

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

KOMPOZİT BORU KESİTİ KONFIGÜRASYONUNUN ISI TRANSFERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Gülhan ÜNSAL

HAZİRAN 2011

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Gülhan ÜNSAL tarafından hazırlanan KOMPZİT BORU KESİTİ KONFİGÜRASYONUNUN ISI TRANSFERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ali ERİŞEN

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Doç. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU
(Danışman)

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Veli ÇELİK _____

Üye (Danışman) : Doç. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU _____

Üye : Doç. Dr. Necip CAMUŞCU _____

...../...../.....

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. İhsan ULUER

ÖZET

KOMPOZİT BORU KESİTİ KONFIGÜRASYONUNUN ISI TRANSFERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÜNSAL, Gülhan

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU

Haziran 2011, 44 sayfa

Bu tez çalışmasında iç cidarı çelik, orta cidarı termoplastik ve dış cidarı termoset matris-karbon elyaf kompoziti olan flaman sarımlı bir borunun ısı transferi açısından performansı incelenmiştir. Bu amaçla, öncelikle mekanik açıdan uygunluğu tespit edilmiş olan farklı sarım açıları, farklı sarım kalınlıkları ve farklı termoset, termoplastik ve elyaf konfigürasyonları belirlenmiştir. Daha sonra, bir iç ısı kaynağından dolayı borunun iç yüzeyinde meydana gelen sıcaklık $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve borunun dış yüzeyindeki atmosferik şartlara ait konveksiyon ısı transfer katsayısı $10\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ olacak şekilde sınır şartlarına maruz bir sonlu eleman simülasyon modeli hazırlanmıştır. Çalışmada Ansys® sonlu eleman paket programı kullanılmış olup, zamana bağlı (10 saniye) geçici rejim şeklinde ortotrop malzeme ısı transferi analizi gerçekleştirilmiştir. Bu incelemeler neticesinde elde edilen sonuçlara göre, imalat sırasında uygulanacak farklı sarım açılarının ($90/\pm 15/\pm 20/90$; $90/\pm 20/\pm 15/90$ ve $90/(\pm 45)_2/90$), yükleme altındaki borunun dış yüzeyinde oluşan sıcaklıkta bir değişikliğe neden olmadığı tespit edilmiştir. 6 mm'lik toplam cidar kalınlığı sabit tutularak, katman kalınlıklarının değişiminin de etkili olmadığı belirlenmiştir. Ancak iç katmanlarda farklı malzeme kullanımına tekabül edecek şekilde ısı iletim katsayılarının 10 kat artırılması veya azaltılmasının dış yüzey sıcaklığında %23'e varan değişimlere neden olduğu hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: Kompozit boru, Cam elyafı(Fiber), Isı transferi, Ansys

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF HEAT TRANSFER COMPOSITE PIPE SECTION CONFIGURATION

ÜNSAL, Gülhan

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Machine Engineering, MSc. Thesis

Supervisor: Doç. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU

June 2011, 44 pages

In this study, a tube with a steel inner wall, a thermoplastic matrix-carbon fiber mid-wall and a thermoset matrix-carbon fiber outer wall manufactured by the filament-winding process has been investigated in terms of heat transfer performance. For this purpose, different winding angle, thickness, and composite material configurations were determined. Then, considering an inner wall temperature of $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ and an outer surface convection heat transfer coefficient of $10\text{ W/m}^2\text{.K}$, a finite element simulation model was prepared. Orthotropic 10 seconds transient heat transfer analysis has been done on Ansys® finite element software package. According to the results obtained as a result of this investigation, the winding angles ($90/\pm 15/\pm 20/90$, $90/\pm 20/\pm 15/90$ and $90/(\pm 45)_2/90$), did not produced different outer surface temperature change. Keeping the 6 mm constant wall thickness, the change in layer thicknesses did not affect the temperature distribution. However, the use of different materials to correspond to 10-fold increase or decrease of heat transfer coefficients, the outer surface temperature is calculated to change by up to 23%.

Key Words: Composite Materials, Fiber, Heat Conduction, Ansys

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında hiçbir yardımcı esirgemeyen ve biz genç araştırmacılara büyük destek olan, her türlü imkânı sonuna kadar hizmetimize sunan, tez yöneticisi hocam, Sayın Doç. Dr. M. Hüsnu DİRİKOLU'na, desteğini yüreğimden hissettiğim sevgili nişanlım Mehmet Serkan TOKAY'a ve son olarak bana birçok konuda olduğu gibi, tezimi hazırlamam esnasında da yardımlarını esirgemeyen Aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
1.1. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları.....	4
1.2. Literatür Çalışmaları.....	4
1.3. Tezin Amaç ve Kapsamı	9
2. MATERYAL VE İMALAT YÖNTEMLERİ	10
2.1. Materyal	10
2.1.1.Elyaf Malzemeler	11
2.1.1.1. Cam Elyaf.....	11
2.1.1.2. Boron Elyaf	11
2.1.1.3. Karbon/Grafit Elyaf.....	11
2.1.1.4. Aramid Elyaf.....	12
2.1.1.5. Yüksek Moleküler Ağırlıklı Polietilen Elyaf (PE 66).....	13
2.1.1.6. Seramik Elyaf.....	14
2.1.1.7. Metalik Elyaf.....	14
2.1.2. Reçine Malzemeler.....	15
2.1.2.1. Termoset Reçineler	15
2.1.2.2. Termoplastik Reçineler	15
2.1.3. Yapıştırıcılar	16
2.1.3.1. Termoset Yapıştırıcılar.....	17
2.1.3.2. Termoplastik Yapıştırıcılar	17
2.2. Kompozitlerin İmalat Yöntemleri	17
2.2.1. El ile Yayma Metodu	17
2.2.2. Otoklav Metodu (Prepreg Metodu)	18
2.2.3. Vakum Altında Şekillendirme.....	19

2.2.4. Hazır Kalıplama	20
2.2.5. Reçine Transfer Kalıplama (RTM)	21
2.2.6. Püskürtme Yöntemi	22
2.2.7. Flaman (İplik) Sarma Metodu	23
2.2.8. Profil Çekme (Pultruzyon)	24
2.2.9. Preslenebilir Takviyeli Termoplastik Metodu(GMT)	24
3. TEORİ VE MODELLEME	25
3.1. Üç Boyutta Isı İletim Denklemi	25
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	29
5. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME	42
6. KAYNAKLAR	43

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 El İle Yayma Metodu	18
2.2 Otoklav Yöntemi	19
2.3 Vakum altında şekillendirme	20
2.4 RTM Yöntemi	22
2.5 Püskürtme Yöntemi	23
2.6 İplik (Flaman) Sarma Makinesi	23
2.7 Pultrüzyon Yöntemi	24
3.1 $w(x,y,z,t)$ Sıcaklık Dağılımının Kartezyen Koordinatlardaki Gösterimi	25
4.1 Üç cidarlı kompozit borunun kesit geometrisi	29
4.2 Ansys® Isısal analiz belirlenmesine ait ekran görüntüsü	31
4.3 Ansys® Analiz edilecek malzeme modelinin seçilmesine ait ekran görüntüsü	31
4.4 Ansys® Oluşturulan eleman ve sahip olduğu katmanlı yapıya ait ekran görüntüsü	32
4.5 Farklı açılarda sarılan elyaf katmanlarının Ansys® görüntüsü	32
4.6 Modelin Ansys® çözüm modülü	33
4.7 $90/\pm 15/\pm 20/90$ şeklindeki sarım sonucu ölçülen sıcaklık değerleri	34
4.8 $90/\pm 15/\pm 20/90$ sarımı ölçülen sıcaklık değerlerine ait Ansys® görüntüsü	34
4.9 $90/\pm 20/\pm 15/90$ şeklindeki sarım sonucu sıcaklık değerleri	35
4.10 $90/\pm 20/\pm 15/90$ sarımı sıcaklık değerlerinin Ansys® görüntüsü	37
4.11 $90/(\pm 45)_2 /90$ sarımı sonucu sıcaklık değerleri	37
4.12 $90/(\pm 45)_2 /90$ sarımı sıcaklık dağılımı Ansys® görüntüsü	39
4.13 $90/\pm 15/\pm 20/90$ sarım ve $t=1.25$ mm kalınlık sonucu sıcaklık değerleri	40

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Bazı kompozit malzemelerin özellikleri	1
1.2 Kompozit Malzemelere ait avantaj ve dezavantajlar.....	3
1.3 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları	4
2.1 Bazı metalik malzeme ve elyafların mekanik özellikleri	14
4.1 Kullanılan Kompozit Malzemelerin Termomekanik Özellikleri	30
4.2 90/±15/±20/90 sekinde sarım sonucu sıcaklık değerleri	33
4.3 90/±20/±15/90 sarımı sıcaklık değerleri.....	35
4.4 90/(±45) ₂ /90 sarımı sonucu sıcaklık değerleri.....	36
4.5 90/±15/±20/90 sarım ve t=1.25 mm kalınlık sonucu sıcaklık değerleri.....	38
4.6 90/±15/±20/90 sarım ve t=0.75 mm kalınlık sonucu sıcaklık değerleri.....	39
4.7 90/±15/±20/90 Sarım ve İletim Katsayısı 10 kat Yüksek Malzeme Kullanımı Sonucu Sıcaklık Değerleri.....	40
4.8 90/±15/±20/90 sarım ve iletim katsayısı 10 kat düşük malzeme kullanımı sonucu sıcaklık değerleri	41

1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler genel olarak fiziksel ve kimyasal özellikleri farklı olan iki veya daha fazla malzemenin bir araya gelerek oluşturduğu ve olduğu malzemelerden daha iyi mekanik özelliklere sahip olabilen malzemelerdir. Bu malzemelerin yapısını elyaflar ve matris oluşturmaktadır. Kompozit, yapının takviye elemanı olarak kullanılan elyaflar mekanik mukavemeti, matris ise elyafları bir arada tutan, elyaflar arasında gerilme aktarımını sağlayarak mekanik yapının oluşumunu dolaylı olarak etkileyen ve elyafları fiziksel ve kimyasal dış etkilerden koruyarak kompozit yapının bir sistem olarak ortaya çıkmasını sağlayan ana yapıdır. Matris malzemesi olarak metal alaşımları kullanıldığı gibi, reçine de kullanılmaktadır. Matrislere örnek olarak polimer, güçlendiricilere örnek olarak da elyaflar verilebilir. Matris ve kompozit bileşenler birbirleri içinde çözülmemektedir.

Çizelge 1.1 Bazı Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Özellik	Birim	Fiber			Matris
		Cam	Boron	Karbon	Epoksi
Elastik Modül (uzunlamasına)	GPa	7.7	42.2	35.2	0.35
Elastik Modül (çapraz)	GPa	7.7	42.2	1.0	0.35
Kayma Modülü	GPa	2.8	17.6	2.8	0.14
Poisson Oranı	-	0.2	0.2	0.2	0.4
Mukavemet	MPa	351	313	211	3.5
Şekil Değiştirme Oranı	%	4.5	0.7	0.6	10
Yoğunluk	Gr/cm ³	2.3	2.7	1.66	1.1

Literatürde en çok rastlanan kompozit malzemeler; Cam elyafi ile polyester, karbon elyafi ile epoksi ve aramid elyafi ile epoksi bileşimlerinden oluşmaktadır. 1940 'ların sonlarında geliştirilen CTP (Cam Takviyeli Polyester) günümüzde en çok kullanılan ve ilk modern polimer esaslı kompozit malzemedir. Günümüzde, üretilen tüm kompozit malzemelerin yaklaşık olarak % 85 'i CTP olup, çoğunlukla tekne gövdeleri, spor araçları, paneller ve araba gövdelerinde kullanılmaktadırlar. CTP ve diğer kompozit kombinasyonlarının tercih edilmesinin ve kullanımlarındaki artışın mutlak sebepleri sağlamlıkları ve hafiflikleridir.

Çeşitli plastik malzemelerin seramik, metal ve bazen de sert polimer elyafları ile güçlendirilmesi ile ileri derecede faydalar sağlayan kompozitler üretmek mümkündür. İçinde barındırdığı plastik sayesinde kolaylıkla şekil verilebilen ve takviye elyaflar sayesinde sağlam, sert ve hafif olabilen kompozitler her gün yepyeni uygulama alanları bulmaktadırlar.

Aynı zamanda kompozitler, metallere kıyasla malzeme yorulması, malzeme üzerinde hasarların tolere edilmesi ve korozyona dayanıklılık özellikleri bakımından ise birçok avantaj sağlamaktadırlar. Bununla birlikte bütün faydalarına rağmen kompozit malzemelerin tamamıyla metalin yerine geçememesi iki ana sebep altında toplanmaktadır;

- Titanyum ve çelik gibi metallerin bazı uygulamalarda ihtiyaç duyulan kritik düzeyde ısı ve mekanik özelliklerini günümüz kompozitleri karşılayamamaktadır.
- Kompozitlerin üretim maliyetleri metallere göre daha yüksektir. Metallerin düşük maliyetler ile sağlayabildiği karmaşık biçimler yüksek maliyetler gerektirmektedir.

Çizelge 1.2 Kompozit Malzemelere Ait Avantaj ve Dezavantajlar

Avantajları	Dezavantajları
<ul style="list-style-type: none">▪ Aynı ağırlıktaki mukavemetleri metallere oranla çok yüksektir.▪ Aynı yönlü aramid ve karbon elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemeler, çelik ve alüminyumdan yaklaşık 4-6 kat daha yüksek çekme dayanımına sahiptir.▪ Aynı yönlü grafit takviyeli epoksi, çelik ve alüminyumdan yaklaşık 3.5-5 kat daha yüksek spesifik çekme dayanımına sahiptir.▪ Yorulma dayanma limitleri metallere göre çok fazladır.▪ Yukarıdaki özelliklerden dolayı aramid, karbon ve hibrid elyaf takviyeli plastikler, aynı fonksiyonu yerine getirebilecek Al'dan % 25 ile 45 arasında daha hafiftir.▪ Titreşim sönümlenme özelliği metalik malzemelere göre çok yüksektir.▪ Elyaf takviyeli kompozitler çok yönlü kullanım kolaylıkları sağlar.▪ Korozyona dayanım mükemmeldir.▪ Kompozit parçaların daha az bağlantı elemanları gerektirmesi, bu elemanlardan kaynaklanan yapısal zayıflıkları en aza indirmektedir.▪ Darbeyi soğurma enerjileri metallere göre önemli ölçüde fazladır.▪ Düşük ısı iletkenliğine sahiptirler.▪ Aşınmaya karşı dirençlidirler.	<ul style="list-style-type: none">▪ Kompozit malzeme kendini oluşturan her bir bileşenin olumlu olumsuz tüm özelliklerini nihai parça üzerinde bulunmaktadır (anisotropik).▪ Ham malzemesi pahalı olması, Ancak bağlantı elemanları sayısında ve ağırlıkta azalma olması dikkate alındığında, toplam maliyette bir düşme söz konusu olur.▪ Kırılgan olmaları ve kolaylıkla zarar görebilmekte olup onarımlarının yeni problemler yaratabilmesi.▪ Tasarım parametrelerinin yetersiz olması, imalat açısından yüksek verimliliğe ulaşmayı engellemektedir.▪ Yanma ve duman çıkarma özellikleri.▪ Uzman personel gerektirmesi.▪ Malzeme kalitesi üretim yönteminin kalitesine bağlı olması.▪ Sınırlı raf ömürleri bulunması ve özel şartlar altında korunma gerekliliği.

1.1. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Kompozit malzemeler artık gittikçe artan oranlarda ve yeni sektörlerde kullanılmaya başlanmıştır. Uzun zaman uçak sanayisindeki ihtiyaçların yönlendirdiği kompozit malzeme gelişimleri, son dönemde yeni bir çok sektörde farklı amaçlar için kullanılmaktadır.

Özellikle ileri kompozit malzemeler havacılık sanayi, spor araçları, ulaşım, otomotiv, müzik aletleri gibi birçok alanda yoğun bir şekilde kullanılmaktadırlar. kompozit malzemelerin kullanım alanları Çizelge 1.3'te gösterilmektedir.

Çizelge 1.3 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Denizcilik Sanayi	Korozyona Dayanıklı Ürünler	İnşaat	Otomotiv
<ul style="list-style-type: none">▪ Yelkenli Gövdesi; Balsa ve polimer köpük üstüne cam, aramid karbon dokumaları ile kaplanması▪ Yat, Tekne Arkası Platform	<ul style="list-style-type: none">▪ Su tankı▪ Mazgal Olukları▪ Marketlerde Dondurulmuş Gıda Reyonu Kaplaması▪ Rasathane Kubbesi▪ Açık Saha Dolapları▪ Çit▪ İlan Panoları	<ul style="list-style-type: none">▪ Köprü Tabanı▪ Yürüme yolları▪ Taşıyıcı Konstruksiyon▪ Kapı▪ Taşıyıcı Konstruksiyon▪ Yüzme Havuzu,▪ Yer karoları▪ Bina Kaplama Panelleri	<ul style="list-style-type: none">▪ Cam Sileceği▪ Fitre Kutusu▪ Pedallar▪ Dikiz Aynası▪ Far Gövdesi▪ Hava Giriş Manifoldu▪ Otomobil Gösterge Paneli▪ Otomobil Yan Gövde İskeleti

1.2. Literatür Çalışmaları

Literatür araştırmalarında kompozit boru tasarımı ve analizleriyle ilgili hem deneysel hem de teorik birçok akademik çalışmaya rastlanmaktadır. Araştırmaların çoğunda kompozit boruların iyileştirilmesine yönelik deneysel ve teorik çalışmalara

yer verilmiştir. Yük durumuna göre üretim parametrelerinin belirlenmesi ve malzeme özelliklerinin boru tasarım parametrelerine etkisi çalışmalarda yer almasının yanı sıra, sarım açılarının basınç altındaki boruların dayanımına etkisi incelenmiş ve bu konuya yönelik birçok çalışma yapılmıştır.

Özellikle 2000 yılından itibaren kompozit tüp (veya boru) olarak adlandırılan namlular üzerinde yapılan bilimsel çalışmalar aşağıdaki paragraflarda özetlenmektedir.

Önder, tabakalı ince cidarlı E-Cam/Epoksi kompozit tankların maksimum patlama basıncındaki optimum tabaka açılarını araştırmıştır [1]. Çalışmada filaman sarımlı kompozit borular üzerindeki sarım açılarının etkileri ele alınmıştır. Kompozit tüpte oluşan hasarı belirlemek için nümerik çözüm yöntemi Lekhnitskii teorisi kullanılarak geliştirilmiştir. Bu yöntemle hasar basıncı aynı ısı etkisi ile değişik açı oryantasyonlarında hesaplanmıştır. İçten basınca maruz helisel açıda sarımlı kompozit borularda optimum sarım açısının 55° civarında olduğunu, tek açıda sarımlı kompozit borularda ise bu değer 90° olduğunu tespit etmiştir.

Balya ve Parnas, kombine yükler altındaki filaman sargı tüplerin tasarım ve analizini yapmıştır [2]. Filaman sargı tüplerin çeşitli kombine yükler altındaki davranışının incelenmesi için SEM tekniği kullanılmıştır. Filaman sargı tüpler, SEM tekniği kullanılarak tabakalı ortotrop tüpler olarak modellenmiştir. Tabakalı tüpler üzerinde değişik yüklemeler için çeşitli analizler yapılmış ve tasarım için gerekli veriler elde edilmiştir. Sarım açısı, ortotropluk seviyesi ve yükler arasındaki oran özellikle dikkate alınmıştır. Elde edilen sonuçların optimum sarım açısı, yükler arasındaki optimum oran, ortotropluk seviyesi vb. açılardan literatürde belirtilen değerlerle uyumlu olduğu görülmüştür. Ayrıca, sonlu eleman modelinin değişkenleri, hata kaynakları ve modelleme sırasında yapılan varsayımlar da tartışılmıştır. Sonuç olarak kombine yükler altındaki filaman sargı tüplerin tasarımına yönelik, her bir katmanda oluşan eksenel ve teğetsel gerilmeler, katman hasar durumları verilmiştir.

Amerikan ordusuna ait Benet Laboratuvarı'nda çalışan A. Littlefield ve arkadaşları, 889 kg'lık kütleye, 5460 mm'lik uzunluğa ve 120 mm'lik kalibreye sahip tank topu namlusundan 56.4 kg'lık çeliği tornalayıp, yerine benzer performansı sağlayan 11.3 kg'lık Karbon/PEEK (polietereterketon) kompozit malzemeyi sararak geliştirmiş çelik namlunun eşdeğeri özelliklerine sahip malzeme dolayısıyla çelik namluya nazaran aynı teknik özellikler için 45.4 kg'lık kütle azaltımı sağlamışlardır [3]. 2006 yılında yayınlanan bilimsel makaleleri ile yazarlar, tasarım sürecinde aşılacak problemleri de irdelemişlerdir.

Zhou ve arkadaşları, 2009 yılı çalışmalarında hareketli basınç yüklemesi altındaki kompozit boruların titreşim analizini analitik ve sonlu eleman metoduyla gerçekleştirmişlerdir [4].

Kam, kompozit basınç tanklarının dayanımını farklı katman düzenleri için analitik ve deneysel olarak incelemiş ve basınç tankının hasara uğramasında ilk katman hasarının etken olduğunu varsaymıştır [5]. Bununla birlikte teorik analizlerde ilk katman hasarına yönelik patlama basıncı sonuçları deneysel olarak elde edilen patlama basıncı sonuçlarının oldukça aşağısında kaldığını saptamışlardır. Böylelikle, ilk katman hasar teorisinin kompozit tankların tasarımı için uygun bir teori olduğu ortaya konulmuştur.

Lifshitz, metal astarlı kompozit sargılı basınç tankının iç basınçtan dolayı cidarında oluşan gerilme ve şekil değiştirmelerini çeşitli katman düzenlerinde ve çeşitli kompozit malzemelere göre hesaplamış ve teorik sonuçları deneysel çalışmalar ile karşılaştırmışlardır [6]. Analizlerde son katman hasar teorisinden ve Tsai Wu hasar kriterini kullanmışlardır. Yapmış oldukları analiz sonuçlarına göre neticesinde helis sarım açısının düşürülmesinin tankın patlama basıncına olumlu yönde etki yaptığını bulmuşlardır. Kompozit basınç tankının teorik çalışmalarında tankın sadece silindirik kısmı dikkate alınmış olup Teorik çalışmalarla elde ettikleri maksimum patlama basıncı değerleri ile deneysel analizler sonucunda bulunan değerlerin uyumlu olduğunu göstermiştir.

Fukunaga, roket motorlarında kullanılan helisel kompozit sargılı basınç tankının küresel kısımlarının optimum tasarımını membran teorisi ve ağ analizi yardımıyla gerçekleştirmiştir [7]. Hasar kriteri olarak kompozite ait hasar kriterinden yaralanılmıştır. Farklı teorilerle elde edilen analiz neticelerini karşılaştırmıştır.

Xia, çok katmanlı flaman sargılı kompozit boruların iç basınç altında farklı sarım düzenlerinde, cidarlarında oluşan aksenal ve teğetsel gerilmeler ile şekil değiştirmeleri incelemiştir [8].

Chang, kompozit basınç tanklarının ilk katman hasarına göre deneysel ve teorik analizlerini gerçekleştirmiştir [9]. Analizlerde farklı kompozit malzeme özellikleri kullanmış ve simetrik plaka düzeni esas almıştır. Tank çeper kalınlığının, tank yarıçapıyla olan değişimini ve farklı katman sayılarının iç basınca etkisini incelemiştir.

Sayman, hidrotermal yüklemeler altındaki ince veya kalın çok tabakalı kompozit silindireler için genel bir gerilme analizi metodu geliştirmiştir [10]. Tabakalar $(0/90)_2$, $(30/-30)_2$, $(45/-45)_2$ ve $(60/-60)_2$ elyaf açıları için simetrik veya asimetrik olarak yönlendirilmişlerdir. Analizler, borunun uçlarının açık kapalı olduğu sınır şartı ile düzlem gerilme durumu dikkate alınarak yapılmıştır. Ansys® sonlu eleman paket programı vasıtası ile elde edilen sonlu eleman çözümleri, bazı analitik sonuçlar ile karşılaştırılmış ve sonuçlar arasında uyum olduğu tespit edilmiştir.

Akçay, iç basınç ve uniform termal yükler altında çok katmanlı flaman sargılı kompozit boruların düzlem gerilme durumu için analitik olarak hasar analizleri gerçekleştirmiştir [11]. Analizlerde farklı konfigürasyonlarda simetrik ve anti simetrik katman düzenlerinin basınç tankının dayanımına yönelik etkileri incelemiştir. Kompozit malzeme olarak E-cam/epoksi malzemesi kullanılmıştır. Analiz sonucunda basınç tankında artan sıcaklığın elyaf açısı oryantasyonuna göre patlama basıncı eğrileri elde edilmiştir. Kompozit basınç tankında sıcaklık arttırıldığında hasara neden olan patlama basıncının düştüğü görülmüştür.

Bakaiyan, kompozit basınç tankları için en iyi helis açısı olarak literatürde bilinen $\pm 55^\circ$ helis açısına sahip (+55/-55/+55/-55) iç basınç ve termal yükler altında ki kompozit borularda analitik olarak hasar analizleri gerçekleştirmiştir [12]. Tsai Hill hasar kriteri kullanılarak yapılan analizlerde ± 55 helis katmanına sırasıyla ± 30 ve ± 35 'ye sahip yeni bir helis katmanın eklenmesi sonucunda (+55/-55/+35/-35) önceki haline göre tankın gerilme durumu karşılaştırılmıştır. Ayrıca helisel ve teğetsel sarıma sahip kompozit basınç tankı (+35/-35/+90/-90) için yukarıdaki analizler tekrarlanmış ve (+55/-55/+55/-55) sarım düzenine sahip tanka ait analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çıkan sonuçlarda tank yarıçapının cidar kalınlığına göre değişiminin karşılaştırılması, yapılan düzenlerin performansını etkilediği görülmüştür.

Gemia, iç basınç altındaki kompozit sargılı basınç borularının yorulma hasar durumunu incelenmiştir [13]. Kompozit sargılı basınç tankı E-cam elyaf/epoksi reçineden üretilmiş olup $\pm 75^\circ$ helisel sarımlı dört katmandan meydana gelmiştir. Yorulma testleri 0.42 Hz frekans da, boru dayanımının %30'u ile %70' arasında ki yüklerde ASTM D-2992 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Hasar ilerlemesi testler sonucunda gözlenmiş olup dayanım ve ömür diyagramları elde edilmiştir.

Djehiche, ise helisel sarım yöntemi ile üretilen basınçlı kompozit tank çeşitlerinden biri olan, katı yakıtlı roket motoruna etkiyen gerilmeleri ve tankın patlama basıncını, doğrusal olmayan SEM kullanarak incelemiştir [14]. Malzeme performansı ve geometrik düzgünsüzlüğün haznenin yükleme kapasitesine olan etkisini de araştırmıştır.

Helis sarma yöntemi ile üretilen kompozit basınçlı tanklar uzay teknolojisinde basınçlı gaz depolamak için de kullanılmaktadır. Walter uzay araçlarında Helyum depolamak için Titanyum iç gömleğin etrafına kompozit malzemeden helisel sarım yöntemiyle çift cidarlı basınçlı tank tasarımı; başka bir çalışmada ise uzay araçlarında Xenon depolamak için konik çift cidarlı titanyum basınçlı tank tasarımı ve imalatını yapmıştır [15]. Tankın analizi için lineer olmayan malzeme ve büyük şekil değiştirme modelleme yaklaşımları kullanılmıştır.

Parnas, kalın cidarlı elyaf takviyeli kompozit basınç tanklarının değişik yükleme durumları için klasik katman teorisi kullanılarak düzlem gerinim durumunda tasarım analizleri gerçekleştirmiştir [16]. Farklı yüklemelerde kompozit basınç tankının sarım açısına yönelik optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Analitik sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca ince cidar ve kalın cidarlı tank geometrisine ait teorik sonuçlar benzer olarak birbiriyle karşılaştırılmıştır. Teorik sonuçlar neticesinde iç basınç yüklemesinde en iyi sarım açısı olarak 52.1° ve 54.2° açılar elde edilmiştir. Bulunan optimum sarım açısı aralığı ağ analizi ile elde edilmiş 54.74° sarım açısı ile uyum göstermiştir.

Kompozit boru tasarımına yönelik birçok analitik ve sonlu eleman analizleri gerçekleştirilmiş ve bazı çalışmalarda deneysel sonuçlar ile teorik sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler ilk katman hasarına yönelik olup hasar kriteri olarak Tsai Wu hasar kriteri kullanılmıştır. Analizlerde optimum sarım açısı ve en iyi kompozit katman oryantasyonuna yönelik hesaplamalar yapılmıştır.

1.3. Tezin Amaç ve Kapsamı

Bu tez çalışması, yüksek sıcaklığa dayanıklı hafif boruların kompozit destekli olarak üretilebilmesinin ısı transferi açısından etkileri araştırılacaktır. Bir iç ısı kaynağından dolayı borunun iç yüzeyinde meydana gelen sıcaklık 130 °C ve borunun dış yüzeyindeki atmosferik şartlara ait konveksiyon ısı transfer katsayısı 10 W/m².K olacak şekilde sınır şartlarına maruz bir sonlu eleman benzetim modeli hazırlanacaktır. Modellemenin ardından kompozit malzeme kullanımı, sarım açıları ve sarım kalınlıkları değiştirilerek analizler yapılacak ve bu incelemeler neticesinde elde edilen sonuçlara göre, imalat sırasında uygulanacak farklı sarım açılarının yükleme altındaki borunun dış yüzeyinde oluşan sıcaklıkta bir değişikliğe neden olup olmadığı tespit edilecektir. Cidar kalınlığı sabit tutularak, katman kalınlıklarının değişiminin de etkisi incelenecektir. Isı iletim katsayılarının etkisi de incelenecektir.

2. MATERYAL VE İMALAT YÖNTEMLERİ

Makine ve bina yapımında özellikle belirli niteliklere sahip malzemeler kullanılmaktadır. Kullanılacak olan malzemelerin çoğu, tabiatta ham olarak bulunmakta ve istenen özellikleri kazanabilmeleri çeşitli işlemlere maruz kalmalarını gerektirmektedir. Günümüzde ise, teknolojinin ilerlemesi ile birlikte çoğu malzemenin sahip olduğu temel nitelikler yetersiz kalmaktadır.

İlk modern sentetik plastikler 1900 'ların başında geliştirilmesinin ardından, 1930 'ların sonuna doğru plastik malzemelerin özellikleri diğer malzeme çeşitleri ile kıyaslanabilir ölçekte gelişmeye başlamıştır. Kolay şekil kazanması, metallere nazaran daha düşük yoğunluğa sahip olması, üstün yüzey kalitesi ve korozyon dayanımı plastiğin yükselmesindeki en önemli özelliklerdir. Bir çok üstün özelliğine karşın sertlik ve dayanıklılık özelliklerin istenilenden düşük olması ise plastik malzemelerin güçlendirilme çalışmalarına olan ihtiyacı doğurmuştur. Polimer esaslı kompozit malzemeler bu eksikliğin giderilmesi amacıyla 1950 'lilerde geliştirilmiştir.

Liflerle donatılı sentetik reçineler 1950 'li yılların ortalarından itibaren dünya endüstrisinde yerini almıştır. Türkiye'de ise 1960 'lı yıllardan günümüze kadar kompozit malzemeler sıvı depoları, çatı levhaları, küçük boyda deniz tekneleri gibi üretim basamaklarında yerini almıştır. Ülkemizde seri üretimi yapılmış ilk yerli otomobil olan Anadolu'nun da kaportası kompozitlerden üretilmiştir. Özellikle polimer temelli kompozitler yüksek mukavemet, boyut ve termal kararlılık, sertlik, aşınmaya karşı dayanıklılık gibi özellikleriyle pek çok avantajlar sunmalarının yanı sıra dayanıklılık ve sertlik yönünden metallerle yarışabilecek olmasına rağmen çok daha hafif malzemelerdir.

2.1. Materyal

Kompozit malzemeler üç unsurdan oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla elyaf, reçine ve yapıştırıcılardır. Bunlara ait daha detaylı bilgiler aşağıda sunulmaktadır.

2.1.1. Elyaf Malzemeler

Elyaf malzemeler, elyafların matris yapıda yer almasıyla meydana gelmiştir. Elyafların mukavemeti kompozit yapının mukavemeti açısından çok önemlidir

2.1.1.1. Cam Elyaf

Uçaklarda panellerde kullanıldığı gibi roket motorlarında da kullanılmaktadır. Avantajları; fiyatının göreceli olarak ucuz olması, kolay temin edilmesi, işleme kolaylığı, yüksek mukavemeti, esnek olması ve düşük kalıp maliyetidir. Dezavantajı ise neme karşı çok duyarlı olmasıdır.

- E-camı: Moleküler yapısı kalsiyum oksit/alumina-borasilikat esaslıdır. Genel amaçlıdır. Mukavemet ve yüksek elektrik iletkenliğinin gerekli olduğu alanlarda kullanılır. Diğer elyaflara nazaran daha ucuzdur. Cam elyafların en yaygın olarak kullanılan tipidir.
- S-camı: Bir silika-alumina-magnesia kompozisyonudur. Mukavemeti E-camı na göre daha büyüktür. Yüksek sıcaklıklarda özelliklerini daha iyi korurlar. Bu tip dokumadan ziyade iplikçik halinde bulunur.
- C-camı: Soda-kireç-borasilikat içerir. Kimyasal stabilitenin en önemli faktör olduğu alanlarda kullanılır. Asitlerle teması olan yerlerde kullanılabilir.
- Kuartz: Düşük dielektrik özellikleri istenen anten, radar vb. gibi parçalarda kullanılır.

2.1.1.2. Boron Elyaf

Elastisite modülü yüksek kompozit teşkili için kullanılır. Boron elyafları normal olarak önceden reçine emdirilmiş bantlar halinde sağlanabilir.

2.1.1.3. Karbon/Grafit Elyaf

Çok yüksek mukavemete sahip bir malzemedir. Genellikle 1500 °C de yüksek dayanımlı olurlar. Yüksek elastik modül ve yüksek mukavemete sahip, yüksek

sıcaklıkta bile diğer elyaflarla karşılaştırıldığında dayanıklılığı hissedilir derecede fazla olan süreksizlik göstermeyen sürekli elyaflar halinde imal edilirler. Yüksek mekanik özelliklere sahip olması nedeniyle, uçak endüstrisinde yer alan ileri kompozitlerin başında gelir. Voyager uzay aracının %90 'ı karbon elyaflardan yapılmıştır. Uçaklarda; kanatlar, dümenler, stabilizerler gibi kontrol yüzeyleri, helikopter panelleri, otomobil ve denizcilik sektöründe yapısal destek elemanları, bisiklet pedalları, raketler, olta, yarış otosu kaportaları, roketler, uzay araçları ve füzelerin yapısal elemanlarında kullanılır. Normal sıcaklıklarda yorulma direnci ile sabit bir yük altındaki deformasyonları düşüktür. Dezavantajları; kırılma olmaları, düşük basma direnci, şok yüklenmelere karşı düşük ısısal genleşme katsayısına sahip olması ve fiyatının pahalı olmasıdır.

2.1.1.4. Aramid Elyaf

Aramid elyafı, aromatik poliamid yapıda bir organik polimerdir. Aramid mevcut organik ve inorganik elyaflardan en yüksek çekme mukavemetine sahip olanlardan birisidir. Ancak basma mukavemeti diğer elyaflardan daha düşük olduğu için, her iki mukavemetin istendiği durumlarda karbon veya cam elyaf ile birlikte kullanılır. Aramid elyafının en büyük avantajı da düşük yoğunlukta olmasıdır. Bu özelliği nedeniyle havacılık ve denizcilik endüstrisinde kullanımı yaygındır. Özellikle pilot kaskı imalinde, hız teknesi inşasında, son yıllarda balistik koruyucu yelek, kompozit miğfer gibi ürünlerde kullanılmaktadır.

En çok bilinen ve kullanılan aramid elyafı Dupont firmasının 1970 'lerde piyasaya sürdüğü tescilli ismi olan Kevlar'dır. Yüksek tokluk için Kevlar 29, yüksek modül için Kevlar 49 ve ultra yüksek modül için ise Kevlar 149 kullanılır.

Aramid elyaflarının en önemli özellikleri;

- Düşük yoğunluğa,
- Yüksek dayanıklılığa,
- Yüksek darbe dayanımına,
- Yüksek aşınma dayanımına,
- Yüksek yorulma dayanımına,
- Yüksek kimyasal dayanımına sahip olmalarıdır.

Bununla birlikte Aramid elyafının dezavantajları ise;

1. Ultraviyole ışınlarına maruz kaldığında bozulma gösterebilmektedir.
 - Sürekli karanlıkta saklanmaları gerekebilmektedir.
 2. Elyaf lar ile çok iyi birleşemeyebilirler.
 - Reçinede mikroskobik çatlaklar oluşturabilmektedirler. Bu çatlaklar ise malzeme yorulduğunda su emişine yol açmaktadır.
- olarak belirtilmektedir.

2.1.1.5. Yüksek Moleküler Ağırlıklı Polietilen Elyaf (PE 66)

1990 yılında seri üretimine geçilen UHMWPE elyafları çok yüksek çekme mukavemetine sahip olması (çelikten on kat daha sağlam) nedeniyle dünyada bilinen en sağlam elyaftır.

Özellikleri:

- Yüksek çekme mukavemeti
- Çok yüksek elastisite modülü
- Sudan hafif olması (0.97 gr/cm^3),
- Çok yüksek enerji emebilme özelliği
- Tekrar kullanılabilmesi

Bu özellikleriyle UHMWPE elyafı, yapısal kompozit parçaların imalinde balistik koruyucu yelek ve diğer koruyucu elemanlarda, her tür koruyucu giysi, yüksek mukavemetli halat, paraşüt ipi, balık ağı yapımında, hafifliği nedeniyle denizcilik gibi alanlarda kullanılabilir bir malzeme olmaktadır.

Bazı metalik malzeme ve elyafların mekanik özellikleri Çizelge 2.1 'de görülmektedir.

Çizelge 2.1 Bazı metalik malzeme ve elyafların mekanik özellikleri

Malzeme	Yoğunluk (gr/cm³)	Çekme Day. (GPa)	Elastik Modül (GPa)	Spec.Çekm.Day. (GPa/(gr/cm³))	Spec.Modül (GPa/(gr/cm³))
Alumin. L65	2.8	0.46	72	0.17	26
Titn TD 5173	4.5	0.93	110	0.21	24
Çelik 4340	7.8	0.99	207	0.13	27
E-glass elyaf	2.54	2.6	84	0.98	33
Karbon elyaf	2	1.9	400	0.95	200
Boron elyaf	2.5	3.5	420	1.4	168
Kevlar elyaf	1.44	2.8	130	1.94	90
PE 66	0.97	3.2	99	3.3	99

2.1.1.6. Seramik Elyaf lar

Sürekli seramik elyaflar yüksek mukavemet ve elastik modül özelliklerini yüksek ısıya dayanıklılık ve çevresel şartlardan fazla etkilenmeme özellikleri ile birleştirmektedir. Örnek olarak silikon karbür (SiC) elyaflar ve alüminyum oksit (Al₂O₃) elyaflar verilebilir.

2.1.1.7. Metalik Elyaf lar

Tel şeklindeki birçok metal yüksek mukavemet özellikleri göstermektedir. Berilyum teli, çelik ve tungsten en önemlileridir. Metalik tellerin en önemli avantajlarından bir tanesi herhangi bir seramik elyaftan daha kararlı mukavemet değerlerine sahip olmasıdır. Özellikle berilyum yüksek modül ve oldukça düşük

yoğunluğa sahip olmasından dolayı yüksek fiyatına rağmen iyi bir elyaftır. Mukavemeti diğerlerine kıyasla düşüktür.

2.1.2. Reçine Malzemeler

Bir kompozit yapıda matrisin görevi yapıştırıcı ve tutucu özelliğiyle elyafları bir arada tutmak, yükü elyaflara aktarmak, dağıtmak ve kompozit yapıyı dış etkenlerden korumaktır. Reçineler kimyasal özelliklerine göre en genel anlamda termoset ve termoplastikler olmak üzere ikiye ayrılır. Aralarındaki en büyük fark termoplastik reçinelerin tekrar kullanım özelliğine sahip olmalarıdır.

2.1.2.1. Termoset Reçineler

Sertleştirilmeleri, intermoleküler yapılarının çapraz bağlarla oluşturulmaları ile sağlanır. Sıvı reçine halindedirler. Tekrar kullanılamazlar. Termoplastiklerden daha serttirler ve yüksek sıcaklıklara da dayanıklıdırlar.

- **Epoksi Reçineler:** Havacılık sanayisinde en yaygın olarak kullanılan epoksi reçineler klasik epoksi ve novalak epoksidir. Polyester reçinelere nazaran mekaniksel ve çevre şartlarına dayanıklılık açısından daha üstün özelliklere sahiptir. Çekme, basma ve darbe dayanımları oldukça yüksektir. Epoksi reçineler aşınmaya karşı çok dayanıklıdırlar. En önemli özelliği, hangi düzgünlük ve dokuda olursa olsun, herhangi bir yüzeyi yapıştırma kabiliyetidir. Viskozitesi çok düşüktür. Oda sıcaklığında katılaşabilirler. Epoksi reçineler bir dereceye kadar sıcaklığa dayanıklıdırlar. Özel formüllerle imal edilen türleri 315 °C sıcaklığa dayanabilirler. Fakat servis sıcaklıkları 110-290 °C arasındadır. Epoksi reçinenin bir türü olan bismaleimide reçinenin kullanım sıcaklığı 205-220 °C olmasına rağmen düşük uzama mukavemeti ve kırılma eğilimi gibi dezavantajları vardır. Bal peteği malzemeleri imalinde, çini ve porselen tamirinde, uçak yapısal elemanlarının imalinde, taban ve yüzey kaplaması olarak kullanılırlar. Kalıp imalatı için çok uygundurlar.

- **Polyester Reçineler:** Belirli bir reçine sisteminin kür ve jelleşme süresi, katalizör ve hızlandırıcı gibi maddelerin konsantrasyonuna bağlıdır. Polyester küründe reaksiyon bir defa başladıktan sonra herhangi bir ara kademede durdurulmaz. Polyester reçineler oda sıcaklığında kür edildiğinden otomobil, kamyon ve kayık gövdeleri gibi büyük parçaların imalinde kullanılırlar. Zayıf yapıştırma özelliği ve kompozit yapı içerisinde elyaf hareketini engellemesi nedeniyle balistik koruyucu kompozit levha halinde de kullanılırlar.
- **Fenolik Reçineler:** Fenolik reçineler genellikle fenol ve formaldehitten elde edilir. Sıvı katı veya kumaşa emdirilmiş (prepreg) halde bulunabilirler. En sert reçineler arasında bulunurlar. Fenoliklerin diğer reçinelere göre çekme dayanımı vasat, basma dayanımı yüksek ve bükülebilme dayanımı düşüktür. Kırılmadan önce çok az uzarlar. Yüksek basma dayanımının istendiği basma kalıplarında kullanılırlar.

2.1.2.2. Termoplastik Reçineler

Son yıllarda geliştirilmiş yüksek sıcaklık ve kimyasal dayanımı ile elektrik ve mekanik özellikleri geniş sıcaklık aralığında çok iyi olan film malzemelerdir. Katı halde bulunurlar. Isı ile eritilip form verilebilir. Soğutulduklarında tekrar katı hale gelirler.

Polietersulfon (PES), Polietereterketon (PEEK) ve Polyamid (PA) en iyi bilinen termoplastiklerdir. Termoplastiklerin en büyük avantajı belirli bir kullanım ömrünün olmayışdır.

2.1.3. Yapıştırıcılar

Yapıştırıcılar tek başına bağımsız malzemeler olmayıp, genellikle kompozit yapının bir parçasıdır. Yapıştırıcılar ikiye ayrılır. Termoset yapıştırıcılar ve termoplastik yapıştırıcılar.

2.1.3.1. Termoset Yapıştırıcılar

Sıvı ve katı formda bulunabilirler. Termoset yapıştırıcıları muhtelif kalınlıklarda filmler halinde de bulmak mümkündür. Bu tip yapıştırıcı filmleri kullanmak, yüzey temizleme işlemi gerektiren yerlerde diğer yapıştırıcılara göre daha kolay ve avantajlıdır.

2.1.3.2. Termoplastik Yapıştırıcılar

Sıvı ve katı halde bulmak mümkündür. Katı termoplastik yapıştırıcılar, granül halde, ekstruderden çekilmiş halde ve otomatik uygulamalar için kangal halinde temin edilebilirler.

2.2. Kompozitlerin İmalat Yöntemleri

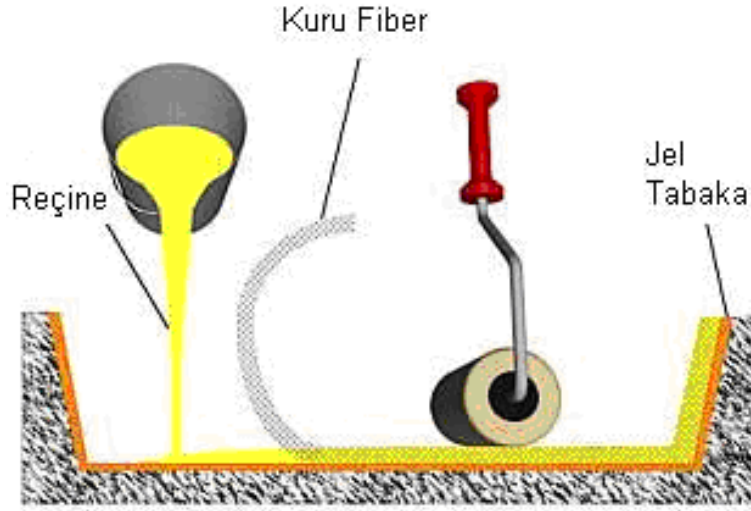
İstenilen özelliklerde ve biçimde kompozit malzeme üretimi için bir çok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler genel olarak açık kalıp yöntemi ve kapalı kalıp yöntemi olarak iki bölüme ayrılırlar. Açık kalıplar, dişi veya erkek parçalı kalıplardır. Bu yöntemle imalatta nispeten düşük basınçlar kullanılır ve karmaşık şekilli ve büyük parçaların imalatına uygundur.

2.2.1. El ile Yayma Metodu

Elyaf hazırlanmış olan kalıp üzerine elle yatırılarak üzerine sıvı reçine emdirilir. Elyaf yatırılmadan önce kalıp temizlenerek jelkot sürülür. Jelkot yapışmayı engelleme amaçlı kullanılan bir maddedir.

Yarı şeffaf, jöle gibidir. Kalıp sertleştirici ve kobalt ile karıştırıldıktan sonra sürülür, isteğe göre renk pigmenti eklenir. Jelkot sertleştikten sonra elyaf katları yatırılır. Reçine ise kompozit malzemenin hazır olması için en son sürülür. Bu işlemde elyaf kumaşına reçinenin iyi nüfuz etmesi önemlidir.

El ile yayma tekniği en çok cam elyaftan üretilen kompozit parçalar için kullanılır. El ile yayma yoğun işçilik gerektirmesine rağmen dşuk sayıdaki üretimler için çok uygundur.



şekil 2.1 El İle Yayma Metodu

2.2.2. Otoklav Metodu (Prepreg Metodu)

Bir otoklav sisteminde, farklı malzemelerin kr işlemi için, belirlenmiş bir programa göre basınçlı bir tank içerisinde kompleks kimyasal reaksiyonlar oluşur. Dışarıdan sıkıştırılmış gazın kompozit malzemenin içinde bulunduğu kaba verilmesidir.

Otoklav kesin basıncın, ısının ve emişin kontrol edilebildiği basınçlı bir kaptır. Fırın yerine bir otoklav kullanılır. Böylece zel amaçlar için yüksek kalitede kompozit üretebilmek için kr şartları tam olarak kontrol edilebilir. Bu sistemin ana elemanları basınçlı bir tank, tank içerisinde gaz akımını sağlayan bir ısı kaynağı, i basınç sistemi ve operasyon kontrol sistemleridir. Ayrıca kalıpları otoklava yüklemek için raylı bir araç sistemi gereklidir.

Önceden reçine emdirilmiş elyaflara prepreg denir. Prepreg metodu, el ile yayma metoduna göre çok daha hassas bir metottur. Vakum torbası hazırlanması ve otoklavda sertleştirme zorunluluğu yüzünden imalat maliyeti daha fazladır. Prepregler belirli bir raf ömrüne sahip olduklarından kullanım öncesi dondurularak (-

18⁰C ve daha aşağısı ortamda genelde 6 ay, 1 yıl 6m6rl6d6r) depolanması zorunludur. Ayrıca prepreglerin otoklavda sertleştirilmeleri 6ncesi oda sıcaklığında kalış s6releri de yaklaşık 240 saatle sınırlıdır. Bu y6ntem diğerlerine oranla daha uzun s6rede uygulanır ve daha pahalıdır.

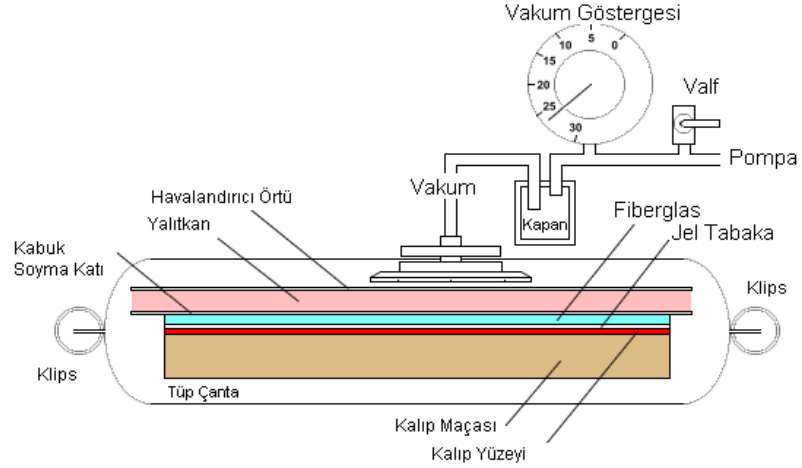


şekil 2.2 Otoklav Y6ntemi

2.2.3. Vakum Altında şekillendirme

Prepreg katlar veya plakalar preslenmeden şekillendirilebilir. Kompozit malzeme (genellikle geniş sandviç yapılar) 6nce bir kalıba yerleştirilir, ardından bir vakum torbası en 6st katman olarak yerleştirilir. İçerideki havanın emilmesiyle vakum torbası, yatırılan malzemenin 6zerine 1 atmosferlik basınç uygulayarak aşağıya çekilir. Sonraki aşamada t6m bileşim bir fırına yerleştirilerek reçinenin k6r işlemi için ısıtılır. Yaklaşık bir saat zaman alır.

Bu y6ntem sıklıkla prepreg malzemelerden kompleks parçaların 6retiminde kullanılır. Kompozit malzeme tamir işlemlerinde de bu y6ntem kullanılmaktadır.



Şekil 2.3 Vakum altında şekillendirme

2.2.4. Hazır Kalıplama

Hazır kalıplama bünyesinde elyaf, reçine, katkı ve dolgu malzemeleri içeren kalıplamaya hazır kalıplama bileşimleri olarak adlandırılan kompozit malzemelerin (SMC, BMC) sıcak pres kalıplarla ürüne dönüştürülmesidir.

Karmaşık şekillerin üretilebilmesi, metal parçaların bünye içine gömülebilmesi, farklı cidar kalınlıkları gibi avantajları bulunmaktadır. Ayrıca ürünün iki yüzü de kalıp ile şekillenmektedir. Diğer kompozit malzeme üretim tekniklerinin olanak vermediği delik gibi karmaşık şekiller elde edilebilmektedir. Iskarta oranı düşüktür.

Bu yöntemin dezavantajları:

- kalıplama bileşimlerinin buzdolaplarında saklanması gerekliliği
- kalıpların metal olmasından dolayı diğer kalıplardan daha maliyetli olması
- büyük parçaların üretimi için büyük ve pahalı preslere ihtiyaç olmasıdır.

Hazır kalıplama yönteminde kullanılan bileşimler içeriklerine göre çeşitlilik göstermekle beraber en çok iki tür hazır kalıplama bileşimi kullanılmaktadır;

- **Hazır Kalıplama Pestili / SMC (Sheet Moulding Composites)**

SMC takviye malzemesi olarak, kırılmış lif ile dolgu malzemesi içeren bir reçinenin önceden birleştirilmesi ile oluşan pestil biçiminde malzemedir. Sürekli lifler, 25-50 mm kırılmış olarak ve kompozitin toplam ağırlığının %25-30 oranında kullanılır. Genellikle 1m genişliğinde ve 3mm kalınlığında üretilir.

- **Hazır Kalıplama Hamuru / BMC (Bulk Moulding Composites)**

BMC takviye malzemesi olarak, kırılmış lif ve dolgu malzemesi içeren bir reçinenin önceden birleştirilmesi ile oluşan hamur biçiminde malzemedir. Hazır kalıplama bileşimlerinin avantajları;

- Çok geniş tasarım esnekliğine sahip,
- Düzgün yüzey,
- Kolayca saklanabilme, boyanabilme ve kalıp içinde yüzeyin kaplanabilmesi
- Geri dönüştürülebilme ve hazırlığında geri dönüşmüş malzeme kullanabilme,
- Metal gömme parçaların yerleştirilmesi ile montaj kolaylığı,
- Yüksek alev dayanımı,
- Isı dayanımı,
- Soğukta kırılgan değildirler.

Bu yöntem reçine transfer kalıplamaya (RTM) benzer bir yöntemdir. Farklılığı reçine/elyaf karışımının kalıp dışarısında karışmış ve eritilerek basınç altında boş kalıp içine enjekte ediliyor olmasıdır. Sadece düşük viskoziteye sahip termoset reçineler bu yöntemde kullanılabilir. Diğer yöntemlere göre daha hızlıdır. Çocuk oyuncaklarından uçak parçalarına kadar bir çok ürün bu yöntemle üretilmektedir.

2.2.5. Reçine Transfer Kalıplama (RTM)

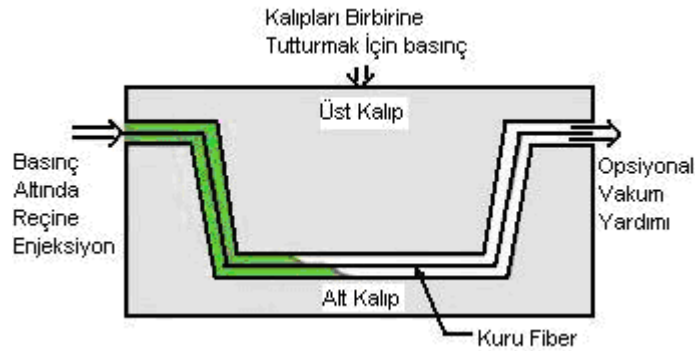
Bu kompozit üretim yönteminde el ile yayma, sistemlere daha hızlı ve uzun ömürlü olmakla birlikte iki parçalı kalıp kullanmak gereklidir. Kalıbın kompozit

malzemeyle yapılması çelik kalıp maliyetine göre daha düşük kalmasına neden olmaktadır.

RTM yöntemi çoğunlukla jelkotlu veya jelkotsuz her iki yüzeyinde düzgün olması istenen parçalarda kullanılır. Takviye malzemesi olarak kuru keçe, kumaş veya ikisinin kombinasyonu kullanılır.

Takviye malzemesi önceden kalıp boşluğu doldurulacak şekilde kalıba yerleştirilir ve kalıp kapatılır. Elyaf lar matris içinde geç çözünen reçinelerle kaplanarak kalıp içerisinde sürüklenmesi önlenir. Reçine basınç altında kalıba pompalanır. Bu süreç daha fazla zaman ister. Matris enjeksiyonu soğuk, ılık veya en çok 80 °C 'ye kadar ısıtılmış kaplarda uygulanabilir. Bu yöntemde içerideki havanın dışarı çıkarılması ve reçinenin elyaf içine iyi işlemesi için vakum kullanılabilir.

Elyafın kalıba yerleştirilmesinden dolayı uzun sayılabilecek bir işçilik gerektirir. Kalıp kapalı olduğu için ise zararlı gazlar azalır ve gözeneksiz bir ürün elde edilebilir. Bu yöntemle karmaşık parçalar üretilebilir. Concorde uçaklarında, F1 arabalarında bazı parçalar bu yöntemle hazırlanmaktadır.

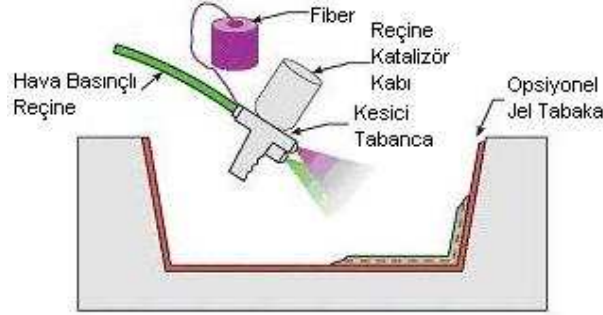


Şekil 2.4 RTM Yöntemi

2.2.6. Püskürtme Yöntemi

Püskürtme yöntemi elle yatırma yöntemini aletli şekli olarak kabul edilebilir. Kırpılmış elyaf lar kalıp yüzeyine, içine sertleştirici katılmış reçine ile birlikte özel bir

tabanca ile püskürtülür. Elyafın kırılma işlemi tabanca üzerinde bulunan ve bağımsız çalışan bir kırpıcı sayesinde yapılır. Püskürtülme işlemi sonrası yüzeyin bir rulo ile düzeltilmesiyle ürün hazırlanmış olur.

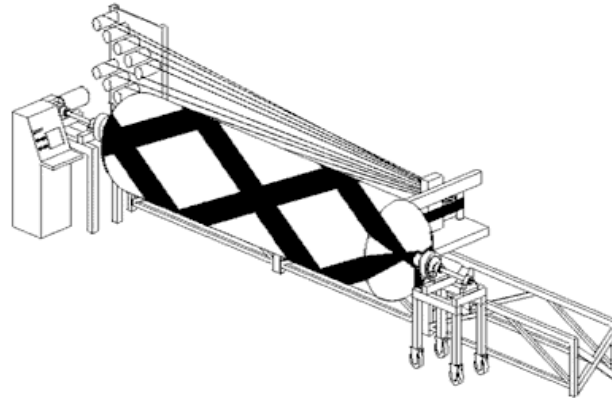


Şekil 2.5 Püskürtme Yöntemi

2.2.1. Flaman (İplik) Sarma Metodu

Elyafın proses esnasında reçineden geçirilerek mandrel sarılması şeklindedir. Reçine emdirilmiş elyaf önce belirlenmiş bir şekilde dönen bir mandrel üzerine sarılır. Islak teknikte elyaf ipliği düşük viskoziteli reçineye batırılıp reçine emdirilerek dönen mandrel üzerine sarılır. Kuru teknikte ise reçine elyaf ipliği önce emdirilir. Sarma işlemi kuru malzeme ile yapılır.

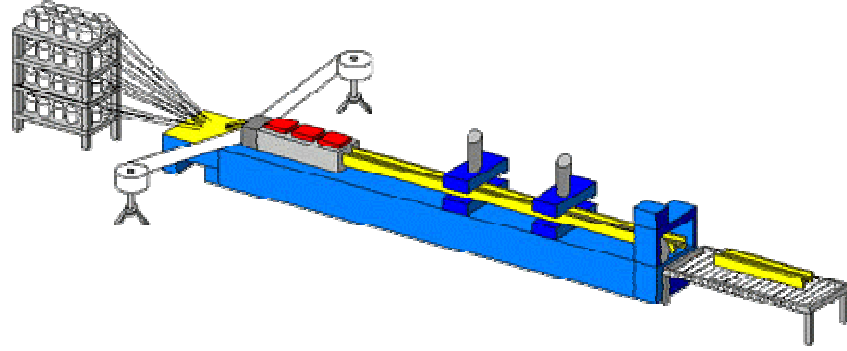
Sürekli liflerin farklı açılarla kalıba sarılmasıyla farklı mekanik özelliklerde ürünler elde edilebilir. Bu yöntem özel biçime sahip ürünlerin seri üretimine uygundur. Bu yöntemle yapılan ürünler genellikle silindirik borular, araba şaftları, uçak su tankları, yat direkleri, dairesel basınç tanklarıdır.



Şekil 2.6 İplik (Flaman) Sarma Makinesi

2.2.8. Profil Çekme (Pultruzyon)

Pultruzyon işlemi sürekli sabit kesitli kompozit profil ürünlerin üretilebildiği düşük maliyetli seri üretim yöntemidir. Pull ve Extrusion kelimelerinden türetilmiştir. Sisteme beslenen sürekli takviye malzemesi reçine banyosundan geçirildikten sonra 120 – 150 °C 'ye ısıtılmış şekillendirme kalıbından geçilerek sertleşmesi sağlanır. Kalıplar genellikle krom kaplanmış parlak çelikten yapılmaktadır. Sürekli elyaf kullanılmasından dolayı takviye yönünde çok yüksek mekanik mukavemet elde edilir. Enine yükleri karşılayabilmek için özel dokumalar kullanmak gerekmektedir.



Şekil 2.7 Pultruzyon Yöntemi

2.2.9. Preslenebilir Takviyeli Termoplastik Metodu(GMT)

Keçe türünde elyaf takviyesi içeren termoplastik reçine ile yapılmış plaka şeklinde preslenebilir kalıplamaya hazır özel amaçlı bir takviyeli termoplastik çeşidini tanımlamaktadır. GMT'nin hazırlanması SMC'ye benzemektedir.

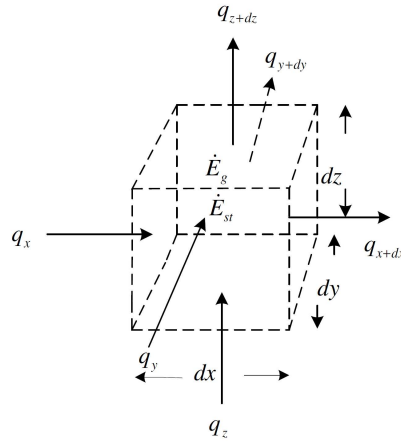
Ekstruderden çekilen bir termoplastik levha üzerine yumuşak haldeyken bir elyaf takviyesi yerleştirilir. Bu katmanların üzerine bir diğer termoplastik levhada yumuşakken yerleştirilerek soğuk hadde silindirlerinin arasından geçirilir. Sertleşen plakalar kesilerek preslenmeye hazır duruma getirilir.

3. TEORİ VE MODELLEME

İlgilenilen problem ortotropik olmakla birlikte, temel teşkil etmesi açısından izotrop malzemeler için üç boyutlu ısı transferi denklemi tekrar ele alınacaktır.

3.1 Üç Boyutta Isı İletim Denklemi

Isı iletim çözümlenmesinde asıl amaç, verilen sınır koşulları için bir ortamda sıcaklık dağılımını belirlemektir. Başka bir ifadeyle, ortamda sıcaklığın yerel olarak nasıl değiştiği bulunmak istenir. Bu dağılım bilindiğinde, ortam içinde veya yüzeyinde herhangi bir noktadaki iletimle ısı akışı Fourier Yasası'ndan hesaplanabilir.



Şekil 3.1- $w(x, y, z, t)$ Sıcaklık Dağılımının Kartezyen Koordinatlardaki Gösterimi

İçinde kütleli hareket olmayan ve bir t anında $w(x, y, z, t)$ sıcaklık dağılımının kartezyen koordinatlarda gösterilen homojen bir ortam ele alınsın. Enerji korunumu uygulanarak, sonsuz küçük bir kontrol hacmi $dx \times dy \times dz$ olarak tanımlanır.

İkinci adım bu kontrol hacmi ile ilgili enerji etkileşimlerini ele almaktır. Sıcaklık gradyanları varsa kontrol yüzeylerinin her biri üzerinde iletimle ısı geçişi olacaktır. x , y ve z eksenleri üzerindeki kontrol yüzeylerinin her birine dik ısı iletimi sırasıyla; q_x , q_y ve q_z terimleri ile gösterilir. Karşı yüzeylerdeki ısı iletimi ise yüksek mertebeden terimlerin atıldığı bir Taylor seri açılımı ile ifade edilir.

$$\begin{aligned}
q_{x+dx} &= q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} dx \\
q_{y+dy} &= q_y + \frac{\partial q_y}{\partial y} dy \\
q_{z+dz} &= q_z + \frac{\partial q_z}{\partial z} dz
\end{aligned} \tag{3.1}$$

Burada q_{x+dx} , $x + dx$ 'deki ısı iletimini ve $\frac{\partial q_x}{\partial x} dx$, dx uzunluğundaki değişimi verir.

Ortam içinde ısı enerjisi üretimi ile ilgili olarak bir enerji kaynağı terimi de bulunabilir. Bu terim,

$$\dot{E}_s = \dot{q} dx dy dz$$

Ayrıca, kontrol hacminde malzeme tarafından depolanan ısı enerjide değişimler olabilir. Malzemede bir faz değişimi olmuyorsa gizli ısı etkileri yoktur ve enerji depolama terimi

$$\dot{E}_{st} = \rho c_p \frac{\partial w}{\partial t} dx dy dz \quad \text{olarak yazılır.}$$

Burada w sıcaklık, t zaman, c_p sabit basınçta özgül ısı, \dot{E}_{st} kontrol hacmi içinde depolanan enerjide birim zamandaki değişim $\left(\frac{dE_{st}}{dt} \right)$, $\rho c_p \frac{\partial w}{\partial t}$ ortamın ısı enerjisinin birim hacimde, birim zamanda değişimidir.

Materyaldeki ısı enerjisi diğer bazı enerji türlerinin tüketimi sonucunda üretiliyorsa terim (\dot{E}_g) artıdır (kaynak); ısı enerjisi tüketiliyorsa bu terim eksidir (kuyu).

$$\dot{E}_i + \dot{E}_g - \dot{E}_o = \dot{E}_{st}$$

\dot{E}_i enerji girişi, \dot{E}_g enerji (ısı) üretimi, \dot{E}_o enerji çıkışıdır. Enerji korunumunun an denkleminin bu son ifadede \dot{E}_s ve \dot{E}_{st} eşitliklerinden yararlanılırsa,

$$q_x + q_y + q_z + \dot{q} dx dy dz - q_{x+dx} - q_{y+dy} - q_{z+dz} = \rho c_p \frac{\partial w}{\partial t} dx dy dz$$

elde edilir. \dot{q} birim hacimdeki ısı üretimidir. Buradan (3.1) eşitlikleri kullanılırsa

$$-\frac{\partial q_x}{\partial x} dx - \frac{\partial q_y}{\partial y} dy - \frac{\partial q_z}{\partial z} dz + \dot{q} dx dy dz = \rho c_p \frac{\partial w}{\partial t} dx dy dz \quad (3.2)$$

bulunur.

Isı iletimi Fourier Yasası ile yazılabilir:

$$q_x'' = -k \frac{\partial w}{\partial x}, q_y'' = -k \frac{\partial w}{\partial y}, q_z'' = -k \frac{\partial w}{\partial z}$$

Bu ifadelerin her biri, bir yüzeydeki ısı akısının yüzeye dik yöndeki sıcaklık gradyanı ile ilişkisini göstermektedir. Burada k ısı iletim katsayısı, q'' ısı akısıdır. Geçen ısıyı elde etmek için her bir ısı akısı bileşeni uygun kontrol yüzey alanı ile çarpılır.

$$q_x = -k dy dz \frac{\partial w}{\partial x}$$

$$q_y = -k dx dz \frac{\partial w}{\partial y}$$

$$q_z = -k dx dy \frac{\partial w}{\partial z}$$

eşitlikleri (3.2)'de yerine yazılırsa,

$$k dy dz \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right) dx + k dx dz \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right) dy + k dx dy \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right) dz + \dot{q} dx dy dz = \rho c_p \frac{\partial w}{\partial t} dx dy dz$$

olur. Her iki taraf $dx dy dz$ ile bölüldüğünde

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial w}{\partial x} \right) dx + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial w}{\partial y} \right) dy + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial w}{\partial z} \right) dz + \dot{q} = \rho c_p \frac{\partial w}{\partial t}$$

elde edilir. Isı yayılım denkleminin Kartezyen koordinatlardaki genel biçimidir (ısı denklemdir). Isı iletimi çözümlemesinin temel aracıdır. Bu denklemin çözümünden $w(x, y, z)$ sıcaklık dağılımı zamanın bir fonksiyonu olarak elde edilebilir. Bu ifade karmaşık gibi görünse de önemli bir fiziksel olguyu, enerjinin korunumunu ortaya koymaktadır. Denklemden;

$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial w}{\partial x} \right)$ terimi x yönünde kontrol hacmine net iletim akısını belirtmektedir. dx

ile çarpıldığında;

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial w}{\partial x} \right) dx = q_x'' - q_{x+dx}''$$

olup y ve z yönündeki akılar için benzer ifadeler yazılabilir.

Isı denklemi, ortamın herhangi bir noktasında birim hacime iletimle geçen enerji ile birim hacimde üretilen ısı enerjisinin toplamının hacim içerisinde depolanan ısı enerjisinin değişimine eşit olması gerektiğini ifade etmektedir. Isı denkleminde ısı iletim katsayısı sabitse, ısı denklemi;

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{\rho c_p}{k} \frac{\partial w}{\partial t}; \alpha = \frac{k}{\rho c_p} \quad \text{haline gelir.}$$

Burada α ısı yayılma katsayısıdır.

- Isı denklemi bir boyutlu ise yani sadece x yönünde ise, ısı üretiminin olmadığı ve ısı iletim katsayısının sabit alındığı durum için denklem;

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial w}{\partial t}; \alpha = \frac{k}{\rho c_p}$$

biçiminde bir boyutlu geometri için ısı denklemi elde edilir.

- Isı denklemi iki boyutlu ise yani sadece x, y yönünde ise, ısı üretiminin olmadığı ve ısı iletim katsayısının sabit alındığı durum için denklem;

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial w}{\partial t}; \alpha = \frac{k}{\rho c_p}$$

formunda iki boyutlu geometri için ısı denklemi elde edilir.

- Isı denklemi üç boyutlu ise ısı üretiminin olmadığı ve ısı iletim katsayısının sabit alındığı durum için denklem;

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial w}{\partial t}; \alpha = \frac{k}{\rho c_p}$$

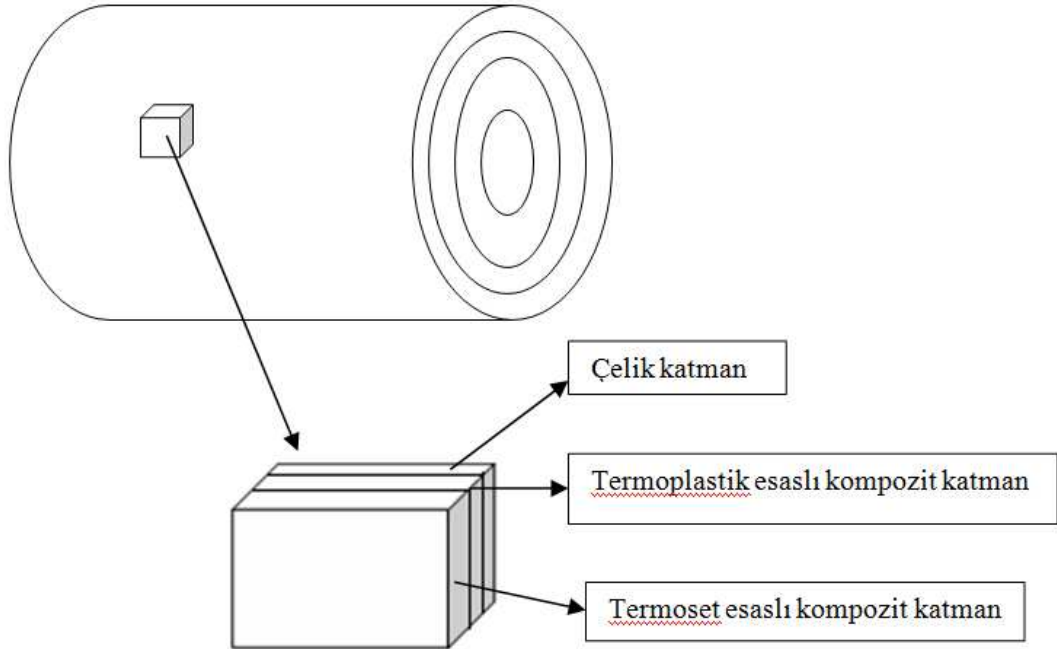
şeklinde üç boyutlu geometri için ısı iletimi denklemi elde edilir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada Şekil 4.1’de görüldüğü üzere üç cidarlı kompozit bir boru analiz edilmiştir. Borunun iç cidarı çelik, ortanca cidarı karbon-termoplastik malzeme ve en dış cidar ise karbon-termoset malzemesidir.

Bir iç ısı kaynağından dolayı borunun iç katman yüzeyinde meydana gelen sıcaklık $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve borunun dış yüzeyindeki atmosferik şartlara ait konveksiyon ısı transfer katsayısı $10\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ olacak şekilde sınır şartlarına maruz bir sonlu eleman benzetim modeli hazırlanmıştır. Çalışmada Ansys® sonlu eleman paket programı kullanılmış olup, zamana bağlı (10 saniye) geçici rejim şeklinde ortotrop malzeme ısı transferi analizi gerçekleştirilmiştir.

Analiz aşamaları Bölüm 4.1’de gösterilmiştir. Borudan alınan bir kesit üç farklı yaklaşımla 4.2-4.4 Bölümlerinde incelenmiştir. Analizlerde kullanılan kompozit malzemenin özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1 Üç cidarlı kompozit borunun kesit geometrisi

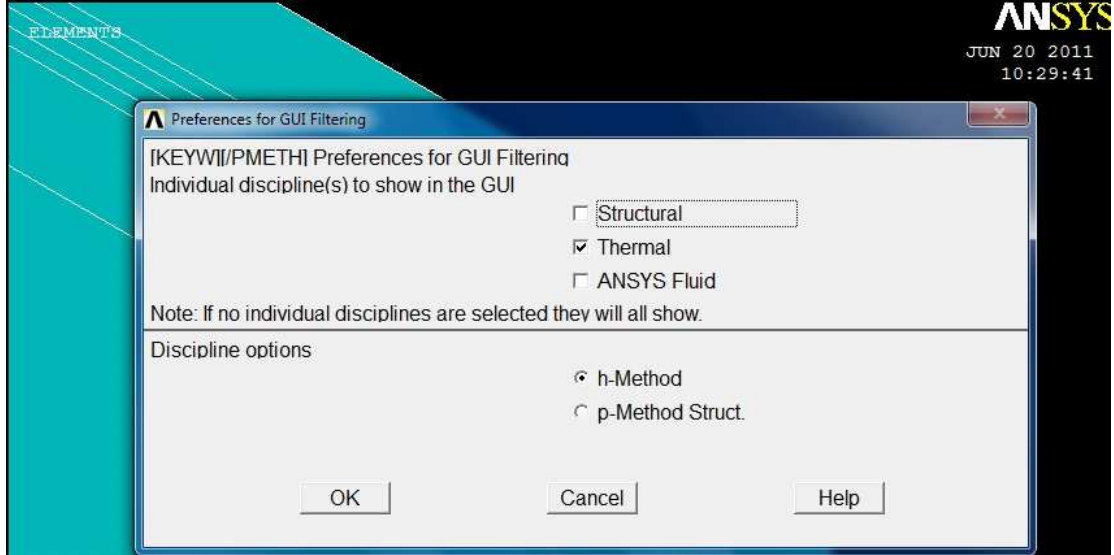
Çizelge 4.1 Kullanılan Kompozit Malzemelerin Termomekanik Özellikleri

Malzeme özellikleri	% 30 S Cam/PEEK	Karbon/Epoxy: AS4/3501-6
E_{11} (GPa)	6.9	138
E_{22} (GPa)	6.9	10.3
G_{12} (GPa)	-	7.2
ν_{12}	-	0.27
S_{1T} (MPa)	124	1830
S_{1C} (MPa)	179	1096
S_{2T} (MPa)	193	57
S_{12} (MPa)	96	71
α_{11} (1E-6/°C)	21.6	-0.9
α_{22} (1E-6/°C)	-	27
ρ (gr/cm ³)	1.54	1.58
k (W/m.K)	$k_x=0.42$	$k_x=15.7$ $k_y=k_z=0.687$
c (J/kg°K)	-	887
h (W/m ² K)	-	85

4.1. Ansys Analiz Aşamaları

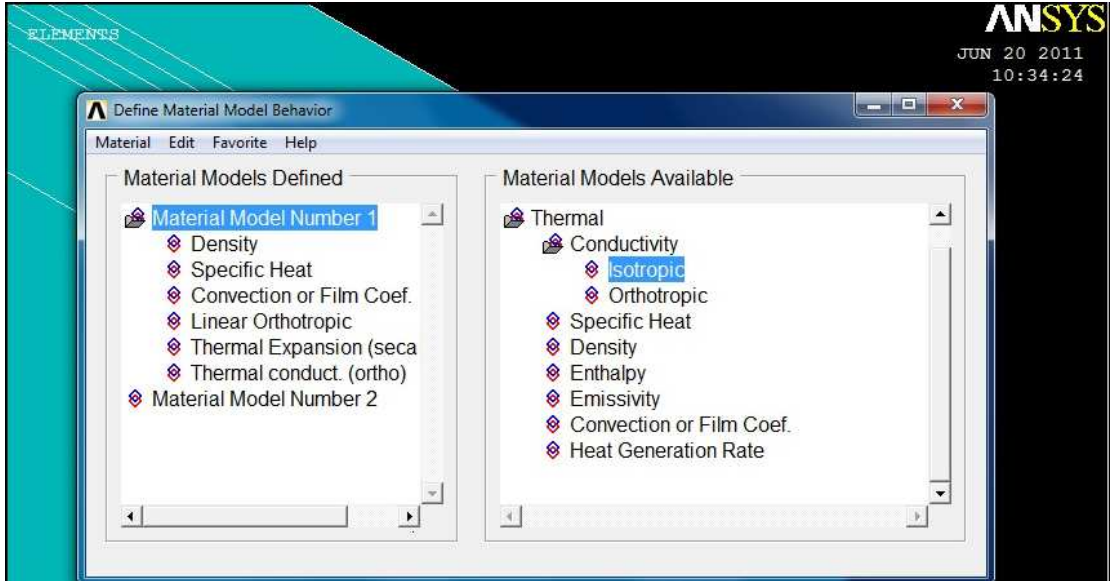
İç cidarı çelik, ortanca cidarı Karbon-termoplastik malzeme ve en dış cidar ise Karbon-Termoset olan üç cidarlı kompozit bir borunun sonlu eleman benzetim modeli Ansys programı ile analiz edilmiştir.

Modellemeye preferences (tercihler) alanında “thermal” analiz ve “h-method” seçilerek başlanmıştır.



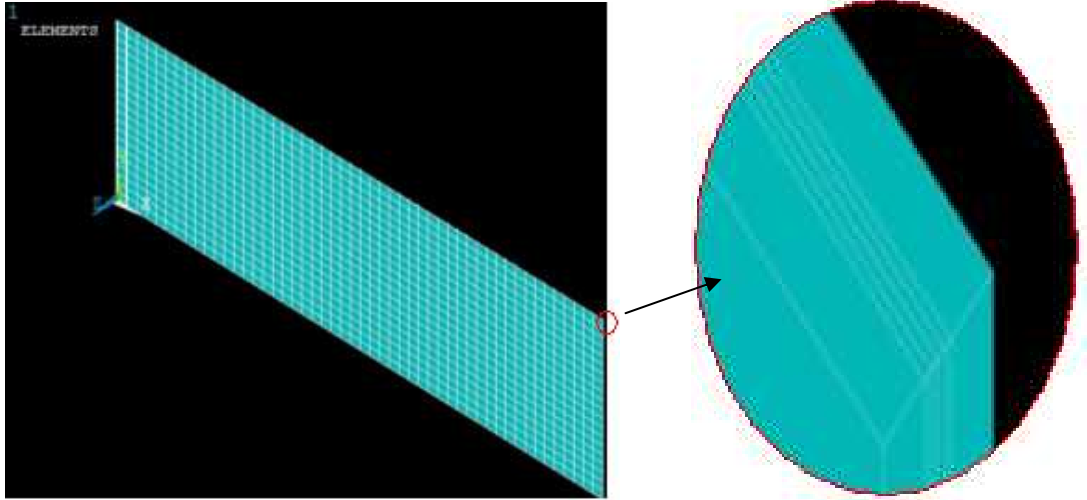
Şekil 4.2 Ansys® Termal analiz belirlenmesine ait ekran görüntüsü

Modellemede kullanılan Cam/PEEK ve Karbon/Epoxy malzemelerinin termomekanik özellikleri Şekil 4.3’ te görüldüğü üzere programa girilerek tanımlanmıştır.



Şekil 4.3 Ansys® Analiz edilecek malzeme modelinin seçilmesine ait ekran görüntüsü

Malzeme tanımı yapılan model, Şekil 4.4’ te boyutlandırılmış ve alınan enine kesit incelenmiştir. Altı katmandan oluşan kesit modelin birinci ve altıncı katmanları 90° diğer katman açıları 15° , 20° ve 45°’lik üç farklı açı oryantasyonu ile sarılmıştır.

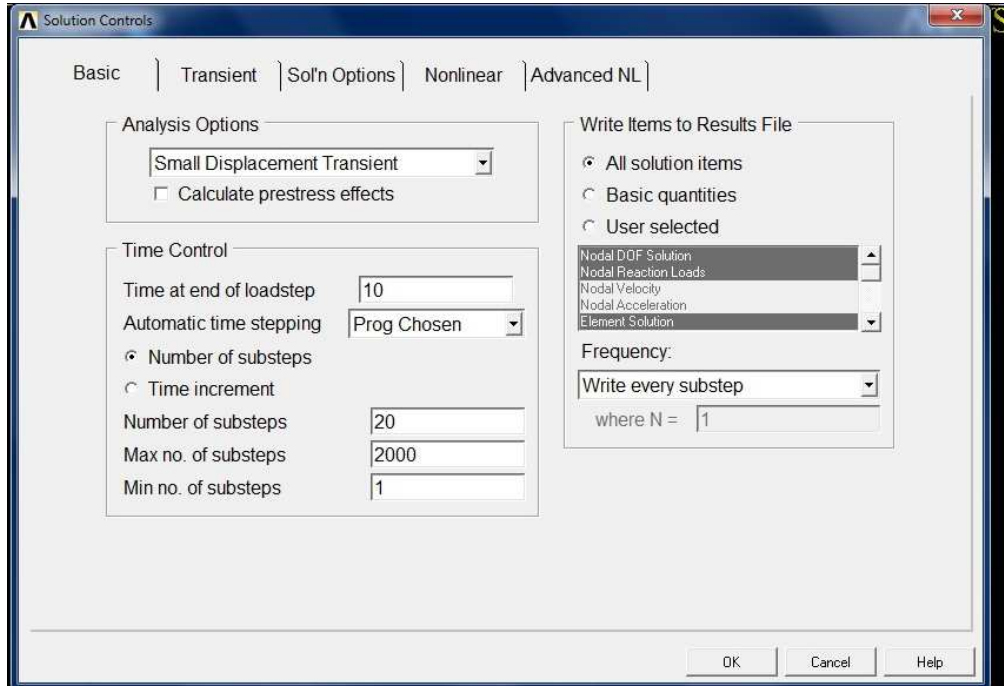


Şekil 4.4 Ansys® Oluşturulan eleman ve sahip olduğu katmanlı yapıya ait ekran görüntüsü



Şekil 4.5 Farklı açılarda sarılan elyaf katmanlarının Ansys® görüntüsü

Bir iç ısı kaynağından dolayı borunun iç katman yüzeyinde meydana gelen sıcaklık $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve borunun dış yüzeyindeki atmosferik şartlara ait konveksiyon ısı transfer katsayısı $10\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ olacak şekilde çalışmada Ansys® sonlu eleman paket programı kullanılmış olup, zamana bağlı (10 saniye) geçici rejim şeklinde ortotrop malzemenin ısı transferi analizi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.6 Modelin Ansys® çözüm modülü

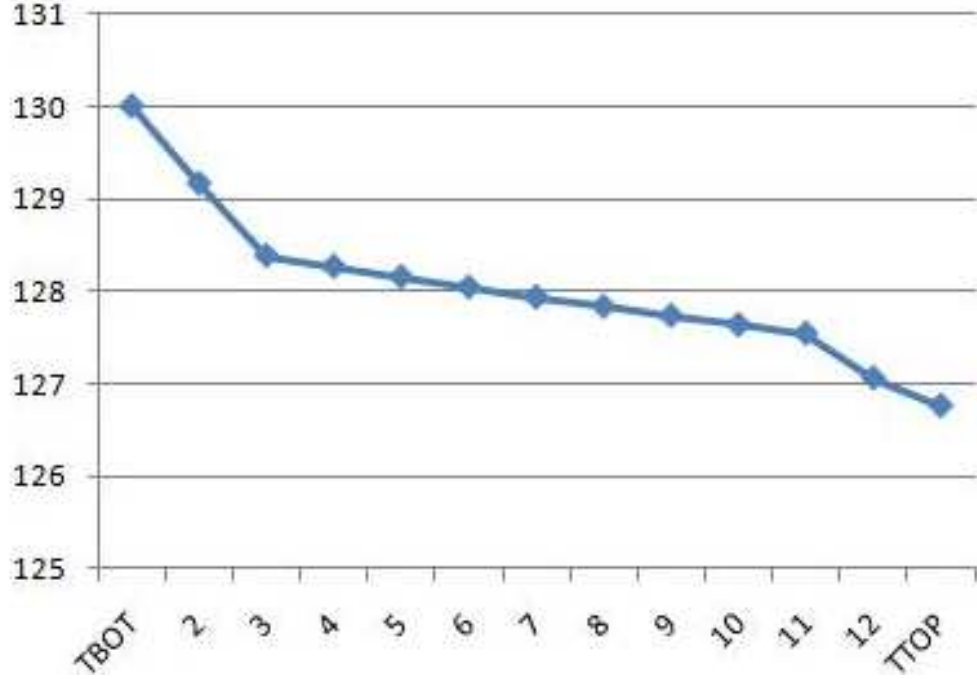
4.2. Karbon-Termoplastik Elyafının Farklı Açılarda Sarımı ve Isı Transferine Etkisi

Elyaf malzemesi altı katman halinde üç farklı sarım açısı ile sarılmıştır.(Şekil4.5) İlk olarak 90/±15/±20/90 şeklinde sarımı yapılmıştır. Alınan kesit malzemesinin iç yüzeyinden dış yüzeyine doğru on üç farklı noktasından sıcaklık değerleri Ansys programı ile hesaplanmış ve Çizelge 4.2’ deki değerler elde edilmiştir.

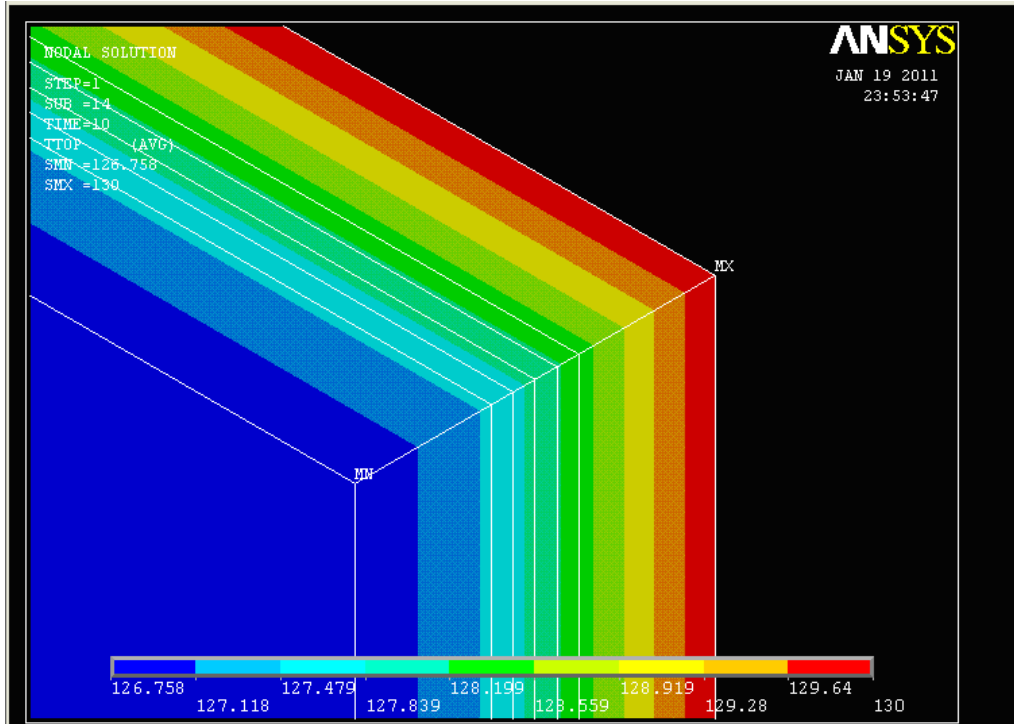
Çizelge 4.2 90/±15/±20/90 sekinde sarım sonucu sıcaklık değerleri

Katman Yüzeyi	Sıcaklık (°C)
TBOT	130
2	129,164
3	128,383
4	128,266
5	128,153
6	128,042
7	127,935
8	127,832
9	127,732
10	127,635
11	127,543
12	127,060
TTOP	126,758

Çizelge 4.2 'de yer alan $90/\pm 15/\pm 20/90$ biçimindeki sarım sonucu sıcaklık değerlerinin grafik üzerinde gösterilişi Şekil 4.7' de verilmiştir.



Şekil 4.7. $90/\pm 15/\pm 20/90$ şeklindeki sarım sonucu hesaplanan sıcaklık değerleri



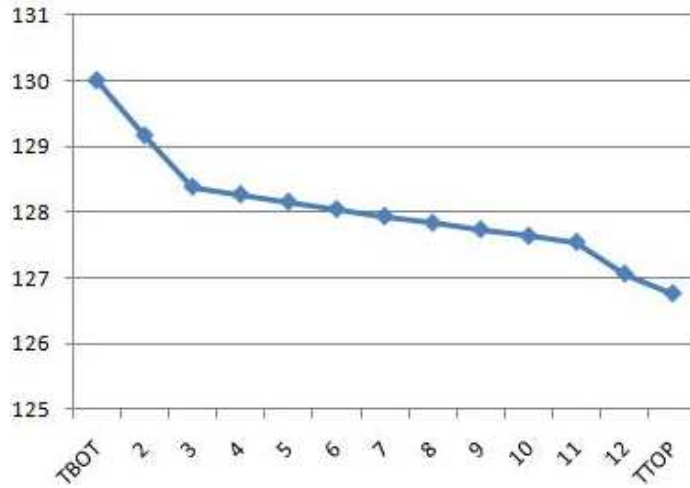
Şekil 4.8. $90/\pm 15/\pm 20/90$ Sarımına ait sıcaklık değerleri Ansys® görüntüsü

Elyaf malzemesi ikinci olarak $90/\pm 20/\pm 15/90$ şeklinde sarımı yapılmış ve alınan kesit malzemesinin iç yüzeyinden dış yüzeyine doğru on üç farklı noktadan sıcaklık değerleri ile Çizelge 4.3 elde edilmiştir.

Çizelge 4.3 $90/\pm 20/\pm 15/90$ sarımı sıcaklık değerleri

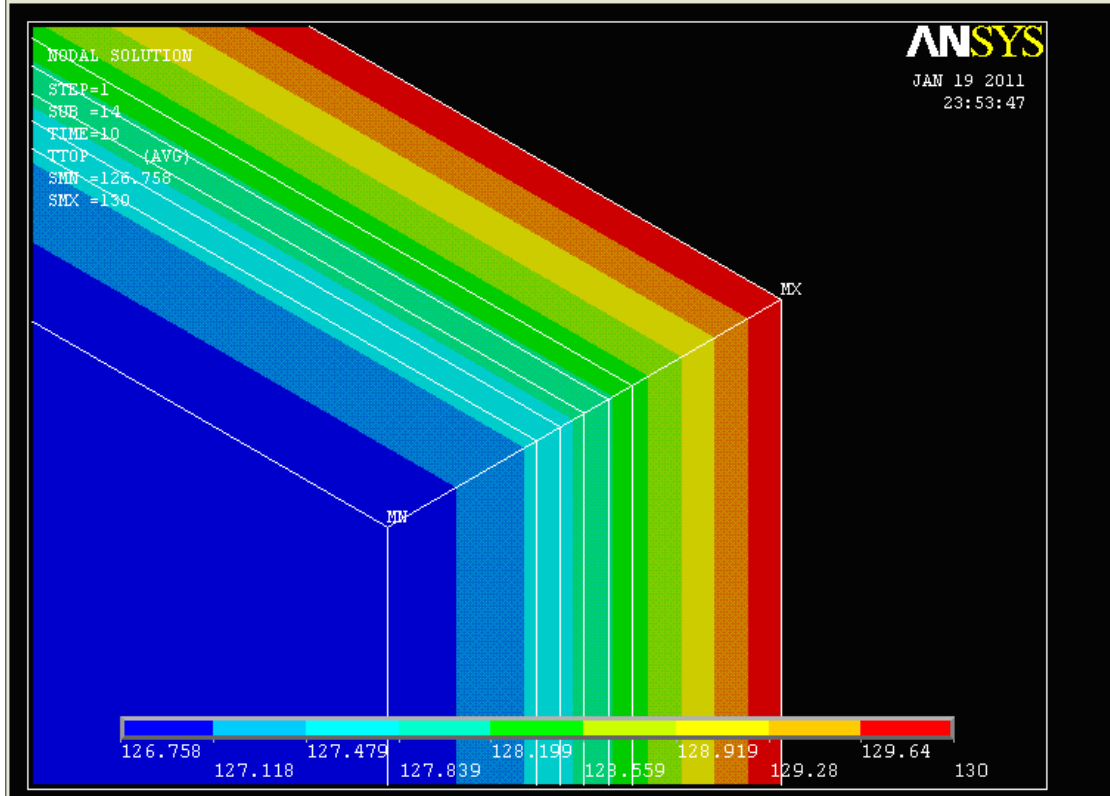
Katman Yüzeği	Sıcaklık (°C)
TBOT	130
2	129,164
3	128,383
4	128,266
5	128,153
6	128,042
7	127,935
8	127,832
9	127,732
10	127,635
11	127,543
12	127,060
TTOP	126,758

Çizelge 4.2’de yer alan $90/\pm 20/\pm 15/90$ biçimindeki sarımı sonucu sıcaklık değerlerinin grafik üzerinde gösterilişi Şekil 4.9’de verilmiştir.



Şekil 4.9 $90/\pm 20/\pm 15/90$ şeklindeki sarım sonucu sıcaklık değerleri

$90/\pm 20/\pm 15/90$ sarımı sıcaklık dağılımı Ansys görüntüsü Şekil 4.10’ te verilmiştir.



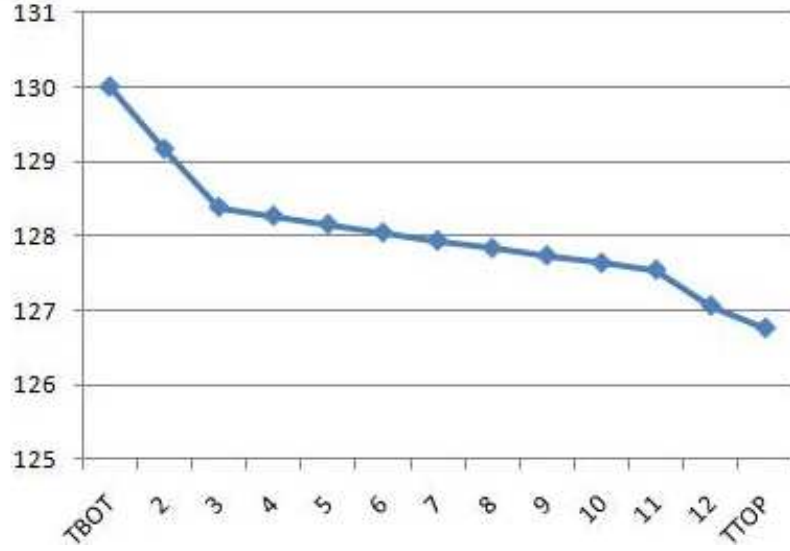
Şekil 4.9 90/±20/±15/90 sarımı sıcaklık değerlerinin Ansys görüntüsü

Son olarak 90/(±45)₂/90 şeklinde sarım yapılmış ve Çizelge 4.4'teki değerler elde edilmiştir.

Çizelge 4.4 90/(±45)₂/90 sarımı sonucu sıcaklık değerleri

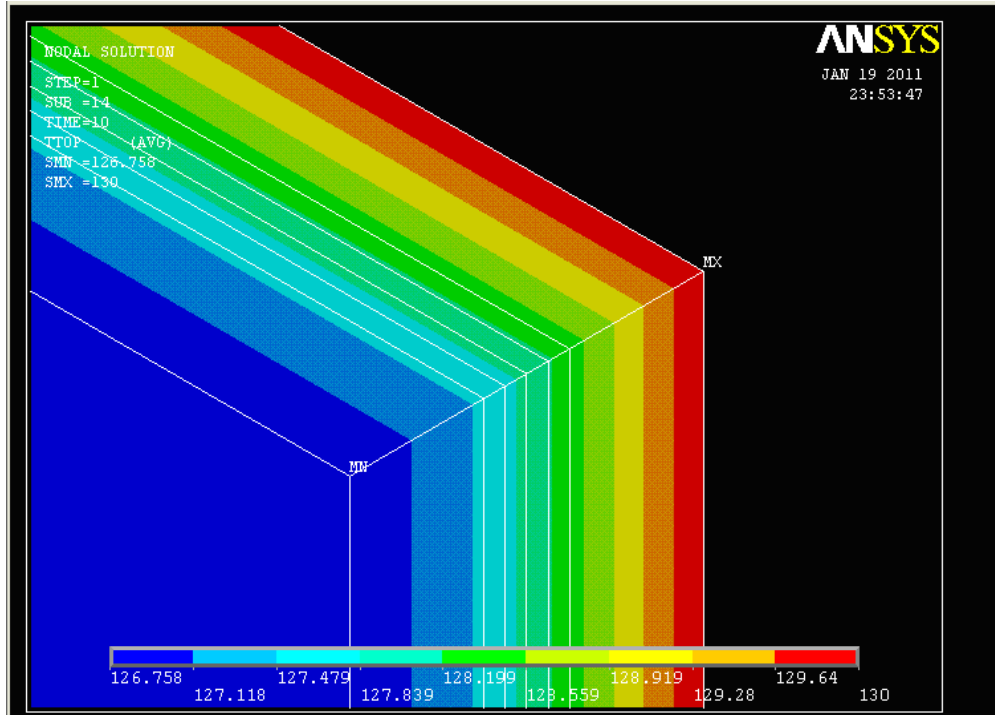
Katman Yüzeyi	Sıcaklık (°C)
TBOT	130
2	129,164
3	128,383
4	128,266
5	128,153
6	128,042
7	127,935
8	127,832
9	127,732
10	127,635
11	127,543
12	127,060
TTOP	126,758

Çizelge 4.4’ de yer alan $90/(\pm 45)_2/90$ biçimindeki sarım sonucu sıcaklık değerlerinin grafik üzerinde gösterilişi Şekil 4.10’de verilmiştir.



Şekil 4.10 $90/(\pm 45)_2/90$ sarım sonucu sıcaklık değerleri

$90/(\pm 45)_2/90$ sarımı sıcaklık dağılımı Ansys görüntüsü Şekil 4.11’ de verilmiştir.



Şekil 4.11. $90/(\pm 45)_2/90$ Sarımı Sıcaklık Dağılımı Ansys Görüntüsü

4.3. Cidar kalınlığı sabit tutularak, katman kalınlıklarının değişiminin ısı transferine etkisi

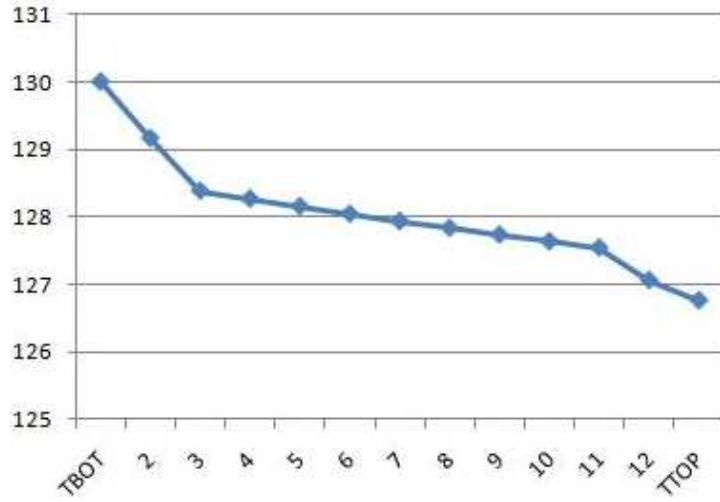
6 mm'lik toplam cidar kalınlığı sabit tutularak, katman kalınlıklarının değişiminin de ısı transferi verimliliğine etkisi incelenmiştir. 90°'lik kompozit katmanların 1 mm olan kalınlığı 1.25 mm'ye artırılıp daha sonra 0.75 mm'ye düşürülerek, analizler 90/±15/±20/90 için tekrar uygulanmıştır. Dolayısıyla ara katman kalınlıkları sırasıyla 0.5 mm ve 1.125 mm olmuştur.

Elyaf malzemesinin kalınlık değeri $t=1\text{mm}$ iken ilk olarak 1.25 mm değerine çıkarılıp, analizler 90/±15/±20/90 için tekrar uygulandı ve Çizelge 4.5'teki değerler elde edilmiştir.

Çizelge 4.5 90/±15/±20/90 sarım ve $t=1.25$ mm kalınlık sonucu sıcaklık değerleri

Katman Yüzeyi	Sıcaklık (°C)
TBOT	130
2	129,162
3	128,381
4	128,264
5	128,150
6	128,039
7	127,934
8	127,830
9	127,731
10	127,632
11	127,541
12	127,06
TTOP	126,756

90/±15/±20/90 sarım ve $t=1.25$ mm kalınlık sonucu sıcaklık değerleri Şekil 4.12'de grafik halinde gösterilmiştir.



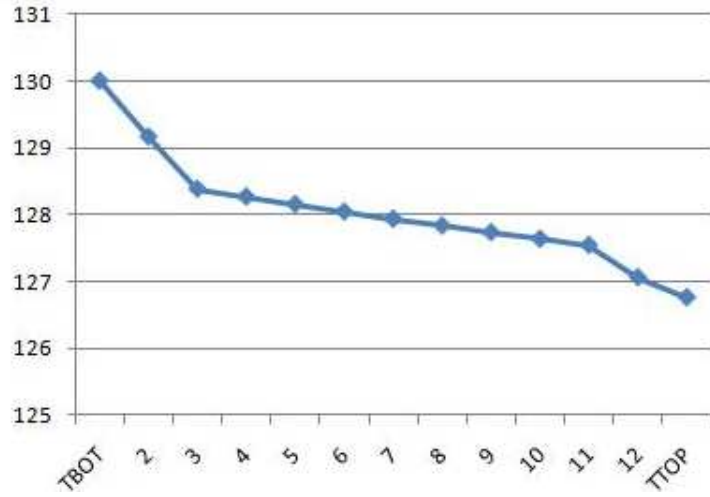
Şekil 4.12 90/±15/±20/90 sarım ve t=1.25 mm kalınlık sonucu sıcaklık değerleri

Elyaf malzemesinin kalınlık değeri t=1mm iken ilk 0.75 mm değerine indirildi ve aynı analizler 90/±15/±20/90 sarımı için uygulandı.

Çizelge 4.6 90/±15/±20/90 sarım ve t=0.75 mm kalınlık sonucu sıcaklık değerleri

Katman Yüzeyi	Sıcaklık (°C)
TBOT	130
2	129,166
3	128,385
4	128,268
5	128,154
6	128,042
7	127,939
8	127,836
9	127,737
10	127,638
11	127,546
12	127,068
TTOP	126,768

90/±15/±20/90 sarım ve t=0.75 mm kalınlık sonucu sıcaklık değerleri Şekil 4.13'de grafik halinde gösterilmiştir.



Şekil 4.13. 90/±15/±20/90 sarım ve t=0.75 mm kalınlık sonucu sıcaklık değerleri

4.4. Farklı Isı İletim Katsayısına Sahip Malzeme Sarımı Sonucu Isı Transferi Etkisi

Alt Bölüm 4.2 ve 4.3' teki analizlerde kullanılan ısı transferi katsayıları değiştirildi. Isı transferi katsayısı 10 kat artırılıp ve daha sonra 10 kat azaltılıp, yeniden inceleme yapıldı. Elde edilen değerler Çizelge 4.7 ve 8' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7 90/±15/±20/90 Sarım ve İletim Katsayısı 10 kat Yüksek Malzeme Kullanımı Sonucu Sıcaklık Değerleri

Katman Yüzeyi	Sıcaklık(°C)
TBOT	130
2	129,948
3	129,896
4	129,888
5	129,879
6	129,871
7	129,863
8	129,854
9	129,846
10	129,838
11	129,829
12	129,777
TTOP	129,725

Çizelge 4.8 90/±15/±20/90 sarım ve iletim katsayısı 10 kat düşük malzeme kullanımı sonucu sıcaklık değerleri

Katman Yüzeyi	Sıcaklık(°C)
TBOT	130
2	120,77
3	112,329
4	111,1
5	109,912
6	108,767
7	107,669
8	106,618
9	105,619
10	104,672
11	103,78
12	99,538
TTOP	97,831

5. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRMELER

İlk analizde grafikler ve çizelgelerden de görüldüğü üzere elyafın sarım açısının değişmesi sıcaklık değişimini etkilememiştir. Üç farklı sarım açısında da $(90/\pm 15/\pm 20/90, 90/\pm 20/\pm 15/90$ ve $90/(\pm 45)_2/90)$ aynı sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Bu analizden de anlaşılacağı üzere elyafın sarım açısı farklılığı ısı transferinde herhangi bir değişiklik yaratmamıştır.

İkinci analiz de ise elyafın sarım kalınlığı üzerinde çalışılmıştır ve 6 mm'lik katman kalınlığı sabit tutularak karbon elyafının 90'lik ilk ve son sarım açıları 1'er mm olarak sarılmıştır. Ara katmanların kalınlıkları eşit oranda değiştirilmiş olup, bu analiz sonuçları incelendiğinde kalınlığın ısı transferini minimal değerlerde etkilediği hesaplanmıştır.

Üçüncü analizde ise malzeme değişikliği yapılarak yeniden sıcaklık değerleri incelenmiş ve ısı iletim katsayısı büyük olan malzemenin iç yüzey sıcaklığı ile dış yüzey sıcaklığı arasındaki farkın göreceli olarak az olduğu, bunun aksine ısı iletim katsayısı küçük olan malzeme kullanıldığında ise bu farkın çok olduğu ve %23 oranında değişim gösterdiği ortaya çıkarılmıştır.

6. KAYNAKLAR

- [1] A. Önder, “First Failure Pressure of Composite Vessel”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İZMİR, Şubat 2007.
- [2] B. Balya, “Design And Analysis Of Filament Wound Composite Tubes” ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, Ankara 2004.
- [3] Littlefield, A., Hyland, E., “Prestressed Carbon fiber Composite Overwrapped Gun Tube,” Proceedings of 25th Army Science Conference, Orlando, 27 – 30 Nov 2006.
- [4] Zhou W., Wang, C., An, Q., Qu, H., 2008. “Thermal Properties of Heat Conductive Silicone Rubber Filled with Hybrid Fillers”, Journal of Composite Materials, 42, 173-187.
- [5] T. Y. Kam, Y. W. Liu & E T. Lee, “First-ply failure strength of laminated composite pressure vessels” Composite Structures Vol. 38, No. 1-4, pp. 65-70.
- [6] J. M. Lifshitz, H. Dayan, “Filament-wound pressure vessel with thick metal liner” Composite Structures”, 32 (1995) 313–323.
- [7] Hisao Fukunaga and Masuji Uemura, “Optimum Design of Helically Wound Composite Pressure Vessels”, Composite Structures 1 (1983) 31-49.
- [8] M. Xia, H. Takayanagi, K. Kemmochi, “Analysis of Multi-Layered Filament-Wound Composite Pipes Under Internal Pressure”, Composite Structures 53 (2001) 483-491.
- [9] R.R. Chang, “Experimental and theoretical analyses of first-ply failure of laminated composite pressure vessels “ Composite Structures 49 (2000) 237-243.

- [10] SAYMAN Onur, “Kompozit basınçlı kaplar, açık silindirler ve kapalı silindirlerin çevre etkileri altında mekanik özelliklerinin geliştirilmesi”, Dokuz Eylül Üniversitesi, İZMİR, 2007.
- [11] Ozalp, F., Akkaya, Y., Sengul, C., Akcay, “Curing Effects on Fracture of High Performance Cement Based Composites With Hybrid Steel”, 2007.
- [12] Bakaiyan H., Hosseini H., Ameri E., “Analysis of multi-layered filament-wound composite pipes under combined internal pressure and thermomechanical loading with thermal variations”, Composite Structures, 88 (2009), 532-541.
- [13] Tarakçioğlu, N., Gemi, L., Özcan, M., “±450 Filaman sarım cam/epoksi boruların iç basınç altında yorulma hasar davranışı” Selçuk Üniversitesi, 2003.
- [14] Djehiche B., “Bursting problem of filament wound composite pressure vessels”, 2000.
- [15] Wlater H., “Design and manufacture of a composite overwrapped Xenon conical pressure vessel”, 1996.
- [16] Panas Robert, “Bursting problem of filament wound composite pressure vessels”, Massachusetts Technology, Mayıs 2007.