



MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MAK4072 ÖZEL LABORATUVAR DERS KİTABI (MEKANİK)

	Deney Adı	Sayfa
Mekanik 1	Basit Mesnetli Kirişte Sehim Deneyi	2-7
Mekanik 2	Gerinim Ölçüm Deneyi	8-14
Konstrüksiyon 1	Kayış Kasnak Mekanizmalarında Sürtünme Katsayısının Belirlenmesi Deneyi	15-17
Konstrüksiyon 2	Vida Veriminin Teorik ve Deneysel Olarak Belirlenmesi Deneyi	18-20
Konstrüksiyon 3	Gerilme Hipotezlerinin Deneysel Olarak İncelenmesi Deneyi	21-28
İmal 1	Cnc Takım Tezgâhlarının Tanıtımı ve Programlanması Deneyi	29-37
İmal 2	Talaşsız Şekillendirme Deneyi	38-49
İmal 3	Kaynak Tekniği Deneyi	50-66
İmal 4	Basınçlı Döküm Yönteminde Tasarım Kriterleri Deneyi	67-78
Makine Teorisi 1	Dinamik Absorber Tasarımı Deneyi	79-91
Makine Teorisi 2	Çift Tank Su Seviyesi Kontrolü Deneyi	92-105
Makine Teorisi 2	PV ve PIV Kontrolcüler ile Motor Konum Kontrolü Deneyi	106-115
	Laboratuvar Telafi Onay Formu	116

Mekanik	Deney 1: Mekanik Laboratuvarı (A Blok Zemin Kat – AZ 12) Deney 2: Mekanik Laboratuvarı (A Blok Zemin Kat – AZ 12) Deney 3: Mekanik Laboratuvarı (A Blok Zemin Kat – AZ 12)
Konstrüksiyon	Deney 1: Konstrüksiyon Laboratuvarı (A Blok Zemin Kat – AZ 11) Deney 2: Konstrüksiyon Laboratuvarı (A Blok Zemin Kat – AZ 11)
İmal	Deney 1: E3 Blok Deney 2: E3 Blok Deney 3: E3 Blok Deney 4: E3 Blok
Makine Teorisi	Deney 1: Makine Dinamiği Laboratuvarı (A Blok 1. Kat – A109) Deney 2: Otomatik Kontrol Laboratuvarı (Yemekhane Binası Yanı) Deney 3: Otomatik Kontrol Laboratuvarı (Yemekhane Binası Yanı)



BAHAR DÖNEMİ MEKANİK 1 DENEYİ

1. DENEY ADI: Basit mesnetli kirişte sehim deneyi

2. DENEYİN AMACI: Farklı malzeme ve kalınlığa sahip kirişlerin uygulanan yükün kirişin eğilme miktarına oranı olan rijitlik değerini gösterilmesi. Kiriş kalınlığının rijitlikle orantılı olduğunun ispatlanması. Rijitlik, malzeme özellikleri ve kiriş boyutları arasındaki ilişkinin ortaya konması.

Tablo 1. Deney esnasında kullanılan malzemeler ve elastisite modülleri.

MALZEME	ELASTİSİTE MODÜLÜ
Yumuşak Çelik	210 GPa
Pirinç	105 GPa
Alüminyum	76 GPa

3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR

Normal Gerilme (σ):

Kesit düzlemine dik olan kuvvet yoğunluğuna o noktadaki normal gerilme adı verilir. Yükün, uygulandığı alana bölünmesiyle elde edilir. Aşağıdaki bağıntıyla bulunur:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Bir kesit yüzeyinden dışa doğru etkiyen normal gerilmelere çekme gerilmesi denir. Malzemenin uzamasıyla meydana gelir. İşareti pozitiftir. Bir kesit yüzeyinden içeri doğru olan normal gerilmelere basma gerilmesi denir. Malzemenin sıkıştırılmasıyla oluşur. İşareti negatiftir.

Birim Şekil Değiştirme (ϵ):

Birim Şekil Değiştirme, malzemenin boyundaki değişim miktarının (gerilmeden dolayı oluşan şekil değişimi) ilk boyına bölünmesiyle bulunur.

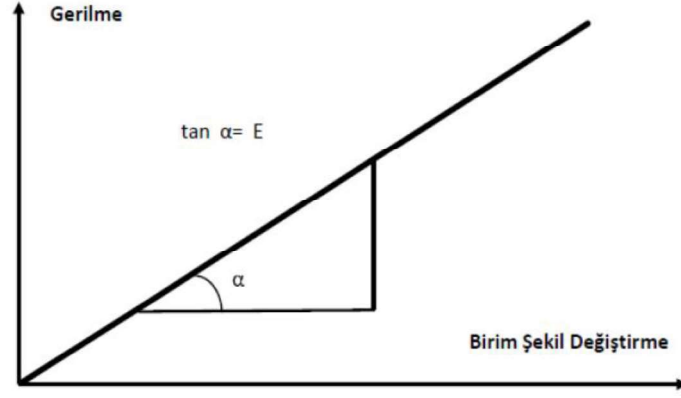
$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (2)$$

Birim kısalma, malzemenin sıkıştırılmasıyla oluşur. İşareti negatiftir. Birim uzama, malzemenin uzamasıyla meydana gelir. İşareti pozitiftir.

Elastisite Modülü (E):

Elastik sınır içerisinde malzemede oluşan gerilmenin birim şekil değiştirme oranına denir. İngiliz fizikçi Thomas Young tarafından keşfedilmiştir. Malzemenin rijitliğinin bir ölçüsüdür. (E ne kadar büyükse malzeme o kadar rijittir).

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad (3)$$



Şekil 1. Gerilme-birim şekil değiştirme diyagramı

Eğilme Deneyi İçin Teorik Bilgi

Basit eğilme teorisine göre, bir kiriş sadece uygulanan moment düzleminde eğildiği takdirde, gerilme dağılımı ve kirişin eğriliği arasındaki ilişki şu şekildedir:

$$\frac{M}{I} = \frac{\sigma}{y} = \frac{E}{\rho} \quad (4)$$

M : Kiriş kesitinde oluşan eğilme momenti

I : Kiriş kesitinin tarafsız eksene göre atalet momenti

E : Kiriş malzemesinin elastisite modülü

ρ : Kirişin eğrilik yarıçapı

σ : Eğilme momentinden dolayı tarafsız eksenden y mesafesinde oluşan eğilme gerilmesi

y : Tarafsız eksenden dikey mesafe

Kirişin eğriliği ($1/\rho$), yaklaşık olarak sehimin ikinci türevine eşittir. Eğer y noktası seçilen orijinden x kadar uzakta kirişin sehimine eşitse:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{1}{R} = \frac{M}{EI} \quad (5)$$

Ortasından tekil yüklü bir çubuk eleman için oluşacak sehimi miktarı;

$$sehim = \frac{Wl^3}{48EI} \quad (6)$$

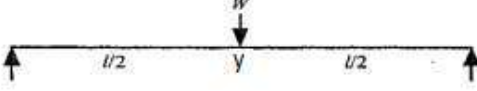

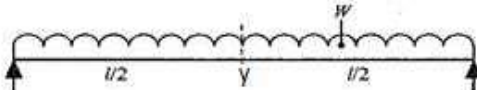

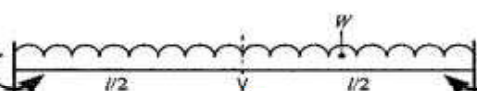
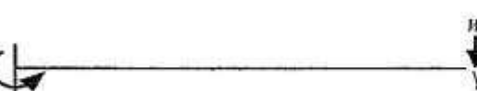
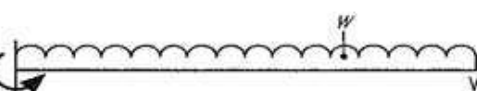
W= Kirişe etki eden yük

l=Basit mesnetli kirişler arası mesafe

E= numunenin elastik modülü

I= atalet momenti.

Tablo 2. En yaygın kiriş eğilme tipleri ve denklemleri

	Y İki Şehim	Uçlardaki Eğim	Reaksiyon Momenti M_f
	$\frac{Wl^3}{48EI}$	$\frac{Wl^3}{16EI}$	
	$\frac{Wa^2b^2}{3EI}$	$\frac{Wab(l+b)}{6EI}$ Sol uç ta	
	$\frac{5Wl^4}{384EI}$	$\frac{Wl^4}{24EI}$	
	$\frac{Wa^3b^3}{3EI^3}$		$M_{F1} = \frac{Wab^2}{l^2}$ $M_{F2} = \frac{Wa^2b}{l^2}$
	$\frac{Wl^4}{384EI}$		$\frac{Wl^2}{12}$
	$\frac{Wl^3}{3EI}$	$\frac{Wl^2}{2EI}$	wl
	$\frac{Wl^4}{8EI}$	$\frac{Wl^3}{6EI}$	$\frac{Wl^2}{2}$

Bir Kiriş İçin Kalınlık, Rijitlik ve Kiriş Sabiti

Rijitliği yüksek bir kiriş verilen bir yük altında rijitliği daha düşük olan kirişe göre daha fazla eğilir. Bu durum elastik birim şekil değiştirmede elastisite modülünün etkisine benzer fakat bir farkla. Eğilmeye sadece elastiklik modülü değil, kirişin boyutları da etkilidir. Kiriş elastik bölgede eğildiği sürece rijitlik uygulanan yükün sehime oranına eşittir.

$$S = \frac{W}{\text{sehime}} (N/m) \quad (7)$$

Kirişin rijitliği yalnız malzeme kalınlığı değıştikçe malzeme kalınlığının küpüyle doğru orantılı olarak değıştiği bilinir. Rijitlik kalınlığın küpüyle doğru orantılıdır, yani rijitliğin kalınlığın küpüne oranı sabittir.

$$\frac{\text{Rijitlik}}{\text{Kalınlık}^3} \sim \text{Sabit} \quad (8)$$

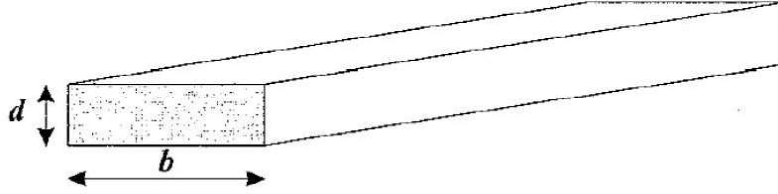
veya

$$\frac{s}{d^3} \sim C \quad (9)$$

Atalet Momenti (I):

Dikdörtgen kesitli bir kirişin yatay eksenli tarafsız eksene göre atalet momenti:

$$I = \frac{bd^3}{12} \quad (10)$$



Şekil 2. Dikdörtgen kesitli kiriş

4. SEHİM DENEY TESİSATI

- Sm1004 deney seti
- Askı aparatı
- Kirişler
- Destekler
- Dijital gösterge, Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Sm1004 deney seti ve aparatları

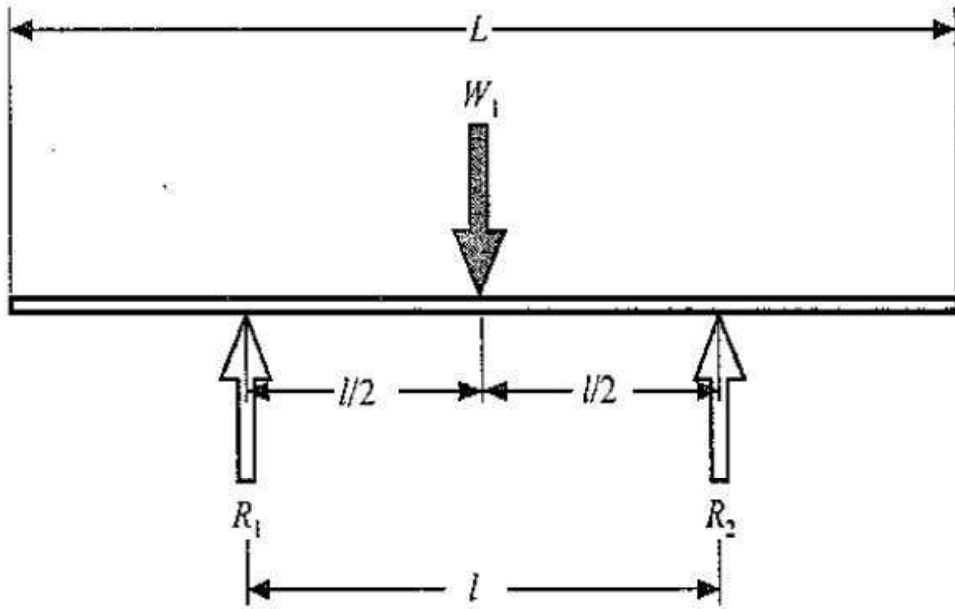
5. DENEYİN YAPILIŞI

a) Deney düzeneği Şekil 4’de gösterildiği gibi kurulur. R_1 ve R_2 mesnet noktalarını gösterirken W_1 ise y k noktasını göstermektedir.

b) Basit mesnetli kirişler üzerinde ilk olarak kalınlığı 6,4 mm olan yumuşak  elik koyularak sabitleŐtirilir. Daha sonra y k noktasına sırasıyla 5 N, 10 N, 15 N, 20 N, 25 N, 30 N kuvvetler asılarak her biri için oluşan sehim dijital göstergeden okunarak tablo 3’e yazılır.

c) Aynı işlem bu sefer kalınlığı 4,8 mm ve 3,2 mm olan yumuşak  elik için tekrarlanır ve elde edilen sehim değerleri tablo 3’e yazılır.

d) Son olarak bu sefer farklı bir malzeme olan pirinç basit mesnetli kirişler üzerine yerleştirilerek aynı prosedür uygulanır. Elde edilen sehim değerleri tablo 3’e yazılır.



Şekil 4. Deney seti Şematik Şekil

Adı-Soyadı : Deneyi Yürüten Öğretim Elemanı :
Numara : Deneyin Yapıldığı Tarih :
İmza : Grup-Alt Grup :

NOT

Tablo 3. Yük ve kirişlerde oluşan sehım değerleri

Yük W (N)	Sehım z (mm)				
	Çelik 6.4 mm	Çelik 4.8 mm	Çelik 3.2 mm	Pirinç 6.4 mm	Alüminyum 6.4 mm
5					
10					
15					
20					
25					

Tablo 4. Kirişlerin rijitliği

Malzeme	Kalınlık (mm)	1/S	$S_{ölç}$ [N/mm]	S_{teo} [N/mm]	% Hata
Çelik	6.4				
Çelik	4.8				
Çelik	3.2				
Pirinç	6.4				
Alüminyum	6.4				

Sehım z ile yük W arasındaki ilişkileri veren tüm grafikler lineer olmalıdır. Bu durum, kirişlerin lineer elastik bölgede deforme olduklarını ve yük ile sehımın doğru orantılı olduğunu gösterir.



BAHAR DÖNEMİ MEKANİK 2 DENEYİ

1. **DENEY ADI:** Gerinim Ölçüm Deneyi

2. **DENEYİN AMACI:** Çekme, burulma ve eğilme deneylerinde gerinimin incelenmesi

3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR

Çekme Deneyi İçin Teorik Bilgi

Normal Gerilme (σ):

Kesit düzlemine dik olan kuvvet yoğunluğuna o noktadaki normal gerilme adı verilir. Yükün, uygulandığı alana bölünmesiyle elde edilir. Aşağıdaki bağıntıyla bulunur:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Bir kesit yüzeyinden dışa doğru etkiyen normal gerilmelere çekme gerilmesi denir. Malzemenin uzamasıyla meydana gelir. İşareti pozitiftir. Bir kesit yüzeyinden içeri doğru olan normal gerilmelere basma gerilmesi denir. Malzemenin sıkıştırılmasıyla oluşur. İşareti negatiftir.

Birim Şekil Değişirme (ϵ):

Birim Şekil Değişirme, malzemenin boyundaki değişim miktarının (gerilmeden dolayı oluşan şekil değişimi) ilk boya bölünmesiyle bulunur.

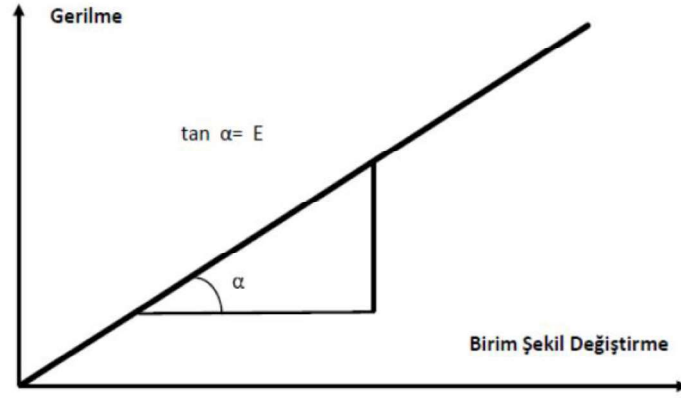
$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (2)$$

Birim kısalma, malzemenin sıkıştırılmasıyla oluşur. İşareti negatiftir. Birim uzama, malzemenin uzamasıyla meydana gelir. İşareti pozitiftir.

Elastisite Modülü (E):

Elastik sınır içerisinde malzemede oluşan gerilmenin birim şekil değişirme oranına denir. İngiliz fizikçi Thomas Young tarafından keşfedilmiştir. Malzemenin rijitliğinin bir ölçüsüdür. (E ne kadar büyükse malzeme o kadar rijittir).

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad (3)$$



Şekil 1. Gerilme-birim şekil değiştirme diyagramı

Burulma Deneyi İçin Teorik Bilgi

Tablo 1. Burulma için temel notasyonlar

Sembol	Tanım	Birim
A	Alan	m ²
M	Moment	Nm
F	Yük	N
L	Numunenin Toplam Boyu	m
I	Test Uzunluğu	m
T	Tork	Nm
J	Polar Atalet Momenti	m ⁴
G	Kayma Modülü	N/m ²
D	Numune Çapı	m
r	Numune Yarıçapı	m
τ	Kayma Gerilmesi	N/m ²
γ	Kayma Birim Şekil Değişimi	-
θ	Burulma Açısı	Radyan

Kayma Modülü

Kayma modülü kayma gerilmesinin kayma birim şekil değişimine bölünmesi sonucunda elde edilmektedir.

$$G = \frac{\text{Kayma Gerilmesi}}{\text{Kayma Birim Şekil Değişimi}} = \frac{\tau}{\gamma} \quad (4)$$

Bu formül malzemenin elastik davranış gösterdiği durum için geçerlidir.

Polar Atalet Momenti

Polar atalet momentini silindirik cisimlerin kendi rotasyon hareketlerindeki değişime karşı eylemsizliğini gösterir. Polar atalet momentinin yüksek olması cismin yüksek burulma torkuna direnç gösterdiği anlamına gelmektedir.

$$J = \frac{\pi D^4}{32} \quad (5)$$

Tork (Burulma Momenti)



Şekil 2. Burulma

Şekilde görülen yük ile tork kolunun çarpımı uygulanan torku vermektedir.

$$T = \text{Yük} \times \text{Tork Kolu} \quad (6)$$

Burulma açısını hesaplamak için

$$\theta = \frac{Tl}{GJ} \quad (7)$$

Kayma Gerilmesi

Uygulanan tork ile cisim üzerinde bir kayma gerilmesi meydana gelmektedir.

$$\tau = \frac{TD}{2J} \quad (8)$$

Kayma Birim Şekil Değişimi

$$\gamma = \frac{\tau}{G} = \frac{r\theta}{l} \quad (9)$$

Kayma modülü tekrar düzenlenirse;

$$G = \frac{(TD)/2J}{(r\theta)/l} \quad (10)$$

Eğilme Deneyi İçin Teorik Bilgi

Basit eğilme teorisine göre, bir kiriş sadece uygulanan moment düzleminde eğildiği takdirde, gerilme dağılımı ve kirişin eğriliği arasındaki ilişki şu şekildedir:

$$\frac{M}{I} = \frac{\sigma}{y} = \frac{E}{\rho} \quad (11)$$

M : Kiriş kesitinde oluşan eğilme momenti

I : Kiriş kesitinin tarafsız eksene göre atalet momentini

E : Kiriş malzemesinin elastisite modülü

ρ : Kirişin eğrilik yarıçapı

σ : Eğilme momentinden dolayı tarafsız eksenden y mesafesinde oluşan eğilme gerilmesi

y : Tarafsız eksenden dikey mesafe

Kirişin eğriligi ($1/\rho$), yaklaşık olarak sehimin ikinci türevine eşittir. Eğer y noktası seçilen orijinden x kadar uzakta kirişin sehimine eşitse:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{1}{R} = \frac{M}{EI} \quad (12)$$

Ortasından tekil yüklü bir çubuk eleman için oluşacak sehim miktarı;

$$sehim = \frac{Wl^3}{48EI} \quad (13)$$

W= Kirişe etki eden yük

l=Basit mesnetli kirişler arası mesafe

E= numunenin elastik modülü

I= atalet momenti.

Bir Kiriş İçin Kalınlık, Rijitlik ve Kiriş Sabiti

Rijitliği yüksek bir kiriş verilen bir yük altında rijitliği daha düşük olan kirişe göre daha fazla eğilir. Bu durum elastik birim şekil değiştirmede elastisite modülünün etkisine benzer fakat bir farkla. Eğilmede sadece elastiklik modülü değil, kirişin boyutları da etkilidir. Kiriş elastik bölgede eğildiği sürece rijitlik uygulanan yükün sehime oranına eşittir.

$$S = \frac{W}{sehim} (N/m) \quad (14)$$

Kirişin rijitliği yalnız malzeme kalınlığı değil, malzeme kalınlığının küpüyle doğru orantılı olarak değiştiği bilinir. Rijitlik kalınlığın küpüyle doğru orantılıdır, yani rijitliğin kalınlığın küpüne oranı sabittir.

$$\frac{Rijitlik}{Kalınlık^3} \sim Sabit \quad (15)$$

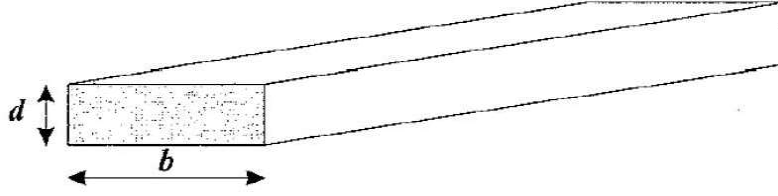
veya

$$\frac{S}{d^3} \sim C \quad (16)$$

Atalet Momenti (I):

Dikdörtgen kesitli bir kirişin yatay eksenli tarafsız eksene göre atalet momenti:

$$I = \frac{bd^3}{12} \quad (17)$$



Şekil 3. Dikdörtgen kesitli kiriş

4. GERİNİM ÖLÇÜM DENEY TESİSATI

- Deneylede kullanılacak olan 3 adet numune
- Strain Gauge deney seti
- Dijital gösterge (gerinim ölçer), Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Strain Gauge deney seti, ağırlıklar, moment çubuğu ve dijital gösterge

5. DENEYİN YAPILIŞI

Çekme Deneyinin Yapılması

- 1) Dijital göstergede yarım köprü ayarları yapılır. Bunun için kırmızı ve sarı kablolu soketler karşılıklı takılır. Kalan 2 boşluk için yeşil ve mavi kablosuz soketler takılır.
- 2) Yarım köprü için ACT değeri 2'ye getirilir.
- 3) Gauge faktörü için 2.09 değeri ayarlanır.
- 4) Sırasıyla 1,2,3 ve 4 kg ağırlığındaki ağırlıklar takılır ve dijital göstergedeki gerinim ve voltaj değerleri okunur.

Burulma Deneyinin Yapılması

1) Dijital göstergede tam köprü ayarları yapılır. Bunun için kırmızı ve yeşil kablolu soketler karşılıklı takılır. Kalan 2 boşluk için mavi ve sarı kablolu soketler karşılıklı takılır.

2) Tam köprü için ACT değeri 4'e getirilir.

3) Gauge faktörü için 2.04 değeri ayarlanır.

4) Moment çubuğu ankastre olmayan kısma yerleştirilir. Moment kolu 150 mm olacak şekilde ayarlanır ve sırasıyla 250 ve 500 gr ağırlığındaki ağırlıklar takılır ve dijital göstergedeki gerinim ve voltaj değerleri okunur.

Eğilme Deneyinin Yapılması

1) Dijital göstergede çeyrek köprü ayarları yapılır. Bunun için kırmızı kablolu ve mavi kablosuz soketler karşılıklı yerleştirilir. Kalan 2 boşluk için sarı ve yeşil kablosuz soketler karşılıklı takılır.

2) Çeyrek köprü için ACT değeri 1'e getirilir.

3) Gauge faktörü için 2.10 değeri ayarlanır.

4) Ankastre mesnetten itibaren 420 mm uzaklıktaki mesafeye sırasıyla 50, 100 ve 150 gr ağırlığındaki ağırlıklar takılır ve dijital göstergedeki gerinim ve voltaj değerleri okunur.

Adı-Soyadı :
Numara :
İmza :

Deneyi Yürüten Öğretim Elemanı :
Deneyin Yapıldığı Tarih :
Grup-Alt Grup :

NOT

Tablo 2. Eğilme deneyi tablosu

Köprü türü: Çeyrek Yüklemesafesi: 420 mm	ACT: Gauge Faktör:			
Yükler (g)	Okunan Voltaj (μV)	Okunan Gerinim ($\mu\epsilon$)	Hesaplanan Gerinim ($\mu\epsilon$)	Ansys Gerinim ($\mu\epsilon$)

Tablo 3. Burulma deneyi tablosu

Köprü türü: Tam Moment kolu mesafesi: 150 mm	ACT: Gauge Faktör:				
Yükler (g)	Oluşan Moment (Nmm)	Okunan Voltaj (μV)	Okunan Gerinim ($\mu\epsilon$)	Hesaplanan Gerinim ($\mu\epsilon$)	Ansys Gerinim ($\mu\epsilon$)

Tablo 4. Çekme deneyi tablosu

Köprü türü: Yarım En küçük kesit alanı: 10.06 mm X 2.02 mm	ACT: Gauge Faktör:			
Yükler (g)	Okunan Voltaj (μV)	Okunan Gerinim ($\mu\epsilon$)	Hesaplanan Gerinim ($\mu\epsilon$)	Ansys Gerinim ($\mu\epsilon$)

Deneyin Değerlendirilmesi:

BAHAR DÖNEMİ KONSTRÜKSİYON DENEYİ

1. DENEY ADI: Kayış kasnak mekanizmalarında sürtünme katsayısının belirlenmesi deneyi

2. DENEYİN AMACI:

- Kayış kasnak mekanizmalarında kol kuvvetleri arasındaki oranı veren bağıntının çıkarılması
- Deneyde kullanılan kayış kasnak mekanizması için kol kuvvetlerine bağlı olarak sürtünme katsayısının hesaplanması

3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR

Kayış kasnak mekanizmalarında kol kuvvetleri arasındaki oran ile sürtünme katsayısı ve sarım açısı arasındaki ilişki aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\frac{T_1}{T_2} \leq e^{\mu\theta} \Rightarrow \mu = \left(\frac{1}{\theta}\right) \ln\left(\frac{T_1}{T_2}\right) \quad W = T_1 - T_2$$

T_1, T_2 : Kol Kuvvetleri [N]

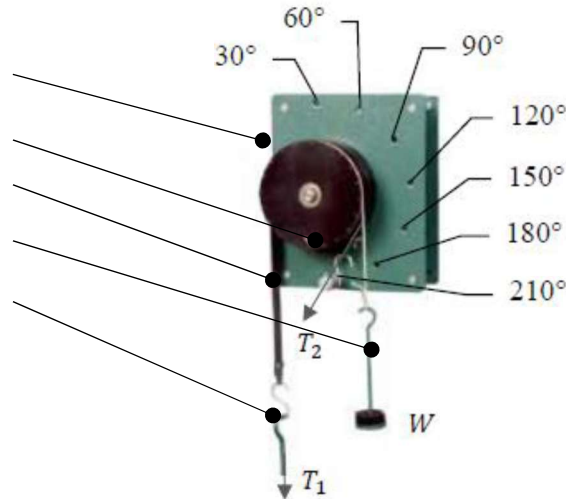
W : Çevresel Kuvvet [N]

θ : Sarım Açısı [rad]

μ : Kayış ve Kasnak Arasındaki Sürtünme Katsayısı

4. DENEY DÜZENEGİ

1. Kasnak
2. Sarım Açısı Tespit Pimi
3. Kayış
4. Karşı Ağırlık Asma Kolu
5. Yük Asma Kolu



Şekil 1. Deney düzeneği

Adı-Soyadı :
Numara :
İmza :

Deneyi Yürüten Öğretim Elemanı :
Deneyin Yapıldığı Tarih :
Grup-Alt Grup :

NOT

5. DENEYİN YAPILIŞI

Deneyin yapılışında aşağıdaki sıra izlenecektir;

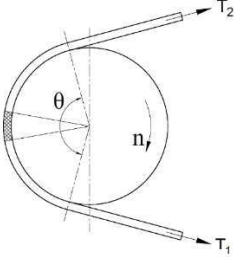
- Kayışın sarım açısını 30° olarak ayarlanır.
- Kayış sırayla Tablo 1’de belirtilen kayış yükleri (T_1) ile yüklenir.
- Her bir kayış yükü için karşı ağırlık (W) yükü belirlenir.
- T_2 kol kuvvetini hesaplanır. ($W = T_1 - T_2$)
- Aynı işlemler sarım açısının (θ) sırayla 60° , 90° , 120° ve 150° olduğu durumlar için tekrar edilir.
- Elde edilen deney sonuçlarını kullanarak “kayış kol kuvvetleri” ve “sürtünme katsayısı” grafikleri çizilir.
- Grafikler yardımıyla sürtünme katsayısını belirlenir

Tablo 1. Ölçüm verileri tablosu

Kayış Yükü	$\theta=30^\circ$		$\theta=60^\circ$		$\theta=90^\circ$		$\theta=120^\circ$		$\theta=150^\circ$		
	T_1 [N]	W [N]	T_2 [N]	W [N]	T_2 [N]	W [N]	T_2 [N]	W [N]	T_2 [N]	W [N]	T_2 [N]

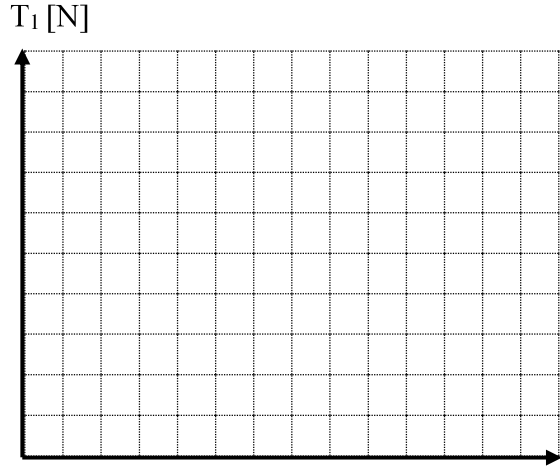
İstenenler:

1- Eytelwein bağıntısını çıkarınız.



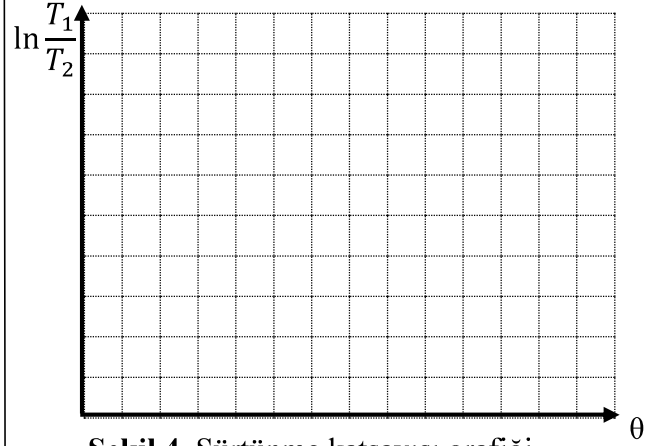
Şekil 2. Serbest cisim diyagramı

2- Kayış kol kuvvetleri grafiğini çiziniz.



Şekil 3. Kayış kol kuvvetleri grafiği

3. Sürtünme katsayısı grafiğini çizerek kayış kasnak arasındaki sürtünme katsayısını tespit ediniz.



Şekil 4. Sürtünme katsayısı grafiği

4- Kayış kol kuvvetleri grafiği yorumlayınız.

BAHAR DÖNEMİ KONSTRÜKSİYON DENEYİ

1. DENEY ADI: Vida Veriminin Teorik ve Deneysel Olarak Belirlenmesi

2. DENEYİN AMACI: Hareket iletiminde kullanılan vida profillerinde vida veriminin elde edilmesi ve deneysel olarak belirlenmesi.

3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR

Vidalı elemanların verimi teorik olarak aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\eta = \tan(\alpha) / \tan(\alpha + \rho) \quad (1)$$

$$\tan(\alpha) = h / \pi \cdot d_0 \quad (2)$$

$$\mu = \tan(\rho) \quad (3)$$

- α vidanın eğim açısı,
- ρ sürtünme açısı,
- μ sürtünme katsayısı
- h vidanın hatvesi
- d_0 vidanın çapı

Deneyde Şekil-1’de görülen “vidalı krika deney düzeneği” kullanılacaktır. Deney düzeneği 220 mm çapında bir döner tabla (D) ve 30 mm çapında (d_0), hatvesi (h) 6 mm olan bir kare vida ile yardımcı donanımlardan oluşmaktadır. Deney düzeneğinin çevrim oranı (i) aşağıdaki gibi hesaplanabilir. Denklemden; v_{kol} kol hızı, v_y ise yük kaldırma hızıdır.

$$i = v_{kol} / v_{yük} = \pi D / h \quad (4)$$



Şekil 1. Deney Düzeneği

Adı-Soyadı : Deneyi Yürüten Öğretim Elemanı :
Numara : Deneyin Yapıldığı Tarih :
İmza : Grup-Alt Grup :

NOT

4. DENEYİN YAPILIŞI

- I. Krikoyu Tablo 1’de bulunan kaldırma yükü (Q_y) ile yükleyin,
- II. Kaldırma yüküne karşılık gelen kol kuvvetini (F_{kol}) bulana dek kolu yükleyin,
- III. Elde edilen değerlerle Tablo 1’i oluşturun ve
- IV. Tablo 2’yi düzenleyin.

Tablo 1. Kaldırma yüküne karşılık gelen kol kuvvetleri.

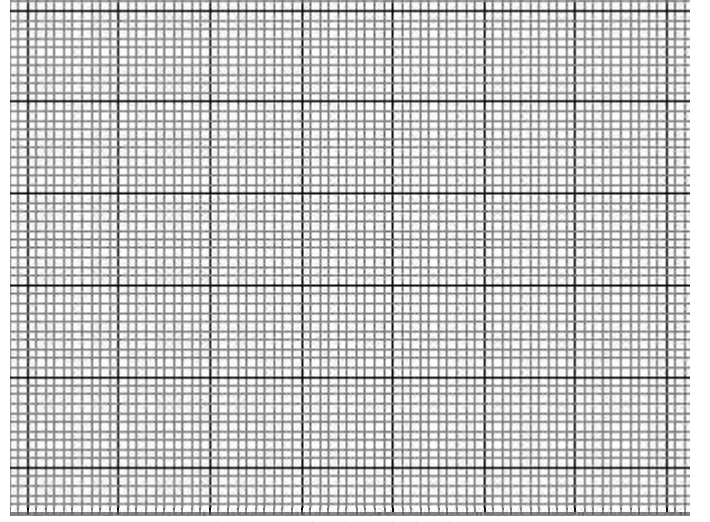
Q_y [N]	0	50	100	150	200	250	300	350	400
F_{kol} [N]									

Tablo 2. Deneyden elde edilen değerler.

Kaldırma Yükü Q_y [N]	Toplam Kol Kuvveti F_{kol} [N]	Kaldırma Kuvveti $F_0=i.F_{kol}$ [N]	Sürtünme Kuvveti $F_s=F_0 - Q_y$ [N]	Kriko Verimi $\eta = (Q_y / F_0)$
0				
50				
100				
150				
200				
250				
300				
350				
400				

1. Vidalı elemanlarda verim ifadesinin elde edilmesi ve yorumlanması

3. Vidalı krikoya ait verim eğrisinin çizilmesi



ve verimin deneysel olarak bulunması

2. Vidalı krikonun veriminin teorik olarak hesaplanması

4. Teorik ve deneysel olarak hesaplanan verimlerin karşılaştırılarak yorumlanması

KONSTRÜKSİYON 3 DENEYİ

1. DENEY ADI: GERİLME HİPOTEZLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

2. **DENEYİN AMACI:** Bu deneyde, uygun numune üzerinde eşdeğer gerilme halleri oluşturularak, numunenin mekanik davranışına uygun olan hipotezin seçilmesi amaçlanmıştır.

3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR

3.1 Zorlanmalar ve Gerilmeler

Herhangi bir elemana etkiyen dış kuvvet [F] ve momentler [M], o elemanı çeşitli şekillerde zorlar ve buna göre farklı gerilmeler meydana gelir.

“Zorlayıcı etkinin (kuvvet, moment), “etkime şekli” (çekme, eğilme, burulma vs.) ile bütünlük haline zorlanma adı verilir.

Dış kuvvetlere tepki olarak, elemanda iç kuvvetler oluşur. Birim kesite etkiyen iç kuvvetlere “gerilme” denir. Esas olarak, iki farklı tür gerilme vardır.

- Kesite dik gerilmeye, “normal gerilme” denir ve “ σ ” ile gösterilir.
- Kesit düzlemindeki gerilmeye, “kayma gerilmesi” denir ve “ τ ” ile gösterilir.

Zorlanma Tipleri: Bir makina elemanı aşağıda gösterilen zorlanma tiplerinden bir veya birkaçına birden maruz kalabilir. Zorlanma tipleri şunlardır.

Zorlanma Adı	Gerilme Adı	Gerilme Dağılımı	Bağıntı
Kuvvet + Çekme = Çekme zorlanması	Çekme gerilmesi $\sigma_{\text{ç}}$		$\sigma_{\text{ç}} = F/A$
Kuvvet + Basma = Basma zorlanması	Basma gerilmesi σ_{b}		$\sigma_{\text{b}} = F/A$
Moment + Eğilme = Eğilme zorlanması	Eğilme gerilmesi σ_{e}		$\sigma_{\text{e}} = M_e / W_e$
Kuvvet + makas = Makaslama (Kesme) zorlanması	Kesme gerilmesi τ_{k}		$\tau_{\text{k}} \cong F/A$
Moment + Burulma = Burulma zorlanması	Burulma gerilmesi τ_{b}		$\tau_{\text{b}} = M_b / W_b$

3.2 Bileşik Gerilmeler

Makine elemanının herhangi bir kesiti, aynı anda birden fazla zorlanmaya maruz ise, bu kesitte “bileşik gerilme hali” söz konusudur. Bu halde, iki farklı durum oluşur.

Gerilmeler aynı cins ise, toplanır. Yani herhangi bir makine elemanının herhangi bir kesitinde hem çekme hem de eğilme (veya hem kesme hem de burulma) varsa, toplam gerilme şöyle hesaplanır.

$$\sigma_{top} = \sigma_c + \sigma_e \quad \text{veya} \quad \tau_{top} = \tau_k + \tau_b$$

Gerilmeler farklı cins ise toplanamaz. Kırılma hipotezlerinden (mukavemet varsayımlarından) birine göre, “eşdeğer gerilme” hesaplanır.

Kırılma Hipotezlerinin gerçek sayısı çok fazladır. Ancak bunlardan 3 tanesi yaygın olarak kullanılmaktadır. Burada her bir hipotez için, eşdeğer gerilme bağıntıları tek eksenli ($\sigma_y = 0$) gerilme hali için yazılmıştır.

1. **Maksimum Normal Gerilme Hipotezi (Rankine):** Bu hipoteze göre bir elemanlı kırılma maksimum normal gerilmenin belli bir değeri aşması sonucunda oluşur.

$$\sigma_{eş} = 0,5\sigma_c + 0,5\sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}$$

2. **Maksimum Kayma Gerilmesi Hipotezi (Tresca):** Bu hipoteze göre, bir elemanda kırılma, maksimum kayma gerilmesinin, belli bir değeri aşması sonucu oluşur.

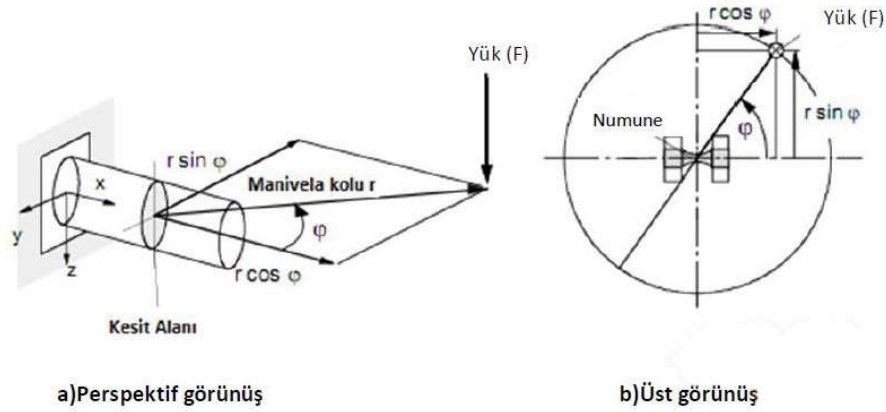
$$\sigma_{eş} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}$$

3. **Maksimum Biçim Değiştirme Enerjisi Hipotezi (Von Mises):** Bu hipoteze göre, bir elemanda kırılma, maksimum şekil değişimi enerjisinin, belli bir değeri aşması sonucu oluşur.

$$\sigma_{eş} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

Not: 1. Deneysel malzemeler için, 2. ve 3. hipotez, sünek (esnek) malzemeler için uygundur.

Deney düzeneğinde eğilme ve burulma yükü uygulanan numunenin şematik görünümü Şekil 1.a'da, üstten görünümü Şekil 1.b'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneğinde aynı anda eğilme ve burulma yükü uygulanan numune

Uç noktadaki yüzey lifinde maksimum eğilme gerilmesi, eğilme momenti ve kesit mukavemet momenti kullanılarak bulunur.

$$\sigma_e = \frac{M_e}{W_e} \quad W_e = \frac{\pi d^3}{32}$$

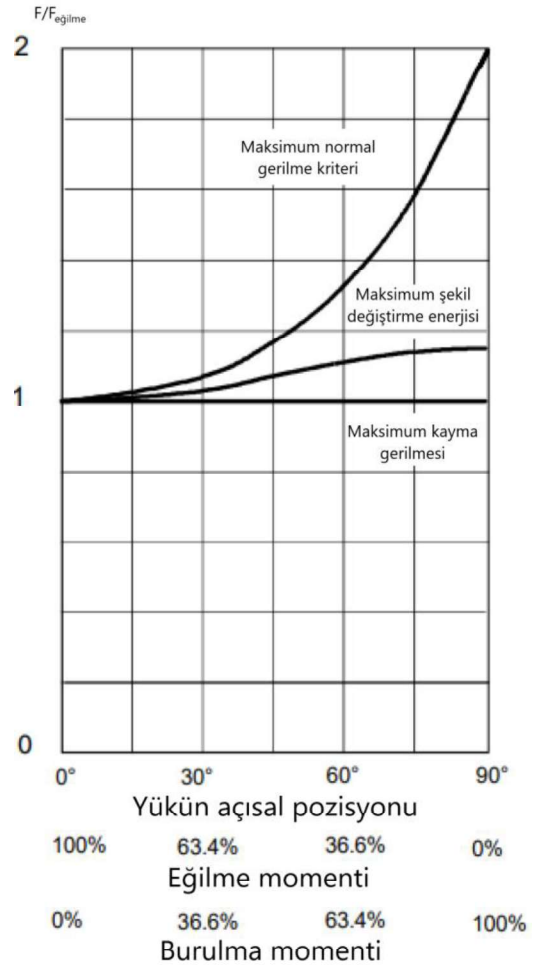
Burulma sonucu uç noktada yüzey lifinde oluşan maksimum kayma gerilmesi ise aşağıdaki denklemde burulma momenti ve kesit polar mukavemet momenti kullanılarak hesaplanır.

$$\tau_b = \frac{M_b}{W_b} \quad W_b = \frac{\pi d^3}{16}$$

Eğilme momenti (M_e) ve Burulma momenti (M_b), yük noktası ve F yükünün açısız pozisyonu (φ) kullanılarak bulunur

$$M_e = F * r * \cos \varphi \quad M_b = F * r * \sin \varphi$$

Eşdeğer gerilme hipotezleri arasındaki ilişkiler, grafiksel olarak Şekil 2'deki diyagramda gösterilmiştir. Burada F yükleri saf eğilme hali için akma sınırına aittir.

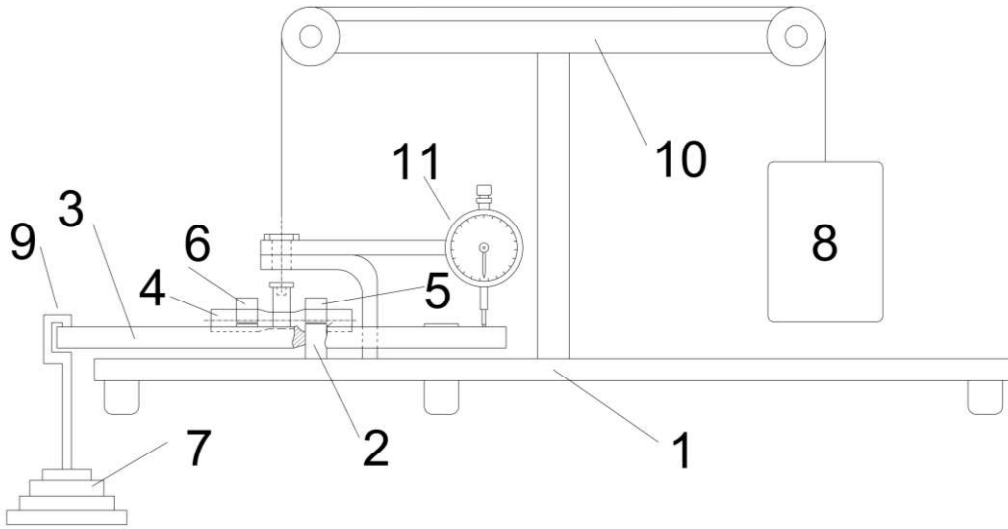


Şekil 2. Çeşitli eşdeğer gerilme hipotezleri için akma sınırı kriterleri [1]

4. DENEYİN YAPILIŞI

Eşdeğer Gerilme Hipotezlerini doğrulamak için, iki eksenli gerilme hali oluşturmak gerektiğinden, deney düzeneği, bir numuneye saf eğilme, saf burulma ya da eğilme + burulma birleşimi yüklemeler yapılmasına olanak sunmalıdır.

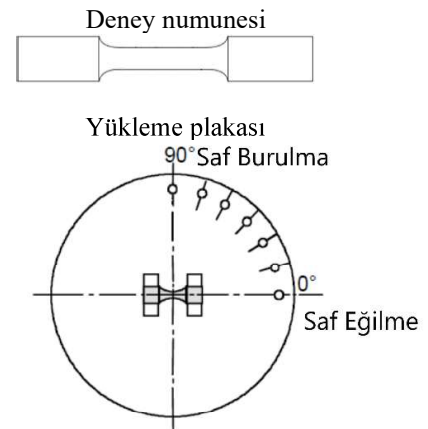
Deney düzeneğinin şematik ve gerçek görünümü Şekil 3.a ve 3.b’de verilmiştir. Düzenek, temel olarak, kalın kesitli dikdörtgen bir metal alt tabla (1), bu tablaya montajlı iki silindirik destek kolonları (2) ve bu kolonlar üstüne yerleştirilen 200 mm çapında alüminyum bir yükleme plakası (3)’ dan oluşmaktadır. Test numunesi (4) (Şekil 3.c), bir ucundan 2 numaralı kolona; diğer ucundan yükleme plakasına kelepçeler (5 ve 6) yardımı ile bağlanır. Yüklerin numuneye tatbiki Şekil 3.c de gözüktüğü gibi, yükleme plakası üzerindeki 7 farklı açısız konumda (0o, 15o, 30o, 45o, 60o, 75o ve 90o) bulunan noktalara, ağırlıkların (7) ve denk karşı ağırlıkların (8), etki ettirilmesi ile yapılır. Seçilen açısız pozisyona göre, yükleme durumunun tayininin ardından, yükleme yapmak için ağırlıklar, ağırlık askısına (9) asılır. Karşı ağırlıklar, bir makara ve kablo sistemi (10) yoluyla yükleme plakasının tam ortasına etki ve plakayı düzgün tutar. Hangi açısız pozisyonda numuneye yük tatbiki yapılacaksa, arzu edilen doğrultunun karşı istikametine yerleştirilen, bir komparatör (11), yük etkisinde numunede oluşacak elastik ve plastik deformasyon miktarlarının ölçülebilmesini mümkün kılar.



a)



b)



c)

Şekil 3. a) Deney düzeneğinin şematik gösterimi. b) Deney düzeneğinin gerçek görünümü.
c) Deney numunesi ve yükleme plakası.

Bu deneyde, metalik bir numune için akma sınırı, yükleme yapılarak belirlendiğinden, elastik şekil değiştirme sınırına kadar ya da elastik sınırın ötesinde yükleme yapmak gerekir. Bu şekilde yükleme yapılarak iş parçası plastik (kalıcı) deformasyona uğratılır. Plastik deformasyona uğrayan bir metalik numune pekleşme (mukavemet artışı) gösterir. Bu durumda, test edilen metalik malzemenin akma sınırı değeri yükselir. Ancak, pekleşen numuneler tekrar deneyde kullanılmaz.

4.1. Yükleme ve Deformasyon Ölçümü

1- Karşı ağırlıklar deney numunesinin cinsine göre (**Alüminyum 12N**) olarak hazırlanır ve karşı ağırlık askısına yerleştirilir.

2- Dairesel plaka üzerindeki yük noktalarından ilki (0°) seçilir.

3- (0°) yükleme noktasının tam karşısına, aynı doğrultuda komparatör yerleştirilir ve kadrans sıfırlanır.

4- Yük noktasına, uygulanan karşı ağırlığa denk (ağırlık askısı dahil) ilk yükleme yapılır. Bu yükleme sonucu, deformasyon kadrandan okunur, bir tabloya kaydedilir ve yük kaldırılır.

5- Yük kaldırıldığında, elastik ($\Delta l = 0$) ve plastik deformasyonun ($\Delta l > 0$) oluşup oluşmadığı kadrandan takip edilir.

6- Takip eden her yükleme için, ağırlık 1N artırılarak, deformasyon miktarları ölçülür ve her yüklemeye sonra yük kaldırılır (Boşaltma). Yük kaldırıldığında kadrandan okunan değerler tekrar kaydedilir. Eğer, plastik deformasyon, 10/100 mm'den büyükse söz konusu numune için ölçüme son verilir.

7- Madde 2'den 6'ya kadar aynı işlem, 45° ve 90° yükleme noktaları için tekrarlanır ve her bir açısal pozisyon için yeni bir tablo hazırlanarak, alınan ölçümler yazılır.

8- İlk ölçüm serisinin (Madde 1-7) tam aksine, ikinci ölçüm serisi, sırasıyla 90° , 45° ve 0° yük noktaları için, yani saf burulma yüklemelerinden, saf eğilme yüklemelerine doğru tekrarlanır ve tabloya işlenir.

9- Her iki seriden faydalanarak bir kuvvet-deformasyon grafiği çizilir. Aynı açısal pozisyon için, iki ayrı akma sınır kuvveti belirlenir. Bu kuvvetlerin ortalaması hesaplanarak pekleşme etkisi minimize edilir.

Adı-Soyadı : Deneyi Yürüten Öğretim Elemanı :
Numara : Deneyin Yapıldığı Tarih :
İmza : Grup-Alt Grup :

NOT

5. İSTENENLER

1. Deneyde farklı açıl pozisyonlarda yapılan yüklemelere ilişkin ölçülen deformasyon değerlerini kullanarak tabloyu doldurunuz.
2. Tablo 1'ü kullanarak, Şekil 4'teki, farklı yüklemeler için, F(Kuvvet)-kalıcı deformasyon (Δl) grafiğini çizin.
3. Farklı açılarda yapılan yüklemeler sonrası numune için belirlenen akma yük değerlerini kullanarak Tablo 2'yi oluşturunuz.
4. Tablo 2'deki değerleri kullanarak, $\frac{\bar{F}}{F_{eg}}$ - yük açıl pozisyonu grafiğini (Şekil 5) çizin.
5. Deney numunesi için uygun olan eşdeğer gerilme kriterini belirleyiniz. Farklı açıl pozisyonlar için, eşdeğer gerilme değerlerini hesaplayıp, Tablo 3'ü doldurunuz.

Parametreler:

d : numune çapı (4 mm)

D: yükleme plakası çapı (200mm)

Tablo 1. metalik numuneye uygulanan yüklemelere karşılık ölçülen deformasyonlar

Deney numarası:	Açıl Pozisyon:				Ölçüm No:1				Malzeme				
Yük F (N)													
Deformasyon Δl (1/100 mm)													
Kalıcı Deformasyon Δl (1/100)													
Akma sınırı yükü:													

Deney numarası:	Açıl Pozisyon:				Ölçüm No:2				Malzeme				
Yük F (N)													
Deformasyon Δl (1/100 mm)													
Kalıcı Deformasyon Δl (1/100)													
Akma sınırı yükü:													

Deney numarası:	Açıl Pozisyon:				Ölçüm No:3				Malzeme				
Yük F (N)													
Deformasyon Δl (1/100 mm)													
Kalıcı Deformasyon Δl (1/100)													
Akma sınırı yükü:													

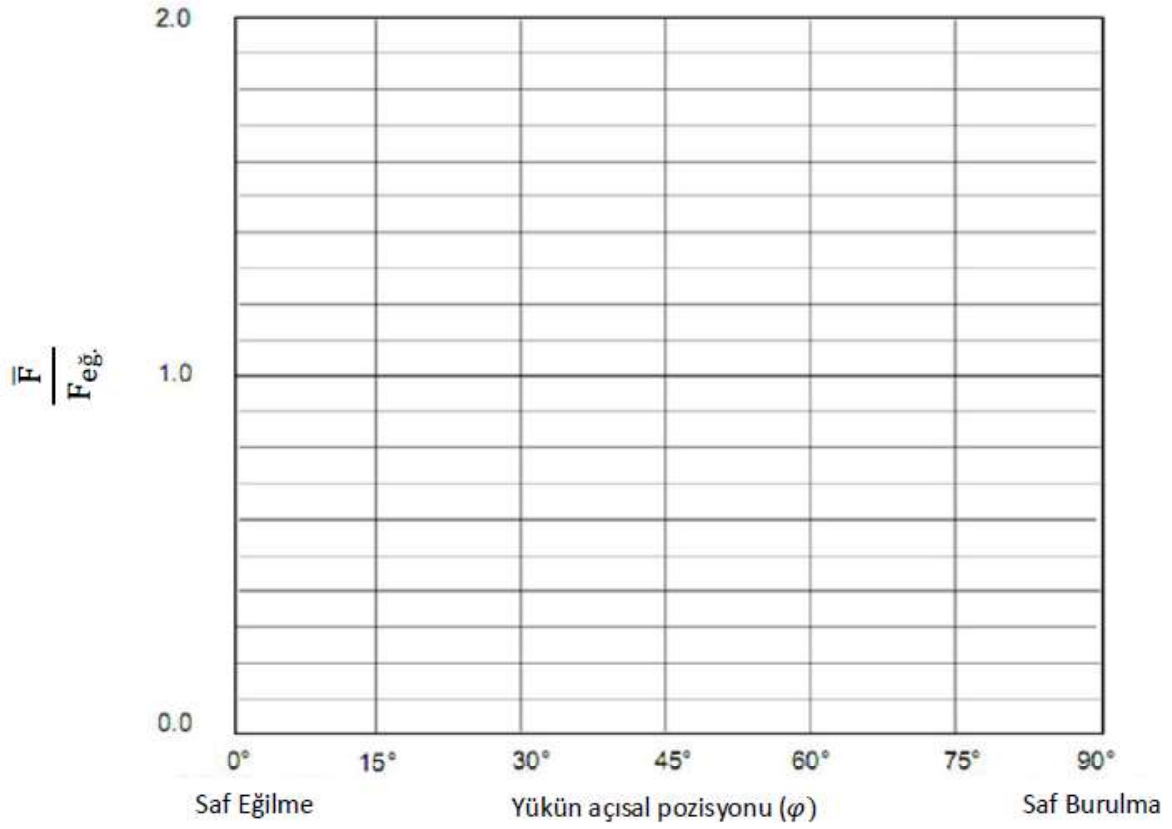
Deney numarası:	Açısal Pozisyon:				Ölçüm No:4				Malzeme			
Yük F (N)												
Deformasyon Δl (1/100 mm)												
Kalıcı Deformasyon Δl (1/100)												
Akma sınırı yükü:												

Deney numarası:	Açısal Pozisyon:				Ölçüm No:5				Malzeme			
Yük F (N)												
Deformasyon Δl (1/100 mm)												
Kalıcı Deformasyon Δl (1/100)												
Akma sınırı yükü:												

Deney numarası:	Açısal Pozisyon:				Ölçüm No:6				Malzeme			
Yük F (N)												
Deformasyon Δl (1/100 mm)												
Kalıcı Deformasyon Δl (1/100)												
Akma sınırı yükü:												

Tablo 2. Farklı açılarda yapılan yüklemeler sonrası belirlenen numune akma yükleri

Malzeme:				
Yükün Açısal Pozisyonu				
Akma Sınırı F_{I1}				
Akma Sınırı F_{I2}				
<i>Ortalama</i> $\bar{F} = \frac{(F_{I1} + F_{I2})}{2}$				
$\frac{\bar{F}}{F_{eğ}}$				



Şekil 5. $\bar{F}/F_{e\ddot{g}}$ 'nin, φ (yükün açısai pozisyonu) ile değişimi

Tablo 3. Farklı açısai pozisyonlarda yapılan yüklemeler için eşdeğer gerilme değerleri

Açısai Pozisyon	0°	45°	90°
F			
$\sigma_{e\ddot{g}}$			



BAHAR DÖNEMİ CNC TAKIM TEZGAHLARI DENEYİ

1.DENEY ADI: CNC takım tezgahlarının tanıtımı ve programlanması

2.DENEYİN AMACI: CNC takım tezgahlarının yapısının, çalışma prensibinin ve programlanmasının tanıtılması ve bir iş parçası üzerinde uygulanması.

3.TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR:

CNC (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol):

Bilgisayarlı Sayısal Kontrol (CNC- Computer Numerical Control), takım tezgahlarının sayısal komutlarla bilgisayar yardımıyla kontrol edilmesidir. Bu sayede, imalatın her aşamasında programa müdahale edilebilir ve programda istenilen değişiklikler yapılabilir. Bilgisayardaki programda, tezgahların hareketlerini kontrol etmek için harfler ve sayılardan oluşan komutlar kullanılır.

CNC Takım Tezgahlarının Avantajları:

- CNC takım tezgahları günde 24 saat, yılda 365 gün sürekli çalışabilmekte ve sadece bakım için kapatılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.
- CNC takım tezgahları, tasarımı yapılarak programlanan bir ürünü yüzlerce veya binlerce kez imal edebilir. Her imal edilen ürün tamamen birbirinin aynıdır.
- Kalifiye personel gerektiren üniversal torna/freze tezgahlarının aksine CNC takım tezgahları daha az kabiliyetli ve/veya işlem hakkında eğitimli personel ile kullanılabilir.
- CNC takım tezgahları yazılımının geliştirilmesi ile güncellenebilir.
- CNC takım tezgahlarının eğitimi simülasyon yazılımlarının kullanımı ile mümkündür. Bu programlar, personele bilgisayar ekranı üzerinden CNC takım tezgahı kullanarak pratik yapma olanağı sağlamaktadır ve bir bilgisayar oyununa benzemektedir.
- CNC takım tezgahları kullanılarak üniversal takım tezgahlarında üretilmeyen karmaşık tasarımlı ürünlerin imal edilmesi gerçekleştirilebilir.
- Modern yazılımlar sayesinde tasarımcıların düşündükleri imalatların simülasyonu gerçekleştirilebilir. Herhangi bir model veya prototip yapmaya ihtiyaç olmadığından zaman ve maliyet açısından avantaj sağlar.
- Bir personel eş zamanlı olarak birçok CNC takım tezgahını kullanabilir. Bazı durumlarda sadece kesici takımların değiştirilmesine ihtiyaç duyulur.
- Üniversal takım tezgahlarında yetenekli bir personel aynı ürünü çok fazla üretmiş olsa dahi her bir ürün için çok dikkatli çalışmalı ve olabilecek küçük farklılıkları fark etmelidir. CNC takım tezgahı ise her bir parçayı tamamen aynı olacak şekilde üretebilir.

CNC Takım Tezgahlarının Dezavantajları:

- CNC takım tezgahları, universal tezgahlardan daha pahalıdır.
- CNC takım tezgahları daha az yetenekli personel ile çalıştırılabildiğinden, universal torna, freze ve diğer tezgahların kullanılmasını yıllar içerisinde öğrenen ve ustalaşmış personel sayısının azalmasına yol açmaktadır.
- Universal tezgahlar ile karşılaştırıldığında, CNC takım tezgahları daha az personele ihtiyaç duymaktadır. CNC takım tezgahlarına yapılan yatırım işsizliği arttırmaktadır.
- Birçok ülkede stajyerlere/öğrencilere universal torna, freze vb. tezgahların nasıl kullanıldığı öğretilmemektedir. Stajyer/öğrenciler matematik ve mühendislik becerilerini de kapsayan birçok mesleki beceriyi önceki yıllarda yetişmiş mühendisler göre daha az edinebilmektedir.

CNC Freze Tezgahları:

Freze tezgahında, kesici takım dönme hareketini gerçekleştiren iş/fener miline monte edilir. İş parçası ise kesici takıma doğru hareket eder ve böylece talaş oluşur. Freze tezgahında iş parçasının kesilme işine “Frezeleme” denmektedir. CNC freze tezgahları, en az 3 veya daha fazla eksende hareket etme kabiliyetine sahiptirler. Bazı 2 ve 2½ eksen tezgahlarda olabilmektedir.

CNC Torna Tezgahları:

Torna tezgahı, iş miline bağlı dönen iş parçasına kesici takımın yaklaşması ve talaş kaldırılması operasyonlarını gerçekleştirmektedir. Bu sebeple, torna tezgahları simetri eksenine sahip parçaların işlenmesi için ideal olmaktadır. CNC torna tezgahları, G kodları kontrolünde en az iki eksen (X ve Z) hareket edebilme kabiliyetine sahiptirler. CNC takım tezgahları birçok farklı fonksiyonlara da sahiptirler. Torna tezgahında bir iş parçasının işlenmesine “Tornalama” denmektedir.

CNC Program Yapısı:

Bir makine parçasının tam olarak işlenebilmesi için gerekli olan bilgileri içeren komutlar bütününe program denir. Her bir komut, kartezyen koordinat sistemin bir pozisyon (x,y,z) veya hareket (iş parçası hareketi ve kesici takım hareketi), kesme parametreleri ve bir fonksiyon açma/kapama işlemini ifade etmektedir. Parça programını yazan personel, takım tezgahları, kesme parametreleri, işlem değişkenlerinin etkileri ve CNC kontrol ünitesinin kısıtları konularında oldukça bilgili olmalıdır. Parça programı, elle veya bilgisayar yardımıyla tezgahın kontrol ünitesine gönderilir. Çeşitli programlama prensipleri kullanılmaktadır. Bunlar;

FANUC, SIEMENS, BOSCH, MAZATROL, OKUMA, HEIDENHAIN, MITSUBISHI gibi programlardır.

Her CNC parça programının bir ismi vardır. Örneğin, FANUC sisteminde, program ismi “O” karakteri ile başlar ve dört rakam ile devam eder, **O0150** gibi. Programdaki her satıra blok adı verilir ve bir noktadan diğerine transfer edilecek gerekli verileri içerir.

Tipik bir program satırı aşağıda verilmektedir;

N10 G91 X-7.0 Y9.0 F50 S2000 T01 M03 ;

Her ifadenin anlamı aşağıda açıklanmaktadır.

Satır Numarası, N;

Genellikle dört dijitten oluşur. Parça işleme sırasında blok tarafından tanımlanan talaş kaldırma işlemini ifade edilir.

Hazırlık Fonksiyonu, G;

Tezgaah kontrol ünitesini tanımlanan işleme hazırlar. Örneğin; G91 kodu artımlı sistemde işlem yapılacağını belirtir.

Ölçü Kodları;

1. Mesafe ölçü kodları, X,Y,Z
2. Dairesel ölçü kodları, I,R,K (yay merkezine olan mesafeler için)
3. Açısal ölçü kodları, A,B,C

Mesafe ve açısal ölçü kodları hem artımlı hem de mutlak sistemde tanımlanabilirken, daireysel ölçü kodları daima artımlı sistemde verilir. Tüm açısal ölçüler daireysel dönüş (tur) ya da derece cinsinden tanımlanır.

İlerleme/İlerleme Hızı, F;

F kodu, mm/dev veya mm/dak ile ifade edilir ve konturlama, noktadan noktaya veya düz kesme sistemlerinde kullanılır. Örneğin, F50 ilerleme hızının 50 mm/dak olduğunu belirtmektedir. İlerleme hızı iş/fener mili hızından bağımsızdır.

Çizgisel hareketlerde, kesici takımın ilerleme hızı takım yarıçapı için doğrulanmaz. Fakat daireysel hareketlerde, ilerleme hızı takım yarıçapı için doğrulanmalıdır.

İş/Fener Mili Hızı, S;

İş/fener mili hızı, programda dev/dak cinsinden tanımlanır. M03 ve M04 kodları ile birlikte kullanılır.

Takım Çağırma Kodu T;

Her kesici takımın farklı kodu vardır ve maksimum beş dijitten oluşmaktadır. Kesici takım, program satırındaki kod numarasına göre otomatik takım değiştirici ile otomatik olarak seçilir.

Yardımcı Fonksiyonlar, M;

İki dijitten oluşur. Yardımcı fonksiyonlar, takım değiştirme, kesme sıvısı açma/kapama, iş/fener milini döndürme/durdurma gibi makine hareketlerinin kontrol edilmesini sağlar.

(;) Satır Sonu;

Satır sonu karakteri “;” her program bloğunun sonunda satır tamamlamak için kullanılır.

Örnek Program ve Açıklaması:

O0010;	(Programın adı)
N010 T03 M06;	(T03: 3 numaralı takım; M06: 3 numaralı takımın mevcut takım ile değiştirilmesi)
N020 G54 G90;	(N010: Satır numarası; G54: Daha önceden tanımlanan koordinat sisteminin seçilmesi; G90: Mutlak koordinatın seçilmesi)
N030 G00 Y-10. X13.5;	(G00: Hızlı ilerleme; Y ve X: Koordinat noktaları)
N040 Z-1.;	(Z: Koordinat noktası)
N050 G95 F0.03;	(G95: İlerleme mm/dev; F0.03: İlerlemenin 0.03 mm/dev'e ayarlanması)
N060 S2000 M03;	(S2000: İş mili devrinin 2000 dev/dak ayarlanması; M03: İş milinin verilen devirde saat yönünde dönmesi)
N070 G01 X100.;	(G01: Ayarlanan ilerleme hızında doğrusal hareket yapılması)
N080 G00 Z200.;	
N090 M05;	(M05: İş milinin durdurulması)
N100 M30;	(M30: Programın sonu ve başa dönüş)

Artımlı ve Mutlak Sistemler:

CNC sistemleri artımlı (G91) ve mutlak (G90) sistemleri olmak üzere ikiye ayrılırlar. Artımlı sistemde, mesafeler bir noktadan diğerine göre ölçülmektedir. Örneğin, farklı konumlarda 5 adet delik delmek istenirse, X pozisyonu için komutlar X+500, X+200, X+600, X-300, X-700, X200 şeklinde olur. Mutlak sistemde, tüm hareket komutları bir referans noktasına (sıfır noktası, orijin) göre tanımlanmaktadır. Yukarıdaki örnek için, X pozisyonunun komutları X500, X700, X1300, x1000, X300, X100. Her iki sistemde çoğu CNC sistemlerinde mevcuttur. Tecrübesiz bir operatörün, artımlı sistemi kullanması akıllıcadır.

Mutlak sistemin artımlı sisteme göre iki önemli avantajı bulunmaktadır;

1. Takım kırılması, takım değiştirme, parçayı söküp/takma gibi nedenlerden dolayı oluşan kesilmeler, konumları etkilememektedir.

İşlem sırasında; kesici takım değiştirilirse veya operatör tablayı hareket ettirirse, tabla olayın başladığı yani operasyonun kesilerek bu işlemin yapıldığı yere geri dönmek zorundadır. Mutlak

sistemde, takım konumuna otomatik olarak döner. Artımlı sistemde ise parça programını tekrar başlatmadan konumlandırmayı hassas bir şekilde yapabilmek neredeyse imkansızdır.

2. Ölçü verileri kolayca değiştirilebilir.

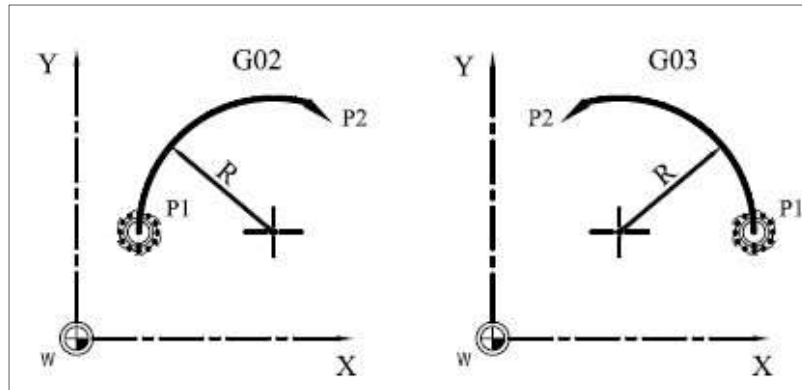
Artımlı sistemin mutlak sisteme göre iki avantajı bulunmaktadır;

1. Her eksen için tüm konum komutlarının toplamı sıfır olmak zorunda olduğu için parça programının kontrolü daha kolaydır. Sıfır olmayan toplam bir hatayı belirtmektedir. Mutlak sistemde bu tarz bir kontrol imkansızdır.

2. Parçaların simetrik geometrileri için konum komutlarının işaretinin değiştirilmesi ile aynalama yaparak program yazmak oldukça basittir.

CNC Parça Programlamada İnterpolasyon:

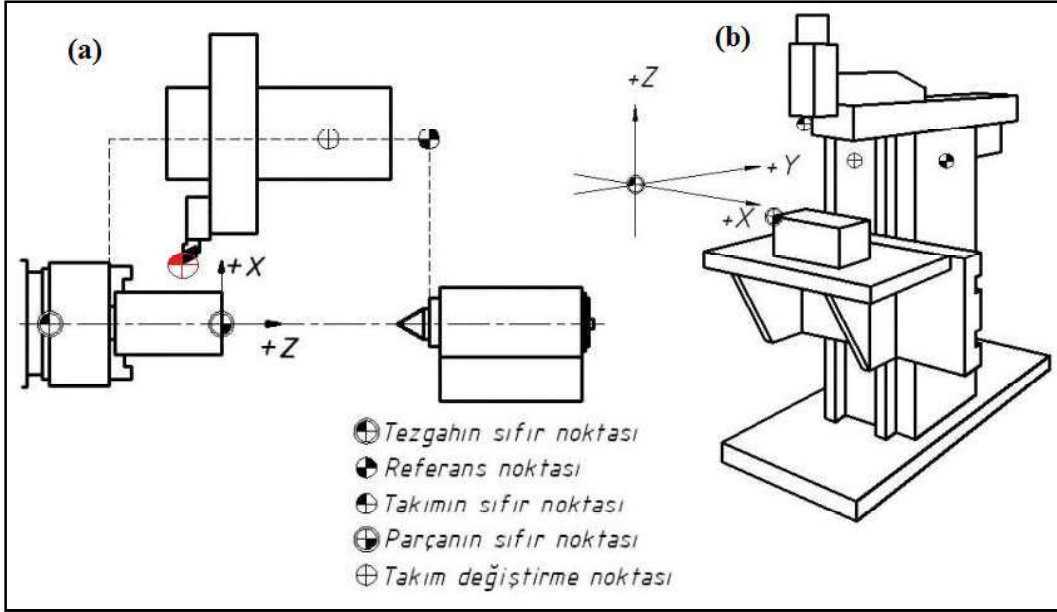
Dairesel interpolasyon, CNC parça program bloğunda belirtilen başlangıç noktasından bitiş noktasına kadar kesici takımın bir yay boyunca hareket etmesini sağlar. Başlangıç noktasından başlayarak oluşan dönme doğrultusu yayın gerçek şeklini oluşturur. G02 kodu kesici takımı saat yönünde (CW) hareket ettirir. G03 kodu ise kesici takımını başlangıç noktasından saat yönü tersinde (CCW) hareket ettirir (Şekil 1).



Şekil 1. Dairesel interpolasyonda yön tayini

Koordinat Sistemleri:

CNC takım tezgahlarında ve sistemlerinde, makine referans noktası, referans noktası, takım referans noktası ve parça referans noktası olmak üzere dört farklı koordinat sistemi vardır. Makine koordinat sistemi ve referans noktası tezgah imalatçısı tarafından belirlenir ve değiştirmek mümkün değildir.



Şekil 2. CNC tezgahlarda koordinat sistemleri a) CNC torna tezgahı, b) CNC freze tezgahı

4. DENEY TESİSATI

Kullanılacak cihaz, donatım, malzemeler aşağıdaki verilmiştir:

- GoodWay GA-230 CNC torna tezgahı
- First MCV-300 CNC freze tezgahı
- Çelik ve/veya plastik iş parçası
- Sert metal kesici uç
- Tornalama kateri
- Çeşitli frezeleme takımları



Şekil 3. CNC torna tezgahı



Şekil 4. CNC freze tezgahı

5.DENEYİN YAPILIŞI

- İlk önce CNC freze tezgahı çalıştırılacaktır.
- Tezgah daha sonra referans noktalarına gönderilecektir.
- Kullanılacak iş parçası tezgaha bağlanacaktır.
- Kullanılacak kesici takım program yazılarak çağırılacaktır.
- İş parçası- kesici takım sıfırlama işlemi yapılacaktır.
- Yapılacak olan işlem için parça programı yazılıp düzenlenecektir.
- Başlama butonuna basılarak talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilecektir.
- Aynı işlemler CNC torna tezgahı için de geçerlidir.

Gerekli Bilgiler:

N: Satır(blok) numarası

G: Hazırlık fonksiyonu(kesici hareketlerini belirleyen kod)

X: X ekseninde hareketin yönü ve koordinatı

Y: Y ekseninde hareketin yönü ve koordinatı

Z: Z ekseninde hareketin yönü ve koordinatı

T: Takım(kesici) numarası

M: Yardımcı fonksiyonlar

S: Devir sayısı

F: İlerleme

R: Dairesel interpolasyon oluşturmak için girilen yay yarıçapı

I: Dairesel interpolasyonda yay başlangıç noktasının yay merkezine X eksenindeki uzaklık

K: Dairesel interpolasyonda yay başlangıç noktasının yay merkezine Z eksenindeki uzaklık

PLASTİK ENJEKSİYON VE METAL ŞEKİLLENDİRME DENEYİ



Laboratuvar Adı: Talaşsız Şekillendirme Laboratuvarı

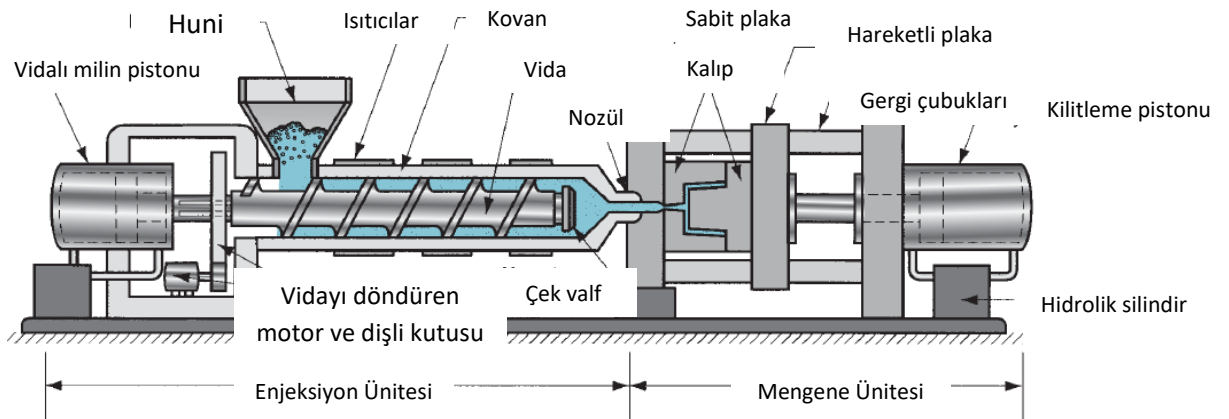
Konu: Plastik Enjeksiyon Bölümü: Kalıp Kapama (mengene kilitleme) Kuvvetinin Hesaplanması – Metal Şekillendirme Bölümü: Delik Genişletme Testinde Delik Genişletme Oranının Deneysel Belirlenmesi

Talaşsız Şekil Verme

Talaşsız şekillendirme proseslerinde kuvvet etkisiyle metal istenilen şekle kalıcı olarak dönüştürülmektedir. Dövme, haddeleme, ekstrüzyon, tel çekme gibi kütleli şekillendirme işlemleri, sac şekillendirme (derin çekme, kesme, bükme, sıvama) ve plastik enjeksiyon prosesleri talaşsız şekillendirme yöntemleri arasında sayılmaktadır.

PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLAMA YÖNTEMİ

Enjeksiyon kalıplama yöntemi, ısıtılan polimerin ergiyik fazda iken yüksek basınç altında kalıp boşluğuna doldurulması ve burada katılaştırılması esasına dayanmaktadır. Enjeksiyon edilmiş ürün, kalıp şeklini alarak kalıp boşluğunda katılaşmaktadır. Kalıplanmış ve katılaşmış olan parça daha sonraki aşamada kalıp dışına alınmaktadır. Enjeksiyonda parça imalat süresi oldukça kısa olup, üretim süreci hızlıdır. Bir parça için üretim süresi 10 ile 30 saniye arasında değişmektedir. Ancak, büyük parça için 1 dakika veya daha uzun süreler ile karşılaşmak mümkündür. Ayrıca, çok gözlü kalıplar kullanılarak bir baskıda birden çok parça üretmek mümkündür. Yöntemin uygulandığı makineye plastik enjeksiyon makinesi denir. Şekil 1’ de makinenin şematik resmi verilmiştir.



Şekil 1. Plastik Enjeksiyon makinesi

PLASTİK ENJEKSİYON MAKINASININ BÖLÜMLERİ

Enjeksiyon makinalarının temel olarak iki bölümü vardır: (1) plastik enjeksiyon ünitesi (2) mengene (kalıp) kilitleme ünitesi. Sıkıştırma ünitesi hareketi kalıbın hareketleri ile doğrudan ilişkili olup, görevleri: (1) kalıbın iki yarısını birbiri ile aynı hızda tutmak (2) enjeksiyon aşamasında enjeksiyon kuvvetine karşı yeterli sıkıştırma kuvveti uygulayarak kalıbı kapalı tutmak ve proses çevriminin gerekli aşamalarında kalıbı açmak ve kapamaktır. Enjeksiyon ünitesi, ise vidayı ve aşağıda verilen diğer bölümleri içermektedir. Ergiyik polimerin kalıp içine enjeksiyonundan sorumlu bölümdür.

Huni: Granüllerin konulduğu haznedir.

Kovan: İçinde vidayı barındıran silindir. Üstünde polimeri eritmek amaçlı ısıtıcılar bulunur.

Vida: Polimeri plastikleştirmeyi (sürtünmeden kaynaklanan ısı etkisi ile) ve polimerin kalıba enjekte edilmesini sağlar.

Nozül (meme): Kovanın ucunda bulunur ve polimer buradan kalıp içine enjekte edilir.

Geri dönüşsüz valf (çek valf): Enjeksiyondan sonra nüzuldeki polimerin vidaya geri dönmesini engeller.

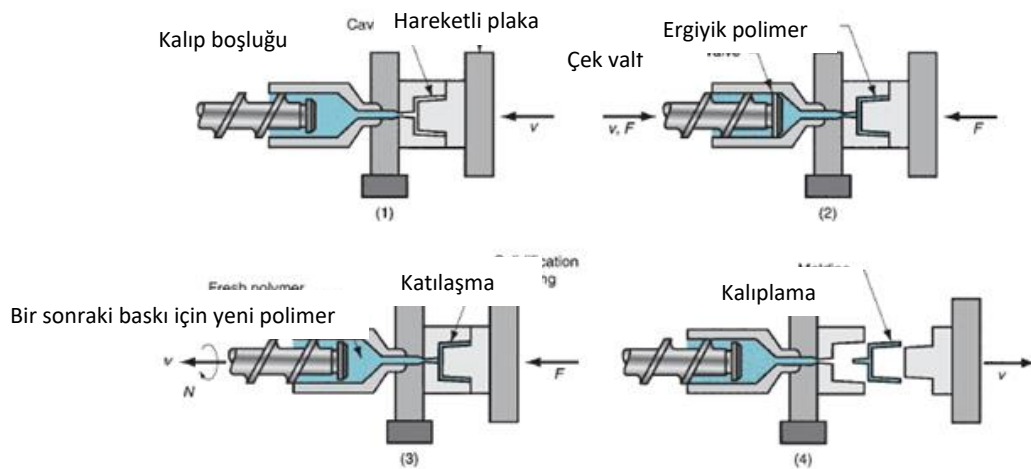
ENJEKSİYON ÇEVİRİMİ

(1) Kalıp kapanır ve mengene kapama basıncı uygulanır.

(2) Ergiyik enjeksiyonu gerçekleşir. Bu aşamada, vidanın mekanik olarak hareket etmesi ve malzemenin ısıtılması gerçekleşir, uygun sıcaklık ve viskoziteye getirilen polimer yüksek basınçta kalıp içine iletilmektedir. Bu aşamadaki basınç, enjeksiyon basıncı denmektedir. Polimer malzeme, soğuk kalıp duvarı ile temas ettiğinde soğuyarak katılaşmaya başlamaktadır.

(3) Vida döner, geri dönüşsüz valf açılır ve kovana yeni polimer malzeme alınır. Alınan yeni malzeme bir sonraki baskı içindir. Bu aşamada, kalıp içindeki polimer tamamen katılaşır.

(4) Kalıp açılır ve parça kalıp dışına alınır.



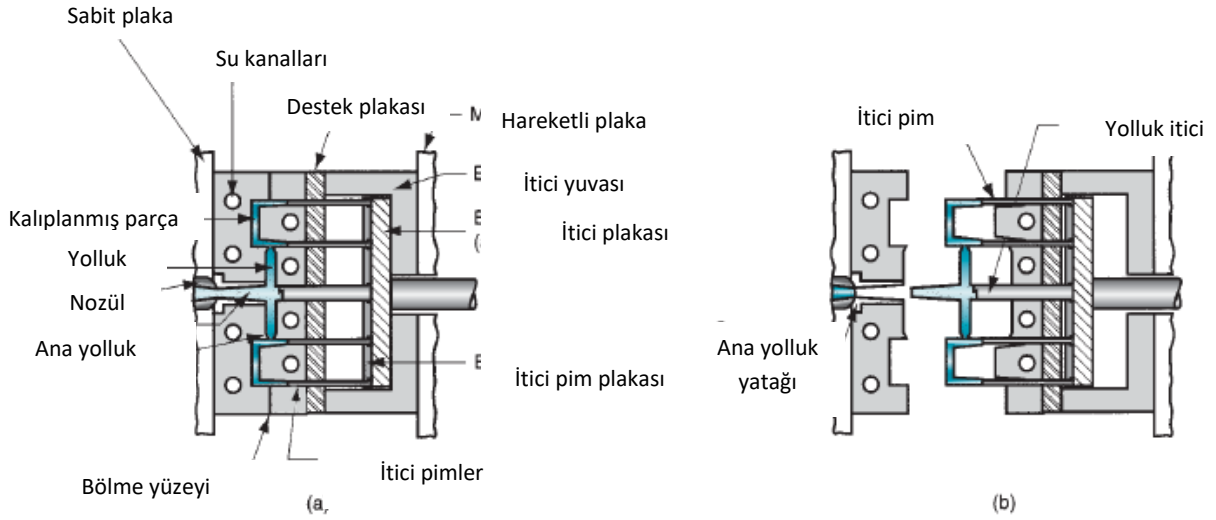
Şekil 2. Enjeksiyon kalıplama yönteminin çevrimi (1) Kalıp kapanır (2) Enjeksiyon (3) Vida geri çekilir (4) Kalıp açılır.

PLASTİK ENJEKSİYON KALIBI

Bu kalıplar genellikle iki parçadan oluşmakta ve enjeksiyon makinasında bulunan mengene ünitesindeki iki plakaya monte edilmektedir. Kalıp bileşenleri Şekil 3’ te verilmiştir.

Enjeksiyon kalıplarının en önemli özelliği, sahip oldukları kalıp boşluğudur. Kalıp boşlukları, kalıp yarılarının bölme yüzeyleri etrafından, belirli miktarda malzeme boşatılması ile elde edilmektedir. Malzeme boşatılmasından sonra elde edilen boşluk, parça şeklini temsil etmektedir. Kalıplar tek gözlü (boşluklu) veya çok gözlü olabilmektedir.

Plastik enjeksiyon kalıplarında, kalıp boşluğunun yanı sıra enjeksiyon işlemi için oldukça önemi olan farklı kısımlar mevcuttur. Bir kalıbın, ergiyik polimerin kalıba nozülünden kalıp boşluğuna geçişini sağlayan bir kanal sistemine sahip olması gerekmektedir. Bu kanal sistemi (1) **yolluk** (sprue), memeden kalıba girişi (2) **dağıtıcı yolluklar veya yatay yolluklar** (runners), yolluk girişinden kalıp boşluğuna/boşluklarına geçişi (3) **yolluk girişi** (gate), polimerin kalıp boşluğuna girişini sağlamaktadır. **İtici sistemi**, enjeksiyon kalıplama çevrimi sonunda kalıplanmış parçanın kalıptan atılması için gereklidir. Başka bir ifade ile **iticiler** enjeksiyon çevriminden sonra ürünün kalıptan dışarı atılmasını sağlayan kalıp elemanlarıdır.



Şekil 3. Plastik enjeksiyon kalıp elemanlarının düzeni (a) Kapalı (b) Açık



Şekil 4. Farklı enjeksiyon kalıpları

Bir Plastik Parça İçin Kalıp Kapama (Mengene Kilitleme) Gücü Hesabı ve Makine Seçimi

Toplam İzdüşüm Alanı= Parçanın izdüşüm alanı + (%20 izdüşüm alanı)

Gerekli kilitleme gücü = Toplam izdüşüm alanı x Kullanılacak plastik için kilitleme faktörü

Çeşitli malzemelerin kapama gücü faktörü aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Tablo 1. Kapama gücü faktörü (ton/cm²)

Hammadde	Ton / cm²
PS (GPPS)	0.155 - 0.31
HIPS	0.155 - 0.31
ABS	0.388 - 0.62
AS (SAN)	0.388 - 0.465
LDPE	0.155 - 0.31
HDPE	0.233 - 0.388
PP (Homo / Copolymer)	0.233 - 0.388
PPVC	0.233 - 0.388
UPVC	0.31 - 0.465
PA6, PA66	0.62 - 0.775
PMMA	0.31 - 0.62
PC	0.465 - 0.775
POM (Homo / Copolymer)	0.465 - 0.775
PET (Amorf)	0.31 - 0.388
PET (Kristalin)	0.62 - 0.93
PBT	0.465 - 0.62
CA	0.155 - 0.31
PPO-M (katkısız)	0.31 - 0.465
PPO-M (katkı ile güçlendirilmiş)	0.62 - 0.775
PPS	0.31 - 0.465

A- Plastik enjeksiyonda eksik baskı:

Plastik enjeksiyondaki eksik baskının en temel nedenlerinden biri, düşük enjeksiyon basıncıdır. Bunun yanı sıra, viskozitesi yüksek olan polimerler için düşük olan kalıp sıcaklığı da kalıbın tam dolmamasına neden olabilir. Yani, malzeme kalıbı tam dolduramadan katılaşabilir. Ayrıca, düşük enjeksiyon hızının da eksik baskı oluşumuna etkisi vardır.

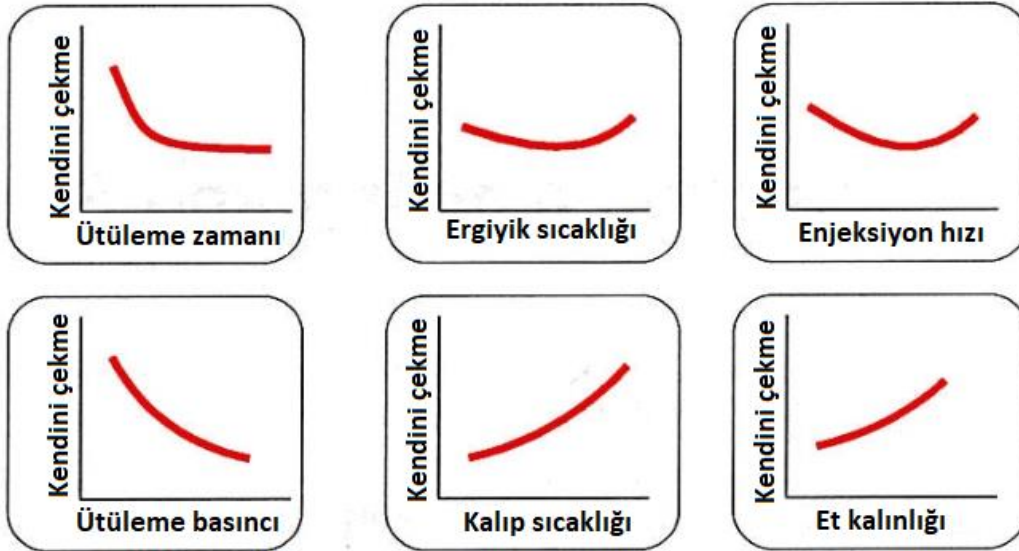


Şekil 5. Eksik baskı örneği

B- Plastik enjeksiyonda kendini çekme:

Plastik enjeksiyonda kendini çekme sıklıkla görülen bir problemdir. Kendini çekme, çizgisel kendini çekme olarak incelendiğinde, kalıptan çıkan parçada, parça boyutlarının olması gerekenden daha düşük olmasıdır. Hacimsel kendini çekme de incelenebilir. Ancak, çizgisel kendini çekmenin gözlemlenmesi daha pratik olduğundan ötürü tercih edilmektedir.

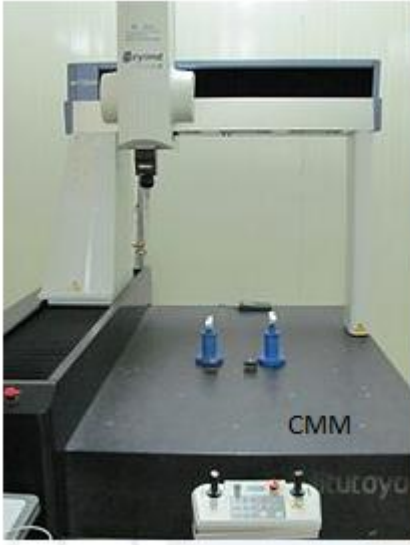
Kendini çekmeyi önlemede en temel faktör, doğru seçilmiş ütüleme basıncı ve ütüleme zamanıdır. Bunun yanı sıra aşağıda belirtildiği gibi diğer enjeksiyon parametrelerinin de kendini çekmeye etkisi vardır ancak ütüleme basıncı kadar yüksek değildir.



Şekil 6. Kendini çekme ile enjeksiyon parametrelerinin ilişkisi

Kendini çekmenin ölçülmesi:

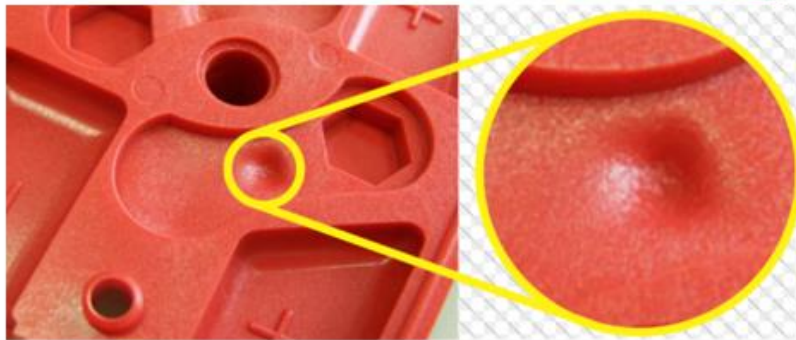
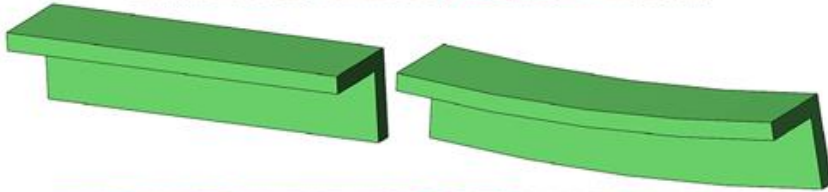
Çeşitli ölçüm metotları vardır. CMM gibi hassas cihazlar kullanılarak yapılan ölçümlerin yanı sıra, basit geometrili parçalar için mikrometre ve kumpasla da ölçüm yapılabilir.



Şekil 7. Kendini çekmenin ölçülmesi

Kendini çekme oranının, S, belirlenmesi. D_m , kalıp çekirdeğinden alınan ölçü bilgisi, D_p , parçanın boyutu aşağıdaki eşitlikte verilmektedir.

$$S = (D_m - D_p) / D_m \cdot 100\%$$



Şekil 8. Plastik enjeksiyonda kendini çekme

Polimerlerde kendini çekme oranı:

Kısmi kristalin polimerler, amorf polimerlerden daha çok kendini çeker. Bu nedenle amorf polimer kullanılmış bir kalıpta, kısmi kristalin bir polimer kullanılacak olunursa, boyut küçülmesi daha çok görülebilir. Tabloda sıklıkla kullanılan polimerler için kendini çekme oranı verilmiştir.

Tablo 2. Çeşitli polimerler için kendini çekme oranları

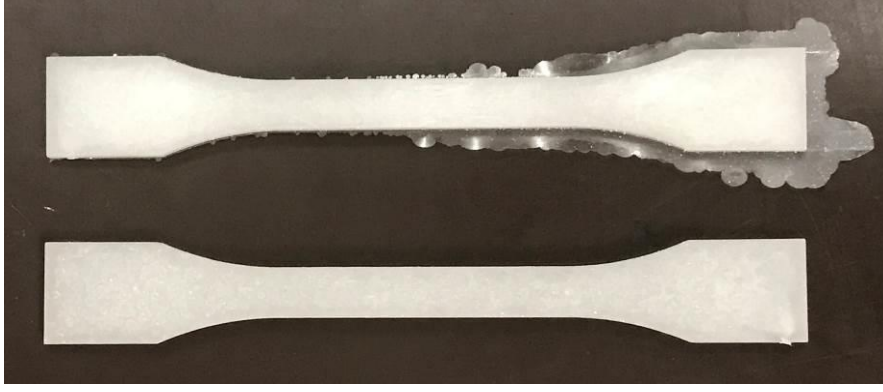
Plastik Malzeme	Kendini çekme oranı (%)	Kalıp kavite yüzey sıcaklığı (°C)	Enjeksiyon Basıncı	
			(kgf/cm ²)	(MPa)
Akrilonitril bütadien stiren (ABS)	0.4-0.9	50-80	550-1750	53.97-171.7
Polistiren (PS)	0.4-0.7	20-60	700-2100	68.69-206.1
Stiren Akrilonitril (SAN)	0.2-0.7	50-80	700-2300	68.69-225.7
Etilen vinil asetat (EVA)	0.7-1.2	50-80	1050-2800	103-274.8
Polipropilen (PP)	1.0-2.5	20-90	700-1400	68.69-137.8
%40 Cam Elyaf Katkılı Polipropilen	0.2-0.8	20-90	700-1400	68.69-137.8

C- Kalıptan çıkan parça yüzeyinin sıcaklığının irdelenmesi:

Parçanın kalıptan gereğinden fazla sıcak çıkması tercih edilmez. Gereğinden fazla sıcak çıkan parçalarda, özellikle ince parçalarda, çarpılma görülebilir. Çünkü kalıp cidarları tarafından sıkıştırılmayan bir parça serbest ortamda soğurken çarpılmaya daha çok meyil gösterir. Parçanın kalıptan sıcak çıkması ile ilişkili olan parametreler; Soğuma sıcaklığı- kalıp sıcaklığı – ergime sıcaklığı olabilmektedir.

D- Çapaklı Ürün

Kalıbın ayrıldığı yerde, genellikle ayrılma yüzeyinde fazla malzeme oluşmasıdır. Kalıp aşınması, enjeksiyon hızının fazla olması, enjeksiyon basıncının fazla olması, ütüleme basıncının fazla olması, eriyik sıcaklığının yüksek olması, gramajın fazla olması, düşük kalıp kitleme basıncı gibi faktörler sebebiyle çapaklı ürün oluşmaktadır.



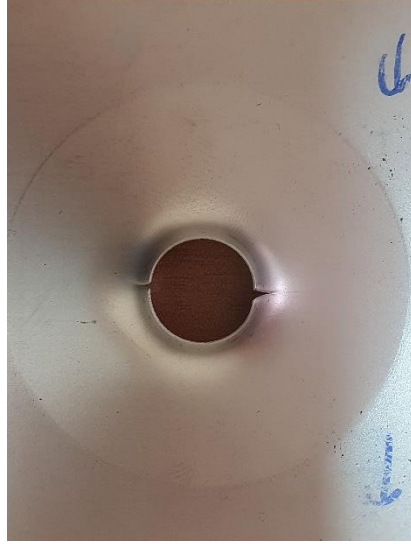
Şekil 9. Çapaklı ürün

Delik Genişletme Testi

Delik genişletme testi, sac malzemelerin şekillendirilebilirliğinin değerlendirilmesinde kullanılan bir testtir. Sac konstrüksiyonlarındaki bağlantıların sağlanması ve vidalı bağlantılarda uzun delik yüksekliklerinin elde edilebilmesi için delik genişletme testi gerçekleştirilmektedir. Teste başlamadan önce ilk olarak, sac malzemenin merkezine $d_0 = 10$ mm çapında delik açılır. Deliğin açılması çeşitli talaşlı imalat yöntemleri ya da kalıpta delme işlemi ile gerçekleştirilebilmektedir. Numune merkezinde deliğin açılmasından sonra, hidrolik preste delik içe doğru çökertilerek delik çapı genişlemeye zorlanır. Delik çapı genişlemeye zorlanırken delik çevresinde çevresel gerilmelerin etkisiyle uzama meydana gelir. Malzemenin uzamaya zorlanması sonucunda delik kenarı incelmeye maruz kalır ve aşırı incelmenin sonucunda kenar bölgesinden yırtılır. Şekil 10 ve 11’de sırasıyla deneyin gerçekleştirildiği PLC kontrollü hidrolik pres ve test sonrası kenar bölgesinden yırtılmış deney numunesi gösterilmektedir. (Şekil 11).



Şekil 10. PLC kontrollü 30 tonluk hidrolik pres



Şekil 11. Test sonrası numune

Bu testte, malzemelerin şekillendirilebilirliği delik genişletme oranı (DGO) ile tanımlanır ve bu parametre Eşitlik 3’de verilen formül kullanılarak belirlenir.

$$\%DGO = 100 \cdot \left(\frac{d-d_0}{d_0} \right) \quad (3)$$

Burada, d test sonrasındaki delik çapını, d_0 test öncesindeki delik çapını ifade etmektedir. DGO değerlerine bakılarak malzemelerin şekillendirilebilirlikleri karşılaştırılabilmektedir. Bu parametrenin yüksek olması, şekillendirilebilirliğin yüksek olduğunu göstermektedir.

Kullanılan Makine ve Malzemeler:

- Plastik enjeksiyon makinesi
- Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), Polipropilen (PP)
- PLC Kontrollü 30 tonluk hidrolik pres
- Çift fazlı çelikler (DP600 ve DP800)

İstenenler:

1. Sorudan bir şık seçilecektir.

a) Kutu şeklinde prizmatik bir parça (*) malzemesinden imal edilecektir. Kutu parçanın duvar kalınlığı'dir. Boyu ve eni'dir. Bu kutu parça için kapama gücünü bulunuz.

b) Çapı....., boyu..... olan silindirik bir parça (*) malzemedan imal edilecektir. Bu parça için uygun kapama gücünü bulunuz.

2- 1. Soruda imal edilen parçada..... (**) hatası görülmüştür. Hatanın sebebini ve çözümünü yazınız.

(*) Malzemeler

ABS/ PA/ PC/ PP/ LDPE / HDPE / PVC / PS

(**) Hatalar:

Kaynak izi

Akış izleri

Eksik baskı

Çöküntü izleri

Çapak oluşumu

Çarpılma

Siyah noktalar

Kalıba parçanın yapışması

Mat parça (parlaklığın azalması)

Gereğinden fazla kendini çekme

Parçada hava kabarcıklarının gözlenmesi

Not: Mengene kilitleme kuvvetinin hesaplanması ile ilgili formüller ve tablo çalışma notunda verilmiştir.

2. Deneyin Yapılışı:

- Enjeksiyonluk malzeme seçimi
- Plastik enjeksiyon makine bileşenlerinin tanıtılması
- Kontrol ekranının tanıtılması ve parametre seçimi
- Kalıp bileşenlerinin seçimi
- Örnek basılmış numuneler üzerinden tartışma
- Kalıp kapama (mengene kilitleme) kuvvetinin belirlenmesi ve örnek bir parça için hesaplanması.

Delik Genişletme Testi:

Amaç: Sac malzemelerin şekillendirilebilirliklerinin delik genişletme testi ile belirlenmesi ve malzemelerin mekanik özellikleriyle ilişkilendirilmesi

Deneyin Yapılışı ve İzlenecek Sıra:

- Test öncesinde sac numunelerdeki delik çapının (d_0) kumpasla ölçülmesi ve kaydedilmesi
- Laboratuarda bulunan H tipi ve PLC kontrollü çift tesirli hidrolik pres ile delik genişletme testlerinin gerçekteştirilmesi
- Deney sonrası delik çapının ölçülmesi (d_1)
- Föyde verilen Eşitlik 3 kullanılarak delik genişletme oranının (DGO) hesaplanması ve Tablo 1'e yazılması
- Belirlenmiş DGO değerleri üzerinden malzemelerin şekillendirilebilirliklerinin karşılaştırılması ve mekanik özelliklerle ilişkilendirerek yorumlanması

Tablo 1. Farklı malzemelerin bükümü sonrasında bükme açısının deneysel ve teorik değerleri

Malzemeler	Test Öncesi Delik Çapı (d_0)	Test Sonrası Delik Çapı (d_s)	Delik Genişletme Oranı (DGO)

3. Yorum ve Sonuç:

BAHAR DÖNEMİ KAYNAK TEKNİĞİ DENEYİ

1. DENEY ADI: Kaynak Tekniği

2. DENEYİN AMACI: Elektrik ark kaynak yöntemlerinin tanıtılması, uygulamalarının yapılması ve bu uygulamalar sonunda elle örtülü elektrot ark kaynağında çeşitli kaynak ağız formları, malzeme kalınlıkları ve boyları, elektrot tip, çap ve boyları için elektrot ihtiyacının, kaynak süresinin ve elektrik sarfiyatının hesaplanması

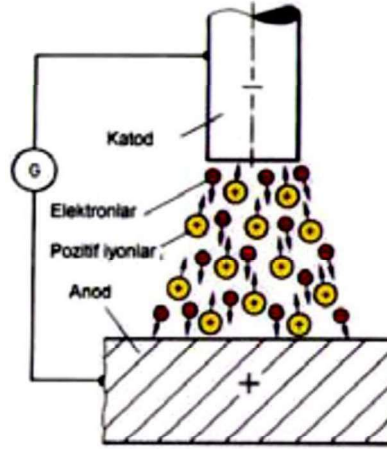
3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR

Metallerin birleştirilmesinin, bir elektrot ile parça arasındaki elektrik arkının ısı ile oluşturulduğu bir ergitme kaynak yöntemidir. Arkın ürettiği elektrik enerjisi, herhangi bir metali ergitmeye yeterli sıcaklıklar oluşturur: ~ 5500 °C. Çoğu ark kaynak yöntemlerinde kaynaklı bağlantının hacmini ve dayanımını arttırmak için dolgu (ilave) metal eklenir. Bazı temel yöntemler, arkla kesmede de kullanılmaktadır.

Ark:

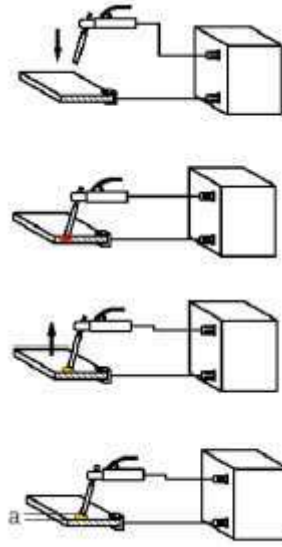
Elektrik arkı = Bir devredeki aralıktan geçen elektrik akım deşarjı

- Akımın aktığı bir iyonize gaz demeti (plazma) tarafından sürdürülür.

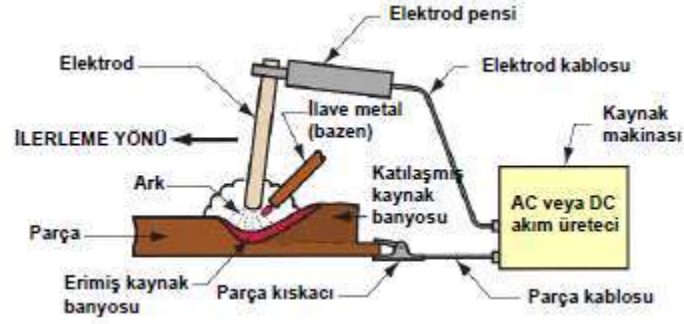


Şekil 1. Arkta elektron ve iyon hareketleri

Ark kaynağında arkı başlatmak için, elektrot parça ile temas haline getirilir ve hemen ayrılarak kısa bir mesafede tutulur (şekil 2). Şekil 3'te ark kaynak postası (donatımı) görülmektedir.



Şekil 2. Örtülü elektrotla ark kaynağında arkı tutuşturmak



Şekil 3. Ark kaynak postası

Örtülü elektrotların örtü türüne göre sınıflandırılması

- Rutil örtülü elektrotlar
- Bazik örtülü elektrotlar
- Selülozik örtülü elektrotlar
- Oksit örtülü elektrotlar
- Asit örtülü elektrotlar

4. ÖRTÜLÜ ELEKTROT ARK KAYNAĞI

Örtülü elektrot kaynağı ark kaynak yöntemlerinden biridir. Deneyde inverter tipi örtülü elektrot ark kaynak makinası kullanılmaktadır (Şekil 4). Bu makinanın üzerinde her biri farklı bir kutba (+ veya -) bağlı bir elektrot pensesi (şekil 5) bir de şasi kablosu bulunmaktadır. Elektrot pensesine örtülü elektrotlar (şekil 6) takılmaktadır; şasi kablosu ise üzerinde kaynak edilecek parçanın bulunduğu çelik iş masasına bağlanmaktadır. Bu şekilde kutuplamalar yapılmakta ve kaynağa hazır hale gelmektedir. Akım şiddeti ayarı, kaynak makinasının üstünde bulunan potansiyometre (şekil 7) ile yapılmaktadır.



Şekil 4. İnverter tipi örtülü elektrot ark kaynak makinası



Şekil 5. Kaynak elektrot pensesi



Şekil 6. Örtülü elektrotlar



Şekil 7. Kaynak akım ayar potansiyometresi

5. DENEYİN VE HESAPLAMALARIN YAPILIŞI

3,25 mm çapındaki rutil elektrotla uygun akım ayarında (~120 A) kaynak işlemi deneyi yapan öğretim elemanı tarafından gerçekleştirilecektir. Deneyde kullanılan kaynak makinası, ayarlı akım şiddetine göre gerilim ayarını kendisi otomatik olarak yaptığından ayrıca bir gerilim ayarı yapılmasına gerek yoktur. Öğretim elemanı, optimal parametreler dışında kaynak dikişinin ve elektrot yanışının nasıl olduğunu göstermek üzere daha yüksek ve daha düşük akım şiddeti değerlerinde de kaynak yapacaktır. Meydana gelen farklılıklar öğrenciler tarafından not edilecektir.

Gerekli iş sağlığı ve güvenliği önlemleri alınarak öğrenciler de kaynak yaptırılacak ve örtülü elektrotla ark kaynağını deneyimlemeleri sağlanacaktır.

Deney sonunda öğrencilere, hesaplamalarını yapmaları için gerekli verileri içeren ödev konuları verilecektir.

**** Elektrot ihtiyacının ve kaynak zamanının belirlenmesi ve enerji sarfiyatının bulunması için yapılan seçimler ve hesaplamalar, formüller yazılarak ayrıntılı bir şekilde gösterilmelidir.**

Hesaplamalarda İstenenler

- 1) Elektrot ihtiyacının belirlenmesi
- 2) Kaynak zamanının belirlenmesi
- 3) Enerji sarfiyat miktarının bulunması

Hesaplamalarda İzlenecek Yol:

a) Elektrot ihtiyacının tayini:

Ödev numarasındaki kaynak ağzı durumuna göre A tablolarından birine (örneğin A2) gidilecek ve sac kalınlığına göre kök paso, gerekliyse ters yönde kök paso ve kapak pasoları için bir metre kaynak dikişi başına elektrot sayıları seçilecektir.

Not: Tablolardaki referans değerler 50 mm koçan ve 450 mm elektrot uzunluğu temel alınarak hazırlanmıştır. Verilen elektrot uzunluğu ve koçan boyu farklı ise düzeltme faktörlerinin kullanılması gerekmektedir. Soruda verilen elektrot boyu 350 mm ise, bulunan elektrot sayılarının 1,33 ile çarpılması gerekecektir.

B1 tablosundan elektrotun verimi seçilecek ve koçan uzunluğuna göre C2 tablosundan da koçan düzeltme faktörü alınacaktır.

Bu verilerek kullanılarak toplam kaynak dikişi uzunluğu için elektrot sayıları hesaplanacaktır.

b) Kaynak zamanının tayini:

Elektrotların tipine, çapına ve boyuna göre akım şiddeti değerleri ve ergime süreleri tablo B2'den seçilecektir. Tablo B2'de akım şiddeti değeri için nominal değer olan I_2 (A) değeri, bu elektrotun yanması için gereken süre olarak da t_2 (sn) değeri alınabilir.

Gereken kaynak süresi dk cinsinden hesaplanmalıdır ve koçan düzeltme faktörüne bölünerek gerçek süre bulunmalıdır.

Toplam kaynak zamanı, net kaynak zamanının kaynak zaman faktörü (tablo C3) ile çarpılmasıyla bulunur.

c) Enerji sarfiyat miktarı

Her bir elektrot çapı için gerekli enerji sarfiyatı aşağıdaki formülle hesaplanır. Hesaplanan sarfiyatlar toplanarak toplam enerji sarfiyatı bulunur.

$$A = \left(\frac{I \cdot U}{1000 \cdot S_f \cdot \eta} + N_0 \left(1 - \frac{1}{S_f} \right) \right) \cdot T$$

A Kws olarak enerji sarfiyat miktarı

I Amper olarak kaynak akım şiddeti. Her elektrot tipi, çapı ve boyutları için B çizelgelerinde üç akım şiddeti verilmiştir. Hesaplamalarda optimal akım şiddeti değeri alınabilir.

U Volt olarak ark gerilimi;

Ark gerilimi her elektrot tipine göre 20-30 V arasında değişir (derin nüfuziyet elektrotları hariç)

***** $U = 20 + 0,04 \cdot I$ (V) formülü ile hesaplanabilir.**

S_f Kaynak zaman faktörü; kaynak işinin cinsine bağlıdır (C3 çizelgesi)

η Kaynak akım üreticinin verimi

Jeneratör 0,5

Redresör 0,7

Transformatör 0,8

N_0 Kw olarak boşa enerji sarfiyatı;


Jeneratör 1,2

Redresör 1,0


Transformatör 0,8

T Saat olarak toplam kaynak zamanı; net kaynak zamanının kaynak zaman faktörü ile çarpılmasından elde edilir.


Tablo A1 – Düz 50° V kaynak dikişi

Beher metre dikiş için standart-elektrod miktarı					Düz 50° V kaynak ağız dikişi				
Sac kalınlığı	Aralık genişliği	Elektrod miktarı			Her metre için efektif dikiş ağırlığı	Efektif dikiş kesiti	Teorik dikiş kesiti	Kesit tashihi	
		Kök paso	+ ilave paso						
mm	mm		ad/m	Ya	Veya	g/m	mm ²	mm ²	%
			2,5	3,25					
4	1	-	7,2	3,2	83	10,6	11,5	-7,5	
5	1	-	-	4,6	119	15,3	16,5	-7,5	
6	1	-	-	6,3	165	21,3	23	-7,5	
		3,25	4,00	5,00					
6,35	1,5	4	2,5	-	208	26,5	28,5	-7,5	
7	1,5	4	3,5	-	242	31	33,5	-7,5	
8	1,5	4	5	3,2	301	38,5	42	-8	
9	1,5	4	6,7	4,3	367	47	51	-8	
9,5	2	4	8,5	5,4	440	56	61	-8	
10	2	4	9,5	6,1	476	61	66,5	-8	
11	2	4	11,7	7,5	565	72	78,5	-8	
12	2	4	14,3	8,1	660	84	91	-8	
12,7	2	4	16	10,1	730	93	101	-8	
14	2	4	19,3	12,3	860	110	120	-8	
		4,00	5,00	6,00					
15	2	4	13,2	9,2	970	124	135	-8	
16	2	4	15,1	10,5	1090	139	151	-8	
17	2	4	17,2	12	1210	155	169	-8	
18	2	4	19,4	13,5	1350	172	187	-8	
19	2	4	21,7	15,1	1490	190	207	-8	
20	2	4	24	16,7	1630	208	227	-8	
Ters yönde alt paso için ilave : (Kesitin büyüklüğüne göre değişir.				Kaynak pozisyonu		3,25	4,00		
						ad/m	ad/m		
				Düz		4,5-6	3-4		
Tavan		4,5-7,5	3,5						
3,25, 4,00 ve 5,00 mm çaplarında olan elektrodların uzunluğu 450 mm yerine 350 mm ise elektrod miktarlarınının 1,33 ile çarpılması gerekir.									


Tablo A2 – Düz 60° V kaynak dikişi

Beher metre dikiş için standart-elektrod miktarı					Düz 60° V kaynak ağız dikişi					
Sac kalınlığı	Aralık genişliği	Elektrod miktarı			Her metre için efektif dikiş ağırlığı	Efektif dikiş kesiti	Teorik dikiş kesiti	Kesit tashihi		
		Kök paso	+ ilave paso							
mm	mm		ad/m	Ya	Veya	g/m	mm ²	mm ²	%	
			2,5	3,25						
4	1	-	8,1	3,6	94	12	13	-7,5		
5	1	-	-	5,4	141	18	19,5	-7,5		
			3,25	4,00	5,00					
6	1	4	2,3	-	196	25	27	-7,5		
6,35	1,5	4	3,1	-	235	30,5	33	-7,5		
7	1,5	4	4,5	-	282	36	39	-8		
8	1,5	4	6,3	4	354	45	49	-8		
9	1,5	4	8,4	5,4	435	55,5	60,5	-8		
9,5	2	4	10,3	6,5	510	65	71	-8,5		
10	2	4	11,5	7,3	555	71	77,5	-8,5		
11	2	4	14,3	9,1	665	85	92	-8,5		
12	2	4	17	10,8	770	98	107	-8,5		
12,7	2	4	19	12,2	855	109	119	-8,5		
14	2	4	23,2	14,8	1020	129	141	-8,5		
			4,00	5,00	6,00					
15	2	4	16	11,1	1140	146	160	-8,5		
16	2	4	18,6	12,9	1300	165	180	-8,5		
17	2	4	20,8	14,5	1440	184	201	-8,5		
18	2	4	23,6	16,4	1610	205	223	-8,5		
19	2	4	26,2	18,2	1770	226	246	-8,5		
20	2	4	29,1	20,2	1950	249	271	-8,5		
Ters yönde alt paso için ilave : (Kesitin büyüklüğüne göre değişir.)				Kaynak pozisyonu			3,25	4,00		
							ad/m	ad/m		
				Düz						4,5-6
Tavan						4,5-7,5	3-5			
3,25, 4,00 ve 5,00 mm çaplarında olan elektrodların uzunluğu 450 mm yerine 350 mm ise elektrod miktarlarının 1,33 ile çarpılması gerekir.										

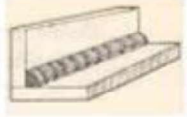
Tablo A3 – Düz 50° X kaynak dikişi

Beher metre dikiş için standart-elektrod miktarı					Düz 50° X kaynak ağız dikişi				
Sac kalınlığı	Aralık genişliği	Elektrod miktarı			Her metre için efektif dikiş ağırlığı	Efektif dikiş kesiti	Teorik dikiş kesiti	Kesit tashihi	
		Kök paso	+ ilave paso						
mm	mm		ad/m	Ya	Veya	g/m	mm ²	mm ²	%
			2,5	3,25					
8	1	-	14,4	6,4	166	21,2	23	-7,5	
10	1	-	-	9,2	238	30,5	33	-7,5	
12	1	-	-	12,6	330	42,5	46	-7,5	
		3,25	4,00	5,00					
12,7	1,5	8	5	-	408	52,5	57	-7,5	
14	1,5	8	7	-	484	62	67	-7,5	
16	1,5	8	10	6,4	602	77	84	-8	
18	1,5	8	13,4	8,6	734	94	102	-8	
19	2	8	17	10,8	880	112	122	-8	
20	2	8	19	12,2	952	122	133	-8	
22	2	8	23,4	15	1130	144	157	-8	
24	2	8	28,6	18,2	1320	168	182	-8	
25,4	2	8	32	20,2	1460	186	202	-8	
28	2	8	38,6	24,6	1720	220	240	-8	
		4,00	5,00	6,00					
30	2	8	26,4	18,4	1940	248	270	-8	
32	2	8	30,2	21	2180	278	302	-8	
34	2	8	34,4	24	2420	310	338	-8	
36	2	8	38,8	27	2700	344	374	-8	
38	2	8	43,4	30,2	2980	380	414	-8	
40	2	8	48	33,4	3260	416	454	-8	
Ters yönde alt paso için ilave : (Kesitin büyüklüğüne göre değişir.)				Kaynak pozisyonu		3,25	4,00		
						ad/m	ad/m		
				Düz		4,5-6	3-4		
Tavan		4,5-7,5	3-5						
3,25, 4,00 ve 5,00 mm çaplarında olan elektrodların uzunluğu 450 mm yerine 350 mm ise elektrod miktarlarınının 1,33 ile çarpılması gerekir.									

Tablo A4 – Düz 60° X kaynak dikişi

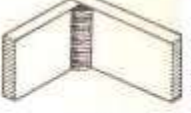
Beher metre dikiş için standart-elektrod miktarı					Düz 60° X kaynak ağız dikişi				
Sac kalınlığı	Aralık genişliği	Elektrod miktarı			Her metre için efektif dikiş ağırlığı	Efektif dikiş kesiti	Teorik dikiş kesiti	Kesit tashihi	
		Kök paso	+ ilave paso						
mm	mm		ad/m	Ya	Veya	g/m	mm ²	mm ²	%
			2,5	3,25					
8	1	-	16,2	7,2	188	24	26	-7,5	
10	1	-	-	10,8	282	36	39	-7,5	
		3,25	4,00	5,00					
12	1	8	4,6	-	392	50	54	-7,5	
12,7	1,5	8	6,2	-	470	61	66	-7,5	
14	1,5	8	9	-	564	72	78	-8	
16	1,5	8	12,6	8	708	90	98	-8	
18	1,5	8	16,8	10,8	870	111	121	-8	
19	2	8	20,6	13	1020	130	142	-8,5	
20	2	8	23	14,6	1110	142	155	-8,5	
22	2	8	28,6	18,2	1330	170	184	-8,5	
24	2	8	34	21,6	1540	196	214	-8,5	
25,4	2	8	38	24,4	1710	218	238	-8,5	
28	2	8	46,4	29,6	2040	258	282	-8,5	
		4,00	5,00	6,00					
30	2	8	32	22,2	2280	292	320	-8,5	
32	2	8	37,2	25,8	2600	330	360	-8,5	
34	2	8	41,6	29	2880	368	402	-8,5	
36	2	8	47,2	32,8	3220	409	446	-8,5	
38	2	8	52,4	36,4	3540	451	492	-8,5	
40	2	8	58,2	40,4	3900	497	542	-8,5	
Ters yönde alt paso için ilave : (Kesitin büyüklüğüne göre değişir.)				Kaynak pozisyonu			3,25	4,00	
							ad/m	ad/m	
				Düz			4,5-6	3-4	
			Tavan			4,5-7,5	3-5		
3,25, 4,00 ve 5,00 mm çaplarında olan elektrodların uzunluğu 450 mm yerine 350 mm ise elektrod miktarlarınının 1,33 ile çarpılması gerekir.									

Tablo A5 – Yatay iç köşe

Beher metre dikiş için standart-elektrod miktarı				Yatay iç köşe dikişi				
Sac kalınlığı	Elektrod miktarı			Her metre için efektif dikiş ağırlığı	Efektif dikiş kesiti	Teorik dikiş kesiti	Kesit tashihi	
	Kök paso	+ ilave paso						
mm		ad/m	Ya	Veya	g/m	mm ²	mm ²	%
		2	2,5					
2	-	4	-	47	6	4	+50	
2,5	-	6,5	2,9	76	9,7	6,5	+50	
		3,25	4,00					
3	-	4	2,7	106	13,5	9	+50	
3,5	-	4,7	3,1	121	16,5	12,5	+32	
4	-	6	4	157	20	16	+25	
4,5	-	7,6	5,1	200	25,5	20,5	+25	
5	-	9,3	6,2	243	31	25	+25	
5,5	-	11,4	7,6	300	38	30,5	+25	
6	-	12,3	8,2	321	41,5	36	+15	
6,5	-	14,7	9,8	384	49	42,5	+15	
7	-	16,8	11,2	438	56	49	+15	
7,5	-	19,5	13	510	65	56,5	+15	
	4,00	5,00	6,00					
8	4	6,8	-	570	73	64	+15	
9	4	9,3	-	730	93	81	+15	
10	4	12,1	8,4	900	115	100	+15	
11	4	15,2	10,5	1090	139	121	+15	
12	4	18,5	12,8	1290	165	144	+15	
13	4	22	15,2	1510	192	169	+15	
14	4	26	18	1760	225	196	+15	
15	4	30,5	21	2020	258	225	+15	
16	4	37,6	24,4	2310	295	256	+15	

3,25, 4,00 ve 5,00 mm çaplarında olan elektrodların uzunluğu 450 mm yerine 350 mm ise elektrod miktarlarının 1,33 ile çarpılması gerekir.

Tablo A6 – Dikey iç köşe

Beher metre dikiş için standart-elektrod miktarı				Dikey iç köşe kaynağı				
Sac kalınlığı	Elektrod miktarı			Her metre için efektif dikiş ağırlığı	Efektif dikiş kesiti	Teorik dikiş kesiti	Kesit tashihi	
	Kök paso	+ ilave paso						
mm		ad/m	Ya	Veya	g/m	mm ²	mm ²	%
		2	2,5					
2	-	6,5	4	47	6	4	+50	
2,5	-	10,5	6,5	76	9,7	6,5	+50	
		2,5	3,25					
3	-	7,3	3,3	85	10,8	9	+20	
3,5	-	-	4,5	118	15	12,5	+20	
4	-	-	5,8	150	19,2	16	+20	
4,5	-	-	7,4	192	24,5	20,5	+20	
	3,25	4,00						
5	4	3,3	-	235	30	25	+20	
5,5	4	4,6	-	286	36,5	30,5	+20	
6	4	6	-	340	43,2	36	+20	
6,5	4	7,5	-	400	51	42,5	+20	
7	4	9,1	-	460	59	49	+20	
7,5	4	10,7	-	525	67	56,5	+20	
8	-	15,4	-	600	77	64	+20	
9	-	19,4	-	760	97	81	+20	
10	-	24	-	940	120	100	+20	
11	-	29,2	-	1140	146	121	+20	
12	-	34,6	-	1360	173	144	+20	
13	-	41	-	1600	203	169	+20	
14	-	47	-	1840	235	196	+20	
15	-	54	-	2120	270	225	+20	
16	-	63,5	-	2410	308	256	+20	

3,25, 4,00 ve 5,00 mm çaplarında olan elektrodların uzunluğu 450 mm yerine 350 mm ise elektrod miktarlarının 1,33 ile çarpılması gerekir.

Tablo B1 - Elektrot Verimleri

Elektrod tipi	ELEKTROD EBADI												% Verim
	300			350					450				
	2,0	2,5	3,25	2,5	3,25	4,0	5,0	6,0	3,25	4,0	5,0	6,0	
Citofine - C	6,5	-	-	9,4	-	-	-	-	-	-	-	-	84
Cellocord	-	-	-	9,5	16,4	25,2	38,8	59,5	-	-	-	-	85
Cellocord - 70	-	-	-	9,5	16,4	25,2	38,8	-	-	-	-	-	85
Overcord	-	-	-	-	17,7	27,3	42,0	65,0	-	-	-	-	92
Overcord - G	7,1	-	-	10,3	17,7	27,3	42,0	65,0	-	36,3	-	-	92
Overcord - Zet	7,1	-	-	10,3	17,7	27,3	42,0	65,0	-	-	-	-	92
Overcord - N	7,1	-	-	10,3	17,7	27,3	-	-	-	36,3	56,3	-	92
Overcord - S	7,2	-	-	10,4	17,9	27,6	43,4	67,0	-	36,6	57,6	89,0	93
Fincord - S	7,2	-	-	10,5	18,1	27,9	43,1	-	24,2	37,0	57,4	82,3	94
Ferrocito	-	-	-	20,0	-	-	-	-	41,0	63,0	97,8	140,0	160
Pyrocito	-	-	-	-	17,7	28,3	63,0	-	-	-	-	-	92
Supercito	-	-	-	13,4	23,1	-	-	-	-	47,2	72,0	105,0	120
Univers	-	-	-	12,7	22,0	-	-	-	-	44,8	69,5	100,0	114
Tenacito	-	-	-	12,8	21,2	-	-	-	-	43,2	67,0	-	110
Tenacito-55	-	-	-	12,8	22,2	-	-	-	-	45,2	70,0	-	115
Tenacito-60	-	-	-	12,8	22,2	-	-	-	-	45,2	70,0	-	115
Tenacito-65	-	-	-	12,8	22,2	-	-	-	-	45,2	70,0	-	115
Tenacito-70	-	-	-	12,8	22,2	-	-	-	-	45,2	70,0	-	115
Tenacito-75	-	-	-	12,8	22,2	-	-	-	-	45,2	70,0	-	115
Tenacito-80	-	-	-	12,8	22,2	-	-	-	-	45,2	70,0	-	115
Tencord	-	-	-	12,8	22,2	-	-	-	-	45,2	70,0	-	115
OE-N-101	-	-	-	12,3	21,2	-	-	-	-	43,2	68,0	-	110
OE-N-117	-	-	-	12,4	22,2	-	-	-	-	45,5	70,0	-	115
OE-N-113	-	-	-	11,7	20,3	-	-	-	-	41,3	64,1	-	105
Citochromax	-	16,9	20,7	-	-	29,7	45,6	-	-	-	-	-	100
Citochromax-N	-	-	-	14,0	21,0	32,7	50,0	-	-	-	-	-	110
Inox AW + Cb	8,0	10,0	13,6	-	-	33,8	-	-	-	-	-	-	114
Inox BW + Cb	8,0	10,0	13,7	-	-	34,5	53,4	-	-	-	-	-	116
Inox C	8,0	10,0	13,7	-	-	32,7	50,0	-	-	-	-	-	110
Inox BW	7,8	9,9	12,1	-	-	27,6	43,4	-	-	-	-	-	93
Ferinox	12,6	-	-	18,4	31,8	49,0	75,0	-	-	-	-	-	165
Citorail	-	-	-	-	23,4	-	-	-	-	47,2	73,0	-	120
Citomangan	-	-	-	13,1	22,8	-	-	-	-	46,0	72,0	108,0	118
Citodur - 600	-	-	-	11,5	19,8	-	-	-	-	40,7	61,0	-	103
Citodur - 600 B	-	-	-	-	23,2	-	-	-	-	47,2	72,0	-	120
Citodur -V-1000	-	-	-	20,0	30,8	47,5	-	-	-	-	-	-	160
Abrasodur - 40	-	-	-	-	41,5	-	-	-	-	66,6	95,2	-	180
Abrasodur - 43	-	-	-	-	38,4	45,4	-	-	-	-	66,6	-	180
Abrasodur - 45	-	-	-	-	50,0	-	-	-	-	90,9	153,0	-	240

Tablo B2 - Elektrotların Akım Şiddetleri ve Ergime Süreleri

Elektrod tipi	Elektrod Ebadı	I ₁ (A)	t ₁ (san)	I ₂ (A)	t ₂ (san)	I ₃ (A)	t ₃ (san)
Citofine - C	2,5 x 350	60	91	80	71	80	71
Cellocord	2,5 x 350	50	76	65	59	65	59
	3,25 x 350	90	72	110	62	120	58
	4,0 x 350	110	86	130	77	140	72
	5,0 x 350	140	100	180	84	200	76
Cellocord - 70	3,25 x 350	80	77	110	60	120	58
	4,0 x 350	110	82	130	75	140	69
	5,0 x 350	140	99	180	8	200	73
Overcord	3,25 x 350	90	103	120	68	130	57
	4,0 x 350	140	74	160	64	180	57
Overcord - G	2,5 x 350	65	77	85	55	85	55
	3,25 x 350	110	75	125	65	140	56
	4,0 x 350	125	91	160	71	180	65
	5,0 x 350	160	113	200	89	230	79
Overcord - Zet	2,5 x 350	55	73	85	49	85	49
	3,25 x 350	90	89	120	60	140	48
	4,0 x 350	130	93	160	73	180	60
	5,0 x 350	180	114	210	90	230	80
Overcord - N	2,5 x 350	60	82	80	59	80	59
	3,25 x 350	95	85	135	64	135	64
	4,0 x 350	130	94	170	77	170	77
	5,0 x 350	180	105	220	93	220	93
Overcord - S	2,0 x 300	50	50	60	47	60	47
	2,5 x 350	55	106	85	52	85	52
	3,25 x 350	90	109	125	70	135	65
	4,0 x 350	130	102	160	78	170	71
	4,0 x 450	130	135	160	115	170	100
	5,0 x 350	175	108	200	103	220	97
	5,0 x 450	175	150	200	118	220	110
	6,0 x 350	215	136	250	120	280	90
6,0 x 450	215	163	250	145	280	124	
Fincord - S	2,5 x 350	65	72	80	60	90	56
	3,25 x 350	100	84	130	63	140	59
	3,25 x 450	100	112	130	84	140	79
	4,0 x 350	140	85	170	71	180	67
	4,0 x 450	140	114	170	95	180	89
	5,0 x 350	190	90	220	80	240	66
	5,0 x 450	190	116	220	105	240	87
	6,0 x 450	240	129	280	110	320	103
Ferrocito	3,25 x 450	130	97	140	84	150	77
	4,0 x 450	180	96	200	86	220	78
	5,0 x 450	280	92	300	85	320	76
	6,0 x 450	300	128	330	114	360	105
Pyrocito	3,25 x 350	150	55	170	47	180	44
	4,0 x 350	180	65	220	54	240	48
	5,0 x 350	270	86	290	75	320	68

I₁ = Minimum akım şiddeti
I₂ = Optimal (en uygun) akım şiddeti
I₃ = Maximum akım şiddeti

Tablo B3 - Akım şiddetlerine göre metal yığıma miktarları

Elektrod tipi	Elektrod Ebadı	I ₁ (A)	S ₁ (kg/h)	I ₂ (A)	S ₂ (kg/h)	I ₃ (A)	S ₃ (kg/h)
Citofine - C	2,5 x 350	60	0,37	80	0,48	80	0,48
Cellocord	2,5 x 350	50	0,45	65	0,58	65	0,58
	3,25 x 350	90	0,82	110	0,95	120	1,02
	4,0 x 350	110	1,06	130	1,18	140	1,26
	5,0 x 350	140	1,40	180	1,67	200	1,84
Cellocord - 70	3,25 x 350	80	0,77	110	0,99	120	1,02
	4,0 x 350	110	1,11	130	1,21	140	1,32
	5,0 x 350	140	1,41	180	1,69	200	1,92
Overcord	3,25 x 350	90	0,62	120	0,94	130	1,12
	4,0 x 350	140	1,33	160	1,54	180	1,72
Overcord - G	2,5 x 350	65	0,48	85	0,67	85	0,67
	3,25 x 350	110	0,85	125	0,98	140	1,14
	4,0 x 350	125	1,08	160	1,38	180	1,51
	5,0 x 350	160	1,34	200	1,70	230	1,92
Overcord - Zet	2,5 x 350	55	0,51	85	0,76	85	0,76
	3,25 x 350	90	0,72	120	1,06	140	1,33
	4,0 x 350	130	1,06	160	1,35	180	1,64
	5,0 x 350	180	1,33	210	1,68	230	1,89
Overcord - N	2,5 x 350	60	0,45	80	0,63	80	0,63
	3,25 x 350	95	0,75	135	1,00	135	1,00
	4,0 x 350	130	1,05	170	1,28	170	1,28
	5,0 x 350	180	1,44	220	1,63	220	1,63
Overcord - S	2,0 x 300	50	0,40	60	0,42	60	0,42
	2,5 x 350	55	0,35	85	0,72	85	0,72
	3,25 x 350	90	0,59	125	0,92	135	0,99
	4,0 x 350	130	0,97	160	1,27	170	1,40
	4,0 x 450	130	0,96	160	1,10	170	1,26
	5,0 x 350	175	1,39	200	1,42	220	1,44
	5,0 x 450	175	1,04	200	1,33	220	1,42
	6,0 x 350	215	1,60	250	1,79	280	2,11
6,0 x 450	215	1,76	250	2,10	280	2,24	
Fincord - S	2,5 x 350	65	0,53	80	0,64	90	0,68
	3,25 x 450	100	0,79	130	1,05	140	1,11
	4,0 x 450	140	1,18	170	1,42	180	1,51
	5,0 x 450	190	1,80	220	1,99	240	2,40
	6,0 x 450	240	2,32	280	2,72	320	2,90
Ferrocito	3,25 x 450	130	1,52	140	1,76	150	1,92
	4,0 x 450	180	2,36	200	2,64	220	2,91
	5,0 x 450	280	3,83	300	4,13	320	4,63
	6,0 x 450	300	3,94	330	4,42	360	4,80
Pyrocito	3,25 x 350	150	1,16	170	1,35	180	1,45
	4,0 x 350	180	1,57	220	1,89	240	2,12
	5,0 x 350	270	2,64	290	3,03	320	3,34

I₁ = Minimum akım şiddeti

I₂ = Optimal (en uygun) akım şiddeti

I₃ = Maximum akım şiddeti

Tablo C1 – Elektrot uzunluğu düzeltme faktörleri

Elektrod ölçülerinin dönüşümü için düzeltme faktörleri										
İstenen elektrodların ölçüleri		D çizelgelerinde verilen elektrod ölçüleri								
		Elektrodların Uzunluğu								
		250	350			450				
		1,5	2,0	2,5	3,25	4,0	5,0	6,0		
Elektrodların Uzunluğu	250	1,5	1,00	2,60	4,15	9,30	14,0	22,0	31,6	
		2,0	0,38	1,00	1,57	3,50	5,30	8,35	12,0	
		2,5	0,24	0,64	1,00	2,24	3,40	5,30	7,60	
	350	3,25	0,15	0,37	0,60	1,33	2,00	3,15	4,50	
		4,0	0,09	0,25	0,38	0,88	1,33	2,07	3,00	
		5,0	0,07	0,16	0,25	0,56	0,85	1,33	1,92	
	450	3,25	0,11	0,28	0,45	1,00	1,50	2,37	3,40	
		4,0	0,07	0,19	0,29	0,66	1,00	1,56	2,25	
		5,0	0,05	0,12	0,12	0,42	0,64	1,00	1,44	
		6,0	0,03	0,08	0,08	0,29	0,44	0,70	1,00	

D Çizelgelerinde esas olan koçan uzunluğundan farklı bir koçan uzunluğu olması halinde, elektrod harcama miktarının G2 çizelgesinde verilen düzeltme faktörüyle çarpılması gerekir.

Tablo C2 - Koçan düzeltme faktörleri

Koçan uzunlukları 50 mm'den farklı olduğu zaman dikkate alınacak düzeltme faktörleri								
Elektrod uzunluğu	Düzeltilme faktörleri							
	Koçan uzunluğu							
mm	30 mm	40 mm	50 mm	60 mm	70 mm	80 mm	90 mm	100 mm
250	0,91	0,95	1,00	1,05	1,11	1,18	1,25	1,34
350	0,94	0,97	1,00	1,04	1,07	1,11	1,16	1,20
450	0,95	0,98	1,00	1,03	1,05	1,08	1,11	1,14

D çizelgelerinde bulunmayan bir elektrodla kaynak yapıldığında, harcanan elektrod miktarının bu çizelgede bulunan düzeltme faktörüyle çarpılması gerekir.

Tablo C3 – Kaynak zaman faktörü

Kaynak zaman faktörü için tecrübi değerler	
İşin Cinsi	Kaynak zaman faktörü
Depo, yalnız uzunlamasına dairesel dikişler	2,0
Depo, destekli, flanşlı, ayaklı	2,4
Makine gövdesi, tek imalat	3,3
Makine gövdesi, seri imalat	1,8
Dönme aparatı içinde grup parçalar, seri imalat	1,4
Araba şasisi, profil kiriş	3,3
Araba şasisi, sac kiriş	2,5
Mimari kafes yapı, atölye kaynağı	3,3
Dolu cidar kirişi	1,7
Gemi gövdesi ve büyük depolar, yatay dikişler için	1,8
Gemi gövdesi ve büyük depolar, dikey dikişler için	2,0
Gemi gövdesi ve büyük depolar, tavan dikişleri için	2,6
İnşaat yerinde kaynaklar, kısa dikişler, puntolamalar dahil	4,0
Kaynak zaman faktörü, toplam kaynak zamanını (bütün diğer zamanlar dahil) bulmak için net erime zamanının çarpılması gereken faktördür.	

GENEL NOT:

Tablolardaki referans değerler 50 mm koçan ve 450 mm elektrot uzunluğu temel alınarak hazırlanmıştır. Verilen elektrot uzunluğu ve koçan boyu farklı ise düzeltme faktörlerinin kullanılması gerekmektedir.

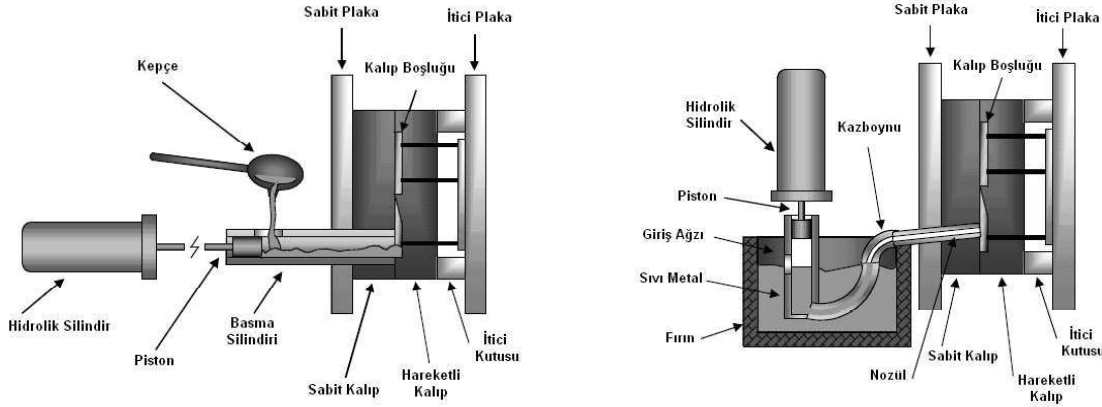
Adı-Soyadı :
Numara :
İmza :

Deneyi Yürüten Öğretim Elemanı :
Deneyin Yapıldığı Tarih :
Grup-Alt Grup :

NOT

4. GENEL TARİFİ

Basınçlı döküm; ergimiş metalin, yüksek hız ve basınç etkisi altında, metalsel kalıba enjekte edilmesine dayalı, hidrolik ve/veya pnömatik enerji kaynaklarından yararlanan bir döküm yöntemi olarak tanımlanabilir. Basınçlı dökümde kalıp genelde iki yarımdan oluşur ve iki kalıp yarısı (sabit ve hareketli) kapatılıp kilitlendikten sonra sıvı metal bir enjeksiyon kamarasına aktarılır. Bu kamarada soğuk olabileceği gibi metal sıcaklığına ısıtılmış da olabilir (Şekil 2). Kamaradaki sıvı metal bir piston vasıtasıyla metalsel kalıba enjekte edilir. Kalıp içerisindeki hava, dolum esnasında kalıp yüzeylerindeki havalandırma kanallarından dışarı atılır. Kalıp gravürü tamamen dolduktan sonra parça katılaşıncaya kadar basınç uygulanır. Sonra kalıp açılır ve döküm parçası kalıptan alınır. Kalıp açık durumda iken içi temizlenir, yağlanır ve önceki işlemler tekrar edilir [3].



Şekil 2. Soğuk ve sıcak kamaralı basınçlı döküm yöntemlerinin şematik gösterimi [2]

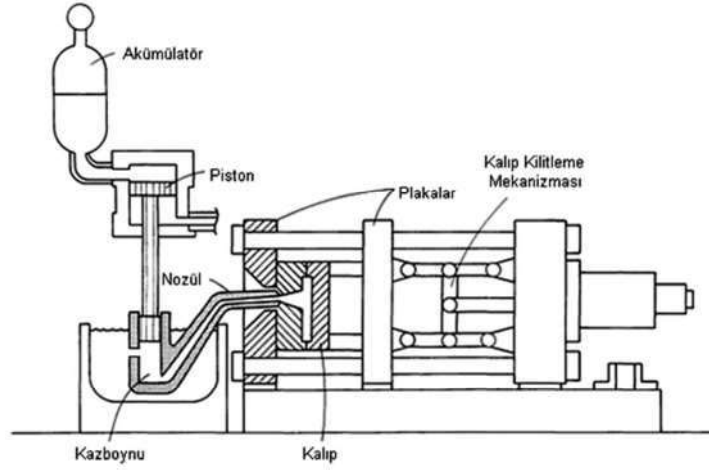
Basınçlı döküm, ağırlıkları bir kaç gram ile 100 kg arasında değişen, nihai üretim şekline yakın parçaların, tam otomatik, yüksek verimli ve yüksek kapasiteli imalatına yönelik çok iyi yapılandırılmış bir döküm yöntemidir. Mekanik ve hidrolik kısımlara ait ekipmanların temel prensipleri 100 yıldır çok değişmeden kullanılmasına rağmen, basınçlı döküm prosesi hala çok hızlı bir gelişim süreci içerisinde yer almaktadır. Basınçlı döküm makine imalatçıları günümüzde magnezyum, alüminyum, çinko ve bakır ağırlıklı alaşımları istenilen forma dönüştürmeye hazır tam otomatik döküm hatları üretebilmektedirler [1].

5. BASINÇLI DÖKÜM MAKİNELERİ

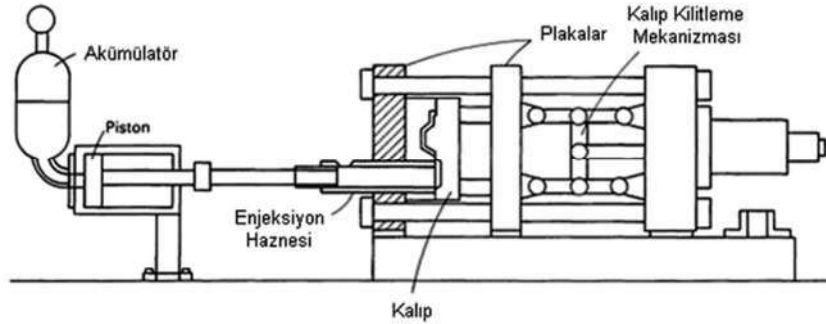
Basınçlı döküm makinesinin temel fonksiyonu; iki kalıp yarısını tam eksende birbirine kilitli tutmak, yeterli miktardaki sıvı metali basınç altında kalıp boşluğuna göndermek ve dökülmüş parçayı kalıptan çıkarmak için kalıbı açmaktır. Basınçlı döküm makineleri başlıca üç ana kısımdan meydana gelir;

- Gövde:** Kilitleme grubu ve kalıbı taşıyan, onları en uygun pozisyonda tutarak her birinin fonksiyonunu yerine getirmesini sağlayan bölümdür.
- Kilitleme Grubu:** Kalıbı açma ve kapama mekanizmasıdır. Bütün modern makinelerde bu açma kapama işlemi hidrolik olarak yapılmaktadır.
- Enjeksiyon Grubu:** Ergimiş metali yüksek hız ve basınç altında kalıp boşluğuna gönderen ve makinenin ön tarafında bulunan kısımdır.

Basınçlı döküm makineleri, enjeksiyon sistemlerine göre **sıcak kamaralı** (Şekil 3) ve **soğuk kamaralı** (Şekil 4) olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. Düşük ergime sıcaklığına sahip alaşımların dökümünde sıcak kamaralı tip makineler; yüksek ergime sıcaklığına sahip alaşımların dökümünde ise soğuk kamaralı makineler kullanılır. Her iki tip makinenin gövdeleri birbirine benzemekle beraber, enjeksiyon sistemleri birbirinden farklıdır [4].



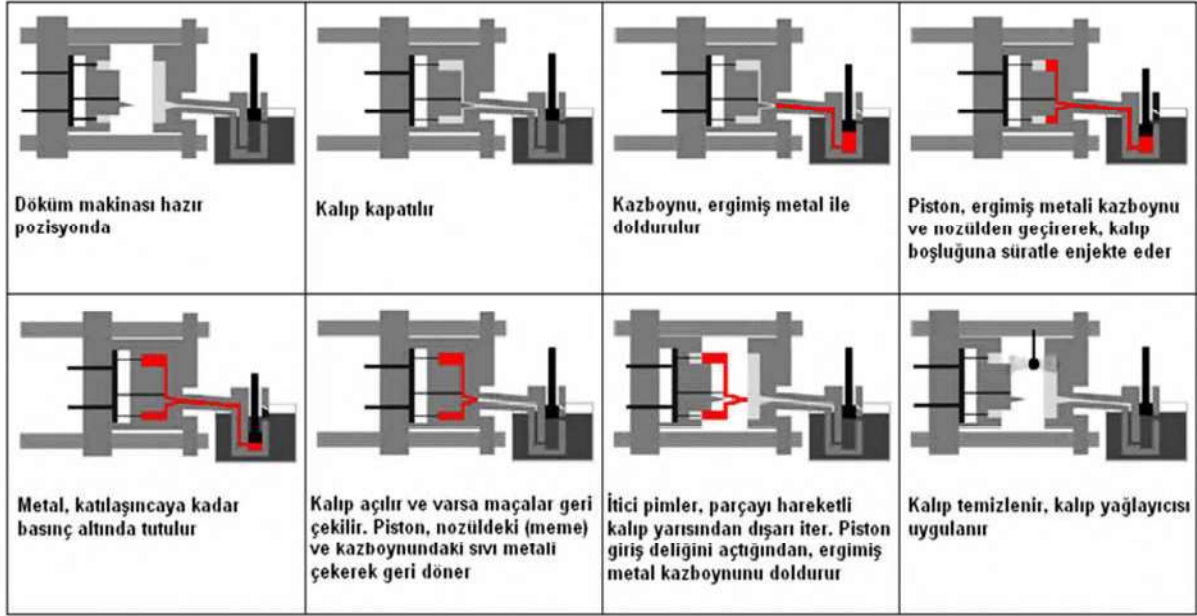
Şekil 3. Sıcak kamaralı döküm makinesinin şematik gösterimi [4]



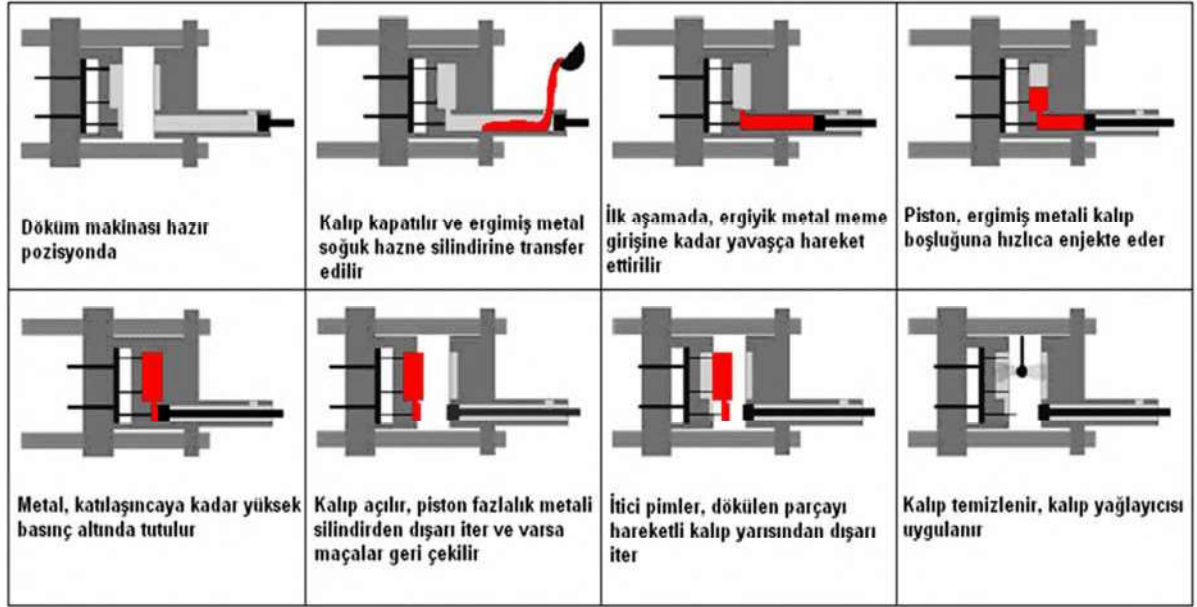
Şekil 4. Soğuk kamaralı basınçlı döküm makinesinin şematik gösterimi [4]

Sıcak kamaralı makineler özellikle çinko (Zn), kalay (Sn) ve kurşun (Pb) esaslı düşük ergime derecesine sahip alaşımlar ile ergime derecesi yüksek olmasına rağmen magnezyum (Mg) alaşımlarının dökümünde kullanılırlar. Bu tip makinelerin ön kısmında, ergimiş metali döküm sıcaklığında tutan bir fırın bulunmaktadır ve enjeksiyon işlemi, ergimiş metalin içine daldırılmış bir piston-silindir düzeneği veya diğer adıyla kazboynu ile sağlanır. Sıcak kamaralı makinede, pistonun yükselmesi ile birlikte, ergimiş metalin silindire dolmasına izin verecek şekilde bir döküm ağzı açılır. Piston aşağıya doğru hareket edince, sıvı metalin silindire girdiği ağız kapanır. Daha sonra piston ergiyik metale baskı yaparak, kazboynu ve nozülden geçerek kalıbı doldurmasını sağlar. Metalin katılaşmasının ardından, piston yukarı konumdayken, kalıp yarıları açılarak bitmiş döküm parçası dışarı çıkartılır. Kalıpların dolumu oldukça hızlıdır ve ergimiş metale uygulanan enjeksiyon basıncı 100 ile 500 bar arasında değişmektedir [3]. Sıcak kamaralı makineye ait proses çevrimi Şekil 5'te gösterilmiştir.

Sıcak kamaralı makinelerin, ergime derecesi yüksek alaşımların dökümünde yetersiz kalması, **soğuk kamaralı** makinelerin geliştirilmesi sürecini başlatmıştır. Bu makineler alüminyum (Al), magnezyum (Mg) ve bakır (Cu) alaşımlarının dökümünde kullanılmaktadır. Soğuk kamaralı makinelerde, ergimiş metalin bulunduğu pota makineden ayrıdır. Soğuk kamara tipi basınçlı döküm makinelerinde, ergimiş metal enjeksiyon haznesine döküm ağzı vasıtasıyla aktarılır. Hidrolik olarak çalışan pistonun ileriye doğru hareketiyle, döküm ağzı kapanır ve kilitlenmiş kalıp içine sıvı metal yüksek basınç altında enjekte edilir. Enjeksiyon sırasında uygulanan basınç 300-1500 bar arasında değişmektedir. Soğuk kamaralı makinelerle döküm yaparken, kalıp boşluğunu doldurması gerekenden daha fazla ergimiş metal, silindir içerisine aktarılır. Bu fazlalık sıvı metal, kalıp boşluğundaki alaşımı, katılaşma süresince yeterli miktarda basınç altında tutmaya yardımcı olur. Topuk adı verilen fazlalık metal döküm parçası ile birlikte dışarı itilir ve daha sonra parçadan ayrılır [3]. Soğuk kamaralı makineye ait proses çevrimi ise Şekil 6'da gösterilmiştir.



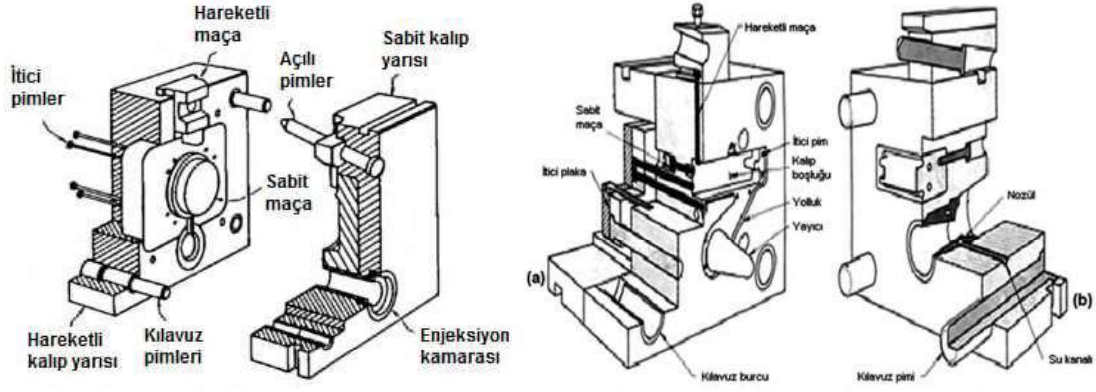
Şekil 5. Sıcak kamaralı makineye ait proses çevrimi [5]



Şekil 6. Soğuk kamaralı makineye ait proses çevrimi [5]

6. BASINÇLI DÖKÜM KALIPLARI

Basınçlı döküm kalıpları sıcak iş takım çeliklerinden, hareketli ve sabit kısım olmak üzere iki parçadan imal edilir (Şekil 7). Sabit kalıp yarısı, ergimiş metalin basıldığı enjeksiyon sistemi tarafındaki sabit plaka üzerine yerleştirilir. Hareketli kalıp yarısı, kalıp açıldığı zaman döküm parçasının uzaklaştırılmasını sağlar ve makine üzerindeki hareketli plaka üzerine yerleştirilmiştir. Hareketli kısım genellikle, ergimiş metali kalıp gravürüne (boşluğuna) yönlendiren yolluk sistemini içerir. Hareketli kalıp yarısı aynı zamanda, döküm parçasının kalıptan dışarı çıkarılmasını sağlayan itici sistemini de barındırır. Parçanın dışarı çıkarılması, itici plakanın itici pimlere teması ile pimlerin parçayı itmesi sayesinde gerçekleşir. Kalıplarda sabit ve/veya hareketli maçalar sıkça kullanılır. Eğer sabit maça kullanılıyorsa, maçanın eksenini kalıbın açılma eksenine paralel olmak zorundadır. Hareketli maçalar ise genellikle bölme yüzeyine paralel olacak şekilde, bazen de bölme yüzeyine açılı olarak yerleştirilirler. Hareketli maçalar genellikle sürgülü bir mekanizmaya bağlı olarak hareket etmektedirler [6].



Şekil 7. Soğuk ve sıcak kamaralı basınçlı döküm makinelerinde kalıp yarıları [4, 7]

Kalıp gravürünü (boşluğunu) oluşturan kalıp parçaları, ergimiş metalle doğrudan temas halindedir. Bundan dolayı kalıpların bu kısımları termal şoklara dirençli H11 (DIN 1.2343) veya H13 (DIN 1.2344) gibi sıcak iş takım çeliklerinden yapılır. Talaşlı işlemlerden sonra kalıp gravürünü oluşturan parçalar, ısıl işlemler ile yaklaşık 48-52 HRC sertliğe sahip olurlar. Basınçlı döküm kalıplarının ergimiş metalle direkt temas etmeyen bileşenlerinin yapımında ise genellikle orta karbonlu çelikler kullanılır. Basınçlı döküm kalıplarının kullanım ömrü, döküm parçasının geometrisine ve istenilen yüzey özelliklerine göre değişmektedir. Farklı alaşımlara ait ortalama kalıp ömürleri Tablo 1'de verilmiştir [3].

Tablo 1. Basınçlı döküm kalıplarının kullanım ömrü [8]

Malzeme	Minimum Baskı Sayısı	Maksimum Baskı Sayısı
Çinko	600.000	1.000.000
Magnezyum	400.000	600.000
Alüminyum	150.000	250.000

7. PROSES PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Basınçlı dökümde, parça kalitesini ve mekanik özellikleri etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörlerin bir kısmı parça ve kalıp tasarımına bağlıdır. Ancak parça kalitesini ve mekanik özellikleri etkileyen faktörlerin başında proses parametreleri gelmektedir. Döküm prosesi esnasında yanlış seçilen parametreler, doğru tasarlanmış parçaların bile hatalı ve kötü mekanik özelliklere sahip olacak şekilde üretilmesine sebep olabilmektedir. Proses parametrelerini; döküm ve kalıp sıcaklığı, dolun süresi, yolluk giriş ve piston hızları ile kalıp içi spesifik basınç oluşturmaktadır [3].

Döküm ve Kalıp Sıcaklığı

Döküm sıcaklığı, mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır. Sıvı metalin sıcaklığı yükseldikçe, metal içindeki gaz çözünürlüğü oranı da artmaktadır. Ergitme sırasında metal içinde çözünen bu gazlar, katılaşma esnasında azalan çözünme oranına paralel olarak parça dışına çıkamamakta, bu da gaz porozitesi oluşumuna sebep olmaktadır. Döküm sıcaklığı alaşımın cinsine ve döküm yöntemine göre değişmekle birlikte, parça çok karmaşık şekilli değilse, ergime sıcaklığının 30-40°C üzerinde seçilebilmektedir. Genel bir kural olarak, basınçlı dökümde döküm sıcaklığı ($t_{dök}$), ergime sıcaklığından (t_{erg}), Δt kadar (30-90°C) yukarıda seçilir (Eşitlik 1) [3]. Farklı basınçlı döküm alaşımlarına ait ergime aralıkları Tablo 2'de görülmektedir.

$$t_{dök} = t_{erg} + \Delta t \quad [^{\circ}C] \quad (1)$$

Tablo 2. Basınçlı dökümde kullanılan alaşımların ergime aralıkları [4]

Çinko Alaşımları	Ergime Aralığı (°C)	Magnezyum Alaşımları	Ergime Aralığı (°C)	Alüminyum Alaşımları	Ergime Aralığı (°C)
Zamak-2	379 - 390	AZ91	435 - 600	A360.0	570 - 590
Zamak-3	381 - 387	AM60	435 - 615	A380.0	520 - 590
Zamak-5	380 - 386	AM50	435 - 620	384.0	480 - 580
Zamak-7	381 - 387	AM20	435 - 635	390.0	510 - 650
ZA-8	375 - 404	AE42	590 - 625	413.0	575 - 585
ZA-12	377 - 432	AS41	435 - 615	443.0	575 - 630
ZA-27	375 - 484	AS21	435 - 630	518.0	540 - 620

Basınçlı döküm yönteminde, kalıbın kararlı bir sıcaklık dağılımına ulaşması ve her baskıda yaklaşık olarak aynı sıcaklık değerinde kalması oldukça önemlidir. Enjeksiyondan hemen önce, tavsiye edilen gravür yüzey sıcaklığı, alaşım cinsine göre 100 ile 350°C arasındadır. Kalıbın harici olarak şartlandırılması su veya yağ ile çalışan ısıtma/soğutma üniteleri ile sağlanır. Isıtma/soğutma kanalları her iki kalıp yarısında mevcut olup, önceden ısıtılmış veya soğutulmuş bir akışkan bu kanallardan geçirilir. Bazı özel durumlar hariç (maks. 350°C), ısıtıcı/soğutucu akışkan sıcaklığı 250°C ile sınırlanmış durumdadır. Bu yüzden elektrik enerjisiyle çalışan ısıtıcı fişeklerin kullanımı her geçen gün yaygınlaşmaktadır [5, 6].

Dolum Süresi ve Hacimsel Akış Debisi

Yolluk sisteminin tasarımında, döküm sıcaklığının belirlenmesinde ve diğer parametrelerin seçilmesinde anahtar faktör, kalıp boşluğunun dolması için gerekli dolum süresidir. Dolum süresi hata oluşumuyla da yakından ilişkili olup, hataların azaltılması, hesaplanan dolum sürelerinin doğruluğuna bağlıdır. Dolum sürelerini hesaplamak için genel olarak NADCA tarafından geliştirilmiş eşitlikten faydalanılmaktadır [6].

$$t = 34,6 [(T_m - T_f + 2,5 S) / (T_f - T_d)] T \quad [\text{ms}] \quad (2)$$

Eşitlikte; t (ms) saniye cinsinden başarılı bir döküm için gerekli dolum süresini belirtmektedir. T_m (°C) ergimiş metalin döküm sıcaklığını; T_f (°C) minimum akış sıcaklığını; S (%) akışı engellemeden oluşabilecek en yüksek katılaşma oranını; T_d (°C) kalıp sıcaklığını ve T (mm) ortalama cidar kalınlığını göstermektedir [6]. Uygulamada hesaplanan değer; cidar kalınlığına, alaşımın cinsine, akış mesafesine ve kalıp sıcaklığına bağlı olarak 10-100 ms arasında olması önerilmektedir. Daha sonra kalıp gravürüne girecek toplam metal hacmi, kalıp boşluğunun hacmi v (cm³) hesaplanarak belirlenir ve dolum süresine göre hacimsel akış debisi Q (cm³/ms= lt/s), Eşitlik 3 kullanılarak bulunur [3].

$$Q = v / t \quad [\text{cm}^3/\text{ms} = \text{lt/s}] \quad (3)$$

Yolluk Giriş Hızları

Hacimsel akış debisi belirlendikten sonra, debinin akış boyunca sabitliği ilkesinden faydalanılarak, bir yolluk giriş hızı V_g (m/s) tecrübelerden de faydalanılarak seçilir. Farklı cidar kalınlıklarına göre kabul görmüş yolluk giriş hızları Tablo 3'te verilmiştir. Seçilen yolluk giriş hızına ve hacimsel akış debisine göre, yolluk giriş kesiti A_g (mm²) hesaplanır. Bunun için Eşitlik 4'ten faydalanılır. Hacimsel debi ve giriş hızı bilindiğinden, yolluk giriş kesiti kolaylıkla bulunacaktır. Son olarak, bir piston çapı D_p (mm) seçilir ve hacimsel debi bilindiğinden, piston hızı V_p (m/s), süreklilik denkleminde hesaplanır (Eşitlik 6) [3].

$$Q = A_g \times V_g \quad (4)$$

$$Q = A_p \times V_p = A_g \times V_g = (\pi \times D_p^2 \times V_p) / 4 \quad (5)$$

$$V_p = (4000 \times Q) / (\pi \times D_p^2) \quad [m/s] \quad (6)$$

Tablo 3. Soğuk ve sıcak kamaralı basınçlı dökümde kullanılan yolluk giriş hızları [8]

Yöntem ve Malzeme	Soğuk Kamara		Sıcak Kamara	
	Aluminyum	Magnezyum	Çinko	Magnezyum
Kalın cidarlı parçalar (> 3 mm)	20 m/s (15-30 m/s)	35 m/s (25-40 m/s)	30 m/s (25-35 m/s)	35 m/s (25-40 m/s)
Normal cidarlı parçalar (1-3 mm)	40 m/s (30-45 m/s)	50 m/s (40-60 m/s)	40 m/s (35-45 m/s)	50 m/s (40-60 m/s)
İnce cidarlı parçalar (< 1 mm)	60 m/s (45-65 m/s)	75 m/s (60-90 m/s)	50 m/s (45-55 m/s)	75 m/s (60-90 m/s)

Genel kural, yolluk giriş hızının döküm kalitesini bozmayacak şekilde, olabildiğince azaltılması şeklindedir. Giriş hızını belirlerken dikkate alınan anahtar faktör, kalıbın dolum süresi ve buna bağlı olarak belirlenen hacimsel akış debisidir. Yolluk giriş hızlarının 100 m/s'ye ulaşmasına karşılık, piston hızları 10 m/s değerini geçmemektedir. Bunun nedeni, yollukta daralan kesit sebebiyle, sabit debili akışta, sıvı metal hızının artması olarak açıklanabilir. Basınçlı dökümde yolluk giriş hızı uygulanan yöntem, alaşımın cinsine ve parçanın cidar kalınlığına göre değişmektedir. En yaygın kullanılan hız değerleri 30-60 m/s aralığındadır. İnce cidarlı döküm parçalar için yolluk giriş hızı, nadiren de olsa 100 m/s'ye kadar yükselebilmektedir. Ayrıca 3 mm'den daha kalın cidarlı parçaların dökümünde, giriş hızı 30 m/s'nin altında tutulabilmektedir. Girişteki hızın 60 m/s'yi geçmesi durumunda kalıptaki aşınmanın önemli oranda artması, ergiyik hızını seçerken göz önüne alınması gereken bir durumdur [6].

Kalıp İçi Spesifik Basınç

Yapılan hesaplamalar sonucunda belirlenen hacimsel debi ve piston hızının ardından, uygun kalıp içi spesifik basıncın belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için hazırlanmış olan birçok grafik ve tablo mevcuttur. Bunlardan bir tanesi; sıvı metale uygulanan basıncın, metal debisinin karesi ile değişimini gösteren grafiklerdir. Kısaca P-Q² diyagramı olarak adlandırılan bu grafikler ile yolluk giriş kesiti, hidrolik basınç ve piston çapı üzerinde yapılan ayarlamalar optimize edilerek, en uygun şartlarda dökümün yapılabilmesine olanak sağlanmaktadır [4].

Bunun dışında, hesaplamaları kolaylaştırmak için nomograf adı verilen ve sayısal ilişkileri gösteren çizelgeler de hazırlanmıştır [9]. Yapılan tüm hesaplamalarda, kalıbın laminer akışlı olacak şekilde dolması için gereken parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu durum sıvı metale uygulanan spesifik basınç ve sıvı metalin hacimsel akış debisi ile yakından ilişkilidir.

Soğuk ve sıcak kamara tipi basınçlı döküm makinelerinde, enjeksiyon sırasında uygulanan kalıp içi spesifik basınç 100 ile 1500 bar arasında değişmektedir [5]. Farklı alaşım cinsine ve dökülen parçanın kullanım yerine göre önerilen basınç değerleri, sıcak kamaralı proses için Tablo 4'te, soğuk kamaralı proses için ise Tablo 5'te verilmiştir. Parçadan beklenen gereksinime göre uygun basınç değerleri, tecrübelerden de faydalanılarak tablolardan seçilebilmektedir.

Tablo 4. Sıcak kamaralı makinede uygulanan kalıp içi spesifik basınçlar [8]

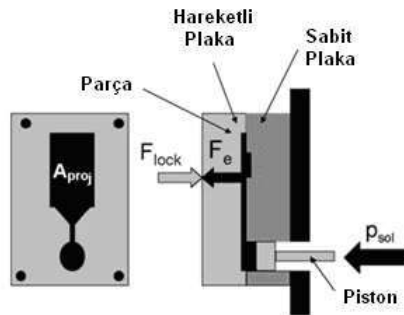
Gereksinim / İhtiyaç	Çinko için tavsiye edilen basınç değerleri	Magnezyum için tavsiye edilen basınç değerleri
Düşük mekanik zorlanan parçalar için	150 - 200 bar	---
Yüksek mekanik zorlanan parçalar için	200 - 300 bar	150 - 250 bar
Sızdırmaz / Yüksek hacimli veya geniş yüzeyli parçalar	250 - 400 bar	200 - 300 bar
Galvanizlenecek parçalar için	200 - 300 bar	---

Tablo 5. Soğuk kamaralı makinede uygulanan kalıp içi spesifik basınçlar [8]

Gereksinim / İhtiyaç	Aluminyum için tavsiye edilen basınç değerleri	Magnezyum için tavsiye edilen basınç değerleri
Düşük mekanik zorlanan parçalar için	300 - 400 bar	300 - 400 bar
Yüksek mekanik zorlanan parçalar için	400 - 800 bar	400 - 800 bar
Yüksek basınç altında çalışan sızdırmaz parçalar için	800 - 1200 bar	600 - 1000 bar
Geniş yüzeyli - İnce cidarlı parçalar için	400 - 600 bar	400 - 600 bar

Kalıp Kilitleme Kuvvetinin Hesaplanması

Şekil 8'de görüldüğü gibi, basınçlı döküm makinesinin uygulaması gereken kilitleme kuvvetini belirlerken, öncelikle dökülen parçanın yolluk ve taşma ceplerini de içeren toplam projeksiyon alanının A_{proj} (cm^2) hesaplanması gerekmektedir. Toplam projeksiyon alanı belirlenirken, kalıp gravürlerine ait iz düşüm alanlarının 1,5 katı alınarak yolluk ve taşma cepleri de hesaba katılmış olacaktır (Eşitlik 7). Sonrasında katılma sırasında uygulanan kalıp içi spesifik basınç P_{sol} (bar) dikkate alınarak, kalıbı açma kuvveti F_e (kN) hesaplanır (Eşitlik 8). Gerekli olan kilitleme kuvveti F_{lock} (kN) ise güvenlik faktörü G_r ve kalıbı açma kuvveti F_e dikkate alınarak elde edilir (Eşitlik 9). Güvenlik faktörü soğuk kamaralı makineler için 1,1 ile 1,3 arasında; sıcak kamaralı makineler için ise 1,3 ile 1,6 değerleri arasında olacak şekilde seçilmelidir. Kilitleme kuvveti ton cinsinden belirlenmek isteniyorsa, kN cinsinden bulunan F_{lock} kilitleme kuvvetinin yer çekimi ivmesine ($g=9,8$ m/s^2) bölünmesi yeterli olacaktır (Eşitlik 10) [3, 5, 7].

**Şekil 8.** Kilitleme kuvvetinin hesaplanması [5]

$$A_{proj} = 1,75 \times A_{gravür} \quad [cm^2] \quad (7)$$

$$F_e = (A_{proj} \times P_{sol}) / 100 \quad [kN] \quad (8)$$

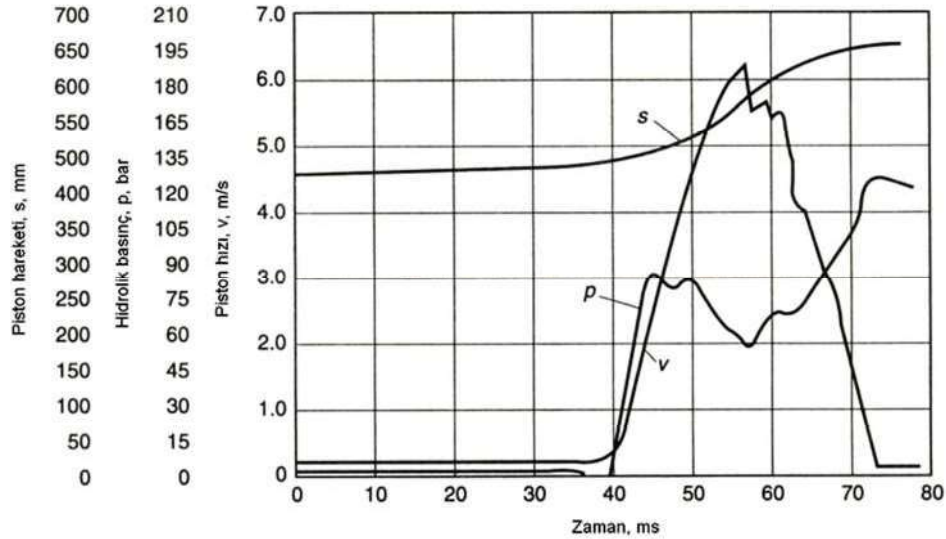
$$F_{lock} = G_f \times F_e \quad [kN] \quad (9)$$

$$F_{ton} = F_{lock} / 9,8 \quad [ton] \quad (10)$$

8. BASINÇLI DÖKÜMDE KALİTE VE MALİYET UNSURLARI

Yakın bir zamana kadar basınçlı döküm, düşük dayanımlı ve poroziteli bir döküm çeşidi olarak bilinmekteydi. Yüksek hız ve basıncın kombine edilmesi başlangıçta basınçlı döküm yöntemi için büyük bir avantaj olarak algılansa da yakın zamanda döküm hatalarının en büyük kaynağının, yüksek hız ve basınç dolayısıyla meydana gelen sprej tipi dolum ve türbülans olduğu anlaşılmıştır. Kalıp dolumu ve katılma prosesleri bilgisayar simülasyonları ile desteklenerek optimize edilmiş ve bu çalışmalar daha gelişmiş kalıp tasarımlarına ışık tutmuştur. Ayrıca yolluk sistemi, hava tahliyesi, sıcaklık kontrolü, bölgesel basınçlar ve daha birçok konu üzerine çalışmalar yapılmıştır [1]. Yüksek saflıkta ticari alaşımlar kullanılmaya başlanmış ve uygun kalıp yağlayıcıları konusu, ergiyikle reaksiyonları esnasında oluşan gazlar ve yağlama verimliliği açısından gelişim göstermiştir.

Eş zamanlı kalite kontrol ve üretimdeki anlık sapmaları hızlı bir şekilde belirleyen ölçümler, basınçlı döküm prosesiyle sürekli ve yüksek verimli otomatik imalat gerçekleştirmek için gereklidir. Bu sebeple modern basınçlı döküm makineleri, enjeksiyon profilini ayrıntılı bir şekilde ayarlayan kontrol cihazlarıyla donatılmıştır. Bu cihazlar, her bir enjeksiyon çevrimi için gerekli verileri bilgisayar ortamına kaydederek, istenildiğinde bu verileri kullanıcıya gösterme kabiliyetine sahiptir. Bir döküm çevriminde en çok gereken iki parametre; basınç ve hızdaki değişimlerdir. Bu yüzden çoğu sistem, bu iki değişkeni anahtar parametre olarak, üretim kontrolünü sağlama amacıyla kayıt altında tutmaktadır [9]. Şekil 9'da bununla ilgili bir enjeksiyon profilinin grafiği görülmektedir.



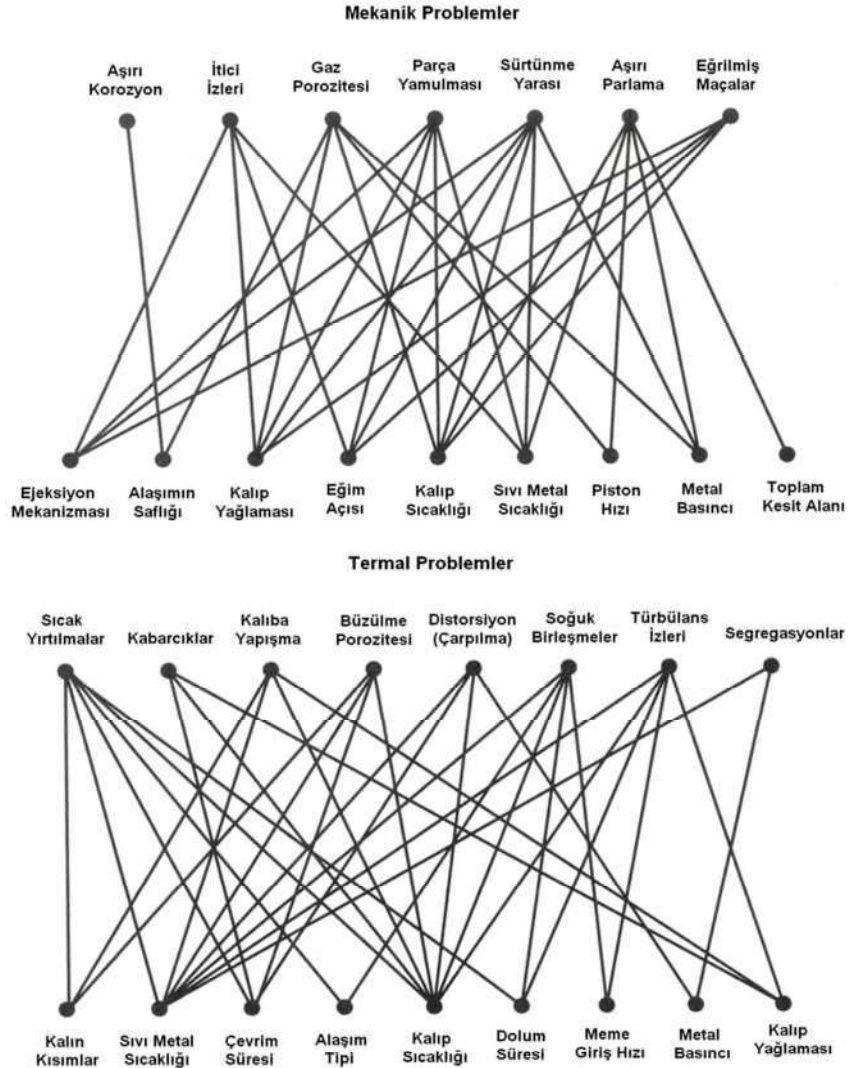
Şekil 9. Basınçlı dökümde kullanılan enjeksiyon profili örneği [9]

Modern basınçlı döküm ekipmanları çok detaylı ve dolayısıyla yüksek maliyetli bir yapıya sahiptir. Yüksek yatırım maliyetlerini karşılayabilmek için yüksek verimlilik (yüksek çalışma hızı, düşük çevrim zamanı, yüksek otomasyon seviyesi) eldesi en önemli odak olmaktadır. Fonksiyonel parçalar, karmaşık ve genelde büyük kalıplar gerektirirler ve bu gereksinim de yüksek maliyete sebep olmaktadır. Bu durum kalıp ömrünün neden bu kadar önemli olduğunu açıklamaktadır. Kalıp ömrü aynı zamanda kalıp yağlayıcıların verimliliği ile yakından ilişkilidir. Yağlayıcılar, kalıp ömrünü uzatmakta, ancak kullanımları çevresel faktörler ve

maliyetler sebebiyle sınırlandırılmaktadır [10]. Parçanın karmaşıklığı ve buna bağlı olarak kullanılan teknolojinin karmaşıklığı son yıllarda oldukça gelişmiştir. Günümüz basınçlı döküm işletmelerinde uygulaması oldukça zor olan bu karmaşık üretim prosesi, eğitimsiz personel sebebiyle büyük bir problem haline gelmektedir. Kalifiye personel eksikliği de maliyetleri olumsuz etkileyen bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır [1].

9. BASINÇLI DÖKÜMDE OLUŞAN HATALAR

Döküm prosesi tüm geometrik şekilleri ve malzeme uygunluklarını sağlayabilen sıvı fazdan katı faza bir dönüşüm olduğundan, başlı başına zor bir süreçtir. Böylesi zorlu bir süreçte çok sayıda potansiyel hata meydana gelebilmektedir. Eğer parça tasarımı, donanım seçimi, kalıp dizaynı, proses tasarımı, hammadde kalitesi, proses kontrol yetisi, kalıp bakımı, uygun ekipman kullanımı ile malzeme sevk ve idaresi konularındaki temel kurallar doğru bir şekilde izlenirse, bu potansiyel hatalar önlenebilir [1]. Basınçlı dökümde en çok karşılaşılan hatalar; eksik dolum, soğuk birleşme, gaz porozitesi, sıcak yırtılma ve kendini çekme boşluklarıdır. Hataların oluşumu birbiriyle bağlantılı birçok faktörden kaynaklanmaktadır. Yanlış proses parametreleri, hatalı parça veya kalıp dizaynı, alaşımın safiyetsizliği hata faktörlerini oluşturmaktadır. Hataların oluşum sebepleriyle birlikte ayrıntılı bir şekilde irdelenmesi gerekmektedir. Çeşitli hata türleri ve bunların oluşumunda etkili parametreler üzerine yapılmış bir çalışma Şekil 10'da görülmektedir [6].



Şekil 10. Basınçlı döküm hataları ile proses parametrelerinin ilişkisi [6]

Kaynakça:

- [1] Kaufmann, H. and Uggowitzer, P.J., (2007). Metallurgy and Processing of High-Integrity Light Metal Pressure Castings, First Edition, Fachverlag Scihele & Schön GmbH, Berlin.
- [2] Vinarcik, E.J., (2003). High Integrity Die Casting Processes, First Edition, John Wiley & Sons Inc., New Jersey.
- [3] Vanlı, A.S., (2013). Magnezyum Alaşımlarının Basınçlı Dökümünde Ürün Kalitesine Etki Eden Proses Parametrelerinin Optimizasyonu, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] ASM Handbook Volume 15 (1998). Casting, Fourth Edition, ASM International Handbook Committee, Ohio.
- [5] Friedrich, H.E. and Mordike, B.L., (2006). Magnesium Technology: Metallurgy, Design Data, Applications, First Edition, Springer Verlag, Berlin.
- [6] ASM Specialty Handbook, (1999). Magnesium and Magnesium Alloys, Second Edition, ASM International Handbook Committee, Ohio.
- [7] Marinescu, I. and Boothroyd, G., (2002). Product Design for Manufacture and Assembly, Second Edition, Marcel Decker Inc., New York.
- [8] Oskar Frech GmbH + Co. KG, (2015). Basic Principles of Die and Process Design, Schorndorf.
- [9] Hydro Magnesium, (2002). Magnesium Die Casting, First Edition, Hydro Media Inc., Brussels.
- [10] Natesh, G., (2007). Magnesium Die Casting: Lubrications Technology & Trends, Die Casting Engineer, September 2007: 1-4.

Adı-Soyadı : Deneyi Yürüten Öğretim Elemanı :
Numara : Deneyin Yapıldığı Tarih :
İmza : Grup-Alt Grup :

NOT

10. İSTENİLENLER

- a. Basınçlı döküm yöntemiyle imal edilmesi düşünülen alaşımı için uygun **döküm sıcaklığı** ve buna bağlı olarak uygun **dolum süresinin** belirlenmesi.

$$t_{dök} = t_{erg} + \Delta t \quad t_{dök} = \dots\dots\dots [^{\circ}C]$$

$$t_{erg} = \dots\dots\dots [^{\circ}C] \quad \Delta t = \dots\dots\dots [^{\circ}C]$$

$$t = 34,6 [(T_m - T_f + 2,5 S) / (T_f - T_d)] T \quad t = \dots\dots\dots [ms]$$

$$T_m = \dots\dots\dots [^{\circ}C] \quad T_f = \dots\dots\dots [^{\circ}C] \quad T_d = \dots\dots\dots [^{\circ}C]$$

$$S = \dots\dots\dots [birimsiz] \quad T = \dots\dots\dots [mm]$$

- b. Kalıp gravürüne girecek toplam metal hacminin, kalıp boşluğunun hacmine göre belirlenmesi ve dolum süresi dikkate alınarak **hacimsel akış debisinin** bulunması.

$$Q = v / t \quad v = \dots\dots\dots [cm^3] \quad Q = \dots\dots\dots [cm^3/ms]$$

- c. Debinin akış boyunca sabitliği ilkesinden faydalanılarak, cidar kalınlığına göre yolluk giriş hızının seçilmesi, seçilen giriş hızına göre **yolluk giriş kesitinin** hesaplanması.

$$Q = (A_g \times V_g) / 1000 \quad V_g = \dots\dots\dots [m/s] \quad A_g = \dots\dots\dots [mm^2]$$

- d. Sonrasında, bir piston çapının seçilmesi ve süreklilik denkleminde faydalanılarak **piston hızının** hesaplanması.

$$Q = (\pi \times D_p^2 \times V_p) / 4000 \quad D_p = \dots\dots\dots [mm] \quad V_p = \dots\dots\dots [m/s]$$

- e. Dökülen parçanın yolluk kesitini de içeren **projeksiyon alanının**, kalıp gravürlerine ait iz düşüm alanının 1,5 katı olarak hesaplanması.

$$A_{proj} = 1,5 \times A_{gravür} \quad A_{gravür} = \dots\dots\dots [cm^2] \quad A_{proj} = \dots\dots\dots [cm^2]$$

- f. Dökülecek parçadan beklenen gereksinimlere göre katılma esnasında uygulanan kalıp içi spesifik basıncın tablolardan seçilmesi ve **kalıp açma kuvvetinin** belirlenmesi.

$$F_e = (A_{proj} \times P_{sol}) / 100 \quad P_{sol} = \dots\dots\dots [bar] \quad F_e = \dots\dots\dots [kN]$$

- g. Sonrasında kalıp açma kuvveti ve güvenlik faktörü dikkate alınarak **kilitleme kuvvetinin** hesaplanması.

$$F_{lock} = G_f \times F_e \quad G_f = \dots\dots\dots [birimsiz] \quad F_{lock} = \dots\dots\dots [kN]$$

$$F_{ton} = F_{lock} / g \quad g = 9,8 [m/s^2] \quad F_{ton} = \dots\dots\dots [ton]$$

BAHAR DÖNEMİ MAKİNE TEORİSİ, SİSTEM DİNAMİĞİ VE KONTROL 1. DENEYİ

1. **DENEY ADI:** Dinamik Absorber Tasarımı
2. **DENEYİN AMACI:** Tek serbestlik dereceli bir sistemde, belirli bir frekansta etki eden bozucu etki sebebiyle meydana gelen titreşimleri sönmülemek amacıyla dinamik absorber tasarımı.

3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR:

3.1. Tanımlar

Titreşim: Bir cismin denge konumu etrafında yapmış olduğu salınım hareketlerine titreşim denir.

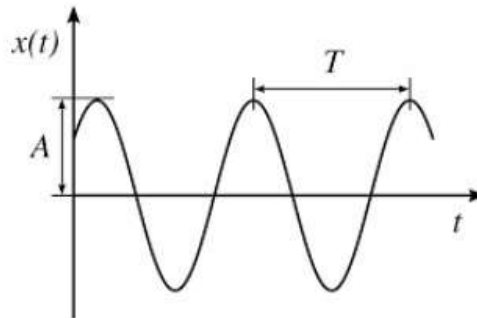
Serbestlik Derecesi: Bir sistemin herhangi bir anda bütün parçalarının konumlarının tamamen belirli olabilmesi için gereken birbirinden bağımsız minimum koordinat sayısıdır.

Genlik: Titresen cismin denge konumuna göre maksimum yer değiştirmesi.

Periyot: Titreşim hareketinin bir kez tekrarlanması için gereken süre.

Frekans: Birim zamandaki titreşim sayısı.

Harmonik Hareket: Bir hareket eşit zaman aralıklarından sonra kendini tekrarlıyorsa buna periyodik hareket denir. En basit periyodik hareket şekli harmonik harekettir (Şekil 1). İvmenin yer değiştirme ile orantılı olduğu titreşimlere ise basit harmonik hareket denir.



Şekil 1. Harmonik Hareket [1]

Rezonans: Dışarıdan tahrik eden zorlayıcı etkinin frekansı, sistemin doğal frekansı ile çakışırsa sistemin salınımlarının giderek büyüdüğü ve sistemi tahrip edecek mertebeye ulaştığı görülür.

Bu olaya rezonans denir, sistem için tahribat yaratabilir. Bu deneyde oluşan rezonans titreşimlerinin dinamik absorber yardımıyla sönümlenmesi gösterilecektir.

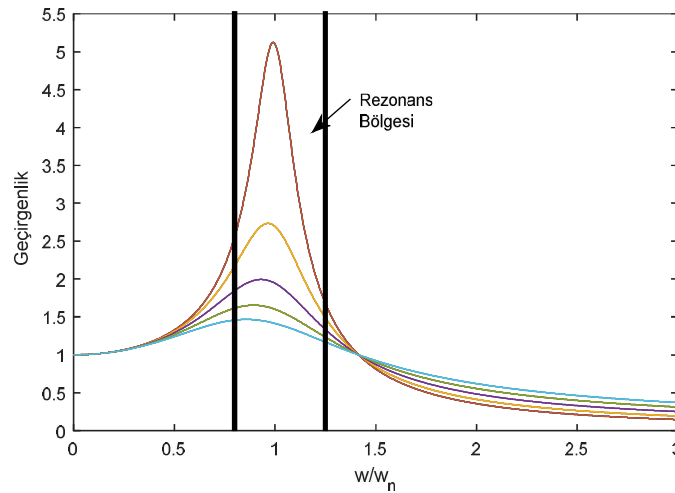
Titreşim kontrolü mevcut sistemlere uygulandığı gibi tasarım aşamasında da kullanılır. Bu şekilde başlangıçta oluşan titreşimlerin standartlarda verilen sınırlar içerisinde kalması sağlanır. Çoğu zaman bazı sebeplerden dolayı sistemlerin dinamik davranışları zamanla değişkenlik gösterebilir. Dolayısıyla mekanik sistemlerdeki titreşimlerin teknik, insan ve çevre şartları açısından emniyetli sınırların altına indirilmesi gerekir. Buna titreşimlerin pasif yollarla kontrolü denir ve literatürde üç farklı şekilde yapıldığı gösterilmiştir. Bunlar;

- 1 Dengeleme
- 2 Dış sönümleyici
- 3 Dinamik kütle damperidir.

3.2. Titreşim Kontrolü Ne İçin Yapılır

Makina konstrüksiyonunun ömür değerlendirilmesinde makina titreşimleri birinci derecede rol oynar. Sistem içerisinde rezonans olmasa bile zamanla yorulma kırılmaları ortaya çıkabilir. Makina parçaları sistem içerisindeki çalışma sırasında rezonans bölgesinde çalışıyorsa bu durumda rezonans kırılmaları ortaya çıkacaktır. Bundan dolayı sistemi izole etmek gerekir.

Rezonans altı veya rezonans üstü bölgelerde çalışan makina parçalarının titreşim genlikleri standartlarda (DIN, VDI, TSE) verilen değerlerin altına düşürülmediği takdirde titreşimlerin etkisiyle parçalarda bir takım hasarların ortaya çıkması söz konusudur. Bu da yine titreşim kontrolü gerektiren bir durumdur.



Şekil 2. Rezonans Bölgesi

Şekil 2'yi incelediğimizde w_n sistemin doğal frekansı, ν ise o sistem üzerine uygulanan zorlayıcı etkinin (kuvvet veya moment) zorlayıcı frekansdır. $\frac{\nu}{w_n}$ oranı 0.8-1.25 arasında ise sistem rezonans bölgesindedir denilir.

Titreşimli çalışan makinalarda makina parçalarının titreşiminden dolayı deformasyonlar meydana gelir. Sistemde oluşan iç sürtünmeler dolayısıyla bir enerji kaybı oluşur. Bu şekilde titreşimler ve sürtünmeler sonucu meydana gelen enerji kayıplarının da titreşim kontrolü yoluyla azaltılması gerekir.

İnsan sağlığı açısından titreşimlerin ve gürültülerin insan üzerindeki etkilerinin yok edilmesi veya sınırlandırılması gerekir. Bundan dolayı standartlarda titreşim ve gürültüler insan sağlığı açısından sınırlandırılmıştır.

Tablo 1. Titreşimlerin İnsan Sağlığı Açısından Sınırlandırılması [3]

300 (5 Hz)	600 (10 Hz)	1200 (20 Hz)	3000 (50 Hz)	
Titreşim Genlikleri x [mm]				İnsan Üzerindeki Etkileri
0,02	0,01	0,005	0,002	Hissedilmez
0,02 - 0,056	0,01 - 0,03	0,005 - 0,015	0,002 - 0,005	Mevcudiyeti anlaşılır
0,056 - 0,16	0,03 - 0,08	0,015 - 0,04	0,005 - 0,015	Hissedilmeye başlar
0,16 - 0,8	0,08 - 0,25	0,04 - 0,09	0,015 - 0,025	Rahatsız olmaya başlar
0,8 - 2,2	0,25 - 0,66	0,09 - 0,16	0,025 - 0,03	Rahatsız eder
>2,2	>0,66	>0,16	>0,03	Dayanılmaz hal alır

Titreşimlerin teknik açıdan deformasyonlar yönünden de sınırlandırılması gerekmektedir.

Tablo 2. Titreşimlerin Cihaz Güvenliği Açısından Sınırlandırılması (L yatak arası mesafe) [3]

ÖTELEME	AÇISAL
$x_{\max.} \leq x_{em.}$	$\theta_{\max.} \leq \theta_{em.}$
$x_{em.} = 10^{-4} \cdot \ell$ [mm]	$\theta_{em.} = 5 \cdot 10^{-6} \cdot \ell$ [mm]

3.3. Genelleştirilmiş Koordinatlar ve Asal Koordinatlar

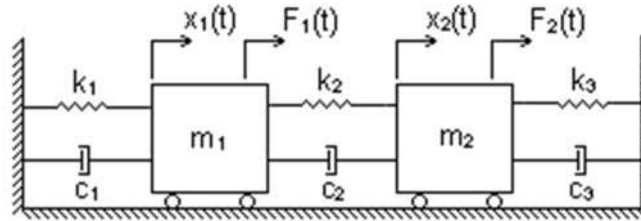
Sistemin her $x(t)$ anı için konumunu belirlemede kullanılan koordinatlara genelleştirilmiş koordinatlar denir. İki serbestlik dereceli bir sistemin hareket denklemleri birbirine bağlı iki denklemden oluşur. Ancak bu iki denklemi birbirinden bağımsız kılmak da mümkündür. Yani

her bir denklemi sadece bir koordinatla, diğerinden bağımsız bağımsız olarak yazmak mümkün olur. Bu şekilde hareket denklemlerini birbirinden bağımsız yapan koordinatlara asal koordinatlar denir.

3.4. En Genel Halde 2. Dereceden Diferansiyel Denklemin Elde Edilmesi

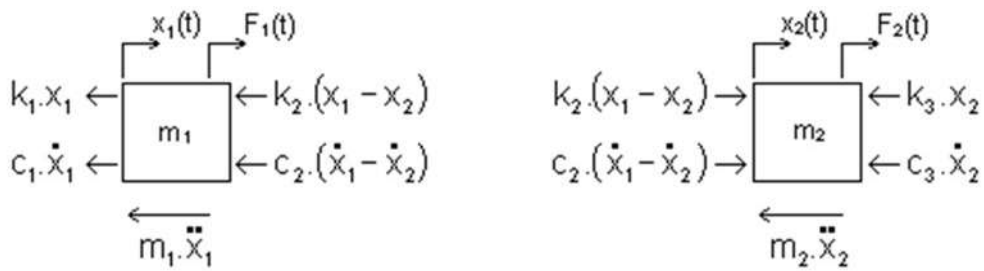
İki serbestlik dereceli sistemler için iki adet diferansiyel denklem yazılır. Bunlara bağlı olarak iki adet kritik frekans değeri elde edilir. Bu frekans değerleri sönümsüz hareketlerde frekans denklemini, sönümlü hareketlerde ise karakteristik denklemi çözebilir. Kütleler o şekilde hareket edebilirler ki bir kütle maksimum deplasman konumundayken diğer kütle denge konumunda olabilir veya sistemin tüm elemanları aynı faz açısında salınım yapabilir. Bu hareket durumlarına titreşimin modları denir.

Aşağıda iki serbestlik dereceli bir sistemin diferansiyel denklemleri çıkartılmıştır.



Şekil 3. İki serbestlik dereceli mekanik sistem

Serbest cisim diyagramı:



Şekil 4. Kütlelerin serbest cisim diyagramı

M_1 kütlesi için hareket denklemleri;

$$\sum F(t) = m_1 \ddot{x}_1(t) \quad (1)$$

$$m_1 \ddot{x}_1(t) + k_1 x_1(t) + c_1 \dot{x}_1(t) + k_2 (x_1(t) - x_2(t)) + c_2 (\dot{x}_1(t) - \dot{x}_2(t)) = F_1(t) \quad (2)$$

$$m_1 \ddot{x}_1(t) + (c_1 + c_2) \dot{x}_1(t) - c_2 \dot{x}_2(t) + (k_1 + k_2) x_1(t) - k_2 x_2(t) = F_1(t) \quad (3)$$

$$\sum F = m_2 \ddot{x}_2(t) \quad (4)$$

$$m_2 \ddot{x}_2(t) + k_3 x_2(t) + c_3 \dot{x}_2(t) - k_2(x_1(t) - x_2(t)) - c_2(\dot{x}_1(t) - \dot{x}_2(t)) = F_2(t) \quad (5)$$

$$m_2 \ddot{x}_2(t) + (c_2 + c_3) \dot{x}_2(t) - c_2 \dot{x}_1(t) + (k_2 + k_3)x_2(t) - k_2 x_1(t) = F_2(t) \quad (6)$$

Denklemler Matris formatında yeniden yazıldığında:

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1(t) \\ \ddot{x}_2(t) \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 \\ -c_2 & c_2 + c_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 + k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1(t) \\ F_2(t) \end{Bmatrix} \quad (7)$$

Dikkat edilirse kütle, sönüm ve katılık matrisleri 2x2 boyutunda olup hepsi simetriktir. Eğer sistemde $c_2=0$ ve $k_2=0$ olursa bu iki denklem birbirinden bağımsız olur. Bu durum iki kütle için fiziksel olarak birbirine bağlı olmadığını ifade eder. Bu durumda, kütle sönüm ve katılık matrisleri köşegen olur. Burada, sistemin sönümsüz olduğu ve $k_3=0$ ve m_2 kütlelerine kuvvet uygulanmadığı kabul edilirse, ifade denklem (8)'deki gibi elde edilir.

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1(t) \\ \ddot{x}_2(t) \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 + k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1(t) \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (8)$$

Bu matrisi açtığımızda,

$$m_1 \ddot{x}_1(t) + k_1 x_1(t) + k_2(x_1(t) - x_2(t)) = F_1(t) \quad (9)$$

$$m_2 \ddot{x}_2(t) - k_2(x_1(t) - x_2(t)) = 0 \quad (10)$$

ikinci dereceden sabit katsayılı diferansiyel denklemleri elde ederiz. Bu diferansiyel denklemi çözmek için, harmonik koşulu sağlayan aşağıdaki ifadeleri kullanabiliriz.

$$x_1(t) = X_1 \cos(\omega t - \varphi) \quad (11)$$

$$x_2(t) = X_2 \cos(\omega t - \varphi) \quad (12)$$

Sistemimiz 2. dereceden olduğu için iki defa türev aldığımızda,

$$\ddot{x}_1(t) = -X_1 \omega^2 \cos(\omega t - \varphi) = -\omega^2 x_1 \quad (13)$$

$$\ddot{x}_2(t) = -X_2 \omega^2 \cos(\omega t - \varphi) = -\omega^2 x_2 \quad (14)$$

Çözüm olarak kabul edilen (11)-(14) denklemlerini, (9) ve (10)'da yerine koyduğumuzda,

$$(k_1 + k_2 - \omega^2 m_1)x_1 - k_2 x_2 = F_1 \quad (15)$$

$$-k_2x_1 + (k_2 - \omega^2m_2)x_2 = 0 \quad (16)$$

denklemleri elde edilir. Ardından, (15) ve (16) numaralı denklemler x_1 ve x_2 cinsinden yazıldığında,

$$x_1 = \frac{(k_2 - \omega^2m_2)x_2}{k_2} \quad (17)$$

$$((k_1 + k_2 - \omega^2m_1) \frac{(k_2 - \omega^2m_2)}{k_2} - k_2)x_2 = F_1 \quad (18)$$

bulunur. Bulunan bu değerler kabul edilen çözüm olan (11) ve (12) numaralı denklemlerinin içine yazıldığında

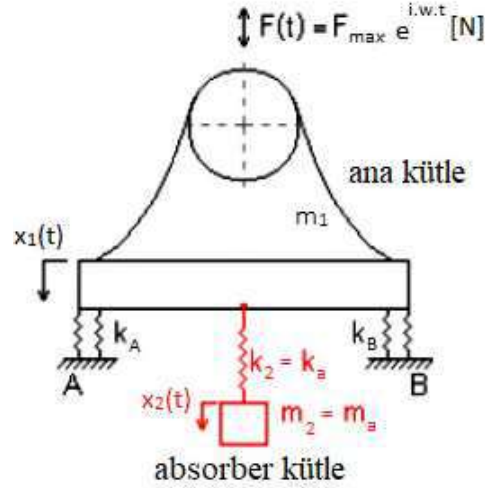
$$x_1 = \frac{F_1(k_2 - \omega^2m_2)}{(k_1 + k_2 - \omega^2m_1)(k_2 - \omega^2m_2) - k_2^2} \quad (19)$$

$$x_2 = \frac{F_1k_2}{(k_1 + k_2 - \omega^2m_1)(k_2 - \omega^2m_2) - k_2^2} \quad (20)$$

olarak sistemin hareket denklemleri bulunur.

3.5. Titreşim Kontrolünde Dinamik Absorber Yöntemi

Dinamik titreşim absorberleri sönümlü ve sönümsüz olarak tasarlanabilirler. Bunlar, bilhassa sönümsüz zorlanmış sistemlerin rezonans bölgelerinde sistemleri rezonanstan koruyan önemli bir titreşim kontrol elemanıdır. Prensip olarak Frahm tarafından ortaya konulmuş olup m_1 kütlesi ve k_1 yayından oluşan tek serbestlik dereceli bir sisteme başka bir m_2 kütlesini ve k_2 yayıyla bağlayarak oluşturulmaktadır. Bu metot sayesinde uygun frekans-kütle ayarı ile hem ana sistemin tabii frekansı değişmekte hem de titreşim genlikleri azaltılmaktadır. Şekil 3'te örnek bir sönümsüz dinamik absorber uygulaması görülmektedir. Burada; m_2 dinamik absorber kütlesi, k_2 ise dinamik absorber yayının rijitliğidir. Tek serbestlik dereceli bir sistem dinamik absorber uygulaması ile iki serbestlik dereceli bir sisteme dönüşmüştür.



Şekil 5. Sönümsüz dinamik absorber uygulaması [3]

Şekil 5’te verilen sistemde k_A ve k_B yayı birbirine paralel olarak bağlanmıştır. Eşdeğer yay sabiti aşağıda verilmiştir.

$$k_1 = k_A + k_B \quad (21)$$

Bu sistemin absorber eklenmeden önceki doğal frekansı

$$\omega_{n_1} = \sqrt{\frac{k_1}{m_1}} \quad (22)$$

Sisteme uygulanan dış kuvvet

$$F(t) = F_{max} \sin \omega t \quad [\text{N}] \quad (23)$$

Sistem için hareket yönünün $x_2 > x_1$ olduğu kabulü yapılarak hareket denklemleri

$$m_1 \ddot{x}_1 + (k_1 + k_2)x_1 - k_2 x_2 = F_{max} \sin \omega t \quad (24)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + k_2(x_2 - x_1) = 0 \quad (25)$$

(24) ve (25)’in çözümü için aşağıdaki kabuller yapılabilir.

$$x_1(t) = X_1 \sin \omega t \quad (26)$$

$$x_2(t) = X_2 \sin \omega t \quad (27)$$

Denklem (26) ve (27)’nin (24) ve (25)’te yerlerine yerleştirilerek x_1 ve x_2 çekildiğinde

$$x_1(t) = \frac{F_{max}(k_2 - m_2\omega^2)}{(k_1 + k_2 - m_1\omega^2)(k_2 - m_2\omega^2) - k_2^2} \quad (28)$$

$$x_2(t) = \frac{F_{max}k_2}{(k_1 + k_2 - m_1\omega^2)(k_2 - m_2\omega^2) - k_2^2} \quad (29)$$

olarak bulunur. Burada $x_1(t)$ ana sistemin yer değişimlerini, $x_2(t)$ ise bu sisteme sonradan asılan kütlenin yer değişimlerini ifade etmektedir. Burada amaç ana sistemin titreşimlerini azaltmak olduğuna göre $x_1=0$ olması için paydaki $(k_2 - m_2\omega^2)$ değerini sıfırlamak gerekir.

$$x_1(t) = 0 \quad \rightarrow \quad (k_2 - m_2\omega^2) = 0 \quad (30)$$

$$\omega^2 = \frac{k_2}{m_2} \quad \rightarrow \quad \omega = \omega_a = \sqrt{\frac{k_2}{m_2}} \quad (\text{absorberli kütlenin kritik frekansı}) \quad (31)$$

$\omega = \omega_a$ olursa $x_1=0$ bulunur.

Burada görölmektedir ki ana sisteme etkiyen kuvvetin zorlayıcı frekansı bu sisteme sonradan asılan dinamik absorberin tabii frekansıyla eşitlendiği zaman, $(\omega = \omega_a)$ ana sistem titreşimleri $x_1=0$ olacaktır. Burada ana sisteme asılan absorber kütlenin daha kolay titreşebilmesi için kütle ve rijitlik değerinin ana sisteminkinden daha küçük olması gerekir.

$$\omega = \omega_a \quad \Rightarrow \quad x_1 = 0, \quad x_2 = -\frac{F_{max}}{k_2} \quad \text{şeklinde elde edilir.}$$

Yapılan deneyler sonucunda dinamik absorber kütlesinin m_1 kütlesinin 0.1-0.3 katı olması durumunda iyi bir sönümlenme sağladığı belirlenmiştir. Buradan hareketle, $\omega_a = \omega_{n1}$ olmak üzere

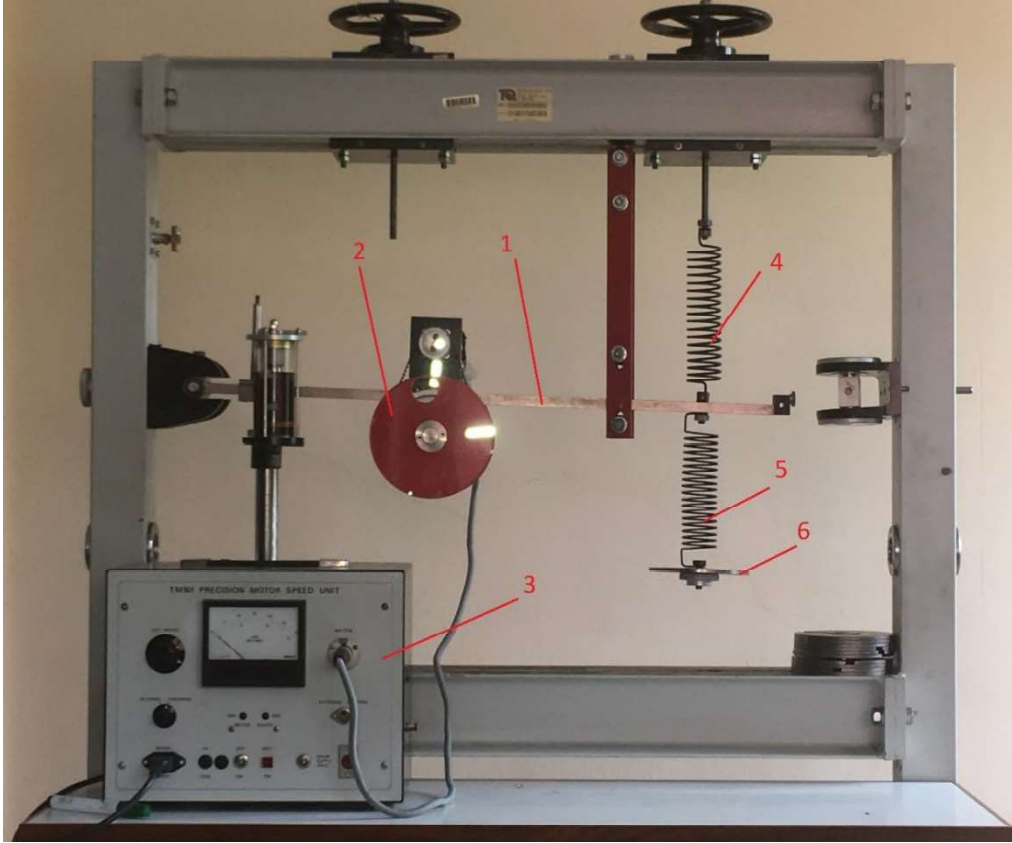
$$\sqrt{\omega_a} = \sqrt{\omega_{n1}} = \frac{k_2}{m_2} = \frac{(0.1 \div 0.3)k_1}{(0.1 \div 0.3)m_1} \quad (32)$$

olarak dinamik damper tasarımı yapılmış olur. Teori gereği sistem doğal frekans değerinde tahrik edildiğinde x_1 hareketi tamamen sönümlenerek yok olur. Yalnızca x_2 hareketi görülür.

Dinamik damperler, tek bir serbestlik derecesini kontrol etmede etkili bir yöntemdir. Buna karşın, sistemde ikinci bir doğal frekans oluşacağı için değişken tahrikli sistemlerde tasarlanması önerilmez. Tek serbestlik derecesinde normalde üst frekanslar her zaman güvenli olarak düşünölebilmesine karşın, oluşan bu ikinci serbestlik derecesi tehlikeli bir bölge oluşturacağı unutulmamalı ve tasarımlar yapılırken bu durum göz önünde bulundurulmalıdır.

4. DİNAMİK TİTREŞİM ABSORBERİ DENEY TESİSATI

Sistem, dinamik absorber bağlı halde Şekil 6’da gösterilmiştir. Burada, sistem çubuğu 1 numara ile, titreşim oluşturacak motor 2 numara ve motorun devrini ayarlayan kontrol ünitesi 3 numara ile verilmiştir. Sistemin esnekliğini temsil edecek yay 4 numara ile, 5 ve 6’da ise dinamik absorber temsil eden ilave yay ve kütle gösterilmiştir.



Şekil 6. Sönümsüz dinamik absorber uygulaması

5. DENEYİN YAPILIŞI

1. Titreşim setinde rezonans uygulamasında bulunan genlik değerleri Tablo 3’e yazılır.
2. Ölçüm sonucunda doğal frekans değeri belirlenir.
3. Sistemin yay katsayısı bulunur. Bulunacak olan değerler Tablo 4’e yazılır.

a) Yay serbest bırakılmış halde iken bağlantı noktaları arasındaki mesafe ölçülür. (δ_a)

b) Yaya belirli ağırlıklar bağlandıktan sonra oluşan yer değişimi, bağlantı noktaları arasındaki mesafe ölçülür. (δ_b)

c) δ_{st} belirlenir.

$$\delta_{st} = \delta_b - \delta_a \quad (33)$$

d) Yaya uygulanan kuvvet belirlenir.

$$F = mg \quad (34)$$

e) Hooke kanunu ile sistemin yay katsayısı elde edilir.

$$k_s = \frac{F}{\delta_{st}} \quad (35)$$

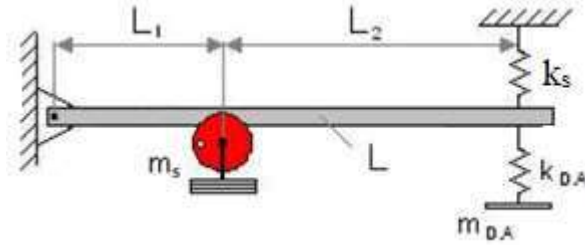
4. Sistemin kütlesi, doğal frekans cevabından elde edilir.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k_s(L_1+L_2)^2}{m_s L_1^2}} \quad (36)$$

$L_1=0,3$ m ve $L_2=0,43$ m'dir.

5. Dinamik absorber yayı sisteme bağlanır. Bağlanan yay katsayısı (k_d) yine Hooke kanununa göre tespit edilir. Dinamik absorber için kullanılacak kütle değeri bulunur.

Deney seti Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Dinamik absorberli deney seti

REFERANSLAR

1. Tahralı, N., Kaya, F., Güçlü, R., & Yüksek, İ. (2005). Makina Dinamiği (Vol. MK.MKM-05.001, 3. Baskı). İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Basım Yayın Merkezi.
2. Rao, S. S., & Yap, F. F. (2011). Mechanical vibrations (Vol. 4). Upper Saddle River: Prentice Hall.
3. Güçlü, R., 'Titreşim İzolasyonu', Ders Notu, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2018, İstanbul

Adı-Soyadı :
Numara :
İmza :

Deneyi Yürüten Öğretim Elemanı :
Deneyin Yapıldığı Tarih :
Grup-Alt Grup :

NOT

Tablo 3. Ölçüm Sonuçları

Dönüştürücü Frekansı (wd)	Motor Frekansı $f=(wd*100/2,5)/3,6$	Motor Frekansı (rad/s) $w=2*\pi*f$	Ölçüm Değerleri (mm)
2,5	1,67	10,47	
5	3,33	20,94	
5,5	3,67	23,04	
6	4,00	25,13	
6,5	4,33	27,23	
7	4,67	29,32	
7,5	5,00	31,42	
8	5,33	33,51	
8,5	5,67	35,60	
9	6,00	37,70	
9,5	6,33	39,79	
10	6,67	41,89	
12,5	8,33	52,36	

Tablo 4. Hesap sonuçları

Sistem Yayı			
Kütle	Serbest Yay Uzunluğu (δ_a)	Kütleli Yay Uzunluğu (δ_b)	k_s
(kg)	(mm)	(mm)	(N/m)
Absorber Yayı			
Kütle	Serbest Yay Uzunluğu (δ_a)	Kütleli Yay Uzunluğu (δ_b)	k_D
(kg)	(mm)	(mm)	(N/m)

	Hesaplanan değer	Birim		Hesaplanan değer	
ω_n			m_s		Lütfen birimi ile birlikte değerleri yazınız.
k_s			m_d		
k_D					

Tablo 5. Hesaplamalar

Lütfen işlemlerinizi bu alana yazınız. (Gerek duyulduğu takdirde Ek A4 kağıdı kullanılabilir.)



BAHAR DÖNEMİ MAKİNE TEORİSİ, SİSTEM DİNAMİĞİ VE KONTROL 2. DENEYİ

1. **DENEY ADI:** Çift Tank Su Seviyesi Kontrolü
2. **DENEYİN AMACI:** Su Seviyesi Kontrolü için PI Kontrolör Tasarlanması, Simülasyonu ve Deneysel Olarak Doğrulanması

Deneyin içeriği:

- Çift tank deney setinin matematiksel modelinin çıkarılması,
- Açık çevrim transfer fonksiyonunun Laplace transformasyonu ile s düzlemine aktarılması,
- Sistemin doğrusallaştırılması, doğrusal olmayan sistem denklemlerinden denge noktasının tayini,
- Kutup yerleştirme yaparak PI-İleri beslemeli kontrolörün tasarlanması, tasarım esnasında kıstasların nasıl ele alınacağı,
- Kontrolün sağlanması, deney ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması.

Deneye hazırlık aşaması:

Deneyin başarılı ile gerçekleştirilebilmesi için öğrencinin aşağıda belirtilen altyapıya sahip olması gerekmektedir.

1. Transfer fonksiyonları konusunda bilgi,
2. PID kontrolör tasarımı konusunda bilgi,
3. Matlab-Simulink konusunda temel bilgi,
4. Quark konusunda temel bilgi (Deney gerçekleştirilirken ilgili öğretim elemanı tarafından verilecektir).

3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR

3.1. Doğrusal Olmayan Sistem Denklemlerinin Çıkartılması

Sistemin denklemlerini çıkartılmasında pompa beslemesi ihmal edilmiştir. Sisteme giren pompa gerilimi V_p ve birinci tanktaki su seviyesi bir çıkış olarak L_1 olarak tanımlanmaktadır.

Buradaki amaç, sisteme ait açık çevrim transfer fonksiyonunu $G_1(s)$ elde etmektir. Bu transfer fonksiyonu sayesinde gerilim cinsinden su seviyesinin ne derece değiştiği ile ilgili olarak bilgi sahibi olunabilecektir.

Bu fonksiyon,

$$\frac{\partial L_1}{\partial t} = f(L_1, V_p) \quad (1)$$

olarak tanımlansın. F_{i1} ve F_{o1} çıkış ve giriş debisi olsun. O halde, A_{t1} tank alanı olmak üzere,

$$A_{t1} \frac{\partial L_1}{\partial t} = F_{i1} - F_{o1} \quad (2)$$

olarak tanımlanabilir. Burada gerilim cinsinden giriş hacimsel debisi,

$$F_{i1} = K_p V_p \quad (3)$$

olarak gösterilebilir. Bernoulli denkleminin uygulanması neticesinde ise, çıkış hızı

$$v_{o1} = \sqrt{2gL_1} \quad (4)$$

olarak gösterilebilir.

$$F_{o1} = A_{o1} \sqrt{2gL_1} \quad A_{o1} = \frac{1}{4} \pi D_{o1}^2 \quad (5),(6)$$

olduğu göz önüne alınırsa, sisteme ait doğrusal olmayan denklem,

$$\frac{\partial L_1}{\partial t} = \frac{K_p V_p}{A_{t1}} - \frac{A_{o1} \sqrt{2g}}{A_{t1}} \sqrt{L_1} \quad (7)$$

olarak elde edilir. Arzu edilen $L_{10} = 15$ cm lik denge noktası etrafında denge noktası arandığında,

$$\frac{K_p V_p}{A_{t1}} - \frac{A_{o1} \sqrt{2g}}{A_{t1}} \sqrt{L_{10}} = 0 \quad (8)$$

$$V_{p0} = \frac{A_{o1} \sqrt{2gL_{10}}}{K_p} \quad (9)$$

$$V_{p0} = 9,26 V \quad (10)$$

olarak hesaplanır.

3.2. Hareket Denklemlerinin Doğrusallaştırılması ve Transfer Fonksiyonunun Bulunması

Doğrusal kötrolör tasarlanabilmesi ve uygulanabilmesi için her şeyden önce açık çevrim transfer fonksiyonunun elde edilmesi gerekmektedir. Fakat transfer fonksiyonunun elde edilmesi için sistemin doğrusallaştırılması gerekmektedir. Dolayısıyla, Tank 1'e ait hareket denklemlerinin denge noktası etrafında doğrusallaştırılacaktır. Bu denge noktası (V_{p0}, L_{10}) , tankta sürekli bir L_1 su seviyesini koruyabilmesi için verilmesi gereken V_{p0} pompa gerilimi olarak düşünülebilir. Bu koşul dâhilinde, sistemdeki su seviyesi ve gerilim tanımlaması tekrar yapılırsa,

$$L_1 = L_{01} + L_{11} \quad V_p = V_{p0} + V_{p1} \quad (11)$$

olarak ele alınabilir. Doğrusallaştırılmış denklem, denge noktasından sonraki pozisyonda,

$$\frac{\partial L_{11}}{\partial t} = f(L_{11}, V_{p1}) \quad (12)$$

olarak tanımlanabilir. Taylor serisini denge noktası etrafında açarsak,

$$\frac{\partial L_1}{\partial t} = \frac{K_p V_{p0} - A_{01} \sqrt{2gL_{10}}}{A_{t1}} - \frac{1}{2} \frac{A_{01} \sqrt{2g} L_{11}}{\sqrt{gL_{10} A_{t1}}} + \frac{K_p V_{p1}}{A_{t1}} \quad (13)$$

elde edilir. Denge noktası V_{p0} etrafında olduğu göz önüne alınır, denge noktasında $L_{11} = L_1 - L_{01}$ olduğu düşünülürse, denge noktası etrafındaki tank su seviyesindeki değişim

$$\frac{\partial L_{11}}{\partial t} = \left(-\frac{1}{2} \frac{A_{01} \sqrt{2g}}{\sqrt{gL_{10} A_{t1}}} \right) L_{11} + \left(\frac{K_p}{A_{t1}} \right) V_{p1} \quad (14)$$

olmaktadır. Burada Laplace dönüşümü gerçekleştirsek,

$$sL_{11}(s) = \left(-\frac{1}{2} \frac{A_{01} \sqrt{2g}}{\sqrt{gL_{10} A_{t1}}} \right) L_{11}(s) + \left(\frac{K_p}{A_{t1}} \right) V_{p1}(s) \quad (15)$$

olmaktadır. Bu eşitliği elektrik motoru açık çevrim transfer fonksiyonu formuna getirirsek,

$$\left(s + \frac{1}{2} \frac{A_{01} \sqrt{2g}}{\sqrt{gL_{10} A_{t1}}} \right) L_{11}(s) = \left(\frac{K_p}{A_{t1}} \right) V_{p1}(s) \quad (16)$$

$$G_{11}(s) = \frac{L_{11}(s)}{V_{p1}(s)} = \frac{K_{dc}}{\tau_1 s + 1} \quad (17)$$

$$\frac{L_{11}(s)}{V_{p1}(s)} = \frac{\left(\frac{K_p}{A_{t1}} \right)}{\left(s + \frac{1}{2} \frac{A_{01} \sqrt{2g}}{\sqrt{gL_{10} A_{t1}}} \right)} \quad (18)$$

$$K_{dc} = K_p \frac{\sqrt{2gL_{10}}}{A_{01}g} \quad \tau_1 = A_{t1} \frac{\sqrt{2gL_{10}}}{A_{01}g} \quad (19),(20)$$

olarak elde edilir.

3.3. Tank 1 Su Seviyesi Kontrolü

3.3.1. İsterler

1. tankın su seviyesinin ayarlanması amacıyla bir kontrolör tasarlanması hedeflenmektedir. Bu amaçla, pompa gerilimine bağlı olarak su seviyesindeki değişimi veren transfer fonksiyonu elde edilmiştir. Bu amacın gerçekleştirilmesi için PI-FF kontrol (Proportional Integral-Feed Forward) Kontrol uygulanacaktır. Deneyde ± 1 cm kare dalgalar oluşturulacak olup sistemin bunu takip etmesi istenmektedir.

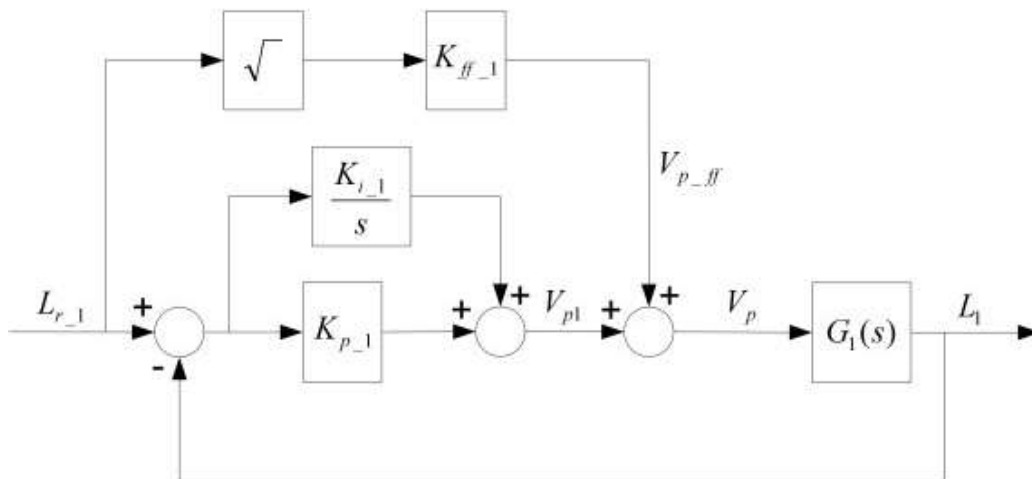
İstenen Performans Kriterleri:

1. Tank 1 için operasyon noktası: $L_{10} = 15$ cm
2. Yüzde aşım %10 dan az: $PO_1 \leq 10\%$
3. %2'ye yerleşme zamanı 5 saniyeden az: $t_{s_1} = 5.0$ s
4. Kararlı hal hatası yok: $e_{ss} = 0$ cm

3.3.2. İleri Beslemeli Kontrolör Tasarımı

Sıfır kararlı hal hatası için Tank 1'in su seviyesi, PI(Orantısal+İntegral) kontrolöre ileri besleme aksiyonu V_{p_ff} eklenerek oluşturulan V_p ile aşağıdaki gibi kapalı çevrim sistem oluşturularak kontrol edilir.

Tasarlanan PI kontrolör, sistemi etkileyen dinamik bozucuların etkilerini bastırır. Diğer taraftan, ileri besleme ise alt tahliye deliğinden sabit hacimde sürekli olarak boşaltılan sıvıyı kompanze ederek tank su seviyesinin dengede kalmasını sağlar (Şekil 2).



Şekil 2. İleri Beslemeli PI kontrol Blok Şeması

Burada ileri besleme gerilimi V_{p-ff} aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$V_{p-ff} = K_{ff-1} \sqrt{L_{r-1}} \quad (21)$$

Sisteme uygulanan V_p girişi ise, daha önce anlatıldığı gibi sisteme uygulanan küçük gerilim değişiklikleri V_{p1} 'e ek olarak verilen ileri besleme geriliminin toplamı olarak aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$V_p = V_{p1} + V_{p-ff} \quad (22)$$

Buradan hareketle, $L_{r1} = L_{10}$ ve $V_{p-ff} = V_{p0}$ olarak ifade edilebilir. Öyleyse ileri besleme kazancı,

$$K_{ff1} = \frac{A_{01} \sqrt{2g}}{K_p} \quad (23)$$

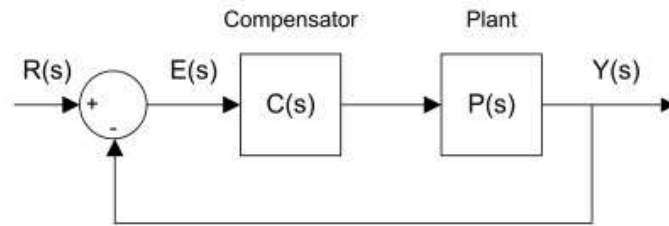
olarak hesaplanır.

3.3.3. PI Kontrolör Tasarımı

Açık çevrim transfer fonksiyonu $G_1(s)$ daha önce ifade edildiği üzere Tank 1'e ait su seviyesi dinamiğini ifade etmektedir. Yalnız görüleceği üzere V_p 'ye bir ileri besleme etki ettiğinden açık çevrim transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi de yazılabilir.

$$G_{11}(s) = \frac{L_{11}(s)}{V_{p1}(s)} \quad (24)$$

Birim geri beslemeli kontrolör uygulanmış sistemin blok diyagramı en genel şekliye aşağıdaki gibi gösterilebilir (Şekil 3).



Şekil 3. Geri Besleme Kontrollü Sistem Blok Şeması

Burada $C(s)$ kontrolöre ait transfer fonksiyonunu, $P(s)$ sisteme ait transfer fonksiyonunu göstermektedir. $Y(s)$ sinyali sistem çıkışını göstermektedir ve bu çıkış $R(s)$ referans sinyalini izlemek zorundadır, referans sinyalini izlerken de istenen performans kriterlerini sağlamalıdır. $E(s)$ sinyali ise her döngüde yeniden hesaplanan sistem çıkışının, takip etmesi istenilen

referanstan ne kadar uzakta olduğunu gösteren hata sinylidir. O halde, sistem çıkışı bu sinyaller ve transfer fonksiyonları cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$Y(s) = C(s)P(s)(R(s) - Y(s)) \quad (25)$$

Yukarıdaki eşitlik düzenlenerek oluşturulan kapalı çevrim transfer fonksiyonu sistem çıkışını girişine oranından aşağıdaki gibi bulunur.

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{C(s)P(s)}{1+C(s)P(s)} \quad (26)$$

PI kontrolör için bu giriş-çıkış ifadesi zaman düzleminde aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$u = K_p(r - y) + \frac{K_i(r-y)}{s} \quad (27)$$

Burada K_p ifadesi orantısal kazancı, K_i ifadesi ise integral kazancını göstermektedir.

Eğer birinci mertebeden bir sistem PI kontrolör ile seri bağlantı kuracak şekilde bir kapalı döngüye sokulursa, bu bağlantının sonucunda kapalı çevrim transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \quad (28)$$

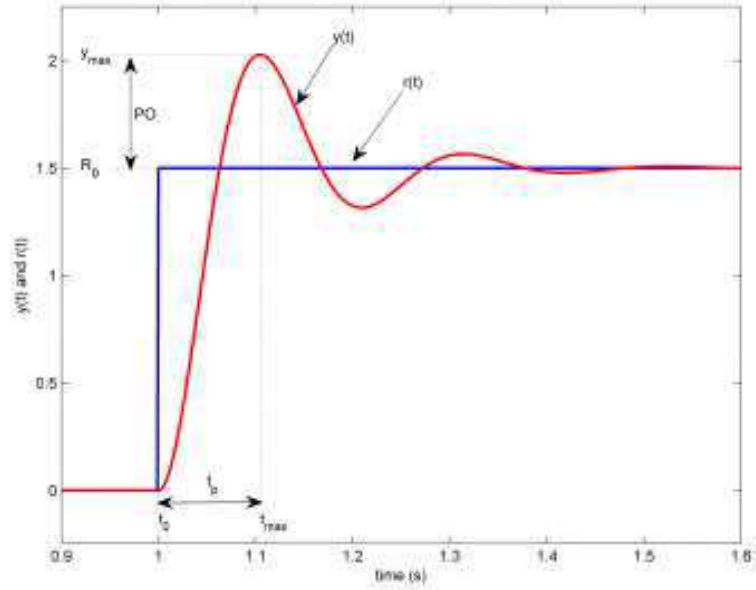
Burada ω_n doğal frekans, ζ sönüm oranıdır. Yukarıdaki ifade standart ikinci mertebe transfer fonksiyonu olarak isimlendirilir. Bu fonksiyonun cevap özellikleri ω_n doğal frekans ve ζ sönüm oranına bağlıdır.

Tepe Zamanı ve Maksimum Aşım:

İkinci mertebeden bir sisteme aşağıda gösterildiği gibi basamak girişi uygulansın.

$$R(s) = \frac{R_0}{s} \quad (29)$$

Yukarıdaki ifadede R_0 ifadesi basamak genliğidir ve değeri $R_0 = 1.5$ olsun. Bu girişe ikinci mertebeden sistemin verdiği cevap aşağıdaki grafikteki gibidir. Grafikteki eğrilerden biri sistem çıkışı (cevabı) iken diğeri ise sisteme uygulanan 15 birim genlikli basamak giriştir (Şekil 4).



Şekil 4. Birim Basamak Fonksiyonu için Sistem Cevabı

Sistem cevabındaki okunan maksimum değeri y_{max} olarak, y_{max} 'ın oluştuğu anı da t_{max} olarak gösterilsin. Bu durumda sistemin cevabının maksimum yüzde aşımı aşağıdaki ifade ile bulunur.

$$PO = 100 \frac{(y_{max} - R_0)}{R_0} \quad (30)$$

Basamak girişin uygulandığı andan t_0 , sistem cevabının maksimum değere ulaştığı ana kadar geçen zaman, tepe zamanı olarak adlandırılır ve aşağıdaki gibi bulunur.

$$t_p = t_{max} - t_0 \quad (31)$$

İkinci mertebeden sistemde maksimum yüzde aşım sadece sönümleme oranına bağlıdır ve aşağıdaki ifade ile bulunur.

$$PO = 100e^{\left(-\frac{\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}\right)} \quad (32)$$

Tepe zamanı ise hem sönüm oranına hem de doğal frekansa bağlıdır ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{1-\xi^2}} \quad (33)$$

Tank 1 için istenen %2'ye yerleşme zamanı ise aşağıdaki ifade ile bulunur.

$$t_s = \frac{4}{\xi \omega_n} \quad (34)$$

3.3.3.1. PI Kontrol Parametrelerinin Hesaplanması

Kontrol Parametrelerinin hesaplanabilmesi için kapalı çevrim transfer fonksiyonunun kutuplarının yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda,

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} = \frac{K_{dc1}(K_{p1}s + K_{i1})}{\tau_1 s^2 + (1 + K_{dc1}K_{p1})s + K_{dc1}K_{i1}} \quad (35)$$

olan kapalı çevrim transfer fonksiyonu isterler cinsinden

$$\xi_1 = \frac{\ln\left(\frac{1}{100}PO_1\right)}{\sqrt{\ln\left(\frac{1}{100}PO_1\right)^2 + \pi^2}} \quad \omega_{n1} = \frac{4}{\xi_1 t_{s1}} \quad (36),(37)$$

şeklinde ifade edilebilir. Neticede, istenen maksimum aşım miktarı limiti ile oturma zamanı içerisinde bir cevap verecek kutbun nerede olduğu bulunmuş olur. Bu bilgiler kullanılarak kontrol parametreleri,

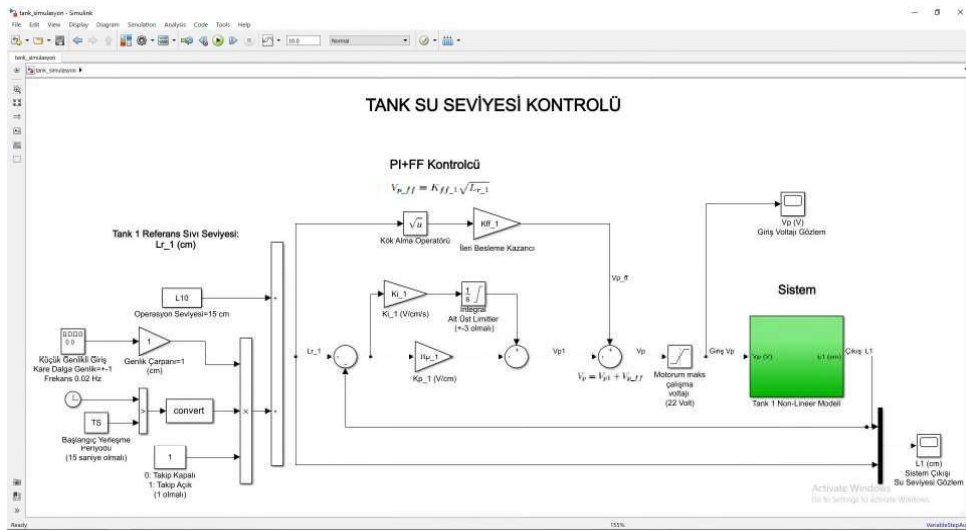
$$K_{p1} = \frac{2\xi_1\omega_{n1}\tau_1 - 1}{K_{dc1}} \quad , \quad K_{i1} = \frac{\omega_{n1}^2\tau_1}{K_{dc1}} \quad (38),(39)$$

şeklinde bulunmaktadır.

3.3.4. Simülasyon

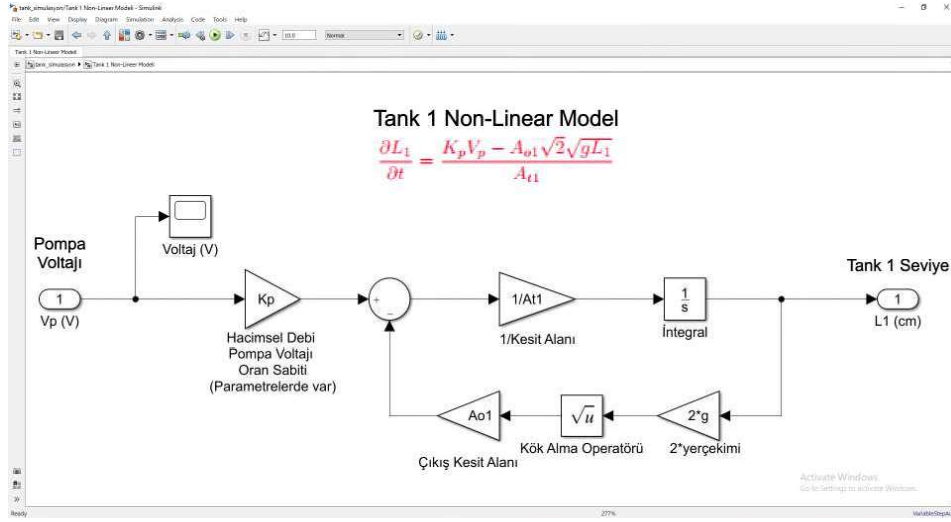
Sönüm oranının sistem cevabının şeklini, doğal frekansın ise hızını belirlediği söylenebilir.

“*tank_simulasyon*” Dosyası Simulink’te açılırsa Şekil 5’te blok diyagramı verilen model açılacaktır (*tank_simulasyon* dosyası laboratuvarı yapan ilgili öğretim elemanı tarafından temin edilmelidir).

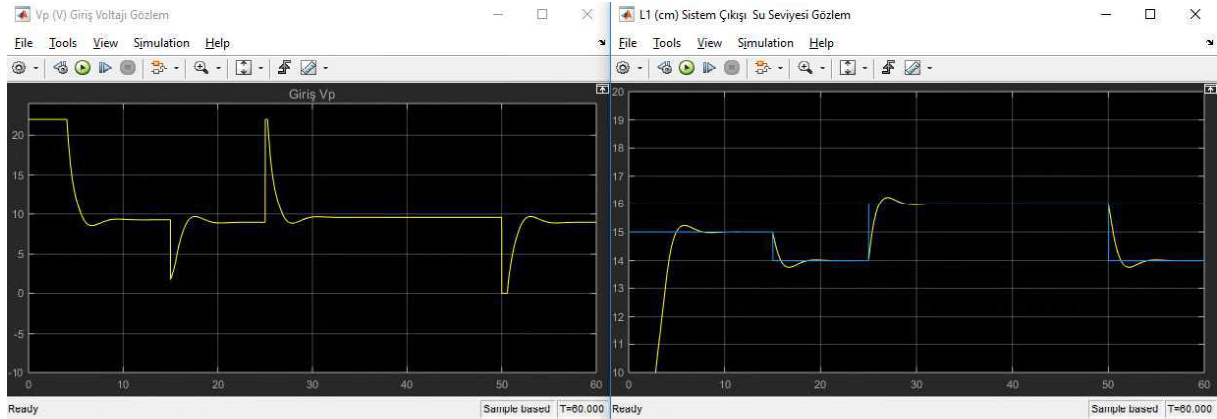


Şekil 5. Tank Su Seviyesi Kontrolü

İçi boyalı sistem bloğuna çift tıklanıp açılırsa daha önce oluşturulan doğrusal olmayan model aşağıdaki gibi görünecektir (Şekil 6). Şekil 7’de ise gerilim ve tank su seviyesi simülasyon cevapları yer almaktadır.



Şekil 6. Tank Sistemine Ait Doğrusal Olmayan Simulink Modeli



A)

B)

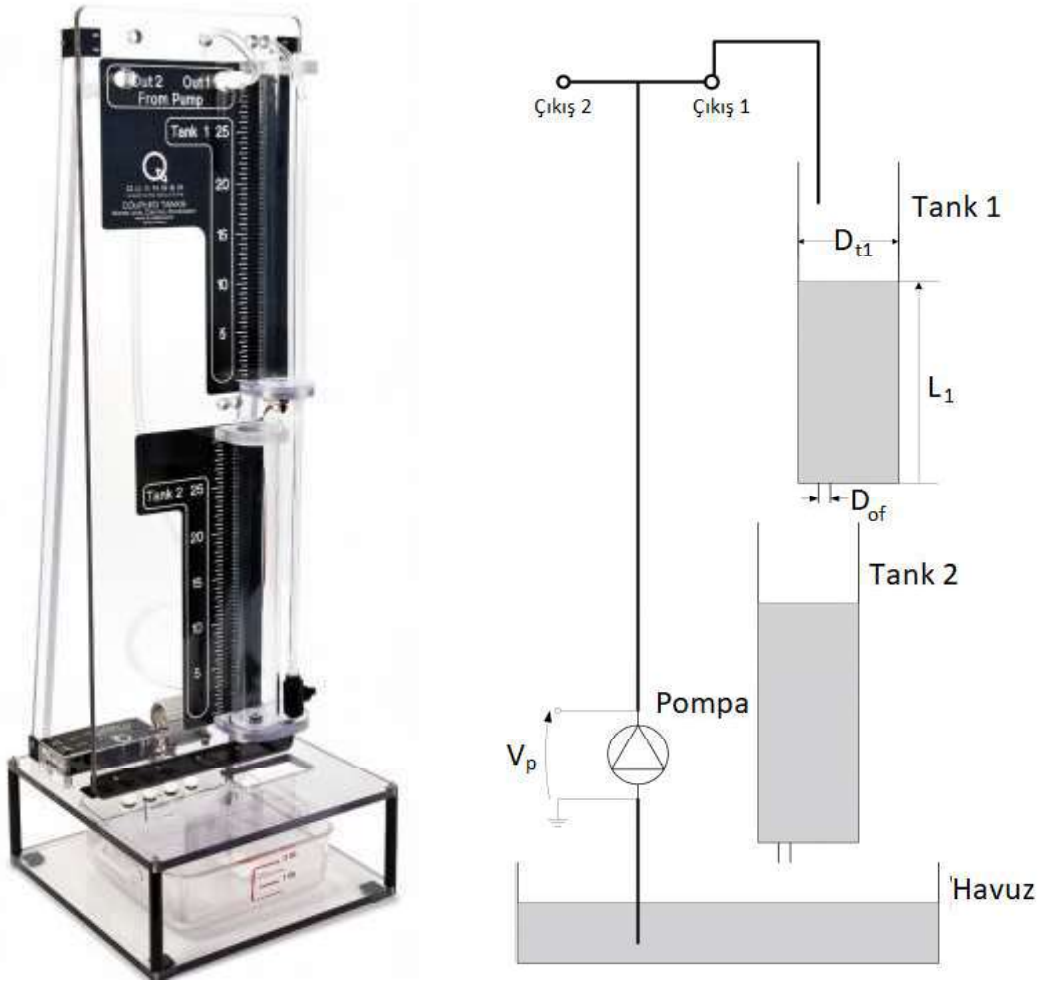
Şekil 7. Simülasyon Cevapları A) Gerilim Cevabı, B) Su Seviyesi

4. ÇİFT TANK SU SEVİYESİ KONTROL DENEY TESİSATI

Çift tank deney seti, iki tank ihtiva eden, su seviyesi kontrolünün gözlemlendiği, bir su girişli, iki tanklı bir sistemdir. Bu iki tank, bir plakaya sabitlenmiş bir şekilde monte edilmiştir. Üstteki tanka pompa vasıtasıyla su verilir, üstteki tankta biriken su, üstteki tankın altından bir orifiz vasıtasıyla aşağıdaki tanka aktarılarak, aşağıdaki tanktan su rezervuarına geri boşalır. Su bir pompa vasıtasıyla iki adet orifize aktarılarak su doldurma işlemini yapmaktadır. Bu çıkışlar “Çıkış 1”, “Çıkış 2” olarak isimlendirilmektedir. Tanklardan su seviyesi kontrolü basınç sensörleri vasıtasıyla alınmaktadır ve geri-besleme için uygun bir şekilde su seviyesi olarak

okunabilir hale hazırlanmaktadır. Çift tank deney setinin endüstriyel uygulamalarına örnek olarak petro-kimyasal endüstri, kağıt yapımı, su arıtma tesisleri verilebilir.

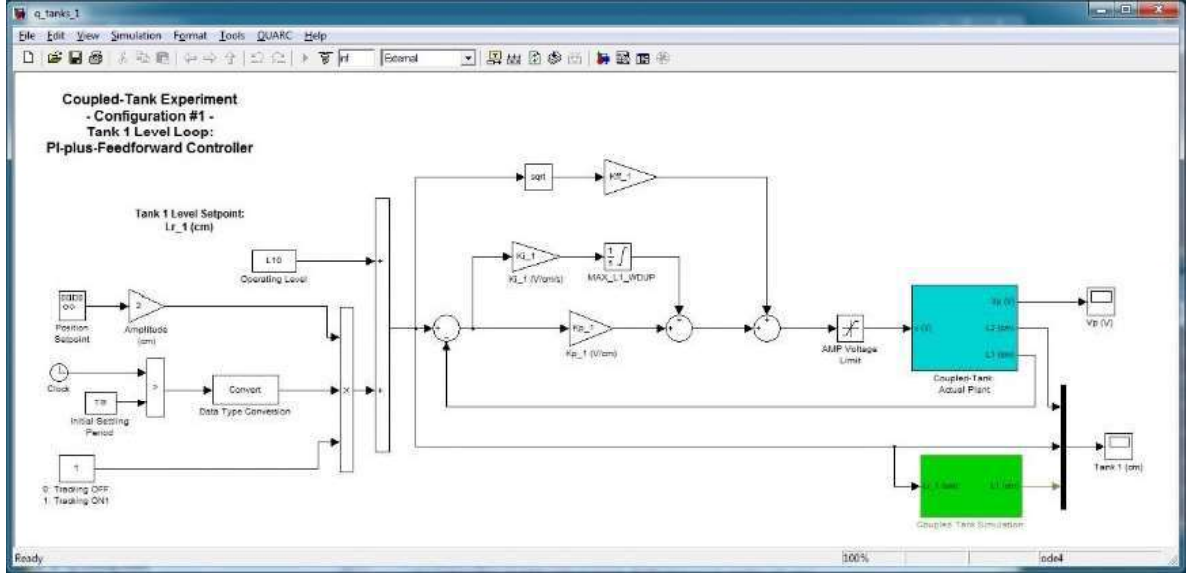
Bu deney, PI ve ileri beslemeli kontrolörlerin tasarımı ile ilgilidir. Bu deney setinde birden fazla konfigürasyon gerçekleştirilebilir. Bu deney, üstten su tedariki, alttan tek kanal ile su tahliyesi üzerinden hareketle kurgulanacaktır. Bu konfigürasyon ile üstteki tankın su seviyesinin korunması sağlanacaktır. Bu konfigürasyon ile ilgili sistem şematığı Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Çift Tank Deney Seti

5. DENEYİN YAPILIŞI:

Şekil 8’de *q_tanks_1* Simulink dosyası görülmektedir. Dışsal ölçüm gürültü probleminin önüne geçmek için 2.5 Hz alçak geçiş frekans filtresi kullanılmıştır. Unutulmamalıdır ki, ölçüm gürültüsü sistemin doğru çalışmasına müsaade etmez. Sistem çalışırken, ayar mekanizmasında istenen referans girişin 27 cm’nin üzerine çıkmamasına dikkat edilmelidir. Aksi halde, tanktaki suda taşma meydana gelecektir.



Şekil 8. Çift Tank Deney Seti 1. Konfigürasyon Deney Modeli

Deneyde izlenecek prosedür:

1. İlgili setup dosyasını çalıştırarak Matlab® programına hesaplanacak K_{p1} , K_{i1} , K_{ff1} parametrelerini tanımlanır. Bu esnada, sisteme ait açık çevrim transfer fonksiyonu da tanımlanmalıdır.
2. Kare dalga oluşturmak için “*Signal Generator*” bloğunu açın ve ilgili ayarlamaları yapılı.

Signal type = *square*

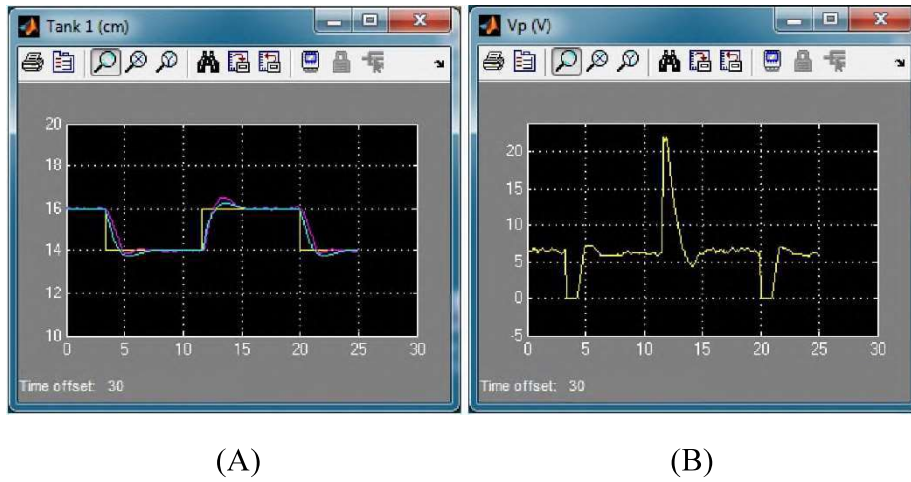
Amplitude = 1

Frequency = 0.06 Hz

Amplitude (cm) 1 olarak ayarlanır. Bu sayede 1 cm’lik deplasman görülecektir (±1 cm).

3. Programı çalıştırılır ve Pompa Gerilimi penceresi, $V_p (V)$ Tank 1 su seviyesi düzey penceresi gözlemlenir. **Tank 1(cm)** (Scope bloğu kullanılabilir).
4. İntegral etki kalıcı durum hatalarını bastıracağı için İntegral bloğu ile oynama yapılmamalıdır. Yanlış ayarlamalar sistemin doğru çalışmamasına sebep olacaktır.
5. Simulink penceresinde “*build*” yapılarak simulasyon, bilgisayar ve ilgili deney donanımları birlikte çalışabilmek için gerekli arka plan işlerini tamamlar. Ardından “*set to connect*” yapılır. Her şey doğru yapıldıysa, bağlantı sağlanmakta ve sistem çalışmaya hazır olarak beklemektedir.

6. Simulink dosyasını çalıştırılır. Çalıştırıldığında, Hardware-In-The-Loop olarak simülasyon gerçekleşir. Bu şekilde donanıma da bağlıdır ve gönderilecek kontrol sinyallerini donanım işleyebilir. Öncelikle “*signal generator*” bloğundan 0 sinyali alınır. Denge konumu $L_{10} = 15$ cm ve Denge gerilimi $V_{p0} = 9.2$ V olduğundan emin olunmalıdır.
7. “*Signal Generator*” içerisinde, “*amplitude*” değeri ayarlanır. Onayladığında Şekil 9’daki gibi bir cevap elde edilmelidir.



Şekil 9. Tank Deney Seti, Deneysel Sonuçlar. A) Su Seviyesi B) Pompa Gerilimi

Sonuç:

Deney sonunda, laboratuvarı yapan öğretim elemanından size sağlayacağı “.mat” uzantılı dosyadan deneyiniz ile ilgili ölçümlere ulaşılabilir. Bu ölçüm verilerini öğrenci değerlendirir.

Tablo 1: Sisteme Ait Parametreler

Symbol	Description	Value	Unit
K_P	Pump Flow Constant	3.3	cm ³ /s/V
V_{Pmax}	Pump Maximum Continuous Voltage	12	V
V_{Ppeak}	Pump Peak Voltage	22	V
D_{Out1}	Out 1 Orifice Diameter	0.635	cm
D_{Out2}	Out 2 Orifice Diameter	0.47625	cm
L_{1max}	Tank 1 Height (i.e. Water Level Range)	30	cm
D_{t1}	Tank 1 Inside Diameter	4.445	cm
K_{L1}	Tank 1 Water Level Sensor Sensitivity (Depending on the Pressure Sensor Calibration).	6.1	cm/V
L_{2max}	Tank 2 Height (i.e. Water Level Range)	30	cm
K_{L2}	Tank 2 Water Level Sensor Sensitivity (Depending on the Pressure Sensor Calibration).	6.1	cm/V
L_{2max}	Tank 2 Height (i.e. Water Level Range)	30	cm
V_{bias}	Tank 1 and Tank 2 Pressure Sensor Power Bias	+/-12	V
P_{range}	Tank 1 and Tank 2 Sensor Pressure Range	0 - 6.89	kPa
D_{So}	Small Outflow Orifice Diameter	0.31750	cm
D_{Mo}	Medium Outflow Orifice Diameter	0.47625	cm
D_{Lo}	Large Outflow Orifice Diameter	0.55563	cm
g	Gravitational Constant on Earth	981	cm/s ²

Adı-Soyadı :
Numara :
İmza :

Deneyi Yürüten Öğretim Elemanı :
Deneyin Yapıldığı Tarih :
Grup-Alt Grup :

NOT

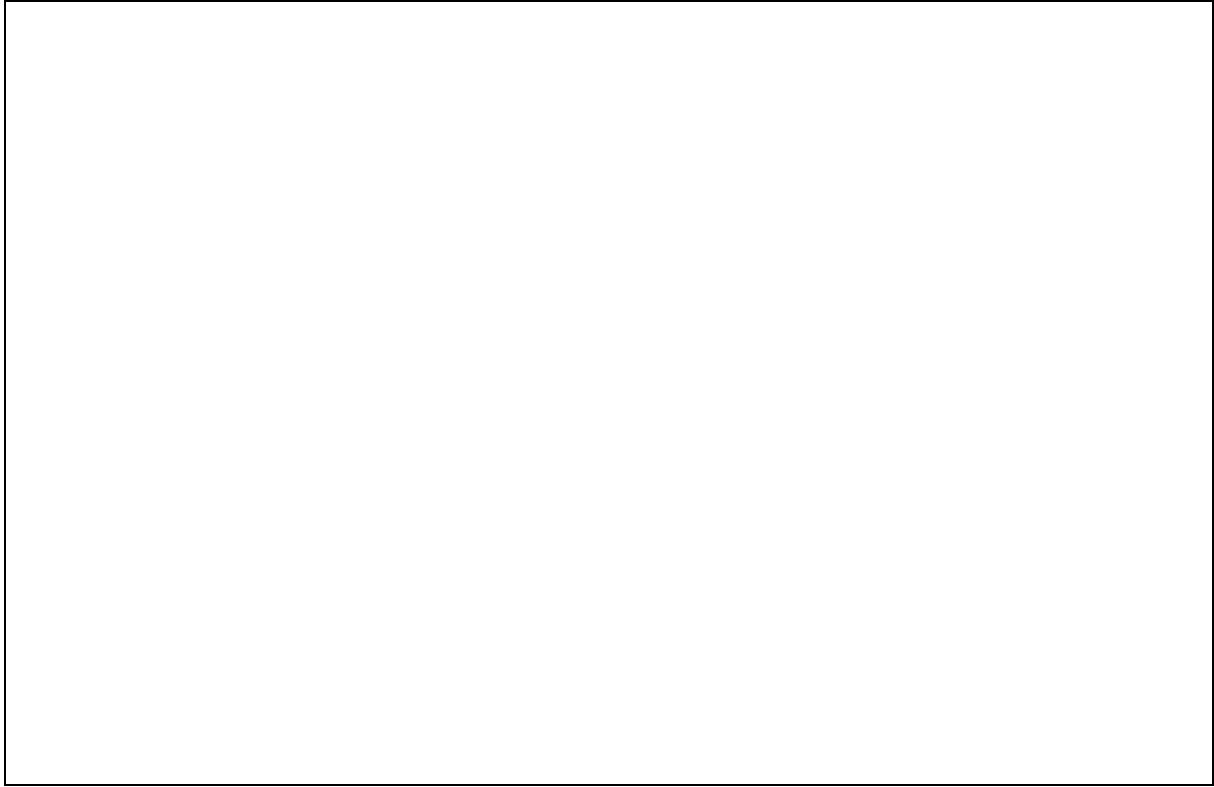
NOT: Kopartılacak bu sayfalar deney raporunu oluşturacaktır. Raporu deneyden sonra en geç 1 hafta içerisinde laboratuvarı yapan öğretim elemanına ulaştırınız.

Tablo 1’de sistem ile ilgili parametreler verilmiştir. Bu parametreleri kullanarak Aşağıdaki parametreleri hesaplayarak Tablo 2’yi doldurunuz.

Tablo 2. Hesaplanan Parametreler

$K_{dc} =$
$\tau_1 =$
$K_{p,1} =$
$K_{i,1} =$
$K_{ff,1} =$

Şekil 10'a deney sonunda elde ettiğiniz grafiği yapıştırınız.



Şekil 10. Deney Sonucu

Tablo 3'e deney ve simülasyon sonucu elde edilen değerleri yazınız.

Tablo 3. Deney ve Simülasyon Sonuçlarına Ait Değerler

Açıklamalar	Sembol	Değer	Birim
Deney Sonucu			
Tank 1 Kontrol Kazançları			
İleri Geri Besleme Kontrol Girişi	$K_{ff,1}$		VA/ cm
Orantı Geri Besleme Parametresi	$K_{p,1}$		V/cm
İntegral Geri Besleme Parametresi	$K_{i,1}$		V/(cm-s)
Tank 1 Kontrol Simülasyonu			
Kalıcı durum hatası	$e_{ss,1}$		cm
Oturma Zamanı	$t_{s,1}$		s
Maksimum Aşım Miktarı	PO_i		%
Tank 1 Kontrol Uygulaması			
Kalıcı durum hatası	$e_{ss,1}$		cm
Oturma Zamanı	$t_{s,1}$		s
Maksimum Aşım Miktarı	PO_i		%

BAHAR DÖNEMİ MAKİNE TEORİSİ, SİSTEM DİNAMİĞİ VE KONTROL 3. DENEYİ

1. **DENEY ADI:** PV ve PIV Kontrolcüler ile Motor Konum Kontrolü Deneyi
2. **DENEYİN AMACI:** Servo motorun dinamik denklemlerini ve transfer fonksiyonunu elde etmek, servo motrunun istenen gereksinimlerdeki konum kontrolünü yapacak PV ve PIV kontrolcüler tasarlamak ve test düzeneğinde alınan ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi.

3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR:

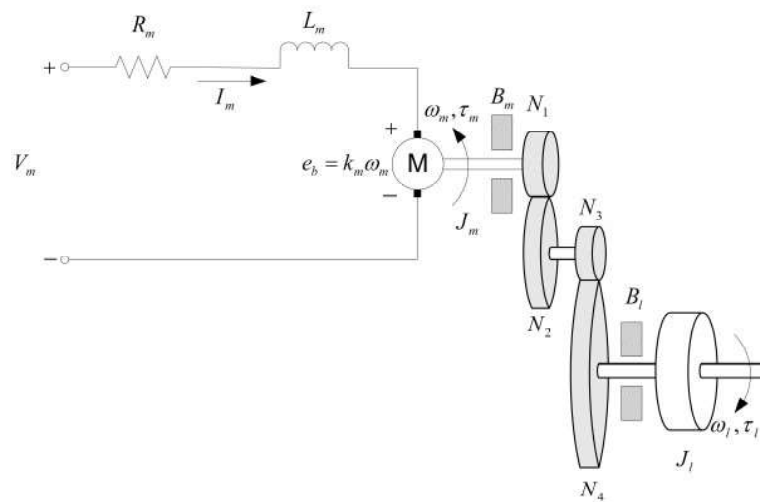
Servo motor yük şaftının giriş motor voltajına göre açısal hızı aşağıdaki birinci derece transfer fonksiyonu ile tanımlanabilir.

$$\frac{\Omega_l(s)}{V_m(s)} = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (1)$$

Burada $\Omega_l(s)$ yük şaftı hızı $\omega_l(t)$ 'nin Laplace dönüşümüdür. $V_m(s)$, motor giriş voltajı $v_m(t)$ 'nin Laplace dönüşümüdür. K kalıcı hal kazancıdır. τ zaman sabiti ve s Laplace operatörüdür.

4. SERVO MOTOR KONUM KONTROL DENEY TESİSATI:

DC motor armatür devresi şeması ve dişli çarkı Şekil 1'de gösterilmiştir. Bilindiği gibi R_m motor direncidir, L_m indüktanstır ve k_m emf sabitidir.



Şekil 1. SRV02 DC motor armatür devresi ve dişli zinciri

emf (elektromotor) voltajı $e_b(t)$, motor milinin hızı ω_m ve motorun emf sabiti k_m 'ye bağlıdır. Bu sabit akım akışına karşı çıkar.

emf voltajı şu şekilde verilir:

$$e_b(t) = k_m \omega_m(t) \quad (2)$$

Kirchoff'un Voltaj Yasasını kullanarak, aşağıdaki denklemi yazabiliriz:

$$V_m(t) - R_m I_m(t) - \frac{L_m dI_m(t)}{dt} - k_m \omega_m(t) = 0 \quad (3)$$

Motor endüktansı L_m , dirençten çok daha az olduğu için, göz ardı edilebilir.

$$V_m(t) - R_m I_m(t) - k_m \omega_m(t) = 0 \quad (4)$$

Motor akımı $I_m(t)$ için çözüm şu şekilde bulunabilir:

$$I_m(t) = \frac{V_m(t) - k_m \omega_m(t)}{R_m} \quad (5)$$

4.1. Mekanik Denklemler

Bu bölümde, ω_l yük şaftının hızını açıklayan hareket denklemi, uygulanan motor torkuna göre τ_m , geliştirilmiştir. SRV02 bir serbestlik dereceli döner sistem olduğundan, Newton'un İkinci Hareket Yasası şöyle yazılabilir:

$$J\alpha = \tau \quad (6)$$

Burada J , cismin eylemsizlik momentidir (kütle merkezinde), α sistemin açısal ivmesidir ve τ , cisme uygulanan torkların toplamıdır. Şekil 1'de gösterilen B_m ve B_l motor şaftı ve yük şaftı üzerinde etkili olan viskoz sürtünmedir. Yük hareket denklemi:

$$\frac{J_m d\omega_1(t)}{dt} + B_1 \omega_1(t) = \tau_1(t) \quad (7)$$

J_l yükün eylemsizlik momentidir ve τ_l yüke uygulanan toplam torktur. Yük ataleti, dişli zincirinden ve ekli herhangi bir harici yükten (örn. disk veya çubuktan) oluşur. Motor şaftı denklemi şöyle ifade edilir:

$$J_m \frac{d\omega_m(t)}{dt} + B_m \omega_m(t) + \tau_{ml}(t) = \tau_m(t) \quad (8)$$

Burada J_m motor mili eylemsizlik momentidir ve τ_{ml} motor torkuna yük torkundan etki eden bileşke torktur. Yük milindeki tork şu şekilde yazılabilir:

$$\tau_1(t) = \eta_g K_g \tau_{ml}(t) \quad (9)$$

burada K_g dişli oranı ve η_g dişli verimidir. Şekil 1'deki N_1, N_2, N_3 ve N_4 dişlileri ile dişli oranı:

$$K_g = \frac{N_4 N_2}{N_3 N_1} \quad (10)$$

Böylece, motor şaftında dişliler boyunca görülen tork şu şekilde ifade edilebilir:

$$\tau_{ml}(t) = \frac{\tau_1(t)}{\eta_g K_g} \quad (11)$$

Dolayısıyla aşağıdaki ilişkiler elde edilebilir:

$$\theta_m(t) = K_g \theta_1(t) \quad (12)$$

$$\omega_m(t) = K_g \omega_1(t) \quad (13)$$

yük şaftının uygulanan bir motor torkuna göre hareketini açıklayan diferansiyel denklem, (8)'den aşağıdaki gibi elde edilir:

$$J_m K_g \frac{d\omega_1(t)}{dt} + B_m K_g \omega_1(t) + \frac{J_1 \frac{d\omega_1(t)}{dt} + B_1 \omega_1(t)}{\eta_g K_g} = \tau_m(t) \quad (14)$$

veya:

$$(\eta_g K_g^2 J_m + J_1) \frac{d\omega_1(t)}{dt} + (\eta_g K_g^2 B_m + B_1) \omega_1(t) = \eta_g K_g \tau_m(t) \quad (15)$$

Bu denklem aşağıdaki gibi sadeleştirilebilir:

$$J_{eq} \frac{d\omega_1(t)}{dt} + B_{eq} \omega_1(t) = \eta_g K_g \tau_m(t) \quad (16)$$

Burada:

$$J_{eq} = \eta_g K_g^2 J_m + J_1 \quad (17)$$

$$B_{eq} = \eta_g K_g^2 B_m + B_1 \quad (18)$$

olarak tanımlanır.

4.2. Elektriksel ve Mekanik Denklemlerin Birleştirilmesi

Bu bölümde, uygulanan motor voltajı açısından yük şaftı hızını temsil eden bir ifade elde etmek için elektrik denklemi ve mekanik eşitlik bir araya getirilmiştir. Motor torku uygulanan voltaj ile orantılıdır:

$$\tau_m(t) = \eta_m k_t I_m(t) \quad (19)$$

Burada k_t akım-tork sabiti (N.m / A), η_m motor verimidir ve I_m armatür akımıdır. Denklem 5 ve Denklem 13, Denklem 19'da yazılarak motor torku elde edilir:

$$\tau_m(t) = \eta_m k_t \left(\frac{V_m(t) - k_m K_g \omega_1(t)}{R_m} \right) \quad (20)$$

Denklem 20, Denklem 16'ya yazılarak hareket denklemi elde edilir:

$$J_{eq} \frac{d\omega_1(t)}{dt} + B_{eq} \omega_1(t) = A_m V_m(t) \quad (21)$$

Burada:

$$B_{eq,v} = \frac{\eta_g K_g^2 \eta_m k_t k_m + B_{eq} R_m}{R_m} \quad (22)$$

$$A_m = \frac{\eta_g K_g \eta_m k_t}{R_m} \quad (23)$$

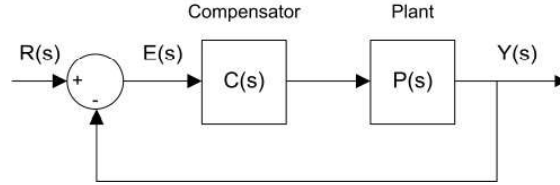
olarak tanımlanır.

4.3. Konum Kontrolü

Kararlı hal hatası, e_{ss} ile gösterilir. Sistem cevabı yerleştikten sonra referans giriş ve çıkış sinyalleri arasındaki farktır. Bu nedenle, sistem kararlı durumdayken bir t zamanı için, kararlı durum hatası:

$$e_{ss} = r_{ss}(t) - y_{ss}(t) \quad (24)$$

$r_{ss}(t)$, girişin kalıcı hal değeridir ve $y_{ss}(t)$, çıktının kalıcı hal değeridir.



Şekil 2. Birim geribesleme sistem

Şekil 2'deki hata transfer fonksiyonunu $E(s)$ referans $R(s)$, sistem $P(s)$ ve kompensatör $C(s)$ cinsinden bulabiliriz. Hatanın Laplace dönüşümü:

$$E(s) = R(s) - Y(s) \quad (25)$$

Şekil 2'den:

$$E(s) = \frac{R(s)}{1+C(s)P(s)} \quad (26)$$

Son değer teoremi $e_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} sE(s)$ kullanarak kalıcı hal hatası bulunur.

$$e_{ss} = R_0 \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\tau s + 1}{\tau s^2 + s + K} \quad (27)$$

SRV02 yük şaftının konumunu kontrol etmek için istenen performans kriterleri:

$$e_{ss} = 0 \quad (28)$$

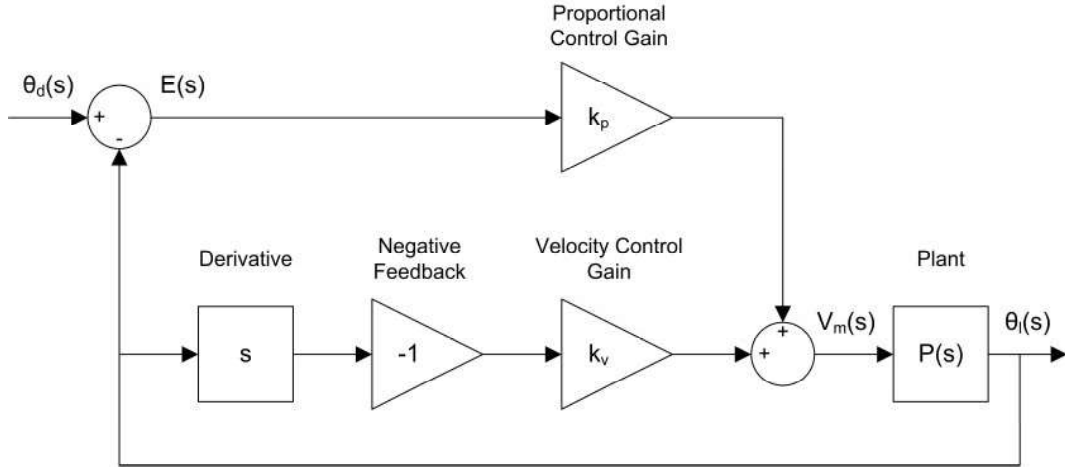
$$t_p = 0.20 \text{ s} \quad (29)$$

$$PO = \% 5.0 \quad (30)$$

4.4. PV Kontrolör Tasarımı

SRV02'nin pozisyonunu kontrol etmek için Şekil 3'te verilen oransal-hız (PV) kontrolcü aşağıdaki yapıya sahiptir:

$$V_m(s) = k_p(\theta_d(s) - \theta_l(s)) - k_v s \theta_l(s) \quad (31)$$

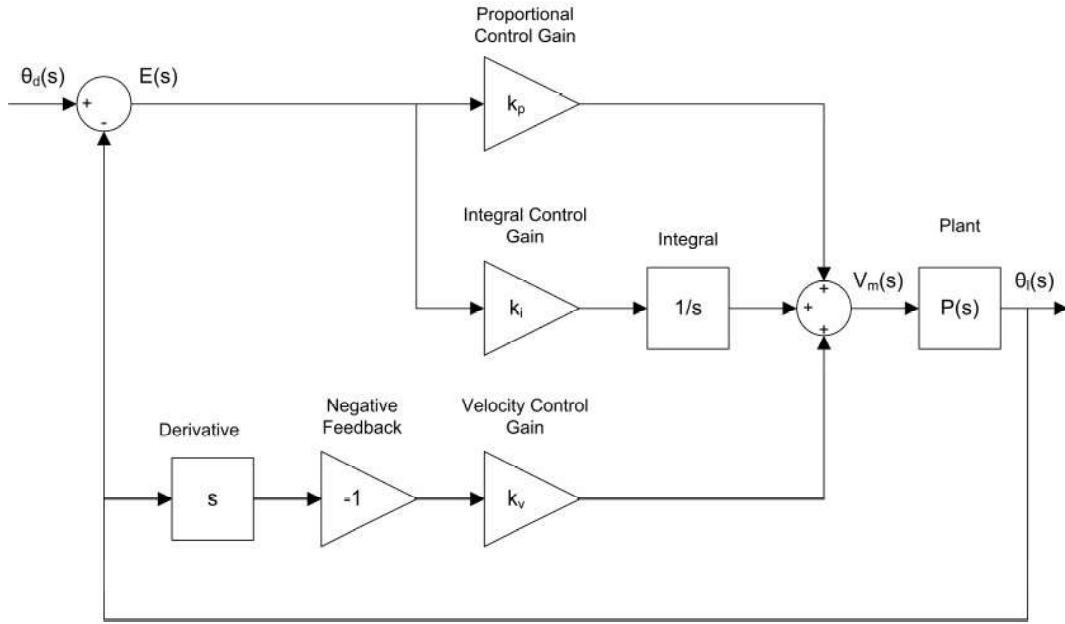


Şekil 3. PV pozisyon kontrolü blok şeması

4.4 PIV Kontrolör Tasarımı

SRV02'nin pozisyonunu kontrol etmek için Şekil 3'te verilen oransal-hız (PV) kontrolör aşağıdaki yapıya sahiptir:

$$V_m(s) = \left(k_p + \frac{k_i}{s} \right) (\theta_d(s) - \theta_l(s)) - k_v s \theta_l(s) \quad (32)$$



Şekil 3. PIV pozisyon kontrolü blok şeması

5. DENEYİN YAPILIŞI:

5.1. PV Kontrol Kullanılarak Basamak Girişin Uygulanması

Bu deneyde, PV kontrolörü kullanılarak SRV02 yük milinin, yani disk yükünün açışal pozisyonunu kontrol edilecektir. Teknik özelliklerin karşılandığından emin olmak için ölçümler alınacaktır.

1. CONTROL_TYPE = 'AUTO_PV' ile setup_srv02_exp02_pos.m komut dosyasını çalıştırınız.
 2. Oransal ve hız kontrol kazançlarını giriniz.
 3. Bir adım referansı oluşturmak için, SRV02 Sinyal Oluşturucunun aşağıdakilere ayarlandığından emin olunuz:
 - Sinyal tipi = kare
 - Genlik = 1
 - Frekans = 0.4 Hz
 4. Genlik (rad) kazanç bloğunu $\pi/8$ olarak ayarlayın ve 45 derecelik genliğe sahip bir adımı oluşturunuz.
 5. SRV02 yük dişlisinin kalıcı hal hatasını, aşma yüzdesini ve tepe zamanını ölçünüz.
- Sonuçları Sorular C bölümüne yazınız.

5.2. PV Kontrol Kullanılarak Rampa Girişin Uygulanması

Bu deneyde amaç, sistemin üçgen (rampa) pozisyon girişini ne kadar iyi takip edebildiğini incelemektir.

1. Bir üçgen referansı oluşturmak için, SRV02 Sinyal Oluşturucunun aşağıdakilere ayarlandığından emin olunuz:
 - Sinyal tipi = üçgen
 - Genlik = 1
 - Frekans = 0.8 Hz
 2. Genlik (rad) kazanç bloğunu $\pi/3$ olarak ayarlayınız.
 3. Kalıcı hal hatasını ölçünüz ve daha önce elde edilen teorik sonuçla karşılaştırınız.
- Sonuçları Sorular C bölümüne yazınız.

5.3. PIV Kontrol Kullanılarak Rampa Girişin Uygulanması

Bir rampa girişini takip ederken kararlı durum hatasının giderilip giderilemeyeceğini görmek için PIV Kontrolcü tasarlayınız. Bu deneyde, PIV kontrol cihazı kullanılarak disk yükünün açısal pozisyonunu kontrol edeceğiz. Amaç, sistemin üçgen (rampa) pozisyon girişini ne kadar iyi takip edebildiğini incelemektir.

5.2'deki ayarlamaları yaparak deneyi PIV kontrolcü için tekrarlayınız.

Sonuçları Sorular C bölümüne yazınız.

Adı-Soyadı : Deneyi Yürüten Öğretim Elemanı :
Numara : Deneyin Yapıldığı Tarih :
İmza : Grup-Alt Grup :

NOT

Sorular A

1. Yük şaft hızının dinamik davranışını motor giriş voltajının bir fonksiyonu olarak tanımlayan bir denklem (21) elde ettik. Bu denklemi kullanarak transfer fonksiyonunu bulunuz.
2. Modelin kalıcı hal kazancını (K) ve zaman sabitini (τ), J_{eq} , $B_{eq,v}$ ve A_m parametreleri cinsinden bulunuz.
3. Teknik Özellikler tablosunda verilen sistem özelliklerini kullanarak $B_{eq,v}$ ve A_m model parametrelerini hesaplayınız.
4. Motor milindeki atalet momentini hesaplayınız. ($J_m = J_{tach} + J_{m,rotor}$)
5. Dişlilere ait toplam atalet momentini J_g bulunuz.
6. Disk yükünün yük şaftına bağlı olduğunu varsayarsak, disk yükü $J_{ext,l}$ ve toplam yük atalet momentini J_l bulunuz. ($J_l = J_g + J_{l,ext}$)
7. Eşdeğer atalet momentini bulunuz.
8. Sistem modeli kazancı K ve zaman sabiti τ değerlerini hesaplayınız.

Sorular B

1. k_p ve k_v kontrol katsayılarını ω_n ve ζ cinsinden bulunuz.
2. Denklem 28-30'daki istenen özellikleri sağlayan sönüm oranı ve doğal frekans değerlerini elde ediniz.
3. Denklem 28-30'daki istenen özellikleri sağlayan k_p and k_v kontrol katsayılarını daha önce bulunan K ve τ değerlerini kullanarak bulunuz.
4. PV kontrollü kapalı devre sistemi için, kalıcı hal hatasını bulunuz ve $R_0 = 3.36 \text{ rad/s}$ eğimli bir rampa ile sayısal olarak değerlendiriniz. Daha önce bulunan kontrol kazançlarını kullanınız.
5. SRV02, maksimum $V_{max}=10V$ gerilimi ile beslendiğinde, 1 saniye içinde yukarıda hesaplanan kararlı durum hatasını ortadan kaldırabilmesi için integral kazancı ne olmalıdır?

Sorular C

1. PV kontrol, rampa tepkisindeki kalıcı hal hatasını ortadan kaldırmak için nasıl modifiye edilebilir?

2. Önerilen kontrolcünüzün bağımsız ve bağımlı değişkenlerini listeleyin. İlişkilerini açıklayınız.

3. Bu kontrol tasarımında yaptığınız varsayımları listeleyiniz. Varsayımlarınızın nedenlerini belirtiniz.

Sonuçlar

Tanım	Sembol	Değer	Birim
PV Kontrol Kullanılarak rampa girişe karşı Kalıcı hal hatası	e_{ss}		rad
Basamak cevap simulasyon sonuçları			
Tepe zamanı	t_p	0.20	s
Aşım oranı	PO	5.0	%
Kalıcı hal hatası	e_{ss}	0.00	rad
Basamak cevap deney sonuçları			
Tepe zamanı	t_p		s
Aşım oranı	PO		%
Kalıcı hal hatası	e_{ss}		rad
PV Kontrol Kullanılarak rampa girişe karşı Kalıcı hal hatası simulasyon sonucu	e_{ss}	-0.213	rad
PV Kontrol Kullanılarak rampa girişe karşı Kalıcı hal hatası deney sonucu	e_{ss}		rad
PIV Kontrol Kullanılarak rampa girişe karşı Kalıcı hal hatası simulasyon sonucu	e_{ss}	-0.0125	rad
PIV Kontrol Kullanılarak rampa girişe karşı Kalıcı hal hatası deney sonucu	e_{ss}		rad

SRV02 TEKNİK ÖZELLİKLER

Aşağıdaki tablolar SRV02 ile ilişkili ana parametreleri listeler ve karakterize eder. Bunlardan bazıları matematiksel modelde kullanılır. Dişliler hakkında daha ayrıntılı bilgi ikinci tabloda verilmektedir.

Sembol	Değer	Değişim
V_{nom}	6.0 V	
R_m	2.6 Ω	$\pm 12\%$
L_m	0.18 mH	
k_t	7.68×10^{-3} N-m/A	$\pm 12\%$
k_m	7.68×10^{-3} V/(rad/s)	$\pm 12\%$
K_g	70	
η_m	0.69	$\pm 5\%$
η_g	0.90	$\pm 10\%$
$J_{m,rotor}$	3.90×10^{-7} kg-m ²	$\pm 10\%$
J_{tach}	7.06×10^{-8} kg-m ²	$\pm 10\%$
J_{eq}	2.087×10^{-3} kg-m ²	
B_{eq}	0.015 N-m/(rad/s)	
m_b	0.038 kg	
L_b	0.1525 m	
m_d	0.04 kg	
r_d	0.05 m	
m_{max}	5 kg	
f	50 Hz	
I_{max}	1 A	
ω_{max}	628.3 rad/s	

Symbol	Description	Value
K_{gi}	Internal gearbox ratio	14
$K_{ge,low}$	Internal gearbox ratio (low-gear)	1
$K_{ge,high}$	Internal gearbox ratio (high-gear)	5
m_{24}	Mass of 24-tooth gear	0.005 kg
m_{72}	Mass of 72-tooth gear	0.030 kg
m_{120}	Mass of 120-tooth gear	0.083 kg
r_{24}	Radius of 24-tooth gear	6.35×10^{-3} m
r_{72}	Radius of 72-tooth gear	0.019 m
r_{120}	Radius of 120-tooth gear	0.032 m

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ LABORATUVAR TELAFİ ONAY FORMU

Öğrencinin Numarası :

Öğrencinin Adı Soyadı :

	<i>TELAFİ EDİLECEK LABORATUVAR (kendi grubu)</i>	<i>TELAFİYE GİRDİĞİ LABORATUVAR</i>
LABORATUVAR ADI		
LABORATUVAR TARİHİ		
LABORATUVAR GRUBU		
BÖLÜM ONAYI* / / 20...	UYGUNDUR. / / 20... Öğretim Elemanının Adı Soyadı / İmza	TELAFİ EDİLMİŞTİR. / / 20.... Öğretim Elemanının Adı Soyadı / İmza

*Telafi edilecek olan laboratuvar onayı kendi grubunun öğretim elemanından alındıktan sonra form Makine Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'nda onaylatılacaktır.