlarında bir azalma gözlenmiştir. Bu durum, B takım ucundaki talaş kırıcı tasarımın fiberleri matkap keskileri dışında ekstra kesme ve kopmaya zorladığına işaret etmektedir.
- Delik delme işlemi sonucunda, her iki takım ucu için de delaminasyon hasarları gözlenmiştir. Bu hasarlar, numunelerin delik yüzeylerinde tehlikeli boyutlara ulaşmamıştır. Ancak, A kodlu takım ucunun kullanılması sonucu BFTK numunesinde daha yoğun bir hasar oluşumu gözlenirken, BFTnK numunesinde nispeten daha az yoğunlukta meydana gelmiştir.
- Düşük ilerleme oranı ve yüksek kesme hızı kullanımı, takım ucu-kompozit yüzeyleri arasında sürtünmeye neden olmuştur. Bu sürtünme, matris malzemesini olumsuz etkileyebilecek fiziksel etkileşimlere yol açmıştır.
- B kodlu takım ucu kullanılmasıyla ise sürtünme kaynaklı fiziksel değişiklikler minimize edilmiştir. Bu takım ucu tasarımı, takım ucu ile numune arasındaki sürtünmenin azalmasına ve fiberlerin daha kolay kesilmesine veya kırılmasına izin vermiştir. Sonuç olarak, oluşan hasarlar neredeyse boşluk şeklini almıştır.
- Fiber takviyeli kompozit malzemelerin delme işlemlerinde, delaminasyon hasarlarının genellikle numunelerin çıkış yüzeylerine yakın katmanlarda itme kuvveti kaynaklı meydana geldiği görülmüştür. Ancak, B takım ucu tasarımının kullanılmasıyla bu hasarların A takım ucu sonuçlarına göre belirgin bir şekilde azaldığı gözlenmiştir.
- A takım ucu ile delinmiş kompozit numunede, kesilmiş ve kesilmeye zorlanan bölgeler SEM ile incelendiğinde, fiber ve matris elemanın delme yüzeyinden ayrıştığı bölgeler gözlenmiştir. Bu takım ucu, fiberleri çekmeye zorlayarak fiber-matris ayrışmasına ve fiber sıyrılmasına yol açmıştır. Ayrıca, sıyrılmış fiber boşluklarının varlığı, A takım ucunun fiberleri çekmeye zorladığının bir göstergesidir. B kodlu takım ucunun kullanıldığı kompozit numunede ise kesilmiş ve kesilmeye zorlanan fiberlerin varlığı yoğunlukla göze çarpmıştır. Bu da B takım ucundaki talaş kırma tasarımının fiberi

çekmeye zorlamaktan ziyade kesmeye ve kırmaya zorladığının bir sonucudur. Bunun yanında az bir yoğunlukta da olsa fiber-matris ayrışması gözlenmiştir.

- Katkısız kompozit ve nanokompozit numunelerin B kodlu takım ucu ile delme işlemi sonrası incelenmiş, kompozit numunelerde, nispeten zayıf fiber/matris arayüzeyinden kaynaklı fiber ayrılmaları gözlenmiştir. Bu ayrılmalar, takım ucunun fiberleri kesmeye zorlayarak, fiberlerin kolayca matristen sıyrıldığı bir zayıf yapılaşma durumuyla ilişkilendirilmiştir. Nanokompozit numune ise matris, fiber ve fiber/matris arayüzeyinde plastik deformasyon bölgelerinin varlığı ile dikkat çekmiştir. Bu plastik deformasyon bölgeleri, gelişmiş fiber/matris arayüzey etkileşimini göstermektedir. Takım ucunun malzemeyi kesmeye zorlaması sırasında daha yüksek bir itme kuvvetinin ortaya çıkmasının sebebi gelişmiş fiber/matris arayüzeyidir.

5.2. Öneriler

Mevcut çalışmanın potansiyelini daha da genişletmek ve kompozit malzemelerin endüstriyel uygulamalarda daha etkili bir şekilde kullanılmasını sağlamak için daha geniş bir işlem parametreleri yelpazesi incelenebilir. Farklı kesme hızları, ilerleme oranları ve takım ucu tipleri kullanılarak yapılan denemeler, kompozit malzemenin daha geniş bir kullanım alanına sahip olmasını sağlayabilir. Ayrıca, gelecekte, malzeme modifikasyonu ve delik delme işlemlerinin çevresel etkilerini azaltmaya yönelik sürdürülebilirlik önlemleri üzerine odaklanan çalışmalar gerçekleştirilebilir. Son olarak, kompozit malzemelerin havacılık, otomotiv, inşaat ve diğer sektörlerde nasıl kullanılabileceğini değerlendiren çalışmalar, bu malzemelerin ticari kullanımını artırabilir.

KAYNAKLAR

- Abdullah, M.S., Abdullah, A.B. ve Sapuan, S.M. (2019). Review of hole-making technology for composites, Abdullah, A.B Sapuan, S.M. (Ed.), *Hole-Making and Drilling Technology for Composites (1-12)*, Woodhead Publishing, 227p, Duxford.
- Abhishek, K., Datta, S. ve Mahapatra, S.S. (2014). Optimization of thrust, torque, entry, and exist delamination factor during drilling of CFRP composites. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 76, 401-416.
- Abrao, A.A., Faria, P.E., Campos Rubia, J.C., Reis, P. ve Dawim, J.P. (2007). Drilling of fiber reinforced plastics: A review. *Journal of Materials Processing Technology*, 186(1-3), 1-7.
- Ahmad, N., Bilal, I. ve Khattak, S. (2018). Polyester usage in manufacturing of electrical and mechanical products and assemblies. *Polyest.Prod. Charact. Innov. Appl.* 2018.
- Akbulut G., (2018). Sürekli Karbon Elyaf Takviyeli Termoplastik Monokompozit Filament Esaslı, Kafes Geometrilili Çekirdek Yapıların Kullanıldığı Hafif Sandviç Paneller Geliştirilmesi ve Statik ve Dinamik Yükler Altında Performansının Deneysel Olarak Belirlenmesi, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Armarego, E.J.A. ve Cheng, C.Y. (1972). Drilling with flat rake face and conventional twist drills—I. *Theoretical Investigation. International Journal of Machine Tool Design and Research*, 12(1), 17-35.
- Arshad, M.N., Mohit, H., Sanjay, M.R., Siengchin, S., Khan, A., Alotaibi, M.M., Asiri, A.M. ve Rub, M.A. (2021). Effect of coir fiber and TiC nanoparticles on basalt fiber reinforced epoxy hybrid composites: Physico-mechanical characteristics. *Cellulose*, 28, 3451–3471.
- Arul, S., Vijayaraghavan, L. ve Malhotra, S.K. (2007). Online monitoring of acoustic emission for quality control in drilling of polymeric composites. *Journal of Materials Processing Technology*, 185(1-3), 184-190.
- Awan, F.S., Fakhar, M.A. Khan, L.A., Zaheer, U., Khan, A.F. ve Subhani, T. (2018). Interfacial mechanical properties of carbon nanotube-deposited carbon fiber epoxy matrix hierarchical composites. *Compos. Interface*, 25, 681–699.
- Aydın, B. (2002). *AA2014 Alaşımında Yaşlandırma Isıl İşleminin İşlenebilirlik Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bhat, T., Chevali, V., Liu, X., Feih, S. ve Mouritz, A. (2015). Fire structural resistance of basalt fibre composite. *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.* 71, 107–115
- Bonnet, C., Poulachon, G., Rech, J., Girard, Y. ve Costes, J.P. (2015). CFRP drilling: Fundamental study of local feed force and consequences on hole exit damage. *International Journal of Machine Tools ve Manufacture*, 94, 57-64.

- Brinksmeier, E., Fangmann, S. ve Rentsch, R. (2011). Drilling of composites and resulting surface integrity. *CIRP Annals*, 60(1), 57-60.
- Campbell, F.C. (2004). *Manufacturing Processes for Advanced Composites*, New York: Elsevier.
- Chang, K. (2001). *ASM Handbook: Composites Aramid Fibers*, ASM International.
- Çakır, M.C. (1999). *İşlenebilirlik Modern Talaşlı İmalatın Esasları*, Bursa: Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayınları.
- Çelik, Y. H., Kılıçkap, E. ve Koçyiğit, N. (2019). Evaluation of drilling performances of nanocomposites reinforced with graphene and graphene oxide. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 100, 2371-2385.
- Dalinkovich, A.A., Gumargalieva, K.Z., Marakhovsky, S.S. ve Soukhanov, A.V. (2009). Modern basalt fibrous materials and basalt fiber-based polymeric composites. *J. Nat. Fibers*, 6, 248–271.
- David, D.C., Wilkerson, J.W., Zhu, J. ve Hadjiev, V.G. (2011). A strategy for improving mechanical properties of a fiber reinforced epoxy composite using functionalized carbon nanotubes. *Composites Science and Technology*, 71(8), 1089-1097.
- Davim, J.P. ve Mata, F. (2007). New machinability study of glass fibre reinforced plastics using polycrystalline diamond and cemented carbide (K15) tools. *Materials ve Design*, 28(3), 1050-1054.
- De Lacalle L.L., Fernandez A., Olvera D., Lamikiz A., Rodriguez C. ve Elias A. (2011). Monitoring deep twist drilling for a rapid manufacturing of light high-strength parts, *Mechanical systems and signal processing*.
- Ekici, E. ve Işık, B. (2009). Experimental investigations of damage analysis in drilling of woven glass fiber-reinforced plastic composites. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 49, 861-869.
- El-Sonbaty, I., Khashaba, U.A. ve Machaly, T. (2004). Factors affecting the machinability of GFR/epoxy composites. *Composite Structures*, 63(3-4), 329-338.
- Eneyew, E.D. ve Ramulu, M. (2014). Experimental study of surface quality and damage when drilling unidirectional CFRP composites. *Journal of Materials Research and Technology*, 3(4), 354-362.
- Eskizeybek, V. (2006). *Paslanmaz Çelik Elyaf Takviyeli Alüminyum Kompozitlerde Yorulma Çatlak İlerlemesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Feito, N., Muñoz-Sánchez, A., Díaz-Álvarez, A. ve Miguelez, M. H. (2019). Multi-objective optimization analysis of cutting parameters when drilling composite materials with special geometry drills. *Composite Structures*, 225, 111187.
- Global Thermoplastic Composites Market Report (2019). Trends, Forecast and Competitive Analysis 2012–2023.

- Gunge, A., Koppad, P.G., Nagamadhu, M., Kivade, S. ve Murthy, K.V.S. (2019). Study on mechanical properties of alkali treated plain woven banana fabric reinforced biodegradable composites. *Compos. Commun*, 13, 47–51.
- Guo, D.M., Wen, Q. ve Bao, Y.J. (2011). Prediction of the cutting forces generated in the drilling of carbon-fibre-reinforced plastic composites using a twist drill. *Journal of Engineering Manufacture*, 226(1), 28-42.
- Heisel, U. ve Pfeifronh, T. (2012). Influence of point angle on drill hole quality and machining forces when drilling CFRP. *Procedia Cirp*, 1, 471-476.
- Inoue, H., Aoyama, E., Hirogaki, T., Ogawa, K., Matsushita, H., Kitahara, Y. ve Katayama, T. (1997). Influence of tool wear on internal damage in small diameter drilling in GFRP. *Composite Structures*, 39(1-2), 55-62.
- İnternet: Azonano (b.t.). URL: <https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=1134>
Son Erişim Tarihi: 21.06.2023
- İnternet: Onano (b.t.). URL: <https://www.onao.com/article.aspArticleID=1134>
Son Erişim Tarihi: 21.06.2023
- Kaybal, H. B., Unuvar, A., Kaynak, Y. ve Avcı, A. (2020). Evaluation of boron nitride nanoparticles on delamination in drilling carbon fiber epoxy nanocomposite materials. *Journal of Composite Materials*, 54(2), 215-227.
- Kaybal, H. B., Ünüvar, A., Koyunbakan, M. ve Avcı, A. (2019). A novelty optimization approach for drilling of CFRP nanocomposite laminates. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 100, 2995-3012.
- Kaybal, H.B. (2015). *Karbon Nanotüp Takviyeli Karbon Elyaf /Epoksi Nanokompozit Malzemelerin Üretilmesi ve Delme Parametrelerinin İncelenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Kaybal, H.B. (2019). *Tuzlu Su Yaşlandırmasının Cıvata Bağlantılı Halloysit Nanotüp/Epoksi/Bazalt Fiber Nanokompozitlerin Düşük Hızlı Darbe Davranışlarına Etkisi*. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Kaybal, HB, Ulus, H. ve Avcı, A. (2021). Deniz Suyuyla Yaşlandırılmış Bazalt/Epoksi Kompozitler: Halloysit Nanotüp Takviyesi ile Geliştirilmiş Rulman Performansı. *Lifler Polim* 22 , 1643–1652.
- Kayhan, M. (2019). *Yüksek Performanslı Hibrit Kompozitlerde Delik Delme İşleminin DeneySEL ve Analitik Olarak İncelenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Khashaba, U.A., El-Sonbaty., Selmy, I.A. ve Megahad, A.A. (2010). Machinability analysis in drilling woven GFR/epoxy composites: Part I – Effect of machining parameters. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41(3), 391-400.
- Krishnaraj, V., Prabukarthi, A., Ramanathan, A., Elanghovan, N., Senthil Kumar, M., Zitoune, R. ve Davim, J.P. (2012). Optimization of machining parameters at high

- speed drilling of carbon fiber reinforced plastic (CFRP) laminates, *Composites Part B: Engineering*, 43, 1791-1799.
- Kumar, J., Verma, R. K. ve Debnath, K. (2020). A new approach to control the delamination and thrust force during drilling of polymer nanocomposites reinforced by graphene oxide/carbon fiber. *Composite Structures*, 253, 112786.
- Le, B. (1999). Polymer Layered Silicate Nanocomposites: An Overview, *Applied Clay Science*, 15, 11-29.
- Li, N., Li, Y., Zhou, J., He, Y. ve Hao, X. (2015). Drilling delamination and thermal damage of carbon nanotube/carbon fiber reinforced epoxy composites processed by microwave curing. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 97, 11-17.
- Liu, D.F., Tang, Y.J. ve Cong, W.L. (2012). A review of mechanical drilling for composite laminates. *Composite Structures*, 94(4), 1265–1279.
- Liu, L., Qi, C., Wu, F., Zhang, X. ve Zhu, X. (2018). Analysis of thrust force and delamination in drilling GFRP composites with candle stick drills. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 95, 2585-2600.
- Liu, M., Jia, Z., Jia, D. ve Zhou, C. (2014). Progress in Polymer Science Recent Advance in Research on Halloysite Nanotubes-Polymer Nanocomposite, *Progress in Polymer Science*, 39(8), 1498–1525.
- Ma, F.J., Zhu, X.L., Kang, R.K., Dong, Z.G. ve Zou, S.Q. (2013). Study on the subsurface damages of glass fiber reinforced composites. *Advanced Materials Research*, 797, 691-695.
- Magyar, G. ve Geier, N. (2023). Analysis and modelling of thrust force in drilling of basalt and carbon fibre-reinforced polymer (BFRP and CFRP) composites. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 45(6), 323.
- Magyar, G., Károly, D., Xu, J. ve Geier, N. (2022). Analysis of drilling-induced geometrical damages in basalt and carbon fibre-reinforced polymer (BFRP and CFRP) composites. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 123(1-2), 357-372.
- Mallick, P. K. (2007). *Fiber-reinforced composites: materials, manufacturing, and design*, CRC Press.
- Martensel, A. (2007). *Concise encyclopedia of composite materials*. Oxford.
- Morkavuk, S. (2023). *Karbon Elyaf Takviyeli Kompozit Borularda Delik Delme İşleminin Mekanik ve Yorulma Davranışları Üzerindeki Etkisinin Araştırılması*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Afyon.
- Mudhukrishnan, M., Hariharan, P. ve Palanikumar, K. (2020). Measurement and analysis of thrust force and delamination in drilling glass fiber reinforced polypropylene composites using different drills. *Measurement*, 149, 106973.

- Özçatalbaş, Y. (2020). Çeliklerin işlenebilirliği: kimyasal bileşim, mikroyapı, mekanik özellikler ve işlenebilirlik ilişkisi, *Politeknik Dergisi*, 23, 457–482.
- Özkan, D., Gök M.S., Gökkaya, H. ve Karaoğlanlı, A.C. (2019). The Effect of Cutting Parameters on Tool Wear During the Milling of Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Composites. 25(1), 42-46.
- Patel, N., Patel, K., Chaudhary, V. ve Gohil, P. (2022). Investigations on drilling of hybrid basalt/glass polyester composites. *Australian Journal of Mechanical Engineering*, 20(4), 1154-1163.
- Perna, A.S., Viscusi, A., Astarita, A., Boccarusso, L., Carrino, L., Durante, M. ve Sansone, R. (2019). Manufacturing of a metal matrix composite coating on a polymer matrix composite through cold gas dynamic spray technique. *J. Mater. Eng. Perform.* 28, 3211–3219.
- Phadnis, V. A., Makhadmeh, F., Roy, A. ve Silberschmidt, V. V. (2013). Drilling in carbon/epoxy composites: Experimental investigations and finite element implementation. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 47, 41-51.
- Plummer, C.J.G., Bourban, P.E. ve Manson, J.A. (2016). Polymer matrix composites: Matrices and processing. *Ref. Modul. Mater. Sci. Mater. Eng.*
- Raj, D.S. ve Karunamoorthy, L. (2016). Study of the effect of tool wear on hole quality in drilling cfrp to select a suitable drill for multi-criteria hole quality. *Materials and Manufacturing Processes*, 31(5), 587-592.
- Rajamurugan, T.V., Shanmugam, K. ve Palanikumar, K. (2013). Analysis of delamination in drilling glass fiber reinforced polyester composites. *Materials ve Design*. 45, 80-87.
- Rajmohan, T., Palanikumar, K. ve Paulo, D.J. (2012). Analysis of surface integrity in drilling metal matrix and hybrid metal matrix composites. *J Mater Sci Technol*, 28(8), 761–768.
- Ramirez, C., Poulachon, G., Rossi, F. ve M'Soubi, R. (2014). Tool wear monitoring and hole surface quality during CFRP drilling. *Procedia CIRP*, 13, 163-168.
- Rawat, S. ve Attia, H. (2009). Wear mechanisms and tool life management of WC–Co drills during dry high speed drilling of woven carbon fibre composites. *Wear*, 267(5-8), 1022-1030.
- Rezghi Maleki, H., Hamed, M., Kubouchi, M., ve Arao, Y. (2019). Experimental investigation on drilling of natural flax fiber-reinforced composites. *Mater. Manuf. Proc.* 34, 283–292.
- Rosas-Aburto, A., Gabaldón-Saucedo, I.A., Espinosa-Magaña, F., Ochoa-Lara, M.T., RoqueroTejeda, P., Hernández-Luna, M. ve Revilla-Vázquez, J. (2015). Intercalation of poly(3, 4-ethylenedioxythiophene) within halloysite nanotubes: Synthesis of composites with improved thermal and electrical properties, *Microporous Mesoporous Materials*, 218, 118–129.

- Sahin, Y. (2000). *Kompozit Malzemelere Giriş*. Ankara: Gazi Kitabevi.
- Seydibeyoglu, M. O., Mohanty, A. K. ve Misra, M. (2017). *Fiber Technology for Fiber Reinforced Composites*, Woodhead Publishing.
- Sheikh-Ahmad, J.Y. (2009). *Machining of polymer composites*. New York.
- Shunmugesh, K. ve Panneerselvam, K. (2017). Optimization of machining process parameters in drilling of CFRP using multi-objective taguchi technique, TOPSIS and RSA techniques, *Polymers ve Polymer Composites*, 25(3), 185–192.
- Sivasankaran, P.N. (2008). *Experimental Analysis on Drilling Process of Composite Laminates*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Üniversitesi Malaysia Pahang.
- Starost, K. ve Njuguna, J. (2014). A review on the effect of mechanical drilling on polymer nanocomposites. *OP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing.
- Sur, G. ve Erkan, Ö. (2021), "TAGUCHI, TOPSIS ve AHP yöntemi kullanılarak standart ve kademeli matkap uçları ile delinmiş CFRP plakaların yüzey kalitesinin optimizasyonu" Cilt. 38 No. 5, 2163-2187.
- Technical Datasheet for Basalt Fibers. (b.t.). Lance Brown Import-Export (LBIE). URL: <http://www.lbie.com/PDF/n3011.pdf> Son Erişim Tarihi: 05.01.2021.
- Tonshoff, H.L., Spintig, W., Konig, W. ve Neises, A. (1994). Machining of Holes Developments in Drilling Technology, *Annals of the CIRP*, 43, 551-560.
- Tsao, C. C., Kuo, K. L. ve Hsu, I. C. (2012). Evaluation of a novel approach to a delamination factor after drilling composite laminates using a core-saw drill. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 59, 617-622.
- Ulus, H. (2014). *Ark Desarj Yöntemi ile Bor Nitrür Nano Levha Üretimi Karakterizasyon ve Karbon/Epoksi Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine Katkısının İncelenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Konya.
- Ulus, H. (2019). *Tuzlu Su Yaşlandırmasının Halloysit Nanotüp/Epoksi/Bazalt Fiber Nanokompozitlerin Mekanik ve Kırılma Performanslarına Etkisi*. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Ulus, H., Kaybal, H.B., Eskizeybek, V. ve Avcı, A. (2019). Halloysit nanotüp takviyeli epoksi/bazalt elyaf hibrit kompozitlerin geliştirilmiş tuzlu suya dayanıklılığı. *Fibers and Polymers*, 20, 2184-2199.
- Verma, R.K., Datta, S. ve Pal, P.K. (2015). Machining of unidirectional glass fibre reinforced polymers (UD-GFRP) composites. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 4(2), 49.
- Wei, B., Cao, H. ve Song, S. (2010). Tensile behavior contrast of basalt and glass fibers after chemical treatment. *Mater. Des.* 31, 4244–4250.

- Wiley, J. ve Inc, S. (1999). *Materials science and engineering: an introduction*. New York.
- Xu, W., Zhang, L. ve Wu, Y. (2016). Effect of tool vibration on chip formation and cutting forces in the machining of fiber-reinforced polymer composites. *Machining Science and Technology*, 20(2), 312-329.
- Yaşar, N. ve Günay, M. (2019). Experimental investigation on novel drilling strategy of CFRP laminates using variable feed rate. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 41(3), 150.
- Zelzer, M. ve Ulijn, R.V. (2010). Next-generation peptide nanomaterials: Molecular networks, interfaces and supramolecular functionality. *Chem. Soc. Rev.* 39, 3351–3357.
- Zhang, H.J., Chen, W.Y., Chen, D.C. ve Zhang, L.C. (2001). Assessment of the exit defects in carbon fiber reinforced plastic plates caused by drilling. *Key Engineering Materials*, 196, 43-52.
- Zhang, X., Whang, P., Neo, H., Lim, G., Malcolm, A.A., Yang, E. ve Yang, J. (2016). Design of glass fiber reinforced plastics modified with CNT and pre-stretching fabric for potential sports instruments. *Materials ve Design*, 92, 621-631.
- Zhou, T., Wang, X., Liu, X. ve Xiong, D. (2010). Improved thermal conductivity of epoxy composites using a hybrid multi-walled carbon nanotube/micro-SiC filler. *Carbon*, 48(4), 1171-1176.
- Zhou, T., Wang, X., Liu, X. ve Xiong, D. (2010). Improved thermal conductivity of epoxy composites using a hybrid multi-walled carbon nanotube/micro-SiC filler. 48, 1171-76.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı-Soyadı : Mehmet KASTA

Eğitim Derecesi

Okul/Program

Mezuniyet Yılı

Lisans

Amasya Üniversitesi/Makine Müh. 2020

Yüksek Lisans

Amasya Üniversitesi/Makine Müh. -

İş Deneyim/Yıl

Çalıştığı Yer

Görevi

2021-2022

Artex Kesici Takımlar

Satış Mühendisi

2022-2023

Akdeniz Kesici Takımlar

Satış Mühendisi

2023-

Sağlam Metal

Satış Mühendisi