



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**KARBON FİBER TAKVİYELİ
KOMPOZİTLERİN İŞLENEBİLİRLİĞİ VE
VİDALI BİRLEŞTİRME YETENEKLERİNİN
İNCELENMESİ**

**Özgür BİÇER
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Aralık-2017
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Özgür BİÇER tarafından hazırlanan “**KARBON FİBER TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN İŞLENEBİLİRLİĞİ VE VIDALI BİRLEŞTİRME YETENEKLERİNİN İNCELENMESİ**” adlı tez çalışması **22.12.2017** tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç. Dr. Süleyman NEŞELİ

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Ahmet CAN

Üye

Doç. Dr. Ahmet SAMANCI

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Ahmet COŞKUN
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Özgür BİÇER
22.12.2017

ÖZET

YÜKSEK LİSANSTEZİ

KARBON FİBER TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN İŞLENEBİLİRLİĞİ VE VİDALI BİRLEŞTİRME YETENEKLERİNİN İNCELENMESİ

Özgür BİÇER

NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ahmet CAN

2017, 79 Sayfa

Jüri

Yrd. Doç. Dr. Ahmet CAN
Doç. Dr. Süleyman NEŞELİ
Doç. Dr. Ahmet SAMANCI

Bu çalışmada, karbon fiber takviyeli kompozit malzemenin frezeleme ve kılavuz çekme işlemi ile vidalı birleştirme yeteneği deneysel olarak araştırılmıştır. İşlenebilirlik deneylerinde parametreler, kesme hızı, diş başına ilerleme ve kesici takım ağız sayısı olarak seçilmiş ve bu parametreler 3 seviye şeklinde belirlenmiştir. Çalışmada, Taguchi L9 ortogonal dizini esas alınarak deney düzeneği hazırlanmış ve toplamda 9 adet deney yapılmıştır. Yapılan işlenebilirlik deneyleri sonrası yüzey pürüzlülüğü ve yüzey hasarı incelenmiştir. Yapılan deneylerin sonucunda, dik yönde yapılan frezeleme işleminde takım ağız sayısının ve kesme hızının azalması ile ilerleme değeri artışını yüzey pürüzlülüğünü arttırdığı görülmüştür. Bununla birlikte takım ilerleme doğrultusunda yapılan freze işleminde ise takım ağız sayısının ve ilerleme değerinin artışı ile kesme değerinin azalmasıyla yüzey pürüzlülüğü yine artmıştır. Yüzey hasarı yönünden yapılan değerlendirmede ise ilerleme değerinin azalmasıyla numunelerde oluşan deformasyonun azaldığı, görülen deformasyon çeşidinin Tip 2 ve Tip 3 şeklinde olduğu, takım ağız sayısı ve kesme hızının deformasyon oluşumunda etkili bir parametre olmadığı fakat numunelerin işleme zamanı için önemli olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmanın ikinci ayağını karbon fiber takviyeli kompozit numunelerin vidalı birleştirme yeteneğinin incelenmesi oluşturmaktadır. Vidalı birleştirme yeteneğinin incelenmesi sırasında numunelere statik basma ve dinamik sıyırma deneyleri uygulanmıştır. Yapılan statik basma deney sonuçlarına göre artan metrik ölçüye bağlı olarak maksimum itme kuvveti ve kesme gerilmesinin arttığı görülmüştür. Vida çap ölçüsünün değişmemesine rağmen artan hatveyle birlikte maksimum itme kuvvetinin ve kesme gerilmesinin artmasının, hatve artışıyla birlikte artan diş kalınlığı ve kök radyüsüne bağlı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca ince dişlerde safi kesme, kalın dişlerde ise basma, ezilme, lif kopması ve kesme işleminin sırasıyla meydana geldiği görülmüştür. Yapılan dinamik sıyırma deney sonuçlarında ise yine artan metrik ölçüye bağlı olarak maksimum itme kuvveti, maksimum moment ve kesme gerilmesinin arttığı görülmüştür. Bununla birlikte çap ölçüsünün değişmemesine rağmen maksimum itme kuvveti, maksimum moment ve kesme gerilmesinin artışının artan hatveyle birlikte artan diş kalınlığı ve artan kök radyüsüne bağlı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca statik basma ve dinamik sıyırma deney sonuçları kıyaslandığında, maksimum itme kuvveti ve kesme gerilmesi değerlerinin statik basma deney sonuçlarında daha yüksek çıkmasının nedeni olarak dinamik sıyırma deneylerinde farklı kesme gerilmelerinin ortaya çıkması olmasından kaynaklandığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler:Karbon fiber takviyeli kompozit, Taguchi, Vidalı birleştirme, Yüzey pürüzlülüğü,

ABSTRACT

MS THESIS

THE INVESTIGATION OF MACHINABILITY AND THREADED JOINT CAPABILITY OF CARBON FIBER REINFORCED COMPOSITES

Özgür BİÇER

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN MECHANICAL ENGINEERING

Advisor: Assist. Prof. Dr. Ahmet CAN

2017, 79 Pages

Jury

Assist. Prof. Dr. Ahmet CAN

Assoc. Prof. Dr. Süleyman NEŞELİ

Assoc. Prof. Dr. Ahmet SAMANCI

In this study, the ability to threaded joint with carbon fiber reinforced composite material by milling and tapping was experimentally investigated. In the machinability tests, the parameters were selected as cutting speed, feed per tooth and cutting tool teeth number, and these parameters were determined as 3 levels. In the study, the experimental setup was prepared based on the Taguchi L9 orthogonal array and a total of 9 experiments were performed. Surface roughness and surface damage were investigated after the machineability tests. As a result of the experiments performed, it was seen that in the vertical milling process, the number of tool noses and the decrease of the cutting speed increased the surface roughness of the increase value of progression. On the other hand, in the milling process in the direction of tool advancement, the number of tool teeth and the decrease in cutting value due to the increase of the advance value again increase the surface roughness. It has been determined that the deformation of the specimens is reduced by the decrease of the progress value, the type of deformation is Type 2 and Type 3, the number of tools and the cutting speed are not effective parameters in the formation of deformation but it is important for the processing time of the samples. The second stage of this work is the examination of the ability of screwed joint composite of carbon fiber reinforced composite specimens. Static compression and dynamic stripping tests were applied to the samples during the inspection of the screwing ability. According to the results of the static compression tests made, the maximum pushing force and shear stress increased with increasing metric size. It has been found that although the screw diameter does not change, the increase of the maximum pushing force and shear stress together with the increased pitch is due to increased tooth thickness and root radius as the pitch increases. In addition, it was seen that the pressing, crushing, fiber breakage and cutting processes of the thin teeth in thin teeth and the cutting process in thick teeth respectively. In the result of the dynamic stripping experiment, it was seen that maximum pushing force, maximum torque and shear stress were increased depending on increasing metric size. However, the maximum thrust, the maximum moment, and the increase in shear stress were found to be due to increased tooth thickness and increased root radius with increasing pitch, although the diameter did not change. Moreover, when static push and dynamic stripping test results are compared, it is seen that the maximum pushing force and shear stress values are higher in the static pushing test results as a result of different shear stresses in dynamic stripping experiments.

Keywords: Carbon fiber reinforced composite, screw combining, surface roughness, Taguchi

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında bana her türlü desteği sağlayan, çalışmalarımda bana yol gösteren engin bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım değerli danışmanım Yrd. Doç. Dr. Ahmet CAN hocama minnet ve şükranlarımı sunarım.

Ayrıca bu günlere gelmemde maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen çok kıymetli aileme, çalışmalarım süresince büyük bir sabırla bana destek olan eşim Merve'ye, kızım Zübeyde Erva'ya ve oğlum Ali'ye sonsuz teşekkür ederim.

Özgür BİÇER
KONYA-2017



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Literatür Taraması.....	3
2.2. Kompozit Malzemeler	10
2.2.1. Kompozit malzemelerin tarihsel gelişimi	11
2.2.2. Kompozit malzemelerin avantajları ve dezavantajları.....	11
2.2.3. Kompozit malzemelerin uygulama alanları	12
2.2.4. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması.....	13
2.2.5. Elyaf takviyeli kompozit malzeme üretim yöntemleri.....	16
2.3. Kompozit Malzemelerin İşlenebilirliği.....	22
2.3.1. Malzeme türü ve özellikleri	22
2.3.2. İşlem türü ve işlem parametreleri	23
2.3.3. Takım özellikleri.....	23
2.3.4. Elyaf yönlenmesi	23
2.4. Kompozit Malzemelerin Birleştirilmesi	27
2.4.1. Mekanik birleştirme yöntemi.....	27
2.4.2. Yapıştırma ile birleştirme yöntemi	28
2.5. Kompozit Malzemelerin İşlenmesi Sonucunda Oluşan Hasar Mekanizmaları ...	24
2.5.1. Mekanik hasarlar.....	24
2.5.2. Kimyasal hasarlar.....	26
2.5.3. Termal hasarlar	26
2.6. Vidalı Birleştirme Mekanikliği	30
2.6.1. Vida ve civata tanımı	30
2.6.2. Vida profilleri.....	31
2.6.3. Vida çeşitleri	32
2.6.4. Vida bağlantılarının mukavemet hesapları	33
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	39
3.1. İşlenebilirlik Deneyleri	39
3.1.1. Deney numuneleri.....	39
3.1.2. Deneylerde kullanılan cihaz ve donanımlar.....	40
3.1.3. Deneylerde kullanılan kesici takımlar	40
3.1.4. Deney parametreleri ve işleme stratejisi	41
3.2. Dinamik Sıyırma Deneyi	44
3.3. Statik Basma Deneyi.....	46

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	48
4.1. İşlenebilirlik Deney Sonuçları	48
4.1.1. Yüzey pürüzlülüğü analizi	48
4.1.2. Yüzey hasar analizi	56
4.2. Dinamik Sıyırma Deney Sonuçları	57
4.3. Statik Basma Deney Sonuçları.....	61
5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER	64
5.1. Sonuçlar	64
5.2. Öneriler	65
KAYNAKLAR	66
EKLER	70
ÖZGEÇMİŞ	79

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

F_x	:Frezelemede ilerleme kuvveti [N]
F_y	:Frezelemedekesme kuvveti
F_z	:Frezelemede itme kuvveti [N]
d	:Vida açılmış silindir dış çapı (dış üstü çapı)
d_1	:Vidanın dış dibinden ölçülen çap (dış dibi çapı)
d_2	:Ortalama çap
α	:Vida eğim açısı
h	:Hatve
σ	:Gerilme [N/mm ²]
σ_{em}	:Emniyet gerilmesi [N/mm ²]
σ_{Ak}	:Akma gerilmesi [N/mm ²]
F_0	:Ön yükleme kuvveti [N]
M_d	:Döndürme momenti [N.mm]
M_b	:Burulma momenti [N.mm]
$\sigma_{eş}$:Eşdeğer gerilme [N/mm ²]
z	:Diş sayısı
m	:Somun yüksekliği
P_{em}	:Emniyetli basınç [N/mm]
τ	:Kayma gerilmesi [N/mm ²]
S	:Standart sapma
N	:Dizideki toplam deney sayısı
η	:Bir denemedeki test sayısı
S^2	:Gözlem değerinin varyansı
\bar{y}	:Gözlem değerinin ortalaması
y_i	:Performans yanıtının i. gözlem değeri
T	:Takım ağız sayısı
V	:Kesme hızı
D_0	:Cıvata dış üstü çapı [mm]
D_i	:Numune dış dibi çapı [mm]
R_a	:Ortalama yüzey pürüzlülük değeri
R_{aL}	:Takım ilerleme yönündeki yüzey pürüzlülüğü
R_{aT}	:Takıma dik yöndeki yüzey pürüzlülüğü
n	:Gürültü değeri
P	:Önem/Olasılık değeri

Kısaltmalar

HSS	:Yüksek Hız Çeliği
CNC	:Bilgisayarlı Sayısal Denetim
HSM	:Yüksek Hızda İşleme
ANOVA	:Varyans Analizi
GFRP	:Cam Elyaf Takviyeli Polimer Kompozit
CFRP	:Karbon Elyaf Takviyeli Polimer Kompozit
WC	: Tungsten Karbür
PCD	:Çok Kristalli Elmas
MPa	:Megapascal
Co	:Kobalt



1. GİRİŞ

Kompozit malzeme, iki ya da daha fazla malzemenin makro düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemelerdir. Kompozit malzemeler, kendisini oluşturan malzemelerin her birinden farklı özelliklere sahip mühendislik malzemeleridir. (Onat, 2015).

İlk çağlardan beri insanoğlunun hayatını kolaylaştıran kompozitler, farklı özelliklere sahip türleriyle günümüzde birçok alanda karşımıza çıkmaktadır. Kompozit malzemelerin günümüz teknolojisinde hızla kullanımını artan bir türü de karbon elyaf takviyeli kompozitlerdir. Bu tip kompozitlerin bir bileşeni olan karbon elyaflar, ilk defa karbonun yüksek elektrik iletkeni özelliğinin bilinmesinden dolayı oluşturulmuştur. Daha sonraları ise karbon elyaflar epoksi matrisler ile birleştirilmiş, olağanüstü dayanıklılık ve sertlik özelliği gösteren karbon elyaf kompozit malzemeler ortaya çıkmıştır. Sahip oldukları düşük yoğunluk, yüksek mukavemet, yüksek korozyon direnci gibi birçok özellik karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerin havacılık ve uzay endüstrisinde daha fazla yer bulmasına sebep olmuştur (Işık ve Gültekin, 2015).

Karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerden üretilen parçalara son şekillerini vermek için delik delme, yüzey ve kenar frezeleme, tornalama gibi talaş kaldırma işlemleri uygulanmaktadır. Karbon liflerinin dayanımının fazla olması ve düşük ısı iletkenlik özelliği sebebiyle takımların hızlı bir şekilde aşınmasına yol açmakta ve bu sebeple kesme işlemi verimli bir şekilde yapılamamaktadır. Karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerin talaşlı işlenmesi sırasında matris çatlağı, elyaf çekmesi, elyaf kopması, tabakalar arası çatlak, delaminasyonlar ve tabaka ayrılması gibi hasar mekanizmaları oluşabilmektedir (Çavuş, 2015). Bu çatlak ve delaminasyonlar özellikle tekrarlı yükler altında ciddi yorulma hasarlarına sebep olabilmektedir.

Çoğu büyük kompozit yapı bir ya da birden çok kompozitin birleşmesinden meydana gelmektedir. Bu yapıların birleştirilmesinde kullanılacak yöntemler oldukça önemlidir. Kompozit malzemelerin birleştirilme yöntemleri arasında yapıştırma ve perçinli birleştirme oldukça tercih edilen yöntemlerdendir. Yapıştırma yöntemi kimyasal bir yöntem olmakla birlikte yapıştırıcı türü ile kompozit malzeme yapısının uyumu oldukça önemlidir. Perçinli birleştirmede ise kompozit malzemeler önce delinmekte ardından perçin uygulaması yapılmaktadır. Perçinli birleştirme ve yapıştırma ile birleşme sırasında mukavemet azalması, yüksek gerilme ve yorulma problemleri ortaya çıkmaktadır (Altan, 2009).

Bu çalışmada karbon fiber takviyeli malzemelerin frezelenme ve kılavuz çekme işlemi ile perçin ve yapıştırımalı birleştirme yöntemlerine alternatif vidalı birleştirme tekniği deneysel olarak araştırılmıştır. Karbon fiber takviyeli kompozitlerin talaşlı imalatla vida açma yetenekleri ve bu vidalı birleştirme tekniğinin mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla öncelikle karbon fiber takviyeli kompozit malzeme üretildi ve belirlenen talaşlı imalat teknikleri ve bu tekniklere uygun talaşlı imalat parametreleri ile malzeme ve takıma en uygun imalat parametrelerinin etkileri araştırılmıştır. Talaşlı imalat deneylerinde deney sayısını azaltmak için Taguchi deney tasarımı yapılarak deney parametrelerinin etkilerini incelemek için varyans analizi yapıldı. Öte yandan vidalı birleştirme yeteneklerinin araştırılması için bir vida test düzeneği hazırlandı ve vidaların maksimum moment ve itme kuvveti ölçüldü ve bununla birlikte vidalara statik basma testi de yapılarak dayanımları ölçülmüş oldu. Böylece havacılık ve uzay endüstrisinde yaygın olarak kullanılan karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerin vidalı birleştirme yetenekleri ve mekanik özellikleri tespit edilmiş oldu.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Literatür Taraması

Literatür araştırmasının yapıldığı bu bölümde kompozit malzemelerin işlenebilirliği ve kompozitlerin birleştirilmesine yönelik çalışmalar araştırılmıştır.

Karnik ve ark., (2008) karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin yüksek hızda delinmesi sırasında delikte oluşan delaminasyonun araştırmasını yapmışlardır. Yapılan deneylerde deney numunesi olarak 0°- 90° elyaf açısına sahip 2.5 mm kalınlığındaki kompozit malzemeler kullanılmıştır. Delik delme işlemi 5 mm çapında farklı açılara sahip karbür matkap uçları (25° helis açılı, 85°-115°-130° uç açılı) ile 1000, 3000, 6000 ve 9000 mm/dak. ilerleme ve 4000, 8000 ve 40000 devir değerleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerin sonucunda uç açısının artmasıyla delaminasyonda artış görüldüğü ve devir sayısının artmasıyla da delaminasyonda azalma görüldüğü tespit edilmiştir.

Tsao ve ark., (2012) karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerin delinmesi sırasında oluşan delaminasyonun azaltılması üzerine araştırmalar yapmışlardır. Yapılan deneylerde 0°-90° elyaf açısına sahip % 55 elyaf oranında 60x60 mm ölçülerindeki karbon takviyeli kompozit numuneler kullanılmıştır. Delme işlemleri HSS helisel matkap uçları ile 30-120 mm/dak. İlerleme hızlarında ve 1000 devir/dak. parametreleri kullanılarak yapılmıştır. Delme deneylerinde oluşan kuvvet bileşenleri Kistler 9273 marka/model dinamometre ve Kistler 5007 marka/model yük amplifikatörü kullanılarak ölçülmüştür. Yapılan deneylerin sonucunda delaminasyonun oluşmasında ana etkenin oluşan aksel itme kuvvetinin olduğunu, aktif yedekleme kuvvetinin uygulanması ile delaminasyon büyümesinin başlangıcının geciktiğini ve matkap ucu hasarını kısa devir süreleri ile yüksek ilerleme hızlarında kullanıldığında azalttığını tespit etmişlerdir.

Davim ve ark., (2007) karbon elyaf takviyeli kompozit katmanların delinme işlemi sonrasında tabakalara ayırma faktörünü dijital resim analiz yöntemi ile araştırmışlardır. Deneysel çalışmalarda numune olarak 13 katmanlı 3 mm kalınlığında karbon elyaf takviyeli kompozit malzemeler kullanılmıştır. Deneyler 5 mm çapında K20 helisel matkap ucu ile 50, 60 ve 70 m/dak. ilerleme hızı ve 0.25, 0.30 ve 0.35 mm/dev. değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda belirlenen kesme parametrelerine bağlı olarak delinen karbon elyaf takviyeli katmanların giriş ve çıkış bölgelerindeki hasar bölgesinin alanı bununla birlikte delik giriş ve çıkış bölgesinde oluşan hasar ve tabaka

faktörünü hesaplamışlardır. Yapılan deneylerin sonucunda kesme hızı ve ilerleme hızının artışına bağlı olarak delaminasyon faktöründe artış olduğu görülmüştür.

Işık ve Gültekin, (2015) karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin delinmesinde yüzey pürüzlülüğünü azaltacak kesme parametrelerini araştırmışlardır. Deneylerde % 95 karbon oranına sahip ve çift atlamalı hasır yapısındaki karbon elyaf numuneler kullanılmıştır. Yapılan deneylerde numunelere 0,2, 0,3 ve 0,4 mm/dev. ilerleme hızlarında 50, 70 ve 90 m/dak. kesme hızlarında 2, 3 ve 4 ağızlı kesici takımlar kullanılarak 8 mm çapında delikler açılmıştır. Deneyler sonucunda ilerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün de arttığı bununla birlikte kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün azaldığı sonucuna ulaşıldığı tespit edilmiştir.

Akmal ve ark., (2012) keten ve polyester reçinelerden oluşturulan doğal elyaf takviyeli polimer kompozitlerin delinebilirliğinde mekanik performansa yönelik işleme parametrelerini araştırmışlardır. Deneysel çalışmaların ilkinde 250x25 mm boyutlarında 5 adet numune kullanılmıştır. Deneylerin ilk aşaması fiber kompozitlerin gerilme özelliklerini tespit etmek amacıyla Shimadzu Universal Test Machine cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerin ikinci aşamasında ilk aşamayla benzer numuneler hazırlanarak 8 mm çapında 85° helis açılı üç farklı matkap ucuyla delikler delinmiştir. Mevcut çalışmada ilerleme hızı kesme hızı sırasıyla 500 mm/dak. ve 3000 devirde sabit tutulmuştur. İkinci aşamadaki tüm delik delme işlemleri AKIRA-SEIKI Performa SR3 CNC makinesinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerin sonucunda delik delme işlemi sırasında deliğin etrafında delaminasyon ve matris kırılması gibi hasarların olduğu ve sonunda delinmiş bileşenlerin çekme mukavemetlerinde bozulmaların başladığı görülmüştür. Ayrıca delik delme işleminden sonra kompozitlerin kalıcı çekme dayanımlarının da ortalama yarıya düştüğü bildirilmiştir. Deney sonucunda numunelerdeki en yüksek kalıcı çekme dayanımının kademeli matkapla delinmiş numunelerde olduğu, candlestick matkabının diğer matkap uçlarına göre daha fazla delaminasyon oluşturduğu tespit edilmiştir.

Davim ve Reis, (2003) karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin delinmesi sırasında farklı işleme parametrelerinin oluşan delaminasyon üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deneylerde numune olarak % 55 elyaf takviyeli 0°-90° elyaf açısına sahip 3 farklı matkap ucu (HSS K10, Dört kanallı K10 ve Helisel K10) kullanılmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda numunelerin delinmesinde HSS matkabın helisel karbür (K10) matkaba oranla daha büyük delaminasyon oluşturduğu, dört kanallı karbür

matkabın yüksek ilerleme ve düşük kesme hızlarında diğer matkap uçlarına göre daha büyük hasara yol açtığı tespit edilmiştir.

Abilash ve Sivapragash, (2013) bambu elyaf takviyeli kompozit malzemelerin delik delme sonrası oluşan delaminasyon hasarının optimize edilmesi üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Yapılan deneylerde delik delme işlemi SMT matkapta 4, 6 ve 8 mm olmak üzere 3 farklı çap kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde numunelere 18, 26 ve 34 mm/dak ilerleme hızı ile 500, 860 ve 1360 devir değerleri uygulanmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda küçük matkap çapında ve düşük ilerleme hızlarında delaminasyon bakımından daha kaliteli delikler oluşturulduğu ve matkap çapı ile ilerleme hızının delaminasyon üzerinde diğer parametrelere oranla daha etkili bir faktöre olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte bambu takviyeli elyaf kompozit malzemelerin işlenmesinde en uygun parametrelerin matkap çapı 4 mm, ilerleme hızı 18 mm/dak. ve devir sayısının 500 dev/dak. olduğunun görüldüğü bildirilmiştir.

Karpat ve Bahtiyar, (2015) çok yönlü karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin çok kristalli elmas takımlar ile delinmesi sırasında takım geometrisinin delik çıkış kalitesi, kuvvet ve tork çıkışları üzerine olan etkilerini araştırmışlardır. Deney numunesi olarak levha şeklindeki çok yönlü karbon elyaf takviyeli polimer kompozit malzemeler kullanılmıştır. Deneylerde 5 eksenli Dörries-Scharmann marka işleme merkezi kullanılmıştır (75 KW, 24,000 devir/dakika). Delik delme işlemi için ise 6.4 mm çapında çok kristalli elmas kesici uca sahip matkaplar kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan matkap uçları tek uç açısına (120°) sahip helisel matkap ucu ile çift uç açısına sahip ($120^\circ-60^\circ$) helisel matkap uçları olarak belirlenmiştir. Yapılan deneylerin sonucunda ilerleme değerinin artırılması ve buna karşılık devir sayısının düşürülmesiyle takım ömrünün uzatılabileceği tespit edilmiştir. Ayrıca delik boyunca değişken ilerleme değerlerinin uygulanması ve takıma değişken genlikte ilerleme uygulanmasıyla yine takım ömrünün uzatılabileceği belirtilmiştir.

Kavad ve ark., (2014) cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin delinmesi esnasında işleme parametrelerinin delikte oluşan delaminasyona etkisini araştırmışlardır. Araştırmada cam elyaf takviyeli numunelere geleneksel delik delme işlemi, HSM (yüksek hızda işleme), vibrasyonlu delik delme işlemi ve ultrasonik destekli delik delme işlemi uygulanmıştır. Vibrasyonlu delik delme ve ultrasonik destekli delik delme işlemlerinde geleneksel delik delme işlemine göre daha küçük kesme gerilmesi ve daha az delaminasyon gözlemlenmiştir. Bununla birlikte

vibrasyonlu delik delme ve ultrasonik destekli delik delme işlemlerinin cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler için uygun olduğu bildirilmiştir.

Fıçıcı ve Ayparçası, (2014) cam elyaf tabakalı kompozit malzemelere delik delme işleminde farklı işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerini araştırmışlardır. Yapılan deneylerde deney numunesi olarak % 30 oranında cam elyaf takviyeli kompozitler kullanılmıştır. Deneyler HAAS TM-1 model CNC dikey freze tezgâhında iki ağızlı üç farklı matkap ucu (HSS, HSS+TiN ve Karbür matkap ucu) ile yapılmıştır. Yapılan deney sonucunda deliklerde oluşan yüzey pürüzlülüğü Mahr Surf marka yüzey pürüzlülük cihazıyla ölçülmüştür. Deney sonucunda en düşük yüzey pürüzlülüğü karbür matkap ucunda elde edilirken en yüksek yüzey pürüzlülüğü HSS matkap ucunda olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca ilerleme hızı artışıyla yüzey pürüzlülüğünde her matkap ucu için artış olduğu, ilerleme hızı artışına göre en iyi yüzey pürüzlülüğü değerine Karbür matkap ucu ulaşıldığı en kötü yüzey pürüzlülüğünün ise HSS matkap ucu olduğu bildirilmiştir.

Azmi ve ark.,(2011) tek yönlü cam elyaf takviyeli kompozitlerin frezede işlenebilirliğini incelemişlerdir. Deneysel çalışmalarda 200mm x 135mm boyutlarında kompozit numuneler kullanılmış ve Centroid 1050A marka dikey freze makinesinde işlenmiştir. Kesici takım malzemesi 12mm çapında, K20 kaplamasız tungsten karbür seçilmiştir. Tüm işlem kuvvet bileşenleri (F_x , F_y ve F_z) Kistler (Model:9256B) marka dinamometre ile ölçülmüş, yüzey pürüzlülüğü değişimleri ise Taylor Hubson Surtronic-3 marka cihazda analiz edilmiştir. Yapılan deneylerin sonucunda cam elyaf takviyeli kompozit numunelerin frezelemede ilerleme hızının, yüzey pürüzlülüğü (% 66.3), takım ömrü (85.2) ve gerilme kuvvetleri (% 53.6) üzerinde en yüksek etkiye sahip olan parametre olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca deney sonucunda kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrü üzerinde nispeten etkisiz görülmesine rağmen ANOVA ile yapılan deney sonucunda kesme derinliğinin ilerleme hızından sonra GFRP kompozit malzemelerin frezede işlenebilirliğini etkileyen kritik parametre olduğunu tespit etmişlerdir.

Gara ve ark., (2016) çok yönlü karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin frezeleme işlemi sonucunda oluşan mekanik etkileri araştırmışlardır. Deneysel çalışmalarda 60x45x4.8 mm ölçülerindeki numuneler kullanılmıştır. Deneyler C-TEK marka işleme cihazında (7.5 Kw, 10000 dev/dak.) 80 ila 200 m/dak. arasında değişken kesme hızları ile 0.008 ila 0.060 mm/dev/diş arasında değişen diş başına ilerleme ile yapılmıştır. Deneylerde ince, orta ve kalın dişli karbür tırtıklıfreze uçları kullanılmıştır.

Deneylerden elde edilen veriler kesme kuvvetlerinin takım geometrisine ve kesme koşullarına bağlılığını tespit etmek için analiz edilmiştir. Yapılan deneylerin sonucunda kesme hızının artmasıyla kesme sıcaklığının arttığı ve numunenin zayıflamasına bağlı olarak kesme kuvvetinde azalma görüldüğü bildirilmiştir. Bununla birlikte deneylerin sonucunda diş başına ilerleme hızının kesme kuvvetleri üzerinde en yüksek fiziksel etkiyi veren kesme parametresi olduğu ve ince dişli freze uçlarının kompozit plakaya en az hasar veren kesici takım parçası olduğu görülmüştür.

Işık ve Demirci, (2014) cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin frezelemede kesme parametrelerinin yüzey kalitesini araştırmışlardır. Deneylerde 150x80x10 mm ölçülerindeki 14 katmanlı CTP plakalar kullanılmıştır. Kesici takım olarak karbür parmak freze uçları, üç farklı kesme hızı (50, 75 ve 100 m/dak.) ve üç farklı ilerleme hızlarıyla (100, 200 ve 300 mm/dak.) kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan işlemler için iş mili gücü 5,5 KW, azami devri 6000 dev/dak. olan TAKSAN TMC500 dik işleme merkezi seçilmiştir. Frezelenen kanalların yüzey pürüzlülüğü Mahr Marsurf PS1 cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Yapılan deneylerin sonucunda takım çapı arttıkça yüzey pürüzlülüğü değerlerinin azaldığı ve tüm çap değerlerinde ilerleme hızlarının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün bir miktar azaldığı belirtilmiştir. Ayrıca asgari yüzey pürüzlülüğü değerlerinin sağlanması için daha büyük takım çapları, daha düşük kesme hızları ve daha düşük ilerleme hızlarının seçilmesi gerektiği bildirilmiştir.

Shadid ve ark., (2012) CFRP kompozit malzemelerin frezeleme işleminin yüzey kalitesi ve gerilme mukavemetine olan etkilerini incelemişlerdir. Deneysel çalışmalarda CFRP kompozit numuneler CNC makinesinde kesme derinliği 1.25 mm sabit tutularak, 75, 150 ve 300 m/dakika kesme hızları ile 2.54, 5.08 ve 10.16 m/dakika ilerleme hızlarında işlenmiştir. İşleme kalitesi yüzey pürüzlülüğü ve delaminasyon hasarı ile değerlendirilmiştir. İşlenmiş numunelerin delaminasyon hasarı optik mikroskop ile yüzey pürüzlülükleri ise kalem tip yüzey pürüzlülük test cihazıyla ölçülmüştür. Yapılan deneylerin sonucunda ilerleme hızının artması ve kesme hızının azalması ile yüzey pürüzlülüğü ve delaminasyonlarda artmaların görüldüğü bildirilmiştir. Bununla birlikte en iyi işleme kalitesinin en yüksek kesme hızında ve en düşük ilerleme hızında kullanıldığında elde edildiği bildirilmiştir.

Wang ve Zang, (2003) tek yönlü karbon elyaf tabakalı kompozitlerin frezede işlenebilirliğini araştırmışlardır. Deneylerde kullanılmak üzere F593 prepregler tek yönlü 4 mm kalınlığında karbon/epoksi paneller oluşturmak için 0,6 MPa basınç altında

177°C sıcaklıkta 2 saat boyunca kürlenmiştir. 300x500 mm ebatlarında oluşturulan bu paneller 15x45 mm ebatlarında kesilerek numune olarak kullanılmıştır. Yapılan deneylerde kesme hızı 1 m/dakika ile sabit tutuldu. Deneylerde 7° boşluk açılı ve -20° ila 40° talaş açısına sahip tungsten karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda kesici takımın talaş açısının yalnızca yüzey pürüzlülüğünü etkilediğini tespit etmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü, yüzey altı hasarı ve kesme kuvvetinin elyaf yönlendirmesiyle önemli ölçüde değiştiğinin gözlemlendiği bildirilmiştir. Bunlarla birlikte malzemelerin mekanik özelliklerinde değişiklik olmamasına rağmen, kompozit yapının sertleştirme koşullarının işlenebilirlik üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Erkan ve Işık, (2009) cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerini incelemişlerdir. Yapılan deneylerde kesici takım olarak 8 mm çapında 10° talaş açısı ve 30° helis açısına sahip karbür parmak freze kullanılmıştır (kullanılan parmak frezeler birbirinden farklı 2, 3 ve 4 ağızlı). Deneylerden elde edilen verilere göre kullanılan bütün kesici takımlarda çok az miktarda da olsa takım aşınması olduğu gözlemlenmiştir. İlerleme miktarının artışına bağlı olarak yüzey kalitesinde bozulmalar ve yüzey pürüzlülüğünde artış meydana geldiği görülmüştür. Sonuç olarak en iyi yüzey kalitesine maksimum kesme hızında ve minimum ilerleme değerlerinde 4 ağızlı karbür parmak frezede ulaşıldığı tespit edilmiştir.

Gara ve Tsoumarev, (2016) karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerini araştırmışlardır. Deney numunesi olarak % 42 epoksi matris ile takviye edilmiş kompozit malzemeler kullanılmıştır. Deneyler 3 eksenli SV815 SEIKI CNC AKIRA dikey işleme merkezinde gerçekleştirilmiştir (30 KW, 14000 d/dak). Deneylerde 8 mm çapında K20 kaplamasız tungsten karbür kesici takım seçilmiştir. Yapılan deneylerin sonucunda enine olan yüzey pürüzlülüğünün kesme koşullarına bağlı olmamakla birlikte yalnızca takım geometrisine bağlı olduğu, yukarı yönlü frezelemede boylamasına olan pürüzlülüğün aşağı yönlü frezelemedeki pürüzlülüğünden düşük olduğu tespit edilmiştir. Bunlarla birlikte diş başına ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerinde en yüksek fiziksel etkiyi gösteren kesme parametresi olduğu gözlemlenmiştir.

Ahmad ve arkadaşları, (2012) karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerin frezede işlenmesinde kesme parametrelerinin işleme kalitesine olan etkilerini araştırmışlardır. Yapılan deneylerde 100x50 mm boyutlarında karbon fiber takviyeli

kompozit numuneler, üç eksenli CNC tezgâhında 6,3 mm çapındaki kesici takımla kesme derinliği sabit tutularak işlendi. İşlenmiş yüzeylerin pürüzlülük ölçümleri Mitutoyo Surfjet SJ-400 yüzey pürüzlülük cihazında yapılmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda ilerleme hızının artması ve devir sayısının azalmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığını, delinmenin esas olarak yüzey katlarında gerçekleştiği ve oluşan delaminasyonun mod I tipinde olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca ilerleme hızının artması ve kesme hızının azalmasıyla ortalama delaminasyon derinliğinin arttığı görülmüştür.

Hussein ve ark. (2013) cam elyaf takviyeli kompozit malzemelere delik delinmesinde delme ve frezeleme işlemleri üzerinde karşılaştırmalı bir çalışma yapmışlardır. Delme ve frezeleme işlemleri TH660 A tip CNC dikey işleme merkezinde yapılmış (7,5KW, 5300 devir/dakika) ve deney numunesi olarak % 45 cam elyaf oranına sahip kompozit malzemeler kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kesici takımlar HSS, 6 ve 8 mm çaplı matkap uçları ile 5 ve 6 mm çaplarında sinterlenmiş karbür freze uçları kullanılmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda minimum yüzey pürüzlülüğü ile alt ve üst çap arasındaki asgari farkın elde edilmesi için yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme hızında frezeleme işleminin delme işlemine göre daha uygun olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca delik delme işleminde delik delme sırasında kesme hızının düşürülmesiyle ortalama itme kuvvetinin azaldığı, ilerleme hızının düşürülmesiyle de talaş kaldırma kuvvetinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Phong ve ark., (2013) nano PVA elyaf eklenmiş karbon elyaf kompozit malzemelerin mekanik performansını deneysel olarak incelemişlerdir. Yapılan deneylerde çapı 40-80 nm olan nano PVA elyaflar elektro eğirme tekniğinden yararlanılarak imal edildi ve üretilen nano PVA elyaflar karbon elyaf takviyeli epoksi matris kompozitlerin arasına, ağırlıkça %0.03, 0.05 ve 0.1 oranlarında dağıtıldı. Farklı oranlarda oluşturulan bu malzemeler çekme, Mod-1 kırılma tokluğu ve gerilme/çevrim sayısı gibi farklı mekanik testlere maruz bırakılmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda ağırlıkça % 0.1 oranında nano PVA içeriğinin Mod-1 kırılma tokluğunu önemli ölçüde geliştirdiği tespit edilmiştir (çatlak başlangıcını % 65 oranında, çatlak ilerlemesini % 73 oranında). Bununla birlikte yüksek çevrimli yorulmada yorulma ömrünün, takviyelenmemiş kompozitlere oranla 10 ila 30 kat daha uzun arttığı ve çekme mukavemetinin de az da olsa arttığı tespit edilmiştir.

Ozel ve ark., (2014) çekme yükü altında yapıştırıcıyla birleştirilen farklı malzemelerin tek taraflı bindirme bağlantılarının mekanik özelliklerini deneysel olarak

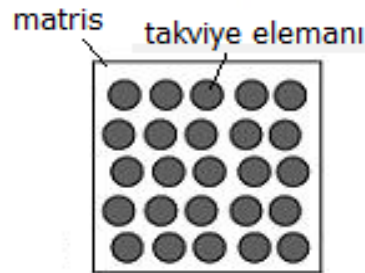
incelemişlerdir. Yapılan deneylerde yapıştırılan malzemeler olarak 16 tabakalı karbon elyaf takviyeli kompozit levha ile A2024-T3 alüminyum levha kullanılmıştır. Yapıştırıcı malzemesi olarak ise iki bileşenli DP 460 epoksi seçilmiştir. Yapılan deneylerin sonucunda yapıştırılan malzemelerin farklı kalınlıklarının, yapıştırma uzunluğunun ve elyaf oryantasyonunun bağlantının kopma mukavemeti ve gerilme dağılımlarını etkilediği bildirilmiştir.

Reis ve ark., (2011) yapıştırılan farklı malzemelerin tek taraflı bindirme bağlantılarının kayma dayanımları üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Yapılan deneylerde yapıştırılan malzeme olarak karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme, yüksek elastik çeliği ile 6082-T6 alaşımlı alüminyum levha kullanılmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda yapıştırılacak malzemenin sertliğinin bağlantının kayma dayanımını etkilediği ve en yüksek kayma dayanımının yüksek sertliğe sahip yapıştırılacak malzeme kullanılmasıyla elde edildiği tespit edilmiştir.

2.2. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler, iki veya daha fazla sayıda aynı ya da farklı türdeki malzemenin özelliklerini tek bir malzemede toplamak için oluşturulan yeni malzemelerdir. Kompozit malzemeler kendisini oluşturan malzemelerin her birinden farklı özelliklere sahip makro düzeyde birleştirilmiş malzemeler olarak nitelendirilir.

Kompozit malzemeler, ana yapıyı oluşturan ve düşük dayanıma sahip matris adı verilen bileşenle yüksek mukavemete sahip takviye fazından oluşur. Matris ve takviye fazları atomsal boyutta birleşmezler ve birbiri içinde çözülmezler. Takviye fazının görevi gelen yükü taşımak, matrisin rijitliğini sağlamak ve matrisin mukavemet yönünü güçlendirmektir. Matrisin görevi ise takviye elemanını bir arada tutmak, desteklemek ve takviye elemanına gerilme transferi sağlamaktır. Matrisler ayrıca plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerinin önüne geçmekte ve kompozit malzemelerin kopmasını geciktirmektedirler (Onat, 2015).



Şekil 2.1. Kompozit Malzeme Bileşenleri (Köksal, 2012).

2.2.1. Kompozit malzemelerin tarihsel gelişimi

Günümüzde havacılık, uzay, enerji gibi birçok farklı alanda yaygın olarak kullanılmakta olan kompozitlerin üretimi ve kullanımı son yüzyılda başlamış gibi düşünülmüyorsa olsa da kullanım başlangıcı ilk çağlara kadar uzanmaktadır.

İnsanlar ihtiyaçlarını karşılamak için kırılğan yapıdaki malzemelerin içine ilkel lifler koyarak bu kırılğanlık özelliğinin giderilmesini sağlamaya çalışmışlardır. Modern lifli sentetik reçinelerin 1950’li yıllarda endüstri özelinde kullanılmaya başlamasıyla kompozit malzemeler hızlı bir ivme kazanarak yaşamımızın her alanında söz sahibi olmuştur. Ülkemizde fiberglas olarak da bilinen bu malzeme 1960’lı yıllardan itibaren sıvı depoları, çatı levhaları ve küçük ölçülerdeki deniz tekneleri imalatında kullanılmaya başlanmıştır. Ülkemizde seri üretimi yapılan ilk yerli otomobil olan “Anadol”un kaportası da bu malzemedен oluşmuştur. Bu gelişmeler ışığında kompozit malzemeler günümüzde sınırsız bir kullanım alanına kavuşturulmuştur (Zor, 2008).



Şekil 2.2. İlk Yerli Otomobil Anadol (Köksal, 2012).

2.2.2. Kompozit malzemelerin avantajları ve dezavantajları

Kompozit malzemelerin diğer malzemelere göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

➤ **Avantajları:**

- Yüksek mukavemet özelliklerine sahiptirler (çekme, basma, eğilme).
- Metalik malzemelere göre oldukça hafiftirler.
- Çok üstün elektriksel özelliklere sahip ürünler elde edilebilir.
- Titreşim sönümlenme ve şok yutabilme özelliklerine sahiptirler.

- Yüksek korozyon dayanımına sahiptirler ve çoğu kimyasal etkilerden zarar görmezler.
- Kopma uzaması diğer malzemelere oranla oldukça yüksektir.
- Yorulma dirençleri oldukça yüksektir.
- Isıya ve ateşe dayanıklıdırlar.
- Kolay şekillendirilebilirler.
- Kalıplama kolaylığına sahiptirler (Onat, 2015; Zor, 2008; Köksal, 2012).

➤ **Dezavantajları:**

- Malzemenin kalitesi üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır ve standartlaşmış bir kalite yoktur.
- Kompozitler gevrek malzeme olmalarından dolayı kolaylıkla zarar görürler ve onarımları yeni problemler oluşturabilir.
- Kompozit malzemelerin sınırlı raf ömürleri vardır.
- Fırınlanmadan kullanılamazlar.
- Hammaddesi ve üretimi nispeten pahalıdır.
- Tabakalı kompozitlerde delaminasyon meydana gelebilir.
- Delik delme ve kesme türü işlemler liflerde açılmaya sebep olabilir.
- Kompozit malzemeler diğer konvansiyonel malzemelere oranla daha az geri dönüştürülebilmektedir (Zor, 2008; Köksal, 2012).

2.2.3. Kompozit malzemelerin uygulama alanları

Kompozit malzeme teknolojisindeki hızlı gelişim ve değişimle birlikte kompozit malzemeler günlük yaşamda artan oranlarda kullanılmaya başlanmıştır. Kompozit malzemeler farklı yapıları ve özellikleri sayesinde çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadırlar. Her sektörün farklı beklenti ve ihtiyaçları olduğundan bu malzemelerin ürün esneklikleri önemli bir avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kompozit malzemeler bazı sektörlerde hammadde olarak kullanıldığı gibi farklı sektörlerde yardımcı donanım olarak da kullanılırlar (Zor, 2008). Kompozit malzemeleryaygın olarak: uzay teknolojisi, denizcilik sektörü, tıp alanı, robot teknolojisi, kimya sanayisi, inşaat ve yapı sektörü, otomotiv teknolojisi, savunma ve

havacılık sektörü, gıda ve tarım sektörü, spor malzemeleri imatları gibi pek çok alanda kullanılmaktadır (Köksal, 2012).

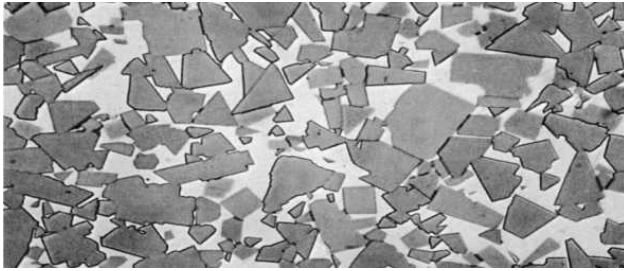
2.2.4. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Yapılarında çok sayıda farklı bileşen bulunan kompozitlerin sınıflandırılması takviye fazının şekline ve matris fazının tipine göre yapılmaktadır.

2.2.4.1. Matris malzeme cinsine göre sınıflandırma

➤ Metal matrisli kompozitler

Metal matrisli kompozitler, ana yapısı matris metalin oluşturduğu ve takviye elemanı olarak da seramik bir fazın kullanıldığı malzemelerdir (Zor, 2008). Bu kompozitlerin üretilmesinde eritme, vakum emdirme, sıcak presleme ve difüzyon kaynağı gibi ileri teknikler uygulanır. Metal ve metal alaşımlarının birçoğu yüksek sıcaklıklarda kırılğan olmaktadır fakat metal matrisli kompozitler yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemet özelliklerini korurlar. Metal matrisli kompozitler daha çok uzay ve havacılık alanlarında, platform taşıyıcı parçalarda, uzay haberleşme cihazlarının reflaktör ve destek parçaları gibi yerlerde kullanılırlar (Ünal, 2011).



Şekil 2.3.Semente Karbür İç Yapısı (%85 WC ve %15 Co) (Köksal, 2012)

➤ Seramik matrisli kompozitler

Metal veya metal olmayan malzemelerin birleşiminden oluşan seramik kompozitler, çok sert ve kırılğan bir yapıya sahip olmakla birlikte yüksek sıcaklıklara karşı çok iyi dayanım ve düşük yoğunluk özelliklerine sahiptirler. Bu malzemeler ayrıca elektriksel olarak çok iyi yalıtkanlık özelliği gösterirler[1]. Yaygın olarak kullanılan

seramik mühendislik malzemeleri alüminyum oksit (Al_2O_3), silisyum karbür (SiC) ve silisyum nitrür (SiN) olarak gösterilebilir. Seramik matrisli kompozitler, sandviç zırhlar, çeşitli askeri amaçlı parçalar ve uzay araçları imalatı gibi alanlarda kullanılmaktadır (Zor, 2008).

➤ Polimer matrisli kompozitler

Polimer malzemeler son yıllarda endüstrinin hemen her dalında kullanılan malzemeler haline gelmişlerdir. Bu durumun oluşmasında hammaddenin ucuz olması ve çok büyük ve karmaşık parçaların bile kolaylıkla üretilebilir olması etkili olmaktadır. Polimer matrisli kompozitlerin sürekli fiberlerle takviye edilmiş polyester ve reçine matrisli olanları en önemlileri olarak bilinir. Polimer kompozit malzemelerde takviye elyaflarının oranının artmasıyla birlikte kompozit mukavemeti de artar. Kullanılan takviye malzemelerinin başlıcaları ise cam, karbon, kevlar ve boron lifleridir (Ünal, 2011).

Çizelge 2.1. Takviye liflerinin özellikleri.

Malzeme	Özgül ağırlık gr/cm ³	Çekme Mukavemeti N/mm ²	Elastisite modülü N/mm ²
Cam Lifi	2,54	2410	70000
Karbon Lifi	1,75	3100	220000
Elyaf Lifi	1,46	3600	124000

Bu kompozitlerin üretilmesinde elle sıvama, tel sarma, pultrüzyon, enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon ve termo oluşum gibi ileri üretim metotları uygulanır. Polimer matrisli kompozitler korozyon direncinin yüksek olması nedeniyle denizcilik sektöründe, hafif olmaları sebebiyle otomotiv endüstrisinde, uçak ve uzay endüstrisinde kullanılırlar (Zor, 2008).

2.2.4.2. Takviye elemanın şekline göre sınıflandırma

➤ Parçacık takviyeli kompozitler

Parçacık takviyeli kompozitler ana malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıklar halinde bulunmasıyla oluşturulan malzemelerdir. Parçacıklı kompozitler izotrop özellik gösterirler, bu sebeple tüm yönlerde aynı malzeme davranışı sergilerler. Bu tip kompozitlerin mukavemeti, parçacıkların sertliğine bağlıdır ve matris ile partikül/parçacıklar makro düzeyde birleşirler, birbiri içinde çözünmezler.

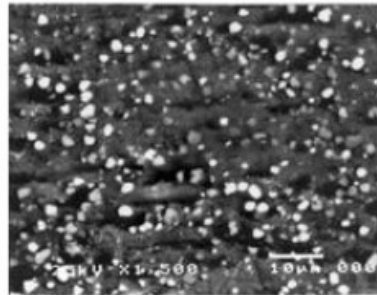
En yaygın parçacıklı kompozit türü plastik matris içinde yer alan metal parçacıklardır. Bu parçacıklar, malzemeye elektriksel ve ısıl iletkenlik sağlarlar. Parçacık takviyeli kompozitler yaygın olarak elektrik parçaları, muhafazalar, uçak gövdeleri gibi parçaların üretiminde tercih edilirler

➤ **Tabakalı (katmanlı) kompozit malzemeler**

Tabakalı kompozitler farklı özelliklere sahip en az iki tabakanın birleştirilmesiyle oluşan malzemelerdir. Bu kompozitler en yaygın kullanım alanına sahip kompozit türüdür. Bunun sebebi ise metallere göre hafif olması ve yüksek mukavemet değerlerine sahip olmasıdır. Bununla birlikte çoğu katmanlı kompozit yüksek dayanım ve aşınma direnci, mükemmel ısıl direnç ve çok yönlü yük taşıma özelliklerine de sahiptir. Tabakalı kompozitler çoğunlukla uçak kanatlarında, kanat ve kuyruk grubunda yüzey kaplama malzemesi olarak kullanılırlar (Onat, 2015; Ünal, 2011).

➤ **Karma (hibrid) kompozitler**

Aynı kompozit yapıda iki ya da daha fazla lif çeşidinin bulunduğu kompozit malzemeler hibrid kompozit malzemeler olarak adlandırılır. Bu alanın oluşması ile birlikte yeni kompozitlerin geliştirilmesi için uygun bir zemin oluşturulmuştur. Bu duruma kevlar ve grafitten oluşturulan hibrid kompozit örnek olarak gösterilebilir. Kevlar ucuz ve tok bir elyaf olmasına rağmen basma mukavemeti oldukça düşük, grafit ise pahalı ve düşük tokluğa sahip ancak basma mukavemeti oldukça yüksek bir elyaftır. Bu iki elyafın birleştirilmesiyle oluşan hibrid kompozitin tokluk değeri grafitin sahip olduğu değerden yüksek, maliyeti düşük ve basma mukavemeti de kevlar elyafı kompozit malzemedeki gibidir (Zor, 2008).



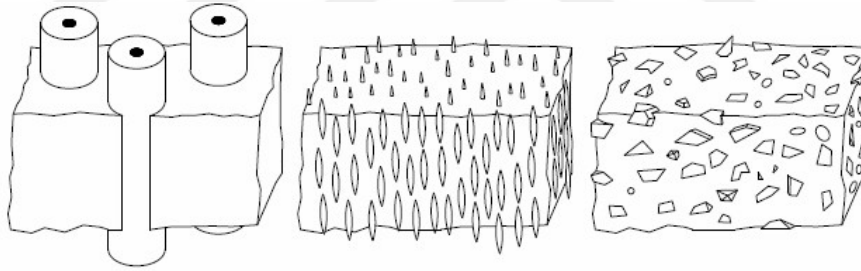
Şekil 2.4. Hibrid kompozit yapısı (Bayraktar, 2011).

➤ Elyaf tabakalı kompozitler

Elyaf takviyeli kompozitler ince elyafların matris yapıda yer almasıyla oluşmuştur. Bu kompozitler matris ve takviye/elyaf bileşenlerinden oluşur fakat bu bileşenler birbiri içinde karışmazlar ve çözünmezler.

Liflerin matris içindeki düzeni yapının mukavemetini etkileyen başlıca etkidir. Liflerin matris içinde birbirine paralel olarak uzanmaları ile lif doğrultusunda yüksek mukavemet sağlanırken, liflerin matris içinde birbirine dik doğrultuda yerleştirilmeleriyle oldukça düşük mukavemet değerleri elde edilmektedir (Zor, 2008).

Kompozit yapının mukavemetinde liflerin mukavemeti önemli bir yer tutmaktadır. Liflerin uzunluk/çap oranının artmasıyla matris tarafından liflere aktarılan yük miktarı artmaktadır. Ayrıca matriste oluşan boşluklar liflerle teması azaltmakta ve mukavemet azalmasına sebep olmaktadır. Bununla birlikte kompozit yapının nem alması lif ile matris arasındaki bağın bozulmasına neden olmaktadır (Onat, 2015).



(a)(b) (c)
a) Elyaf takviyeli kompozit b) Tabakalı kompozit c) Parçacık takviyeli kompozit

Şekil 2.5. Takviye fazının şekline göre kompozitlerin sınıflandırılması (Bayraktar, 2009)

2.2.5.Elyaf takviyeli kompozit malzeme üretim yöntemleri

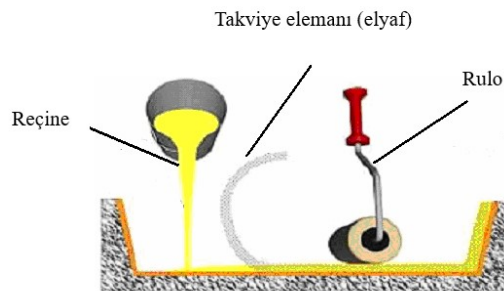
Kompozit malzemeler birbirinden bağımsız iki ya da daha fazla malzemenin makroskopik ölçüde bir araya gelmesiyle oluşan malzemelerdir. Kompozit malzemeler, kendini meydana getiren malzemelerin en üstün özelliklerine sahip olacak şekilde ve bileşenlerinin zayıf yönlerini amaçlanan doğrultuda en üst seviyede iyileştirmek üzere üretilirler.

Kompozit malzemelerin üretimi, ihtiyaç duyulan özellikler dikkate alınarak yapılır. Böylece uygun kompozit malzemeler, kullanılan matris ve fiberlerin

özelliklerini taşıyacak şekilde üretilirler. İstenilen özellikte ve biçimde kompozit malzeme üretmek için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları şunlardır (Aktaş, 2010).

2.2.5.1. El yatırma yöntemi

Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan en basit yöntemdir. Dokuma veya kırılmış elyaflarla hazırlanmış takviye kumaşları hazırlanmış olan kalıp içine yerleştirilir. Elyaf kalıba yerleştirilmeden önce jelkot adı verilen kalıp ayırıcı kullanılır ve jelkot sertleştikten sonra elyaflar kalıba yerleştirilir. Matrisi oluşturacak olan sıvı reçine basit bir el aleti ile elyafların üzerine sürülür. Burada önemli olan nokta reçinenin elyaflara iyi şekilde nüfuz etmesidir. İstenilen kalınlığa kadar reçine sürmeye devam edilir ve böylece tabakalı kompozit malzeme üretilmiş olur. Bu yöntemde en uygun reçineler ise, polyester, epoksi, vinil ester ve fenolik reçinelerdir. Bu yöntemde yoğun işçilik ve zaman kaybı olsa da düşük sayıdaki üretimler için ideal bir üretim yöntemidir (Aktaş, 2010).



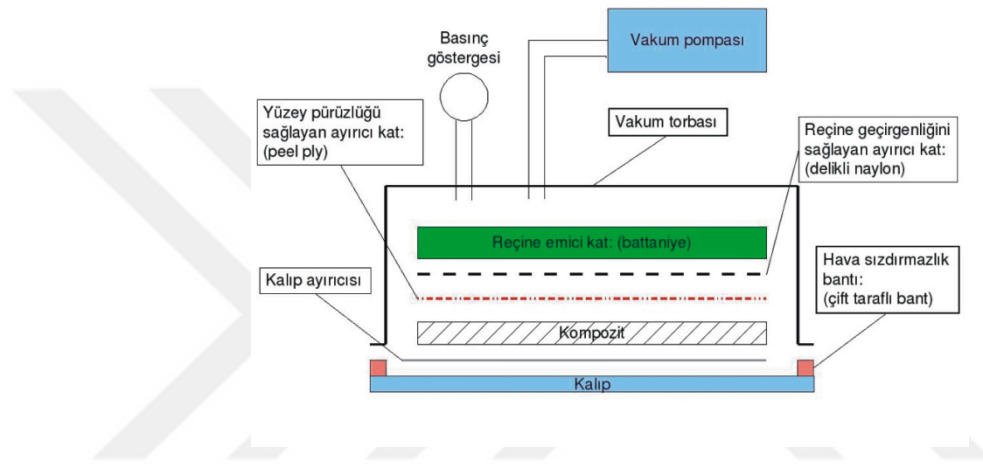
Şekil 2.6. El yatırma yöntemi (Köksal, 2012).

2.2.5.2. Vakum kalıplama yöntemi

Vakum kalıplama yöntemi lifli kompozit yapıların kalıp içine yatırılması ve reçinenin kalıp içine elle emdirilmesinden sonra uygulanan bir yöntemdir. Üretimi yapılacak malzeme kalıba yerleştirilir, tablanın üzeri vakum torbası ile kapatılır. Torbanın içindeki hava emilir ve hava boşaldıkça vakum torbası malzemenin üzerine yapışır ve daha sonra malzeme üzerine 1 atmosferlik basınç uygulanarak malzeme aşağıya çekilir. Vakum altında sertleşen malzeme, vakum işlemi sonlandırılıp vakum

torbası ve diğer ara katların sökülmesinden kalıp üzerinden çıkartılır ve kullanıma hazırlanır.

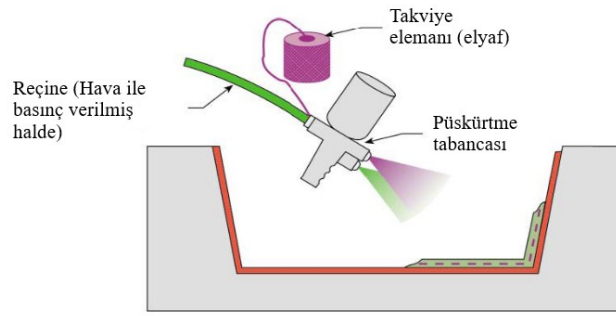
Bu yöntem diğer birçok kompozit üretim yöntemine göre çok daha düşük bir ilk yatırım maliyeti gerektiren bir yöntemdir. Bunun dışında, üretim yöntemi karmaşık bir yöntem olmayıp çok çeşitli yapısal elemanların üretilmesinde kolaylıkla uygulanabilmektedir. Tekne ve bot gövdeleri, yarış araçlarının bazı parça üretimi ve kompozit yapıların bakım ve onarım işlerinde bu üretim yöntemi uygulanır (Turgut ve ark.,2007).



Şekil 2.7. Vakum kalıplama yöntemi şematik gösterimi (Turgut ve ark.,2007).

2.2.5.3. Püskürtme yöntemi

Püskürtme yöntemi, el yatırma yönteminin makinalaşmış halidir. Kırpılmış haldeki elyaflar ve reçine karışımı bir püskürtme tabancası vasıtası ile kalıba püskürtülerek kalıbın şeklini alması sağlanır. Elyafların kırılması işlemi tabanca üzerindeki özel bir mekanizma ile sağlanır. Püskürtme işlemi sonrasında reçine içinde oluşan havayı çıkarmak ve yüzeyi düzeltmek amacıyla rulolama uygulanır. Oto kaportası, kayık, küvet ve yüzme havuzların iç yüzeyi bu yöntemle kaplanır (Aktaş, 2010).



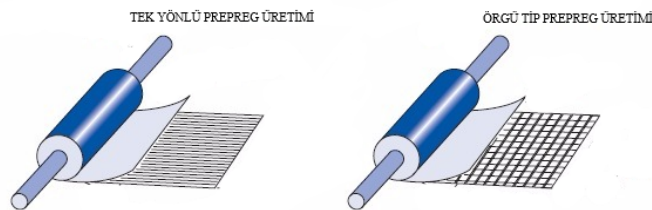
Şekil 2.8. Püskürtme yöntemi (Köksal, 2012).

2.2.5.4. Elyaf sarma yöntemi

Elyaf sarma yöntemi ile sürekli elyaf lifleri, reçine banyosuna daldırıldıktan sonra makaradan çekilerek dönmekte olan ve üzerine ayırıcı sürülmüş kalıp üzerine sarılmaktadır. Bu üretim yönteminde polyester, epoksi ve silikon gibi reçineler kullanılmaktadır. Yeterli miktarda elyaf katının sarılmasından sonra ürün sertleşir ve kalıbından ayrılır (Aktaş, 2010).

Sürekli liflerin farklı açılarla kalıba sarılması farklı özelliklerdeki malzemelerin oluşmasına imkân sağlamaktadır. Yaygın olarak kullanılan ıslak sarımda reçine sarım esnasında uygulanırken kuru sarımda önceden reçine emdirilmiş prepreg elyaf/reçine sistemi tercih edilir.

Prepregler, fiberler ve ön kürlenerek fiberlerle birleştirilmiş reçinelerden oluşmaktadır. En önemli avantajları yüksek oranda fiber içeren kompozit malzemelerin üretilmesine imkân sağlamalarıdır. Üretilen kompozitlerin kalınlığı, fiber ve matris malzeme oranları homojen olmaktadır. Tek yönlü ve örgü olmak üzere iki farklı prepreg imalatı vardır. Tek yönlü prepregler ile tüm fiber yönlenmeli tabakalar oluşturulabilirken örgü yapılarda ise bu durum kısıtlıdır (Hexcel, 2013).



Şekil 2.9. Prepreg çeşitleri (Hexcel, 2013).

Prepregler, havacılık ve uzay sanayiinde gövde, kanat ve kuyruk grubunda, motor yalıtım kaplamasında kullanılmaktadır. Ayrıca rüzgâr enerji sistemlerinde, taşımacılık sektöründe, makine araç ve gereçlerinde ve spor ekipmanlarında kullanılmaktadır [9]. Bu yöntemle daha yüksek kalitede ve mukavemette ürün elde edilebilmektedir. Elyaf lar dönen bir mandrel üzerine sarıldığından, iç yüzeyleri pürüzsüz malzemeler elde edilebilmektedir. Bu üretim yöntemiyle genellikle silindirik borular, dairesel basınç tankları, araba şaftları gibi ürünler üretilmektedir (Onat, 2015).



Şekil 2.10. Elyaf sarma yöntemi ile imal edilmiş silindirik boru (Aktaş, 2010).

2.2.5.5. Santrifüj kalıplama yöntemi

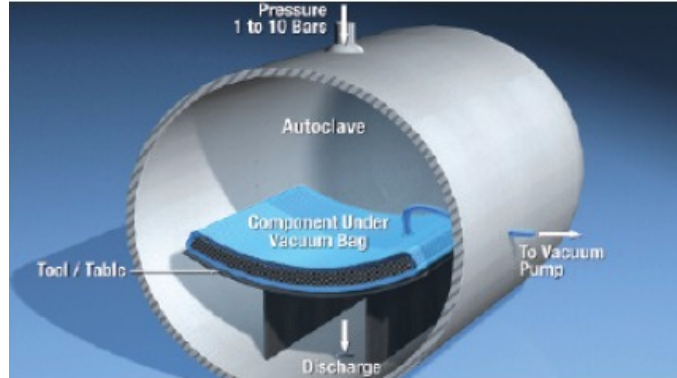
Santrifüj kalıplama yöntemi ile boru, silo gibi silindirik kapların imalatı gerçekleştirilir. Silindirik kalıba kırılmış elyaf ve reçine karışımı doldurulur ve kalıp döndürülmeye başlanır. Kalıbın döndürülmesiyle oluşan merkezkaç kuvveti sayesinde karışım kalıbın cidarlarına yayılır. Bu esnada döndürülen kalıba sıcak hava verilerek sertleştirme işlemi yapılır (Aktaş, 2010).

2.2.5.6. Otoklav yöntemi

Kompozit malzemelerin performanslarını iyileştirmek için elyaf/reçine oranını arttırmak ve malzeme içinde oluşan hava boşluklarını ortadan kaldırmak gerekmektedir. Bu durumun oluşması malzemeye yüksek ısı ve basınç verilerek sağlanabilir. Vakum torbalama yönteminde 1 atmosfer basınç altında bu durum sağlanabilmektedir. Fakat 1 atmosferden yüksek basınçlarda dışsal basınca ihtiyaç duyulur.

Otoklav yüksek basınç ve sıcaklık altında çalışan kapalı bir ortam olarak adlandırılır. Basıncın ve ısının eş zamanlı olarak uygulanmasıyla önceden hazırlanmış prepregler pekiştirilir, hava boşlukları giderilir ve kürlenme işlemi yapılır. Bu işlem ile

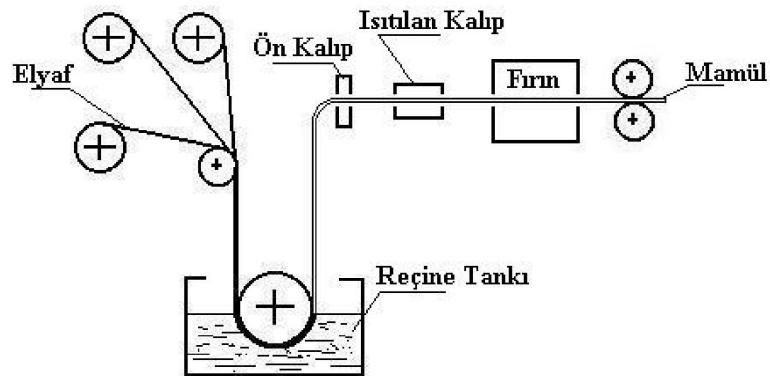
yüksek kaliteli ürünler elde edilebilir. Fakat bu yöntem diğer yöntemlere oranla daha uzun sürede uygulanır ve pahalıdır (Onat, 2015).



Şekil 2.11. Otoklav yöntemi (Hexcel, 2013).

2.2.5.7. Profil çekme yöntemi

Bu yöntemle genellikle çubuk ve boru şekilli ürünlerin imalatı gerçekleştirilir. Sisteme beslenen sürekli takviye malzemesi, reçine banyosundan geçirilir. Reçine banyosundan geçirilen elyaflar 120-150 °C'ye ısıtılmış olan şekillendirme kalıbından geçirilir ve sertleşmesi sağlanır. Sürekli elyafların kullanılmasından dolayı takviye doğrultusunda yüksek mekanik mukavemet elde edilirler. Bu üretim yöntemiyle, kapı, pencere profilleri ve karayolu korkulukları gibi ürünler üretilmektedir (Onat, 2015; Köksal, 2012).



Şekil 2.12. Profil çekme yöntemi (Köksal, 2012).

2.3. Kompozit Malzemelerin İşlenebilirliği

İşlenebilirlik bir iş parçasının işlenebilme yeteneği olarak biliniyor olsa da spesifik olarak iş parçasının kesici takımlar vasıtasıyla şekillendirilebilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin anizotropik ve homojen olmayan yapıda olması ile beraber matris ile takviye malzemesinin mekanik ve termal özelliklerinin farklı olmasından dolayı geleneksel malzemelere göre işlenebilirlikleri daha karmaşıktır. Bu malzemelerin işlenebilirliğini etkileyen parametreler şöyledir;

- Malzeme türü ve özellikleri
- İşlem türü ve işlem parametreleri
- Takım özellikleri
- Elyaf yönlenmesi (Akkuzu, 2012).

2.3.1. Malzeme türü ve özellikleri

Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin işlenmesi diğer malzemelerin işlenmesine göre birçok farklı parametreye bağlıdır. Kompozit yapıdaki matrisin kesme kuvveti üzerindeki etkisi elyaflar kadar fazla olmasa da talaş oluşumu üzerindeki etkisi oldukça fazladır.

Elyafın malzeme içindeki yönlendirilmesine bağlı olarak dayanımının yüksek olması, kesme kuvvetini arttırmaktadır. Ayrıca elyaf takviyeli kompozitlerde elyaf yönlendirilmesine bağlı olarak burkulma ve kesilme görülebilmektedir. Karbon elyaflar yönlendirilmeye bağlı olarak gevrek bir şekilde kırılıp aşındırma özelliği yüksek talaşlar oluşturabilmektedir.

Karbon ve grafit elyafların ısı iletkenliğinin yüksek olması sebebiyle işleme sırasında oluşan ısı, işleme bölgesinden uzaklaşmakta böylelikle takım aşınması azalmaktadır fakat malzemede ısıdan etkilenen bölge artmaktadır. Cam ve aramid gibi ısı iletkenliği düşük elyaflarda ise işleme sırasında oluşan ısı, işleme bölgesinden uzaklaşmamakta ve takım aşınması artmaktadır.

Kompozit malzemeyi oluşturan elyaf ve takviye fazlarının ısı genleşme katsayılarının farklı olması nedeniyle, matris ve elyaf arasında oluşan genleşme farkından dolayı gerilmeler oluşmakta ve deformasyonlar görülmektedir. Ayrıca

tabakalar arası dayanımın düşük olması durumunda malzemede talaş kopması ve tabaka ayrılması görülebilmektedir (Akkuzu, 2012).

2.3.2. İşlem türü ve işlem parametreleri

Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin işlenmesinde delik delme, frezeleme ve tornalama gibi geleneksel yöntemlerin yanı sıra taşlama ve aşındırma gibi yöntemlerde kullanılabilir. Bu yöntemlere de bağlı olarak malzemenin işlenebilirlik özelliği belirlenebilmektedir.

Kompozit malzemelerin işlenebilirliğini kesme hızı, kesme kuvvetleri, ilerleme ve kesme derinliği gibi işlem parametreleri etkilemektedir.

2.3.3. Takım özellikleri

Cam ve karbon elyaf gibi yüksek dayanımlı takviye malzemesinin kullanıldığı kompozit malzemelerde takım malzemesi önemli iken düşük dayanımlı takviye malzemesinin kullanıldığı kompozit malzemelerde ise takım geometrisinin seçimi daha önemli bir faktördür.

Takımlara uygulanan kaplama işlemi, takım performansını arttırmaya yönelik bir yöntemdir. Kompozit malzemelerin işlenmesinde yüksek sertlikte kaplama özelliğine sahip olan ve yüksek aşındırma dayanımı olan elmas kaplama takımlar tercih edilmektedir.

Takım malzemesi partikül büyüklüğü azaldıkça takım aşınması da azalmaktadır. Cam ve karbon elyaflarla güçlendirilmiş kompozitlerin işlenmesinde çok ince taneli sinterlenmiş karbür ve PCD takımlar kullanılmaktadır.

2.3.4. Elyaf yönlenmesi

Kompozit malzemelerin işlenmesi sırasında takım elyaf yönlenmesine 0° derecelik açıda işlemeye geçtiği durumlarda laminata etkiyen gerilmeler takviye elemanına paralel yönde etki etmektedir. Bu durumda çoğunlukla tabaka ayrılması sonucu kompozit laminatta kırılma meydana gelmektedir.

Kesme yönü ile elyaf yönü arasındaki açının artması ile elyaflar baskı sonucu yönlenmeye zıt bir biçimde bükülmeye maruz kalmakta ve etki eden basınç sonucunda kırılmaktadır.

Elyaf yönlenmesine 90 derecelik açıyla yapılan işlemede elyaflar bükülmeye maruz kalarak ayrı ayrı kırılırken, 135 derecelik açıda yapılan işlemede ise elyaflar bükülmeye birlikte çekme gerilmesi etkisi altında kalmakta ve kırılmaktadırlar (Akkuzu, 2012).

2.4. Kompozit Malzemelerin İşlenmesi Sonucunda Oluşan Hasar Mekanizmaları

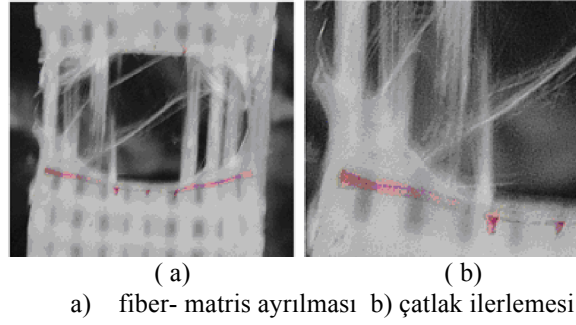
Kompozit malzemelerin işlenmeleri sonucundaki hasar mekanizmaları geleneksel malzemelere göre oldukça karmaşıktır. Bu durumun oluşmasında kompozit malzemenin yapısındaki matris ve takviye fazının kompozisyonu, elyaf yönelimi, tabakaların dizilimi, elyaf türü, ara yüzey bağı ile yükleme tipi, malzemenin bulunduğu ortam gibi birçok faktör etkin rol oynar. Kompozit malzemelerin işlenmesi sonucunda oluşan hasarlar şunlardır;

- Mekanik hasarlar
- Kimyasal hasarlar
- Termal hasarlar (Çavuş, 2015).

2.4.1. Mekanik hasarlar

Kompozit malzemelerin işlenmesi sonucunda oluşan mekanik hasar mekanizmaları elyaf yolunması, delaminasyon, elyaf çıkması ve çatlak oluşması olarak söylenebilir.

Kompozit malzeme yapısında bulunan esnek durumdaki elyaflar, kesici kenar baskısı sebebiyle matris malzemesi üzerinde kısmi olarak yer değiştirir. Kesici baskı sonucunda elyaflar dayanamayıp koparken matris parçacıkları da işlenmiş yüzeyden ayrılmaya zorlanır. Elyaf kopmasının meydana gelmesiyle elyaf ile matris ara yüzeyinin ayrılmasına bu sebeple de elyafların dışarı çıkmasına neden olur. Elyaf ile matris ara yüzeyindeki ayrılma, matristen elyafa olan yük aktarılmasını azaltabilir ya da ortadan kaldırabilir. Ayrıca elyaf ile matris ara yüzeyinde çekme kuvvetleri sebebiyle kalıntı gerilmeler meydana gelmektedir ve bu da çoğunlukla darbe görmeyen alt tabakalarda meydana gelmektedir

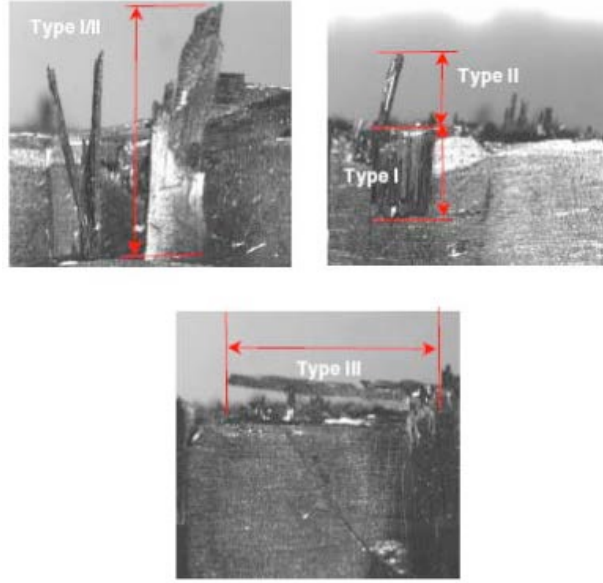


Şekil 2.16. Kompozit bir malzemenin kopma sonrası görüntüsü (Avcı, 2007).

Aşınmış olan ya da keskin olmayan kesici takımlarla yapılan kompozit malzeme işlemlerinde, kompozit malzeme yapısındaki kırılğan yapıda bulunan matris uygulanmış olan yük sebebiyle kesilmeye çalışılacaktır. Kesilemeyen matris kırılğan yapısı nedeniyle kırılacaktır. Kompozit malzeme yapısında bulunan elyaflar ise keskin olmayan, aşınmış kesici takım ya da uygun olmayan kesici takım malzemesi/geometrisi gibi nedenlerden dolayı takım tarafından koparılmaya çalışılacak ve sonunda yolunacaktır (Çavuş, 2015).

Delaminasyon, farklı elyaf yönlendirmelerine sahip tabakalar arasında matris bakımından zengin bölgede meydana gelen ayrılma olarak tanımlanır. Tabakalar arasındaki farklı elyaf yönlendirmelerinin olması katmanlar arasında farklı eğilme rijitliklerinin oluşmasına sebep olmaktadır. Delaminasyon hasarının en önemli sebebi ise tabakalar arası eğilme rijitlik farklılıkları ile eğilme kaynaklı olan kayma gerilmeleridir.

Tip 1 delaminasyon, işlenen kenarda tabakaların ayrılarak kırılmasıyla oluşurken, Tip 2 delaminasyon ise işlenen kenardan dışarıya doğru uzayan tabakaların görüldüğü tiptir. Tip 1-2 delaminasyonda kenardan uzayan tabakalar aynı anda ana yüzeyden ayrılmaktadır. Tip 3 delaminasyonda ise işlenen yüzeyden uzayan elyaflar görülmektedir. (Urban, 2005).



Şekil 2.17. Farklı delaminasyon tipleri (Urban, 2005).

2.4.2. Kimyasal hasarlar

Kompozit malzemelerin işlenmesi sırasında oluşan kimyasal hasarlar, kullanılan soğutma ve yağlama sıvılarının cinsine, karakteristik özelliklerine göre oluşmaktadır. Kompozit yapı içindeki elyafların soğutma sıvısı ya da yağlayıcı ile tepkimeye girmesi elyafların özelliklerini kaybetmesine neden olabilmektedir. Ayrıca kompozit malzemenin soğutma sıvısıyla fazla temas etmesi de elyaf ile matris arasındaki bağın bozulmasına sebep olmaktadır.

2.4.3. Termal hasarlar

Kompozit malzemelerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan ısı iş parçasını ve takımını olumsuz yönde etkilemektedir. Ortaya çıkan ısı özellikle karbon elyafların yanmasına neden olabilir.

Kompozit malzemelerde termal hasarlara genellikle aşırı kesme hızında işleme yapılması, uygun olmayan kesici takım malzemesi/geometrisi, soğutma yönteminin hiç kullanılmaması ya da yanlış soğutma yöntemi kullanılması neden olabilmektedir (Çavuş, 2015).

2.5. Kompozit Malzemelerin Birleştirilmesi

Büyük kompozit yapıların çoğu birden fazla birleştirmeden meydana gelmektedir. Bu yapıların birleştirilmesinde uygulanacak yöntemler oldukça önemlidir. Kompozit malzemeler bazen tek bir birleştirme yöntemi ile birleştirilirken daha kompleks yapılar birden fazla birleştirme yöntemi ile elde edilirler. Kompozit yapıların oluşturulması sırasında birçok problemle karşılaşılırken en büyük problem birleşme noktalarında meydana gelen mukavemet değerlerinin azalmasıdır.

Kompozit yapılar, genel olarak mekanik ve kimyasal (yapıştırma) birleştirme yöntemleri ile birleştirilmektedir (Altan, 2009).

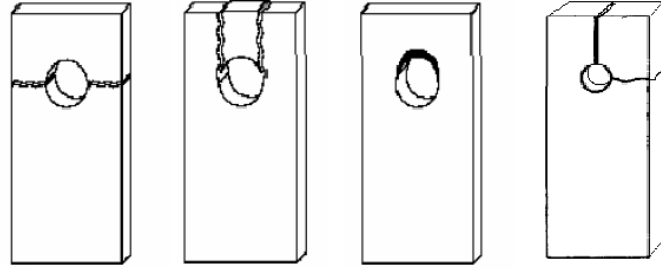
2.5.1. Mekanik birleştirme yöntemi

Mekanik birleştirme yöntemi, delme işlemi uygulanmış kompozit malzemelerin perçin ya da cıvata yardımıyla birbirlerine bağlanmasıyla gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem ekonomik ve kolay uygulanabilir olması sebebiyle tercih edilmektedir (Altan, 2009).

Mekanik birleştirme yöntemi uygulanırken birçok problem oluşabilmektedir. Bu yöntem uygulanırken kullanılan bağlayıcılar birleşme noktalarında ağırlık artışına neden olmakla beraber, korozyon problemi oluşumuna da sebebiyet verebilmektedir.

Kompozit malzemelerin delinme aşamasında oluşacak delaminasyonlar kompozit yapının mukavemetini etkilemektedir. Delik açılan bağlantı noktalarında yük altında yapılan birleştirme işleminde oluşan gerilme yığılımları dağılımlarının düzgün olmaması malzeme yorulmasına sebep olmaktadır. Ayrıca birleştirilen kompozit plakaların aksenal açıklığının artması, birleştirme bölgesinde mukavemet azalmasına ve yük taşıma kapasitesinin azalmasına neden olmakla birlikte cıvata ve perçin hasarına yol açabilmektedir (Topalak, 2012).

Mekanik yöntemle yapılan birleştirmelerde kayma hasarı, çekme hasarı, ezilme hasarı ve bölünme hasarı olmak üzere dört tip hasar modu oluşmaktadır (Topalak, 2012).



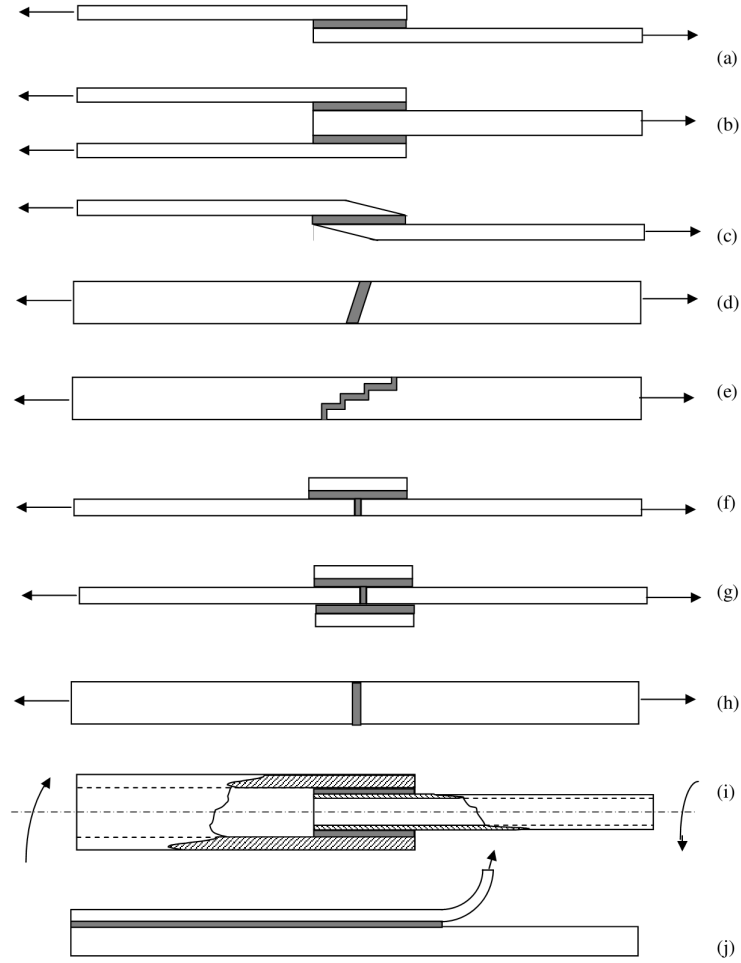
Çekme Hasarı Kayma Hasarı Ezilme (Yatak Hasarı) Bölünme Hasarı

Şekil 2.13. Mekanik bağlantılı yapılarda oluşan hasar şekilleri (Topalak, 2012).

2.5.2. Yapıştırma ile birleştirme yöntemi

Kompozit malzemelerin birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerin başında olan yapıştırma yöntemi kimyasal bir birleştirme yöntemidir. Bu yöntem iki parçanın birbiri üzerine bindirilerek yapılabildiği gibi iki parçanın uç uca getirilerek bir yama vasıtasıyla birleştirilmesi gibi birçok şekilde yapılabilmektedir.

- a) Tek taraflı bindirme bağlantısı
- b) Çift taraflı bindirme bağlantısı
- c) Pahlı bindirme bağlantısı
- d) Açılı bindirme bağlantısı
- e) Kademeli bağlantı
- f) Tek taraflı takviyeli alın bağlantısı
- g) Çift taraflı takviyeli alın bağlantısı
- h) Alın bağlantısı
- i) Silindirik bindirmeli bağlantı
- j) Soyulma



Şekil 2.14. Yapıştırma bağlantı tipleri (Ekrem, 2015).

Bu yöntemde birleştirilecek kompozit malzemeler ile birleştirmede kullanılan yapıştırıcı ya da yapıştırıcıların uyumu çok önemlidir. Birleştirilme de kullanılan yapıştırıcılar; katı, sıvı, macun ve bant şeklindedir (Altan, 2009).

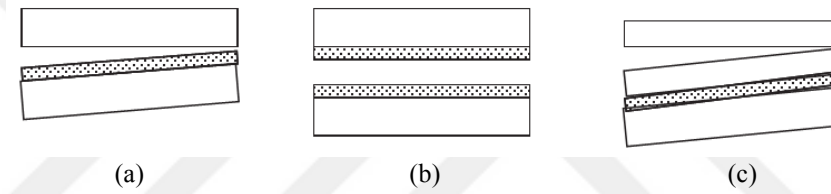
İyi bir yapıştırmanın temel şartları;

- Malzemeyle uygun yapıştırıcı
- Bağlantı tasarımı
- Yüzeylerin temizliği
- Yapışma yüzeylerinin ıslanabilirliği
- Yapıştırma süreçleri

Yapıştırma ile birleştirme sonucu elde edilen dayanıklılık ve performans, malzeme ve yapıştırıcı özellikleri, malzeme ve yapıştırıcı etkileşimi, bağlantı tasarımı, artık gerilmeler ve yapıştırmada oluşan hatalara bağlıdır.

Bu yöntemle mekanik birleştirme yöntemine göre bağlantıda daha düzgün gerilmeler elde edilerek daha emniyetli yük iletimi sağlamak mümkün olabilmektedir. Ayrıca bu yöntemde mekanik birleştirmede oluşan bağlayıcı ağırlığı olmamakla birlikte bağlantı elemanlarında ve plakalarda korozyon oluşumu da görülmemektedir.

Yapıştırma yöntemi ile yapılan birleştirmelerde yapıştırıcı ile plaka yüzeylerinin birbirinden ayrılması adezyon hasarını, yapıştırıcının kendi oluşturduğu yapışkan tabakanın kopması ise kohezyon hasarını meydana getirmektedir. Ayrıca eksenel açıklığın artması yapının mukavemet değerlerini düşürmekte ve yük taşıma kapasitesini azaltabilmektedir. Bununla birlikte yapıştırılacak parçaların kalınlığına bağlı olarak artabilecek eksantrik kuvvetler eğilme momentini oluşturacak ve oluşan eğilme momenti yapışma bölgesinde yüksek gerilmeler oluşmakta ve yapının mukavemeti azalabilmektedir (Altan, 2009).



a) Adezyon hasarı b) Kohezyon hasarı c) Yapıştırılan malzemenin kohezyon hasarı

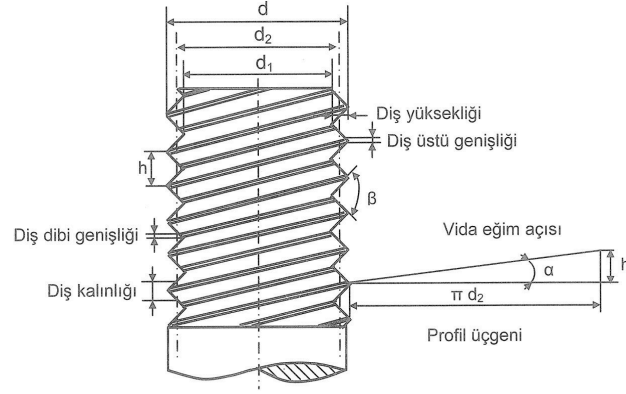
Şekil 2.15. Yapıştırırmalı bağlantılarda oluşan hasar mekanizmaları (Ekrem, 2015).

2.6. Vidalı Birleştirme Mekanikliği

2.6.1. Vida ve cıvata tanımı

Eğik bir doğrunun silindirin iç veya dış yüzeyine sarılması ile elde edilen girinti ve çıkıntı şeklindeki helisel oluklara vida, helisel olukların meydana getirdiği çıkıntılara ise vida dişi denir.

Eğik doğru yerine belirli kalınlıkta veya profilde bir elemanın dolu bir silindirin dış yüzeyine çıkıntı oluşturacak biçimde helisel hareketle (ötelenme+dönme) sarılmasıyla cıvata elde edilir. İçi boş bir silindirin iç çevre yüzeyine aynı profilin helisel hareketle sarılmasıyla da somun elde edilir. Cıvata dış vida, somun ise iç vida olarak da adlandırılmaktadır (Kaymaz, 2011).



Şekil 2.19. Vida ölçüleri (Kaymaz, 2011).

Yukarıdaki şekilde belirtilen vidada;

d , vida açılmış silindirin dış çapı (diş üstü çapı)

d_1 , vidanın diş dibinden ölçülen çap (diş dibi çapı)

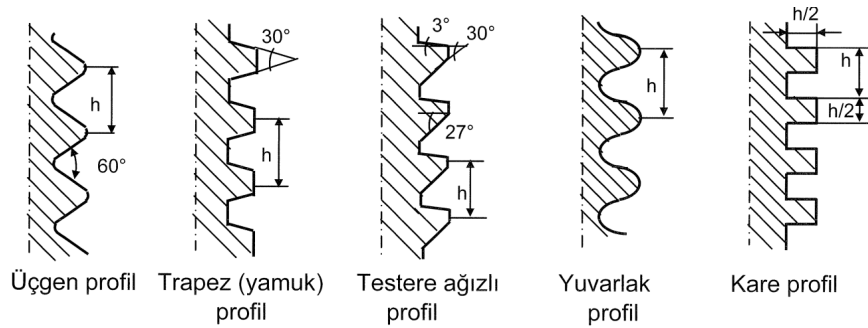
d_2 , ortalama çap

α , vida eğim açısı, helis eğrisinin ortalama çaptan geçen daire açılımı ile yaptığı açı

h , helis eğrisinin bir ana doğrusunu artarda kestiği iki nokta arasındaki eksenel uzaklık

2.6.2. Vida profilleri

Cıvata bağlantıları çok farklı alanlarda kullanıldığından amacına uygun vida tipleri geliştirilmiştir. Bu sebeple helis eğrisi yerine sarılan telin kesiti farklı geometrilerden oluşabilmektedir. Vida profilleri, seçilen profilin boyutlarına, helis adımına, sarıldığı silindir çapına bağlı olarak farklılık gösterirler (Uçar, 2010).



Şekil 2.20. Vida profilleri (Kutay, 2005).

2.6.3. Vida çeşitleri

2.6.3.1. Metrik vida

Makine imalatında en çok kullanılan vida tipi olan metrik vida, tepe açısı 60° olan eşkenar üçgen şekilli diş yapısına sahiptir. Dişlerin uçları üçgen yüksekliğinin $1/8$ 'i kadar kesilmiştir. Cıvataya açılan dişlerin dipleri imalatı kolaylaştırmak ve çentik etkisini azaltmak için yuvarlatılmıştır.

2.6.3.2. İnce metrik vida

Form olarak metrik vidayla aynı olan ince metrik vidanın hatvesi küçük ve dolayısıyla kesme derinliği de normal metrik vidaya göre küçüktür. Vida derinliğinin küçük olması çentik etkisini en aza indirmektedir. Bu sebeple ince metrik vida dinamik yük altında çalışan bağlantılarda tercih edilir.

2.6.3.3. Whitworth vida

Whitworth vidada tepe açısı 55° olan ikizkenar üçgenprofil kullanılmaktadır. Dişlerin baş ve dipleri üçgen yüksekliğinin $1/6$ 'sı kadar yuvarlatılmıştır.

2.6.3.4. Trapez vida

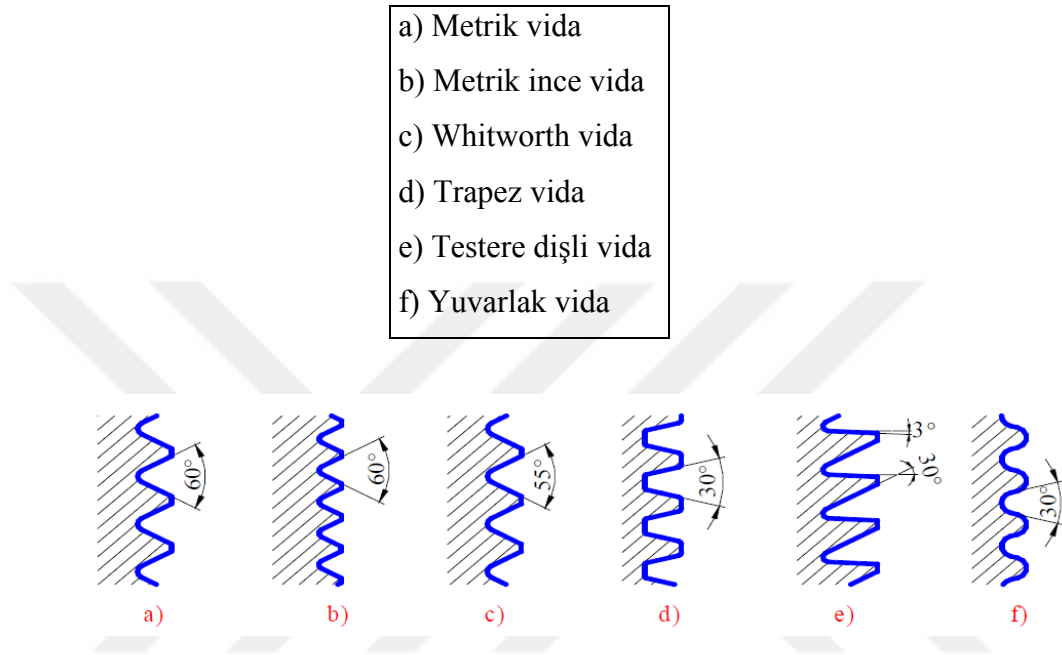
Trapez vidada tepe açısı 30° olan yamuk profil kullanılır. Vidalar, profillerin yan yüzeylerinden etkileşime geçerler. Bu vida türü kuvvet ve hareket taşıyıcı vida olarak kullanılmaktadır.

2.6.3.5. Testere vida

Vida dişinin iki yüzü de eksene oranla farklı eğimlidir. Profilde tepe açısı 30° ve diğer yüzey $\% 3$ eğimlidir. Bu durumdan ötürü bir yönde daha büyük kuvvetler desteklenebilir.

2.6.3.6. Yuvarlak vida

Tepe açısı 30° olan yuvarlak vidalardır ve yalnızca bağlantı amaçlı kullanılmaktadır. Yuvarlak vidalar sık sık takılıp sökülen uygulamalarda, ince kenarlı borularda ve ampul duylarında kullanılmaktadır (Uçar, 2010).



Şekil 2.21. Vida çeşitleri (Kutay, 2005).

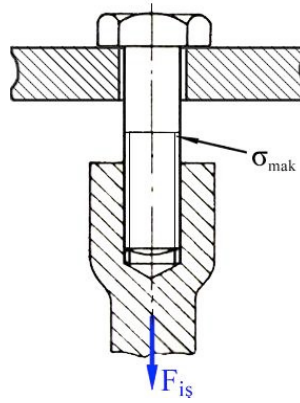
2.6.4. Vida bağlantılarının mukavemet hesapları

Vidalı bağlantılarda kırılma ve bozulmalar iki farklı bölgede meydana gelir. Birinci olarak vida mili kopması gerçekleşebilir. İkinci olarak ise vida dişleri bozulabilir.

2.6.4.1. Vida milinin mukavemet kontrolü

➤ Ön yüklemesiz bağlantılar

Cıvatanın iki parçayı sıkmadan aksel yönde bağladığı durumlarda sadece işletme yükü meydana gelmektedir. Aşırı yükleme durumunda ise cıvata mili diş dibinden kırılma tehlikesiyle karşı karşıya kalmaktadır. Bu durumda diş dibinde oluşan gerilmenin emniyet gerilmesini geçmemesi gerekir ve σ_{em} akma gerilmesinin % 60'ı alınabilir (Çayıroğlu, 2015).



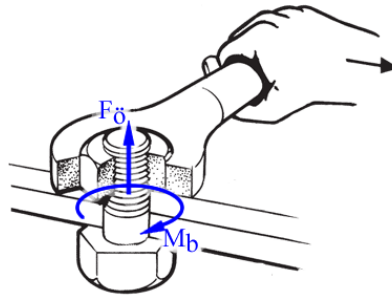
Şekil 2.22. Ön yüklemesiz durumdaki cıvata bağlantısı (Çayıroğlu, 2015).

$$\sigma = \frac{F}{A_1} \leq \sigma_{em} \quad (2.1)$$

$$\sigma_{em} = 0,6 \cdot \sigma_{Ak} \quad (2.2)$$

➤ Ön yükleme altında bağlantı

Cıvata-somun bağlantısı ile iki parçanın birleştirilmesi sırasında somunun boşluğunun alınmasından sonra anahtar yardımıyla sıkılmaya devam edilmesi halinde oluşan ön yüklemesiz kuvveti $F_{\bar{o}}$, cıvata şaftını aksel yönde zorlayacaktır. Aynı zamanda anahtarla uygulanan döndürme momenti M_d , cıvata şaftını burmaya çalışacak ve bu esnada şaft üzerinde M_b momenti oluşacaktır. Böylelikle cıvata şaftı hem aksel çekme gerilmesi, hem de çevresel burulma gerilmesi altında kalmış olacaktır.



Şekil 2.23. Ön yüklemeli durumdaki cıvata bağlantısı (Çayıroğlu, 2015).

- Diş dibi kesitinde meydana gelen $F_{\bar{o}}$ kuvvetinin oluşturduğu çekme normal gerilmesi değeri σ ;

$$\sigma = \frac{F}{A_1} = \frac{F}{\frac{\pi d_1^2}{4}} \quad (2.3)$$

- Diş dibi kesitinde M_d döndürme momentinin oluşturduğu Burulma kayma gerilmesi değerit;

$$\tau = \frac{M_b}{W_b} = \frac{F_0 \cdot \tan(\alpha + \gamma') \cdot r_2}{\frac{\pi d_1^3}{16}} \quad (2.4)$$

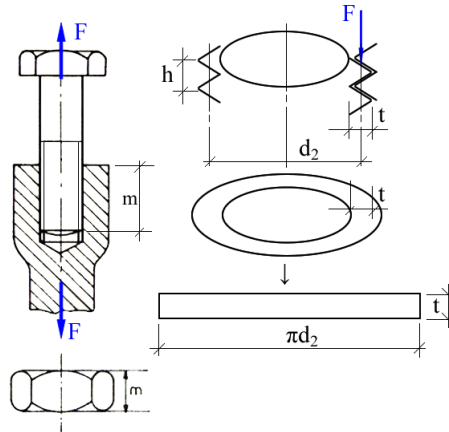
- Bir makine elemanı üzerine normal gerilmeler (σ) ile kayma gerilmeleri (τ) aynı anda etki ettiğinde her iki gerilmenin etkisini tek bir etkiye düşüren gerilme ($\sigma_{eş}$) bulunur ve bulunan eşdeğer gerilme, emniyet gerilmesinden düşük olmalıdır (Çayıroğlu, 2015).

$$\sigma_{eş} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \sigma_{em} \quad (2.5)$$

2.6.4.2. Dişlerin mukavemet kontrolü

➤ Vida diş yüzeyinin oluşan basınç nedeniyle ezilmesi

Cıvata aksenal yönde üzerine gelen yükleri taşıırken birbirine kenetlenmiş olan dişler, yüzeyleri üzerine basınç uygulamaktadırlar. Bu uygulanan basıncın fazla olması dişlerin ezilmesine sebep olmaktadır.



Şekil 2.24. Cıvata-somun bağlantısı (Çayıroğlu, 2015).

- Bir diş yüzeyine gelen yüzey basıncı şöyledir;

$$P = \frac{F}{A} \Rightarrow P = \frac{\frac{F}{z}}{\pi d_2 \cdot t} \Rightarrow P = \frac{F}{z \cdot \pi d_2 \cdot t} \leq P_{em} \quad (2.6)$$

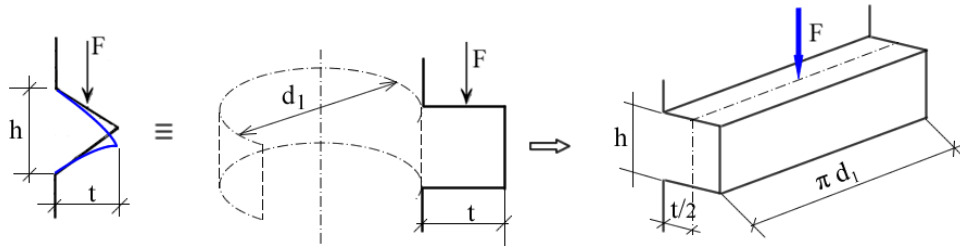
- Diş yüzeyinin basınç nedeniyle ezilmemesi için gerekli olan diş sayısı (z) ve olması gereken somun yüksekliği (m) şöyledir;

$$z = \frac{F}{P_{em} \cdot \pi d_2 \cdot t} \quad (2.7)$$

$$m = z \cdot h \quad (2.8)$$

➤ Vida dişinin eğilmesi

Vida dişi üzerinde diğer dişler tarafından uygulanan kuvvetler dişlerde eğilmeye neden olabilmektedir.



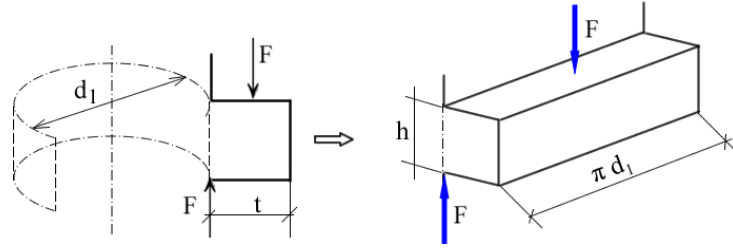
Şekil 2.25. Kare profilli vida-kuvvet durumu (Çayiroğlu, 2015).

- Bir diş üzerinde meydana gelen eğilme gerilmesi σ_e şöyle bulunmaktadır.

$$\sigma_e = \frac{M_e}{W_e} = \frac{M_e}{\frac{I_x}{c}} = \frac{\frac{F}{z} \cdot \frac{t}{2}}{\frac{\pi d_1 h^3}{12} \cdot \frac{h}{2}} = \frac{3 \cdot F \cdot t}{z \cdot \pi d_1 \cdot h^2} \leq \sigma_{em} \quad (2.9)$$

➤ Vida dişinin kesilmesi

Diş üzerindeki kuvvet diş dip kısmından kesmeye zorlayabilir. Vida dişi gibi kök kısmı bir yere sabit parçalarda, kuvvetin uygulandığı nokta kök kısmından ne kadar uzaksa eğilme o kadar önemli olmakta ve kuvvet uygulanan nokta kök kısmına ne kadar yakınsa kesme o kadar önemli hale gelmektedir. Cıvatalarda dişlerin mukavemet kontrolü hem eğilme hem de kesme için yapılsa da daha kritik olan yüzey basıncıdır.



Şekil 2.26. Kare profilli vida-kuvvet durumu (Çayıroğlu,2015).

$$\tau = \frac{F}{A} \Rightarrow \tau = \frac{F/z}{\pi d_1 \cdot h} \leq \tau_{em} \quad (2.10)$$

Buradaki h , diş dibi kesit alanının yüksekliğidir (Çayıroğlu, 2015).

Karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerle ilgili yapılan araştırmalar kesme parametrelerine bağlı olarak çoğunlukla malzeme yapısı gereği oluşan delaminasyon (yüzey hasarı) ile ilgilidir. Yapılan çalışmalarda kesme işlemi sırasında kompozit malzemelerde oluşan hasarların, kesme parametrelerine bağlı olarak malzeme yapısındaki elyaf bileşenin bozulmasıyla oluştuğu bildirilmiştir. Karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerin işlenmesi sırasında oluşan bu hasarlar, kompozit malzemenin diğer geleneksel malzemelere göre sahip olduğu üstün özelliklerin azalmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle yapılan çalışmalarda kesme parametrelerinin delaminasyon üzerindeki etkilerinin araştırıldığı ve ortaya çıkan hasarların minimize edilmesinin amaçlandığı görülmüştür. Bununla birlikte yapılan çalışmalarda zaman ve maliyet açısından tasarruf edilmesi için Taguchi deney tasarımının, optimum sonuçlar elde edilebilmesi için de varyans analizi ve regresyon analizinin kullanıldığı görülmüştür.

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerin genellikle havacılık ve uzay sanayisinde kullanıldığı belirlenmiştir. Bu alanda kullanılan malzemelerin birleştirilmesinde perçinli birleştirme ve yapıştırma teknikleri çok sık uygulanmaktadır. Perçinle birleştirme işlemi yapılmadan önce karbon

fiber takviyeli kompozit malzemelere delik delme işlemi uygulanmakta ve sonrasında perçin uygulaması yapılmaktadır. Fakat perçinleme ve yapıştırma tekniğiyle kompozit malzemeleri birleştirmenin yorulma, maliyet ve mukavemet açısından birçok dezavantajı mevcuttur.

Literatüre bakıldığında daha çok kesme parametrelerinin ve elyaf açılarının deformasyon üzerine etkileri incelenmiştir. Takım tipi ve kesici ağız sayısına bağlı çalışmanın sınırlı olduğu görülmüştür. Yapılan bu çalışmada karbon fiber takviyeli kompozit malzemenin farklı kesici ağız sayısında frezelenmesi, delik delinme işlemi ve klavuz çekme ile vidalı birleştirme yeteneği deneysel olarak araştırılmıştır.

Öte yandan karbon fiber takviyeli kompozit malzemelere perçin ve yapıştırma tekniğiyle sökülemeyen birleştirmeden doğan olumsuzluklara alternatif sökülebilen bir teknik olan vidalı birleştirme yeteneğinin araştırılması ana motivasyon kaynağımızı oluşturmuştur. Literatürde yapılan birleştirmeler daha çok cıvata ve somun çiftiyle yapılan çalışmalardır. Bu tür konstrüksiyonlar sınırlı konstrüksiyonlardır. Karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerin vidalı birleştirme yeteneğinin incelenmesi sırasında numunelerin statik basma ve dinamik sıyırma sırasında oluşan itme kuvveti, moment ve kesme gerilmesi artan metrik ölçüye göre nasıl oluşacağı ve limitleri belirlenmesi amaçlarımızın temelini oluşturmaktadır.

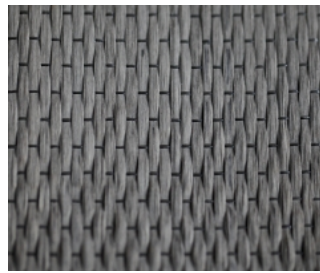
3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde deneylerde kullanılan karbon fiber takviyeli kompozit numunenin işlenebilirliği ile vidalara uygulanan statik basma deneyleri ve dinamik sıyırma deneylerinden bahsedilecektir. Ayrıca işlenebilirlik deneyinde kullanılan numunelerin üretilmesi, deneylerde kullanılan cihazlar ve donanımlar, kesici takımlar ve kesme parametreleri ile Taguchi deney düzeneği ve Anova metoduna yer verilmiştir.

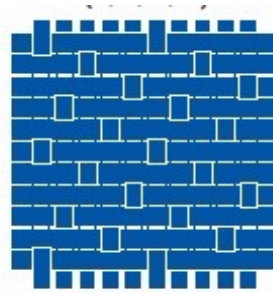
3.1. İşlenebilirlik Deneyleri

3.1.1. Deney numuneleri

Bu çalışmada havacılık ve uzay sanayisinde kullanılan karbon fiber takviyeli kompozit malzeme numune olarak kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kompozit numuneler, 180°C sıcaklıkta pişen tek yönlü karbon bant ($195 \text{ gr}/\text{m}^2$) ve 180°C sıcaklıkta pişen 5'li örgülü karbon kumaşlardan ($450 \text{ gr}/\text{m}^2$) üretilmiştir. Tabakalı kompozit levhalar %60 oranında elyaf içermektedir. 10 mm kalınlığındaki plakalar, 0.25 mm kalınlığında ve farklı fiber yönlenmesine (0-90-45-135°) sahip 40 katlı prepregler kullanılarak hazırlanmıştır. Elle yatırma işleminden sonra vakum torbası yöntemiyle vakumlanarak otoklava yüklenmiş ve otoklava verilen plakalar 6 bar basınç ve 180°C altında kür edilmiş ve kullanıma hazır hale getirilmiştir. Kürlenen numuneler daha sonra 2x2 cm ebatlarında kesilerek numuneler elde edilmiştir.



(a)



(b)

a) Tek yönlü karbon bant b) 5'li örgülü karbon kumaş

Şekil 3.1. Deney numunesinin üretilmesinde kullanılan malzemeler (Hexcel, 2013).

3.1.2. Deneylerde kullanılan cihaz ve donanımlar

Deneyler Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Laboratuvarlarda yapılan deneyler, Sun-Mill CNC dik işleme merkezinde kuru koşullar altında yapılmıştır. İşleme sonrasında yüzey pürüzlülük ölçümleri ise Yamer (Surftest PST 200) marka yüzey pürüzlülük cihazında yapılmıştır.

Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan cihaz ve donanımlar

Cihaz /Donanım	Özellik
Tezgâh	Sun-Mill dik işleme merkezi,
Yüzey pürüzlülük cihazı	Yamer Surftest PST 200, 39 pürüzlülük parametresi, 17.5 mm tarama alanlı standart sürücü ünitesi, 0.4 gf temas kuvveti, elmas uç malzemeli, uç açısı 90°, 0.25-0.8-2.5 mm numune alma uzunluklu cihaz



Şekil 3.2. Deneylerde kullanılan yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

3.1.3. Deneylerde kullanılan kesici takımlar

Kompozit malzemelerin heterojen yapılarından dolayı işlenebilirliği geleneksel malzemelere göre oldukça zordur. Bu sebeple kompozit malzemelerin işlenmesinde kesici takım ve kesme parametrelerinin seçimi oldukça önemlidir. Yapılan deneylerde kesici takım olarak 8 mm çapında helisel2, 4 ve 6 ağızlı olmak üzere 3 farklı kaplamasız tungsten karbür freze ucu kullanılmıştır.

Çizelge 3.2. Deneylerde kullanılan kesici takımlar

Kesici Takım	Çap (mm)	Takım No	Ağız Sayısı	Kesici Takım Boyu (mm)
Kaplamasız Tungsten Karbür	8	1	2	72
Kaplamasız Tungsten Karbür	8	2	4	72
Kaplamasız Tungsten Karbür	8	3	6	72



Şekil 3.3. Deneylerde kullanılan kesici takım uçları (2, 4 ve 6 ağızlı).

3.1.4. Deney parametreleri ve işleme stratejisi

Deney parametreleri literatürde bulunan önceki çalışmalar ışığında ve kesici takımlar kataloglarından yararlanılarak deney parametreleri belirlenmiştir. Deneylerde üç farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme değeri kullanılmıştır. 2x2 cm boyutlarındaki numuneler öncelikle 8 mm çaplı matkapla delinmiş ardından takım değiştirilerek dairesel enterpolasyon ile frezeleme işlemi yapılarak 8 mm'lik delikler 10 mm ye genişletilmiştir. Daha sonra aynı takımla numunenin yan yüzeyi 1mm talaş derinliğinde frezelenerek (Şekil 4.1) bu yüzeyde oluşan yüzey pürüzlülükleri incelenmiştir.

Çizelge 3.3. Kesme parametreleri

Kesme Hızı (m/dk)	40	80	120
İlerleme (mm/dev)	0.04	0.08	0.12

Deney tasarımında literatürde kabul gören ve yaygın kullanıma sahip Taguchi metodu kullanılmıştır. Taguchi yöntemi gerçek deneysel çalışmalarda deney sayısını azaltarak etkili ve ekonomik bir deneysel çalışma imkânı sağlayan metodolojidir. Bu yöntem ilk olarak Dr. Genichi Taguchi tarafından geliştirilmiştir.

Taguchi yöntemi farklı parametrelerin, farklı seviyeleri arasından en iyi kombinasyona ulaşmak için kullanılan metottur. Bu yöntem karar vermeyi gerektiren birçok durumda başarı ile uygulanmaktadır. Klasik deneylerde deney sayısının artması ve dolayısıyla maliyetlerin artmasına sebep olmaktadır. Taguchi yöntemiyle hedef doğrultusundaki değişkenler azaltılmakta ve maliyet ile zamandan tasarruf sağlanmaktadır. Taguchi yöntemi 3 deney tasarımı üzerine kurulmuştur. Bunlar;

- Sistem tasarımı, eldeki materyallerin değerlendirildiği kavram oluşturma aşamasıdır.
- Parametre tasarımı, üretilecek ya da geliştirilecek ürünlerin özelliklerinin en iyi seviyeye getirilmesi için üretim aşamasında kullanılan parametrelerini iyileştirilmesi aşamasıdır.
- Tolerans tasarımı, parametre belirleme çalışmaları sonucu istenilen hedefe ulaşılmadığında yapılan çalışmalardır.

Taguchi deney tasarımında ürünün kalitesini etkileyecek kontrol edilemeyen parametrelere karşı kontrol parametrelerinin seviyelerinin ölçülmesinde, amaç fonksiyonuna ait değerler sinyal/gürültü (S/N) oranlarına dönüştürülmektedir. Taguchi kayıp fonksiyonu olarak da bilinen ve deneysel verilerin değerlendirilmesinde önemli bir kıstas olan 3 farklı amaca uygun S/N fonksiyonu bulunmaktadır (Morkavuk, 2016).

En düşük (küçük) en iyi olduğu durumda:

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (3.1)$$

En yüksek büyük en iyi olduğu durumda:

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (3.2)$$

Nominal en iyi olduğu durumda:

$$S/N = 10 \log \left(\frac{\bar{y}^2}{S^2} \right) \quad (3.3)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (3.4)$$

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (3.5)$$

Eşitliklerde;

y_i , performans yanıtının i. gözlem değeri

n, bir denemedeki test sayısı

\bar{y} , gözlem değerinin ortalaması

S^2 , gözlem değerinin varyansını ifade etmektedir.

Bu deneysel çalışmada Taguchi L_9 deney tasarım ortogonal dizini kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan parametre sayısı $p=3$ seviye ise 3tür. Dolayısı ile $3^3=27$ faktöriyel deney taguchi deney tasarımıyla aşağıda belirtilen dizideki 9 deneyle yapılabilmektedir.

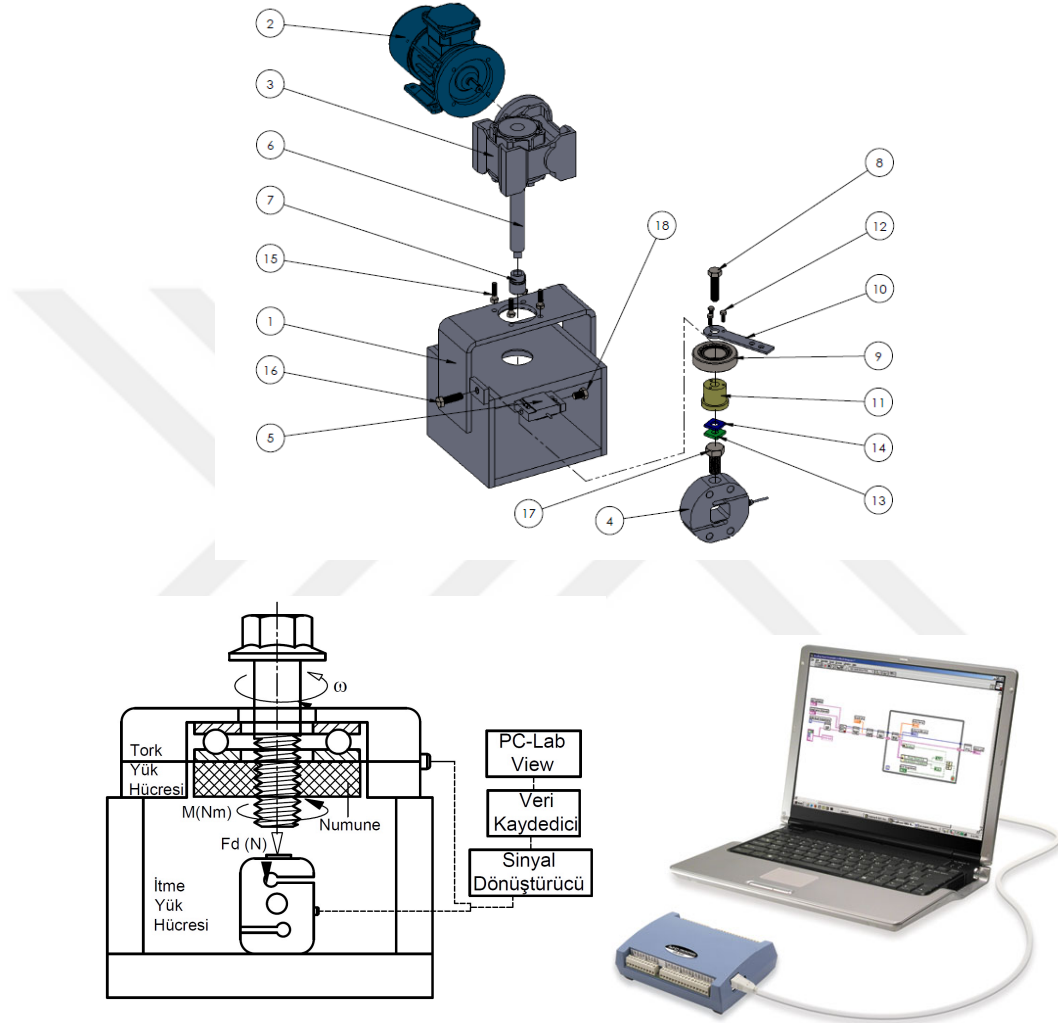
Çizelge 3.4. Taguchi L_9 ortogonal tasarım matrisi ve parametre seviyeleri

Deney No	A (T)	B (V)	C (F_z)	T	V	F_z
1	1	1	1	2	40	0.04
2	1	2	2	2	80	0.08
3	1	3	3	2	120	0.12
4	2	1	2	4	40	0.08
5	2	2	3	4	80	0.12
6	2	3	1	4	120	0.04
7	3	1	3	6	40	0.12
8	3	2	1	6	80	0.04
9	3	3	2	6	120	0.08

Deneysel parametrelerinin sonuçlar üzerindeki etkisini yüzdesel olarak tespit etmek için varyans analizi (ANOVA) metodundan yararlanılmıştır. Bu metot Fisher tarafından geliştirilmiş ve deneysel verilerin yorumlanmasında kullanılmıştır. ANOVA toplam varyasyonu bileşenlerine ayıran matematiksel bir yöntemdir. Bu yöntemle sonuç değişkenlerinin karelerigruplar halinde toplanarak toplam varyasyonlar belirlenmektedir. Taguchi deney tasarımıdan sonra varyans analizi ile sonuç değişkenlerinin sistem üzerindeki etkisi hesaplanarak en uygun parametrenin seçimi yapılmıştır.

3.2. Dinamik Sıyırma Deneyi

Dinamik basma deneyleri Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi laboratuvarlarında özel hazırlanmış deney setinde yapılmıştır. Deney seti Şekil 3.4 te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Dinamik sıyırma için hazırlanan deney seti, Şematığı ve Veri kaydedici (Daq) ve ara yüzü

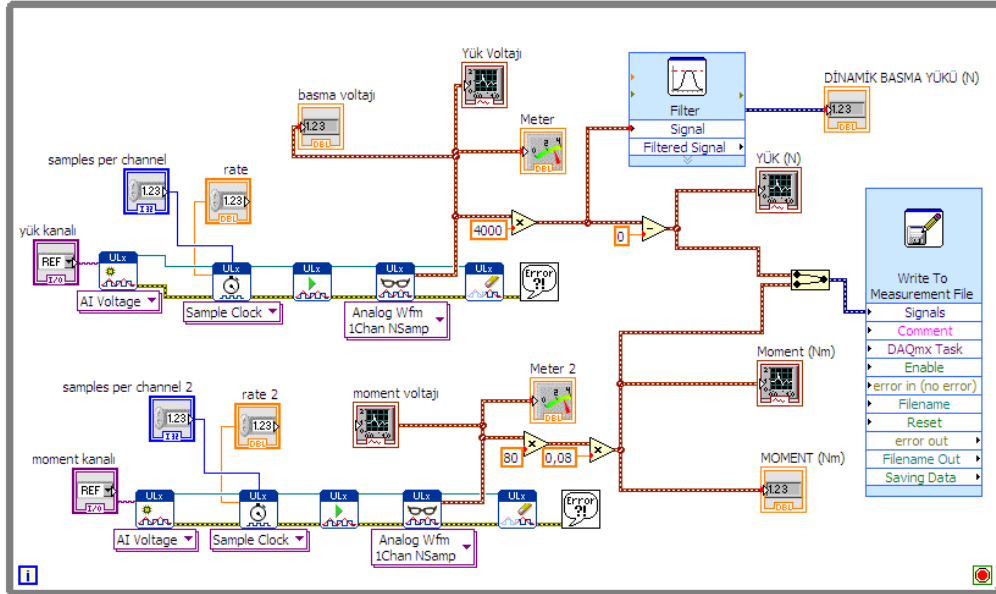
Bu deney düzeneği ile vidalarda elde edilen moment ve itme kuvveti deney düzeneğinde bulunan 2 adet loadcell vasıtasıyla eş zamanlı olarak Daq karta aktarılmıştır. Aktarılan veriler oradan da bilgisayara anlık olarak iletildi ve anlık olarak elde edilen veriler de Selçuk Üniversitesi ISOMER Laboratuvarında lisansı bulunan LAB-WIEV yazılımıyla grafiğe dönüştürülmüştür. Deney setini oluşturan malzemeler aşağıda belirtilmiştir.

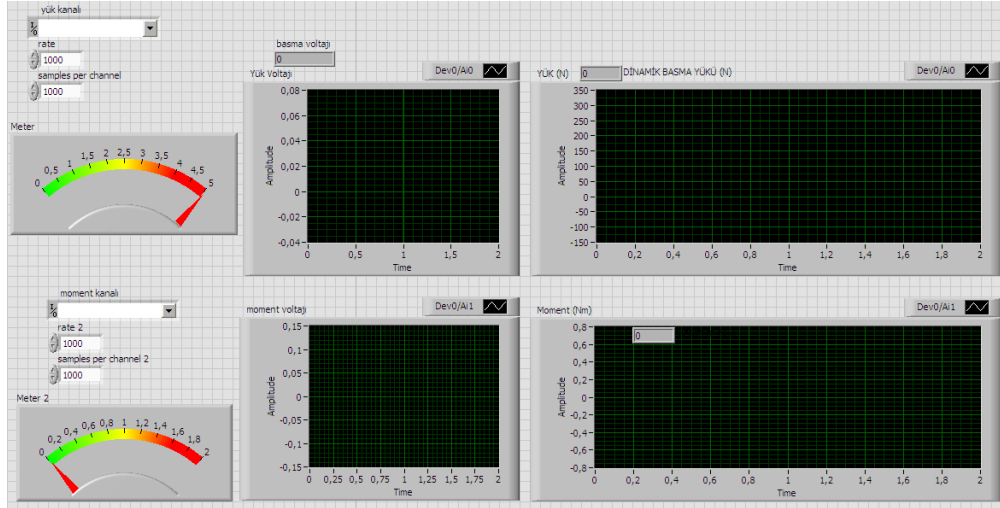
Çizelge 3.5. Deney setini oluşturan malzeme listesi

No	Malzeme Adı	No	Malzeme Adı
1	Redüktör ve Motor Yataklama Düzeneği	10	Moment Kolu
2	Elektrik Motoru	11	Moment Kolu Yataklama Burcu
3	Redüktör	12	Moment Kolu Bağlantı Cıvatası
4	Loadcell 4Ton	13	Kompozit Malzeme Deney Numunesi
5	Loadcell 80Kg	14	Deney Numune Altlığı
6	Lokma Faturalı Mil	15	Redüktör Bağlantı Cıvatası
7	Muhtelif Lokma Çeşitleri	16	80 Kg Loadcell Bağlantı Cıvatası
8	Deney Numune Cıvatası	17	4 Ton Loadcell Bağlantı Cıvatası
9	Rulman 32208	18	Moment Kolu Dayama Cıvatası

Çizelge 3.6. Dinamik basma deneyinde kullanılan cihaz ve donanım özellikleri

Cihaz /Donanım	Özellikler
Yük loadcell	4 Ton kapasiteli, Çalışma sıcaklığı -35°C to $+65^{\circ}\text{C}$, Besleme voltajı 5V to 12V , Giriş direnci $385\pm 10\Omega$, Çıkış direnci $350\pm 3\Omega$, Koruma sınıfı IP67
Moment loadcell	80 Kg kapasiteli, Çalışma sıcaklığı -35°C to $+65^{\circ}\text{C}$, Besleme voltajı 5V to 12V , Giriş direnci $385\pm 10\Omega$, Çıkış direnci $350\pm 3\Omega$, Koruma sınıfı IP67
USB Daq Kart	50 ks/s örnekleme oranı, 16 dijital I/O One, 32-bit counter, Two 12-bit analog I, DAQami, TracerDAQ, Universal Library, Visual C++®, MATLAB®, DASyLab®, NI LabVIEW™ ve Linux® yazımlarına uyumlu
Transmitter	Çalışma voltajı 14-28V, Load cell beslemesi 12V, mV to 10V dönüştürme
Elektrik motoru	3 Fazlı 0.75 Watt elektrik motoru
Redüktör	ESV Serisi $i=20$ sonsuz dişli redüktör

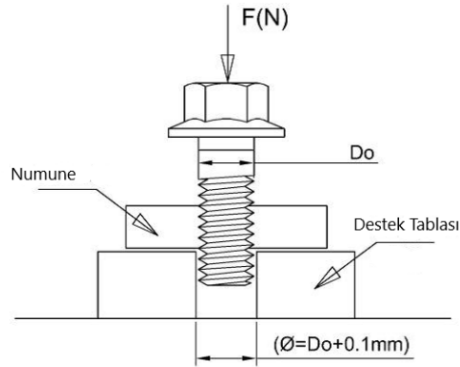




Şekil 3.5. Lab-View blok diyagramı ve veri alma arayüzü

3.3. Statik Basma Deneyi

Statik basma deneyleri Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi laboratuvarlarında bulunan Shimadzu AG-X marka çekme-basma cihazında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde basma kuvvetleri bu cihazda ölçülmüş ve numunelerin uygulanan kuvvet ile şekil değişimi incelenmiştir.



Şekil 3.6. Statik basma testi şeması.

Kılavuz çekilen delikler önceden belirlenmiş matkap ucuyla delinmiş ve dairesel enterpolasyon ile aşağıda belirtilen D_0 ölçülerine genişletilmiştir. Kılavuz çekme işleminde kullanılan vidalar 1 ila 2 mm aralığında hatveye sahip olup vida özellikleri aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Çizelge 3.7.Deneyde kullanılan civata ve numune ölçüleri

METRİK	CIVATA DIŞ ÜSTÜ ÇAPI (D₀)	NUMUNE DIŞ DİBİ ÇAPI (D_i)	HATVE
M6x1	5,88	4,88	1
M8x1	7,86	6,86	1
M8x1,25	7,87	6,62	1,25
M10x1	9,88	8,88	1
M10x1,25	9,88	8,63	1,25
M10x1,5	9,88	8,38	1,5
M12x1,25	11,84	10,59	1,25
M12x1,5	11,88	10,38	1,5
M12x1,75	11,92	10,17	1,75
M14x1,75	13,75	12,25	1,5
M14x2	13,9	11,9	2



4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde karbon fiber takviyeli kompozit malzemelere yapılan işlenebilirlik deneylerinin sonuçları ile vidalara uygulanan statik ve dinamik basma deney sonuçlarına yer verilmiştir.

4.1. İşlenebilirlik Deney Sonuçları

Yapılan deneylerde karbon fiber takviyeli kompozit malzemenin frezelenmesi esnasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve yüzey hasarı üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

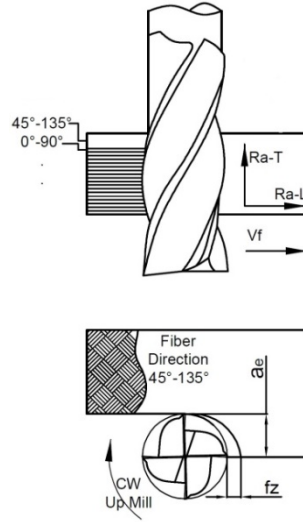
Taguchi L9 deney düzeneğine göre 9 adet deney yapılmıştır. Deneylerde girdi olarak takım tipi, kesme hızı ve ilerleme değerleri kullanılarak deneyler sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü ve yüzey hasarları ile ilgili değerlendirmelerde bulunulmuştur.

4.1.1. Yüzey pürüzlülüğü analizi

Yüzey pürüzlülüğü analizinde numuneler Taguchi deney tasarımı parametrelerine göre frezeleme ve delik delme işleme tabi tutulmuştur. Frezeleme yüzeyleri takım ilerlemesi ve takıma dik yönde pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Deneylerde elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri Taguchi ve Varyans analiz yöntemleri ile analiz edilmiştir. Taguchi yönteminde cevap tablosu ve grafiğinin elde edilmesi için aşağıdaki “ en küçük en iyi” “Smaller is better” formülü kullanılmıştır.

$$S/N = -10 \log \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (4.1)$$

Yüzey pürüzlülüğü Aritmetik Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü R_a , kullanılarak ölçülmüştür. Takım ilerleme yönündeki yüzey pürüzlülüğü R_{aL} ve dik yöndeki yüzey pürüzlülüğü R_{aT} şeklinde ifade edilmiştir. Bu gösterim ve frezeleme yöntemi aşağıdaki şekil4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Uygulanan freze yöntemi ile R_{aT} ve R_{aL} gösterimi

4.1.1.1. Dik yöndeki yüzey pürüzlülüğü analizi (R_{aT})

Takım ilerleme yönüne dik ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri ve bu değerlere ait Sinyal / Gürültü (S/N) değerleri tablosu aşağıda verilmiştir.

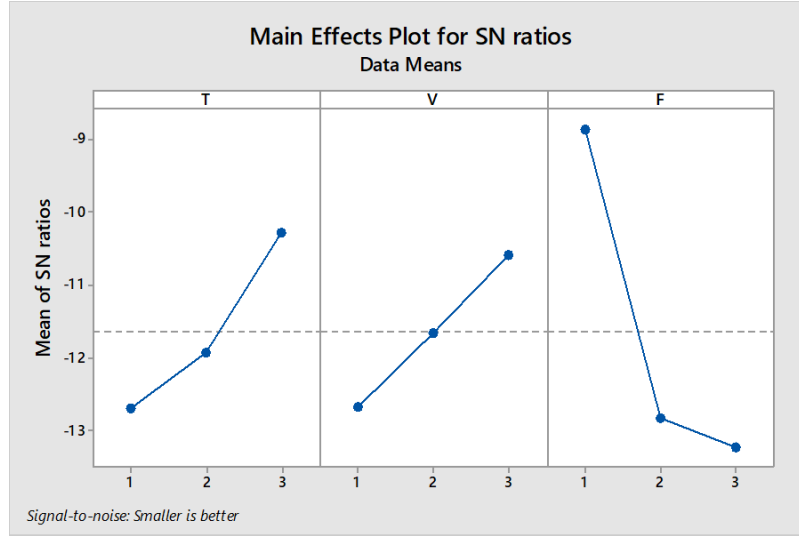
Çizelge 4.1. R_{aT} değerlerine ait Taguchi S/N oranı.

T	V	F _z	R _{aT}	S/N
1	1	1	3,89	-11,799
1	2	2	4,48	-13,0256
1	3	3	4,6	-13,2552
2	1	2	5,1	-14,1514
2	2	3	5,25	-14,4032
2	3	1	2,3	-7,23456
3	1	3	4	-12,0412
3	2	1	2,38	-7,53154
3	3	2	3,67	-11,2933

Yukarıda verilen değerler kullanılarak cevap tablosu ve cevap grafiği belirlenmiştir. Bu işlemler için Minitab istatistik analiz programı kullanılmıştır. Tabloda * ile gösterilen değerler ilgili parametreye ait optimum seviyeyi belirtmektedir.

Çizelge 4.2. R_{aT} değerlerine ait S/N değerleri cevapları

Level	T	V	F _z
1	-12,693	-12,664	-8,855*
2	-11,93	-11,653	-12,823
3	-10,289*	-10,594*	-13,233
Delta	2,405	2,07	4,378
Rank	2	3	1



Şekil 4.2. R_aT değerlerine ait S/N değerleri için cevap grafiği

Yukarıdaki tablodan da anlaşılacağı gibi en etkili parametreler Rank sırasına göre belirlenmiştir. Rank 1, diş başına ilerleme Rank 2, takım tipi ve Rank 3 ise kesme hızıdır. Eğimi en fazla olan grafik sonuç üzerinde en etkili parametredir. Bu tablodan çıkarılabilecek ikinci sonuç ise optimum parametre seviyesinin belirlenmesidir. Yukarıdaki veriler ışığında yüzey pürüzlülüğünün en düşük olması muhtemel parametre seviyeleri takım tipinin 3. kesme hızının 3. ve ilerleme hızının 1. seviye olduğu seviyeler olarak tespit edilmiştir (L331). Fakat yapılan 9 deney içerisinde L331 deneyi olmadığı için bu seviyedeki deney sonucu Formül 1'in tersten yürütülerek hesaplanmasıyla ya da yapılacak bir doğrulama deneyi sonucunda bulunabilir. Bu hesaplama işlemi için Formül 1'in tersten yürütülmesi için gürültü (n) değerinin bulunması gerekmekte olup (n) değeri aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$\eta_{opt} = \eta_m + \sum_{j=1}^k (\eta_j - \eta_m) \quad (4.2)$$

Bu formülle elde edilen gürültü değeri Formül 1'de yerine konularak sinyal değeri elde edilebilir. Hesaplamalar neticesinde elde edilen yüzey pürüzlülük değeri 2,1 µm olarak hesaplanmıştır.

Bu sonuçların daha detaylı irdelenmesi ve ölçümler arasındaki değişimlerin hangi faktörlerden kaynaklandığını tespit etmek için varyans analizi uygulanmıştır. Varyans analizine ait tablo aşağıda belirtilmiştir.

Çizelge 4.3. R_aT değerlerine ait Varyans analiz tablosu

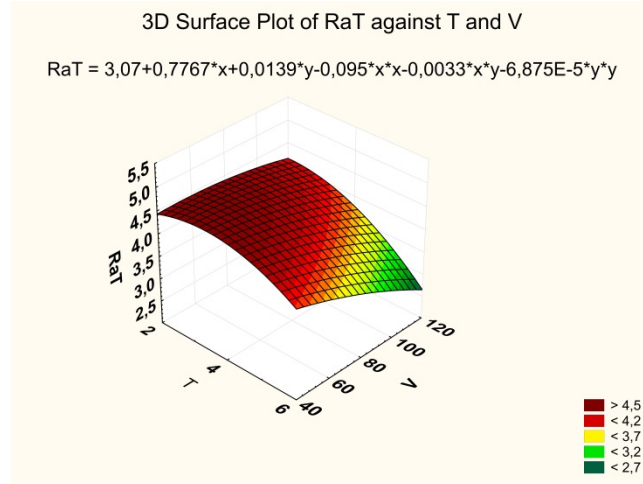
KAYNAK	SERBESTLİK DERECESİ	KARELER TOPLAMI	KARELER ORTALAMASI	F	P	% ETKİ
T	2	1,7099	0,8549	2,43	0,292	19,02769
V	2	1,0003	0,5001	1,42	0,413	11,13114
F _z	2	5,5712	2,7856	7,9	0,112	61,99728
Hata	2	0,7049	0,3524			
Toplam	8	8,9862		R ² =92,01		

Yukarıdaki tabloda kareler ortalaması, serbestlik derecesine bölünerek bulunmuştur. Varyans analizinin test istatistiği olan F değerleri gruplar arası kareler ortalamasının grup içi kareler ortalamasına bölünmesiyle bulunmuştur.

Varyans analizinde bir parametrenin tepki üzerinde etkili olup olmadığına P (önem/olasılık) değerine bakılarak anlaşılır. P<0.05 değeri olduğunda parametrenin tepki üzerinde etkili olduğu sonucuna ulaşılır. Her bir faktörün toplam varyans üzerinde olan etkileri Çizelge 4,3'te “% Etki” olarak belirtilmiştir. Pürüzlülüğe ait regresyon denklemlerinin tahmin yeteneklerini gösteren R² ifadesi % 92,01 bulunduğu ve bu değer % 90'dan fazla olması tüm tepki değerlerinin % 95 güven aralığı içinde gerçeğine en yakın değerlerde tahmin edilmesine olanak sağlamıştır.

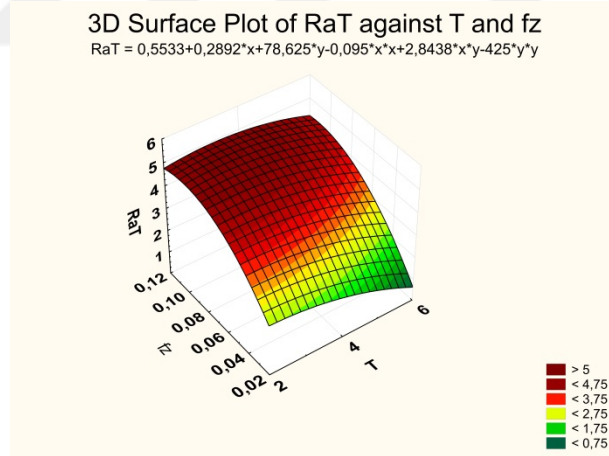
Yukarıdaki tablodan da anlaşıldığı gibi sonuç üzerinde en etkili parametre %61,99 ile F_zdiş başına ilerleme parametresidir. Daha sonra % 19 ile T takım tipi ve % 11,13 ile V kesme hızı parametresi gelmektedir.

Parametrelerin etkileşimli olarak sonuç üzerine nasıl etki ettiğini görebilmek için 3 boyutlu yüzey grafikleri çizilmiştir. Bu grafikler ile Takım tipi- Kesme hızı ile Takım tipi- İlerleme etkileşiminin sonuç üzerine etkileri görülebilmektedir. Elde edilen bu grafiklerle regresyon analizine gerek duymadan yüzey denklemini kullanarak deney parametrelerinin dışındaki ara değerler için yapılamayan deneylerin tahmin edilmesi sağlanır. Yüze ait 2. Derece denklemler grafiğin üzerinde belirtilmiştir.



Şekil 4.3 Deney parametrelerinin (T-V) R_aT üzerine olan etkilerinin 3D yüzey grafiği

Şekil 4.3’de verilen grafik incelendiğinde takım ağız sayısının ve kesme hızının azalmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir. Minimum R_aT değerinin oluşması için kesme hızının ve takım ağız sayısının artırılması gerekmektedir. Cevap yüzeylerinin şekline bakıldığında ise takım tipinin kesme hızından daha etkili parametre olduğu anlaşılmaktadır. Düşük kesici ağız sayılarında ise kesme hızının etkisi azalmaktadır.



Şekil 4.4. Deney parametrelerinin ($F_z - T$) R_aT üzerine olan etkilerinin 3D yüzey grafiği

Şekil 4.4’de verilen grafikler incelendiğinde ilerleme değerlerinin artmasıyla ve takım ağız sayısının azalmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir. Minimum R_aT değerinin oluşması için ilerleme değerinin azalması ve takım ağız sayısının artırılması gerekmektedir. Cevap yüzeylerinin şekline bakıldığında ise diş başına ilerlemenin takım tipinden daha etkili parametre olduğu anlaşılmaktadır. Bu sonuç daha önce yapılan varyans analizi ile de uyumluluk göstermektedir.

4.1.1.2. Takım ilerleme doğrultusunda oluşan yüzey pürüzlülük analizi (R_aL)

Takım ilerleme yönüne paralel ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri ve bu değerlere ait Sinyal/Gürültü (S/N) değerleri tablosu aşağıda verilmiştir.

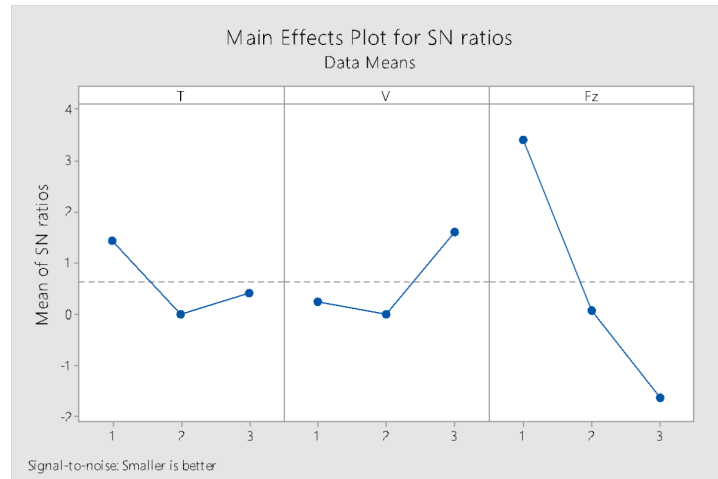
Çizelge 4.4. R_aL değerlerine ait Taguchi S/N oranı

T	V	F _z	R _a L	S/N
1	1	1	0,63	4,013189
1	2	2	0,9	0,91515
1	3	3	1,07	-0,58768
2	1	2	1,22	-1,7272
2	2	3	1,37	-2,73441
2	3	1	0,6	4,436975
3	1	3	1,2	-1,58362
3	2	1	0,81	1,8303
3	3	2	0,89	1,0122

Yukarıda verilen değerler kullanılarak cevap tablosu ve cevap grafiği belirlenmiştir. Bu işlemler için Minitab istatistik analiz programı kullanılmıştır.

Çizelge 4.5. R_aL değerlerine ait S/N oranları.

Level	T	V	F _z
1	1,44689*	0,23412	3,42682*
2	-0,00821	0,00368	0,06672
3	0,41962	1,6205*	-1,63524
Delta	1,4551	1,61682	5,06206
Rank	3	2	1



Şekil 4.5. R_aL değerlerine ait S/N değerleri için cevap grafiği

Yukarıdaki tablodan da anlaşılacağı gibi en etkili parametreler Rank sırasına göre belirlenmiştir. Rank 1 dış başına ilerleme Rank 2 kesme hızı ve Rank 3 ise takım tipidir. Eğimi en fazla olan grafik sonuç üzerinde en etkili parametredir. Bu tablodan çıkarılabilecek ikinci sonuç ise optimum parametre seviyesinin belirlenmesidir. Yukarıdaki veriler ışığında yüzey pürüzlülüğünün en düşük olduğu takım tipinin 1., kesme hızının 3. ve ilerleme hızının 1. seviye olduğu tespit edilmiştir (L131). Fakat yapılan 9 deney içerisinde L131 deneyi olmadığı için daha önceki R_aT değerinin uygulanmasındaki işlem prosedürleri tekrar uygulanmıştır. Bu hesaplamalar neticesinde elde edilen yüzey pürüzlülüğü değeri $0,546 \mu\text{m}$ olarak hesaplanmıştır.

Bu sonuçların daha detaylı irdelenmesi ve ölçümler arasındaki değişimlerin hangi faktörden kaynaklandığını tespit etmek için varyans analiz yöntemi uygulanmıştır. Varyans analizine ait tablo aşağıda belirtilmiştir.

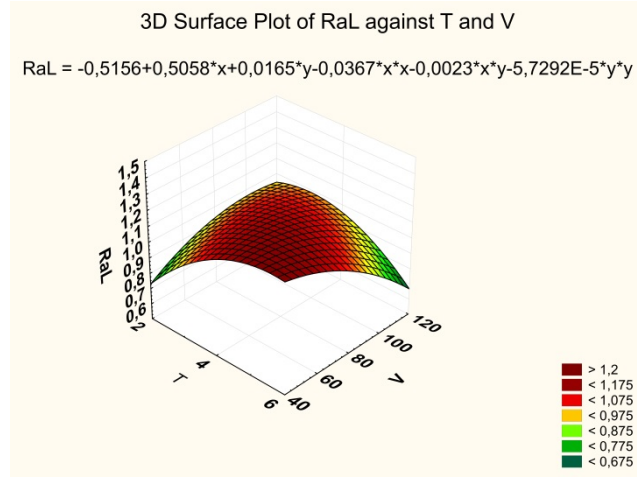
Çizelge 4.6. R_aL değerine ait Varyans analiz tablosu

KAYNAK	SERBESTLİK DERECESESİ	KARELER TOPLAMI	KARELER ORTALAMASI	F	P	ETKİ (%)
T	2	0,05802	0,02901	2,17	0,315	10,09746
V	2	0,05682	0,02841	2,13	0,32	9,888622
F_z	2	0,43309	0,21654	16,23	0,058	75,36932
Hata	2	0,02669	0,01334			
Toplam	8	0,57462		$R^2 = 95,32$		

Pürüzlülüğe ait regresyon denklemlerinin tahmin yeteneklerini gösteren R^2 ifadesi 95,32 bulunması ve bu değer % 90'dan fazla olması tüm tepki değerlerinin %95 güven aralığı içinde gerçeğine en yakın değerlerde tahmin edilmesine olanak sağlamıştır.

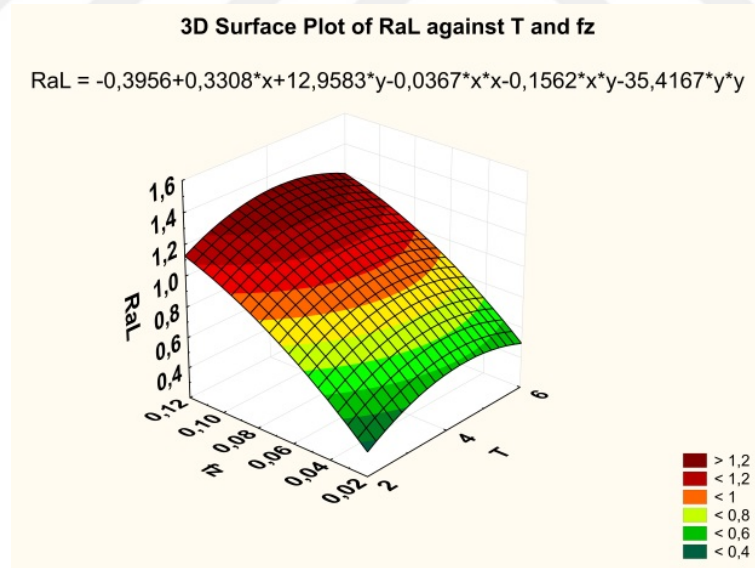
Yukarıdaki tablodan da anlaşıldığı gibi sonuç üzerinde en etkili parametre % 75,369 ile F_z dış başına ilerleme parametresidir. Daha sonra %10,09 ile takım tipi ve %9,88 ile kesme hızı parametresi gelmektedir.

Parametrelerin etkileşimli olarak sonuç üzerine nasıl etki ettiğini görebilmek için 3 boyutlu yüzey grafikleri çizilmiştir. Bu grafikler ile Takım tipi- Kesme hızı ile Takım tipi-İlerleme etkileşiminin sonuç üzerine etkileri görülebilmektedir. Elde edilen bu grafiklerle regresyon analizine gerek duymadan yüzey denklemini kullanarak deney parametrelerinin dışındaki ara değerler için yapılamayan deneylerin tahmin edilmesi sağlanır. Yüzeğe ait 2. Derece denklemler grafiğin üst kısmında belirtilmiştir.



Şekil 4.6. Deney parametrelerinin (T-V) R_{aL} üzerine olan etkilerinin 3D yüzey grafiği

Şekil 4.6 içerisinde verilen grafikler incelendiğinde takım ağız sayısının artması ve kesme hızının azalmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir. Benzer sonuçların yüksek kesme hızı ve yüksek ağız sayısında da görülmüştür. Minimum R_{aL} artırılması gerekmektedir. Cevap yüzeylerinin şekline bakıldığında ise takım tipi ve kesme hızının aynı oranda etkili bir parametre olduğu anlaşılmaktadır.



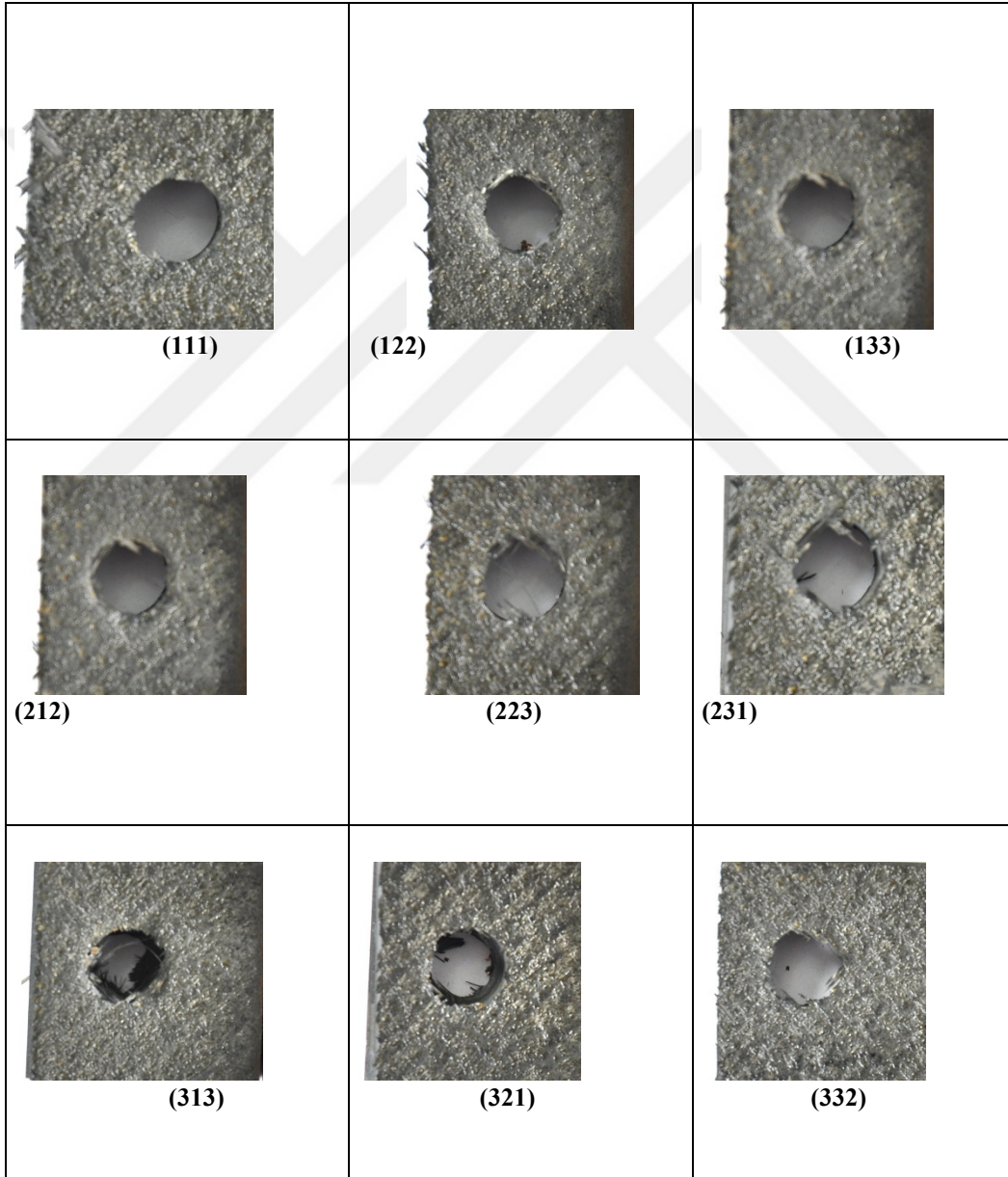
Şekil 4.7. Deney parametrelerinin ($F_z - T$) R_{aL} üzerine olan etkilerinin 3D yüzey grafiği

Şekil 4.7 içerisinde verilen grafikler incelendiğinde ilerleme değerinin ve takım ağız sayısının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerinin arttığı görülmektedir. Minimum R_{aL} değerinin oluşması için ilerleme değeri ile takım ağız sayısının azaltılması

gerekmektedir. Cevap yüzeylerinin şekline bakıldığında ise ilerleme değerinin takım tipinden daha etkili bir parametre olduğu anlaşılmaktadır.

4.1.2. Yüzey hasar analizi

Deney numunelerine ait makro çekim görüntüleri Şekil 4.8’de verilmiştir. Kompozelerin hasar mekanizmaları incelendiğinde literatürde tip 1-2-3 delaminasyon mekanizmaları görülmektedir.



Şekil 4.8. Deney numunelerine ait makro görüntüleri

Numunelerin delik kenarları incelendiğinde genel hasar mekanizmasının Tip 2 ve Tip 3 şeklinde olduğu görülmektedir. Yapılan deneylerde Tip 1 delaminasyon hasarı oluşmadığından literatürde gözlemlenen deformasyon çapı/işlenen çap şeklinde hesaplanan delaminasyon faktörü bu deneylerde hesaplanamamıştır. Delaminasyon faktörünün hesaplanamamasından dolayı sayısal bir hasar mekanizması incelenmesi yapılamamıştır.

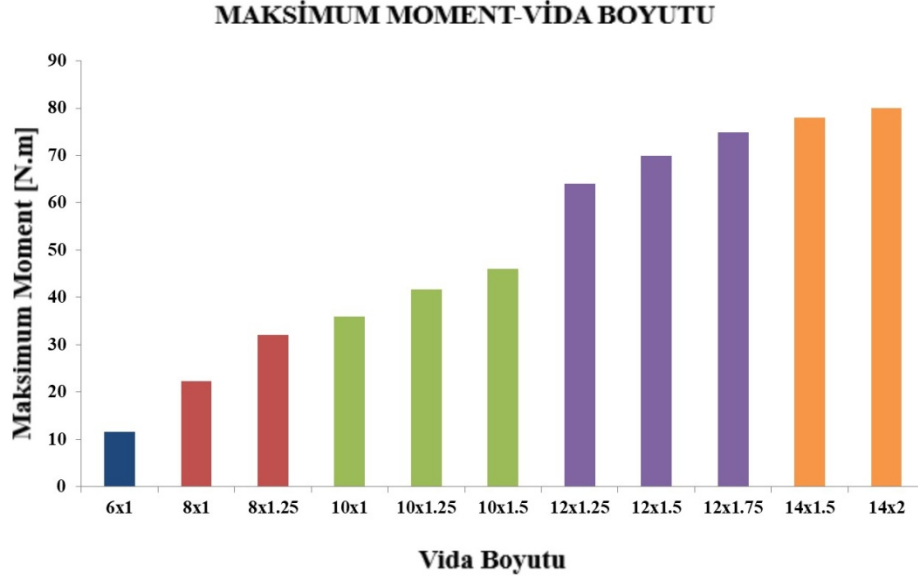
Yapılan deneylerin sonucunda ilerlemenin düşük olduğu 1-6-8 numaralı numunelerde deformasyonun daha az olduğu açıkça görülmektedir. Kesici ağız sayısına bakılarak yapılan kıyaslamada numuneler arasında çok ciddi farklılıkların oluşmadığı ve benzer deformasyon miktarlarının olduğu görülmektedir. Fakat 6 ağızlı kesici takımın 2 ağızlı kesici takımdan 3 kat daha fazla ilerleme hızı oluşturduğu göz önüne alındığında yüksek kesici ağız sayılı takımların kullanılması işleme zamanını oldukça kısıltacağı ve deformasyonda olumsuz bir etki yaratmayacağı anlaşılmaktadır. Benzer durum kesme hızları için de söylenebilir. Yüksek kesme hızları deformasyon açısından çok bir etki yaratmadığından işleme zamanını düşürmek için yüksek kesme hızları tercih edilebilir.

Frezeleme işlemi uygulanmış kenar yüzeyler incelendiğinde oluşan deformasyon miktarları dairesel enterpolasyona göre daha düşük olduğu gözlenmiştir. Benzer şekilde düşük ilerleme hızlarında işlenen numunelerde delaminasyon miktarları daha düşüktür. İlerleme değerlerinin yüksek olduğu numunelerde çok küçük ölçekte Tip 1 delaminasyon olduğu gözlenmiştir.

4.2. Dinamik Sıyırma Deney Sonuçları

Dinamik sıyırma deneyleri Şekil 3.4'de belirtilen deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğine bağlanan cıvata vida sıyırana kadar redüktörlü motor tarafından 2 dev/dk dönme hızında döndürülerek, bu esnada oluşan moment anlık olarak kaydedilerek moment-zaman grafiği elde edildi. Bu 11 numuneye ait grafikler Ek-1'de verildi ve bu grafiklerden momentin maksimum olduğu nokta alınarak aşağıdaki şekil 4.9'da maksimum moment-vida boyutu grafiği oluşturuldu.

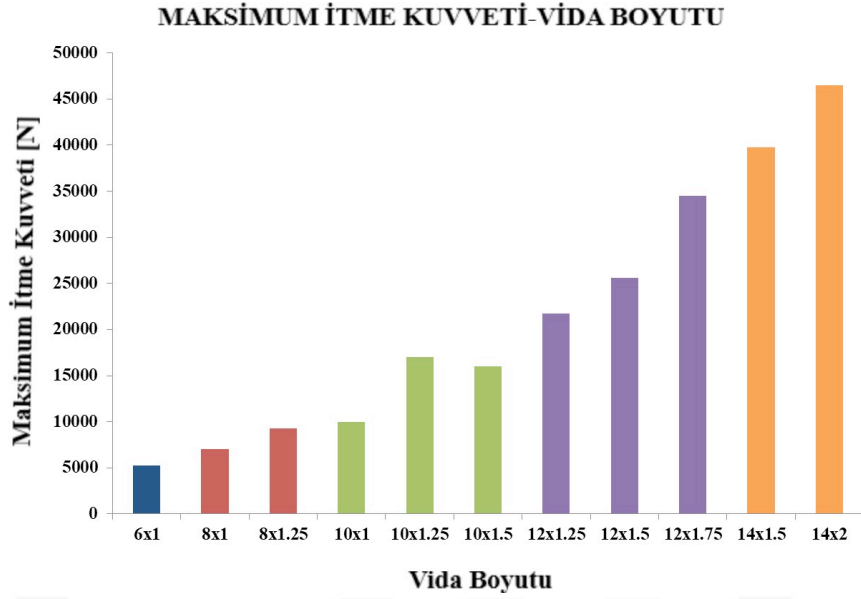
Aşağıda şekil 4.9'da M6x1 den M14x2 cıvataya kadar elde edilen numunelere ait maksimum moment-vida boyutu grafiği verilmiştir.



Şekil 4.9. Maksimum moment-vida boyutu grafiği

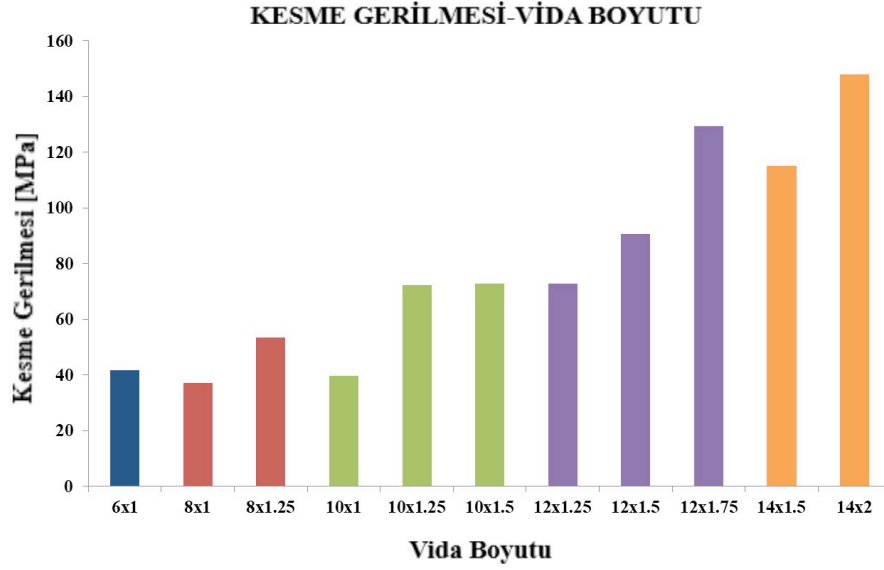
Bu grafikteki noktalar zamana bağlı değişen moment-zaman grafiğinden elde edilen maksimum noktalar belirlenerek elde edilmiştir. Grafik incelendiğinde Metrik ölçünün artmasıyla numunede oluşan maksimum momentinin de arttığı açıkça görülmektedir. Vida çapı değişmemesine rağmen bazı numunelerde sadece hatvenin artmasıyla maksimum moment de buna bağlı olarak artmaktadır. Bu durum vida hatvesinin artışına bağlı olarak artan vida dişi kök kalınlığına ve dişyüksekliğine bağlanmıştır. Bir diğer tartışılması gereken konu ise vida dibinde bulunan kök radyüsüdür. Hatve arttıkça vida dibinde bulunan kök radyüsü de artmaktadır. Dolayısı ile hatve arttıkça radyüs büyümekte ve gerilim konsantrasyonu da düşmektedir.

Deney esnasında civatada oluşan itme kuvveti bir load-cell'e aktarılmış bir veri kaydedici ile kaydedilerek itme kuvveti-zaman grafiği elde edilmiştir. 11 farklı metrik ölçüye sahip numunelere ait bu grafikler Ek-2'de verilmiştir. Ekte verilen her bir numuneye ait itme kuvveti-zaman grafiklerinin maksimum noktası alınarak aşağıdaki şekil 4.10'da maksimum itme kuvveti-vida boyutu grafiği oluşturuldu. Moment grafiğinde olduğu gibi itme kuvveti de artan metrik ölçüyle birlikte artmıştır. En yüksek itme kuvveti M14x2 vidada görülmektedir. Bu değer 46.483kN ile en yüksek değerini almıştır. Elde edilen bu sonuçlar vidalı birleştirme işleminin kalın kompozit plakalarda rahatlıkla kullanılabilir derecede itme ve çekme kuvveti oluşturabildiği anlamına gelmektedir.



Şekil 4.10. Maksimum itme kuvveti-vida boyutu grafiği

Artan metrik ölçü değerine bağlı olarak artan itme kuvveti gayet beklenen bir sonuçtur. Vidayı deforme eden kesme kuvveti kesmeye maruz kalan alanın artmasıyla artmaktadır. Bu arada tartışılması gereken bir diğer husus da vidayı keserek deforme eden gerilmedir. Dolayısı ile vida eksenini doğrultusunda oluşan kesme gerilmesi maksimum itme kuvvetinin kesme alanına bölünerek hesaplanmıştır. Vidadaki sıyırma mekanizması da dişlerin dibinde bulunan kesmeye maruz kalan alanın kesilerek dişlerin yok olması yani sıyırılması şeklinde izah edilmektedir. Dolayısı ile maksimum itme kuvveti vida dibinde oluşan kesme alanı formül 2.10'da hesaplanan alana bölünerek maksimum kesme gerilmesi hesaplanmıştır. Aşağıda şekil 4.11'de elde edilen bu grafik görülmektedir.

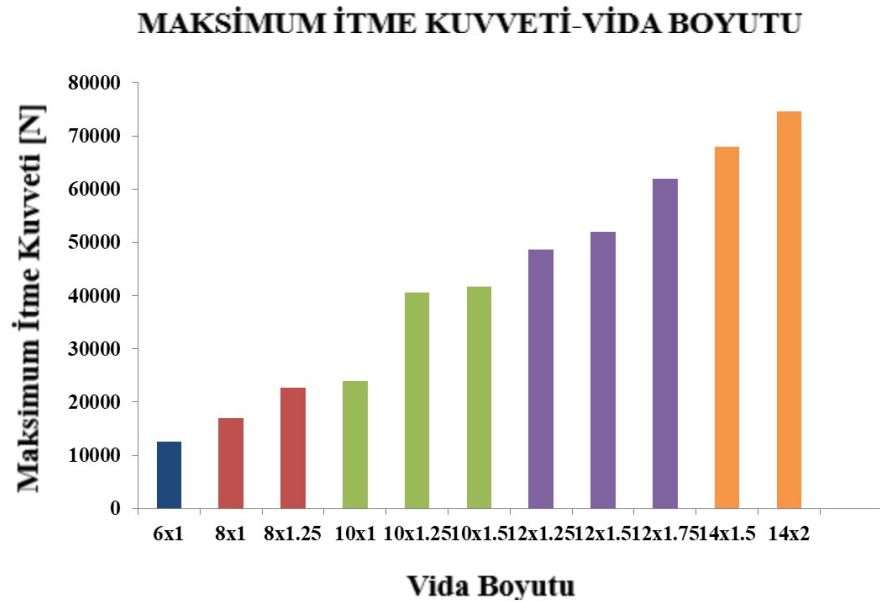


Şekil 4.11. Kesme gerilmesi-vida boyutu grafiği

Vidanın metrik ölçüsünün artmasıyla vidayı deforme eden kesme gerilmesinin de arttığı görülmektedir. Hatvenin artışıyla artan vida kalınlığı gerilmeyi de beraberinde artırmıştır. M6x1 vidada kesme gerilmesi 41.8 MPa ile vidayı deforme ederken bu değer M14x2 vidada 148 MPa'a çıkmıştır. Düşük hatveli ince dişlerde kesme daha kolay gerçekleşmektedir. Bunun muhtemel sebepleri artan vida kalınlığına bağlı olarak dişlerde sönmölenen enerjiden kaynaklandığı söylenebilir. İnce dişlerde dişler hemen kesilerek elyafların enerji sönmölemesi gerçekleşmektedir. Fakat kalın dişlerde basmaya maruz kalan diş bir miktar ezildikten sonra üst katmandaki elyaflar kopmakta ve kuvveti alt elyaflara ileterek onların ezilmesine sebep olmaktadır. Bu mekanizma diş kesilene kadar devam etmektedir. Yani dişlerdeki deformasyon mekanizması ince dişler de sadece basma-kesme şeklinde, kalın dişler ise sırasıyla basma, elyaf kopması ve kesme şeklinde ortaya çıkmaktadır. Daha önce bahsedildiği gibi bir diğer husus yine kök dibinde bulunan kök radyüsünün geriliğim konsantrasyonunu değiştirmesinden kaynaklandığı şeklinde de düşünölebilir.

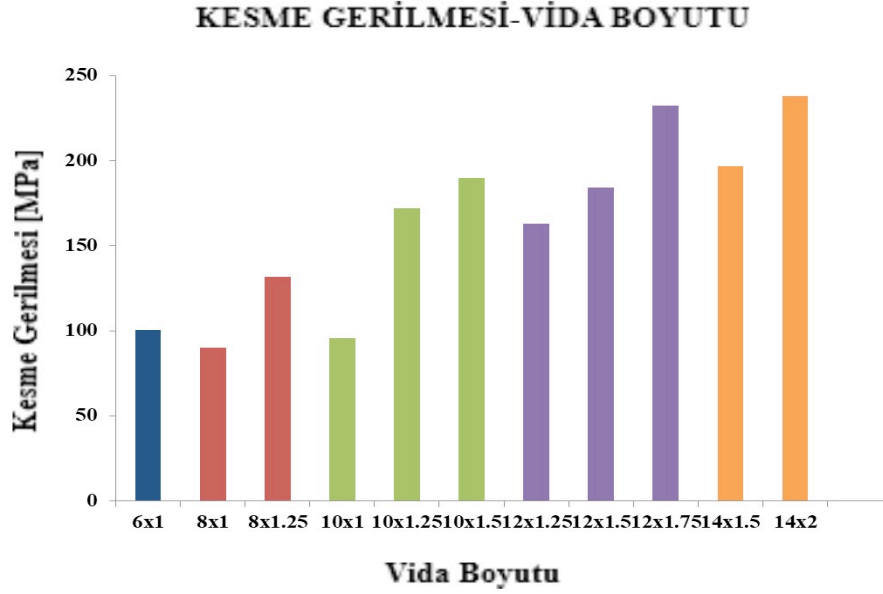
4.3. Statik Basma Deney Sonuçları

Aşağıda Şekil 4.12’ de sadece statik basma yani moment uygulanmadan elde edilen basma deney sonuçları görülmektedir. Universal çekme basma cihazında elde edilen kuvvet-deplasman grafiğinin maksimum kuvveti bulunarak her bir vida grubunun deforme olduğu maksimum kuvvet bulunmuştur. Elde edilen kuvvet-deplasman grafiği 11 numune için Ek-3’te verilmiştir. Yine dinamik sıyırma deneylerinde olduğu gibi artan metrik ölçüye bağlı olarak maksimum itme kuvveti artmıştır. Vida çap ölçüsü değişmemesine rağmen artan hatveye bağlı olarak itme kuvveti yine artmıştır. Bu sonuç daha önce dinamik basmada açıklandığı gibi artan hatveye bağlı artan diş kalınlığına bağlanmıştır.



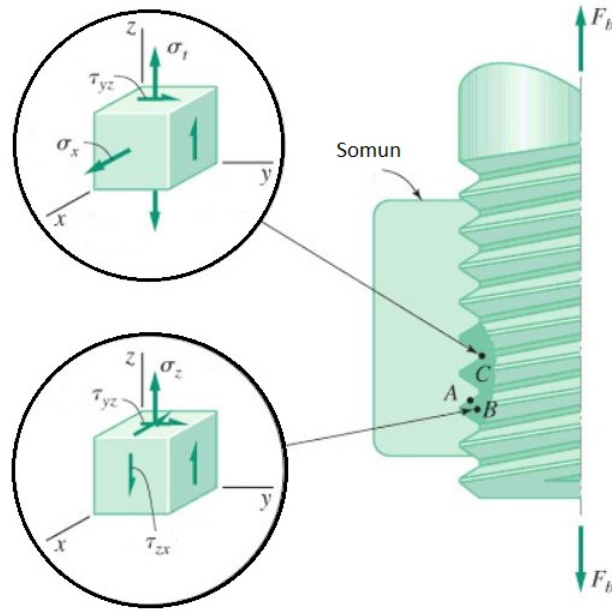
Şekil 4.12. Maksimum itme kuvveti-vida boyutu grafiği

Aşağıda şekil 4.13’te statik basmaya bağlı kesme gerilmeleri gösterilmiştir. Daha önce olduğu gibi yine artan ölçüye bağlı vidayı deforme edebilecek gerilme vida ölçüsüyle birlikte artmıştır. Aynı deformasyon mekanizmasının da burada geçerli olduğu söylenebilir. İnce dişlerde safi kesme, kalın dişlerde ise basma ezilme lif kompası ve ardından kesme işleminin gerçekleştiği varsayılmaktadır.



Şekil 4.13. Kesme gerilmesi-vida boyutu grafiği

Statik basma ve dinamik vida sıyırma deney sonuçları kıyaslandığında itme kuvveti ve kesme gerilmesi değerlerinin statik basmada dinamiğe kıyasla yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi dinamik sıyırma esnasında farklı yönlerde farklı kesme gerilmelerinin ortaya çıkmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 4.14'teki bu durum aşağıda şu şekilde izah edilmiştir.



Şekil 4.14. Vida üzerinde oluşan gerilmeler (Collins ve ark., 2009).

Vida kök kısmında yani A noktasında sadece basma gerilmesi mevcuttur. Bu noktadaki gerilme hesabı genelde ihmal edilir. En kritik noktalar B ve C noktalarıdır. Dinamik test esnasında B noktasında iki adet kayma gerilmesi τ_{yz} ve τ_{zx} vida ekseninde normal gerilme σ_z bulunmaktadır. Statik basma esnasında ise τ_{yz} burulma momenti oluşmamaktadır. Dinamik basma esnasında ise τ_{zx} ve τ_{yz} anda ortaya çıkarak bileşik bir kesme gerilmesi ortaya çıkarmaktadır. Böylelikle dinamik sıyırma her iki kayma gerilmesi ve 1 normal gerilmenin bileşkesinden kaynaklı daha düşük mukavemet değerleri ortaya çıkmaktadır. Bu kayma gerilmeleri aksenal yükten kaynaklı kesme gerilmesi τ_{zx} ve burulmadan kaynaklı τ_{yz} kayma gerilmesidir. C noktasında vida eğilmesinden kaynaklı bir de σ_z ortaya çıkmaktadır. Her ne kadar malzeme anizotropik olsa da Maksimum distorsiyon enerjisi teorisine (von-Misses) göre ve Tsai-Hill hasar kriterinde malzemeyi deforme eden kayma gerilmelerinin normal gerilmelere göre daha etkili olduğu ortaya çıkmaktadır. Her iki teoride de kayma gerilmelerinin karesi belli bir katsayıyla etkili olmaktadır. Dinamik basma esnasında ortaya çıkan ve dişleri burarak ikinci bir kayma gerilmesinin ortaya çıkması bileşik gerilmeyi artırarak civatanın dayanımını oldukça düşürmüştür.

5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Yapılan işlenebilirlik ve vidalı birleştirme deneyleri sonucunda elde edilen veriler aşağıda belirtilmiştir;

- Dik yönde yapılan frezeleme işleminde ilerleme değerinin ve takım ağız sayısının artması ile kesme hızının azalması sonucunda yüzey pürüzlülüğünün arttığı tespit edilmiştir.
- Takım ilerleme doğrultusunda yapılan frezeleme işleminde takım ağız sayısı ve ilerleme değerinin artması ile kesme hızının azalmasıyla yüzey pürüzlülüğünün yine arttığı tespit edilmiştir.
- Yapılan deneyler sonucunda frezeleme işlemlerinde elde edilen veriler ile ANOVA metodu uygulandığında dik yönde ve takım ilerleme doğrultusunda yapılan frezeleme sonucu oluşan yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin diş başına ilerleme olduğu belirlenmiştir.
- İlerleme hızının azalmasıyla işlenmiş yüzeylerde oluşan delaminasyonun azaldığı tespit edilmiştir.
- İşlenmiş numunelerin delik kenarları incelendiğinde genel hasar mekanizmasının Tip 2 ve Tip 3 şeklinde olduğu görülmüştür. Numunelerde Tip 1 delaminasyon oluşmadığı için delaminasyon faktörü hesaplanamamıştır.
- Yüksek kesici ağız sayısının kullanılmasının işleme zamanını kısaltacağı ve bununla birlikte işleme sonrası oluşan deformasyonda olumsuz bir etki yaratmayacağı görülmüştür.
- Yapılan dinamik sıyırma deneyinde metrik ölçünün artmasıyla numunede oluşan itme kuvveti ve momentin arttığı tespit edilmiştir. Bu durumun oluşmasına vida hatvesinin artışıyla artan vida dişi kalınlığı ve yüksekliğinin sebep olduğu düşünülmektedir.
- Dinamik sıyırma deneylerinde oluşan kesme gerilmesinin metrik ölçünün artmasıyla arttığı bununla birlikte ince dişlerdeki deformasyon mekanizmasının basma-kesme şeklinde olduğu, kalın dişlerde ise bu mekanizmanın sırasıyla basma, ezilme, elyaf kopması ve kesme şeklinde olduğu görülmüştür.
- Statik basma ve dinamik sıyırma deney sonuçları kıyaslandığında deney sonrası oluşan itme kuvveti ve kesme gerilmesi değerlerinin statik basma deneylerinde daha

yüksek olduğu tespit edilmiştir. Statik basma deney sonuçlarına göre M6x1vidada oluşan maksimum itme kuvveti ve kesme gerilmesi değerleri sırasıyla 12598 N ile 100 MPa iken bu değerler dinamik sıyırma sırasıyla 5250 N ile 41.8 MPa bulunmuştur. Bununla birlikte M14x2 vidada statik basma deneyi sonucunda elde edilen maksimum itme kuvveti ile kesme gerilmesi değerleri sırasıyla 74665 N ve 237 MPa iken bu değerler dinamik sıyırma deneylerinde sırasıyla 46483 N ile 148 MPa olarak bulunmuştur. Dinamik sıyırma deneylerinde, statığe göre itme kuvvetinin ve malzemeyi deforme edecek minimum kesme gerilmesinin azalmasının nedeni moment uygulama sırasında ekstradan ortaya çıkan farklı (burulma) kesme gerilmeleridir.

5.2. Öneriler

Bu çalışmada karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerin frezelenme ve kılavuz çekme işlemi ile vidalı birleştirme yeteneği deneysel olarak araştırılmıştır. Yapılan deneyler sonrasında elde edilen verilere göre şu öneriler yapılabilir;

- Farklı elyaf açlarına sahip karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerin ya da farklı türdeki malzemelerin frezeleme ve kılavuz çekme performansı araştırması yapılabilir.
- Vidalı birleştirme yeteneği araştırılmasında kullanılan metrik vidalar yerine Whitworth vidalar kullanılabilir.
- Deneylerde kullanılan Taguchi ve varyans analizine ek olarak regresyon analizi de kullanılabilir.
- Çalışma sonlu elemanlar analizi ile desteklenebilir.
- Vidalarda oluşan hasar bir hasar kriteri ile (Tsai-Wu-Hill vb.) teorik olarak da araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Abilash, N. and Sivapragash M., 2013, Optimizing the delamination failure in bamboo fiber reinforced polyester composite, *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 1-11.
- Ahmad, J.S., Nebu, U. and Hossein, C., 2012, Machining damage in edge trimming of CFRP, *Materials and Manufacturing Processes*, 27, 802-808.
- Aiman Akmal, A.N., Azmi, A.I. and Khalil, A.N.M., 2014, Investigating the effect of machining parameters on mechanical performance of flax natural fibre composites with circular holes, *Advances in Material Processing Technologies*, Dubai,UAE, 1-5.
- Akkuzu, E.E., 2012, Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin işlenebilirliğinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 5-15.
- Aktaş, M., 2010, Kompozit malzeme üretim yöntemleri, İnternet kaynağı [online], DokuzEylülÜniversitesi,<http://www.deu.edu.tr/userweb/mehmet.aktas/Kompozit%20Malzemeler/Ders%20%203/3.pdf> [Ziyaret Tarihi: 22 Kasım 2017].
- Altan, G., 2009, Değişik sıcaklık ve nem etkisinde çalışan birleştirilmiş kompozit malzemelerin yorulma mukavemetlerinin incelenmesi, Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 37-50.
- Avcı, A., Ekrem M. ve Erkendirici Ö.F., 2007, Cam kumaş takviyeli termoplastik kompozitlerde kırılma davranışlarının incelenmesi, 8. *Uluslararası Kırılma Konferansı*, İstanbul, 422-434.
- Azmi, A.I., Lin, R.J.T. and Bhattacharyya, D., 2016, Parametric study of end milling glass fibre reinforced composites,*Advances in Material Processing Technologies*, Malaysia, 1083-1088.
- Bayraktar, Ş., 2011, Karbon elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin frezeleme işleminde işlenebilirliğinin deneysel araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 20-35.
- Collins, J.A., Busby, H. and Staab, G., 2009, Mechanical design of machine elements and machines a failure prevention perspective, *Wiley*, Hoboken, 790-810.
- Çavuş, Y., 2015, Karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerin alışılmış takımlarla işlenebilirliği, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 36-60.

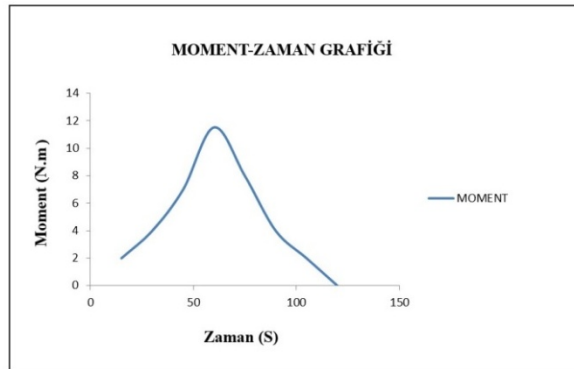
- Çayıroğlu, İ., 2015, Makine elemanları, İnternet kaynağı [online], Karabük Üniversitesi, http://www.ibrahimcayiroglu.com/Dokumanlar/MakineElemanlari/Makine_Elemanlari_Ders_Notlari-9.Hafta.pdf [Ziyaret Tarihi: 25.11.2017].
- Davim, J.P. and Reis, P., 2003, Study of delamination in drilling carbon fiber reinforced plastics using experiments, *Composite Structures*, 59, 481-487.
- Davim, J.P., Rubio, J.C. and Abrao, A.M., 2007, A novel approach based on digital image analysis to evaluate the delamination factor after drilling composite laminates, *Composite Science and Technology*, 67, 1939-1945.
- Ekrem, M., 2015, Karbon nanotüp ve polivinil alkol nanoelyafla güçlendirilmiş epoksi yapıştırıcıların alüminyum bağlantılar üzerindeki kırılma davranışları, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 20-22.
- Erkan, Ö. ve Işık, B., 2009, Cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin işlenmesi esnasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi, *5.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, IATS 09*, Karabük, 1-6.
- Fıçıcı, F. ve Ayparçası, Z., 2014, % 30 cam fiber takviyeli polipitilamit matriksli kompozit malzemenin yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi, *5. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, UTİS 2014*, Bursa, 473-482
- Gara, S., Fredj, R., Naimi, S. and Tsoumarev, O., 2016, Prediction of cutting forces in slotting of multidirectional CFRP laminate, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technologies*, London, DOI 10.1007/s00170-016-9161-8.
- Hexcel Productions of Carbon Fiber, 2013, Prepreg technology, İnternet kaynağı [online], <http://www.hexcel.com/Resources/Technology-Manuals> [Ziyaret Tarihi: 25Kasım 2017].
- Hussein, M.A., IQBAL, A. and Liang, L., 2013, A comparative study on the use of drilling and milling processes in hole making of GFRP composite, *Indian Academy of Sciences*, 38, 743-760.
- Işık, B. ve Demirci, H.İ., 2014, Camelyaf takviyeli plastik kompozit malzemenin kanal frezelenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi, *5. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, UTİS 2014*, Bursa, 465-471.
- Işık, B. ve Gültekin, M.Ş., 2015, Karbonelyaf takviyeli polimer kompozitlerin delinmesinde yüzey pürüzlülüğünü azaltacak optimum kesme parametrelerinin seçilmesi, *6. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, UTİS-2015*, İstanbul, 221-235.
- Jamal, A.H., 2012, Effect of machining on tensile strength of composite laminates, Master Thesis, *The Petroleum Institute*, United Arab Emirates, 110-143.
- Karnik, S.R., Gaitonde, V.N., Rubio, J.C., Correia, A.E., Abrao, A.M. and Davim, J.P., 2008, Delamination analysis in high speed drilling of carbon fiber reinforced

- plastics using artificial neural network model, *Materials and Design*, 29, 1768-1776.
- Karpat, Y. ve Bahtiyar, O., 2015, Helisel çok kristalli elmas matkaplar ile karbon fiber takviyeli polimer levhaların delinme işleminin incelenmesi, 6. *Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, UTİS-2015*, İstanbul, 207-220.
- Kavad, B.V., Pandey, A.B., Tadavi, M.V. and Jakharia, H.C., 2014, A review paper on effects of drilling on glass fiber reinforced plastic, *2nd International Conference on Innovations in Automation and Mechatronics Engineering, ICIAME 2014*, India, 457-464.
- Kaymaz, İ., 2011, Makine elemanları 1, İnternet kaynağı [online], Erzurum Teknik Üniversitesi, http://www.erkurum.edu.tr/Content/Yuklemeler/Personel/Irfan_KAYMAZ/ders_notu_7_civata_somun4420.pdf [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Köksal, S., 2012, Kompozit malzemeler, İnternet kaynağı [online], Celal Bayar Üniversitesi, <http://docplayer.biz.tr/25881413-Kompozit-malzemeler-doc-dr-n-sinan-koksal.html> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Kutay, G.M., 2005, Cıvatalar, 1, *Birsen Yayın*, İstanbul, 250-270.
- Morkavuk, S., 2016, Karbon fiber takviyeli plastiklerin kuru ve kriyojenik işleme koşullarında frezelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 47-90.
- Onat, A., 2015, Kompozit Malzemeler Ders Notu, Sakarya Meslek Yüksekokulu Makina Ve Metal Teknolojileri Bölümü Metalurji Programı, Sakarya, 78-93.
- Ozel A., Yazici B., Akpınar S., Aydın M. D. ve Temiz S., 2014, A study on the strength of adhesively bonded joints with different adherends, *Composites Part B Engineering*, 62, 167-174.
- Phong N. T., Gabr M. H., Okubo K., Chuong B. ve Fujii T., 2013, Improvement in the mechanical performances of carbon fiber/epoxy composite with addition of nano-(Polyvinyl alcohol) fibers, *Composite Structures*, 99, 380-387.
- Reis P. N. B., Ferreira J. A. M. ve Antunes F., 2011, Effect of adherend's rigidity on the shear strength of single lap adhesive joints, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 31 (4), 193-201.
- Topalak, M., 2012, Tabakalı kompozit levhalarda cıvata ve kör perçinlerin birleşmeye olan etkisinin deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon, 13-25.
- Tsao, C.C., Hocheng, H., and Chen, Y.C., 2012, Delamination reduction in drilling composite materials by active backup force, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 61, 91-94.

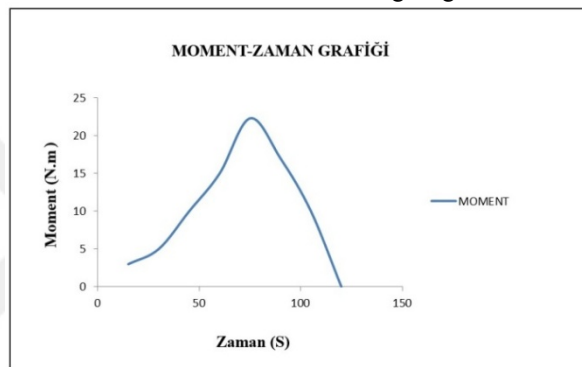
- Turgut, T., Kayran A., Alemdarođlu N. ve Ceylan M., 2007, Vakum torbalama yöntemi ile kompozit malzemededen yapı üretimi örnek bir havacılık uygulaması, *Mühendis ve Makine*, 48, 14-21.
- Uçar, V., 2010, Makine elemanları 1, İnternet kaynağı [online], Sakarya Üniversitesi, http://docplayer.biz.tr/14564751-Makina-elemanlari-i-ders-notlari.html#show_full_text. [Ziyaret Tarihi: 25 Kasım 2017].
- Urban, N.A., 2005, Analysis of machining quality in edge trimming of carbon fiber reinforced composite, Master Thesis, *B. Tech. Kerala University*, Kerala, India, 3-27.
- Ünal, O., 2011, Kompozit malzemeler, İnternet kaynağı [online], Afyon Kocatepe Üniversitesi, <http://kocaelimakine.com/wp-content/uploads/2011/11/kompozit-malzemeler-ders-notlari-osman-unal.pdf> [Ziyaret Tarihi: 25 Kasım 2017].
- Wang, X.M. and Zhang L.C., 2003, An experimental investigation into the orthogonal cutting of unidirectional fibre reinforced plastics, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43, 1015-1022.
- Zor, M., 2008, Kompozit malzemelerle ilgili genel bilgiler, İnternet kaynağı [online], Dokuz Eylül Üniversitesi, http://kisi.deu.edu.tr//mehmetzor./composite%20material/s/2-Genel_bilgiler.pdf [Ziyaret Tarihi: 21 Kasım 2017].

EKLER

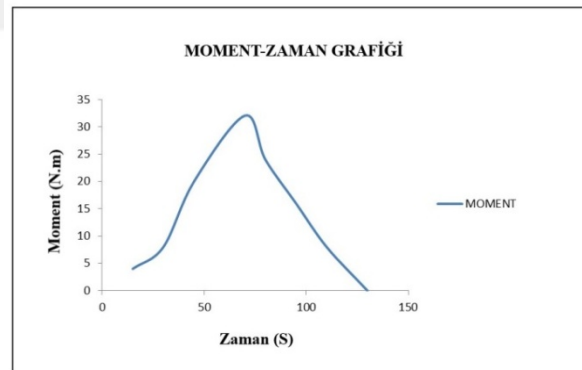
EK-1 Dinamik sıyrma deney grafikleri (Maksimum Moment-Zaman)



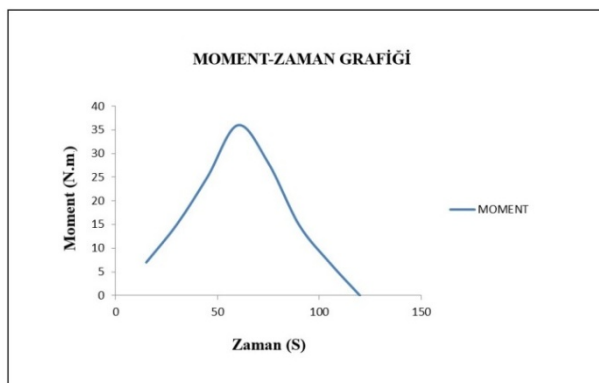
M6x1 Moment-zaman grafiği



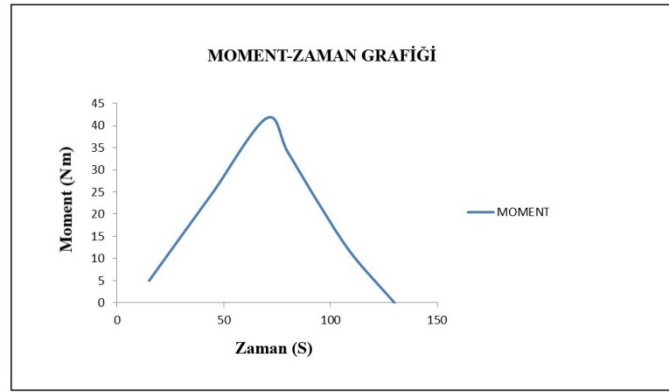
M8x1 Moment-zaman grafiği



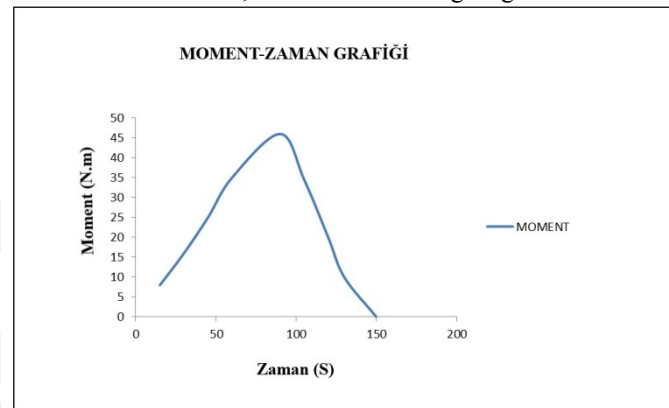
M8x1,25 Moment-zaman grafiği



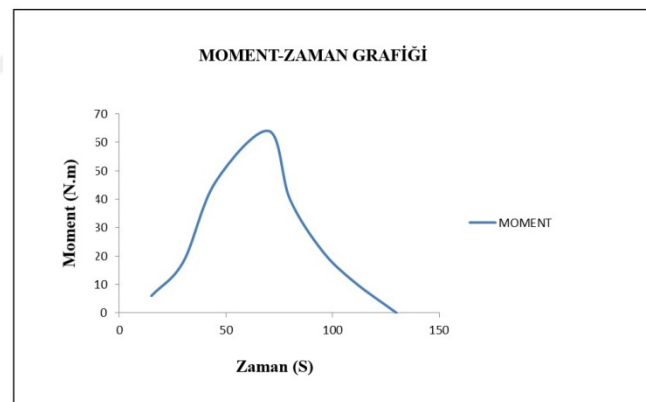
M10x1 Moment-zaman grafiği



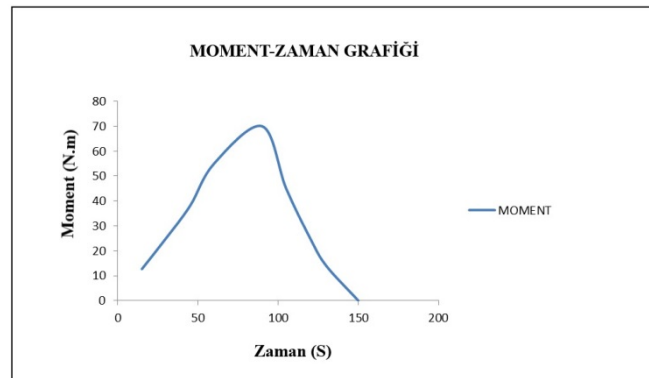
M10x1,25 Moment-zaman grafiği



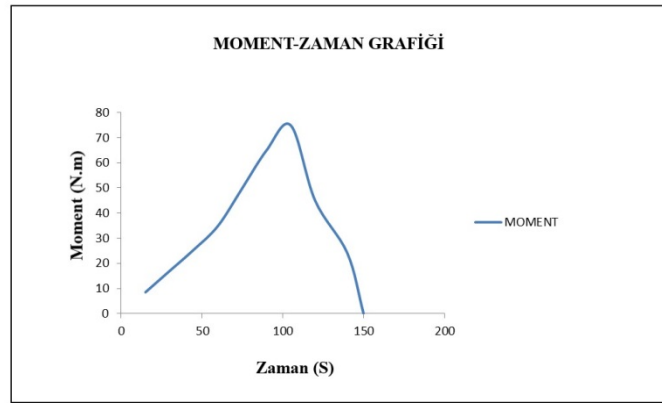
M10x1,5 Moment-zaman grafiği



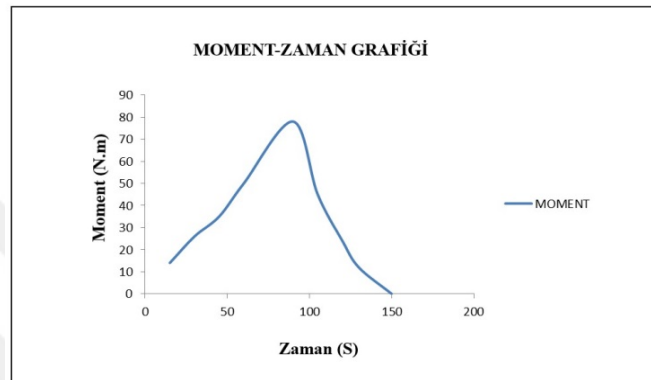
M12x1,25 Moment-zaman grafiği



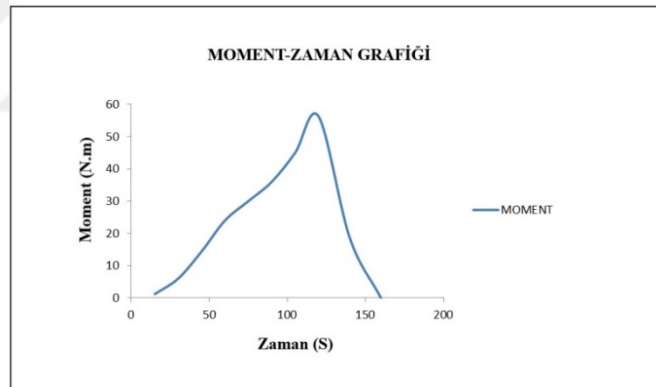
M12x1,5 Moment-zaman grafiği



M12x1,75 Moment-zaman grafiği

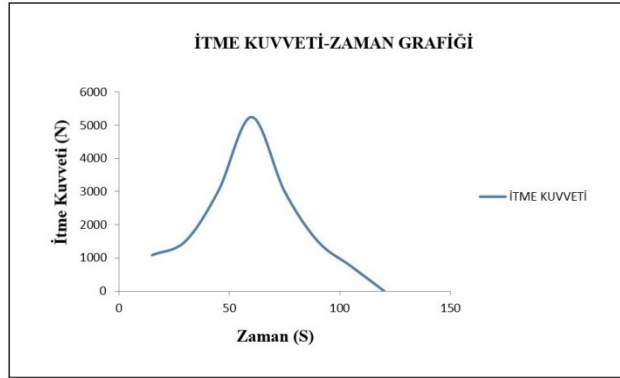


M14x1,5 Moment-zaman grafiği

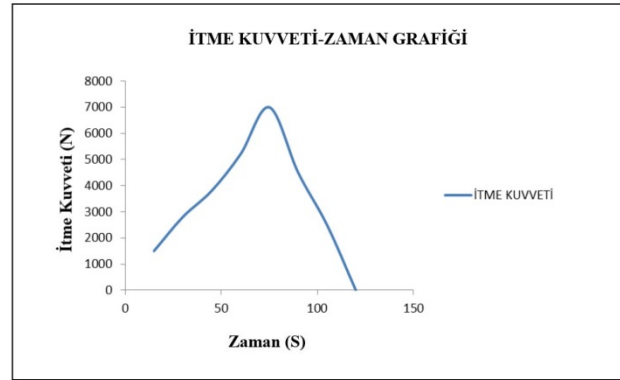


M14x2 Moment-zaman grafiği

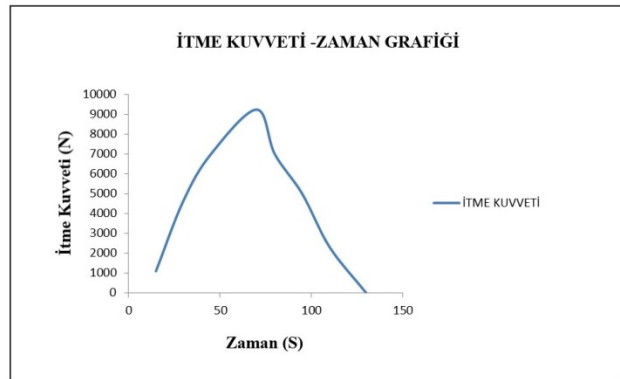
EK-2 Dinamik sıyrma deney grafikleri (İtme Kuvveti-Zaman)



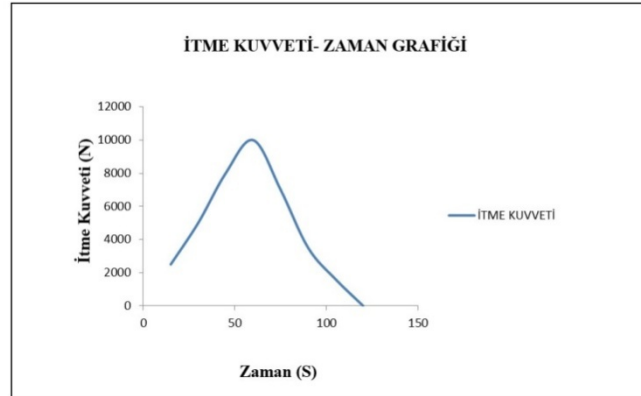
M6x1 İtme kuvveti-zaman grafiği



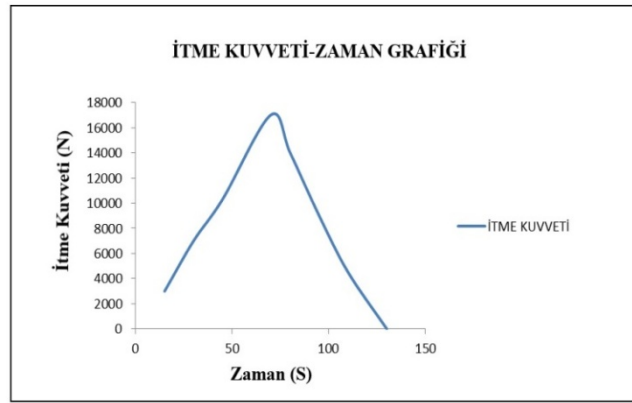
M8x1 İtme kuvveti-zaman grafiği



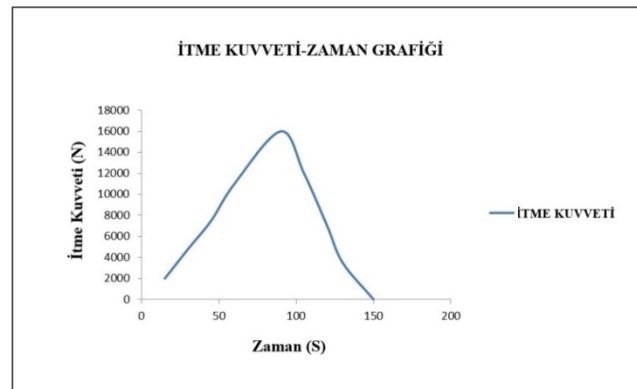
M8x1.25 İtme kuvveti-zaman grafiği



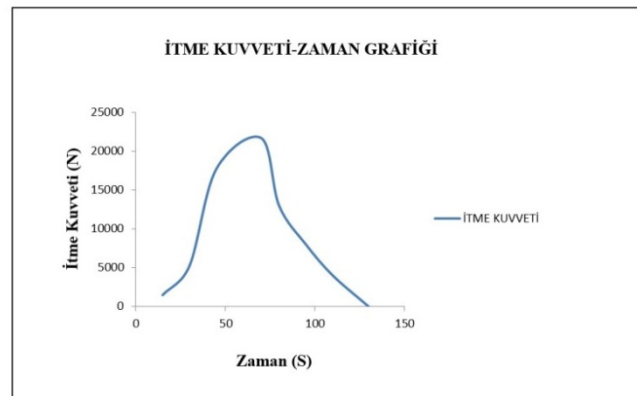
M10x1 İtme kuvveti-zaman grafiği



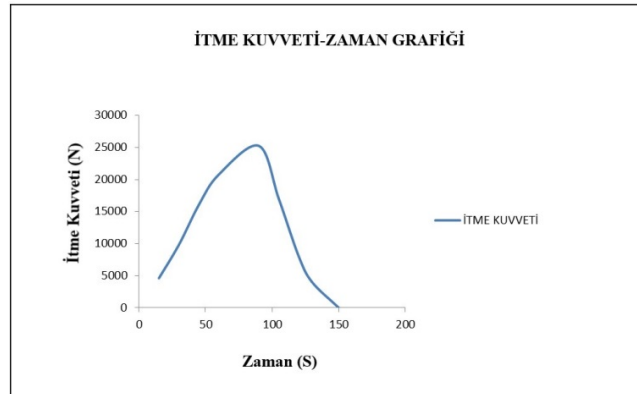
M10x1,25 İtme kuvveti-zaman grafiği



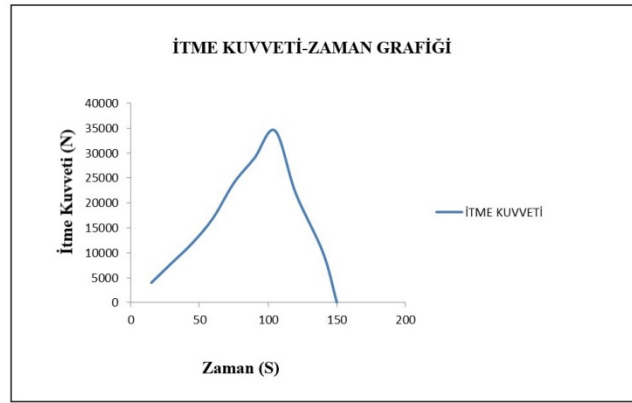
M10x1,5 İtme kuvveti-zaman grafiği



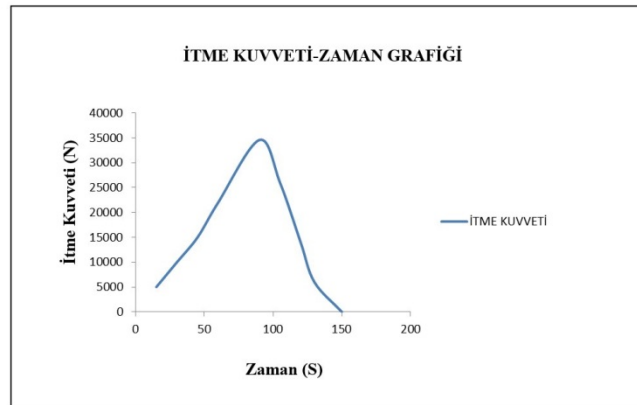
M12x1,25 İtme kuvveti-zaman grafiği



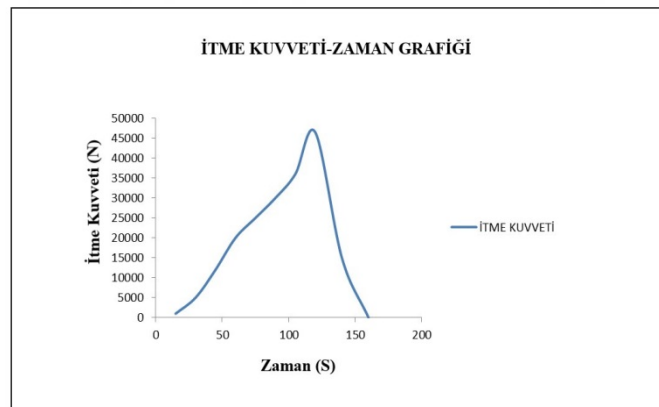
M12x1,5 İtme kuvveti-zaman grafiği



M12x1,75 İtme kuvveti-zaman grafiği

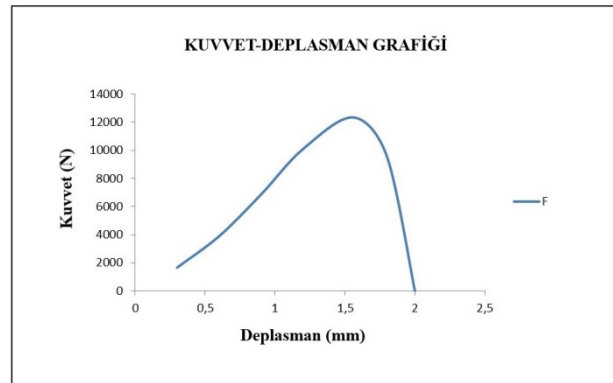


M14x1,5 İtme kuvveti-zaman grafiği

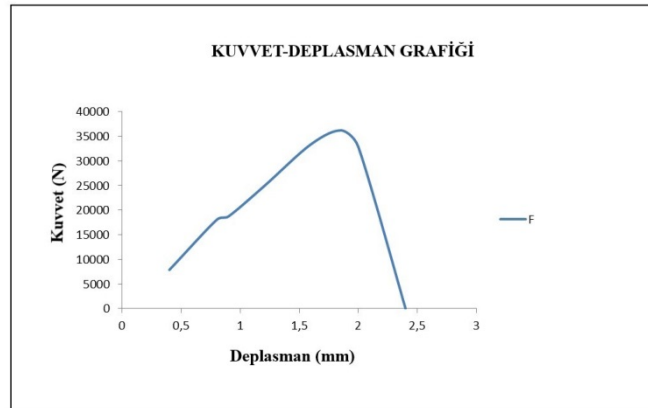


M14x2 İtme kuvveti-zaman grafiği

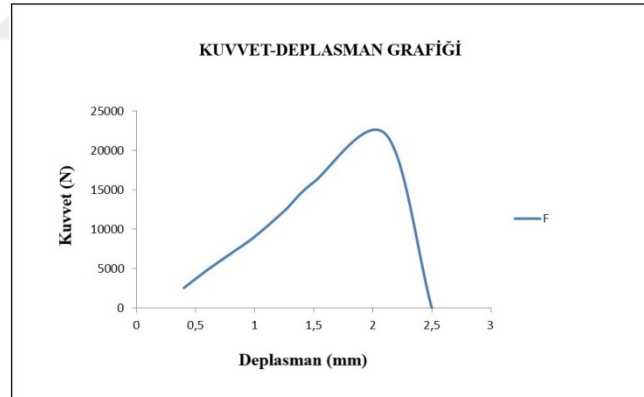
EK-3 Statik basma deney grafikleri (Kuvvet- Deplasman grafikleri)



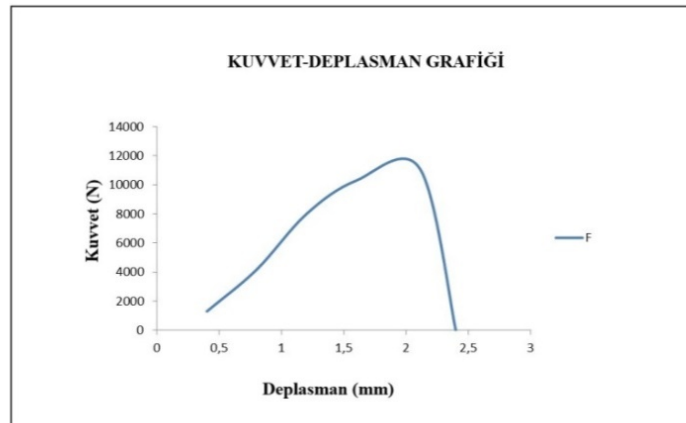
M6x1 Kuvvet-deplasman grafiği



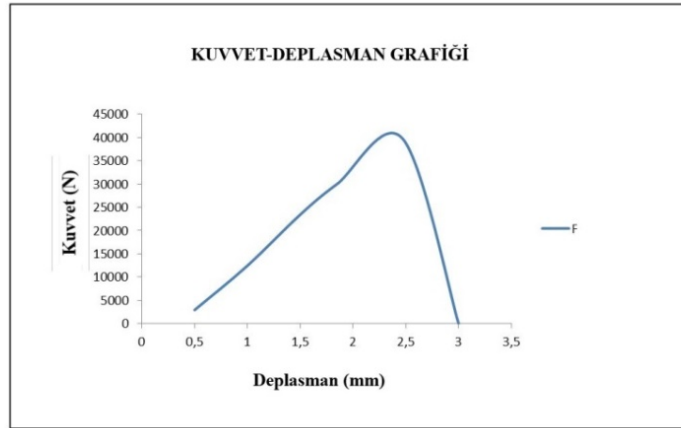
M8x1 Kuvvet-deplasman grafiği



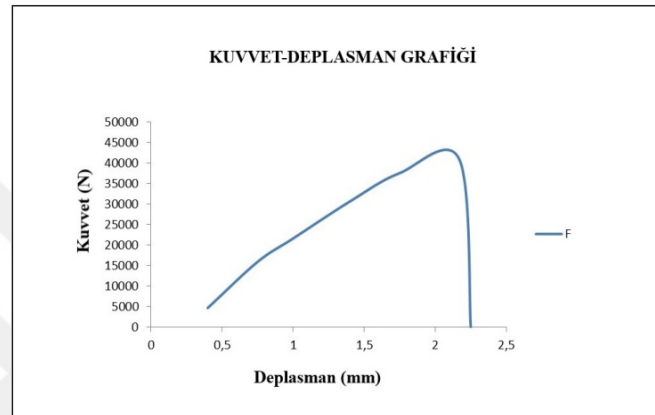
M8x1,25 Kuvvet-deplasman grafiği



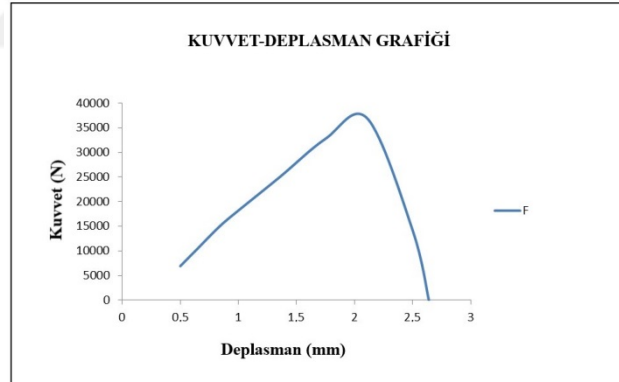
M10x1 Kuvvet-deplasman grafiği



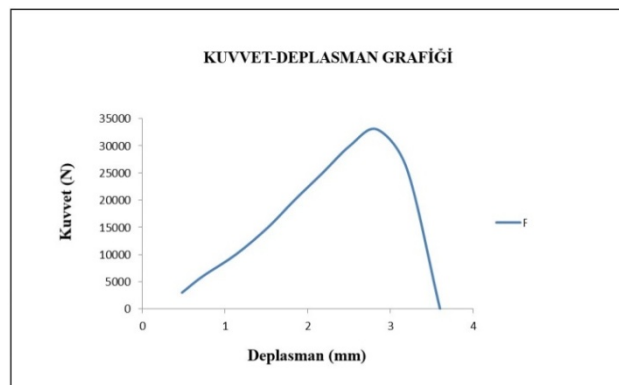
M10x1,25 Kuvvet-deplasman grafiği



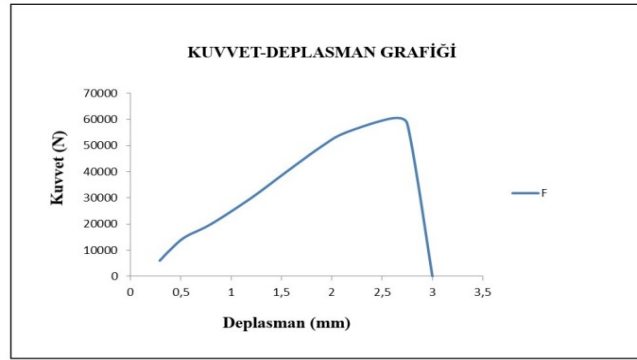
M10x1,5 Kuvvet-deplasman grafiği



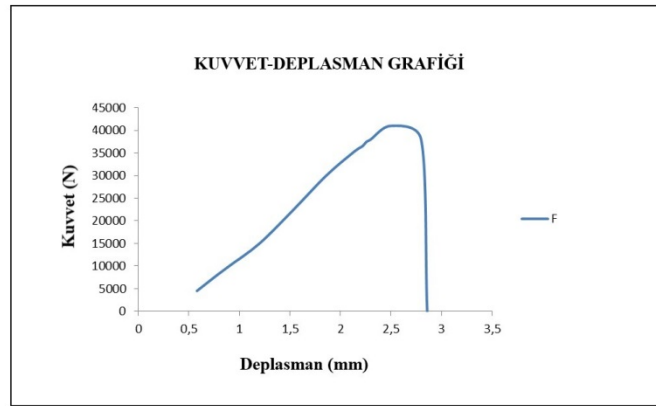
M12x1,25 Kuvvet-deplasman grafiği



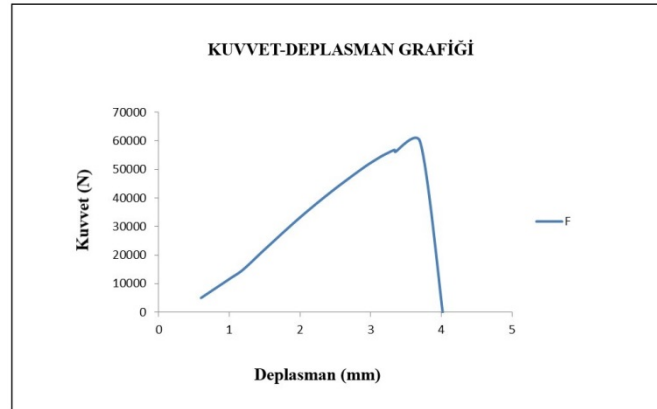
M12x1,5 Kuvvet-deplasman grafiği



M12x1,75 Kuvvet-deplasman grafiği



M14x1,5Kuvvet-deplasman grafiği



M14x2 Kuvvet-deplasman grafiği

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Özgür BİÇER
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : Karaman/14.03.1988
Telefon : 0555 889 1988
e-mail : obicer3@sgk.gov.tr

EĞİTİM

Lise : Karaman Fatih Lisesi, Merkez Karaman 2006
Üniversite : Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi 2013
Makine Mühendisliği

İŞ DENEYİMLERİ

2013- SGK İnşaat ve Emlak Daire Başkanlığı Makine Mühendisi

YABANCI DİLLER

İngilizce