



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**CAM ELYAF TAKVİYELİ SMC
KOMPOZİTLERİN İŞLENEBİLİRLİK VE
VİDALI BİRLEŞTİRME YETENEKLERİNİN
İNCELENMESİ**

Hasan GÜNDOĞDU
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak-2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Hasan GÜNDOĞDU tarafından hazırlanan “**CAM ELYAF TAKVİYELİ SMC KOMPOZİTLERİN İŞLENEBİLİRLİK VE VİDALI BİRLEŞTİRME YETENEKLERİNİN İNCELENMESİ**” adlı tez çalışması **19.01.2018** 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. Ahmet SAMANCI

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Ahmet CAN

Üye

Doç. Dr. Süleyman NEŞELİ

İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Doç. Dr. Mehmet KARALI
FBE Müdürü

Bu tez çalışması NEÜ BAP Koordinatörlüğü tarafından 161319002 nolu proje ile desteklenmiştir.

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.

Hasan GÜNDOĞDU
19.01.2018

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CAM ELYAF TAKVİYELİ SMC KOMPOZİTLERİN İŞLENEBİLİRLİK VE VİDALI BİRLEŞTİRME YETENEKLERİNİN İNCELENMESİ

Hasan GÜNDOĞDU

NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ahmet CAN

2018, 100 Sayfa

Jüri

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

Bu çalışmada, cam elyaf takviyeli SMC kompozit malzemenin işlenebilirliği ve kılavuz çekme imalat yöntemiyle vidalı birleştirme yeteneği deneysel olarak araştırılmıştır. İşlenebilirlik deneylerinde frezeleme parametreleri, kesme hızı, diş başına ilerleme ve kesici takım ağız sayısı olarak belirlenmiş ve bu parametreler 3 seviye şeklinde seçilmiştir. Çalışmada, Taguchi L₉ ortogonal dizini esas alınarak deney tasarımı hazırlanmış ve toplamda 9 adet deney yapılmıştır. Yapılan işlenebilirlik deneyleri sonrası yüzey pürüzlülüğü ve yüzey hasarı incelenmiştir. Yapılan deneylerin sonucunda, takım ilerleme yönüne dik yönde ölçülen yüzey pürüzlülüğünde takım ağız sayısının azalması ile ilerleme değeri artışının yüzey pürüzlülüğünü arttırdığı görülmüştür. Bununla birlikte takım ilerleme doğrultusunda ölçülen yüzey pürüzlülüğünde ise ilerleme değerinin artışı ile takım ağız sayısı ve kesme değerinin azalmasıyla yüzey pürüzlülüğü yine artmıştır. Yüzey hasarı yönünden yapılan değerlendirmede ise ilerleme değerinin azalmasıyla numunelerde oluşan deformasyonun azaldığı, görülen deformasyon çeşidinin Tip I ve Tip II şeklinde olduğu, takım ağız sayısı ve kesme hızının deformasyon oluşumunda etkili bir parametre olmadığı fakat numunelerin işleme zamanı için önemli parametreler olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmanın ikinci adımını cam elyaf takviyeli SMC 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 ön görülmüştür. Yapılan dinamik sıyırma deneyi 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 yönlerde kesme gerilmelerinin ortaya çıkması olmasından kaynaklandığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Cam elyaf takviyeli smc kompozit, Vidalı birleştirme, Yüzey pürüzlülüğü, Taguchi.

ABSTRACT

MS THESIS

THE INVESTIGATION OF MACHINABILITY AND THREADED JOINT ABILITY OF SMC GLASS FIBER REINFORCED COMPOSITES

Hasan GÜNDOĞDU

**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

2018, 100 Pages

Jury

Assist. Prof. Dr. Ahmet CAN

Assoc. Prof. Dr. Süleyman NEŞELİ

Assoc. Prof. Dr. Ahmet SAMANCI

In this study, the machinability and threaded joint ability of SMC glass fiber reinforced composites was experimentally investigated. In the machinability tests, the milling parameters were selected as; cutting speed, feed per tooth and cutting tool teeth number, and these parameters were determined as 3 levels. In the machinability study, the experimental setup was designed based on the Taguchi L_9 orthogonal array and a total of 9 experiments were performed. Surface roughness and surface damage were investigated after the hole expanding milling tests. As a result of the experiments, it was observed that, the decreasing the number of tool number, increased the surface roughness along the tool axis. On the other hand, the increase in the feed rate value, the number of tool teeth number and the reduction in cutting speed increased the surface roughness along the tool feed direction. It has been determined that the deformation of the specimens is reduced by the decrease of the feed rate value and the type of deformation is realised as Type I and Type II. The number of tools and the cutting speed are not effective parameters on the formation of deformation, but it is important for the milling time of the samples.

The second stage of this work is the examination of the ability of threaded joint of smc glass 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, the maximum pushing force and shear stress increased although the screw diameter does not change, together with the increased pitch of the metric thread size. It is due to increased tooth thickness and root radius as the pitch increases. In addition, it was seen that the pure shear cutting is realised in thin teeth. But in the thicker screw teeth the deformation is realised as pressing, shear and fiber elongation and then fiber breakage. 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. The maximum thrust, the maximum moment, and the shear stress were increased 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 propagated in dynamic stripping experiments.

Keywords: Smc glass fiber reinforced composite, Screw joining, 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 abim Ahmet Gündoğdu'ya ve Makine Mühendisi İsmail Topatan'a sonsuz teşekkür ederim.

Hasan GÜNDOĞDU
KONYA-2018



İÇİNDEKİLER

iv

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	6
2.2.1. Kompozit malzemelerin tarihsel gelişimi	7
2.2.2. Kompozit malzemelerin avantajları ve dezavantajları.....	7
2.2.3. Kompozit malzemelerin uygulama alanları	8
2.2.4. Kompozit malzeme yapımında kullanılan temel maddeler	9
2.2.5. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması	12
2.2.6. Elyaf takviyeli kompozit malzeme üretim yöntemleri	19
2.3. Smc Yöntemi İle Kompozit Malzeme Tasarımı Ve Üretimi	26
2.4. Kompozit Malzemelerin İşlenebilirliği.....	28
2.4.1. Malzeme türü ve özellikleri	28
2.4.2. İşlem türü ve işlem parametreleri	29
2.4.3. Takım özellikleri.....	29
2.4.4. Elyaf yönlenmesi	30
2.5. Kompozit Malzemelerin İşlenmesi Sonucunda Oluşan Hasar Mekanizmaları ...	30
2.5.1. Mekanik hasarlar.....	31
2.5.2. Kimyasal hasarlar	32
2.5.3. Termal hasarlar	33
2.6. Kompozit Malzemelerin Birleştirilmesi	33
2.6.1. Mekanik birleştirme yöntemi.....	33
2.6.2. Yapıştırma ile birleştirme yöntemi	34
2.7. Vidalı Birleştirme Mekaniği	36
2.7.1. Vida ve civata tanımı	36
2.7.2. Vida profilleri	37
2.7.3. Vida çeşitleri	38
2.7.4. Vida bağlantılarının mukavemet hesapları	39
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	45
3.1. İşlenebilirlik Deneyleri	45
3.1.1. Deney numuneleri.....	45
3.1.2. Deneylerde kullanılan cihaz ve donanımlar.....	45
3.1.3. Deneylerde kullanılan kesici takımlar	46
3.1.4. Deney parametreleri ve işleme stratejisi.....	47

3.2. Dinamik Vida Dişı Sıyırma Deneyi.....	49
3.3. Statik Basma Deneyi.....	52
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	54
4.1. İşlenebilirlik Deney Sonuçları	54
4.1.1. Yüzey pürüzlülüğü analizi	54
4.1.2. Yüzey hasar analizi	69
4.2. Dinamik Vida Dişı Sıyırma Deney Sonuçları.....	74
4.3. Statik Basma Deney Sonuçları	78
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	81
5.1. Sonuçlar	81
5.2. Öneriler	82
KAYNAKLAR	84
EKLER	88
ÖZGEÇMİŞ	100

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

F_x	: Frezelemede ilerleme kuvveti [N]
F_y	: Frezelemede kesme 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
RTM	: Reçine Transfer Metodu
SMC	: Sheet Moulding Compound
CETP	: Cam elyaf takviyeli polyester

1. GİRİŞ

20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren tekniğin hızla gelişmesi, beraberinde sanayinin temel girdisi olan malzeme ve malzeme biliminde de gelişmelerin hızlanmasını sağlamıştır. Fakat yeryüzünde ana malzemelerin sınırlı olmasından dolayı, malzemeler ve bu malzemelerin özellikleri teknolojinin gelişimine ayak uyduramamıştır. Uzay araçlarının yapımına geçilen geçen asırda, bilim adamları çağın yenilikleri ile birlikte mevcut malzemelerin özelliklerinden, bilimin gelişmesi paralelinde günün şartlarına uyacak şekilde gerek ekonomik gerekse teknik yönden daha uygun malzemeler imal etme yolunu seçmişlerdir.

Dolayısıyla hem ekonomik hem daha yüksek mukavemetli ve hem de çok hafif malzemelerin oluşturulması için yapılan çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Böylece malzemeyi teşkil eden bileşenlerin, özellikleri farklı olan kombinasyonlarının verdikleri, kompozit malzemeler, büyük bir önem kazanmıştır.

Kompozit malzemeler; iki ya da daha fazla malzemenin uygun özelliklerini tek malzeme toplayarak veya yeni bir özellik çıkarmak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesi sonucu oluşturulan malzemelerdir (Onat,2015).

Kompozit malzemeler; hafif olmaları, yüksek özgül dayanım, yüksek sertlik, yüksek tokluk ve kırılma dayanımları vb. gibi üstün özellikleri sayesinde son yıllarda uzay ve havacılık, otomotiv, denizcilik gibi çeşitli teknoloji ve bilim alanlarında yaygınlaşarak kullanımı artmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı kompozit malzemelerin işlenmesinde ortaya çıkan hata ve kusurlar en alt seviyelere indirgenmek istenmektedir. Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin kullanılmasıyla üretilen parçaların ürün haline dönüşmesi sırasında delik delme, yüzey ve kenar frezeleme, tormalama gibi talaş kaldırma işlemleri yapılmaktadır. Malzemenin içerisinde bulunan elyaf türlerine göre elyafların dayanımının fazla olması ve düşük ısı iletkenliği özelliğinden kaynaklanan nedenlerden dolayı takımların daha fazla aşınmasına neden olmakta ve bundan dolayı kesme işlemi hassas bir şekilde yapılamamaktadır. Elyaf takviyeli kompozitlerin işlenmesi esnasında matris çatlağı, elyaf çekmesi, elyaf kopması, tabakalar arası çatlakların oluşması, delaminasyonlar ve tabaka ayrılması gibi hasar mekanizmaları oluşmaktadır.

Kompozit malzemelerin montajında delik delme işlemi çok yaygın olarak kullanılan bir işlemdir. Delinmiş kompozitler üstün özellikleri göz önüne alındığında, elyaf çekmesi ve yüzey delaminasyonlarını içeren birtakım problemler ile karşılaşmıştır. Kompozit malzemelerin delinmesi sırasında oluşan yüzey hasarları malzemenin kalitesi

üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Bu durumu engellemek ve en düşük seviyede tutmak için kesme parametreleri, takım geometrisi ve kesme kuvvetlerine bağlı olarak sürekli çalışmalar yapılmaktadır.

Kompozit malzemelerin birleştirme yöntemleri arasında perçinli birleştirme ve yapıştırma çok sık kullanılmaktadır. Perçinli birleştirmede kompozitler önce delinmekte ardından perçin uygulaması yapılmaktadır. Kompozitlere vida uygulaması için kompozit imal edilirken kalıp içerisine somun gömme uygulamaları çok kullanılan bir tekniktir. Gerek perçin gerekse kompozitlerin somunla birleştirilmesinin yorulma, maliyet ve mukavemet açısından birçok dezavantajı mevcuttur. Kompozit malzemelerin gevrek ve heterojen yapısından dolayı işlenmeleri metalik malzemelere göre daha zordur.

Bu tez çalışmasında, cam elyaf takviyeli smc kompozit malzemelerin frezelenme ve kılavuz çekme işlemi ile birleştirme yöntemleri arasında sıkça kullanılan perçinli birleştirme ve yapıştırma yöntemi yerine vidalı birleştirme tekniği deneysel olarak araştırılmıştır. Cam elyaf takviyeli smc kompozitlerin talaşlı imalatla vida açma yetenekleri ve bu vidalı birleştirme tekniğinin mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu deneysel çalışma ile otomotiv ve endüstride çok sık kullanılan uygulamalara alternatif en uygun vidalı birleştirme ve vida açma yetenekleri araştırılmıştır. Bu amaçla ilk olarak cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üretimi yapılmıştır. Belirlenen talaşlı imalat yöntemleri ile ve bu yöntemlere uygun talaşlı imalat verileri ile malzeme ve takıma en uygun imalat parametreleri araştırılmıştır. Vidalı birleştirme yeteneklerinin araştırılması için vida test düzeneği hazırlanmıştır. Deney setine yerleştirilen iki adet loadcell ile vidaların maksimum moment ve itme kuvveti ölçülmüştür. Yapılan deneylerle birlikte vidalara statik basma testi de yapılarak dayanımları ölçülmüştür. Bu sayede cam elyaf takviyeli Smc yöntemi ile üretilen kompozit malzemelerin vidalı birleştirme yetenekleri ve mekanik özellikleri tespit edilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Literatür Taraması

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

Işık, (2013) cam elyaf takviyeli polimer kompozit (CETP) malzemenin hem düz delme hem de farklı gagalama yöntemleri kullanarak delinmesi üzerine çalışma yapmıştır. Kesme parametreleri olarak farklı kesme hızları 60,80 ve 100 m/dk., farklı ilerleme 200,300 ve 400 mm/dk., farklı ağız sayıları 2,3 ve 4 seçilmiştir. Kesici takım olarak uç açısı 60°'ye özel olarak bilenmiş matkap ve parmak freze kullanılmıştır. Deneyler iş mili motor gücü 5 kW olan Taksan TMC 500V dik işleme merkezinde yapılmıştır. Yapılan deneylerde delik giriş bölgesinde hasar faktörüne etki eden kesme parametreleri ve takım geometrileri incelenmiştir. Deney sonuçlarında kesme hızı ve ilerlemenin artmasıyla hasar faktörünün azaldığı görülmüştür. Ağız sayısındaki artış ise hasar faktörünü azaltmıştır.

Abilash ve Sivapragash, (2013) bambu elyaf takviyeli kompozit malzemelerin delik delme işlemi sonrasında oluşan delaminasyon hasarının optimize edilmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Yapılan deneylerde delik delme işlemi SMT matkapta 4, 6 ve 8 mm olmak üzere 3 farklı matkap çapı kullanılmıştır. Yapılan deneylerde numune malzemelere 18, 26 ve 34 mm/dk. ilerleme hızı ile 500, 860 ve 1360 devir değerleri uygulanmıştır. Yapılan deneylerin neticesinde en düşük matkap çapında ve düşük ilerleme hızlarında delaminasyon bakımından daha kaliteli delikler elde edildiği ve matkap çapı ile ilerleme hızının delaminasyon üzerinde diğer parametrelere oranla daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bambu takviyeli elyaf kompozit malzemelerin işlenmesinde en uygun parametrelerin ise devir sayısı 500 dev/dk., ilerleme hızı 18 mm/dk. ve matkap çanını 4 mm olduğu seçimlerde görüldüğü gözlemlenmiştir.

Kavad ve ark., (2014) cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin delik delme sırasında işleme parametrelerinin delikte oluşan delaminasyona etkisini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada cam elyaf takviyeli numunelere 3 farklı delik delme işlemi, HSM (yüksek hızda işleme), vibrasyonlu delik delme işlemi ve ultrasonik destekli delik delme işlemi ayrı ayrı uygulanmıştır. Vibrasyonlu delik delme ve ultrasonik destekli delik delme esnasında standart delik delme işlemine göre daha küçük kesme gerilmesi ve daha az delaminasyon gözlemlenmiştir. Bununla birlikte vibrasyonlu delik delme ve ultrasonik

destekli delik delme yönteminin cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler için uygun olduğu bildirilmiştir.

Fıçıcı ve Ayparçası, (2014) yapmış oldukları çalışmada cam elyaf tabakalı kompozit malzemelere delik delerek farklı işleme değerlerinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerini araştırmışlardır. Yapılan çalışmalarda deney numunesinde malzeme olarak % 30 oranında cam elyaf takviyeli kompozitler kullanılmıştır. Deneyler iki ağızlı üç adet farklı matkap ucu (HSS, HSS+TiN ve Karbür matkap ucu) ile HAAS TM-1 model CNC dikey freze tezgâhında yapılmıştır. Yapılan deney sonucunda deliklerde oluşan yüzey pürüzlülüğü Mahr Surf marka yüzey pürüzlülük cihazıyla ölçülmüştür. Deney sonucunda en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri karbür matkap ucunda elde edilirken en yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri HSS matkap ucunda olduğu anlaşılmıştır. Bununla birlikte ilerleme hızı artırılmasıyla yüzey pürüzlülüğünde her matkap ucu için artış olduğu, ilerleme hızı artışına göre en iyi yüzey pürüzlülüğü değerine Karbür matkap uçta ulaşıldığı en kötü yüzey pürüzlülüğü değerinin ise HSS matkap uçta olduğu görüldüğü bildirilmiştir.

Gara ve ark., (2016) çok yönlü karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin frezeleme işlemi sonucunda oluşan malzemenin mekanik etkileri araştırmışlardır. Deneysel çalışmalarda 60x45x4.8 mm ölçülerindeki karbon elyaf takviyeli numuneler kullanılmıştır. Deneyler C-TEK marka işleme cihazında (7.5 Kw, 10000 dev/dk.) 80 ila 200 m/dk. arasında değişken kesme hızları ile 0.008 ila 0.060 mm/dev diş arasında değişen diş başına ilerleme ile gerçekleştirilmiştir. Deneylerde ince, orta ve kalın dişli karbür tırtıklı freze 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 frezelemesinde kesme parametrelerinin yüzey kalitesine olan etkisini araştırmışlardır. Yapılan 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/dk.) ve üç farklı ilerleme hızlarıyla (100, 200 ve 300 mm/dk.) deneyler yapılmıştır. Yapılan deneylerde tezgâh iş mili gücü 5,5 KW, azami devri 6000 dev/dk.

olan TAKSAN TMC500 dik işleme merkezi seçilmiştir. Frezelenen kanalların yüzey pürüzlülüğü ise Mahr Marsurf PS1 cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Deneyleerin sonucunda ise takım çapı arttıkça yüzey pürüzlülüğü değerlerinin azaldığı ve tüm çap değerlerinde ilerleme hızlarının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün bir miktar azaldığı sonucu elde edilmiştir. Ayrıca asgari yüzey pürüzlülüğü değerlerinin sağlanması için daha büyük takım çapları, daha düşük kesme hızları ve daha düşük ilerleme hızlarının seçilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Hussein ve ark., (2013) cam elyaf takviyeli kompozit malzemelere delik delinmesinde delme ve frezeleme işlemleri üzerine çalışma yapmışlardır. Delme ve frezeleme işlemleri TH660 A tip 7,5 Kw güç ve 5300 devir/dakika özellikteki CNC dikey işleme merkezinde yapılmıştır. Deneyleerde numune malzeme olarak % 45 cam elyaf oranına sahip kompozit malzemeler kullanılmıştır. Deneyleerde delme ve frezeleme işlemi için kesici takım HSS, 6 ve 8 mm çaplı matkap uçları ile 5 ve 6 mm çaplarında sinterlenmiş karbür freze uçları kullanılmıştır. Deneyleerin sonucunda ise 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 sonucu elde edilmiştir. Ayrıca delik delme işleminde delik delme sırasında kesme hızının düşürülmesiyle ortalama itme kuvvetinin azaldığı, ilerleme hızının düşürülmesiyle de talaş kaldırma kuvvetinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Reis ve ark., (2011) yaptıkları çalışmada yapıştırılan farklı malzemelerin tek taraflı bindirme bağlantılarının kayma dayanımları üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deneysel çalışmalarda ise yapıştırılan malzeme olarak karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme, yüksek elastik çeliği ile 6082-T6 alaşımli alüminyum levha kullanılmıştır. Yapılan deneyleerin sonucunda yapıştırılacak malzemenin sertliğinin bağlantının kayma dayanımını etkilediği ve en yüksek kayma dayanımının yüksek sertliğe sahip yapıştırılacak malzeme kullanılmasıyla elde edildiği sonucuna ulaşılmıştır.

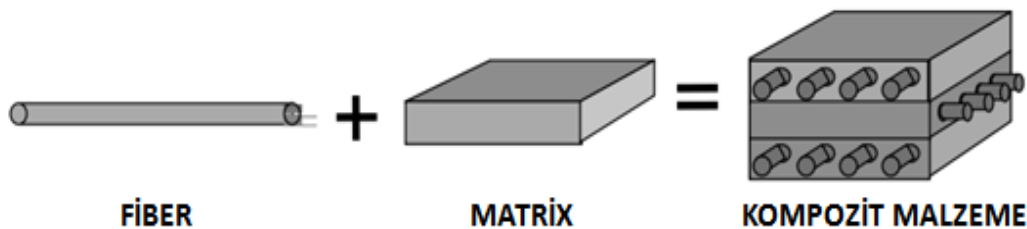
Mazumdar ve Mallick, (1998) kompozitlerin yapıştırma bağlantıları üzerine yaptıkları çalışmada, iki kompozit (SMC) plaka epoksi yapıştırıcı ile birleştirilerek, statik ve yorulma dayanımları deneysel olarak incelenmiştir. Deneyleer sonucunda, statik kopma yükünün yapıştırıcı kalınlığının önemli etkisi olduğu kadar bindirme uzunluğuna da bağlı olduğu sonucu elde edilmiştir. Maksimum kesme kuvveti ise 0,33 mm yapıştırıcı kalınlığında bulunmuştur.

2.2. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzeme fiziksel ve kimyasal özellikleri farklı iki veya daha fazla malzemenin bir araya gelerek oluşturduğu çok üstün özelliklere sahip olan malzemelerdir. Kompozit yapılar takviye elemanı ve matris diyebileceğimiz iki farklı yapının uygun yöntemlerle bir araya getirilmesiyle oluşur. Adından da anlaşılacağı üzere takviye elemanı kompozit yapının mekanik mukavemetini sağlamakla yükümlüdür.

Matris ise fiberleri bir arada tutan ve fiberler arasında gerilim aktarımını sağlayarak kompozit yapının mekanik özelliklerinin oluşumunu dolaylı olarak etkiler. Matris fiberleri fiziksel ve kimyasal dış etkenlerden koruyarak kompozit yapının bir sistem olarak ortaya çıkmasını sağlayan kısımdır. Matris malzemesi olarak uygun metal alaşımları kullanılabilirdiği gibi daha yaygın olarak reçineler kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin, metal malzemelere tercih edilmelerinin nedeni ağırlık olarak % 25'lere ulaşan miktarda malzeme tasarrufu sağlamalarıdır. Bununla birlikte aşağıda sıralanan avantajlar bu malzemelere olan talebin nedenlerini göstermektedir.

- Yüksek mukavemet
- Kolay şekillendirebilme
- Elektriksel özellikler
- Korozyona ve kimyasal etkilere karşı mukavemet
- Isıya ve ateşe dayanıklılığı
- Kalıcı renklendirme
- Titreşim sönümlendirme
- Hafif olmaları



Şekil 2.1. Kompozit malzeme ve bileşenleri

2.2.1. Kompozit malzemelerin tarihsel gelişimi

Kompozit malzemeler geçmişi çok eskilere dayanmaktadır. Günümüzde gemi yapımından bina yapımına, ev aletleri üretiminden uzay teknolojisine kadar hemen hemen her alanda çok yaygın bir kullanımı vardır.

Kompozit malzemenin üretimi son birkaç yüzyıla ait gibi görünse de bu sadece son zamanlardaki kullanımından dolayı böyle kabul görmüştür. Fakat kompozit malzemenin ilk örnekleri aslında çok eskilere dayanmaktadır. İlk çağlardan beri insanlar kırılğan malzemenin içine bitkisel veya hayvansal kaynaklı lifler koyarak bu kırılğanlık özelliğinin giderilmesine çalışmışlardır. Bu konuda en iyi örneklerden biri kullanımını eskilere dayanan kerpiç malzemedir. Kerpiç üretiminde, killi çamur içine katılan saman, sarmaşık dalları gibi bitkisel sap ve lifler, malzemenin gerek üretim, gerek kullanım sırasındaki dayanımını artırmaktadır. İnsanların amaçlanan özelliklere sahip bir malzemenin üretimi için özelliklere müdahalesinin ancak son yüzyıllarda gerçekleşmesinden dolayı yapay malzemenin tümüyle bilimsel veriler ve teknolojik olanaklar kullanılarak üretilmesiyle 'Kompozit Malzeme' kavramının ortaya atılması ve konunun bir mühendislik konusu olarak ele alınması ancak 1940'lı yılların başında gerçekleşmiştir (Ersoy,2001).

2.2.2. Kompozit malzemelerin avantajları ve dezavantajları

Kompozit malzemelerin diğer malzemelere göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

➤ **Avantajları:**

- Yüksek korozyon dayanımına sahiptir ve çoğu kimyasal etkiden zarar görmezler.
- Yorulma dirençleri yüksektir.
- Isıya ve ateşe dayanıklıdırlar.
- 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.
- Kalıcı renklendirilme özelliğine sahiptir.
- Kopma uzaması diğer malzemelere oranla oldukça yüksektir.

- Kolay şekillendirilebilirler.
- Kalıplama kolaylığına sahiptirler (Onat, 2015; Zor, 2008; Köksal, 2012).

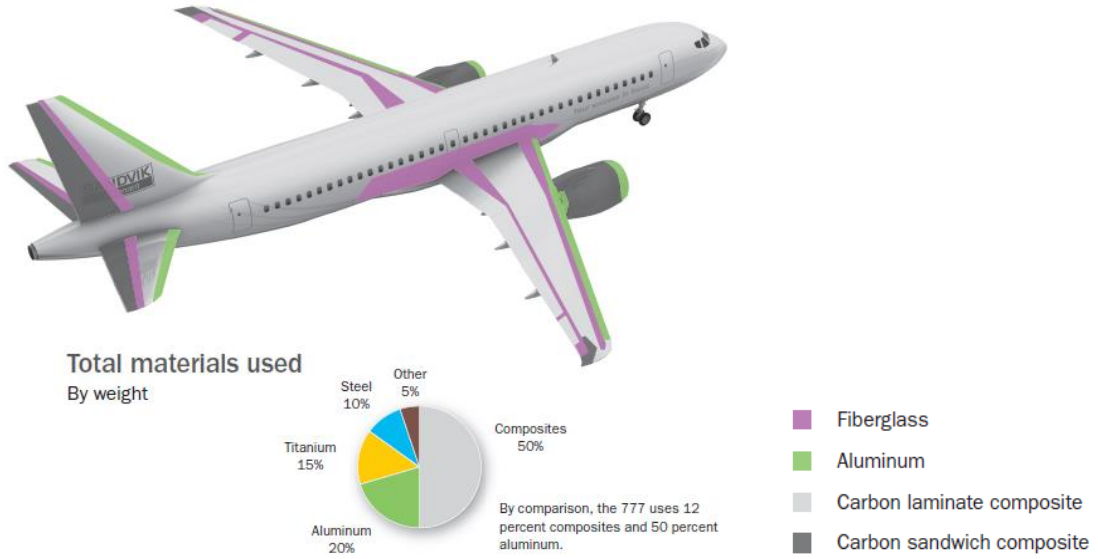
➤ **Dezavantajları:**

- Malzemenin kalitesi üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır bundan dolayı standartlaşmış bir kalite yoktur.
- Kompozitler gevrek malzeme olmalarından dolayı kolaylıkla zarar görebilmekte ve onarımları yeni problemler oluşturabilmektedir.
- Kompozit malzemelerin sınırlı raf ömürleri vardır.
- Fırınlanmadan (pişirmeden) 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. Kompozitlerin mukavemet, hafiflik, düşük maliyet ve korozyon direnci gerektiren uygulamalarda kullanılması oldukça yaygındır. Günümüzde ise uzay sanayinde kullanılan malzemelerden spor malzemelerine kadar çok geniş bir spektrum içerisinde uygulama alanı bulmuştur. Kompozit malzemelerin uygulama alanlarından aşağıda sıralanmıştır.

- Denizcilik Sanayi; Yatlar ve Sürat Motorlarının İmalatı
- Tıp Alanı; Tekerlekli Sandalye, Tıbbi Cihaz Muhafazaları
- Robot Teknolojisi; Robot Gövde Malzemeleri
- İnşaat ve Yapı Sektörü; Beton Kalıpları, Prefabrik Binalar
- Savunma Sanayi; Miğferler, Havan Topları Gövdeleri
- Gıda ve Tarım Sektörü; Silolar, Seralar, Tahıl Depoları
- Spor Malzemeleri İmalatı; Tenis Raketleri, Atlama Sırıkları
- Enerji Sektörü; İzolatörler, Antenler, Devre Kesiciler



Şekil 2.2. Uçak gövde malzemesi (Sandvık Coromant User's Guide,2017)

2.2.4. Kompozit malzeme yapımında kullanılan temel maddeler

2.2.4.1. Matris malzemeleri

Kompozit malzemelerin yapısında matrisin üç temel fonksiyonu vardır. Bu fonksiyonlar ise elyafları bir arada tutmak, yükü elyaflara dağıtmak ve elyafları çevresel etkilerden korumaktır. İdeal bir matris malzemesi başlangıçta düşük viskoziteli bir yapıda iken daha sonra elyafları sağlam ve uygun bir şekilde çevreleyebilecek katı forma kolaylıkla geçebilmelidir.

Kompozit yapılarda yükü taşıyan elyafların fonksiyonlarını yerine getirmeleri açısından matrisin mekanik özelliklerinin etkisi çok büyüktür. Örneğin matris malzemesi olmaksızın bir elyaf demeti düşünüldüğünde yük bir ya da birkaç elyaf tarafından taşınacaktır. Matrisin varlığı ise yükün tüm elyaflara eşit olarak dağılımını sağlayacaktır. Kesme yükü altındaki bir gerilmeye dayanım, elyaflarla matris arasında iyi bir yapışma ve matrisin yüksek kesme mukavemeti özelliklerini gerektirir. Elyaf yönlenmelerine dik doğrultuda, matrisin mekanik özellikleri ve elyaf ile matris arasındaki bağ kuvvetleri, kompozit yapının mukavemetini belirleyici önemli hususlardır. Matris elyafa göre daha zayıf ve daha esnektir. Bu özellik kompozit yapıların tasarımında dikkat edilmesi gereken bir husustur (Şahin,2006).

Matrisin kesme mukavemeti ve matris ile elyaf arası bağ kuvvetleri çok yüksek ise elyaf ya da matriste oluşacak bir çatlakın yön değiştirmeksizin ilerlemesi mümkündür.

Bu durumda kompozit gevrek bir malzeme gibi davrandığından kopma yüzeyi temiz ve parlak bir yapı gösterir. Eğer bağ mukavemeti çok düşükse elyaflar boşluktaki bir elyaf demeti gibi davranır ve kompozit zayıflar. Orta seviyede bir bağ mukavemetinde ise elyaf veya matristen başlayan enlemesine doğrultuda bir çatlak elyaf/matris ara yüzeyine dönüp elyaf doğrultusunda ilerleyebilir. Bu durumda kompozit sünek malzemelerin kopması gibi lifli bir yüzey sergiler.

2.2.4.2. Reçineler ve özellikleri

➤ Epoksi Reçineleri

Epoksi reçineleri bifenol A ile epiklorhidridin reaksiyon ürünü olup sertleştirici (katalist) ile karıştırıldığında adi sıcaklıkta veya fırınlama ile (70 – 90 derece) bir sonucu belli bir sürede sertleşir ve bir plastik görünümü alır. Önemli özellikleri olarak sıvı, viskoz sıvı veya katı hallerde bulunabilmeleri, elektrik, ısı, kimyasal dirençleri ile mekanik özelliklerinin yüksek olması, hava şartlarından etkilenmemeleridir. Depolanma süreleri oda sıcaklığında 24 aydır (Mallick,1993).

➤ Polyesterler

Dibazik asitlerle gliserin, glikol gibi polialkollerin reaksiyonundan elde edilirler. Katı, sıvı termostat, termoplast gibi türlerde bulunur. Sıvı polyesterler, katalist ve hızlandırıcı kullanılarak kür edilirler. Sert, kimyasal maddelere ve hava şartlarına direnci çok yüksektir. Katı polisterler (LPET gibi) darbe dayanımlıdır (Mallick,1993).

➤ Üretan Reçineleri

Bir izosiyanatla bir polialkolün oda sıcaklığında katılma polimerizasyonu ile elde edilen üretanlar daha çok köpük lastik (esnek ve rijit) yapımında kullanılırlar. Kimyasal direnci iyidir. Yazılık özellikleri yüksektir.

➤ Fenolik Reçineler

Fenol formaldehit kondenzasyon ürünü olup, bu ham maddelerin bazen türevlerinde kullanılmaktadır. Katı ve sıvı türleri vardır.

2.2.4.3. Dolgu malzemeleri

Dolgu malzemeleri küçük, organik ve inorganik partikül malzemelerdir. Şekillerine göre değişen pek çok filler bulunmaktadır. Bunlardan küresel, plaka tipi, fiber

tipli ve düzensiz şekilli filler söylenebilir. Bu fillerin max. boyutu 1 mm den daha düşüktür. Filler düşük fiyatlı olduğundan dolayı yaygın olarak kullanılır. Ayrıca filler termal genişleme katsayısını düşürdüğü için elektrik direncini ve elektriksel kondüktivitesini artırdığı için elektromanyetik koruyuculuğu için kullanılır. Bunun yanında sürtünme kat sayısını artırır veya azaltır.

Birçok filler tabiatan tabii olarak bulunur, petrol tabanlı reçinelerden çok daha ucuzdur. Petrol fiyatındaki yükselme ekonomik sebeplerden dolayı fillere olan kullanımı artırmıştır. Dolgu maddeli filler partiküllü kompozitler denir. Bu kompozitlerin özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- Reçine özelliklerine,
- Dolgu maddelerin özelliklerine,
- İç geometriye,
- Dolgu malzemesinin şekline,
- Kompozit malzemeyi meydana getiren elemanların hacimsel oranına,
- Fillerin dağılımına,
- Küresel olmayan parçacıklarının dizilişlerine bağlıdır.

Bazı fillerin kullanılmasının bir sebebi de ters durumdaki özellikleri iyileştirmesidir. Bazı fillerde kompozit malzemenin termal kondüktivitesini artırırken buna karşılık diğer özellikleri düşürülür. Kompozit malzemeleri teşkil eden bazı dolgu maddeleri aşağıda açıklanmıştır.

➤ **Kalsiyum Karbonat**

Fiyatı düşüktür. Katıldıkları malzemelerin elastiklik modülünü ve sünme direncini artırır. Şekillenme süresini, termal genişleme katsayısını düşürür. Katıldığı kompozit malzemenin yüzey kalitesini iyileştirir.

➤ **Kaolin (Kil)**

İçine katıldığı kompozit malzemenin fiyatını düşürür. Kimyasal direncini, elektriksel direncini, elastiklik modülünü ve sünme direncini artırır. İçerisine katıldığı malzemenin katılma süresini, termal genişleme katsayısını düşürür.

➤ **Cam Partikülleri**

İçerisine katıldığı malzemenin elektriksel direncini, kimyasal direncini, elastiklik modülünü, sertliği, abrazyonu, sünme direncini, tutuşma sıcaklığını artırır.

➤ **Mika**

İçine katıldığı malzemenin fiyatını düşürür. Elektriksel, kimyasal ve sünme direncini ayrıca elastiklik modülünü ve sertliğini artırır. Termal kondüktiviteyi, şekillenme süresin, termal genleşme katsayısını, nem absorbsiyonunu düşürür.

➤ **Talk**

İçine katıldığı malzemenin fiyatını düşürür. Elastiklik modülünü, sünme direncini artırır. Yüzey kalitesini iyileştirir, şekillenme süresini, termal genleşme katsayısını düşürür.

➤ **Silika**

İçerisine katıldığı malzemenin fiyatını düşürür. Elastiklik modülünü, elektriksel, kimyasal ve sünme dirençlerini ve sertliğini artırır. Katılma süresini, termal genleşme katsayısını azaltır.

➤ **Alimüna**

İçine katıldığı malzemenin fiyatını düşürür. Elastiklik modülünü, sertlik ve sünme direncini artırır. Katılma süresini ve termal genleşme katsayısını düşürür.

➤ **Toz Metaller**

Alüminyum, Bronz ve Demir tozları içine katıldığı malzemenin elastiklik modülünü, sünme direncini, termal kondüktivitesini, elektromanyetik korumasını artırır. Malzemenin katılma süresini ve termal genleşme katsayısını düşürür. Kalsiyum karbonat en çok kullanılan dolgu maddesidir.

2.2.5. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Yapılarında çok sayıda farklı bileşen bulunan kompozitlerin sınıflandırılması iki farklı şekildedir. Bunlar matris malzemenin türüne göre olan sınıflandırma ve takviye elemanın şekline göre yapılan sınıflandırma olarak kendi aralarında sınıflandırılabilir.

2.2.5.1. Matris malzeme cinsine göre sınıflandırma

➤ **Metal matrisli kompozitler**

Metal matrisli kompozitler ana yapıyı matris metalin oluşturduğu ve takviye elemanı olarak da genellikle seramik bir takviye fazının kullanıldığı kompozitlerdir. Bu malzemelerin seçiminde hemen hemen hiçbir sınırlama yoktur. Metal matriks kompozitler geleneksel malzemelere en büyük alternatiftir. Seramiklerin yüksek elastik

modülü ile metallerin plastik şekil değiştirme özellikleri birleştirilerek aşınmaya dayanıklı, kırılma tokluğu ve basma gerilmesi yüksek malzemeler elde edilmektedir. Yaygın olarak otomotiv, havacılık ve savunma sanayinde kullanılmaktadır (Zor, 2008).

➤ **Seramik matrisli kompozitler**

Seramik malzemeler çok sert ve kırılğandırılar. Ayrıca yüksek sıcaklık dayanımlarına ve göreceli düşük yoğunluk özelliklere sahiptirler. Isıl şok direnci ve tokluğu düşük malzemelerdir. Bu malzemeler başlıca alüminyum oksit (Al₂O₃), silisyum karbür (SiC), silisyum nitrür (SiN) olarak yer almaktadır. Bu bileşikler değişik yapılarında olduğu için amaca göre bir ya da birden fazlası beraber kullanılarak seramik matris kompozit elde edilir. Sandviç zırhlar, çeşitli askeri amaçlı parçalar imali ile uzaya araçları bu ürünlerin başlıca kullanım yerleridir. Seramik matrisle ilave edilen karbon, seramik ve cam fiberler özellikle yüksek sıcaklık uygulamaları gibi özel şartlar için geliştirilmektedir. Seramik malzemelerin seramik fiberler ile takviye edilmesi durumunda, mukavemet yükselmekte ve tokluklar da artmaktadır (Zor, 2008).

➤ **Polimer matrisli kompozitler**

Sürekli fiber takviyeli olarak yaygın olarak kullanılan polimer matrisler termoset ve termoplastikler olarak iki gruba ayrılır. Bu kompozitlerin sürekli fiberlerle takviye edilmiş polyster ve epoksi reçine matrisli olanları en önemlileridir.

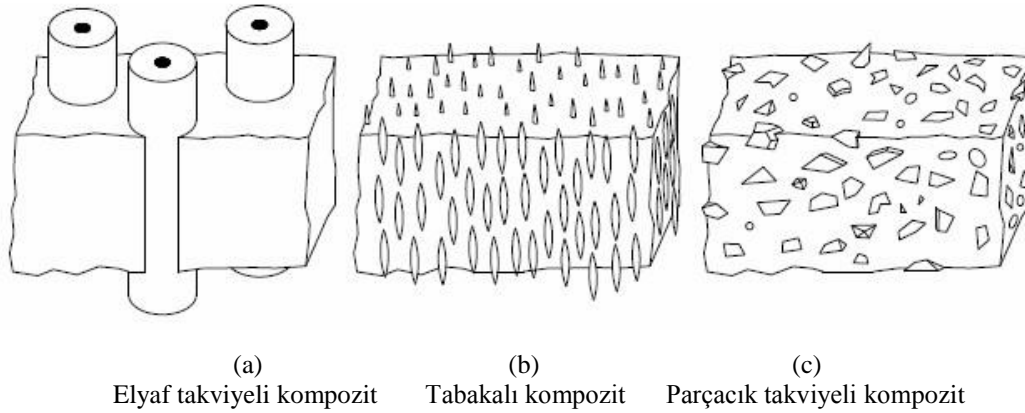
Kullanılan takviye malzemelerinin başlıcaları ise cam fiber, kevlar fiber, bor fiber ve karbon fiberlerdir. PMK'lerin üretiminde en çok kullanılan yöntemler, elle sıvama, tel sarma, kese kalıplama işlemi, pultrüzyon metodu, sıvı akış tekniği, takviyeli reaksiyon, enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon ve termo oluşum yöntemleridir.

PMK'lerin başlıca kullanım alanları ise korozyon direnci sebebiyle denizcilik uygulamaları, hafifliği sebebiyle otomotiv ve diğer taşımacılık endüstrileri ile spor malzemeleri, yanmazlık özelliği istenen otomotiv iç dekorasyonu gibi alanlar olarak gösterilebilir. Plastiklerin ana kaynağı, petrol rafinerilerinin artık maddeleridir. Dünyada üretilen toplam petrolün yaklaşık % 5 'i plastik üretimi için kullanılmaktadır (Zor,2008).

2.2.5.2. Takviye elemanının şekline göre sınıflandırma

Takviye fazının şekline göre kompozit malzemeler dört gruba ayrılmaktadır.

Bunlar parçacık takviyeli, tabakalı, karma ve elyaf takviyeli kompozitler olarak isimlendirilmektedir.

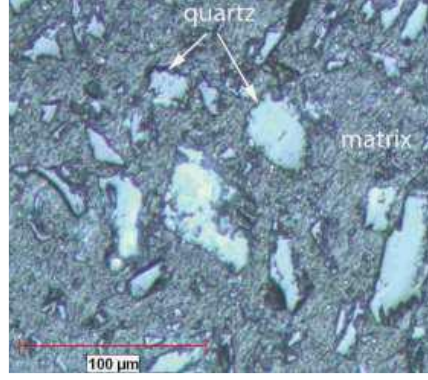


Şekil 2.3. Takviye fazının şekline göre kompozitlerin sınıflandırılması (Bayraktar, 2011)

➤ Parçacık takviyeli kompozitler

Bir matris malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıklar halinde bulunması ile elde edilirler. Bu tip kompozitler tek veya iki boyutlu mikroskobik partiküllerin veya sıfır boyutlu olarak kabul edilen mikroskobik partiküllerin matris ile oluşturdukları malzemeler olup ortalama gömülen parçacık boyutu 1 μm 'den büyük ve elyaf hacim oranı %25'den fazla kullanılmamaktadır. En çok kullanılan parçacıklar ise Al_2O_3 ve SiC 'den oluşan seramiklerdir.

Burada yük, elyaf ve matris tarafından birlikte taşınır ve özellikler yine izotropiktir. Bu kompozitler dayanımı iyileştirmekten ziyade beklenilmeyen alışılmışın dışında birleştirilmiş özellikler elde etmek için tasarlanmaktadır. Bu kompozitler; metal, seramik ve polimerlerin birleşiminden oluşabilirler. Sert metal uçlar ve beton da örnek olarak verilebilir. Yapının mukavemeti parçacıkların sertliğine bağlıdır. En yaygın tip plastik matris içinde yer alan metal parçacıklardır. Metal parçacıklar ısı ve elektriği iletkenlik sağlar. Metal matris içinde seramik matris içeren yapıların (cermet), sertlikleri ve yüksek sıcaklık dayanımları yüksektir. Bunlar kollar, kulplar, elektrik parçaları, muhafazalar vb. gibi küçük parçacıkların yapımında kullanılırlar (Onat,2015).



Şekil 2.4. Parçacık takviyeli kompozit malzeme içyapısı (Ateş ve Aztekin, 2011)

➤ **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. En yaygın kullanılmasının nedeni ise metallere göre hafif olması ve yüksek mukavemet değerlerine sahip olmasıdır. Bununla birlikte çoğu katmanlı kompozit yüksek dayanım ve aşınma direnci, mükemmel ısı direnci 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**

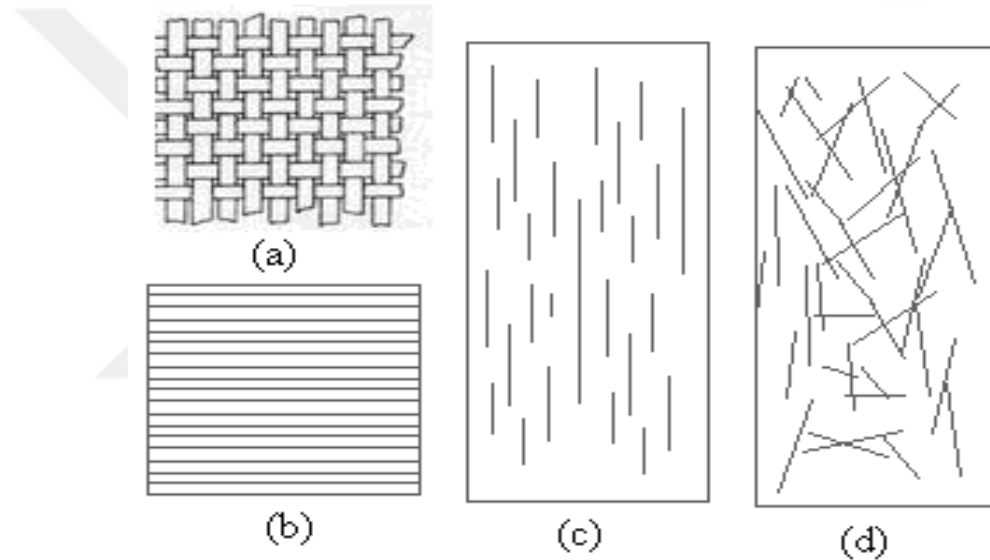
Aynı kompozit yapıda iki ya da daha fazla lif çeşidinin bulunduğu kompozit malzemeler hibrid kompozit malzemeler olarak adlandırılır. Bu alanın oluşması ile birlikte yeni kompozitlerin geliştirilmesi için uygun bir zemin oluşturulmuştur. Bu duruma kevlar ve grafitten oluşturulan hibrid kompozit örnek 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 elyaflı kompozit malzemedenden yüksektir (Zor, 2008).

➤ **Elyaf tabakalı kompozitler**

Elyaf takviyeli kompozitler ince elyafların matris yapıda yer almasıyla meydana gelirler. Bu kompozitler matris ve takviye/elyaf bileşenlerinden oluşmaktadırlar. Elyaf takviyeli kompozitler birbiri içinde karışmazlar ve çözünmezler.

Elyaf takviyeli kompozitlerde bulunan lifler matris içindeki düzeni ve 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 konumda bulunmaktadır. 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).



Şekil 2.5. Elyaf takviyeli kompozit malzemelerde elyafların kompozit içerisindeki dizilişi (Mallick, 1988)

a) Örgülü elyaf takviye, b) Sürekli elyaf takviyeli c) Yönlenmiş süreksiz elyaf takviyeli, d) Gelişigüzel dağılmış süreksiz elyaf

Kompozitlerde kullanılan başlıca elyaf türleri aşağıda açıklanmıştır.

- **Karbon elyaf**

1965 ten sonra geliştirilen özellikle uçak ve uzay sanayinde geniş uygulama alanı bulan karbon elyafı, kompozit teknolojisinde çok büyük öneme sahiptir. Cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler günümüzde yaygın olarak kullanılmasına rağmen gelişmiş kompozitlerde yaygın olarak karbon elyafı kullanılmaktadır. Karbon elyafı cam elyafa göre daha hafif ve aynı zamanda mekanik özellikleri daha iyidir. Ancak üretim maliyetleri de yüksektir. Hava araçlarının iskeletlerinde ve spor araçlarında metallerin

yerine kullanılmaktadır. Karbon elyafı iki malzemeden üretimi gerçekleştirilmektedir. Bunlar zift ve pan tabanlı karbon elyafıdır. Zift tabanlı karbon elyaf düşük mekanik özelliklere sahip olması nedeniyle daha az tercih edilmektedir. Pan tabanlı karbon elyaf ise mukavemeti yüksek ve daha hafiftir. Bundan dolayı sürekli üzerinde çalışmalar devam etmektedir.

- **Cam elyaf**

Cam elyafı, silika, kolemanit, alüminyum oksit gibi maddelerden üretimi gerçekleştirilmektedir. Cam elyafı, elyaf takviyeli kompozit üretiminde en çok kullanılan elyaf türü olarak bilinmektedir. Cam elyafı, eritilmiş camın, özel tasarlanmış tabanında küçük delikler bulunan ve özel bir fırından basınç altında geçirilmesiyle üretilir. Cam elyafı biçimlendirildikten sonra yıpranmaya karşı dayanımın artması için kaplama işlemi yapılmaktadır. Elyaf kaplama malzemesi olarak genellikle kompozit üretiminde önce kolaylıkla çözülebilen polimerler kullanılmaktadır. Elyaf ile reçinenin birbirine iyi yapışması çok önemlidir. Bu yapışma iyi olmaması durumunda ise kompozit malzemenin sertliği ve mukavemeti düşük olur. Bu durumun önüne geçilmesi için elyaf kimyasallarla kaplanır. Cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler, uzay ve havacılıkta, askeri alanda, endüstride ve otomotiv malzemeleri üretiminde kullanılmaktadır.

Cam elyaf üretiminde silis kumuna çeşitli katkı malzemeleri eklendiğinde yapı bu malzemelerin etkisi ile farklı özellikler kazanır. Dört farklı tipte cam elyaf mevcuttur.

- **A (Alkali) Camı:** A camı yüksek oranda alkali içeren bir camdır. Bu nedenle elektriksel yalıtkanlık özelliği kötüdür. Kimyasal direnci yüksek, en yaygın cam tipidir.
- **C (Korozyon) Camı:** Kimyasal çözeltilere direnci çok yüksektir.
- **E (Elektrik) Camı:** Düşük alkali oranı nedeniyle elektriksel yalıtkanlığı diğer cam tiplerine göre çok iyidir. Mukavemeti oldukça yüksektir. Suya karşı direnci de oldukça iyidir. Nemli ortamlar için geliştirilen kompozitlerde genellikle E camı kullanılır.
- **S (Mukavemet) Camı:** Yüksek mukavemetli bir camdır. Çekme mukavemeti E camına oranla %33 daha yüksektir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda oldukça iyi bir yorulma direncine sahiptir. Bu özellikleri nedeniyle havacılıkta ve uzay endüstrisinde tercih edilir. Cam elyaflar genellikle plastik veya epoksi reçinelerle kullanılırlar.

Çizelge 2.1. Cam elyafların mekanik özellikleri ve bileşimleri

Özellikler	Cam Tipi			
	A	C	E	S
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	2.50	2.49	2.54	2.48
Elastik modül (GPa)	-	69.0	72.4	85.5
Çekme mukavemeti(MPa)	3033.0	3033.0	3448.0	4585.0
Isıl genişleme katsayısı (m/m/°Cx106)	8.6	7.2	5.0	5.6
Yumuşama sıcaklığı (°C)	727.0	749.0	841.0	970.0
Katkı Malzemeleri (%)				
SiO ₂	72.0	64.4	52.4	64.4
Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	0.6	4.1	14.4	25.0
CaO	10.0	13.4	17.2	-
MgO	2.5	3.3	4.6	10.3
Na ₂ O, K ₂ O	14.2	9.6	0.8	0.3
B ₂ O ₃	-	4.7	10.6	-
BaO	-	0.9	-	-

- **Aramid elyaf**

Aramid aromatik poliamidin kısaltılmış ismidir. Polyamidler uzun zincirli polimerlerdir. Aramidin moleküler yapısında altı karbon atomunu birbirine hidrojen atomu ile bağlanmışlardır. Polimerler, matris olarak kullanılmalarının yanı sıra elyaf olarak da kullanılırlar. Örnek olarak Kevlar bir polimer elyafı olup kompozit malzemeye yüksek mukavemet ve sertlik kazandıran, hafif bir malzemedir. En çok kullanılan aramid elyaf ise Kevlar 29 ve Kevlar 49'dur. Genellikle doğal rengi sarı olan aramid elyaf farklı uygulamalar için farklı özelliklere sahip olarak üretilmektedir. Kevlar günümüzde zırh, halat, yanmaz koruyucu giysi üretiminde kullanılmaktadır. Kevlar çok yüksek çekme gerilmesine dayanabilen elyaflardan oluşan ipliksi bir yapı olmasından dolayı dokunabilir, kumaş haline getirilebilir, kesilebilir ve dikilebilir. Özellikle savunma sanayinde çelik yelek, miğfer üretimi bu elyafların kullanımıyla elde edilmektedir.

- **Bor elyaf**

Karbon elyafından daha güçlü ve aynı zamanda daha pahalı bir elyaf türüdür. Bor, oda sıcaklığında katı durumda olan ikinci hafif elementtir. Çekirdek olarak adlandırılan ince bir telin üzerine bor kaplanarak üretilir. Bundan dolayı bor elyafı kendi başına bir kompozit malzemedir. İsteğe bağlı değişik çaplarda üretimi yapılmaktadır. Mekanik özellikleri yüksek olduğu için uzay ve havacılıkta kullanılmaktadır. Silisyum karbür veya

Bor Klorür kaplanarak yüksek sıcaklıklara dayanım artar. Özellikle Bor Klorür kaplanmasıyla çekme mukavemeti önemli derecede artar. Bor elyafın üretim maliyeti yüksek olduğu için karbon elyaflara göre kullanımı daha azdır.

- **Alümina elyaf**

Alümina elyaf, elyaf formundaki alümina flamanın Silisyum dioksit kaplanmasıyla elde edilmektedir. Alümina elyafların çekme mukavemetleri yeterince iyi olmamasına rağmen, basma mukavemetleri yüksektir. Ayrıca yüksek sıcaklık dayanımları nedeniyle uçak motorlarında kullanımı mevcuttur.

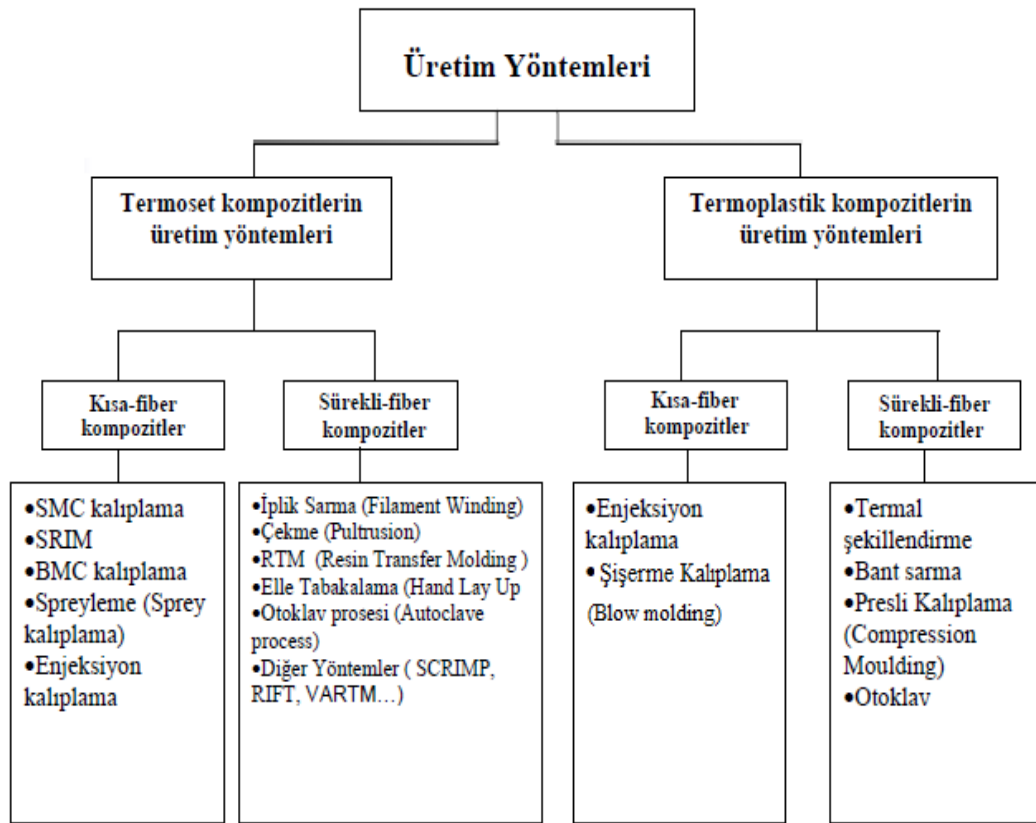
- **Silisyum karbür elyaf**

Bor gibi, Silisyum karbürün tungsten çekirdek üzerine kaplanması ile elde edilir ve 0,1 mm ile 0,14 mm çaplarında üretilirler. Kullanım yerine göre yüksek sıcaklıktaki özellikleri bor elyaflardan daha iyidir. Bu elyaflar genellikle Titanyum matrisle kullanılırlar. Jet motor parçalarında Silisyum Karbür elyaf Titanyum, alüminyum ve vanadyum alaşımlı matris ile kullanılırlar. Ancak Silisyum karbür elyaflar, bor elyaflara göre daha yüksek yoğunluğa sahiptirler. Silisyum karbürün karbon çekirdek üzerine kaplanması ile üretilen elyafların yoğunluğu düşüktür.

2.2.6. 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).



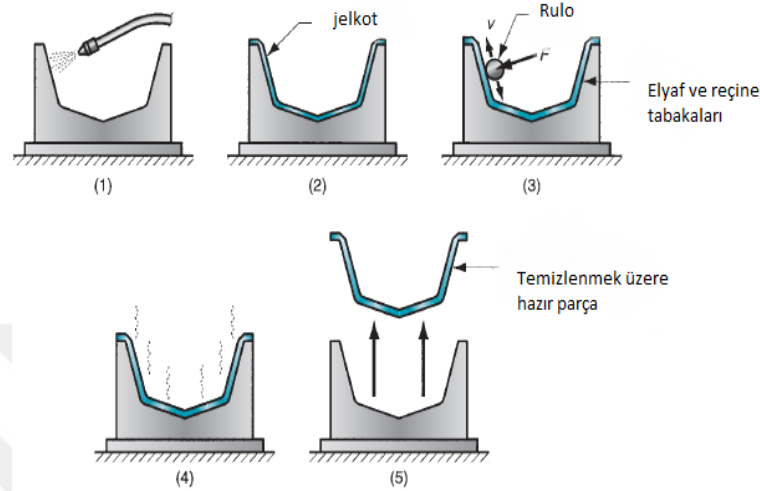
Şekil 2.6. Kompozit malzeme üretim yöntemleri şeması (Mazumdar, 2002).

2.2.6.1. El yatırma yöntemi

El yatırma yönteminde, bir kalıba elle yerleştirilmiş elyaflara bir rulo veya fırça ile reçine emdirilir. Daha sonra reçine emdirilmiş elyaflar oda sıcaklığı ve atmosferik basınç altında veya farklı sıcaklık ve basınçlar altında pişmeye yani kuramaya bırakılır. Reçineler kumaşlara kat kat yedirilebildiği gibi elyafların özelliklerine bağlı olarak çok katmana aynı anda da reçine sürülebilmektedir. Bu yöntemde herhangi bir termoset reçine (epoksi, polyeater, vinilester, fenolik) kullanılabilir. Takviye malzemesi olarak ise bilinen elyaflar (cam, karbon, aramid) kullanılabilir. Fakat ağır aramid elyafların bu yöntemle reçine emdirilmesi ise çok zordur.

El yatırma yönteminin birçok avantajı vardır. Bu yöntem çok kolay öğrenilir uygulaması da kolaydır. Özellikle oda sıcaklığında pişen reçinelerin kullanımında düşük maliyetlidir. Bu yöntemde uygun malzeme bulunması çok kolaydır. Bu yöntemin dezavantajları arasında ise uygulamayı yapacak kişinin el beceresine bağlıdır. Yüksek oranda fiber hacimsel yoğunluğa ulaşmak çok zordur. Reçine oranı düşük tutulmak istenildiği takdirde yüksek oranda hava boşlukları ve ıslanmayan bölgeler meydana

gelebilir. Bu yöntemde kullanılan reçinelerin yoğunluğu ve viskozitesi düşüktür. Bu tür reçinelerin kullanımında insan sağlığı açısından ağır molekülü reçinelere oranla daha zararlıdır. Bu yöntemle rüzgâr türbin kanatları, tekne üretimi ve mimari bazı kalıplama uygulamaları yapılabilir.



Şekil 2.7. El yatırma yöntemi (Groover, 2014).

2.2.6.2. Vakum kalıplama yöntemi

Vakum kalıplama yöntemi, elle tabakalı yönteminin devamı olarak düşünülebilir. Tek fark olarak elle reçine sürülmüş tabakalı yapının devamında vakum ortamına alınmasıdır. Bu yöntem özellikle epoksi ve fenolik reçine kullanımına uygundur. Bunun nedeni ise vakum polyeşter ve vinileşter uygulamalarında fazla oranda styrenenin reçineden çıkarılmasına sebebiyet verebilir. Bu durum da polimerleşmeyi engelleyici bir faktör olarak ortaya çıkar. Vakum kalıplama yöntemi beş aşamadan oluşur. İlk olarak kalıp ayırıcıdan sonra bir yüzeye yerleştirilen kumaşlara bir rulo veya fırça ile reçine/sertleştirici karışımı emdirilir. Daha sonra tabakalı yapının üstüne delikli ayırıcı bir film yerleştirilir. Bununla birlikte ayırıcı filmin üzerine hava çıkışını sağlayan ve fazla reçineyi tutmaya yarayan bir kumaş yerleştirilir. Plastik bir vakum filmi ve çift taraflı yapışkan sızdırmazlık macunları kullanılarak, reçine emdirilmiş yapı çepeçevre dış ortamdan izole edilir. Bir vakum pompası ile vakumlama yapılarak işlem tamamlanır ve malzeme pişmeye bırakılır.

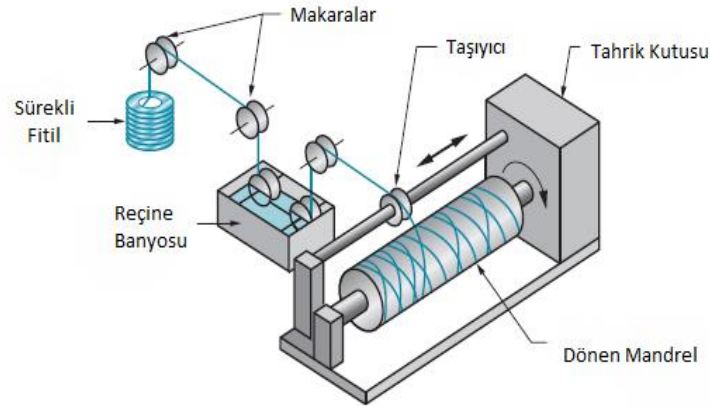
Vakum kalıplama yöntemin avantajı daha yüksek bir fiber oranı elde edilir. Daha az hava kabarcığı ve boşluklar meydana gelmektedir. Vakum sayesinde reçinenin liflerin arasına nüfuz etmesi daha kolay olur ve basınç sayesinde fazla olan reçine atılır. Vakum

2.2.6.4. Elyaf sarma yöntemi

Elyaf sarma yöntemi, elyaf reçine banyosuna daldırıldıktan sonra iki punta arasında dönmekte olan ve üzerine ayırıcı sürülmüş kalıp üzerine sarılmasından ibarettir. Malzeme sarımı hızlı ve ekonomik bir yöntemdir. Reçine bazı yöntemlere göre daha iyi kontrol edilebilir. Bobine sarılı lifler ikinci bir işlemde geçip kumaş haline getirilmediği için maliyet minimize edilmiş olur. Her katmanda farklı yönlerde sarım yapma imkânı olacağı için değişik yüklemeler yapı tarafından karşılanabilir. Uygulama sahası konveks şekle sahip parçalar ile sınırlıdır. Büyük parçalar için sarımın yapılacağı mandreller pahalı olabilir. Düzgün bir dış yüzey elde etmek için parçanın pişme sonrası işlenmesi gerekebilir. Düşük viskoziteye sahip reçineler genellikle üretimde kullanılır. Bu da çeşitli sağlık sorunları ve mekanik özelliklerde düşüşü beraberinde getirir. Kuru sarma ve yaş sarma gibi iki çeşit imalat çeşidi vardır. Ayrıca sürekli lifler kalıp üzerine düzlemsel veya helisel sarılabilirler.

Bu yöntemde herhangi bir termoset reçine (epoxy, polyester, vinylester, phenolic) kullanılabilir. Takviye malzemesi olarak ise bir bobine sarılı olan sürekli lifler kullanılır. Kumaş şeklindeki elyaflar kullanılmaz.

Genellikle; silindirik kaplar, silolar, basınçlı kaplar, güç iletim şaftları ve roket motor kasaları bu yöntemle üretilirler. Bu metotla daha yüksek kalite ve mukavemette ürün elde etmek mümkündür.

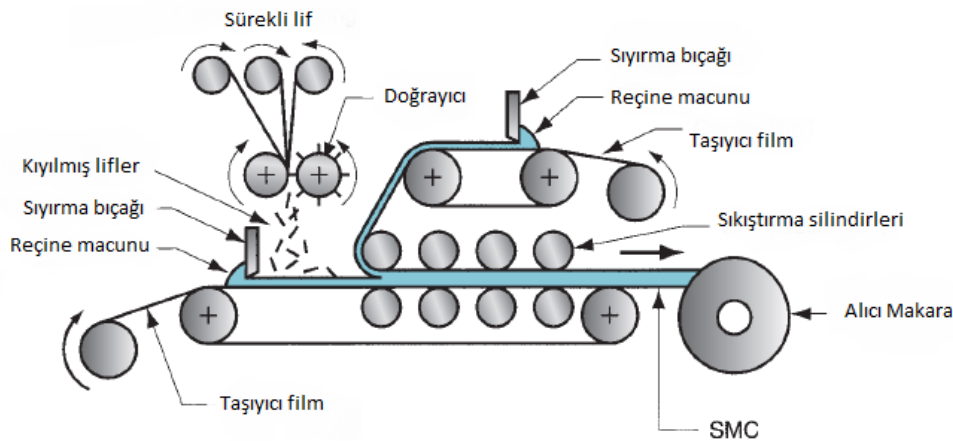


Şekil 2.10. Elyaf sarma yöntemi (Groover, 2014).

2.2.6.5. Hazır kalıplama yöntemi

Hazır kalıplama bünyesinde cam elyafı, reçine, katkı ve dolgu malzemeleri içeren kalıplamaya hazır, hazır kalıplama bileşimleri olarak adlandırılan kompozit malzemelerin

(SMC, BMC) sıcak pres kalıplarla ürüne dönüştürülmesidir. Karmaşık şekillerin üretilmesi, metal parçaların bünye içine gömülebilmesi, farklı cidar kalınlıkları gibi avantajları bulunmaktadır. Ayrıca ürünün iki yüzü de kalıp ile şekillenmektedir. Diğer kompozit malzeme üretim tekniklerinin olanak vermediği delik gibi komplike şekiller elde edilebilmektedir. Iskarta oranı düşüktür. Bu yöntemin dezavantajları; kalıplama bileşimlerinin buzdolaplarında saklanma gerekliliği, kalıpların metal olmasından dolayı diğer kalıplardan daha maliyetli olması ve büyük parçaların üretimi için büyük ve pahalı preslere ihtiyaç duyulmasıdır. Hazır kalıplama yönteminde kullanılan bileşimler içeriklerine göre çeşitlilik göstermekle beraber en çok iki tür hazır kalıplama bileşimi kullanılmaktadır (Becenen, 2008).



Şekil 2.11. Hazır kalıplama SMC üretim yöntemi (Groover, 2014).

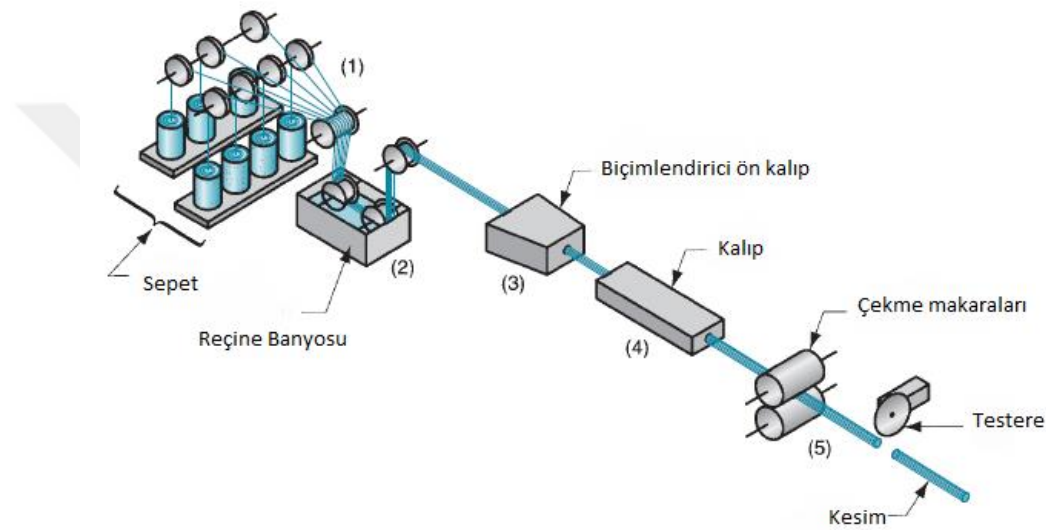
2.2.6.6. Otoklav yöntemi

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 basınç ihtiyacı 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 kütleme işlemi yapılır. Bu işlem ile yüksek kaliteli ürünler elde edilebilir. Fakat bu yöntem diğer yöntemlere oranla daha uzun sürede uygulanır ve pahalıdır (Onat, 2015).

2.2.6.7. 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).



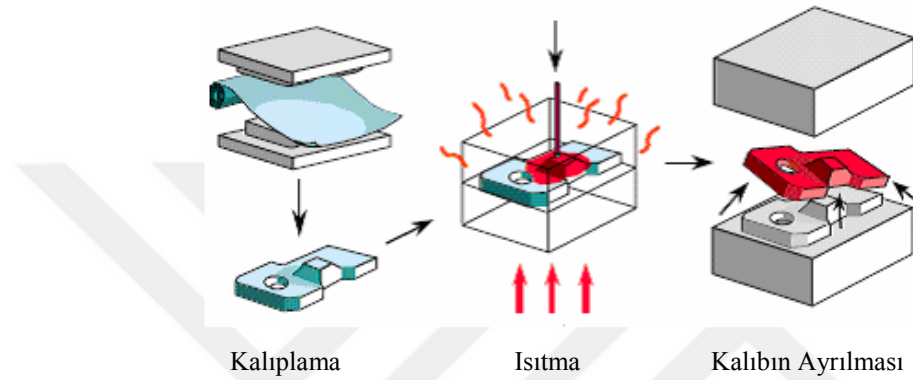
Şekil 2.12. Profil çekme yöntemi (Groover, 2014).

2.2.6.8. Reçine transfer kalıplama

Reçine transfer kalıplama prosesi (RTM), sıvı transfer kalıplama yöntemi olarak bilinir. RTM prosesi, maliyet açısından verimli parçaların üretimini, düşük maliyetli ekipman kullanımıyla ortaya çıkarmaktadır. RTM, lif yönlendirilmesi kontrol altında tutulduğu bir proses olup yaklaşık net şekilli parçaların üretimini sağlar. RTM yöntemi iki tarafı düzgün veya parlak ürün elde etmek için uygun bir biçimde hazırlanmış alt kalıba (dişi kalıp) öngörülen tüm takviye malzemelerinin yerleştirilip üst kalıp (erkek kalıp) kapatıldıktan sonra, kapalı kalıbın içine uygun bir makine/ekipman ile reçinenin enjekte edilmesi işlemidir.

RTM prosesinde meydana gelen en büyük sorun kuru noktalardır. Adından da anlaşılacağı gibi bu noktalarda takviye, reçine/katalizör karışımı tarafından yeterince

ıslatılamamıştır. Bu hatanın sonucunda ürün yüzey kalitesinde düşme ve mekanik özelliklerde azalma görülür. Bu hatayı gidermek için kullanılan en uygun yöntem vakumlama işlemidir. Bu işlem sayesinde reçine kalıba daha hızlı bir şekilde dolar. En önemli getirilerinden biri de özellikle keçe türü takviyelerin içinde oluşan havayı da almasıdır. Özellikle keçenin içerisinde düzgün dağılmayan reçine neticesinde keçe içindeki hava kendine çıkacak yer bulamaz ve kalıp içinde kalır. Bunun sonucunda da mekanik özelliklerde önemli bir düşüş görülür (Yöneş, 2007).



Şekil 2.13. RTM transfer kalıplama yöntemi (Park, 2004).

2.3. Smc Yöntemi İle Kompozit Malzeme Tasarımı Ve Üretimi

Kompozit üretim yöntemlerinden hazır kalıplama diye bilinmekte olan SMC iki adımda üretilir. İlk adımda özel olarak belirli oranda hazırlanan, cam fiber, doymamış polyester, dolgu ve katkı maddeleri bir araya getirilip karıştırılarak pestil (pregreg) biçiminde malzemeler hazır hale getirilir. İkinci adımda da olgunlaşması için bir süre bekletilen pestiller yüksek basınçlı ısıtmalı kalıplarda istenen şekle getirilir (Voorn ve ark., 2001).

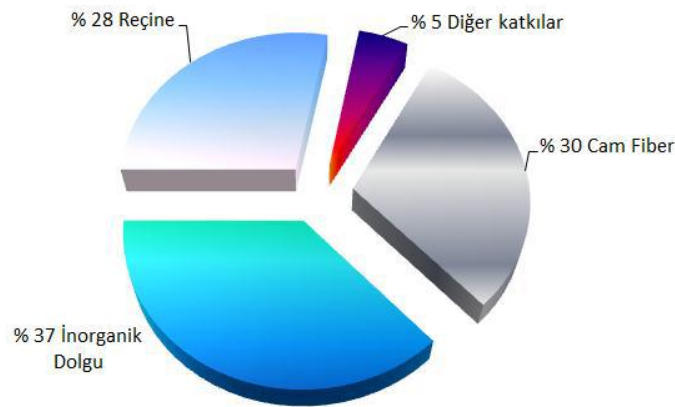
SMC üretim aşamalarını başarılı bir şekilde tamamlanması için prosesin hem kimyasal hem de mekanik olarak kontrollerinin yapılması gerekmektedir. Bu kontrollerin yapılması ise üretim süreci hakkında çok bilgi birikimine sahip olmayı gerektirir. Örnek verecek olursak üretim süreci esnasındaki hatalardan dolayı malzeme yüzeyinde ya da içerisinde boşluk oluşursa bu hem yüzey kalitesini düşürecek aynı zamanda mekanik özelliklerini olumsuz etkileyecektir. Farklı bir deyimle matris ve fiber arasındaki etkileşimler ile fiber oranı ve homojen dağılımı düzgün sağlanamazsa mekanik özellikler ve yüzey kalitesi olumsuz etkilenecektir (Le ve ark., 2008).

Smc üretim süreci uygun ve sorunsuz şekilde gerçekleştirildiğinde istenilen üstün nitelikli malzemeler ele edilir. Smc ile üretimin tercih edilmesinin nedenleri arasında malzemenin iyi mekanik özelliklere sahip olması, kısa çevrim süresi, mükemmel yüzey kalitesi, estetik, korozyon dayanımını ve düşük maliyet gibi parametrelerden söz edilebilir. Bundan dolayı otomotiv sektöründe özellikle kaporta aksamı yerine kullanımı giderek artmaktadır.

Otomotiv sektöründeki üreticilerin ana hedefleri kısa zamanda mümkün olan en düşük maliyet çerçevesinde en iyi ürünü üreterek rekabete ayak uydurmak isterler. Ülkemizdeki yakıt miktarındaki aşırı tüketim ve yakıt fiyatlarındaki değişkenlik ithal edilen araçlar için ek vergilere tabi olmuştur. Yakıt tüketimini azaltmak için birçok yol olsa da bunun en belirgin yöntemi ise aracın ağırlığının azaltılmasıdır. Aracın ağırlığını azaltmak için araçta bulunan çelik, alüminyum ve magnezyum gibi alaşımların da dâhil olduğu birçok metal grubu yerine çözüm düşünülmüş ve uygulamaya karar verilmiştir. Bu malzemelerin dışında polimer kompozit uygulamalarla etkin çözümler elde edileceğidir. Smc kompozitin yoğunluğu çelik malzemelerden düşük olduğu için araçlarda kullanımı yaygınlaşmaktadır (Akerma, 2000).

Smc ile karışık şekillerin üretilebilmesi ise metal parçaların bünye içine gömülebilmesi, farklı cidar kalınlıklarında çalışabilme mümkündür. Ayrıca ürünün iki yüzü de kalıp ile şekillenmesinden dolayı diğer kompozit malzeme üretim yöntemlerine olanak vermediği delik gibi kompleks şekiller elde edilerek ıskarta oranı düşük olmasını da sağlamaktadır.

Genellikle SMC hazır kalıplama yapılmadan önce pestil biçimde üretilen levhaların içinde matris malzemesi olarak polyester reçine, takviye malzemesi olarak cam fiber, inorganik dolgu malzemeleri ve katkı malzemeleri olarak katalizörler, kalıp ayırıcılar, kalınlaştırıcılar gibi birçok malzeme belli oranlarda bulunur (Bingöl, 2012).



Şekil 2.14. Tipik bir Smc formülasyonu (Bingöl, 2012).

2.4. Kompozit Malzemelerin İşlenebilirliği

Genellikle işlenebilirlik bir iş parçasının belirli etkenler doğrultusunda işlenebilme yeteneği olarak bilinmektedir. Kompozit malzemelerin işlenebilirliğini kendine özgü olarak tanımlayacak olursak iş parçasının kesici takımlar vasıtasıyla şekillendirilebilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır.

Kompozit malzemelerde kesme işlemi metallere göre oldukça farklıdır. Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin anizotropik ve heterojen yapıda olması ile beraber matris ile takviye malzemesinin mekanik ve termal özelliklerinin farklı olmasından dolayı standart malzemelere göre işlenebilirlikleri daha karmaşıktır. Bu malzemelerin işlenebilirliğini etkileyen parametreler aşağıda belirtilmiştir;

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

2.4.1. Malzeme türü ve özellikleri

Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin işlenmesi metallere göre farklıdır. Elyaf takviyeli kompozitler, elyaf takviye ve matrisin fiziksel özelliklerine, takviye hacim oranı ve takviye yönlenmesi özellikleri ile tanımlanmaktadır. Talaşlı işleme sırasında takım aşınması elyafların türü ve elyafların hacim oranından etkilenmektedir.

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 ve grafit elyafların ısı iletkenliğinin yüksek olması sebebiyle işleme sırasında oluşan ısı, işleme bölgesinden uzaklaşmakta böylelikle takım aşınması azalmaktadır fakat malzeme ısıdan etkilenen bölge artmaktadır. Cam ve aramid elyaf gibi ısı iletkenliği düşük kompozit malzemelerde ise işleme esnasında oluşan ısı, işleme bölgesinden uzaklaşamamakta 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).

2.4.2. İşlem türü ve işlem parametreleri

Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin işlenmesinde delik delme, frezeleme ve tornalama gibi bilinen yöntemlerin yanı sıra taşlama ve aşındırma gibi yöntemler de kullanılabilir. Bu yöntemlere de bağlı olarak malzemenin işlenebilirlik özelliği belirlenebilmektedir. Belirlenen bu özellikler sayesinde kullanılacak kompozit malzemenin yapısına göre işlem parametreleri değerleri verilmektedir. Kompozitlerin işlenebilirliğini kesme hızı, kesme kuvvetleri, ilerleme ve kesme derinliği gibi parametreler etkilemektedir.

Kompozit malzemelerde kesme işlemi metallere göre oldukça farklıdır. Kesme kenarı metallerin büyük çoğunluğunda olduğundan farklı olarak kesim sırasında talaş oluşturmaz, kompozit malzemeyi kırar ve genellikle işleme sırasında takviye elyaflarını kırarken matrisi keser. Kompozitlerin işlenmesinde genel prensip, yeterli boşluğa sahip keskin kesme kenarlarının temiz kesme yapması ve takım için iş parçasına sürtünme eğilimini azaltmasıdır. Kesme kenarında geometrik değişiklikler hızlı ve aşırı ısı oluşumuna, kenar kırılmasına ve parça kalitesinin düşmesine yol açtığı için takım aşınmasını asgariye indirmek önemlidir.

Karbon lifli kompozitlerin işlenmesinde takım ömrü doğrudan kesme hızıyla orantılıdır. Yüksek hızlar düşük takım ömrü, düşük hızlar yüksek takım ömrü demektir. Aramid lifli kompozitler işlenirken ilerlemelerin hassas bir şekilde ayarlanması halinde yüksek kesme hızları avantajlıdır. Cam lifli kompozitlerin işlenebilirliği karbon lifli kompozitlere yakındır. Yapı içerisindeki lif oranının artması işlenebilirliği azaltır. İşlenebilirlik açısından sadece kompozit tipinin değil, lif/matris oranının da dikkate alınması şarttır (Çakır, 2006).

2.4.3. 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 önemi daha fazladır. Kullanılan takviye yapısına göre takım seçimi yapılmaktadır.

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.

2.4.4. 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).

2.5. Kompozit Malzemelerin İşlenmesi Sonucunda Oluşan Hasar Mekanizmaları

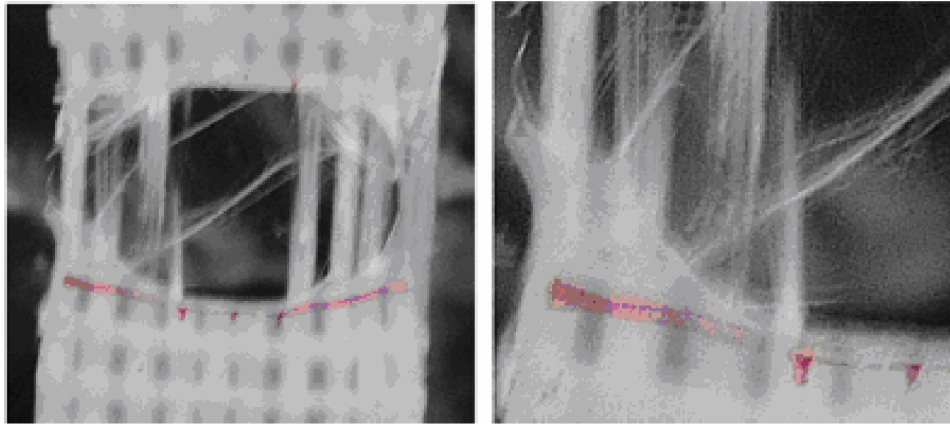
Kompozit malzemelerin işlenmeleri sonucundaki hasar mekanizmaları geleneksel malzemelere göre oldukça karmaşıktır. Bu durumun oluşmasında kompozit malzemenin yapısındaki matris ve takviye fazının kompozisyonu, elyaf yönelimi, tabakaların dizilimi, elyaf türü, ara yüzey bağı ile yükleme tipi, malzemenin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

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

2.5.1. Mekanik hasarlar

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

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.



(a)
a) fiber- matris ayrılması b) çatlak ilerlemesi

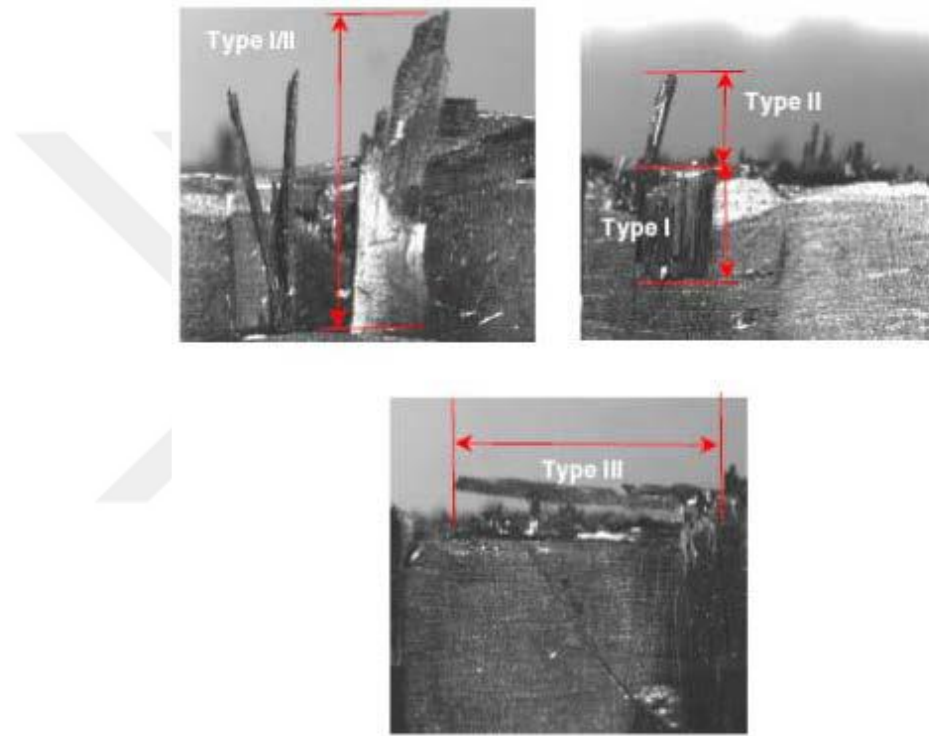
Şekil 2.15. Kompozit bir malzemenin kopma sonrası görüntüsü (Avcı, 2007).

Aşınmış olan ya da keskin olmayan kesici takımlarla yapılan kompozit malzeme işlemlerinde, kompozit malzeme yapısındaki kırılgen yapıda bulunan matris uygulanmış olan yük sebebiyle kesilmeye çalışılacaktır. Kesilemeyen matris kırılgen 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 tabakalar görülmektedir. Tip 1-2 delaminasyonda kenardan uzayan tabakalar aynı anda ana yüzeyden ayrılmaktadır. Tip 3 delaminasyonda ise işlenen yüzeyden uzayan elyaflar görülmektedir. (Urban, 2005).



Şekil 2.16. Farklı delaminasyon tipleri (Urban, 2005).

2.5.2. 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.

2.5.3. 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).

2.6. 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).

2.6.1. Mekanik birleştirme yöntemi

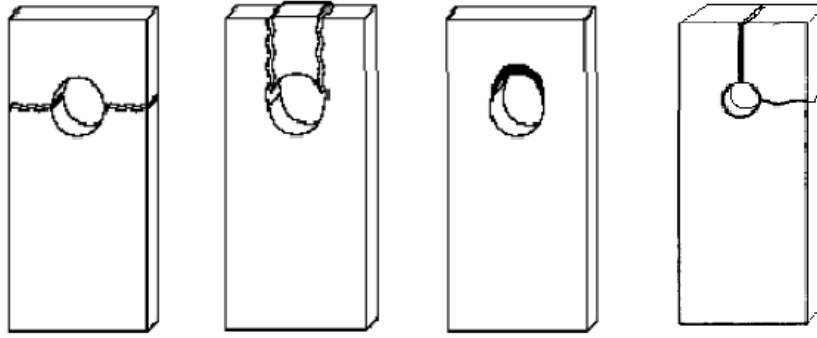
Mekanik birleştirme yöntemi, delme işlemi uygulanmış kompozit malzemelerin perçin ya da cıvata yardımıyla birbirlerine bağlanmasıyla gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem ekonomik ve kolay uygulanabilir olması sebebiyle tercih edilmektedir (Altan, 2009).

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 eksenel

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).



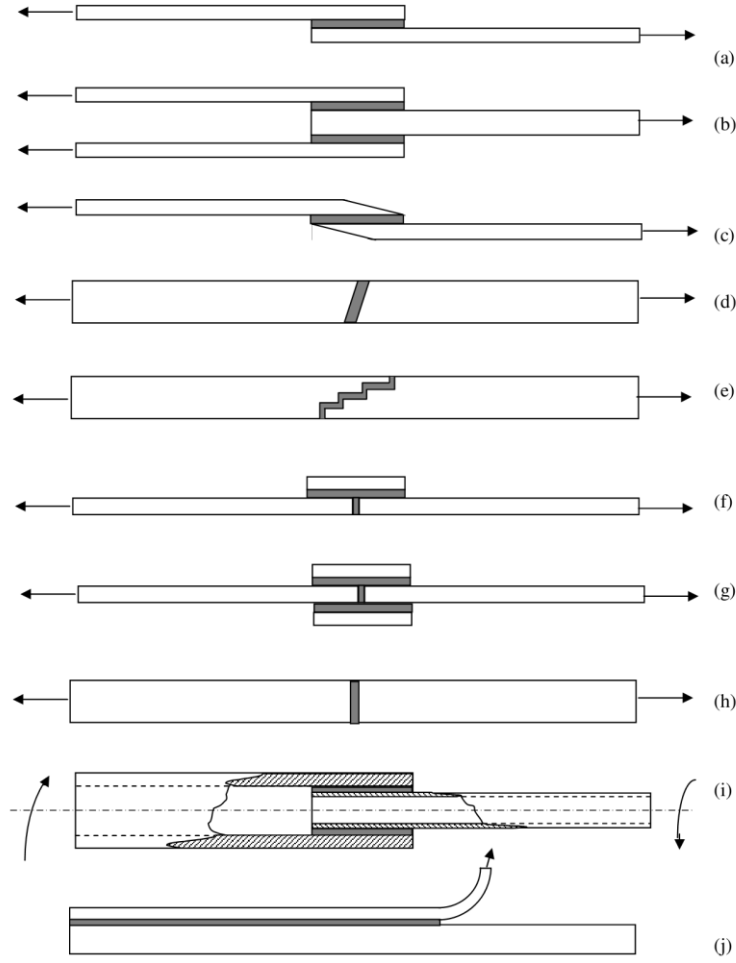
Çekme Hasarı Kayma Hasarı Ezilme (Yatak Hasarı) Bölünme Hasarı

Şekil 2.17. Mekanik bağlantılı yapılarda oluşan hasar şekilleri (Topalak, 2012).

2.6.2. 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.

- Tek taraflı bindirme bağlantısı
- Çift taraflı bindirme bağlantısı
- Pahlı bindirme bağlantısı
- Açılı bindirme bağlantısı
- Kademeli bağlantı
- Tek taraflı takviyeli alın bağlantısı
- Çift taraflı takviyeli alın bağlantısı
- Alın bağlantısı
- Silindirik bindirmeli bağlantı
- Soyulma



Şekil 2.18. 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).

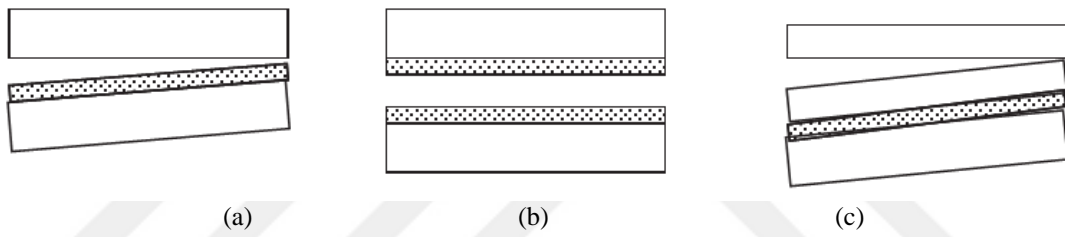
İyi bir yapıştırmanın temel şartları;

- 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

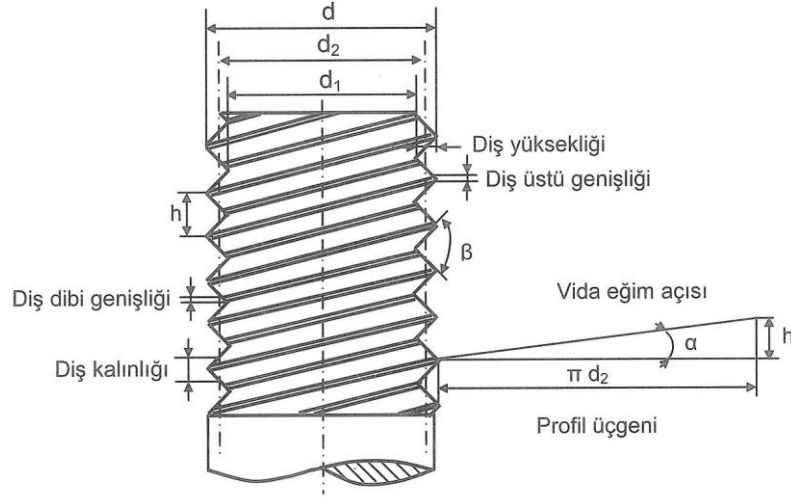
Şekil 2.19. Yapıştırırmalı bağlantılarda oluşan hasar mekanizmaları (Ekrem, 2015).

2.7. Vidalı Birleştirme Mekanikliği

2.7.1. 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 2.20. Vida ölçüleri (Kaymaz, 2011).

Yukarıdaki şekilde belirtilen vidada;

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

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

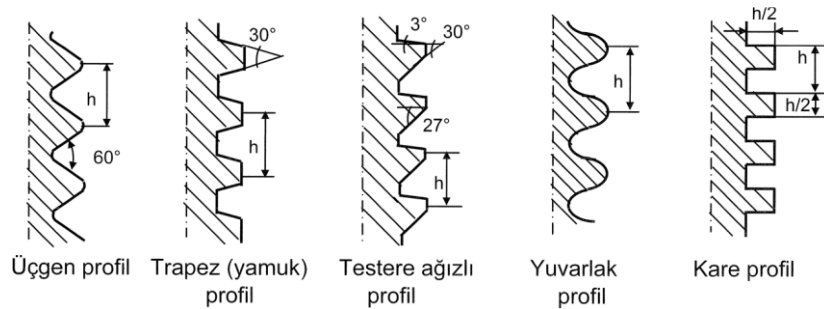
d_2 , ortalama çap

α , vida eğim açısı, helis eğrisinin ortalama çaptan geçen daire açınımlı ile yaptığı açđ

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

2.7.2. 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 2.21. Vida profilleri (Kutay, 2005).

2.7.3. Vida çeşitleri

2.7.3.1. 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.

2.7.3.2. 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.

2.7.3.3. Whitworth vida

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

2.7.3.4. Trapez vida

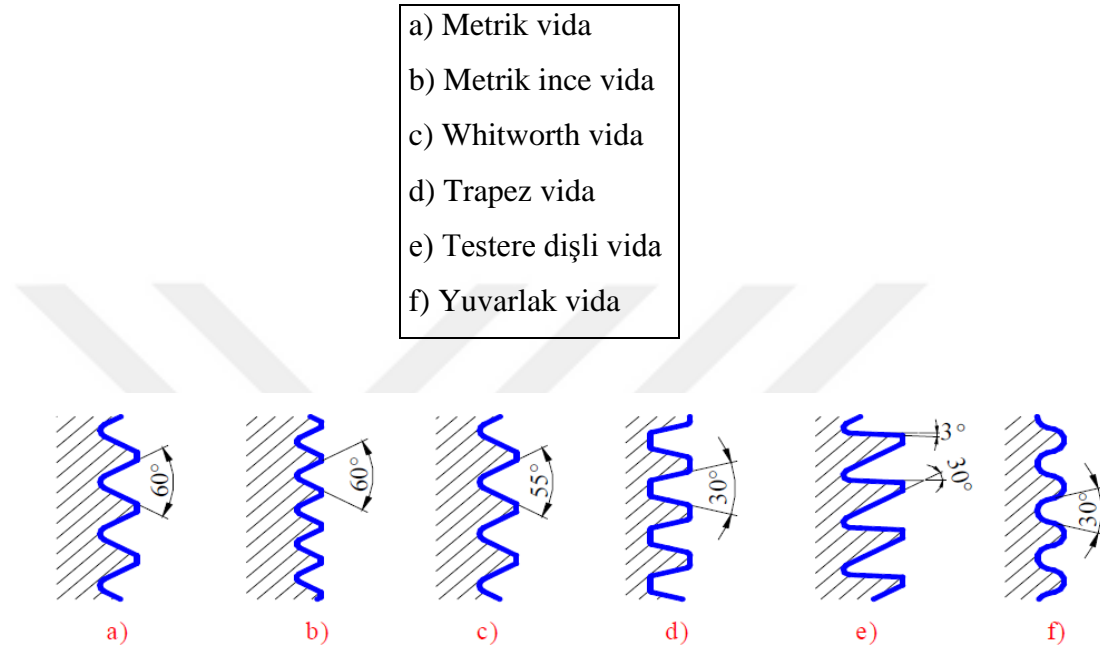
Trapez vidada tepe açısı 30° olan yamuk profil kullanılır. Vidalar, profillerin yan yüzeylerinden etkileşime geçerler. Bu vida türü kuvvet ve hareket taşıyıcı vida olarak kullanılmaktadır.

2.7.3.5. 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.

2.7.3.6. 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 2.22. Vida çeşitleri (Kutay, 2005).

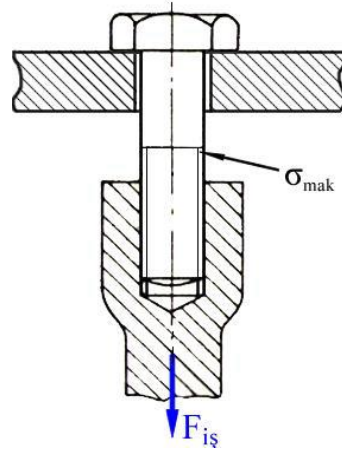
2.7.4. Vida bağlantılarının mukavemet hesapları

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

2.7.4.1. 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).



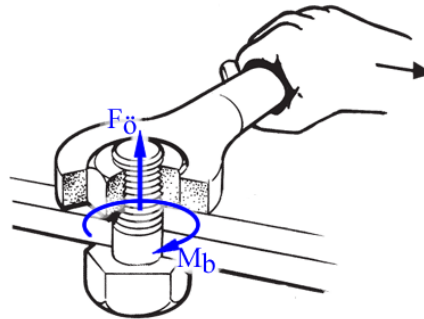
Şekil 2.23. Ön yüklemesiz durumdaki cıvata bağlantısı (Çayıroğlu, 2015).

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

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

➤ Ön yükleme altında bağlantı

Cıvata-somun bağlantısı ile iki parçanın birleştirilmesi sırasında somunun boşluğunun alınmasından sonra anahtar yardımıyla sıkılmaya devam edilmesi halinde oluşan ön yüklemeye kuvveti $F_{\ddot{o}}$, cıvata şaftını eksenel 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 eksenel çekme gerilmesi, hem de çevresel burulma gerilmesi altında kalmış olacaktır.



Şekil 2.24. Ön yüklemeli durumdaki cıvata bağlantısı (Çayıroğlu, 2015).

- Diş dibi kesitinde meydana gelen F_0 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 değeri τ ;

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

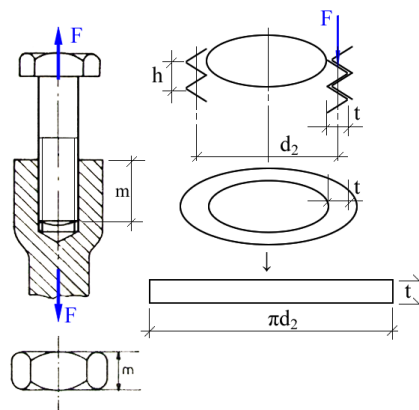
- Bir makine elemanı üzerine normal gerilmeler (σ) ile kayma gerilmeleri (τ) aynı anda etki ettiğinde her iki gerilmenin etkisini tek bir etkiye düşüren gerilme ($\sigma_{eş}$) bulunur ve bulunan eşdeğer gerilme, emniyet gerilmesinden düşük olmalıdır (Çayıroğlu, 2015).

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

2.7.4.2. 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 2.25. Cıvata-somun bağlantısı (Çayıroğlu, 2015).

- Bir diş yüzeyine gelen yüzey basıncı şöyledir;

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

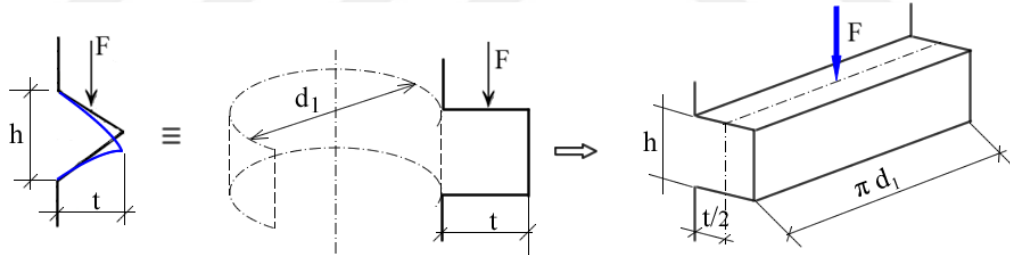
- Diş yüzeyinin basınç nedeniyle ezilmemesi için gerekli olan diş sayısı (z) ve olması gereken somun yüksekliği (m) şöyledir;

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

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

➤ Vida dişinin eğilmesi

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



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

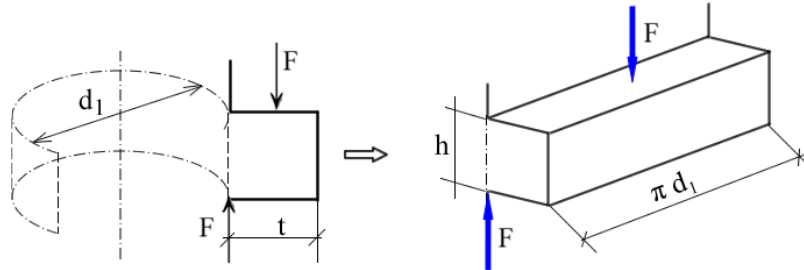
- Bir diş üzerinde meydana gelen eğilme gerilmesi σ_e şöyle bulunmaktadır.

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

➤ Vida dişinin kesilmesi

Diş üzerindeki kuvvet diş diğ 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 yapılırsa da daha kritik olan yüzey basıncıdır.



Şekil 2.27. Kare profilli vida-kuvvet durumu (Çayiroğlu,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 (Çayiroğlu, 2015).

Cam elyaf 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. Cam elyaf 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 cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin genellikle otomotiv sektörü, bina ve yapı uygulamalarında kullanıldığı belirlenmiştir. Bu alanda kullanılan malzemelerin birleştirilmesinde perçinli birleştirme ve yapıştırma teknikleri çok sık uygulanmaktadır. Perçinle birleştirme işlemi yapılmadan önce cam elyaf takviyeli kompozit malzemelere delik delme işlemi uygulanmakta ve sonrasında perçin uygulaması yapılmaktadır. Fakat perçinleme ve yapıştırma tekniğiyle

kompozit malzemelerin heterojen yapısından dolayı 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 cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin farklı kesici ağız sayısında frezelenmesi, delik delinme işlemi ve kılavuz çekme ile vidalı birleştirme yeteneği deneysel olarak araştırılmıştır.

Öte yandan cam elyaf takviyeli kompozit malzemelere perçin ve yapıştırma tekniğiyle sökülemeyen birleştirmeden doğan olumsuzluklara alternatif sökülebilen bir teknik olan vidalı birleştirme yeteneğinin araştırılması bu çalışmayı yapmamızda en önemli etken olmuştur. Literatürde yapılan birleştirmeler daha çok cıvata ve somun çiftiyle yapılan çalışmalardır. Bu tür konstrüksiyonlar sınırlı konstrüksiyonlardır. Cam elyaf 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 cam elyaf takviyeli smc kompozit ve RTM yöntemiyle üretilmiş cam elyaf takviyeli numunelerin işlenebilirliği ile vidalara uygulanan statik basma deneyleri ve dinamik vida dişi 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 otomotiv sektörü, bina ve yapı uygulamalarında kullanılan cam elyaf takviyeli kompozit malzeme numune olarak kullanılmıştır. Deneylerde, ağırlıklı olarak CaCO₃ (ağırlıkça% 45) ve solvent bazlı doymamış polyester reçinesi (ağırlıkça% 25) içeren macunumsu bir matris içine gömülmüş, ağırlıkça% 30 kırılmış cam elyaf (uzunluk 25 mm) içeren SMC kullanılmıştır. Smc numune malzemeler, 140 °C sıcaklıkta bulunan alt kalıp ile 150 °C sıcaklıktaki üst kalıp plakasının 1500 ton yüksek basınç kuvveti ile 180 saniye kürlendikten sonra kapatılan kalıbın açılmasıyla ejektörle kalıptan çıkartılmış ve kullanıma hazır hale getirilmiştir. Kürlenmiş kalınlığı 10 mm olan numuneler daha sonra 2x2 cm ebatlarında kesilerek elde edilmiştir. Cam elyaf takviyeli numuneler ise RTM yöntemiyle üretilmiştir. Ağırlıkça %25 rasgele yönlendirilmiş cam elyaf takviyesinden oluşmaktadır. Polimer beton kalıp içerisine ilk önce kalıp ayırıcı (jelcoat) sürülmüş üzerine rasgele kırılmış cam elyaflardan oluşan mat kumaş şeklinde kalıp içerisine serilerek jelcoat sürülen üst kalıp kapatılmıştır. Üst kalıptan bir basınçlı nozzle ile kalıp içerisine polyester reçine ve sertleştirici enjekte edilerek kalıbın dolumu sağlanmıştır. İki saat süreyle kürlenmiş numuneler 10 mm kalınlığında 2x2 cm ebatlarında kesilmiştir.

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 3.1. 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 nedenle kompozit malzemelerin işlenmesinde kesici takım ve kesme parametrelerinin seçimi oldukça önemlidir. Yapılan deneylerde kesici takım olarak 8 mm çapında helisel 2, 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 3.2. Deneyleerde kullanılan kesici takım uçları (2, 4 ve 6 ağızlı).

3.1.4. Deneyle parametreleri ve işleme stratejisi

Deneyle parametreleri literatürde bulunan daha önceki çalışmalar doğrultusunda ve kesici takımlar kataloglarından yararlanılarak deneyle parametreleri belirlenmiştir. Deneyleerde 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	60	80
İlerleme (mm/dev)	0.05	0.10	0.15

Deneyle tasarımımda literatürde kabul gören ve yaygın kullanıma sahip Taguchi metodu kullanılmıştır. Taguchi yöntemi gerçek deneyle çalışmalarında deneyle sayısını azaltarak etkili ve ekonomik bir deneyle 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 deneylelerde deneyle sayısının artması ve dolayısıyla maliyetlerin artmasına sebep olmaktadır. Taguchi yöntemiyle hedef doğrultusundaki değişkenler azaltılmakta ve maliyet ile zamandan tasarruf sağlanmaktadır. Taguchi yöntemi 3 deneyle 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 ulaşamadığında 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. Bunlar takım tipi, kesme hızı ve diş başına ilerlemedir. Bu parametreler ve veriler Çizelge 3.4. te belirtilmiştir. Tam faktöriyel deneylerde deney sayısı $seviye^{\wedge}parametre$ s^p şeklinde belirlenmiştir. Yani tam faktöriyel deneylerde 27 deney yapılması gerekirken 9 deneyle optimum sonuçlara ulaşılabilmektedir.

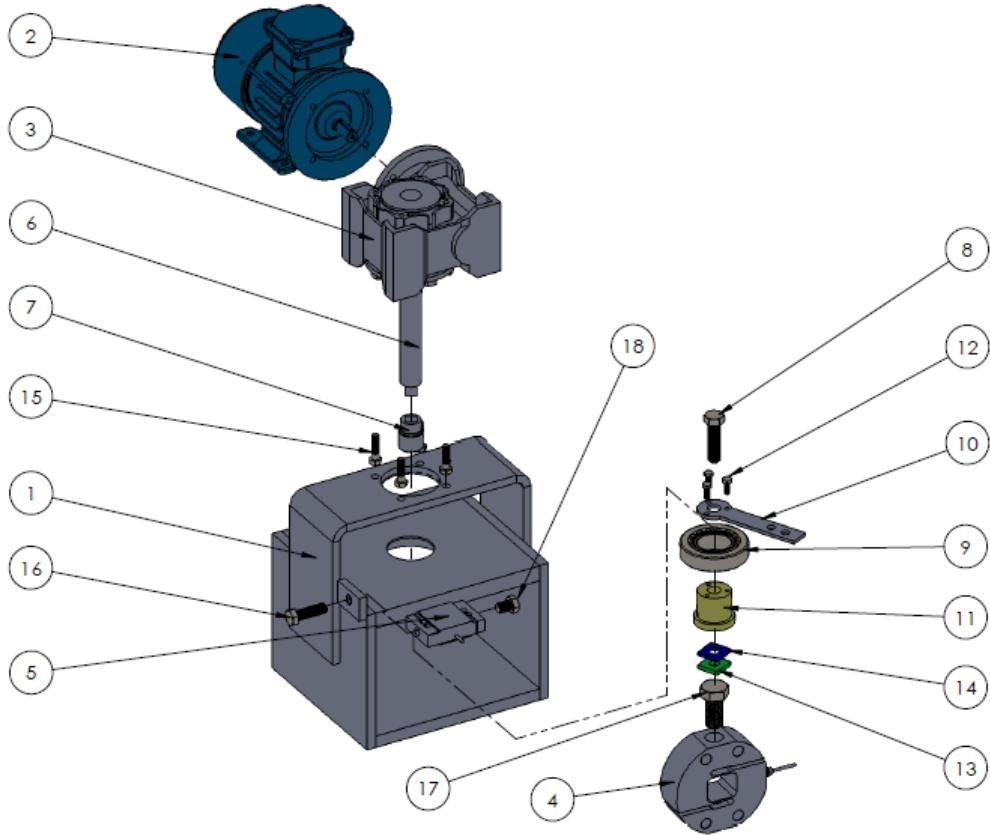
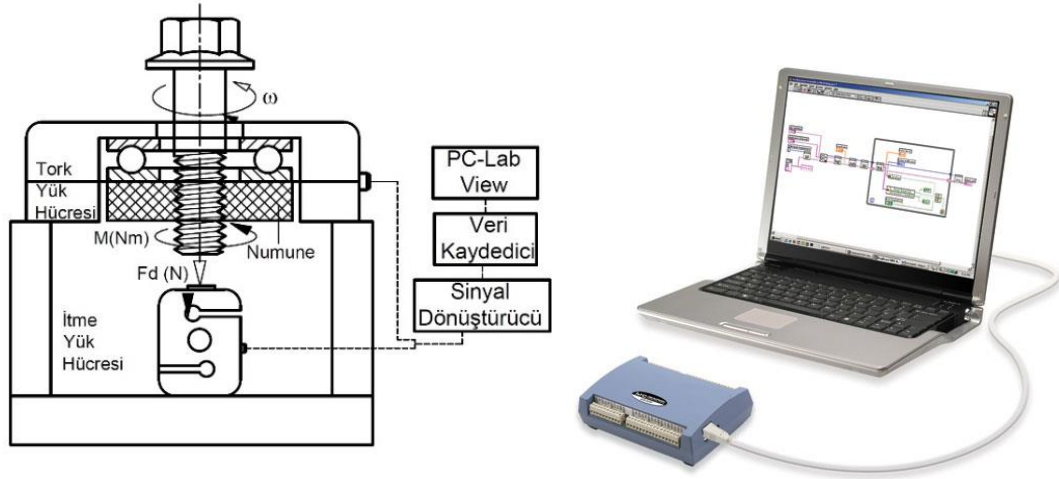
Çizelge 3.4. Taguchi L_9 ortogonal tasarım matrisi ve parametre seviyeleri

Deney No	A (T)	B (V)	C (F_z)	T	V	F_z
1	1	1	1	2	40	0.05
2	1	2	2	2	60	0.10
3	1	3	3	2	80	0.15
4	2	1	2	4	40	0.05
5	2	2	3	4	60	0.10
6	2	3	1	4	80	0.15
7	3	1	3	6	40	0.05
8	3	2	1	6	60	0.10
9	3	3	2	6	80	0.15

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 kareleri gruplar 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 Vida Dişi Sıyırma Deneyi

Dinamik basma deneyleri Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi laboratuvarlarında özel hazırlanmış deney setinde yapılmıştır. Deney seti Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Dinamik vida dişi sıyırma için hazırlanan deney seti, Şematiği ve Veri kaydedici (Daq) ve arayüzü

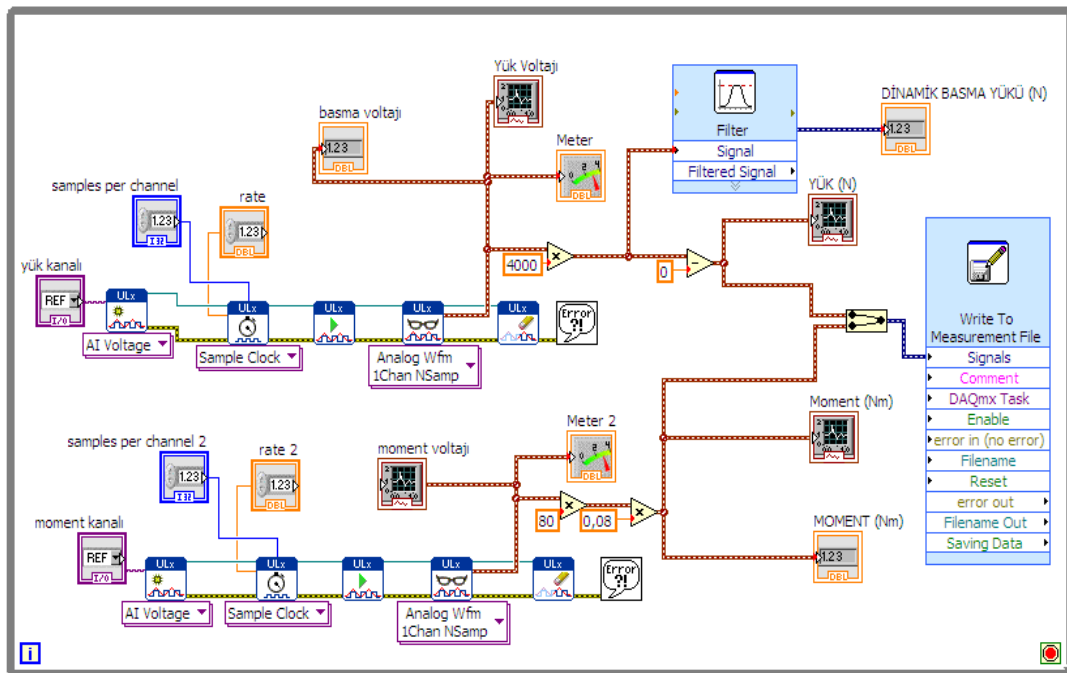
Bu deney düzeneği ile vidalarda elde edilen moment ve itme kuvveti deney düzeneğinde bulunan 2 adet loadcell vasıtasıyla eş zamanlı olarak Daq karta aktarılmıştır. Aktarılan veriler oradan da bilgisayara anlık olarak iletildi ve anlık olarak elde edilen veriler de Selçuk Üniversitesi ISOMER Laboratuvarında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

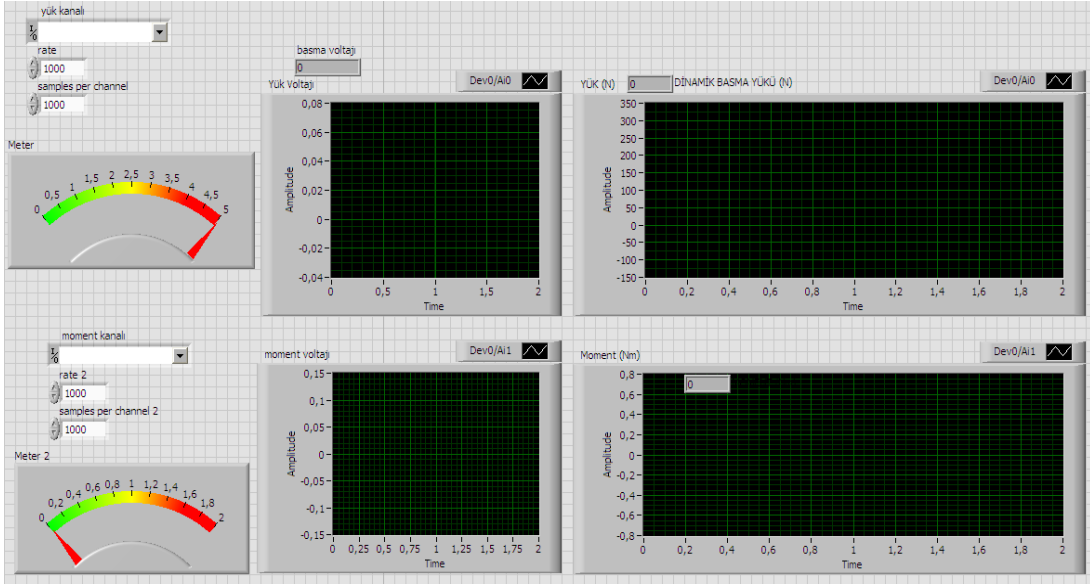
Çizelge 3.5. Deney setini oluşturan malzeme listesi

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 $-35\sim+65^{\circ}\text{C}$, Besleme voltajı $5\sim 12\text{V}$, Giriş direnci $385\pm 10\Omega$, Çıkış direnci $350\pm 3\Omega$, Koruma sınıfı IP67
Moment loadcell	80 Kg kapasiteli, Çalışma sıcaklığı $-35\sim+65^{\circ}\text{C}$, Besleme voltajı $5\sim 12\text{V}$, 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 \sim 0-10V dönüştürme
Elektrik motoru	3 Fazlı 0.75 Watt elektrik motoru
Redüktör	ESV Serisi $i=20$ sonsuz dişli redüktör

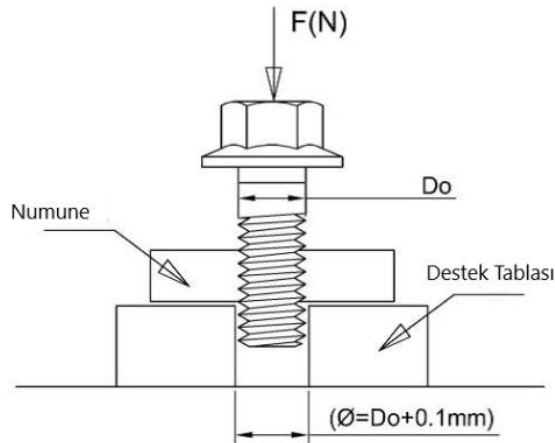




Şekil 3.4. Lab-View blok diyagramı ve veri alma arayüzü

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 3.5. 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 BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde cam elyaf takviyeli smc kompozit malzemelere ve RTM ile üretilmiş cam elyaf takviyeli numunelere yapılan işlenebilirlik deneylerinin sonuçları ile vidalara uygulanan statik ve dinamik basma deney sonuçlarına yer verilmiştir.

4.1. İşlenebilirlik Deney Sonuçları

Yapılan deneylerde cam elyaf takviyeli smc kompozit malzeme ve RTM ile üretilmiş cam elyaf takviyeli numunenin frezelenmesi esnasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve yüzey hasarı üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

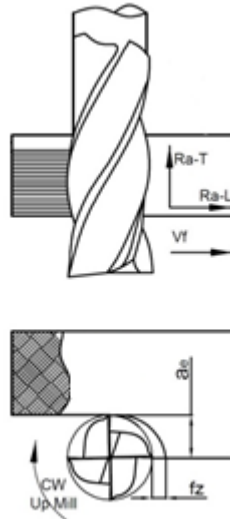
Taguchi L9 deney düzeneğine göre 9 adet deney yapılmıştır. Deneylerde girdi olarak takım tipi, kesme hızı ve ilerleme değerleri kullanılarak deneyler sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü ve yüzey hasarları ile ilgili değerlendirmelerde bulunulmuştur.

4.1.1. Yüzey pürüzlülüğü analizi

Yüzey pürüzlülüğü analizinde numuneler Taguchi deney tasarımı parametrelerine göre frezeleme ve delik delme işlemine 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 şekil 4.1’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.

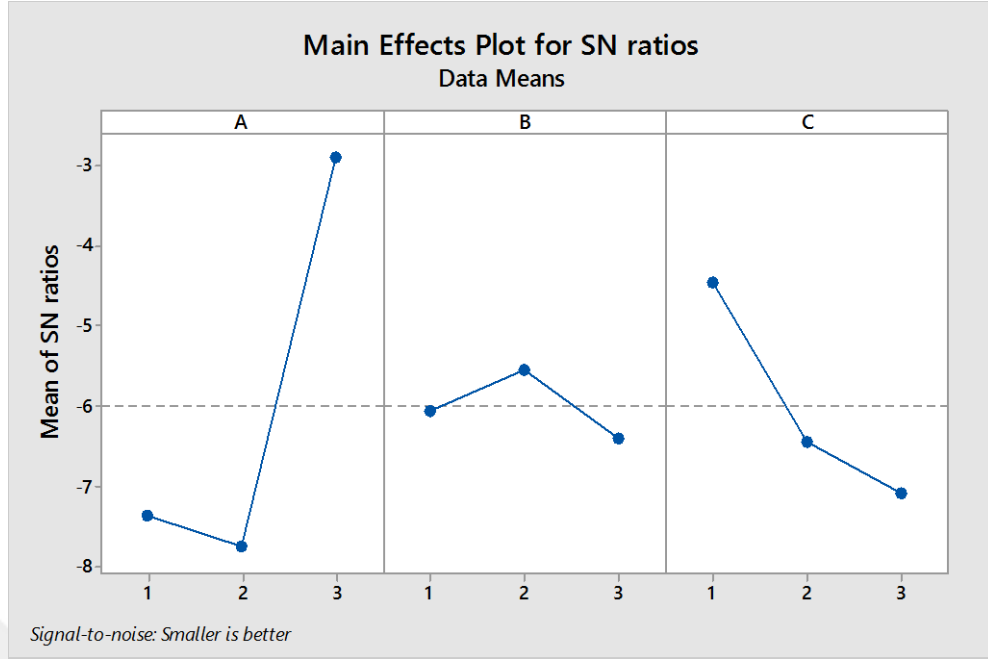
Çizelge 4.1. Cam elyaf takviyeli smc deney numunesi R_aT değerlerine ait Taguchi S/N oranı.

T	V	F_z	R_aT	S/N
1	1	1	2.17	-6.72
1	2	2	2.34	-7.38
1	3	3	2.5	-7.95
2	1	2	2.33	-7.34
2	2	3	2.9	-9.24
2	3	1	2.15	-6.64
3	1	3	1.6	-4.08
3	2	1	1	0
3	3	2	1.7	-4.60

Yukarıda verilen değerler kullanılarak cevap tablosu ve cevap grafiği belirlenmiştir. Bu işlemler için Minitab istatistik analiz programı kullanılmıştır. Çizelge 4.2. ile gösterilen değerler ilgili parametreye ait optimum seviyeyi belirtmektedir.

Çizelge 4.2. Cam elyaf takviyeli smc deney numunesi R_aT değerlerine ait S/N değerleri cevapları

Level	T	V	F_z
1	-7.357	-6.053	-4.459*
2	-7.748	-5.544*	-6.447
3	-2.897*	-6.406	-7.096
Delta	4.851	0.861	2.637
Rank	1	3	2



Şekil 4.2. Cam elyaf takviyeli smc deney numunesi R_aT değerlerine ait S/N değerleri için cevap grafiği

Yukarıdaki tablodan da anlaşılacağı gibi en etkili parametreler Rank sırasına göre belirlenmiştir. Rank 1 takım tipi, Rank 2 diş başına ilerleme 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 2. ve ilerleme hızının 1. seviye olduğu seviyeler olarak tespit edilmiştir (L321). Görüldüğü gibi L321 deneyi en optimum deney seviyesidir ve yapılan deneyler arasında bulunmaktadır. Eğer optimum seviye olarak belirlenen seviyedeki deney yapılmamış bir deney olsaydı bir doğrulama deneyi yapılması gerekiyordu. Bir diğer alternatif ise bu seviyedeki deney sonucunun Formül 1'in tersten yürütülerek bulunabilmesidir. Hesaplama işlemi için Formül 1'in tersten yürütülmesi için gürültü (n) değerinin bulunması gerekmekte olup (n) değeri aşağıdaki formülle hesaplanabilmektedir.

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

Bu formülle elde edilen gürültü değeri Formül 1'de yerine konularak sinyal değeri elde edilebilir.

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. Cam elyaf takviyeli smc deney numunesi R_aT değerlerine ait Varyans analiz tablosu

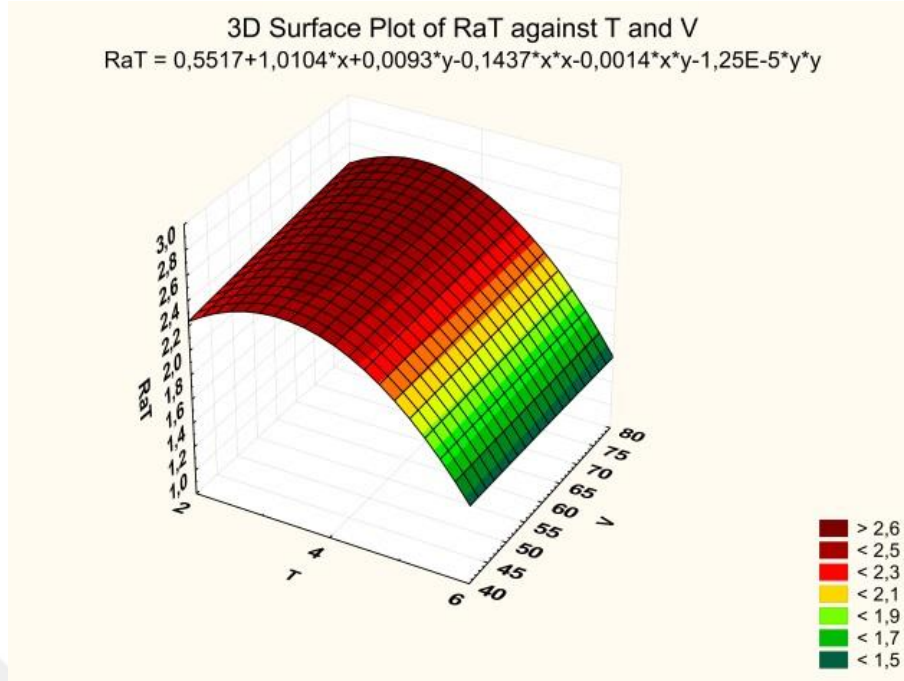
KAYNAK	SERBESTLİK DERECESESİ	KARELER TOPLAMI	KARELER ORTALAMASI	F	P	ETKİ (%)
T	2	1.8852	0.9426	12	0.077	74.42
V	2	0.0104	0.0052	0.07	0.938	0.41
F_z	2	0.4802	0.2401	3.06	0.246	18.95
Hata	2	0.1570	0.0785			
Toplam	8	2.53		$R^2 = 93.80$		

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 R^2 ifadesi % 93.80 bulunduğu ve bu değer % 90'dan fazla olması tüm tepki değerlerinin % 95 güven aralığı içinde gerçeğine en yakın değerlerde tahmin edilmesine olanak sağlamıştır.

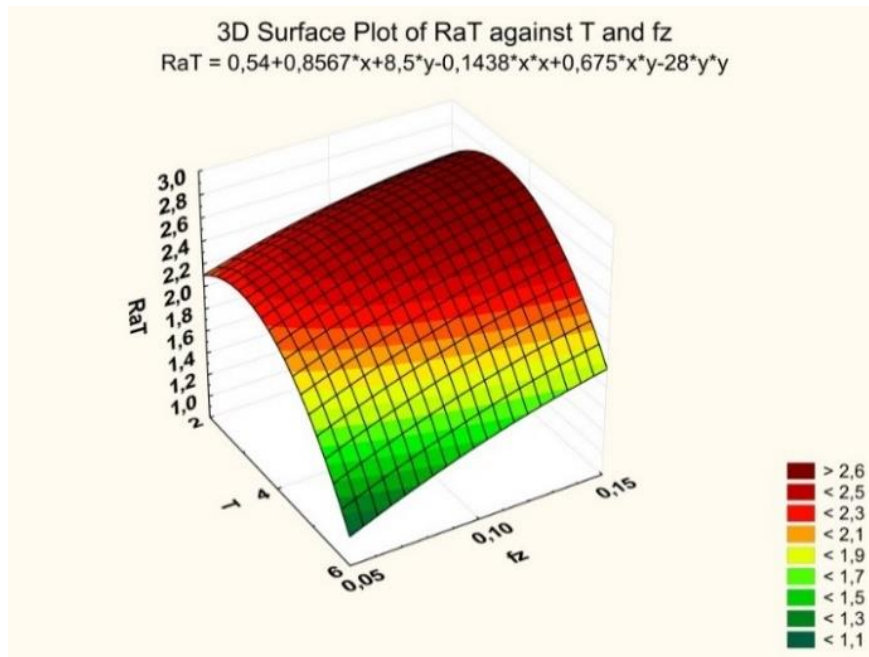
Yukarıdaki tablodan da anlaşıldığı gibi sonuç üzerinde en etkili parametre % 74.42 ile T takım tipi parametresidir. Daha sonra %18.95 ile F_z diş başına ilerleme ve % 0.41 ile V kesme hızı parametresi gelmektedir.

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. Yüzeye ait 2. Derece denklemler grafiğin üzerinde belirtilmiştir.



Şekil 4.3. Cam elyaf takviyeli smc deney numunesi deney parametrelerinin (T-V) R_aT üzerine olan etkilerinin 3D yüzey grafiği

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



Şekil 4.4. Cam elyaf takviyeli smc deney numunesi deney parametrelerinin (T – F_z) 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 dış başına ilerlemenin takım tipinden daha etkili parametre olduğu anlaşılmaktadır. Bu sonuç daha önce yapılan varyans analizi ile de uyumluluk göstermektedir.

RTM numunelerine ait işlenebilirlik deneyleri ve sonuçları aşağıda verilmiştir.

RTM reçine transfer metodu ile üretilen, kırılmış cam elyaf takviyeli polyester matrisli kompozitler SMC malzemenin alternatifi olup otomotiv sanayinde özellikle tampon imalatında çok kullanılan bir malzemedir. Bu yüzden tez çalışmasında bu kompozitlerin SMC ile kıyaslanması tez kapsamına alınmıştır.

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

Çizelge 4.4. Rtm ile üretilmiş cam elyaf takviyeli deney numunesi R_aT değerlerine ait Taguchi S/N oranı

T	V	F_z	R_aT	S/N
1	1	1	1.10	-0.89
1	2	2	1.26	-2.05
1	3	3	2.14	-6.62
2	1	2	1.86	-5.39
2	2	3	2.08	-6.36
2	3	1	1.57	-3.91
3	1	3	2.32	-7.32
3	2	1	1.77	-4.99
3	3	2	2.18	-6.79

Yukarıda verilen değerler kullanılarak cevap tablosu ve cevap grafiği belirlenmiştir. Bu işlemler için Minitab istatistik analiz programı kullanılmıştır. Çizelge 4.5. ile gösterilen değerler ilgili parametreye ait optimum seviyeyi belirtmektedir.

Çizelge 4.5. Rtm ile üretilmiş cam elyaf takviyeli deney numunesi R_aT değerlerine ait S/N değerleri cevapları

Level	T	V	F_z
1	-3.189*	-4.534	-3.267*
2	-5.223	-4.469*	-4.746
3	-6.37	-5.778	-6.768
Delta	3.181	1.31	3.501
Rank	2	3	1

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 1. kesme hızının 2. ve ilerleme hızının 1. seviye olduğu seviyeler olarak tespit edilmiştir (L121). Fakat yapılan 9 deney içerisinde L121 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 1.13 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 4.6. Rtm ile üretilmiş cam elyaf takviyeli deney numunesi R_aT değerlerine ait Varyans analiz tablosu

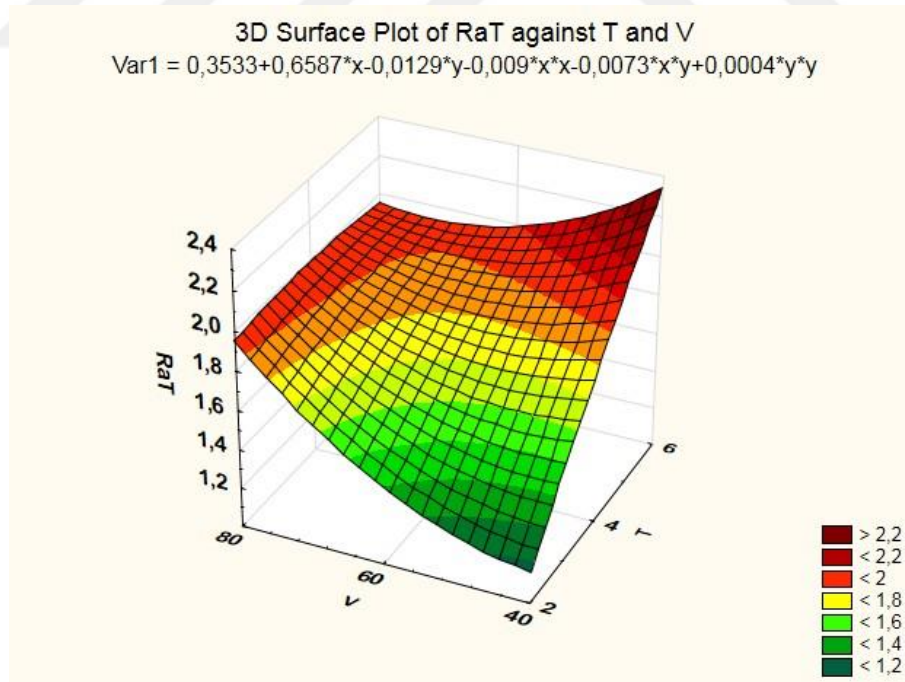
KAYNAK	SERBESTLİK DERECESESİ	KARELER TOPLAMI	KARELER ORTALAMASI	F	P	ETKİ (%)
T	2	0.5239	0.2619	7.93	0.112	36.42
V	2	0.1113	0.0556	1.68	0.373	7.73
F_z	2	0.7372	0.3686	11.16	0.082	51.24
Hata	2	0.0660	0.0330			
Toplam	8	1.4385		$R^2 = 95.40$		

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 4.6’te “% Etki” olarak belirtilmiştir. Pürüzlülüğe ait regresyon denklemlerinin tahmin yeteneklerini gösteren R^2 ifadesi % 95.40 bulunduğu ve bu değer % 90’dan fazla olması tüm tepki değerlerinin % 95 güven aralığı içinde gerçeğine en yakın değerlerde tahmin edilmesine olanak sağlamıştır.

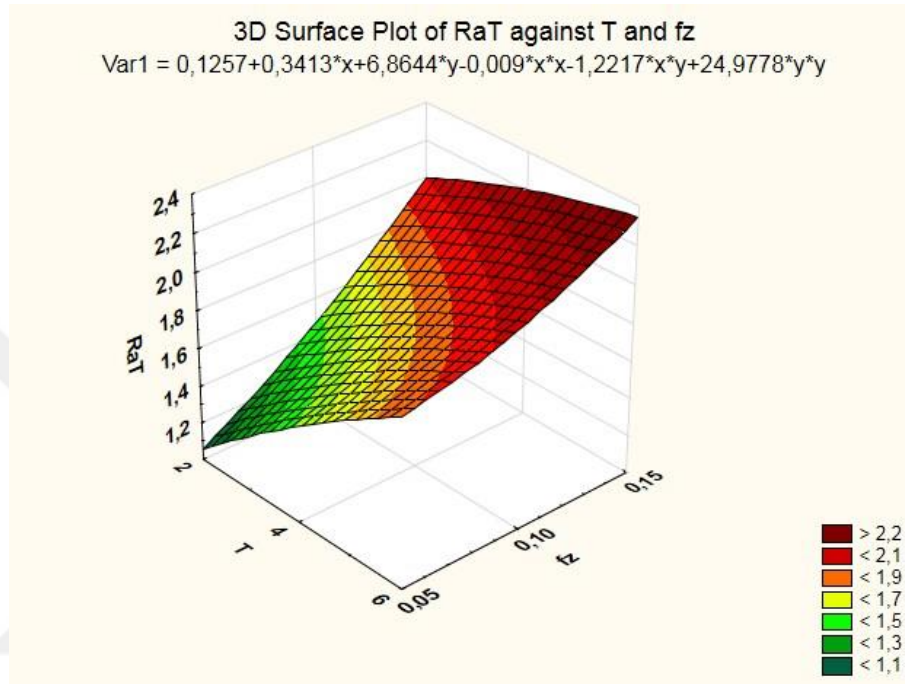
Yukarıdaki tablodan da anlaşıldığı gibi sonuç üzerinde en etkili parametre % 51.24 ile F_z diş başına ilerleme parametresidir. Daha sonra %36.42 ile T Takım tipi ve % 7.73 ile V kesme hızı parametresi gelmektedir.

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. Yüzeye ait 2. Derece denklemler grafiğin üzerinde belirtilmiştir.



Şekil 4.5. Rtm ile üretilmiş cam elyaf takviyeli deney numunesi deney parametrelerinin (V-T) R_aT üzerine olan etkilerinin 3D yüzey grafiği

Şekil 4.5’de verilen grafik incelendiğinde takım ağız sayısının ve kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir. Minimum R_aT değerinin oluşması için kesme hızının ve takım ağız sayısının azaltılması 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 4.6. Rtm ile üretilmiş cam elyaf takviyeli deney numunesi deney parametrelerinin ($T - F_z$) R_aT üzerine olan etkilerinin 3D yüzey grafiği

Şekil 4.6’da verilen grafikler incelendiğinde ilerleme değerlerinin artmasıyla ve takım ağız sayısının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir. Minimum R_aT değerinin oluşması için ilerleme değerinin ve takım ağız sayısının azaltılması gerekmektedir. Cevap yüzeylerinin şekline bakıldığında ise dış başına ilerlemenin takım tipinden daha etkili parametre olduğu anlaşılmaktadır.

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.

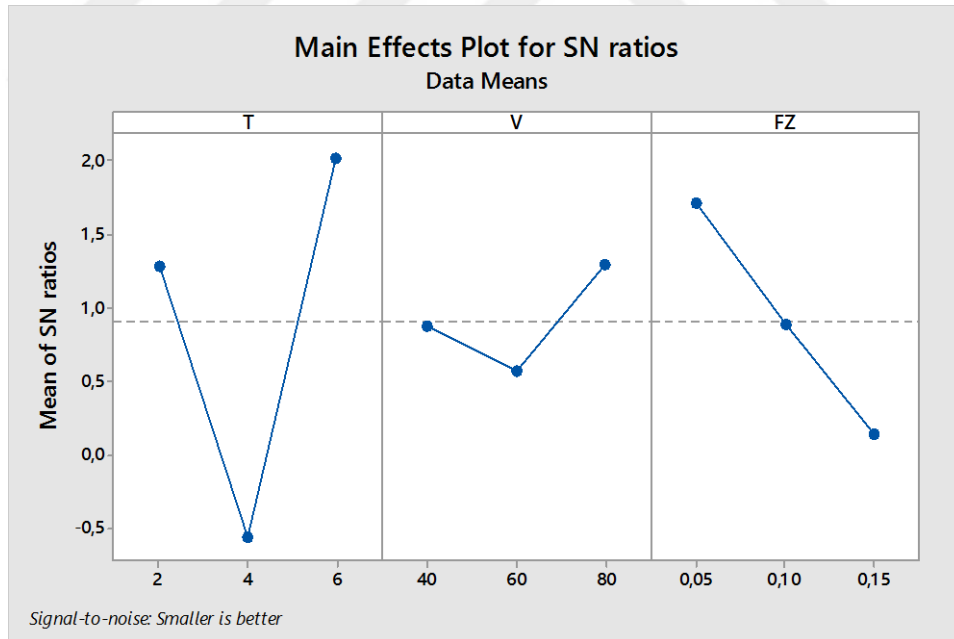
Çizelge 4.7. Cam elyaf takviyeli smc deney numunesi R_aL değerlerine ait Taguchi S/N oranı

T	V	F _z	R _a L	S/N
1	1	1	0.82	1.72
1	2	2	0.88	1.11
1	3	3	0.89	1.01
2	1	2	1.06	-0.50
2	2	3	1.26	-2.00
2	3	1	0.91	0.81
3	1	3	0.85	1.41
3	2	1	0.74	2.61
3	3	2	0.79	2.04

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

Çizelge 4.8. Cam elyaf takviyeli smc deney numunesi R_aL değerlerine ait S/N oranları.

Level	T	V	F _z
1	1.2821	0.8764	1.7194*
2	-0.5648	0.5728	0.8839
3	2.0248*	1.2929*	0.1388
Delta	2.5896	0.7202	1.5806
Rank	1	3	2



Şekil 4.7. Cam elyaf takviyeli smc deney numunesi R_aL değerlerine ait S/N değerleri için cevap grafiği

Yukarıdaki tablodan da anlaşılacağı gibi en etkili parametreler Rank sırasına göre belirlenmiştir. Rank 1 takım tipi, Rank 2 dış başına ilerleme 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 doğrultusunda yüzey pürüzlülüğünün en düşük olduğu takım tipinin 3., kesme hızının 3. ve ilerleme hızının 1. seviye olduğu tespit edilmiştir (L331). Fakat yapılan 9 deney içerisinde L331 deneyi olmadığı için daha önceki R_a T değerinin uygulanmasındaki işlem prosedürleri tekrar uygulanmıştır. Bu hesaplamalar neticesinde elde edilen yüzey pürüzlülüğü değeri 0.69 μm 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.

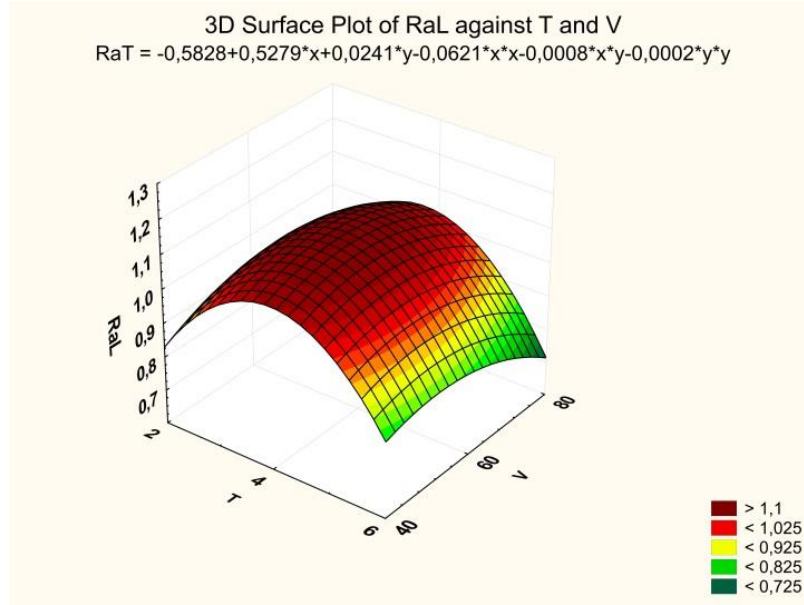
Çizelge 4.9. Cam elyaf takviyeli smc deney numunesi R_a L değerline ait Varyans analiz tablosu

KAYNAK	SERBESTLİK DERECESİ	KARELER TOPLAMI	KARELER ORTALAMASI	F	P	ETKİ (%)
T	2	0.1306	0.0653	13.4	0.069	64.92
V	2	0.0140	0.0070	1.44	0.41	6.96
F_z	2	0.0468	0.0234	4.8	0.172	23.26
Hata	2	0.0097	0.0048			
Toplam	8	0.201		$R^2 = 95.15$		

Pürüzlülüğe ait regresyon denklemlerinin tahmin yeteneklerini gösteren R^2 ifadesi 95.15 bulunması ve bu değer % 90'dan fazla olması tüm tepki değerlerinin %95 güven aralığı içinde gerçeğine en yakın değerlerde tahmin edilmesine olanak sağlamıştır.

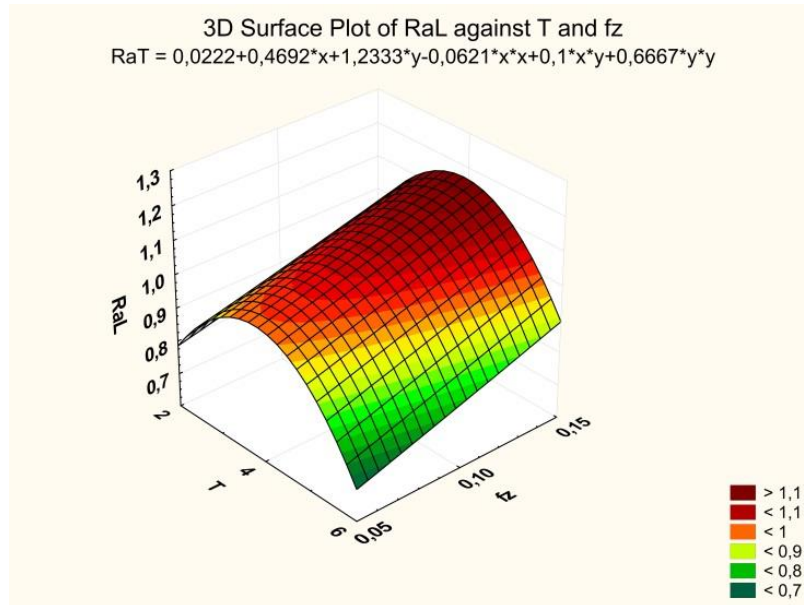
Yukarıdaki tablodan da anlaşıldığı gibi sonuç üzerinde en etkili parametre % 64.92 T takım tipi parametresidir. Daha sonra %23.26 ile F_z diş başına ilerleme ve %6.96 ile V kesme hızı parametresi gelmektedir.

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. Yüzeye ait 2. Derece denklemler grafiğin üst kısmında belirtilmiştir.



Şekil 4.8. Cam elyaf takviyeli smc deney numunesi deney parametrelerinin (T-V) RaL üzerine olan etkilerinin 3D yüzey grafiği

Şekil 4.8’de içerisinde verilen grafikler incelendiğinde takım ağız sayısının ve kesme hızının azalmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir. Benzer sonuçların yüksek kesme hızı ve yüksek ağız sayısında da görülmüştür. Minimum RaL değerinin oluşması için takım ağız sayısının ve kesme hızının artırılması gerekmektedir. Cevap yüzeylerinin şekline bakıldığında ise takım tipinin kesme hızından daha etkili bir parametre olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.9. Cam elyaf takviyeli smc deney numunesi deney parametrelerinin (T – F_z) RaL üzerine olan etkilerinin 3D yüzey grafiği

Şekil 4.9'da içerisinde verilen grafikler incelendiğinde ilerleme değerinin artması ve takım ağız sayısının azalmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerinin arttığı görülmektedir. Minimum R_aL değerinin oluşması için ilerleme değerinin azaltılması ile takım ağız sayısının artırılması gerekmektedir. Cevap yüzeylerinin şekline bakıldığında ise ilerleme değerinin takım tipinden daha etkili bir parametre olduğu anlaşılmaktadır.

RTM numunelerine ait işlenebilirlik deneyleri ve sonuçları aşağıda verilmiştir.

RTM reçine transfer metodu ile üretilen, kırılmış cam elyaf takviyeli polyester matrisli kompozitler SMC malzemenin alternatifi olup otomotiv sanayinde özellikle tampon imalatında çok kullanılan bir malzemedir. Bu yüzden tez çalışmasında bu kompozitlerin SMC ile kıyaslanması tez kapsamına alınmıştır.

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

Çizelge 4.10. Rtm ile üretilmiş cam elyaf takviyeli deney numunesi R_aL değerlerine ait Taguchi S/N oranı

T	V	F_z	R_aL	S/N
1	1	1	1.06	-0.52
1	2	2	1.21	-1.71
1	3	3	1.28	-2.17
2	1	2	0.94	0.51
2	2	3	1.03	-0.32
2	3	1	0.92	0.68
3	1	3	0.94	0.51
3	2	1	0.78	2.09
3	3	2	0.79	2.02

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

Çizelge 4.11. Rtm ile üretilmiş cam elyaf takviyeli deney numunesi R_aL değerlerine ait S/N oranları.

Level	T	V	F_z
1	-1.46891	0.17182	0.75187*
2	0.29387	0.01822	0.27718
3	1.54534*	0.18025*	-0.65876
Delta	3.01425	0.16203	1.41063
Rank	1	3	2

Yukarıdaki tablodan da anlaşılacağı gibi en etkili parametreler Rank sırasına göre belirlenmiştir. Rank 1 takım tipi, Rank 2 dış başına ilerleme 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 doğrultusunda yüzey pürüzlülüğünün en düşük olduğu takım tipinin 3. kesme hızının 3. ve ilerleme hızının 1. seviye olduğu tespit edilmiştir (L331). Fakat yapılan 9 deney içerisinde L331 deneyi olmadığı için daha önceki R_aT değerinin uygulanmasındaki işlem prosedürleri tekrar uygulanmıştır. Bu hesaplamalar neticesinde elde edilen yüzey pürüzlülüğü değeri $0.77 \mu\text{m}$ 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.

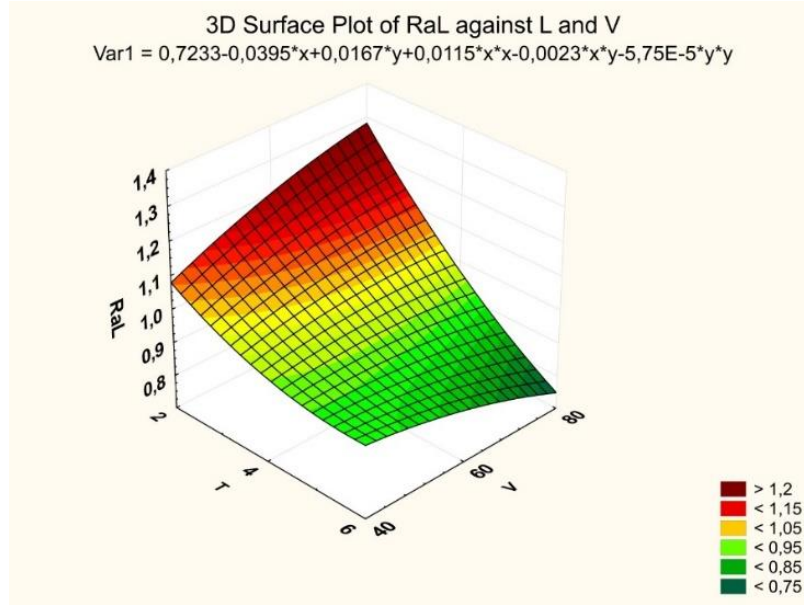
Çizelge 4.12. Rtm ile üretilmiş cam elyaf takviyeli numune R_aL değerine ait Varyans analiz tablosu

KAYNAK	SERBESTLİK DERECESESİ	KARELER TOPLAMI	KARELER ORTALAMASI	F	P	ETKİ (%)
T	2	0.1858	0.0929	29.64	0.033	79.09
V	2	0.0015	0.0007	0.25	0.802	0.65
F_z	2	0.0413	0.0206	6.59	0.132	17.57
Hata	2	0.0062	0.0031			
Toplam	8	0.2350		$R^2 = 97.331$		

Pürüzlülüğe ait regresyon denklemlerinin tahmin yeteneklerini gösteren R^2 ifadesi 97.33 bulunması ve bu değer % 90'dan fazla olması tüm tepki değerlerinin %95 güven aralığı içinde gerçeğine en yakın değerlerde tahmin edilmesine olanak sağlamıştır.

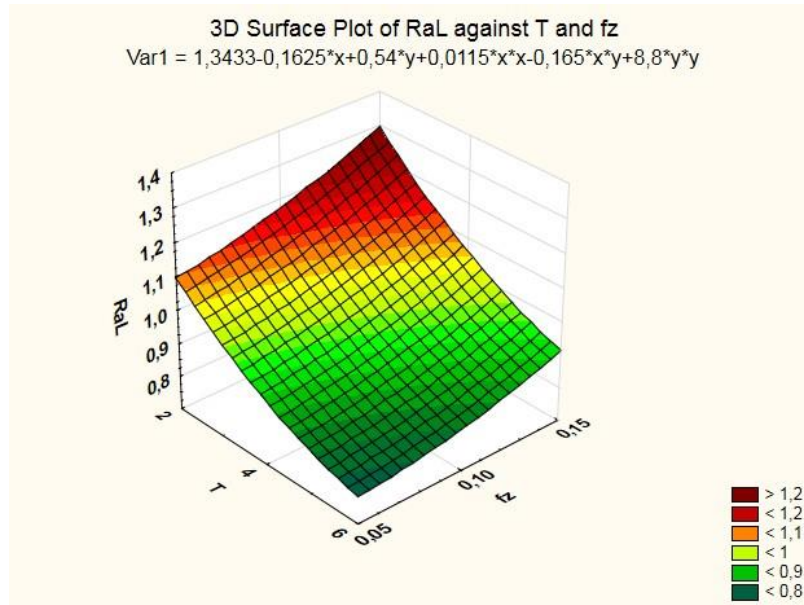
Yukarıdaki tablodan da anlaşıldığı gibi sonuç üzerinde en etkili parametre % 79.09 T takım tipi parametresidir. Daha sonra % 17.57 ile F_z diş başına ilerleme ve % 0.65 ile V kesme hızı parametresi gelmektedir.

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. Yüzeye ait 2. Derece denklemler grafiğin üst kısmında belirtilmiştir.



Şekil 4.10. Rtm ile üretilmiş cam elyaf takviyeli deney numunesi deney parametrelerinin (T-V) R_aL üzerine olan etkilerinin 3D yüzey grafiği

Şekil 4.10’da içerisinde verilen grafikler incelendiğinde takım ağız sayısının ve kesme hızının azalmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir. Minimum R_aL değerinin oluşması için takım ağız sayısı ve kesme hızının artırılması gerekmektedir. Cevap yüzeylerinin şekline bakıldığında ise takım tipinin kesme hızına göre daha etkili bir parametre olduğu anlaşılmaktadır.

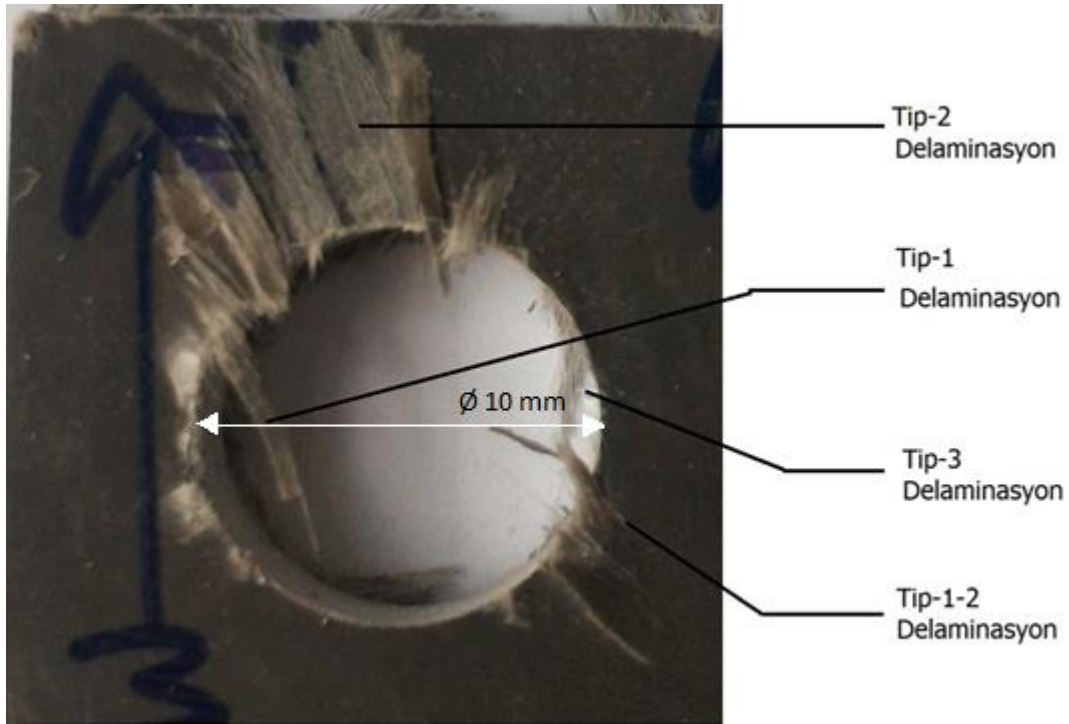


Şekil 4.11. Rtm ile üretilmiş cam elyaf takviyeli deney numunesi deney parametrelerinin (T – F_z) R_aL üzerine olan etkilerinin 3D yüzey grafiği

Şekil 4.11’de içerisinde verilen grafikler incelendiğinde ilerleme değerinin artırılması ve takım ağız sayısının azalmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerinin arttığı görülmektedir. Minimum R_aL değerinin oluşması için ilerleme değerinin azaltılması ve takım ağız sayısının artırılması gerekmektedir. Cevap yüzeylerinin şekline bakıldığında ise takım tipinin ilerleme değerinden daha etkili bir parametre olduğu anlaşılmaktadır.

4.1.2. Yüzey hasar analizi

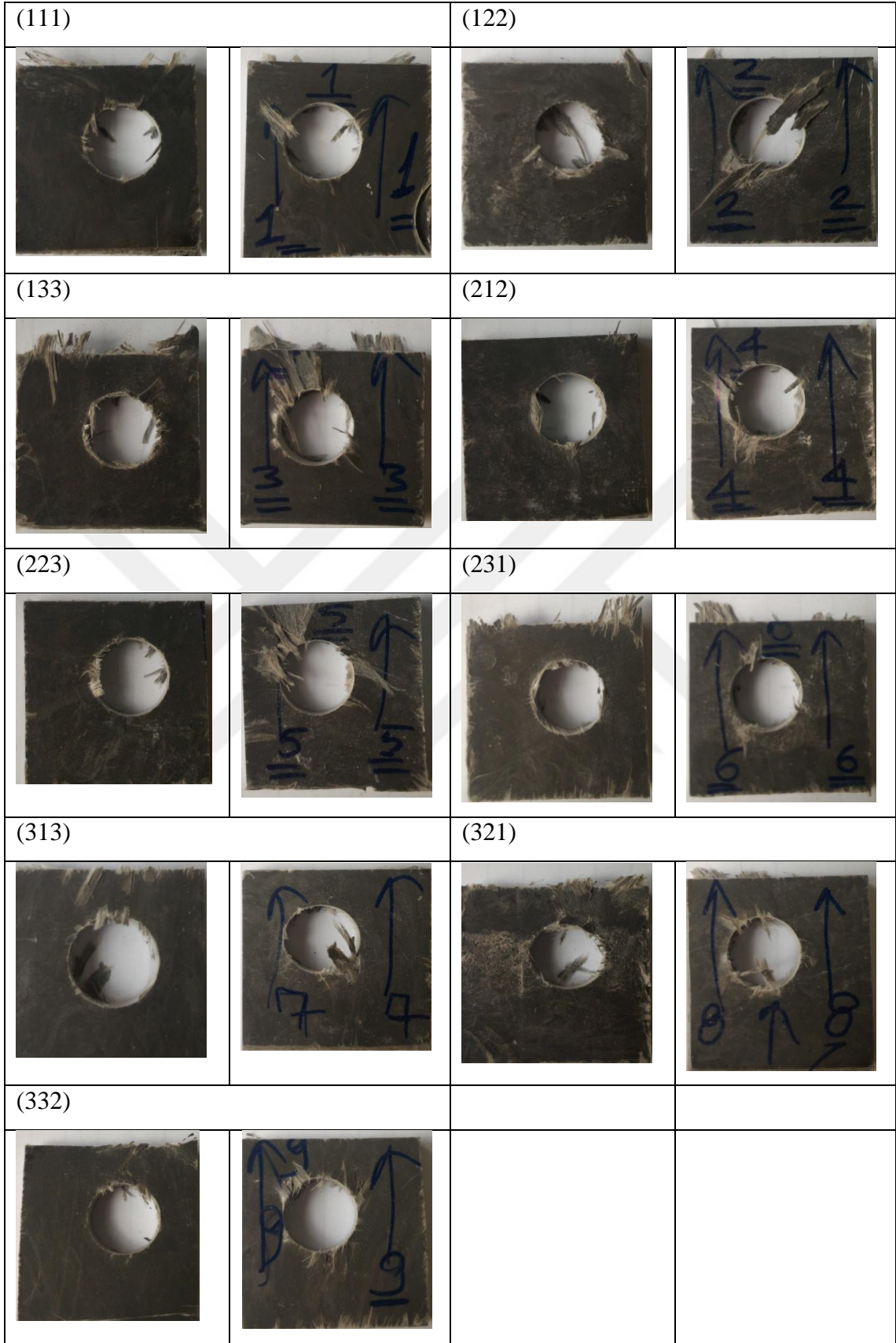
Hasar analizi için 8 mm matkapla delinen ve ardından 8 mm’lik frezelerle 10 mm’ ye dairesel hareketle genişletilen delik kenarında oluşan deformasyonlar ile numune kenarında lineer olarak frezelenen kenarların hasarı incelenmiştir. Hasar analizi yapılırken frezeleme yapılan üst yüzey yani matkap ve frezenin girdiği yüzey ile çıktığı alt yüzey ayrı ayrı incelenmiştir. Kompozitlerin hasar mekanizmalarına baktığımızda literatürde genelde hasar mekanizmaları Tip 1,2,3 şeklinde ve bunların karması şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Aşağıda cam elyaf takviyeli smc deney numunelerinin ve rtm ile üretilmiş cam elyaf takviyeli deney numunelerinin takım giriş yüzeylerine ait hasarın makro görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.12. Cam elyaf takviyeli smc deney numunesine ait hasar mekanizmaları

Burada hasar mekanizmalarını oluşturan ana etken üst tabakanın yapısıdır. Literatüre bakıldığında SMC kompozitlerin en üst katmanında reçinenin zengin olduğu diğer takviye ve dolgu elemanlarının az olduğu bir katman bulunmaktadır (Can ve Ünüvar, 2017). Bu katman kesici takımın itme kuvvetiyle dolgu ve elyafça zengin katmandan kolayca ayrılabilir. Tip 2 delaminasyonu tetikleyen en önemli etken bu reçinece zengin bölgedir. Buda hasarı tetiklemektedir. Elyafların rasgele yönlendirilmiş olması hasarın oluşumunu da etkilemektedir. Tek yönlü doğrultuda yerleştirilen elyaf takviyeli kompozitlerde hasar elyafın açısına göre yönlendirilirken SMC lerde hasarda rasgele yönlerde oluşabilmektedir. Hatta aynı numune üzerinde birden çok delaminasyon tipi aynı anda oluşabilmektedir. Aşağıda şekil 4.13’de cam elyaf takviyeli smc deney numunelerine ait sırasıyla yan yana alt ve üst yüzeyden çekilmiş makro görüntüler yer almaktadır.



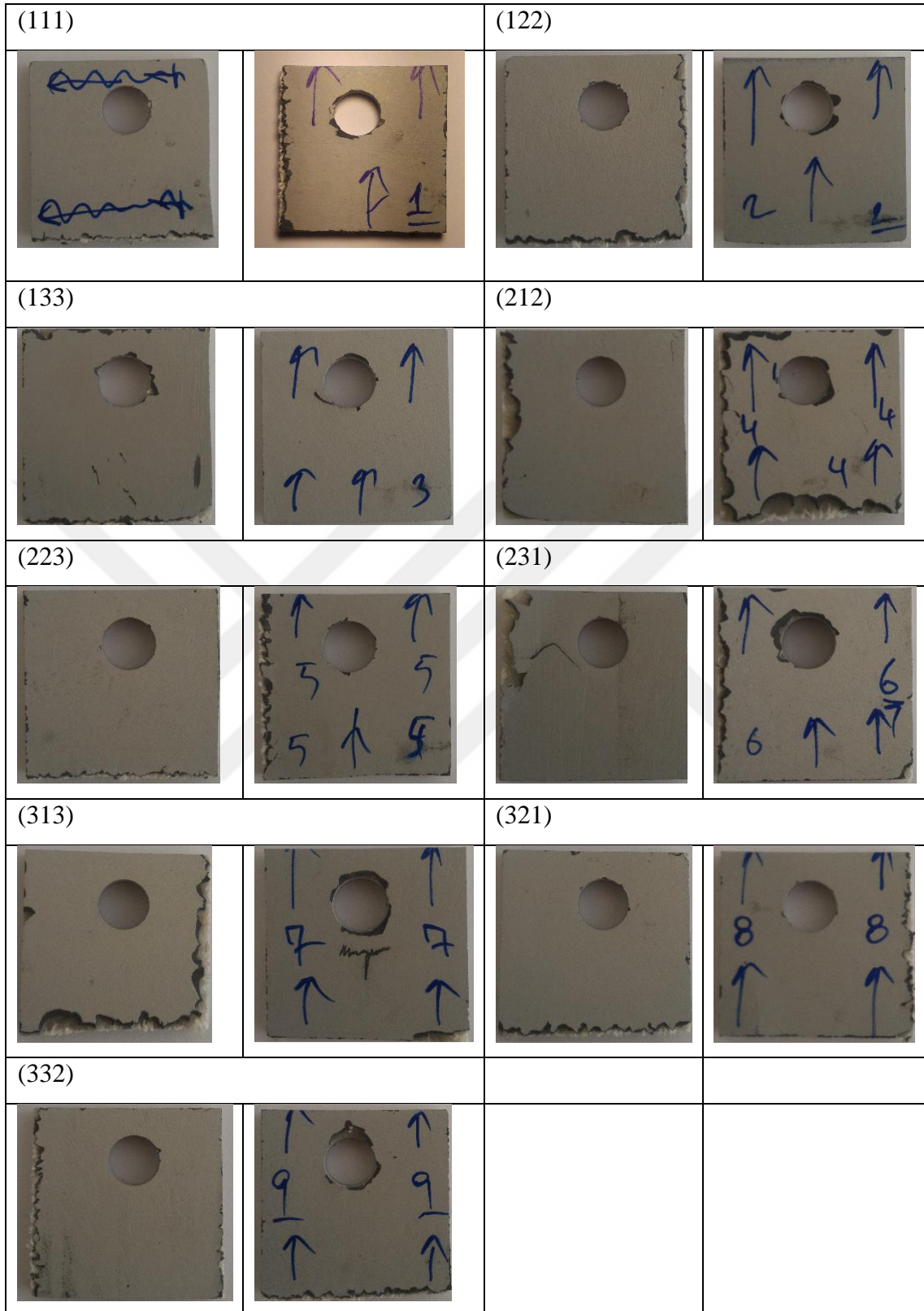


Şekil 4.13. Cam elyaf takviyeli smc deney numunelerine ait makro hasar görüntüleri

Görüntüler incelendiğinde deliklerin takım giriş yüzeyine ait kenarlarında oluşan hasar mekanizmasının çoğunlukla Tip-1 delaminasyonu yani kenarda oluşan tabaka ayrılmasının kırılmayla neticelendiği görülmektedir. Bazı numunelerde ise tabakanın kırılmadığı ve kenardan uzadığı ve Tip 2 delaminasyonla Tip1-2 delaminasyonun karışımı şeklinde aynı anda oluştuğu görülmektedir. Takım giriş yüzeyinde ise delaminasyon daha ağır bir şekilde gerçekleşmiştir. Delik kenarı ile frezelenen kenarlardaki hasar kıyaslandığında ise düz kenarlardaki hasarın delik kenarına nazaran daha az olduğu görülmüştür. Bunun sebebi ön delik delinen yüzeylerde oluşan hasar frezeleme ile arttığı şeklinde yorumlanmıştır. Örneğin matkap da oluşan tip 1 delaminasyon frezelemenin etkisiyle artarak büyümesini hatta tip 2 delaminasyonun oluşmasını sağlamıştır. Kenarda bulunan hasarın daha az olmasının sebebi bu şekilde açıklanmıştır. Delik alt yüzeylerindeki hasarın takım giriş yüzeyindeki hasardan daha az olduğu görülmektedir. Bunun sebebi takıma ait helisten dolayı oluşan kesme kuvvetlerinin yönünden kaynaklanmaktadır. Alt kısımda oluşan fiberler yukarı doğru çekilerek kenar arasında sıkışarak tam kesme sağlanmış fakat üst kenarda oluşan fiberler yukarı doğru yönlendirilerek takım yan yüzeyine sürterek sıkışamadığı için kesilemeyerek Tip 1 delaminasyonu oluşturmaktadır. Bu sonuçlar literatürle örtüşmektedir (Can ve Ünüvar, 2017).

Genel hasar mekanizması Tip 2 delaminasyon şeklinde görülmektedir. Bunun sebebi smc malzemelerde kompozit plakanın en üst kısmında oluşan reçine ile zenginleşmiş bir katmanın oluşmasıdır. Smc kalıbında sıcak yüzeye değen reçine iç katmanlara nazaran elyafça ve dolgu malzemesinden arınarak kalıp yüzeyine yapışmaktadır. Böylece en üst tabakada elyaf ve dolgu malzemesi iç bölgelere nazaran daha az bulunmaktadır. Reçineyle zengin bu katman dolgu malzemesince zengin katmandan kolayca sıyrılabilir. Bu mekanizma Tip 2 delaminasyonu tetiklemektedir (Can ve Ünüvar, 2017).

Takım ağız sayısı artmasıyla hasar oranlarının azaldığı gözlenmiştir. Aynı zamanda takım ağız sayısı artışıyla hasar mekanizması Tip 1 den Tip 2 ye doğru yönlendirilmiştir.

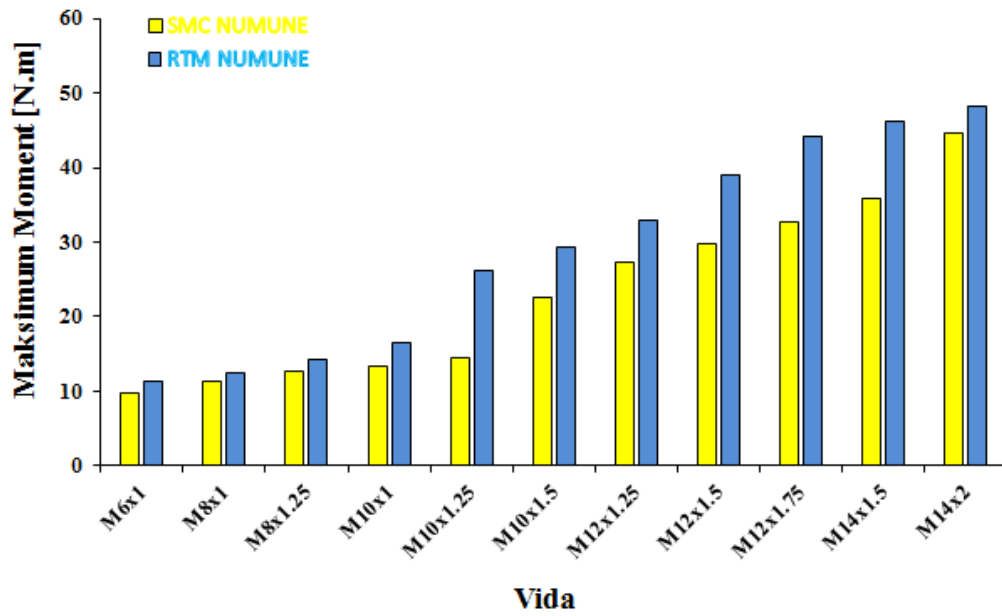


Şekil 4.14. Rtm ile üretilmiş cam elyaf takviyeli deney numunelerine ait makro hasar görüntüleri

Rtm ile üretilmiş cam elyaf takviyeli kompozitlerin makro görüntüleri Şekil 4.14'de verilmiştir. Hasar görüntüleri incelendiğinde üst yüzey delik kenarlarında oluşan hasar Smc numunelere göre daha azdır. Bu numunelerde hasar mekanizması tamamen Tip 1 delaminasyon şeklindedir. Kalıbın yüzeyine sürülen jelcoat parça yüzeyinde koruyucu bir tabaka oluşturmuştur. Dolayısıyla Tip 2 delaminasyonu oluşumunu tamamen engellemiştir. Yapılan gözlem sonuçlarına göre en az deformasyon 3 ve 8 nolu numunelerde görülmüştür. İlerleme hızının artışıyla işleme zamanlarının düşeceği bilinmektedir. 8 nolu numunenin ilerleme hızı 1145 mm/dk., 3 nolu numunenin ilerleme hızı ise 763 mm/dk. olmasına rağmen hasar miktarları birbirine çok yakındır. 8 nolu numunenin 3 nolu numuneye göre ilerleme hızı 1,5 kat fazladır. Dolayısıyla bu kompozitlerin yüksek kesici ağız sayısı ve uygun kesme parametrelerinde işlenmesi ciddi şekilde işleme zamanlarını kısaltarak hasar davranışlarını iyileştirecektir. Tüm numuneler incelendiğinde takım çıkış yüzeylerinde neredeyse hiç deformasyon görülmemiştir. Takım helisinden dolayı yukarı doğru oluşan kesme kuvvetleri kenar yüzeylerin yukarı doğru itilerek tamamen kesilmesini sağlamıştır.

4.2. Dinamik Vida Dişi Sıyırma Deney Sonuçları

Dinamik vida dişi sıyırma deneyleri Şekil 3.3'de belirtilen deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğine bağlanan civata vida sıyırıp moment ve yük düşene kadar redüktörlü motor tarafından 2 dev/dk. dönme hızında döndürülerek yapılmıştır. Bu moment yükleme esnasında oluşan moment ve itme kuvveti anlık olarak kaydedilerek moment-zaman ve kuvvet-zaman grafikleri elde edilmiştir. Bu 11 adet cam elyaf takviyeli smc numune ve rtm ile üretilmiş cam elyaf takviyeli numuneye ait her bir grafik ayrı ayrı olarak Ek-1'de verilmiştir ve bu grafiklerden momentin maksimum olduğu nokta alınarak maksimum moment-vida boyutu grafiği oluşturulmuştur. Aşağıda Şekil 4.15'de M6x1 den M14x2 civataya kadar elde edilen numunelere ait maksimum moment-vida grafiği verilmiştir.

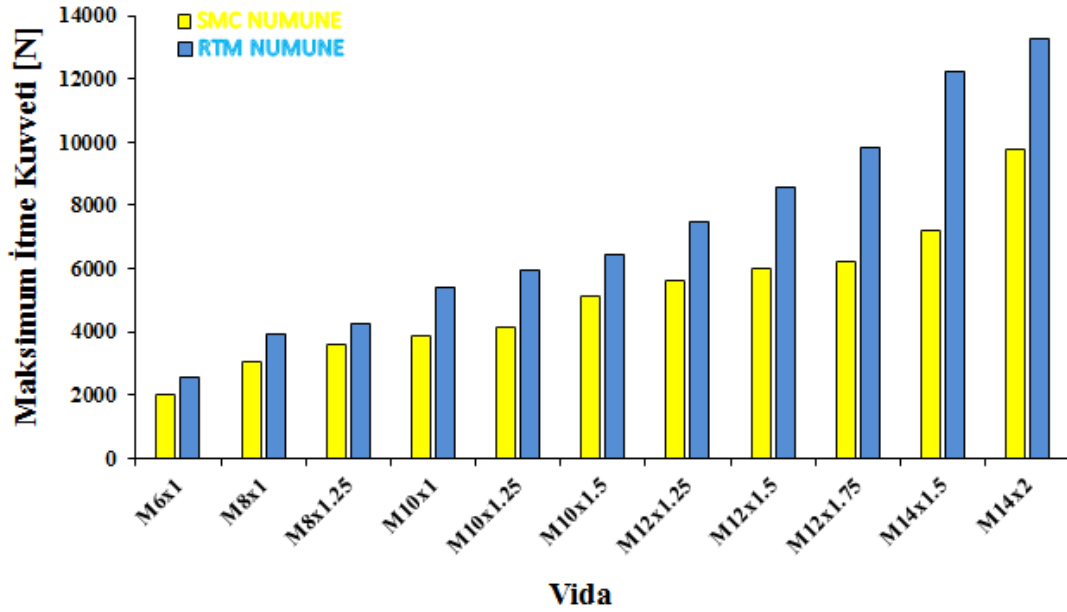


Şekil 4.15. Maksimum moment-vida grafiği

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 diş yüksekliğine 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.

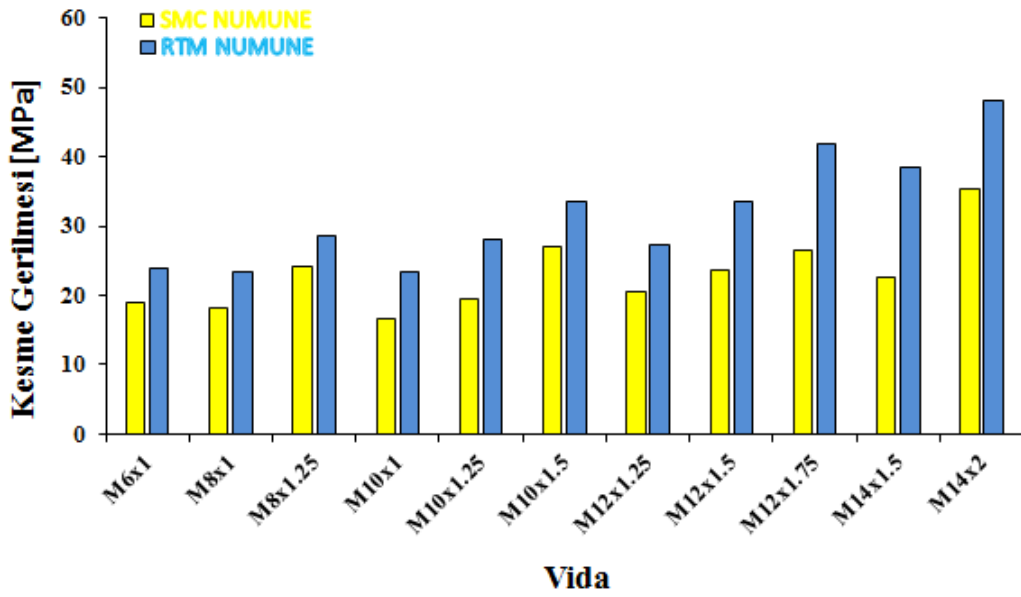
Deney esnasında civatada oluşan itme kuvveti loadcell'e aktarılmış ve veri kaydedici ile kaydedilerek itme kuvveti-zaman grafiği elde edilmiştir. 11 farklı metrik ölçüye sahip cam elyaf takviyeli smc numune ve rtm ile üretilmiş cam elyaf takviyeli numuneye ait bu grafikler Ek-2'de verilmiştir. Ekte verilen her bir numuneye ait itme kuvveti-zaman grafiklerinin maksimum noktası alınarak aşağıdaki şekil 4.16'da maksimum itme kuvveti-vida grafiği oluşturulmuştur. Moment grafiğinde olduğu gibi itme kuvveti de artan metrik ölçüyle birlikte artmıştır. En yüksek itme kuvveti M14x2 vidada görülmektedir. Bu değer cam elyaf takviyeli smc numune için 9.750 kN ölçülmüş, rtm ile üretilmiş cam elyaf takviyeli numune ise 13.250 kN ile en yüksek değerini almıştır. Smc numuneler rtm numunelere göre daha düşük moment dolayısıyla dayanım

sergilemektedir. Bunun sebebi cam elyaf takviyeli smc de bulunan CaCO₃ dolgudan kaynaklanmaktadır. Bu dolgu kompozitin mukavemetini düşürmekle birlikte maliyetini ve öz kütlesini düşürmek amacıyla kullanılmaktadır. Elde edilen bu sonuçlar vidalı birleştirme işleminin kalın kompozit plakalarda rahatlıkla kullanılabilir derecede itme ve çekme kuvveti oluşturabildiği anlamına gelmektedir.



Şekil 4.16. Maksimum itme kuvveti-vida grafiği

Artan metrik ölçü değerine bağlı olarak artan itme kuvvetinin artması 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 birim alana düşen kuvvet yani gerilmedir. Dolayısı ile vida eksenine 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. Maksimum itme kuvveti vida dibinde oluşan kesme alanı formül 2.10'da hesaplanan alana bölünerek vidayı deforme eden kesme gerilmesi hesaplanmıştır. Aşağıda şekil 4.17'de elde edilen bu grafik görülmektedir.

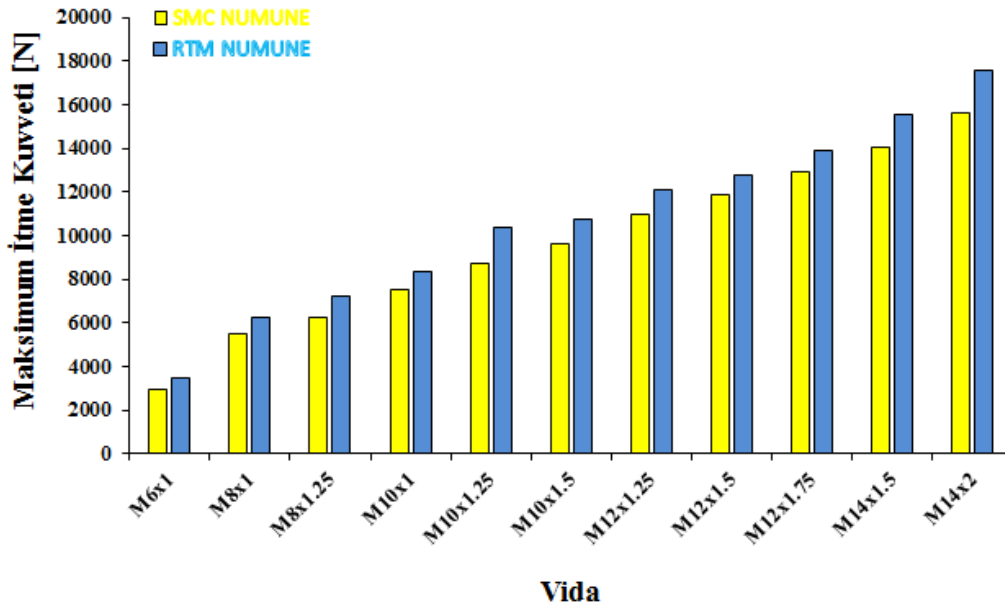


Şekil 4.17. Kesme gerilmesi-vida grafiği

Vidanın metrik ölçüsünün artmasıyla vidayı deforme eden kesme gerilmesinin de arttığı görülmektedir. Hatvenin artışıyla artan vida kalınlığı gerilmeyi de beraberinde artırmıştır. M6x1 vida da kesme gerilmesi cam elyaf takviyeli smc numunesinde 19 MPa ile vidayı deforme ederken bu değer M14x2 vidada 35 MPa'a çıkmıştır. Diğer numune olan rtm ile üretilmiş cam elyaf takviyeli malzeme de ise M6x1 vida da kesme gerilmesi 24 MPa ile vidayı deforme ederken bu değer M14x2 vidada ise 48 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 diş dibi kök radyüsünün gerilim konsantrasyonunu düşürmesinden kaynaklandığı şeklinde de düşünülebilir.

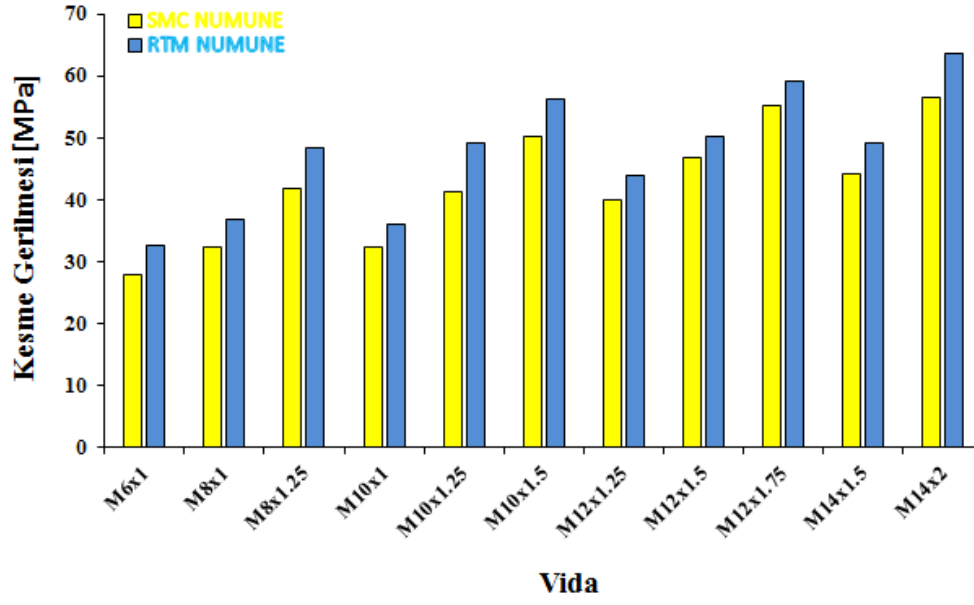
4.3. Statik Basma Deney Sonuçları

Aşağıda Şekil 4.18’ 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 adet cam elyaf takviyeli smc numune ve rtm ile üretilmiş cam elyaf takviyeli 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.



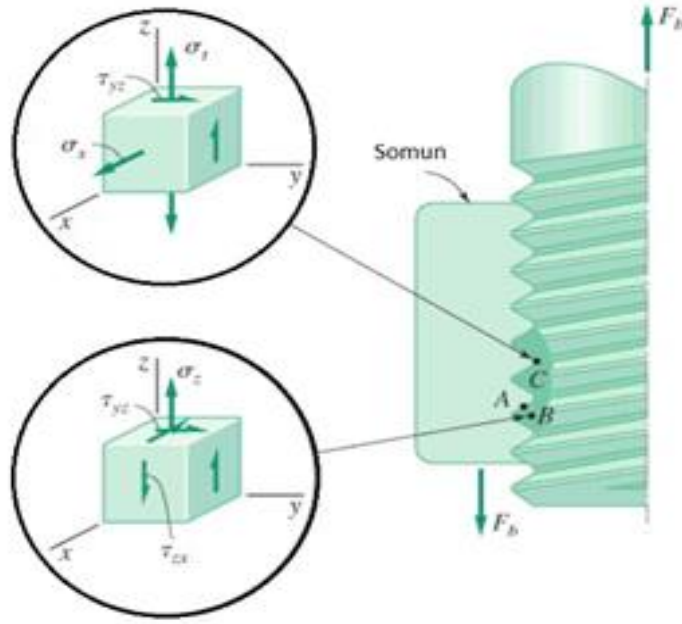
Şekil 4.18. Maksimum itme-vida grafiği

Aşağıda şekil 4.19’da 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 kopması ve ardından kesme işleminin gerçekleştiği varsayılmaktadır.



Şekil 4.19. Kesme gerilmesi-vida 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 4.20'deki bu durum aşağıda şu şekilde izah edilmiştir.



Şekil 4.20. 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 etkili olmaktadır. Dinamik basma esnasında ortaya çıkan ve dişleri burarak ikinci bir kayma gerilmesinin ortaya çıkması 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 smc numunede takım ağız sayısının azalması ve ilerleme değerinin artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı tespit edilmiştir. Kesme hızının ise etkisinin az olduğu tespit edilmiştir. Rtm numunede ise takım ağız sayısı, kesme hızı ve ilerleme değerinin artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı tespit edilmiştir.
- Takım ilerleme doğrultusunda yapılan frezeleme işleminde smc numunede takım ağız sayısı ve kesme hızının azalması ile ilerleme değerinin artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün yine arttığı tespit edilmiştir. Rtm numunede ise takım ağız sayısı ve kesme hızının azalması ile ilerleme değerinin artmasıyla yüzey pürüzlülüğü 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 takım tipi olduğu belirlenmiştir.
- İlerleme hızının azalmasıyla işlenmiş yüzeylerde oluşan delaminasyonun azaldığı tespit edilmiştir.
- İşlenmiş numunelerin delik kenarları incelendiğinde genel hasar mekanizmasının smc numunelerde Tip 1, Tip 2 ve Tip 1-2 delaminasyonun karışım şeklinde olduğu görülmüştür. Rtm numunelerde hasar mekanizması ise Tip 1 delaminasyon şeklindedir.
- 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 smc numune için 2975 N ile 27.87 MPa, rtm numunede ise 3478 N ile 32.58 MPa bulunmuştur. Dinamik sıyırmada ise bu değerler smc numune için 2023 N ile 18.95 MPa, rtm numune de ise 2550 N ile 23.89 MPa bulunmuştur. Bununla birlikte M14x2 vidada statik basma deneyleri sonucunda elde edilen maksimum itme kuvveti ve kesme gerilmesi değerleri sırasıyla smc numune için 15589 N ile 56.41 MPa, rtm numunede ise 17575 N ile 63.60 MPa bulunmuştur. Dinamik sıyırmada ise bu değerler smc numune için 9750 N ile 35.28 MPa, rtm numune de ise 13250 N ile 47.95 MPa 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 cam elyaf takviyeli smc kompozit malzemelerin frezelenme ve kılavuz çekme işlemi ile vidalı birleştirme yeteneği deneysel olarak araştırılmıştır. Rtm ile üretilmiş cam elyaf takviyeli kompozitlerin de smc yapıdaki kompozit malzemelerle mukayese yapılması için deneysel çalışma yapılmıştır.

Yapılan deneyler sonrasında elde edilen verilere göre şu öneriler yapılabilir;

- Farklı elyaf açlarına sahip cam elyaf takviyeli smc 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.

- Deneyleerde 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.



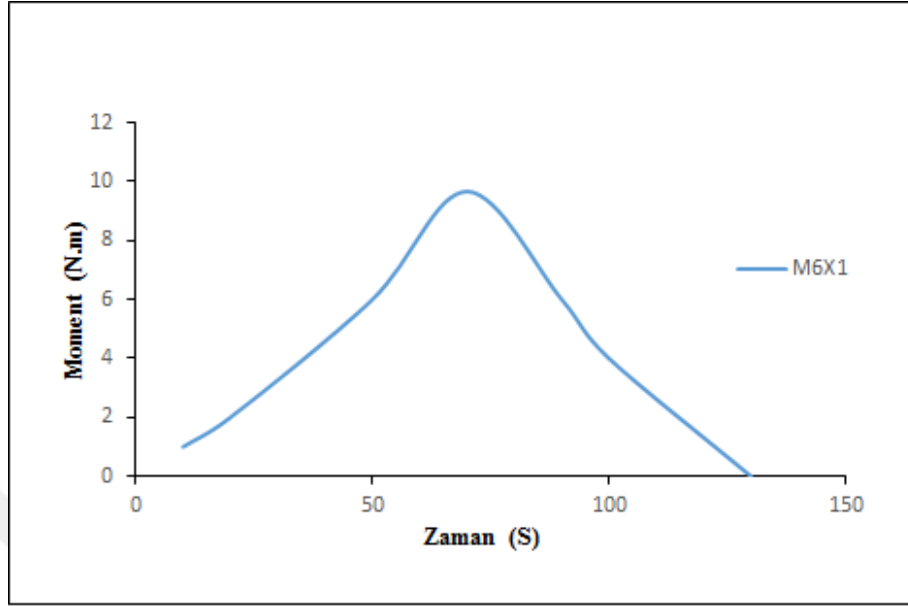
KAYNAKLAR

- 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.
- Akermo, M., Astrom, B.T., 2000, Modelling component cost in compression moulding of thermoplastic composite and sandwich components, *Composites, Part A 31*, 319–333.
- 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], Dokuz Eylül Üniversitesi, <http://www.deu.edu.tr/userweb/mehmet.aktas/Kompozit%20Malzemeler/Ders%20%203/3.pdf> [Ziyaret Tarihi: 18 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.
- Ateş, E. ve Aztekin, K. (2011). Parçacık ve fiber takviyeli polimer kompozitlerin yoğunluk ve basma dayanımı özellikleri, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26 (2), Ankara, 479 – 486.
- Avcı, A., Ekrem M. ve Erkendirici Ö.F., 2007, Cam kumaş takviyeli termoplastik kompozitlerde kırılma davranışlarının incelenmesi, 8. *Uluslararası Kırılma Konferansı*, İstanbul, 422-434.
- 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.
- Becenen N., 2008, Traktör Kaportalarında Kullanılan Plastik Matrisli Kompozit Malzemelerin Yapısal Özelliklerinin İyileştirilmesi Üzerine Bir Araştırma, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi, Tekirdağ.
- Bingöl, M., Çavdar, K., 2012, Sheet Molding Compound (Smc) Yöntemi İle Kompozit Malzeme Tasarımı ve Üretimi, 3. *Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, Balıkesir, 185.
- Can, A., Ünüvar, A., 2017, Optimization Of Process Parameters In Drilling Of Smc Composites Using Taguchi Method, *Technical Gazette 24*, 2, 435-442.
- Collins, J.A., Busby, H. and Staab, G., 2009, Mechanical design of machine elements and machines a failure prevention perspective, *Wiley*, Hoboken, 790-810.
- Çakır, C., 2006, Modern Talaşlı İmalatın Esasları, *Nobel Basımevi*, Kasım, 993:83,215.

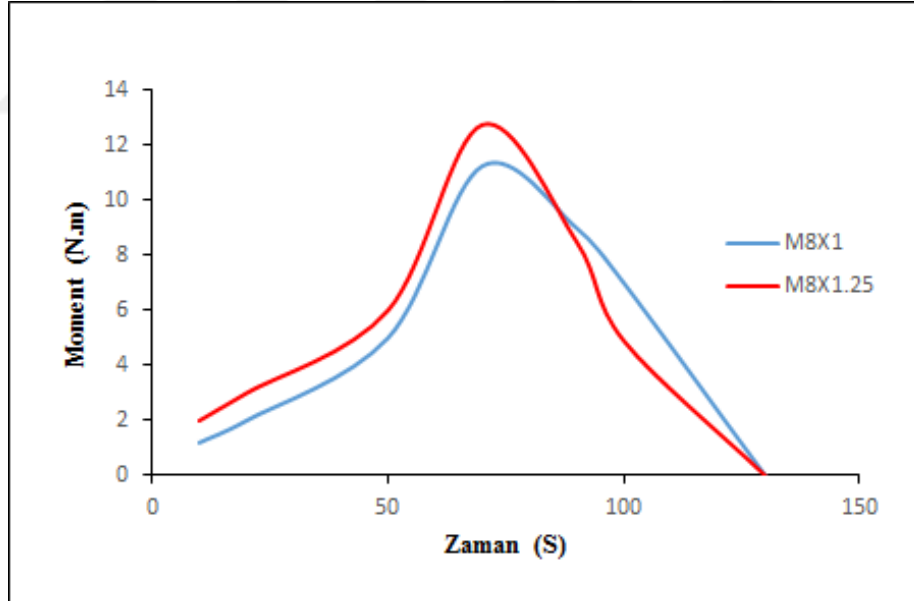
- Çavuş, Y., 2015, Karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerin alışılmış takımlarla işlenebilirliği, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 36-60.
- Çayıroğlu, İ., 2015, Makine elemanları, İnternet kaynağı [online], Karabük Üniversitesi, http://www.ibrahimcayiroglu.com/Dokumanlar/MakineElemanlari/Makine_Elemanlari_Ders_Notlari-9.Hafta.pdf [Ziyaret Tarihi: 25.11.2017].
- 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.
- Ersoy, H.Y., 2001, Kompozit Malzeme, 66, *Literatür Yayınları*, İstanbul, 3-13.
- 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.
- Groover, M.P., 2014, Fundamentals of Modern Manufacturing Materials, Processes, and Systems, *Lehigh University*, ABD, 331-340.
- 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.
- İşık, 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.
- İşık, B., 2013, Cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin gagalayarak delinmesi esnasında oluşan yüzey hasarlarının deneysel olarak incelenmesi, 4. *Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, UTİS-2013*, Kuşadası, 75-84.
- 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: 18 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: 25 Kasım 2017].

- Kutay, G.M., 2005, Cıvatalar, 1, *Birsen Yayın*, İstanbul, 250-270.
- Le, T.-H., Dumont, P.J.J., Orge'as, L., Favier, D., Salvo, L., Boller, E., 2008, X-ray phase contrast microtomography for the analysis of the fibrous microstructure of SMC composites, *Composites, Part A* 39, 91–103.
- Mallick P.K., 1993, Fiber Reinforced Composites Materials, Manufacturing, and Design, Second Edition, *Marcel Dekker*, New York, USA.
- Mallick, P.K., 1998, Fiber-Reinforced Composites, Second Edition, *Marcell Dekker Inc.*, New York, USA.
- Mazumdar, S.K., & Mallick, P.K., 1998, Static and Fatigue Behaviour Of Adhesive Joints in SMC-SMC Composites, *Polymer Composites*, 19, USA, 139-146.
- Mazumdar, S.K., 2002, Composite manufacturing, materials, product and process engineering, *CRS Press*, Florida, 30-32, 129, 159- 173.
- 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, İnternet kaynağı [online], Sakarya Meslek Yüksekokulu Makina Ve Metal Teknolojileri Bölümü Metalurji Programı, http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/78375/31395/kompozit_malzemeler_ders_notu.pdf[Ziyaret Tarihi: 25 Kasım 2017].
- Park, C.H., Lee, W.I., Han, W.S., Vautrin, A., 2004, Simultaneous Optimization of Composite Structures Considering Mechanical Performance and Manufacturing Cost, *Composites Structures*, 65:117-127.
- 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.
- Sahin Y., 2006, Kompozit Malzemelere Giriş, *Seçkin Yayıncılık*, Ankara.
- Sandvik Coromant User's Guide, 2017, İnternet kaynağı [online], <https://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/technical%20guides/en-gb/c-2920-30.pdf> [Ziyaret Tarihi: 25 Kasım 2017].
- 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.
- Turgut, T., Kayran A., Alemdaroğlu N. ve Ceylan M., 2007, Vakum torbalama yöntemi ile kompozit malzemedan yapı üretimi örnek bir havacılık uygulaması, *Mühendis ve Makine*, 48, 14-21.

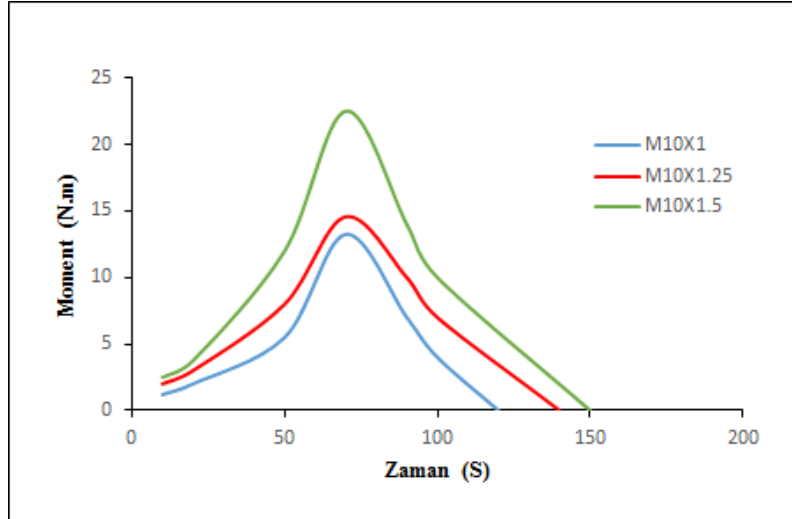
- Uçar, V., 2010, Makine elemanları 1, İnternet kaynağı [online], Sakarya Üniversitesi, http://docplayer.biz.tr/14564751-Makina-elemanlari-i-ders-notlari.html.#show_full_text. [Ziyaret Tarihi: 22 Kasım 2017].
- Urban, N.A., 2005, Analysis of machining quality in edge trimming of carbon fiber reinforced 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: 28 Kasım 2017].
- Voorn, B. V., Smit, H.H.G., Sinke, R.J., Klerk B. D., 2001, Natural Fibre Reinforced Sheet Molding Compound, *Composites*, Part A 32 1271-1279.
- Yöneş, H., 2007, El Yatırma Yöntemiyle Elyaf Takviyeli Kompozit Yapıların Üretilmesi ve Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 54-56.
- 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: 25 Kasım 2017].

EKLER**EK-1 Dinamik vida dişi sıyrma deney grafikleri (Maksimum Moment-Zaman)**

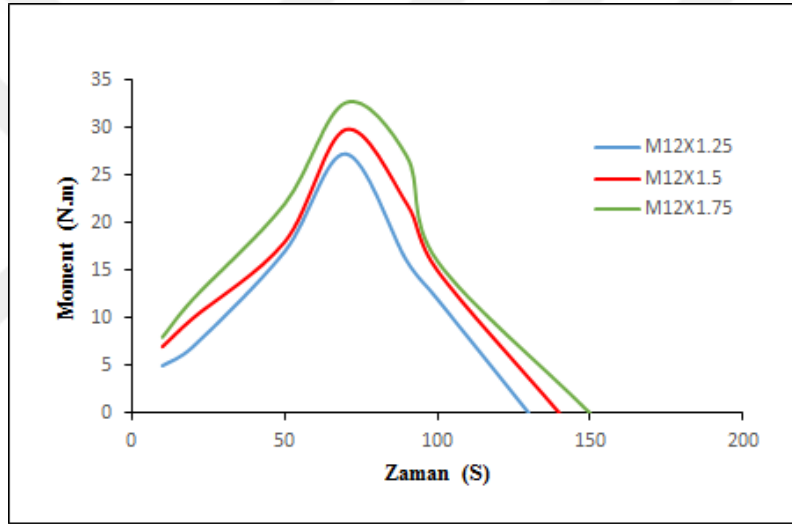
Smc numune M6x1 moment-zaman grafiği



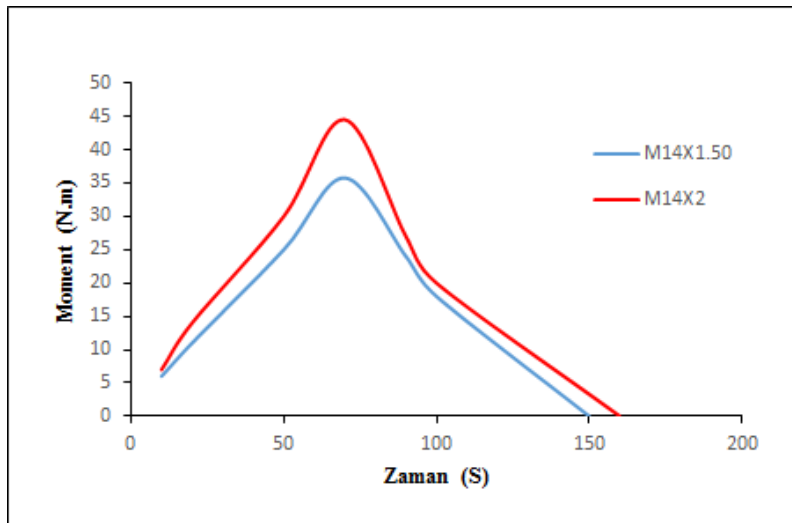
Smc numune M8x1, M8x1.25 moment-zaman grafiği



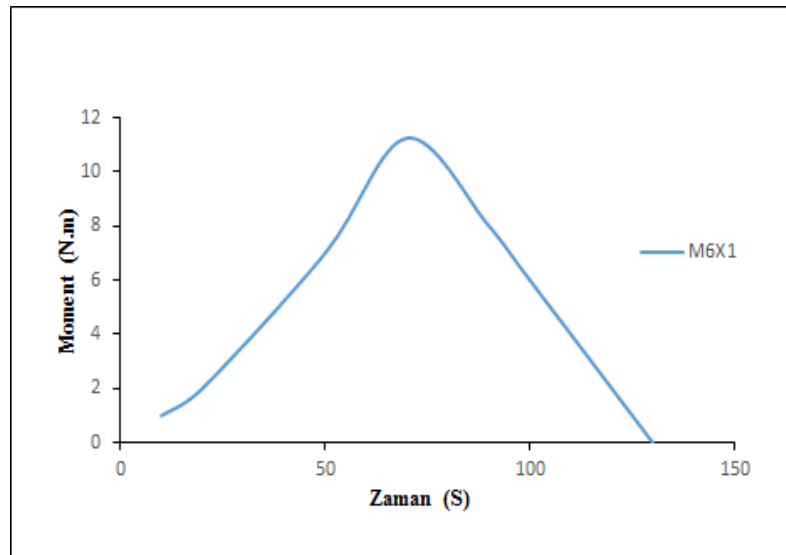
Smc numune M10x1, M10x1.25, M10x1.5 moment-zaman grafiği



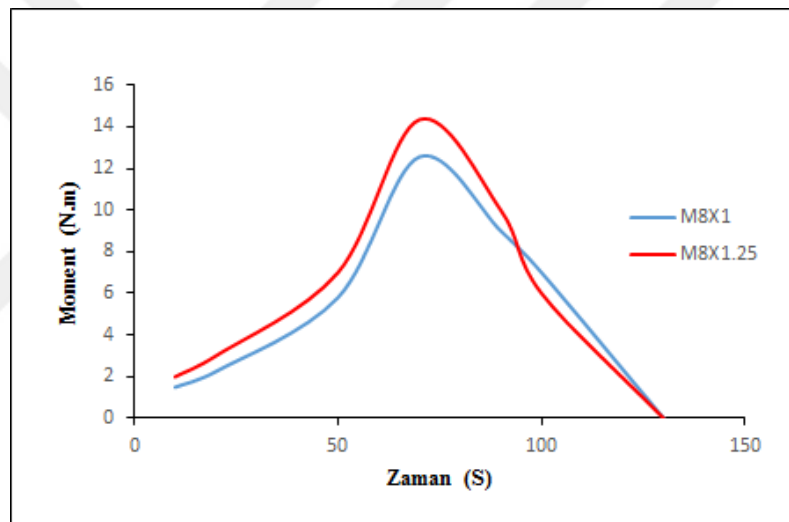
Smc numune M12x1.25, M12x1.5, M12x1.75 moment-zaman grafiği



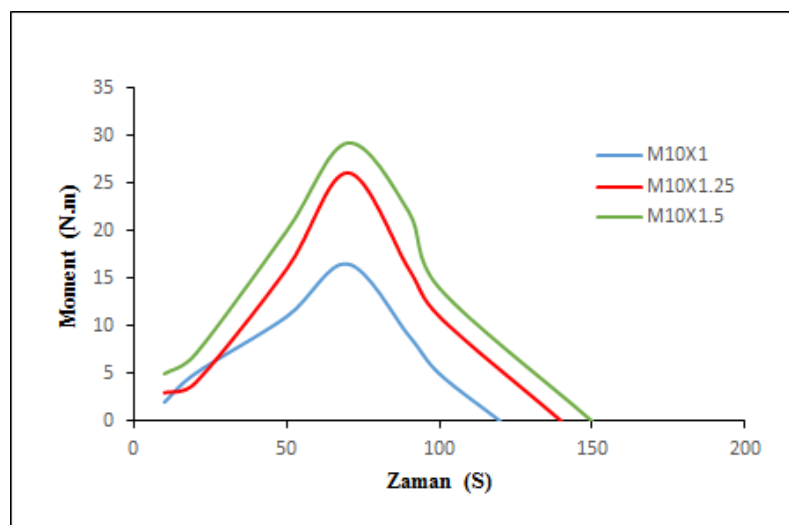
Smc numune M14x1.5, M14x2 moment-zaman grafiği



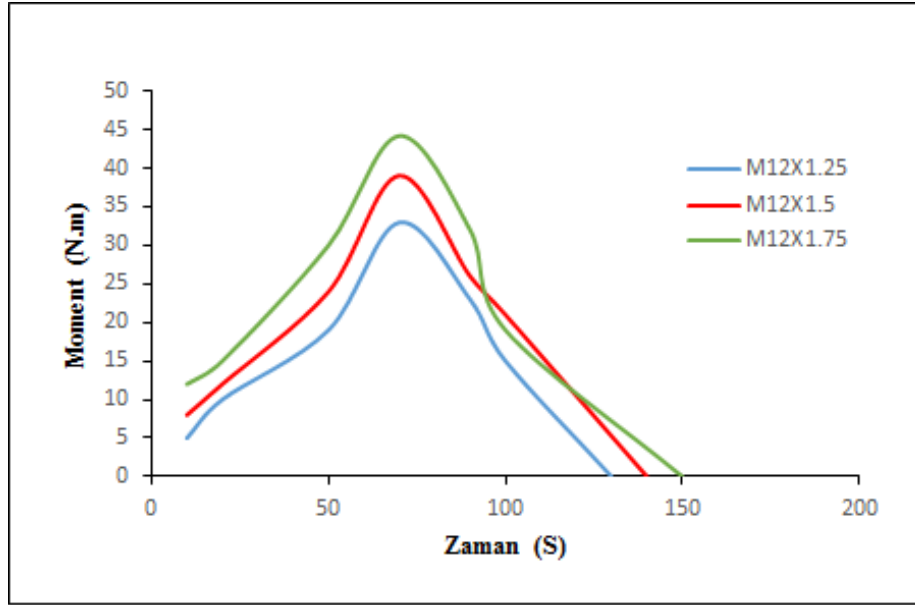
Rtm numune M6x1 moment-zaman grafiği



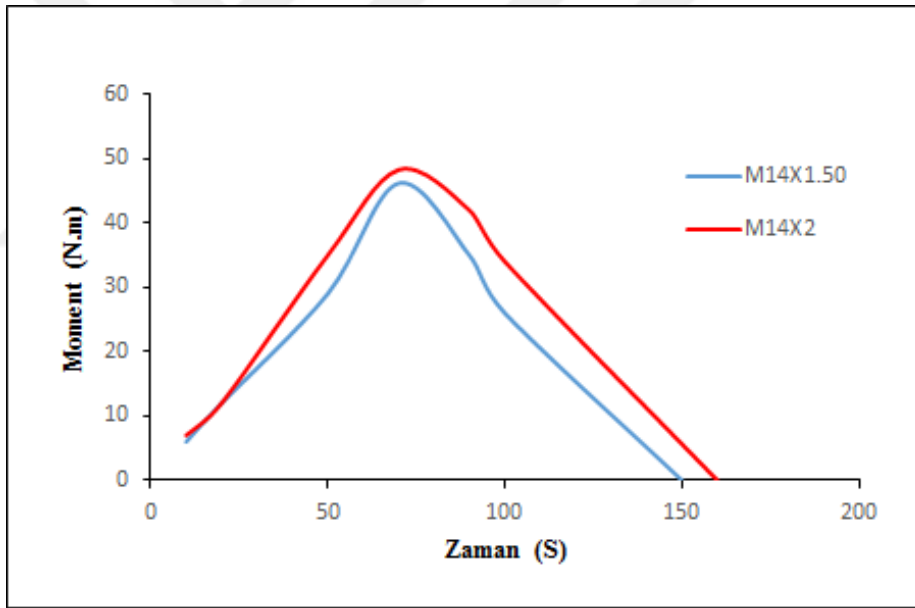
Rtm numune M8x1, M8x1.25 moment-zaman grafiği



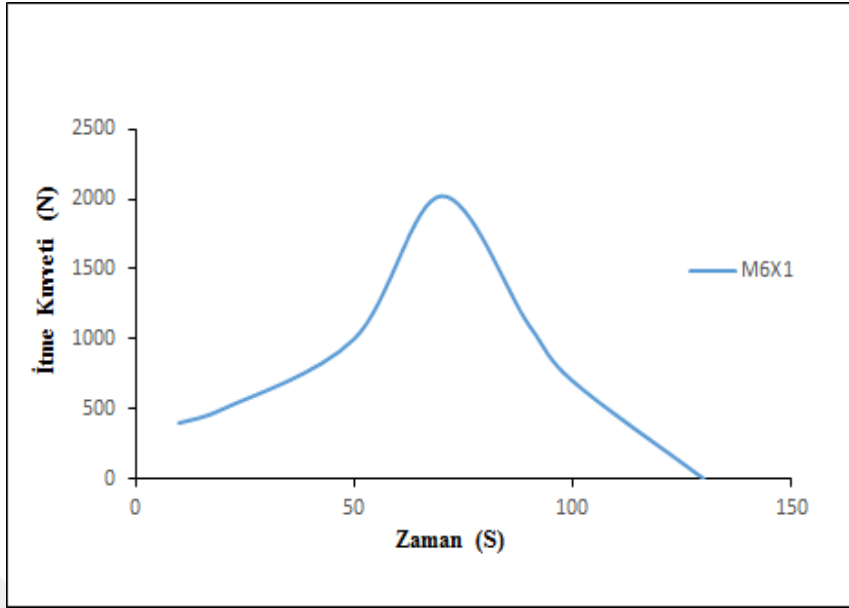
Rtm numune M10x1, M10x1.25, M10x1.5 moment-zaman grafiği



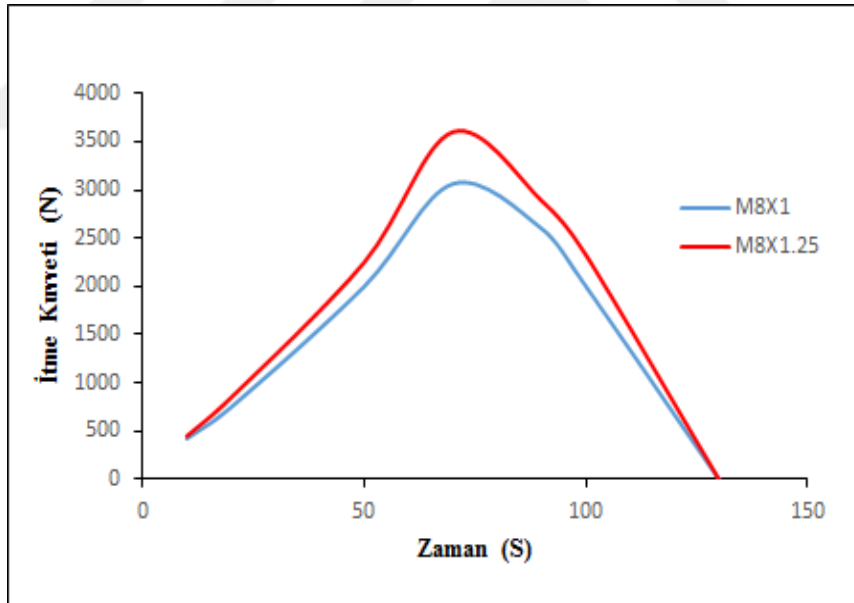
Rtm numune M12x1.25, M12x1.5, M12x1.75 moment-zaman grafiği



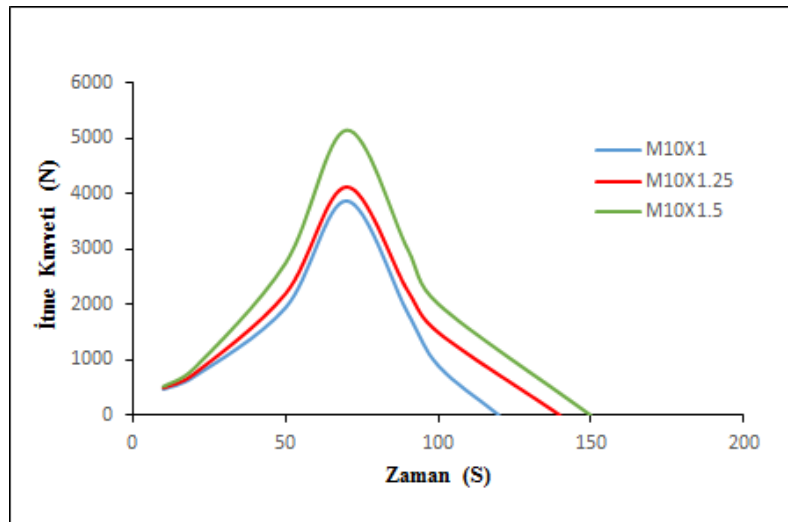
Rtm numune M14x1.5, M14x2 moment-zaman grafiği

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

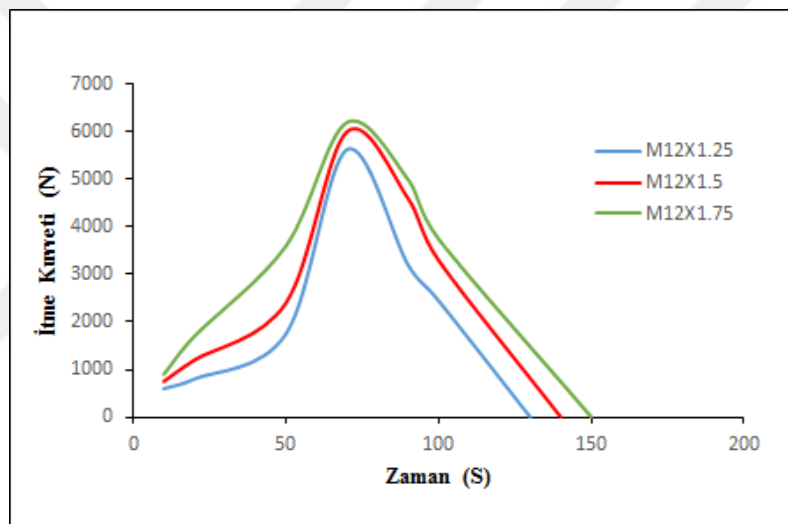
Smc numune M6x1 itme kuvveti-zaman grafiği



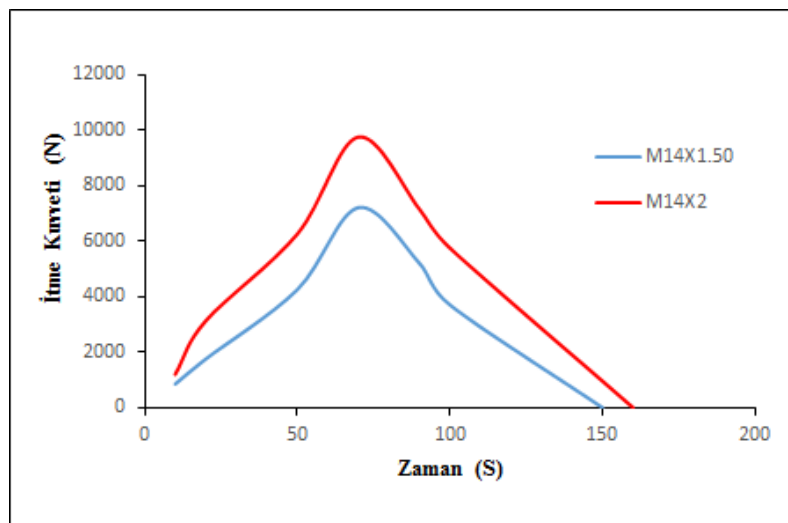
Smc numune M8x1, M8x1.25 itme kuvveti-zaman grafiği



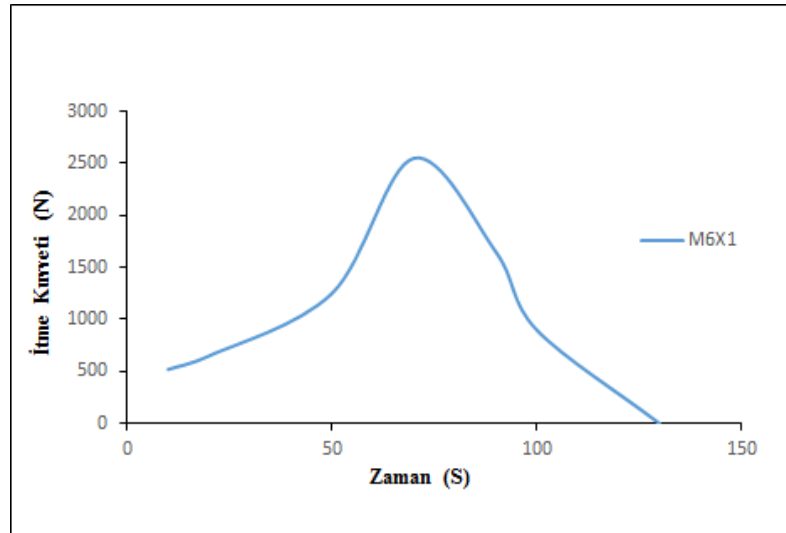
Smc numune M10x1, M10x1.25, M10x1.5 itme kuvveti-zaman grafiği



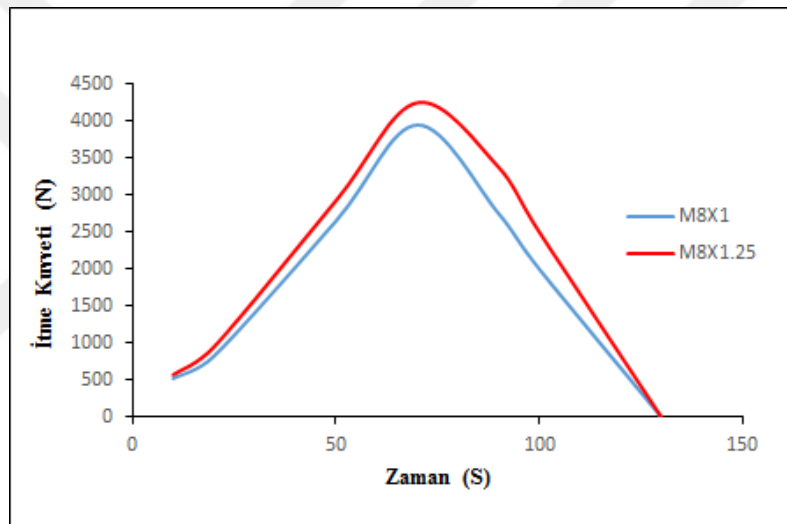
Smc numune M12x1.25, M12x1.5, M12x1.75 itme kuvveti-zaman grafiği



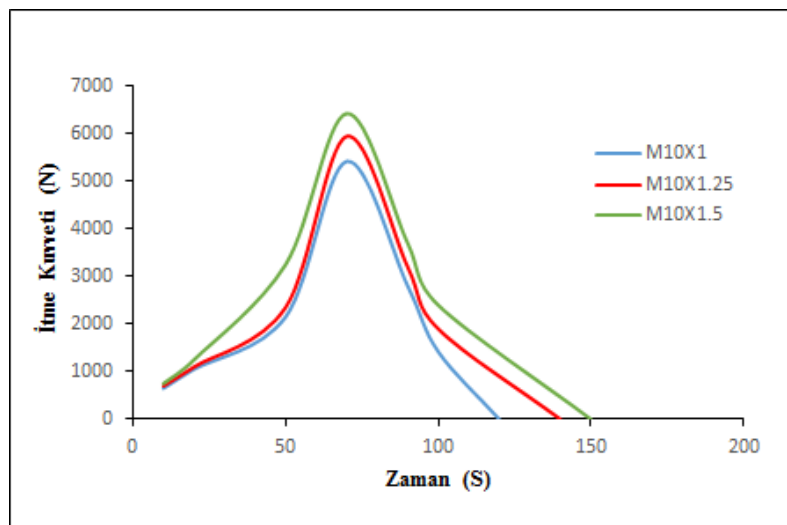
Smc numune M14x1.5, M14x2 itme kuvveti-zaman grafiği



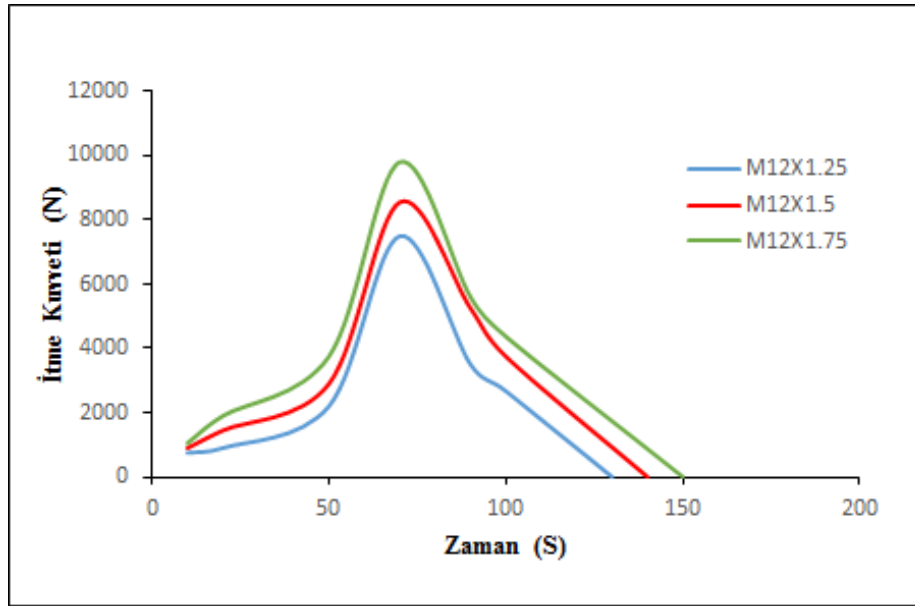
Rtm numune M6x1 itme kuvveti-zaman grafiği



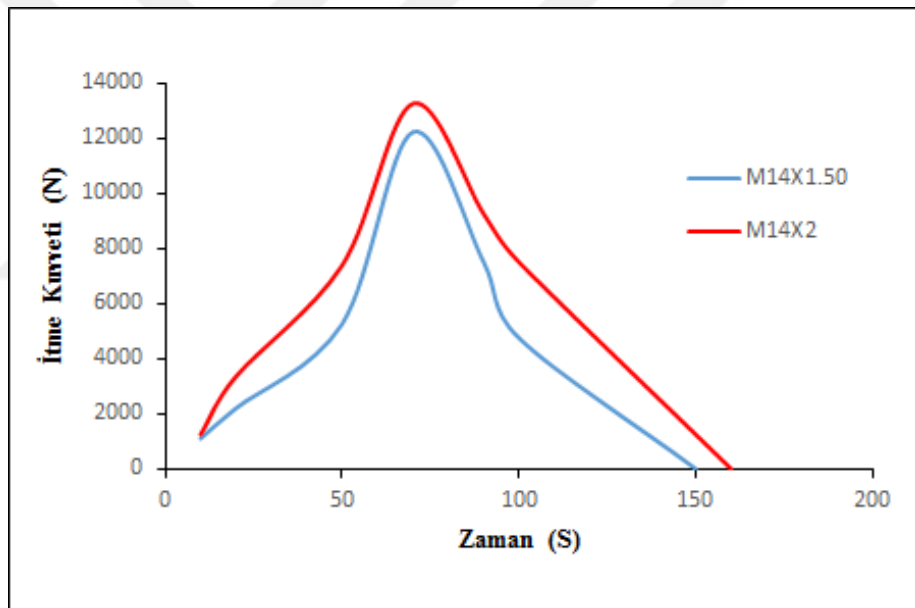
Rtm numune M8x1, M8x1.25 itme kuvveti-zaman grafiği



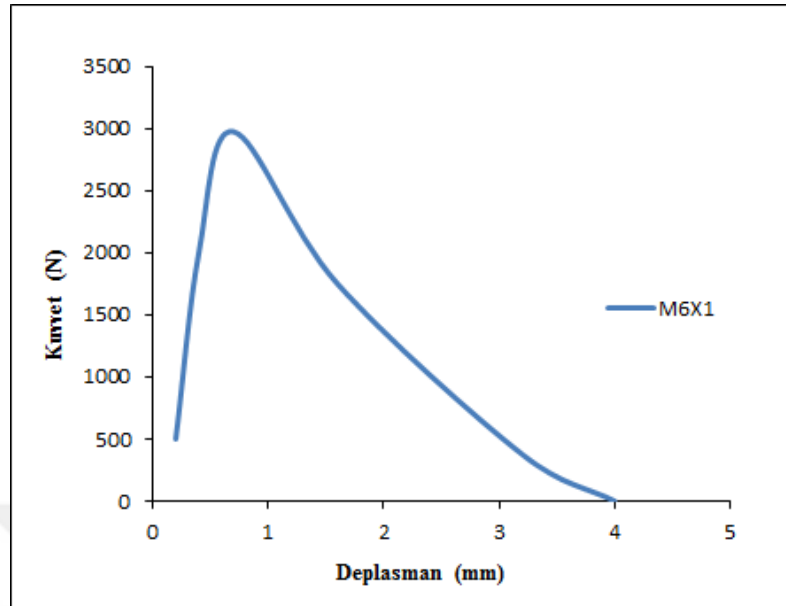
Rtm numune M10x1, M10x1.25, M10x1.5 itme kuvveti-zaman grafiği



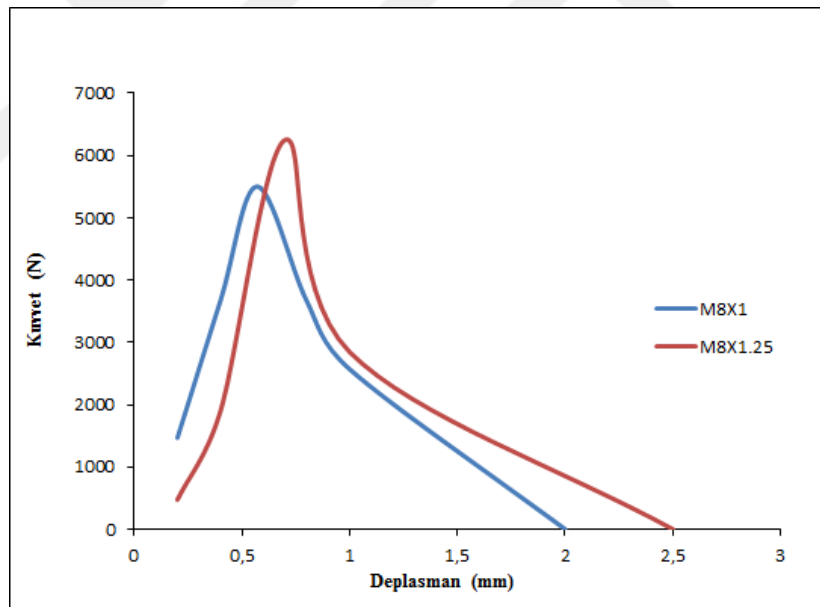
Rtm numune M12x1.25, M12x1.5, M12x1.75 itme kuvveti-zaman grafiği



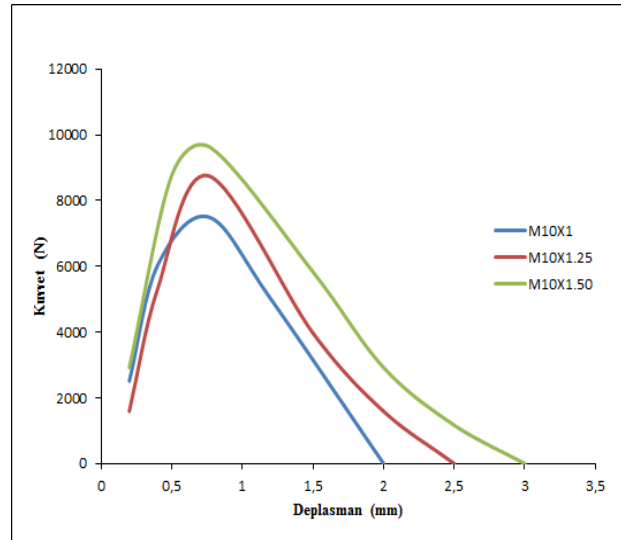
Rtm numune M14x1.5, M14x2 itme kuvveti-zaman grafiği

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

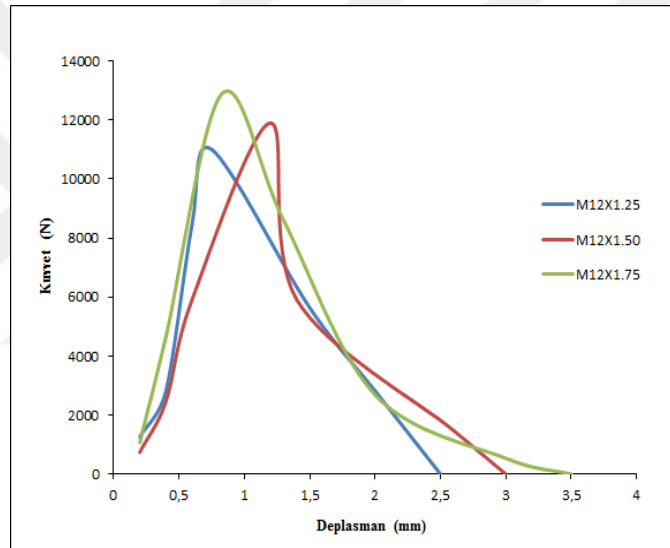
Smc numune M6x1 kuvvet-deplasman grafiği



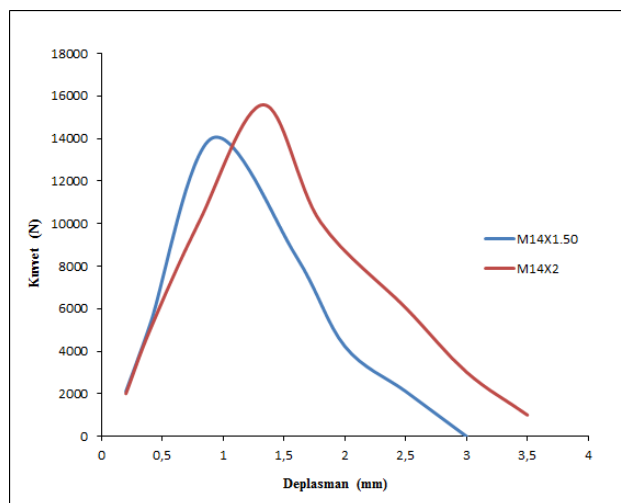
Smc numune M8x1, M8x1.25 kuvvet-deplasman grafiği



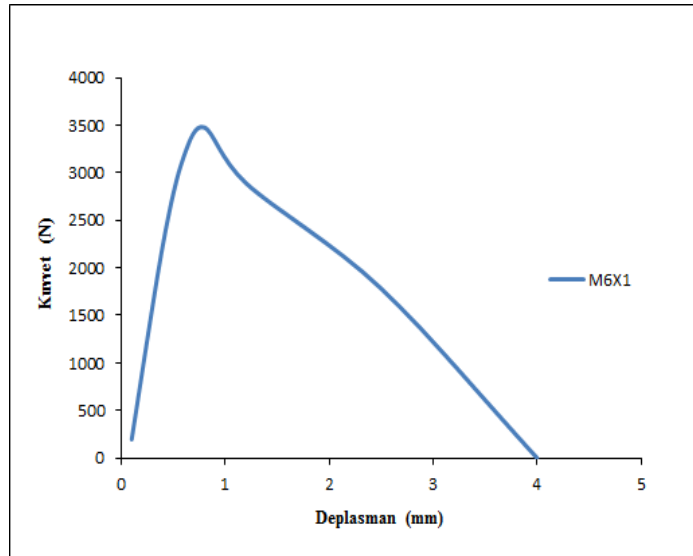
Smc numune M10x1, M10x1.25, M10x1.5 kuvvet-deplasman grafiği



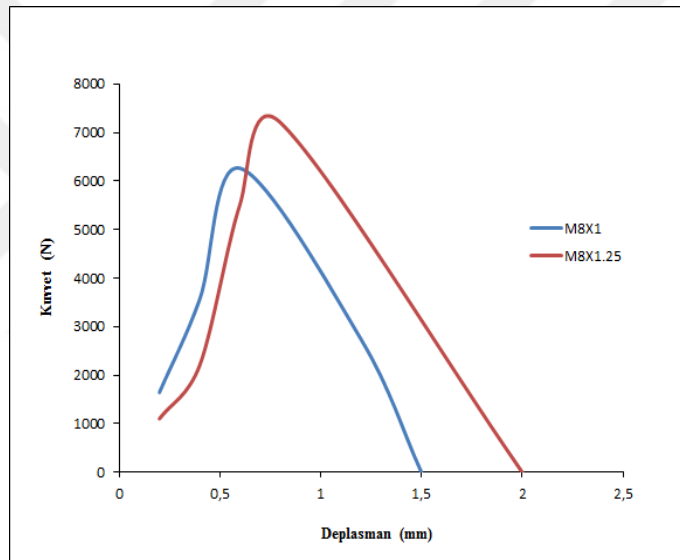
Smc numune M12x1.25, M12x1.5, M12x1.75 kuvvet-deplasman grafiği



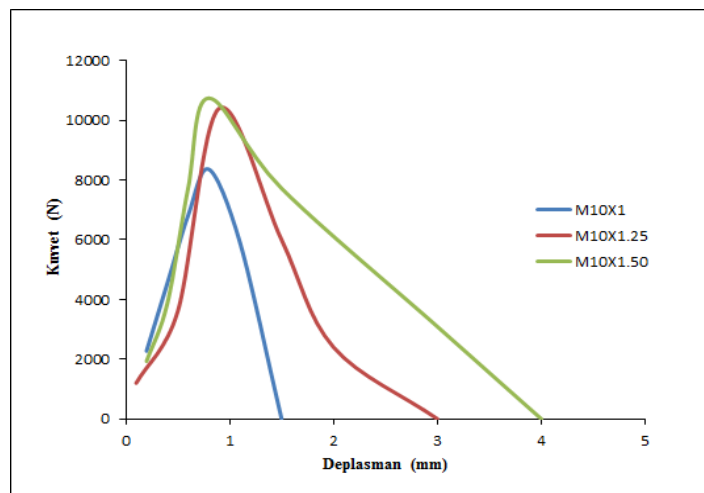
Smc numune M14x1.5, M14x2 kuvvet-deplasman grafiği



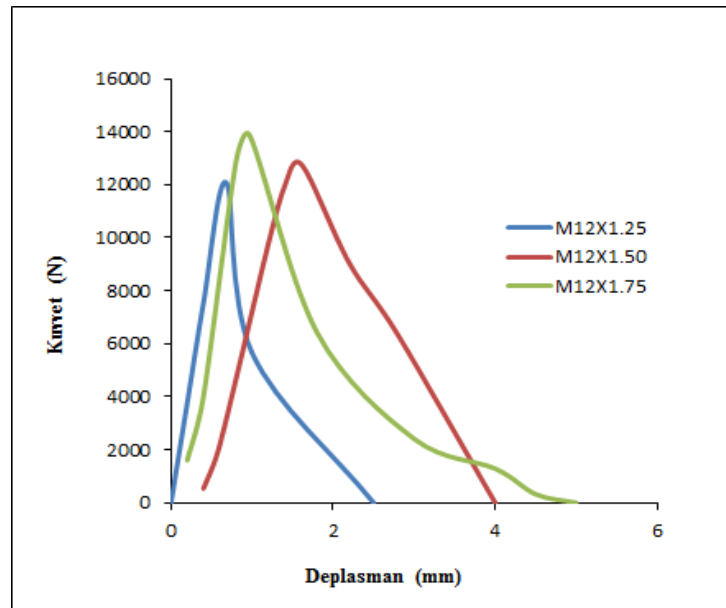
Rtm numune M6x1 kuvvet-deplasman grafiği



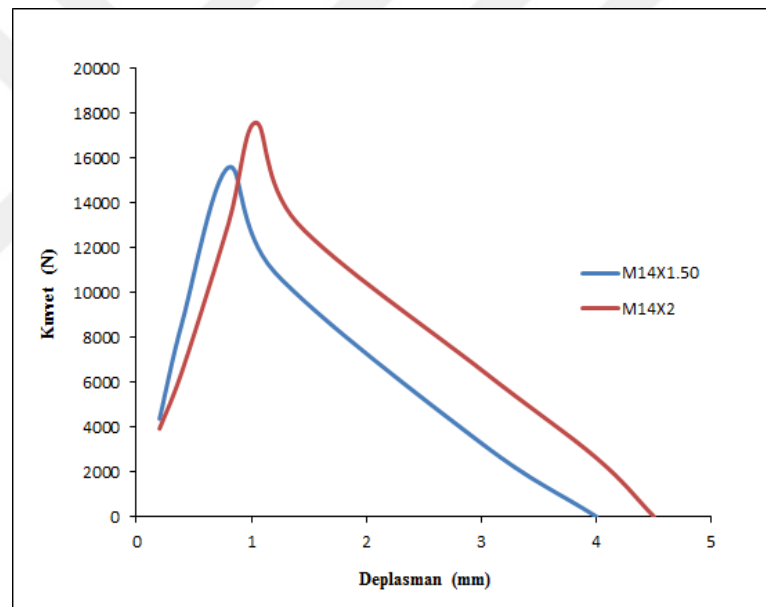
Rtm numune M8x1, M8x1.25 kuvvet-deplasman grafiği



Rtm numune M10x1, M10x1.25, M10x1.5 kuvvet-deplasman grafiği



Rtm numune M12x1.25, M12x1.5, M12x1.75 kuvvet-deplasman grafiği



Rtm numune M14x1.5, M14x2 kuvvet-deplasman grafiği

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Hasan GÜNDOĞDU
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : Konya/03.05.1987
Telefon : 0555 445 4181
e-mail : hasan-gundogdu@hotmail.com

EĞİTİM

Lise : Selçuklu Atatürk Lisesi, Konya 2004
Üniversite : Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi 2011
Makine Mühendisliği

İŞ DENEYİMLERİ

2010-2011 Biberci İnşaat Ltd. Şti. Makine Mühendisi
2012- Tekyatağanlı Tarım Mak. San. Tic. A.Ş. Makine Mühendisi

YABANCI DİLLER

İngilizce