

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**HİBRİT KOMPOZİT MALZEME KULLANARAK
DEKANTÖR SANTRİFÜJ MAKİNESİ TASARIMI, ANALİZİ
VE İMALATI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FATİH YİRMİBEŞ

DENİZLİ, HAZİRAN - 2015

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**HİBRİT KOMPOZİT MALZEME KULLANARAK
DEKANTÖR SANTRİFÜJ MAKİNESİ TASARIMI, ANALİZİ
VE İMALATI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FATİH YİRMİBEŞ

DENİZLİ, HAZİRAN - 2015

KABUL VE ONAY SAYFASI

Fatih YİRMİBEŞ tarafından hazırlanan “**Hibrit Kompozit Malzeme Kullanarak Dekantör Santrifüj Makinesi Tasarımı, Analizi Ve İmalatı**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 16.06.2015 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Prof. Dr. Muzaffer TOPÇU

.....

Üye
Doç. Dr. Emin ERGUN

.....

Üye
Yrd. Doç.Dr. Engin TAN

.....

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. Orhan KARABULUT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tez çalışması T.C. Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi 2014 FBE 013, 2014 BSP 6 numaralı projeleri ile makine alımı, TÜBA tarafından malzeme alımı kapsamında desteklenmiştir.

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

Fatih Yirmibeş

ÖZET

**HİBRİT KOMPOZİT MALZEME KULLANARAK DEKANTÖR
SANTRİFÜJ MAKİNESİ TASARIMI, ANALİZİ VE İMALATI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
FATİH YİRMİBEŞ
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. MUZAFFER TOPÇU)

DENİZLİ, HAZİRAN - 2015

Elektrik ve aydınlatma direkleri, şaftlar, basınçlı kaplar gibi yapıların üretiminde hafiflik, korozyona karşı dayanıklılık, işlenebilirlik gibi özelliklerinden dolayı, genellikle kompozit malzemelerden üretilmiş ürünler tercih edilmektedir. İleri teknoloji ürünü olan bu yapıların üretiminde elyaf sarma metodu sıklıkla kullanılmaktadır. Dekantör santrifüj makinesi endüstriyel anlamda geniş bir çalışma alanına sahiptir. Katı - sıvı - sıvı karışımlarının birbirinden ayrılmasında, katıların konsantresi ve susuzlaştırılmasında, sınıflandırma ve bileşenlerin özütünü almada (ekstraksiyonunda) etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmada dekantör santrifüj tambur aksamının elyaf sarma metodu ile üretiminin yapılabilirliği ele alınmıştır. Bu kapsamda deneysel ölçekte kompozit borular üretilmiştir. Üretilen borulardan çıkarılan numuneler ile kompozit malzemelerin mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Tespit edilen mekanik özellikler analitik ve nümerik çözümleme kullanılmıştır. Yapılan çözümleme silindirik çelik tambur dayanımına eş kompozit tamburun sarım katman sayısı tespit edilmesinde kullanılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Dekantör santrifüj makinası, elyaf sarma metodu, hibrit kompozit boru

ABSTRACT

DECANTER CENTRIFUGE MACHINE DESIGN, ANALYSIS AND PRODUCTION USING WITH HYBRID COMPOSITE MATERIALS

MSC THESIS

FATİH YİRMİBES

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
MECHANICAL ENGINEERING**

(SUPERVISOR:PROF. DR. MUZAFFER TOPCU)

DENİZLİ, JUNE 2015

Products made of composite materials are frequently utilized lately in the manufacturing of many types of structures (electrical and lighting poles, shafts, pressure vessels etc.) due to their mechanical properties like lighter weight, corrosion resistance and process/handling availability. Specifically, the filament winding method is often preferred for these advanced products. Decanter centrifuge machines, for instance, have a large field of application throughout the modern industry, such as separation of suspensions consisting of two or three phases (solid, liquid or solid, liquid, liquid, namely), concentrate dewatering, extraction of components etc. In this study the manufacturing feasibility of decanter centrifuge bowl components via filament winding method are researched. In this context, the composite pipes were manufactured on an experimental scale. The mechanical properties of composite materials were determined through the samples obtained from the tubes manufactured. The mechanical properties determined were used in analytical and numerical analysis. The analysis of the number of winding layers of the composite cylindrical bowl to steel strength is used for the detection.

KEYWORDS:Decanter centrifuge machine, filament winding method, hybrid composite pipe

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ.....	viii
KISALTMALAR	x
ÖNSÖZ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Amaç	2
1.2 Literatür Özeti	4
1.3 Yöntem	8
2. DEKANTÖR TASARIMI	9
2.1 Dekantör Ana Bileşenleri (Elemanları).....	10
2.1.1 Döner Aksam	10
2.1.1.1 Tambur Grubu	11
2.1.1.2 Sıvı çıkış mili	12
2.1.1.3 Katı çıkış mili.....	13
2.1.1.4 Helezon Grubu	13
2.1.1.5 Ana Yataklar	14
2.1.1.6 Şanzıman	15
2.1.2 Şase Grubu	16
2.1.3 Tahrik Grubu.....	16
2.2 Dekantör Teorisi.....	17
2.2.1 Ayırma (Seperasyon) Prensibi	17
2.2.2 Merkezkaç Kuvveti.....	19
2.3 Dekantör Tasarım Parametreleri.....	21
2.3.1 Tambur Et Kalınlığı Hesabı.....	26
2.3.2 Motor Gücüne Etkisinin Belirlenmesi	28
2.4 Dekantörün Boyutlandırılması	29
2.4.1 AISI 414 Malzemedeki Dekantör Tasarım Verileri.....	31
3. KOMPOZİT MALZEMELER	34
3.1 Elyaf Sarım Tekniği	34
3.1.1 Takviye Malzemeleri	35
3.1.2 Matris Malzemeleri.....	36
3.1.3 Sarım İşlemi.....	37
3.1.4 CNC Helisel Elyaf Sarım Makinesi.....	39
3.1.5 Sarım Kontrol Parametreleri	40
3.2 Elyaf Sarma Metoduyla Kompozit Boru Üretimi	40
3.2.1 Çelik Mandren	41
3.2.2 Karbon Elyaf	42
3.2.3 Cam Elyaf	42
3.2.4 Epoksi Reçine ve Sertleştirici	43
3.2.5 Hibrit Kompozit Boru Üretim Süreci	44
3.3 Temel Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi	48

3.3.1	Üretilen Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri.....	50
3.4	Kompozit Malzemelerin Makro Mekanik Hasar Analizi.....	53
3.4.1	Tsai-Wu Teorisi	56
4.	SONLU ELEMANLAR METODU İLE ÇÖZÜMLEME	59
4.1	Problemin Modellenmesi ve Sınır Şartları	60
4.2	Problemin hasar analizine göre katman sayısının belirlenmesi.....	61
4.3	Problemin ANSYS Ortamında Çözüm Yöntemi.....	63
4.4	Ansys Programı yardımıyla çözümü yapılan problemlerin çıktıları ..	68
4.4.1	Dekantör (A) AISI 414 Çelik Çözümü	69
4.4.2	Dekantör (A) Karbon Elyaf Takviyeli Kompozit Çözümü	70
4.4.3	Dekantör (A) Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Çözümü	72
4.4.4	Dekantör (B) AISI 414 Çelik Çözümü	74
4.4.5	Dekantör (B) Karbon Elyaf Takviyeli Kompozit Çözümü.....	76
4.4.6	Dekantör (B) Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Çözümü	78
4.5	KE Takviyeli Kompozit Tamburun Motor Gücü İhtiyacı.....	81
4.6	CE Takviyeli Kompozit Tambur Motor Gücü İhtiyacı	82
5.	BULGULAR	83
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER	84
7.	KAYNAKLAR.....	86
8.	ÖZGEÇMİŞ.....	90

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Dekantör çalışma prensibi (A. Laval 2013).....	9
Şekil 2.2 Dekantör Ana Bileşenleri.....	10
Şekil 2.3 Silindirik tambur montajı.....	11
Şekil 2.4 Konik tambur montajı.....	12
Şekil 2.5 Sıvı çıkış mili.....	13
Şekil 2.6 Seviyesi ayarlanabilir sıvı çıkış gözü plakası.....	13
Şekil 2.7 Katı çıkış mili Ana Yataklar.....	14
Şekil 2.8 Helezon ve yaprakları.....	16
Şekil 2.9 Karışım, çöktürme ve dekantasyon.....	17
Şekil 2.10 Sürekli Dekantasyon süreci.....	18
Şekil 2.11 Viskoz akışkan içerisindeki partiküle ektiyen kuvvetler.....	20
Şekil 2.12 Düzgün dairesel hareket yapan cisme etkiyen merkezci kuvvet.....	20
Şekil 2.13 Emülsiyonun tambur cidarına uyguladığı kuvvet.....	21
Şekil 2.14 Tambur grubunun bazı ölçüleri.....	22
Şekil 2.15 Süspansiyon Hacmi gösterimi.....	23
Şekil 2.16 Konik tamburda kayma kuvveti.....	26
Şekil 3.1 Elyaf sarım yöntemi şematik gösterimi.....	35
Şekil 3.2 Kutupsal sarım örneği.....	37
Şekil 3.3 Çevresel sarım örneği.....	38
Şekil 3.4 Helisel sarım örneği.....	38
Şekil 3.5 CNC elyaf sarma makinası Sarım Kontrol Parametreleri.....	39
Şekil 3.6 Epoksi Reçine dozajlama işlem adımları örneği.....	45
Şekil 3.7 Çelik Boru üzerine cam elyaf sarma.....	45
Şekil 3.8 Çelik Boru üzerine Karbon elyafı sarma.....	46
Şekil 3.9 Kür işlemi sıcaklık-zaman grafiği.....	47
Şekil 3.10 Sujeti ile kesim işlemi ve firesi.....	47
Şekil 3.11 Cam elyaf Karbon elyaf Gerilme birim şekil değiştirme grafiği.....	52
Şekil 3.12 Kompozit maks dayanım, birim uzamalar analizi(Sen 2007).....	55
Şekil 3.13 Tek eksenli eksen dışı yükleme durumu (Şen 2007).....	56
Şekil 4.1 Silindirik tambur sınır şartları.....	61
Şekil 4.2 Shell 181 elemanı geometrisi.....	63
Şekil 4.3 Eleman tipinin belirlenmesi.....	63
Şekil 4.4 Eleman ayarları.....	64
Şekil 4.5 Silindirik yüzey.....	65
Şekil 4.6 Mesh Size kontrol.....	65
Şekil 4.7 Mesh işlemi yapılmış silindirik yüzey.....	66
Şekil 4.8 Örnek katman gösterimi $[\pm 55]_2$	66
Şekil 4.9 Basınç değer giriş ekranı.....	67
Şekil 4.10 Sınır Şartları.....	68
Şekil 4.11 (A)Malzeme sembolik gösterimi (AISI 414).....	69
Şekil 4.12 (A)Von Mises Gerilme Gösterimi(AISI 414).....	69
Şekil 4.13 (A)Von Mises uzama gösterimi(AISI 414).....	70
Şekil 4.14 (A)Malzeme sembolik gösterimi (KE'li kompozit).....	71
Şekil 4.15 (A)Von Mises Gerilme Gösterimi(KE'li kompozit).....	71
Şekil 4.16 (A)Von Mises uzama gösterimi(KE'li kompozit).....	72

Şekil 4.17 (A)Malzeme sembolik gösterimi (CE'li kompozit).....	73
Şekil 4.18 (A)Von Mises Gerilme Gösterimi(CE'li kompozit).....	73
Şekil 4.19 (A)Von Mises uzama gösterimi(CE'li kompozit)	74
Şekil 4.20 (B)Malzeme sembolik gösterimi (AISI 414)	75
Şekil 4.21 (B)Von Mises Gerilme Gösterimi(AISI 414)	75
Şekil 4.22 (B)Von Mises uzama gösterimi(AISI 414).....	76
Şekil 4.23 (B)Malzeme sembolik gösterimi (KE'li kompozit).....	77
Şekil 4.24 (B)Von Mises Gerilme Gösterimi(KE'li kompozit).....	77
Şekil 4.25 (B)Von Mises uzama gösterimi(KE'li kompozit).....	78
Şekil 4.26 (B)Malzeme sembolik gösterimi (CE'li kompozit)	79
Şekil 4.27 (B)Von Mises Gerilme Gösterimi(CE'li kompozit)	79
Şekil 4.28 (B)Von Mises uzama gösterimi(CE'li kompozit).....	80

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1 A ve B dekantörleri için özellikler.....	30
Tablo 2.2 AISI 414 çeliğin mekanik özellikleri.....	30
Tablo 2.3 Dekantör Kıyaslama Parametreleri(AISI 414)	31
Tablo 2.4 Gerilme hesabı(AISI 414).....	32
Tablo 2.5 Dayanım hesabı(AISI 414)	32
Tablo 2.6 Silindirik tamburun ana motor gücüne etkisi(AISI 414)	33
Tablo 3.1 TS EN 10346 çelik mekanik özellikleri.....	41
Tablo 3.2 TS EN 10346 çelik kimyasal özellikleri	41
Tablo 3.3 Takviye malzemesi karbon elyafa ait mekanik özellikler	42
Tablo 3.4 Takviye malzemesi cam elyafa ait mekanik özellikler.....	42
Tablo 3.5 Takviye elemanı cam elyafa ait kimyasal özellikler.....	43
Tablo 3.6 Epoksi reçinenin genel özellikleri.....	43
Tablo 3.7 Laminasyon reçinesi L326 özellikleri(25°C).....	44
Tablo 3.8 Epoksi reçine sertleştirici karıştırma oranı	44
Tablo 3.9 Reçine için mekanik özellikler	44
Tablo 3.10 Üretilen Ürünlerdeki Katman Sayıları ve Malzemeleri	46
Tablo 3.11 Ortotropik bir malzemenin dayanım ve sertlik özellikleri.....	49
Tablo 3.12 Kompozit malzeme test yöntemleri	50
Tablo 3.13 $[\pm 55]_2$ Karbon takviyeli numuneye ait mekanik özellikler	51
Tablo 3.14 $[\pm 55]_2$ Cam takviyeli numuneye ait mekanik özellikler	51
Tablo 3.15 Kompozit malzeme yoğunlukları.....	52
Tablo 4.1 Hasar analizine göre katman sayısı belirlenmesi.....	62
Tablo 4.2 Kullanılan malzeme numaraları	68
Tablo 4.3 Karbon Elyaf takviyeli silindirik tamburun motor gücü etkisi	81
Tablo 4.4 Cam Elyaf takviyeli silindirik tamburun motor gücü etkisi	82
Tablo 6.1 Kullanılan malzemeye göre minimum tambur et kalınlıkları.....	84
Tablo 6.2 Kullanılan malzemeye göre tamburun yıllık işletme gideri.....	85

SEMBOL LİSTESİ

a_m	: Merkezci ivme(m/s^2)
α	: Konik açısı
α_i	: Tamburun ivmelenmesi
A_c	: Temizleme yüzey alanı
A_{cn}	: Susuzlaştırma yüzeyi
C_{ij}	: Rijitlik matrisi
D_b	: Tambur iç çapı
D_w	: Tambur sıvı çıkış çapı
D_t	: Tambur dış çapı
D	: Parçacık çapı(m)
ε	: Kopma uzaması
ε_{ij}	: Şekil değiştirme bileşeni
$\varepsilon_{xç}$: Boyuna (elyaf yönü) maksimum çekme birim uzaması,
ε_{xb}	: Boyuna (elyaf yönü) maksimum basınç birim uzaması,
$\varepsilon_{yç}$: Enine (matriks yönü) maksimum çekme birim uzaması,
ε_{yb}	: Enine (matriks yönü) maksimum basınç birim uzaması,
ε_k	: Düzlemde maksimum kayma birim uzaması
E	: Elastisite Modülü
F_b	: Akışkanın kaldırma kuvveti
F_{be}	: Eksenel yönde birim boya gelen kuvvet
F_{bt}	: Teğetsel yönde birim boya gelen kuvvet
F_1	: m_1 kütleli cismin uyguladığı kuvvet
F_2	: m_2 kütleli cismin uyguladığı kuvvet
F_i	: İkinci derece mukavemet tensörü
F_{ij}	: Dördüncü derece mukavemet tensörü
F_T	: Kuvvet toplamı
F_c	: Merkezkaç kuvveti($-F_m$)
F_d	: Akışkanın viskozitesine bağlı olan sürtünme kuvveti
F_m	: Merkezci kuvvet(N)
γ	: Özgül ağırlık veya Birim hacmin ağırlığı (N/m^3)
G	: Merkezkaç etkisi ile oluşan kuvvet
G	: Kompozit'te kayma modülü
g	: Yer çekim ivmesi ($9.81m/s^2$)
g_c	: Göreceli Santrifüj Faktörü
θ	: Kompozit elyaf oryantasyon açısı
J	: Silindirik tambur atalet momenti
J_{ind}	: Silindirik tambur ataletinin motor miline indirgenmesi
L	: Efektif tambur uzunluğu
L_{sil}	: Silindirik tambur boyu
m	: Kütle(kg)
m_k	: Kompozit tabaka kütle(kg)
N	: Rulmanın dakikadaki dönüş sayısı
n	: Diferansiyel hız
r_b	: Tambur iç yarıçapı
μ	: Sürekli faz viskozitesi (kg/m.s)
M_{sil}	: Silindirik tambur için gerekli olan toplam torku
M_k	: Silindirik tambur kalkış torku

M_L	: Silindirik tambur dönüş devrini korumak için gerekli tork
m_{sil}	: Silindirik tambur kütlesi
P_b	: Ürünün dekantör çeperine yaptığı basınç
P_p	: Ürünün tambur devrine ulaştırmak için gereken güç
P_r	: Tambur kütlelerinin devre ulaştırılması için gereken güç
$P_{r sil}$: Silindirik tambur kütlelerinin devre ulaştırılması için gereken güç
$P_{sür}$: Sürtünme kayıplarına karşı gerekli güç
P_{pt}	: Ürün ağır fazının taşınması için gerekli güç
P_T	: Dekantör çalışması için gerekli güç
ρ	: Parçacık yoğunluğu(kg/m^3)
ρ_1	: Sürekli faz yoğunluğu(kg/m^3)
Σ	: Sigma
Q	: Debi
Q_f	: Besleme Debisi
σ_{ij}	: Gerilme Bileşeni
σ_e	: Silindirik koordinatlarda eksenel gerilme
σ_t	: Silindirik koordinatlarda teğetsel gerilme
σ_{t1}	: Ürünün tamburda oluşturduğu gerilme
σ_{t2}	: Tambur kendi kütlelerinin üzerinde oluşturduğu gerilme
σ_T	: Gerilme toplamı
σ_{z1}	: Kopma dayanımına göre emniyetli gerilme
σ_{z2}	: Akma dayanımına göre emniyetli gerilme
R_m	: Kopma dayanımı
$R_{p0,2}$: Akma dayanımı
s	: Tambur en ince et kalınlığı
S	: Dekantörde kayma kuvveti
S_k	: Kopma dayanımına göre emniyet katsayısı
S_a	: Akma dayanımına göre emniyet katsayısı
SR	: Minimum mukavemet oranı
t_k	: Makine kalkış süresi
T_r	: Alıkoyma süresi(s)
τ_{23}	: 2-3 düzlemi kayma gerilmesi
ν	: Poisson oranı
V_e	: Eksenel yönde parçacık hızı
V_f	: Elyaf hacim oranı
V_g	: Sedimentasyon hızı
V_{komp}	: Kompozit tabaka hacmi
V_r	: Radyanl yönde parçacık hızı
V_{sil}	: Silindirik tambur hacmi
V_{kn}	: Konik tambur hacmi
V	: Çizgisel hız(m/s)
ω	: Açısal hız(rad/s)
$X_ç$: Boyuna maksimum çekme mukavemeti
X_b	: Boyuna maksimum basma mukavemeti
$Y_ç$: Enine maksimum çekme mukavemeti
Y_b	: Enine maksimum basma mukavemeti

KISALTMALAR

ATEX	:	Patlayıcı atmosfer
ASTM	:	Amerikan test ve malzeme topluluğu
CNC	:	Bilgisayar sayımlı yönetim
EED	:	Avrupa mühendislik talimatları
GE	:	Cam elyaf
GRP	:	Cam elyaf takviyeli plastik
KE	:	Karbon elyaf
SEM	:	Sonlu elemanlar metodu

ÖNSÖZ

Günümüz dünyasında gelişen teknolojiler, beraberinde iki büyük sorunu getirmiştir. Bunlardan birincisi enerji kaynaklarının tükenme tehlikesi, ikincisi ise bu kaynakların tüketimi sırasında çevreye verilen zarardır. Makineler bu sorunların iki tarafında da bulunmaktadır. Eğer bir otomobilde kullanılan ısı motorunu hem enerji kaynaklarını tüketen hem de çevreye zarar veren olarak nitelersek Dekantör Santrifüj makinesini enerji kaynaklarını tüketen ama çevre açısından fayda sağlayan olarak nitelendirilebilir. Bu çalışmada birçok sektörde karışımların ayrılması sürecinde kullanılan Dekantör Santrifüj Makinesinin enerji kaynaklarını daha az tüketebilmesi (işletme maliyetinin düşürülmesi) için döner aksamında mukavemetin korunarak kütle azaltılması kurgulanmıştır. Gerçekleme yolu olarak tambur aksamında kompozit malzeme kullanımı ele alınmıştır. Ele alınan yöntemde hafifletme sağlanırken mukavemet şartlarından ödün verilmemesine dikkat edilmiştir.

Bu yüksek lisans programını seçmemde etkili olan, öğrenimim süresince desteğini hissettiğim, zamanının önemli bir bölümünü bana sunan tez danışmanım, Prof. Dr. Muzaffer TOPÇU' ya teşekkür ederim.

Yüksek lisansım süresince desteklerini esirgemeyen Doç. Dr. Emin Ergun, Doç. Dr. Gürkan Altan, Yrd. Doç. Dr. İbrahim Doruk, ve Makine Mühendisliği Bölümü akademik kadrosuna teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak tüm eğitim sürecinde yanımda olan ve desteklerini benden esirgemeyen aileme ve yakın dostlarıma teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Birden fazla maddenin kimyasal özellikleri değişmeyecek şekilde bir araya gelmesiyle oluşan madde topluluğuna karışım denir. Karışımların ayrılması günümüz dünyasında önemli bir süreçtir. Bu süreç farklı sistemlerde farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Örnek olarak çevre kirliliğinin önlenmesinde çamurun susuzlaştırılması yani katı-sıvı fazlarının ayrılması, ya da zeytinden yağın elde edilmesi sürecinde prina, su ve zeytinyağı (katı-sıvı-sıvı) ayrımının yapılması uygulamaları gibi farklı sistem gereksinimleri mevcuttur.

Örneklendiği gibi birçok karışım, bileşenlerin fiziksel özelliklerinden faydalanılarak ayrılabilir. Katı-sıvı karışımlarında bulunan katı partiküller yerçekiminin etkisiyle çökelirler. Bu oluşum çöktürme (sedimentasyon) olarak isimlendirilir. Çökeltinin üst kısmında kalan temiz sıvı fazın mekanik yöntemlerle alt kısımdaki çökeltiden ayrılması işlemine aktarma(dekantasyon) denir. Dekantasyon, katı-sıvı süspansiyonu içinde bulunan sıvının temiz bir şekilde ayrılarak geriye kalan kekin mümkün olduğunca az nemli olarak elde edilmesidir. Dekantasyon sürecini gerçekleştiren makinelere Dekantör santrifüj makineleri denilmektedir. Dekantasyon sürecini gerçekleştiren bu makinelerde çöktürme(sedimentasyon) işleminin gerçekleştirilmesi için santrifüj (merkezkaç) kuvvetinden faydalanılmaktadır.

Dekantör santrifüj makineleri; yüksek hızda dönen tambur ve tamburla aynı ekseninde farklı hızda dönen helezon, hız farkını ayarlayan tahrik grubu ile dönen elemanları taşıyan gövdeden meydana gelir.

Dekantasyon süreci Dekantör santrifüj makinesinin tambur grubunda gerçekleşmektedir. Tambur grubunun bir parçası olan tambur aksamı yüksek devirlerde çalışmakta içerisindeki ürünün ve kendi kütlelerinden kaynaklanan merkezkaç kuvvetine karşı dayanım göstermek zorundadır. Bu sebeple et kalınlığı makine boyutuna göre değişkenlik göstermekle birlikte fazladır. Bu et kalınlığının dayanım korunacak/arttırılacak biçimde azaltılarak hafif bir malzeme ile desteklenmesi tahrik grubuna binen yükü azaltmakla birlikte daha yüksek devirlerde

çalışmaya olanak sağlayacaktır. Bu da enerji verimliliğini ve dekantasyon süreci sonunda elde edilecek ürünün kuruluk düzeyini arttıracaktır.

Bu çalışmada piyasa şartlarında çok fazla talep gören dekantör santrifüj makinesi tambur aksamının kompozit malzeme ile üretilmesi hedeflenmiştir. Hedef doğrultusunda analiz ve hesaplamalar yapılarak tasarım parametreleri ortaya çıkarılmıştır. Tasarım parametrelerine istinaden tambur aksamının sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Yapılan analizler neticesinde, tambur aksamı yarı yarıya veya daha fazla kompozit malzeme ile tekrar üretilmiştir. Bu üretimin gerçekleştirilmesinde Elyaf sarma ile kompozit üretim yöntemi kullanılmıştır.

Dekantörler; katı - sıvı - sıvı karışımlarının birbirinden ayrılmasında, katıların konsantrisi ve susuzlaştırılmasında, sınıflandırma ve bileşenlerin özütünü almada (ekstraksiyonunda) etkin bir şekilde kullanılmaktadırlar. Bu tanımdan da anlaşılacağı üzere ürün olarak dekantörler endüstriyel anlamda geniş bir çalışma alanına sahiptir. Dekantörlerin kullanım alanlarını şu ana başlıklar altında toplanabilir:

- Gıda (Zeytinyağı Üretimi, İçecek Endüstrisi, Süt Endüstrisi, Nişasta ve Maya Sanayii)
- Çevre
- Hayvansal-Bitkisel Yan Ürünler ve Yağların İşlenmesi
- Petrol
- Sondaj
- Kimya ve Madencilik
- Biyoyakıtlar ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları
- Biyoteknoloji ve Eczacılık

1.1 Amaç

Günümüzde üstün özelliklere sahip malzemelere olan ihtiyaç gittikçe artmaktadır. Özellikle yüksek mukavemetin yanında, hafifliğin de istendiği yapılara ihtiyaç duyulmaktadır. Kullanım yerine bağlı olarak istenilen bu gibi özelliklerin aynı malzemede aynı anda bulunması mümkün değildir. Birbirlerinin zayıf yönlerini

düzeltecek şekilde üstün özelliklerin bir araya getirilmesi ile kompozit malzemeler üretilmiştir. Elyaf sarma yöntemi bu üretim yöntemlerinden biridir.

Dekantör santrifüj makinelerindeki temel prensip merkezkaç kuvvetinin içerideki ürünü çöktürme (sedimentasyon) işlemine tabi tutarak ayırması ile sıvının ve kekin ayrı ayrı elde edilmesidir. Bu süreç makinenin yüksek hızda dönen tambura ve tamburla aynı ekseninde farklı hızda dönen helezona haiz olmasını gerektirmektedir. Bu tipteki yüksek devirli makineler statik ve dinamik kuvvetler açısından zorlu şartlarda çalışmaktadırlar. Bu durum makinenin döner aksamında fazladan kalınlığa/kütle ve motorlarda fazladan yüke ve şasenin büyümesine sebep olmaktadır. Tambur grubunda dayanımı koruyacak biçimde gerçekleştirilecek bir kütle azaltma inovasyonu makine boyutlarının küçültülebilmesi, daha düşük bir motor gücü ile aynı görevi sağlayabilme ve daha verimli çalışabilmeyi mümkün kılacaktır. Bu nedenle çalışmada tambur aksamının kompozit malzeme ile desteklenerek üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu fikir doğrultusunda yapılan çalışmada;

- Dekantör santrifüj makinesinin tasarım parametrelerinin belirlenmesi ve derlenmesi,
- Bilgisayar destekli tasarım ortamında tasarım parametrelerine uygun olarak üç boyutlu modellemenin yapılması,
- Sonlu elemanlar metodu uygulamalarının gerçekleştirilmesi,
- Tasarım parametrelerine uygunluk değerlendirilerek, makinenin tambur bölümünde kullanılacak malzeme kalınlıklarına ilişkin optimizasyon yapılması (Paslanmaz çelik/Kompozit malzeme)
- Enerji tüketimi konusunda tüketim miktarının kullanılan materyale göre değişiminin hesaplanması ve kıyaslanması,

amaçlanmaktadır. Elde edilen sonuçların literatüre, endüstriyel makine üretim firmalarına ve doğaya yüksek katma değer sağlayacağı öngörülmektedir.

1.2 Literatür Özeti

Karışım fiziksel anlamda iki ya da daha fazla maddenin birbiri içerisinde dağılması sonucu meydana gelir. Karışımların ayrılması; tanecik boyutu farkından, yoğunluk farkından, çözünürlük farkından, kaynama noktası farkından yararlanılarak ayırma yöntemleri olarak dört ana grupta incelenmektedir (Arslan 2010). Bunlardan yoğunluk farkından yararlanılarak ayırma kategorisinde bulunan Aktarma (Dekantasyon) yöntemi günümüzde endüstriyel anlamda verimli ve ekonomik bir yöntem olarak yaygın bir kullanım alanı bulmuştur.

Dekantasyon yöntemi, çöktürme (sedimantasyon) işlemi sonucunda oluşan çökeleğin bulandırılmadan üzerinde bulunan sıvı fazı başka bir kaba ayrılması prosedürü ile gerçekleştirilir (Uludeveci 2010). Bu süreci gerçekleştiren makinelere Dekantör adı verilmektedir.

Dekantöre benzeyen bir cihazı açıklayan ilk patent Liedbeck, bir İsveç mucidi tarafından 1902 yılında sunulmuştur (Liedbeck 1903). Altında kendi tahrik motoru bulunan dikey olarak monte edilmiş ve üst bölümü kaporta içerisine deşarj boşluğuna sahip cihazdır. Bu cihaz aynı zamanda besleme tankı da içeren şaşırtıcı bir Liedbeck tasarımıdır ve günümüz dikey santrifüj seperatörleri ile benzerliğini hala korumaktadır. Bu tasarımda modern üç fazlı dekantörlerde olduğu gibi bir katı ve iki sıvı fazın ayrı ayrı eldesi amaçlanmıştır.

İlk dekantör patenti mucit Gustaf de Laval tarafından sürekli krema ayırıcı (krema separatörü) için ortaya çıkarılmıştır. De Laval'ın ilk patenti 1878 yılında kabaca küresel tambur şeklinde olan bir sürekli santrifüj içindir (G. De Laval 1881). Diskin yığınını kapsayan kilit patent ise 1888 yılında Von Bechtolsheim'e verildi (Bechtolsheim 1890). Bu gelişme beraberinde kapta katı madde birikimi gibi ciddi bir dezavantaj oluşturmuştur İçeride bulunan sarmal yapı katıyı çıkışa sürükleyememiştir. Katı keki dışarıya sürükleyebilmek için disk dışına yavaş hareket eden kazıyıcılar eklenip sorun giderilmeye çalışılmış olsa da yüksek mekanik aşınma nedeniyle bu tasarım da çözüm oluşturamamıştır.

Liedbeck tasarımı dikey ekseninde silindirik bir alt parça, konik bir üst parçadan oluşmaktadır. Üst kısımda bulunan kollektör içerisine katı çıkışını iki ayrı sıvı fazı ise

alt kısımdaki kolektörlere ayrı ayrı dağıtımını sağlayan dikey olarak içerisindeki ürünle dairesel hareket yapan bir yapıdır. Tahrik mekanizması dönen aksamın alt kısmındadır ve direkt olarak bağlıdır. Konveyör ise dişli kutusu vasıtası ile helezonun diferansiyel hız farkını sağlamaktadır.

1930'ların sonunda Pecker isimli mucitin aldığı patent, konik, tabanından ürün beslenen bir dekantörü göstermektedir (uygulama Şubat 1938, onaylanması/hakkın verilmesi tarihi Mayıs 1942) (Pecker 1938). Çok uzun süre geçmeden 1940'ların ortalarında Ritsch Süreç geliştirme şirketi tarafından alınan patent (uygulama Eylül 1945 Kasım 1950'de verilen) katı, sıvı, sıvı süspansiyonu için keskin biçimde ayrılmış konik bölümlerden oluşan bir tambur grubu hakkındadır (Ritsch 1945).

Bird Makine uygulaması olan kaolin üretimi için dekantör ve çeşitli açıklanmayan işletme araçları içeren bir akış sayfasına haiz patent başvurusu 1946'da yapılmış ve 1947'de firmaya patent hakkı verilmiştir (Lyons 1946). Bununla birlikte daha sonra çimento sektörüne yönelik benzer bir kullanım için Bird Makine firmasında patent verilmiştir (Downes 1940).

Dekantör tambur grubu silindirik yapıdadır. Çalışmadaki amaç kompozit malzeme ile desteklenerek dayanımı artmış tambur kütlesi azalmış bir dekantör geliştirmektir. Bu kapsamda tam olarak bir çalışma yapılmamıştır. Bu konunun temelleri üzerine yapılan araştırmalara ait özetler aşağıda verilmiştir.

Davies ve Bruce (1997) yaptıkları çalışmada; Kompozit koaksiyal silindirlerde gerilme analizi için bir model geliştirmişlerdir. Geliştirilen model boruların, hafif kompozit şaftların, helisel örgü takviyeli kompozit şaftların ve basınçlı kapların gerilme analizinde başarı ile uygulanmıştır.

Mertiny ve diğ. (2004) tarafından yapılan çalışma ile örgü açılarının tüp şeklindeki kompozit yapıların mukavemetine etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışma ile bilgisayar kontrollü çoklu açılı örgü teknolojisinin tek açılı örgü yöntemine göre oldukça avantajlı sonuçlar verdiği ortaya konmuştur.

Park ve diğ. (2002) yaptığı çalışmalarda ise örgü kalınlığı ve örgü açılarının elyaf örgülü kompozit yapılardaki etkisi incelemiştir. İnceleme sonucunda sonlu elemanlar yöntemi ile bilgisayarda yapılan nümerik çalışmalar su basınç testi ile

karşılaştırılmış olup, nümerik çalışmaların gerçek test sonuçlarına yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Xia, Takayanagi, ve Kemmochi (2001) çalışmasında ise çok katmanlı örgülü kompozit boruların iç basınç altındaki davranışlarını incelemiştir. İncelenen boruların her bir örgü katmanının bir anizotropiye sahip olduğu ve üç boyutlu anizotropik elastisiteye göre boruların iç basınç altındaki deformasyon ve gerilme analizleri yapılmıştır.

Krikanov (2000) çalışmasında, sert basınçlı kapları incelemiştir. Çalışmada yeni bir yöntemle üretilen tabakalı kompozit malzemeden üretilen basınçlı kabın gerilme ve gerilme değerleri incelenmiş ve sonuçlar verilmiştir.

Parnas ve Katirci (2002) yaptıkları çalışmada, fiber takviyeli kompozit basınçlı kabın farklı yükleme şartlarındaki davranışları incelenmiştir. Çalışmada fiber kompozit basınçlı kapların tasarımı ve davranışlarının tahmini için analitik bir yöntem geliştirilmiştir.

Gubran (2005) çalışmasında hibrit şaftların dinamiği incelemiştir. Çalışmada metal (çelik ve alüminyum) kompozit ve hibrit kompozit metal şaftların deformasyonları ve dinamik yükler altındaki davranışları incelenerek bu şaftlarda yapılacak çalışmalarla dinamik performanslarının artırılacağı sonucuna varılmıştır.

Kempner ve Hahn (1995) kalın filament sargılı kompozitlerde radyal gerilmelerdeki gevşemenin lif gerilmesi üzerine etkisini incelemiştir. Örgü sırasında liflerdeki gerilme değişimini analitik bir modelle belirlenmeye çalışmışlardır.

Ha ve Jeong (2005) çalışmalarında kalın filament sargılı kompozit halkalarda sarım açılarının kalınlığa bağlı olarak artık gerilmelere etkisini incelemiştir. 60 derecedeki sarım açısında minimum artık gerilme tespit edilmiştir.

Carrino ve diğ. (2012) yaptıkları çalışmada hibrit metal-köpük kompozit otomotiv parçalarının mekanik performansı incelenmiştir. Çalışma sonunda bu tür parçaların özellikle otomotiv güvenlik sistemleri için ileride daha fazla kullanılabilir hale geleceği ifade edilmiştir.

Vasiliev ve diğ. (2003). yaptıkları çalışmada ticari uygulamalar için yeni nesil elyaf sargılı basınçlı kapları incelemişlerdir. Klasik filament sargılı basınçlı kaplar yerine sürekli enine ve boyuna sargılı basınçlı kapların ticari uygulamalarda daha başarılı olduğunu belirtmişlerdir

Kim ve Lee (2005) yaptıkları çalışmada bir hibrit alüminyum kompozit otomotiv şaftının optimum tasarımını yapmışlardır. Yapılan çalışmada tek parçalı hibrit alüminyum kompozit otomobil şaftı üretilmiş ve test edilmiştir. Test sonucunda klasik iki parçalı otomobil şaftları ile kıyaslandığında bu şaft ile %50 ağırlık azalması sağlanmıştır.

Non-geodesik sarımlı elyaf sargılı parçaların optimizasyonu üzerine De Carvalho ve diğ. (1995)De Carvalho ve çalışma yapmıştır. Yapılan çalışma sonunda önerdikleri sarım yöntemi ile elyaf örgü kompozit parçalarda konik kısımların kolaylıkla oluşturulabilmesi sağlanmıştır.

Liang, Chen, ve Wang (2002) yaptıkları çalışmada elyaf sargılı basınçlı kapların konik kısmının optimum tasarımı üzerine çalışmışlardır. Çalışma sonunda önerdikleri metodun filament sargılı basınçlı kaplardaki konik kubbe kısmın oluşturulmasında en uygun sonuçları verdiği ortaya çıkmıştır.

Al-Khalil ve diğ. (1996) yaptıkları çalışmada ince duvarlı elyaf sargılı GRP kompozit basınç silindirlerinde radyal gerilmelerin mukavemete etkisini incelemiştir. Çalışma sonunda radyal gerilmelerin deney sonuçları üzerinde kayda değer bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir.

Chang ve diğ. (2004) kompozit döneş şaftlarda titreşim analizi yapmışlardır. Çalışma sonucunda kompozit şaftların dinamik karakteristiğı üzerinde kompozitteki katkı maddelerinin miktarı ve yönlerinin büyük bir etkiye sahip olduğu ortaya çıkmıştır

1.3 Yöntem

Bu çalışma hem mekanik tasarım hem de malzeme biliminin kesişiminde bulunan bir çalışmadır. Bu çalışmada;

1. Sonucun büyüklük parametresi ile ilişkisinin belirlenebilmesi için biri büyük, biri küçük olan birbirine eş iki dekantör seçilmiştir.
2. Analitik ortamda dekantör santrifüj makinelerine ait hesaplar yapılmış tekrarlanabilirlik açısından tez içerisindeki referans denklem numaralarına bağlı olarak excel tablolarına dökülmüştür.
3. Yapılan analitik çözüm ile en ideal silindirik tambur et kalınlığı AISI 414 malzeme için belirlenmiştir.
4. Hesaplama çalışması ile eş zamanlı olarak deneysel ölçekte elyaf sarma yöntemi ile kompozit malzemedен borular üretilmiştir. Tabakalar simetrik $[\pm 55]$ derece açıyla yönlendirilmiştir.
5. Üretilen bu boruların mekanik özellikleri tespit edilmiştir.
6. Elde edilen mekanik özelliklere ve çelik malzeme kullanımına göre elde edilen emniyet faktörüne göre, Tsai-Wu hasar kriteri yardımıyla ihtiyaç duyulan gerekli katman sayısı öngörülmüştür.
7. Üretilen numunelerden elde edilen mekanik özellik verileri ve hasar kriterine göre elde edilen gerekli katman sayısı sonlu elemanlar metodu programı ilgili alanlarına girilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.
8. Tamamen kompozit malzeme kullanılarak üretildiği varsayılan dekantör silindirik tamburlar üzerinde gerçekleşen kütle azalma ve bun kütle azalmanın etkileri yine excel dosyası yardımıyla irdelenmiştir.

şeklinde özetlenebilir.

Çalışmada kıyaslanabilir çıktılar alınabilmesi için;

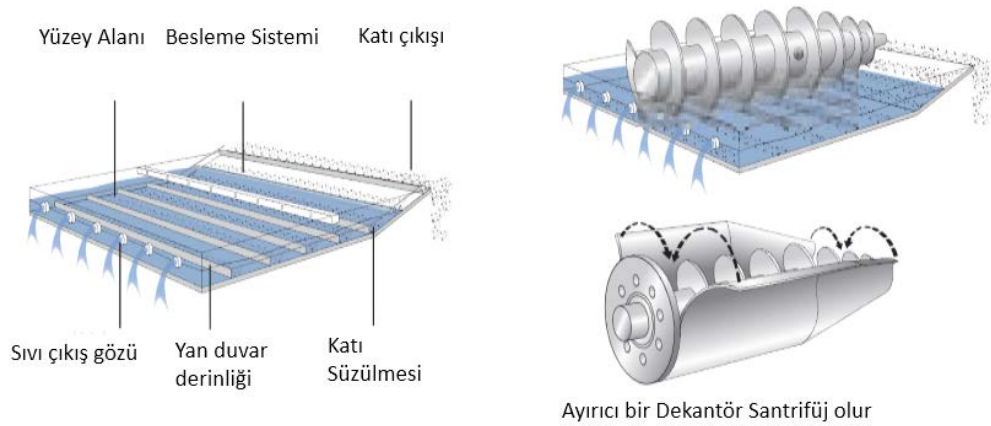
- Çelik malzeme yerine sadece karbon elyaf ve sadece cam elyaf malzeme kullanılmış olduğu düşünülerek hesaplama yapılmıştır.
- Malzeme değişiminin makine boyutu ile ilişkisinin etkisi de incelenmiştir.

2. DEKANTÖR TASARIMI

Dekantör santrifüj makinesi, merkezkaç prensibinden yararlanarak katı-sıvı ya da katı-sıvı-sıvı karışımlarını (süspansiyon) fazlarına ayırmak için tasarlanmıştır. Makine katı fazın süspansiyondan sürekli olarak ayrılabilmesi için yatay konumda silindir-koni biçiminde tambur ve tamburla aynı ekseninde farklı hızda dönen helezona sahiptir.

Düşük yoğunluktaki sıvı faz, tamburun ulaştığı yüksek devirlerde sürekli sıvı fazdan ayrılırken, katı faz helezonun sağladığı yüksek tork ve tambur ile helezon arasındaki hız farkı olarak tanımlanan diferansiyel hız vasıtasıyla sürekli biçimde tahliye edilir.

Ayrılacak olan sıvı-sıvı süspansiyonu dekantör içerisine ürün besleme borusuyla girer. Merkezkaç kuvvetinin etkisiyle süspansiyon helezon içerisindeki ürün besleme haznesinden tambur iç yüzeyine doğru özgül ağırlıklar farkıyla katmanlaşır. Çöken katı, helezon vasıtasıyla konik kısımdan dışarıya taşınırken, ayrılan sıvı(lar) (ağır ve hafif sıvı, örnek yağ ve su) tamburun silindirik bölümünün bitiminde yer alan seviyesi ayarlanabilir plakalardan boşalır. Tamburdan çıkan sıvı ve katı fazlar şaseye bağlı hazne içerisine ayrı ayrı bölümlendirilmiş katı ve sıvı-sıvı çıkış haznelerine alınarak makineye bağlı şutlara yönlendirilir. Bu açıdan bakıldığında Dekantör bir çöktürme (savaklama) havuzunun silindirik hale getirilmesi olarak düşünülebilir (Şekil 2.1).



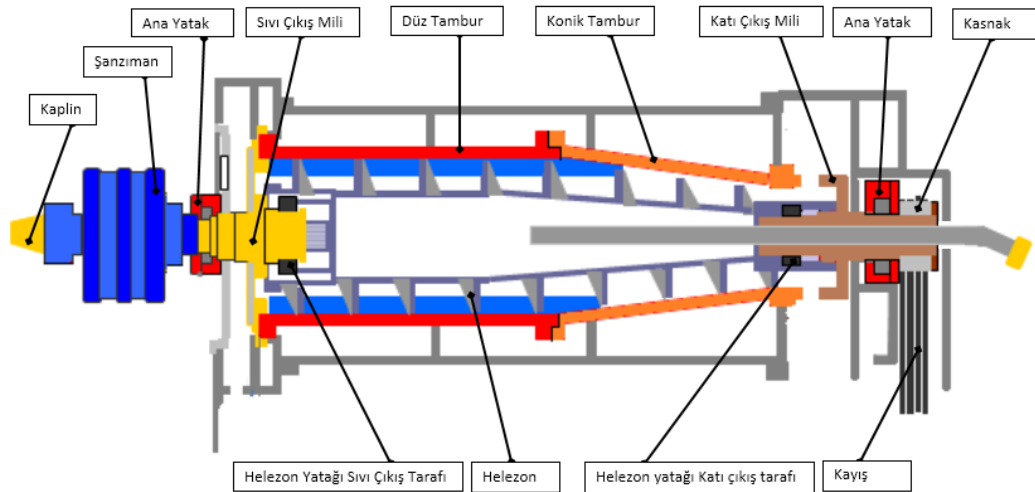
Şekil 2.1 Dekantör çalışma prensibi (A. Laval 2013)

2.1 Dekantör Ana Bileşenleri (Elemanları)

Dekantör santrifüj makinesi döner aksam, şase grubu ve tahrik grubu olarak üç ana bölümde incelenebilir.

- Döner Aksam: Tambur grubu, helezon grubu, ana yataklar ve şanzımandan meydana gelir.
- Şase grubu: Ana şase, muhafaza ve çıkış şutlarından oluşan statik yapıdır.
- Tahrik grubu: Tambur ve helezon motorundan meydana gelir, sisteme hareket verir.

Dekantör ana bileşenleri ile örnek bir santrifüj dekantör Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Dekantör Ana Bileşenleri

2.1.1 Döner Aksam

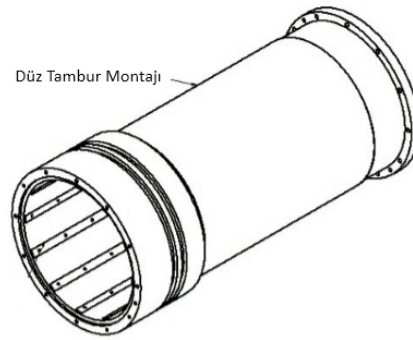
Dekantör tambur grubu, helezon grubu, ana yataklar ve şanzımandan meydana gelen bu bölümde tambur grubu, şaseye sabitlenmiş iki ana yatak ile yatay olarak konumlandırılmış yüksek hızda dönen bir rotor olarak tanımlanabilir. Bu rotor üzerinde helezon grubunu tahrik eden bir şanzıman ve tahrik grubundan güç aktarmayı sağlayan kayış/kasnak-kaplin gibi bağlantılar mevcuttur.

Tambur grubunun yüksek devirlerde çalışması merkezkaç kuvveti ile içerisindeki karışımı çöktürme(sedimentasyon) işlemine tabi tutar. Bu durum tambur iç yüzeyinde katı fazın birikimine sebep olur. Katı fazın tambur iç yüzeyinden süpürülerek atılması işleminde helezon grubu görev almaktadır. Helezon grubu tambur grubunun içerisine yataklanmış olup çöken katı fazı konik kısımdan dışarıya taşıma işlemi için tambur grubu ile aynı yönde fakat daha hızlı dönmektedir. Bu durum katının aksel yönde hareket etmesini sağlar. Makinenin çalışması sırasında sürekli biçimde konik kısımda toplanan katı, burada ihtiva ettiği sıvıdan süzülerek makineden dışarı atılır.

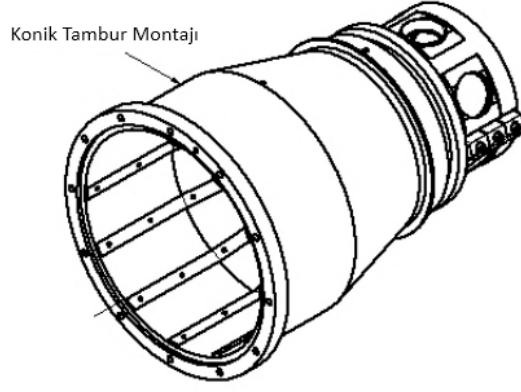
Tambur ve helezon, işlenecek ürüne bağlı olarak aşınmaya karşı koruma tedbirleri alınarak üretilmektedir. Gıda ürünleri ile temas eden elemanlarda AISI 316 gibi paslanmaz çelikler tercih edilirken yüksek merkezkaç kuvvetinin olduğu büyük makinelerde daha mukavemetli olan dupleks paslanmaz çelikler kullanılmaktadır.

2.1.1.1 Tambur Grubu

Tambur grubu, düz (silindirik) ve konik tambur olmak üzere iki bölüme ayrılır. Genellikle konik kısımda katının süzülerek susuzlaşması, silindirik kısımda ise fazlara ayrılma gözlemlenir. Tamburun et kalınlığı üretiminde kullanılan malzeme, tambur içerisinde işlenen ürün yoğunluğu ve çalışma devrine bağlıdır. Tambur içindeki ıspitler(liner) katının helezon etrafında patinaj yapması yerine ilerlemesine yardımcı olmaktadır (Şekil 2.3, Şekil 2.4).



Şekil 2.3 Silindirik tambur montajı



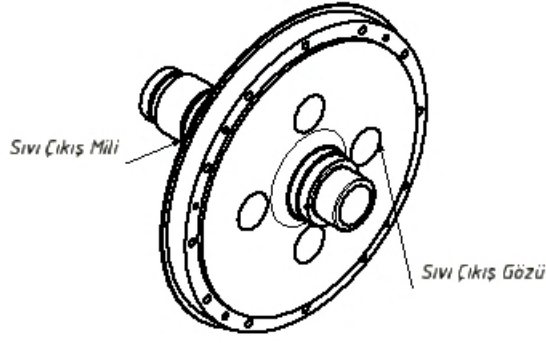
Şekil 2.4 Konik tambur montajı

Tambur, elektrik motoru ve motora bağlı kayış-kasnak mekanizmasıyla tahrik edilmektedir. Tambur devri invertör vasıtasıyla ayarlanabilmektedir. Tambur devir sayısı (min^{-1}) ürünün bileşimine göre değiştirilerek daha iyi performans elde edilebilmektedir. Tambur devrindeki bu değişimin elektrik tüketimi ve aşınma oranlarını etkileyeceği göz önünde bulundurulmalıdır. Tambur ve helezon, işlenecek ürüne bağlı aşınmaya karşı koruma tedbirleri alınarak üretilir. Genelde tambur ve helezon birbirinden bağımsız iki elektrik motoruyla tahrik edilmektedir.

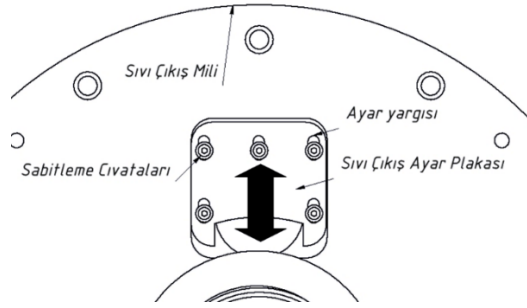
2.1.1.2 Sıvı çıkış mili

Sıvı çıkış mili, kaynaklı veya cıvatalı bağlantı ile bir araya getirilmiş flanş ve mil parçalarından oluşmaktadır. Makine tasarımına bağlı olarak mil içerisinden açılan delikten ürün besleme borusu ya da helezon tahrik shaftı geçmektedir. Tamburun iç kısmında kalan bölüm helezon yataklaması amacıyla kullanılırken dışarıda kalan kısım ana yatak ve genel olarak şanzımanı ihtiva etmektedir.

Flanş kısmında bulunan açıklıklardan ise tasarıma bağlı olarak sedimentasyona uğrayan ağır sıvı ya da sıvı sıvı karışımı ayrı ayrı çıkışlarından dağıtılabilmektedir. Bu işlem ise sıvı çıkış mili üzerinde bulunan seviyesi ayarlanabilir plakalar vasıtasıyla gerçekleştirilir (Şekil 2.5, Şekil 2.6).



Şekil 2.5 Sıvı çıkış mili



Şekil 2.6 Seviyesi ayarlanabilir sıvı çıkış gözü plakası

2.1.1.3 Katı çıkış mili

Katı çıkış mili flanş ve milden oluşan kaynaklı bir parçadır. Makine tasarımına bağlı olarak mil içerisinde açılan delikten ürün besleme borusu mil üzerinde ise ana yatak ve kayış/kasnak mekanizması elemanları ya da ters dekantörlerde helezon tahrik şaftı geçmekte şanzıman bağlanabilmektedir. Tamburun iç kısmında kalan bölüm helezon yataklaması amacıyla kullanılırken dışarıda kalan kısım ana yatak ve genel olarak şanzımanı ihtiva etmektedir. Flanş kısmında bulunan delikler vasıtasıyla konik tambura cıvata ile bağlanır (Şekil 2.7).

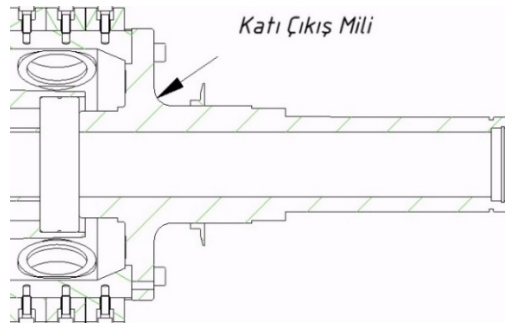
2.1.1.4 Helezon Grubu

Helezon grubu tambur grubu içerisinde giren ürünü tambur devrine çıkarmada ve çökelen katı fazın katı çıkış burçlarından dışarıya sürüklenmesi kapsamında görev yapmaktadır. Helezon grubu, tambur içinde yataklanmış olup mil vasıtasıyla

şanzımandan tahrik almaktadır. Bu yapı üç ana bölümde incelenebilir. Bu ana bölümler aşağıdaki biçimde belirginleştirilebilir;

- Katı çıkış mili ve sıvı çıkış mili üzerinde yataklanır biçimde kaynaklı imalat yöntemi ile bir araya gelen borulardan oluşan bir gövde,
- Gövde boyunca kaynaklı ve işlenecek ürüne göre değişkenlik gösteren yapılar,
- İç kısımda ise ürünü tambur ile aynı hıza yükseltme görevini yerine getiren besleme haznesidir.

Helezon şanzımana bağlı kaplin vasıtasıyla elektrik motoru tarafından tahrik edilir. Şanzıman kullanılarak katı partiküllerin helezon vasıtasıyla yüksek tork değerlerinde makineden dışarı atılması sağlar (Şekil 2.8).



Şekil 2.7 Katı çıkış mili

2.1.1.5 Ana Yataklar

Dairesel ya da aksel hareketle iş yapan ya da çalıştırılan pek çok makinada rulmanlar kullanılır. Rulmanların esas görevi, verilmesi gerekli olan hareketin imkan dahilinde en az sürtünmeyle kısacası güçten en az taviz verilerek iletimini temin etmektir. Bu kapsamda dekantör için seçilecek yataklamalar dekantörün yüksek devirlerde çalışması sonucu ortaya çıkan yağlama ihtiyacına cevap verecek nitelikte, radyal yönde oluşan kuvvete dayanım gösterebilecek özellikte, çalışma sıcaklığına (içerideki ürün ve ortam) bağlı olarak aksel yönde uzama ve kısalmayı tolere edebilecek biçimde olmalıdır.

2.1.1.6 Şanzıman

Dekantör santrifüjlerde genel olarak çeşitliliği sağlayan etken tahrik grubunun farklı olmasıdır. Diğer gövde, tambur ve helezon gibi elemanlardaki farklılık bu çeşitlerin varyasyonu olarak ele alınabilir. Dekantörün hareketini sağlayan tahrik grupları üç ana başlık altında incelenebilir:

- Sabit devirli (tek motorlu) sistem
- Çift motorlu sistem
- Hidrolik motorlu sistem

Sabit devirli sistemde, optimum devirde tambur ve helezonun dönme hızları ve dolayısıyla diferansiyel hız sabittir. Diferansiyel hız, helezon ile tambur arasındaki devir farkıdır. Helezon hızında bir değişiklik yapılması gerektiğinde tahrik sisteminde bulunan dişlilerin değiştirilmesi gerekmektedir. Bu sistem, genellikle dekantöre giren katı oranının sabit olduğu, katının kolayca iletilebildiği ve katıdaki nem miktarının çok önemli olmadığı, diferansiyel hızın anlık değiştirilmesi gerekmeyen durumlarda kullanılır.

Tamburdan gelen hareket, dişliler vasıtasıyla şanzımana iletilerek helezon ile tambur arasında devir farkı oluşması sağlanır. Dişliler değiştirilerek diferansiyel hız değiştirilebilir. Fakat çalışma esnasında diferansiyel hız sabit kalır.

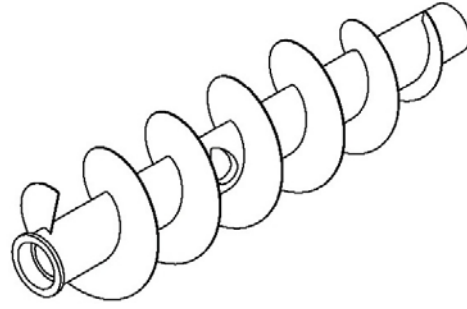
Çift Motorlu Sistemde motor sürücülerini diferansiyel hızın geniş bir aralıkta ayarlanmasını sağlar. İkinci motor, şanzımanın giriş şaftına hareket verir. Katı giriş oranının önemli ölçüde değişken olduğu, katının iletiminin zor olduğu ve katıda kalan nemin azlığının önemli olduğu durumlarda, operatör müdahalesine gerek kalmadan uygun devir, dolayısıyla diferansiyel hız ayarlanarak değişken durumlarda bile stabil bir katı çıkışı sağlanır. Diferansiyel hız, hassas bir şekilde helezon torkuna bağlı bir fonksiyonla hesaplanıp uygulanır.

Hidrolik Motorlu Sistemde ikinci motor ve şanzıman yerine bir hidromotor vardır ve bu motor hidrolik regülasyonla kontrol edilmektedir. Diferansiyel hız, iletilen yağ miktarıyla kolayca ayarlanabilmektedir. Genellikle ATEX normlarının geçerli olduğu alanlarda veya sektörlerde kullanıma uygundur.

2.1.2 Şase Grubu

Şase temelde çelik yapı olup makinenin esnemez bir biçimde çalışmasını sağlar. Şase grubu sönümleyici nitelikteki takozlar ile zemine sabitlenerek tambur-helezon gurubunun hareketi esnasında hissedilen vibrasyon ve gürültüyü güvenli ve ergonomik çalışma için kabul edilebilir değerlere indirir.

Döner aksamı taşıyan çelik yapıdır. Alt ve üst kısımlardan oluşur. Katı ve sıvının ayrılarak makineden çıktığı aksamı içerir.



Şekil 2.8 Helezon ve yaprakları

2.1.3 Tahrik Grubu

Dekantörün tahriki; gövde alt şasisinin üzerine monte edilmiş elektrik motoru ve ona akuple hidrodinamik kavramanın dekantörün tahrik kasnaklarına V kayışlarıyla bağlanmasıyla gerçekleşir (Şekil 2.2).

Ana motor kalkış anında devrine ulaşması için yüksek atalet yüklerini yenmesi gerekir. Makine çalışma devrine ulaştığında, ana motor süspansiyonu çalışma devrine ulaştırmak ve içerisindeki katı fazı taşıyabilmesi için gerekli gücü sağlamalıdır.

Bazı uygulamalarda kavrama motor miline akuple olup motorun tam hızda çalışabilmesini düşük torklarda sağlar. Kavrama içerisindeki yağ sayesinde dönen elemanlar yavaşça devrine ulaştırılır (Records ve Sutherland 2001).

2.2 Dekantör Teorisi

Birçok karışım, bileşenlerin fiziksel özelliklerinden faydalanılarak ayrılabilir. Katı-sıvı karışımlarında bulunan katı partiküller yerçekiminin etkisiyle zaman içerisinde çöklerler. Bu oluşum çöktürme (sedimentasyon) olarak isimlendirilir. Çökeltinin üst kısmında kalan temiz sıvı fazın bulandırılmadan mekanik yöntemlerle alt kısımdaki çökeltiden ayrılması işlemine dekantasyon (aktarma) denir. Böylelikle karışımı oluşturan katı susuzlaştırılmış olur. Dekantasyon, katı-sıvı süspansiyonu içinde bulunan sıvının temiz bir şekilde ayrılarak geriye kalan kekin mümkün olduğunca az nemli olarak elde edilmesidir (Şekil 2.9).



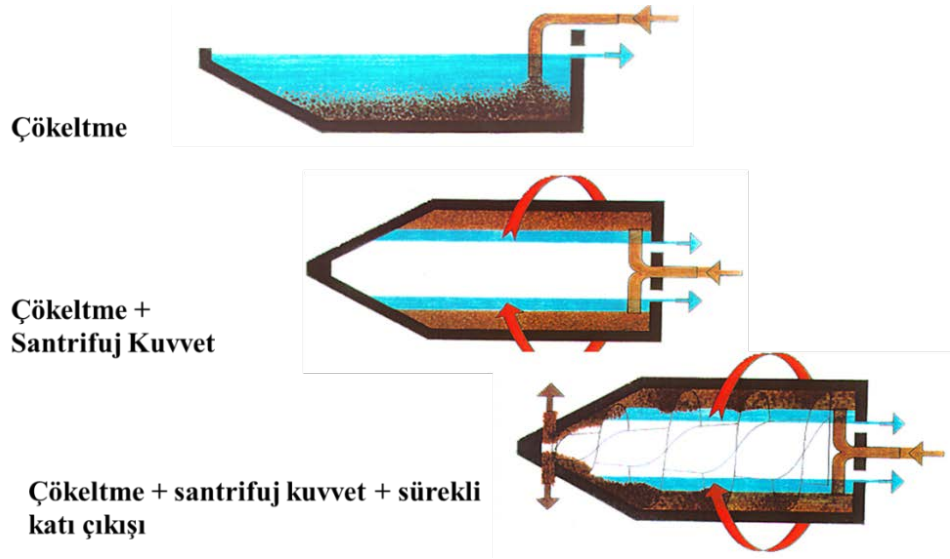
Şekil 2.9 Karışım, çöktürme ve dekantasyon

Dekantör santrifüj makinelerinde çöktürme (sedimentasyon) işleminin gerçekleştirilmesinde santrifüj (merkezkaç) kuvvetinden faydalanılmaktadır. Dekantasyon süreci ise (tambur aksamı statik bir havuz olarak düşünüldüğünde) sıvı fazın havuzun belirli bir seviyesinden taşırılması ile içerisinde bulunan katı fazın ise bir helezon konveyör yardımıyla daha yüksek bir seviyeden dışarıya taşınması ile gerçekleşmektedir (Şekil 2.10).

2.2.1 Ayırma (Separasyon) Prensipleri

Suya bir tahta parçası ve taş atıldığında tahta yüzmeye, taş ise batma eğilimi göstermektedir. Bu duruma benzer olarak bir taş ya da demir parçası cıva dolu bir kabın içerisine atıldığında suyun içine atıldığındaki deneyimde olduğu gibi bir batma

eğiliminin aksine bu cisimler yüzerler. Bir cismin farklı iki sıvıdan birinde batıyorken diğesinde yüzmesinin sebebi yoğunluğudur.



Şekil 2.10 Sürekli Dekantasyon süreci

Her madde yoğunluğu adında bir fiziksel özelliğe sahiptir. Yoğunluk belirli bir hacimdeki maddenin ne kadar kütleyle sahip olduğunun bir ölçüsüdür ve kg / m^3 olarak ifade edilebilir. Yani eğer bir metreküp çelik bir kantara çıkarılırsa bu cismin 7860 kg kütleyle sahip olduğu gözlemlenir, çünkü çeliğin yoğunluğu 7860 kg/m^3 'tür. Elbette bu parametrede ortam sıcaklığının da etkisi vardır örnek vermek gerekirse suyun $+4^\circ\text{C}$ sıcaklığında yoğunluğu 1000 kg/m^3 iken bu değer sıcaklığa bağlı olarak küçük bir miktar da olsa negatif yönde değişkenlik gösterir. Yoğunluk genellikle ρ ile gösterilir.

Sıvılar içerisinde bırakılan cisimlere yer çekimine zıt yönde batan hacmi ile orantılı bir kaldırma kuvveti uygular. Ne kadar geniş bir hacim sıvının içerisinde batmışsa o cisme uygulanan kaldırma kuvveti o kadar fazla olur. Bu doğrultuda cisim sıvı içerisinde üç farklı konumda olabilir:

1. Cismin özgül ağırlığı (γ) < sıvının özgül ağırlığı ise cisim sıvı yüzeyinde durur. Cismin bütün hacmi sıvı içerisinde kalmaz. Örnek: Tahta ve su.
2. Cismin özgül ağırlığı (γ) = sıvının özgül ağırlığı ise cisim sıvının içine tamamen batar ancak dibe çökmez, askıda kalır.
3. Cismin özgül ağırlığı (γ) > sıvının özgül ağırlığı ise cisim sıvının içinde tamamen batar ve dibe ulaşana kadar batmaya devam eder.

Durağan viskoz akışkan ortam içerisinde hareket eden bir katı parçacık veya sıvı damlacığa üç farklı kuvvet etki etmektedir (Şekil 2.11). Bunlar; yerçekimi kuvveti (G), akışkanın kaldırma kuvveti (F_b) ve akışkanın viskozitesine bağlı olan sürtünme kuvvetidir (F_d). Bu üç kuvvetin etkisi altındaki partikül ya da damlacık, sonunda sabit bir hıza kavuşur. Buna sedimentasyon hızı denir ve “ V_g ” ile gösterilir. Sedimentasyon hızı aşağıda verilen fiziksel büyüklükler ile ifade edilir. İfade edilen değerlerin bilinmesi sonucu hızın büyüklüğü aşağıdaki Stokes Yasası’ndan türetilmiş formül yardımıyla parçacığın hızı hesaplanır.

$$V_g = \frac{d^2 \cdot (\rho_p - \rho_1)}{18 \cdot \mu} \cdot g \quad (2.1)$$

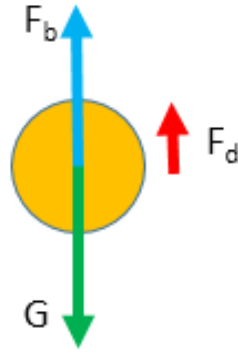
Denklem (2.1)’de görüldüğü üzere akışkan içerisindeki hız; akışkan yoğunluğu ve yer çekim ivmesi ile doğru orantılı, parçacık çapının karesi ile orantılı olmasıyla birlikte viskozitesi ile ters orantılıdır.

2.2.2 Merkezkaç Kuvveti

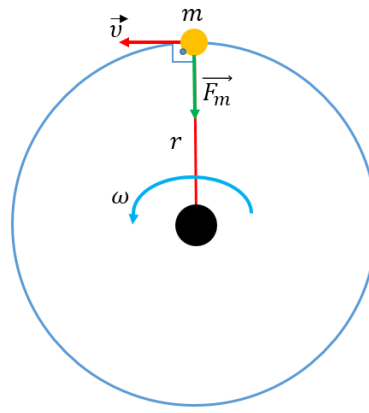
Ayırma işleminde hıza etki eden faktörlerden Bölüm 2.2.1’de anlatılmıştır. Bu faktörler göz önüne alındığında yerçekimi kuvveti ile sedimentasyon hızının doğru orantılı olduğu görülmektedir. Buradan hareketle yerçekimi kuvveti arttırabilirse sedimentasyon hızı aynı oranda artacağı varsayılabilir. Yer çekim kuvveti pratikte arttırılmayacağına göre benzer ve daha büyük bir kuvvet olan merkezkaç kuvveti kullanılır. Merkezkaç kuvveti; merkezci kuvvetin tepkisi olarak ifade edilebilir. Merkezci kuvvet, Newton’un 2. Yasası düzgün ve düzgün olmayan dairesel harekete uygulandığında eylemsizlik kanununa bağlı olarak elde edebilir. İple bağlı bir cismin Şekil 2.12) ile sabit hızda döndürüldüğü varsayıldığında ipe Denklem (2.2)’deki kuvvet uygulanır, merkezkaç kuvveti ise bu kuvvetin tepkisidir (Denklem (2.3)).

$$\vec{F}_m = m \cdot a_m = \frac{m \cdot v^2}{r} = m \cdot \omega^2 \cdot r \quad (2.2)$$

$$\vec{F}_c = -\vec{F}_m \quad (2.3)$$



Şekil 2.11 Viskoz akışkan içerisindeki partiküle etkiyen kuvvetler



Şekil 2.12 Düzgün dairesel hareket yapan cisme etkiyen merkezci kuvvet

Dekantör tasarımında kullanılan en önemli parametrelerden biri merkezkaç kuvvetidir.

İki ya da üç fazlı bir sistemde her bir fazın tambur iç yüzeyine uygulanan basıncı hesaplayabilmek için her bir fazın ayrı ayrı ele alınması gerekmektedir (Şekil 2.13). Örnek olarak zeytinyağı-su emülsiyonu ele alındığında tambur çeperine uygulanan kuvvet kuvvetlerin toplamı olarak ifade edilebilir.

$$\vec{F}_1 = m_1 \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60} \right)^2 \cdot \vec{r}_1 \quad (2.4)$$

$$\vec{F}_2 = m_2 \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60} \right)^2 \cdot \vec{r}_2 \quad (2.5)$$

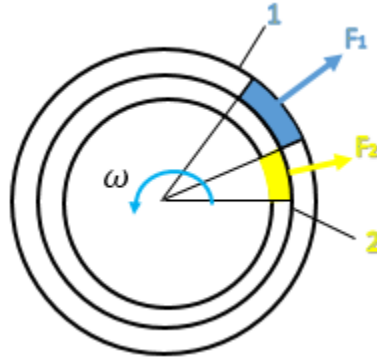
Buradan hareketle cidara uygulanan kuvvet toplamı ve uygulanan kuvvetlerin oranı elde edilebilir (Denklem (2.6) ve (2.7)).

$$\vec{F}_T = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \quad (2.6)$$

$$\frac{\vec{F}_1}{\vec{F}_2} = \frac{m_1 \cdot \vec{r}_1}{m_2 \cdot \vec{r}_2} \quad (2.7)$$

Santrifüjlerin sınıflandırılmasında kullanılan bu terim yerçekimi ivmesine nazaran dekantör santrifüjün kaç kat santrifüj ivme oluşturabildiğini hesaplamak amacıyla kullanılmaktadır (Denklem (2.8)).

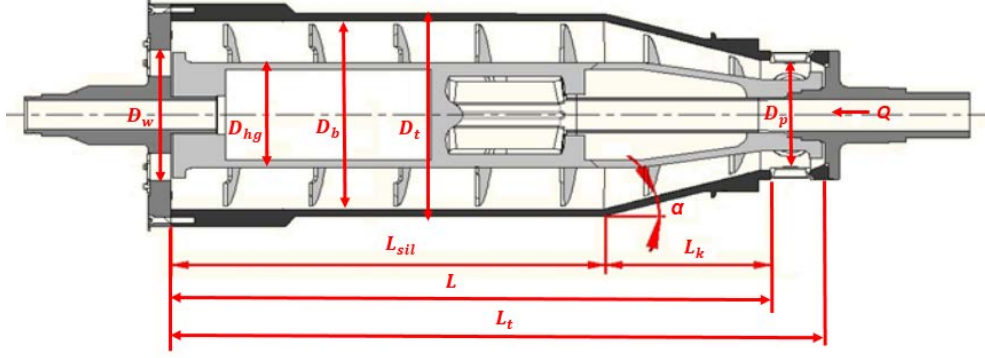
$$g_c = \frac{\omega^2 \cdot r_1}{g} \quad (2.8)$$



Şekil 2.13 Emülsiyonun tambur cidarına uyguladığı kuvvet

2.3 Dekantör Tasarım Parametreleri

Dekantör tasarım parametreleri, ayrımı yapılacak ürün, kapasite gibi değişkenlere bağlı olarak farklılık göstermektedir. Dekantör içerisine pompalanan Q debili süspansiyonun yüksek merkezkaç kuvveti altında ayrılması ve sıvı faz(lar)ın sıvı çıkış göz(ler)inden katının ise (tambur aksamına göre) farklı devirde dönen bir konveyör yardımıyla daha yüksek seviyedeki katı çıkış gözlerinden boşaltılması ilkesi ile çalışır. Dekantör tasarım parametreleri bize dekantör boyutları ve bir sonraki dekantörün hangi ölçülerde tasarlanması gerektiği gibi bilgileri hesaplamada yardımcı olur. Dekantör boyutlarını incelendiğinde hesaplamaların büyük bir bölümünün tambur grubundaki ölçülerden sağlanmakta olduğu görülmektedir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14 Tambur grubunun bazı ölçüleri

Tambur iç çapı (D_b), dekantörlerin sınıflandırılmasında önemli bir etkidir. Tambur boy çap oranı, uygulayabildiği merkezkaç kuvveti gibi nicelikler bu değer ile hesaplanmaktadır. Bununla birlikte göreceli santrifüj faktörü gibi bazı ölçüm değerleri bu çapın yarısı olan (r_1) ile hesaplanmaktadır.

Susuzlaştırma yüzeyi (A_{cn}) dekantör tambur aksamının silindirik yüzeyinin alanıdır. Bu alan üreticiye ve uygulamaya göre değişkenlik gösterir. Susuzlaştırma yüzeyi basit olarak aşağıdaki şekilde hesaplanabilir (Denklem (2.9)).

$$A_{cn} = \pi \cdot D_b \cdot L_{sil} \quad (2.9)$$

Süspansiyon hacmi (V_s), sıvı çıkış ayar kapakları ile orantılı bir değerdir. Sıvı çıkışının ayarlandığı çapa kadar olan hacim olarak tanımlanabilir (Şekil 2.15). Süspansiyon hacmi iki kısımdan oluşmaktadır:

- Tambur Silindirik Kısımdaki Hacim (V_{sil})
- Tambur Konik Kısımdaki Hacim (V_{kn})

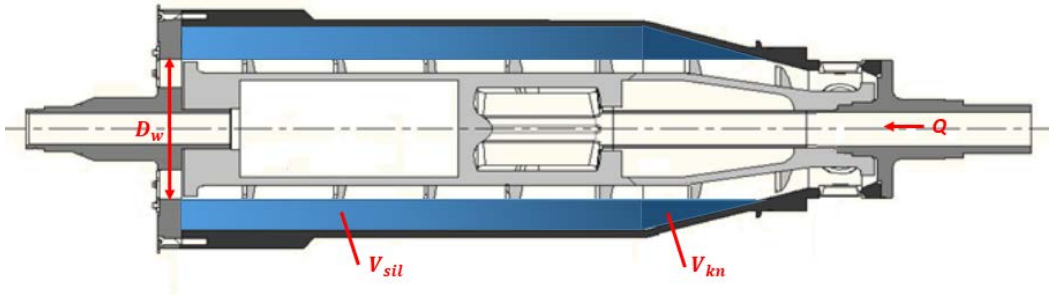
Süspansiyon hacmi, Denklem (2.10), (2.11) ve (2.12), den yararlanılarak hesaplanabilir:

$$V_{sil} = \frac{\pi \cdot (D_b^2 - D_w^2) \cdot L_{sil}}{4} \quad (2.10)$$

$$V_{kn} = \frac{\pi \cdot (D_b - D_w)}{8 \cdot \tan(\alpha)} \cdot \left(\frac{(D_b^2 + D_b) \cdot (D_w + D_w^2)}{3} - D_w^2 \right) \quad (2.11)$$

$$V_s = V_{sil} + V_{kn} \quad (2.12)$$

Diğer bütün değişkenler eşit olduğu durumda daha büyük süspansiyon hacmi daha iyi ayırma sağlamaktadır.



Şekil 2.15 Süspansiyon Hacmi gösterimi

Dekantör içerisindeki bir partikülü ele alarak içerideki akışı modellenirse akışkanın aksenal ve radyal hızlarının bulunması gerektiği ortaya çıkar (Denklem 2.13 ve 2.14).

$$V_e = \frac{Q_f}{\pi \left(\left(\frac{D_b}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_w}{2} \right)^2 \right)} = \frac{L}{t_e} \quad (2.13)$$

$$V_r = V_g \frac{w^2 r}{g} \quad (2.14)$$

Dekantör içerisindeki akışı bir boru içerisindeki akış gibi düşünüldüğünde iki faktöre bağlı olarak bir ilerleme söz konusudur. Bu faktörlerden birincisi yarıçap ikincisi ise süredir. Bu kapsamda denklem (2.14)'ün integrali alınıp denklem (2.13) ile süre bazında eşitlendiğinde ortaya çıkacak denklem bir besleme debisi denklemidir (Denklem (2.15)).

$$Q_f = \frac{\pi L \omega^2}{g} \cdot \frac{\left(\left(\frac{D_b}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_w}{2} \right)^2 \right)}{\ln \left(\frac{D_b}{D_w} \right)} \cdot V_g \quad (2.15)$$

$$Q_f = \Sigma \cdot V_g \quad (2.16)$$

Denklem (2.15) incelendiğinde ürünle ilişkili bir değer olan V_g ve dekantörün boyutsal parametrelerinin kombinasyonunun çarpıldığı görülmektedir. Burada bulunan boyutsal kombinasyona dekantörün ayırma kapasitesi denilmektedir ve sigma olarak bilinmektedir (Denklem (2.16) ve (2.17)).

$$\Sigma = \frac{\pi L \omega^2}{g} \cdot \frac{\left(\left(\frac{D_b}{2}\right)^2 - \left(\frac{D_w}{2}\right)^2\right)}{\ln\left(\frac{D_b}{D_w}\right)} \quad (2.17)$$

Denklem (2.17) $D_w/D_b \leq 0,65$ olan dekantörlerde geçerli bir formülasyondur. Bu formül aynı zamanda dekantörlerin performans değerlendirmesinde de kullanılmaktadır. Bu formül sayesinde tasarımcılar bir sonraki büyük kapasiteli eş dekantör boyutlarını hesaplayabilmektedir (Denklem (2.18)).

$$\frac{Q_{f1}}{\Sigma_1} = \frac{Q_{f2}}{\Sigma_2} \quad (2.18)$$

Alıkoyma süresi(T_r): Ürünü Dekantör içerisinde merkezkaç kuvvetine maruz bıraktığımız süre olarak tanımlanabilir (Denklem (2.19)).

$$T_r = \frac{3600 \cdot V_s}{Q} \quad (2.19)$$

Daha uzun alıkoyma süresi ayrılma verimliliğini yükseltir. Formülden de görüleceği gibi daha büyük süspansiyon hacmi daha uzun alıkoyma süresini sağlamaktadır.

Ürünün dekantör içerisinde alıkonma süresini etkileyen diğer faktörler;

- Partikül boyutu,
- Fazların yoğunluk farkları,
- Sıvı fazların viskozitesi,
- Fazların oranı,

Dekantör sıvı çıkış ayar kapaklarının seviyesi değiştirilerek süspansiyon hacminin artırılıp azaltılması sağlanabilir bu da alıkoyma süresinde değişikliğe sebep olur.

Bu süreyi etkileyen bir başka değişiklik de helezon ve tambur arasındaki diferansiyel hız(n) farkıdır. Örneğin, helezonu tambura göre yavaşlatmak, katının daha yavaş taşınması demektir. Bu durum genellikle daha kuru kek çıkışı ve daha berrak sıvı çıkışı sağlamaktadır.

Konik açısı (α), katıların konik boyunca taşınması sırasında katıya Şekil 2.16 ile gösterilen kayma kuvveti (S) etki etmektedir. Bu kuvvet katının ve bunu çevreleyen sıvı fazın özgül ağırlıkları farkına göre değişmektedir. Bu da katının silindirik kısımdan, hava ile çevrili olduğu konik kısma geçmesi ile kayma kuvvetinde önemli bir artış olduğunu gösterir. Bu kuvveti hesaplarken Denklem (2.20) kullanılmaktadır.

$$S = G \cdot \sin(\alpha) \quad (2.20)$$

Bu formülden küçük konik açısına sahip dekantörlerin, konik açısı daha dik olanlara göre daha düşük “ S ” kuvveti oluşturduğu anlaşılabilir. Bu da sıkı bir yapısı olmayan ve yumuşak bir kıvama sahip olgunlaştırılmış kanalizasyon çamuru gibi ürünlerde düşük konik açıları tercih edilmesini sağlar. Ayrıca çok sıkı yapılı, taşıma için yüksek tork gerektiren ürünlerde de düşük konik açısı daha avantajlıdır. Düşük konik açısı helezonda daha az aşınmaya yol açar. Dik konik açıları helezon tarafından kolayca taşınabilen ürünlerde daha uygundur.

Boy çap parametreleri dekantörlerin kıyaslanmasında bir diğer önemli faktördür. Dekantörler genellikle belli L/D oranlarına göre üretilmektedir (3 – 3,6 – 4 – 4,1 gibi). Aynı çaptaki iki dekantörü karşılaştırılırsa, uzun olan katıyı taşımak için daha büyük bir kapasitesi olur ve bu da çökelpmenin gerçekleşeceği daha büyük bir süspansiyon hacmine sahip olmasını sağlar.

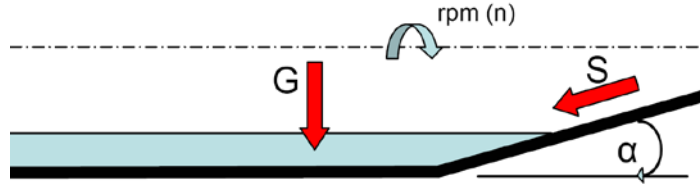
Kısa ve büyük çaplı bir dekantör ile uzun ve küçük çaplı bir dekantör kıyaslandığında durum biraz daha karmaşık olacaktır. İçeriğindeki bütün kompleks yapılara rağmen dekantör sadece içerisinde akış olan bir borudur ve borulardaki problemler dekantörde de beklenir.

Lineer hız artışı türbülansa sebep olacaktır. Öyleyse küçük çaplı makine daha uzun bir temizleme alanına sahip olmasına rağmen, belirli bir besleme miktarında bu küçük çap daha fazla türbülansa sebep olacak ve temizleme etkisini olumsuz yönde etkileyecektir.

Temizleme alanı (A_c): Bu parametre bir dekantörün diğerine göre daha etkin olduğunu kıyaslama için kullanılabilir. Temizleme alanı tambur içindeki ıslak alan olarak tanımlanabilir. Bu parametre ile ilgili sorun ise bütün firmaların bu değer için farklı yaklaşımlara dayanarak farklı formüller kullanması ve ortada standart tek

bir formül bulunmamasıdır. Bunlar içinde Sokolov formülü en basit ve kapsam olarak bütün durumları içeren ve genel olarak kullanılabilir (Denklem (2.21)).

$$A_c = \pi \cdot D_b \cdot L_{sil} \quad (2.21)$$



Şekil 2.16 Konik tamburda kayma kuvveti

2.3.1 Tambur Et Kalınlığı Hesabı

Dekantör tambur aksamı üzerine kendi kütlesi ve içerisindeki ürünün merkezkaç kuvveti etkisinde kalması sebebiyle bir basınç etki etmektedir. Bununla birlikte içerisindeki helezon ve “tasarıma göre” şanzıman kütlesinden kaynaklı dinamik yükler de mevcuttur. Özellikle tambur silindirik kısmı uzun yapısı dolayısıyla büyük gerilmelere karşı mukavim olmalıdır. Dekantör tambur aksamını ince cidarlı basınçlı kap olarak görebiliriz (Denklem 2.22).

Dekantör içerisindeki ürünün çepere yaptığı basınç (P_b) Denklem (2.4)’te bulunan F kuvvetinin içerisindeki ürün hacmi sıvı çıkış yarıçapı ve tambur iç çapı ile sınırlandırmak suretiyle hesaplanmasının silindirik yüzey alanına bölünmesiyle iyi bir yaklaşıklıkla elde edilebilir (Denklem (2.23)).

$$\frac{s}{D_t} \leq 0,1 \quad (2.22)$$

$$P_b = \frac{\rho_1 \cdot \omega^2}{2} \cdot \left(\frac{D_b^2 - D_w^2}{4} \right) \quad (2.23)$$

Ürünün dekantör silindirik tambur aksamındaki gerilme etkisi Denklem (2.24) ile hesaplanabilir.

$$\sigma_{t1} = \frac{\rho_1 \cdot \omega^2 \cdot [D_b^2 - D_w^2] \cdot D_b}{16 \cdot 10^9 \cdot s} \quad (2.24)$$

Dekantör tambur grubu dönme hareketi yaptığı esnada tambur kütlesi de merkezkaç kuvveti etkisiyle kendi üzerinde bir basınç etkisi oluşturur. Bu etki gerilme olarak ara kesit için Denklem (2.25) ile hesaplanabilir.

$$\sigma_{t2} = \frac{\rho_2 \cdot \omega^2 \cdot (D_b + s)}{4 \cdot 10^9} \quad (2.25)$$

İnce cidarlı kaplarda aksenal gerilme teğetsel gerilmenin yarısı olduğu için aksenal gerilmeler hesaplanmamıştır. Büyük olan gerilmeye göre dayanım hesabı yapılmıştır. Silindirik tambur yüzeyindeki toplam gerilme içerisindeki ürün ve tamburun kendi kütlesinden kaynaklanan gerilmeler toplamı olarak ifade edilebilir (Denklem (2.26)).

$$\sigma_T = \sigma_{t1} + \sigma_{t2} \quad (2.26)$$

Dekantör silindirik tambur aksamı santrifüj döküm ve silindirik bükme akabinde dikiş kaynak yöntemleri ile üretilebilmektedir. Eğer kaynaklı tasarım kullanılarak üretim yapılmışsa toplam gerilme kaynak doğrulama katsayısına bölünür. Gerilme dayanımı Avrupa Mühendislik Talimatlarına (EED) göre, izin verilen maksimum çalışma sıcaklığında, Denklem (2.27)'de olduğu gibi malzemenin akma dayanımının %66 altında ve Denklem (2.28)'de olduğu gibi kopma dayanımının %44 oranında olmalıdır (Records ve Sutherland 2001).

$$\sigma_{z1} = 0,33 \cdot R_{p0,2} \quad (2.27)$$

$$\sigma_{z2} = 0,44 \cdot R_m \quad (2.28)$$

Gerilme toplamını dayanım toplamı ile kıyaslayarak tahmin ile gerçekleşen kalınlık değerinin emniyet faktörü ile doğruluğu tespit edilir (Denklem (2.29),(2.30)).

$$S_a = \frac{\sigma_{z1}}{\sigma_T} \quad (2.29)$$

$$S_k = \frac{\sigma_{z2}}{\sigma_T} \quad (2.30)$$

Emniyet faktörüne ek bilgi olarak konik tamburda katı yoğunluğu fazla olduğu için pratik olarak silindirik tambura nazaran et kalınlığı %50 oranında daha fazla olması tercih edilmektedir.

Elbette tambur içerisindeki basınç haricinde içerisindeki helezon katı süpürme esnasında ortaya çıkan aksenal kuvvetlerde mevcuttur. Bununla birlikte döner aksamda bulunan şanzıman ve tambur içerisine yataklanmış olan helezon kütleleri gereği dinamik eğilme yükü etkisi oluşturmaktadır.

2.3.2 Motor Gücüne Etkisinin Belirlenmesi

Dekantör için gerekli olan toplam güç ihtiyacı birçok bileşenden meydana gelmektedir. Toplam güç ihtiyacını değerlendirdiğimizde içerideki ürünün tambur devrine ulaştırılması (P_p), sürtünme kayıpları ve akışa engel olan hava direncinin yenilmesi ($P_{sür}$), içerideki ürünün ağır fazını katı çıkış haznesine taşıması (P_{pt}) ve tambur grubu (silindirik ve konik tambur, helezon şanzıman vb.) kütlelerinin ataletini yenebilmesi (P_r), için güç gerektiği ortaya çıkmaktadır. Bu kapsamda operasyonel anlamda incelendiğinde dekantör tambur grubu ataletini yenmek için gerekli güç ayrı incelenebilir. Çünkü önce dekantör boşken çalıştırılır devre ulaştırılır akabinde ürün beslemesi yapılır böylelikle fazladan motor gücüne olan ihtiyaç azaltılmış olur. Bu da güç denklemini aşağıdaki şekilde incelememize olanak verir (Denklem (2.31)).

$$P_T = P_p + P_{sür} + P_{pt} + P_r \quad (2.31)$$

Dekantör güç hesaplamaları için yukarıdaki formül bileşenleri irdelenerek detaylı tasarım gereksinimleri sağlanabilir. Tasarım kriteri silindirik tambur üzerine 55 derece açı ile kaç katman elyaf sarıldığında çelik malzeme ile aynı mukavemeti sağlayacağıdır. Malzeme değişikliği tambur kütlelerinin azalmasını sağlayacağı yönde yapıldığından odaklanması gereken bu güç formülü içerisindeki atalet sebebiyle ihtiyaç duyulan güçtür. Silindirik tamburun ataleti ve kütlelerini hesaplanırken Denklem (2.32) ve (2.33) kullanılmaktadır. Bu kısımda dikkat edilmesi gereken hususlar birimler ve x ekseninin silindirik koordinatları çap ve boy doğrultusu olarak tanımlandığında boy eksenidir.

$$m_{sil} = V \cdot \rho_b = \pi \cdot \frac{(D_b + 2s)^2 - D_b^2}{4} \cdot L \cdot \rho_b \quad (2.32)$$

$$J_{sil} = m_{sil} \cdot \frac{(D_b + 2s)^2 + D_b^2}{8} \quad (2.33)$$

Bu atalet momentinin motor miline indirgenmesi sürecinde Denklem (2.34)'ten faydalanılmaktadır.

$$J_{ind} = \frac{J \cdot n_2^2}{n_1^2} \quad (2.34)$$

Hesaplama yapılırken; dekantörün ilk çalıştırılma esnasında silindirik tamburun kalkışı için gerekli güç için Denklem (2.35) kullanılır. Kalkış süresi(t_k) ortalama 3 dk olarak alınabilir. Motor ataleti bilinmediği ve oransal olarak küçük olduğu için ihmal edilmiştir.

$$M_k = J_{ind} \cdot \alpha \quad (2.35)$$

Burada α ivmelenmeyi bize vermektedir ve Denklem (2.36) yardımıyla tespit edilir.

$$\alpha = \frac{\omega}{t_k} \quad (2.36)$$

Silindirik tamburu harekete geçirmek için motordan ihtiyaç duyulan tork Denklem (2.37) yardımıyla tespit edilebilir.

$$M_{sil} = M_k + M_L \quad (2.37)$$

Silindirik tambur kalkış işlemi tamamlandıktan sonra irdelenen sınır şartlarında karşı koyulması gereken tek direnç rulman direncidir. Bu direnç Denklem (2.38) yardımıyla hesaplanabilir. M_L değeri gerekli tahrik momentini ifade etmektedir.

$$M_L = m_{sil} \cdot g \cdot \mu_r \cdot \left(\frac{d_{mil}}{(D_b + 2s)} \right) \quad (2.38)$$

$$P_{r sil} = \frac{M_L \cdot N}{9550} \quad (2.39)$$

2.4 Dekantörün Boyutlandırılması

Dekantör santrifüj tambur aksamının kompozit malzeme kullanılarak yapılabilmesi için mevcutta çalışan sistemin iyice kavranması gerekmektedir. Bu

kapsamda çelik malzeme ile üretilmiş olan tamburdan yola çıkılarak kompozit malzeme kullanımının miktarı ve etkinliği araştırılmaktadır.

Dekantörler birçok sektörde olduğu gibi gıda sektöründe de kullanılmaktadır. Bu sebeple dekantörün ürün ile temas eden bölümlerinde paslanmaz çelik kullanılması zorunluluğu söz konusudur. Bu kapsamda hibrit bir tasarım yapılması gerekmekte olsa bile şu aşamada analizi için yeterli veri yoktur. Bununla birlikte üretim imkânsızlıklarına bağlı olarak ince et kalınlığına sahip boru bulunamaması ve büyük dekantördeki tambur aksamı için işleme zorluklarının olması söz konusudur. Bunlarla birlikte kompozit bağlantı probleminin henüz çözülmemiş oluşu da gerçekleştirme sürecinde bir engeldir.

Başlangıçta seçimi yapılan A ve B dekantörü boyut ve kapasite yönünde farklı görünse de B dekantörü A dekantörünün büyütülmüş sürümüdür. Analitik hesaplamaları gerçekleştirilmesinde işleminde excel programı üzerinden oluşturulan bir değer tablosuna formüller bağlanarak çözümlene yapıldı. Dekantör silindirik tambur aksamı ölçülerini dekantör A ve B modelleri için verilirse (Tablo 2.1 ve Şekil 4.1);

Tablo 2.1 A ve B dekantörleri için özellikler

	D_b [mm]	L_{sil} [mm]	s [mm]	P_b [MPa]	w [rad /s]
Dekantör A	230	920	10	6,04	545
Dekantör B	640	2576	40	22,77	262

Yapılan çözümlene sadece çelik için gerçekleşmiş olsa da kompozit malzeme hakkında da fikir verebilmektedir. Bu program ara yüzüne ilişkin görünüm ve veriler aşağıdaki tablolarda sunulmuştur. Oluşturulan ilk model mevcutta AISI 414 tipi çelik kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2.2 AISI 414 çeliğin mekanik özellikleri

Çelik Mekanik Özellikleri	Simge	Değer Aralığı	Birimi
Çekme Dayanımı(Maksimum)	R_m	640	MPa
Akma Dayanımı	$R_{p0,2}$	460	MPa
Kopma Uzaması	ϵ	%28	
Elastisite Modülü	E	210000	MPa

2.4.1 AISI 414 Malzemedeki Dekantör Tasarım Verileri

Yapılan analitik çalışmaya ait excel tablosunun gruplanmış görünümünü ve yapılan ilk hesapların sonuç verileri Tablo 2.3), (Tablo 2.4), (Tablo 2.5), (Tablo 2.6) ile Dekantör A ve Dekantör B için sunulmuştur.

Tablo 2.3 Dekantör Kıyaslama Parametreleri(AISI 414)

Referans Denklem	Sembol	Açıklama	[Birim]	Dekantör A	Dekantör B
	w	Açısal hız	[rad/s]	544,54	261,80
2.1	V_g	Sedimentasyon hızı	[mm/h]	9,47	9,47
2.4	F_1	Merkezkaç kuvveti	[kg.m/s ²]	3,72	85,44
2.8	g_c	Göreceli santrifüj faktörü	[g]	3.476,1	2.249,7
2.15	Q	Kapasite	[m ³ /h]	3,00	28,48
2.17	Σ	Sigma	[m ²]	2,97	15,08
2.9	A_{cn}	Susuzlaştırma yüzey alanı	[m ²]	1,37	10,76
2.12	V_s	Süspansiyon hacmi	[m ³]	0,05	0,78
2.19	T_r	Alıkoyma süresi	[s]	54,79	98,55
2.20	S	Kayma kuvveti	[N]	0,96	22,11
2.21	A_c	Temizleme Alanı	[m ²]	0,66	5,21

Tablo 2.4 Gerilme hesabı(AISI 414)

Referans Denklem	Sembol	Açıklama	[Birim]	Dekantör A	Dekantör B
2.23	P_b	Ürünün silindirik tambura yaptığı basınç	[MPa]	6,04	22,77
2.24	σ_{t1}	Ürünün silindirik tambur üzerindeki teğetsel gerilme etkisi	[MPa]	18,91	23,99
2.25	σ_{t2}	Tambur kütesinin kendi üzerinde oluşturduğu gerilme	[MPa]	33,52	62,93
2.26	σ_T	Gerilme toplamı	[MPa]	52,43	86,92

Tablo 2.4'te belirtilen değerleri ilgili Denklem (3.29) ve (3.30) ile çözdüğümüzde aşağıdaki sonuçlar elde edilir.

Tablo 2.5 Dayanım hesabı(AISI 414)

Referans Denklem	Sembol	Açıklama	Dekantör A	Dekantör B
2,29	S_k	Kopma mukavemetine göre emniyet katsayısı	6,30	3,36
2,30	S_a	akma mukavemetine göre dayanım	3,86	2,33

$\sigma_T < \sigma_z = 0,33R_m$ olduğundan, gerilmeler kabul edilebilir değerlerin altındadır. Optimum olarak $S_k > 2$ olduğundan verilen tambur et kalınlığı uygundur.

$\sigma_t < \sigma_z = 0,44 R_{p0,2}$ olduğundan, gerilmeler kabul edilebilir değerlerin altındadır. Optimum olarak $S_a > 2$ olduğundan verilen tambur et kalınlığı uygundur.

Tablo 2.6 Silindirik tamburun ana motor gücüne etkisi(AISI 414)

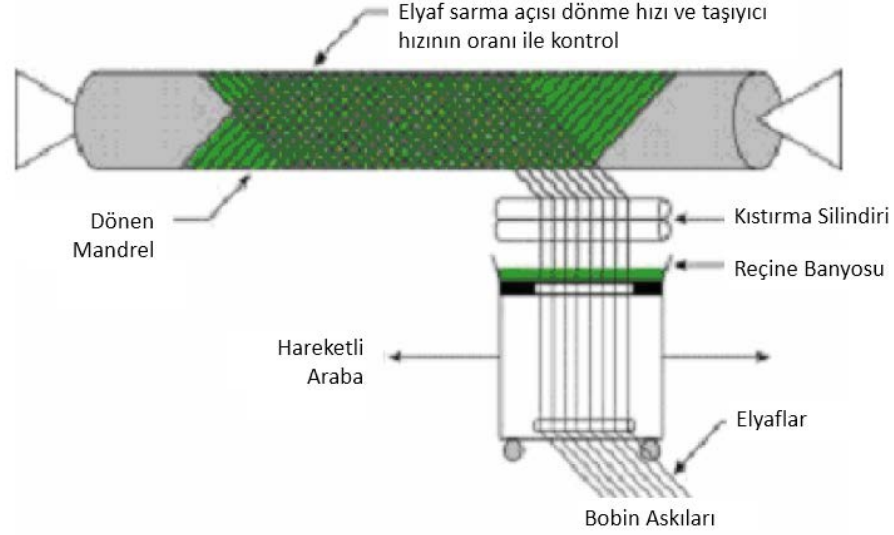
Referans Denklemler	Sembol	Açıklama	[Birim]	Dekantör A	Dekantör B
2.32	m_{sil}	Silindirik tambur kütlesi	[kg]	40,65	892,39
2.33	J_{sil}	Silindirik tambur eksenel atalet momenti	[kg mm ²]	58640077,02	10473400399,38
2.36	α	İvmelenme	[rad/s ²]	4,54	2,18
2.38	M_L	Silindirik tambur sürekli döndürmesi için gerekli moment	[Nm]	0,60	12,09
2.37	$P_{\check{c}}$	Çalışma devrine ulaşmak için ihtiyaç duyulan güç	[kW]	2,66	22,85
2.39	P_{rsil}	İşleme için gereken güç	[kW]	0,34	6,84

3. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzemeler, tasarımda aranan özellikleri verebilecek uygun bir malzeme üretmek amacıyla, makro boyutta iki veya daha fazla malzemenin birleştirilmesi ile elde edilen yeni malzemelerdir. Kompozitler, yapılarda var olması istenen düşük ağırlık, yüksek mukavemet, yorulma ve korozyon direnci, estetik görünüm, elektrik yalıtkanlığı, rijitlik gibi özelliklerin biri veya birkaçını sağlayabilmektedir. Çalışmada elyaf sarım tekniği ile kompozit üretimi kullanılmıştır.

3.1 Elyaf Sarım Tekniği

Filaman sarım tekniği kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan ve bilinen en verimli yöntemlerden biridir. Günümüzde filaman sarım tekniği depolama tankları, uçak, helikopter, yel değirmeni paletleri, roket namlu boruları, yapı elemanları, spor malzemeleri, miller, tork çubukları, pnömatik-hidrolik silindirler, elektrik izolatör gövdeleri üretimi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Tasarımları özel olarak yapılmış sargı makineleriyle kafa ve mandrel dönüş hızları ayarlanarak istenilen sarım açılarında üretim yapılır. Sarım birbirine yapışık bantlar halinde veya tekrarlanan paternlerin bütün mandreli kaplaması halinde gerçekleştirilir. İstenilen kalınlığa erişilene kadar birbirini takip eden katmanlar aynı veya değişik sarım açılarında sarılırlar. Sarım açıları mandrel boyuna doğru 25° gibi düşük açılardan mandrel eksenine dik (90°) açığa kadar değişebilir. Genellikle elyaflar arasındaki yapıştırıcı reçine olarak termoset reçine malzemesi kullanılır. Yaygın olarak kullanılan ıslak sarımda, reçine sarım esnasında uygulanır (Şekil 3.1). Alternatif yöntem olan kuru sarımda ise, önceden reçine emdirilmiş, “pre-preg” elyaf/reçine sistemleri kullanılır. Sarım işlemi tamamlandıktan sonra parçalar yüksek sıcaklıklarda fırınlanır. Üretim prosesi mandrelin çıkarılmasıyla tamamlanır. Gerekli durumlarda parça üzerinde talaşlı imalat teknikleri uygulanabilir. Elyaf sarım tekniğinde hemen her tip sürekli elyaf kullanılabilir. Grafit, aramid ve kevlar elyaflar gibi yüksek özgül mukavemet ve elastisite modülü gerektiren havacılık ve uzay alanlarında kullanılmaktadır. Bu teknikte kullanılan başlıca reçine malzemeleri ise epoksi, polyester ve vinilester olarak özetlenebilir.



Şekil 3.1 Elyaf sarım yöntemi şematik gösterimi

3.1.1 Takviye Malzemeleri

Elyaf sarma tekniğinde maliyet, korozyon direnci ve kolay bulunabilirlik gibi özelliklerinden dolayı E-Cam elyaf en yaygın kullanılan takviye malzemesidir. E-Cam' a göre güçlü fakat daha pahalı olan S-Cam, karbon, aramid gibi elyaflar ise genellikle havacılık sanayinde kullanılmaktadır. Her iki cam elyafta elyaf sarım metoduna uygun yüksek çekme mukavemetine sahiptir. Cam elyafların diğer takviye malzemelerine göre tek dezavantajları düşük elastisite modülüne sahip olmalarıdır. Tek yönlü kompozitlerde erişilebilecek en yüksek elastisite modülü 70 GPa civarındadır. Daha yüksek elastisite modüllü sarım malzemeleri arasında en çok ilgi görenler karbon ve aramiddir. Bu takviye malzemelerinin özgül elastisite modülü, cam elyafın özgül elastisite modülünün yaklaşık üç-dört katı kadardır. Karbon ve aramidin diğer avantajları ise cam elyafinkine yaklaşan özgül mukavemet sağlayan, düşük yoğunluklarıdır. Son yıllarda, bu malzemelerin fiyatındaki büyük düşüşe rağmen, daha çok havacılık sanayi karbon ve aramidi etkin olarak kullanmaktadır. Cam elyafın, daha yüksek elastisite modülüne sahip fiberlerle çeşitli kombinasyonlarından oluşan hibrit kompozitler ise, ağırlık ve mukavemetin fiyata göre optimize edildiği yapılar için uygundur. Elyaf sargılı yapılarda kullanılmak üzere birçok başka filaman malzemesi test edilmiştir. Bunların arasında çelik tel, boron, berilyum, poliamidler, polyesterler ve asbest de bulunmaktadır. Fakat hiç birinin kullanımı piyasada yaygınlık

kazanmamıştır. E-cam' ın ve S-cam' ın tek-elyaf mukavemetleri S-cam' ın ki daha yüksek olmak üzere 2.0 GPa' dan 5.0 GPa' a kadar çıkabilir. Genellikle, açıklanan mukavemet değerleri çok sayıda bireysel deney sonuçların birleşmesi ile elde edilmiş olup açıkça yüksek bir standart sapmaya sahiptir. Bu dağılım, fiberdeki çiziklerden ve çiziklerle çevresel faktörler arasındaki etkileşimden kaynaklanmaktadır. Fiberlerin mukavemetini azaltan çevresel faktörlerin başında nem gelir. Çekme mukavemetini etkileyen diğer bir faktör de elyaf çapıdır. Büyük çaplı elyafların küçük çaplı olanlara göre daha zayıf olduğu gözlemlenmiştir.

3.1.2 Matris Malzemeleri

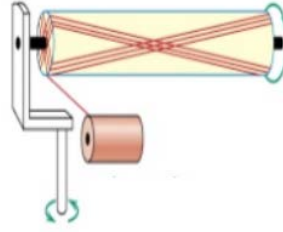
Elyaf sarım sisteminde matris malzeme olarak epoksi, polyester veya vinilester reçineler esas alınır. Fenolikler, silikonlar ve poliamidler, yüksek ısı dayanımı gereken yerlerde veya elektriksel uygulamalarda kullanılırlar. Bu üç reçinenin sertleşmesi esnasında su buharı ve solventler açığa çıktığından, ısı ve basınç etkisi gerektiğinden kullanımları zordur. Ayrıca termoplastikler için matris malzeme olarak kullanma araştırmaları devam etmektedir. Termoplastiklerin en önemli avantajları sertleştirme işlemi gerektirmemesi ve uzun ömürlü olmalarıdır. Bununla birlikte filaman sarım işlemi için termoplastiklerle ilgili bir metot da mevcut değildir. Termoplastik sarım için önce elyafın termoplastik ile kaplanması daha sonra sarım esnasında elyaflar arasında hava boşluğu kalmayacak şekilde sıkıştırılması gerekir. Bu işlem şimdilik yapılamamaktadır.

Epoksi reçine; uzay ve havacılık gibi ağırlığın kritik olduğu ve yüksek mukavemet istenen yerlerde tercih edilir. Epoksi reçinenin, polyester gibi daha ucuz olan bir reçineye tercih edilme sebepleri; daha iyi mekanik özellikleri, yorulma dayanımı, ısıl dayanımı, takviye malzemesine iyi yapışması ve sertleşme esnasındaki düşük çekme oranı şeklinde sayılabilir. Uzay ve havacılık sanayinde epoksi reçinenin hala tercih edilme sebebi; sayılan özellikleri uzun süreden beri taşıyor olması ve güvenilirliğinin denenmiş olmasıdır. Filaman sarım için kullanılan epoksiler, levha için kullanılanların aynısıdır. Ancak bazı özel uygulamalar için küçük düzeltmeler yapılır. Epoksi reçine tipleri istenen özel önceliklere göre seçilmelidir. Mesela, bromlu

reçineler yüksek alevlenme direnci gereken yerlerde, esnek epoksi reçineler; darbe dayanımı ve yüksek uzama kabiliyeti gereken yerlerde tercih edilmektedir.

3.1.3 Sarım İşlemi

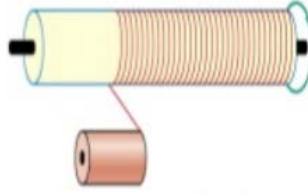
Sarım işlemi, kutupsal ve helisel olmak üzere iki temel guruba ayrılır. Her yöntem değişik bir sargı ortaya çıkarır. Kutupsal sarımda; mandrel sabit kalır ve bu sırada besleme kolu mandrel eksenine etrafında önceden belirlenmiş bir açıda hareket eder. Mandrel üzerinde her harekette bir bant genişliğinde sarım olacak şekilde işlem sürdürülür. Bu tek devre kutupsal sarım olarak tarif edilir ve Şekil 3.2 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Kutupsal sarım örneği

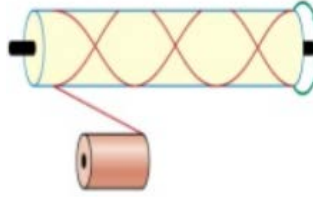
Elyaf bantları birbirine bitişik olarak sarılır ve bir katman artı ve eksi iki ayrı kattan meydana gelir. Helis sarımda ise; mandrel dönerken elyaf besleme kafası ileri geri hareket eder. Mandrel dönüş hızı ile kafa hızı ayarlanarak istenilen sarım açısı elde edilir. En yaygın sarım çeşidi çok devreli sarımdır. İlk sarımdan sonra bantlar yan yana değildir. Bu işlemi defalarca tekrarlayarak ilk katmanın elde edilmesi gerekir. Bir katman iç içe geçmiş iki kattan oluşur. Sarım yolları basit makinalarda deneme yanılma yöntemi ile ayarlanır. Bilgisayar destekli makinalarda ise yol hesaplanarak bilgisayara girilir. Diğer sarım çeşitleri ise, teğetsel sarım, boyuna sarım ve bileşik sarım olarak adlandırılır. Teğetsel sarım veya çevresel sarımda, sarım açısı 90° ye çok yakın olduğundan mandrel her devri sonunda araba bir bant genişliği kadar ilerler. Araba hareketini tamamladığında mandrel yüzeyi elyafla kaplanarak tek kat meydana gelir. Bu sarımda elde edilen silindirik parçada kritik bölgeler ilave sarımlarla veya özel takviye parçalarıyla desteklenirler. Boyuna sarım ise, çok düşük açılı, açının mandrel eksenine yakın olduğu sarımlar için kullanılır. Kapalı uçlu basınçlı kaplarda minimum sarım açısı uçlardaki delik çaplarıyla sınırlandırılmıştır. Bileşik sarım ise

boyuna sarımın teğetsel sarımla takviye edilmesi olarak açıklanabilir. Şekil 3.3 ile çevresel sarım olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Çevresel sarım örneği

Helisel sarım makinalarının temel hareketleri mandrelin dönmesi ve kafanın ileri geri hareket etmesidir. Bunlara ek olarak, mandrel eksenine dik bir kızak kullanımıyla veya elyafi yönlendiren kılavuz halkanın düşey eksen etrafında sarım yönüne göre değişen dönme hareketi yani besleme deliğinin döndürülmesi ile dördüncü eksen yaratılmış olur. Şekil 3.4 ile helisel sarım olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Helisel sarım örneği

Sarım için gerekli bir diğer konu da mandreldir. Açık uçlu silindirik konik şekilli yapılar için kullanılan, çoğunlukla çelik ve alüminyum alaşımlarından üretilen mandrellerin tasarımları oldukça basittir. Uçların kapalı olması gereken hallerde, örneğin basınçlı kaplarda, mandrel tasarımı ve uygun malzemenin seçimi çok dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Yapılan tasarım parçanın mandrelden çıkarılması sırasında meydana gelebilecek hasarları ve kalıntı gerilmeleri asgariye indirebilecek şekilde olmalıdır. Mandrel kendi ağırlığından ve sarım gerilmelerinden etkilenerek deforme olmamalıdır. Ayrıca mandrelin yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilen fırınlama sırasında yeterli dayanıma sahip olması ve fırınlama işleminden sonra kolayca çıkarılabilmesi çok önemlidir. Genel olarak mandreller iki ana grupta incelenebilir. Bunlar; metal alaşımlarından yapılan ve çıkartıldıktan sonra defalarca kullanılabilen mandreller, diğer grup ise, köpük, mum gibi malzemelerden yapılan, tahrip edilerek çıkarılıp atılan, her bir kullanım için yeniden üretilmesi gerekli olan mandrellerdir.

3.1.4 CNC Helisel Elyaf Sarım Makinesi

Helis sarım makinalarının kontrolü mekanik veya sayısal olarak sağlanabilir. Mekanik kontrol genellikle sürücü sistem, bağlantı zinciri ve tahrik vidalarıyla sağlanır. CNC helisel elyaf sarma makinesinde ise elyaf rotası girilerek makinenin sarım yapması sağlanır. Yani sayısal kontrollü sarımda her eksenin kendi servo motoru bulunur. Bu servo motorlar bilgisayar tarafından kontrol edilirler. Bu tür makinalarda, sarım sırasındaki, elyaf gerginliği, reçine banyo sıcaklığı, elyaf hızı, elyaf uzunluğu, oda sıcaklığı, nem vb. gibi parametreler sürekli izlenir ve kaydedilir. Mekanik kontroller sınırlı sarım açısına sahiptirler. Sayısal kontrolde ise istenilen her açıda sarım mümkündür ek olarak farklı yapılar için özel olarak tasarlanmış makinalar da kullanılabilir. Üniversitemiz bünyesine kazandırılan CNC elyaf sarma makinesi Şekil 3.5 ile gösterilmektedir.



Şekil 3.5 CNC elyaf sarma makinası

3.1.5 Sarım Kontrol Parametreleri

Sarım işleminin esası bobin şeklindeki elyafın malafa üzerine istenen özellikleri verecek şekilde sarılmasıdır. Başarılı bir sarım için, elyaf gerilimi, reçine yüzdesi, bant genişliği ve kat kalınlığının dikkatli kontrolü gerekir. Ayrıca optimum mekanik özelliklerin, mamulün devamlılığının sağlanması ve elyaf hasarının önlenmesi için gereken özen gösterilmelidir. Elyaf gerilimi; seramik, paslanmaz çelik veya teflon kılavuz halkalarla, kampana tipi frenlerle, çapraz pimlerle veya reçine viskozitesi ile sağlanır. Genellikle elyaf gerilimi, her bir uç için 1~ 4,4 N arasında değişir. Aşınma ve hasarı önlemek için kuru elyaf demeti reçine içine girinceye kadar gerilme asgari düzeyde tutulmalıdır. Reçine banyosundan sonra gerilme değeri sarım düzeyine çıkarılır. İçten çözülen sabit bobinlerde, kılavuz halka ile yeterli elyaf gerginliği sağlanabildiği halde, makaralı bobinlerde fren tertibatı kullanılmalıdır. Daha gelişmiş tezgâhlarda, her bir bobinin istenen elyaf gerginliği ile çözülmesini sağlayan adım motorlu elektronik kontrol sistemi mevcuttur. Tekstil elyafın yönlendirilmesinde seramik halkalar en iyi sonuç vermektedir. Elyaf ıslatma tertibatının tasarımı yapılırken, elyaf uç sayısı, sarım hızı, reçine viskozitesi ve pelteleşme süresi gibi parametrelerin yanında, reçinenin veya elyafın ısıtılıp ısıtılmayacağı göz önüne alınmalıdır. Hassas bir sarım için, düzgün bir sarımın yanında bant özelliklerinin iyi kontrolü yani bant kesitinin üniform ve istenen boyutlarda olması gerekir. Üniform bir bant ile sadece mukavemet artmaz ayrıca sabit bir kalınlıkta sağlanabilir. Birim kat kalınlığı, belirli bir bant yoğunluğu (uç sayısı/genişlik) ve elyaf yüzdesi ile hesaplanır. Elyaf kat kalınlığı, genellikle üretici firmalarca hazırlanmış grafiklerden belirlenir. Bant yoğunluğu ve elyaf/reçine oranının dışında, boşluk miktarı ve malafa üzerindeki sıkışmada ortalama kat kalınlığını etkiler (Samancı 2004). Sarım hızı, tezgâh ve malzeme tipine göre büyük ölçüde değişmektedir. 100 m/min kadar sarım hızı olumlu sonuç vermektedir. Hassas sarım için daha düşük hızlar (15~30 m/min) kullanılmaktadır.

3.2 Elyaf Sarma Metoduyla Kompozit Boru Üretimi

CNC elyaf sarma makinesi ile aşağıda bilgileri verilen kompozit borular üretilmiştir. Üretilen borulardan elde edilen veriler dekantör silindirik tambur

aksamının boyutlandırılmasında kullanılmıştır. Üretim gerçekleştirilirken kullanılan malzemelere ilişkin bilgiler ve üretim süreci bu bölümde anlatılmıştır.

Deneysel üretimde kullanılan takviye bileşenleri içten dışa doğru sıralandığında en iç kısımda çelik boru ve üzerinde çeşitliliğe göre cam ya da karbon elyaf $\pm 55^\circ$ açı ile farklı katman sayılarında sarılmıştır. Bu kapsamda deneysel hibrit kompozit boruları üretirken kullanılan ürünler aşağıda açıklanmıştır.

3.2.1 Çelik Mandren

Düşük karbonlu çeliğin sıcak daldırma yöntemiyle sürekli olarak çinko (Z), çinko-demir alaşımı (ZF), çinko-alüminyum alaşımı (ZA), alüminyum-çinko alaşımı (AZ) ve alüminyum-silisyum alaşımı (SA) kaplanmasıyla gerçekleştirilen TS EN 10346 standardına uygun olarak üretilmiş 0,50 mm kalınlığındaki metal ürünün özelliklerine sahip sac kullanılmıştır.

0,50 mm kalınlığa sahip galvaniz çelik yassı sac kıvrılarak $\varnothing 140 \times 1000$ mm boyunda boru (mandren) üretilmiş ve ek yeri çentik ve punta kaynağı ile birleştirilmiştir. Bununla birlikte elyaf sarma makinesi bağlantı yerinde boru biçiminin korunması ve rijitliğini arttırması amacıyla her iki tarafından 70 mm içeride 7 mm lik oluklar oluşturulmuştur. İlgili çeliğe ait mekanik özellikler Tablo 3.1 ile belirtilmiştir.

Tablo 3.1 TS EN 10346 çelik mekanik özellikleri

Çelik Mekanik Özellikleri	Simge	Değer Aralığı	Birimi
Çekme Dayanımı(Maksimum)	σ_c	270-400	MPa
Akma Dayanımı	σ_a	140-280	MPa
Kopma Uzaması $L_0=80\text{mm}$, $t<3\text{mm}$	ε	$\geq \% 28$	

İlgili mandrende kullanılan çeliğe ait kimyasal bileşim Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2 TS EN 10346 çelik kimyasal özellikleri

Malzeme	C	Mn	Si
TS EN 10346	$\leq \% 0,10$	$\leq \% 0,50$	$\leq \% 0,10$

3.2.2 Karbon Elyaf

Takviye elemanı olarak 12K A-49 tipi karbon fiber kullanılmıştır. Bu ürüne ait özellikler Tablo 3.3 ile bilgilerinize sunulmuştur.

Tablo 3.3 Takviye malzemesi karbon elyafa ait mekanik özellikler

Elyaf Özellikleri	Simge	Değer	Birim	Test Yöntemi
Çekme Dayanımı(22 °C)	$\sigma_{\text{ç}}$	4900	MPa	ISO 10618
Çekme Elastisite Modülü	E	240	GPa	ISO 10618
Kopma Uzaması	ε	2	%	ISO 10618
Yoğunluk	ρ	1,79	g/cm ³	ISO 10119
Uzunlukça Kütle		800	g/1000m	ISO 1889
Apreleme Tipi ve Miktarı		1,0-1,5	%	ISO 10548

3.2.3 Cam Elyaf

Takviye elemanı olarak WR6 tipi cam elyafı kullanılmıştır. Bu ürüne ait özellikler Tablo 3.4 ile bilgilerinize sunulmuştur.

Tablo 3.4 Takviye malzemesi cam elyafa ait mekanik özellikler

Cam Elyaf Özellikleri	Simge	Değer Aralığı	Birim
Çekme Dayanımı(22°C)	R _m	3450-3790	MPa
Çekme Elastisite Modülü(540°C)	E	72,4	GPa
Kopma Uzaması	ε	4,8	%
Yoğunluk	ρ	2,54-2,60	g/cm ³
Uzunlukça Kütle		2400	g/1000m

İlgili cam elyaf takviye malzemesinin kimyasal bileşimi Tablo 3.5’de verilmiştir.

Tablo 3.5 Takviye elemanı cam elyafa ait kimyasal özellikler

Kimyasal Bileşimi	Oransal Değeri(%)
Al ₂ O ₃	15,2
BaO	8
CaO	17,2
MgO	4,7
NaO ₂	0,6
SiO ₂	54,3

3.2.4 Epoksi Reçine ve Sertleştirici

Reçine kategorisinde kullanılan ürün MGS L326 tip laminasyon reçinesi (Chemical 2007) ve MGS H265 tipi sertleştiricidir. Ürünlere ait genel özellikler Tablo 3.6'de mevcuttur.

Reçine sertleştirici karışımı yapılırken yukarıda belirtilen karıştırma oranı dikkatle uyulmalıdır. Daha fazla veya daha az sertleştirici olacak eklemek daha hızlı ya da daha yavaş kürleşmeye, performans sınırı dahilinde olmayan mekanik özelliklere, tamamlanamayan vulkanizasyon ile sonuçlanabilir ve herhangi bir şekilde düzeltilemez. Reçine ve sertleştirici şeffaf bir görünüm alıncaya kadar karıştırılmalıdır.

Tablo 3.6 Epoksi reçinenin genel özellikleri

Uygulama	Yüksek ısı direnci gerektiren uygulamalar, Tekne ve gemi, spor malzemeleri, otomobil parçaları kalıplar ve araçlar.
İşletme Sıcaklığı	-60°C ile +150°C
Isıl işlem den sonra	20°C ile 50°C arasındaki sıcaklıklarda işleme
Özellikler	Yüksek ısı direnci, oda sıcaklığında ilk kürleşme, iyi mekanik özellikler, yaklaşık karışım ömrü 1,5h ile 5h arasında
Depolama	Açılmamış orijinal ambalajında 24 ay raf ömrü

İlgili reçinenin yoğunluk, viskozite ve epoksi eşdeğeri özellikleri Tablo 3.7 te verilmiştir.

Tablo 3.7 Laminasyon reçinesi L326 özellikleri(25°C)

Özellik	Birim	Değer
Yoğunluk	[g/cm ³]	1,14-1,19
Viskozite	[mPas]	5.000 - 7.000
Epoxy eşdeğeri	[g/equivalent]	170 – 190
Epoxy değeri	[equivalent/100g]	0,52 – 0,59
Isıya dayanıklılığı		1,5720 – 1,5740

Epoksi reçine L326 ile sertleştirici H265 karıştırma oranı Tablo 3.8 ile verilmiştir.

Tablo 3.8 Epoksi reçine sertleştirici karıştırma oranı

	Reçine; L326, Sertleştirici; H265
Kütlece karıştırma oranı	100 : 25 ± 2
Hacimce karıştırma oranı	100 : 30 ± 2

Epoksi reçine sertleştirici karışımına ait mekanik özellikler Tablo 3.9 ile verilmiştir.

Tablo 3.9 Reçine için mekanik özellikler

Özellik	Birim	Değer
Yoğunluk	[g/cm ³]	1,18 – 1,20
Eğilme dayanımı	[N/mm ²]	100 – 120
Elastisite modülü	[kN/mm ²]	3,2 – 3,5
Çekme dayanımı	[N/mm ²]	70 – 80
Basma dayanımı	[N/mm ²]	90 – 110
Kopma Uzaması	[%]	5,0 – 6,5
Darbe dayanımı	[KJ/m ²]	40 – 50

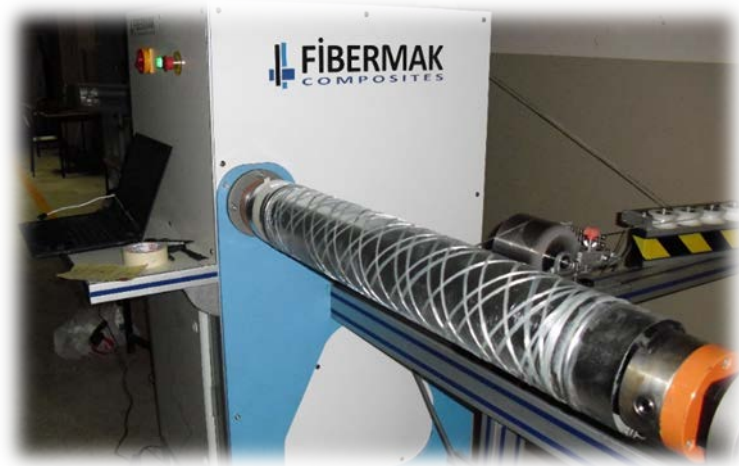
3.2.5 Hibrit Kompozit Boru Üretim Süreci

Üretimde tüm ürünler için aynı prosedür izlenmiş olup deneysel anlamda incelenen farklılık katman tabakası sayısı ve katman yapı malzemesinin farklılığıdır. İlgili üretim prosesinde aşağıdaki prosedür izlenmiştir.

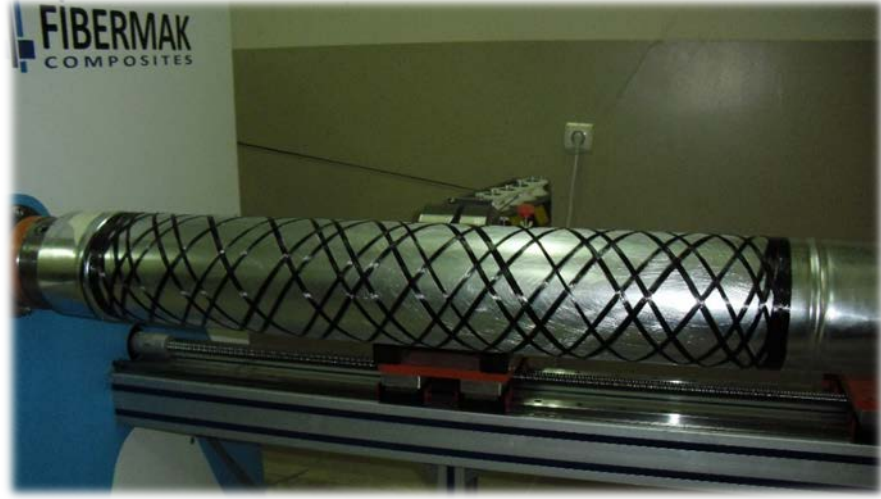
1. Çelik boru elyaf sarma makinesine bağlanmıştır
2. Gerekli konumlandırma işlemi ve CNC programı hazırlanmıştır.
3. Reçine ve sertleştirici olacak biçimde darı kütleli sıfırlanarak kütlece 100:25 oranında karıştırma kabına ilave edilmiştir (Şekil 3.6).
4. Oda sıcaklığında 15dk karıştırılmıştır.
5. Tablo 3.10 ile belirtilen sıraya göre çelik boru üzerine karbon elyafı (KE) ve cam elyafı (CE) malzemeden $\pm 55^\circ$ açıda katmanlar oluşturuldu (Şekil 3.7, Şekil 3.8).



Şekil 3.6 Epoksi Reçine dozajlama işlem adımları örneği



Şekil 3.7 Çelik Boru üzerine cam elyaf sarma

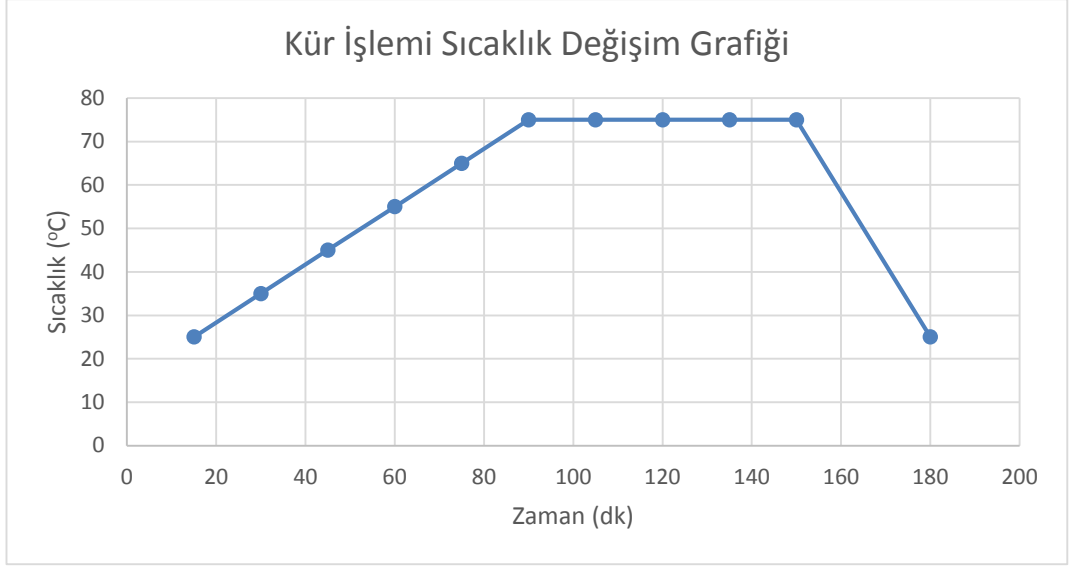


Şekil 3.8 Çelik Boru üzerine Karbon elyafı sarma

Tablo 3.10 Üretilen Ürünlerdeki Katman Sayıları ve Malzemeleri

Katman Sayısı	1	2	3	4
1. Boru	CE	CE		
2. Boru	KE	KE		
3. Boru	CE	CE	CE	CE
4. Boru	KE	KE	KE	KE
5. Boru	CE	CE	KE	KE

6. Temel kür prosesi, önceden belirlenmiş zaman periyotlarında ısı ve basıncın sistematik olarak uygulanmasını içerir. Kompozit malzemelerin üretimlerinde reçine üreticileri tarafından tavsiye edilen kür çevrimleri uygulanır. Her kompozit malzeme sistemi birbirinden farklı kür çevrimine sahiptir. Kür süresi normal koşullarda parçanın kalınlığı ve kullanılan katalizör (sertleştirici) miktarına bağlı olarak değişmektedir (Kedward and Whitney 1990). Bu kapsamda elyaf sarma işlemine tabi tutulan borular fırın karşısında döndürülerek aşağıdaki grafiğe göre kürleştirilmekte ve markalanarak bir sonraki sürece hazır hale getirilmektedir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Kür işlemi sıcaklık-zaman grafiği

7. Sonraki süreçte sujeti tezgahı yardımıyla çekme ve darbe numuneleri çıkarılmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Sujeti ile kesim işlemi ve firesi

3.3 Temel Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi

Bu bölümde, elyaf takviyeli kompozit malzemenin mekanik özelliklerinin deneysel olarak belirlenmesinde kullanılan test yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Kompozit malzemelerin davranışı hakkında bilgilerin birçoğu genellikle deneysel gözlemlerden elde edilmektedir. Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin ölçülmesi, kompozitlerin ve yapıların üretimleriyle birleştirilmiş kalite kontrol ve kalite güvence yöntemlerinin önemli bir elemanıdır. Kompozitlerin izotropik olmayan malzeme özelliğine sahip olmaları ve hasar şekillerinin çeşitliliği gibi özel karakteristik özelliklerinden dolayı geleneksel metalik malzemeler için kullanılan çoğu test prosedürleri ve numune geometrileri kompozit malzemelere uygulanamayabilir. Bu nedenle kompozit malzemeler için test metodlarının geliştirilmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Geliştirilen test metodlarının birçoğu ASTM tarafından kabul edilmiş standartlara göre geliştirilmiştir (Gibson 1994).

Deneysel metodun kullanımıyla statik yükleme durumundaki tek yönlü elyaf takviyeli tabakalı kompozit plakanın temel malzeme özelliklerinin belirlenmesi, kompozit malzemeler üzerine yapılan araştırmalarda daima önemli bir anahtar konu olmuştur. Kompozit malzemelerin çeşitliliğinin artmasıyla mekanik özelliklerinin belirlenmesi için daha etkili ve güvenilir bir ölçme tekniğinin kullanılması giderek önem kazanmıştır. Eğer deneyler standartlara uygun bir şekilde yapılıyorsa, genellikle malzemenin rijitlik ve mukavemet karakteristiklerinin her ikisi de doğru olarak belirlenebilmektedir. Ortotropik bir tabakanın mekanik davranışını belirlemek için dokuz bağımsız elastik sabitin bilinmesi gerekir (Sen 2007; Staab 1999). Mukavemet ve sertlik özellikleri Tablo 3.11 'de listelenmiştir.

Çekme ve basınç yüklemelerinden dolayı tek yönlü elyaf takviyeli tabakalı kompozit plakadaki elyaf-matris arasındaki etkileşimin tanımlanmasında aşağıda sıralanan birkaç temel varsayımın kabul edilmesi gerekir:

1. Elyaf, matris içinde uniform olarak dağılmıştır,
2. Elyaf ve matris arasında mükemmel bir yapışma vardır,
3. Matris içinde hava boşluğu yoktur,

4. Elyaf takviyeli kompozit plaka başlangıçta gerilmesiz durumdadır (artık gerilmeler yoktur)
5. Elyaf ve matriksin her ikisi de lineer elastik malzeme olarak davranır (Sen 2007).

Bu varsayımlarla kompozit malzemenin mekanik özellikleri, çekme, basınç ve düzlemde kayma olmak üzere üç temel yükleme altında belirlenmiştir.



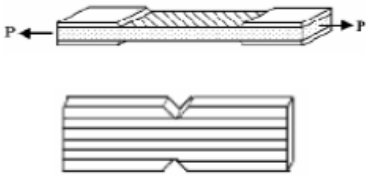
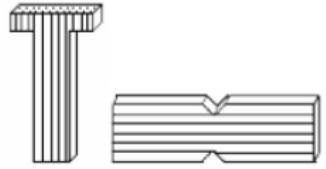


Tablo 3.11 Ortotropik bir malzemenin dayanım ve sertlik özellikleri

Mukavemet karakteristikleri		Rijitlik karakteristikleri	
X	Boyuna mukavemet (1-yönünde)	E_1 , E_2	1 ve 2 yönündeki Elastisite modülü
Y	Enine mukavemet (2-yönünde)	ν_{12} ν_{21}	1 yönündeki Poisson oranı, 2 yönündeki Poisson oranı
S	Kayma mukavemeti (1-2 düzleminde)	G_{12}	1-2 düzlemindeki kayma modülleri,

Kompozit malzemelerin, Elastisite modülleri E_1 , E_2 ; Poisson oranları ν_{12}, ν_{21} ; boyuna çekme mukavemeti X_c ve enine çekme mukavemeti Y_c gibi çekme özellikleri ASTM D3039-76 standart test metoduna göre, boyuna $[\pm 55^\circ]_{lay}$ çift yönlü takviye edilmiş numunelere statik çekme testi uygulanarak belirlenmiştir (Tablo 3.12).

Çekme numunesi, test makinesine yerleştirilmiş ve numune boyuna ekseninde 1,0 mm/dak hızda çekilmiştir. Numunelere tek eksenli yükleme altında hasar oluncaya kadar yük uygulanmıştır. Yük ve yer değiştirme değerleri dijital veri aktarım sistemiyle elde edilmiştir. Boyuna yönde gerilme, boyuna uzanmanın bir fonksiyonu olarak oluşmuştur. Kompozit numunelerin gerilme-şekil değiştirme davranışı doğrusal olarak meydana gelmiştir.

Tablo 3.12 Kompozit malzeme test yöntemleri

Belirlenebilir özellikler	Sembol ve birim	ASTM test yöntemi	Numune geometrisi
Eksenel elastisite modülü	E_1 (MPa)	ASTM 3039-76	
Eksenel Poisson oranı	ν_{12} (-)		
Boyuna çekme mukavemeti	X_t (MPa)		
Enine elastisite modülü	E_2 (MPa)	ASTM 3039-76	
Enine Poisson oranı	ν_{21} (-)		
Enine çekme mukavemeti	Y_t (MPa)		
Kayma modülü	G_{12} (MPa)	ASTM 3518-76 ASTM D 7078-05 ASTM D5379	
Kayma dayanımı	S (MPa)	ASTM D 5379 ASTM D 7078-05	
Boyuna basma dayanımı	X_c (MPa)	ASTM 3410-75	
Enine basma dayanımı	Y_c (MPa)	ASTM 3410	

3.3.1 Üretilen Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Çalışmada üretilen hibrit kompozit malzemenin mekanik özellikleri Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Mekanik

Laboratuvarındaki cihaz ve ekipmanlar ile tespit edilmiştir. Üretilen farklı katman sayıları ve elyaf çeşitlerine sahip kompozit malzemelerin mekanik özellikleri Tablo 3.13, Tablo 3.14) ile verilmiştir. Mekanik özellikleri belirlemek için yapılan deneyler ASTM test standartlarına uygun olarak yapılmıştır.

Tablo 3.13 $[\pm 55]_2$ Karbon takviyeli numuneye ait mekanik özellikler

Malzeme Özellikleri	Sembol	Birim	Değer
Elyaf Hacim Oranı	V_f	%	66
Elyaf Yönündeki Elastisite Modülü	E_1	MPa	165000
Elyafa Dik Yöndeki Elastisite Modülü	E_2	MPa	9654
Kayma Modülü	G_{12}	MPa	5785
Poisson Oranı	ν_{12}	-	0.28
Numune Yönündeki Çekme Mukavemeti	X_σ	MPa	600
Numuneye Dik Yöndeki Çekme	Y_σ	MPa	49
Kayma Mukavemeti	S	MPa	58

Aynı şekilde cam elyaf takviyeli numune için mekanik özellikler Tablo 3.14 ile gösterilmiştir.

Tablo 3.14 $[\pm 55]_2$ Cam takviyeli numuneye ait mekanik özellikler

Malzeme Özellikleri	Sembol	Birim	Değer
Elyaf Hacim Oranı	V_f	%	62
Elyaf Yönündeki Elastisite Modülü	E_1	MPa	42220
Elyafa Dik Yöndeki Elastisite Modülü	E_2	MPa	11546
Kayma Modülü	G_{12}	MPa	6885
Poisson Oranı	ν_{12}	-	0.225
Numune Yönündeki Çekme Mukavemeti	X_σ	MPa	463
Numuneye Dik Yöndeki Çekme	Y_σ	MPa	28
Kayma Mukavemeti	S	MPa	37

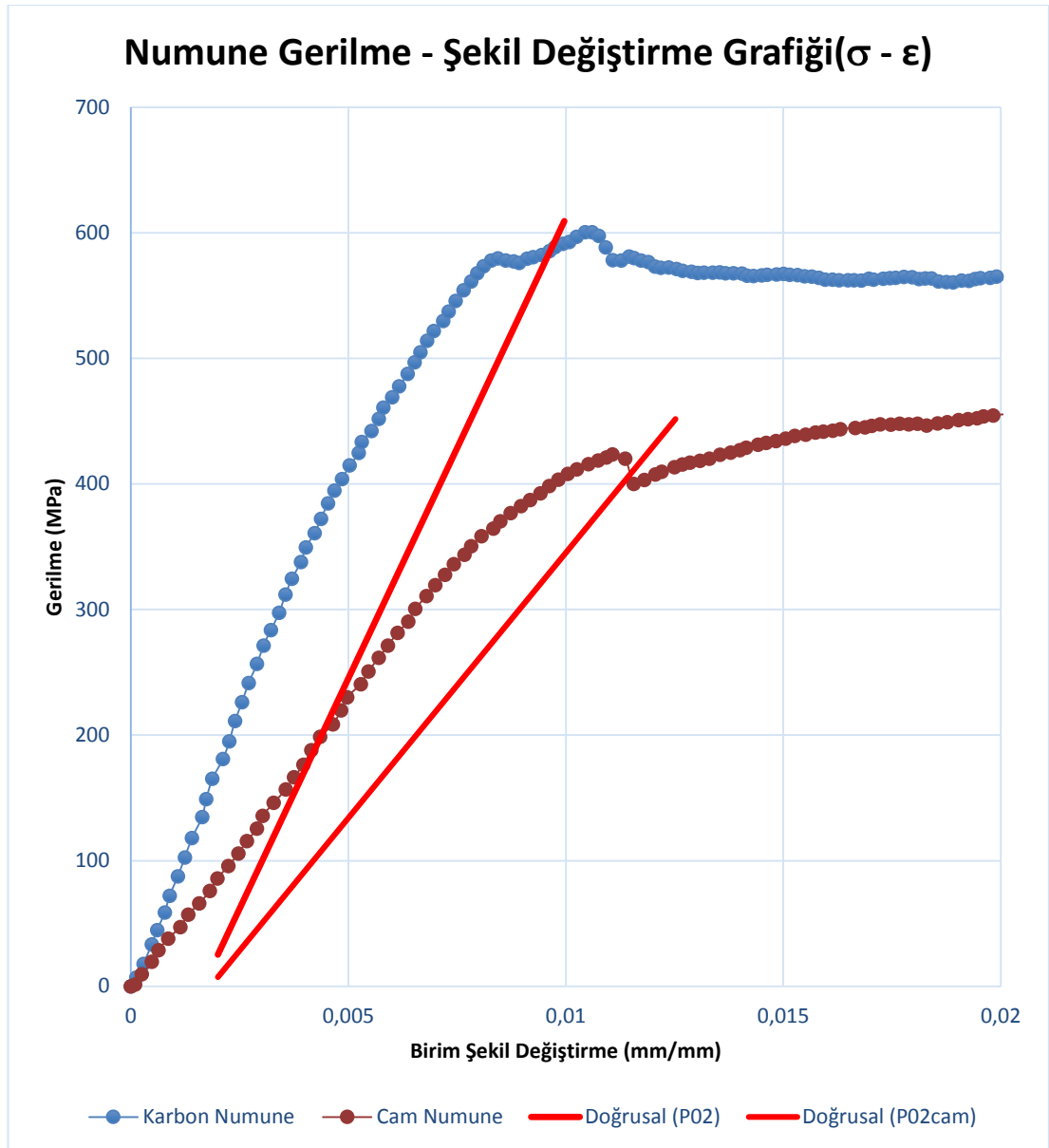
Yapılan testlerden elde edilen X eksenindeki çekme deneyine ait grafik cam ve karbon elyaf için sunulmuştur.

Bu çalışmada karbon elyaf ve cam elyaf kullanılarak hibrit kompozit boru üretilmesi planlanmaktadır. Bu doğrultuda Tablo (3.3), (3.4) ve (3.7) 'den alınan

karbon elyaf cam elyaf ve reçine yoğunluklarına Tablo (Tablo 3.13) ve (Tablo 3.14) 'de belirtilen fiber matris oranları doğrultusunda birleştirilerek $[\pm 55]_2$ cam ve karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin yoğunlukları tespit edilmiştir (Tablo 3.15).

Tablo 3.15 Kompozit malzeme yoğunlukları

Cam elyaf takviyeli	[kg/m ³]	2068
Karbon elyaf takviyeli	[kg/m ³]	1590



Şekil 3.11 Cam elyaf Karbon elyaf Gerilme birim şekil değişirme grafiği

3.4 Kompozit Malzemelerin Makro Mekanik Hasar Analizi

Elyaf takviyeli kompozit malzemelerden oluşan yapısal parçaların analizlerinde genellikle kabul edilebilir güvenilirlik seviyesi için kompozitin mukavemeti ile sınırlandırılan gerilmelerin olduğu varsayılır. Pratikte bu durum çok daha karışıktır. Örneğin; statik yüklemeler, çentik veya deliğe sahip elyaf takviyeli kompozit parçalarda maksimum gerilmelerden daha düşük seviyelerdeki gerilmelerde bile erken çatlama meydana getirebilir. Hasara uğramış bölgenin oluşumu, çentik bölgesine yakın yerlerdeki gerilme yığılmalarından kaynaklanır. Hasarın tam şekli, elyaf oryantasyonu, tabaka oryantasyonu, matris malzemenin özelliği, elyaf-matris ara yüzey özellikleri ve çevresel etkiler gibi birçok faktöre bağlıdır (Sen 2007).

Elyaf takviyeli kompozit malzemenin hasarı genellikle iç hasarının farklı tiplerinin birikimiyle meydana gelir. Kompozitlerin mikro mekanik ölçekteki hasar mekanizmaları, elyaf kırılması, delaminasyon (ayrılma), elyaf-matris ara yüzeyinde kayma çatlama gibi temel hasarları içermektedir. Hasar mekanizmaları, yükleme tipiyle ve kompozitin bileşenlerinin (elyaf, matris ve elyaf-matris ara yüzeyi) özellikleri ile yakından ilgilidir. Genellikle artarak uygulanan yükten dolayı oluşan hasar, kompozitin içersinde iyice dağılır ve gelişir. Yıkım hasarından önce aniden birleşerek makroskobik kırılma şeklini alır. Hasar başlangıcının tahmini mikro mekanik analiz ve noktasal hasar kriterine dayandırılmıştır. Hasar sürecinin mikro mekanik analizi, çeşitli tabaka dizilimlerinde hasar mekanizmaları meydana geldiğinden güçleşir. Bu nedenle genel bir yükleme altında mikro hasar şekillerinin başlangıcı ve gelişiminin tanımlanması zordur. Mikro mekanik hasar mekanizmalarının incelenmesi genellikle karmaşık teorik ve deneysel analizler gerektirir ve çoğunlukla basit yükleme şekli altında yapılır (Gdoutos ve diğ. 2000).

Diğer yandan, normal ve kayma yüklemelerinin çeşitli birleşimleri altındaki kompozitin mukavemetini, temel malzeme yönlerini kapsayan temel mukavemet parametrelerinin sayısı ile güvenilir ve hızlı bir şekilde tahmin edebilmek önemlidir. Temel mukavemet parametreleri deneylerle belirlenir. Bu nedenle, kompozitlerin mukavemetini tahmin etmek için genellikle makro mekanik problem yaklaşımı tercih edilir. Literatürde çeşitli makro mekanik mukavemet teorileri veya hasar kriterleri bulunmaktadır. Mukavemet teorileri her şeyden önce makroskobik olarak hasarın

şeklini değil başlangıcını tahmin etmeye çalışır. Tek yönlü elyaf takviyeli kompozit levha için hasar kriteri, izotropik metal malzemelerde elastik davranıştan plastik davranışa geçişi tahmin etmek için geliştirilen genelleştirilmiş izotropik akma kriterine dayanır (Gdoutos ve diğ. 2000).

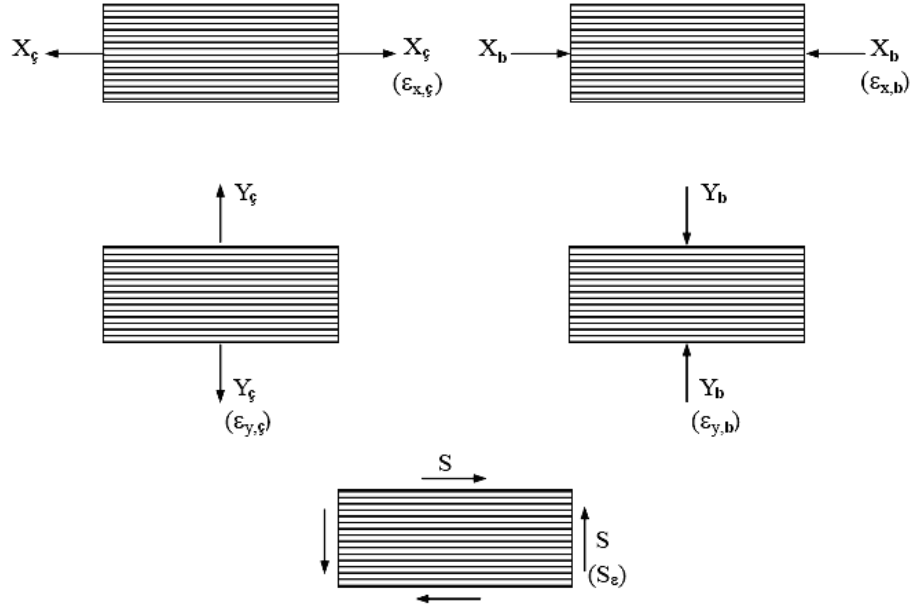
Tabakalı kompozit levhanın mukavemetini tahmin etmek için her bir tabakanın gerilme durumu bilgisine ihtiyaç duyulur. Bununla birlikte, kompozit malzemelerin izotropik olmayan ve heterojen doğası nedeniyle hasar şekilleri, izotropik homojen malzemelerden oldukça farklı yeni analizler gerektirir. Özellikle, tabakalı kompozitlerin tek bir tabakasinda oluşan hasar, levhanın tamamını kapsayan hasar anlamına gelmez; tabakalı kompozitler, rijitliğindeki önemli değişikliğe rağmen daha yüksek yükleri taşıyabilecek kapasiteye sahip olabilir (Okutan 2001). Hasar analizlerinde incelenen hasarın karışık olmasından dolayı kompozit malzemelerin birçok hasar teorisi vardır. Bu kriterler, uyumlu bir sonlu eleman metodu gerektiren gelişen bir hasar analizini içine dâhil edebilirse ancak o zaman yararlı olabilir (Okutan 2001).

Kompozit malzemelerde son hasara kadar hasarın gelişiminin analizi ve tahmini, kompozit yapıların ve parçaların kullanım amaçları için uygun olup olmadığının değerlendirilmesinde büyük önem arz eder. Bu nedenle tabakalı kompozitlerin hasar analizinde hasarın üç farklı tipi tartışılır (Sen 2007):

- İlk tabaka hasarı,
- Kompozit levhanın maksimum hasarı,
- Katmanlar arası hasar (interlaminant).

İlk durumda, tabakalı kompozit levhada ilk tabaka hasara uğradığı zaman levhanın hasara uğrayacağı, ikinci durumda levhanın, maksimum yük seviyesine ulaştığı veya aştığında hasara uğrayacağı düşünülür. Üçüncü durumda ise, tabakaların bütün kalıp bitişik tabakaların birbirinden ayrılması ile sonuçlanan bir hasar olduğu düşünülür. Genel olarak çok eksenli bir gerilme sistemi altındaki kompozit tabakanın düzlemdeki hasarını tam olarak belirlemek için gerekli beş temel mukavemet değerlerinin ve kullanılan hasar kriterine bağlı olarak kompozit tabakanın düzlemsel hasarını belirlemek için beş maksimum birim uzama değerinin bilinmesi gerekir.

Şekil 3.12)'de beş maksimum mukavemet ve birim uzama şematik olarak görülmektedir (Sen 2007).



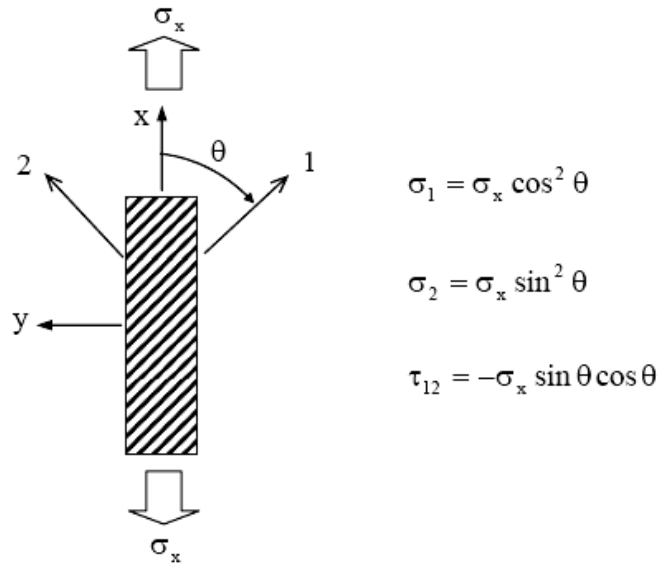
Şekil 3.12 Kompozit maks dayanım, birim uzamalar analizi(Sen 2007)

Bir kompozit levhanın uygulanan gerilme sistemi altında hasara uğrayıp uğramayacağını anlamak için hasar teorilerine ihtiyaç vardır. Kompozit tabakanın maksimum mukavemet ve birim uzama değerleri temel malzeme eksenlerinde (elyaf ve matris yönleriyle ilişkili olarak) ölçülür. Böylece tabaka mukavemet analizinden önce, bütün uygulanan gerilme ve uzama sistemlerinin (1-2) malzeme eksenlerine dönüştürülmesi gerekir (Jones 1999).

Değişik performanslarda kullanılan elyaf takviyeli kompozit levhalar için literatürde birçok hasar teorisi vardır. Sürekli geliştirilen bu teorilerin yaygın olarak kullanılanları(Şahin 2000; Kayrak 1999; Jones 1999; Kedward ve diğ. 1990);

1. Maksimum gerilme teorisi,
2. Maksimum şekil değiştirme teorisi,
3. Tsai-Hill teorisi,
4. Hoffman teorisi,
5. Tsai-Wu teorisi,
6. Hashin teorisi.

Her bir hasar teorisinde tek yönlü elyaf takviyeli tabakalı kompozit levhanın eksen dışı yüklenmesiyle iki eksenli gerilme oluşturulur. Yani, elyaflara θ açısı yapan σ_x gerilmesi Şekil 3.13'te görüldüğü gibi temel malzeme koordinatlarında iki eksenli gerilmeye dönüştürülür. Şekil 3.13'teki gerilme-dönüşüm denklemlerinden tek eksenli bir yükleme, temel malzeme koordinatlarındaki çekme ve basmanın karışımı bir durum yapılamaz. Böylece diğer bazı yükleme durumu çekme ve basmanın bir karışımına karşı herhangi bir hasar kriterini test etmek için uygulanması gerekir (Şen 2007; Jones 1975; Jones 1999);



Şekil 3.13 Tek eksenli eksen dışı yükleme durumu (Şen 2007)

Tek yönlü elyaf takviyeli tabakalı kompozit levhanın mukavemeti, elastik özelliklerine benzer şekilde takviye yönüne bağlı olarak değişir. Kompozit malzemenin asal yönlerdeki mukavemetleri, elastik sabitleri bilindiğinde, elyaflarla θ açısı yapan eksen dışı yükleme durumunda kullanılabileceği gerilme sınırları belirlenebilir. Maksimum gerilme ve maksimum şekil değiştirme bu amaçla uygulanır (Jones 1975; Jones 1999).

3.4.1 Tsai-Wu Teorisi

Önceki iki eksenli hasar kriteri, deneysel sonuçlarının göstergesi olarak çeşitli yetersizlikler sunar. Bir kriter ve deney arasındaki ilişkiyi geliştirmek için açık bir yol, tahmin denklemlerindeki terimlerin sayısını artırmaktır. Tsai ve Wu, altı boyutlu gerilme alanında hasar yüzeyinin olduğunu varsaymışlar (Jones 1975);

$$F_i \sigma_i + F_{ij} \sigma_i \sigma_j = 1 \quad i, j = 1, \dots, 6 \quad (3.1)$$

F_i ve F_{ij} , sırasıyla ikinci ve dördüncü derece mukavemet tensörüdür. (3.1) denkleminin çok karışık olduğu açıktır; düzlem gerilme altındaki ortotropik bir tabakanın durumu (3.2) denklemine indirgenirse (Jones 1975);

$$F_1 \sigma_1 + F_2 \sigma_2 + F_6 \sigma_6 + F_{11} \sigma_1^2 + F_{22} \sigma_2^2 + F_{66} \sigma_6^2 + 2F_{12} \sigma_1 \sigma_2 = 1 \quad (3.2)$$

elde edilir. Çekme yükü altında,

$$F_1 X_c + F_{11} X_c^2 = 1 \quad (3.3)$$

ve basınç yükü altında,

$$F_1 X_b + F_{11} X_b^2 = 1 \quad (3.4)$$

(3.3) ve (3.4) denklemleri birlikte çözülürse;

$$F_1 = \frac{1}{X_c} + \frac{1}{X_b} \quad (3.5)$$

$$F_{11} = -\frac{1}{X_c X_b}$$

(3.5) denklemi elde edilir. Benzer şekilde;

$$F_2 = \frac{1}{Y_c} + \frac{1}{Y_b} \quad (3.6)$$

$$F_{22} = -\frac{1}{Y_c Y_b}$$

(3.6) denklemi elde edilir. Temel malzeme koordinatlarındaki kayma mukavemeti, kayma gerilmesinden bağımsızdır ve,

$$F_6 = 0 \quad F_{66} = \frac{1}{S^2} \quad (3.7)$$

elde edilir. Çekme ve basmada eşit mukavemetler ($X_c = -X_b$ ve $Y_c = -Y_b$) olduğuna göre;

$$F_1 = 0 \quad F_{11} = \frac{1}{X^2} \quad F_2 = 0 \quad F_{22} = \frac{1}{Y^2} \quad (3.8)$$

elde edilir. Hasar kriteri;

$$\frac{\sigma_1^2}{X^2} + 2F_{12}\sigma_1\sigma_2 + \frac{\sigma_2^2}{Y^2} + \frac{\tau_{12}^2}{S^2} = 1 \quad (3.9)$$

Denklem (3.9) ile ifade edilir. Denklem (3.9) F_{12} değeri hariç, Tsai-Hill hasar kriterine olağanüstü benzemektedir. F_{12} 'nin değeri $-1/X^2$ değildir. Buna göre, Denklem (5.8) içinde F_1, F_2, F_{11} ve F_{22} değerleri yerine konulduğu takdirde;

$$(F_1 + F_2)\sigma + (F_{11} + F_{22} + 2F_{12})\sigma^2 = 1 \quad (3.10)$$

F_{12} değeri;

$$F_{12} = \frac{1}{2\sigma^2} \left[1 - \left[\frac{1}{X_c} + \frac{1}{X_b} + \frac{1}{Y_c} + \frac{1}{Y_b} \right] \sigma + \left[\frac{1}{X_c X_b} + \frac{1}{Y_c Y_b} \right] \sigma^2 \right] \quad (3.11)$$

elde edilir. Tsai-Wu hasar kriteri, Tsai-Hill ya da Hoffman hasar kriterine göre daha genel bir özelliğe sahiptir. Tsai-Wu hasar kriteri, rotasyon altında değişmemesi, bilinen tensör-dönüşüm kurallarıyla dönüşümün yapılabilmesi, rijitlik ve elastik matrislerine benzer simetri özelliği içermesi sebebiyle Tsai-Hill ve Hoffman kriterlerinin grafiklerinde artan eğriler mevcut olup sonuçların grafiksel açıklamaları formüllerle basitleştirilebilmesi gibi bazı avantajlara sahiptir (Jones 1999).

4. SONLU ELEMANLAR METODU İLE ÇÖZÜMLEME

Sonlu elemanlar metodu (SEM); nümerik çözümleme yöntemi olup, özellikle katı mekaniği, akışkanlar mekaniği, ısı transferi ve titreşim içeren mühendislik problemlerinin bilgisayar yardımıyla çözümünde kullanılan gelişmiş bir tekniktir. Sonlu elemanlar metoduyla modeller sonsuz sayıda elemanlara bölünür. Bu elementler belli noktalardan birbirleriyle bağlanır, buna düğüm (node) denir. Katı modellerde her bir elementteki yer değiştirmeler doğrudan düğüm noktalarındaki yer değiştirmelerle düğüm noktalarındaki yer değiştirmeler ise elementlerin gerilmeleriyle ilişkilidir (Pençe 2007).

Sonlu elemanlar metodu, düğümlerdeki yer değiştirmeleri çözmeye çalışır. Düğüm noktaları mutlaka belli noktalardan hareketsiz bir şekilde sabitlenmelidir. Sürekli bir ortamda alan değişkenleri (gerilme, yer değiştirme, basınç, sıcaklık, vs.) sonsuz sayıda farklı değere sahiptir. Diğer taraftan sürekli bir ortamın belirli bir bölgesinin de aynı şekilde ortam özelliği gösterdiği bilinmektedir. Bu alt bölgede alan değişkenlerinin değişimi sonlu sayıda bilinmeyen olan bir fonksiyon ile tanımlanabilir. Bilinmeyen sayısının az ya da çok olmasına göre seçilen fonksiyon lineer veya yüksek mertebeden olabilir. Sürekli ortamın alt bölgeleri de aynı karakteristik özelliği gösteren bölgeler olduğundan, bu bölgelere ait alan denklem takımları birleştirildiğinde bütün sistemi ifade eden lineer denklem takımı elde edilir. Denklem takımının çözümü ile sürekli ortamdaki alan değişkenleri sayısal olarak elde edilebilir (Pençe 2007).

Sonlu elemanlar metodunun esnekliği sayesinde çok yönlü karmaşık yapılarda diğer problemlerdeki sonuç ilişkisinden daha etkin olarak kullanılır. Sonuçları diğer analitik veya deneysel metotlarla daha iyi karşılaştırılabilir. Sonlu elemanlar metodu günümüze kadar pahalı deneysel yöntemlerle incelenebilen bir çok makine elemanının mukavemet analizi kısa bir sürede yapılmasına olanak verdi, optimum tasarımı gerçekleştirmek mümkün olmaktadır (Pençe 2007).

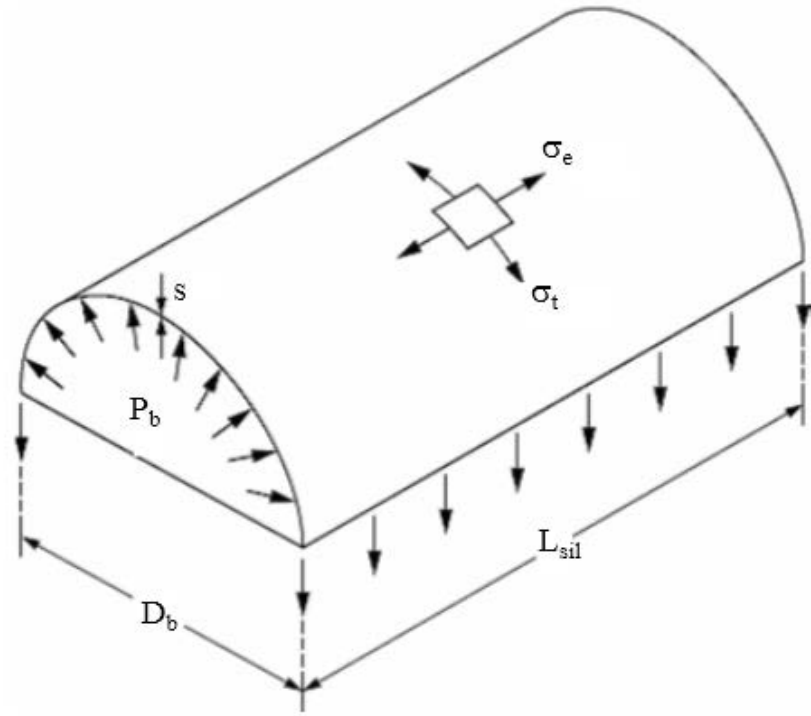
Sonlu eleman metodu başlangıçta izotropik malzemeler için geliştirilmiştir ve herhangi bir sonlu eleman paket programının kütüphanesinde böyle malzemeler için elemanlar bulunmaktadır. Kompozitlere bu metodu uygulamak için sık kullanılan tabakalı kompozit yapılar gibi anizotropik veya ortotropik, rijitlik ve mukavemetlerini

uygun bir şekilde sergileyen farklı elementlerin formülleştirilmesi gerekir. Kompozit yapıların birçoğu plaka ve kabuk sonlu elemanların kullanımıyla modellenir ve bu elemanlar tabakalı kompozitlere göre düzenlenir. Özellikle kompozitlerdeki şekil değiştirmelerin, orta düzlem şekil değiştirmeleri ve eğrilikleri ile ifade edilmeleri gerekir. Sonlu elemanlar metodu, elemanların seçimi ve eleman sıklığına son derece bağlı yaklaşık ve doğru çözümler sunabilir. Elemanlara ayırma, gerilme değişim oranının en büyük olduğu yerlerde en sık olmalıdır. Birim eleman boyunun küçülmesi, daha hassas çözüm yapmaya olanak verirken, denklem sayısını arttırdığı için işlem süresini uzatır (Sen 2007).

Bu çalışmada, AISI 414 malzeme ile üretimi yapılan boru biçimli bir makine parçasının iç basınç etkisi altında dayanımını koruyacak biçimde kompozit malzeme kullanılarak üretilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda üretilen numunelerden alınan mekanik özellik bilgileri Ansys programı ile sayısal olarak analiz edilmiştir. Bu bölümde problemin modeli ve çözüm aşamaları açıklanmıştır.

4.1 Problemin Modellenmesi ve Sınır Şartları

Bu kısımda dekantör silindirik tambur modeli göz önüne alınıp sınır şartları belirlenmiştir. İncelenen sınır şartları basite indirildiğinde: İç basınca maruz silindirik eksene göre dönme hareketi gerçekleştiren bir yapı elde edilir. Tasarım kriteri olarak bakıldığında minimum kütle eş dayanım ile dekantör santrifüj silindirik tamburu üretilmek istenmektedir. Bu doğrultuda gerekli kompozit katman sayısı Tsai-Wu hasar analiz teorisine göre hesaplandığında ortaya çıkan sonuç Tablo 4.1 ile sunulmuştur.



Şekil 4.1 Silindirik tambur sınır şartları

4.2 Problemin hasar analizine göre katman sayısının belirlenmesi

Dekantör sınır şartlarını inceleyip basite indirgemek istediğimizde iç basınca maruz silindirik eksene göre dönme hareketi gerçekleştiren bir yapı elde ederiz. Bu yapı silindirik basınçlı kaplardaki gibi aksenal ve teğetsel gerilmeler barındırmaktadır (Denklem (4.1), (4.2)).

$$\sigma_e = \frac{P_r \cdot D_b}{4 \cdot s} \quad (4.1)$$

$$\sigma_t = \frac{P_r \cdot D_b}{2 \cdot s} \quad (4.2)$$

Buradan birim boya gelen kuvvetler tespit edilir (Denklem (4.3), (4.4)).

$$F_{be} = \sigma_e \cdot s \quad (4.3)$$

$$F_{bt} = \sigma_t \cdot s \quad (4.4)$$

Kompozit tabakanın kütleini hesaplamak için;(4.5), (4.6)

$$m_{komp} = V_{komp} \cdot \rho_{komp} \quad (4.5)$$

Kompozit hacmini bulmak için Denklem (4.6) kullanılır.

$$V_{komp} = \pi \cdot L_{sil} \cdot D_b \cdot S_{komp} \quad (4.6)$$

Minimum kütleli tasarımı bulmak için basitçe Denklem (4.7) kabul edilebilir.

$$F_{bt} = 2 \cdot F_{be} \quad (4.7)$$

Buradan hareketle minimum mukavemet oranını Denklem (4.8) ile hesaplanabilir.

$$SR = \frac{\text{Uygulanabilen Maks. Yük}}{\text{Uygulanan Yük}} \quad (4.8)$$

Gerekli emniyet katsayısı AISI 414 malzeme kullanımına eş dayanıma sahip olduğuna göre ihtiyaç duyulan tabaka sayısı denklem (4.9) yardımıyla bulunabilir

$$\text{Tabaka Sayısı} = \frac{S_a}{SR} \quad (4.9)$$

Bu bölümdeki denklemlerden elde edilen sonuçları topladığımızda Tablo 4.1 teki sonuç elde edilir.

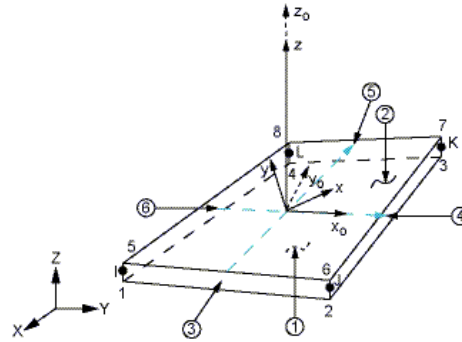
Tablo 4.1 Hasar analizine göre katman sayısı belirlenmesi

Sembol	Özellik	Birim	Dekantör A	Dekantör B
S_e	Eksenel Gerilme	[MPa]	69,46	183,28
S_t	Teğetsel Gerilme	[MPa]	138,93	366,56
F_{be}	Birim Boya gelen eksenel kuvvet	[N]	694,64	7331,16
F_{bt}	Birim Boya gelen teğetsel kuvvet	[N]	1389,29	14662,33
$m_{komp \text{ karbo}}$	Karbon elyaf takviyeli kompozit kütlesi	[g]	845,58	6629,32
$m_{komp \text{ cam}}$	Cam elyaf takviyeli kompozit kütlesi	[g]	1099,78	8622,28
$V_{komp \text{ karbo}}$	Karbon elyaf takviyeli kompozit Hacmi	[cm ³]	531,81	4169,38
$V_{komp \text{ cam}}$	Cam elyaf takviyeli kompozit Hacmi	[cm ³]	531,81	4169,38
SR_{karbon}	Minimum mukavemet oranı karbon tak.	-	0,35	0,13
SR_{cam}	Minimum mukavemet oranı cam tak.	-	0,20	0,08
	İhtiyaç duyulan Tabaka Sayısı (karbon)	-	18	25
	İhtiyaç duyulan Tabaka Sayısı (cam)	-	31	44

4.3 Problemin ANSYS Ortamında Çözüm Yöntemi

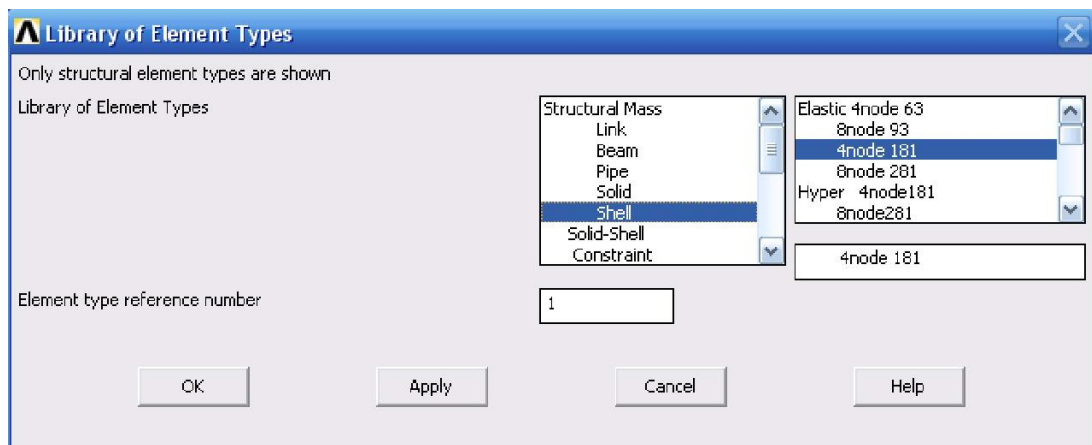
Bu kısımda problemin modellenmesi ve çözümü süreci incelenmiştir. Problemin modellenmesi ve çözülmesi sürecinde yapılan işlem basamakları aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

1. Program açıldıktan sonra Preferences > Structural analiz seçilir.
2. Main Menu > Preprocessor >Element Type> Add/Edit/Delete seçilir. Element Type penceresinden Add.. e tıklayın. Library of Element Types penceresinden Shell ve 4node 181 i seçilir (Şekil 4.2).



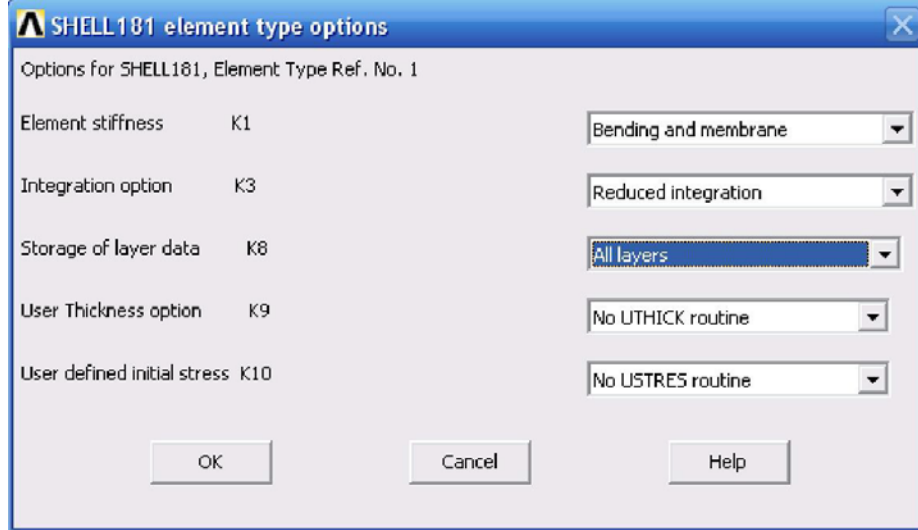
Şekil 4.2 Shell 181 elemanı geometrisi

İlk eleman tipi 3D Shell 4 node 181 ile tanımlanmıştır. Program eleman tipi olarak 250 farklı malzeme tipine kadar izin verir. Düğüm x, y, ve z yönlerinde çeviriler: element her düğüm noktasında üç serbestlik derecesine sahiptir (Şekil 4.3).



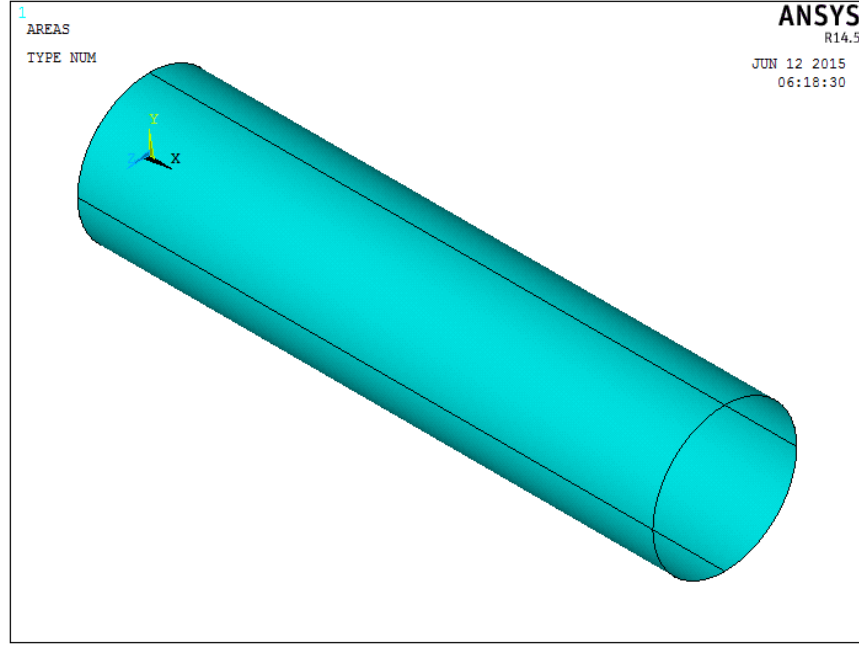
Şekil 4.3 Eleman tipinin belirlenmesi

3. Element Type penceresinden options a girin. Bütün tabakacıklardaki gerilme değerlerini veri olarak kaydetmek için Storage of layer data K8 All Layers seçilir (Şekil 4.4).



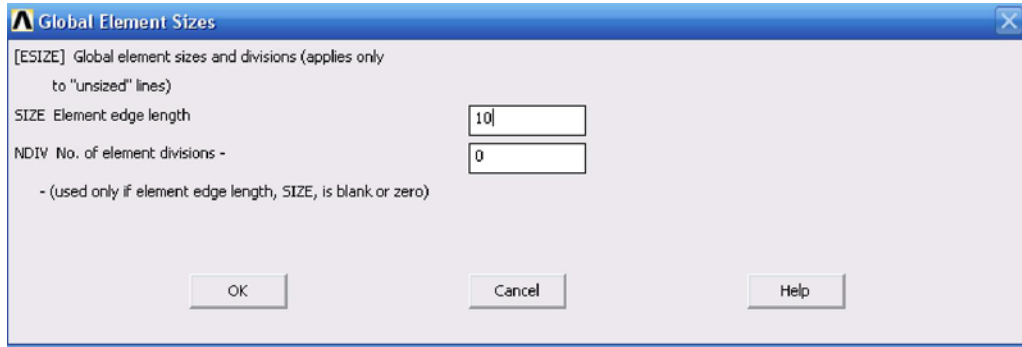
Şekil 4.4 Eleman ayarları

4. Main Menu > Preprocessor > Material Props > Material Models > Structural > Linear > Elastic > Isotropic ya da Orthotropic den malzeme özelliklerini girin. OK basın. Diğer malzemeleri de file new material kısmından tanımlanabilir. Son pencerede Materials>Exit tıklayın. Burada ortotropik malzeme girişinde malzemeye ait parametreleri Tablo (Tablo 3.13), (Tablo 3.14) ten alabilirsiniz. Poisson oranı üç farklı düzlem için aynı alınmıştır.
5. Main Menu > Preprocessor > Real Constants > Sections > Shell > Layup > Add/Edit den Add seçilir. Açılan Create and Modify Shell Sections penceresinden çelik ise tek tabaka oluşturup kalınlık verilir. Eğer kompozit malzeme ise deneysel üretim verilerine göre kalınlık girilir ve katman sayısı Add layer'a tıklanarak kaç katman gerekiyorsa o kadar katman oluşturulur. Burada dikkat edilmesi gereken her bir tabakacığın kalınlığını, malzeme özelliği ve oryantasyon açıları belirlenmesidir. Ok'a basılır.
6. Main Menu > Preprocessor > Modelling > Create > kısmından faydalanılarak isteğe bağlı yöntemle ölçüleri dekantör tambur ölçüleri silindirik bir yüzey elde edilir (Şekil 4.5).

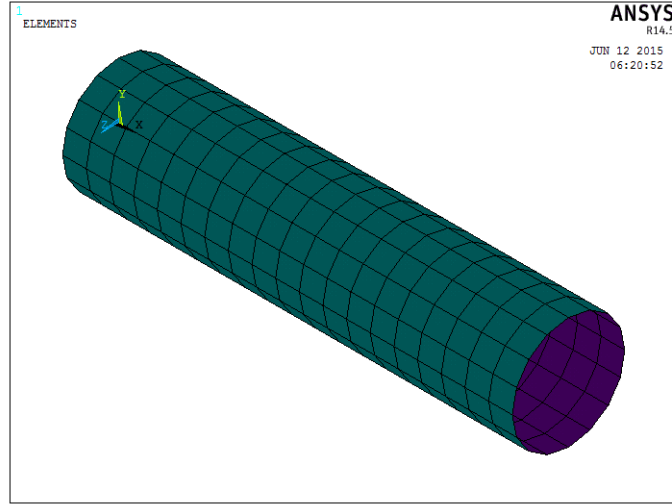


Şekil 4.5 Silindirik yüzey

7. Main Menu > Preprocessor>Meshing>Mesh Attributes>Picked Areas seçilerek oluşturulan plakaya Shell181 elemanın özellikleri atanır (Şekil 4.7, Şekil 4.6).

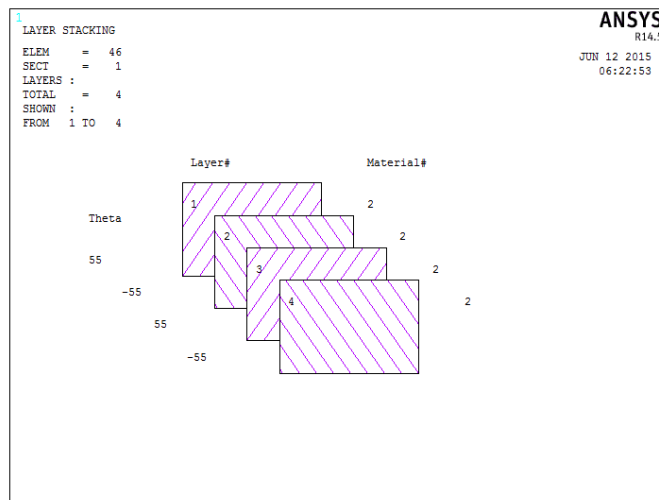


Şekil 4.6 Mesh Size kontrol



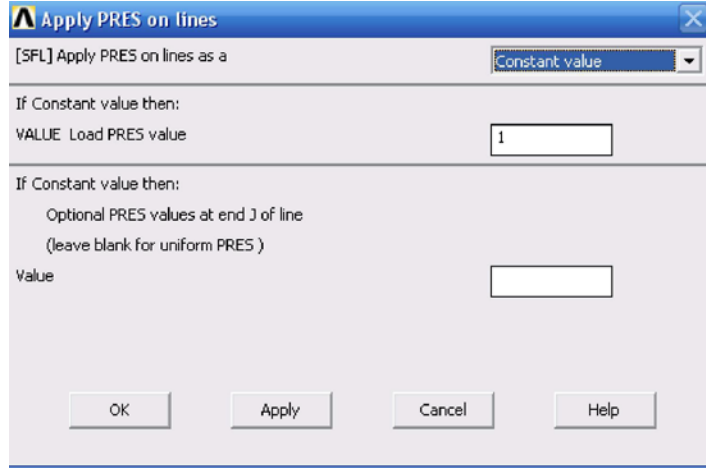
Şekil 4.7 Mesh işlemi yapılmış silindirik yüzey

8. Main Menu > Preprocessor>Meshing>Size Cntrl>Manual Size>Global>Size seçin. Element edge length uzunluğuna bilgisayar performansına göre 10, 50, 100 gibi değerlerden biri verilir. Utility Menu de Plot>Layered Elements e basın. Oluşturduğunuz sonlu elemanlar modelinde bir elemana tıklayın. Plot Layer Elem Stack penceresinde Ok ye basılır. Çıkan pencerede Ok basılır. Tabakacıkların oryantasyon açıları ekrana gelir. Bu özellik kontrol amaçlı kullanılabılır. Utility Menu de Plot>Elements seçildiğinde modele tekrar geri dönülür(Şekil 4.8).



Şekil 4.8 Örnek katman gösterimi $[\pm 55]_2$

9. Main Menu > Solution> Define Loads>Apply>Structural>Pressure>On Areas seçtikten sonra silindirin iç yüzey alanı tamamen seçilir, Apply basılır. Açılan Apply PRES on Lines penceresinde basınç değeri Tablo (Tablo 2.1) e uygun olarak düzenlenir.



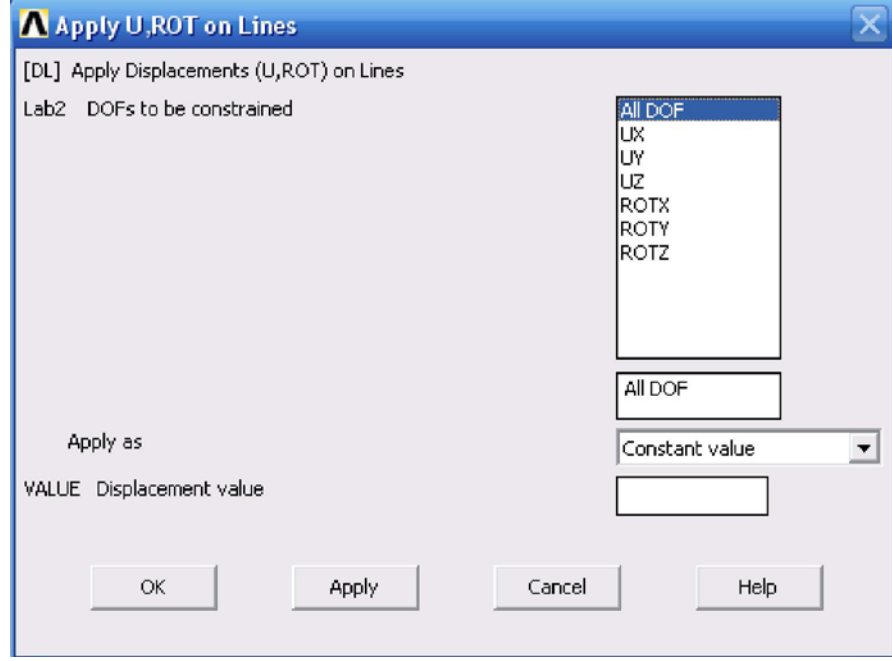
Şekil 4.9 Basınç değer giriş ekranı

10. Main Menu > Solution> Define Loads>Apply>Structural>İnertia> Global seçildikten sonra Apply basılır. Açılmal hız değeri Tablo (Tablo 2.1) e uygun olarak düzenlenir ve dönme hızı verilir.
11. Main Menu > Solution> Define Loads>Apply>Structural>Displacements> On Lines seçtikten sonra silindirin bir uç kısmındaki 4 line seçilip sınır şartı aşağıdaki gibi düzenlenir.

İlk seçilen açık uç için UX, UY, UZ, ROTY, ROTZ

İkinci seçilen açık uçta ise; UY, UZ, ROTY, ROTZ

Not: Burada ROTX ve tek yatakta X eksenini serbest bırakılmıştır. Çiziminiz itibariyle eksen farklılıkları olabilir.



Şekil 4.10 Sınır Şartları

12. Main Menu > Solution> Solve ile verilen sınır şartları altında çözüm yapılır. Bu şekilde statik analiz yapılmış olur.
13. Main Menu > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Nodal Solu kısmından istenilen çözümler elde edilir.

4.4 Ansys Programı yardımıyla çözümü yapılan problemlerin çıktıları

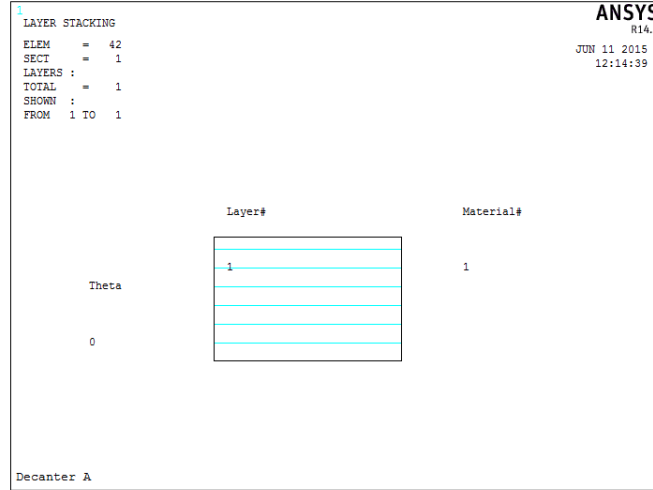
Bu kısımda daha önceki bölümlerinde çözüm yöntemi anlatılan tasarımın sonlu elemanlar yöntemi ile çözümünden elde edilen sonuç verileri bulunmaktadır. Küçük ve büyük dekantör için ayrı ayrı değerlendirilen sonuçlar başlangıçtan itibaren AISI 414 çelik, Karbon elyaf takviye ve cam elyaf takviye olarak tasarlanmış varsayılarak analiz edilmiştir. Sonlu elemanlar programında malzeme veri girişine göre malzeme numaraları Tablo 4.2) ile verilmiştir.

Tablo 4.2 Kullanılan malzeme numaraları

Malzeme	Malzeme numarası
AISI 414	1
Karbon elyaf takviyeli kompozit	2
Cam elyaf takviyeli kompozit	3

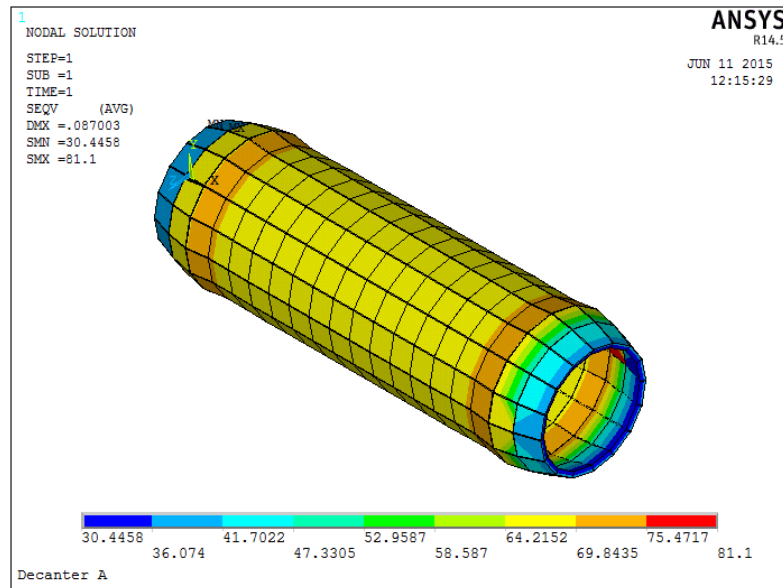
4.4.1 Dekantör (A) AISI 414 Çelik Çözümü

Dekantör tambur grubunun analitik çözümünden faydalanılarak elde edilen tambur et kalınlığı Tablo 2.1 den alınarak kabuk elemanı kalınlığı olarak girilir (Şekil 4.11).



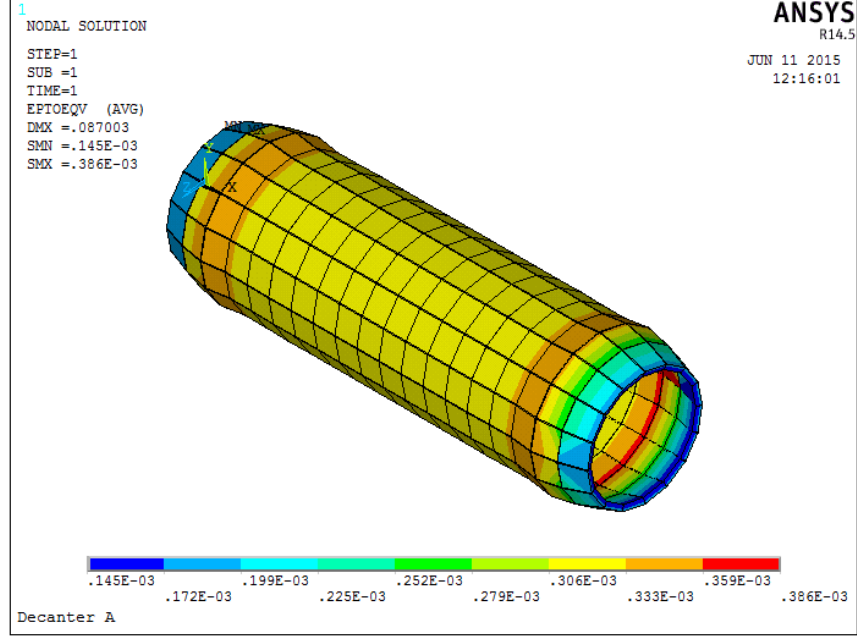
Şekil 4.11 (A)Malzeme sembolik gösterimi (AISI 414)

Bölüm 4.3'te anlatıldığı gibi ilgili sınır şartları ve malzeme özellikleri girilip çözüm gerçekleştirilmiştir. Von Mises gerilme sonucu Şekil 4.12 ile gösterilmektedir.



Şekil 4.12 (A)Von Mises Gerilme Gösterimi(AISI 414)

Von Mises uzama sonucu gösterimi Şekil 4.13 ile gösterilmektedir.



Şekil 4.13 (A) Von Mises uzama gösterimi (AISI 414)

Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te gösterilen çözümlerinde elde edilen değerler analitik çözümle uyum sağlamaktadır. Bu da yapılan hesaplamayı doğrular niteliktedir.

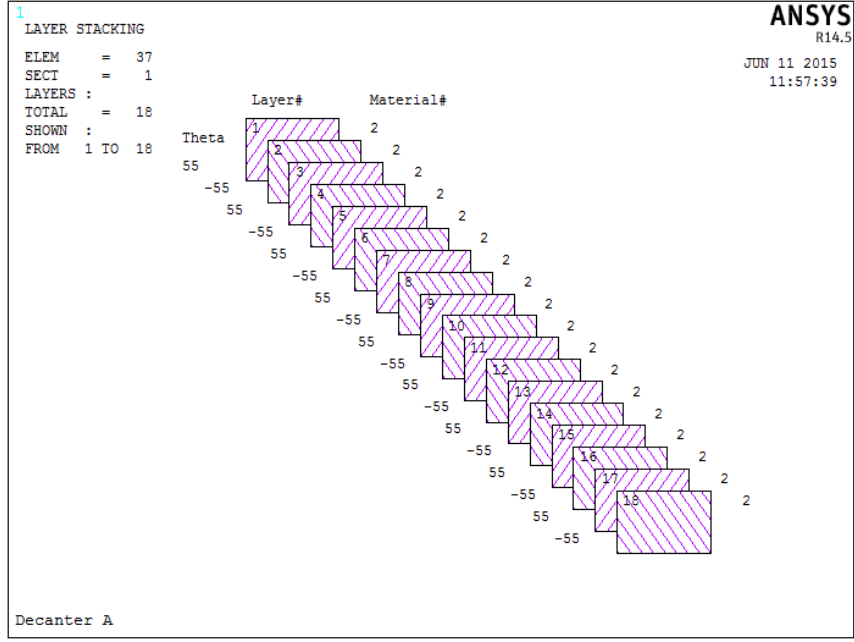
4.4.2 Dekantör (A) Karbon Elyaf Takviyeli Kompozit Çözümü

Dekantör tambur grubunun analitik çözümünden ve Tsai-wu hasar analizinen faydalanılarak elde edilen gerekli katman sayısı Tablo 4.1 den alınarak kabuk elemanı olarak $[\pm 55^\circ]$ açılı ile girilir (Şekil 4.14).

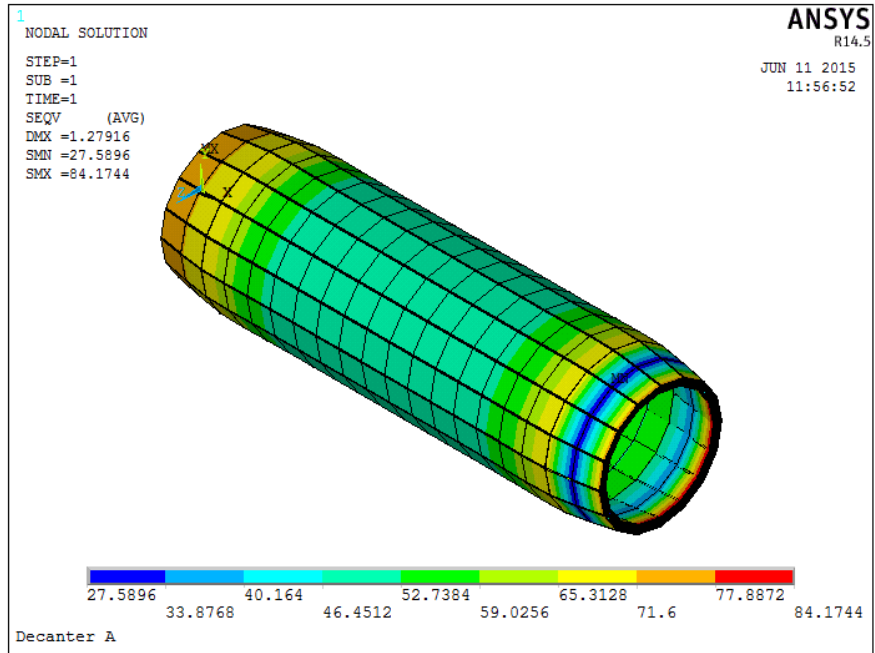
Bölüm 4.3'te anlatıldığı gibi ilgili sınır şartları ve malzeme özellikleri girilip çözüm gerçekleştirilmiştir. Von Mises gerilme sonucu Şekil 4.15 ile gösterilmektedir.

Von Mises uzama sonucu gösterimi Şekil 4.16 ile gösterilmektedir.

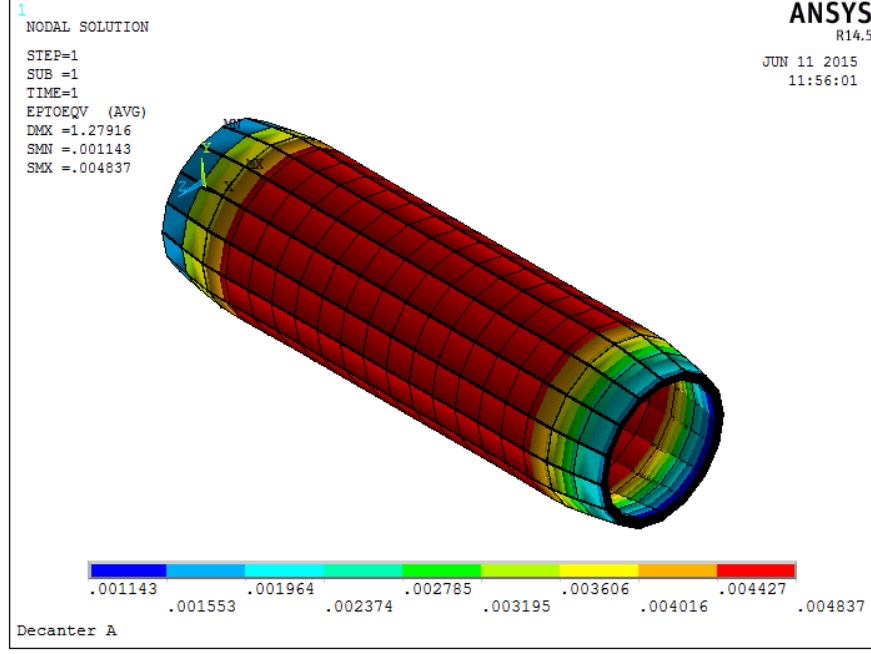
Burada elde edilen gerilme değeri çelik ile eşdeğer durumda olduğunu göstermektedir. Bu da hasar analizinden gelen 18 katman sayısının yeterli olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.14 (A)Malzeme sembolik gösterimi (KE'li kompozit)



Şekil 4.15 (A)Von Mises Gerilme Gösterimi(KE'li kompozit)



Şekil 4.16 (A) Von Mises uzama gösterimi (KE'li kompozit)

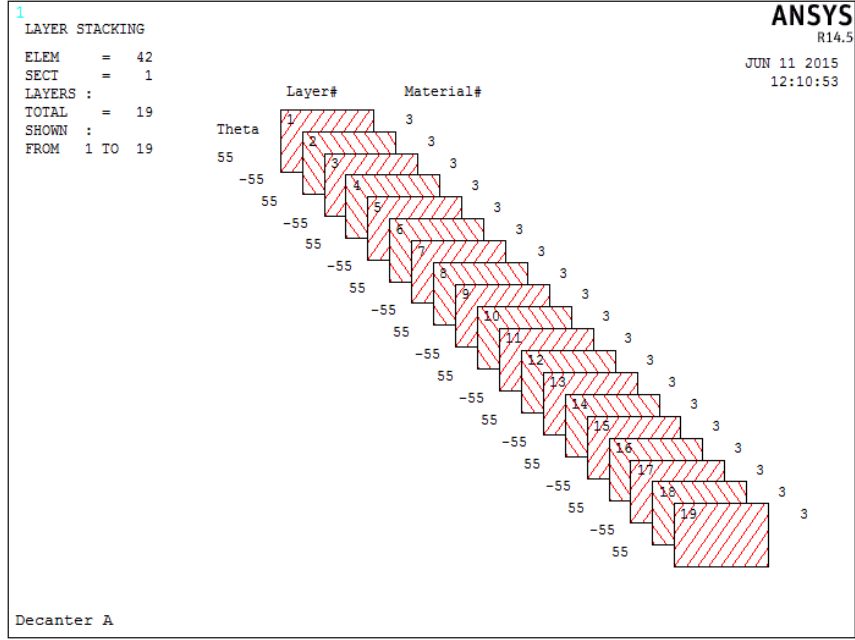
4.4.3 Dekantör (A) Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Çözümü

Dekantör tambur grubunun analitik çözümünden ve Tsai-wu hasar analizinden faydalanılarak elde edilen gerekli katman sayısı Tablo 4.1 den alınarak kabuk elemanı olarak $[\pm 55^\circ]$ açı ile girilir (Şekil 4.17).

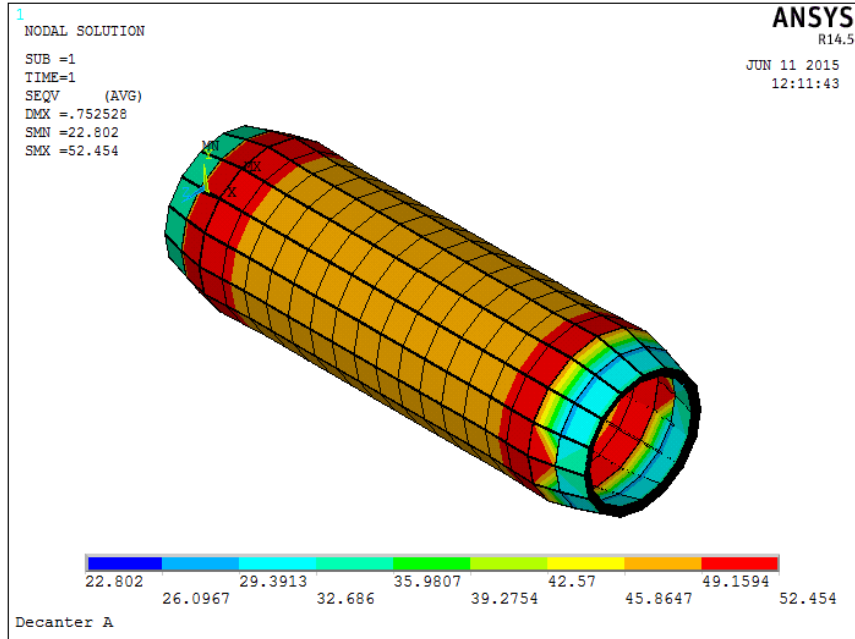
Bölüm 4.3'te anlatıldığı gibi ilgili sınır şartları ve malzeme özellikleri girilip çözüm gerçekleştirilmiştir. Von Mises gerilme sonucu Şekil 4.18 ile gösterilmektedir.

Von Mises uzama sonucu gösterimi Şekil 4.19 ile gösterilmektedir.

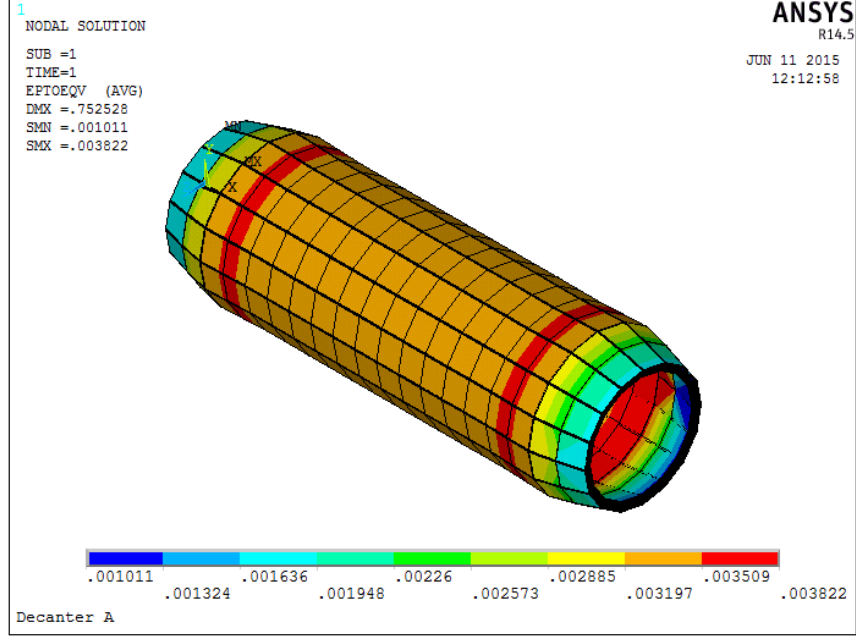
Burada elde edilen gerilme değeri çelik ile eşdeğer durumda olduğunu göstermektedir. Bu da hasar analizinden gelen 19 katman sayısının yeterli olduğunu göstermektedir. Sonuçlar uyumludur.



Şekil 4.17 (A)Malzeme sembolik gösterimi (CE’li kompozit)



Şekil 4.18 (A)Von Mises Gerilme Gösterimi(CE’li kompozit)



Şekil 4.19 (A) Von Mises uzama gösterimi(CE'li kompozit)

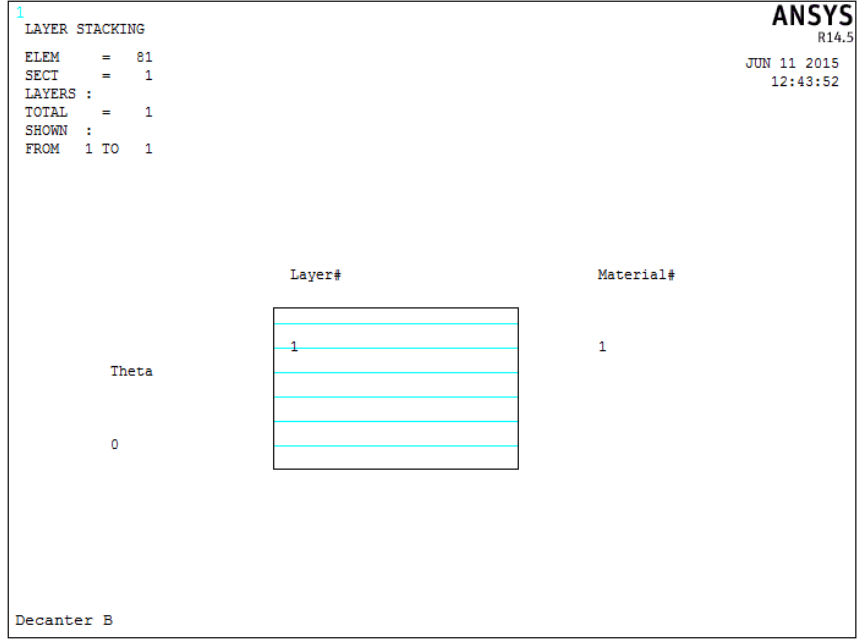
4.4.4 Dekantör (B) AISI 414 Çelik Çözümü

Dekantör tambur grubunun analitik çözümünden faydalanılarak elde edilen tambur et kalınlığı Tablo 2.1 den alınarak kabuk elemanı kalınlığı olarak girilir (Şekil 4.20).

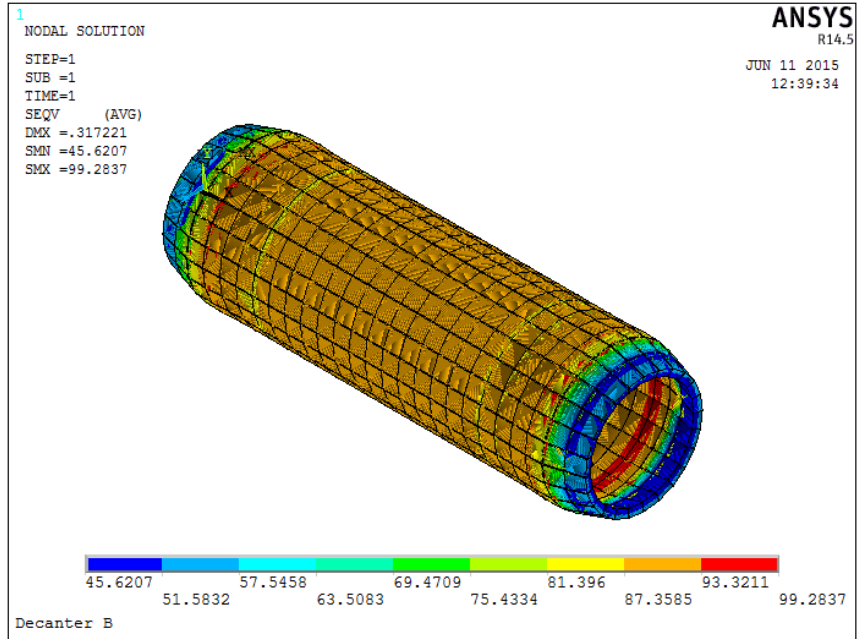
Bölüm 4.3'te anlatıldığı gibi ilgili sınır şartları ve malzeme özellikleri girilip çözüm gerçekleştirilmiştir. Von Mises gerilme sonucu Şekil 4.21 ile gösterilmektedir.

Von Mises uzama sonucu gösterimi Şekil 4.22 ile gösterilmektedir.

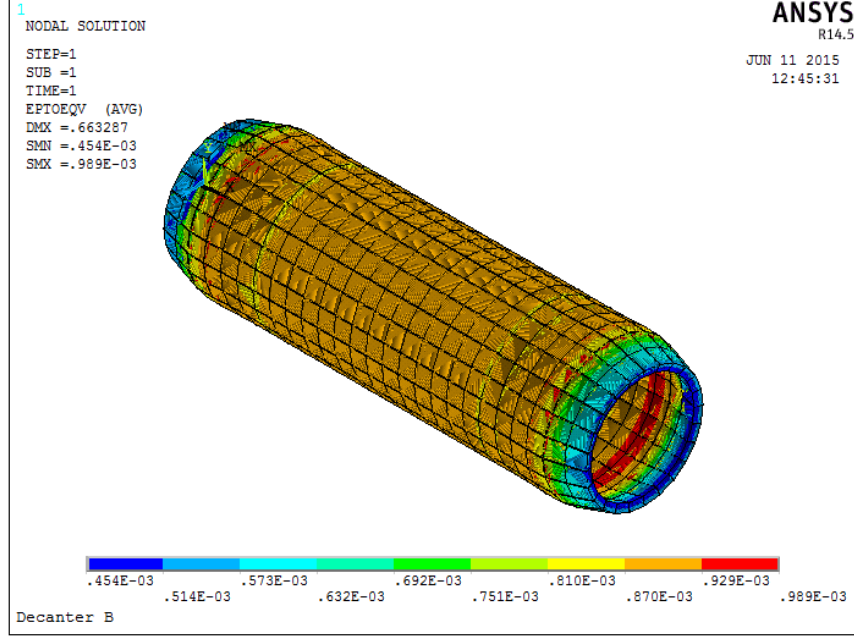
Şekil 4.21 ve Şekil 4.22'de gösterilen çözümler elde edilen değerler analitik çözümle uyum sağlamaktadır. Bu da yapılan hesaplamayı doğrular niteliktedir.



Şekil 4.20 (B)Malzeme sembolik gösterimi (AISI 414)



Şekil 4.21 (B)Von Mises Gerilme Gösterimi(AISI 414)



Şekil 4.22 (B) Von Mises uzama gösterimi (AISI 414)

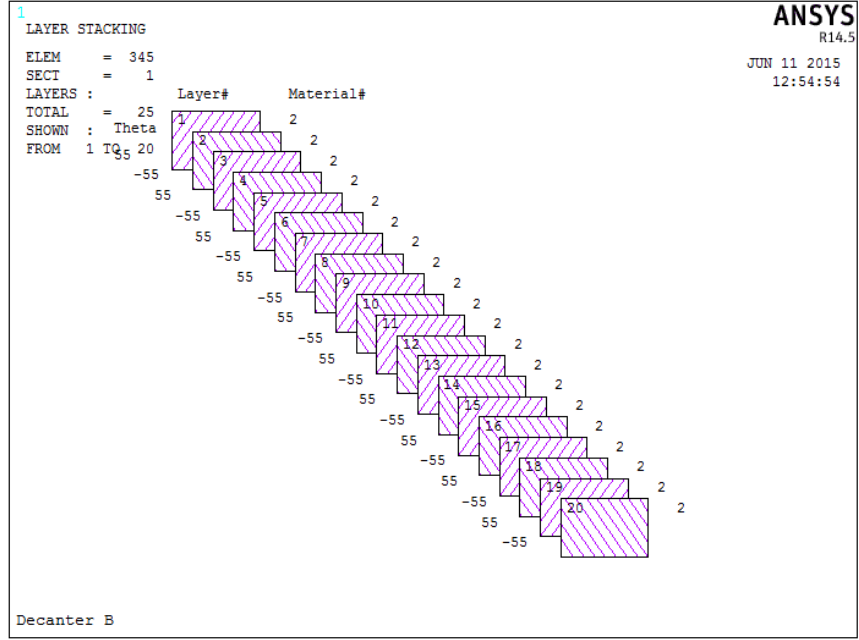
4.4.5 Dekantör (B) Karbon Elyaf Takviyeli Kompozit Çözümü

Dekantör tambur grubunun analitik çözümünden ve Tsai-wu hasar analizinden faydalanılarak elde edilen gerekli katman sayısı Tablo 4.1 den alınarak kabuk elemanı olarak $[\pm 55^\circ]$ açı ile girilir (Şekil 4.23).

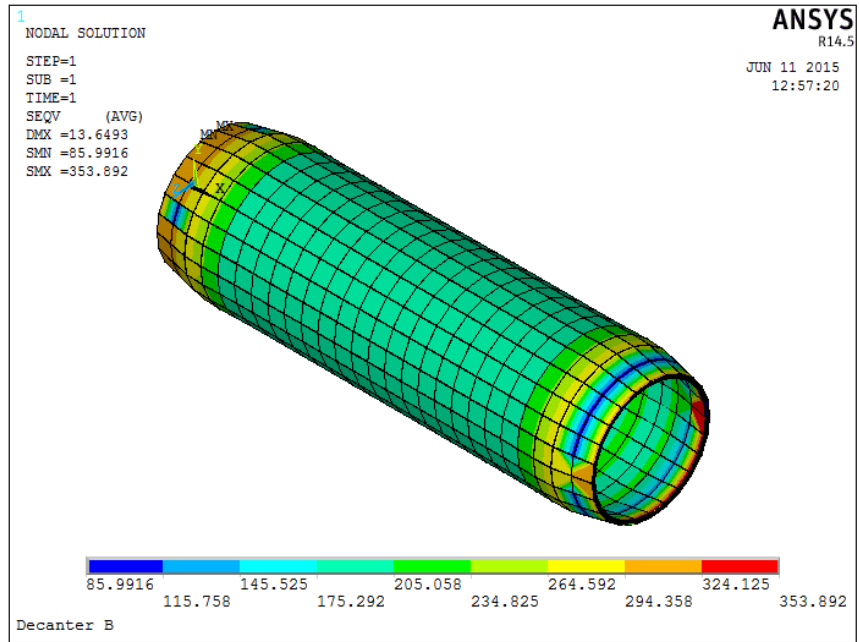
Bölüm 4.3'te anlatıldığı gibi ilgili sınır şartları ve malzeme özellikleri girilip çözüm gerçekleştirilmiştir. Von Mises gerilme sonucu Şekil 4.24 ile gösterilmektedir.

Von Mises uzama sonucu gösterimi Şekil 4.25 ile gösterilmektedir.

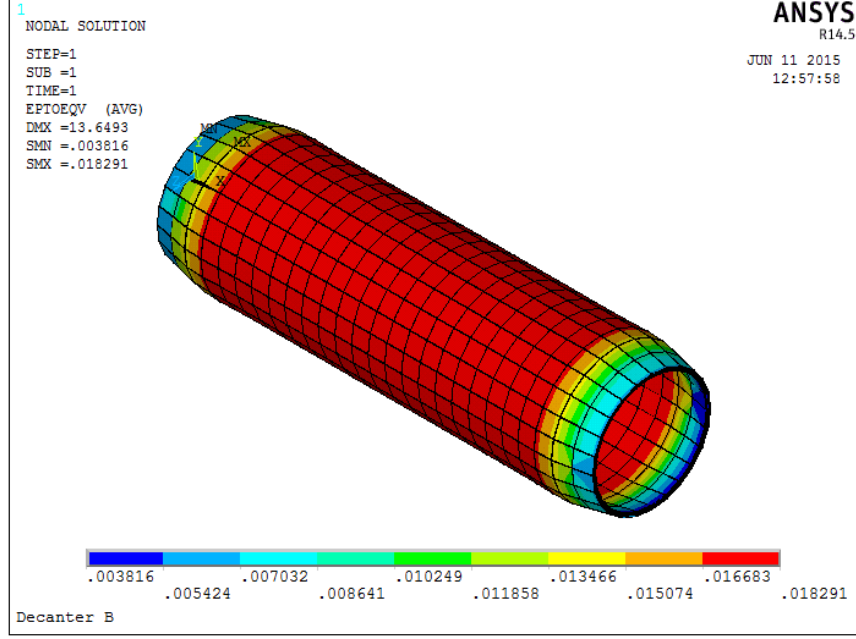
Burada elde edilen gerilme değeri çelik ile tam olarak eşdeğer durumda değildir. Bu da hasar analizinden gelen 25 katman sayısının yeterli olmadığını göstermektedir.



Şekil 4.23 (B)Malzeme sembolik gösterimi (KE'li kompozit)



Şekil 4.24 (B)Von Mises Gerilme Gösterimi(KE'li kompozit)



Şekil 4.25 (B) Von Mises uzama gösterimi (KE'li kompozit)

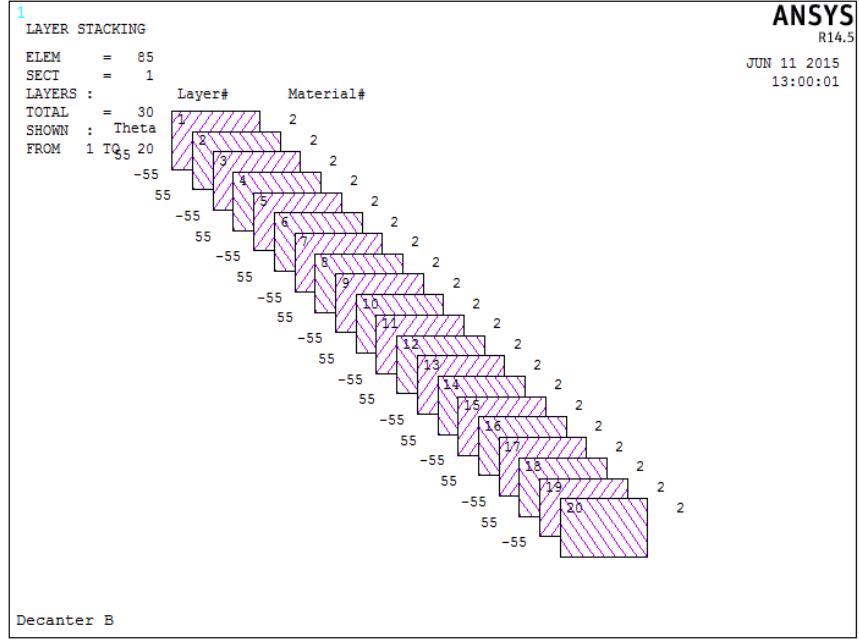
4.4.6 Dekantör (B) Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Çözümü

Dekantör tambur grubunun analitik çözümünden ve Tsai-wu hasar analizinen faydalanılarak elde edilen gerekli katman sayısı Tablo 4.1 den alınarak kabuk elemanı olarak $[\pm 55^\circ]$ açı ile girilir (Şekil 4.26).

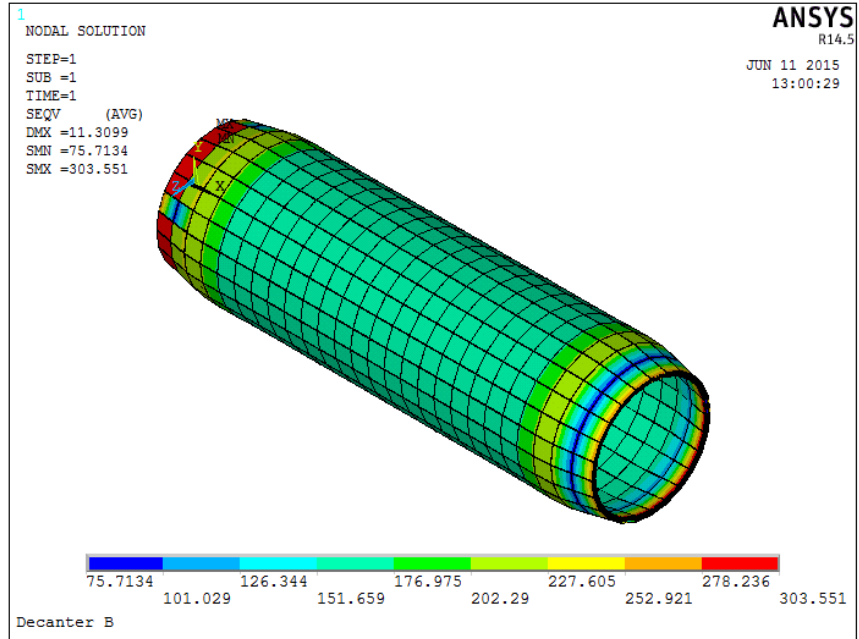
Bölüm 4.3'te anlatıldığı gibi ilgili sınır şartları ve malzeme özellikleri girilip çözüm gerçekleştirilmiştir. Von Mises gerilme sonucu Şekil 4.27 ile gösterilmektedir.

Von Mises uzama sonucu gösterimi Şekil 4.28 ile gösterilmektedir.

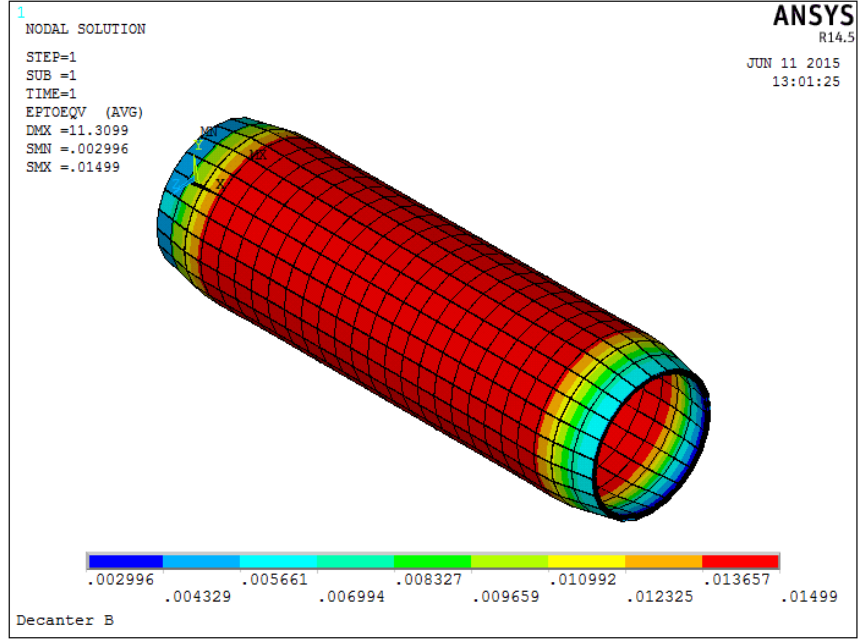
Burada elde edilen gerilme değeri çelik ile eşdeğer durumda olmadığını göstermektedir. Bu da hasar analizinden gelen 30 katman sayısının yeterli olmadığını gösterir. Sonuçlar uyumlu değildir.



Şekil 4.26 (B)Malzeme sembolik gösterimi (CE'li kompozit)



Şekil 4.27 (B)Von Mises Gerilme Gösterimi(CE'li kompozit)



Şekil 4.28 (B) Von Mises uzama gösterimi (CE'li kompozit)

Dekantör tambur grubu AISI 414 çelik malzemeden yapılmış olduğu durumda gerekli olan güç ihtiyacı Tablo 2.6 ile verilmiştir.

4.5 KE Takviyeli Kompozit Tamburun Motor Gücü İhtiyacı

Önceki bölümlerde hesaplanan karbon elyaf takviyeli dekantör katman sayısı ve yoğunluk bilgileri ilgili excel veri tablosuna yazıldığında aşağıdaki sonuçlar elde edilir.

Tablo 4.3 Karbon Elyaf takviyeli silindirik tamburun motor gücü etkisi

Referans Denklem	Sembol	Açıklama	[Birim]	Dekantör A	Dekantör B
3,32	m_{sil}	Silindirik tambur kütlesi	[kg]	8,23	180,75
3,33	J_{sil}	Silindirik tambur eksenel atalet momenti	[kg mm ²]	12338252,42	1994115326,55
3,36	α	İvmelenme	[rad/s ²]	4,54	2,18
3,38	M_L	Silindirik tambur sürekli döndürmesi için gerekli moment	[Nm]	0,12	2,59
3,37	$P_{ç}$	Çalışma devrine ulaşmak için ihtiyaç duyulan güç	[kW]	0,56	4,35
3,39	P_{rsil}	İşleme için gereken güç	[kW]	0,07	1,47

4.6 CE Takviyeli Kompozit Tambur Motor Gücü İhtiyacı

Önceki bölümlerde hesaplanan camelyaf takviyeli dekantör katman sayısı ve yoğunluk bilgileri ilgili excel veri tablosuna yazıldığında aşağıdaki sonuçlar elde edilir.

Tablo 4.4 Cam Elyaf takviyeli silindirik tamburun motor gücü etkisi

Referans Denklem	Sembol	Açıklama	[Birim]	Dekantör A	Dekantör B
3,32	m_{sil}	Silindirik tambur kütlesi	[kg]	10,71	235,09
3,33	J_{sil}	Silindirik tambur eksenel atalet momenti	[kg mm ²]	17546613,53	2718528894,02
3,36	α	İvmelenme	[rad/s ²]	4,54	2,18
3,38	M_L	Silindirik tambur sürekli döndürmesi için gerekli moment	[Nm]	0,14	3,23
3,37	$P_{\check{c}}$	Çalışma devrine ulaşmak için ihtiyaç duyulan güç	[kW]	0,80	5,93
3,39	P_{rsil}	İşleme için gereken güç	[kW]	0,08	1,83

5. BULGULAR

Bu çalışmada, iki farklı dekantörün iki farklı kompozit elyaf ile aynı yöntem kullanılarak üretilmesi durumu ele alınmıştır. Yapılan çalışma ile elde edilen en önemli bulgu dekantör santrifüj silindirik tambur aksamının kompozit malzeme kullanılarak üretimi konusunda bir hesaplama sistemi geliştirilmesidir. Analitik yöntem ve deneysel yolla elde edilen veriler, sonlu elemanlar metodu ile çözümün yapılmasında yol gösterici olmuştur.

Bu çalışmada elde edilen bir diğer bulgu da kompozit tambur kütlelerinin çelik kullanılarak üretilen tambur kütlelerine nazaran 4 ila 4,5 kat oranında azalmış olmasıdır. (Tablo 2.6, Tablo 4.3, Tablo 4.4). Bu da dekantör büyüklüğü açısından dengesiz yük miktarını azalttığı için dekantör şase aksamında küçülmeyi sağlar. Bu durum aynı zamanda diğer en önemli sonuç olan kütle ve kalınlık azalmasının ataleti de azaltması sebebiyle gerekli olan döndürme momentini de azaltmaktadır. Bu da ilk kalkış ve sürekli çalışma esnasındaki ihtiyaç duyulan gücü 4 ila 4,5 kat oranında azaltmaktadır (Tablo 2.6,Tablo 4.3, Tablo 4.4).

Bu çalışmada kullanılan hesaplama yöntemine bağlı olarak yapılan nümerik çalışmalarda küçük dekantör için (Dekantör A) yapılan öngörünün sağladığı fakat büyük dekantörde (Dekantör B) ilgili öngörünün aralık dahilinde olsa da tam olarak sağlamadığını fark edilmiştir (Bölüm 684.4). Bunun nümerik çözümdeki iterasyondan kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada dönme etkisi sonucu ürün ve malzeme kendi kütlelerinden kaynaklanan basıncın malzeme ve dekantör boyutuna göre etkisi incelenmiştir. Bu inceleme yapılması sonucu;

- Tambur malzemesi olarak AISI 414 çelik kullanımına göre teorik tambur et kalınlığı hesabı yapılmıştır. Tespit edilen mekanik özelliklere dayanarak çelik tambur et kalınlığı için bir excel tablosu oluşturulmuştur (Tablo 2.3, Tablo 2.4, Tablo 2.5). Bu tabloya göre dekantörler için kullanılması gereken minimum tambur et kalınlıkları tespit edilmiş Tablo 6.1 de toplu olarak verilmiştir.

Tablo 6.1 Kullanılan malzemeye göre minimum tambur et kalınlıkları

Malzeme	Min. tambur et kalınlığı[mm] (Dekantör A)	Min. tambur et kalınlığı[mm] (Dekantör B)
Çelik	10	40
Karbon Elyaf	14,3	20
Cam Elyaf	15,4	25

- Deneysel ortamda üretilen kompozit boruların tespit edilen mekanik özellikleri hasar kriteri analizinden hareketle kompozit malzeme için gerekli katman sayısını hesaplayan bir excel hesaplama tablosunda kullanılmıştır (Tablo 4.1)). Bu hesaplama tablosuna dayanarak birbirinden farklı özellik gösteren herhangi kompozit yapının kaç katman sarılarak üretilmesinin gerekli mukavemeti sağlayacağı öngörülebildiği

elde edilmiştir.

Azalan kütlelerin ne kadarlık bir enerji tasarrufu sağladığını hesaplandığında Tablo 6.2), elde edilir. Tablo 6.2) de yapılan hesaplama makine çalıştırıldıktan sonra 7 gün 24 saat çalışmasını yıl boyu sürdürmüş gibi kabul edilerek gerçekleştirilmiştir. Bu sebeple kalkış esnasındaki enerji harcaması ihmal edilmiştir. Elektrik maliyeti 0,35 TL/kWh olarak hesaplama yapılmıştır. Bu da bize sadece silindirik tamburun bile aynı dayanımı sağlayacak kompozit malzemedan yapılmasının yıllık küçük dekantörde

800,00 TL, büyük dekantörde ise 15.000,00 TL civarında bir yıllık işletme maliyetinin tasarruf edilebileceğini göstermektedir.

Tablo 6.2 Kullanılan malzemeye göre tamburun yıllık işletme gideri

Malzeme	Dekantör A		Dekantör B	
	Döndürme gücü[kWh]	Yıllık Maliyet[TL]	Döndürme gücü[kWh]	Yıllık Maliyet[TL]
Çelik	0,34	1042,44	6,84	20971,44
Karbon Elyaf	0,07	214,62	1,47	4507,02
Cam Elyaf	0,08	245,28	1,83	5610,78

Bu çalışmada tasarım kıstası açısından minimum kütle sağlamak amacıyla tek tip açığa $[\pm 55]_s$ bağlı hesaplama yapılmıştır. Burada yataklama dolayısıyla açı değişiminin etkileri de incelenerek farklı sınır şartları için farklı tasarımlar da yapılabilir.

Yapılan çalışmaya ek olarak ileride dekantör diğer elemanları da ilave edilmek suretiyle yataklama hesabıda yapılabilir.

Bu çalışma ile birlikte elde çıkarılan bir diğer sonuç ise kompozit bağlantı şekillerinin incelenmesi gerekliliğidir.

7. KAYNAKLAR

Al-Khalil, M. F S, P. D. Soden, R. Kitching, and M. J. Hinton.. “The Effects of Radial Stresses on the Strength of Thin-Walled Filament Wound GRP Composite Pressure Cylinders.” *International Journal of Mechanical Sciences* 38 (1): 97–120. doi:10.1016/0020-7403(95)00027-U, (1996)

Arslan, A. “Karışımlar ve Karışımların Ayrılması.” [Online], (16.09.2013). www.frmtr.com/lise-bilgi-istekleri/3451074-karisimler-ve-karisimlarin-ayrilmasi.html, (2010).

Becktolshheim, C. Y. “(AB Separator) Centrifugal Liquid Separator.” US Patent: 432719, (1890).

Carrino, Luigi, Massimo Durante, Stefania Franchitti, and Luca Sorrentino. “Mechanical Performance Analysis of Hybrid Metal-Foam/composite Samples.” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 60 (1-4): 181–90. doi:10.1007/s00170-011-3603-0, (2012).

Chang, Chih Yung, Min Yung Chang, and Jin H. Huang. “Vibration Analysis of Rotating Composite Shafts Containing Randomly Oriented Reinforcements.” *Composite Structures* 63 (1): 21–32. doi:10.1016/S0263-8223(03)00121-1, (2004)

Chemical, Hexion. “Adhesive Systems Catalogue.” www.hexionchem.com. (2007).

Davies, G, and D Bruce. “A Stress Analysis Model for Composite Coaxial Cylinders.” *Journal of Materials Science* 32 (20): 5425–37. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1018691500653>, (1997).

De Carvalho, J., M. Lossie, D. Vandepitte, and H. Van Brussel. “Optimization of Filament-Wound Parts Based on Non-Geodesic Winding.” *Composites Manufacturing* 6 (2): 79–84. doi:10.1016/0956-7143(95)99647-B, (1995)

De Laval, G. “(AB Separator) Centrifugal Creamer.” US Patent: 247804, (1881).

Downes, F. A. “(Bird Machine) Cement Manufacture.” US Patent: 2424746, (1940).

Gdoutos, E.E., K. Pilakoutas, and C.A. Rodopoulos. *Failure Analysis of Industrial Composite Materials*. Newyork: McGraw-Hill, (2000).

Gibson, Ronald F. *Principles of Composite Material Mechanics*. *Isbn0070234515 9780070234512*. <http://www.loc.gov/catdir/toc/ecip0714/2007013616.html>, (1994).

Gubran, H. B H. “Dynamics of Hybrid Shafts.” *Mechanics Research Communications* 32 (4): 368–74. doi:10.1016/j.mechrescom.2005.02.005, (2005).

Ha, Sung K., and Jae Y. Jeong. “Effects of Winding Angles on through-Thickness Properties and Residual Strains of Thick Filament Wound Composite Rings.” *Composites Science and Technology* 65 (1): 27–35. doi:10.1016/j.compscitech.2004.05.019 (2005).

Jones, R. M. *Mechanics of Composite Materials*,. Tokyo: McGraw-Hill Kogakusha Ltd, (1975).

Jones, R.M. *Mechanics of Composite Materials (2th Ed.)*. 2th ed. US: Taylor & Francis Inc. , (1999)

Kayrak, M. A. *Havacılık Kompozitleri ve Mukavemet-Maliyet Analizleri*. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayınları, No. 1101., (1990)

Kedward, K.T., and Whitney J.M. *Design Studies (Volume 5)*. Lancaster, A Technomic Publishing Company. Vol. V. Lancaster: A technomic Publishing Company. http://www.iccm-central.org/Proceedings/ICCM11proceedings/ICCM_11v5.pdf, (1990).

Kedward, K.T., and J.M. Whitney. *Design Studies (Volume 5)*, In L.A. Carlsson and J.W. Gillespie (Eds.) *Basic Configurations*. Lancaster, A technomic Publishing Company., (1990).

Kempner, Evan a., and H.Thomas Hahn. “Effect of Radial Stress Relaxation on Fibre Stress in Filament Winding of Thick Composites.” *Composites Manufacturing* 6 (2): 67–77. doi:10.1016/0956-7143(95)99646-A., (1995).

Kim, Hak Sung, and Dai Gil Lee. "Optimal Design of the Press Fit Joint for a Hybrid Aluminum/composite Drive Shaft." *Composite Structures* 70 (1): 33–47. doi:10.1016/j.compstruct.2004.08.010., (2005)

Krikanov, Alexis a. "Composite Pressure Vessels with Higher Stiffness." *Composite Structures* 48 (1): 119–27. doi:10.1016/S0263-8223(99)00083-5., (2000)

Laval, Alfa. "Alfa Laval – Decanter Centrifuge Technology." http://www.alfalaval.com/_layouts/horizon/Document.aspx?dId=pdx05c8c91c1c445b298737120e9619979.pdf. (2013).

Liang, Cho Chung, Hung Wen Chen, and Cheng Huan Wang. "Optimum Design of Dome Contour for Filament-Wound Composite Pressure Vessels Based on a Shape Factor." *Composite Structures* 58 (4): 469–82. doi:10.1016/S0263-8223(02)00136-8., (2002).

Liedbeck, A. "Centrifugal Apparatus." US Patent: 750668., (1903).

Lyons, S. C. "(Bird Machine) Improving Kaolin and Products Thereof." US Patent: 2524816., (1946)

Mertiny, P., F. Ellyin, and a. Hothan. "An Experimental Investigation on the Effect of Multi-Angle Filament Winding on the Strength of Tubular Composite Structures." *Composites Science and Technology* 64 (1): 1–9. doi:10.1016/S0266-3538(03)00198-2., (2004).

Okutan, Buket., "Stress and Failure Analysis of Stress and Failure Analysis of.", (2001)

Park, Jae Sung, Chang Sun Hong, Chun Gon Kim, and Cheol Ung Kim. "Analysis of Filament Wound Composite Structures Considering the Change of Winding Angles through the Thickness Direction." *Composite Structures* 55 (1): 63–71. doi:10.1016/S0263-8223(01)00137-4, (2002).

Parnas, Levend, and Nuran Katirci. "Design of Fiber-Reinforced Composite Pressure Vessels under Various Loading Conditions." *Composite Structures* 58 (1): 83–95. doi:10.1016/S0263-8223(02)00037-5., (2002)

Pecker, J. S. “Centrifugal Machine.” US Patent: 2283457., (1938).

Pençe, E. “Eğitim Amaçlı ANSYS Paket Programının Tanıtılması, ANSYS Öğretimi ve Uygulama Örnekleri.” Zonguldak Karaelmas Üniversitesi., (2007)

Records, Alan, and Ken Sutherland. *Decanter Centrifuge Handbook*. 1st ed. Elsevier Science Ltd., (2001).

Ritsch, H. P. “(Process Development Co.) Centrifugal Separator.” US Patent: 2528974., (1945).

Samancı, A. “Yüzey Çatlaklı Filaman Sarım CTP Borular İç Basınç Etkisi Altında Yorulma Davranışı.” Konya: Selçuk Üniversitesi, (2004).

Sen, Faruk. “Failure Analysis of Composite Pin-Loaded Joints under Preload Moments.” Dokuz Eylül University Institute of Science., (2007).

Staab, G.H. *Laminar Composites*. America: Butterworth-Heinemann. (1999).

Şahin, Y. *Kompozit Malzemelere Giriş*. Ankara: Gazi Kitabevi, (2000).

Taylak, N. “Effect of Hole Number to Bearing Strength in Pin Loaded Laminated Composite Plates.” Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2006).

Uludeveci, Elif. “Dekantasyon Nedir ?” [Online], (16.09.2013). www.nenedir.net/nedir/kimya/5441-dekantasyon-nedir.html., (2010).

Vasiliev, V. V., a. a. Krikanov, and a. F. Razin. “New Generation of Filament-Wound Composite Pressure Vessels for Commercial Applications.” *Composite Structures* 62 (3-4): 449–59. doi:10.1016/j.compstruct.2003.09.019,(2003).

Xia, M., H. Takayanagi, and K. Kemmochi. “Analysis of Multi-Layered Filament-Wound Composite Pipes under Internal Pressure.” *Composite Structures* 53 (4): 483–91. doi:10.1016/S0263-8223(01)00061-7, (2001)

8. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Fatih Yirmibeş
Doğum Yeri ve Tarihi : ONDOKUZMAYIS / 22.05.1989
Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi
Elektronik posta : fatihyirmibes@gmail.com
İletişim Adresi : İncilipınar mah. 1279. Sok No: 2 D:27

DENİZLİ

Yayın Listesi :

Konferans listesi :