

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

**DEKANTÖR HELEZON KANATLARININ AŞINMAYA  
DİRENÇLİ KAPLANMASI VE KAPLAMA  
PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**UĞUR İZ**

**DENİZLİ, AĞUSTOS - 2023**

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



**DEKANTÖR HELEZON KANATLARININ AŞINMAYA  
DİRENÇLİ KAPLANMASI VE KAPLAMA  
PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**UĞUR İZ**

**DENİZLİ, AĞUSTOS - 2023**

**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.**

**Uğur İz**

# ÖZET

## DEKANTÖR HELEZON KANATLARININ AŞINMAYA DİRENÇLİ KAPLANMASI VE KAPLAMA PERFORMANSININ İNCELENMESİ YÜKSEK LİSANS TEZİ

UĞUR İZ

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. CEMAL MERAN)

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2023

Günümüzde çevre kirliliğinin artması ekosistemde birçok değişikliğe yol açarak tüm canlıları etkilemektedir. Özellikle atık su, çöp, zehirli gazların salınımı vb. durumlar bunların başlıca etmenleri olarak gösterilebilir. Doğaya ve insana saygı çerçevesinde bu etkiyi azaltmak adına atık suların temizlenmesine yönelik yeni bir teknoloji olan dekantör santrifüj makinaları tercih edilmektedir. Sektörün fazla geniş olması da gelen talepleri gün geçtikçe arttırmaktadır. Bu yüzden hem müşteri taleplerini en üst düzeyde karşılamak hem de makinenin geniş ürün yelpazesinde kullanımına olanak sağlamak adına makinenin bir alt elemanı olan helezonun kullanım ömrünün arttırılması ve oluşabilecek katı madde miktarındaki dalgalanmalara karşı verimlilik kaybının önüne geçilmesi önem arz etmektedir. Bu çalışma kapsamında helezon ömrünü arttırmaya yönelik alev sprey kaplama yöntemi ve PTA kaplama yöntemi ile bu yöntemlere uygun kaplama tozu ve parametreleri tespit edilerek kaplamalar yapılmıştır. Hazırlanan numuneler aşınma testine tabii tutulmuşlardır ve sonuçları yorumlanmıştır. Yapılan test çalışmalarının ışığında alev sprey yönteminin PTA yöntemine göre üstün özelliklere sahip olduğu, PTA uygulamasında yüksek akım değerlerinin aşınma ve mikrosertlik değerlerini olumsuz yönde etkilediği görülmüştür.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Dekantör, Santrifüj, Helezon, Aşınma, Kaplama, Alev Sprey, PTA.

# **ABSTRACT**

## **ABRASION RESISTANT COATING OF DECANTER SCROLL FLIGHTS AND INVESTIGATION OF COATING PERFORMANCE**

**MSC THESIS**

**UGUR IZ**

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
MECHANICAL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR:PROF. DR. CEMAL MERAN)**

**DENİZLİ, AUGUST 2023**

Today, the increase in environmental pollution causes many changes in the ecosystem and affects all living things. Especially waste water, garbage, release of toxic gases etc. conditions can be cited as the main factors. In order to reduce this effect within the framework of respect for nature and people, decanter centrifuge machines, a new technology for cleaning wastewater, are preferred. The fact that the sector is too wide also increases the incoming demands day by day. Therefore, it is important to increase the service life of the screw, which is a sub-element of the machine, and to prevent loss of productivity against fluctuations in the amount of solid matter that may occur, in order to meet the customer demands at the highest level and to enable the machine to be used in a wide product range. In this study, flame spray coating method and PTA coating method and coating powder and parameters suitable for these methods were determined and coatings were made in order to increase the scroll life. The prepared specimens were subjected to abrasion test and the results were interpreted. According to the test studies, it was observed that the flame spray method has superior properties compared to the PTA method, and high current values in PTA application negatively affect the wear and microhardness values.

**KEYWORDS:** Decanter, Centrifuge, Scroll, Wear, Coating, Flame Spray, PTA.

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>v</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>x</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>xi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1    Literatür Özeti .....	2
1.2    Tezin Amacı .....	7
<b>2. KARIŞIMLARI AYIRMA YÖNTEMLERİ</b> .....	<b>10</b>
2.1    Heterojen Karışımları Mekanik ve Fiziksel Ayırma Yöntemleri .....	10
2.1.1    Süzme.....	11
2.1.2    Çökeltme ve Tortulaşma .....	11
2.1.3    Aktarma (Dekantasyon).....	12
2.1.4    Santrifüjleme.....	13
2.2    Dekantör Santrifüj Makineleri ve Çalışma Prensipleri.....	13
2.3    Dekantör Santrifüj Makinesi Komponentleri .....	16
2.3.1    Dönen Elemanlar Grubu .....	17
2.3.1.1    Tambur Grubu .....	17
2.3.1.2    Helezon Grubu .....	20
2.3.1.3    Ana Yatak Grubu .....	21
2.3.1.4    Şanzıman Grubu.....	22
2.3.2    Şase ve Yardımcı Ekipmanlar Grubu .....	26
2.3.3    Tahrik Grubu.....	27
2.4    Dekantör Tasarım Parametreleri.....	29
2.4.1    Stokes Yasası .....	30
2.4.2    Merkezkaç Kuvveti.....	31
2.4.3    Kayma Kuvveti .....	32
2.4.4    Susuzlaştırma Yüzey Alanı.....	32
2.4.5    Tambur Hidrolik Hacmi.....	33
2.4.6    Eşdeğer Yüzey Alanı (Sigma Teorisi) .....	33
2.4.7    Diferansiyel Hız .....	34
2.4.8    Bekleme Zamanı .....	35
2.4.9    Tambur Et Kalınlığı Hesabı .....	35
2.4.10    Motor Gücü Hesabı.....	38
2.5    Akışkanlar Dinamiği .....	39
2.5.1    Reynold's Sayısı .....	39
2.5.2    Akış Eşitlikleri .....	41
2.5.3    Dekantördeki İdeal Akış .....	42
2.6    Dekantör Helezonu Kaplama Yöntemleri .....	43
2.6.1    Alev Sprey Yöntemi İle Kaplama.....	43
2.6.2    PTA (Plazma Transfer Ark) Yöntemi İle Kaplama .....	44
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>47</b>
3.1    Materyal.....	47
3.1.1    Numunelerin Hazırlanması .....	47

3.1.2	Numunelerin Kaplanması .....	49
3.2	Yöntem .....	54
3.2.1	Aşınma Testi ve Kullanılan Cihazlar .....	55
3.2.2	SEM Analizi ve Kullanılan Cihazlar .....	58
3.2.3	XRD Analizi ve Kullanılan Cihazlar .....	61
3.2.4	Mikro Sertlik Ölçüm Analizi ve Kullanılan Cihazlar .....	62
<b>4.</b>	<b>DENEYSEL ÇALIŞMALARIN BULGULARI .....</b>	<b>64</b>
4.1.1	Aşınma Testleri ve Bulguları .....	64
4.1.2	Mikro Yapı Analizleri ve Bulguları .....	65
4.1.3	XRD Analizleri ve Bulguları .....	68
4.1.4	Sertlik Ölçümleri ve Bulguları .....	69
<b>5.</b>	<b>SONUÇLAR.....</b>	<b>71</b>
<b>6.</b>	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>73</b>
<b>7.</b>	<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>76</b>

# ŞEKİL LİSTESİ

## Sayfa

Şekil 1.1: Karışımların şematik gösterimi.....	1
Şekil 1.2: Kanatlarda meydana gelen aşınma örnekleri .....	8
Şekil 2.1: Karışımları ayırma yöntemleri.....	10
Şekil 2.2: Süzme yöntemi şematik gösterimi.....	11
Şekil 2.3: Çökelme ve tortulaşma yöntemi .....	12
Şekil 2.4: Aktarma (dekantasyon) yöntemi.....	12
Şekil 2.5: Santrifüjleme yönteminin şematik gösterimi.....	13
Şekil 2.6: Çökeltme havuzundan dekantör santrifüj makinesine (A.L. 2013)..	14
Şekil 2.7: Dekantör santrifüj makinesinin şematik diyagramı .....	16
Şekil 2.8: Düz Tambur .....	18
Şekil 2.9: a) Düz tambur cidarı, b) Şimli tambur cidarı, c) Yivli tambur cidarı	18
Şekil 2.10: Konik tambur .....	19
Şekil 2.11: Ön kapak .....	19
Şekil 2.12: a) Arka kapak, b) Sıvı ayar sacı.....	20
Şekil 2.13: Helezon grubu.....	21
Şekil 2.14: Sabit yatak ve hareketli yatak mekanizması (Kaymaz 2016).....	21
Şekil 2.15: a) Labirent tip sızdırmazlık türü, b) Keçe sızdırmazlık türü, c) O-ring sızdırmazlık türü.....	22
Şekil 2.16: Örnek bir ZS tipli şanzıman kesit görünüşü .....	22
Şekil 2.17: Tek motor-tork kollu tek şanzımanlı sistem .....	23
Şekil 2.18: Tek motor-tek şanzımanlı sistem.....	24
Şekil 2.19: Çift motor-tek şanzımanlı sistem.....	24
Şekil 2.20: Çift motor-çift şanzımanlı sistem .....	25
Şekil 2.21: Çift motor-tek diferansiyel şanzımanlı sistem.....	26
Şekil 2.22: Dekantör örnek şase görseli.....	26
Şekil 2.23: Dekantör tahrik sistemine örnek.....	28
Şekil 2.24: Dekantör tambur grubuna ait bazı ölçüler .....	29
Şekil 2.25: Sedimentasyon (çöktürme) işleminin şeması .....	30
Şekil 2.26: Viskoz akışkan içindeki partiküle etkiyen kuvvetler.....	30
Şekil 2.27: Düzgün dairesel hareket yapan cisme etkiyen merkezci kuvvet ...	31
Şekil 2.28: Konik tamburda oluşan kayma kuvveti .....	32
Şekil 2.29: Tambur hidrolik hacmi .....	33
Şekil 2.30: Emülsiyonun tambur cidarına uyguladığı kuvvet.....	36
Şekil 2.31: Süspansiyonun tambur içindeki davranışı .....	42
Şekil 2.32: Toz alev sprej yöntemi şematik görünüşü .....	43
Şekil 2.33: Toz alev sprej sistemi olumlu ve olumsuz yönleri .....	44
Şekil 2.34: PTA (Plazma Transfer Ark) yöntemi şematik gösterimi.....	45
Şekil 2.35: PTA sistemi olumlu ve olumsuz yönleri .....	46
Şekil 3.1: 3d mikser toz karıştırma ekipmanı .....	48
Şekil 3.2: a, b ve c tozlarının 3d mikser ile karıştırılması sonrası görüntüleri..	49
Şekil 3.3: Kaplama için uygulanacak ölçüler.....	49
Şekil 3.4: Alev sprej ile kaplanan helezon kanadı .....	50
Şekil 3.5: PTA ile kaplanan helezon kanadı .....	52
Şekil 3.6: Azot gazı beslenerek kaplama anında soğutma işleminin şematik görünümü .....	53
Şekil 3.7: a) Alev sprej ve soğutmasız PTA ile kaplanan numuneler b) Soğutmalı PTA ile kaplanan numuneler.....	55



Şekil 3.8: ASTM G-65 aşınma testi şeması .....	55
Şekil 3.9: Aşındırıcı kumu SEM görüntüsü .....	56
Şekil 3.10: Test öncesi altlık malzeme görüntüsü.....	56
Şekil 3.11: a) Numune 1'e ait test öncesi görüntü, b) Numune 2'ye ait test öncesi görüntü, c) Numune 3'e ait test öncesi görüntü, d) Numune 2.1, 2.2 ve 2.3'e ait test öncesi görüntü.....	57
Şekil 3.12: a) Aşınma test düzeneği görüntüsü, b) Test anında alınan bir görüntü. ....	58
Şekil 3.13: Struers lobotom 3 marka soğuk kesme cihazı .....	59
Şekil 3.14: Struers CitoPress-10 marka bagalite alma cihazı .....	59
Şekil 3.15: Struers TegraPol-21 marka yüzey parlatma cihazı.....	60
Şekil 3.16: a) Numune 2.1 için bagalite alınmış ve yüzeyi parlatılması, b) Numune 2.2 için bagalite alınmış ve yüzeyi parlatılması, c) Numune 2.3 için bagalite alınmış ve yüzeyi parlatılması, .....	60
Şekil 3.17: Tescan Vega 2 model EDX cihazı.....	61
Şekil 3.18: a) Malvern Panalytical Empyrean marka XRD cihazı, b) XRD analizi anından alınan bir görüntü. ....	61
Şekil 3.19: Vickers sertlik ölçüm yöntemi.....	62
Şekil 3.20: Shimadzu marka HMV-2 model mikro sertlik ölçüm cihazı.....	63
Şekil 4.1: Test sonrası AISI 304 altlık malzeme görüntüsü.....	64
Şekil 4.2: d) Numune 1'e ait test sonrası görüntü, e) Numune 2'ye ait test sonrası görüntü, f) Numune 3'e ait test sonrası görüntü, g) Numune 2.1, 2.2 ve 2.3'e ait test sonrası görüntü .....	64
Şekil 4.3: Numune 1, numune 2 ve numune 3'e ait SEM görüntüleri.....	66
Şekil 4.4: Numune 2.1, numune 2.2 ve numune 2.3'e ait SEM görüntüleri.....	67
Şekil 4.5: Numune 2.1, 2.2 ve 2.3'e ait SEM ve yüzeylerin 3d görüntüleri.....	68
Şekil 4.6: Toz ve numunelerin XRD analizi bulguları.....	69
Şekil 4.7: Numuneler üzerinde sertlik ölçüm noktaları .....	69
Şekil 4.8: Numune 2.1'e ait sertlik yüzey izi.....	70

# TABLO LİSTESİ

## Sayfa

Tablo 2.1: Dekantörün kullanıldığı endüstriler ve örnekleri.....	15
Tablo 3.1: X5CrNi18-10 paslanmaz çelik kimyasal komp. (Meran 2016).....	47
Tablo 3.2: Numunelere ait tip ve kaplama bilgileri .....	48
Tablo 3.3: Kullanılan tozların kimyasal bileşimleri (%).....	49
Tablo 3.4: Alev sprej yöntemi ile “a” tipli tozun kaplama parametreleri .....	50
Tablo 3.5: PTA yöntemi ile “b” tipli tozun kaplama parametreleri.....	51
Tablo 3.6: PTA yöntemi ile “c” tipli tozun kaplama parametreleri .....	51
Tablo 3.7: Soğutmalı sis. PTA ile “b” tozunun kaplama parametreleri.....	53
Tablo 3.8: Aşınma test cihazı parametreleri .....	58
Tablo 4.1: Aşınma testi kütle değişimi .....	65
Tablo 4.2: Numunelerin Vickers mikrosertlik değerleri .....	70

## SEMBOL LİSTESİ

$\alpha_m$	:	Merkezcil ivme ( $m/s^2$ )
$\alpha$	:	Konik açısı ( $^\circ$ )
$A$	:	Kesit yüzey alanı ( $m^2$ )
$A_{cn}$	:	Susuzlaştırma yüzey alanı ( $m^2$ )
$\beta$	:	Tepe açısı ( $^\circ$ )
$d$	:	Taban köşegen uzunluğu (m)
$d_m$	:	Hidrolik ortalama çap (m)
$D_b$	:	Tambur iç çapı (m)
$D_d$	:	Katı çıkış çapı (m)
$D_{hg}$	:	Helezon borusu çapı (m)
$D_p$	:	Boru çapı (m)
$D_t$	:	Tambur dış çapı (m)
$D_w$	:	Tambur sıvı çıkış çapı (m)
$D$	:	Parçacık çapı (m)
$\Delta_n$	:	Diferansiyel hız ( $min^{-1}$ )
$\epsilon_a$	:	Dekantör helezonu akış verimliliği
$F$	:	Sertlik ölçümü için uygulanan kuvvet (kgf)
$F_a$	:	Akışkanın kaldırma kuvveti
$F_m$	:	Merkezcil kuvvet
$F_w$	:	Sürtünme kuvveti
$F_1$	:	$m_1$ kütleli cismin uyguladığı kuvvet
$F_2$	:	$m_2$ kütleli cismin uyguladığı kuvvet
$F_T$	:	$F_1$ ve $F_2$ kütlelerinin toplamı
$g$	:	Yerçekimi ivmesi ( $m/s^2$ )
$G$	:	Merkezkaç etkisi ile oluşan kuvvet
$i$	:	Şanzıman tahvil oranı
$k_7$	:	Sabit sayı
$k_8$	:	Sabit sayı
$k_9$	:	Sabit sayı
$L$	:	Etkin tambur uzunluğu (m)
$L_k$	:	Konik tambur uzunluğu (m)
$L_{sil}$	:	Silindirik tambur uzunluğu (m)
$L_t$	:	Toplam tambur uzunluğu (m)
$m$	:	Kütle (kg)
$m_1$	:	Sıvı fazının kütlesi (kg)
$m_2$	:	Yağ fazının kütlesi (kg)
$\mu$	:	Akışkan viskozitesi (kg/m.s)
$n$	:	Partikülün dönme devri ( $min^{-1}$ )
$n_b$	:	Tambur dönme devri ( $min^{-1}$ )
$n_g$	:	Şanzıman giriş mili dönme devri ( $min^{-1}$ )
$\omega$	:	Açısal hız (rad/s)
$Q$	:	Besleme debisi ( $m^3/h$ )
$Q_l$	:	Sıvı fazının debisi ( $m^3/h$ )
$P$	:	Islak yüzeyin çevre uzunluğu (m)
$P$	:	Helezon hatvesi (m)
$P_b$	:	Ürünün tambur cidarına uyguladığı basınç (Pa)
$P_p$	:	Ürünü tambur devrine ulaştırmak için gereken güç (Pa)
$P_r$	:	Tambur kütlelerinin devre ulaştırılması için gereken güç ( $kg.m^2/s^{-3}$ )
$P_s$	:	Ürünün ağır fazının taşınması için gerekli güç ( $kg.m^2/s^{-3}$ )
$P_{sür}$	:	Sürtünme kayıplarına karşı gerekli güç ( $kg.m^2/s^{-3}$ )

$P_T$	:	Dekantörün çalışması için gerekli olan toplam güç ( $\text{kg.m}^2/\text{s}^{-3}$ )
$\rho_p$	:	Katı partikül yoğunluğu ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
$\rho_w$	:	Sıvının yoğunluğu ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
$\rho_1$	:	Sıvı fazının yoğunluğu ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
$\rho_2$	:	Yağ fazının yoğunluğu ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
$r$	:	Dönme eksenini yarıçapı (m)
$r_1$	:	Sıvı fazının dönme eksenini yarıçapı (m)
$r_2$	:	Yağ fazının dönme eksenini yarıçapı (m)
$r_3$	:	Tambur içinin yarıçapı (m)
$r_d$	:	Katı çıkış yarıçapı (m)
$r_h$	:	Helezon borusu yarıçapı (m)
$Re$	:	Reynold's sayısı
$R_m$	:	Çekme dayanımı
$R_{p0,2}$	:	Akma sınırı
$s$	:	Tambur cidar kalınlığı (mm)
$S$	:	Konik tambur kayma kuvveti (N)
$S_a$	:	Akma dayanımına göre emniyet katsayısı
$S_k$	:	Kopma dayanımına göre emniyet katsayısı
$\sigma_{t1}$	:	Ürünün tambur yüzeyinde oluşturduğu gerilme
$\sigma_{t2}$	:	Tamburun kendi kütlelerinin oluşturduğu gerilme
$\sigma_T$	:	Toplam gerilme
$\sigma_{z1}$	:	Kopma dayanımına göre emniyetli gerilme
$\sigma_{z2}$	:	Akma dayanımına göre emniyetli gerilme
$\Sigma$	:	Sigma ( $\text{m}^2$ )
$t_e$	:	Partikülün tambur boyunca yol aldığı süre (s)
$T_p$	:	Şanzıman torku (N.m)
$T_r$	:	Bekleme zamanı (s)
$u$	:	Ürün odasından çıkan süspansiyonun teğetsel hızı (m/s)
$V$	:	Çizgisel hız (m/s)
$V_b$	:	Tambur hidrolik hacmi ( $\text{m}^3$ )
$V_e$	:	Eksenel yönde partikül hızı (m/s)
$V_h$	:	Helisel yönde partikül hızı (m/s)
$V_{kn}$	:	Konik tambur hacmi ( $\text{m}^3$ )
$V_s$	:	Sedimentasyon hızı (m/s)
$V_{sil}$	:	Silindirik tambur hacmi ( $\text{m}^3$ )
$V_r$	:	Radyal yönde partikül hızı (m/s)

## KISALTMALAR

<b>ASTM</b>	:	Amerikan test ve malzeme kuruluđu
<b>PTA</b>	:	Plazma transfer ark
<b>SEM</b>	:	Taramalı elektron mikroskobu
<b>EDX</b>	:	Enerji dağıtıcı x-ışını spektroskopisi
<b>XRD</b>	:	X ışını kırınımı
<b>EDS</b>	:	Enerji dispersiv spektrum
<b>EED</b>	:	Avrupa mühendislik talimatları
<b>VSD</b>	:	Vickers sertlik değeri

## ÖNSÖZ

Dünyamızın ekolojik dengesini korumak ve yaşanabilir bir geleceğe sahip olabilmek için her geçen gün sorumluluklarımız artmaktadır. Gelişen teknoloji ile bu sorumluluklarımızı yerine getirmemiz daha da kolaylaşmaktadır. Bu nedenle özellikle çevre kirliliğine engel olmak için son yılların en gözde teknolojisi olan santrifüj yönteminin önemi de hızla artmaktadır. “Dekantör Helezon Kanatlarının Aşınmaya Dirençli Kaplanması Ve Kaplama Performansının İncelenmesi” başlıklı çalışma altında bir santrifüj dekantör helezonunun ömrünün nasıl arttırılabileceği irdelenmiştir.

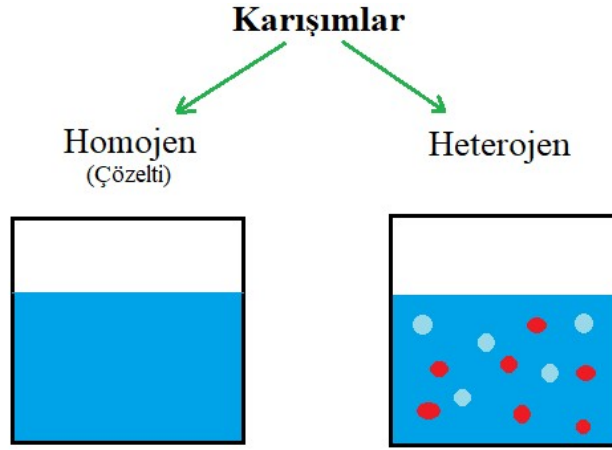
Bu yüksek lisans programına başvurmamda ve 2 yıl boyunca gerek bilgi gerekse beceri anlamında desteğini hissettiren Polat Makine San. Tic. A.Ş.’ye teşekkürü borç bilirim.

Yüksek lisans sürecimde desteklerini esirgemeyen tez danışmanım Sn. Prof. Dr. Cemal MERAN hocama ve test çalışmalarım konusunda kıymetli yardımları dokunan Sn. Prof. Dr. Fatih ÜSTEL hocama yürekten teşekkür ederim.

Ayrıca; tezimin başından sonuna kadar her daim ilgi gösterip destekçim olan değerli ailem ve sevgili eşim Filiz SANCAK İZ’e de sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

# 1. GİRİŞ

Birden fazla maddenin kimyasal özellikleri değişmeyecek şekilde bir araya gelmesiyle oluşan madde topluluğuna karışım denir. Saf maddeler element ve bileşiklerden oluşur. Fakat maddelerin çoğu ne tek bir elementtir ne de tek bir bileşiktir. Maddelerin çoğu saf madde olmayan karışımlardır. Bilindiği üzere karışımlar, “homojen karışımlar” ve “heterojen karışımlar” olmak üzere iki farklı grup oluşturur (Şekil 1.1).



Şekil 1.1: Karışımların şematik gösterimi

Her tarafta aynı özellikleri göstermeyen, içindeki taneciklerin gözle görülebildiği ve birbirine eşit olmayan yoğunluklara sahip iki farklı maddenin karışmasıyla oluşan karışımlara heterojen karışım denir. Zeytinyağı-su, kum-su, tebeşir tozu-su bu türden karışımlara örnek olarak verilebilir. Heterojen karışımlar, emülsiyon, süspansiyon, aerosol ve adi karışım olmak üzere 4'e ayrılırlar.

- Emülsiyon: Bir sıvıda çözünmeyen başka bir sıvının heterojen olarak bulanık bir şekilde dağılmış hâlidir. Su-zeytinyağı, su-benzin gibi karışımlar buna örnek verilebilir.
- Süspansiyon: Bir sıvıda çözünmeyen katının heterojen olarak dağılmış şeklidir. Kum-su, tebeşir tozu-su gibi karışımlar buna örnek verilebilir.
- Aerosol: Bir katı veya sıvının gaz içerisinde dağılmasıyla oluşan karışımlardır. Sis, duman, bulut buna örnek verilebilir.

- Adi karışım: Birçok katının heterojen olarak bir araya gelmesiyle oluşan karışımlara adi karışım denir. Kum-taş, şeker-tuz, pirinç-taş gibi karışımlar buna örnek verilebilir.

## 1.1 Literatür Özeti

Dekantör santrifjünün tarihi, yirminci yüzyılın başlarında ortaya çıkmış olup gelişimini ise bu yüzyılın ikinci yarısında etkili bir biçimde devam ettirmiştir. O tarihlerde basit halde boru biçimli çanak sistemleri ve disk santrifjüleri özellikle sıvı-sıvı karışımları ayırmak için kullanılmaya başlanmıştır.

Dekantöre benzeyen bir cihazı açıklayan ilk patent İsveçli bir mucit olan Liedbeck tarafından 1902 yılında sunulmuştur. Altında kendi tahrik motoru bulunan dikey olarak monte edilmiş ve üst bölümü kaporta içerisinde deşarj boşluğuna sahip cihazdır. Bu cihaz aynı zamanda besleme tankı da içeren şaşırtıcı bir Liedbeck tasarımıdır ve günümüz dikey santrifjü 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'in ilk patenti 1878 yılında kabaca küresel tambur şeklinde olan bir sürekli santrifjü içindir.

Diskin yığınını kapsayan kilit patent ise 1888 yılında Von Bechtolsheim'e verildi. 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.

1930'ların sonunda Pecker isimli mucidin aldığı patent, konik taraftan ürün beslenen bir konik dekantörü göstermektedir.



Çok uzun süre geçmeden 1940'ların ortalarında Ritsch'e ait patent ise; katı, sıvı, sıvı süspansiyonu için keskin biçimde ayrılmış konik bölümlerden oluşan bir tambur grubu hakkındadır.

Dekantör santrifüj makineleri yatay çalışmakta olup silindirik tambura ve yine üzerinde kanat sarımları yer alan helezona sahiptir. Bu çalışmadaki amaç, günümüz şartlarında çok talep gören dekantör santrifüjünün alt parçası olan helezonun uzun ömürlü olabilmesi ve oluşabilecek katı madde miktarındaki dalgalanmalara karşı verimlilik kaybının önüne geçilmesi için ideal kaplama yöntemini ve ideal toz tipini tespit etmektir. Bu konuların temelleri üzerine yapılmış olan çalışmaların özetleri ise aşağıda verilmiştir.

Wallace W.-F. Leung (1996), çalışmalarında yeni tasarım bir besleme odası üzerinde durmuşlardır. Geleneksel olarak kullanımı olan konik tipli besleme odası tipinden farklı olarak odaya gelecek olan süspansiyonun yüzeye olabildiğince teğetsel olarak sürtünmesini sağlayacak ve dönme hızından negatif anlamda etkisini en aza indirebilecek bu yeni tip besleme odası için hem laboratuvar hem de sahada test işlemleri gerçekleştirerek doğrulama çalışması yapmışlardır.

Huang ve diğ. (2007) Bir dekantör santrifüjünün helezonunun 3 boyutlu sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Model ile helezon için normal çalışma koşullarında gerilme analizleri yapılmış ve yapısal parametrelerin etkileri incelenmiştir. Ana faktörleri sıralamak ve faktörlerin helezonun gücü üzerindeki etkilerine yönelik hesaplamaları optimize etmek için ortogonal tasarımlar kullanılmış. Sonlu elemanlar hesaplama sonuçları ile helezonun farklı yükler altında mukavemeti için dört ampirik formül regresyona tabi tutulmuştur. Gerilme süperpozisyon prensibi uygulanarak vidalı konveyör tasarımında kullanılabilecek normal çalışma koşullarındaki mukavemet kontrol kriterleri verilmiştir.

George R.A.Bell ve diğ. (2013), bir dekantör santrifüj makinesinde çökelmiş katıların taşınmasının matematiksel modelini oluşturup geliştirmişlerdir. Modelin asıl amacı helezonun tambur boyunca taşınması için gereken güç, tork ve eksenel kuvveti hesaplamaktır. Model üzerinde uygulanan bu çalışmalar daha sonra mevcut yayınlar ve test verileri ile karşılaştırılıp doğrulama işlemleri yapılmıştır. Sonuçları ise temel parametrelerin etkisini göstermek için grafikler halinde sunmuşlardır.

Hongbin Liu ve diğ. (2015), dekantör santrifüj makinesinin en önemli parçalarından olan helezonun çalışma şartları altında maruz kaldığı statik ve dinamik yüklemeleri Ansys programı altında analiz ederek incelemeye çalışmışlardır. İçerde oluşacak hidrolik basıncın helezon üzerinde oluşturacak deformasyona etkisinin daha az olduğunu tespit etmişlerdir. Katı madde miktarından dolayı oluşabilecek stres bloklarının hangi bölgelerde olduğunu tespit ederek grafikler halinde incelemişler ve ileriki tasarımlar için bir ışık olmasını sağlamışlardır.

Cheng ve diğ. (2016), dekantör santrifüjünün tamamını farklı koşullar altında RNG türbülans modelini ve Fluent yazılımını kullanarak analiz etmişlerdir. Dönme hızını arttırdıklarında sıvının hız bileşeninin büyüdüğünü tespit etmişlerdir. Ayrıca, simülasyon değeri ile teorik değer arasındaki boşluğun genişlemekte ve eksenel hızın yavaşladığını tespit etmişlerdir. Farklı konsantrasyonlara sahip sıvı fazları için eksenel hızlardaki azalmanın da aynı olma eğiliminde olduklarını tespit etmişlerdir.

Ahmet Alper Akış ve diğ. (2020), atık su arıtma sektöründe kullanılan dekantör makinesi için araştırma ve geliştirme çalışması yapmışlardır. Çalışma kapsamında atık su arıtma sektöründe kullanılan dekantörlerde helezon tasarımı ve analizi yapılmıştır. Dekantörlerde makine içine alınan ürün, katı ve sıvı olarak iki veya daha fazla faza ayrılır. Katı fazın susuzlaştırılıp dışarıya taşınması için tambur ve helezon farklı açılarda hızlarda dönmektedir. Makinede yüksek devirde dönen iki rotorun bulunması, helezonun asimetrik yapıda olması ve içeriye alınan ürünün homojen dağılmaması gibi nedenlerden dolayı helezon yapılarına kuvvetler uygulanmaktadır. Tasarım için öncelikle içeriye alınan ürünün hareketini modelleyen matematiksel eşitlikler ile tambur ve helezona gelen yükler belirlenmiştir. Farklı yaprak kalınlığına sahip helezonların sonlu elemanlar yöntemini esas alan ansys kullanılarak dayanımı belirlenmiştir. Değerlendirmeler sonucunda gelen yükleri karşılayabilecek optimal kalınlık seviyesini belirlemişlerdir.

Khogali (2022), yapmış olduğu doktora tezinde, dekantör santrifüjün farklı bileşenlerini yüksek dönme devirlerindeki karmaşık fonksiyonlarını anlamak için çok fazlı akış modellemesi yaparak ve hesaplamalı akışkanlar dinamiğini kullanarak dekantörü analiz etmeye çalışmıştır. Analiz çalışmasını parametrelerde ve modellerde stratejik değişikliklere yer vererek uygulamıştır. Su ve katıların dekantör içerisindeki

alan boyunca dağılımını tahmin etmek ve çıkan katların ne kadar verimliliğe sahip olduğunu tespit etmek için Euler-Euler metodunu uygulamıştır.

Helezonun uzun ömürlü olabilmesi için aşındırıcı olabilecek ürünlere karşı da dayanıklı olabilmesi gereklidir. Bunun için farklı yöntemler ve uygulamalar tercih edilmektedir. Bu çalışmada koruma yöntemini belirlemek adına tungsten karbür içeriğine sahip farklı toz tipleri ile hem PTA (plazma ark transferi) hem de alev püskürtmeli toz kaplama kullanılarak numuneler oluşturulup teste tabi tutulacaktır. Bu konuların temelleri üzerine yapılmış olan çalışmaların özetleri ise aşağıda verilmiştir.

B. Vamsi Krishna ve diğ. (2002), oksitlenmiş sprey kaplama yöntemini kullanarak 2 farklı tungsten karbür tozu ve değişken oksijen beslemesinde esas malzeme üzerine kaplama yaparak numuneler hazırlamışlardır. Tozların ve kaplamanın mikro yapısı ile faz bileşimlerini X-ray kullanarak analiz etmişlerdir. Aynı zamanda numunelerin sertlik değerleri ile aşınma miktarlarını uyguladıkları test ile belirlemeye çalışarak uygun toz tipini tespit etmeye çalışmışlardır.

Gür ve diğ. (2008), AISI 1020 düşük karbonlu çelik yüzeyine PTA (Plazma Transfer Ark) yöntemiyle Ni/Ti tozlarını kaplamıştır. Kaplama tabakasından elde edilen Ni/Ti/Fe kompozitinin kafes yapısı, üçlü faz denge diyagramı ile karşılaştırılarak oluşması muhtemel fazlar belirlenmeye çalışılmıştır. Ana malzeme olan AISI 1020'nin mikrosertliği 210 HV iken, yüzey tabakasının mikrosertliği 690 HV olarak ölçülmüş ve sertlik değerlerinde önemli ölçüde artış sağlanmıştır. Elde edilen kaplama tabakalarının, SEM görüntüleri EDS analizleri yapılarak mikrosertlik değerleri kıyaslanmıştır.

Özel ve diğ. (2008), Ni/Ti toz karışımını PTA kullanarak östenitik paslanmaz çelik (AISI 304) yüzeyine kaplamışlardır. Kaplama işlemi Ar gazı atmosferi altında 80, 90 ve 100A akım yoğunluğu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaplama tabakası ve ara yüzü SEM, EDX, XRD ve mikrosertlik testi ile incelenmiştir. Kaplama kalınlığı akım yoğunluğu ile artmıştır. Ara yüzde çatlak veya gözenek tespit edilmemiştir. Daha yüksek ark akım yoğunlukları Ni/Ti alaşımı açısından zayıf bir kaplama tabakası oluşturmuştur. Kaplama tabakasında Cr<sub>2</sub>Fe<sub>7</sub>Ni, Fe<sub>7</sub>Cr<sub>2</sub>Ni ve Ni<sub>3</sub>Ti gibi ikincil fazlar oluşmuştur.

Ali Kaya Gür ve Sinan Kaya (2017), ferritik paslanmaz çeliklerden AISI 430'un yüzeyini birbirinden farklı karbür oluşturan metal alaşım elementlerini plazma transferli ark yöntemiyle alaşımlandırmışlardır. Oluşturdukları numuneleri farklı aşındırıcı, yük ve mesafe parametrelerinde Taguchi dizaynına göre test uygulamışlardır. Abrasif aşınma sonucu kütle kayıplarını Taguchi metodunun en düşük ve en iyi kontrol karakteristiği ile optimize ederek sonuçları grafiksel yöntemlerle analiz etmişlerdir.

S. Zhang ve diğ. (2017), östenitik paslanmaz çelik sınıfında olan AISI 316L kalite paslanmaz çelik üzerine 41WC-36Ni7.5CrSiB (Colmonoy75) ve NiCrBSiW (Colmonoy88) PTA metodu ile kaplayarak erozyon ve korozyon dirençlerini iyileştirmeye çalışmışlardır. Hazırlamış oldukları numunelerde SEM, EDS, XRD ve mikrosertlik ile mikroyapı, kimyasal bileşim, faz bileşenleri ve mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Erozyonu tespit etmek için ultrasonik vibratör test yöntemini, korozyonu tespit etmek için ise %3,5 NaCl çözeltisinde jet erozyon test yöntemini kullanmışlardır ve uygun kaplama tozunu belirlemeye çalışmışlardır.

Wei ve diğ. (2018), yüksek tungsten karbür içeriğine sahip Ni bazlı kompozit kaplamaları (Stelcar 65 kompozit kaplamaları), PTA yöntemi ile sentezlemişlerdir. Stelcar 65 kompozit kaplamalarının kaynak parametreleri, çapraz testler ile optimize edilmiştir. Kaynak akımı, toz besleme hızı ve kaynak hızı dahil olmak üzere PTA kaynak parametreleri tungsten karbürün bozunmasında önemli etkiye sahiptir. Optimum kaynak akımı, toz besleme hızı ve kaynak hızı değerleri sırasıyla 100 A, 25 g/min ve 40 mm/min olarak belirlenmiştir. Üretilen WC/Ni bazlı kompozit kaplamalar çatlak ve bozulma olmadan üretilmiştir. Oluşan kaplama tabakasının mikroyapısı ve mikrosertliği de analiz edilmiştir.

R. Tamborrino ve diğ. (2019), kaplama ihtiyacı olan ürünlerin WC-Co-Cr içeriğine sahip toz ile kaplanmasında kalınlığın ölçülmesinde; kaliteye, performans üzerindeki önemine ve hizmet ömrüne ışık tutabilmesi için termografik tahribatsız tekniğini uygulamışlardır. Tungsten karbür kaplama kalınlığının ölçümü için "uzun darbeli" termografik yaklaşıma dayalı bir prosedür önerilmiş ve geleneksel darbeli termografik tekniğin performansı ile bir karşılaştırma yapmışlardır. Kaplamanın kalınlığını değerlendirmek için bir ölçümleme yapılmış ve bir tahmin modeli önermişlerdir.

## 1.2 Tezin Amacı

Makinelerde kullanılan parçaların bakım maliyetleri ve ömürleri günümüzde gittikçe önem kazanmakta ve maliyetlerin düşmesi açısından uzun ömürlü olmasına yönelik talepler de gün geçtikçe artmaktadır. Bu nedenle dekantör santrifüj makineleri için en önemli parça olan helezonun tasarımı hem bakım maliyetini azaltmada hem de çalışma verimini arttırmada önem arz etmektedir.

Dekantör santrifüj makinelerinde tambur içerisinde merkezkaç kuvvetinin etkisiyle ayrışan süspansiyondaki katı maddeler konik tamburdan şanzımanın yarattığı diferansiyel hız farkı ve helezonun itmesi sayesinde sistem dışına atılmaktadır. Ayrıştırılmak istenen süspansiyonun içerisinde çok farklı aşındırıcı partiküller mevcuttur. Bunlardan bazıları zeytin hamurunda yer alan kırılmış zeytin çekirdeği, endüstriyel atık çamurlarında bulunan silisyum içerikli parçacıklar, kâğıt endüstrisinde karşılaşılan kalsit içerikli tanecikler, petrol ve gaz endüstrisindeki sondaj işlemi ile çıkarılan ürünlerde bulunan kum taneleridir. Bu tipteki ürünler helezon kanatlarında çeşitli yüzey bozulmalarına ve abrasif aşınmalara neden olmaktadır. Uygulamada karşılaşılan aşınma problemleri ve bunlara ait görseller Şekil 1.2’de gösterilmiştir.





Şekil 1.2: Kanatlarda meydana gelen aşınma örnekleri

Katı madde içerisinde yer alan parçacıkların aşındırma özelliği ne kadar fazla ise helezon kanatları da o hızda aşınacak ve bakım yapılma ihtiyacı duyacaktır. Aşınmanın etkisini azaltmak adına helezona bazı kaplama işlemleri uygulanmaktadır. Ayrıca akıştan kaynaklı olarak helezon üzerine konumlanmış ürün besleme odasının da aşınması söz konusu olup ideal kaplama yapılarak aşınma direnci artırılabilir. Bu fikirler doğrultusunda ilgili çalışmada;

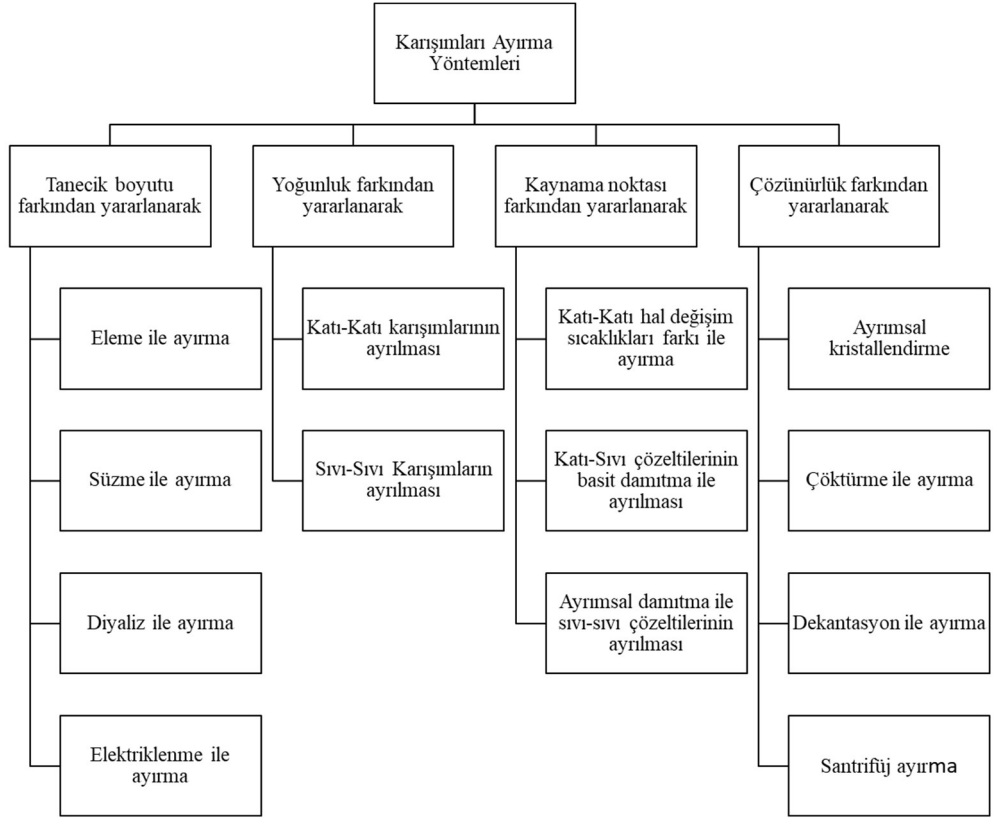
- Dekantör santrifüj makinesi helezonunun tasarım parametrelerinin belirlenmesi,
- Alev sprej yöntemi ve PTA yöntemi kullanılarak %60 WC içeriğine sahip yöntemeye uygun toz tipleri ile uygun parametrelerde kaplama numunelerinin hazırlanması,

- Hazırlanan numunelerin ASTM G65 standardına uygun olarak aşınma testlerinin yapılması,
- Çıkan sonuçların analiz edilerek uygun kaplama tozu tipinin ve yönteminin belirlenmesi,

amaçlanmaktadır. Elde edilen verilerin ise literatüre, santrifüj teknolojisine ve doğaya katma değer sağlaması öngörülmektedir.

## 2. KARIŞIMLARI AYIRMA YÖNTEMLERİ

Karışımların ayrılması günümüz dünyasında önemli bir süreçtir. Karışımlar bölüm 1’de belirtildiği üzere homojen karışım ve heterojen karışım olmak üzere 2’ye ayrılmaktadır. Heterojen karışımları ayırmak homojen karışımlara göre nispeten daha kolaydır. Karışımlar Şekil 2.1’de sınıflandırıldığı gibi genellikle fiziksel veya kimyasal yöntemler kullanılarak fazlarına ayrıştırılmaktadır.



Şekil 2.1: Karışımları ayırma yöntemleri

### 2.1 Heterojen Karışımları Mekanik ve Fiziksel Ayırma Yöntemleri

Her tarafta aynı özellikleri bulunmayan ve içindeki taneciklerin gözle görülebildiği karışımlara heterojen karışım denir. Heterojen karışımlarda zaten iki (veya daha fazla sayıda) faz olduğu için, bu tür karışımları ayırmak nispeten daha kolaydır. Ayırma, moleküler veya kimyasal yöntemler ile değil, mekanik ve fiziksel kuvvetler kullanılarak yapılır. Uygulanan bu mekanik ve fiziksel kuvvetler yerçekimi, merkezkaç kuvveti ve akıştan kaynaklı kinetik kuvvetlerdir. Heterojen karışımların

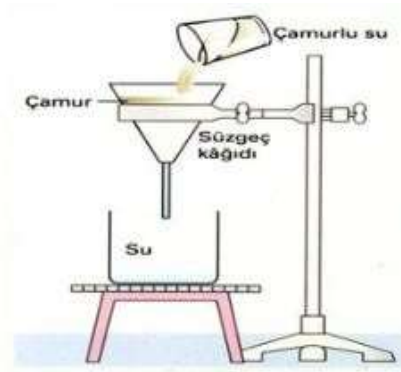


mekanik ve fiziksel ayırma yöntemleri aşağıdaki sınıflandırmalar altında ele alınır (Geankoplis 2000):

- Süzme,
- Çökelme ve tortulaşma,
- Aktarma (dekantasyon),
- Santrifüjleme.

### 2.1.1 Süzme

Küçük taneli çökelek yapısı gösteren katı-sıvı heterojen karışımları fiziksel olarak ayırma yöntemlerinden biri süzme yöntemidir. Bir katıyı sıvıdan ayırmak için en çok kullanılan yöntemdir. Şekil 2.2’de gösterildiği gibi katı ve sıvıdan oluşan çamurlu su ayrıştırılmak istenen sisteme aktarılır. Sistem içerisinde yer alan süzgeç kâğıdı, gözenekleri sayesinde karışım içindeki taneciklerin geçişini engeller. Sıvı, çıkış ucundan uygulanan bir vakumla süzgeç kâğıdı içinden aktarılarak ayırışım gerçekleştirilmiş olur.



Şekil 2.2: Süzme yöntemi şematik gösterimi

### 2.1.2 Çökelme ve Tortulaşma

Çökelme ve tortulaşmada tanecikler, üzerlerine etki eden yerçekimi kuvvetiyle akışkandan ayrılır. Bir tanecik, kabın duvarlarından ve diğer taneciklerden yeterince uzak olduğunda ve dolayısıyla aşağı doğru düşüşü bunlar tarafından etkilenmediğinde, süreç “serbest çökelme” olarak adlandırılır. Tanecikler sıvı içinde olduklarında, daha

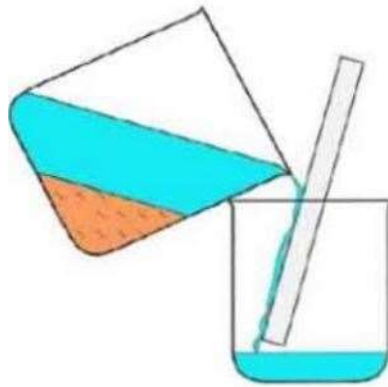
düşük bir hızda çökelirler ve süreç “engellenmiş çökeltme” olarak adlandırılır. Seyreltik çamur veya süspansiyonu, yerçekimi etkisiyle berrak bir sıvı ve daha yüksek oranda katı içeriğine sahip olan çamura ayırma ise “tortulaşma” olarak adlandırılmaktadır. Şekil 2.3’de çamurlu su karışımına ait çökeltme işleminin görseli mevcuttur. Çökeltme işleminin tamamlanması için geçecek süre karışımın içeriğine ve fazların yoğunluk farkına bağlıdır. Yoğunluk farkı ne kadar yakın olursa çökeltme işlemi de o denli geç tamamlanacaktır.



Şekil 2.3: Çökeltme ve tortulaşma yöntemi

### 2.1.3 Aktarma (Dekantasyon)

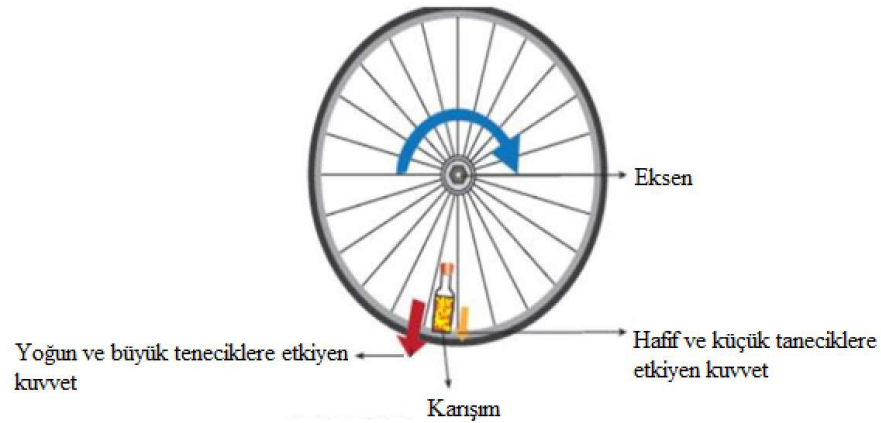
Dekantasyon ile ayırma işleminin yapılabilmesi için önce çökelmenin gerçekleşmiş olması gerekir. Karışımlarda çökeltme işlemine sedimentasyon, üstteki maddenin yüzdürülmesine ise flotasyon denir. Dekantasyon, sıvının dibine çökmüş bir katı olduğunda, Şekil 2.4’te gösterildiği gibi üstte yer alan sıvının başka kaba aktarılma işlemidir. Aslında dekantasyona bir nevi aktarma işlemi de diyebiliriz. Dekantasyon işlemi iki madde arasındaki yoğunluk farkına göre gerçekleştirilir.



Şekil 2.4: Aktarma (dekantasyon) yöntemi

### 2.1.4 Santrifüjleme

Yerçekimi çökticisinde kolay bir şekilde çökmeyecek veya hiç çökmeyecek olan tanecikler, çoğunlukla merkezkaç kuvveti etkisi kullanılarak akışkandan ayrıştırılırlar. Şekil 2.5'te görüldüğü üzere, karışım bir eksen etrafında döndürüldüğünde içerisinde yer alan fazlar merkezkaç kuvvetine maruz kalırlar. Yoğunluğu ve taneciği büyük olan taneciklere etkiyen merkezkaç kuvveti hafif ve küçük taneciklere etkiyen merkezkaç kuvvetinden daha büyük olur. Merkezkaç kuvveti etkisi ile ayrışım yerçekimi ile çöktürme yöntemine göre çok daha hızlıdır. Yöntemin adı ise santrifüjleme olarak nitelendirilmektedir. Bu yöntemi gerçekleştiren makinelere de dekantör santrifüj makineleri denilmektedir.

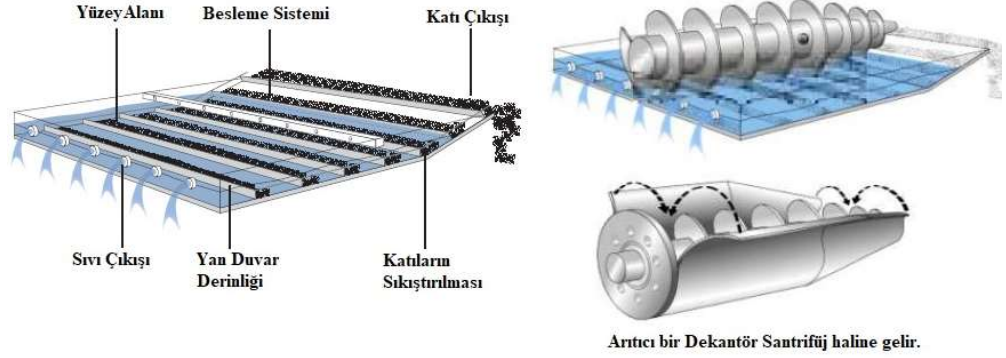


Şekil 2.5: Santrifüjleme yönteminin şematik gösterimi

## 2.2 Dekantör Santrifüj Makineleri ve Çalışma Prensibi

Günümüzde santrifüjleme işlemini gerçekleştiren ekipmanlara dekantör santrifüj makineleri denilmektedir. Dekantörler yatay olarak çalışan ve merkezkaç kuvveti prensibinden yararlanarak, yoğunlukları birbirinden farklı katı-sıvı ya da katı-sıvı-sıvı karışımlarını fazlara ayırmak amacı ile kullanılan makinelerdir. Bu makinelerdeki temel prensip merkezkaç kuvvetinin içerideki ürünü çöktürme (sedimentasyon) işlemine tabi tutarak ayırması ile fazların ayrı ayrı elde edilmesidir. Örnek olarak çamurun susuzlaştırılması yani katı-sıvı fazlarının ayrılması, ya da zeytinden yağın elde edilmesi sürecinde pirina, su ve zeytinyağı (katı-sıvı-sıvı) ayrışımının yapılması uygulamaları gibi farklı örneklendirmeleri mevcuttur. Şekil

2.6'da çoğunlukla atıksu artıma tesislerinde yer alan çökeltme havuzunun dekantör santrifüj haline gelişi sembolik olarak gösterilmektedir.



**Şekil 2.6:** Çökeltme havuzundan dekantör santrifüj makinesine (A.L. 2013)

Dekantör santrifüj makineleri, son yıllarda gelişen teknolojinin de sayesinde endüstride geniş kullanım alanına sahip olmuştur. Tablo 2.1 'de çeşitli endüstrilerde bu makinenin kullanımına ilişkin örnekler gösterilmektedir.

**Tablo 2.1:** Dekantörün kullanıldığı endüstriler ve örnekleri

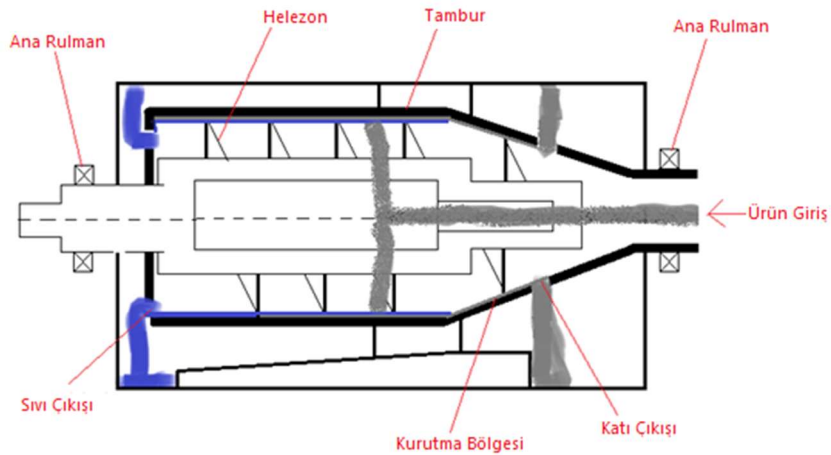
<b>Endüstri</b>	<b>Örnekler</b>
Gıda İşleme	<ul style="list-style-type: none"><li>• Yenilebilir hayvansal yağ</li><li>• Hayvansal protein</li><li>• Proteinin geri kazanımı</li><li>• Zeytinyağı, Palmiye yağı</li><li>• Şarap</li><li>• Meyve ve meyve suyu</li><li>• Soya proteini</li><li>• Süt ürünleri</li><li>• Kahve ve çay</li><li>• Pektin</li></ul>
Petrokimya/Petrol	<ul style="list-style-type: none"><li>• Arıtma</li><li>• Susuzlaştırma</li><li>• Petrol kuyusu sondajı</li><li>• Yağlama yağı katkı maddeleri</li><li>• Atık yağ geri dönüşümü</li></ul>
Atık Geri Dönüşümü	<ul style="list-style-type: none"><li>• Belediye atık suyu</li><li>• Yıkama suyunun temizlenmesi</li></ul>
Balık İşleme	<ul style="list-style-type: none"><li>• Balık eti</li><li>• Balık yağı</li></ul>
Kimya	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bitkisel ilaçlar</li><li>• Kimyasal ekstraksiyon</li></ul>
Maden İşleme	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bentonit ve titanyum dioksit üretimi</li><li>• Kaolin kili ve kalsiyum karbonat işleme</li></ul>
Organik Kimya Endüstrisi	<ul style="list-style-type: none"><li>• Organik kimya ara ve son ürünler</li></ul>
Polimer Endüstrisi	<ul style="list-style-type: none"><li>• Termoplastikler</li></ul>
İnorganik Kimya Endüstrisi	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ağartma maddeleri</li><li>• Asitler</li><li>• Silika ürünleri</li><li>• Gübreler</li></ul>

### 2.3 Dekantör Santrifüj Makinesi Komponentleri

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

- Döner Elemanlar Grubu: Tambur grubu, helezon grubu, ana yataklar ve dişli kutusundan (şanzıman) oluşur.
- Şase ve Yardımcı Ekipmanlar Grubu: Ana şase, tambur muhafazası, şanzıman muhafazası, kasnak muhafazası, katı ve sıvı döküş şutlarından oluşur.
- Tahrik Grubu: Ana motor, helezon motoru, kayış ve kasnak grubundan oluşur.

Şekil 2.7’de görüldüğü gibi ürün, yatakların bir ucundan tambur içerisine girerken merkezkaç kuvvetinin etkisi sayesinde ayrışır, kullanılan dişli kutusu (şanzıman) sayesinde de katı ve sıvı farklı iki lokasyondan sistem dışına tahliye edilir (Genck 2008). Kapasiteler saatte 18000 kg’a kadar katı madde ve dakikada 1,1 m<sup>3</sup>’e kadar sıvı besleme oranları arasında değişkenlik gösterebilmektedir (Records 2001).



Şekil 2.7: Dekantör santrifüj makinesinin şematik diyagramı

Kullanılan dişli kutusu tambur ile helezon arasında diferansiyel hız oluşturur ve katıların sürekli halde sistem dışına tahliyesini sağlar. Yüksek diferansiyel hız çıkan katının daha nemli çıkmasına, düşük diferansiyel hız ise çıkan sıvının daha kirli çıkmasına neden olur. Bu yüzden kaliteyi dengelemek için en uygun diferansiyel hızın elde edilmesi gerekmektedir (Zhongda 2013).

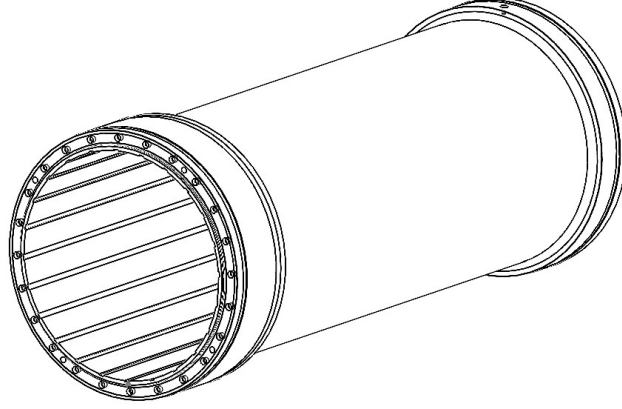
### 2.3.1 Döner Elemanlar Grubu

Rotor olarak tabir edilen bu grupta tambur elemanları (düz tambur, konik tambur, arka kapak, ön kapak, gövde kasnağı ve bağlantı kaplini), helezon elemanları (helezon borusu, helezon kanatları, rulmanlar, sızdırmazlık elemanları, arka ve ön başlık), ana yatak elemanları (arka ve ön yatak, rulmanlar, bilezikler, sızdırmazlık elemanları) ve şanzıman elemanları (şanzıman, hareket mili, helezon kasnağı ve bağlantı kaplini) yer almaktadır.

#### 2.3.1.1 Tambur Grubu

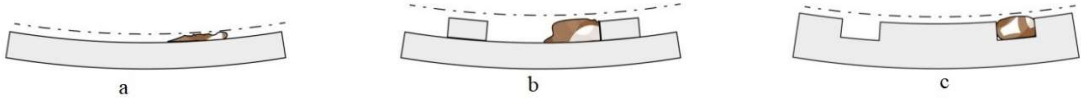
Tambur grubu, düz tambur, konik tambur, arka kapak, ön kapak, gövde kasnağı ve bağlantı kaplininden oluşmaktadır. Ana motordan gelen tahriğin, üzerinde yer alan kayış-kasnak mekanizmasıyla iletilmesi sayesinde yüksek devirlerde dönmektedir. İşlenecek ürünün ayrışması için gereken g-kuvvetini elde edebilmek adına ve düz tamburun çapına bağlı olarak devirler değişkenlik gösterebilmektedir.

Düz tambur Şekil 2.8'deki gibi bir forma sahip olup genellikle paslanmaz çelik malzemeler kullanılarak ve savurma döküm yöntemi ile üretilmektedir. Farklı çap ve boylarda kullanılması söz konusudur. Kalınlığı ise kullanılan malzeme kalitesine ve yapılması istenilen devre göre hesaplanmaktadır. Süspansiyonun ayrışma süreci ve merkezkaç kuvvetine maruz kalma işlemi bu kısımda gerçekleşir. Merkezkaç kuvvetine maruz kalan süspansiyon içindeki katı parçacıklar tambur duvarına doğru yapışırken, hafif faz olan sıvı ise bunun altında konumlanır. Bu nedenle düz tamburun uzunluğu arttıkça sıvı fazının temizlenmesi de o derece artar.



**Şekil 2.8:** Düz Tambur

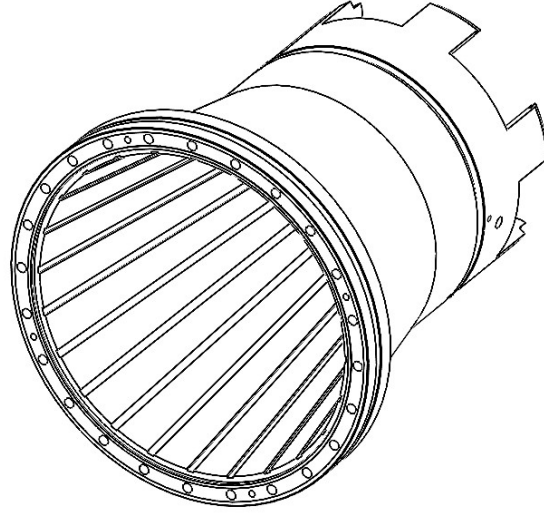
Ek olarak tambur iç cidarının aşınmasını önlemek adına da şim veya yiv uygulaması da yapılmaktadır. Tambur yüzeyi Şekil 2.9.a'daki gibi bırakılırsa içinde bulunan ürünün sürtünme yüzeyi direkt olarak tambur cidarı olacaktır ve hızlı bir aşınma meydana gelecektir. Fakat Şekil 2.9.b ve Şekil 2.9.c'deki gibi şim veya yiv bırakılırsa cidar yüzeyinde sürtünme minimize edilecek ve aşınmanın da önüne geçilmiş olacaktır.



**Şekil 2.9:** a) Düz tambur cidarı, b) Şimli tambur cidarı, c) Yivli tambur cidarı

Konik tambur da Şekil 2.10'da görüldüğü gibi bir forma sahip olup genellikle paslanmaz çelik malzemeler kullanılarak ve savurma döküm yöntemi ile üretilmektedir. Kalınlığı kullanılan malzeme kalitesine ve yapılması istenilen devre göre hesaplanmaktadır. Konik tambur üzerinde katının yönlendirildiği çıkış delikleri de mevcuttur. Yine aşınma koruması adına konik tambur iç cidarına da şim veya yiv uygulaması yapılmaktadır. Aynı zamanda çıkış deliklerinin bulunduğu kısımlarda aşınmaya dayanıklı burçlar kullanılmaktadır. Genellikle konik ve düz tambur paslanmaz kalite sınıfı cıvatalar ile birbiriyle montaj yapılmaktadır.

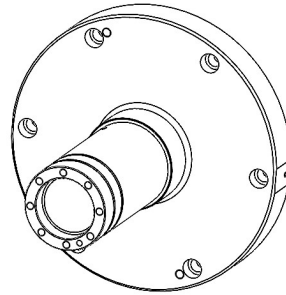




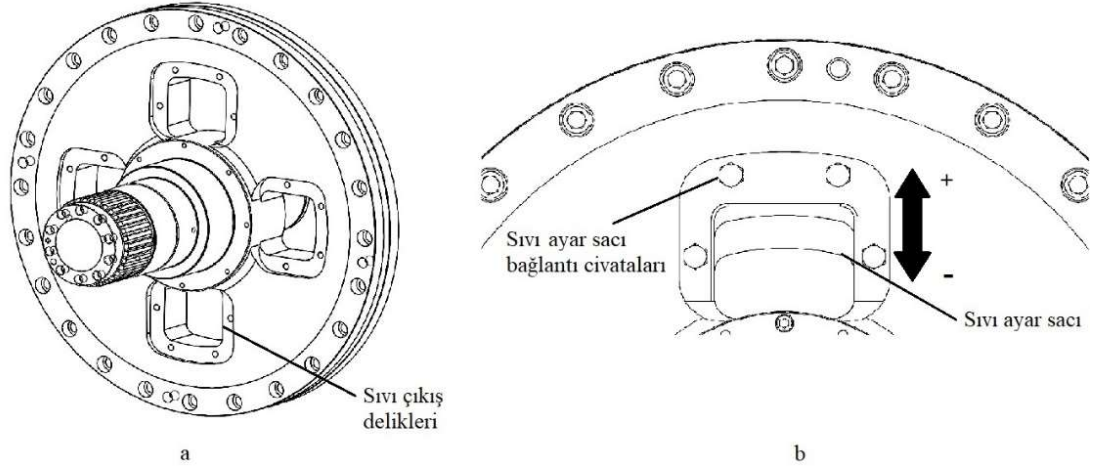
**Şekil 2.10:** Konik tambur

Literatürde farklı konik açıları kullanılmakla beraber en yaygın kullanılan açılar  $10^\circ$ ,  $12^\circ$ ,  $15^\circ$  ve  $20^\circ$  şeklindedir. Konik açısının artması ürünün daha fazla kurutulmasında rol oynamaktadır. Ancak bu her işlenecek ürün için kullanılabilir anlamına gelemmez.

Şekil 2.11 ve Şekil 2.12’de gösterilen arka kapak ve ön kapak da paslanmaz çelik malzemelerden statik döküm ya da dövme yöntemi kullanılarak üretilmektedir. Bazı uygulamalarda üretim yöntemi olarak kaynak metodu da tercih edilmektedir. Her iki kapakta da ana yatak rulmanlarının çalıştığı mil kısmı mevcuttur. Arka kapak üzerinde ilave olarak Şekil 2.12.a’da görüldüğü gibi sıvının çıkmasına olanak veren sıvı çıkış delikleri yer almaktadır. Düz tambur içerisinde oluşacak faz ayrımı çizgisine göre seviyesi ayarlanabilir ve farklı çaplar takılmasına olanak sağlayan su ayar sacları bulunmaktadır. Şekil 2.12.b’de görüldüğü üzere yukarı yönde çap büyürken aşağı yönde ise küçülmektedir.



**Şekil 2.11:** Ön kapak



Şekil 2.12: a) Arka kapak, b) Sıvı ayar sacı

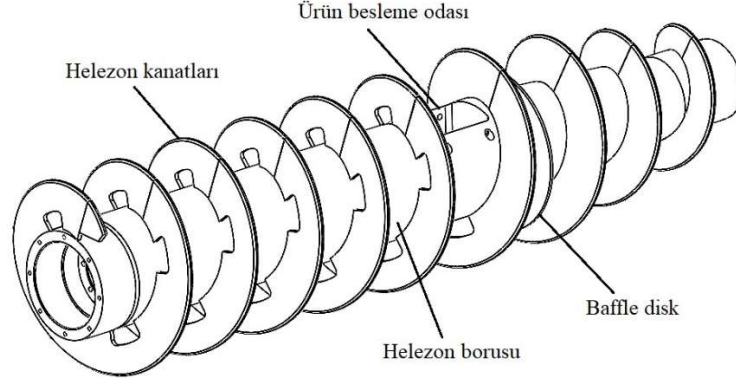
### 2.3.1.2 Helezon Grubu

Helezon grubu; helezon borusu, helezon kanatları, rulmanlar, sızdırmazlık elemanları, arka ve ön başlıktan oluşmaktadır. İkincil motordan gelen tahriğin tambur üzerinde yer alan kayış-kasnak mekanizmasıyla şanzımana iletilmesi, oradan da hareket mili sayesinde de helezona iletilmesiyle tambur devrine yakın bir hızda dönmektedir. Kullanılan şanzıman tipine göre tambur devri üzerinde veya tambur devri altında çalışabilmektedir. Tambur devri ile helezon devri arasında oluşan farka ise diferansiyel hız farkı denilmektedir. Diferansiyel hız artarsa arada oluşan fark artmakta azalırsa da oluşan fark azalmaktadır.

Merkezkaç kuvvetinin etkisiyle tambur cidarına yapışan katıların taşınmasında aktif rol oynamaktadır. Genellikle paslanmaz çelik malzemelerden ve kaynak metodu kullanılarak üretilmektedir (Şekil 2.13). Helezon aşağıdaki gibi alt bileşenlerine ayrılabilir:

- Helezon borusu: Paslanmaz çelik malzemelerden, statik döküm ya da çekme boru olarak temin edilen borular kaynak operasyonu ile birleştirilir ve tornalanarak nihai ölçüsüne getirilir.
- Helezon kanatları: Paslanmaz çelik malzemelerden lazer kesim ile kesilerek kıvrılır ve kaynak metodu ile helezon borusu üzerine kaynaklanır. Aşınma koruması için çeşitli yöntemler ile kaplanır.

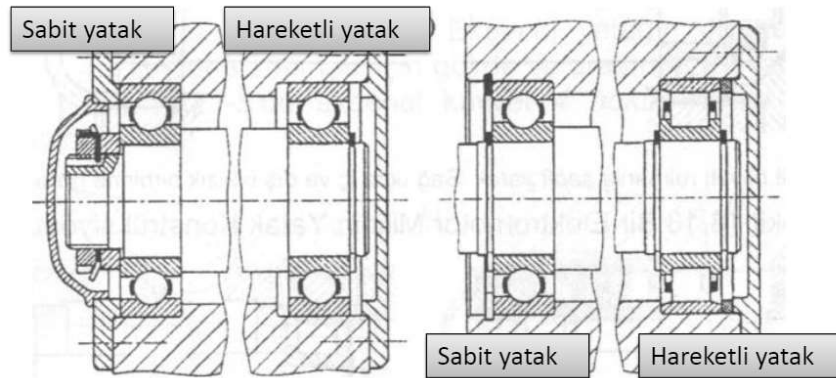
- Ürün besleme odası: Ürünün beslendiği ve tambur içerisine aktarıldığı bölümdür. Paslanmaz çelik malzemelerden statik döküm yöntemi ile üretilir. Aşınma koruması için çeşitli yöntemler ile kaplanır.



Şekil 2.13: Helezon grubu

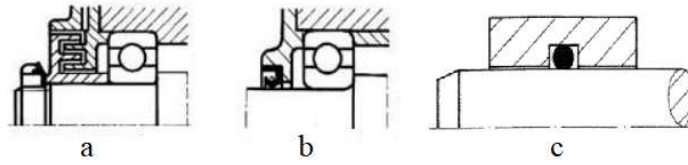
### 2.3.1.3 Ana Yatak Grubu

Dönen ekipmanların çalıştığı yerlerde makine elemanlarının yanı sıra yataklama grupları da yer almaktadır. Dekantör santrifüj makineleri de dönen ekipmanlardan oluştuğu için tambur grubunu taşıyan iki adet yatak grubu mevcuttur. Bu yatak grubunda; rulmanlar, bilezikler, sızdırmazlık elemanları ve bu elemanları taşıyan yataktan meydana gelir. Tambur grubunun yataklanmasında ısıl etkilerden ortaya çıkabilecek boy değişimleri göz önünde bulundurularak yeterli boşluk miktarı ayarlanmaktadır. Yataklardan biri konum belirleyici olarak sabit yatak şeklinde, diğeri de hareketli yatak şeklinde düzenlenmektedir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14: Sabit yatak ve hareketli yatak mekanizması (Kaymaz 2016)

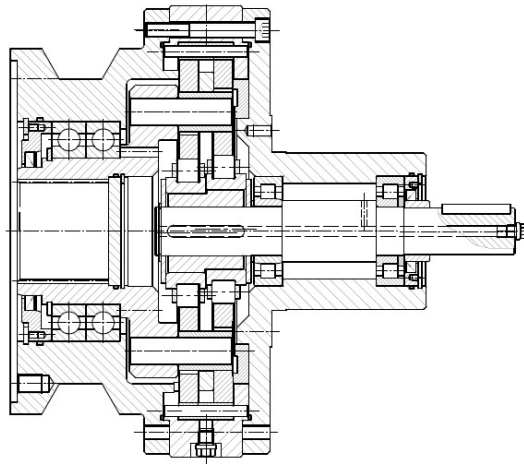
Yatak malzemesi olarak genellikle küresel grafitli dökme demir olan EN-GJS-600-3 tercih edilmektedir. Bu malzemenin tercih edilmesinin sebebi karmaşık yapıya sahip olan yatağın döküme elverişli olmasındandır. Kullanılan yataklar sürtünme direncine karşı ve rulmanların yağlama ihtiyacını giderecek şekilde tasarlanmalıdır. Bu yüzden uygun yağlayıcılar seçilmeli ve belirli aralıklara yağlanması gereklidir. Yağlamanın etkili olması için Şekil 2.15'teki gibi farklı tasarımlarda sızdırmazlık tipleri de kullanılmaktadır. Bunlar dekantör santrifüj makineleri için keçe, o-ring ve labirent tip sızdırmazlık elemanları şeklindedir.



Şekil 2.15: a) Labirent tip sızdırmazlık türü, b) Keçe sızdırmazlık türü, c) O-ring sızdırmazlık türü

#### 2.3.1.4 Şanzıman Grubu

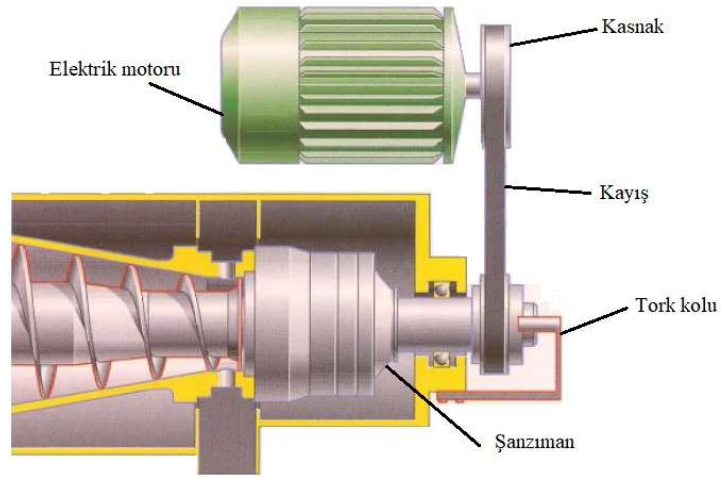
Dekantör santrifüjlerinde tahrik grubuna ek olarak diferansiyel hız farkı oluşmasını sağlayan en önemli ekipmanlardan birisi şanzımandır. Şanzıman Şekil 2.16'daki kesit görünüşünde yer aldığı gibi kısaca bir dişli kutusu olup santrifüj makineleri için özel üretilmiş ekipmanlardır. Helezonda meydana gelen tork aynı anda şanzımana aktarılır ve yüksek tork dayanımları sağlaması sebebiyle yüksek katı içerikli ürünlerde dahi iyi bir çalışma sunar.



Şekil 2.16: Örnek bir ZS tipli şanzıman kesit görünüşü

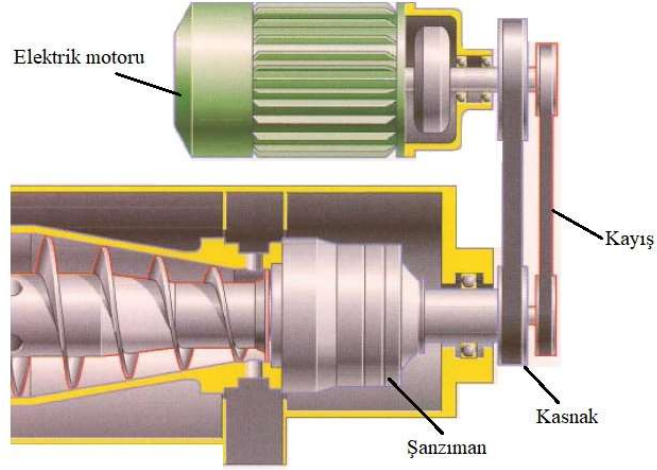
Dekantör santrifüjlerde şanzımanın da yer aldığı tahrik grubu sistemleri 5 ana başlık altında toplanabilir:

- Tek motor-tork kollu tek şanzımanlı sistemler: Basit ve ucuz bir çözüm sunarlar. Sabit katı hacimli ürünler için elverişlidir. Yalnızca dişli oranı veya tambur hızı değiştirilerek diferansiyel hız ayarı yapılabilmektedir. Elektrik motorunun oluşturduğu tahrik kayış kasnak ile şanzımana aktarılır. Şanzıman giriş miline bağlı tork kolu da mevcuttur (Şekil 2.17).



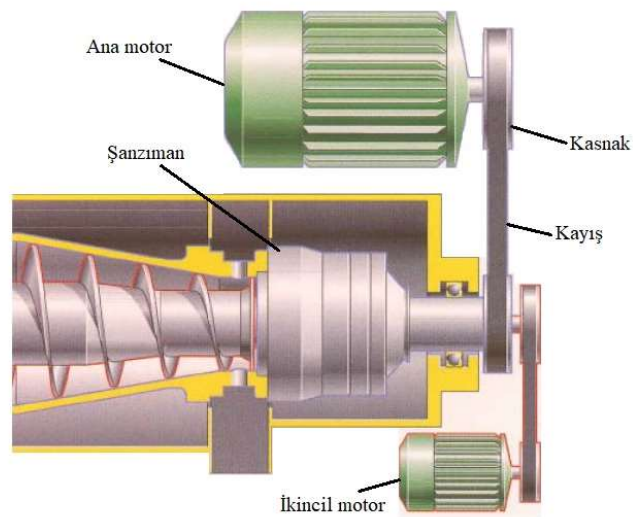
Şekil 2.17: Tek motor-tork kollu tek şanzımanlı sistem

- Tek motor-tek şanzımanlı sistemler: Basit ve ucuz bir çözüm sunarlar. Sabit katı hacimli ürünler için elverişlidir. Farklı çaplara sahip kayış kasnak mekanizması kullanılarak diferansiyel hız ayarı yapılabilmektedir. Şekil 2.18'de yer aldığı gibi elektrik motorunun oluşturduğu tahrik kayış kasnak ile şanzımana aktarılır. Şanzımanın dış gövdesine bağlı bulunan kasnak gövdeyi döndürürken, şanzıman giriş miline bağlı kasnak da helezonu döndürür.



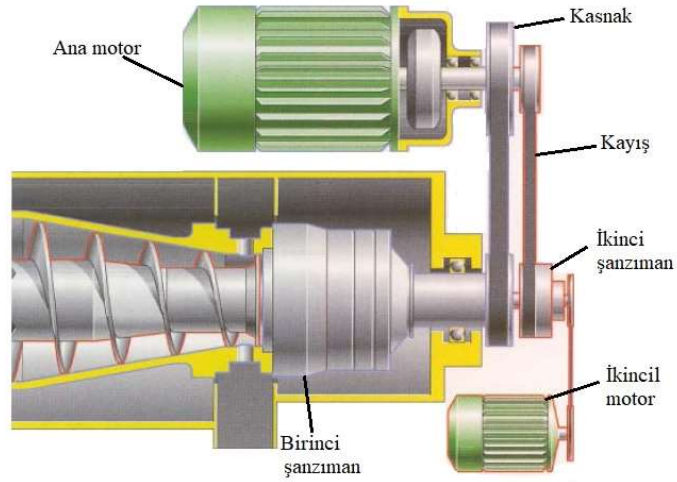
**Şekil 2.18:** Tek motor-tek şanzımanlı sistem

- Çift motor-tek şanzımanlı sistemler: Diferansiyel hız değişikliği için uygun maliyetli bir çözüm sunarlar. Değişken katı madde miktarına sahip ürünler için elverişlidir. İkincil motorun hertz değeri değiştirilerek kolay ve otomatik bir şekilde diferansiyel hız değişikliği yapılabilir. Şekil 2.19’da yer aldığı gibi ana motorun oluşturduğu tahrik kayış kasnak ile şanzımana aktarılır. Şanzımanın dış gövdesine bağlı bulunan kasnak gövdeyi döndürür. İkincil motorun oluşturduğu tahrik ise kayış kasnak ile şanzıman giriş miline aktarılır ve şanzıman giriş miline bağlı kasnak da helikonu döndürür. Bu sistemde ikincil motor alternatif olarak direkt akuple şekilde de bağlanabilir.



**Şekil 2.19:** Çift motor-tek şanzımanlı sistem

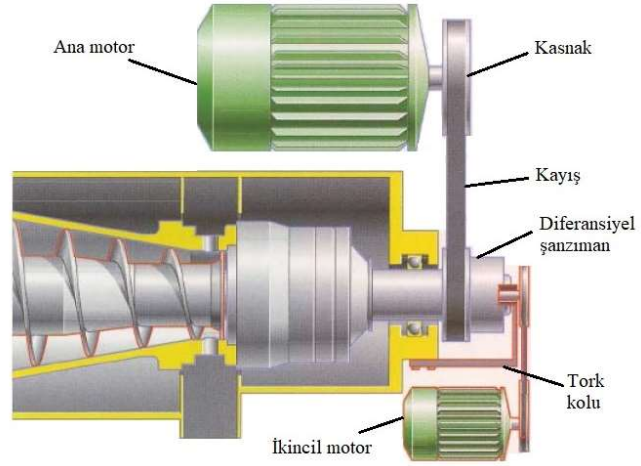
- Çift motor-çift şanzımanlı sistemler: Diferansiyel hız değişikliği için otomatik olarak uyarlanmış ve son derece hassas bir çözüm sunarlar. Değişken katı madde miktarına sahip ürünler için de uyarlanabilirler. İkincil motorun hertz değeri değiştirilerek kolay ve otomatik bir şekilde diferansiyel hız değişikliği yapılabilir. Şekil 2.20’de gösterildiği üzere ana motorun oluşturduğu tahrik kayış kasnak ile birinci ve ikinci şanzımana aktarılır. Her iki şanzımanın dış gövdesine bağlı bulunan kasnak gövdeyi döndürür. İkincil motorun oluşturduğu tahrik ise kayış kasnak ile ikinci şanzıman giriş miline aktarılır ve ikinci şanzımanın çıkışı da birinci şanzımanın giriş milini döndürür. Birinci şanzımanın çıkış mili de helezonu döndürür.



Şekil 2.20: Çift motor-çift şanzımanlı sistem

- Çift motor-tek diferansiyel şanzımanlı sistemler: Tambur hızı ile birlikte diferansiyel hızı değiştirmek için uygun bir çözüm sunarlar. Değişken katı madde miktarına sahip ürünler için de uyarlanabilirler. İkincil motorun hertz değeri değiştirilerek kolay ve otomatik bir şekilde diferansiyel hız değişikliği yapılabilir. Diferansiyel hız ana motorun hızından bağımsızdır. Ana motorunun oluşturduğu tahrik kayış kasnak ile diferansiyel şanzımana aktarılır. Diferansiyel şanzımanın dış gövdesine bağlı bulunan kasnak gövdeyi döndürür. İkincil motorun oluşturduğu tahrik ise kayış kasnak ile diferansiyel şanzımanın giriş miline aktarılır ve çıkış mili de helezonu döndürür. Diferansiyel şanzımanın giriş mili bir tork kolu ile sabitlenmiştir (Şekil 2.21).

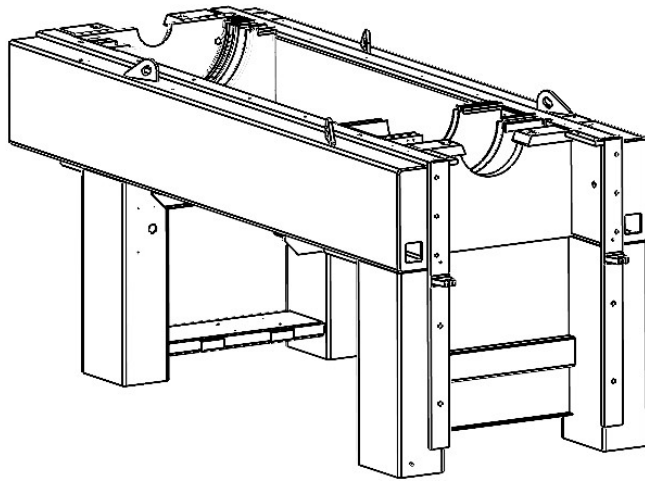




Şekil 2.21: Çift motor-tek diferansiyel şanzımanlı sistem

### 2.3.2 Şase ve Yardımcı Ekipmanlar Grubu

Şase aksamı Şekil 2.22’de gösterildiği gibi genellikle profillerden oluşan ve genel yapı çeliği malzemesinden kaynaklı imalat yöntemi ile üretilen yapılardır. Bazı tasarımlarda sac hammaddesinden kıvrırma işlemi yapılarak ve kaynaklanarak da üretilebilirler. Tambur grubunu taşıyan ana yataklar bu yapıya merkezleme pimleri sayesinde ve cıvatalar kullanılarak sabitlenir. Çalışma esnasında oluşabilecek istenmeyen titreşimleri sönmülmesi için şase ayaklarında zemin ile teması sağlayan titreşim sönmüleyici takozlar kullanılmaktadır.



Şekil 2.22: Dekantör örnek şase görseli

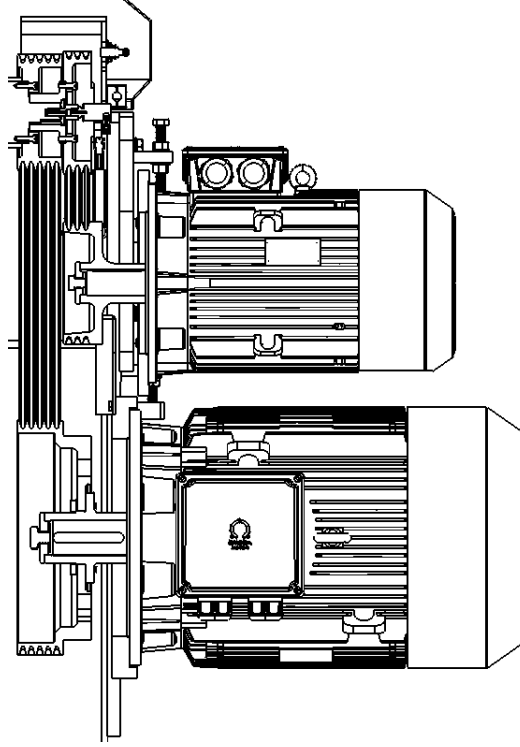


Şase, üst kısmında dönen aksamı taşımanın yanı sıra, bu elemanların dönme esnasındaki tehlikesini azaltmak için bazı koruyucu muhafazaları da taşımaktadır. Bunlar sırasıyla; tambur muhafazası, şanzıman muhafazası ve kasnak muhafazası şeklinde adlandırılırlar. Yine genel yapı çeliği malzemesinden veya paslanmaz çelik malzemeden kaynaklı imalat yöntemi ile üretilirler ve cıvatalar ile şaseye monte edilirler. İş güvenliği tehlikesi yaratmaması adına her bir muhafazanın sökülmesini engelleyecek veya sökülmesi halinde sistemin durmasını sağlayacak bazı sensörler de kullanılmaktadır.

Şasenin alt kısmında da tamburdan dışarı çıkacak katı maddelerin ve sıvı maddelerin yönlendirilmesini sağlayan döküş şutları mevcuttur. Bunlar sırasıyla katı döküş şutu ve sıvı döküş şutu olarak adlandırılırlar. Genellikle paslanmaz çelik malzemeden kaynaklı imalat yöntemi ile üretilirler ve cıvatalar ile şaseye monte edilirler.

### **2.3.3 Tahrik Grubu**

Dekantör santrifüj ekipmanları genellikle şase üzerine bir tabla ile bağlanan elektrik motorları ve kayış-kasnak mekanizması ile tahrik edilirler. Motorlar santrifüjün kapasitesine göre uygun kilovatta ve uygun kutupta hesaplanarak seçilirler. Ana motor, ikincil motordan daha yüksek kilovat değerinde olur ki bu da kalkış esnasında yüksek atalet yüklerini yenmek zorunda olmasındandır. Ana motor gücünü üzerine bağlanan kasnak ve kayış sayesinde tambur grubunun tamamına aktarırken, ikincil motorun gücü de üzerinde bulunduğu kayış ve kasnak sayesinde veya direkt akuple bağlı şekilde helezon üzerindeki oluşacak diferansiyel hızın yaratılmasında şanzıman ile birlikte rol oynar (Şekil 2.23).



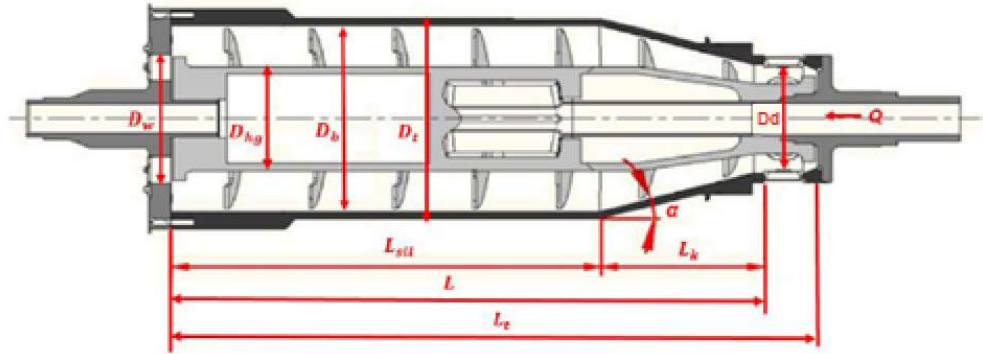
Şekil 2.23: Dekantör tahrik sistemine örnek

Ana motorda oluşan tork, tamburdan gelecek reaktif torktan, oluşacak rüzgârdan ve sürtünmelerden kaynaklı olarak tambur hızını etkiler. Motorlar aşırı yük ve kısa devre oluşumuna karşı korunmaya ihtiyaç duyarlar. Bu nedenle üzerlerinde hem aşırı yük korumasına karşı termistörler hem de kısa devre oluşmasına karşı sigortalar kullanılmaktadır. Aşırı yük motorda ısınmaya neden olarak motorun sargılarının yanmasına neden olur. Termistörler ise sistemden çektiği akımı algılayarak yüksek akıma karşı motoru korumaya alırlar. Buna ilave olarak etkili soğutma yapılabilmesi adına da motor milinin arkasına bir de fan ilave edilmiştir.

İkincil motor çift motorlu sistemlerde esas olarak frenleme yapması ve bunun sonucunda bir diferansiyel hız farkı oluşturması amacı ile kullanılırlar. Bu frenlemeyi bir kayış kasnak sistemi ile veya direkt akuple bir şekilde şanzıman miline bağlanarak gerçekleştirir. Ana motor sabit bir hertz değerinde çalışırken ikincil motor değişken hertz aralıklarında kullanılabilir. Bu da elektrik panosunda bir değişken frekans konvertörü kullanmayı gerektirir. Farklı hertz değerleri ile motor üzerinde farklı devir elde edilir ve bu da çalışma esnasında otomatik bir şekilde diferansiyel hız değişikliği yapılmasına olanak verir.

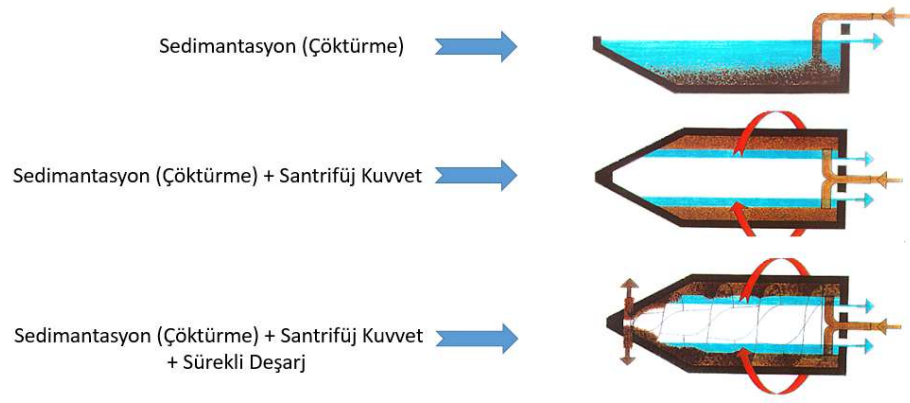
## 2.4 Dekantör Tasarım Parametreleri

Dekantör tasarım parametreleri, ayrımı yapılacak ürün, kapasite gibi değişkenlere bağlı olarak farklılık göstermektedir. Dekantör içerisine pompalanan  $Q$  debili süspansiyonun merkezkaç kuvvetinin etkisiyle 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 boyutları incelendiğinde hesaplamaların büyük bir bölümünün tambur grubundaki ölçülerden sağlanmakta olduğu görülmektedir (Şekil 2.24). Tambur grubunda yer alan bu ölçüler; süspansiyonun debisi ( $Q$ ), katı çıkış çapı ( $D_d$ ), sıvı çıkış çapı ( $D_w$ ), helezon borusu dış çapı ( $D_{hg}$ ), silindirik tambur iç çapı ( $D_b$ ), silindirik tambur dış çapı ( $D_t$ ), silindirik tambur boyu ( $L_{sil}$ ), konik tambur boyu ( $L_k$ ), konik tambur açısı ( $\alpha$ ), efektif iç uzunluk ( $L$ ), toplam tambur boyu ( $L_t$ ) şeklindedir.



Şekil 2.24: Dekantör tambur grubuna ait bazı ölçüler

Yerçekimi etkisiyle bir süspansiyonda yer alan ağır tanecikler sedimentasyon (çöktürme) adı verilen süreç sonunda kabın dibine çöker. Bu işlem yavaş cereyan eden bir ayırma işlemidir ve çökme hızını artırmak üzere genellikle santrifüj kuvvet uygulanır. Santrifüj kuvvet uygulanarak yapılan ayırma işlemine santrifüj ile ayırma denir (Şekil 2.25).

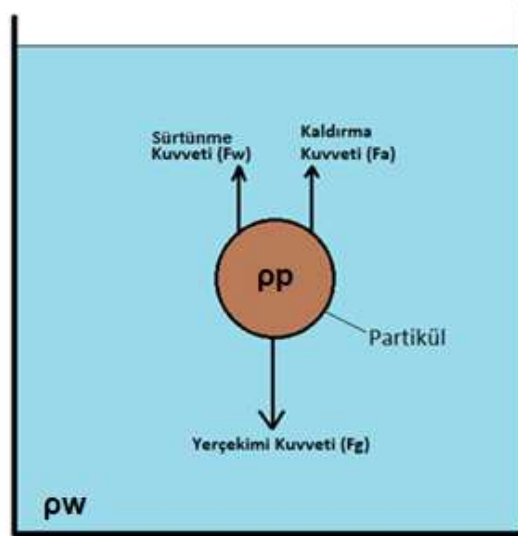


Şekil 2.25: Sedimentasyon (çöktürme) işleminin şeması

### 2.4.1 Stokes Yasası

Durağan viskoz akışkan ortam içerisinde hareket eden bir katı parçacığa üç farklı kuvvet etki etmektedir (Şekil 2.26). Bunlar; yerçekimi kuvveti ( $g$ ), akışkanın kaldırma kuvveti ( $F_a$ ) ve akışkanın viskozitesine bağlı olan sürtünme kuvvetidir ( $F_w$ ). Bu üç kuvvetin etkisi altındaki partikül, sonunda sabit bir hıza kavuşur. Buna sedimentasyon hızı denir ve “ $V_s$ ” ile gösterilir. Sedimentasyon hızı, uygulanan kuvvetin büyüklüğü, taneciklerin şekli ve büyüklüğüne bağlıdır. Literatürde bu işlemi açıklayan denklem “Stokes Yasası” olarak bilinmektedir (Denklem (2.1)).

$$V_s = D^2 \cdot \frac{(\rho_p - \rho_w)}{18 \cdot \mu} \cdot g \quad (2.1)$$

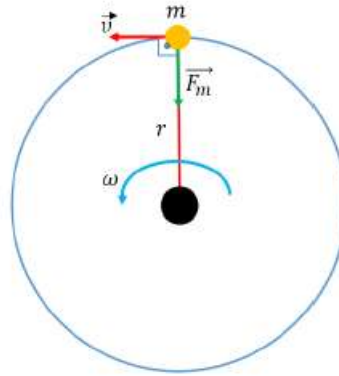


Şekil 2.26: Viskoz akışkan içindeki partiküle etkiyen kuvvetler

Sedimentasyon hızı ( $V_s$ ); partikülün çapının karesi ( $D$ ), partikül yoğunluğu ( $\rho_p$ ) ile akışkan yoğunluğunun ( $\rho_w$ ) farkı ve yerçekimi ( $g$ ) ile doğru orantılı iken, akışkanın viskozitesi ( $\mu$ ) ile ters orantılıdır.

#### 2.4.2 Merkezkaç Kuvveti

Dekantör santrifüj makinesinin en önemli tasarım parametrelerinden birisi merkezkaç kuvvetidir. Merkezkaç kuvveti adı üstünde dönme merkezinden dışa doğru olan kuvettir. Bu nedenle merkezkaç kuvveti; merkezcil kuvvetin tepkisi olarak ifade edilebilir. Bir cismin düzgün dairesel hareket yapmasını sağlayan ve merkeze doğru olan kuvvete merkezcil kuvvet denir (Şekil 2.27).



Şekil 2.27: Düzgün dairesel hareket yapan cisme etkiyen merkezcil kuvvet

Merkezcil kuvvet ( $F_m$ ); cismin kütlesi ( $m$ ), açısal hızın karesi ( $\omega$ ) ve dönme eksenine olan uzaklığı ( $r$ ) ile doğru orantılıdır ve Denklem (2.2) ile hesaplanır.

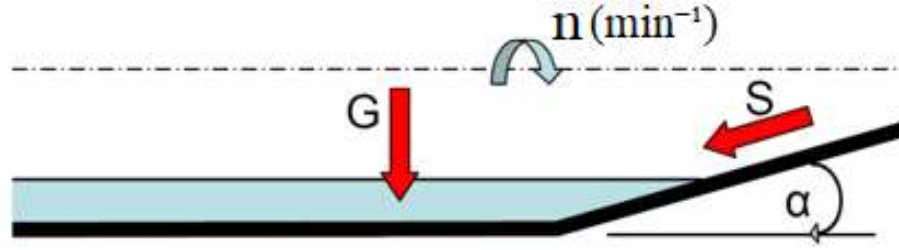
$$\vec{F}_m = m \cdot a_m = \frac{m \cdot \vec{v}^2}{r} = m \cdot \omega^2 \cdot r \quad (2.2)$$

Santrifüj için gereksinim olan ve merkezkaç kuvvetinin de bir fonksiyonu olan “ $G$ ” değeri, santrifüjün kaç kat santrifüj ivme oluşturabildiğini tespit etmek amacıyla hesaplanan bir değerdir. Denklem (2.3) kullanılarak dekantörde oluşacak  $G$  kuvveti değeri hesaplanabilir. “ $G$ ” değeri; devrin ( $n$ ) karesi ile doğru orantılı iken yerçekimi ( $g$ ) ile ters orantılıdır.

$$G = \frac{\omega^2 \cdot r}{g} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n^2}{g \cdot 60} \quad (2.3)$$

### 2.4.3 Kayma Kuvveti

Katı maddeler konik açısı ( $\alpha$ ) olan konik tambur boyunca taşındığında, katı partiküllere etkiyen bir kuvvet oluşur. Katıların taşıma yönünün tersine yönde oluşan bu kuvvete kayma kuvveti ( $S$ ) denir (Şekil 2.28).



Şekil 2.28: Konik tamburda oluşan kayma kuvveti

Kayma kuvveti Denklem (2.4)'te gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$S = G \cdot \sin \alpha \quad (2.4)$$

### 2.4.4 Susuzlaştırma Yüzey Alanı

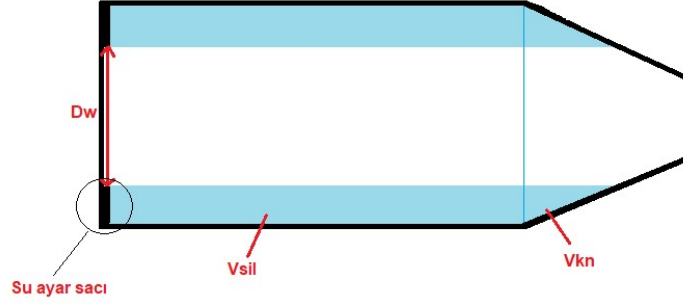
Tambur iç çapı ( $D_b$ ), dekantörlerin sınıflandırılmasında önemli bir etkindir. Tambur boy çap oranı, uygulayabildiği merkezkaç kuvveti gibi nicelikler bu değer ile hesaplanmaktadır.

Susuzlaştırma yüzeyi ( $A_{cn}$ ) dekantör tambur aksamının silindirik yüzeyinin alanıdır ve tambur iç çapı ( $D_b$ ) ile silindirik tambur boyu ( $L_{sil}$ ) ile doğru orantılıdır. Bu alan üreticiye ve uygulamaya göre değişkenlik gösterir. Susuzlaştırma yüzeyi basit olarak Denklem 2.5'teki gibi hesaplanabilir.

$$A_{cn} = \pi \cdot D_b \cdot L_{sil} \quad (2.5)$$

## 2.4.5 Tambur Hidrolik Hacmi

Tamburun hidrolik hacmi ( $V_b$ ), sıvı çıkış ayar sacları ile orantılı bir değerdir. Sıvı çıkışının ayarlandığı çapa ( $D_w$ ) kadar olan hacim olarak tanımlanabilir (Şekil 2.29). Tambur hidrolik hacmi iki kısımdan oluşmaktadır; silindirik tambur hacmi ( $V_{sil}$ ) ve konik tambur hacmi ( $V_{kn}$ ).



Şekil 2.29: Tambur hidrolik hacmi

Tamburun hidrolik hacmi Denklem (2.6), (2.7) ve (2.8) kullanılarak hesaplanabilir.

$$V_{sil} = \frac{\pi \cdot (D_b^2 - D_w^2) \cdot L_{sil}}{4} \quad (2.6)$$

$$V_{kn} = \frac{\pi \cdot (D_b - D_w)}{8 \cdot \tan(\alpha)} \cdot \left( \frac{(D_b^2 + D_b) \cdot (D_w^2 + D_w)}{3} - D_w^2 \right) \quad (2.7)$$

$$V_b = V_{sil} + V_{kn} \quad (2.8)$$

## 2.4.6 Eşdeğer Yüzey Alanı (Sigma Teorisi)

Dekantör içerisindeki bir partikülü ele alarak içerideki akışı modellenirse akışkanın aksel hızlarının ( $V_e$ ) ve radyal hızlarının ( $V_r$ ) bulunması gerektiği ortaya çıkar (Denklem (2.9) ve (2.10)).

$$V_e = \frac{Q}{\pi \cdot \left( \left( \frac{D_b}{2} \right)^2 - \left( \frac{D_w}{2} \right)^2 \right)} = \frac{L}{t_e} \quad (2.9)$$

$$V_r = V_s \cdot \frac{\omega^2 \cdot r}{g} \quad (2.10)$$

Dekantör içerisindeki akış bir boru içerisindeki akış gibi düşünüldüğünde iki faktöre bağlı olarak bir ilerleme söz konusudur. Bu faktörlerden birincisi yarıçap ikincisi ise süredir. Bu kapsamda Denklem (2.10)'un integrali alınıp Denklem (2.9) ile süre bazında eşitlendiğinde ortaya çıkacak denklem bir besleme debisi ( $Q$ ) denklemdir (Denklem (2.11)).

$$Q = \frac{\pi \cdot L \cdot \omega^2}{g} \cdot \frac{\left(\left(\frac{D_b}{2}\right)^2 - \left(\frac{D_w}{2}\right)^2\right)}{\ln\left(\frac{D_b}{D_w}\right)} \cdot V_s \quad (2.11)$$

$$Q = \Sigma \cdot V_s \quad (2.12)$$

Dekantör santrifüjlerde çoğu süspansiyonun sedimentasyon şeklinde ayrıştırılması Ambler'in Sigma Teorisi ( $\Sigma$ ) ile karakterize edilmiştir (Denklem (2.12) ve (2.13)).

$$\Sigma = \frac{\pi \cdot L \cdot \omega^2}{g} \cdot \frac{\left(\left(\frac{D_b}{2}\right)^2 - \left(\frac{D_w}{2}\right)^2\right)}{\ln\left(\frac{D_b}{D_w}\right)} \quad (2.13)$$

#### 2.4.7 Diferansiyel Hız

Tambur ve helezon arasında oluşan hız farkına diferansiyel hız denilmektedir. Diferansiyel hız ( $\Delta_n$ ); tamburun dönme devri ( $n_b$ ), şanzıman giriş mili devri ( $n_g$ ) ve şanzıman tahvil oranı ( $i$ ) kullanılarak hesaplanır (Denklem (2.14)).

$$\Delta_n = \frac{(n_b - n_g)}{i} \quad (2.14)$$

Bir siklo-planet şanzıman kullanıldığı zaman tambur helezondan daha hızlı dönerken, sikloid şanzıman kullanıldığında ise helezon tamburdan daha hızlı dönmektedir. Helezon tamburdan hızlı dönerken, sıvının sıvı çıkışlarına doğru



gidebilmesi için hızlanması gerekir. Tamburdan yavaş dönerken, sıvı tambur hızına ulaşmadan helezon etrafında dönerek sıvı çıkışlarına doğru yönelebilmektedir.

#### 2.4.8 Bekleme Zamanı

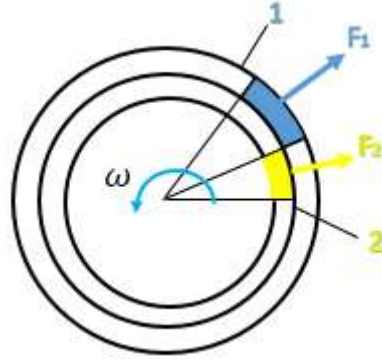
Bekleme zamanı, sıvının boşaltılmadan önce tambur içinde tutulma süresidir. Süspansiyonun içeriğindeki katı madde miktarına, sıvının viskozitesine ve eğer kullanılıyor ise polimer konsantrasyonuna bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bunun yanı sıra sıvı çıkış çapının değişkenlik göstermesi de bekleme süresini etkileyen bir diğer etmendir. Bu süreyi etkileyen bir başka değişiklik de helezon ve tambur arasındaki diferansiyel hız ( $\Delta_n$ ) farkıdır. Örneğin, helezonu tambura göre yavaşlatmak, katının daha yavaş taşınması demektir. Tambur içinde bekleme zamanı ( $T_r$ ) Denklem (2.15) kullanılarak hesaplanabilir.

$$T_r = \frac{3600 \cdot V_b}{Q} \quad (2.15)$$

#### 2.4.9 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 mukavemetli olmalıdır. Dekantör tambur aksamını ince cidarlı basınçlı kap olarak görebiliriz (Denklem (2.19)).

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 2.30). Örnek olarak zeytinyağı-su emülsiyonu ele alındığında tambur çeperine uygulanan kuvvet her iki fazın kuvvetlerinin toplamı olarak ifade edilebilir.



Şekil 2.30: Emülsiyonun tambur cidarına uyguladığı kuvvet

Şekil 2.30’da yer aldığı gibi su fazının ve yağ fazının tambur cidarına etki eden  $F_1$  ve  $F_2$  kuvvetleri Denklem (2.16) ve (2.17) ile hesaplanabilir.

$$\vec{F}_1 = m_1 \cdot \left( \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \right)^2 \cdot \vec{r}_1 \quad (2.16)$$

$$\vec{F}_2 = m_2 \cdot \left( \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \right)^2 \cdot \vec{r}_2 \quad (2.17)$$

Buradan hareketle cidara uygulanan kuvvet toplamı elde edilebilir (Denklem (2.18)).

$$\vec{F}_T = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \quad (2.18)$$

Dekantör içerisindeki ürünün çepere yaptığı basınç ( $P_b$ ) Denklem (2.16)’da bulunan  $F$  kuvvetinin içerisindeki ürün hacmi sıvı çıkış yarıçapı ve tambur iç çapı ile sınırlandırmak suretiyle hesaplanmasının silindirik yüzey alanına bölünmesiyle iyi bir yaklaşık olarak elde edilebilir (Denklem (2.19) ve (2.20)).

$$\frac{s}{D_t} \leq 0,1 \quad (2.19)$$

$$P_b = \frac{\rho_1 \cdot \omega^2}{2} \cdot \left( \frac{D_b^2 - D_w^2}{4} \right) \quad (2.20)$$

Ürünün dekantör silindirik tambur aksamındaki gerilme etkisi Denklem (2.21) ile hesaplanabilir.

$$\sigma_{t1} = \frac{\rho_1 \cdot \omega^2 \cdot (D_b^2 - D_w^2)}{16 \cdot 10^9 \cdot s} \quad (2.21)$$

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 (2.22) ile hesaplanabilir.

$$\sigma_{t2} = \frac{\rho_2 \cdot \omega^2 \cdot (D_b + s)}{4 \cdot 10^9} \quad (2.22)$$

Silindirik tambur yüzeyindeki toplam gerilme içerisindeki ürün ve tamburun kendi kütesinden kaynaklanan gerilmeler toplamı olarak ifade edilebilir (Denklem (2.23)).

$$\sigma_T = \sigma_{t1} + \sigma_{t2} \quad (2.23)$$

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 (2.24)'te olduğu gibi malzemenin akma dayanımının %66 altında ve Denklem (2.25)'te olduğu gibi kopma dayanımının %44 oranında olmalıdır (Records ve Sutherland 2001).

$$\sigma_{z1} = 0,33 \cdot R_{p0,2} \quad (2.24)$$

$$\sigma_{z2} = 0,44 \cdot R_m \quad (2.25)$$

Gerilme toplamını dayanım toplamı ile kıyaslayarak tahmin ile gerçekleşen kalınlık değerinin emniyet faktörü ile doğruluğu tespit edilir (Denklem (2.26),(2.27)).

$$S_a = \frac{\sigma_{z1}}{\sigma_T} \quad (2.26)$$

$$S_k = \frac{\sigma_{z2}}{\sigma_T} \quad (2.27)$$

#### 2.4.10 Motor Gücü Hesabı

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 taşınması ( $P_s$ ) 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 (Denklemler (2.28)).

$$P_T = P_p + P_{sür} + P_s + P_r \quad (2.28)$$

Beslenen ürünün tambur devrine ulaştırılması için gereken güç ( $P_b$ ) Denklem (2.29)'daki gibi hesaplanır.

$$P_p = Q \cdot \rho_p \cdot \omega^2 \cdot r_d \quad (2.29)$$

Eğer katı ve sıvı fazları farklı yarıçaplarda boşaltılıyorsa, bu iki güç bileşeninin ayrı ayrı hesaplanması gerekir. Sürtünme kayıpları ve akışa engel olan hava direncinin yenilmesi ( $P_{sür}$ ) için gerekli olan bileşen Denklem (2.30)'da verilmektedir.

$$P_{sür} = k_7 + k_8 \cdot \omega + k_9 \cdot \omega^2 \quad (2.30)$$

Denklem içerisinde verilen  $k_7$ ,  $k_8$  ve  $k_9$  sabit değerlerdir.  $P_{sür}$  değeri zor hesaplanan bir değerdir ve genellikle farklı tambur hızları ölçülerek harcanan güç pratik olarak hesaplanır. Helezonun ürün içerisindeki katıları katı çıkışına taşınması için gerekli olan güç Denklem (2.31)'de verilmiştir.

$$P_s = \Delta_n \cdot T \quad (2.31)$$

Tambur grubunun kütesinin ataletini yenebilmesi için gerekli olan güç ( $P_r$ ) Denklem (2.32) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$P_r = n_g \cdot T_p \quad (2.32)$$

## 2.5 Akışkanlar Dinamiği

Tasarım gereği dekantör santrifüjleri, kapladığı küçük alana göre çok yüksek verimler ihtiva eder. İçerisinde meydana gelen akışlar ise tek bir radyal veya aksel yönde de gerçekleşmez. Akış, helezon üzerinde bulunan kanatların altında delikler varsa bu deliklerin altından radyal olarak, kanatların etrafından sarmal bir yol izleyerek veya bu ikisinin kombinasyonu şeklinde davranış gösterir.

Dekantöre beslenen ürünün aksel hızı, çok kısa sürede dönme hızına dönüştürülmelidir. Bu önemli bir türbülansa neden olabilir ve ürünü tam olarak hızlandırmak için olmasa da istenilen hızda tutmak için besleme bölgesinin dışından yardım gerekir. Havuzda oluşacak sıvının dönme hızı, tamburun dönme hızına ulaşır.

### 2.5.1 Reynold's Sayısı

Boru ve kanallardaki türbülans derecesi, Reynold's sayısının değeri ile karakterize edilir. Bir boru için Reynold's sayısı Denklem (2.33)'deki gibi hesaplanabilir.

$$R_e = \frac{\rho \cdot V \cdot D_p}{\mu} \quad (2.33)$$

Dekantör içerisinde meydana gelen aksel akışı ise Denklem (2.34)'de verilen formül ile hesaplamak mümkündür.

$$V_e = \frac{Q_l}{\pi(r_3^2 - r_1^2)} \quad (2.34)$$

Bir kanalda, boru çapı ( $D_p$ ) hidrolik ortalama çap ( $d_m$ ) ile değiştirilirse Denklem (2.35) elde edilecektir.

$$d_m = \frac{4 \cdot A}{p} \quad (2.35)$$

Hidrolik ortalama çap değeri ( $d_m$ ) Denklem (2.33) içindeki  $D_p$  yerine konulduğunda Denklem (2.36) elde edilir.

$$R_e = \frac{\rho \cdot V_e \cdot d_m}{\mu} \quad (2.36)$$

Bununla birlikte dekantör içerisindeki havuzda oluşacak hidrolik ortalama çap ise Denklem (2.37)'deki formüle dönüşür.

$$d_m = \frac{4 \cdot \pi \cdot (r_3^2 - r_1^2)}{2 \cdot \pi \cdot r_3} \quad (2.37)$$

Denklem (2.37)'de bulunan hidrolik ortalama çap  $d_m$  ve Denklem (2.34)'te bulunan  $V_e$  değeri Reynold's sayısını tanımlamaktadır ve aksenal akışı göstermektedir. Dekantör içerisindeki helisel akışın hız gradyanını ( $V_h$ ) ise Denklem ((2.38), (2.39), (2.40) ve (2.41)) göstermektedir.

$$p = P + 2 \cdot (r_3 - r_1) \quad (2.38)$$

$$A = P \cdot (r_3 - r_1) \quad (2.39)$$

$$d_m = \frac{4 \cdot P \cdot (r_3 - r_1)}{P + 2 \cdot (r_3 - r_1)} \quad (2.40)$$

$$V_h = \frac{Q_l}{P \cdot (r_3 - r_1)} \quad (2.41)$$

Reynold's sayısının değeri bilindiğinde, hangi tür akış kullanılırsa kullanılsın, türbülans seviyesi tespit edilebilir. 2000'in altında bir Reynolds sayısı içeren akışlar laminar olmaktadır. Dekantör içerisinde oluşacak akışın sürekli olması bile çoğu durumda türbülanslı rejimde olduğu görülecektir. Özellikle düşük viskoziteye sahip ürünlerde sıvıların ve katıların hareketini engelleyen ciddi türbülanslar oluşabilmektedir.

### 2.5.2 Akış Eşitlikleri

Simülasyon için kullanılan denklemler geneldir ve her türlü akış simülasyonu için kullanılır. Sırasıyla süreklilik denklemi ve Navier-Stokes momentum denklemleri, Denklem (2.42) ve (2.43)'te basitleştirilmiş tensör notasyonu şeklinde verilmiştir (Andersson ve ark. 2011). Navier-Stokes denklemleri lineer momentum korunumunu tanımlarken, süreklilik denklemi etki alanındaki kütle korunumunu tanımlar.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho U_j}{\partial x_j} = 0 \quad (2.42)$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_i \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial P}{\partial x_i} \right) + \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \tau_{ji}}{\partial x_j} \right) + g_i \quad (2.43)$$

Ek olarak, toplam enerji eşitliği Denklem (2.44) kullanılarak bulunabilir.

$$\frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x_j} \left[ h U_j + \lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x_j} + \sum_n m_n h_n j_n - \tau_{kj} U_k \right] + S_h \quad (2.44)$$

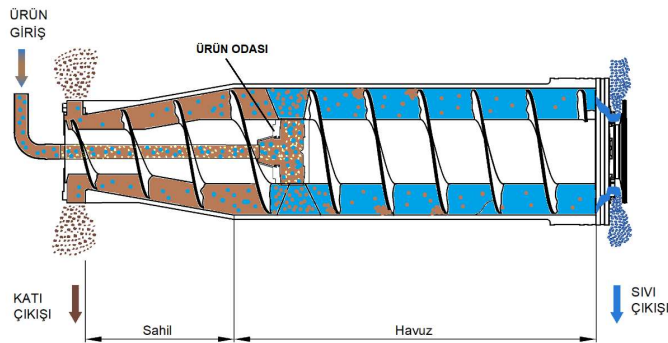
### 2.5.3 Dekantördeki İdeal Akış

İdeal akış, ürünün radyal hızını en aza indirirken tambur içerisine girmeden önce tamburun teğetsel hızına daha çok yaklaştırandır. Ürün tambur ile aynı hıza hızlandırılmazsa tambur içerisinde oluşacak sıvı havuzunda kesme kuvvetleri meydana getirir. Bu kesme kuvvetleri ürün içerisindeki katıların sıvılar ile karışmasına, yüksek titreşimlere ve çıkan fazların kalitesinin bozulmasına neden olur. Yüksek radyal hız bileşeni, beslemenin dönen havuza dalmasına, çöken katıların bozulmasına ve sıvıların berraklığının azalmasına neden olur.

Besleme odasından çıkan ürün hem çevresel hem de aksel olarak üzerinde bulunan çıkışlardan eşit şekilde dağıtılmalıdır. Eşit olmayan veya lokal olarak yalnızca belirli noktadan aşırı çıkan ürün, besleme odasında yüksek aşınma meydana getirebilir. Besleme odasının hızlandırma gücünün azalmasına çoğu zaman viskoz kayıplar neden olur. Viskoz kuvvetler ve momentumun difüzyonu hızlandırma gücüne negatif yönde etki yaparlar.

Süspansiyon tambur içerisine girmeden önce ürün odası tarafından kısmen hızlandırılır, tam hıza tamburun dönme etkisi ile ulaşır (Şekil 2.31). Bunun için gereken güç ana tahrik motoru tarafından sağlanır. Süspansiyon tambur içerisine girdiğinde tam olarak hızlandırılmamışsa dekantörün verimini etkiler. Dekantörün akış verimliliği ( $\epsilon_a$ ) Leung (1998) tarafından süspansiyonun teğetsel hızına ( $u$ ), açısız hıza ( $\omega$ ) ve helezon borusu yarıçapına ( $r_h$ ) bağlı olacak şekilde Denklem (2.45)'teki gibi tanımlanmıştır.

$$\epsilon_a = \frac{u}{\omega \cdot r_h} \quad (2.45)$$



Şekil 2.31: Süspansiyonun tambur içindeki davranışı

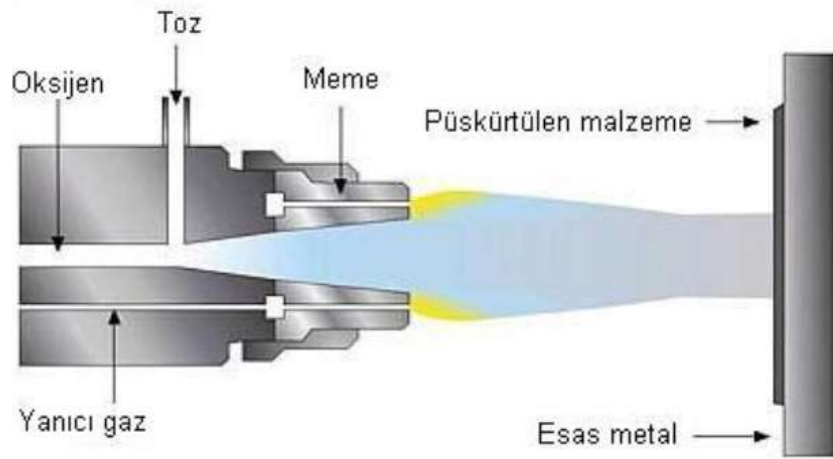


## 2.6 Dekantör Helezonu Kaplama Yöntemleri

Geçmişten günümüze kadar helezonun aşınma direncini arttırmaya yönelik çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Özellikle helezon kanatlarında uygulanan bu yöntemler; kanatların üzerine uygulanan çeşitli kaplama tozları, sinterleme yöntemi ile üretilen parçalar, seramik türevli parçalar ve çeşitli kimyasal dolgular olarak sıralayabiliriz. Bu bölümde kanatların üzerine uygulanan kaplama tozlarının yöntemleri incelenecektir.

### 2.6.1 Alev Sprey Yöntemi İle Kaplama

Alev sprej yöntemi Max Ulrich Schoop tarafından 1909 yılında patentlenen bilinen en eski termal sprej yöntemidir. Toz alev sprej ve tel alev sprej olarak iki farklı yöntemi mevcuttur. İlk önceleri kalay ve kurşun telleri asetilenin oksijenle yakılarak elde edildiği alevde kaplama yapılırken; daha sonra toz kullanımına başlanmıştır. Alev sprej yönteminde asetilen, propan veya hidrojen, oksijen ile birlikte yakılarak alev elde edilir. Düşük basınçlı oksijen yakıt kaplama sistemidir. Şekil 2.32’de toz alev sprej yöntemi şematik olarak gösterilmiştir.

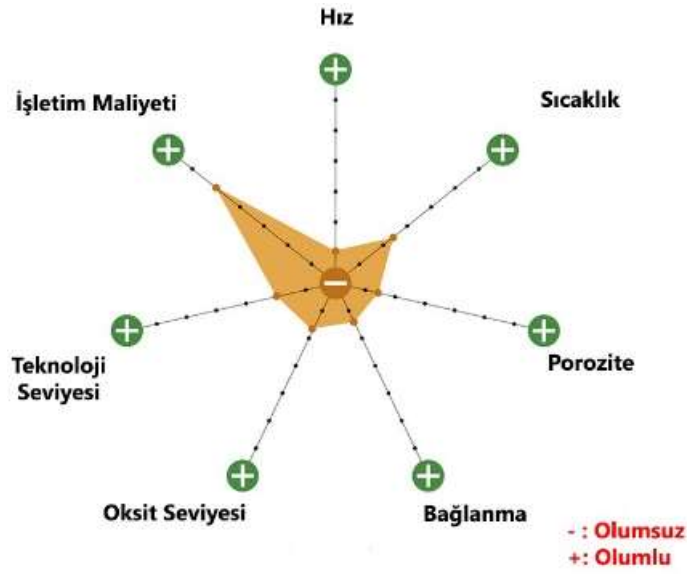


Şekil 2.32: Toz alev sprej yöntemi şematik görünüşü

Şekil 2.32’de görüleceği gibi oksijen ve yakıt gazı karışımı yakılarak ve taşıyıcı gaz yardımıyla tozu alevde taşıyarak toz eriyik veya yarı eriyik forma getirilir. Gaz basınçlarının da etkisiyle hızlandırılan parçacıklar altlık üzerine kaplanır. Burada kısıtlayıcı faktör gazların alev sıcaklığıdır. Kaplama malzemesinin cinsine göre yakıt

gazı seçilmelidir. Örneğin oksii-asetilenin alev sıcaklığı 3100 °C iken oksii-hidrojen yakıtın 2700 °C'dir. Termal sprey kaplamada amaç toz veya teli eriyik veya yarı eriyik forma getirmek olduğu için alev sıcaklığının yetersiz kaldığı durumlarda bu yöntem kullanılamamaktadır.

Alev sprey yönteminin düşük ilk yatırım maliyeti, yüksek dolgu oranı ve düşük bakım masrafı en önemli olan üstün özellikleridir. Ancak düşük bağ mukavemeti, kaplama tabakasındaki yüksek boşluk seviyesi ve düşük çalışma sıcaklığı yöntemin olumsuz olan özellikleridir (Şekil 2.33).

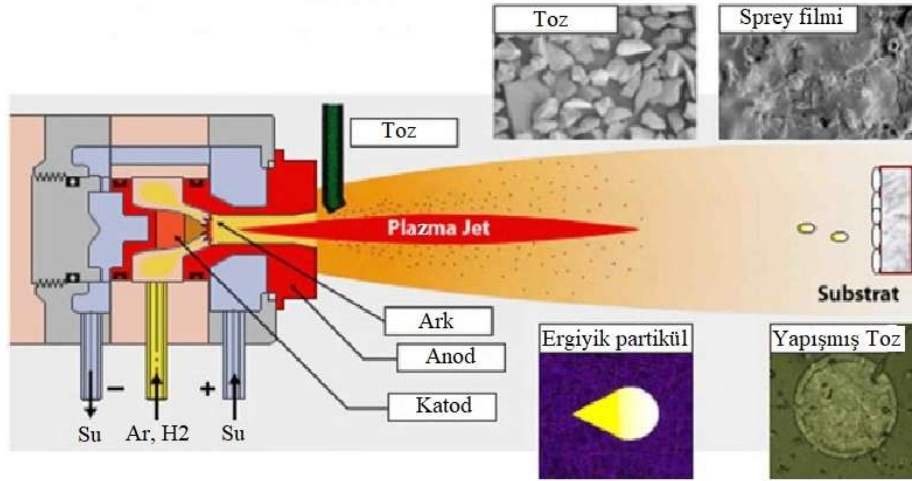


Şekil 2.33: Toz alev sprey sistemi olumlu ve olumsuz yönleri

## 2.6.2 PTA (Plazma Transfer Ark) Yöntemi İle Kaplama

Plazma transfer ark kaplama teknolojisi alev sprey ve ark spreyden sonra geliştirilmiştir. Metallerin korozyona, yüksek sıcaklık oksidasyonuna ve aşınmaya karşı dirençlerinin artırılması seramik kaplamalarla mümkündür. Bu tür kaplamaların uygulanması plazma transfer ark yöntemi ile de yapılabilmektedir. Bu yöntemle gerçekleştirilen kaplama belirtilen özellikleri sağladığı gibi, ana malzemenin üstün özelliklerinden tokluk ve şekil değiştirilebilirlik özellikleri korunmaktadır ve böylece metal ve seramiklerin üstün özelliklerinden bir arada faydalanılmaktadır.

Plazma transfer ark kaplama ergime derecesi çok yüksek kaplamalar için uygulanır. Bu yöntemde, yüksek sıcaklıktaki kimyasal kararlılık, mükemmel aşınma direnci ve korozyona karşı dayanıklılığından dolayı seramik (özellikle oksit esaslı) tozlar, metalik tozlara nazaran daha çok kullanılır (Wang ve diğ. 2000). Elektrik arkı, elektrot ve ikincil elektrot olarak davranan nozula uygulanır. Basınçlı inert gaz (argon, helyum, azot, hidrojen) ve elektrotlar arasından geçirilir. Argon genellikle ana gaz olarak seçilir, çünkü kimyasal olarak inerttir (Kaya ve diğ. 2017). Gazın entalpisi diatomik gazların, hidrojen veya azotun eklenmesiyle artırılabilir (Robert ve diğ. 1994). Çok yüksek sıcaklığa ulaşan gaz, plazma formuna dönüşür. Plazma transfer ark sistemi, güç kaynağı, gaz kaynağı, tabanca ve toz besleme ünitelerini içerir. Şekil 2.34'te plazma transfer ark yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 2.34: PTA (Plazma Transfer Ark) yöntemi şematik gösterimi

Plazma transfer ark kaplamaların yapısı yüzeye paralel tabakalar şeklindedir. Yüzeye dik bağlama kuvvetini arttırmak için altlık yüzeyi pürüzlendirilerek kaplama işlemi sonucu yüzeye tamamen paralel tabakalar yerine dalgalı tabakalar oluşturulur.

Geleneksel kaplama özellikleri 3 alt başlıkta toplanabilir:

- Plazmanın biçim ve çevreyle etkileşimi,
- Toz besleme ve sonuçta oluşan parçacıklar (sıcaklık, boyut, hız, akış),
- Yapışmış toz biçimi, yapışmış toz katmanları ve kaplama biçimi.

Plazma transfer ark yönteminde oluşan plazmanın ısı güneşin yüzey ısısından daha yüksek olup sıcaklık 19700 °C'nin üzerine kadar çıkabilir. Plazma ile üretilen bu

yüksek sıcaklık kaplama malzemesini çok yüksek sıcaklıklara ulaştırır. Bu yüksek sıcaklığa rağmen altlık çok ısıya maruz kalmaz ve mikro yapısında herhangi bir değişim olmaz. Plazma transfer ark yöntemiyle, çok yüksek plazma sıcaklığı sebebiyle bilinen tüm malzemeler kaplanabilir (seramik, metal, polimer).

Kaplama tozu plazmaya üst kısımdan taşıyıcı gaz yardımıyla beslenir. Taşıyıcı gazın debisi bu noktada önemlidir. Çünkü toz plazmaya sokulmak suretiyle eriyik veya yarı eriyik hale getirilir. Gaz debisinin az olması toz beslemenin yetersiz olmasına sebep olur toz plazma içerisine sokulamaz. Aksi durumda ise toz çok beslenir ve parçacıklar ergimeyebilir. Hatta plazmanın altına geçerek hiç kaplamaya girmeyebilir ve sonuçta sürecin verimi düşebilir.

PTA yönteminin yüksek yatırım maliyeti tek olumsuz yanı olduğu söylenebilir. Diğer türlü yüksek dolgu oranı, yüksek bağ mukavemeti, yüksek çalışma sıcaklığı yöntemin olumlu olan özellikleridir (Şekil 2.35).



Şekil 2.35: PTA sistemi olumlu ve olumsuz yönleri

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1 Materyal

Dekantörde gerçekleşen katı-sıvı ayrışımında, katı maddelerin tambur içerisinde taşınmasında rol oynayan helezonun taşıma verimliliği ve aşınma direnci önem teşkil etmektedir. Bu çalışmanın esas amacı dekantör kanatlarının aşınmaya dirençli kaplanması ve kaplama performansının incelenmesidir. Bunun için hem alev sprej yöntemi ile hem de PTA yöntemi ile kaplamalar yapılarak numuneler hazırlanmış ve numunelere ASTM G-65 standardına uygun aşınma testleri yapılmıştır. Deney numunelerine SEM, XRD ve mikro sertlik ölçümleri yapılarak sonuçları incelenmiştir.

##### 3.1.1 Numunelerin Hazırlanması

Helezon üzerindeki kanatların birebir temsili için kullanılacak olan numuneler test cihazı standartlarına da uygun olabilmesi için 6x25x50 mm boyutlarında ve X5CrNi18-10 paslanmaz çelik malzeme kalitesinde altlık olarak belirlenmiştir. Altılık malzemeye ait kimyasal kompozisyon Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

**Tablo 3.1:** X5CrNi18-10 paslanmaz çelik kimyasal komp. (Meran 2016)

Elementler	Kompozisyon (%)
Fe	-
Cr	18-20
Ni	8-10.5
Mn	2 (maks.)
Si	1 (maks.)
C	0.08 (maks.)
P	0.04 (maks.)
S	0.03 (maks.)

Kaplama yapılacak toz tipi<sup>1</sup> için 3 farklı tip belirlenmiştir ve a, b ve c olarak nitelendirilmiştir. “a” tipli toz alev püskürtme yöntemine uygun bir toz olup ~64 HRC sertlik, erozyona ve aşınmaya karşı üstün direnç özellikleri sebebiyle, makine parçaları, taşıma helezonları, mikserler, türbin kanatları ve pompa çarklarında uygulanabilirliği olduğu için tercih edilmiştir. “b” tipli toz PTA yöntemine uygun bir toz olup ~60 HRC sertlik, mükemmel aşınma direnci özelliği, taşıma helezonlarında, delici takımlarda, ağaç işçiliği takımlarında ve mikserlerde uygulanabilirliği olduğu için tercih edilmiştir. “c” tipli toz PTA yöntemine uygun bir toz olup ~58 HRC sertlik, yüksek aşınma direnci özellikleri, taşıma helezonları, koruma amaçlı kullanılan burçlar ve pompalarda uygulanabilirliği olduğu için tercih edilmiştir. Tablo 3.2’de 3 farklı numuneye ait yapılmış olan kaplama yöntemi ve kullanılan kaplama tozlarının WC içeriği belirtilmiştir. Her bir tozun içeriğinde %60 WC ihtiva etmekte ve diğer elementler ise dengeli bir şekilde dağılmış haldedir.

**Tablo 3.2:** Numunelere ait tip ve kaplama bilgileri

Numune Numarası	1	2	3	4
Yöntem	Alev Püskürtme	PTA	PTA	Altık Malzeme
Toz	a	b	c	-
WC oranı	%60	%60	%60	-

Kaplama için kullanılacak olan tozlar, öncesinde homojen karışım elde edebilmek için Şekil 3.1’de yer alan 3d mikser olarak adlandırılan ekipman ile 30 dakika boyunca karıştırılmıştır.



**Şekil 3.1:** 3d mikser toz karıştırma ekipmanı

<sup>1</sup> Toz tipi şirket gizliliği kararı gereği a, b, c şeklinde belirtilmiştir.

3d mikser ile karıştırma sonrası a, b ve c tipli tozlardan numuneler alınarak Şekil 3.2’de görüldüğü gibi görsel alınmıştır.



Şekil 3.2: a, b ve c tozlarının 3d mikser ile karıştırılması sonrası görüntüleri

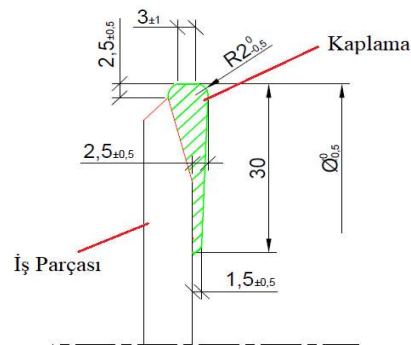
Hazırlanan a, b, c tipli tozların kimyasal kompozisyonları Tablo 3.3’te belirtilmiştir.

Tablo 3.3: Kullanılan tozların kimyasal bileşimleri (%)

Toz Tipi	C	Si	Fe	Cr	Ni	B	Diğer
a	0,1 maks.	4,5	6,2	7,4	18,7	3,2	%60 WC
b	0,2	3,6	2,0	0,5	30,9	2,8	%60 WC
c	0,7	1,6	6,5	0,8	29,0	1,4	%60 WC

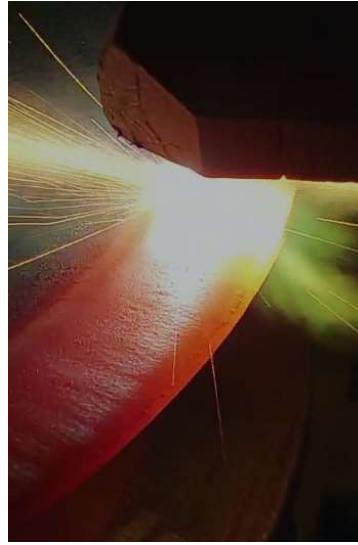
### 3.1.2 Numunelerin Kaplanması

Hazır hale getirilen altlıklar ile kaplama tozları 2 farklı kaplama yöntemi ile kaplama işlemi için hazır hale getirilmiştir. Kaplama için olması gereken ölçüler Şekil 3.3’te belirtilmiştir.



Şekil 3.3: Kaplama için uygulanacak ölçüler

“a” tipli toz alev sprej kaplama yöntemine uygun bir toz tipidir. Bu nedenle numune 1 için alev sprej yöntemi ile Tablo 3.4’te yer alan parametrelerde iş parçasına Şekil 3.4’te görüldüğü gibi nüfuz ettirilmiştir. Bu yöntem geleneksel bir yöntem olduğu için geniş parametre ağı sunmamakla birlikte kullanılan torç üzerinde yazan gaz basıncı değerlerini müsaade etmektedir. Mevcutta uygulanan kaplama işlemi için tercih edilen torç mesafesi ile toz debisi aynı kalacak şekilde numunelere kaplama işlemi uygulanmıştır.



**Şekil 3.4:** Alev sprej ile kaplanan helezon kanadı

**Tablo 3.4:** Alev sprej yöntemi ile “a” tipli tozun kaplama parametreleri

Üretim Parametreleri	Numune 1
Yakıcı Gaz Tipi	Oksijen
Yakıcı Gaz Basıncı (bar)	7
Yanıcı Gaz Tipi	Asetilen
Yanıcı Gaz Basıncı (bar)	1
Torç İle Kaplama Tabakası Ara Mesafesi (mm)	18
Toz Besleme Debisi (g/min)	40,2
Toz Tipi	a

“b” tipli toz ile “c” tipli toz PTA yöntemine uygun bir toz tipidir. Bu nedenle numune 2 ve numune 3 için PTA yöntemi ile Tablo 3.5 ve Tablo 3.6’da yer alan parametrelerde iş parçasına Şekil 3.5’te görüldüğü gibi nüfuz ettirilmiştir. Burada toz üretici firmaların teknik verilerinde yer alan uygulama parametreleri tercih edilmiştir.

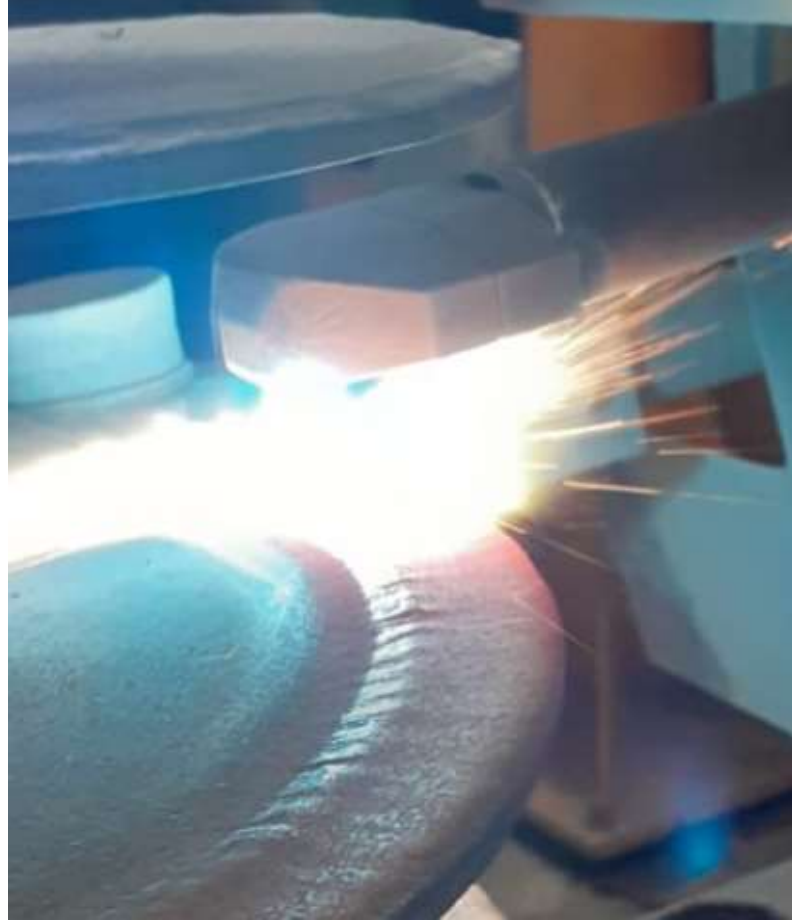


**Tablo 3.5:** PTA yöntemi ile “b” tipli tozun kaplama parametreleri

<b>Üretim Parametreleri</b>	<b>Numune 2</b>
Akım (A)	90
Gerilim (V)	20
Koruyucu Gaz Tipi	Argon
Koruyucu Gaz Debisi (l/min)	16
Plazma Gaz Tipi	Argon
Plazma Gaz Debisi (l/min)	5
İlk Kat Üretim Hızı (m/min)	0,18
Son Kat Üretim Hızı (m/min)	0,08
Torç İle Kaplama Tabakası Ara Mesafesi (mm)	8
Toz Besleme Debisi (g/min)	26
Elektrod Türü	%2 La+%98 W
Toz Tipi	b

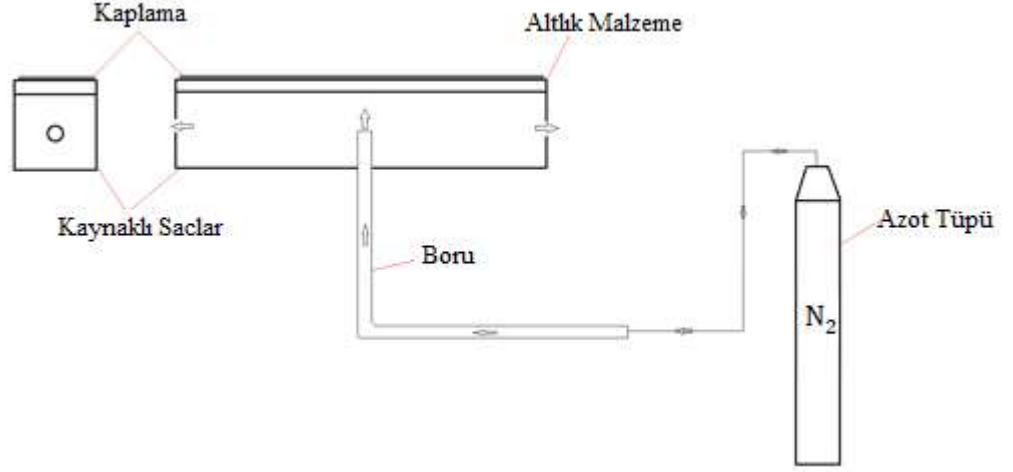
**Tablo 3.6:** PTA yöntemi ile “c” tipli tozun kaplama parametreleri

<b>Üretim Parametreleri</b>	<b>Numune 3</b>
Akım (A)	100
Gerilim (V)	20
Koruyucu Gaz Tipi	Argon
Koruyucu Gaz Debisi (l/min)	16
Plazma Gaz Tipi	Argon
Plazma Gaz Debisi (l/min)	5
İlk Kat Üretim Hızı (m/min)	0,18
Son Kat Üretim Hızı (m/min)	0,08
Torç İle Kaplama Tabakası Ara Mesafesi (mm)	8
Toz Besleme Debisi (g/min)	26
Elektrod Türü	%2 La+%98 W
Toz Tipi	c



**Şekil 3.5:** PTA ile kaplanan helezon kanadı

Yapılan bu çalışmalara ek olarak “b” tipi toz için Şekil 3.10’da yer alan şemada görüldüğü gibi 3 farklı amper değerinde PTA uygulaması ile yeniden kaplama yapılarak 3 adet daha numune hazırlanmış test için hazır hale getirilmiştir. Bir azot gazı tüpü ile 4 bar azot iş parçası altı yüzeyine kaynaklı olan boru ve saclar vasıtasıyla nüfuz ettirilmiştir. Kaynaklı sacların bulunduğu kenarlardan ise delik açılarak  $N_2$  gazının dışarı transferi sağlanmıştır. Düzeneğin hazırlanması ile kaplama anında kaynak banyosunda oluşan sıcaklık değerinin düşürülmesi hedeflenmiştir.



**Şekil 3.6:** Azot gazı beslenerek kaplama anında soğutma işleminin şematik görünümü

Azot gazı beslenerek kaplama anında soğutma işlemi için kullanılan kaplama parametreleri Tablo 3.7’de gösterildiği gibidir. Yapılan ilk çalışmaya ek olarak farklı amper değerlerinde ve sıcaklığın da etkisini gözlemleyebilmek adına Şekil 3.6’da yer alan düzenekle birlikte Tablo 3.7’deki parametreler tercih edilmiştir.

**Tablo 3.7:** Soğutmalı sis. PTA ile “b” tozunun kaplama parametreleri

Üretim Parametreleri	Numune 2.1	Numune 2.2	Numune 2.3
Akım (A)	80	90	100
Gerilim (V)	20	20	20
Koruyucu Gaz Tipi	Argon	Argon	Argon
Koruyucu Gaz Debisi (l/min)	16	16	16
Plazma Gaz Tipi	Argon	Argon	Argon
Plazma Gaz Debisi (l/min)	5	5	5
Azot Gazı Basıncı (bar)	4	4	4
Üretim Hızı (m/min)	0,18	0,18	0,18
Torç İle Kaplama Tabakası Ara Mesafesi (mm)	8	8	8
Toz Besleme Debisi (g/min)	26	26	26
Kaplama Anında Altlık Malzeme Sıcaklığı Ort. (°C)	305	312	327
Elektrod Türü	%2 La+%98 W	%2 La+%98 W	%2 La+%98 W
Toz Tipi	b	b	b

## 3.2 Yöntem

Bu çalışmada laminer akışlı ve yüksek aşınma dayanımı sağlayacak dekantör santrifüj helezonu tasarımı ve üretimi için aşağıdaki yöntemler sırasıyla izlenmiştir:

1. Kaplama için altlık numuneleri AISI 304 malzeme seçilmiştir.
2. Seçilen malzemeye uygun aşınma dayanımını belirlemek adına 6x25x50 mm ölçülerinde su jeti kullanılarak kesilen numuneler hazırlanmıştır.
3. Kaplama yöntemi için alev sprej ve PTA (plazma transfer ark) yöntemleri belirlenmiştir.
4. Kaplama yapılacak toz tipleri belirlenmiştir. Toz tipleri a, b ve c olarak paylaşılmıştır.
5. Tablo 3.4, Tablo 3.5, Tablo 3.6 ve Tablo 3.7 içerisindeki parametreler kullanılarak numunelere kaplamalar yapılmıştır.
6. Numunelere ASTM G65 standardına uygun bir şekilde aşınma testi uygulanmıştır.
7. SEM cihazı kullanılarak içyapıları incelenmiştir.
8. XRD yöntemi ile numunelerin kristallografik özellikleri ve içerdikleri fazlar belirlenmiştir.
9. Sertlik ölçme cihazı kullanılarak kaplamaların sertlik değerleri ölçülmüştür.
10. Çıkan sonuçlar tablo şeklinde sıralanmış ve yorumlanmıştır.
11. Tüm çıkan sonuçların ışığı doğrultusunda bir kaplama yöntemi ve kaplama tozu belirlenmiştir.
12. Yapılan çalışmaların endüstriye uygulanabilirliği yorumlanmıştır.
13. Son olarak da ileriye dönük yapılabilecek çalışmalara değinilmiştir.

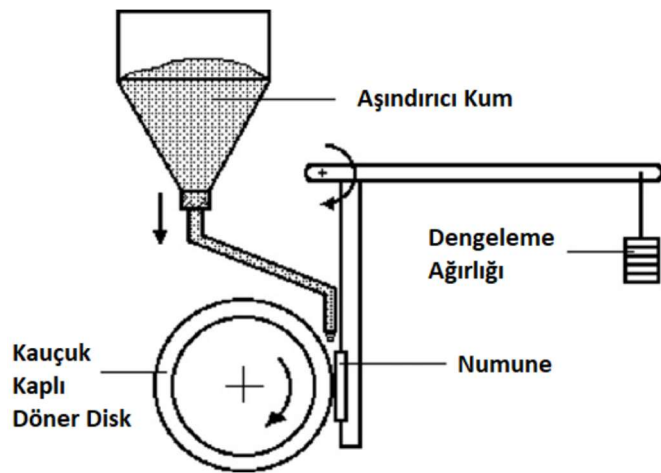
Alev sprej yöntemi ve soğutmasız PTA yöntemi kullanılarak a, b, c tipli tozlar ile kaplanan numuneler ve soğutmalı sistem PTA yöntemi kullanılarak b tipli toz ile kaplanan numuneler aşınma testine hazır hale getirilmiştir. Şekil 3.7'de 3 farklı yöntem ile kaplanan malzemelerin kaplama sonrası görselleri yer almaktadır.



Şekil 3.7: a) Alev sprey ve soğutmasız PTA ile kaplanan numuneler b) Soğutmalı PTA ile kaplanan numuneler

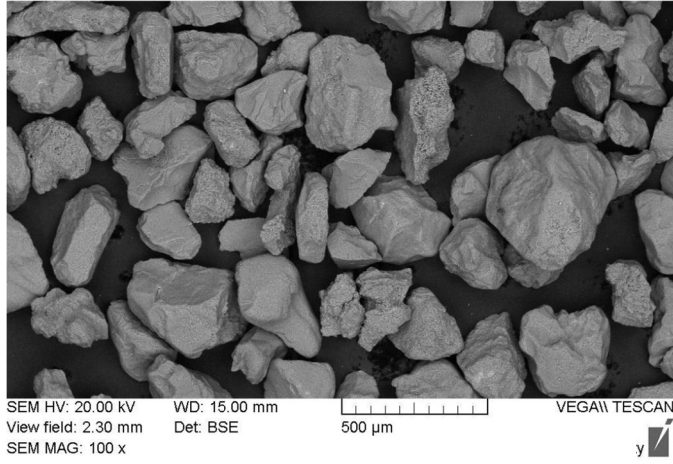
### 3.2.1 Aşınma Testi ve Kullanılan Cihazlar

Aşınma testi, Amerikan Test ve Malzeme Kuruluşu (ASTM) tarafından standartlaştırılmış ve literatüre kazandırılmış bir test yöntemidir. ASTM G65 olarak nitelendirilen bu standart kuru kum veya tekerlek aparatı kullanarak metal malzemelerin çizilme aşınmasına karşı direncini belirlemek için kullanılır. Bu test, aşınmaya maruz kalan numunenin kalitesini, dayanıklılığını ve tokluğunu belirlemede yararlıdır. ASTM G65 test yöntemi, test numunesinin belirli kalınlık miktarları veya aşınma direnci için beş farklı yöntem sunmaktadır (prosedür A, B, C, D ve E). Bu çalışmada prosedür A kullanılmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: ASTM G-65 aşınma testi şeması

Standart test numunesi ASTM G65 tarafından belirtildiği gibi kontrollü ve uygun bileşime sahip bir kumla aşındırılmıştır (Şekil 3.9).



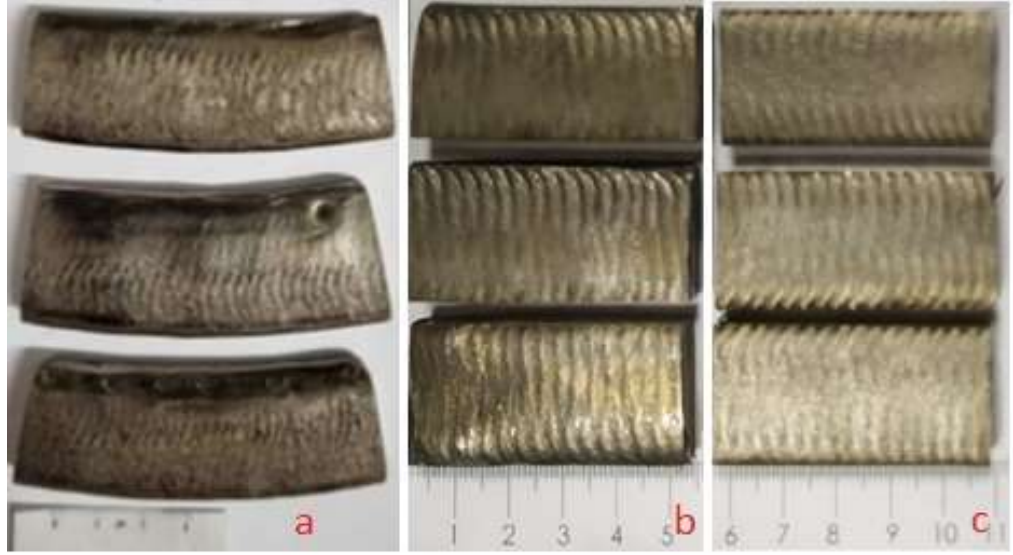
**Şekil 3.9:** Aşındırıcı kumu SEM görüntüsü

Aşınma testi öncesinde kaplanmış olan ve AISI 304 altlık olan numunelerin görselleri ise Şekil 3.10’da mevcuttur.



**Şekil 3.10:** Test öncesi altlık malzeme görüntüsü

Aşınma testi öncesinde alev spray yöntemi ve a tipli toz ile kaplanan numune 1 Şekil 3.11.a’da gösterilmiştir. Aşınma testi öncesi soğutmasız sistem PTA yöntemi ile ve hem b hem de c tipli toz ile hazırlanmış numune 2, Şekil 3.11.b’de, numune 3 ise Şekil 3.11.c’de gösterilmiştir. Yine aşınma testi öncesi soğutmalı sistem PTA yöntemi ile ve b tipli toz ile hazırlanmış numune 2.1, numune 2.2 ve numune 2.3 Şekil 3.11.d’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.11:** a) Numune 1'e ait test öncesi görüntü, b) Numune 2'ye ait test öncesi görüntü, c) Numune 3'e ait test öncesi görüntü, d) Numune 2.1, 2.2 ve 2.3'e ait test öncesi görüntü.

Test cihazı, aşınmaya dayanıklı kauçuk kaplı paslanmaz çelik döner tekerlek ile numunenin bağlanacağı bir koldan meydana gelir. Cihazın üstünde testte aşındırıcı olarak kullanılan kumun konulacağı bir hazne mevcut olup kum bu haznedeki yerçekiminin cazibesi ile tekerlekle numune arasında doğru akar. Numunenin yerleştirileceği kolun diğer kısmına 130 N'luk yük uygulayacak şekilde ağırlık asılmıştır. ASTM G65 Prosedür A şartlarının sağlanması amaçlı numuneler 30 dakika boyunca  $120 \text{ min}^{-1}$  dönen tekerlekle dakikada 300 g kum akışı ile test numuneleri abrasif aşınmaya maruz bırakılmıştır. Test cihazına ait olan parametreler Tablo 3.8'de



gösterilmiştir. Test öncesi hassas terazi ile ağırlık ölçümü 0,001 g hassasiyetinde ayarlanmış olup, test öncesi ağırlıkları ve test sonrası ağırlıkları ölçülmüştür.

**Tablo 3.8:** Aşınma test cihazı parametreleri

Test Parametreleri	
Aşındırma Mesafesi (m)	4309
Aşındırıcı Kum Tipi	F50/70
Aşındırıcı Kum Akışı (g/min)	300
Uygulanan Yük (N)	130
Disk Çapı (mm)	225
Dönme Devri ( $\text{min}^{-1}$ )	120

Söz konusu test donanımını gösterir resim Şekil 3.12.a’da gösterilmiştir. Yine test anına ait ve kauçuk kaplı diske ait resim Şekil 3.12.b’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.12:** a) Aşınma test düzeneği görüntüsü, b) Test anında alınan bir görüntü.

### 3.2.2 SEM Analizi ve Kullanılan Cihazlar

Aşınma testleri tamamlandıktan sonra kullanılan numunelerden sem analizi için Şekil 3.13’te görülen Struers Labotom 3 marka soğuk kesme cihazı ile bagalite almadan önce numune 2.1, numune 2.2 ve numune 2.3’ten parçalar kesilerek çıkarılmıştır.





**Şekil 3.13:** Struers lobotom 3 marka soğuk kesme cihazı

Kesilerek çıkarılan parçalar bagalite alma işlemi için hazır hale getirilmiş ve Şekil 3.14'te görülen Struers CitoPress-10 marka cihaza yerleştirilmiştir. Ardından cihaz içerisine siyah renkli granüller eklenmiş ve sıcak uygulama ile 6 dakika boyunca bagalite alma işlemi gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 3.14:** Struers CitoPress-10 marka bagalite alma cihazı

Bagalite alma işlemi tamamlandıktan sonra yüzey parlatması işlemi Şekil 3.15'te gösterilen Struers TegraPol-21 cihazı kullanılmıştır. Yaklaşık 20 N yük 20

dakika boyunca otomatik bir şekilde yüzey zımparalanarak parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.15: Struers TegraPol-21 marka yüzey parlatma cihazı

Bagalite alınmış ve yüzeyi parlatılmış numuneler sem analizi için hazır hale getirilmiştir. Numune 2.1 için yüzeyi parlatılan ve bagalite alınan numune Şekil 3.16.a'da, numune 2.2 için yüzeyi parlatılan ve bagalite alınan numune Şekil 3.16.b'de, numune 2.3 için yüzeyi parlatılan ve bagalite alınan numune Şekil 3.16.c'de gösterilmiştir.



Şekil 3.16: a) Numune 2.1 için bagalite alınmış ve yüzeyi parlatılması, b) Numune 2.2 için bagalite alınmış ve yüzeyi parlatılması, c) Numune 2.3 için bagalite alınmış ve yüzeyi parlatılması,

Hem bagalite alınarak yüzey parlatması yapılan hem de aşınma testine tabii tutulan numunelerin kaplama ve aşınma yüzeylerinin SEM görüntülerini elde edebilmek için Tescan Vega 2 model cihaz kullanılmıştır (Şekil 3.17).



Şekil 3.17: Tescan Vega 2 model EDX cihazı

### 3.2.3 XRD Analizi ve Kullanılan Cihazlar

Numune 2.1, numune 2.2 numune 2.3 ve kullanılan “b” tipli toz için XRD analizi yapılmıştır. Bunun için Malvern Panalytical Empyrean marka XRD cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.18.a). Her bir numune için yaklaşık olarak 40 dakika sürmüştür ve işlem anında alınan bir görüntü de Şekil 3.18.b’de gösterilmiştir.

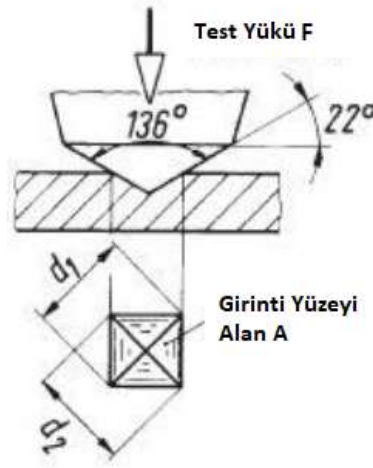


Şekil 3.18: a) Malvern Panalytical Empyrean marka XRD cihazı, b) XRD analizi anından alınan bir görüntü.

### 3.2.4 Mikro Sertlik Ölçüm Analizi ve Kullanılan Cihazlar

Bu yöntemde, numuneler üzerine tabanı kare olan piramit şeklindeki bir ucun belirli bir yük altında batırılması ve yük kaldırıldıktan sonra meydana gelen izin köşegen uzunluklarının ölçülmesi sağlanır.

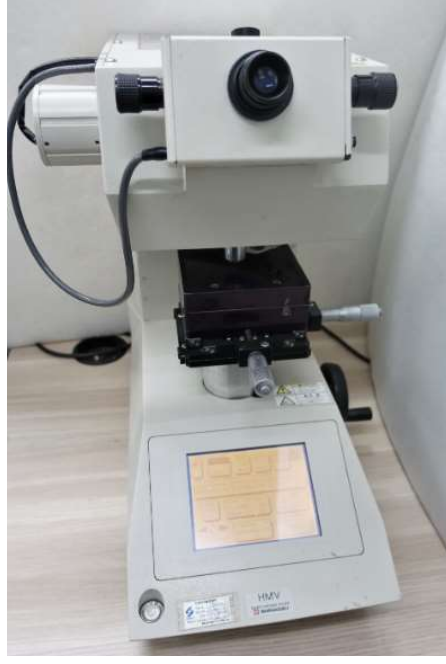
Meydana gelen iz tabanı, köşegeni  $d$  olan bir kare piramittir ve tepe açısı batıcı ucun tepe açısının aynısıdır. Vickers sertlik değeri kg olarak ifade edilen deney yükünün  $\text{mm}^2$  olarak ifade edilen iz alanına bölümüdür (Denklem (3.1)). Vickers sertlik ölçüm yönteminin şematik gösterimi Şekil 3.19’da gösterilmiştir.



Şekil 3.19: Vickers sertlik ölçüm yöntemi

$$VSD = \frac{2F \sin\left(\frac{\beta}{2}\right)}{d^2} = \frac{1.8544F}{d^2} \quad (3.1)$$

Sertlik ölçümü için numuneler üzerinde 2000 gram (g) yük 15 saniye uygulanarak Şekil 3.20’de görülen Shimadzu marka HMV-2 model mikro sertlik ölçüm cihazı ile Vickers sertlik değerleri elde edilmiştir.



**Şekil 3.20:** Shimadzu marka HMV-2 model mikro sertlik ölçüm cihazı

## 4. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN BULGULARI

### 4.1.1 Aşınma Testleri ve Bulguları

Bölüm 3 içerisindeki Tablo 3.8’de verilen parametreler ile birlikte ASTM G-65 standardına uygun bir şekilde gerçekleştirilen ve her numuneye ait aşınma izlerinin yer aldığı görüntüler Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Test sonrası AISI 304 altlık malzeme görüntüsü



Şekil 4.2: d) Numune 1’e ait test sonrası görüntü, e) Numune 2’ye ait test sonrası görüntü, f) Numune 3’e ait test sonrası görüntü, g) Numune 2.1, 2.2 ve 2.3’e ait test sonrası görüntü

İlk yapılan çalışmada (numune 1, numune 2 ve numune 3) her numune için 3'er adet olarak, son yapılan çalışmada (numune 2.1, numune 2.2 ve numune 2.3) ise 1'er adet olarak aşınma testi cihazında aşınmaların ağırlıkça değerleri tespit edilmiştir. Tablo 4.1 içerisinde test öncesi numunelere ait gram (g) cinsinden kütle değerler, test sonrası numunelere ait gram (g) cinsinden kütle değerleri ve bu kütlelerin farkından oluşan gram (g) cinsinden kütle farkı değerleri verilmiştir.

**Tablo 4.1:** Aşınma testi kütle değişimi

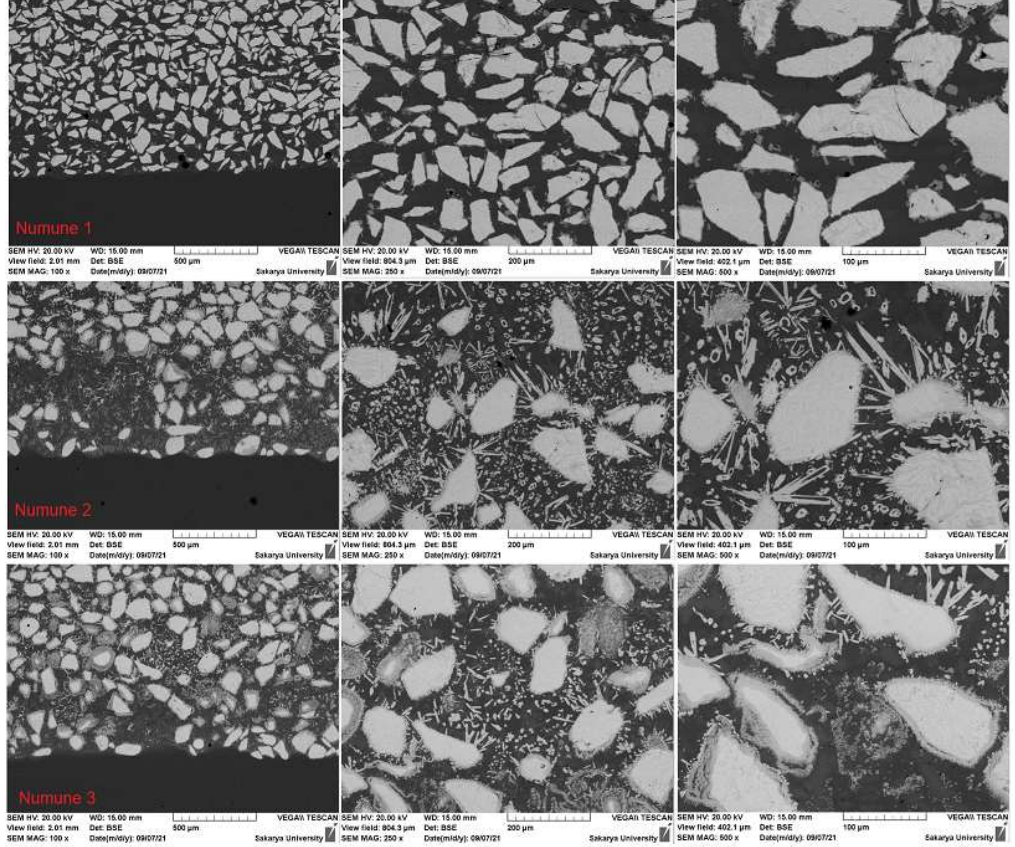
Numune	İlk Kütle (g) $W_0$	Son Kütle (g) $W_1$	Kütle Farkı (g) $\Delta W$	Ortalama (g) $\Delta W$
AISI 304	57,490	56,250	1,240	1,240
Numune 1 (Alev Sprey a tipli toz)	98,894	98,689	0,205	0,168
	99,260	99,125	0,135	
	92,720	92,557	0,163	
Numune 2 (PTA b tipli toz)	79,830	79,280	0,550	0,475
	82,540	82,080	0,460	
	81,760	81,346	0,414	
Numune 3 (PTA c tipli toz)	80,580	80,340	0,240	0,207
	81,390	81,200	0,190	
	84,680	84,490	0,190	
Numune 2.1 (PTA b tipli toz 80 A)	65,182	64,860	0,321	0,321
Numune 2.2 (PTA b tipli toz 90 A)	76,501	76,162	0,339	0,339
Numune 2.3 (PTA b tipli toz 100 A)	73,762	73,153	0,608	0,608

#### 4.1.2 Mikro Yapı Analizleri ve Bulguları

Aşınma testi sonrası Tescan Vega 2 model taramalı elektron mikroskobu ile SEM analizleri gerçekleştirilmiştir. Hem alev püskürtme yöntemi hem de soğutmasız sistem PTA yöntemi ile kaplanan numunelere ait numune 1, numune 2 ve numune 3'ün SEM analizi görüntüleri sırasıyla alt alta olacak şekilde ve soldan sağa doğru



büyütülerek Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Numune 1'de kaplamada oluşan karbür dağılımı homojen iken numune 2 ve numune 3'te homojen olmadığı görülebilmektedir. Numune 2 için "b" tipli toz kullanılmıştı ve en kötü karbür dağılımı da yine bu numunede mevcuttur. Ek olarak PTA ile yapılan tüm kaplamalarda karbür tanelerinde yanma ve saçaklanma meydana gelmiştir.

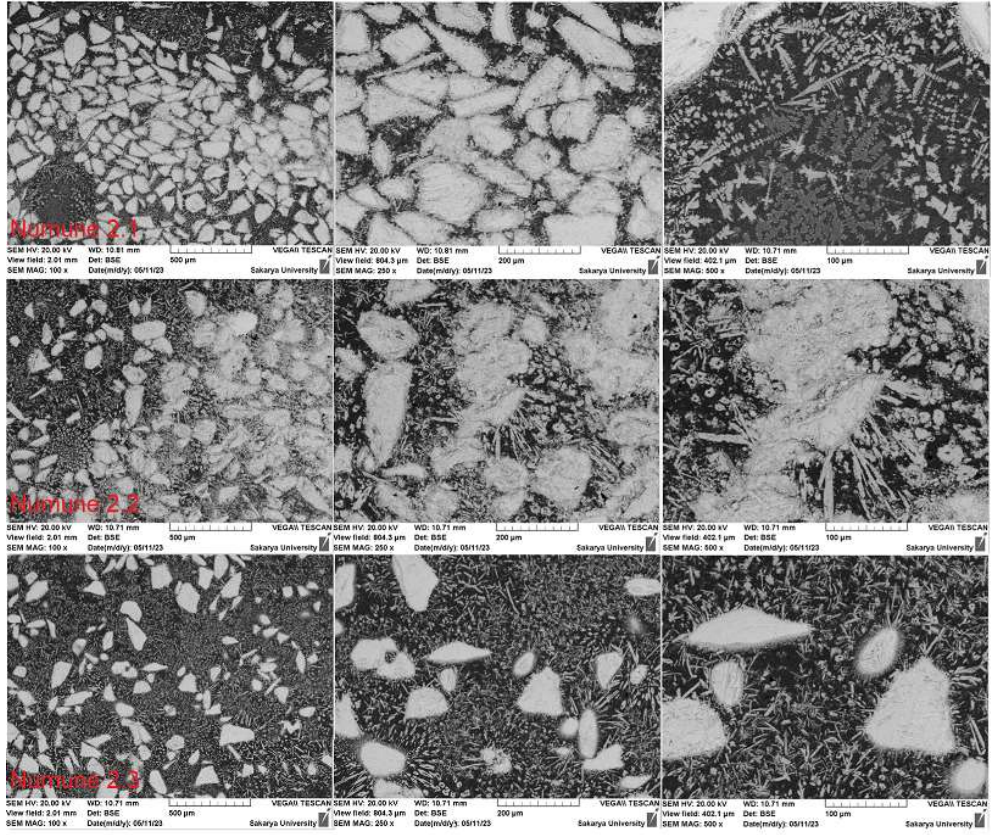


Şekil 4.3: Numune 1, numune 2 ve numune 3'e ait SEM görüntüleri

İkinci çalışmada yapılan soğutmalı sistem PTA yöntemi ile kaplanan numunelere ait numune 2.1, numune 2.2 ve numune 2.3'ün SEM analizi görüntüleri sırasıyla alt alta olacak şekilde ve soldan sağa doğru büyütülerek Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Burada yine tüm numunelerde karbür dağılımları homojen olarak gözükmemektedir. Tüm numunelerde karbürlerin etrafında dentritik yapılar meydana gelmiştir. Aynı zamanda soğuma hızı sayesinde hızlı katılaşmaların olduğu söylenebilir. Numunelerde amper değeri 2.1'den 2.3'e doğru artarak gitmiştir ve bu da karbürlerde yanmayı hızlandırmıştır ve bununla birlikte dentritik yapılar da çoğalmıştır. Aslında numune 2.3'te dentritik yapıların olmadığı gözükse de karbürler

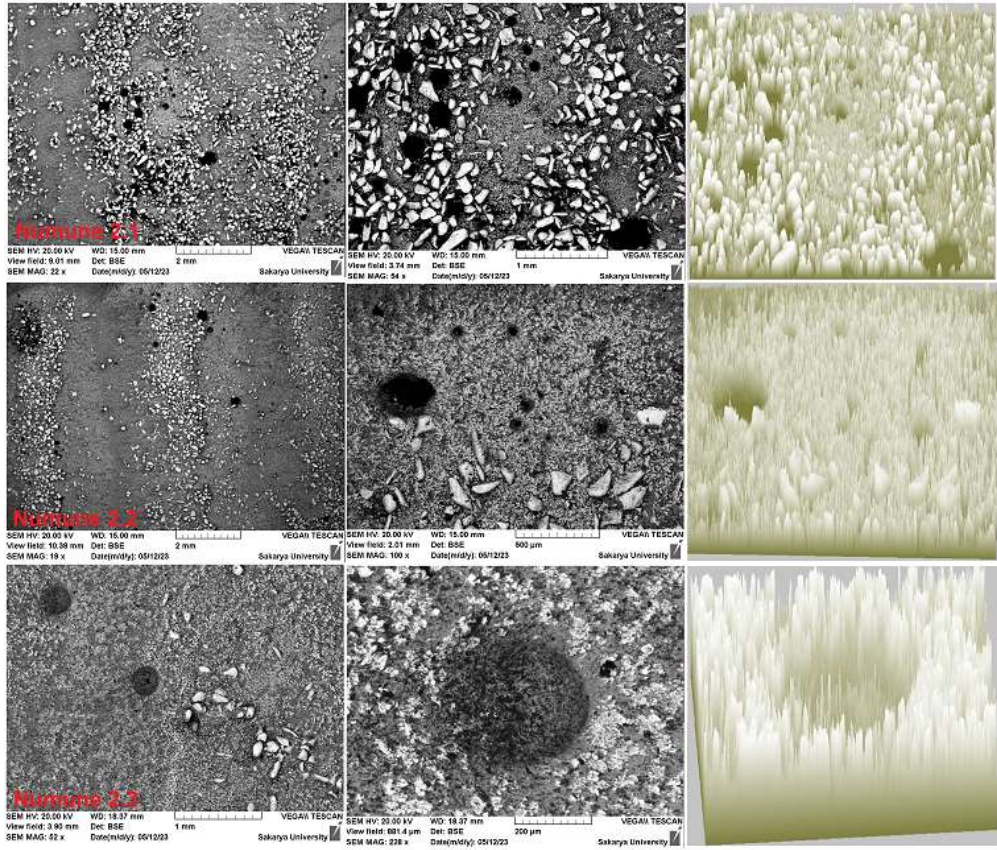


çözünmüş ve matris içerisine dağılmış diyebiliriz ve bakıldığında matris içerisinde kılcal yapı haline bürünmüş olarak gözükmektedir.



Şekil 4.4: Numune 2.1, numune 2.2 ve numune 2.3'e ait SEM görüntüleri

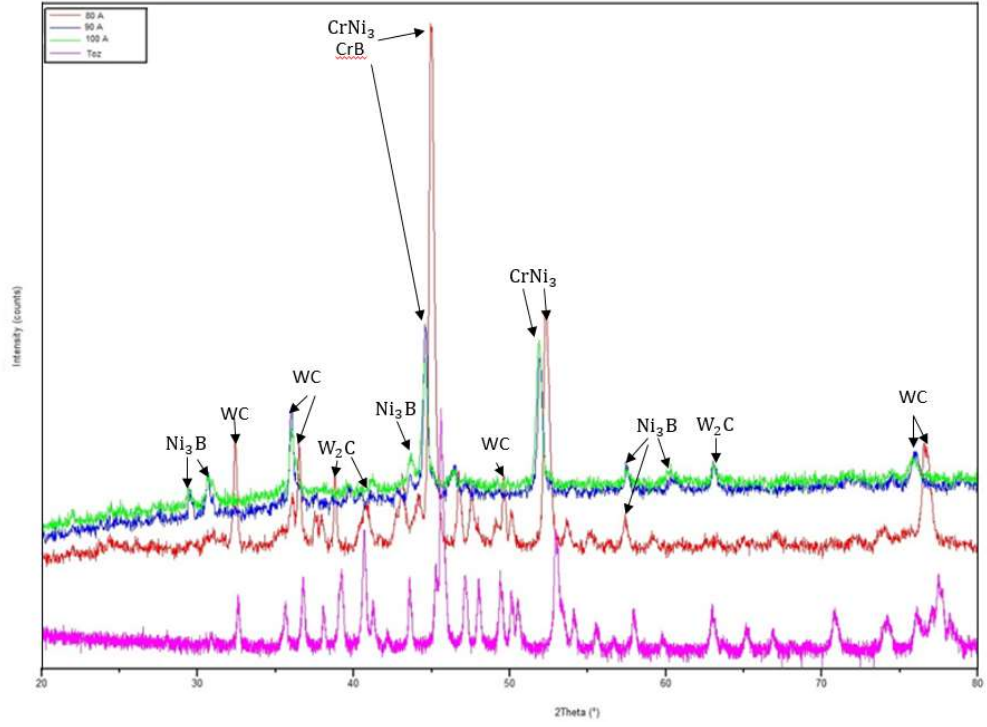
Soğutmalı sistem ile kaplanan numunelerden aşınma testi sonrasında oluşan ve Şekil 4.2.g'de gösterilen aşınma yüzeylerinin de SEM görüntüleri alınmıştır. Bu yüzeylere ait SEM görüntüleri sırasıyla alt alta olacak şekilde ve soldan sağa doğru büyütülerek Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Burada da net bir şekilde numune 2.3'te yüksek sıcaklığın oluşturduğu karbür çözünmesini ve matris içerisine dağılımını görebilmekteyiz. Bu durum sıcaklığın azalmasına binaen numune 2.2'de az numune 2.1'de ise daha az olacak şekilde görülmektedir ve her numunede poroziteler mevcuttur.



Şekil 4.5: Numune 2.1, 2.2 ve 2.3'e ait SEM ve yüzeylerin 3d görüntüleri

### 4.1.3 XRD Analizleri ve Bulguları

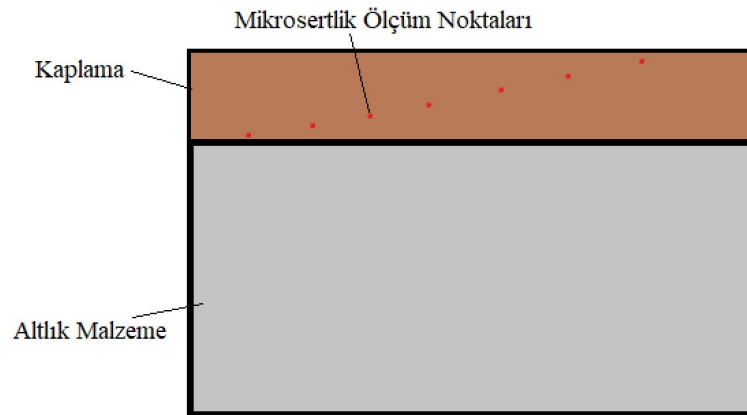
Kaplama yapılan numunelerden soğutmalı sistem PTA ile olan numuneler numune 2.1, numune 2.2, numune 2.3 ve toz  $20^\circ$  ile  $80^\circ$  arasında olacak şekilde her bir numune için yaklaşık 40 dakika sürede XRD analizi işlemleri uygulanmıştır. Şekil 4.6 içerisinde  $2\theta$  açısı ve yoğunluk dikkate alınarak gösterilmiştir. Kaplama sonrası matris içerisinde Cr, Ni, B gibi fazlar ile birlikte karbür, bileşik oluşturmuştur. Literatüre göre B, Ni ile bağlanarak  $\text{Ni}_3\text{B}$  oluşturur (Cockeram, 2022). EDS çıktılarına göre orijinal toz içerisinde NiBSi fazları olmamasına rağmen PTA sonrasında W ile birlikte çeşitli fazlar oluşturduğunu göstermektedir. Bu durum, PTA sırasında  $\text{W}_2\text{C}/\text{WC}$ 'nin kısmi ayrışma sürecinin gerçekleştiğini açıkça göstermektedir. Yine literatüre göre oluşan faz bölgelerinin yapıda yer alan dentritik yapılar olduğu söylenebilir (Mendez ve ark. 2014).



Şekil 4.6: Toz ve numunelerin XRD analizi bulguları

#### 4.1.4 Sertlik Ölçümleri ve Bulguları

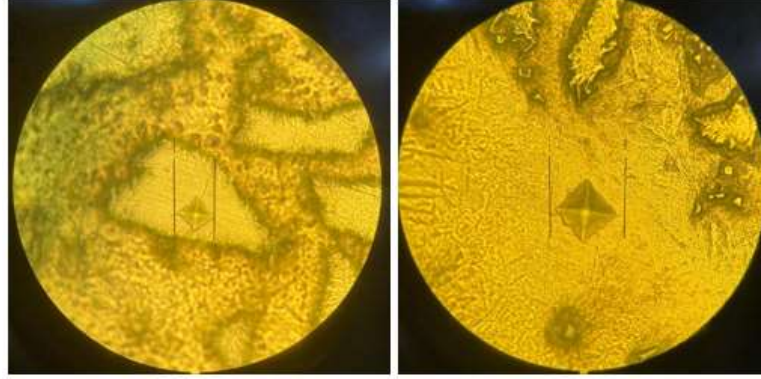
Sertlik ölçümü için numuneler üzerinde 2000 gram (g) yük 15 saniye uygulanarak Shimadzu marka HMV-2 model sertlik ölçüm cihazı ile Vickers mikrosertlik değerleri elde edilmiştir. Numunelerin sertlik ölçümleri 0,500 µm aralıklarla 7 ayrı noktadan Şekil 4.7’de gösterildiği gibi yapılmıştır.



Şekil 4.7: Numuneler üzerinde sertlik ölçüm noktaları



Malzemenin Vickers mikrosertliği, bu izin büyüklüğü ile ters orantılıdır. Şekil 4.8'de numune 2.1'in hem karbür tanesi üzerinden hem de ikincil fazın bulunduğu bölgeden mikrosertlik test sonucu yüzeyde oluşan izlerin görünümü verilmiştir.



Şekil 4.8: Numune 2.1'e ait sertlik yüzey izi.

Her bir numune için 7 farklı noktadan sertlik değerleri alındıktan sonra en yüksek değer ile en düşük değer çıkarılarak kalan sertlik değerlerinin ortalaması nihai sertlik değeri olarak yazılmıştır. Tablo 4.2'de tüm numunelerin Vickers mikrosertlik değerleri belirtilmiştir. En yüksek sertlik değeri olarak alev sprej yöntemi ile yapılan numunede olduğu görülmektedir. Sertlik değerinin yüksek çıkması doğru orantılı olarak da aşınma direncinin de yüksek çıkmasını sağlamıştır. Numune 2 için yapılan soğutma sisteminin az da olsa sertlik değerinde yükselmeye ve yine ilk çalışmaya göre daha iyi aşınma direnci göstermesini sağlamış diyebiliriz. Aynı şekilde sıcaklık artması ile birlikte matrisin yumuşadığı ve doğru orantılı bir şekilde de aşınmanın yüksek çıktığı görülmektedir.

Tablo 4.2: Numunelerin Vickers mikrosertlik değerleri

	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 2.1	Numune 2.2	Numune 2.3
İzler	HV <sub>2</sub>	HV <sub>2</sub>	HV <sub>2</sub>	HV <sub>2</sub>	HV <sub>2</sub>	HV <sub>2</sub>
1	957	461	701	712	507	961
2	936	512	608	830	690	794
3	959	816	532	608	584	554
4	1195	648	716	682	922	600
5	764	495	678	394	624	610
6	1037	500	666	792	776	544
7	1120	608	703	590	642	526
Ortalama	1001,8	552,6	671,8	676,8	663,2	620,4

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada dekantör santrifüj makinesinin bir alt komponenti olan helezonun aşınma direncini arttırmak için uygun kaplama yöntemi ve tozu belirlenmiştir. Bunun için bir dizi testler yapılmış ve yapılan testler sonucu olarak da;

- Alev sprej yöntemi ile kaplanan numunelerin içyapıları incelendiğinde segregasyon ve yığılma yoktur, kullanılan teknik ve tozun doğası gereği irili ufaklı keskin köşeye sahip karbürler meydana gelmiştir, karbür dağılımı açısından da daha homejen bir yapıya sahiptir. Bu nedenle alev sprej yönteminin aşınma direnci PTA yöntemine göre daha iyi çıkmıştır (Tablo 4.1).
- Numune 2.1, numune 2.2 ve numune 2.3 için SEM görüntüleri incelendiğinde karbür dağılımının homojen olmadığı görülmüştür. Dolayısı ile bu durum sonuçların tutarsız çıkmasına sebep olabilir (Şekil 4.4).
- “b” tozu ile PTA kullanılarak 80 A’de üretilen numunenin 90 A ve 100 A ile üretilen numunelere göre hem aşınma direnci olarak hem de mikrovickers sertlik değeri olarak daha iyi çıktığı görülmüştür (Tablo 4.1 ve Tablo 4.2).
- Amper arttıkça sertlik ve aşınma direncinde düşme görülmüştür. Bunun nedeninin amper arttıkça banyo sıcaklığının yükselmesi olduğu düşünülmektedir. Banyo sıcaklığı yükseldiğinden dolayı karbürlerde dentritik yapıda saçaklanmalar meydana gelmekte bu da karbürün yanmasına sebep olduğu için hem aşınma direncinde hem de sertlik değerinde düşmeye sebep olduğu düşünülmektedir (Tablo 4.1).
- Numune 2.3’te oluşan karbür etrafındaki dentritik yapılar numune 2.1 ve numune 2.2’ye göre daha az gözükse de karbürler çözünerek matris içerisine dağılmış ve kılcal hale geldiği görülmüştür (Şekil 4.4).
- Amper artışı ile birlikte sıcaklık artışı meydana gelmiş ve bunun sayesinde de numune 2.2 (90 A) ve numune 2.3 (100 A)’te çözünmeler meydana gelmiştir. Numune 2.1 (80 A), numune 2.2 (90 A) ve numune 2.3 (100 A)’te amorf fazlar tespit edilmemiş ve tüm yapı kristalindir (Şekil 4.6).
- PTA ile yapılan kaplamalarda poroziteler tespit edilmiştir (Şekil 4.5).

Görüldüğü üzere PTA sistemine entegre edilen soğutma sistemi yapılan kaplama performansına bir etkisi olmuştur. Bu nedenle kullanılan PTA

mekanizmasına daha iyi aşınma performansı alabilmek adına helezon kanadının üst kısmından kaplama yaparken aynı anda da kanat altından gaz soğutma sistemine sahip bir torç tasarlanarak mekanizmaya adaptasyonu yapılmalı ve süreç iyileştirilmelidir.

Tüm bu çalışmaların ışığında ileride farklı katkılara sahip toz tipleri ile (özellikle seramik katkı) testler gerçekleştirilebilir. Kullanılan PTA sisteminin soğutma yapısı iyileştirilmesi için sıvı N<sub>2</sub> veya CO<sub>2</sub> soğutma sistemli yapılar kullanılarak dentritik yapıların azaltılması için çalışmalar yürütülebilir.

Dekantör santrifüj helezonu modellenerek aşınmanın etkisi ile oluşabilecek farklı kanat çaplarında taşıma performansı simüle edilebilir ve kaplama performansının akış performansına etkisi araştırılabilir.

Son olarak da yine PTA ve alev sprej yöntemi ile kaplama numuneleri hazırlanarak laboratuvar ortamında standartlara uygun korozyon testine tabii tutulup koroziyon aşınmalar araştırılabilir.

## 6. KAYNAKLAR

Geankoplis C. J., “Taşınma Süreçleri ve Ayırma Süreci İlkeleri”, Baskı 4, (2011).

Genck, W. J., Dickey, D. S., Baczek, F. A., Bedell, D. C., Brown, K., Chen, W., Ellis, D. E., Harriott, P., Li, W., McGillicuddy, J. K., McNulty, T. P., Oldshue, J. Y., Schoenbrunn, F., Smith, J. C., Taylor, D. C., Wells, D. R., “Perry's Chemical Engineers' Handbook”, 8th Edition, The McGraw-Hill Companies, Inc., United States of America, (2008).

Records, A., & Sutherland, K., “Decanter Centrifuge Handbook”, 1st Edition, Elsevier Science Ltd, United Kingdom, (2001).

Wuxi Zhongda Centrifugal Machinery Co., Ltd., “Products-Products”, (2013).

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

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

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

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

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

Leung, W. W. F., and Shapiro, A. H., “Efficient Double-Disc Accelerator For Continuous-Feed Centrifuges”, Filtration & Separation, 33(9), (1996).

Bell, G. R. A., Symons, D. D. and Pearse, J. R., “Mathematical Model For Solids Transport Power In A Decanter Centrifuge”, Chem. Eng. Sci., 107: 114–122, (2014).

Hongbin Liu, Pingying Li, Huina Xiao, Weitao Mu.: “The Fluid Solid Coupling Analysis Of Screw Conveyor In Drilling Fluid Centrifuge Based On ANSYS”, Petroleum, (2015).

Sarı, G., Akış, A. A., Üğüdücü, G., “Santrifüj Dekantör Helezonunun Sonlu Elemanlar Analizi”, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 9 (3), 1264-1272, (2020).

Krishna, B. V., Misra, V. N., Mukherjee, P. S., Sharma, P., “Microstructure And Properties Of Flame Sprayed Tungsten Carbide Coatings”, International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, 20, 355-374, (2022).

Gür, A. K., Kaya, S., “PTA Kaplamalarda Abrazif Aşınma Davranışının Değerlendirilmesinde; Bir Taguchi Yaklaşımı”, Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi, 29(2), 195-202, (2017).

Zhang, S., Wang, S., Wu, C. L., Zhang, C. H., Guan, M., Tan, J. Z., “Cavitation Erosion And Erosion-Corrosion Resistance Of Austenitic Stainless Steel By Plasma Transferred Arc Welding”, Engineering Failure Analysis, (2017).

Tamborrino, R., D'Accardi, E., Palumbo, D., Galietti, U., “A Thermographic Procedure For The Measurement Of The Tungsten Carbide Coating Thickness”, Infrared Physics & Technology, 98, 114-120, (2019).

Kaymaz, İ., “Yuvarlanmalı Yataklar III: Yuvarlanmalı Yatakların Montajı ve Bakımı”, Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisli Bölümü, Atatürk Üniversitesi, (2016).

Schoop, M. U., “Improvements In Or Connected With The Coating Of Surfaces With Metal, Applicable Also For Soldering Or Uniting Metals And Other Metals”, UK Patent: GB191005712A, (1909).

Wang, Y., Jiang, S., Wang, M., Wang, S., Xiao, T.D., Strutt, P.R., “Abrasive Wear Characteristic Of Plasma Sprayed Nanostructured Alumina/Titania Coatings”, Wear, 237, 176–185, (2000).

Kaya, Ö. A., Çakır, K., Bozkurt, Y., “Plazma Püskürtme Yöntemiyle Çelik Levha Üzerine Farklı Alaşımların Kaplanması”, International Journal of Engineering Reserach and Development, 9, 3, (2017).

Robert, C., Tucker, Jr., ASM Handbook, Volume 5: Surface Engineering C.M. Cotell, J.A. Sprague, and F.A. Smidt, Jr., editors,( p 497-509), Termal Spray Coatings, , Praxair Surface Technologies, Inc.



Leung, W. W. F., “Industrial Centrifugation Technology”, McGraw-Hill, New York, (1998).

Andersson, B., Andersson, R., Håkansson, L., Mortensen, M., Sudiyo, R., Van Wachem, B., “Computational Fluid Dynamics for Engineers”, Cambridge University Press, (2011).

Mendez P. F., Barnes N., Bell K., Borle S. D., Gajapathi S. S., Guest S. D., Izadi H., Gol A. K., Wood G., J. Manufacturing Process 16, 4, (2014).

Cockeram B. V., Metal Mater. Trans. A 33A, 33, (2002).

Yüksel M., Meran C., “Malzeme Bilgisi”, MMO/545/3, Ankara, (2016).