

T.C.
KÜTAHYA DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

**TABAKALI HİBRİT KOMPOZİT MALZEMELERİN
DELİNEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Danışman:
Dr. Öğr. Üyesi Murat KOYUNBAKAN
Ortak Danışman:
Dr. Öğr. Üyesi Zafer KAYA

Hazırlayan:
Ubeyd AKANSEL

KÜTAHYA - 2024

Kabul ve Onay

KÜTAHYA DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İleri Teknolojiler Ana bilim dalında, 202285121194 öğrenci numaralı, Ubeyd AKANSEL'in hazırlamış olduğu “*Tabakalı Hibrit Kompozit Malzemelerin Delinebilirlik Özelliklerinin İncelenmesi*” başlıklı yüksek lisans tez çalışması ile ilgili tez savunma sınavı jüri tarafından yapılmış ve adayın tezinin OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile kabul edilmesine karar verilmiştir.

27/09/2024

Tez Jürisi	İmza	
	Kabul	Ret
Dr. Öğr. Üyesi Murat KOYUNBAKAN (Danışman)		
Prof. Dr. Alaattin KAÇAL		
Doç. Dr. Ferhat YILDIRIM		

Doç. Dr. Eray ACAR

Enstitü Müdürü

Bilimsel Etik Bildirimi

Yüksek Lisans tezi olarak hazırladığım “*Tabakalı Hibrit Kompozit Malzemelerin Delinebilirlik Özelliklerinin İncelenmesi*” adlı çalışmanın öneri aşamasından sonuçlandığı aşamaya kadar geçen süreçte bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle uyduğumu, tez içindeki tüm bilgileri bilimsel ahlak ve gelenek çerçevesinde elde ettiğimi, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığımı, bu çalışmamda doğrudan veya dolaylı olarak yaptığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu beyan ederim.

27/09/2024

Ubeyd AKANSEL

Özgeçmiş

İlk ve orta öğrenimini yaşadığı Gümüşkonak İlköğretim Okulu'nda tamamladı. Daha sonra Eskişehir Atatürk Endüstri Meslek Lisesi'nde Tesviye bölümünü bitirdi. 1999 yılında Kütahya/Simav Teknik Eğitim Fakültesi'nde Talaşlı Üretim Öğretmenliği bölümünü kazandı ve 2003 yılında buradan mezun oldu. 2004 yılında askerliğini kısa dönem er olarak tamamladı. 2006 yılında Ortadoğu Rulman Sanayinde (ORS)'de 7 yıl 6 ay Formen olarak çalıştı. 2014 yılında Simav Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi'ne Makine ve Tasarım Teknolojisi Öğretmeni olarak atandı. 2024 yılı itibariyle burada çalışmaya devam etmektedir.



ÖZET

TABAKALI HİBRİT KOMPOZİT MALZEMELERİN DELİNEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

AKANSEL, Ubeyd

Yüksek Lisans Tezi İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Murat KOYUNBAKAN

Ortak Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Zafer KAYA

Ekim, 2024, 58 sayfa

Kompozit malzemeler günümüzde özellikle hafif ve dayanıklı olmaları bakımından uçak sanayinde ve savunma sanayinde sıkça kullanılmaya devam etmektedir. Kompozit malzemelerin çok fazla çeşidinin olması işlenebilirlik özelliklerini de ön plana çıkartmaktadır. Bu çalışmada tabakalı e-cam fiber takviyeli tabakalı polimer kompozit, aramid fiber takviyeli tabakalı polimer kompozit, e-cam/aramid fiber takviyeli tabakalı hibrit polimer kompozit malzemelerin delinebilirlik özellikleri incelenmiştir. Malzemeler Vakum Destekli Reçine Transfer Yöntemi kullanılarak üretilmişlerdir Standartlara bağlı kalınarak malzemeler sabit hızda tek eksenli çekme deney cihazında test edilmişler, farklı kesiciler kullanılarak CNC Frezede her malzeme için full faktöriyel deney tasarımına göre delme deneyleri yapılmış delaminasyon faktörleri bulunmuştur. Deney tasarımı ve istatistiksel analizler, Taguchi metoduna göre yapılmıştır. Analizler sonucunda giriş deformasyon faktörleri açısından aramid fiber takviyeli olan kompozit malzemede devir sayısı en etkili parametreyken cam fiber ve hibrit fiber takviyeli olanlarda kesici takım parametresi en etkili olmuştur. Çıkış deformasyon faktörü için etkili parametre cam fiber takviyeli olan için ilerleme, aramid fiber takviyeli olan için devir sayısı ve hibrit fiber takviyeli olan içinse kesici takım olmuştur. Her üç malzemede de itme kuvveti açısından en etkili parametrenin kesici takım olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tabakalı Kompozit, Hibrit Kompozit, Polimer Kompozit, Delinebilirlik, İtme Kuvveti

ABSTRACT**INVESTIGATION OF DRILLABILITY PROPERTIES OF LAYERED HYBRID COMPOSITE MATERIALS****AKANSEL, Ubeyd****Master's Thesis, Advanced Technologies Department****Thesis supervisor: Asst. Prof. Dr. Murat KOYUNBAKAN****Joint Thesis Supervisor: Asst. Prof. Dr. Zafer KAYA****October, 2024, 58 pages**

Composite materials continue to be frequently used in the aircraft industry and defense industry today, especially because they are light and durable. The diversity of composite materials also highlights their processability. In this study, the drillability properties of layered E glass fiber reinforced layered polymer composite, aramid fiber reinforced layered polymer composite, E glass/aramid fiber reinforced layered hybrid polymer composite materials were examined. The materials were produced by the vacuum impregnation method. Materials of certain sizes were subjected to tensile tests, and detabakaion factors were found for each material in CNC Milling using different cutters, according to the full factorial test design. Experimental design and statistical analysis were performed using the Taguchi method. As a result of the analyses, in terms of input deformation factors, the number of revolutions was the most effective parameter in the aramid fiber-reinforced composite material, while the cutting tool parameter was the most effective in the glass fiber and hybrid fiber-reinforced ones. The effective parameters for the output deformation factor were the feed rate for the glass fiber reinforced one, the number of revolutions for the aramid fiber reinforced one and the cutting tool for the hybrid fiber reinforced one. It has been determined that the cutting tool is the most effective parameter in terms of thrust force in all three materials.

Key Words: Layered Composite, Hybrid Composite, Polymer Composite, Drillability, Thrust Force

ÖNSÖZ

Bu Çalışma Kütahya Dumlupınar Üniversitesi - Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP), proje no: 2023-37 “Aramid / Cam Fiber Hibrit Nano Polimer Kompozitlerin İşlenebilirlik Özelliklerinin İncelenmesi” başlıklı proje tarafından desteklenmektedir.

Bu çalışmayı hazırlarken geçirdiğim süreçte benden yardımlarını esirgemeyen, manevi desteğini her an yanımda hissettiğim aileme ve arkadaşlarıma, bana bu Yüksek Lisans Tez Çalışması sırasında, kendimi daha da geliştirmeme katkı sağlayan değerli Danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Murat KOYUNBAKAN ve yardımcı danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Zafer KAYA’ya, ayrıca deney çalışmalarımda yardımını esirgemeyen Prof. Dr. Uğur KÖKLÜ hocama teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xi
KISALTMALAR.....	xii
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM TEMEL KAVRAMLAR

1.1. KOMPOZİT MALZEMELER.....	4
1.1.1. Kompozit Malzemelerin Tarihi	4
1.1.2. Kompozit Malzemelerin Kullanılma Amaçları	5
1.1.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	5
1.1.3.1. Matris Elemanına Göre Sınıflandırma	6
1.1.3.2. Takviye Elemanına Göre Sınıflandırma.....	7

İKİNCİ BÖLÜM LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. LİTERATÜR KARŞILAŞTIRMASI	9
--------------------------------------	---

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM METARYAL VE METOT

3.1. MALZEME VE YÖNTEM	20
3.1.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	20
3.1.1.1. Cam Fiber Kumaşların Özellikleri.....	20
3.1.1.2. Aramid Kumaş Özellikleri.....	22
3.1.1.3. Reçine ve Sertleştirici, Kalıp Ayırıcı Eleman Özellikleri	23
3.1.2. Malzeme Üretimi	24
3.1.2.1. Malzeme Çekme Deneyi.....	28

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM DENEY ÇALIŞMALARI

4.1. İŞLENEBİLİRLİK DENEYLERİ	30
4.1.1. Kullanılan CNC İşleme Merkezi.....	30
4.1.2. Kullanılan Kesici Takımlar	30
4.1.3. Kesme Kuvveti.....	31
4.1.4. Deformasyon Faktörü.....	31
4.1.5. Kesme Parametreleri	33

BEŞİNCİ BÖLÜM BİLİMSEL BULGULAR

5.1. BULGULAR VE TARTIŞMA	36
5.1.1. Kesme Kuvveti Sonuçları	36
5.1.2. Deformasyon Sonuçları.....	37
5.1.3. Analizler.....	38
5.1.4. Doğrulama Deneyleri.....	49
SONUÇ.....	50
KAYNAKÇA.....	52
DİZİN	58



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Kompozit Malzemelerin Genel Sınıflandırılması	6
Şekil 3.1: Vakum Destekli Reçine Transfer Yöntemi ile Üretilmiş Tabakalı Hibrit Kompozit (Cam-Aramid) Malzeme İşlem Sırası a, b, c, d, e, f, g, h, ı, j, k, l, m, n	26
Şekil 3.2: Kompozit Plaka Üretim Ölçüleri a) Çözümlü Yönü, Atkı Yönü ve Delme Deney Numunelerinin Bulunduğu Plaka, b) 45° Açılı Deney Numunelerinin Bulunduğu Plaka.	27
Şekil 3.3: Su Jetinde Kesilen Deney Numuneleri a) E-Cam Deney Numuneleri, b) Aramid Deney Numuneleri, c) Hibrit Deney Numuneleri.....	27
Şekil 3.4: Zwick/Roell Çekme Deneyi Cihazı ve Ölçümü Görüntüler	28
Şekil 4.1: CNC İşleme Merkezi.....	30
Şekil 4.2: Kesici Takımlar	30
Şekil 4.3: Deney Düzeneği ve Dinamometre	31
Şekil 4.4: Giriş Çıkış Yüzeyleri Örnek Optik Görüntüler	32
Şekil 4.5: Deformasyon Faktörünün Bulunması	32
Şekil 4.6: Yüzeylerde Oluşan Deformasyonun Meydana Geliş Mekanizması.....	32
Şekil 4.7: Delme Deneylerinin Yapılması, Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi ve Yüzey Fotoğraflarının Alınması.....	34
Şekil 5.1: S/N Oranları İçin Ana Etki Grafikleri: E-Cam Fiber Takviyeli Tabakalı Polimer Kompozit	39
Şekil 5.2: S/N Oranları İçin Ana Etki Grafikleri: Aramid Fiber Takviyeli Tabakalı Polimer Kompozit	40
Şekil 5.3: S/N Oranları İçin Ana Etki Grafikleri: E-Cam/Aramid Fiber Takviyeli Tabakalı Hibrit Polimer Kompozit.....	41

TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 1.1: Kompozit Malzemelerin Kullanılma Amaçları	5
Tablo 2.1: Literatür Tablosu	15
Tablo 3.1: 200gr/m ² Cam Fiber Kumaş Teknik Özellikleri	22
Tablo 3.2: Kevlar (Aramid) Fiber 200 gr/m ² -Düz Kumaş Teknik Özellikleri	22
Tablo 3.3: MGS Laminasyon Epoksi Reçine L160 Sistemi Özellikleri.....	23
Tablo 3.4: HEXION MGS LH160 Sertleştirici Özellikleri.....	23
Tablo 3.5: Çekme Deneyi Mekanik Veriler	28
Tablo 4.1: Delme Deneylerinde Faklı Kesme Parametreleri.....	33
Tablo 4.2: Full Faktöriyel Deney Tasarımı.....	33
Tablo 5.1: İtme Kuvveti Sonuçları	36
Tablo 5.2: Giriş-Çıkış Deformasyon Sonuçları.....	37
Tablo 5.3: S/N Oranları İçin Cevap Tablosu	42
Tablo 5.4: E-Cam Fiber Takviyeli Tabakalı Polimer Kompozit S/N Oranları İçin Varyans Analizi Tabloları	45
Tablo 5.5: Aramid Fiber Takviyeli Tabakalı Polimer Kompozit S/N Oranları İçin Varyans Analizi Tabloları	46
Tablo 5.6: Cam/Aramid Fiber Takviyeli Tabakalı Hibrit Polimer Kompozit S/N Oranları İçin Varyans Analizi Tabloları	47
Tablo 5.7: Cam Fiber Doğrulama Deney Tablosu	48
Tablo 5.8: Aramid Fiber Doğrulama Deney Tablosu	49
Tablo 5.9: Hibrit Fiber Doğrulama Deney Tablosu	49

KISALTMALAR

Al	Alüminyum
AL₂O₃	Alüminyum oksit
B₄C	Bor karbür
B₄L	Borlityum
CET	Cam fiber takviyeli
CFK	Cam fiber kumaş
CETP	Cam fiber takviyeli kompozit
CFRP	Carbon fiber reinforced composite
CNC	Computer Numerical Control
D	Matkap çapı
dak	Dakika
dev	Devir
D_{max}	Maksimum hasar çapı
E	Elastisite modülü
F_D	Deformasyon faktörü
FRP	Fiber reinforced composite
GFRP	Glass fiber reinforced composite
GPa	Giga paskal
HSS	Yüksek hız çeliği
IHA	İnsansız hava aracı
KNF	Karbonnanofiber
kN	Kilo newton
mm	Milimetre
MPa	Mega paskal
MTE	Makine takım endüstrisi
Si₃N₄	Silisyum nitrit
SiC	Silisyum karbür
Ti	Titanyum
TiAlN	Titanyum alüminyum nitrür
S	Sinyal faktörü
N	Gürültü faktör

GİRİŞ

Kompozit malzemeler, hali hazırda malzemelerin teknoloji karşısında belli ihtiyaçları karşılayamaz hale gelmesi ile ortaya çıkmışlardır. Kompozit malzemelerin yapımı ve mekanik özellikleri üzerine inceleme ve geliştirme çalışmaları artarak devam etmektedir (Öztürk, 2015). Kompozit malzemelerin mühendislik araştırma-geliştirme çalışmalarında kullanılması gittikçe artmaktadır. Çünkü bu malzemelerin özgül dayanım, cismin şeklini koruma yeteneği, yorulma sınırı, ağır olmaması ve mamul aşamasına yakın üretilmesi ve bulunduğu kalıbın şeklini alması gibi özellikleri oldukça iyidir. Kompozit malzemelerin kendine has bu özellikleri onların işlenebilirlik vasıfları konusunda da yoğun çalışmalar yapılmasını gerektirmekte ve pek çok araştırma-geliştirme uzmanı bu konuda gayret göstermektedir. Kompozit malzemeler her ne kadar mamul aşamasına yakın üretilseler de yine de bazı imalat işlemlerine maruz tutulmaktadırlar (Koyunbakan, vd., 2021).

Kompozitler, metal alaşımlarından farklıdır. Bileşenler açık görülebilir niteliktedir. Metallerde alaşımlar mikro düzeydedir. Kompozitlerde ise farklı malzemeler birbiri içinde çözünmezler; tabaka, lif veya parçacık halinde birlikte bulunurlar. Beton, kontra plak, cam fiber, araba lastiği kompozit malzemelerdir. Hafif, sağlam, yüksek ısılara ve yüksek darbelere mukavemet gösterirler (MEB, 2020). Özellikle uçaklarda, savunma sanayinde kullanılırlar. Yüksek mukavemet ve dayanırlıkları metallere göre fazladır. Bu nedenle mühendisler tarafından kullanımı genişlemiştir (Öztürk, 2015).

Otomotiv ve uçak endüstrilerinde, onarım ve/veya montaj işlemleri için geleneksel delme işlemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Fiber takviyeli plastikler homojen olmamaları, fiziksel ve mekanik özelliklerinin yöne bağlı olarak değişmesi ve fiberlerin yüksek aşındırıcılıkları nedeniyle delme işleminde delaminasyon, fiber çekilmesi, delik büzülmesi, pullanma, tüylenme ve termal bozunma gibi önemli problemler sergilerler. En ufak bir uçak modelinde bile 100 bin delik delinmekte ve montaj sırasında büyük mali kayıplar meydana gelebilmektedir. Uçak sanayiinde, bir uçak imalatının son oluşumu esnasında reddedilen tüm parçaların %60'ı delik deformasyonla ilgili delme operasyonlarından kaynaklanmaktadır (Khashaba, vd., 2010a). Kullanımının geniş olması kompozit malzemelerde özellikle delme işlemlerinde birçok parametrenin araştırılmasını gerekli kılmıştır.

Bu çalışmada kompozit malzemelerin tanıtımı yapılmış, literatür araştırması yapılp amaç belirtilmiş ve malzeme özellikleri açıklanmış, malzeme üretiminin nasıl olduğu belirtilmiş, çekme testleri, delmede itme kuvveti deneyleri yapılarak analizlerle sonuçlara varılmıştır.





BİRİNCİ BÖLÜM
TEMEL KAVRAMLAR

1.1. KOMPOZİT MALZEMELER

İki veya daha fazla sayıda malzemenin en iyi niteliklerini bir araya getirmek veya yeni niteliklerde bir malzeme üretmek için bu malzemelerin ufak boyutta kaynaşması ile meydana gelen malzemeye denir. En az bir matris malzemesi ve bir de takviye elemanından oluşur. Matris malzemesi kompozit parçaya şeklini verir, takviye elemanına yük iletir, bağlayıcılık özelliği vardır. Takviye elemanı ise kompozite mukavemet, malzemenin şeklini koruma, mekanik ve termal nitelikleri verir. Artık bu malzeme yenilenmiş özel bir gereçtir. Çeşitli gereçlerin kaynaştırılması malzemenin yapısal, elektriksel ve ısıt nitelikleri de geliştirilebilir. Dünyada kişi başına düşen kompozit tüketimi o ülkenin ne kadar ilerlemiş olduğunu kanıtlamaktadır. Gelişmiş ülkelerde kişi başına düşen tüketimi ülkemize göre neredeyse on kat fazladır. Lakin Türkiye özellikle 2000’li yıllardan itibaren kullanımını yıllık oranda önemli bir şekilde arttırmaktadır (Erdil, 2020).

Kompozit malzemeler günümüzde havacılık, uzay, deniz, otomobil, medikal, spor malzemeleri, rüzgâr türbini kanadı, savunma ve ulaşım sektörleri gibi çeşitli tasarım ve imalat sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

1.1.1. Kompozit Malzemelerin Tarihi

Kompozitlerin bilinen ilk uygulaması Mezopotamyalılara aittir. Bu eski insanlar, MÖ 3400’de kontrplak meydana getirmek için çeşitli açılarda tahta malzeme şeritleri birleştirdiler.

Antik Mısır halkı tarafından kil ile samanın birleştirilmesi ile kerpiç üretimi oluşturuldu.

Moğol askerlerinin yaptığı (bambu, ipek, sığır tendonları, çam reçinesi ve sığır boynuzları) kompozit oluşturulan oklardır. MS 900’lü yıllara kadar kullanıldı. Okları 500 metre uzaklığa kadar atabiliyorlardı (Erdil, 2020).

1935 yıllarında cam fiberin oluşturulması ile fiber takviyeli polimer (FRP) sanayisi başladı. 1938’de epoksiler gibi performansı yüksek reçineler kullanılmaya başladı. 2. Dünya harbinin başlaması ile FRP sanayisi araştırmadan üretime geçti. Cam fiber, ince cam tellerinden üretilen malzemenin yüksek dayanımın yanı sıra radyo frekanslarına karşı geçirgen olduğu tespit edildi ve bu gereçten radar kuleleri üretilmeye

başlandı. 1947’de tamamen kompozit kasalı bir araba test edildi. Türk Otomotiv Endüstrisi’nde 1960’lı yıllarda otomobillerin kaportasıyla başlayan kompozit üretimi, 1970’li yıllarda hafif ticari araçların, otobüs ve kamyon imalatında da devam etti. 2015 yılında, Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı 259 milyon dolarlık bir kamu-özel sektör ortaklığı olan İleri Kompozit İmalat İnovasyon Enstitüsü’nü kurdu. Kısaca bu gereçler, çok hızlı bir ilerleme göstermiş ve bu ilerlemeyi hızla sürdürmeye devam eden bir özelliğe sahiptir, bu malzeme sadece günümüz çağının bir malzemesi olmayıp geleceğin malzemesi olarak adını almıştır (Erdil, 2020).

1.1.2. Kompozit Malzemelerin Kullanılma Amaçları

Kompozit malzemelerin kullanılma amaçları Tablo 1.1’de gösterilmiştir.

Tablo 1.1: Kompozit Malzemelerin Kullanılma Amaçları

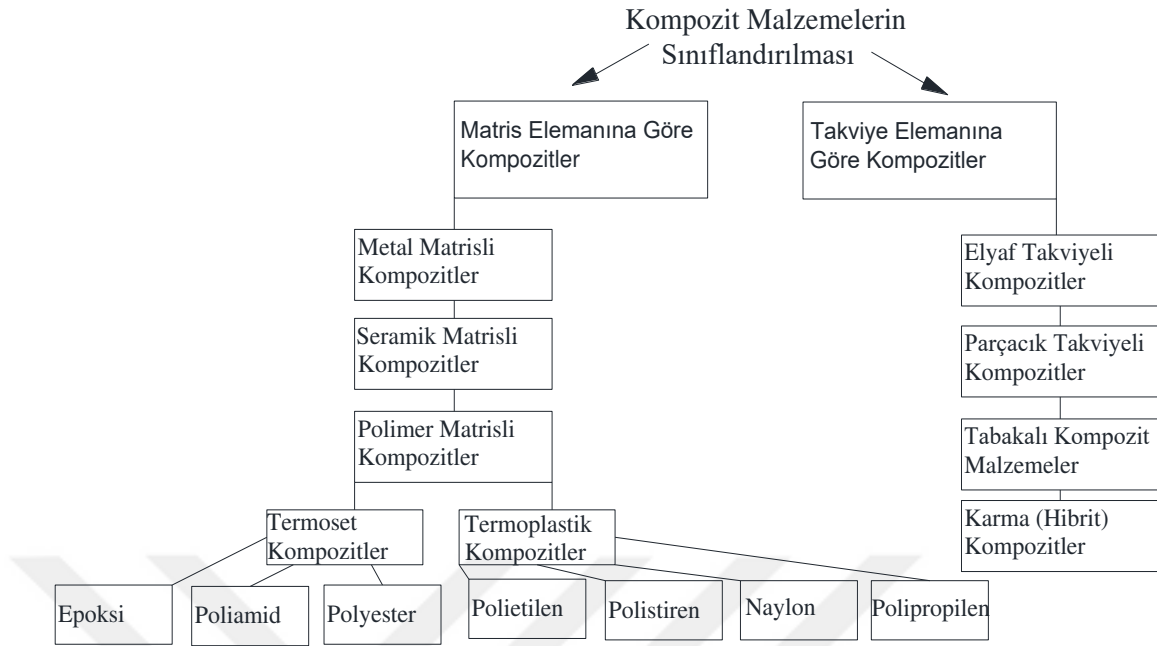
Amaçlar
Hafiflik
Yüksek sertlik
Yüksek dayanım
İstenilen bağımlı özelliklerin yapılabilmesi
Değişik şekillerde üretilme kolaylığı
Parçalı üretim ile sistem maliyetinin düşürülmesi
Kimyasal etki ve korozyona dayanıklılık
Kolay bağlanabilirlik
Titreşim Sönümlleme
İyi kırılma direnci
Termal genleşme
Isıya dayanıklılık
Elektriksel özellikler
Kalıcı renklendirme

(Kaya, 2016; Ayan, 2019).

1.1.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler takviye ve matris elemanına göre sınıflandırılır. Kompozit malzemelerin genel bir sınıflandırması Şekil 1.1’de gösterilmiştir.

Şekil 1.1: Kompozit Malzemelerin Genel Sınıflandırılması



(Kaya, A.i., 2016; Kaya, Z., 2021; Şanlıtürk, 2022).

1.1.3.1. Matris Elemanına Göre Sınıflandırma

Genelde metal, seramik ve polimer matrisli olarak sınıflandırılırlar.

Metal matrisli kompozitler: Metal ve metal alaşımlı kompozitlerdir. Takviye malzemelerine göre üstün özellikler gösterirler. Aşınmaya dayanıklı yüksek mukavemetli malzemeler üretilebilir. Seramiklerle takviye genelde kullanılır.

Seramik matrisli kompozitler: Seramik malzeme çok ısıya dayanıklı ve hafif olduklarından tercih edilirler. Fakat sert ve kırılgandırlar. Yalıtkanırlar. Liflerle takviye edilirler (Kaya, 2016). Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 ve B₄L çok kullanılanlarıdır. Erimiş matrisin sızdırılması ve sıcak presleme vb. yöntemlerle üretilirler (Kaya, 2021).

Polimer matrisli kompozitler: Üretim yöntemleri kompozit yapıya bağlı değişiklik gösterir (Kaya, 2021). Bu kompozitlerde polimer, matris fazını oluştururken, fiber veya nano parçacıklar takviye elemanı olarak kullanılabilir (Şanlıtürk, 2022).

Termoset ve termoplastik olarak ikiye ayrılırlar.

Termoset matrisler: Kürlenme oluştuğunda dayanıklı bir yapı oluştururlar. Kürlenme esnasında esnekliklerini koruyabilir ve uzun zaman bekletilebilirler. Bundan dolayı genellikle fiber takviyeli kompozit yapımında kullanılırlar (Şanlıtürk, 2022). Sıvı haldedirler. Sertleştirici ile katılaşırlar. Sıcaklık dayanımları yüksektir.

Termoplastik matrisler: Yüksek ısılarda kalıplarda tekrar şekillenebilirler. Çoğunlukla eritilebilir ve sünektirler. Eski ölçülerine geri getirilebilir daha önceki mekanik özelliklerini gösterirler. Fakat termoplastik kompozitler yüksek ısılarda dayanıklılıklarını kaybetme eğilimindedirler. Tokluk, sertlik gibi nitelikleri yönünden de otomotiv kontrol panelleri ile elektronik olan mamullerin korunmasında kullanılırlar (Şanlıtürk, 2022).

1.1.3.2. Takviye Elemanına Göre Sınıflandırma

Fiber takviyeli kompozitler: Kompozitlerin en yaygın türüdür. İlk sırayı genelde Cam fiber (CFRP) almıştır. Termoset ve termoplastik reçine ile kullanılabilir. Kısa lif, dokuma kumaş veya uzun lif olarak kullanılırlar. Liflerin yüküne göre kompozit özellikleri değişir (Kaya, 2016).

Parçacık takviyeli kompozitler: Malzeme özelliklerini iyileştirmek için matrisin içine ilave edilen eleman parçacık olarak tanımlanır. Nano veya partikül boyutunda makro büyüklükte olabilir. Sürekli fiber kompozitlere göre daha çok izotropik nitelik gösterirler.

Tabakalı kompozit malzemeler: Farklı fiber türlerine ait tabakaların birleşimi ile oluşur. Katman katman olur. Isıya, neme ve hafif olma özelliklerine göre metal malzemeler karşısında tercih edilirler (Kaya, 2016; Birsen, 2022). Dizilim yönü, sayısı, katman kalınlığı malzeme özelliğini etkiler. Hafif olmaları ve özgül dayanımı nedeniyle kullanımları artmaktadır. Sınırlı en önemli faktörü karmaşık hasar yapısına sahip olmalarıdır (Turan, 2007).

Karma (hibrit) kompozitler: İki veya daha fazla takviye malzemesi kullanılan kompozitlerdir (Yıldızlı, 2022). Örneğin mukavemeti düşük olan takviye elemanı ile yüksek olan takviye elemanı bir arada kullanıldığında düşük olanın tek başına sağlayamadığı mukavemet sağlanmış olur. En yaygın kullanılanlar karbon–cam ile aramid-karbon takviyeli kompozitlerdir (Yıldızlı, 2022).



İKİNCİ BÖLÜM
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. LİTERATÜR KARŞILAŞTIRMASI

Yapılan araştırmalarda; Norazean & Aidah, (2017) çalışmalarında kevlar-cam fiber hibrit kompozit tabakaların açık delik çekme özelliklerine delik boyutunun etkisi detaylı bir şekilde incelemiş, malzemeleri el yatırması vakumlu çekirme yöntemiyle üretmiş, 1-4-6-8-10 mm'lik delikler matkaplarla malzemelere delmiş ve çekme gerilmelerini bulmuşlardır. Hibrit malzemenin delik büyüdükçe mukavemetinin azaldığını bunun matris malzeme hasarından farklı olduğunu bulmuşlardır.

Sonbaty, Khashaba ve Machaly, (2004) yaptığı çalışmalarında Cam fiber takviyeli/epoksi kompozitlerin işlenebilirliğini etkileyen faktörleri incelemişlerdir. Elle yatırma yöntemiyle üretilen cam fiber takviyeli kompozitlerde kesme hızı, ilerleme ve matkap boyutunun, itme kuvveti, tork ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemişlerdir. Kesme hızının artmasının itme kuvveti ve torkta bir etkisi olmadığını, ilerleme ve matkap çapının artmasıyla itme kuvveti ve torkun arttığını, ilerlemenin düşmesiyle yüzey pürüzlülüğünün düştüğünü belirlemişlerdir.

Tsao, (2008) yaptığı çalışmada karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerin kademeli karotlu matkap ile delinmesinde, matkap çapı, iş mili hızı ve ilerleme parametrelerinin itme kuvveti ve delaminasyon üzerindeki etkisini incelemiştir. Çap oranı ve ilerleme hızının itme kuvvetini artırdığını, bu nedenle de delaminasyonun arttığını görmüşlerdir.

Abrau ve arkadaşları, (2008) kesici takım geometrisinin cam fiber takviyeli kompozit malzemenin delinmesi sırasında itme kuvveti ve delaminasyona etkilerini incelemiştir. Farklı geometrilere sahip dört matkap denenerek ve 8,6 mm'lik, uç açısı 150° karbür matkapla itme kuvvetinin arttığını, 10 mm'lik ve uç açısı 118° karbür matkap ile itme kuvvetinin düştüğünü, yüksek itme kuvveti ve orta düzey ilerleme ve kesme hızında delaminasyonun da orta seviyede bulunduğunu söylemişlerdir.

Khashaba ve arkadaşları, (2010a, 2010b) çalışmalarında örme (CET) cam fiber takviyeli kompozitlerin işlenebilirlik analizlerini incelemişlerdir. Yüksek kesme hızı ve ilerlemede itme kuvveti, matkap aşınması ve deformasyonun yüksek çıktığını bulmuşlardır.

Faramarz ve arkadaşları, (2011) cam/epoksi kompozit malzemelerin delinmesinde matkap dönüş hızı, matkap uç açısı ve ilerlemenin, itme kuvveti ve

delaminasyona etkisini incelemişlerdir. Aynı dönüş ve uç açısında ilerleme 25 mm/dak iken itme kuvvetinin az, ilerleme 100 mm/dak iken delaminasyonun düşük olduğunu bulmuşlardır.

Latha, Senthilkumar ve Palanikumar, (2011) yayınladığı çalışmalarında cam fiber takviyeli kompozitlerin delinmesinde matkap geometrisinin itme kuvvetine etkisini araştırmışlardır. 'Brad ve Spur' matkap, 'çok yönlü' matkap ve 'kademeli' matkap olmak üzere üç farklı matkap ucu kullanmışlar, kademeli matkap ucu ile en iyi sonucu almışlardır.

Krishnaraj ve arkadaşları (2012) çalışmalarında tabakalı karbon fiber takviyeli kompozit sekiz kat olarak vakum torbalama yöntemiyle üretmiş ve yüksek hızlarda fener mili hızı ve ilerlemenin, delik çapı, dairesellik, delaminasyon ve itme kuvvetine etkisini araştırmışlardır. İlerleme hızının, itme kuvveti, dışarı itme delaminasyonu ve deliğin çapı üzerinde daha yüksek etkisi olduğunu belirlemişlerdir. Daha düşük ilerleme hızları, itme kuvvetini ve dışarı itme delaminasyonunu düşürdüğünü gözlemlemişlerdir. Daha büyük ilerleme hızlarının da, deliklerin anma çapına daha yakın olmasına neden olduğunu tespit etmişlerdir. İş mili hızı da deliğin daireselliğinin ana belirleyicisi olmuştur.

Madhavan ve Prabu, (2012) yayınladıkları çalışmalarında karbon fiber takviyeli kompozitleri HSS, karbür matkap, karbür elmas uçlu matkap ile delme işlemleri yapmışlardır. Parametre olarak kesme hızı, ilerleme ve farklı kesici uç geometrisi kullanmışlardır. Bu parametrelerin delik deformasyonu, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri ve talaş oluşumu üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Yüksek kesme hız ve ilerlemede delaminasyonun arttığını, düşük ilerleme itme kuvvetini azalttığını, karbür matkapla da en iyi yüzey elde edildiğini bulmuşlardır.

Naveen ve arkadaşları, (2012) çalışmalarında % (10-20-30) fiber hacimli cam-kenevir tabakalı kompozit malzemelerin karbür matkapla delinmesinde üç farklı seviyede ilerleme ve kesme hızının delik hasar faktöründeki etkilerini incelemişlerdir. Yüksek ilerlemede hasarın fazla olduğunu bulmuşlardır.

Phadnis ve arkadaşları, (2013) karbon takviyeli fiber kompozitlerin delinmesinde kesme hızı ve ilerlemenin tork ve itme kuvvetine tesirini ele almışlardır. Büyük kesme hızları ve alt seviye ilerlemede delinmenin daha iyi olduğunu belirlemişlerdir.

Valarmathi, Palanikumar ve Latha, (2013) ahşap bazlı kompozit malzemelerin delinmesinde karbür matkap ve çeşitli uç açılarının, ilerleme hızı ve devir sayısının, itme kuvveti ve delaminasyona etkisini araştırmışlardır. Düşük ilerleme ve yüksek devirlerde itme kuvvetinin düştüğünü, delaminasyonun düştüğünü tespit etmişlerdir.

Nagaraja ve arkadaşları, (2013) yayınladıkları çalışmalarında karbon fiber takviyeli polimer kompozitlerin delinmesinde HSS matkap kullanarak, mil hızı ve ilerleme hızının, delaminasyon, itme kuvveti ve torka etkisini araştırmışlardır. Artan ilerleme ve yüksek devirlerde, itme kuvveti ve delaminasyonun da arttığını görmüşlerdir.

Rajamurugan ve arkadaşları, (2013) çalışmalarında e-cam fiber kompozit malzemelerin delinmesinde mil hızı ve matkap çapının delaminasyona etkisini araştırmışlar, mil hızının az artmasıyla delaminasyonun azaldığını ve matkap çapı arttıkça delik hasarının arttığını tespit etmişlerdir.

Karimi ve arkadaşları, (2013) yaptıkları çalışmalarında e-cam fiber takviyeli kompozit malzemelerin delinmesinde uç açısı, kesme hızı ve ilerlemenin delaminasyon ve itme kuvvetine tesirini araştırmışlar, ilerleme düştükçe delaminasyon ve itme kuvvetinin düştüğünü gözlemlemişlerdir.

Ghabezi ve Khoran, (2014) köpük PVC, polyester-cam kumaş tabakalı kompozit malzemenin delinmesinde kesme hızı, ilerleme ve takım çapının delik deformasyonuna etkisini incelemişler, en etkili parametrenin ilerleme olduğunu ve ilerleme yükseldikçe delik hasar oranının arttığını gözlemlemişlerdir.

Herbert ve arkadaşları, (2014) karbon fiber takviyeli polimer kompozitlerin delinmesinde iş mili hızı, matkap çapı, ilerleme hızı ve uç açısının delaminasyona tesirini araştırmışlardır. 4 mm çaplı TİN kaplı karbür matkap ve kaplamasız karbür matkap kullanmışlar, TİN kaplı karbür matkap ile daha düşük delaminasyona ulaşmışlardır. İlerleme hızı ve matkap çapı arttıkça delaminasyonun arttığını gözlemlemişlerdir.

Panneerselvam ve Raghuraman, (2015) cam fiber takviyeli polimer (CETP) polyester reçine gereci üzerinde delik deformasyonunun düşürülmesi gayesi ile kesici dönme hızı ve ilerleme hızıyla birlikte matkap çapı tesirini araştırmışlardır. CETP malzemesi üzerinde yaptığı çalışmada; 8 mm çapında HSS matkap, devir sayısı 3000

dev/dak ve 50 mm/dak ilerleme hızı kullanıldığında minimum delaminasyon ortaya çıktığını bulmuşlardır.

Vinayagamoorthy ve arkadaşları, (2016) hibrit kompozitlerde delme işleminde oluşan deformasyonları incelemişlerdir. Kullandıkları kompozit numune, dokuma kenevir ve çelik lif, iki tür takviye malzemesi kullanılarak oluşturmuşlardır. Matris gereci olarak polyester reçine kullanılmıştır. Devir, ilerleme hızı ve uç açısı giriş ve çıkış deformasyonlarında önemli bir tesire neden olduğunu, kesici çapının herhangi bir etkisinin olmadığını açıklamışlardır.

Şengül, (2022) çalışmasında toz metalürjisi ile üretilmiş üç farklı katkı oranına sahip (AA7075 + %5 AL_2O_3 + %2 grafit, AA7075 + %10 AL_2O_3 + %2 grafit, AA7075 + %15 AL_2O_3 + %2 grafit) hibrit kompozit malzemenin kaplamasız karbür matkaplarla delinmesinde delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve delaminasyon faktörü üzerindeki etkileri deneysel olarak incelemiştir. Çap 40×10 mm ölçülerinde hibrit malzemeler üretmiş ve bu malzemeleri 5 mm'lik karbür matkapla delerek üç farklı delme hızı ve ilerleme miktarı uygulamışlardır. Delinen deliklerin yüzey pürüzlülükleri ve delaminasyon miktarını bilgisayar ortamında ölçmüş ilerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerlerinde artış gözlemlemişlerdir. Ayrıca takviye elemanı arttıkça yüzey pürüzlülük değerlerinde artış gözlemlemişler ve devir ve ilerleme sayısının artması ile de delik çıkışında delaminasyonun arttığını gözlemlemişlerdir.

Kayihan, (2019) yaptığı çalışmasında karbon fiberli hibrit malzemeler (CFRP/Al/Ti) üretmiş, istif sırası, delme hızı, ilerleme faktörlerinden test etmiş ve sonuçlardan yola çıkarak analiz yapmıştır. Sonuçları üç faktörlü üç seviyeli ortogonal deney tasarımıyla yapmış malzemedan kazanç sağlamıştır. Çalışmada yaptıkları delik delme testleri üç faktörlü ve üç seviyeli L9 Taguchi ortogonal deney tasarımıyla gerçekleştirmiştir. Tasarlanan deney sayesinde hem testler için gereken zaman hem de malzemenin maliyetini düşürmüş, sonuçta en yararlı istif sırası ve kesme parametreleri tespit edilmiştir. (CFRP)'nin delik işleminden sonra yüzey pürüzlülüğü, giriş-çıkış delaminasyon ve kullanılan enerjinin hesabını gözlemlemişlerdir. Testler sırasında üç çeşit istif sırası, (62-94 ve 125 m/dak) üç çeşit delme hızı ve üç çeşit (0,05-0,07-0,1 mm/dev) ilerleme değeri uygulamıştır. Gözlenmek istenen her bir faktör tek yönlü varyans analizi yapılmış ve sonuçları almışlardır. İkişer delik delme ile dokuz deneme yapmışlar, kuvvet ve tork ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlara göre uygun istif sırası, ilerleme, kesme hızı değerleri bulmuşlardır. “Daha küçük daha iyi” özelliğine

göre oluşturulan oranlara göre en az giriş delaminasyon faktörü Al/Ti/CFRP diziliminde görülürken, en büyük giriş delaminasyonu CFRP/Al/Ti diziliminde belirlemişlerdir. Delaminasyon giriş faktörünü en büyük değişikliğe sebep istif sırası olduğunu, hız büyüdükçe delaminasyonun yükseldiğini tespit etmişlerdir. İlerleme arttıkça giriş delaminasyonunun düştüğünü gözlemlemişlerdir.

Okay, (2020) çalışmasında alüminyum matrisli bor karbür ve karbon monofiber takviyeli hibrit kompozitlerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerini incelemiştir. Bu çalışmada alüminyum matrisli B₄C (bor karbür) ve KNF (karbon nanofiber) takviyeli hibrit kompozit malzemenin mekanik ve işlenebilirliğini araştırmıştır. Malzemeleri sıcak pres yaparak üretmişlerdir. Deneyleri 5 mm. Çapında HSS matkap kullanarak, (135°, 118°, 90°) üç çeşit uç açısıyla ve (67,5-45-30 m/dak) üç farklı kesme hızıyla ve (0,225-0,15-0,1 mm/dev) üç çeşit ilerleme miktarı ile yapmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü, ilerleme, moment ve delik kalitesi araştırmış, delik delmedeki delaminasyon faktörünü bulmuştur. İşlenebilirlik deneylerinde ilerleme hızı arttıkça ilerleme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünün de arttığını bulmuştur. Kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğü azalmış ancak delik çıkış hasarının artmış olduğunu tespit etmişlerdir. Kesme hızı ve ilerleme miktarları arttığında da matkap ucunda dış köşe aşınması ve kesici ağız aşınması görmüşlerdir.

Aydın, (2019) çalışmasında karbon fiber (CFRP) kompozit ve Al7075 alüminyum alaşımlı istiflenmiş malzemenin oluşturduğu yapıyı delinebilirlik açısından incelemiştir. Çalışmalarında 120°-130°-140° uç açılı elmas kaplamalı karbür, TiAlN kaplamalı karbür ve kaplamasız karbür matkaplar ile delme işlemlerini yapmıştır. Doğrudan delme, geri gelmeli delme ve gagalayarak delme olarak üç yöntem kullanıp, istiflenmiş malzemeyi kuru delme şartlarında 0,05 mm/dev Sabit İlerleme ve 50 m/dak Sabit Kesme hızı ile incelemiş, kaplamasız karbür matkap ile doğrudan delmede en uygun delme sonucuna varmıştır. Diğer kaplamalı matkapların delme performanslarını düşük bulmuştur. Son deneylerde kaplamasız karbür matkap ile 120°-130°-140° uç açıları kullanmış ve kuvvet, moment, delaminasyon, yüzey pürüzlülüğü, talaş yapıları, matkap açılarını incelemiş, istiflenmiş malzemedeki 130° uç açılı kaplamasız karbür matkapla en iyi sonuca ulaşmıştır.

Tuncay, Motorcu ve İvanov, (2017) kompakt laminant kompozit malzemeleri yeni ve aşınmış karbür parmak freze çakısı ile delmişlerdir. Üç çeşit kesme hızı (178-250-350 m/dak), üç çeşit ilerleme (0,07-0,111-0,156 mm/dev) ile doğrusal ve kademeli

delik delme işlemlerini CNC Freze tezgâhında yapmışlardır. Giriş ve çıkış delaminasyonlarını bulmuş, aşınmış takım ile deforme olmuş çap ölçüsünü daha büyük bulmuşlardır.

Karataş, (2022) çalışmasında karbon fiber takviyeli kompozit malzemeleri farklı HSS ve karbür matkaplarla, üç çeşit iş mili devri (750-1000-1500 dev/dak), üç çeşit ilerleme (0,05-0,10-0,15 mm/dev) seçmiştir. Delme deneylerini Minitab 19'da taguchi yöntemi ve ANAVO analizi yapmış, delaminasyon değerini karbür matkap ile 1500 dev/dak ve 0,05 mm/dev ilerlemede 1,3905 en düşük değer olarak bulmuştur.

Yağmur, (2016) çalışmasında karbon fiber takviyeli katmanlı malzemeyi delaminasyon ve uygun kesici bulma açısından araştırmıştır. CNC dik işlem tezgâhında üç parmak freze ile birinci ve ikinci boşluk açıları sırası ile (80° - 170° , 110° - 250° , 130° - 250°) olan kesicilerle delme işlemi yapmış, (350-400-450 m/dak) kesme hızı ve sabit ilerleme 1270 mm/dev kullanmıştır. 80° - 170° 'lik kesiciyi üst düzey kesici olarak bulmuş ve artan kesme hızının delaminasyon çapını, yüzey pürüzlülüğünü düşürdüğünü; kesici aşınmasını da artırdığını tespit etmiştir.

Özkaya ve arkadaşları, (2019) çalışmalarında cam küre takviyeli polipropilen kompozit malzemelerin delaminasyon faktörlerini deney yaparak incelemiş, 4mm. 118°'lik matkaplarla %5, %10, %20 takviye katkılı malzemeleri CNC Frezede delmişler, kesme hızı ve ilerleme yükseldikçe delaminasyonun arttığını; %5 takviye katkılı malzemede de kesme hızı 15 m/dak ve ilerleme 0,05 mm/dev seçildiğinde delaminasyonu düşük tespit etmişlerdir.

Kuş ve Ekici, (2017) çalışmalarında sandviç kompozitlerin delinmesinde delaminasyon faktörünü araştırmışlardır. Çalışmalarında bal peteği şeklinde üretilen sandviç kompozitleri CNC Freze tezgâhında 6,3 mm'lik TiAlN kaplı karbür matkaplarla delmişler ve delaminasyon giriş bölgesinde %46 ile kesme hızı parametresinin, çıkış kısmında %32,8 ile ilerlemenin yükselttiğini bulmuşlardır.

Karaca, (2016) çalışmasında cam fiber takviyeli kompozit malzemelerin delme parametrelerinin deformasyon faktörüne etkisini incelemiştir. Çalışmasında malzemeleri 8 mm'lik 118° , 125° , 130° , 140° HSS matkaplarla kesme hızı (5-7,5-10-12,5 m/dak) ve (0,05-0,075-0,100-0,125 mm/dev) ilerlemeleri kullanarak CNC Freze tezgâhında delmiş ve sonuç olarak CETP kompozit malzemede ilerleme miktarı arttıkça deformasyonun

arttığını, kesme hızının bir etkisi olmadığını ancak deformasyonun düşürülmesi için matkap uç açısının düşük seçilmesi gerektiğini tespit etmiştir.

Ceritbinmez ve Yapıcı, (2020) çalışmalarında cam fiber takviyeli kompozit plakalara nano boyutta katkı maddesi ekleyerek, malzemenin mekanik özelliklerine matkap ile delinmesine etkilerini araştırmışlardır. Nanopartikül ilavesi yapılan malzemelerde dayanım ve delik kalitesinin arttığını bulmuşlardır. Çap 5 mm ve açıları (90°, 118°, 140°)'lik HSS matkaplar ile kuru delik delme işlemi yapmış, 1000 dev/dak sabit devir ve (200-600-1000 mm/dak) ilerleme ile delikleri delmişlerdir. En uygun çapaksız delmeyi 118°'lik matkap ve 200 mm/dak ilerlemede bulmuşlardır. Matkap uç açısı ve ilerleme arttıkça delaminasyonun arttığını tespit etmişlerdir.

Pıhtılı, (2022) çap 5-10-15 mm HSS, Titanyum nitrür ve Karbür matkaplarla (125-250-315 dev/dak) tezgâh devri ve (0,15-0,56-0,112 mm/dev) ilerleme kullanarak delme işlemi yapmış, İlerleme, hız ve malzeme kalınlığı arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin arttığını bulmuştur. Yine matkap çapı arttıkça yüzey pürüzlülük değeri arttığını, HSS matkapla da en yüksek yüzey pürüzlülük değerini tespit etmişlerdir.

Koyunbakan ve arkadaşları, (2017) çalışmalarında üç boyutlu cam fiber kompozit malzemelerin delinme ve frezelenme özelliklerini incelemişlerdir. Delme işlemini kuru ortamda CNC Frezede 6 mm çaplı ağaç matkabı, karbür matkap, kaplamalı karbür matkap ve HSS matkaplarla, kanal açma 5 mm parmak freze ile, (1000-5000-1000 dev/dak) devir ve (100-300-500 mm/dak) ilerleme hızı kullanarak yapmışlar ve sonuçta 3B boşluklu cam fiber kompozitlerin delinmesinde düşük ilerleme hızı ve orta seviye devir sayısında düşük deformasyon çıktığını bulmuşlardır. Tablo 2.1'de Literatür tablosu gösterilmiştir.

Tablo 2.1: Literatür Tablosu

Çalışmayı Yapan	Kompozit Malzeme	Malzeme Üretim Yöntemi	Kullanılan Parametreler	Sonuç İncelemesi
Norazeen,&Aidah, (2017)	Hibrit (kevlar/cam) sıralama %50 kevlar, %50 cam	El yatırması vakumlu çekirme	1- 4,-6-8-10 mm'lik HSS matkap, devir, ilerleme	Mukavemet, delik hasarı
Sonbaty, Khashaba, Machaly (2004)	E-cam fiber takviyeli kompozit	Elle yatırma yöntemi	8-13 mm'lik matkap, Kesme hızı, ilerleme	İtme kuvveti, tork, yüzey pürüzlülüğü
Tsao, (2008)	Karbon fiber takviyeli kompozit	Elle yatırma yöntemi	Kademeli karot matkabı, iş mili hızı, ilerleme	İtme kuvveti, delaminasyon

Tablo 2.1: Literatür Tablosu (Devam)

Çalışmayı Yapan	Kompozit Malzeme	Malzeme Üretim Yöntemi	Kullanılan Parametreler	Sonuç İncelemesi
Abrau ve arkadaşları, (2008)	Cam fiber takviyeli epoksi kompozit	Elle yatırma yöntemi	8,6-10 mm'lik 150°, 118°'lik tungsten karbür matkap, ilerleme, kesme hızı	İtme kuvveti, delaminasyon
Khashaba ve arkadaşları, (2010a, 2010b)	E-cam fiber takviyeli kompozit	Elle yatırma yöntemi	Karbür matkap, kesme hızı, ilerleme	İtme kuvveti, matkap aşınması, delaminasyon
Faramarz ve arkadaşları (2011).	E-cam fiber takviyeli kompozit	Elle yatırma yöntemi	5 mm'lik HSS 70°, 90° ve 118° lik matkap, devir, ilerleme	İtme kuvveti, delaminasyon
Latha, Senthilkumar ve Palanikumar, (2011)	E-cam fiber takviyeli kompozit	Elle yatırma yöntemi	Brad ve Spur' matkap, 'çok yönlü' matkap ve 'kademeli' matkap	İtme kuvveti
Krishnaraj ve arkadaşları (2012)	Tabakalı karbon fiber takviyeli kompozit	Vakum torbalama yöntemi	Karbür matkap K20, fener mili hızı, ilerleme	İtme kuvveti, delaminasyon, delik çapı ve daireselliği
Madhavan ve Prabu, (2012)	Karbon fiber takviyeli kompozit	Elle yatırma yöntemi	5 mm'lik 8-10° uç açılı HSS, karbür, elmas uçlu karbür matkap, kesme hızı, ilerleme	İtme kuvveti, delaminasyon, yüzey pürüzlülüğü
Naveen ve arkadaşları, (2012)	Cam-kenevir takviyeli kompozit	Elle yatırma yöntemi	6 mm'lik karbür matkap, kesme hızı, ilerleme	Delaminasyon
Phadnis ve arkadaşları, (2013)	Karbon fiber takviyeli kompozit	Elle yatırma yöntemi	3mm'lik TİN kaplı matkap, kesme hızı, ilerleme	İtme kuvveti, tork
Valarmathi, Palanikumar ve Latha, (2013)	Ahşap bazlı kompozit	Sıcak presleme	10 mm'lik 100°, 118° ve 135° uç açılarında karbür matkap, dönme hızı, ilerleme	İtme kuvveti, delaminasyon
Nagaraja ve arkadaşları (2013)	Karbon fiber takviyeli kompozit	Elle yatırma yöntemi	6 mm'lik HSS matkap, İlerleme, devir	İtme kuvveti, delaminasyon
Rajamurugan ve arkadaşları (2013)	E-cam fiber takviyeli kompozit	Elle yatırma yöntemi	Mil hızı, matkap çapı	Delaminasyon
Karimi ve arkadaşları (2013)	E-cam fiber takviyeli kompozit	Elle yatırma yöntemi	Uç açısı, kesme hızı, ilerleme	İtme kuvveti, delaminasyon
Ghabezi ve Khoran (2014)	Köpük PVC, cam-poyester	Vakum destekli reçine transfer metodu	Kesme hızı, ilerleme, takım çapı	Delaminasyon
Herbert ve arkadaşları (2014)	Karbon fiber takviyeli kompozit	Elle yatırma yöntemi	Mil hızı, matkap çapı, ilerleme, uç açısı	Delaminasyon

Tablo 2.1: Literatür Tablosu (Devam)

Çalışmayı Yapan	Kompozit Malzeme	Malzeme Üretim Yöntemi	Kullanılan Parametreler	Sonuç İncelemesi
Panneerselvam ve Raghuraman, (2015)	Cam fiber takviyeli polimer (CETP) polyester kompozit	Elle yatırma yöntemi	HSS matkap, devir, ilerleme	Delaminasyon
Vinayagamoorthy ve arkadaşları (2016)	Hibrit (çelik lif / polyester) kompozit		Matkap çapı, kesme hızı, ilerleme, uç açısı	Delaminasyon
Şengül, (2022)	AA7075 + %5 Al ₂ O ₃ + %2 grafit, AA7075 + %10 Al ₂ O ₃ + %2 grafit, AA7075 + %15 Al ₂ O ₃ + %2 grafit	Toz metalürjisi	5 mm'lik kaplamasız karbür matkap, devir, ilerleme	Delaminasyon
Kayıhan, (2019)	Karbon fiberli hibrit (CFRP/Al/Ti)	Malzemeleri birbirine mekanik şekilde bağlama	10 mm'lik matkap, devir, ilerleme	Dizilim, delaminasyon
Okay, (2020)	Aliminyum matrisli bor karbür ve karbon monofiber takviyeli hibrit kompozit	Sıcak pres	5 mm'lik HSS matkap, 135°, 118°, 90° üç farklı uç açısı, kesme hızı, ilerleme	Yüzey pürüzlülüğü, delaminasyon
Aydın, (2019)	Karbonfiber (CFRP) kompozit ve Al7075 alüminyum alaşımlı	Vakum torbalama yöntemi	5 mm'lik 120°, 130°, 140° uç açılı elmas kaplamalı karbür, TiAlN kaplamalı karbür ve kaplamasız karbür matkaplar, devir, ilerleme	Kuvvet, moment, delaminasyon, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması
Tuncay, Motorcu ve İvanov (2017)	Kompakt laminant kompozit	Standart EN 438-2 KLK numune malzeme	12,7 mm'lik Yeni ve aşınmış karbür parmak freze, devir, ilerleme	Yüzey pürüzlülüğü, delaminasyon
Karataş, (2022)	Karbon fiber takviyeli kompozit	Vakum torbalama yöntemiyle	8 mm'lik HSS ve karbür matkap, devir, ilerleme	Delaminasyon
Yağmur, (2016)	Karbonfiber takviyeli katmanlı malzeme	Vakum torbalama yöntemiyle	10 mm'lik 80°-170° açıda parmak freze	Delaminasyon, yüzey pürüzlülüğü, kesici aşınması
Özkaya ve arkadaşları, (2019)	Cam küre takviyeli polipropilen kompozit	Plastik enjeksiyon tezgahı	4 mm'lik HSS, Titanyum Nitrür kaplı HSS ve kaplamasız karbür matkap, takviye katkısı, kesme hızı, ilerleme	Delaminasyon
Kuş ve Ekici, (2017)	Karbon fiber takviyeli polimer kompozit (CFRP) plakalar, aliminyum, nomex	Vakum destekli reçine transfer metodu	6,3 mm'lik TiAlN kaplı karbür matkap, kesme hızı, ilerleme	Delaminasyon

Tablo 2.1: Literatür Tablosu (Devam)

Çalışmayı Yapan	Kompozit Malzeme	Malzeme Üretim Yöntemi	Kullanılan Parametreler	Sonuç İncelemesi
Karaca, (2016)	Cam fiber takviyeli kompozit	Ticari olarak temin	8 mm'lik, 118°, 125°, 130°, 140°'lik HSS matkap, kesme hızı, ilerleme	Deformasyon faktörü
Ceritbinmez ve Yapıcı. (2020)	Karbon nanotüp katkı ve katkısız cam fiber takviyeli polimer (CETP) kompozit	Vakum destekli reçine transfer metodu	5mm'lik açılı 90°, 118°, 140° HSS matkap, sabit devir, ilerleme	Dayanım, delaminasyon
Pıhtılı, (2022)	Kevlar kompozit	Sıcak presleme	5-10-15 mm'lik HSS, TIN ve Karbür matkap, devir, ilerleme	Yüzey pürüzlülüğü
Koyunbakan ve arkadaşları (2017)	Üç boyutlu cam fiber kompozit	Vakum destekli reçine transfer metodu	6 mm'lik ağaç matkabi, karbür matkap, kaplamalı karbür matkap ve HSS matkap, devir, ilerleme	Deformasyon
Köklü ve arkadaşları (2017)	Hibrit (Cam/karbon) takviyeli kompozit	Vakum destekli reçine transfer metodu	90°, 110° kenar açılı karbür matkap, sabit devir, ilerleme	İtme kuvveti, delaminasyon
Köklü ve arkadaşları (2017)	Karbon fiber takviyeli kompozit	Vakum destekli reçine transfer metodu	Kriyojenik işleme, 4, 6 mm'lik karbür matkap sabit kesme hızı, ilerleme	İtme kuvveti, delaminasyon, yüzey kalitesi, matkap aşınması
Köklü ve arkadaşları (2019)	Cam fiber takviyeli kompozit boru	Filament sarma tekniği	4 mm'lik karbür konvansiyonel bükümlü matkap, düz matkap ve başsız puntalı matkap matkap, sabit devir, ilerleme	İtme kuvveti, delaminasyon

Tablo 2.1'de genelde son yıllarda yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde malzeme olarak tabakalı kompozitlerin kullanıldığı, delaminasyon, yüzey pürüzlülüğü, itme kuvveti sonuçlarının araştırıldığı görülmektedir. Bu çalışmada literatür çalışmalarından farklı olarak dayanımı artırmak için on kat tabakalı kompozit malzemeler Vakum Destekli Reçine Transfer Yöntemi kullanılarak üretildi. E-cam fiber takviyeli tabakalı polimer kompozit, aramid fiber takviyeli tabakalı polimer kompozit, e-cam/aramid fiber takviyeli tabakalı hibrit polimer kompozit malzemelerin delinebilirlik özellikleri tespit edildi. Kullanılan malzemeler incelendiğinde literatürde hibrit e-cam/aramid (bir cam, bir aramid olacak şekilde on kat) az kullanıldığı görülmektedir. Çalışmada dayanımı yüksek malzemeler üretmek ve bunların delinebilirliği incelenerek, eksik bulguların giderilmesi amaçlanmıştır.



ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
METARYAL VE METOT

3.1. MALZEME VE YÖNTEM

Aramid güçlü ve ısıya dayanıklı bir sentetik fiberdir ve molekülleri benzene benzer, güçlü, halka benzeri bir yapıya sahiptir. Aramid'in kimyasal yapısı, kendiliğinden birbirine sıkı bir şekilde yapışan mikroskobik düz çubuklar halinde oluşmasına neden olur. Cam fiber yapı, çok sayıda ince cam fiberinden oluşan özel bir sentetik fiberdir. Düşük yoğunluklu ve mukavemeti yüksektir. En önemlisi düşük maliyet avantajına sahiptir. Çalışmada kullanılan aramid kumaş 200 gr/m² özgül ağırlığa sahip para-aramid fiber liflerden düz dokuma özelliklerine sahiptir. E-cam kumaş, hem oluşturulan hibrit yapıda kumaşlar arasında özdeşlik istenmesi hem de deneylerin tutarlılığının sağlanması amacıyla aramid kumaş ile aynı, 200 gr/m² özgül ağırlığa sahip ve yine düz dokuma olarak kullanılmıştır. Her iki kumaş Türkiye'de hizmet veren KP Kompozit Pazarı Anonim Şirketinden temin edilmiştir. Kullanılan MGSL160 laminasyon epoksi reçine Hexion firması tarafından üretilen, havacılık sertifikasına sahip bunun yanında, otomotiv, denizcilik, uzay sanayiinde, rüzgâr pervaneleri ve savunma sektörlerinde kullanılan bir üründür. MGSL160 reçine 25°C Ölçüm şartlarında; yoğunluğu 1,3-1,20 gr/cm³ ve viskozite 600-900 mPas özelliklerine sahiptir. Aynı firmanın ürettiği MGS laminasyon epoksi sertleştirici LH160, 25°C ölçüm şartlarında yoğunluğu 0,96-1,00 gr/cm³, viskozitesi 50-100 mPas ve %70-90 sikloalifatik amin ve %10-30 polioksil alkil amin karışımına sahiptir. Her iki malzeme ve kompozit üretimi için gerekli bütün sarf malzemeler Türkiye'de faaliyetlerini sürdüren Dost Kimya Endüstriyel Hammaddeler San. Tic. Ltd. Şirketinden temin edilmiştir. Çalışmada kompozit yapıların delme deneyleri için 6 mm çapında kaplamasız karbür matkap, kaplamasız HSS matkap ve kaplamasız HSS parmak freze olmak üzere 3 farklı kesici takım kullanılmıştır. Kesici gereçler, Türkiye'de satış hizmeti sunan Alfa Kesici Takım İth. İhr. San. ve Tic. Ltd. Şirketinden alınmıştır.

3.1.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

3.1.1.1. Cam Fiber Kumaşların Özellikleri

Cam fiber kumaşlar (CFK), cam fiberi adı verilen ince cam tellerinin dokunarak kumaş haline getirilmesiyle oluşan bir malzemedir. Düz dokuma olan cam fiber kumaş tahta tekne laminesinde ve cam fiber takviyeli kompozit iş parçası üretiminde genellikle tercih edilen uygun bir takviye malzemesidir. Gelişmiş kompozit

üretimlerinde kullanılır, epoksi ile uyumlu, emprenye işlemi çok kolay olan, artan özellikli cam fiber dokuma kumaştır. Özellikle insansız hava aracı, savunma sanayi, model yapımı için uygun bir malzemedir (www.kompozitpazari.com, 2023).

Cam fiber kumaşlar, yüksek dayanım/maliyet nitelikleriyle bilinirler. Bu özellikleri sayesinde çeşitli endüstriyel çalışmalarda kullanılırlar. Yıpranmaya, kimyasal olaylara ve artan ısılara karşı mukavemetleri yüksektir. Bu nitelikleri nedeniyle dayanıklı ve uzun ömürlü bir malzeme olarak öne çıkarlar. Diğer ürünlere göre son derece ağır olmayan bir yapıya sahiptirler. Bu nedenle, hafiflik gerektiren çalışmalarda tercih edilirler. Özellikle yüksek esnekliğe sahiptirler. Bu niteliği sayesinde çeşitli geometrilere kullanılabilirler. Yüksek sertlik özellikleri olan bir malzemedir. Bu özellikleri sayesinde de endüstriyel uygulamalarda kullanımı yaygındır (www.kompozitpazari.com, 2023).

Kullanım Alanları:

Havacılık endüstrisi: Cam fiber kumaşlar, mukavemetli ağır olmayan bir ürün olduklarından, Sivil havacılık sektöründe kullanımı yaygındır. Özellikle uçak kanat, gövde, pervane kısımları gibi yerlerde kullanılırlar (www.kompozitpazari.com, 2023).

Otomotiv endüstrisi: Cam fiber kumaşlar, otomotiv sektöründe de ağırlığı azaltmaya yönelik kullanılırlar. Bu ürün, yakıttan tasarruf sağlar ve performansı artırır (www.kompozitpazari.com, 2023).

Denizcilik endüstrisi: CFK, denizcilik sektöründe de kullanılır. Gemi imalatında ve diğer denizcilik çalışmalarında, mukavemeti ve hafifliği sebebiyle tercih edilirler (www.kompozitpazari.com, 2023).

İnşaat endüstrisi: CFK, inşaat sektöründe de dayanımı artırma ürünü olarak kullanılırlar. İnşaatların beton kısımlarında, çelik konstrüksiyonlar ve diğer yapıların güçlendirilmesinde kullanılırlar (www.kompozitpazari.com, 2023).

Spor malzemeleri: CFK, spor ürünlerinde de kullanılır. Genellikle snowboard, bisiklet, kayak gibi spor aletleri yapımında tercih edilir (www.kompozitpazari.com, 2023).

Cam fiber kumaş teknik özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1: 200gr/m² Cam Fiber Kumaş Teknik Özellikleri

Epoksi, polyester ve vinilester reçineleri ile uyumludur
200 gr/m ² dokuma kumaş 200 gr reçine tüketir.
Atkı fiber, EC9 136x/6
Çözü fiber, EC9 136 x 8,9
Kalınlık, 0,15 mm
Dokuma tipi, Düz kumaş
Ağırlık, 200 gr/m ²
En, 100 cm

Kaynak: (www.kompozitpazari.com, 2023).

3.1.1.2. Aramid Kumaş Özellikleri

Kevlar (Aramid) Fiber Kumaş düz dokuma KEVLAR29 veya benzeri para-aramid liflerinden dokunmuş, alan ağırlığı 200 gr/m² olan, ağırlığı az, verimi yüksek, su itici niteliğine sahip, mukavemeti yüksek, sıcaklığa dayanıklı aramid fiber kumaştır. Balistik vücut yeleklerinde, koruyucu kıyafet katkılarında, otomobil lastikleri katkılarında, itfaiyeci kıyafetlerinde, denizaltı boru hatlarında, gemi halatlarında, spor malzemelerinde, müzik aletlerinde, uzay teknolojilerinde kullanılmaktadır. (kompozitpazari.com/urun) Aramid kumaş teknik özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2: Kevlar (Aramid) Fiber 200 gr/m²-Düz Kumaş Teknik Özellikleri

Epoksi reçineleri ile uyumludur,
Mukavemet, aşınma dayanımı ve kesme direnci çok yüksek
Atkı fiber, Twaron 930 dtex 10,5 x 10,5 ± 0,3
Çözü fiber, Twaron 930 dtex 10,5 x 10,5 ± 0,3
Dokuma tipi, Düz kumaş
Ağırlık, 200 gr/m ²
En, 100 cm
WR, su iticili aramid fiber kumaştır
Kalınlık, 0,3 mm

Kaynak: (www.kompozitpazari.com, 2023).

3.1.1.3. Reçine ve Sertleştirici, Kalıp Ayırıcı Eleman Özellikleri

MGS Laminasyon epoksi reçine L160 özellikleri Tablo 3.3'te ve HEXION MGS LH160 sertleştirici özellikleri Tablo 3.4'te gösterilmiştir.

Tablo 3.3: MGS Laminasyon Epoksi Reçine L160 Sistemi Özellikleri

MGS L160 Epoksi Reçine sistemi Alman Federal Havacılık sertifikasına sahiptir.
Karbon, cam aramid fiber kumaşlarla çok üst düzeyde uyumludur
Çok iyi mekanik ve ısı özelliklere sahiptir
Oda sıcaklığında 30-45 dakika çalışma süresine sahiptir (ortam sıcaklığına göre değişkenlik gösterebilir.)
Yoğunluk, 1,13-1,17 g/cm ³
Vizkosite, 700-900 mPas
Çalışma sıcaklığı-60 °C / +50 °C Isıl işlem uygulanmadan
Çalışma sıcaklığı-60 °C / +80 °C Isıl işlem uygulanarak
Uygulama Sıcaklığı, +10 °C / +50 °C aralığındadır.
Kullanım alanlar: Planör, motorlu planör, motorlu uçak, bot, gemi, spor aletleri, model uçaklar, kalıp ve pek çok genel uygulamalarınızda rahatlıkla kullanabileceğiniz kendini ispatlamış bir üründür.

Kaynak: (www.dostkimya.com, 2023).

Tablo 3.4: HEXION MGS LH160 Sertleştirici Özellikleri

MGS Laminasyon Epoksi Reçine Sertleştirici LH160 sistemlerimiz ileri kompozit parça imalatlarında dünyada çok yaygın olarak kullanılan Hexion firmasının ürettiği, yıllardır kendisini ispatlamış, havacılık, otomotiv, marin, uzay, rüzgâr pervaneleri ve savunma sektörlerinde kullanılan ürünlerdir.
MGS Laminasyon Epoksi Reçine LR160 ile birlikte kullanılır.
Oda sıcaklığında kürlenir ve daha sonra yapılacak postkür işlemiyle sivil havacılık standartlarını sağlayan parçalar elde edilebilir.
MGS Laminasyon Epoksi Reçine Sertleştirici LH160 ile Kullanılabileceğiniz Reçine MGS Laminasyon Epoksi Reçine LR160 ile birlikte kullanılır. Karışım oranı: 100:25 +-2gr'dır.
30-45 dakika çalışma süresine sahiptir (ortam sıcaklığına göre değişkenlik gösterebilir.)
Çalışma Sıcaklığı-60 °C / +50 °C Isıl işlem uygulanmadan
Çalışma Sıcaklığı-60 °C / +80 °C Isıl işlem uygulanarak
Uygulama Sıcaklığı, +10 °C / +50 °C aralığındadır.
Kullanım Alanları: Planör, motorlu planör, motorlu uçak, bot, gemi, spor aletleri, model uçaklar, kalıp ve pek çok genel uygulamalarınızda rahatlıkla kullanabileceğiniz kendini ispatlamış bir üründür.

Kaynak: (www.dostkimya.com, 2023).

Kalıp ayırıcı olarak RACU-TOOL AC-9103 beyaz, yoğunluğu 0,72 g/cm³ (ISO 1183) 2 kullanılmıştır.

3.1.2. Malzeme Üretimi

Bu çalışmada e-cam fiber takviyeli tabakalı polimer kompozit, aramid fiber takviyeli tabakalı polimer kompozit, e-cam/aramid fiber takviyeli tabakalı hibrit polimer kompozit malzemeler vakum destekli reçine transfer metoduyla üretilmiştir. Üretimlerde cam ve aramid olarak üretilenler on kat ve (cam-aramid) hibrit olarak üretilenler bir cam, bir aramid kumaş olacak şekilde on kat olarak hazırlanmıştır. Bu çalışmada, üç farklı tipte kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir. 3 farklı kompozit yapı literatüre de paralellik gösterecek biçimde 10 kat fiber kullanılarak üretilmiştir. (Mullaikodi, vd., 2019; Salman, Hassim ve Leman, 2015). Malzeme üretiminde reçine olarak dost kimya firmasından LR 160 ve sertleştirici olarak HEXION MGS LH 160 kullanılmıştır. Karışım oranları firmanın belirttiği ağırlıkça reçine %100 gr – sertleştirici %25 gr. olarak alınmıştır.

268 × 232 mm ve 200 × 200 mm'lik 10 kat üretilen malzemeler için sertleştirici ve reçine hesabı:

$$\text{Alan Hesabı; } A_1 = a \times b \times c = 258 \times 232 \times 10 = 67000 \text{ mm}^2,$$

$$A_2 = a \times b \times c = 200 \times 200 \times 10 = 40000 \text{ mm}^2 \text{ olur.}$$

Toplam alan $A_T = A_1 + A_2 = 107000 \text{ mm}^2 = 1,07 \text{ m}^2$ olarak bulunur. Burada malzemeler 200 gr/m² olduğundan,

Toplam malzeme ağırlığı $M_T = A_T \times 200 = 1,07 \times 200 = 214 \text{ gr}$ bulunmuştur.

Ağırlıkça %80 reçine + sertleştirici kullanıldığından;

$$RS_T = M_T \times 0,8 = 171,2 \text{ gr reçine + sertleştirici karışımı hesaplanmıştır.}$$

Buradan ilave edilen sertleştirici

$$S = RS_T \times \frac{25}{125} = 171,2 \times \frac{25}{125} = 34,24 \text{ gr hesaplanmıştır.}$$

Reçine ise $R = RS_T - S = 171,2 - 34,24 = 136,96 \text{ gr}$ hesaplanıp karışım hazırlanmıştır.

Tez çalışmasında kullanılan vakum destekli reçine transfer metodu kalıp içinden havanın çıkarılması ve reçinenin homojen biçimde fiber kumaşa emdirilmesi amacıyla kullanılan metottur. Fiber kumaşlar istenilen ölçülerde (aramid ve e-cam fiber kumaşlar 20'şer adet) kesilerek kenar liflerinin oluşması engellenmiş ve üzerindeki yağ

ve kirin giderilmesi için alkol ile yıkanarak ip üzerine serilip kuruması beklenmiştir. Bu arada kompozit üretimi için gerekli olan soyma kumaşı, vakum akış filesi, vakum naylonu ve akış hortumları (düz ve helisel) önceden belirlenen ölçülerde kesilmiştir. Cam tezgâh üzerine kalıp ayırıcı sürülerek 10'ar dakika arayla 3 kat olacak şekilde hazırlanmıştır. Soyma kumaşı ve ondan sonra 10 kat fiber kumaş, daha sonra soyma kumaşı, file ve vakum naylonu konulup vakum bantları ile kalıp kenarları bantlanır. Vakum pompası çalıştırılarak hortumun giriş kısmı kapatılır vakumlama kontrol edilir herhangi bir kaçak mevcutsa ilave sızdırmazlık bandı veya baskı kuvveti uygulanarak sızdırmazlığın olmadığından emin olunur. Yerleştirilen giriş ve çıkış hortumları ile içindeki hava boşaltılıp, reçine-sertleştirici karışımı emdirilip bütün fiber kumaşların bu karışım ile homojen ıslatılması sağlanır. e-cam fiber takviyeli tabakalı polimer kompozit, aramid fiber takviyeli tabakalı polimer kompozit ve e-cam/aramid fiber takviyeli tabakalı hibrit polimer kompozit üretimlerinde, elde edilen reçine/sertleştirici karışımı doğrudan kumaşa vakum destekli reçine transfer sistemiyle emdirilerek kompozitlerin üretim işlemi tamamlanmıştır. Vakumlama işlemiyle, kumaşların tamamen ıslanması ve reçine kabındaki bütün karışımın bitmesi sağlandıktan sonra tezgâhta konumlandırılan kompozit setinin hem emme hem de çıkış hattındaki hortumlar kapatılarak Hexion firmasının direktifleri doğrultusunda 24 saat oda sıcaklığında ilk kurlenmesi sağlanmıştır. 24 saat kurlemde bekletildikten sonra etüv fırınında 80°C'de 15 saat kurlenme yapılan kompozit malzemelerin üretimi tamamlanmıştır. Şekil 3.1'de a, b, c, d, e, f, g, h, ı, j, k, l, m, n'de malzeme üretiminin işlem sırası gösterilmiştir.

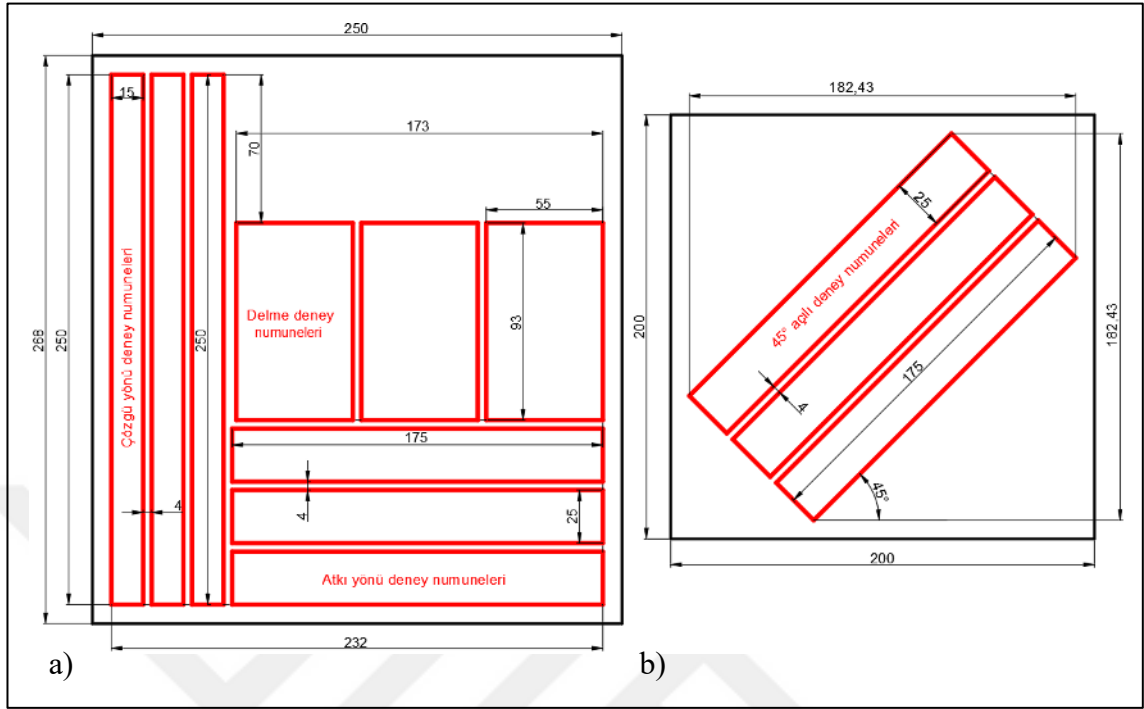
Şekil 3.1: Vakum Destekli Reçine Transfer Yöntemi ile Üretilmiş Tabakalı Hibrit Kompozit (Cam-Aramid) Malzeme İşlem Sırası a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n



Üretimi gerçekleştirilen bütün kompozit plakaların ortalama kalınlığı 2,55 mm olarak ölçülmüştür. Üretilen her bir kompozit plakanın üzerinden çözgü yönü mukavemet verileri, atkı yönü mukavemet verileri ve plaka üretim konumuna göre 45° açıda mukavemet verilerinin elde edileceği deney numunelerini barındıran bir plaka organizasyonu benimsenmiştir. Bunun yanında delme deneyleri için gerekli deney numuneleri de üretilen plakalar üzerinden çıkartılmıştır. Yapılan planlama ile her bir deney 3'er tekrarlı olarak yapılmıştır. Deney planlamasına uygun plakaların ölçüleri Şekil 3.2'de görülmektedir.

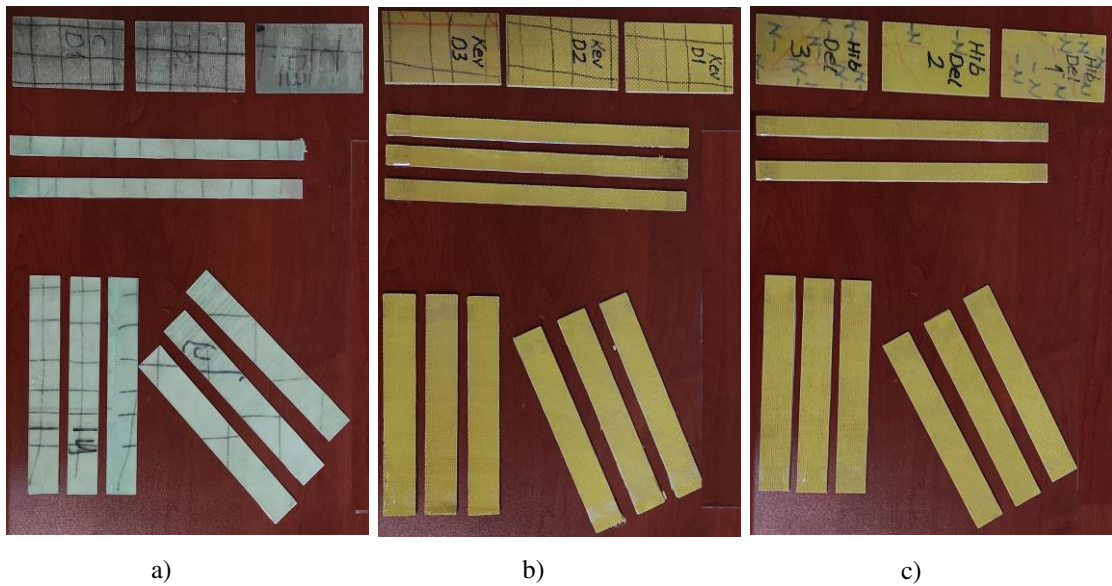
Şekil 3.2: Kompozit Plaka Üretim Ölçüleri

- a) Çözgü Yönü, Atkı Yönü ve Delme Deney Numunelerinin Bulunduğu Plaka,
b) 45° Açılı Deney Numunelerinin Bulunduğu Plaka.



Üç malzemeden de 268×232 mm ve 200×200 mm boyutlarında malzeme üretildi. Bu malzemelerden deneyler için ASTM 3039'a göre belirlenen 15×250 mm üçer adet, 55×93 mm üçer adet ve 25×175 mm üçer adet su jetinde kesilmiştir. Şekil 3.3'te su jetinde kesilen deney numuneleri gösterilmiştir.

Şekil 3.3: Su Jetinde Kesilen Deney Numuneleri a) E-Cam Deney Numuneleri, b) Aramid Deney Numuneleri, c) Hibrit Deney Numuneleri



3.1.2.1. Malzeme Çekme Deneyi

Tez çalışmasında üretimi yapılan malzemelerin çekme deneyleri Dumlupınar Üniversitesi Simav Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde bulunan Zwick/Roell Z100 malzeme çekme cihazında gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.4'te Malzeme çekme cihazı ve ölçümü gösterilmiştir.

Şekil 3.4: Zwick/Roell Çekme Deneyi Cihazı ve Ölçümü Görüntüler



Çekme deneyi sonuçları atkı yönü, çözüğü yönü ve 45° malzeme yönüne göre Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5: Çekme Deneyi Mekanik Veriler

Kompozit durumu	Ort. E (GPa)	Ort. Rm (MPa)	Ort. Fm (kN)
Cam Atkı	17,89	349,26	17,72
Aramid Atkı	22,68	351,72	27,52
Hib. Atkı	20,49	318,26	18,08
Cam Çözüğü	19,82	475,47	14,75
Aramid Çözüğü	20,44	398,32	19,14
Hib. Çözüğü	21,07	435,15	17,08
Cam 45°	11,33	152,02	7,91
Aramid 45°	4,28	103,81	8,50
Hib. 45°	6,95	96,00	6,38



DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
DENEY ÇALIŞMALARI

4.1. İŞLENEBİLİRLİK DENEYLERİ

4.1.1. Kullanılan CNC İşleme Merkezi

Tez çalışmasında üretimi yapılan malzemelerin işlenebilirlik deneyleri Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde bulunan QUASER MV 154 C CNC işleme merkezinde kuru ortamda gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.1’de CNC dik işleme merkezi gösterilmiştir.

Şekil 4.1: CNC İşleme Merkezi



4.1.2. Kullanılan Kesici Takımlar

Delme deneylerinde farklı malzeme ve geometride matkap uçları ve kesici takımlar kullanılmıştır. 6 mm çapında ve 118° uç açısına sahip HSS, karbür matkap uçları ve düz dört kesme kenarına sahip HSS parmak freze takımlar işlenebilirlik deneylerinde kullanılmıştır. Kullanılan kesici takımlar Alfa Kesici Takım İth. İhr. San. ve Tic. Ltd. Şirketinden alınmıştır. Şekil 4.2’de kesici takım görüntüleri verilmiştir.

Şekil 4.2: Kesici Takımlar



4.1.3. Kesme Kuvveti

Kesici takım tarafından talaş kaldırmak için malzemeye uygulanan kuvvete kesme kuvveti denilmektedir. Kesme işlemi devam ederken meydana gelen kuvvetler kesme düzleminde meydana gelmektedir. Bu kuvvetler kesme kuvveti ve sürtünme kuvvetinden oluşmaktadır. Kesme hızının artırılması ile ince talaş oluşmakta ve temas uzunluğu azalmaktadır. Bu nedenle kesme kuvvetlerinde azalma görülmektedir (Genç, 2019).

İşlenebilirlik deneyleri esnasında farklı malzemelerin delinmesinde meydana gelen kesme kuvvetlerinin ölçülmesinde KISTLER marka 9257 B model dinamometre kullanılmıştır. Şekil 4.3'te deney düzeneği ve dinamometre verilmiştir.

Şekil 4.3: Deney Düzeneği ve Dinamometre



4.1.4. Deformasyon Faktörü

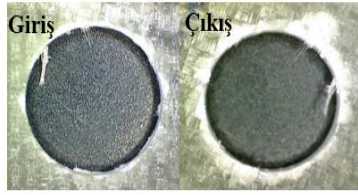
Tabakalı kompozit malzemelerin işlenebilirliği üzerine yapılan çalışmalarda delme deneyleri yapılmakta ve matkap ucunun malzemeye giriş ve çıkış yüzeylerinde deformasyonlar meydana gelmektedir. Bu deformasyon hasarları genellikle giriş ve çıkış yüzeylerinde kompozitin doğal renginden beyazlaşması şeklinde oluşmaktadır. Bu yüzey hasarlarının tespit edilmesinde tahribatsız kontrol yöntemi olan deformasyon faktörünün tespit edilmesi işlemi yapılmaktadır (Koyunbakan, vd., 2021).

Delme deneyleri sonrası delik giriş ve çıkış kısımlarında oluşan deformasyonların tespit edilmesi için optik mikroskop kullanılarak görüntüler alınmıştır. Şekil 4.4'te örnek optik görüntüler verilmiştir. Deformasyon faktörü delik etrafında

oluşan matris hasar çapının nominal çapa oranı olarak tanımlanmış ve aşağıda sunulan denklem ile belirlenmiştir. Burada; F_D -Deformasyon faktörü, D_{max} -Maksimum hasar çapı, D ise matkap çapıdır. (Koyunbakan, vd., 2021) Şekil 4.5'te deformasyon faktörünün bulunması şematik olarak gösterilmiştir.

$$F_D = \frac{D_{max}}{D} \quad (4.1)$$

Şekil 4.4: Giriş Çıkış Yüzeyleri Örnek Optik Görüntüler



Cam elyaf kompozit malzeme 6mm
çaplı parmak freze, 3000 dev/dk.
Devir, 600 mm/dk. İlerleme

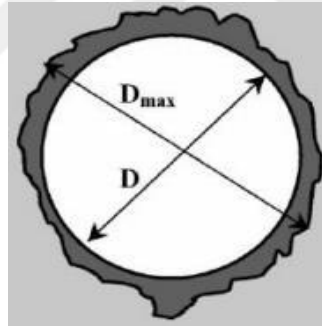


Aramid elyaf kompozit malzeme
6mm çaplı HSS matkap, 2500 dev/dk.
Devir, 750 mm/dk. İlerleme



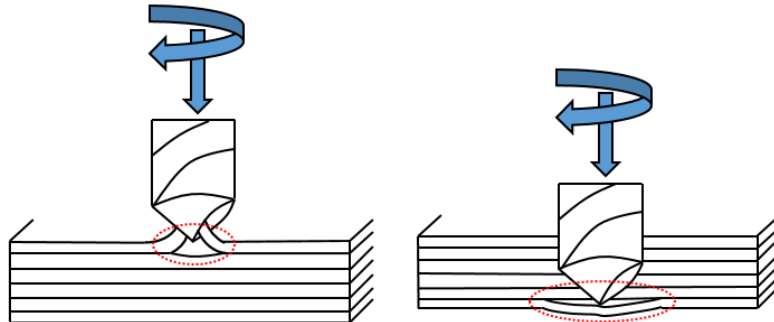
Hibrit kompozit malzeme 6mm çaplı
karbür matkap ile 2000 dev/dk. Devir,
8000 mm/dk. İlerleme

Şekil 4.5: Deformasyon Faktörünün Bulunması



Şekil 4.6'da tabakalı kompozit malzemelerin delinmelerinde meydana gelen tabakalar arası ayrışma mekanizması şematik olarak gösterilmiştir (Koyunbakan, vd., 2021).

Şekil 4.6: Yüzeylerde Oluşan Deformasyonun Meydana Geliş Mekanizması



4.1.5. Kesme Parametreleri

Cam fiber, Aramid fiber ve Hibrit (Cam/Aramid) kompozit malzemelerin delme deneylerinde farklı kesme parametreleri ve kesici takımlar kullanılmıştır. Bu parametreler Tablo 4.1’de verilmiştir. Kesme parametrelerinin belirlenmesinde kesici takım üreticilerinin tavsiyeleri ve literatür göz önüne alınmıştır.

Tablo 4.1: Delme Deneylerinde Farklı Kesme Parametreleri

Parametreler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Devir Sayısı (dev/dak)	2000	2500	3000
İlerleme (mm/dev)	0,2	0,4	0,6
Kesici Takım	HSS Matkap Ucu	Karbür Matkap Ucu	HSS Parmak freze

Full faktöriyel deney tasarımı kullanılmış ve deney parametrelerinin etkilerinin belirlenmesinde Taguchi optimizasyonu yapılmıştır. Full faktöriyel deney tasarımı Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2: Full Faktöriyel Deney Tasarımı

Deney No	Devir Sayısı (dev/dak)	İlerleme (mm/dev)	Kesici Takım	Deney No	Devir Sayısı (dev/dak)	İlerleme (mm/dev)	Kesici Takım
1	2000	0,2	HSS	16	2500	0,2	Parmak Freze
2	2000	0,4	HSS	17	2500	0,4	Parmak Freze
3	2000	0,6	HSS	18	2500	0,6	Parmak Freze
4	2000	0,2	Karbür	19	3000	0,2	HSS
5	2000	0,4	Karbür	20	3000	0,4	HSS
6	2000	0,6	Karbür	21	3000	0,6	HSS
7	2000	0,2	Parmak Freze	22	3000	0,2	Karbür
8	2000	0,4	Parmak Freze	23	3000	0,4	Karbür
9	2000	0,6	Parmak Freze	24	3000	0,6	Karbür
10	2500	0,2	HSS	25	3000	0,2	Parmak Freze
11	2500	0,4	HSS	26	3000	0,4	Parmak Freze
12	2500	0,6	HSS	27	3000	0,6	Parmak Freze
13	2500	0,2	Karbür				
14	2500	0,4	Karbür				
15	2500	0,6	Karbür				

Tez çalışmasında delme deneylerinin yapılması ve sonucunda meydana gelen kesme kuvvetlerinin tespiti ve deformasyonların bulunması Şekil 4.7’de verilmiştir.

Şekil 4.7: Delme Deneylerinin Yapılması, Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi ve Yüzey Fotoğraflarının Alınması





BEŞİNCİ BÖLÜM
BİLİMSEL BULGULAR

5.1. BULGULAR VE TARTIŞMA

Cam, Aramid ve Hibrit (Cam/Aramid) fiber takviyeli polimer kompozit malzemelerin farklı kesme parametreleri ile delinmelerinde oluşan kesme kuvvetleri ve meydana gelen yüzey deformasyonları bulgularına ve doğrulama deneyine bu bölümde yer verilmiştir. Kesme kuvvetleri ve deformasyon sonuçları şeklinde iki alt başlıkta sonuçlar detaylandırılmıştır. Her sonuç için Taguchi ve varyans analizi yapılmıştır.

5.1.1. Kesme Kuvveti Sonuçları

Deney tasarımına uygun olarak yapılan deneyler esnasında dinamometre ile ölçülen itme kuvveti sonuçları Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1: İtme Kuvveti Sonuçları

Deney No	Devir Sayısı (dev/dak)	İlerleme (mm/dev)	Kesici Takım	Cam Fiber Takviyeli/İtme Kuvveti (N)	Aramid Fiber Takviyeli/İtme Kuvveti (N)	Hibrit Takviyeli/İtme Kuvveti (N)
1	2000	0,2	HSS	83,35	54,34	63,37
2	2000	0,4	HSS	99,01	63,98	82,88
3	2000	0,6	HSS	146,20	83,31	107,70
4	2000	0,2	Karbür	59,46	93,03	115,80
5	2000	0,4	Karbür	107,90	105,60	127,40
6	2000	0,6	Karbür	153,50	127,70	145,70
7	2000	0,2	Parmak Freze	870,60	157,30	258,20
8	2000	0,4	Parmak Freze	1084,00	175,20	306,00
9	2000	0,6	Parmak Freze	1501,00	285,50	330,70
10	2500	0,2	HSS	73,55	59,90	76,16
11	2500	0,4	HSS	123,10	63,10	89,24
12	2500	0,6	HSS	148,80	88,35	96,70
13	2500	0,2	Karbür	104,90	89,50	115,60
14	2500	0,4	Karbür	108,80	101,00	126,30
15	2500	0,6	Karbür	148,60	123,80	142,30
16	2500	0,2	Parmak Freze	724,40	149,40	269,80
17	2500	0,4	Parmak Freze	911,20	220,00	287,30
18	2500	0,6	Parmak Freze	1386,00	1589,00	342,10
19	3000	0,2	HSS	77,81	50,75	81,95
20	3000	0,4	HSS	103,50	67,03	95,21
21	3000	0,6	HSS	166,60	81,47	93,55
22	3000	0,2	Karbür	99,64	93,99	108,80
23	3000	0,4	Karbür	130,10	100,60	123,10
24	3000	0,6	Karbür	154,40	124,20	139,10
25	3000	0,2	Parmak Freze	615,70	161,30	269,10
26	3000	0,4	Parmak Freze	837,70	192,10	296,90
27	3000	0,6	Parmak Freze	1120,00	1145,00	319,00

5.1.2. Deformasyon Sonuçları

Delme deneyleri sonrası matkap giriş ve çıkış yüzeylerinin optik görüntüleri alınmıştır ve bu görüntüler üzerinde meydana gelen deformasyon faktörleri belirlenmiştir. Ölçülen giriş ve çıkış deformasyon faktörleri Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2: Giriş-Çıkış Deformasyon Sonuçları

Deney No	Cam Fiber Takviyeli		Aramid Fiber Takviyeli		Hibrit Takviyeli	
	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
1	1,488155	1,373907	1,438353	1,334035	1,342212	1,417395
2	1,428615	1,528146	1,601729	1,254848	1,474656	1,414058
3	1,419970	1,670581	1,692137	1,329804	1,473268	1,180147
4	1,348467	1,302744	1,262226	1,520003	1,388159	1,461036
5	1,445568	1,579162	1,567411	1,602830	1,443028	1,362501
6	1,511677	1,419278	1,514271	1,617434	1,335970	1,482636
7	1,163723	1,424380	1,303239	1,515533	1,326154	1,366698
8	1,175777	1,611278	1,274768	1,363120	1,199941	1,276254
9	1,195584	1,599614	1,339604	1,448341	1,254269	1,254535
10	1,566708	1,615265	1,214667	1,614434	1,353159	1,311011
11	1,443020	1,516900	1,325729	1,632581	1,469023	1,329028
12	1,502108	1,507579	1,403914	1,625958	1,423077	1,350243
13	1,234574	1,207393	1,422090	1,608142	1,278380	1,191755
14	1,355319	1,517783	1,263950	1,481631	1,317860	1,286807
15	1,414210	1,511177	1,298051	1,501303	1,313921	1,621955
16	1,184954	1,471440	1,366141	1,496748	1,346199	1,304020
17	1,243840	1,422219	1,468510	1,476109	1,210116	1,380619
18	1,225052	1,622351	1,356339	1,490373	1,284979	1,312927
19	1,442686	1,269732	1,469676	1,452612	1,391538	1,521012
20	1,460656	1,545160	1,201173	1,381910	1,509961	1,553105
21	1,628156	1,596182	1,313536	1,471713	1,543006	1,262610
22	1,223708	1,216155	1,273296	1,495930	1,236166	1,307534
23	1,380426	1,476343	1,347261	1,520248	1,447262	1,350740
24	1,389117	1,523657	1,371340	1,390993	1,506123	1,452229
25	1,168936	1,487356	1,227200	1,310348	1,227953	1,339855
26	1,151778	1,502117	1,237436	1,392627	1,175515	1,308487
27	1,227478	1,498565	1,267358	1,417459	1,338868	1,338800

5.1.3. Analizler

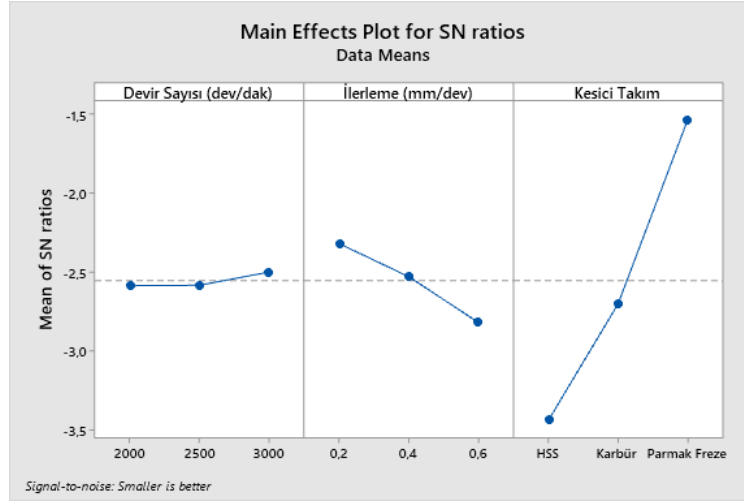
Tez çalışmasında, Taguchi optimizasyonu (Dr. Genichi Taguchi'nin bulduğu metot) uygulanmıştır. Uygulama verilerini analiz edebilmek için S/N oranı olarak bilinen bir istatistiksel verim ölçüsü kullanılmaktadır. Deneylerde belirlenen veriler sinyal/gürültü oranına (S/N) dönüştürülerek yorumlanmaktadır. S/N oranındaki S sinyal değişkenini, N ise gürültü değişkenini tarif eder. Sinyal değişkeni deneylerden alınan asıl değeri, gürültü değişkeni ise deney tasarımına katılamayan fakat deney sonucuna etki eden faktörleri ifade etmektedir. Ulaşılmak istenen verim karakteristiklerinin hedef değerden sapmasına neden olan tüm değişkenler, gürültü kaynaklarıdır (Kara, vd., 2017).

Üç temel performans karakteristiğine göre S/N oranı, tespit edilmektedir. Cam, Aramid ve Hibrit takviyeli kompozit malzemelerin delme işleminde itme kuvveti ve deformasyon faktörlerinin düşük olması istendiğinden S/N oranı için “daha küçük-daha iyisi” performans karakteristiği seçilmiştir. Hesaplama kullanılan S/N oranı için formül aşağıda belirtilmiştir (Kaçal ve Gülesin, 2011). Taguchi optimizasyonu ve Minitab 17 yazılımına göre deney tasarımı ve istatistiksel analizler yapılmıştır.

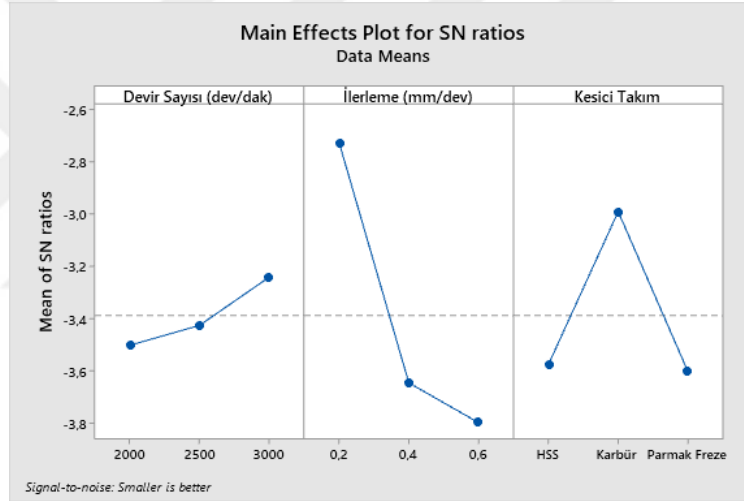
$$S/N_{SB} = \eta = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (5.1)$$

Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te yüzey pürüzlülüğü için yapılan Taguchi optimizasyonu sonrası elde edilen S/N oranları için ana etki grafiği verilmiştir. Tablo 5.3'te ise S/N oranları için cevap tablosu verilmiştir.

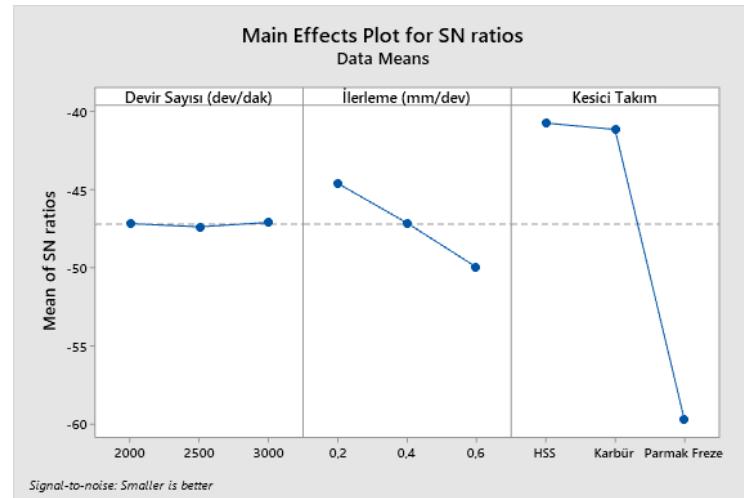
Şekil 5.1: S/N Oranları İçin Ana Etki Grafikleri: E-Cam Fiber Takviyeli Tabakalı Polimer Kompozit



Giriş Deformasyon Faktörü

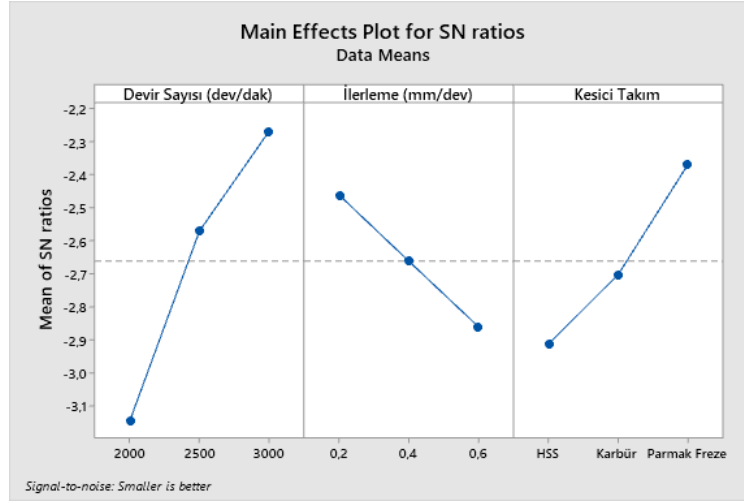


Çıkış Deformasyon Faktörü

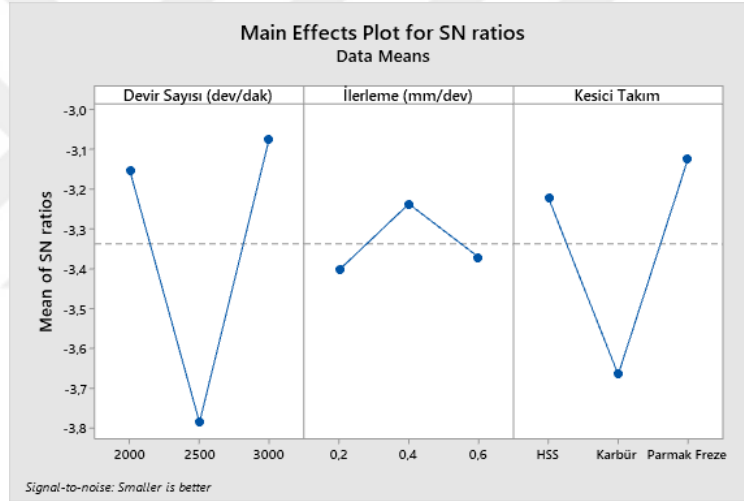


İtme Kuvveti Faktörü

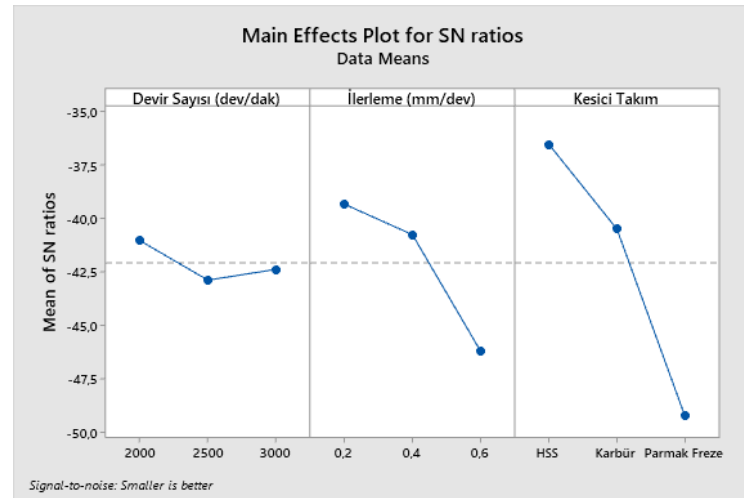
Şekil 5.2: S/N Oranları İçin Ana Etki Grafikleri: Aramid Fiber Takviyeli Tabakalı Polimer Kompozit



Giriş Deformasyon Faktörü

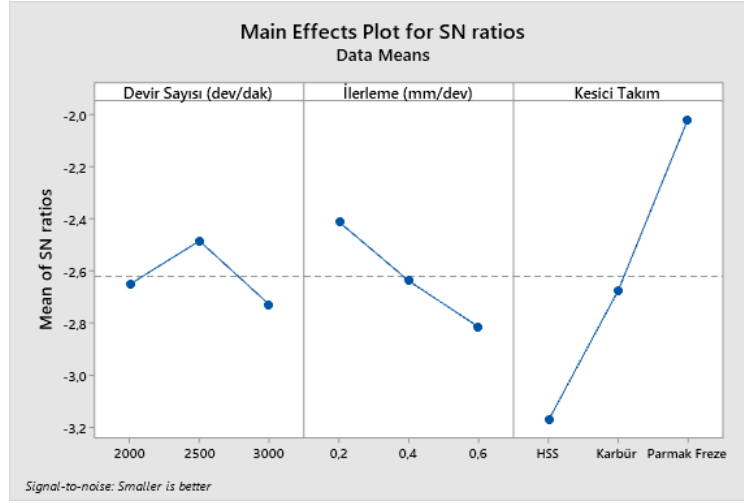


Çıkış Deformasyon Faktörü

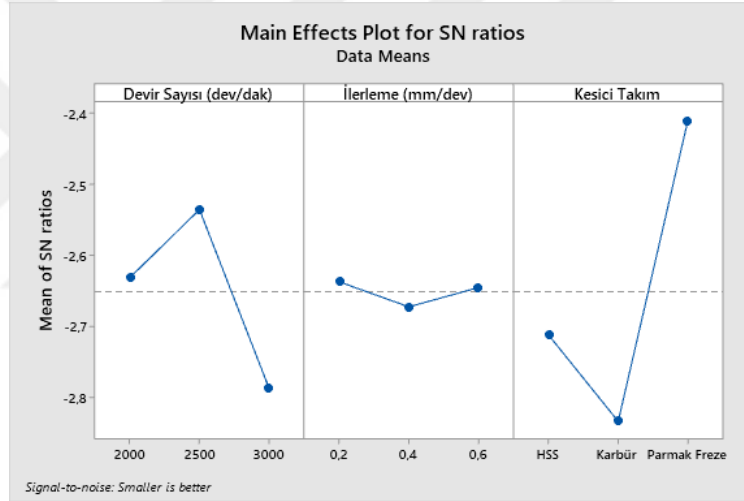


İtme Kuvveti Faktörü

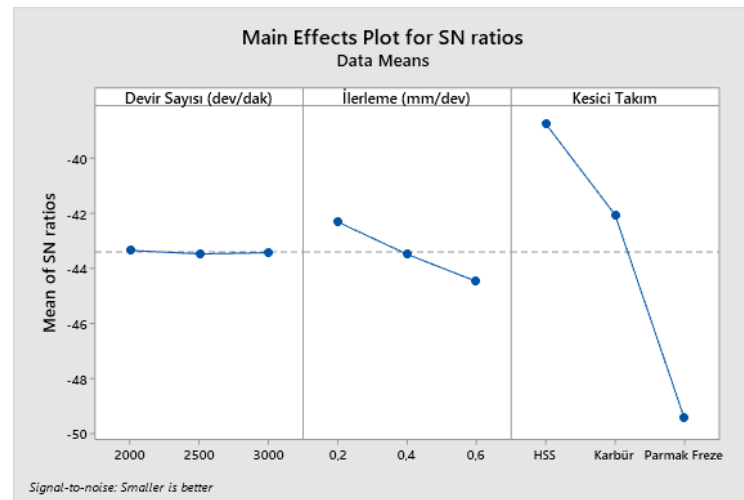
Şekil 5.3: S/N Oranları İçin Ana Etki Grafikleri: E-Cam/Aramid Fiber Takviyeli Tabakalı Hibrit Polimer Kompozit



Giriş Deformasyon Faktörü



Çıkış Deformasyon Faktörü



İtme Kuvveti Faktörü

S/N oranları değerlendirilirken her bir parametre için büyük değerler uygun olan ideal faktör yapısını tanımlamaktadır (Valarmathi, Palanikumar ve Latha, 2013). İtme kuvvetleri için ana etki grafikleri ve cevap tablosu incelendiğinde her üç malzeme için kesici takımın en etkili parametre olduğu görülmektedir. İtme kuvveti için ana etki grafiklerinde görüldüğü üzere kesici takım parametresinin birinci seviyesi olan HSS itme kuvveti için optimum parametre olmuştur. Ölçümü yapılan her üç malzeme için giriş deformasyon faktörleri açısından aramid fiber takviyeli olan kompozit malzemede devir sayısı en etkili parametreyken cam fiber ve hibrit fiber takviyeli olanlarda kesici takım parametresi en etkili olmuştur.

Tablo 5.3: S/N Oranları İçin Cevap Tablosu

Cam fiber takviyeli kompozit									
S	Giriş deformasyon faktörü			Çıkış deformasyon faktörü			İtme kuvveti faktörü		
	n	f	Kt	n	f	Kt	n	f	Kt
1	-2,584	-2,318	-3,436	-3,5	-2,723	-3,574	-47,17	-44,58	-40,75
2	-2,581	-2,527	-2,697	-3,424	-3,644	-2,988	-47,38	-47,12	-41,16
3	-2,498	-2,818	-1,53	-3,239	-3,796	-3,601	-47,09	-49,94	-59,72
Fark	0,086	0,500	1,906	0,261	1,073	0,613	0,29	5,36	18,97
Önem derecesi	3	2	1	3	1	2	3	2	1
Aramid fiber takviyeli kompozit.									
S	Giriş deformasyon faktörü			Çıkış deformasyon faktörü			İtme kuvveti faktörü		
	n	f	Kt	n	f	Kt	n	f	Kt
1	-3,144	-2,462	-2,912	-3,153	-3,403	-3,222	-41,01	-39,31	-36,51
2	-2,571	-2,662	-2,702	-3,785	-3,238	-3,665	-42,87	-40,74	-40,48
3	-2,269	-2,86	-2,37	-3,074	-3,371	-3,125	-42,36	-46,19	-49,25
Fark	0,875	0,398	0,542	0,711	0,166	0,54	1,85	6,88	12,75
Önem derecesi	1	3	2	1	3	2	3	2	1
Cam aramid fiber takviyeli kompozit									
S	Giriş deformasyon faktörü			Çıkış deformasyon faktörü			İtme kuvveti faktörü		
	n	f	Kt	n	f	Kt	n	f	Kt
1	-2,65	-2,411	-3,172	-2,631	-2,637	-2,711	-43,34	-42,3	-38,74
2	-2,483	-2,637	-2,674	-2,535	-2,672	-2,833	-43,46	-43,47	-42,04
3	-2,728	-2,814	-2,016	-2,787	-2,645	-2,409	-43,42	-44,46	-49,44
Fark	0,244	0,403	1,156	0,252	0,035	0,424	0,13	2,16	10,7
Önem derecesi	3	2	1	2	3	1	3	2	1

S: Seviye, n: Devir sayısı dev/dak, f: İlerleme mm/dev, Kt: Kesici takım

Şekil 5.1 ve Tablo 5.3 incelendiğinde çıkış deformasyon faktörü için etkili parametre cam fiber takviyeli olan için ilerleme, aramid fiber takviyeli olan için devir sayısı ve hibrit fiber takviyeli olan içinse kesici takım olmuştur. Giriş-çıkış deformasyon faktörleri açısından, cam fiber takviyeli kompozit ve aramid fiber takviyeli kompozit için devir sayısının ve kesici takımın üçüncü seviyeleri ideal olarak görünmektedir. Her iki malzeme ve deformasyon faktörleri açısından ilerlemenin birinci seviyesi ideal yapıdadır. Literatür incelendiğinde ilerleme parametresinin itme kuvvetleri ve deformasyon faktörleri için en önemli parametre olduğuna dair çalışmalar vardır. İlerlemenin artması itme kuvvetlerini ve deformasyonları arttırmaktadır (Ferhat, vd., 2017). Kompozitlerin delme işlemlerinde kesme hızının etkisinin önemli olmadığını vurgulayan birçok çalışma olmakla beraber Khashaba ve arkadaşları, 2010 yılında yaptıkları çalışmada matkap ucu ön aşınmasına göre kesme hızının itme kuvvetlerini yükselttiğini tespit etmişlerdir. Can ve Ünüvar, 2017 senesindeki çalışmalarında çeşitli kesme değişkenlerinin cam fiber takviyeli kompozitlerin delme işleminde oluşan itme kuvvetleri ile giriş-çıkış deformasyonları üzerine olan tesirlerini araştırmışlardır. 6 mm'lik matkap çapı seçmişler fakat farklı uç açılarının sonuçlara katkısını incelemişlerdir. Polimer tabakalı kompozitlerin delme işleminde kesme değişkenlerinin tesirleri bilinmekte olup bununla birlikte matkap geometrilerinin tesiri için aynı şeyi söylemek zordur (Köklü, vd., 2019).

Cam fiber takviyeli kompozit ve aramid fiber takviyeli polimer kompozit için hem giriş hem de çıkış deformasyon faktörleri açısından devir sayısının ve kesici takımın üçüncü seviyeleri ideal olarak görünmektedir. Her iki malzeme ve deformasyon faktörleri açısından ilerlemenin birinci seviyesi ideal yapıdadır.

E-cam fiber takviyeli tabakalı polimer kompozit için 3 seviyeli devir sayısı, ilerleme ve kesici tipi açısından en iyi sonuçlar giriş ve çıkış deformasyon faktörleri açısından devir sayısı 3000 dev/dak, ilerleme hızı 0,2 mm/dev ve parmak freze kullanılarak elde edilmiştir. Aynı değerlendirme itme kuvveti açısından yapıldığında aynı devir sayısı ve ilerleme ile fakat çevreden çok sayıda kesici ağzın bulunması ve düz uç olması sebebiyle dirence karşı kuvvetin artması kaynaklı parmak freze çakısı yerine HSS matkap en iyi sonucu vermiştir.

Benzer değerlendirmeler aramid fiber takviyeli tabakalı polimer kompozit için yapıldığında, 3 seviyeli devir sayısı, ilerleme ve kesici tipi açısından en iyi sonuçlar giriş deformasyon faktörleri açısından devir sayısı 3000 dev/dak, ilerleme hızı 0,2

mm/dev ve parmak freze ile çıkış deformasyon faktörleri açısından devir sayısı 3000 dev/dak, ilerleme hızı 0,2 mm/dev ve parmak freze uçlarıyla alınmıştır. İtme kuvveti bakımından devir sayısı 2000 dev/dak, ilerleme hızı 0,2 mm/dev ile e-cam fiber takviyeli tabakalı polimer kompozit yapıda olduğu gibi HSS matkap en iyi sonucu ortaya koymuştur.

E-cam/aramid fiber takviyeli tabakalı hibrit polimer kompozit yapılar için değerlendirme yapıldığında giriş-çıkış deformasyon faktörü açısından devir sayısı 2500 dev/dak, ilerleme hızı 0,2 mm/dev ile parmak freze başarılı sonuçlar ortaya koymuştur. İtme kuvveti açısından değerlendirildiğinde devir sayısı 2000 dev/dak, ilerleme hızı 0,2 mm/dev ve HSS matkap ile elde edilen sonuçlar en iyiler olmuştur.

Elde edilen veriler ışığında yapılan farklı çalışmalarda da kompozit malzemelerin delinmelerinde ilerlemenin en önemli parametre olduğu ve deformasyonun az olması için ilerlemenin düşük değerlerde alınması gerektiği tespit edilmiştir (Abrau, vd., 2008; Khashaba, vd., 2010a; Madhavan ve Prabu, 2012; Naveen, vd., 2012; Phadnis, vd., 2013; Valarmathi, Planikumar ve Latha, 2013; Karimi, vd., 2013; Koyunbakan, vd., 2017; Özkaya, vd., 2019; Ceritbinmez ve Yapıcı, 2020; Şengül, 2022; Ünüvar, Koyunbakan ve Bağcı, 2022). Ayrıca farklı uç açılarında matkaplar kullanılarak küçük uç açısının giriş ve çıkış deformasyonları üzerinde olumlu etkilerinin olduğu sonuçlar elde edilmiştir (Yıldırım, vd., 2015).

Delme deneyleri sonrası elde edilen itme kuvveti ve deformasyon sonuçları için varyans analizi yapılmıştır. Tablo 5.4'te Cam fiber, Tablo 5.5'te Aramid fiber ve Tablo 5.6'da Hibrit fiber takviyeli kompozit malzemeler için varyans analizi tabloları verilmiştir.

Tablo 5.4: E-Cam Fiber Takviyeli Tabakalı Polimer Kompozit S/N Oranları İçin Varyans Analizi Tabloları

Giriş Deformasyon Faktörü					
Kaynak	Sd	Kp	Ok	F	P
n	2	0,0434	0,02172	0,13	0,88
f	2	1,1345	0,56726	3,36	0,055
Kt	2	16,6223	8,31117	49,29	0
H	20	3,3721	0,16861		
T	26	21,1724			
Çıkış Deformasyon Faktörü					
Kaynak	Sd	Kp	Ok	F	P
n	2	0,3245	0,1622	0,56	0,58
f	2	6,0687	3,0343	10,48	0,001
Kt	2	2,1563	1,0781	3,72	0,042
H	20	5,7928	0,2896		
T	26	14,3422			
İtme Kuvveti Faktörü					
Kaynak	Sd	Kp	Ok	F	P
n	2	0,4	0,2	0,13	0,88
f	2	129,43	64,72	41,72	0
Kt	2	2112,83	1056,41	680,96	0
H	20	31,03	1,55		
T	26	2273,69			

Kaynak: n: Devir sayısı dev/dak, f: İlerleme mm/dev, Kt: Kesici takım, H:Hata, T: Toplam Faktörler: Sd: Serbestlik derecesi, Kp: Kareler toplamı, Ok: Ortalama kareler

Tablo 5.4: incelendiğinde giriş deformasyon faktörü üzerinde en etkili parametre, kesici takım olarak görülmektedir. Aynı değerlendirme çıkış değerlendirme faktörü için incelendiğinde ise ilerleme parametresi hem P değeri hem de F değeri açısından en etkilidir. İtme faktörü açısından en etkili parametre incelendiğinde giriş deformasyon faktöründe olduğu gibi bu parametre kesici takım çeşidi olmuştur. Her üç faktör için ortak bir değerlendirme yapmak gerekirse e-cam fiber takviyeli tabakalı polimer kompozit yapıda delme faktörlerine etki eden en önemli parametrenin kesici takım değişimi olduğu söylenebilir.

Tablo 5.5: Aramid Fiber Takviyeli Tabakalı Polimer Kompozit S/N Oranları İçin Varyans Analizi Tabloları

Giriş Deformasyon Faktörü					
Kaynak	Sd	Kp	Ok	F	P
n	2	3,5551	1,7775	3,68	0,044
f	2	0,7131	0,3565	0,74	0,491
Kt	2	1,3444	0,6722	1,39	0,272
H	20	9,6719	0,4836		
T	26	15,2845			
Çıkış Deformasyon Faktörü					
Kaynak	Sd	Kp	Ok	F	P
n	2	2,7288	1,3644	4,74	0,021
f	2	0,1388	0,0694	0,24	0,788
Kt	2	1,4911	0,7455	2,59	0,1
H	20	5,754	0,2877		
T	26	10,1128			
İtme Kuvveti Faktörü					
Kaynak	Sd	Kp	Ok	F	P
n	2	16,52	8,262	0,62	0,547
f	2	237,36	118,68	8,93	0,002
Kt	2	765,51	382,75	28,8	0
H	20	265,79	13,29		
T	26	1285,18			

Kaynak: n: Devir sayısı dev/dak, f: İlerleme mm/dev, Kt: Kesici takım, H:Hata, T: Toplam Faktörler: Sd: Serbestlik derecesi, Kp: Kareler toplamı, Ok: Ortalama kareler

Tablo 5.5'te Aramid fiber takviyeli tabakalı polimer kompozit yapıda istatistik analizi yapılan faktörler için etkin parametre değişimi incelenmiştir. Giriş ve çıkış deformasyon faktörleri üzerinde en etkili parametre, devir sayısı olmuştur. Devir sayılarının değişimleri bu iki deformasyon görsellerindeki değişimlere istatistiksel olarak daha fazla etki etmiştir. İtme faktörü açısından en etkili parametreler kesici takım ve ilerlemedir. Her üç faktör değerlendirildiğinde Aramid fiber takviyeli tabakalı polimer kompozit yapının deformasyona karşı gösterdiği kendine has dağılmaya müsait lifli yapısı nedeniyle deformasyon görüntüsüne devir sayısı parametresi etki ederken delinebilme sürecinde kesiciye karşı direnç göstermenin karşılığı olan itme kuvveti faktörüne devir sayısından ziyade kullanılan üç farklı kesicinin değişim parametresi çok daha etkili olmuştur.

Tablo 5.6: Cam/Aramid Fiber Takviyeli Tabakalı Hibrit Polimer Kompozit S/N Oranları İçin Varyans Analizi Tabloları

Giriş Deformasyon Faktörü					
Kaynak	Sd	Kp	Ok	F	P
n	2	0,2803	0,1402	0,63	0,545
f	2	0,735	0,3675	1,64	0,219
Kt	2	6,0495	3,0248	13,5	0
H	20	4,4822	0,2241		
T	26	11,5469			
Çıkış Deformasyon Faktörü					
Kaynak	Sd	Kp	Ok	F	P
n	2	0,2908	0,1454	0,29	0,749
f	2	0,0061	0,0031	0,01	0,994
Kt	2	0,8559	0,428	0,86	0,437
H	20	9,9075	0,4954		
T	26	11,0603			
İtme Kuvveti Faktörü					
Kaynak	Sd	Kp	Ok	F	P
n	2	0,074	0,037	0,13	0,876
f	2	21,076	10,538	37,9	0
Kt	2	539,952	269,98	972	0
H	20	5,557	0,278		
T	26	566,66			

Kaynak: n: Devir sayısı dev/dak, f: İlerleme mm/dev, Kt: Kesici takım, H:Hata, T: Toplam Faktörler: Sd: Serbestlik derecesi, Kp: Kareler toplamı, Ok: Ortalama kareler

Tablo 5.6’da cam/aramid fiber takviyeli tabakalı hibrit polimer kompozit yapıda delme işlemi sonrasında elde edilen faktörlere bağlı etkin parametre değişimi incelenmiştir. Giriş deformasyon faktörü üzerinde en etkili parametre, kesici takımdır. Çıkış deformasyon faktörüne bağlı analize bakıldığında istatistiksel açıdan %95 önem seviyesinde değerlendirmeye alınabilecek etkin bir parametrenin olmadığı görülmektedir. Bu durum sıralı olarak istiflenmiş tabakalı kompleks yapının delik çıkışındaki görüntüsünün liflenme ve tabakalar arasındaki ayrılma nedeniyle parametrelere atfedilememe probleminin oluşmasına bağlanmaktadır. Bunun yanında benzer tarzda olmayan fiber dağılımı, reçine emdirme esnasında muhtemel tutarsızlar ve mikro boşlukların oluşumu gibi farklı faktörler bu duruma katkıda bulunabilir (Xu, vd., 2023). İtme faktörü açısından en etkili parametre incelendiğinde en etkili olan parametre kesici takım değişimidir. E-cam/aramid fiber takviyeli tabakalı hibrit polimer kompozit yapının delinmesinde farklı kesici takım parametrelerinin etkin rol oynadığı söylenebilir.

5.1.4. Doğrulama Deneyleri

Yapılan deneysel çalışmada, Taguchi optimizasyon metodunu kullanarak itme kuvveti, giriş ve çıkış deformasyon faktörleri değerleri için optimum sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar bazen mevcut yapılan deneylerden herhangi biri olabilirken, bazen ise yapılan deneylerin haricinde bir deney sonucu olabilmektedir. Bu çalışmada full faktöriyel deney tasarımı kullanılmıştır. İtme kuvvetleri, giriş ve çıkış deformasyon faktörleri değerleri için doğrulama deneyi S/N oranları için ana etki grafiklerinde tespit edilen optimum sonuçların her biri için yapılmıştır. MİNİTAB 17 ile yapılan tahmin analizinde elde edilen sonuçlar mevcut yapılan deneyden elde edilen sonuçlarla örtüşmektedir. Bazı tahmin ve doğrulama deneyleri arasındaki fark yüksek çıkmıştır. Sonuçlar arası bu farkın polimer kompozitlerin anizotropik yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Tablo 5.7’de Cam fiber, Tablo 5.8’de Aramid fiber ve Tablo 5.9’da Hibrit fiber doğrulama deney tablolarında S/N ana etki grafiklerinde belirlenen optimum seviye ve değerler ile tahmin edilen deney sonuçları ve deneyden elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Tablo 5.7: Cam Fiber Doğrulama Deney Tablosu

Cam Fiber (Giriş Deformasyon)							
Taguchi Optimizasyonu	Tahmin Edilen				Doğrulama Deneyi		
Seviye	A3	B1	C3	A3	B1	C3	Fark (%)
Kesme Şartları	3000 dev/dak	0,2 mm/dev	Parmak Freze	3000 dev/dak	0,2 mm/dev	Parmak Freze	
Giriş Deformasyon Faktörü	-0,985440				-1,35581		
Cam Fiber (Çıkış Deformasyon)							
Taguchi Optimizasyonu	Tahmin Edilen				Doğrulama Deneyi		
Seviye	A3	B1	C2	A3	B1	C2	Fark (%)
Kesme Şartları	3000 dev/dak	0,2 mm/dev	Karbür	3000 dev/dak	0,2 mm/dev	Karbür	
Çıkış Deformasyon Faktörü	-2,17515				-1,69978		
Cam Fiber (İtme Kuvveti)							
Taguchi Optimizasyonu	Tahmin Edilen				Doğrulama Deneyi		
Seviye	A3	B1	C1	A3	B1	C1	Fark (%)
Kesme Şartları	3000 dev/dak	0,2 mm/dev	HSS	3000 dev/dak	0,2 mm/dev	HSS	
İtme Kuvveti Faktörü	-37,9980				-37,8207		

Tablo 5.8: Aramid Fiber Doğrulama Deney Tablosu

Aramid Fiber (Giriş Deformasyon)							
Taguchi Optimizasyonu	Tahmin Edilen				Doğrulama Deneyi		
Seviye	A3	B1	C3	A3	B1	C3	Fark (%)
Kesme Şartları	3000 dev/dak	0,2 mm/dev	Parmak Freze	3000 dev/dak	0,2 mm/dev	Parmak Freze	
Giriş Deformasyon Faktörü	-1,71198				-1,77831		
Aramid Fiber (Çıkış Deformasyon)							
Taguchi Optimizasyonu	Tahmin Edilen				Doğrulama Deneyi		
Seviye	A3	B3	C3	A3	B3	C3	Fark (%)
Kesme Şartları	3000 dev/dak	0,4 mm/dev	Parmak Freze	3000 dev/dak	0,4 mm/dev	Parmak Freze	
Çıkış Deformasyon Faktörü	-2,87670				-2,87670		
Aramid Fiber (İtme Kuvveti)							
Taguchi Optimizasyonu	Tahmin Edilen				Doğrulama Deneyi		
Seviye	A1	B1	C1	A1	B1	C1	Fark (%)
Kesme Şartları	2000 dev/dak	0,2 mm/dev	HSS	2000 dev/dak	0,2 mm/dev	HSS	
İtme Kuvveti Faktörü	-32,6709				-34,7024		

Tablo 5.9: Hibrit Fiber Doğrulama Deney Tablosu

Hibtit Fiber (Giriş Deformasyon)							
Taguchi Optimizasyonu	Tahmin Edilen				Doğrulama Deneyi		
Seviye	A1	B1	C1	A1	B1	C1	Fark (%)
Kesme Şartları	2500 dev/dak	0,2 mm/dev	Parmak Freze	2500 dev/dak	0,2 mm/dev	Parmak Freze	
Giriş Deformasyon Faktörü	-0,713370				-2,58219		
Hibrit Fiber (Çıkış Deformasyon)							
Taguchi Optimizasyonu	Tahmin Edilen				Doğrulama Deneyi		
Seviye	A2	B1	C3	A2	B1	C3	Fark (%)
Kesme Şartları	2500 dev/dak	0,2 mm/dev	Parmak Freze	2500 dev/dak	0,2 mm/dev	Parmak Freze	
Çıkış Deformasyon Faktörü	-2,61445				-2,30568		
Hibrit Fiber (İtme Kuvveti)							
Taguchi Optimizasyonu	Tahmin Edilen				Doğrulama Deneyi		
Seviye	A1	B1	C1	A1	B1	C1	Fark (%)
Kesme Şartları	2000 dev/dak	0,2 mm/dev	HSS	2000 dev/dak	0,2 mm/dev	HSS	
İtme Kuvveti Faktörü	-37,5596				-36,0377		

SONUÇ

Bu çalışmada tabakalı e-cam fiber takviyeli tabakalı polimer kompozit, aramid fiber takviyeli tabakalı polimer kompozit, e-cam/aramid fiber takviyeli tabakalı hibrit polimer kompozit malzemeler vakum destekli reçine transfer yöntemi üretilmişlerdir. 6 mm çaplı HSS, Karbür matkap ve parmak freze kesici takım olarak kullanılmıştır. 2000-2500-3000 dev/dak devir sayısı ile 0,2-0,4-0,6 mm/dev ilerleme kullanılarak her malzeme için 27 adet delme deneyi yapılmış, giriş-çıkış deformasyonları ölçülmüş, taguchi optimizasyonu yapılarak aşağıdaki veriler elde edilmiştir.

- S/N oranlarına göre her üç malzeme için en etkili parametre kesici takım olduğu görülmektedir.
- Giriş deformasyon faktörü için S/N etki ve tablosuna göre aramid fiber takviyeli tabakalı kompozit malzemede en etkili parametre devir sayısı, Cam fiber ve hibrit (cam/aramid) fiber tabakalı kompozitte ise kesici takım olduğu tespit edilmiştir.
- Çıkış deformasyon faktörü için en etkili parametre cam fiber tabakalı kompozitte ilerleme, aramid fiber takviyeli tabakalı kompozitte devir sayısı, hibrit (cam/aramid) fiber tabakalı kompozitte ise kesici takım olduğu tespit edilmiştir.
- E-cam fiber takviyeli tabakalı polimer kompozit için en iyi sonuçlar giriş-çıkış deformasyonu için 3000 dev/dak devir sayısı, 0,2 mm/dev ilerleme ve parmak freze ile, itme kuvveti için aynı değerlerde HSS matkap ile elde edilmiştir.
- Aramid fiber takviyeli tabakalı polimer kompozit için en iyi sonuçlar giriş deformasyonu için 3000 dev/dak devir sayısı, 0,2 mm/dev ilerleme ve parmak freze ile, çıkış deformasyonu için 3000 dev/dak devir sayısı, 0,4 mm/dev ilerleme ve parmak freze ile, İtme kuvveti için 2000 dev/dak devir sayısı, 0,2 mm/dev ilerleme ve HSS matkap ile elde edilmiştir.
- E-cam/aramid fiber takviyeli tabakalı hibrit polimer kompozit için en iyi sonuçlar 2500 dev/dak devir sayısı ve 0,2 mm/dev ilerleme hızı ile elde edilmiştir. İtme kuvveti yönünden 2000 dev/dak devir sayısı, 0,2 mm/dev ilerleme ve HSS matkap ile elde edilmiştir.
- Varyans analizlerine göre e-cam fiber takviyeli tabakalı polimer kompozit için her üç faktör incelendiğinde delinebilirlikte en önemli parametre kesici takım değişimi, aramid fiber takviyeli tabakalı polimer kompozit için devir sayısı, cam/aramid fiber takviyeli tabakalı hibrit polimer kompozit giriş deformasyon

için ise kesici takım olduğu bulunmuştur. Cam/aramid çıkış deformasyon için bir ilişki tespit edilememiştir.

- Varyans analizleri incelendiğinde itme kuvveti açısından en iyi parametrenin kesici takım değişimi olduğu tespit edilmiştir.
- Çalışmamızda polimer tabakalı kompozit malzemeler için dūřuk ilerlemede iyi sonuçlar alındığı belirlenmiştir.



KAYNAKÇA

- Abrau, A.M., vd. (2008). The effect of cutting tool geometry on thrust force and detabakaion when drilling glass fibre reinforced plastic composite. *Journals & Books Materials And Design*, 29(2), 508–513.
- Ayan, M.Ç. (2019). *Pamuk fiber takviyeli biyo kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin incelenmesi*, (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İskenderun.
- Aydın, E. (2019). *Karbon fiber takviyeli kompozit (CFRP) ile alüminyum alaşımlı (AL7075) istiflenmiş halde delinebilirlik özelliklerinin araştırılması*, (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Can, A., & Ünüvar A. (2017). Optimization of process parameters in drilling of smc composites using taguchi method, *Technical Gazette*, 24(2), 435-442.
- Ceritbinmez, F., & Yapıcı, A. (2020, 23-25 Ekim). Kompozit malzemelerin delinmesinde matkap nokta açısının ve çcknt'lerin etkisi, *Open Access Journal Article DOI*, Bursa, Türkiye, 3(1), 180-188. <https://doi.org/10.33793/acperpro.03.01.40>
- Erdil, A. (2020, 12 Eylül). *Kompozit malzemelerin genel özellikleri ve kullanımı*, Erişim adresi:<https://blog.tekyaz.com/kompozit-malzemelerin-genel-ozellikleri-ve-kullanimi>
- Faramarz, A.G., vd. (2011). Effects of drilling parameters on detabakaion of glass-epoxy composites, *Australian Journal Of Basic And Applied Sciences*, 5(12), 1433-1440.
- Ferhat, Y., vd. (2017, 2-4 Kasım). *Üç boyutlu boşluklu polimer kompozitlerin delinme ve frezelenme özelliklerinin incelenmesi* [Tam metin bildirisi]. 8. Uluslararası Talaşlı İmalat Sempozyumu, Sabancı Üniversitesi, Antalya, 352-363.
- Genç, A. (2019). *Karbon fiber ve karbon nanotüp katkılı poliamid 6 polimer kompozit malzemesinin işlenebilirlik özelliklerinin incelenmesi*, (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisans Üstü Eğitim Enstitüsü, Kütahya.

- Ghabezi, P. & Khoran, M. (2014). Optimization of drilling parameters in composite sandwich structures (pvc core), *Indian Journal Science Research*, 2, 173-179.
- Herbert, M.A., vd. (2014). Evaluation of drilling induced detabakaion of carbon fiber reinforced polymer composite using solid carbide drills, *European Scientific Journal*, 10, 279-291.
- Kaçal A., & Gülesin M. (2011). Determination of optimal cutting conditions in finish turning of austempered ductile iron using taguchi design method. *Journal Of Scientific & Industrial Research*, 70, 278-283
- Kara, F., vd. (2017). *AISI 4140 ıslah çeliğinin tornalamasında yüzey pürüzlülüğü ve titreşimin taguchi metodu ile optimizasyonu* [Konferans]. Uluslararası Akademik Araştırma Kongresi, <https://www.researchgate.net/publication/321881860>, 1132-1140, Alanya/Antalya.
- Karaca, F. (2016). Cam fiber takviyeli plastik kompozitlerde delme parametrelerini deformasyon faktörüne etkisinin araştırılması, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28(2), 23-27.
- Karataş, M.A. (2022). Karbon fiber takviyeli polimer kompozitin farklı matkap uçlarıyla delinmesinde işleme parametrelerinin delaminasyon hasarına etkisinin değerlendirilmesi, *DUJE (Dicle University Journal Of Engineering)*, 13(1), 19-25.
- Karimi, N.Z., vd. (2013). Effect of the drilling process on the compression behavior of glass/epoxy tabakaes, *Composite Structures*, 98, 59-68.
- Kaya, A.İ. (2016). Kompozit malzemelerin özellikleri, *Putech & Composite Poliüretan ve Kompozit Sanayi Dergisi*, 29, 38-45.
- Kaya, Z. (2021). *S-Cam/Epoksi tabakalı kompozitlerin farklı sıcaklıklar ve deformasyon hızlarındaki statik ve kırılma davranışlarının belirlenmesi*, (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Uşak Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uşak.
- Kayıhan, M. (2019). *Yüksek performanslı hibrit kompozitlerde delik delme işleminin deneysel ve analitik olarak incelenmesi*, (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Khashaba, U., vd. (2010b), Machinability analysis in drilling woven gfr/epoxy composites: part 11-effect of drill wear, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing Composites: Part A*, 41, 1130-1137.

- Koyunbakan, M., vd. (2017). (2017, 2-4 Kasım). Üç boyutlu boşluklu polimer kompozitlerin delinme ve frezelenme özelliklerinin incelenmesi [Tam metin bildirisi]. 8. Uluslararası Talaşlı İmalat Sempozyumu, Sabancı Üniversitesi, Antalya, 352-363.
- Koyunbakan, M., vd. (2021). CETP Kompozitlerin ağaç matkabıyla delinme performanslarının deneysel incelenmesi, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(2), 770-776.
- Köklü, U., vd. (2017). Drilling performance of functionally graded composite: comparison with glass and carbon/epoxy composites, *Journal Of Mechanical Science And Technology*, 31(10), 4703-4709.
- Köklü, U., vd. (2017). Impact of cryogenic condition and drill diameter on drilling performance of CFRP, *Journal Applied Sciences*, 7(7), 667-678.
- Köklü, U., vd. (2019). An Experimental study on the effects of various drill types on drilling performance of GFRP composite pipes and damage formation, *Journal Science Direct Composites Part B: Engineering*, 172, 186-194.
- Krishnaraj, V., vd. (2012). Optimization of machining parameters at high speed drilling of carbon fiber reinforced plastic (cfrp) tabakaes, *Journals & Books Composites Part B: Engineering*, 43(4), 1791-1799.
- Kuş, A., & Ekici, E. (2017). Sandviç kompozitlerin delinmesinde delaminasyon faktörünün incelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 22(3), 153-162.
- Latha, B., Senthilkumar, V.S. ve Palanikumar, K. (2011). Influence of drill geometry on thrust force in drilling gfrp composites. *Journal Of Reinforced Plastics And Composites*, 30(6), 463-472.
- Madhavan, S., & Prabu, S. (2012). An experimental study of influence of drill geometry on drilling of carbon fibre reinforced plastic composites, *International Journal Of Engineering Research And Development*, 3(1), 36-44.
- Maraş, M.M. (2021). Betonarme yapıların güçlendirilmesinde kullanılan frp kompozitin yapısal performansa etkisi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 23, 108-119.

- Milli Eğitim Bakanlığı. (2020). *Malzeme bilgisi ders materyali*. Ankara: MEB Yayınları
- Mullaikodi, S.M., vd. (2019). Synthesis, characterization and machinability studies on thin hybrid composites with sic nano particles. *Mater Res Express*, 6(6), 1591-2053.
- Nagaraja, vd. (2013). Effect of process parameters on detabakaion, thrust force and torque in drilling of carbon fiber epoxy composite, *Research Journal of Recent Sciences*, 2(8), 47-51.
- Naveen, P.N.E., vd. (2012). Experimental investigation of drilling parameters on composite materials, *IOSR Journal Of Mechanical And Civil Engineering*, 2(3), 30-37.
- Norazean S., & Aidah J. (2017). Hole size effects on the open hole tensile properties of woven kevlar-glass fibre hybrid composite tabakaes, *Pertanika Journal of Science and Technology*, 25, 309 – 318.
- Okay, F. (2020). *Aliminyum matrisli bor karbür ve karbon monofiber takviyeli hibrit kompozitlerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerini incelenmesi*, (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu.
- Özkaya, F., vd. (2019). Cam küre takviyeli polipropilen kompozit malzemelerin delaminasyon faktörünün deneysel olarak incelenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19, 843-849.
- Öztürk, Ö. (2015). *Poliüre matris malzemesi ve cam, aramid, karbon fiber kumaş takviyeleri kullanılarak üretilen kompozit malzemelerin mekanik davranışlarının incelenmesi*, (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Tekirdağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Panneerselvam, T., & Raghuraman, S. (2015), Optimization of drilling parameters for detabakaion associated with pre-drill in chopped strand mat glass fibre reinforced polymeric material, *Pertanika Journal Science And Technology*, 23, 61-72.
- Phadnis, V.A., vd. (2013). Drilling in carbon/epoxy composites: experimental investigations and finite element implementation, *Composites: Part A Applied Science and Manufacturing*, 47, 41-51.
- Pıhtılı, H. (2022). Effect of different drill bits on detabakaion in drilling composite materials, *Turkish Journal Of Science*, 17(2), 279-297.

- Rajamurugan, T., vd. (2013). Analysis of detabakaion in drilling glass fiber reinforced polyester composites, *Materials And Design*, 45, 80-87.
- Salman S.D., Hassim W.S.W. ve Leman Z. (2015). Experimental comparison between two types of hybrid composite materials in compression test. *Manufacturing Science And Technology*, 3(4), 119–123.
- Sonbaty, I. El-, Khashaba, U.A. ve Machaly, T. (2004). Factors affecting the machinability of gfr/epoxy composites. *Journals & Books Compos Struct*, 63(3–4), 329–338.
- Şanlıtürk, A. (2022). *Doğal parçacıklar ile takviye edilmiş polimer matrisli kompozitlerin deneysel ve hesaplamalı mekanik analizi*, (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- Şengül, A.E. (2022). *AA7075 matrisli Al_2O_3 ve grafit takviyeli hibrit kompozitlerin üretimi ve delinebilirliğinin araştırılması*, (Yayımlanmamış Yüksek lisans tezi). Karabük Üniversitesi Lisans Üstü Eğitim Enstitüsü, Karabük.
- Tsao, C.C. (2008). Experimental study of drilling composite materials with step-core drill, *Journals & Books Materials And Design*, 29(9), 1740– 1744.
- Tuncay, B., Motorcu, A.R. ve İvanov, A. (2017). Kompakt tabaka kompozit malzemenin tungsten karbür takımlarla delinmesinde delaminasyon faktörünün değerlendirilmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(4), 427-436.
- Turan, M. (2007). Tabakalı kompozit malzemelerde yüksek hızlı darbe hasarı, *Ege Üniversitesi Mühendis ve Makine Dergisi*, 48(575), 3-8.
- Ünüvar, A., Koyunbakan M. ve Bagci M. (2022). Optimization and effects of machining parameters on detabakaion in drilling of pure and Al_2O_3/SiO_2 -added GFRP composites, *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 119, 657–75.
- Valarmathi, TN., Palanikumar, K. ve Latha, B. (2013). Measurement and analysis of thrust force in drilling of particle board (pb) composite panels. *Journals & Books Measurement*, 46(3), 1220–1230.
- Vinayagamoorthy, R., vd. (2016), Modeling and analysis of drilling induced damages on hybrid composites, *Indian Journal Of Science And Technology*, 9, 1-10.

- Xu, S., vd. (2023). Progressive damage model for quasi-static tension of 2d woven composites and fem implementation, *Journals & Books Compos Struct*, 320, 117168.
- Yağmur, S. (2016). *Karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerinin işlenmesi için kesici takım tasarımı, üretimi ve performansının değerlendirilmesi*, (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yıldırım, F., vd. (2015, May 7-9). *Investigation of drilling of glass fiber reinforced polyphenylene sulphide polymer material: thrust forces and surface damages*. 4th International Polymeric Composites Symposium [Conference presentation]. Exhibition And Brokerage Event, 259-263, İzmir.
- Yıldızlı, F. (2022). *Aramid ve yüksek yoğunluklu polietilen hibrit kompozitin balistik malzeme olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi*, (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

DİZİN

-A-

Analiz, 2, 9, 11, 12, 13, 36, 38, 45, 46
Aramid, 7, 17, 19, 21, 23, 36, 43, 48

-Ç-

Çap, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 32, 43, 48
Çıkış, 11, 13, 24, 32, 37, 43, 44, 45, 48

-D-

Dayanım, 1, 5, 6, 14, 17, 20, 21
Deformasyon. 1, 9, 10, 11, 14, 32, 36,
43, 46, 48
Değer, 11, 12, 13, 14, 43, 44, 45
Delaminasyon, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16
Delik, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 32, 47
Delinebilirlik, 12, 17, 48
Deney, 11, 12, 13, 19, 25, 26, 31, 33, 38
Devir.10, 11, 14, 33, 43, 44, 46, 48

-E-

E Cam,17, 19, 23, 24, 43, 44, 45, 48
E Cam/Aramid, 17, 23, 24, 41, 44, 48
Eleman,4, 5, 6, 7, 11, 22
Fiber, 4, 6, 9, 10, 11, 14, 19, 20, 33, 43
Epoksi, 4, 9, 19, 22, 23

-F-

Faktör, 9, 12, 32, 33, 38, 43, 44, 46, 47

-G-

Giriş,11, 12, 13, 23, 32, 37, 42
Görüntü, 27,32,37,46, 47
Grafik, 39, 40, 41, 42
Gürültü, 38

-H-

Hafif, 1, 5, 6, 20
Hibrit, 7, 9, 11, 12, 13, 23, 24, 38, 42
HSS, 10, 11, 13, 14, 19, 30, 34, 44

-İ-

İlerleme, 5, 9, 11, 12, 13, 15, 17, 43, 44
İşlenebilirlik. 1, 9, 12, 30
İtme Kuvveti. 9, 10, 15, 36, 38, 42, 44

-K-

Karbür, 9, 10, 11, 12, 13, 14
Kesici, 9, 10, 11, 13, 19, 30, 45, 46
Kesme, 9, 10, 30, 31, 36
Kompozit, 1, 4, 6, 9, 11, 14,19, 43, 48
Kuvvet, 9, 10, 12, 31, 36, 43, 44

-M-

Malzeme, 19, 23, 25, 31, 42, 48
Matris, 4, 6, 12
Metot, 4, 5, 6, 9
Mukavemet, 1, 4, 6, 7, 19, 20, 25

-O-

Optik, 32, 37
Oran,4, 9, 39, 40, 41, 48

-P-

Parametre, v, 32, 39
Parmak Freze, 13, 16, 19, 43, 44
Polimer, v, 17, 23, 34, 39, 40, 41

-R-

Reçine, 4, 6, 11, 23, 24

-S-

Sertleştirici, 6, 19, 22, 23, 24
Sinyal, 38

-Ş-

Şekil, 4, 6, 19, 22, 23, 24

-T-

Tabakalı, 24, 34, 43, 44, 48
Tablo, 14, 15, 22, 23, 33
Takım, 9, 13, 16, 30, 31, 33, 42, 43
Takviye, 4, 6, 7, 9, 12,, 14, 23, 24, 40
Tasarım.4, 11, 33, 34, 36
Transfer. 23, 24, 25

-V-

Vakum. 9, 10 ,23, 24
Varyans. 12, 36, 44, 45, 46

-Y-

Yöntem. 6, 9, 10, 12, 24, 32, 43