

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KOMPOZİT MALZEMELERİN KAMERA
KREN SİSTEMLERİNE
UYGULANABİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ**

Mühendis Tufan ULUDAĞ

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Konstrüksiyon Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Muharrem Erdem BOĞOÇLU

İSTANBUL, 2009

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KOMPOZİT MALZEMELERİN KAMERA
KREN SİSTEMLERİNE
UYGULANABİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ**

Mühendis Tufan ULUDAĞ

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Konstrüksiyon Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Muharrem Erdem BOĞOÇLU

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	ii
SİMGE LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAMERA KREN SİSTEMLERİ	4
2.1. İsimlendirme	4
2.2. Tanım ve İşlevleri	4
2.3. Parçaları ve Parçaların Fonksiyonları	5
2.3.1. Üç ayak	5
2.3.2. Kren ana kolu	5
2.3.3. Kren yardımcı kolu	5
2.3.4. Karşı ağırlık	6
2.3.5. Kren kafası	6
3. KOMPOZİT MALZEMELER	7
3.1. Tanımı	7
3.2. Tarihçe	7
3.3. Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları	9
3.4. Kompozit Üretiminde Kullanılan Malzemeler	10
3.4.1. Matris Malzemeleri	10
3.4.2. Elyaf lar	14
3.5. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması ve Özellikleri	19
3.5.1. Elyaf lı Kompozitler	20
3.5.2. Parçacıklı Kompozitler	20
3.5.3. Tabakalı Kompozitler	20
3.5.4. İleri Kompozitler	22
3.6. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerinin Üretim Yöntemleri	24
3.6.1. Elyaf Sarma	25
3.6.2. Açık – Kalıp Yöntemleri	26
3.6.3. Çekme Yöntemi	27
3.6.4. Presleme	28

3.6.5.	Döküm Yöntemi	29
3.6.6.	Sinterleme	30
3.6.7.	Laminasyon	30
3.6.8.	Sandviç Kompozitler	31
3.7.	Tabakalı Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri	33
3.8.	Kompozit Malzeme Kullanımında Tasarım Esasları	34
3.8.1.	Yükleme Durumu	35
3.9.	Parçaların Birleştirilmesi	39
3.10.	Ağırlık	40
4.	ANALİTİK ÇALIŞMALAR	44
4.1.	Lagrange Denklemleri	44
4.2.	Potansiyel Fonksiyonun Mevcut Olması Halinde Lagrange Denklemleri,	48
4.3.	Mevcut Sistemin Hareket Denklemi	51
5.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	53
5.1.	Farklı Açılarda Mesnetlenmiş Çubukların Deplasman- Zaman Grafikleri	54
5.1.1.	0°'lik Açıda Mesnetlenmiş Çubukların Deplasman- Zaman Grafikleri	54
5.1.2.	15°'lik Açıda Mesnetlenmiş Çubukların Deplasman- Zaman Grafikleri	56
5.1.3.	-15°'lik Açıda Mesnetlenmiş Çubukların Deplasman- Zaman Grafikleri	58
5.1.4.	30°'lik Açıda Mesnetlenmiş Çubukların Deplasman- Zaman Grafikleri	61
5.1.5.	-30°'lik Açıda Mesnetlenmiş Çubukların Deplasman- Zaman Grafikleri	63
5.2.	Deplasman- Zaman Grafiklerinin Karşılaştırılması	65
5.2.1.	Ø6 mm Alüminyum Çubuk için Deplasman Zaman Grafikleri	65
5.2.2.	Ø8 mm Alüminyum Çubuk için Deplasman Zaman Grafikleri	66
5.2.3.	Ø8 mm Cam Elyaf Çubuk için Deplasman Zaman Grafikleri	67
5.2.4.	Ø6 mm Karbon Fiber Çubuk için Deplasman Zaman Grafikleri	68
6.	SONUÇLAR ve GENEL DEĞERLENDİRME	69
	KAYNAKLAR	71
	ÖZGEÇMİŞ	72

SİMGE LİSTESİ

F_i	: i. maddesel noktasına etkiyen tüm aktif kuvvetler
r_i	: Yer vektörü
δr_i	: Bir maddesel noktanın virtüel yer değiştirmesi
q_n	: Genelleştirilmiş koordinat
Q_k	: Genelleştirilmiş kuvvet
T	: Sistemin kinetik enerjisi
V	: Potansiyel fonksiyonu
L	: Lagrange fonksiyonu

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2-1 Örnek kamera kren.	4
Şekil 3-1 Elyaf ve matris malzemelerin gerilme ve uzama diyagramları.	19
Şekil 3-2 a. Elyaflı Kompozitler b. Parçacıklı Kompozitler c. Tabakalı Kompozitler d. Karma Kompozitler	19
Şekil 3-3 İki metalin davranışı üzerinde ısıl genleşme katsayısının etkisi.....	22
Şekil 3-4 Titanyum ve Alüminyum alaşımları ile karbon fiber-epoksi özgül yorulma dayanımının kıyaslanması.	23
Şekil 3-5 Farklı kompozit ve metallerin sıcaklığa göre özgül dayanımlarının değişimi.	24
Şekil 3-6 Basitleştirilmiş elyaf sarma yöntemi.	25
Şekil 3-7 Açık Kalıplama Yöntemleri.	26
Şekil 3-8 Çekme yöntemi.	28
Şekil 3-9 Pres şekillendirme yöntemi.	29
Şekil 3-10 Döküm Yöntemi.....	29
Şekil 3-11 Döküm Yöntemi Akış Şeması.	30
Şekil 3-12 Laminasyon doğruları.....	31
Şekil 3-13 Balpetekleri sandviç paneller.	32
Şekil 3-14 Çizgisel birleştirme ile balpeteği üretimi.	32
Şekil 3-15 Dişli merdane ile balpeteği üretimi.	33
Şekil 3-16 Tabakalı kompozitlerin üretim teknikleri. a. Haddeme ile birleştirme, b. patlayıcı ile birleştirme, c. Birlikte ekstrüzyon ve d. Lehimleme	33
Şekil 3-17 Çeşitli açılarda takviye edilmiş cam-epoksi kompozitten yapılmış delik içinden çekme kuvvetine maruz bir elemanda gerilme dağılımı.....	35
Şekil 3-18 Kompozit malzemelerde çatlak oluşum ve ilerleme şekilleri.	37
Şekil 3-19 Kompozitlerin çekme-uzama diyagramı.	37
Şekil 3-20 a) Yekpare olarak imal edilmiş otomobil tahrik şaftı b)Kompozitlerin matkapla delinmesi sonucu oluşan hasarlar	39
Şekil 3-21 Yapıştırma şekilleri.....	40
Şekil 3-22 Kompozit yapıya rulman montajı.....	40
Şekil 3-23 Dizaynda kullanılan karşılaştırma parametrelerinin eldesi.	41
Şekil 3-24 Çeşitli Malzemeler İçin Hesaplanmış Karşılaştırma Parametreleri.	42
Şekil 4-1 Mevcut kamera kren sisteminin modeli.	51
Şekil 5-1 Deney düzeneği.	53
Şekil 5-2 0°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø6 mm alüminyum çubuk için deplasman-zaman grafiği.	54

Şekil 5-3 0°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø8 mm alüminyum çubuk için deplasman-zaman grafiği.....	55
Şekil 5-4 0°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø8 mm cam elyaf çubuk için deplasman-zaman grafiği.	55
Şekil 5-5 0°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø6 mm karbon fiber çubuk için deplasman-zaman grafiği.....	56
Şekil 5-6 15°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø6 mm alüminyum çubuk için deplasman-zaman grafiği.....	56
Şekil 5-7 15°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø8 mm alüminyum çubuk için deplasman-zaman grafiği.....	57
Şekil 5-8 15°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø8 mm cam elyaf çubuk için deplasman-zaman grafiği.....	57
Şekil 5-9 15°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø6 mm karbon fiber çubuk için deplasman-zaman grafiği.....	58
Şekil 5-10 -15°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø6 mm alüminyum çubuk için deplasman-zaman grafiği.....	59
Şekil 5-11 -15°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø8 mm alüminyum çubuk için deplasman-zaman grafiği.....	59
Şekil 5-12 -15°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø8 mm cam elyaf çubuk için deplasman-zaman grafiği.....	60
Şekil 5-13 -15°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø6 mm karbon fiber çubuk için deplasman-zaman grafiği.....	60
Şekil 5-14 30°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø6 mm alüminyum çubuk için deplasman-zaman grafiği.....	61
Şekil 5-15 30°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø8 mm alüminyum çubuk için deplasman-zaman grafiği.....	61
Şekil 5-16 30°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø8 mm cam elyaf çubuk için deplasman-zaman grafiği.....	62
Şekil 5-17 30°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø6 mm karbon fiber çubuk için deplasman-zaman grafiği.....	62
Şekil 5-18 -30°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø6 mm alüminyum çubuk için deplasman-zaman grafiği.....	63
Şekil 5-19 -30°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø8 mm alüminyum çubuk için deplasman-zaman grafiği.....	63
Şekil 5-20 -30°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø8 mm cam elyaf çubuk için deplasman-zaman grafiği.....	64

Şekil 5-21 -30°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø6 mm karbon fiber çubuk için deplasman-zaman grafiği.	64
Şekil 5-22 Ø6 mm alüminyum çubuk için Mathematica programı ile elde edilen deplasman zaman grafiği.	65
Şekil 5-23 Ø6 mm alüminyum çubuk için deneysel olarak elde edilen deplasman zaman grafiği.	65
Şekil 5-24 Ø8 mm alüminyum çubuk için Mathematica programı ile elde edilen deplasman zaman grafiği.	66
Şekil 5-25 Ø8 mm alüminyum çubuk için deneysel olarak elde edilen deplasman zaman grafiği.	66
Şekil 5-26 Ø8 mm cam elyaf çubuk için Mathematica programı ile elde edilen deplasman zaman grafiği.	67
Şekil 5-27 Ø8 mm cam elyaf çubuk için deneysel olarak elde edilen deplasman zaman grafiği.	67
Şekil 5-28 Ø6 mm karbon fiber çubuk için Mathematica programı ile elde edilen deplasman zaman grafiği.	68
Şekil 5-29 Ø6 mm cam elyaf çubuk için deneysel olarak elde edilen deplasman zaman grafiği.	68

TABLO LİSTESİ

Tablo 3-1 Bazı Matris Malzemelerin Özellikleri	12
Tablo 3-2 Cam elyafı ile üretilen çeşitli camların özellikleri.....	16
Tablo 3-3 Fiber takviyeli malzemelerin uygulama alanları.	23
Tablo 3-4 Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Bazı Malzemelerin Karşılaştırılması..	38

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışmasını yöneten, kendisiyle çalışmaktan mutluluk duyduğum kıymetli hocam Doç. Dr. Muharrem BOĞOÇLU'ya verdiği tavsiyeler, yaptığı eleştiriler ve tüm yardımları için teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarında, bana yardımcı olan arkadaşlarım Cem Meriç ve Sinem Öztürk'e, kompozit malzemeler konusunda yardımlarından dolayı Cevat Sunol ve deneylerim için verdiği imkanlardan dolayı Poliya Poliester'e, ayrıca eğitimim boyunca üstümde emeği geçmiş tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Manevi desteklerini esirgemeyen değerli dostlarıma ve en önemlisi hayatım boyunca her zaman yanımda olan sevgili aileme sonsuz teşekkürler.

Tezimi, ailesini her şeyin üstünde tutmuş, örnek insan, Babam Alaaddin Uludağ'a armağan ediyorum.

Tufan ULUDAĞ

KOMPOZİT MALZEMELERİN KAMERA KREN SİSTEMLERİNE UYGULANABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Tufan ULUDAĞ
Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi

Alüminyum ve çelik malzemeler kamera kren sistemlerinin tasarımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemelerin kullanımında karşılaşılan temel problem malzemelerin ağır olması ve titreşimleri sönmülemde yeterli verimin elde edilememesidir.

Bu tezde, malzeme biliminin gelişmesiyle saf malzemelerin yerini almaya başlayan kompozit yapıların kamera kren sistemlerine uygulanabilirliğini araştırılmıştır.

Giriş bölümünde kompozit malzemeler hakkında genel bilgiler, tarihçesi, çeşitleri ve üretim yöntemleri anlatılmıştır.

Gelişme bölümünde 4 mm çapında alüminyum ve karbon fiber boru, 6mm çapında alüminyum ve cam fiber borunun katılık değerleri hesaplanmış ve hareket denkleminde yerlerine konularak Mathematica programında boruların hareketine ait diferansiyel denklemleri çözümlenmiştir. Diğer taraftan çubukların titreşim hareketleri deneysel olarak tespit edilmiş ve matematiksel verilerle karşılaştırılmıştır.

Sonuç bölümünde karşılaştırılan veriler yorumlanmış ve kompozitlerin kamera kren sistemlerine uygunluğu tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kamera kren sistemleri, kompozit malzemeler, titreşim.

JURİ:

Yrd. Doç. Dr. Muharrem BOĞOÇLU

Prof. Dr. Mustafa ALIŞVERİŞÇİ

Prof. Dr. Ahmet ALKAN

Kabul Tarihi: 17.03.2009

Sayfa Sayısı: 72

RESEARCH of THE USABILITY of COMPOSITE MATERIALS in CAMERA CRANE SYSTEMS

Tufan ULUDAĞ
Mechanical Engineering, M.S. Thesis

Aluminum and steel materials has a wide usage in camera crane systems. The basic problems of using these materials are material's heavy weight and their insufficient vibration damping.

In this thesis, the usability of composite materials, which are replacing the fine materials with the development of materials science, in a camera crane system is researched.

Firstly, a general knowledge about composite materials is explained in detail. The history, varieties and manufacturing techniques of those are also mentioned.

In the theory section, the stiffness's of 4 mm of radius aluminum and carbon fiber pipe and 6 mm of radius aluminum and glass fiber pipe are calculated. These values are replaced in the dynamic equations of the pipes, and the differential equations are analyzed in Mathematica software. On the other hand, the vibrations of the pipes are experimentally measured, and the two results are compared.

In the conclusion, the compared results are evaluated, and the usability of the composites in camera crane systems is discussed.

Keywords: Camera crane systems, composite materials, vibration.

JURİ:

Yrd. Doç. Dr. Muharrem BOĞOÇLU
Prof. Dr. Mustafa ALIŞVERİŞÇİ
Prof. Dr. Ahmet ALKAN

Kabul Tarihi: 17.03.2009
Sayfa Sayısı: 72

1. GİRİŞ

Kamera kreni, sinema ve televizyon endüstrisinden kullanılan ve çekim esnasında kameraya hareket kazandırarak, sahnelere başka sanatlarda mümkün olmayan sinematografik anlatımı kazandırmaya yarayan basit bir kaldıraçtır.

Sinema ve televizyon endüstrisinin gelişmesi hareketli çekimlerde farklı imkanlar tanıyan bu sistemlerin kullanımını kayda değer biçimde arttırmıştır. Bu sistemler özellikle spor müsabakalarının naklen yayınlanmasında vazgeçilmez olmuştur. Sistemin kamerayı titreştirmeden hızlı şekilde hareket ettirebilme yeteneği onun tercih edilmesinin başlıca sebebi olmuştur. Bunun yanında farklı açılardan kayıt yapabilme ve spor müsabakasında kullanılan topun takibini en iyi şekilde gerçekleştirme kabiliyeti onun diğer sistemlere göre daha sık kullanılmasına yol açmıştır. Bunu yaparken operatöründe işini rahatlıkla yapabilmesi onun bir başka avantajlı yönü olmuştur.

Kamera kren sistemleri hali hazırda 1-2 metre arasında değişen parçalara bölünebilen alüminyum veya çelik profillerin birbirlerine eklenmesiyle oluşmaktadır. Çelik profiller kameranın daha az titreşime maruz kalmasını sağlamakla beraber çok ağır olmaktadır. Kameranın bulunduğu tarafın tam tersinde bu ağırlığı dengeleyecek olan karşı ağırlıkların kullanıldığı düşünülürse, bu taşımada büyük problemlere yol açmaktadır. Bunun için çeşitli hafifletme yöntemleri geliştirilmiş olsa bile (profilin iç kısımlarına yuvarlak delikler açmak gibi) yine de istenilen sonucu vermemektedir. Sürekli stüdyo ortamında çalışmak üzere tasarlanan ve sökülüp takılma gibi derdi olmayan bir sistem için çok büyük bir sorun yaratmasa da, bir sinema filmi için dağda yüksek bir yere çıkarılmak istendiğinde ağırlık ciddi bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Alüminyum profiller kullanılarak tasarlanan bir kamera kren sistemi daha hafif olmakta ve taşımada daha iyi sonuçlar vermektedir. Konu titreşimin kameraya ulaşması olduğunda çelik alüminyuma göre daha başarılıdır. Rüzgarlı hava şartları göz önünde bulundurulursa çekimin kaliteli olabilmesi için bu sistemin titreşimlerinin çok iyi sönümlemesi gerektiği söylenebilir. Alüminyum profillerin kullanıldığı bir sistemde titreşimleri azaltılması için civalı mafsal ve gergi tertibatları kullanılmakta, bu da sistemin maliyetini arttırmaktadır. Ağırlık açısından da alüminyum çelikten daha iyi sonuç vermiştir ancak bu sistemin daha da hafiflemesi gerektiği gerçeğini değiştirmemiştir.

Edinilen kaynaklarda kamera kren sisteminin tasarımına ait detaylı teorik bilgiye ulaşılamadı. İnternet sitelerinden yapılan araştırmalarda görülmüştür ki sistem üzerine yapılan

geliştirmeler genellikle ağırlık azaltma ve titreşimlerin azaltılması yönünde pratik çalışmalar olmuştur. Bu geliştirmeler sistemde iyi sonuçlar verirken sistemi karmaşıklaştırmış ve kurulumda zaman kaybına yol açan çözümler ortaya koymuştur.

Bu konuya özel olmamakla beraber sistemin, kiriş sistemi olduğu kolaylıkla görülebilir. Bu sistemde geliştirme yaparken probleme malzeme açısından yaklaşıldı. Titreşimleri azaltmak ve sistemin total ağırlığını düşürmek için kompozit malzeme kullanımı tezi ortaya atıldı.

Çünkü kompozit malzemeler çok daha hafif konstrüksiyonlar oluştururken çeliğin verdiği dayanım değerlerine ulaşabilmekte, yapılarından ötürü titreşimleri sönümlemede alüminyuma göre üstünlük sağlayabilmektedirler. Kompozitlerin bu üstün davranışı günümüzde zaten bilindiğinden uçak ve uzay endüstrisinde yoğun olarak kullanılmaktadırlar.

Bu tez alüminyum ile kompozitin karşılaştırması değil sonuç-maliyet karşılaştırması yapılarak kompozitin kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır.

Araştırmalara iki konu üzerinden devam edildi. Birinci kısımda kompozit malzemeler konusunda bilgi toplandı. Bu sayede sistemi oluşturmak için kullanılması gereken kompozitin bileşenleri ve onun üretim yöntemi seçildi. Bunu yaparken sistemin maliyeti açısından karşılaştırılması düşünülerek iki farklı kompozit: cam elyaf, epoksi reçine ve karbon fiber elyaf, epoksi reçine ikilileri göz önünde bulunduruldu. Üretim yöntemi olarakta basit ve boru sistemleri için uygun bir yöntem olan elyaf sarma yöntemi seçildi. Kamera kren sistemlerinin son dönemde alüminyumdan yapıldığı göz önünde bulundurularak bu iki kompozitin alüminyumla karşılaştırılması gerektiğine karar verildi.

Maliyet açısından bakıldığında karbon fiber, cam elyaftan 4 kat, alüminyumdan 10 kat daha pahalı bir malzemedir. Sonuç bölümünde karar verilirken bu rakamlar göz önünde bulundurulmuştur.

Araştırmaların ikinci bölümü sistemin hareket denklemlerinin çıkartılmasına yönelik olmuştur. Bu konuda makine dinamiği ile ilgili kitapların çubuk titreşimleri ile ilgili bölümlerinden yararlanılmıştır. Çubuk titreşimleri konusunda ortadan mafsallı sistemlerin hareket denklemlerinin elde edilmesiyle ilgili verilere ulaşamamıştır. Sistemin hareket denklemlerine ulaşmak için İ.T.Ü. öğretim görevlisi Prof. Dr.Tuncer Toprak'ın "Vibration of Beams" başlıklı notları incelenmiştir. Sistem burdaki denklemlerin yardımıyla çözülmeye çalışılsa da, 4 bilinmeyenli 3 denklemin elde edilmesi çözümü imkansızlaştırmıştır. Bu durumda sistem kabuller yapıлып, ikiye bölünerek incelenmiştir. Bu konuda İ.T.Ü. Prof. Dr.

Fuat Pasin'in Mekanik Sistemler Dinamiği kitabından faydalanılmıştır. Öncelikle kamera tarafı bir ucuna ağırlık asılmış diğer tarafı sabit mesnetli olarak düşünülüp hareket denklemine ulaşılmıştır. Daha sonra aynı işlem karşı ağırlık tarafı içinde yapılmış ve sistemin genel hareket denklemine ulaşılmıştır. Bu denklemler mathematica yazılımında çözdürülerek sistemin titreşim grafikleri çıkartılmıştır.

Bu araştırmaların ardından teze deneysel boyut kazandırılmış ve cam elyaf-epoksi reçine, karbon fiber-epoksi reçine kompozitleriyle alüminyum titreşim testlerine tabi tutulmuştur.

Deneysel çalışmalar kapsamında, 2'si alüminyum, biri cam elyaf ve biri karbon fiber olmak üzere 4 farklı malzemeden oluşturulan kamera kren sistemi modeli üzerinde deplasman-zaman grafikleri elde edilmiştir. Oluşturulan sisteme ait sehim, başlangıç şartları vs. verileri tespit edildikten sonra, modal çekiç ile bilinen bir kuvvet uygulanarak tahrik edilen yapıdan bir ivmeölçer aracılığıyla ivme verisi toplanmıştır. Analizörün kendi bünyesinde yer alan bir program vasıtasıyla gerekli integrasyonlar da yapılarak, deplasman verisi elde edilmiştir. Daha sonra bu veriler Pulse Live programı ile işlenerek, deplasman-zaman grafikleri oluşturulmuştur. Yapılan analitik çalışmaları doğrulamak için bu grafikler ile analitik çalışmalardan elde edilen grafikler karşılaştırılmıştır.

2. KAMERA KREN SİSTEMLERİ

2.1. İsimlendirme

Sinema ve televizyon endüstrisinde sıklıkla kullanılan cihazların ve makinaların isimleri gerek piyasada gerekse akademik çevrecede ingilizce veya fransızca adlarıyla anılmaktadır. Jimmy jib, şaryo (fr. chariot), dolly (ing.), steadycam (ing.) kelimeleri yerine olabildiğince Türkçe kelimeler kullanmak, hem dilimiz adına, hem de bu cihazların ülkemizde yapılamayacağı yönündeki yanlış önyargıların değişmesi adına önem taşır. Bu sebeple tasarlanacak cihaz piyasada ısrarla ‘jimmy jib’ olarak kullanılmasına rağmen aslında kamerayı kaldırmak ve hareket ettirmekte kullanılan basit bir kaldıraç, bir kren olması gerçeğinden yola çıkarak bu tez içinde kamera kren olarak anılacaktır.

2.2. Tanım ve İşlevleri



Şekil 2-1 Örnek kamera kren.

Kamera kreni, sinema ve televizyon endüstrisinden kullanılan ve çekim esnasında kameraya hareket kazandırarak, sahnelere başka sanatlarda mümkün olmayan sinematografik anlatımı kazandırmaya yarayan basit bir kaldıraçtır. Kren, sadece kolu elverdiği ölçüde kameranın yukarı inip, aşağıya inmesini sağlamakla kalmaz, aynı zamanda kameranın kendi etrafında mümkünse 360 derece dönerek ‘pan’ denilen hareketi yapmasını (yer düzlemini x-y düzlemi olarak kabul edersek, ‘pan’ hareketi z eksenindeki dönmeye tekabül eder.) ve yine mümkünse 180 derece tilt olarak tabir edilen hareketi yapması (tilt, yine yer düzlemini x-y kabul ederek, kameranın baktığı yönü x eksenini gösterir, y eksenindeki dönmeye karşı gelir.) ve krenin kolunun da kendi etrafında dönmesini katarsak dört hareket serbestliğine sahip bir mekanizmadır.

2.3. Parçaları ve Parçaların Fonksiyonları

Genellikle bir kamera kreni aşağıdaki bileşenlerden oluşur;

2.3.1. Üç ayak

Üç ayak veya tripod, üzerine gelen kren kolunu taşıyan ve mekanizmaya gövde görevini gören parçadır. Bu parçanın katlanabilir veya demonte edilebilir şekilde olup, kurulumdan sonra da kilitlenebilir özellikte olup olabildiğince stabil olması ve sessiz çalışabilmesi istenir. Aynı zamanda üzerine gelen kren kolu, kamera ve karşı ağırlıkları taşıyabilecek kadar mukavim olup ve krene verilen hareketler sırasında ortaya çıkan kuvvetlere karşı rijit olması istenir.

2.3.2. Kren ana kolu

Kren kolu, üç ayak üzerine gelen ve bağlandığı noktadan uzun olan ucunda kamera, kısa ucuna ise kuvvet-kol prensibince kamerayı dengeleyecek karşı ağırlık takılan parçadır. Bu parçadan beklenen, statik ve dinamik kuvvetlere karşı mukavim olması yanısıra, bu kuvvetler sonucu oluşacak sehime karşı da olabildiğince rijit olması gerekir. Fakat bu rijitlik zamanla parçanın yorulmasına neden olmayacak kadar da elastik olmalı, bu nedenle optimum rijitlik gerek malzeme seçimine göre gerekse tasarıma göre hesaplanmalıdır. Aynı zamanda krenin çok çeşitli yerlerde çekim yapacağı ve taşıtla (genellikle kamyonetler tercih edilmektedir.) farklı noktalara taşınması gereği göz önünde bulundurularak olabildiğince hafif olması ve taşıma pratikliği açısından da kısa parçalardan demonte olabilecek şekilde birleştirilerek oluşabilmesi beklenir.

2.3.3. Kren yardımcı kolu

Bu kol kren kolunun yaptığı yukarı aşağı hareket neticesinde kameranın (baktığı yönün) ekseninin yer ile yaptığı açığı önceden belirlemek için kullanılır. Böylece kamera kreni operatörü kamerayı kren kolundan yukarı yada aşağı doğru hareket ettirdiğinde ayrıca tilt ayarı yapmasına gerek kalmaz. Burdaki önemli nokta bu kolun uzunluğunun çekim öncesinde sahneye göre ayarlanabilmesi ve böylece yapılan aşağı yukarı hareket neticesinde kameranın gerekirse yer düzlemi ile paralel kalması sağlanabileceği gibi gerekirse de krenin x metre önündeki objeyi kadrajda tutabilmesidir.

2.3.4. Karşı ağırlık

Sinematografide kamera hareketlerin olabildiğince titreşimsiz, pürüzsüz ve akışkan bir şekilde gerçekleşmesi esastır. Aksi takdirde çekilen görüntüler seyircide rahatsızlık yaratmakta hatta baş dönmesine ve mide bulantısına sebep olabilmektedir. Bu sebeple kren kolunun olabildiğince ‘dengelenmiş’ olması gerekir. Bu nedenle krenin ağırlık kısmı, farklı kameralar ve aksesuarlar kullanılabilmesi ve dolayısıyla farklı ağırlıklara karşı dengelenme kuvveti yaratabilmesi için krenin karşı ağırlık kısmına farklı ağırlıklar takılabilir olması (bir dambıldaki gibi) hem de kren kolunun karşı ağırlık kısmının ince ayarlar için boyca ayarlanabilir olması gereklidir.

2.3.5. Kren kafası

Kren kafası, kren koluna takılan ve kamerayı taşıyan ve hatta kamerayı darbelerden koruyan parçadır. Bu parça kren koluna bağlandığı yerden kameraya pan ve tilt olmak üzere iki serbestlik derecesi katar. Bu kafaların kontrolü ise çekim esnasında kamera kren operatörü tarafından yapılır. Bu kontroller genellikle bir joystick kumandası ile remote (uzaktan) otomatik kontrol sayesinde gerçekleşir. Bu parça kren kolunun aşağısında kalacak şekilde takılabileceği gibi yukarısında kalacak şekilde de takılabilmesi çekimlerde serbestlik sağlar. (Torgay, 2009)

3. KOMPOZİT MALZEMELER

3.1. Tanımı

İstenen amaç için tek başlarına uygun olmayan farklı iki veya daha fazla malzemeyi istenen özellikleri sağlayacak şekilde belirli şartlar ve oranlarda fiziksel olarak, makro yapıda bir araya getirilerek elde edilen malzemeye kompozit malzeme denir.

İç yapıları çıplak gözle incelendiğinde (makroskobik muayene) yapı bileşenlerinin seçilip ayırt edilmesi mümkündür. Yapılarında birden fazla sayıda fazın yer aldığı klasik alaşımlar ise makro ölçüde homojen olmalarına rağmen mikro ölçüde (mikroskobik muayene ile seçilebilen) heterojen malzemelerdir.

Kompozit malzemelerde yapıyı oluşturan bileşenler birbiri içinde çözünmezler, kimyasal olarak inert davranırlar. Ancak özellikle metalik sistemlerde düşük oranlarda bile olsa, bir miktar çözünme bileşenler arasında kompozit özelliklerini etkileyebilen ara yüzey reaksiyonları görülebilir.

Kompozit malzemelerde çekirdek olarak kullanılan bir fiber malzeme bulunmakta, bu malzemenin çevresinde hacimsel olarak çoğunluğu oluşturan bir matris malzeme bulunmaktadır. Bu iki malzeme grubundan, fiber malzeme kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini, matris malzeme ise plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önleyici rol oynamakta ve kompozit malzemenin kopmasını geciktirmektedir. Matris olarak kullanılan malzemenin bir amacı da fiber malzemeleri yük altında bir arada tutabilmek ve yükü lifler arasında homojen olarak dağıtmaktır. Böylece fiber malzemelerde plastik deformasyon gerçekleştiğinde ortaya çıkacak çatlak ilerlemesi olayının önüne geçilmiş olur.

3.2. Tarihçe

Günümüzde gemi yapımından bina yapımına, ev aletleri üretiminden uzay teknolojisine kadar hemen hemen her alanda çok yaygın bir kullanımı bulunan kompozit malzemenin üretimi son birkaç yüz yıla mal edilmiş gibi görülse de ilk örnekleri çok eskilere dayanmaktadır. Kompozit malzeme kavramının ortaya atılması ve konunun bir mühendislik konusu olarak ele alınması ancak 1940'lı yılların başında gerçekleşmiştir.

Çok bileşenli malzemenin ilk örnekleri, doğada bulunan malzemeye yapılan müdahalelerle onun kullanılabilir hale getirilmeye başlandığı aşamadır.

İlk çağlardan beri insanlar kırılğan malzemelerin içine bitkisel veya hayvansal lifler koyarak bu kırılğanlık özelliğinin giderilmesine çalışmışlardır. Bu konularda en iyi örneklerden biri kerpiç malzemedir. Kerpiç üretiminde killi çamur içine katılan saman, sarmaşık dalları gibi sap ve lifler, malzemenin gerek üretim, gerek kullanım sırasındaki dayanımını artırmaktadır.

Öte yandan, günümüzde kompozit malzemenin donatılmasında yaygın olarak kullanılan liflerle ilgili uygulamanın da çok yeni olmadığı eldeki bulgulardan anlaşılmaktadır. Örneğin cam liflerinin üretimi, eski Mısır'a kadar tarihlendirilmektedir. Daha M.Ö 1600 yıllarında Mısır'da ince cam liflerinin yapımının bilindiği, XVIII. Hanedan devrinden kalan, çeşitli karanlık ve renkte cam lifleriyle bezenmiş amforaların mevcudiyetinden anlaşılmaktadır.

Cam liflerinin sanayide kullanımıyla ilgili ilk kayıt, 1877 tarihlidir. Hidrolik bağlayıcılar ve elyaf malzeme kullanılarak yapay taş plakaların üretilmesi yöntemi hakkında bu yüz yılın başında alınmış patentlere rastlanmaktadır. Günlük uygulamalarda en yaygın kullanım olanağı bulunmuş olan liflerle donatılmış kompozit malzemelerden ikisi, asbest lifleriyle donatılı kompozit malzemeler ve cam lifleriyle donatılı polyester kompozitlerdir. İlk kez ince levha yapımında kullanılan çimento ve asbest kompozitleri yıllar boyu önemini koruyarak bu gün hala kullanılan bir malzeme olma özelliğini sürdürmektedir.

Öte yandan, liflerle donatılı sentetik reçineler 1950'li yılların ortalarından itibaren endüstride kullanılmaya başlanmıştır. Bu malzemenin en tanınmış grubunu "cam lifi donatılı polyester reçinesi kompoziti" oluşturmaktadır. Ülkemizde "fiberglas" diye tanınan bu malzeme 1960'lı yılların başından itibaren Türkiye'de sıvı depoları, çatı levhaları, küçük boyda deniz teknelerinin yapımı gibi alanlarda kullanılmıştır. Ülkemizde seri üretimi yapılmış ilk yerli otomobil olan "Anadol"un kaportası bu malzemedan üretilmiştir.

Cam lifleriyle donatılı sentetik reçine motrisli malzemeler için dilimizde "Cam Takviyeli Plastik (CTP)" adı yerleşmiştir. Cam takviyeli plastiklerin üretiminde, en çok kullanılan malzeme olan polyesterin yanı sıra, günümüzde, diğer termoset ve termoplastik reçinelerde kullanılmaktadır.

3.3. Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

Kompozit malzemelerin birçok özelliklerinin metallerinkine göre çok farklılıklar göstermesinden dolayı, metal malzemelere göre önem kazanmışlardır. Kompozitlerin özgül ağırlıklarının düşük oluşu hafif konstrüksiyonlarda kullanımda büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bunun yanında, fiber takviyeli kompozit malzemelerin korozyona dayanımları, ısı, ses ve elektrik izolasyonu sağlamaları da ilgili kullanım alanları için bir üstünlük sağlamaktadır.

Aşağıda bu malzemelerin avantajlı olan ve olmayan yanları kısaca ele alınmıştır. Kompozit malzemelerin dezavantajlı yanlarını ortadan kaldırmaya yönelik teorik çalışmalar yapılmakta olup, bu çalışmaların olumlu sonuçlanması halinde kompozit malzemeler metalik malzemelerin yarını alabilecektir.

Yüksek Mukavemet : Kompozitlerin çekme ve eğilme mukavemeti birçok metalik malzemeye göre çok daha yüksektir. Ayrıca kalıplama özelliklerinden dolayı kompozitlere istenen yönde ve bölgede gerekli mukavemet verilebilir. Böylece malzemedeki tasarruf yapılarak, daha hafif ve ucuz ürünler elde edilir.

Kolay Şekillendirilme: Büyük ve kompleks parçalar tek işleme bir parça halinde kalıplanabilir. Bu da malzeme ve işçilikten kazanç sağlar.

Elektriksel Özellikler : Uygun malzemelerin seçilmesiyle çok üstün elektriksel özelliklere sahip kompozit ürünler elde edilebilir. Bugün büyük enerji nakil hatlarında kompozitler iyi bir iletken ve gerektiğinde de başka bir yapıda, iyi bir yalıtkan malzemesi olarak kullanılabilirler.

Korozyona ve Kimyasal Etkilere Karşı Mukavemet: Kompozitler, hava etkilerinden, korozyondan ve çoğu kimyasal etkilere zarar görmezler. Bu özellikleri nedeniyle kompozit malzemeler kimyevi madde tankları, boru ve aspiratörler, tekne ve diğer deniz araçları yapımında güvenle kullanılmaktadır. Özellikle korozyona karşı mukavemetli olması, endüstride birçok alanda avantaj sağlamaktadır.

Isıya ve Ateşe Dayanıklılığı : Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden oluşabilen kompozitlerin ısıya dayanıklılık özelliği, yüksek ısı altındaki kullanılabilmelerine olanak sağlamaktadır. Bazı özel katkı maddeleri ile kompozitlerin ısıya dayanımı artırılabilir.

Kalıcı Renklendirme : Kompozit malzemeye, kalıplama esnasında reçineye ilave edilen pigmentler sayesinde istenen renk verilebilir. Bu işlem ek bir masraf ve işçilik gerektirmez.

Titreşim Sönümlendirme : Kompozit malzemelerde süneklik nedeniyle doğal bir titreşim sönümlenme ve şok yutabilme özelliği vardır. Çatlak yürümesi olayı da böylece minimize edilmiş olmaktadır.

Bütün bu olumlu yanların dışında kompozit malzemelerin uygun olmayan yanları da şu şekilde sıralanabilir:

- Kompozit malzemelerdeki hava zerrecikleri malzemenin yorulma özelliklerini olumsuz etkilemektedir.
- Kompozit malzemeler değişik doğrultularda değişik mekanik özellikler gösterirler.
- Aynı kompozit malzeme için çekme, basma, kesme ve eğilme mukavemet değerleri farklılıklar gösterir.
- Kompozit malzemelerin delik delme, kesme türü operasyonları liflerde açılmaya neden olduğundan, bu tür malzemelerde hassas imalattan söz edilemez.

Görüldüğü gibi kompozit malzemeler, bazı dezavantajlarına rağmen çelik ve alüminyuma göre birçok avantaja sahiptir. Bu özellikleri ile kompozitler otomobil gövde ve tamponlarından deniz teknelerine, bina cephe ve panolarından komple banyo ünitelerine, ev eşyalarından tarım araçlarına kadar bir çok sanayi kolunda problemleri çözümlenecek bir malzemedir. (Ersoy, 2001)

3.4. Kompozit Üretiminde Kullanılan Malzemeler

3.4.1. Matris Malzemeleri

Kompozit yapılarda matrisin üç temel fonksiyonu vardır. Bunlar, 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 şekilde çevreleyebilecek katı forma kolaylıkla geçebilmelidir.

Kompozit yapılarda yükü taşıyan elyafların fonksiyonların yerine getirmeleri açısından matrisin mekanik özelliklerinin rolü çok büyüktür. Örneğin matris malzemesi olmaksızın bir elyaf demeti düşünüldüğünde yük bir yada birkaç elyaf tarafından taşınacaktır. Matrisin varlığı ise yükün tüm elyaflara eşit dağılımını sağlayacaktır. Kesme yükü altındaki bir gerilmeye dayanım, elyaflarla matris arasında iyi bir yapışma ve matrisin yüksek kesme mukavemeti özelliklerini gösterir.

Elyaf yönlendirmelerine dik doğrultuda, matrisin mekanik özellikleri ve elyaf ile matris arasındaki bağ kuvvetleri, kompozit yapının mukavemetini belirleyici önemli hususlardır. Matris elyafa göre zayıf ve daha esnektir. Bu özellik kompozit yapıların tasarımında dikkat edilmesi gereken bir husustur.

Matrisin kesme mukavemeti ve matris ile elyaf arası bağ kuvvetleri çok yüksek ise elyaf yada 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 doğru bir çatlak elyaf/matris ara yüzeyine dönüp elyaf doğrultusunda ilerleyebilir. Bu durumda kompozit sünek malzemelerin kopması gibi lifli bir yüzey sergiler.

Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan matris malzeme tipleri epoksi, polyester, vinylester ve fenolik reçinelerdir. Yüksek mukavemet göstermeyen durumlarda en çok kullanılan en çok kullanılan matris malzemesi polyester reçinesidir. Gelişmiş kompozitlerin üretiminde ise genellikle epoksi reçinesi kullanılmaktadır. Matris iyileştirme çalışmaları özellikle yüksek sıcaklıkta kullanıma uygun ve düşük nem duyarlılığına sahip yapıların üretilmesi doğrultusundadır. Tablo 3.4.1'de bazı matris malzemelerin önemli özellikleri verilmiştir.

Tablo 3-1 Bazı Matris Malzemelerin Özellikleri.

Özellikler	Epoksi			Polyester	Fenolik
	Oda Sıc. Kürlenmiş	Yük. Sıc. Kürlenmiş	Gelişmiş		
Özgül ağı. (gr/cm ³)	1.1 - 1.3	1.2 - 1.4	1.3	1.2	1.2 - 1.3
Elastik modül (GPa)	2 - 3	2.5 - 3.0	3.5	2 - 3	5 - 11
Çekme muk. (MPa)	50 - 70	70 - 90	60	50 - 60	50 - 60
Kop.uzaması (%)	2 - 6	2 - 5	2	2 - 3	1.2
Maks. İşlem sıcaklığı (°C)	70 - 100	100 - 180	180	60 - 80	100 - 125

3.4.1.1.Epoksi Reçine Matrisler

Epoksiler iki yada daha fazla epoksit içeren bileşenlerden oluşurlar. Polifenol'ün epikloridin ile bazik şartlarda reaksiyonu sonucu elde edilirler. Epoksilere uygulanan kür işlemleri ile yüksek sıcaklıklara dayanımı 150-200 C'a artırılabilir. Büzülmesi %2'den azdır.

Avantajları:

1. Kopma mukavemetleri yüksektir.
2. Elyaf yapılarda yüksek bağ mukavemeti sağlarlar.
3. Yüksek aşınma direncine sahiptirler.
4. Uçucu değildirler ve kimyasal dirençleri yüksektir.
5. Düşük ve yüksek sıcaklarda sertleşebilme özelliğine sahiptirler.

Dezavantajları:

1. Polyesterle karıştırıldığında pahalıdır.
2. Polyestere oranla yüksek viskoziteye daha az uygundur.

Epoksiler avantajlarının çokluğu ve tüm elyaf malzemelerde kullanılabilme nedeniyle, uçak yapısında da yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Genellikle karbon elyaflarla birlikte kullanılırlar.

3.4.1.2.Polyester Reçine Matrisler

Polyester matrisler dibazik asitlerin, dihidrik alkoller (glikol) yada dihidrik fenollerle karışımının yoğunlaşması ile şekil alırlar. Polyesterlerin ana tipleri polyester bileşeninin doymuş asitle yada alternatif malzeme olarak glikolle modifikasyonu temeline dayanır. Ayrıca kür işlemi ile matrisin esnekliği iyileştirilerek kopma gerilmesi artırılabilir.

Avantajları:

1. Takviyelerin nemini dışarı kolayca atabilmesini sağlayan düşük vikožite.
2. Düşük maliyet
3. İyi çevresel dayanım

3.4.1.3.Vinilester Reçine Matrisler

Polyestere benzerler. En önemli avantajları elyaf ve matris arasında iyileştirilmiş bir bağ mukavemetine sahip olmasıdır. Polyesterle glikolün bir kısmının yerine doymamış hidrosilik bileşenlerin kullanılması ile elde edilirler. Korozif ortamlardaki kullanımlar için donatılı plastik bileşenlerin üretiminde yararlanılmaktadır. Bu polimerler kimyasal dayanım gerektiren kimya tesislerinde, borularda ve depolama tanklarında kullanılmaktadır.

3.4.1.4.Fenolik Reçine Matrisler

Bu yüzyılın başından beri yaklaşık yüz yıldır kullanılmaktadır. Sertleşme, ısı enerjisiyle gerçekleşmekte, laminant ve kalıplama için basınç gerekmektedir. Fenolik reçinelerin ısı stabiliteleri, elektrik özellikleri, suya ve alkaliler dışındaki kimyasal maddelere dayanımları çok iyidir. Bu reçineler 300 C°'ye kadar sürekli, asbest lifleriyle donatılmaları halinde ise kısa süreli olarak 1000 C°'ye kadar kullanılabilirler.

3.4.1.5.Silikon Reçineler

Silikon reçineler, diğerlerinden farklı yapılarında karbon yerine inorganik esaslı silikonlar bulunan malzemelerdir. Mekanik ve elektriksel özelliklerini çok az değişikliklerle

250 C0'ye kadar koruyabilen silikon esaslı reçinelerin kullanımları, mekanik dayanımlarının diğer reçinelere göre daha düşük ve maliyetinin de genelde daha yüksek olması nedeniyle kısıtlıdır. Süpersonik arabalarda kullanılırlar.

3.4.1.6.Metal Matrisler

Kompiziti sürekli bir arada tutan ve bu bütünlük içinde lifle birlikte malzemenin özelliklerini belirleyen matris malzemesi olarak metaller, taşıyıcılık açısından, özellikle polimer matris malzemesine kıyasla yüksek dayanıma sahiptirler. Üretimleri zor olup maliyeti yüksek olmasına karşın, metal matris malzemesi kompizitin tokluğunu önemli ölçüde arttırmakta ve yüksek sıcaklık etkisindeki uygulamalara olanak vermektedir. Metallerin matris malzemesi olarak kullanılması, yine metal olan birçok ince liflerin üretimiyle başlamıştır.

Kompizit üretiminde metal matris malzemesi olarak, bakır alüminyum, titan, nikel, gümüş gibi metaller başta gelmektedir. Matris malzemesi erimiş halde, moleküler yapıda, levha veya ince tabaka şeklinde olabilmekte ve kullanılan üretim teknolojisine bağlı olarak dökme, karıştırma, presleme, elektroliz yoluyla kaplama, haddeleme yöntemleriyle liflerle birleştirilmektedir. Bu birleşmede kullanılacak yüksek dayanımlı lif tel ve kılların zedelenmemesi, tahrip olmaması sağlanmalıdır. Metal matris içinde en kolay kullanılabilen elyaf bor ve borsic elyafıdır. Bu kompozit malzeme 300 C0sıcaklığa kadar oda sıcaklığında özelliğini korumaktadır. Burada kompizitin üretimi 450-500 C0sıcaklıkta, sıcak presleme yöntemiyle yapılır.

3.4.2. Elyaf lar

Matris malzeme içinde yer alan takviyeler kompozit yapının temel mukavemet elemanlarıdır. Düşük yoğunluklarının yanı sıra yüksek elastik modüle ve sertliğe sahip olan elyaf lar kimyasal korozyona da dirençlidirler.

Günümüzde kompozitlerin donatılmasında boyutsal ve şekilsel özellikleri çok farklı lifler (elyaf lar) kullanılmaktadır. Örneğin, com lifleri gibi lifler üretim sırasında demetler halinde hazırlanmaktadırlar.

Kompozitlerin donatılmasında kullanılan lifler, E-modülü değerleri, kullanılan matris malzemesinin E-Modülü ile kıyaslanarak, matristen daha düşük yada daha yüksek E-Modülü değerine sahip lifler olmak üzere iki ana grupta toplanabilir.

Ancak, kompozitlerin özellikleri içinde önemli olan bu ayırım sabit matris malzemesi için anlam taşımaktadır.

Teller milimetrik boyutta metal malzemelerdir. Çapları diğer donatı malzemelerine kıyasla daha büyük olup genellikle beton ve harçların donatılmasında kullanılır.

Dilimizde lif kelimesinin çoğul hali olan “elyaf” kelimesi daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Lifler tellere göre çok daha narin olan donatı malzemesidir. Liflerin çapı ortalama 0,01 mm mertebesindedir. Narinlik oranı 10 000’e kadar çıkabilmektedir. ($L / d \leq 104$) lifler değişik kaynaklardan elde edilmekte değişik özellikleriyle büyük çeşitlilik göstermektedirler.

Kıllar donatıda kullanılan in ince malzemelerdir. Bunlar, buhar yoğunlaşmasıyla büyütülen değişik şekillerdeki tek kristaller olup, çapları birkaç mikron, boyları birkaç mm kadardır.

Buharla büyütülen bu kılların genelde yapısal hataları olmamaktadır. Dolayısıyla dislokasyon içermeyen bu cisimlerin dayanımı, normal boyutlardakine oranla yaklaşık olarak bin katı kadar olabilmektedir.

Üstün özelliklere karşın, yapım yönetim nedeniyle kıllar da donatılı kompozitlerin üretimi son derece kısıtlı kalmaktadır. Ayrıca, kılların sahip oldukları yüksek çekme dayanımı sadece elastik bölgededir. Plastik deformasyonun başlamasıyla kıllarda dislokasyon oluşmakta ve dayanım düşmektedir.

Burada kompozitlerin donatılmasında kullanılan lif veya tel malzeme üzerinde durulacak. Sırasıyla cam lifi, asbest lifi, çelik teller ve organik esaslı yapay lifler incelenecektir.

3.4.2.1.Cam Lifleri

Cam lifleri veya diğer bir deyişle cam elyafı kompozitlerin üretiminde en çok kullanılan donatı malzemelerindendir. Üstün özelliklerinin yanısıra, ekonomik bir donatı türü olması bu sonucu ortaya çıkarmaktadır. Çeşitli matris malzemeleriyle kullanılmış olmasına karşılık, temel kullanım alanı cam takviyeli plastik (CTP) endüstrisidir. Cam liflerinin ticari anlamda üretimi 1930’lu yıllarda İngiltere’de başlanmış olmasına karşılık, bu malzeme plastik malzemenin donatılmasında 1950’lerin başından itibaren kullanılmaya başlanmıştır.

Başlangıçta cam liflerinin üretiminde A-camı veya açık adıyla “alkali cam” kullanılmıştır. Bunu çok az alkali içeren ve çok üstün elektriksel ve mekanik özelliklere sahip bir borsilikat

camı olan “elektrik dayanımlı camın”, kısa adı ile E camının kullanılmaya başlanması izlemiştir.

Tablo 3-2 Cam elyafı ile üretilen çeşitli camların özellikleri.

ÖZELLİKLER	CAM TÜRLERİ						
	E-Camı	A-Camı	M-Camı	S-Camı	C-Camı	D-Camı	R-Camı
Özgül Ağırlık [gr/cm ³]	2.54	2.45	2.89	2.49	2.45	2.16	2.58
Çekme Dayanımı [MPa]	3600	3100	3500	4500	3400	2450	4400
Kopma Uzama Oranı [%]	4.8	–	–	5.4	4.8	–	–
Çekme E-Modülü [GPa]	76	72	111.3	86	70	53	85
Kırılma İndisi	1.548	1.512	1.635	1.523	–	1.47	–
Isıl Genleşme Katsayısı [cm/cmK°]	1.6×10^{-6}	–	–	1.7×10^{-6}	2.2×10^{-6}	3.1×10^{-6}	–
Lif çapı [mm]	$3-20 \times 10^{-3}$	–	–	$3-13 \times 10^{-3}$	–	–	–
Yumuşama Noktası [C°]	850	700	–	–	690	770	990
Dielektrik Sabiti [1 MHz]	6.33	–	–	5.34	–	5.8	–

E camı uygulamada en çok yararlanılan donatı malzemelerinden biridir. Yapılan araştırmalar sonucunda çeşitli matris malzemelerinin değişik amaçlarda kullanılmasında bir çok cam lifi türü geliştirilmiştir. Bunlardan S camı, alüminyum ve magnezyum oksit miktarı E-camına göre daha yüksek olan bir türdür ve mekanik özellikleri de diğerlerinden daha yüksektir. Özel uygulamalar için çok yüksek mekanik dayanım özelliğine sahip bir diğer tür, daha çok Amerika Birleşik Devletleri’nde üretilen S-camına benzer nitelikler taşıyan R-camıdır. R ve S – camları üstün özellikleri nedeniyle havacılık ve uzay endüstrilerinde kullanılmaktadır. Cam liflerinin yapımında kullanılan ve özellikle Cam Takviyeli Plastikler için yüzey tülünün üretiminde yararlanılan bir diğer tür C – camıdır. Bu malzeme kimyasal dayanımı çok yüksek olan bir cam türüdür.

Liflerle donatılı kompozitlerin donatı malzemesi olarak kullanılan başlıca cam türlerinin temel özellikleri, Tablo 3-2’de verilmiştir. Cam lifi üretiminde kullanılan camın cinsi, işlem sıcaklığı, camın vizkozitesi ve çekme hızı gibi etkenler değiştirilerek, farklı çaplarda cam lifleri üretilmektedir.

3.4.2.2. Asbest Lifleri

Asbest, lifli yapılı bir doğal mineraldir. Esası magnezyum silikat olan, yanmazlık özelliğine sahip bu maddenin bir çok türü vardır. Bu doğal maddeden elde edilen asbest liflerinin boyları, genel olarak 0,8 mm ile 19-20 mm arasındadır. Asbest liflerinin en küçük çapı 0,01

mm'ye kadar olabilmektedir. Bu liflerin çekme dayanımının 3000 N/mm² nin üzerinde bulunduğu belirtilmektedir.

Asbest liflerinin kimyasal direnci, özellikle alkali ortama dayanımları, bunların çimento türü bağlayıcılarla üretilen kompozitlerde çok başarılı bir biçimde kullanılabilmesi sonucunu doğurmuştur.

Asbest liflerinin dayanımı yüksek tiplerinden bir olan corocidolite veya mavi asbest, insan sağlığı açısından olumsuz özellikler gösteren bir türdür. Bunların çok uzun süreler solunmasının veya bu lifçikleri taşıyan havanın ulunduğu bölgelerde yaşamanın asbestosis denilen solunum yolları hastalığına, akciğer kanserine neden olduğu ileri sürülmektedir.

Asbest lifleri, bu yüzyılın başlarından itibaren çimento bağlayıcı ile teknik açıdan başarıyla kullanılmaktadır. Asbest lifleri genel olarak levha üretiminde %9-12, basınçlı boru üretiminde %20-30 oranları arasında, çimento bağlayıcıyla birlikte karışımlarda yer almaktadır.

Asbest lifi donatılı çimento kompozitleri, atmosfer koşullarına ve korozyona dayanıklı, çürümeyen, 400°C sıcaklığına kadar dayanım özelliğine sahip malzemelerdir. Ancak malzeme darbe karşısında kırılındır ve genelde kırılma şekil değiştirme oranı çok düşüktür.

3.4.2.3.Çelik Teller

Çelik teller özellikle beton ve harçların donatılmasında kullanılabilir. Farklı yöntemlerle üretilen donatı telleri, matriste aralarındaki aderansın artırılması amacıyla değişik biçimlerde de yapılmaktadır. Beton donatımında kullanılan çelik teller “soğuk çekme tel” oda sıcaklığında ısılsız çekilmiş, düşük karbon oranlı teldir. Teller genellikle suda kolaylıkla çözülebilen özel bir yapıştırıcıyla birlikte tutturularak demetler halinde üretilmektedir.

3.4.2.4.Karbon Lifleri

Liflerde donatıl kompozitlerin üretiminde kullanılan önemli bir lif türüdür. 1960'lı yılların ikinci yarısından itibaren kullanılmaya başlanmış olan bu liflerin düşük yoğunluğuna karşın çekme dayanımı ve E – modülü yüksektir. Yüksek sıcaklıklara dayanabilen karbon liflerinin özellikleri, üretimdeki son işlem sıcaklığına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Uygulamada 6 ila 10 mm arasında değişen çaptaki liflerin 1000-1500 adetlik demetlerinden oluşan fitil ve abkumalar kullanılmaktadır. Üstün özelliklerinin yansısı son derece pahalı olan

karbon lifleri, özellikle uzay ve havacılık endüstrisinde yararlanılan bir malzeme niteliğindedir. Maliyeti yüksektir.

3.4.2.5.Aromid Lifler

Aromid “aromatik polyamid” in kısaltılmış adıdır. Polyamidler uzun zincirli polimerlerdir. Aromidin moleküler yapısında altı karbon atomu birbirine hidrojen ile bağlanmıştır. İki farklı tip aromid mevcuttur. Bunlar kevlar 29 ve kevlar 49’dur. Camdan daha hafif ve daha risit olan bu malzeme, fiyat açısından da cam lifleri dışında kalan bir çok lif türünden daha ucuzdur.

Yüksek sıcaklıkta sönme dayanımı oldukça iyidir. Ayrıca korozyon dayanımı oldukça iyidir.

Uçak yapılarında, düşük basma mukavemetleri nedeniyle karbon elyaflarla birlikte hibrit kompozit olarak, kumanda yüzeylerinde kullanılmaktadır.

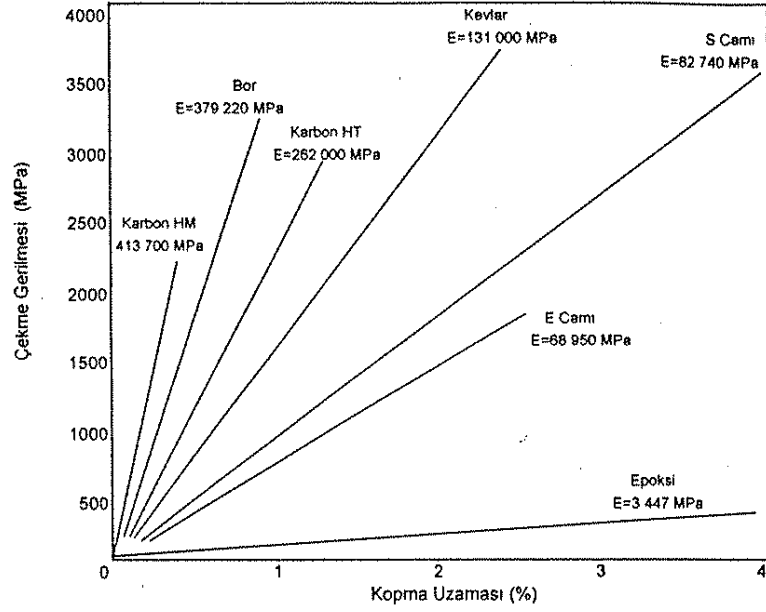
3.4.2.6.Bor Lifleri

1960’lı yıllarda üretilmeye başlanan bir malzemedir. Yüksek dayanımlı ve pahalı bir malzeme olan bor lifleri, günümüzde özellikle metal matris elemanlarıyla birlikte metal matris malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. Elyaf çapı 0,1 mm ile 0,2 mm arasında olan ve diğer bir çok life göre oldukça kalın bir lif özelliği gösteren malzeme, yüksek çekme mukavemetine ve elastik modüle sahiptir. Elastik modülü ise 400 Gpa’dır. bu değer S camının elastik modülünden 5 kat daha fazladır.

Üstün mekanik özelliklere sahip bor elyaflar, uçak yapılarında kullanılmaktadır. Ancak maliyetinin çok fazla olması nedeniyle yerini karbon elyaflara bırakmıştır.

3.4.2.7.Silisyum Karbür Lifleri

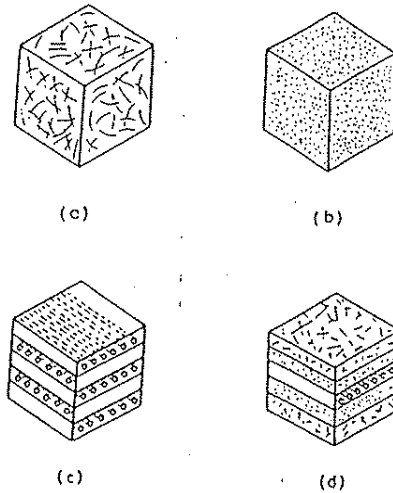
Yüksek sıcaklıktaki özellikleri bor liflerinden daha iyidir. Silisyum karbür elyaflar 1370 °C’de mukavemetinin sadece %30’unu kaybeder. Bor elyaf için bu 640 °C’ dir. Bu elyaflar genellikle Titanyum matrisle kullanılırlar. Jet motor parçalarında, Titanyum, Alüminyum, Vonodyum alaşımlı matris ile kullanılırlar. (Askeland, 1998)



Şekil 3-1 Elyaf ve matris malzemelerin gerilme ve uzama diyagramları.

3.5. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması ve Özellikleri

Yapılarında çok sayıda farklı malzeme kullanılabilen kompozitlerin gruplandırılmasında kesin sınırlar çizmek mümkün olmamakla birlikte, yapıdaki malzemelerinin formuna göre bir sınıflama yapmak mümkündür. Bu sınıflama şekil 3-2.a'da şematize edilmiştir.



Şekil 3-2 a. Elyafli Kompozitler b. Parçacıklı Kompozitler c. Tabakalı Kompozitler d. Karma Kompozitler

3.5.1. Elyafli Kompozitler

Bu kompozit tipi ince elyafların matris yapıda yer almasıyla meydana gelmiştir. Elyafların matris içindeki yerleşimi kompozit yapının mukavemetini etkileyen önemli bir unsurdur. Uzun elyafların matris içinde birbirlerine paralel şekilde yerleştirilmeleri ile elyaflar doğrultusunda yüksek mukavemet sağlanırken, elyaflara dik doğrultuda düşük mukavemet elde edilir. İki boyutlu yerleştirilmiş elyaf takviyelerle her iki yönde de eşit mukavemet sağlanırken, matris yapısında homojen dağılmış kısa elyaflarla ise izotrop bir yapı oluşturmak mümkündür.

Elyafların mukavemeti kompozit yapının mukavemeti açısından çok önemlidir. Ayrıca, elyafların uzunluk/çap oranları arttıkça matris tarafından elyaflara iletilen yük miktarı artmaktadır. Elyaf yapının hatasız olması da mukavemet açısından çok önemlidir.

Kompozit yapının mukavemetinde önemli olan diğer bir unsur ise elyaf matris arasındaki bağın yapısıdır. Matris yapıda boşluklar söz konusu ise elyaflarla temas azalacaktır. Nem absorpsiyonu da elyaf ile matris arasındaki bağı bozan olumsuz bir özelliktir.

3.5.2. Parçacıklı Kompozitler

Bir matris malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıklar halinde bulunması ile elde edilirler. İzotrop yapılardır. Yapının mukavemeti parçacıkların sertliğine bağlıdır. En yaygın tip plastik matris içinde yer alan metal parçacıklardır. Metal parçacıklar ısı ve elektriki iletkenlik sağlar. Metal matris içinde seramik matris içeren yapıların (cermet), sertlikleri ve yüksek sıcaklık dayanımları yüksektir. Bunlar kollar, kulplar, elektirik parçaları, muhafazalar vb. gibi küçük parçacıkların yapımında kullanılırlar.

3.5.3. Tabakalı Kompozitler

Tabakalı kompozit yapı, en eski ve en yaygın kullanım alanına sahip olan tiptir. Farklı elyaf yönlenmelerine sahip tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Isıya ve neme dayanıklı yapılardır. Metallere göre hafif ve aynı zamanda mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir. Pek çok katmanlı kompozit düşük maliyet, yüksek dayanım veya hafifliğini korurken, aşınma veya abrasiv aşınma direnci, gelişmiş görünüm ve mükemmel ısı genleşme özelliklerini kapsamaktadır. Buna karşın korozyon ve

aşınma direnci gibi önemli özelliklerin pek çoğu öncelikle kompoziti oluşturan elemanlardan birine bağlıdır.

Elektrik şarjını depolamak için kullanılan kondansatörler esas itibariyle dönüşümlü olarak bir iletken ve bir yalıtkan katmanların üst üste gelerek meydana getirdiği katmanlı kompozitlerdir.

3.5.3.1. Tabakalı Kompozitlerin Örnekleri ve Uygulamaları

Katmanlı kompozitlerin sayısı öylesine fazla ve uygulamaları, amaçları öylesine çoktur ki davranışları hakkında genelleme yapılması mümkün değildir. Yaygın olarak kullanılanlar ise;

Katmanlar: Katmanlar organik bir yapıştırıcı ile yapıştırılmış malzeme katmanlarıdır. En yaygın katman, her bir alternatif katta dik açılarla ağaç kaplama açılarının dizildiği kontraplaklardır. Bu katlar fenolik veya amine reçineler gibi bir yapıştırıcı ile birleştirilir.

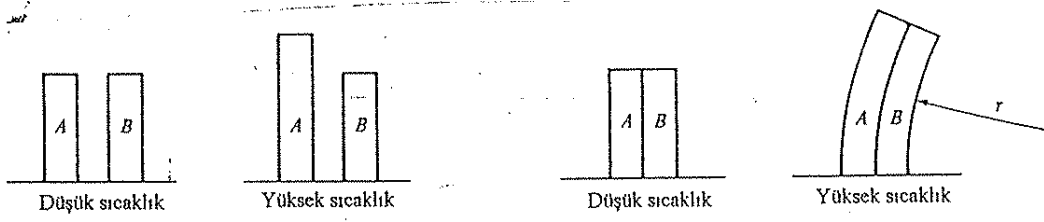
Emniyet gözlükleri, polivinil butiral gibi plastik bir yapıştırıcı ile iki cam malzemesinin birleştirildiği katman malzemelerdir. Cam kırıldığı zaman yapıştırıcı cam parçacıklarının ayrılmasını önler. Katmanlar, motorlarda, yalıtım için dişlilerde, basılmış devre katlarında kullanılmaktadır. Yapıştırıcı katmanlar, mükemmel hafiflik, alevlenmeyi geciktirici darbe dayanımı, korozyon direnci, kolay şekillendirme ve işleme, sürtünme ısısının dağıtılması ve iyi yalıtım özelliklerini bünyesinde toplamaktır.

Sert yüzey oluşturma : sert, aşınmaya dirençli yüzeyler, sert yüzey oluşturma olarak bilinen ergitme kaynağı teknikleri daha yumuşak ve sünek malzemeler üzerinde biriktirebilir. Sert yüzey alaşımlar, çeliğin sertleştirilebilen sınıflarını, sert karbürler oluşturan demir ve çelikleri, kobalt esaslı alaşımları ve belirli demir dışı alaşımları içermektedir. Kompozit tungsten karbür çubukları aynı zamanda aşınma yüzeyinde tungsten karbür oluşturmak için kullanılabilir. Benzer kaynak işlemleri yüzeyin korozyon ve ısıya karşı direncini artırır.

Giydirilmiş Metaller : Metal – metal kompozitleridir. Genel bir örnek olarak A.B.D'deki gümüş paraları verilebilir. Bir Cu %80 Ni alaşımının her iki tarafına Cu %80 Ni alaşımı bağlanır. Yoğun olarak bakır bulunan çekirdek düşük maliyet temin ederken, yüksek nitelikli alaşım gümüş rengi vermektedir. giydirilmiş malzemeler yüksek dayanım ile birlikte iyi korozyon direnci kombinasyonuna sahiptir. Alklod adı verilen giydirilmiş kompozit malzeme, ticari saflıktaki alüminyum yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarına bağlanır. Saf

alüminyum yüksek dayanımlı alüminyum korozyondan korumaktadır. Saf alüminyum katmanının kalınlığı toplam kalınlığın yaklaşık %1-1,5' i kadardır. Alklad, korozyon direnci, dayanım ve hafifliğin arzu edildiği uçak gövdesinde, ısı dönüştürücülerinde, bina yapımında ve depolama tanklarında kullanılır.

İkili Metaller : Sıcaklık göstergeleri ve kontrol edicileri, katmanlı kompozitteki iki metalin ısı genleşme katsayısındaki farklılıktan yararlanmaktadır. İki metal parçası ısıtılırsa yüksek ısı genleşme katsayısına sahip metal daha fazla uzamış olmaktadır. İki parça birbirine sıkıca bağlı ise ısı genleşme katsayılarındaki fark şeridin eğilmesine ve eğilimli bir yüzey oluşmasına neden olur. Şeridin bir ucu sabit ise serbest olan uç hareket eder. Bu hareketin miktarı sıcaklığa bağlı olup, şeritteki bükülme ve sapmanın ölçülmesi ile sıcaklık tespit edilmektedir. Aynı şekilde şeridin serbest ucu, elektrik anahtarını hareket ettirirse düzenli sıcaklık hareket elde etmek için bir fırının veya soğutucunun açılıp kapatılması mümkündür. Şekil 3-3'te ikili metaller gözükmektedir.



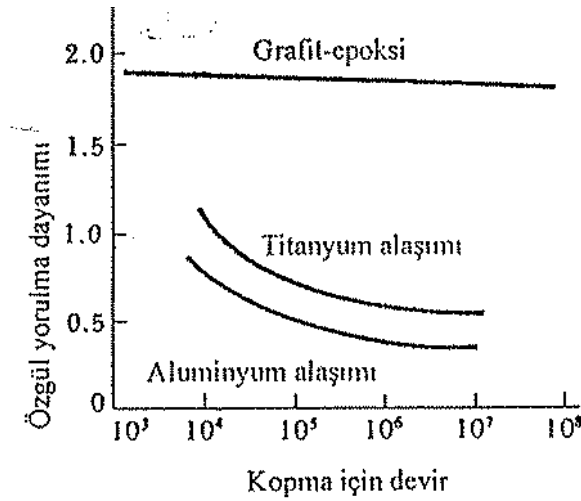
Şekil 3-3 İki metalin davranışı üzerinde ısı genleşme katsayısının etkisi.

3.5.4. İleri Kompozitler

İleri kompozitler, uçak ve uzay sanayisi gibi dayanım bükülmezlik ve hafiflik kombinasyonunun gerekli olduğu uygulamalarla ilgilidir. Bazı örnekler Tablo 3-3'te verilmiştir. İleri kompozitlerde tipik olarak polimer veya metal matris içerisinde boron grafit veya kevlar fiber kullanılır. İleri kompozitler fiber cam ve yüksek dayanım alaşımlarından daha iyi dayanım ve yorulma direncine sahiptirler.

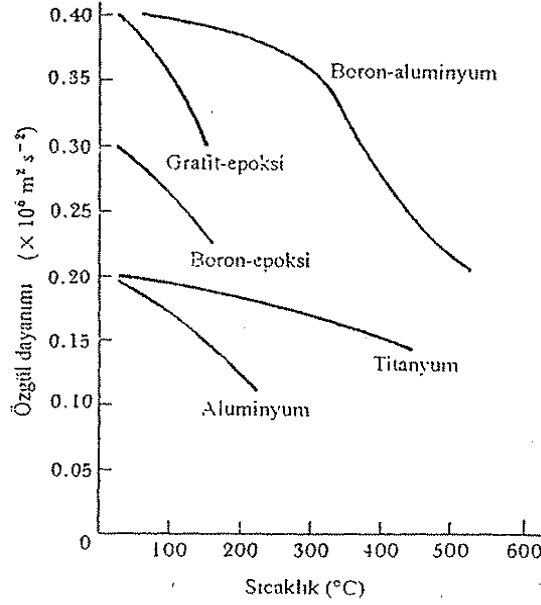
Tablo 3-3 Fiber takviyeli malzemelerin uygulama alanları.

Malzeme	Uygulamalar
Borsik – Alüminyum	Motorlarda, diğer hava taşıtlarında, uzay uygulamalarında
Kevlar – Epoksi	Havacılık, uzay (uzay mekiği dahil), bot teknesi
Kevlar – Polyester	Spor gereçleri (tenis raketleri, golf sopası, olta çubuğu) uçaksavar kılıfı
Grafit – Polimer	Uzay, otomotiv, spor gereçleri
Cam – Polimer	Hafif otomotiv uygulamaları, su ve denizcilik uygulamaları, korozyon dirençli uygulamalar, spor gereçleri, uzay ve havacılık parçaları.

**Şekil 3-4** Titanyum ve Alüminyum alaşımları ile karbon fiber-epoksi özgül yorulma dayanımının kıyaslanması.

İleri kompozitler, yüksek özgül dayanım avantajı sağlamak için modern uçaklarda hem yapısal hem de yüzey kısmında yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu kompozitler sıcaklık nispeten düşük olduğunda daha etkilidir. Grafit, boron veya silisyum karbürle

mukavemetlendirilmiş alüminyum titanyum veya nikel gibi metal matris kompozitler, yüksek sıcaklıkla karşılaşıldığında kullanılır (Şekil 3-5). (Askeland, 1998)



Şekil 3-5 Farklı kompozit ve metallerin sıcaklığa göre özgül dayanımlarının değişimi.

3.6. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerinin Üretim Yöntemleri

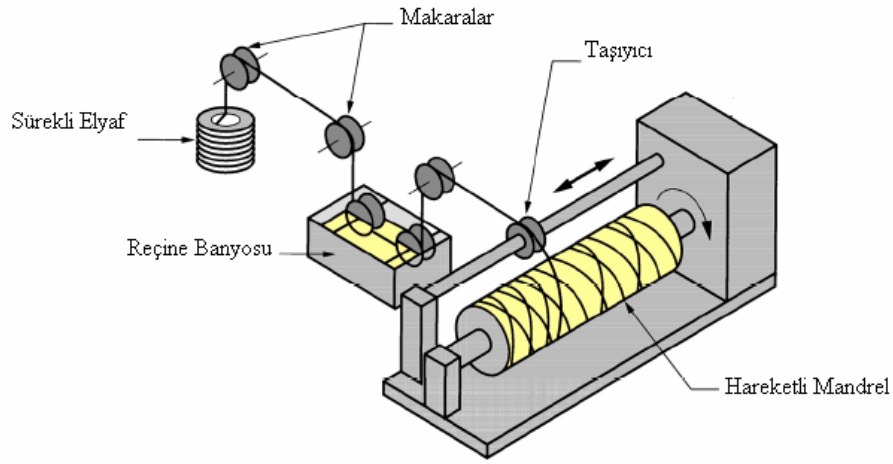
Arzu edilen performansa uygun kompozit malzemelerinin üretiminde maliyet unsuru ilk düşünülmesi gereken en önemli parametrelerden biridir. Üretim maliyetini, performans, tasarım, malzeme seçimi ve şekil verme yöntemi doğrudan etkilemektedir. Kompozit yapıyı oluşturan bileşenlerin seçimi ve bileşen konfigürasyonu üretim maliyetini önemli ölçüde düşürebilmektedir. Tasarım konsepti ile maliyetin düşürülmesi her zaman geçerli bir yöntem olup daima göz önüne alınmalıdır. Mukavemet ve tokluk, minimum ağırlık, yüksek sıcaklıkta kullanılabilirlik, yorulma mukavemeti, düşük bakım masrafı, korozyon dayanımı, hasar toleransları ve tamir kolaylıkları gibi faktörler birlikte düşünülerek, en düşük maliyetli, en kolay üretilebilir bir kompozit sistem seçilmelidir.

Doğranmış, ufaltılmış, tanelere ayrılmış kısa boylu elyaf ve partüküller ile dokunmuş demet şeklinde veya dokunmamış kumaş yapısındaki takviye malzemesi, reçine yüzüne yatırılarak, çeşitli el aletleri ile sıvanıp tam-ısıtma temin edilerek kompozit malzemenin elde edilmesi günümüzde çok yaygın olarak kullanılan bir methodur.

3.6.1. Elyaf Sarma

Sürekli elyafın bir bağlayıcı ortamından geçirildikten sonra, dönel madrenle, önceden belirlenmiş sarım geometrisine uygun sarılması yöntemine elyaf sarma adı verilmektedir. Genellikle sarılan öz veya mandrel, sarım işleminden sonra çıkarılır. Bazı hallerde sabit mandrel kullanılarak kompozit kabuk ile takviye edilebilir. Elyaf sarma yönteminin avantajları; sürekli elyaf ağı ile yüksek mukavemet sağlar, ardarda sarılan elyaflar mukavemeti artırır, imalatı kolaydır, oldukça büyük yapılar elde edilebilir, yüksek elyaf yoğunluğuna ulaşılabilir, avantajlı üretim maliyetine sahiptir.

Üretim teknolojisi Şekil 3-6'da basit bir şema ile aşağıda verilmiştir.



Şekil 3-6 Basitleştirilmiş elyaf sarma yöntemi.

Çeşitli simetrik malzemelerin üretildiği elyaf sarma yönteminin bazı dez avantajları aşağıda verilmiştir:

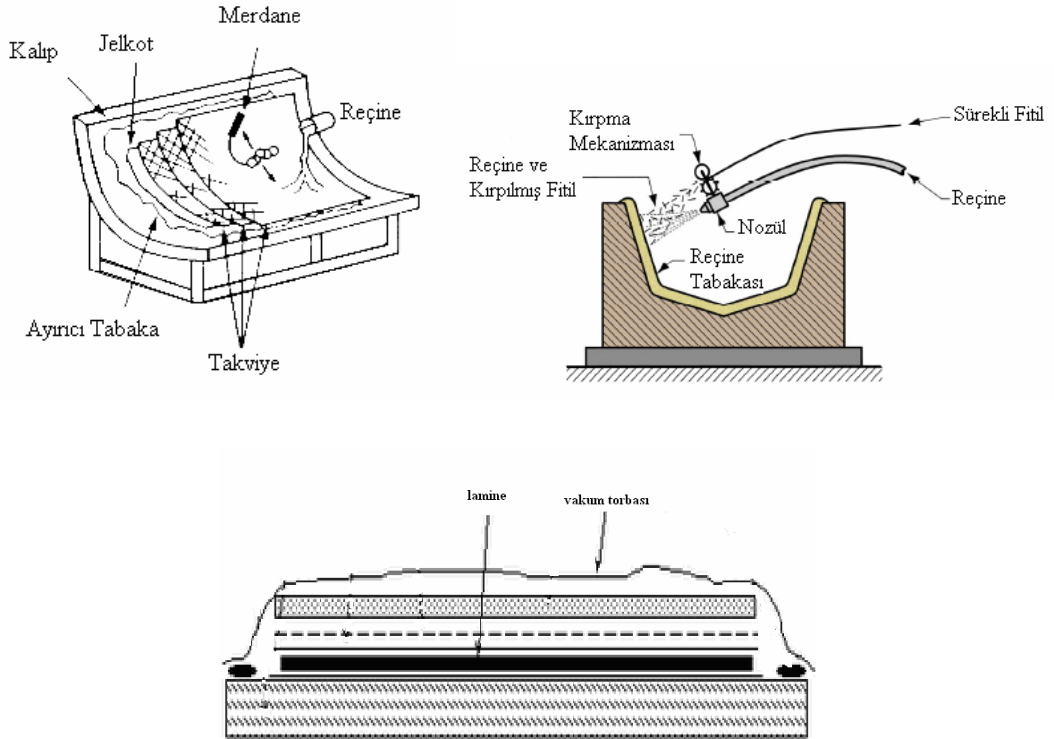
- Mandrelin çıkartılabileceği şekilde tasarlanması
- Konveks yüzeylerin elde edilememesi
- Sarım yolunun kolaylıkla değiştirilememesi
- Kompleks ve pahalı mandrellerin kullanılması
- Zayıf bir dış yüzeye sahip bulunması

Bu olumsuzluklara rağmen, boru, fittings, tüp, basınçlı kaplar, küresel ve silindirik yapılarda oldukça tercih edilen bir yöntemdir.

3.6.2. Açık – Kalıp Yöntemleri

Takviye elemanının reçine yüzeyine yerleştirilmesi, reçine sıvama veya elyaf dokuma ile kalıp formuna uygun yüzeylerin elde edilmesi genelde açık-kalıp yöntemi ile şekillendirme adı verilmektedir.

Doğranmış, ufaltılmış, tanelere ayrılmış, kısa boylu elyaf ve partiküller ile dokunmuş, demet şeklinde veya dokunmamış kumaş yapısındaki takviye malzemesi, reçine yüzeyine yatırılarak çeşitli el aletleri ile sıvanıp tam ıslatma temin edilerek, kompozit malzemenin elde edilmesi günümüzde en yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu amaçla en çok ahşap kalıp kullanılmakla birlikte alüminyum ve plastik kalıplarda kullanılabilir. Kalıp yüzeyi aynı zamanda ayırıcı özelliğe sahip sert yüzey temin eden “gelcoat” ile sıvandıktan sonra takviye malzemesi yatırılarak reçine ile sıvanır. Sıvama tekniği elyaf oranını etkilediğinden önemlidir. Elle sıvama ve elyafa şekil verme yerine vakum-folyo altında aynı işlemler yapılabilir. Bu itibarla açık kalıp kompozit üretim yöntemi üç kategoride incelenmektedir. Bunlar; elle yatırma, elyaf fırlatma (üfleme) ve vakum torbasında şekillendirme yöntemi olup Şekil 3-7’de topluca şematize edilmiştir.



Şekil 3-7 Açık Kalıplama Yöntemleri.

Ara yüzey ayırma elemanı olarak buharlaşan bir çözücüde çözülmüş fluorokarbon türevleri kullanılmaktadır. Kompozit yüzeyde sert fluorokarbonlu ince film oluşurken, her türlü renklendiricilerle renklendirilebilmektedir. Kalıpta kompozit ayırıcısı olarak silikon boyalarda kullanılabilir. Ancak müteakip işlemler ve servis ortamlarında çeşitli sorunlar getirmektedir. Politetrafluoroetilen ayırıcılar özellikle yüksek sıcaklık uygulamalarında tercih edilmektedir.

Bobinle beslenen sürekli elyaf, reçine ortamından geçirildikten sonra 3-5 cm'lik boylarda kesilerek hızla kalıp yüzeyine püskürtülür. Kısa elyafın hızla fırlatılması kalıp yüzeyine sıkışma yapmakta, yüksek elyaf oranlı açık-kalıp kompoziti üretilebilmektedir. Geniş paneller ve girift şekilli malzemelerin üretiminde elyaf püskürtme yöntemi oldukça yaygın kullanılmaktadır. Elyaf püskürtme yönteminde reçine-elyaf dağılımı, elle sıvama yöntemine oranla daha düzenlidir. Bir başka ifade ile elyaf püskürtme yüksek mukavemetli geniş yüzeylerin elde edilmesinde kullanılmaktadır.

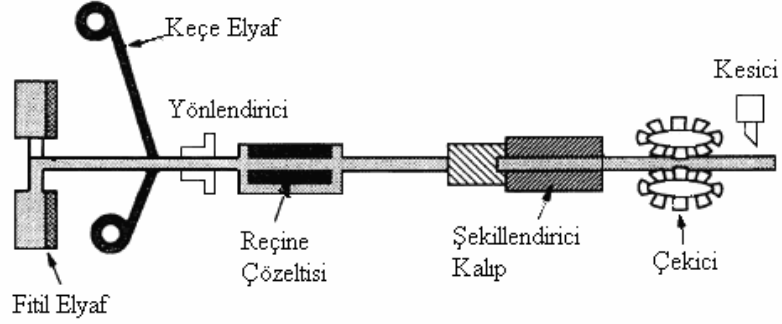
Vakum sıvama yönteminde ince polipropilen veya polietilen folyo ile örtülen reçine elyaf fazı vakumla emilirken reçine ile birlikte hava emişi gerçekleşerek homojen reçine dağılımı ve yüksek elyaf oranı sağlanmaktadır. Vakum örtü sistemi ile kuru elyaf ortamına basınç altında reçine emilerek en yüksek elyaf oranlı reçine elde edilebilmektedir.

3.6.3. Çekme Yöntemi

Elyaf – reçine karışımı şekillendirilmiş kalıptan geçirilirken aynı zamanda da sertleştirilerek çeşitli profieller ve özel kesitli kompozit malzemelerin elde edilmesi mümkündür.

Cam elyaf ve yüksek mukavemetli elyafların uygun reçine matrisi ile çekilmesi gelecekte alüminyum ve çelik türevlerini ikame edecek boyutlara ulaşacaktır.

Örgülü veya gelişigüzel dağılmış elyaf termoset reçine ortamında çekilmektedir. İki ayrı çekme yöntemi Şekil 3-8'de şematize edilmiştir.



Şekil 3-8 Çekme yöntemi.

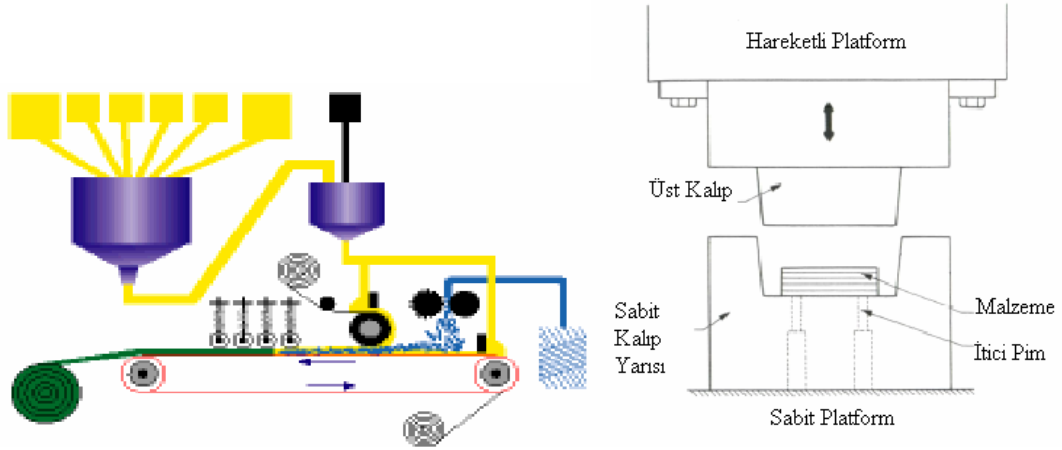
3.6.4. Presleme

Termoset veya termoplastik matris içine dağılmış takviye elemanları belli basınç altında sıkıştırılarak sertleştirilir. Havacılık sektörüne yönelik kompozit ürünler için epoksi matrisler kullanılırken kar ve demiryolu taşıtları için poliester ve vinilester reçineli matrisler kullanılmaktadır.

3-5 cm boyunda kesilmiş elyaflar, mikserde reçine ile karıştırılırlar reçiner katalist, dolgu malzemesi, kalıp sıyırma malzemesi ile magnezyum oksit ihtiva eder. Mikserde iyice karıştırılmış hamur, uygun ortamda uzun süre saklanabilir. 130-160 °C sıcaklığa ısıtılmış kalıp boşluğuna gerekli hacimde karışım hamuru yerleştirilerek 4-21 Mpa basınç altında birkaç dakika bekletilir.

Parçanın özelliğine, elyaf oranına ve reçine grubuna göre sertleşme süresi 1-4 dakika arasında değişir. Oldukça yüksek basıncı gerektiren metod mükemmel yüzey kalitesi yanında, mekanik özelliklere sahiptir. Koltuklar çeşitli kaplar ve yapı elemanlarının imaline imkan veren presleme metodu, gelecekte alüminyum ve plastik enjeksiyon döküm ürünlerine alternatif olacaktır. Presleme ile üretilen kompozit ürünler, aynı zamanda ahşap türevleri ile ikame edilebilmektedir. presleme tekniğine uygun, parça geometrileri kolaylıkla üretilebilir.

Presleme çelik döküm kalıplar kullanılmaktadır. Mükemmel yüzey için kalıp iç yüzeyinin sert – krom ile kaplanması tercih edilmektedir. Presleme tekniğinin şematik görüntüsü Şekil 3-9’da verilmiştir. (Eker 2008)

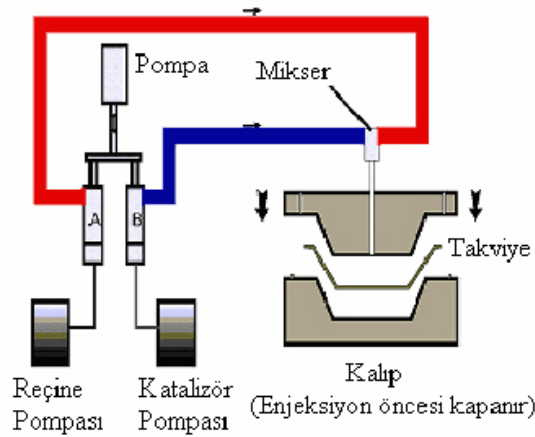


Şekil 3-9 Pres şekillendirme yöntemi.

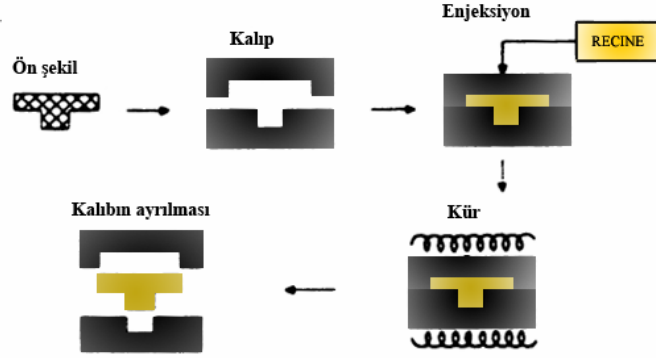
Preslemede kullanılan hamura çeşitli dolgu ve renk verici malzemeler katılarak arzu edilen yüzey özellikleri elde edilebilir.

3.6.5. Döküm Yöntemi

Genellikle partikül şeklindeki takviye fazı, sıvı reçine veya metalle birlikte hidrostatik veya pres basıncı altında dökülebilir. Özellikle aşınmaya dayanıklı kompozit malzemeler bu yöntemle üretilirler. Soğukta ve sıcakta katılaşılabilen reçineler ile alüminyum ve magnezyum gibi metaller bu amaçla kullanılmaktadır. Piston gibi aşınmaya müsait malzemeler taneli kompozit döküm malzemelerdir. Fren pabuçları ve basınç altında çalışan malzemelerin bu yöntemle üretilmesi mümkündür. Şekil 3-10'da döküm yöntemi, Şekil 3-11'de akış şeması görülmektedir. (Eker 2008)



Şekil 3-10 Döküm Yöntemi.



Şekil 3-11 Döküm Yöntemi Akış Şeması.

3.6.6. Sinterleme

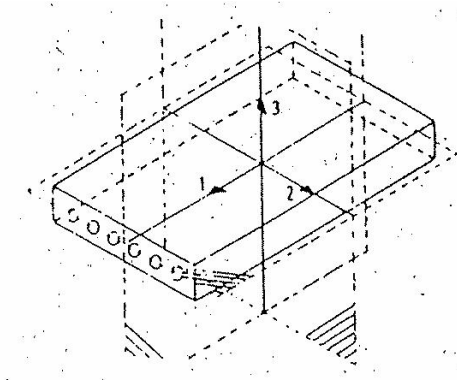
Bazı elyaf ve seramik malzemelerin matris tarafından ıslatılması mümkün olmadığından bağlayıcı ara yüzey oluşmamaktadır. Bu amaçla elyaf yüzeyi ıslatma özelliği yüksek malzemelerle kaplanır kaplama işlemi vakum altında veya kimyasal ortamda yapılarak, elyaf sıcak pres altında sinterlenir. Yöntemin en önemli avantajı, matris oranını asgari düzeyde tutmasıdır. Bu metodla %10 bağlayıcı ve %90 takviye fazlı süper yüksek mukavemetli malzemeler elde edilmektedir. Gelecekte özellikle uçak gövde ve kanatlarının bu yöntemle elde edilmesi ve yüksek balistik performansın elde edilmesi muhtemel görülmektedir.

Elyaf yüzeyini kaplayan ince metalik film basınç altında difüzyon ile elyafları birbirine bağlarken mükemmel yüzeyler oluşturmaktadır. Metal matrisli kompozitlerin üstün performansları, gelecekte çelik ve özel malzemeleri önemli ölçüde kapsayacağı tahin edilmektedir.

3.6.7. Laminasyon

En az iki ayna veya farklı elyaf veya refrakter tabakasının önceden tasarlanmış konfigürasyonla birbirine bağlanması ile elde edilen yapıya lamine kompozit yapısı adı verilir. ardışık takviye tabakaları, örgülü, dokunmuş, prese edilmiş keçeleştirilmiş veya folyo şekline getirilmiş olabilir.

Laminasyonda üç boyutlu konfigürasyona ulaşılabilir Şekil 3-12'de verildiği gibi orada da bağlanan tabakalarda, üç doğrultuda mekanik özellikler şekillendirilebilir.



Şekil 3-12 Laminasyon doğruları.

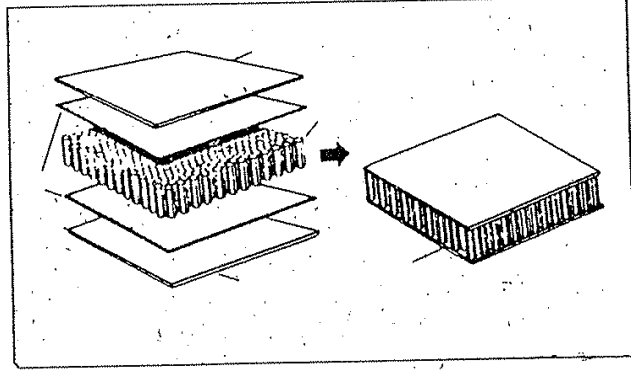
Örgülü, dokunmuş veya demet elyaf laminasyon yönteminde genellikle birbirine dik bağlanmaktadır. Bağlayıcı olarak en çok kullanılan epoksi emdirilmiş kağıtlardır. Epoksi rijit veya yüksek mukavemeti ile en çok kullanılan bağlama malzemesidir. Sıcakta ve soğukta sertleşen epoksi malzemeler kullanılmaktadır. Akrilik asit esterlerin oksijence zengin heroksitlerle aktifleştirilerek polimerize edilmiş reçinelerde oldukça yaygın kullanılan bağlama malzemeleridir. Reaktif lastik, silikon yapıştırıcılar ile sıcakta eriyip yapıştırılan termo plastik yapıştırıcılarda yaygın olarak kullanılabilir. Yapıştırıcı emprege edilmiş plakalar halinde veya doğrudan takviye fazına sürülüp prese edilerek kullanılmaktadır.

3.6.8. Sandviç Kompozitler

İki laminat arasına, ince ince metal folyodan yapılan bal petekli bir yapının yerleştirilmesi ile elde edilen kompozit malzemelere sandviç kompozitler adı verilir.

Hafif, üstün mekanik özelliklere sahip, üretimi oldukça basit ve bu malzemelerin geniş uygulamaları mevcuttur.

Balpetek arakesitli sandviç paneller, ilk defa 1940'lı yıllarda havacılık sektöründe kullanılmıştır. Günümüzde kağıt, plastik, paslanmaz çelik, titanyum, süper alaşım, alüminyum ve benzeri metallere balpetekleri üretilerek sandviç kompozitler yapılmaktadır. Laminatlara birleştirmede özel yapıştırıcılar dışında difüzyon veya lehimleme birleştirmeleri de yapılabilmektedir. Yüksek tokluk, yüksek mukavemet ağırlık ilişkisine sahip sandviç panellerin kullanımı gelecekte daha da artacaktır. Bal petekli sandviç kompozitlerin bileşenleri şekil 3-13'te verilmiştir.

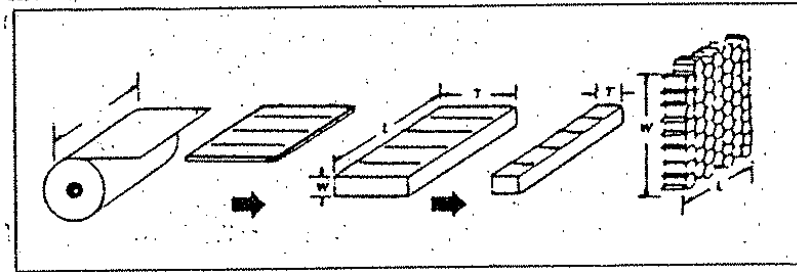


Şekil 3-13 Balpetekleri sandviç paneller.

Balpetekleri, iki temel yöntemle üretilebilmektedir. Yöntemlerden biri, genişletme diğeri de oluklama olup aşağıda kısaca özetlenmiştir.

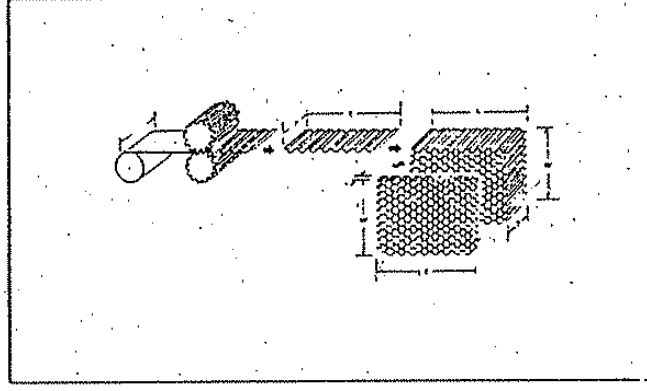
Genişletme yöntemi günümüzde en çok kullanılan metod olup şerit halindeki metal bantın belli aralıklarla üst üste yapıştırılması ve sonradan açılması prensibine dayanmaktadır. Şerit metal bantın çizgisel olarak yapıştırılmasında yüksek sıcaklık bağlayıcıları kullanılmakta, yapıştırma işlemi basınç altında gerçekleştirilmektedir.

Çizgisel yapıştırma metodunun prensip resmi Şekil 3-14’te verilmiştir.



Şekil 3-14 Çizgisel birleştirme ile balpeteği üretimi.

Oluklama yöntemi yüksek olduğuna ve sıcaklığa dayanıklı malzemeler için uygulanan bir metottur. Metodun prensip resmi şekil 3-15’te verilmiştir.

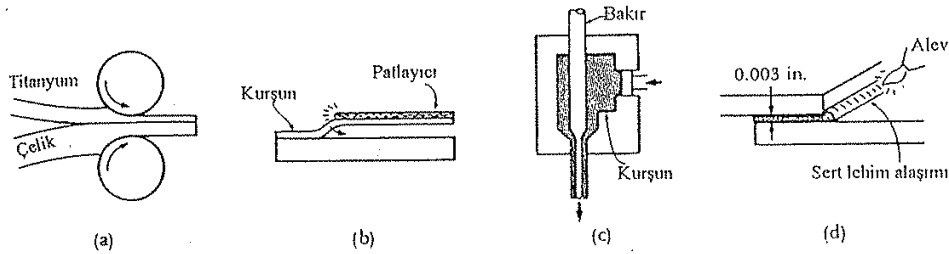


Şekil 3-15 Dişli merdane ile balpeteği üretimi.

Arzu edilen genişlik ve boyutlarda balpeteği hücresinin elde edilmesi için iki merdana yüzeyine enlemesine diş açılır. Belli genişlikteki metalik bant, oluklu merdanadan geçerken balpeteği yarı formunu almaktadır. Oluklu bant fenolik, polyester veya poliamid banyo ile temas ettirilerek yapıştırılır. Reçine ağırlığı, yapıştırılan metal ağırlığının %50'si mertebesinde olmalıdır. Nomex, comelyaf, kraft kağıdı alüminyum ve 500 kadar malzemeden balpeteği yapısı dışında dikdörtgen, kare ve çeşitli geometrik yapılar üretilebilmektedir. Ancak gerek mukavemet ve gerekse üretim kolaylığı yönünden balpeteği en çok üretilen ve kullanılan bir arayer malzemesidir.

3.7. Tabakalı Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

Katmanlı kompozitlerin üretiminde deformasyon ve birleştirme tekniklerini de içeren pek çok farklı metod kullanılmaktadır (Şekil 3-16)



Şekil 3-16 Tabakalı kompozitlerin üretim teknikleri. a. Haddelikle birleştirme, b. patlayıcı ile birleştirme, c. Birlikte ekstrüzyon ve d. Lehimleme

Haddelikle. Giydirilmiş ve ikili metal gibi bir çok metalik katmanlı kompozitler sıcak veya soğuk haddelikle üretilmektedir. Deformasyon miktarı yeterince büyük ise merdaneler

tarafından uygulanan basınç yüzeydeki oksitleri kırmakta atom atom temas eden yüzeyler oluşturmakta ve iki yüzeyin kaynak edilmesine imkan sağlamaktadır.

Patlama Kaynağı. Metallerin birleştirilmesi için gerekli basınç bir patlama yüklemesi ile sağlanabilir. Bu işlem özellikle hadde merdanesine sığmayan, büyük plakaların birleştirilmesi için çok uygundur.

Birlikte Ekstrüzyon. Ortak eksenli kablo gibi çok basit tabakalı kompozitler, yumuşak malzemenin sert malzemeyi saracak şekilde bir kalıp içerisinde iki metalin birlikte ekstrüzyonu ile üretilmektedir. Benzer şekilde termoplastik polimerler metal iletken teller çevresine birlikte ekstrüze edilebilmektedir.

Presleme. Küçük parçalar için, yüksek sıcaklıklarda yüksek basınç uygulanması yapışmayı sağlamaktadır. Katmanlardaki yapıştırıcıyı sertleştirmek için genellikle sıcak presleme kullanılmaktadır.

Sert Lehim. Sert lehim kompozitleri birbirine bağlayabilmektedir. Metalik levhalar tercihen 0,075 mm. aralıkla ayrılmıştır ve sert lehim, alaşımının ergime sıcaklığının üzerinde ısıtılmaktadır. Sıvı sert lehim alaşımı, kılcal hareketle ince bağlantı aralığına yayınarak birleştirmeyi sağlar.

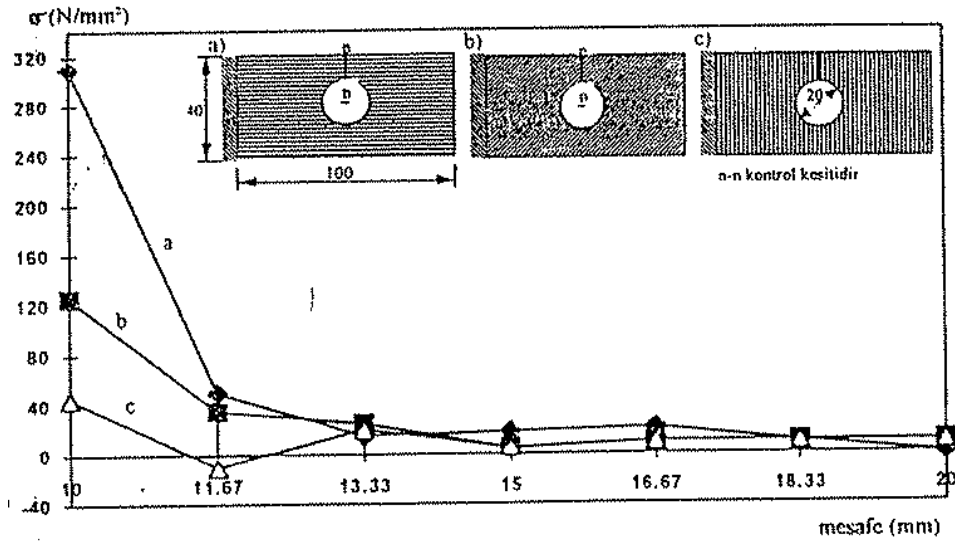
3.8. Kompozit Malzeme Kullanımında Tasarım Esasları

Makine ve yapıları imal ederken anizotropik malzeme kullanımının belli bazı avantaj ve dezavantajları vardır. Avantajları; takviye doğrultusunda çok yüksek özgül mukavemet ve rijitlik, şekillendirilebilme kabiliyeti ve elastik olarak yüksek kopma uzaması, çok iyi yorulma dayanımı, kalıcı deformasyon olmaması, düşük ve kontrol edilebilir ısıl genleşme katsayısı, çok düşük enine ve ısıl elektrik iletim katsayısı, tabakalı kompozitlerin tabaka yapılarının istenen amaca göre düzenlenebilmesidir. Dezavantajları ise; malzeme bünyesinde hasara sebep olacak şekilde ikincil gerilmelerin meydana gelebilmesi, kritik uygulamalarda uzun zaman alan masraf gerektiren detaylı gerilme analizi gerekliliği, üretim ve kullanım yerinde yüksek sıcaklık olması durumunda fiber matris ısıl genleşmelerinin farklı olması sebebiyle hasara götüren iç gerilmeler, lineer elastik özellikleri sebebiyle gevrek kırılma tehlikesi kullanım ortamı sıcaklığının matris malzeme özellikleriyle sınırlanması sıcaklık sebebiyle özellikle polimer matrisli malzemelerde sürünme tehlikesi, bağlantı yerlerinde çok dikkatli dizayn gerekliliği olarak sayılabilir. Kompozit malzemelerden yapılacak makine elemanlarının bu özellikler göz önüne alınarak tasarlanması gerekmektedir.

Kompozit malzemelerden yapılacak makine elemanlarının tasarımında dikkat edilecek faktörler; ısıl, mekanik, çarpma, kimyasal, elektrik ve manyetik yükleme gibi yükleme durumları, takviye şekli ve yükleme doğrultusuna göre durumu ve makine elemanlarının ağırlığı ile birleştirme yerlerinin seçimi ve birleştirme şeklidir. Tasarımda dikkat edilecek faktörleri tek tek incelersek

3.8.1. Yükleme Durumu

Klasik malzemelerden farklı olarak, kompozit malzeme üzerine gelecek kuvvetin doğrultusu, şiddeti ve tesirleri çok büyük önem arzeder. Çünkü kompozit malzemede fiberlerin takviye açısına göre malzeme üzerindeki gerilme dağılımı değişmektedir. (Şekil 3-17). çeşitli yükleme durumları için incelersek;



Şekil 3-17 Çeşitli açılarda takviye edilmiş cam-epoksi kompozitten yapılmış delik içinden çekme kuvvetine maruz bir elemanda gerilme dağılımı.

3.8.1.1. Isıl ve Elektriksel Yükleme

ısı ve elektrik akımı direncin düşük olduğu yerlerden geçme eğiliminde olduğundan ısıl ve elektriksel iletim özellikleri cam, aramid ve seramik fiber kullanılması durumunda matris malzemeninkine yakındır.

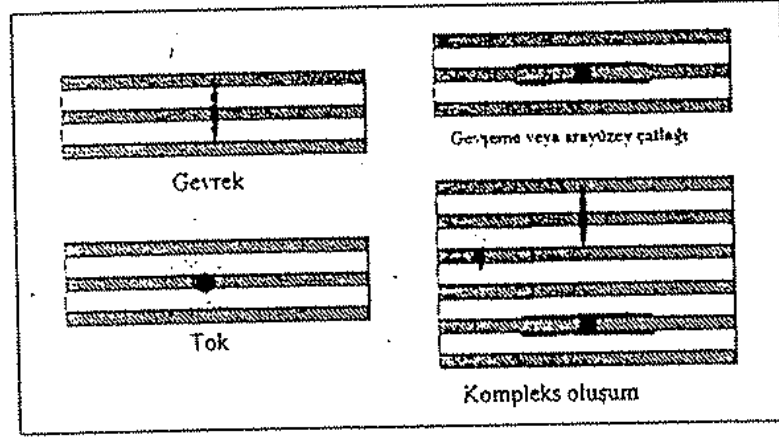
Karbon fiberleri gibi iletim özelliği iyi olan fiberlerin kullanıldığı kompozitlerde ise fiber malzemesinin özelliklerine yakınlık gösterir. Polimerik matrisli kompozitlerde, matris malzemeleri metallere göre yaklaşık olarak %1 oranında iletim özelliğine sahiptir. Fiberlerin

ise yüksek iletim özellikleri vardır. Kompozit içinde takviye şekli ve doğrultusu ile enerji akış sektörü arasındaki açı önemlidir. İzotrop cam fiberlerinde bile boyuna ve enine iletim katsayısı arasında %30 gibi bir fark bulunmaktadır. Karbon fiberlerinde ise bu oran %0,2'ye kadar düşmektedir. Bu yüzden elektrik ve ısı yüküne sahip kompozitlerin dizaynında fiber hacim oranı, takviye doğrultusu ve üretim sırasında eleman içinde boşluk kalmayacak şekilde bir üretim yapılması çok önemlidir.

Herhangi bir kompozit yapıda bile, kullanılan malzemelerin ısı genleşme özelliklerinin farklı olması sebebiyle, ısı yükü altında farklı uzamalar sonucu büyük gerilmeler ortaya çıkabilir. Bu gerilmeler, dışarıdan malzemeye herhangi bir yük uygulansa bile malzemedeki hasara yol açacak kadar büyük olabilmektedir. Tabakalı üretimde ise farklı tabakalar arasında aynı uzamaya rağmen takviye doğrultusundaki farklılıklar sebebiyle çarpılma şeklinde hasarlar oluşabilmektedir. İzotropik malzemelerde oluşan bu gerilmeler çeşitli ısı işlemleri ile ortadan kaldırılabılırken kompozit malzemelerde bu durum mümkün olmamaktadır. Bu yüzden ikincil bir yük olarak ısı yükünün de bulunduğu durumlarda malzeme tayini önem kazanır. Tabakalı üretim durumunda tabakalar, uzamalar birbirini ortadan kaldıracak şekilde yerleştirilmeyidir. Birleşme yerinin dizaynında, bu gerilmelerin de dikkate alınması gerekir.

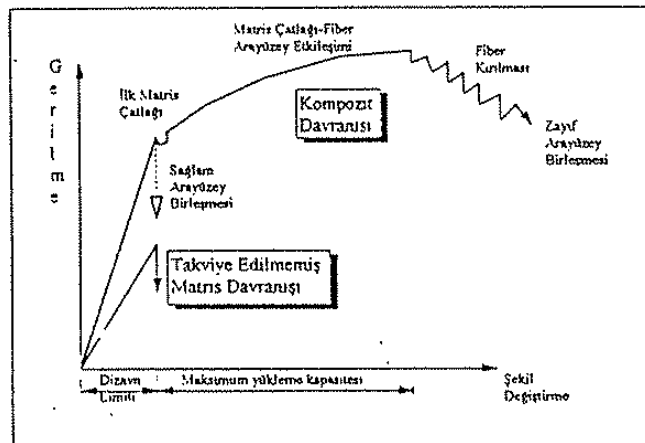
3.8.1.2. Yorulma, Çarpma ve Tokluk

Kompozitlerde yorulma izotrop malzemelerden oldukça farklı bir şekilde oluşur. İzotrop malzemelerde değişken yüklemeye maruz bir makine elemanında oluşan çatlak tanımlanabilir bir gelişme göstererek ilerlemekte ve parça hesaplanabilen bir ömür sonunda da hasara uğramaktadır. Bu malzemeler için çatlak başlangıcının hemen hemen tamamen tanımlanmış ve deneyler yapılarak gerekli sabitler bulunmuştur. Kompozit malzemelerin çentik hassasiyetleri, matris malzeme çentiğinin diğer fibere geçmesini geciktirdiğinden metalik malzemelere göre daha azdır. Kompozitlerde yorulma olayı, malzemeye bağlı olarak farklı şekillerde meydana gelir. Fiber-matris ara yüzey bağ kuvvetine bağlı olarak oluşan yorulma, yük doğrultusu ile fiber doğrultusunun farklı olduğu durumlarda oluşan yorulma şeklidir. Fiber boyunca oluşan çatlağın ilerlemesi ile hasar meydana gelir. Kumaş şeklindeki fakvilerde genellikle bu şekilde yorulma oluşur. (Şekil 3-18). Fiber ve yük doğrultusu aynı olursa oldukça yüksek yorulma direnci elde edilir. Bu durumda, fiber hacim oranı arttıkça yorulma direnci de artmaktadır. Tabakalı yapıdaki yorulma ise, mukavemetlerine göre daha yüksek gerilme uygulanan tabakalardan başlayarak yayılır. Tabakalı yapının kumaş fiberlere göre yorulma dirençleri daha büyüktür.



Şekil 3-18 Kompozit malzemelerde çatlak oluşum ve ilerleme şekilleri.

Çarpma, genellikle makine elemanlarında genellikle beklenmeyen ve hesaba katılmayan ani yüklemelere verilen addır. Sünek malzemelerde çarpışma sonucu plastik deformasyon ve gözle görülebilen hasarlar oluşur. Kompozitlerin çarpmaya karşı davranışı çarpmada absorbe ettikleri enerji ile belirlenir. Bu da ara yüzey bağ gerilmelerinin değerine bağlıdır. Eğer bağ dayanımı düşükse malzeme zayıf mukavemet özellikleri göstermekle beraber enerji absorpsiyonu iyi olacağından çarpmaya karşı iyi bir dayanım gösterecektir. Çok yüksek bağ dayanımına sahip kompozitler gevrekleşme eğilimindedir. Pratikte fiberlere yapılan yüzey işlemleri ile ara yüzey bağ dayanımı kontrol edilebilmektedir. Tokluk, malzemenin kırılma dayanımının bir ölçüsüdür. Yorulma ve çarpma yüklerine karşı kompozit malzemelerin davranışlarının belirlenmesinde önemli bir karşılaştırma parametresidir. Kompozit malzemelerin tipik çekme-uzama diyagramları Şekil 3-19’da gösterilmiştir.



Şekil 3-19 Kompozitlerin çekme-uzama diyagramı.

3.8.1.3. Kimyasal Yükleme ve Çevre Şartları

Matris malzemeleri kompizitin nem, ısı ve kimyevi maddeler gibi çevre etkilerine maruz kalan kısmı olduğundan korozyon dayanımı, nem absorpsiyonu gibi çevre etkilerine karşı özelliklerini de belirlemektedir. Plastik malzeme, plastik matrisli kompozitlerin çok çeşitli çevre ve kimyevi yüklere karşı yüksek performans göstermesini sağlamaktadır. Metalik matrisli kompozitlerde ise kimyasal etkilere karşı direnç, malzemenin yüzeyinde meydana getirdiği koruyucu tabaka kalınlığı ile belirlenmektedir. Mesela, 200 °C'nin üzerinde özellikleri kararlı olmayan, veya kimyevi etkilere dayanıksız olan bir fiber, çok daha yüksek sıcaklıklara yada çok etkin kimyevi yüklemelere dayanabilen ve ısı iletkenlik özellikleri iyi olmayan bir matris içinde söz konusu şartlara dayanıklı, mukavemeti yüksek bir kompozit oluşturabilmektedir. Tablo 3-4'te otomobil endüstrisinde alternatif malzemeler olarak kullanılan çelik, alüminyum alaşımı ve cam takviyeli plastik (CTP) kompozitlerin çeşitli yüklemeler karşısındaki davranışları, üretim şartları ve maliyetleri gibi faktörler karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 3-4 Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Bazı Malzemelerin Karşılaştırılması

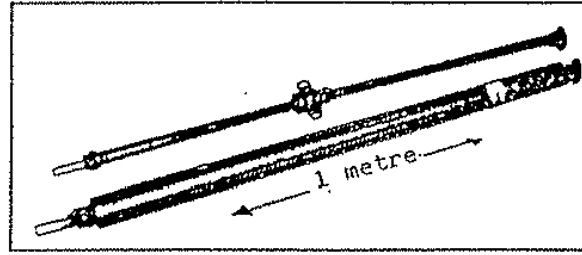
MALZEME	SAĞLADIKLARI	SINIRLARI	DEĞERLENDİRME
Yüksek mukavemetli çelik	Mevcut teknoloji ile üretilebilme imkanı	Yüksek mukavemet istenen yerlerde kullanılabilir	Tampon vs. gibi özel yerlerde kullanılabilir.
Alüminyum alaşımı	Kaporta ve motor bloğunda büyük miktarda ağırlık kazancı, mevcut teknoloji ile üretilebilme, mükemmel korozyon dayanımı	Birim fiyatı yüksektir, derin çekme özelliği olmadığından konstrüksiyon esnekliğini azaltır	%40'a varan ağırlık kazancı sağlar laka maliyeti arttır, kısa vadede iyi çözüm
Cam takviyeli plastik (CTP)	Kaportada büyük miktarda ağırlık kazancı, iyi bir korozyon dayanımı, yüksek dizayn esnekliği, yekpare üretim imkanı, darbelerle karşı yüksek mukavemet	Birim fiyatı yüksektir, yeni üretim teknoloji gerektirir, sürünme dayanımı kötüdür	%30'a varan ağırlık kazancı, birim fiyatlarda artış, seri üretimi sağlandığında iyi çözüm

Otomobili oluşturan parçalar çökme ve plastik şekil değiştirme zorlanmaları ile gevrek kırılma, yorulma, sürünme yüklemeleri ve -40 ila 120 °C sıcaklık aralığı, %55 ila %100'e varan bağıl nem su, yakıt, antifriz ve tuz gibi çevre ve kimyevi yüklemelerin etkisi altındadır. Tablo 3-4'ten görüldüğü gibi motor bloğu gibi kısımlarda Al alaşımları ve kaporta içinde CTP kullanımı en iyi çözümü vermektedir. CTP malzemelerde 60 °C üzerinde sürünme hasarları meydana geldiğinden bunun dikkate alınması, ayrıca nem absorbe etme özellikleri sebebiyle %20'ye varan mukavemet azalması da hesaba katılmalıdır.

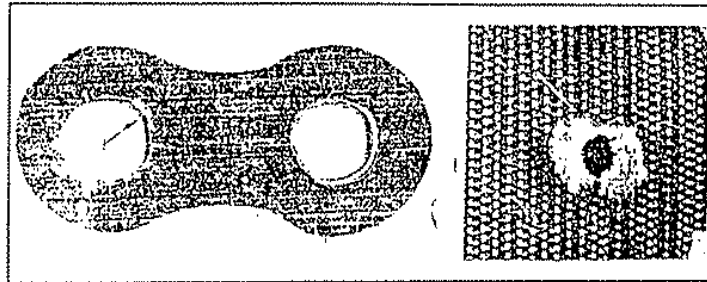
3.9. Parçaların Birleştirilmesi

Dizaynda göz önünde bulundurulması gereken diğer önemli bir faktörde kompozit makine elemanlarının başka bir parça ile birleştirilmesi durumudur. Gerek “kompozit-kompozit”, gerekse “kompozit-diğer malzemeler” arasındaki birleşmelerde birleştirme şekilleri, yerleri ve usulünün çok dikkatli olarak tayin edilmesi gerekmektedir. Kompozit malzemelerden yapılmış makine elemanlarının metal malzemeler için geçerli olan sökülebilen ve sökülemeyen birleştirme sınıflandırılması içine alınması çoğu zaman mümkün olmaz. Bu yüzden kompozitten yapılacak eleman komple eleman olarak, birleştirme yerlerindeki delik, pim, vida v.s.de mümkünse komple imalat için düşünülmelidir. Çok parçadan imal edilen makine elemanlarının, kompozit malzemenin hafifliği sebebiyle yekpare olarak imal edilmesi ise bir avantaj olmaktadır. Şekil 3-20.a’da yekpare olarak imal edilmiş bir otomobil tahrik şaftı görülmektedir. Yekpare imalatın avantajlarından biri de birleştirme yerleri sebebiyle meydana gelen gürültülerin ortadan kaldırılmasıdır.

Sonradan talaşlı şekillendirme yoluyla yapılacak işlemler malzeme mukavemetini düşürmekle kalmayıp çatlak oluşumu gibi hasarlara da sebep olmaktadır. (Şekil 3-20.b)



a)



b)

Şekil 3-20 a) Yekpare olarak imal edilmiş otomobil tahrik şaftı b)Kompozitlerin matkapla delinmesi sonucu oluşan hasarlar

Kompozitlerin birbirine kaynak edilmesi ve yapıştırılarak birleştirilmesi ile ilgili çalışmalarda yapılmaktadır.(Şekil 3-21)

kullanılırken tercihi tayin edecek karşılaştırmalar, klasik dizayn, maksimum gerilme veya maksimum şekil değiştirme kriterleri kullanılarak yapıldığından, yine bu kriterlere göre yapılacaktır. Makine elemanı olarak en çok karşılaşılan çekme çubuğu, kiriş veya plak için karşılaştırma kriterleri, ağırlığa bağlı olarak Şekil 3-23'te çıkarılmıştır. Burada bazı kullanılan değişkenler şöyle sıralanabilir;

S (mm): maksimum şekil değiştirme

C: yükleme tipine göre katsayı

m (kg): elemanın kütlesi

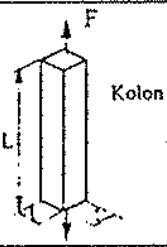
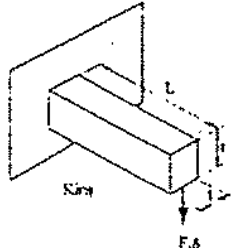
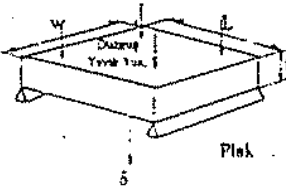
P (N): uygulanan kuvvet

A.L.t.W(mm): kullanılan

G (N/mm²): oluşan maksimum gerilme elemanların boyutları

E (N/mm²): Elastisite modülü

P (Kg/mm³):yoğunluk

YÜKLEME DURUMU	MAKSİMUM ŞEKİL DEĞİŞTİRMEYE GÖRE	MAKSİMUM GERİLMEYE GÖRE
 <p>Kolon</p>	$\delta = \frac{PL}{AE} \quad m = \rho LA$ $A = \frac{PL}{\delta E} \quad m = \frac{PL^2}{\delta} \left(\frac{\rho}{E} \right)$	$\sigma = \frac{P}{A} \quad m = LA$ $m = PL \left(\frac{\rho}{\sigma} \right)$
 <p>Kiriş</p>	$\delta = \frac{4PL^3}{Et^4} \quad m = \rho Lt^2$ $m = 2 \frac{\rho}{\sqrt{E}} \sqrt{\frac{PL^5}{\delta}}$	$\sigma = \frac{PL}{t^3} \quad m = \rho Lt^2$ $m = (\delta P^2)^{2/3} \left(\frac{\rho}{\sigma^{2/3}} \right)$
 <p>Plak</p>	$\delta = \frac{PL^3}{Ewt^3} \quad m = \rho Lwt$ $m = C \delta^2 \left(\frac{\rho w^2}{\delta} \right) \left(\frac{\rho}{E^{1/3}} \right)$	$\sigma = \frac{PL}{Cwt^2} \quad m = \rho Lwt$ $m = \frac{\rho w L^3}{C} \left(\frac{\rho}{\sigma} \right)$

Şekil 3-23 Dizaynda kullanılan karşılaştırma parametrelerinin eldesi.

Yalnızca taşıyacakları yüke göre sıralama yapılacak olursa çekme çubuğu için tabloda ele alınan malzemelerden en elverişlisi maksimum uzamaya göre Boron-Epoksi, Be-38 Al.

Karbon epoksi, Kevlar-Epoksi ve cam –Epoksi'dir. bu sıralamayı kiriş için yaptığımızda ise

ilk sıraları maksimum gerilme açısından yüksek mukavemetli karbon fiber takviyeli Epoksi kompozit, Kevlar-Epoksi ve maksimum deformasyon açısından da Karbon- Epoksi kompozitler ve arkasından Be-38Al alüminyum alaşımı gelmektedir. Durum plak eleman açısından Karbon-Epoksi, Kevlar-Epoksi, cam tülü polyester şeklinde ve maksimum çekme açısından da yüksek mukavemetli Karbon-Epoksi Kevlar-Epoksi ve Al-Li şeklinde bir sıralama olduğu görülmektedir.

Burada karşılaştırma için seçilen çelik olan maraging çeliği %18-25 Ni, %7,5 Co, %4,8 Mo, %0,4 Ti ve %0,03 C içeren 815 °C'den havada su verilerek ve 480 °C'de yaşlandırma ile 1750 MPa akma mukavemetli, %11 uzama, yüksek tokluk ve 35-52 Rc sertliğine sahip bir çeliktir. Taynak edilme imkanları vardır ve roket motor bloğu yapımında kullanılmaktadır. Görüldüğü üzere yüksek mukavemetli bir çelik olmasına rağmen kompozitlere göre mukavemet açısından çok gerilerde kalmaktadır.

MALZEME	ρ (g/cm ³)	DAYANIM (MPa)	E (GPa)	$\frac{\sigma^{1/2}}{\rho}$	$\frac{\sigma^{2/3}}{\rho}$	$\frac{\sigma}{\rho}$	$\frac{E^{1/3}}{\rho}$	$\frac{E^{1/2}}{\rho}$	$\frac{E}{\rho}$
Karbon-Epoksi (1)	1.5	1600	129	91.2	26	1070	3.4	7.6	86
Karbon Epoksi (2)	1.6	1280	192	73.6	22.4	800	3.6	8.7	120
Cam Polyester (1)	1.7	275	17	24.8	9.7	162	1.5	4.4	10
Cam Polyester (2)	1.7	882	9	54.1	17.4	48	1.2	1.7	5.3
Cam-Epoksi	2	1600	55	68.4	20	800	1.9	3.7	27.5
Kevlar-Epoksi	1.5	1300	77	79.4	24	866	2.8	5.84	51.7
Boron-Epoksi	2.2	1240	210	52.5	16	564	2.7	6.6	95.5
Mg-14Li-1.25 Al	1.35	Re= 103	43	16.2	7.5	76	2.6	4.8	31.8
Be-38 Al	2.09	Re= 415	200	26.5	9.7	200	2.8	6.7	95.2
2023-T3 (Al Alaşımı)	2.77	Re= 345	73	17.8	6.7	124	1.5	3.1	26.3
7075-T6 (Al Alaşımı)	2.8	Rp= 500	71.6	22.4	8	178	1.48	3.02	25.6
Ti-6Al-4V	4.43	Rp= 830	110	20	6.5	187	1.08	2.4	24.8
FV520 (Çelik)	7.83	Rp= 1081	215	13.5	4.2	138	0.77	1.9	27.4
Maraging Çeliği	7.8	Rp= 1750	190	18.6	5.34	224	0.74	1.8	24.3

Karbon-Epoksi (1): Tek yönde yüksek mukavemetli karbon fiberlerle takviye edilmiş
 Karbon-Epoksi (2): Tek yönde elastisite modüllü karbon fiberlerle takviye edilmiş
 Cam-Polyester (1): 0° cam tül ile takviye edilmiş
 Cam-Polyester (2): 45° cam tül ile takviye edilmiş.

Şekil 3-24 Çeşitli Malzemeler İçin Hesaplanmış Karşılaştırma Parametreleri.

Bu durum ekonomik açıdan en çarpıcı şekliyle uçak sanayiinde görülür. Çeşitli kombinasyonlar yapılarak maksada en uygun kompozitin elde edilmesi mümkün olduğundan belirli özelliklerin ağırlıkla oranı önemli ve sınırlayıcı bir faktördür. Uçakların kendi

ağırlıkları azaldıkça taşıyacakları yük artacak ayrıca ağırlığındaki azalma orantılı olarak yakıt tüketimini de azaltacaktır. Bir OC 10 uçağının ağırlığında sağlanacak 1 Kg'lık azalma yıllık 2900 Lt. yakıt tasarrufu sağladığı göz önüne alınacak olursa, alüminyum yerine cam, karbon ve aramid fiberli kompozit kullanılarak bir A 310 uçağında sağlanan 397 Kg'lık ve bir A 320 uçağında sağlanan 800 Kg'lık bir ağırlık kazancının ne kadar önemli olduğu görülür.

Sonuç olarak kompozit malzemelerden yapılacak makine elemanlarında, kompozite has dizayn, üretim ve hesaplama şartları vardır. Bunların dikkate alınması, araştırılması ve uygulamaya konulması gerekmektedir. Bu bölümde tasarımda dikkat edilmesi gereken hususlar üzerinde durulmuştur.

4. ANALİTİK ÇALIŞMALAR

4.1. Lagrange Denklemleri

Lagrange denklemleri, “Lagrange tarzında D’Alembert Prensibi”ne dayanılarak p tane noktasal kütleden ibaret sistem için yazılmış

$$\sum_{i=1}^p (\mathbf{F}_i - m_i \ddot{\mathbf{r}}_i) \cdot \delta \mathbf{r}_i \quad (0.1)$$

denkleminde hareketle elde edilir.

p tane \mathbf{r}_i yer vektörü n-tane genelleştirilmiş koordinat ve zamanın fonksiyonu olarak

$$\mathbf{r}_i = \mathbf{r}_i(t; q_1, q_2, \dots, q_n) = \mathbf{r}_i(t; q_{k\dots}), (i = 1, 2, \dots, p) \quad (0.2)$$

şeklinde yazılabilir.

(0.2) denklemine uygun olarak bir maddesel noktanın virtüel yer değişirmesinin

$$\delta \mathbf{r}_i = \sum_{k=1}^n \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} \delta q_k, (i = 1, 2, \dots, p) \quad (0.3)$$

olduğunu biliyoruz.

(0.1) denklemi, (0.3) ifadelerini (0.1)de yerine koyup toplamların sırasını değiştirmek suretiyle

$$\sum_{k=1}^n \left[\sum_{i=1}^p (\mathbf{F}_i - m_i \ddot{\mathbf{r}}_i) \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} \right] \delta q_k = 0 \quad (0.4)$$

şeklinde yazılabilir. Genelleştirilmiş koordinat sayısı serbestlik derecesine eşit olduğundan, bunlar arasında herhangi bir bağ denklemi mevcut değildir ve $\delta q_{k\dots}$ virtüel değişimleri

birbirinden bağımsız ve tamamen keyfidir. Bundan dolayı (0.4) denkleminin sağlanması için köşeli parantez içindeki ifadelerin her birinin ayrı ayrı sıfıra eşit olması gerekir:

$$\sum_{i=1}^p (\mathbf{F}_i - m_i \ddot{\mathbf{r}}_i) \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} = 0 \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (0.5)$$

$$\sum_{i=1}^p \mathbf{F}_i \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} = Q_k \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (0.6)$$

bağıntısı ile tarif edilen Q_k büyüklüğüne *genelleştirilmiş kuvvet* adını verirsek, (0.5) yerine

$$\sum_{i=1}^p m_i \ddot{\mathbf{r}}_i \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} = Q_k \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (0.7)$$

bağıntısını elde ederiz.

Sistemin bir virtüel yer değişimi yapmasının, $q_{k\dots}$ genelleştirilmiş koordinatlarına $\delta q_{k\dots}$ virtüel yer değiştirmeleri vermekle mümkün olduğunu biliyoruz. $\delta q_{k\dots}$ lar birbirinden bağımsız ve keyfi olduğuna göre $\delta q_{k\dots}$ dışındaki bütün virtüel yer değiştirmelerin sıfır olduğu özel bir virtüel yer değişimini göz önüne alalım. Bu özel virtüel yer değiştirmede, (0.3) e göre

$$\partial \mathbf{r}_i = \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} \delta q_k \quad (i = 1, 2, \dots, p) \quad (0.8)$$

olur ve F_i aktif kuvvetlerinin virtüel işleri toplamı için

$$\delta A^{(k)} = \sum_{i=1}^p \mathbf{F}_i \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} \delta q_k = \left[\sum_{i=1}^p \mathbf{F}_i \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} \right] \delta q_k$$

bulunur. (0.6) ile karşılaştırılması sonucu ise

$$\delta A^{(k)} = Q_k \delta q_k \quad (0.9)$$

elde edilir.

Buna göre q_k genelleştirilmiş koordinatına tekabül eden Q_k genelleştirilmiş kuvveti, q_k koordinatına δq_k değişimi verilip diğer genelleştirilmiş koordinatların sabit tutulması suretiyle ortaya çıkacak virtüel yer değiştirmede bütün aktif kuvvetlerin virtüel işlerinin toplamının tayini ile bulunur. $Q_k \delta q_k$ çarpımına Q_k genelleştirilmiş kuvvetinin virtüel işi gözüyle bakabiliriz.

Böylece (0.6) ile tarif edilen Q_k genelleştirilmiş kuvvetinin fiziksel anlamı ve nasıl hesaplanacağı ortaya konmuş olmaktadır.

Şimdi sistemin $q_{k\dots}$ lara $\delta q_{k\dots}$ değişimleri verilerek elde edilecek genel bir virtüel yer değiştirmesini göz önüne alalım. Sistemin bu virtüel yer değiştirmesi önce q_2 ve δq_2 değişmesini verip diğer $q_{k\dots}$ ları sabit tutmak, böylece devam etmek suretiyle arka arkaya elde edilecek kısmi (özel) virtüel yer değiştirmelerin toplamı olarak düşünülebilir. Çünkü, (0.3) den görüldüğü gibi, δr_i ifadeleri $\delta q_{k\dots}$ lara göre lineerdir. Bu genel virtüel yer değiştirme sırasında bütün aktif kuvvetlerin yaptıkları işlerin toplamı da

$$\delta A = \sum_{k=1}^n \delta A^{(k)} = \sum_{k=1}^n Q_k \delta q_k \quad (0.10)$$

olur. (0.8) göz önüne alınarak toplam virtüel iş

$$\delta A = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^p \mathbf{F}_i \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} \delta q_k \quad (0.11)$$

şeklinde de yazılabilir.

Aynı sonucu doğrudan doğruya da elde edebiliriz. $q_{k\dots}$ lara $\delta q_{k\dots}$ değişimleri verilmesiyle ortaya çıkacak virtüel yer değiştirmeler (0.3) denkleminde alınır, \mathbf{F}_i kuvvetinin bu virtüel yer değiştirmede yaptığı virtüel iş

$$\delta A_i = \mathbf{F}_i \sum_{k=1}^n \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} \delta q_k \quad (0.12)$$

olur. Bunların toplamı alınarak bütün aktif kuvvetlerin virtüel işleri toplamı

$$\delta A = \sum_{i=1}^p \delta A_i = \sum_{i=1}^p \mathbf{F}_i \sum_{k=1}^n \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} \delta q_k = \sum_{i=1}^p \sum_{k=1}^n \mathbf{F}_i \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} \delta q_k \quad (0.13)$$

olarak bulunur. Bu sonucun, toplamın sırası değiştirilmek suretiyle (0.11) ile aynı olduğu derhal görülür.

(0.10) denklemi, herhangi bir virtüel yer değiştirmede aktif kuvvetlerin virtüel işleri toplamının genelleştirilmiş kuvvetlerin virtüel işleri toplamına eşit olduğunu ifade etmektedir.

Burada genelleştirilmiş koordinatın boyutuna göre genelleştirilmiş kuvvetin kuvvet veya moment boyutunu haiz olduğuna işaret edelim.

Şimdi tekrar (0.7) denklemlerine dönelim ve bunların sol tarafını değişik bir şekilde ifade edelim:

$$\sum_{i=1}^p m_i \ddot{\mathbf{r}}_i \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} = \frac{d}{dt} \left(\sum_{i=1}^p m_i \dot{\mathbf{r}}_i \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} \right) - \sum_{i=1}^p m_i \dot{\mathbf{r}}_i \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} \right) \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (0.14)$$

Diğer taraftan

$$\dot{\mathbf{r}}_i = \frac{d\mathbf{r}_i}{dt} = \sum_{k=1}^n \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} \dot{q}_k + \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial t} \quad (0.15)$$

ifadesinin \dot{q}_k ya göre kısmi türevi alınarak

$$\frac{\partial \dot{\mathbf{r}}_i}{\partial \dot{q}_k} = \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} \quad (0.16)$$

bağıntısı bulunur. Ayrıca sürekli türetilebilirlik halinde caiz olduğu üzere türetmenin sırasını değiştirerek

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} \right) = \frac{\partial}{\partial q_k} \left(\frac{d\mathbf{r}_i}{dt} \right) = \frac{\partial \dot{\mathbf{r}}_i}{\partial q_k} \quad (0.17)$$

elde ederiz.

$$\sum_{i=1}^p m_i \ddot{\mathbf{r}}_i \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} = \frac{d}{dt} \left(\sum_{i=1}^p m_i \dot{\mathbf{r}}_i \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} \right) - \sum_{i=1}^p m_i \dot{\mathbf{r}}_i \frac{\partial \dot{\mathbf{r}}_i}{\partial q_k} \quad (0.18)$$

şeklinde yazılır.

Sistemin kinetik enerjisi;

$$T = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^p m_i \dot{r}_i^2 \quad (0.19)$$

olduğuna göre, türetme yolu ile

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k} = \sum_{i=1}^p m_i \dot{r}_i \frac{\partial \dot{r}_i}{\partial \dot{q}_k} \quad (0.20)$$

ve

$$\frac{\partial T}{\partial q_k} = \sum_{i=1}^p m_i \dot{r}_i \frac{\partial \dot{r}_i}{\partial q_k} \quad (0.21)$$

olur. (0.17) denkleminde bunlar dikkate alınır (0.7) yerine

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_k} = Q_k \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (0.22)$$

denklemler takımını elde edilir. Elde edilen bu denklemlere “*İkinci Nevinden Lagrange Denklemleri*” denir.

Sistemin hareket denklemlerinin bu şekilde elde edilmesinin başlıca iki avantajı vardır:

- 1- Burada söz konusu olan T kinetik enerjisinin skaler bir büyüklük olması ve ivmelere göre önemli ölçüde daha kolay olarak tayin edilebilen hızlardan daha yüksek türevleri ihtiva etmesi.
- 2- Q_k genelleştirilmiş kuvvetlerin göz önüne alınması dolayısıyla denklemlerin yazılışında bağı kuvvetlerine ihtiyaç duyulmaması.

4.2. Potansiyel Fonksiyonun Mevcut Olması Halinde Lagrange Denklemleri,

Hareketli bir maddesel noktaya tesir eden aktif kuvvet, noktanın yerine bağlı bir fonksiyonla ifade edilebiliyorsa, yani

$$F = F(x, y, z)$$

ise bir kuvvet alanından bahsedilir. Bu fonksiyon t zamanını da açık olarak ihtiva ediyorsa, yani

$$F = F(x, y, z, t)$$

ise, zamanla değişen kuvvet alanından söz edilir. F kuvvet vektörüne alan vektörü denir.

Eğer,

$$F_x = -\frac{\partial V}{\partial x}, F_y = -\frac{\partial V}{\partial y}, F_z = -\frac{\partial V}{\partial z} \quad (0.23)$$

olacak şekilde bir $V = V(x, y, z, t)$ fonksiyonu bulmak mümkünde, bu fonksiyona *potansiyel* veya *potansiyel fonksiyonu*, yahut da bu kuvvet alanında hareket eden maddesel noktanın *potansiyel enerjisi* denir. Eğer V fonksiyonu t zamanına açık olarak bağlı değilse konservatif kuvvet alanından söz edilir. Böyle bir kuvvete de *konservatif kuvvet* denir.

Benzer tarifler maddesel nokta sistemleri için de yapılabilir. Aktif kuvvetler

$$F_{x,i} = -\frac{\partial V^*}{\partial x_i}, F_{y,i} = -\frac{\partial V^*}{\partial y_i}, F_{z,i} = -\frac{\partial V^*}{\partial z_i}, \quad (0.24)$$

olmak üzere bir $V = V(x_1, y_1, z_1, \dots, x_p, y_p, z_p, t)$ potansiyelinden elde edilebiliyorsa genelleştirilmiş kuvvetler de $V = V(q_1, q_2, \dots, q_n, t)$ potansiyel fonksiyonundan

$$Q = -\frac{\partial V}{\partial q_k} \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (0.25)$$

tarzında elde edilir. V fonksiyonu t zamanına açık olarak bağlı değilse yine konservatif kuvvet alanından söz edilir.

Bir potansiyel fonksiyonun mevcut olması haline sık sık rastlanır. Bu halde (0.21) Lagrange Denklemleri

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_k} = - \frac{\partial V}{\partial q_k} \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (0.26)$$

olur ve bu da

$$L = T - V \quad (0.27)$$

olmak üzere

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_k} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_k} = 0 \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (0.28)$$

şeklinde yazılabilir. (0.28) ile tarif edilen L büyüklüğüne *Kinetik Potansiyel* veya *Lagrange Fonksiyonu* adı verilir.

Bazı hallerde kuvvetlerin yalnız bir kısmı için potansiyel fonksiyonu mevcut olabilir. Bu halde genelleştirilmiş \bar{Q}_k , kuvveti ile kısmından ibarettir:

$$\bar{Q}_k = Q_k^* + Q_k \quad (0.29)$$

Buradan Q_k^* ($k = 1, 2, \dots, n$) için

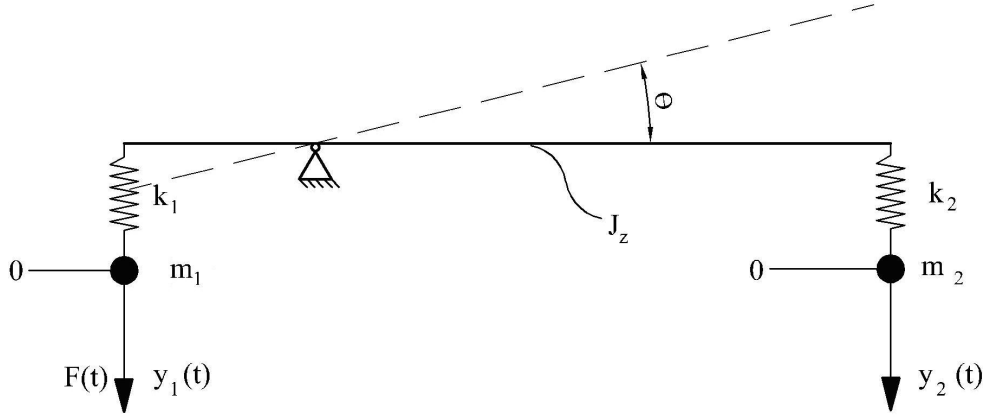
$$Q_k^* = - \frac{\partial V(q_{k\dots}, t)}{\partial q_k} \quad (0.30)$$

bağlantıları mevcut olsun. Bu taktirde Lagrange Denklemleri, $L = T - V$ olmak üzere

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_k} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_k} = Q_k \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (0.31)$$

şeklini alır. (Pasin, 1994)

4.3. Mevcut Sistemin Hareket Denklemleri



Şekil 4-1 Mevcut kamera kren sisteminin modeli.

Sistemin kinetik enerjisi;

$$T = \frac{1}{2} I_1 \dot{\alpha}_1^2 + \frac{1}{2} I_2 \dot{\alpha}_2^2$$

ve sistemin potansiyel enerjisi;

$$V = -m_1 g L_1 \sin \alpha_1 + m_2 g L_2 \sin \alpha_2 + \frac{1}{2} k_1 \delta_1^2 + \frac{1}{2} k_2 \delta_2^2$$

şeklinde yazılır. Buradan,

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\alpha}_1} = I_1 \dot{\alpha}_1, \quad \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\alpha}_1} \right) = I_1 \ddot{\alpha}_1, \quad \frac{\partial V}{\partial \alpha_1} = -m_1 g L_1 \cos \alpha_1 + k_1 (\theta - \alpha_1)$$

denklemleri yazılarak, Lagrange Denklemi ifadesinden,

$$I_1 \ddot{\alpha}_1 + k_1 (\theta - \alpha_1) - m_1 g L_1 \cos \alpha_1 = F \cdot L_1$$

şeklindeki, sistemin hareket denkleminde ulaşılır.

Sistemin ikinci kısmı için de

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\alpha}_2} = I_2 \dot{\alpha}_2, \quad \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\alpha}_2} \right) = I_2 \ddot{\alpha}_2, \quad \frac{\partial V}{\partial \alpha_2} = -m_2 g L_2 \cos \alpha_2 + k_2 (\theta + \alpha_2)$$

denklemleri yazılarak, yine Lagrange Denklemi ifadesinden,

$$I_2 \ddot{\alpha}_2 + k_2 (\theta - \alpha_2) + m_2 g L_2 \cos \alpha_2 = 0$$

hareket denklemine ulaşılır.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalar kapsamında, 2'si alüminyum, biri cam elyaf ve biri karbon fiber olmak üzere 4 farklı malzemeden oluşturulan kamera kren sistemi modeli üzerinde deplasman-zaman grafikleri elde edilmiştir. Oluşturulan sisteme ait sehim, başlangıç şartları vs. verileri tespit edildikten sonra, modal çekiç ile bilinen bir kuvvet uygulanarak tahrik edilen yapıdan bir ivmeölçer aracılığıyla ivme verisi toplanmıştır. Analizörün kendi bünyesinde yer alan bir program vasıtasıyla gerekli integrasyonlar da yapılarak, deplasman verisi elde edilmiştir. Daha sonra bu veriler Pulse Live programı ile işlenerek, deplasman-zaman grafikleri oluşturulmuştur. Yapılan analitik çalışmaları doğrulamak için bu grafikler ile analitik çalışmalardan elde edilen grafikler karşılaştırılmıştır.

Modal çekiç, ivmeölçer, analizör sistemi ve kamera kren sistem modelinden oluşan deney düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 5-1 Deney düzeneği.

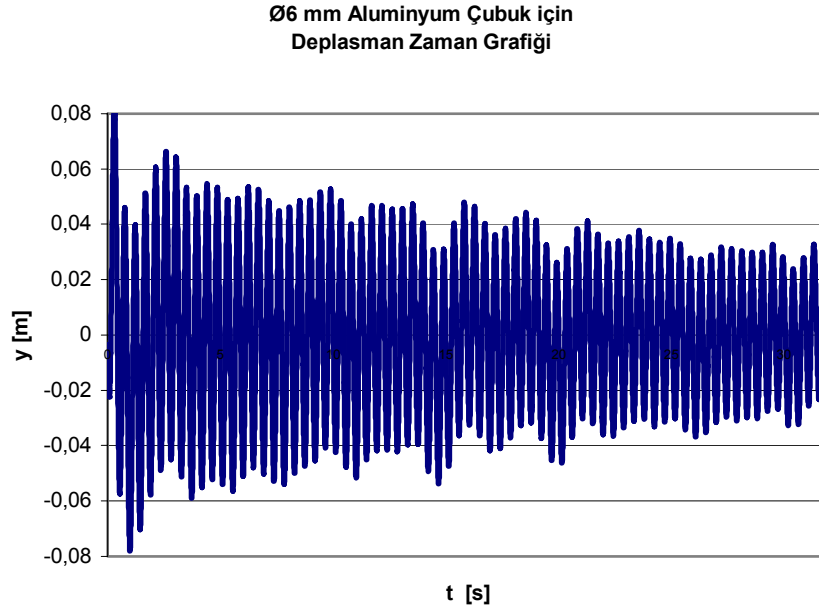
Bunların yanısıra kullanılan malzemelerin uygunluğunu kendi aralarında karşılaştırmak üzere, çubuklar 0, -15, +15, 30, -30 derecelik açılarda mesnetlenmiş ve boru uçlarına ağırlıklar asılmış olarak deneyler tekrarlanmıştır. Aynı işlem mafsallı sistemde dengeleyici ağırlık tarafına fazla ağırlığı serbest şekilde bırakıp belli mesafede hareketi durdurarak tekrarlanmıştır.

5.1. Farklı Açılarda Mesnetlenmiş Çubukların Deplasman- Zaman Grafikleri

Bu bölümde, boru uçlarına ağırlıklar asılmış, 0, -15, +15, 30, -30 derecelik açılarda mesnetlenmiş çubukların bilinen bir kuvvetle tahrik edilmesi sonucu elde edilen deplasman verilerine göre oluşturulan deplasman-zaman grafiklerine yer verilmiştir.

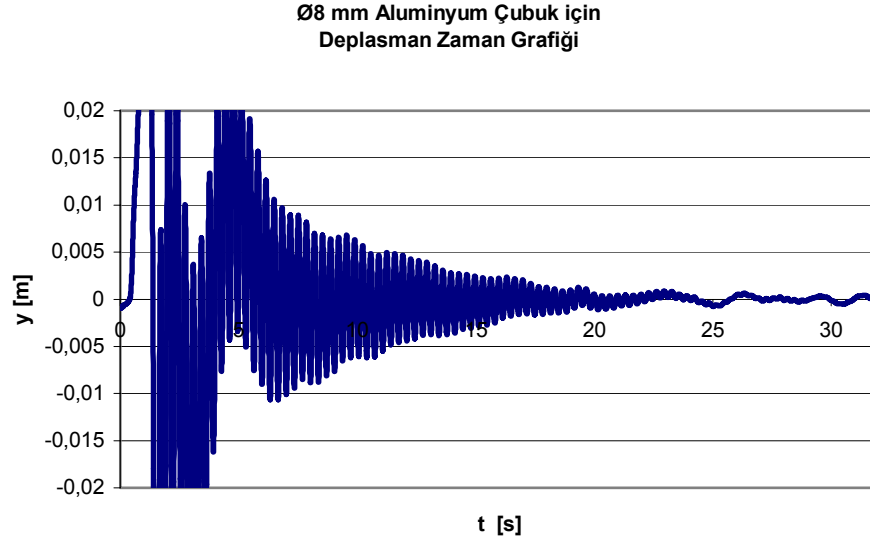
5.1.1. 0°'lik Açıda Mesnetlenmiş Çubukların Deplasman- Zaman Grafikleri

Şekil 5-2'de, 0°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø6 mm alüminyum çubuk için deplasman-zaman grafiği gösterilmiştir.



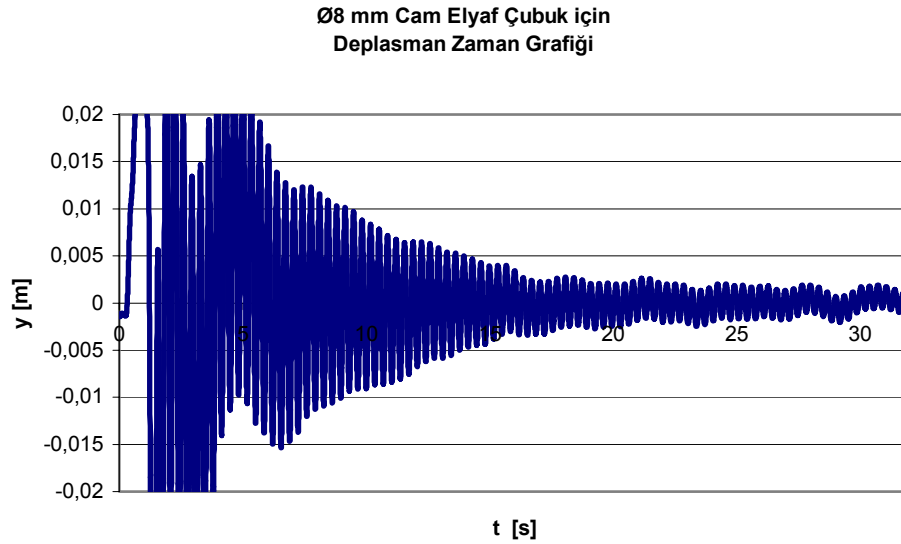
Şekil 5-2 0°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø6 mm alüminyum çubuk için deplasman-zaman grafiği.

Şekil 5-3'te, 0°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø8 mm alüminyum çubuk için deplasman-zaman grafiği gösterilmiştir.



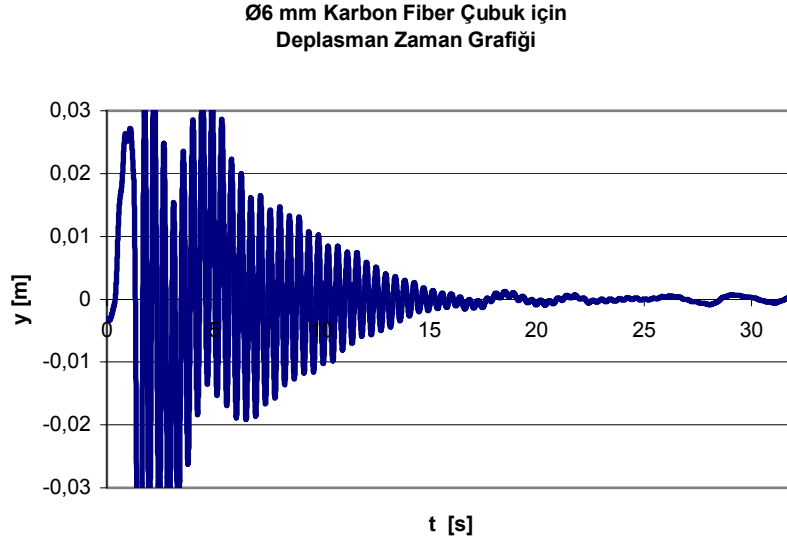
Şekil 5-3 0° 'lik açıda mesnetlenmiş, Ø8 mm alüminyum çubuk için deplasman-zaman grafiği.

Şekil 5-4'te, 0° 'lik açıda mesnetlenmiş, Ø8 mm cam elyaf çubuk için deplasman-zaman grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5-4 0° 'lik açıda mesnetlenmiş, Ø8 mm cam elyaf çubuk için deplasman-zaman grafiği.

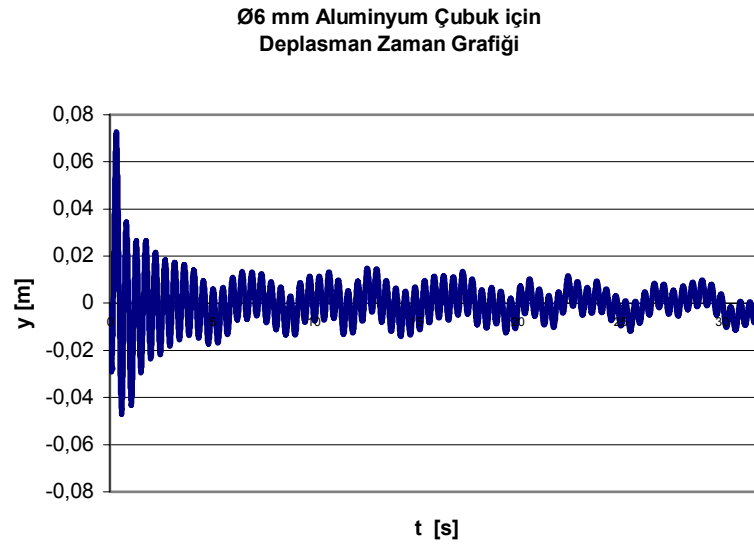
Şekil 5-5'te, 0° 'lik açıda mesnetlenmiş, Ø6 mm karbon fiber çubuk için deplasman-zaman grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5-5 0° 'lik açıda mesnetlenmiş, Ø6 mm karbon fiber çubuk için deplasman-zaman grafiği.

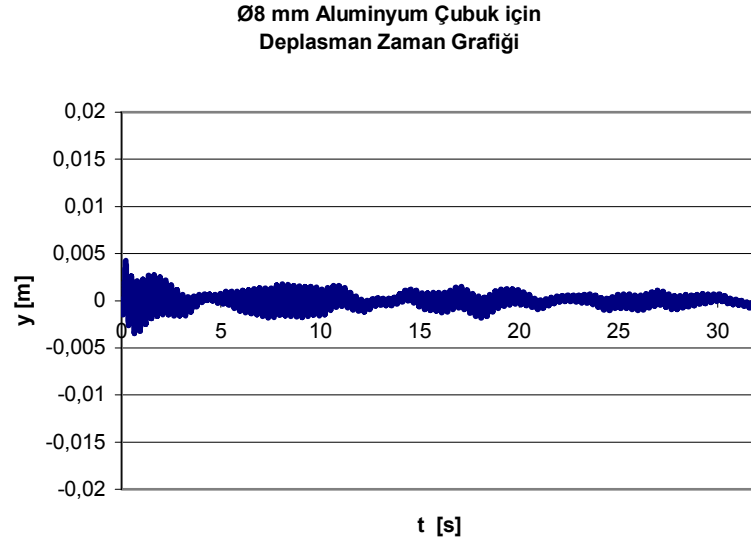
5.1.2. 15° 'lik Açıda Mesnetlenmiş Çubukların Deplasman- Zaman Grafikleri

Şekil 5-6'da, 15° 'lik açıda mesnetlenmiş, Ø6 mm alüminyum çubuk için deplasman-zaman grafiği gösterilmiştir.



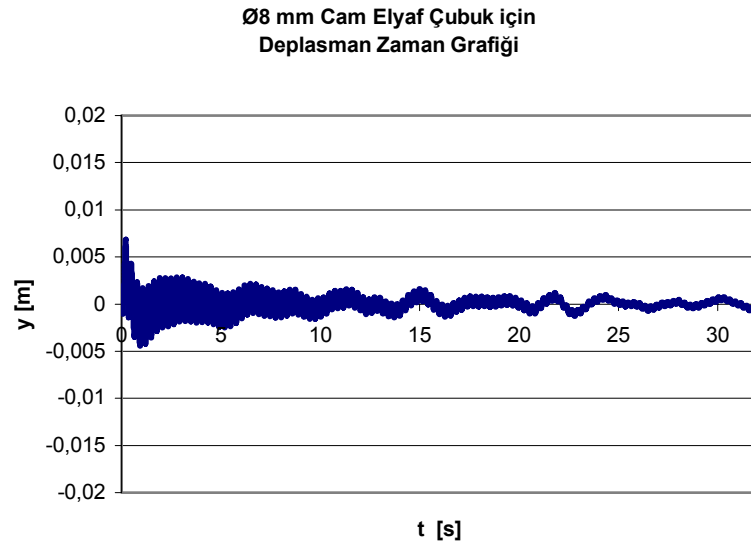
Şekil 5-6 15° 'lik açıda mesnetlenmiş, Ø6 mm alüminyum çubuk için deplasman-zaman grafiği.

Şekil 5-7’de, 15°’lik açıda mesnetlenmiş, Ø8 mm alüminyum çubuk için deplasman-zaman grafiği gösterilmiştir.



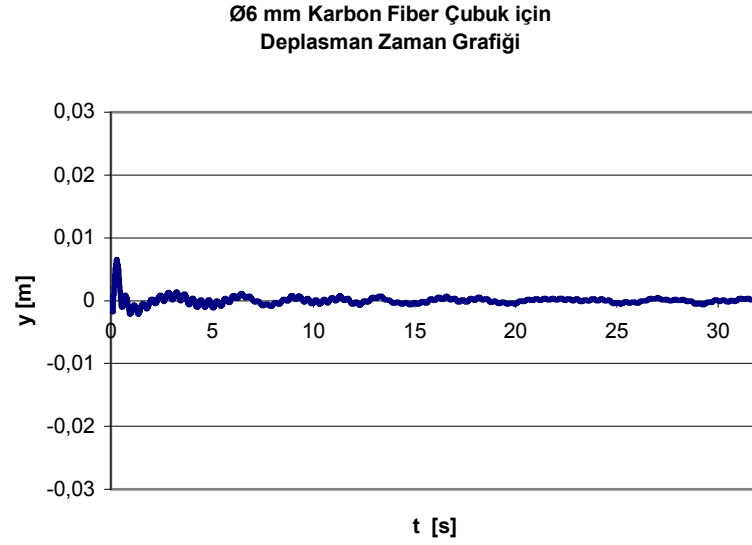
Şekil 5-7 15°’lik açıda mesnetlenmiş, Ø8 mm alüminyum çubuk için deplasman-zaman grafiği.

Şekil 5-8’de, 15°’lik açıda mesnetlenmiş, Ø8 mm cam elyaf çubuk için deplasman-zaman grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5-8 15°’lik açıda mesnetlenmiş, Ø8 mm cam elyaf çubuk için deplasman-zaman grafiği.

Şekil 5-9'da, 15° 'lik açıda mesnetlenmiş, $\text{Ø}6$ mm karbon fiber çubuk için deplasman-zaman grafiği gösterilmiştir.

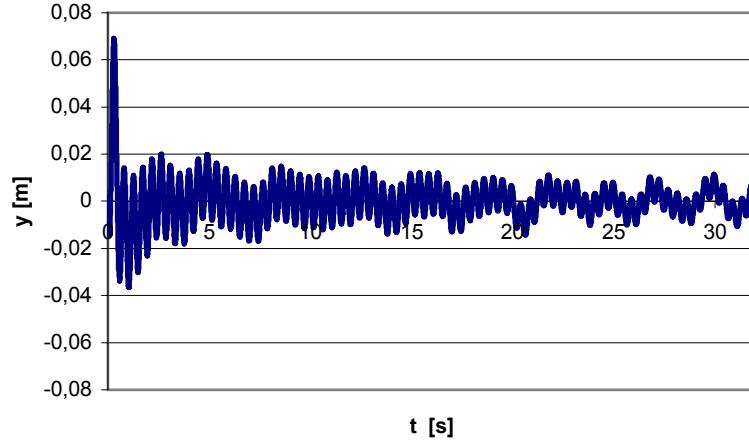


Şekil 5-9 15° 'lik açıda mesnetlenmiş, $\text{Ø}6$ mm karbon fiber çubuk için deplasman-zaman grafiği.

5.1.3. -15° 'lik Açıda Mesnetlenmiş Çubukların Deplasman- Zaman Grafikleri

Şekil 5-10'da, -15° 'lik açıda mesnetlenmiş, $\text{Ø}6$ mm alüminyum çubuk için deplasman-zaman grafiği gösterilmiştir.

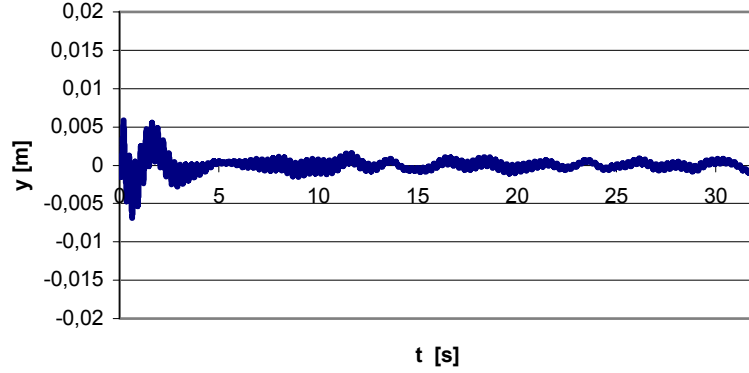
Ø6 mm Alüminyum Çubuk için
Deplasman Zaman Grafiği



Şekil 5-10 -15°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø6 mm alüminyum çubuk için deplasman-zaman grafiği.

Şekil 5-11'de, -15°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø8 mm alüminyum çubuk için deplasman-zaman grafiği gösterilmiştir.

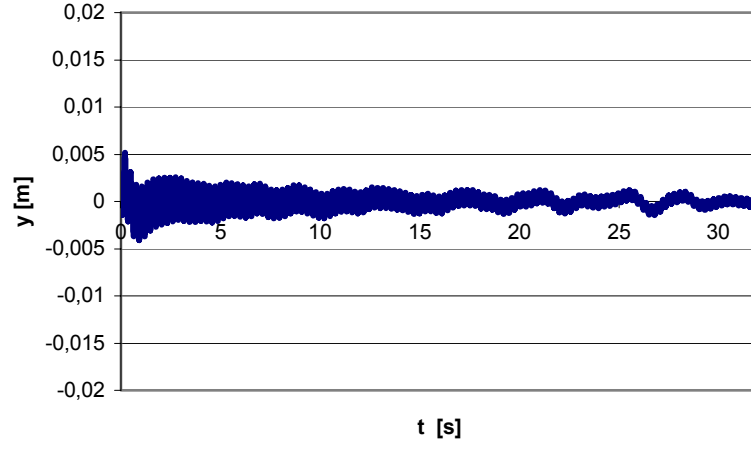
Ø8 mm Alüminyum Çubuk için
Deplasman Zaman Grafiği



Şekil 5-11 -15°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø8 mm alüminyum çubuk için deplasman-zaman grafiği.

Şekil 5-12'de, -15°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø8 mm cam elyaf çubuk için deplasman-zaman grafiği gösterilmiştir.

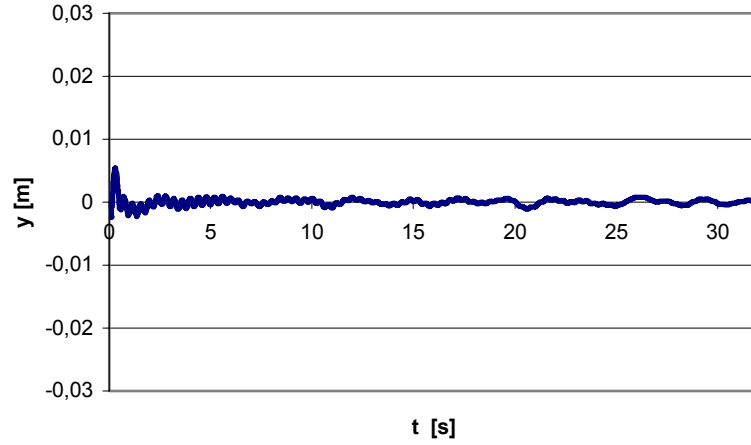
Ø8 mm Cam Elyaf Çubuk için
Deplasman Zaman Grafiği



Şekil 5-12 -15°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø8 mm cam elyaf çubuk için deplasman-zaman grafiği.

Şekil 5-13'te, -15°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø6 mm karbon fiber çubuk için deplasman-zaman grafiği gösterilmiştir.

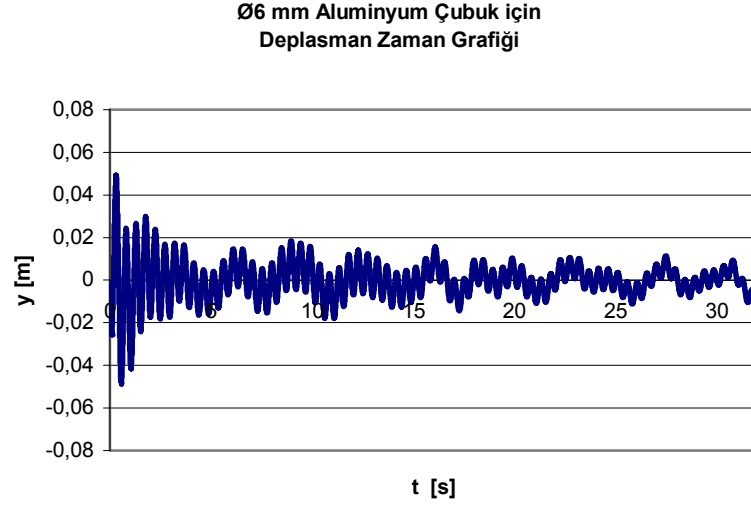
Ø6 mm Karbon Fiber Çubuk için
Deplasman Zaman Grafiği



Şekil 5-13 -15°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø6 mm karbon fiber çubuk için deplasman-zaman grafiği.

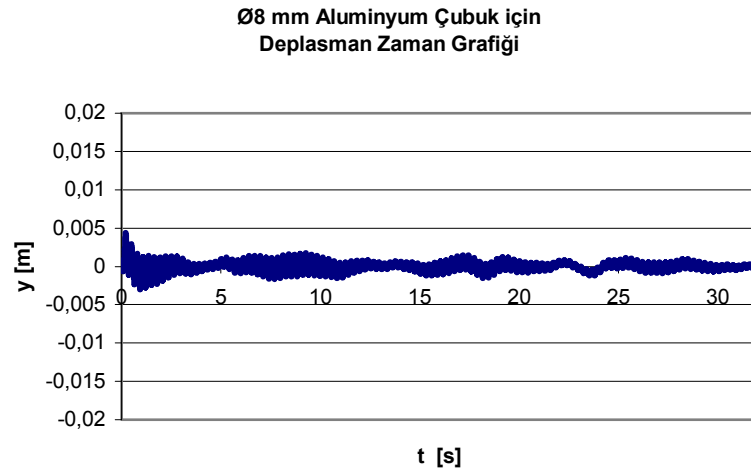
5.1.4. 30°'lik Açıda Mesnetlenmiş Çubukların Deplasman- Zaman Grafikleri

Şekil 5-14'te, 30°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø6 mm alüminyum çubuk için deplasman-zaman grafiği gösterilmiştir.



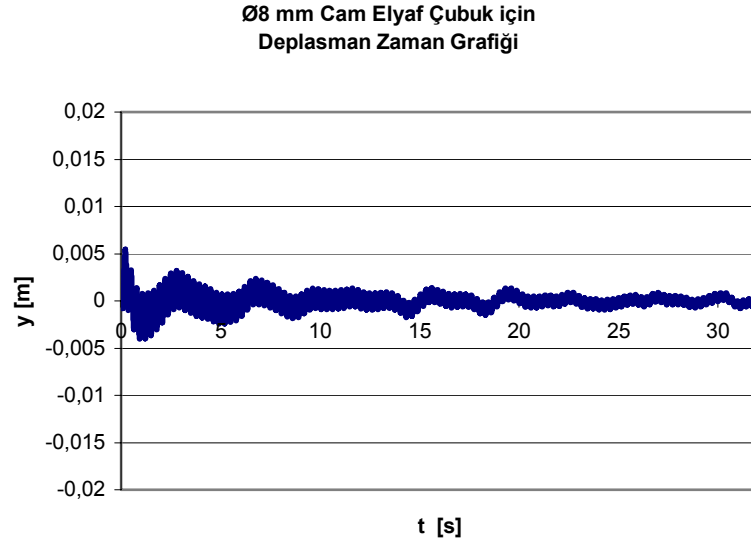
Şekil 5-14 30°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø6 mm alüminyum çubuk için deplasman-zaman grafiği.

Şekil 5-15'te, 30°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø8 mm alüminyum çubuk için deplasman-zaman grafiği gösterilmiştir.



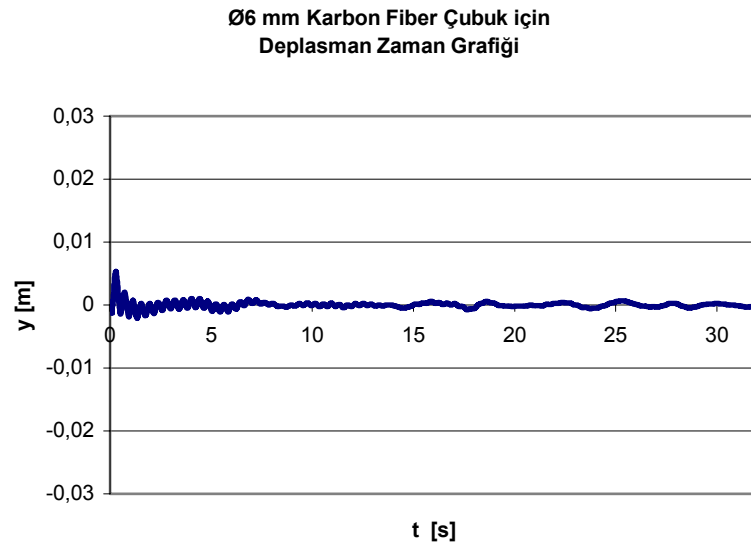
Şekil 5-15 30°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø8 mm alüminyum çubuk için deplasman-zaman grafiği.

Şekil 5-16'da, 30°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø8 mm cam elyaf çubuk için deplasman-zaman grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5-16 30°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø8 mm cam elyaf çubuk için deplasman-zaman grafiği.

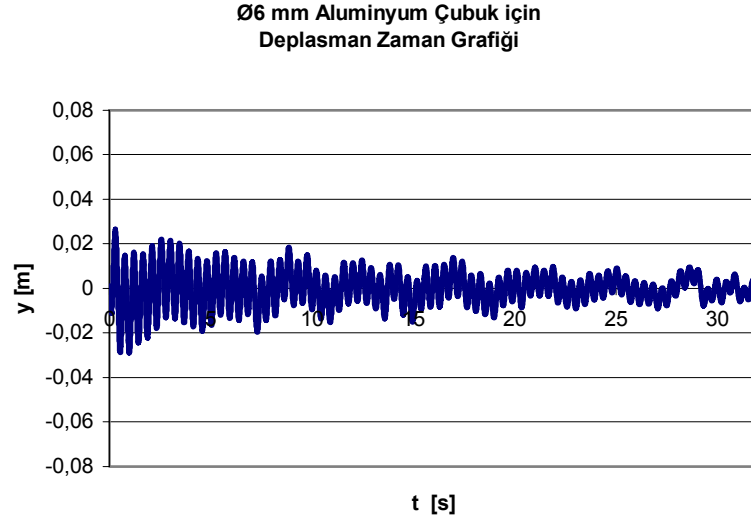
Şekil 5-17'de, 30°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø6 mm karbon fiber çubuk için deplasman-zaman grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5-17 30°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø6 mm karbon fiber çubuk için deplasman-zaman grafiği.

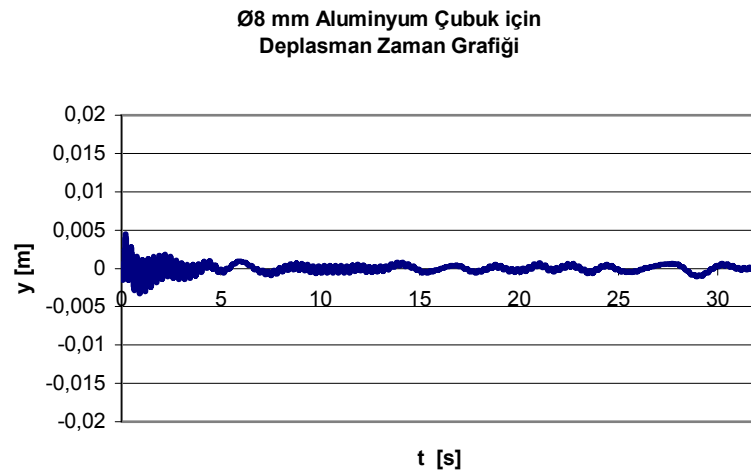
5.1.5. -30°'lik Açıda Mesnetlenmiş Çubukların Deplasman- Zaman Grafikleri

Şekil 5-18'de, -30°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø6 mm alüminyum çubuk için deplasman-zaman grafiği gösterilmiştir.



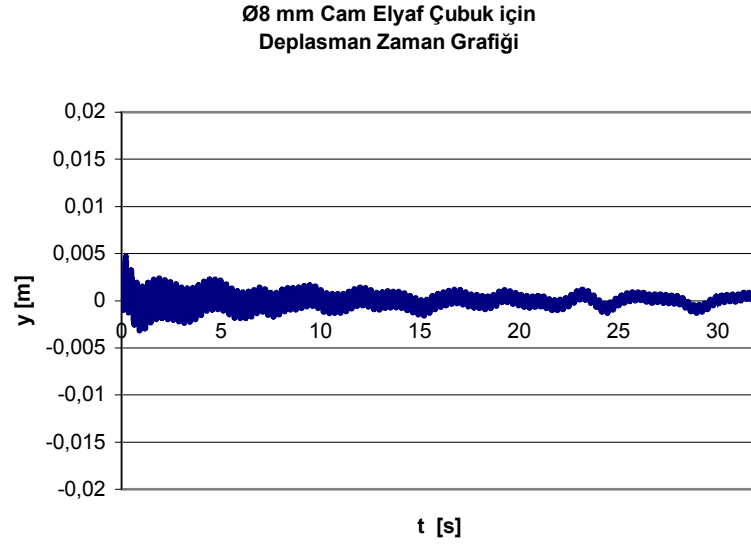
Şekil 5-18 -30°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø6 mm alüminyum çubuk için deplasman-zaman grafiği.

Şekil 5-19'da, -30°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø8 mm alüminyum çubuk için deplasman-zaman grafiği gösterilmiştir.



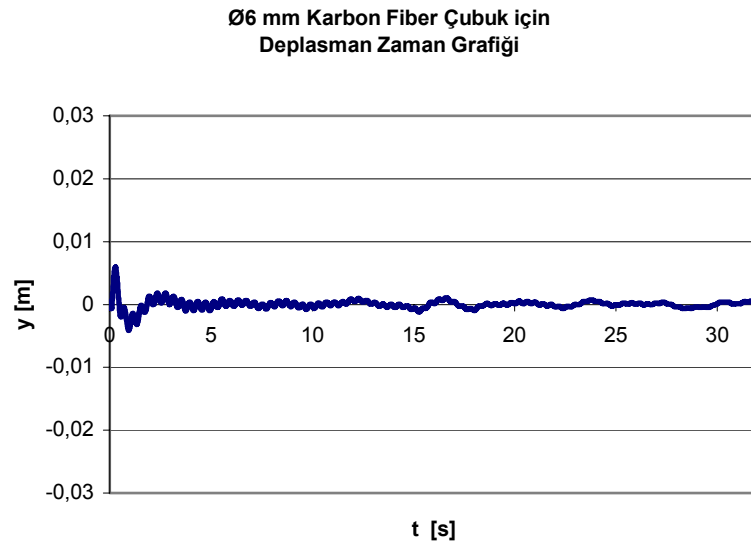
Şekil 5-19 -30°'lik açıda mesnetlenmiş, Ø8 mm alüminyum çubuk için deplasman-zaman grafiği.

Şekil 5-20'de, -30° 'lik açıda mesnetlenmiş, $\varnothing 8$ mm cam elyaf çubuk için deplasman-zaman grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5-20 -30° 'lik açıda mesnetlenmiş, $\varnothing 8$ mm cam elyaf çubuk için deplasman-zaman grafiği.

Şekil 5-21'de, -30° 'lik açıda mesnetlenmiş, $\varnothing 6$ mm karbon fiber çubuk için deplasman-zaman grafiği gösterilmiştir.



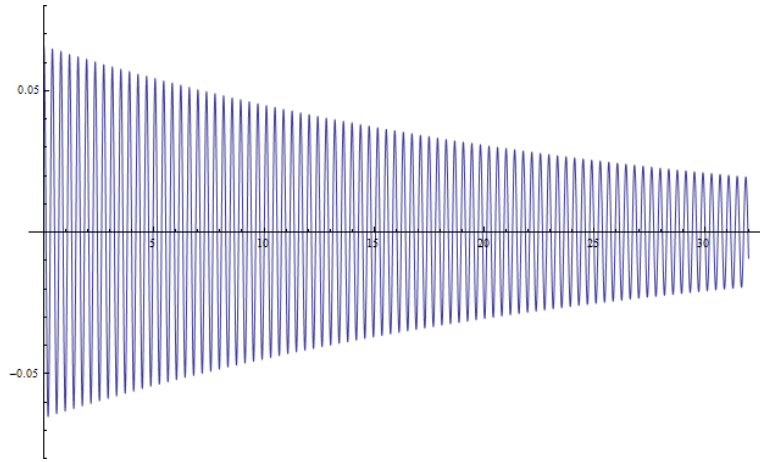
Şekil 5-21 -30° 'lik açıda mesnetlenmiş, $\varnothing 6$ mm karbon fiber çubuk için deplasman-zaman grafiği.

5.2. Deplasman- Zaman Grafiklerinin Karşılaştırılması

Bu bölümde, 4 tip kamera kren sistemi modeli için analitik ve deneysel olarak elde edilen deplasman-zaman grafikleri karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda oluşturulan analitik modelin deneysel model ile doğrulandığı gözlemlenmiştir.

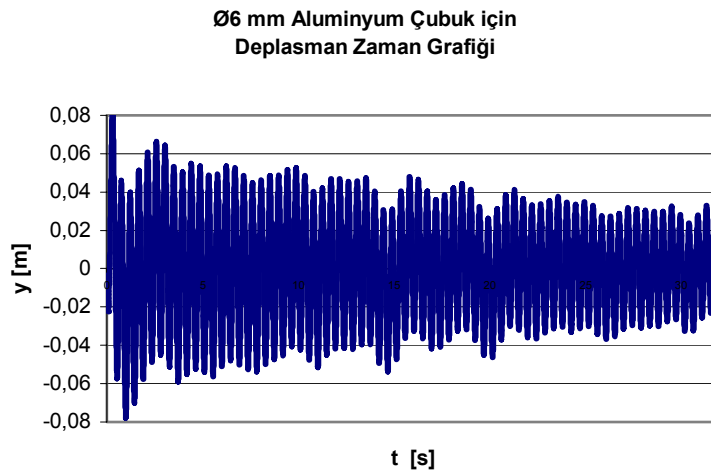
5.2.1. Ø6 mm Alüminyum Çubuk için Deplasman Zaman Grafikleri

Mathematica programı ile elde edilen grafik:



Şekil 5-22 Ø6 mm alüminyum çubuk için Mathematica programı ile elde edilen deplasman zaman grafiği.

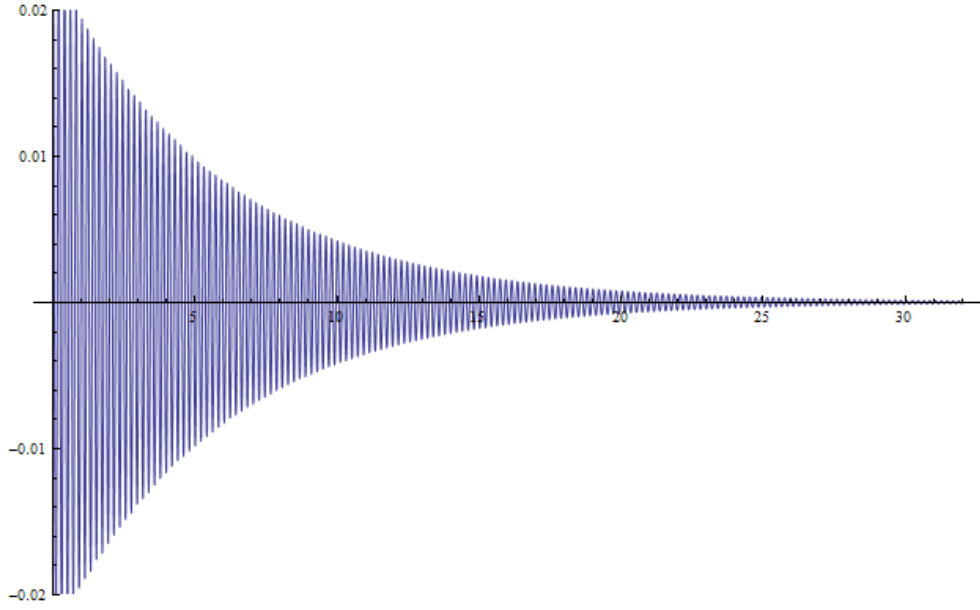
Deneysel olarak elde edilen grafik:



Şekil 5-23 Ø6 mm alüminyum çubuk için deneysel olarak elde edilen deplasman zaman grafiği.

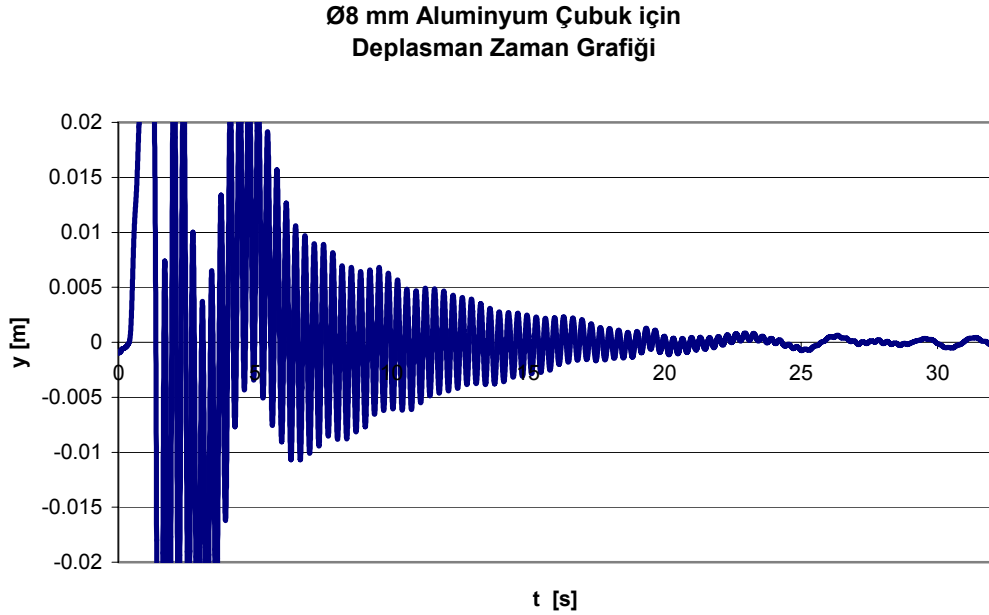
5.2.2. Ø8 mm Alüminyum Çubuk için Deplasman Zaman Grafikleri

Mathematica programı ile elde edilen grafik:



Şekil 5-24 Ø8 mm alüminyum çubuk için Mathematica programı ile elde edilen deplasman zaman grafiği.

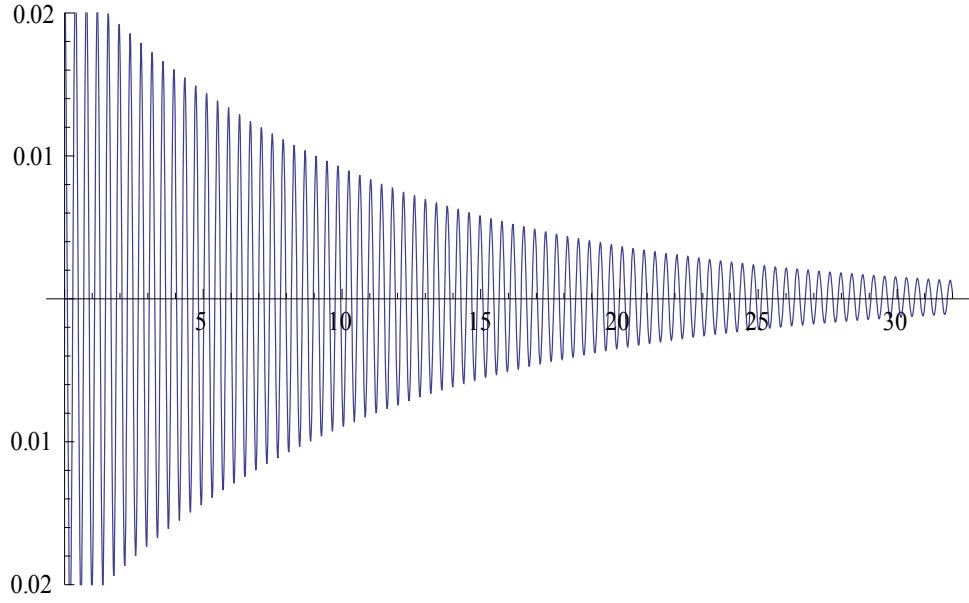
Deneysel olarak elde edilen grafik:



Şekil 5-25 Ø8 mm alüminyum çubuk için deneysel olarak elde edilen deplasman zaman grafiği.

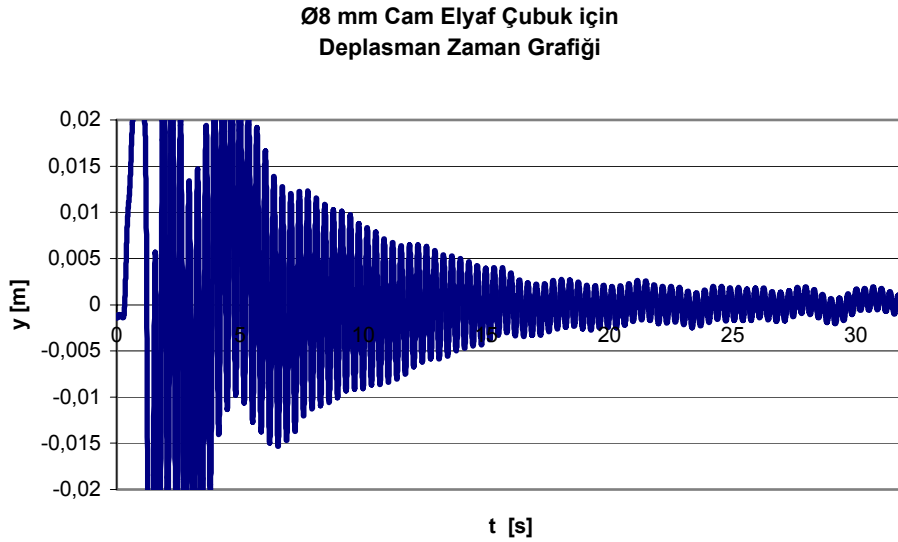
5.2.3. Ø8 mm Cam Elyaf Çubuk için Deplasman Zaman Grafikleri

Mathematica programı ile elde edilen grafik:



Şekil 5-26 Ø8 mm cam elyaf çubuk için Mathematica programı ile elde edilen deplasman zaman grafiği.

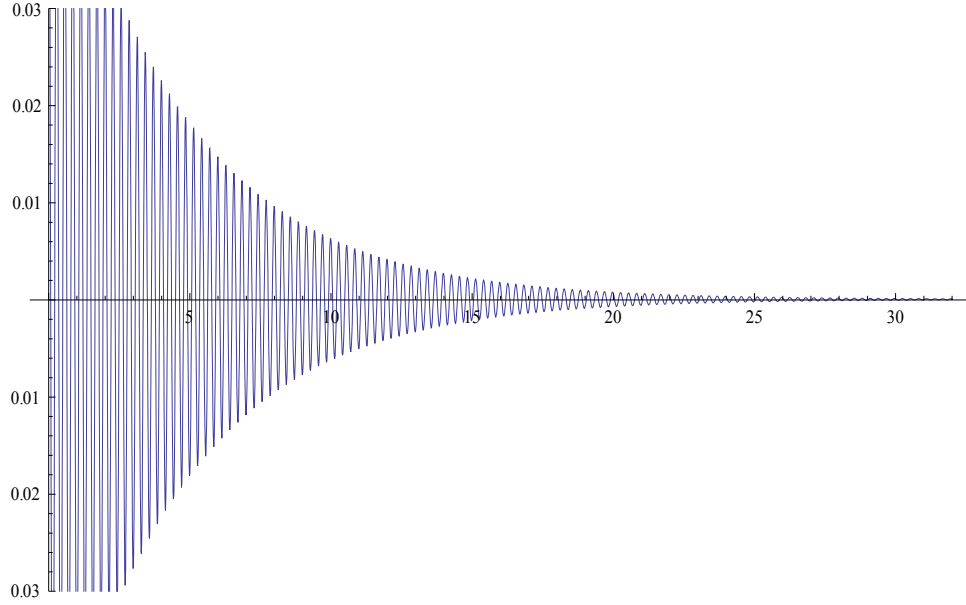
Deneysel olarak elde edilen grafik:



Şekil 5-27 Ø8 mm cam elyaf çubuk için deneysel olarak elde edilen deplasman zaman grafiği.

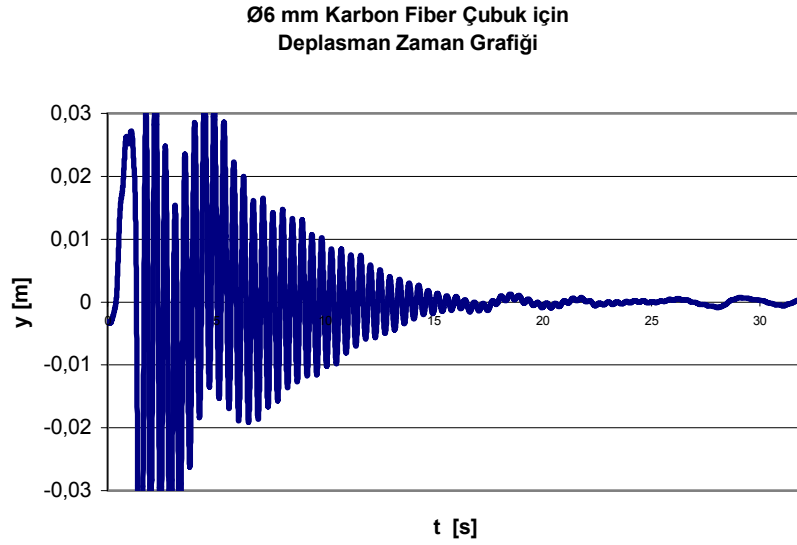
5.2.4. Ø6 mm Karbon Fiber Çubuk için Deplasman Zaman Grafikleri

Mathematica programı ile elde edilen grafik:



Şekil 5-28 Ø6 mm karbon fiber çubuk için Mathematica programı ile elde edilen deplasman zaman grafiği.

Deneysel olarak elde edilen grafik:



Şekil 5-29 Ø6 mm cam elyaf çubuk için deneysel olarak elde edilen deplasman zaman grafiği.

6. SONUÇLAR ve GENEL DEĞERLENDİRME

Tez kapsamında kompozit malzemelerin kamera kren sisteminde uygulanabilirliğini incelemek amacıyla, karbon fiber, cam elyaf ve alüminyum borular üzerinde analitik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Analitik çalışmalar kapsamında sistem yay-kütle sistemi şeklinde modellenip, Lagrange metodu kullanılarak sistemin hareket denklemleri çıkartılmıştır. Deneysel olarak hesaplanan ‘‘k’’ katılık değerleri denklemlerde yerine konularak, boruların deplasman-zaman grafikleri Mathematica programı ile çizdirilmiştir.

Deneysel çalışmalarda çubuklar 0, -15, +15, 30, -30 derecelik açılarda mesnetlenmiş, boru uçlarına ağırlıklar asılmıştır. Ağırlıkların üstüne ivme ölçerin sensörleri yerleştirilmiş ve borular modal çekiç vasıtasıyla tahrik edilmiştir. Aynı işlem mafsallı sistemde dengeleyici ağırlık tarafına fazla ağırlığı serbest şekilde bırakıp belli mesafede hareketi durdurarak tekrarlanmıştır. Deplasman-zaman grafikleri ivme ölçer sayesinde deneysel olarak 32 saniye boyunca çizdirilmiştir. Bu grafikler analitik olarak hesaplanıp çizdirilen grafiklerle karşılaştırılmıştır.

Tez boyunca yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar:

- 0°’de mesnetlenmiş sistemde 6mm çaplı karbon fiber boru 16. saniye’de titreşimi tamamen sönümlenmiş aynı çaptaki alüminyum ise 32. saniye sonunda titreşimlerin küçük bir bölümünü sönümleyebilmiştir. 8mm çapındaki alüminyum ve cam elyaf ise hemen hemen aynı sonuçları vermiştir.
- -15° , +15° derecede 6mm karbon fiber 3. saniyede aynı çaptaki alüminyum boruda ise 32. saniye sonunda küçüğe olsa titreşimler gözlenmiştir. 8mm’lik alüminyum ve cam elyaf borular arasında sönüm zamanlarında önemli farklar görülmemiştir.
- -30° , +30° derecede benzer sonuçlara ulaşılmış karbon fiber boru alüminyuma göre titreşimleri çabuk sönümlenmiş, cam elyaf ise alüminyuma yakın sonuçlar vermiştir.
- Mafsallı sistemde kütlelerin serbest bırakılmasıyla elde edilen sonuçlarda 6mm’lik karbon fiber-alüminyumun ölçümleri ve 8mm’lik cam elyaf –alüminyum ölçümleri arasında önemli farklar gözlenmemiştir.
- 4 tip kamera kren sistemi modeli için analitik ve deneysel olarak elde edilen deplasman-zaman grafikleri karşılaştırılmıştır ve analitik modelin deneysel model ile doğrulandığı gözlemlenmiştir.

Elimizdeki verilere bakıldığında pahalı bir malzeme olan karbon fiber'in ankastre mesnetli haldeki deneylerde daha iyi sonuçlar verdiği, fiyat aralığında alüminyumla karbon fiber arasında bulunan cam elyafın ise alüminyumla benzer sonuçlar verdiği ortaya konmuştur. Ancak kamera kren sisteminde sistemin genelde hareketli olduğu göz önünde bulundurulursa ve deneyde de gördüğümüz gibi sistem mafsallyken deplasman grafikleri arasında önemli farklar görülmediğinden, tasarımda titreşimleri sönümleme açısından karbon fiberin kullanılma gereksinimi oluşmamaktadır. Ancak hafiflik zorunluluğunun arandığı durumlarda karbon fiber ve cam elyaf tasarımda tercih sebebi olabilir.

KAYNAKLAR

Ersoy, H.Y. (2001), Kompozit Malzeme, Literatür Yayınları, İstanbul.

Askeland D.R. (1998), Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri, Nobel Yayınları, Ankara.

Eker, A.A. (2008), ‘‘Plastik Matrisli Kompozitler’’, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Bregenzer, R., (2000) ‘‘Yeni Kullanım Alanları İçin Kompozit Malzemeler’’, Mühendis ve Makine, Ankara.

Bozacı, A. (2000), Makine Elemanları Cilt 1, Seç Yayın Dağıtım, İstanbul.

Torgay, M.F. (2009), ‘‘Kamera Vincindeki Titreşimlerin İncelenmesi’’, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Pasin, F. (1994), Mekanik Sistemler Dinamiği, İ.T.Ü. Rektörlüğü, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	01.06.1983	
Doğum yeri	Bursa	
Lise	1995 – 2001	Şükrü Şankaya Anadolu Lisesi
Üniversite	2001 – 2005	Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2006 – 2009	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, Konstrüksiyon Programı

Çalıştığı Kurumlar

2008 – Devam Ediyor Ford Otosan A.Ş.