

## DENEY NO: 1 SICAKLIK KONTROL MODÜLÜ

### KURAMSAL TEMELLER

Genel anlamı ile kontrol, canlılarda veya cansız fiziksel sistemlerde, davranışların bir amaca yöneltilmesidir. Tabiiatta, hemen her yerde ve her zaman bir takım tabiat kanunlarına göre meydana gelen kontrol olaylarına rastlamaktayız. Bu tip kontrole *doğal kontrol* adını vermekteyiz. Doğal kontrole örnek olarak insanın vücut ısısının kan basıncı ve terleme yoluyla sabit tutulması ve yine insanın kanındaki şeker derişiminin bir hormon vasıtasıyla sabit tutulması verilebilir. İnsanın bizzat kendisinin veya zihinsel gayreti ile oluşturduğu bir takım cihazların yardımıyla gerçekleştirilen bir diğer kontrol şekli vardır ki, bu kontrole de *yapay kontrol* denmektedir. Halk arasında otomatik kontrol ile otomasyon hemen aynı anlamda kullanıldıklarından otomatik kontrol edicilerin kullanılmasının başlıca sebebi olarak fabrikalardaki insan gücü gereksinimin en aza indirilmesi olduğu kanısı yaygındır. Bu yanlış tanıyı “insanı ağır ve sıkıcı işlerden kurtarmak” olarak düzelttikten sonra gerçek sebeplerin sadece çok az bir kısmını yansıttığını eklemeliyiz. Ana sebepler ürün kalitesini düzeltmek ve insan yeteneği ile kontrolü mümkün olamayan hızlı değişimleri kontrol altına alabilmektir. Bu nedenle otomatik kontrol uygulandığında üretim miktarı artar ve tek tip (belirli özelliklerde) ürün elde edilir.

Günümüzde otomatik kontrol cihazları hemen bütün teknolojik işlemlerde geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Kimya mühendisleri özellikle petrol, kimyasal maddeler, demir-çelik, gıda, güç vb. gibi süreç endüstrilerinde kullanılan sıcaklık, basınç, akış hızı, sıvı seviyesi ve benzer süreç değişkenlerinin kontrolüyle daha fazla ilgilenmektedir.

Bir proses kontrol sistemi üç ana bileşenden oluşur. Bunlar; *ölçüm elemanı, kontrolör ve son kontrol elemanıdır*. Ölçüm elemanı süreçte kontrol edilmek istenen özelliği, örneğin sıcaklık, ölçer ve bu bilgiyi kontrolöre gönderir. Kontrolör ise kullanıcının belirlediği ayar noktasına (set-point) göre ölçülen değeri kıyaslar ve son kontrol elemanı, sıcaklık kontrolünde bu ısıtıcı olabilir, aracılığıyla hatanın sifira yaklaştırılması için gereken işi yapar. Kontrol süreci ölçülen değerle ayar noktası arasındaki fark sıfır olana dek devam eder.

Genel olarak bütün kontrol mekanizmaları sistemin çıkışını (örnekte sıcaklık, T) ölçerek gerektiğinde girişine (örnekte ısıtıcı gücü, q) uygun bir şekilde etki ederler. Böylelikle kontrol edilen ve kontrol eden kapalı bir devre meydana gelir. Sistemin istenilen durumdan sapması hakkındaki bilgiyi kullanan bu çeşit kavrama *geri beslemeli kontrol* adı verilir.

**Orantılı Kontrol (P):** Kontrol mekanizması hatanın büyüklüğü ile orantılı bir şiddete son kontrol elemanına etki ederse bu tip kontrol sistemlerine **orantılı kontrollüdür** denir. Orantılı kontrol sabiti  $K_c$  ile gösterilir.

$$q(t) = q_s + K_c(T_R - T)$$

**İntegral Kontrol (I):** Orantılı kontrolör sabiti  $K_c$ 'nin sonsuz artırılması ile kontrol probleminin tam anlamı ile çözülemeyeceği anlaşılınca bir integral kontrolör ilave edilerek kontrol probleminin çözümü araştırılabilir. Bu yeni kontrol sistemi, orantılı kontrolün ( $T_R-T$ ) hatası oranında ısıtıcıya etki etmesine ek olarak bir integral kontrolünde aynı hatanın integrali oranında ısıtıcıya etki etmesiyle daha etken bir şekilde çalışır.

$$q(t) = q_s + K_c(T_R - T) + K_R \int_0^t (T_R - T) dt$$

**Türevsel Kontrol (D):** Proses hatasının değişim hızı, hatanın zamana göre eğiminin hesaplanması ve bu değişim hızının türevsel kazanç çarpımıyla hesaplanır.

$$q(t) = q_s + K_c(T_R - T) + K_d \frac{d(T_R - T)}{dt}$$

Türevsel terimi kontrolör çıkışının değişim hızını yavaşlatır. Türevsel kontrol integral bileşenin neden olduğu overshoot şiddetini azaltır ve birleşik kontrolör proses kararlılığını artırır. Ancak sinyalin türevinin alınması sinyaldeki gürültüyü artırır ve böylece kontrolördeki bu terim hatadaki gürültüye karşı aşırı hassaslaşır. Gürültü ve türevsel kazanç büyükse prosesin kararsızlığına neden olur.

Seçilecek olan kontrol tipi (P, PI, PID) ve bunların parametreleri  $K_c$ ,  $K_R$  ve  $K_d$  kontrol edilecek prosesin modeliyle doğrudan ilişkilidir. İstenilen kontrolü yapabilmek için gerekli kontrol parametrelerinin belirlenmesine **ayarlama** denir. Kontrolör parametrelerinin seçimi temelde, kontrol sistemi tasarımcısının bazı optimizasyon kriterlerini yerine getirmesi gereken bir optimizasyon problemidir. İyi bir kontrol için temel ölçüt ayar noktasındaki bir basamak değişimine verdiği cevabın en az overshoot ve  $\frac{1}{4}$  sönüm oranı vermesidir. Bir başka ölçüt de en az yükselme zamanı ve en az durgunlaşma zamanıdır.  $K_c$ ,  $K_R$ , ve  $K_d$  parametrelerinin deneysel olarak hesaplanmasında kullanılacak en önemli yöntemlerden birisi de Ziegler–Nichols (Z-N) kuralıdır. Ziegler ve Nichols tarafından geliştirilen bu yöntemle kapalı döngüdeki bir sistemin  $K_c$ ,  $K_R$ , ve  $K_d$  parametreleri ayarlanabilmektedir. Z-N, sıra dışı kazancın ( $K_{cu}$ ) ve sıra dışı periyodun ( $P_u$ ) prosesin modeli temel alınarak frekans-cevap

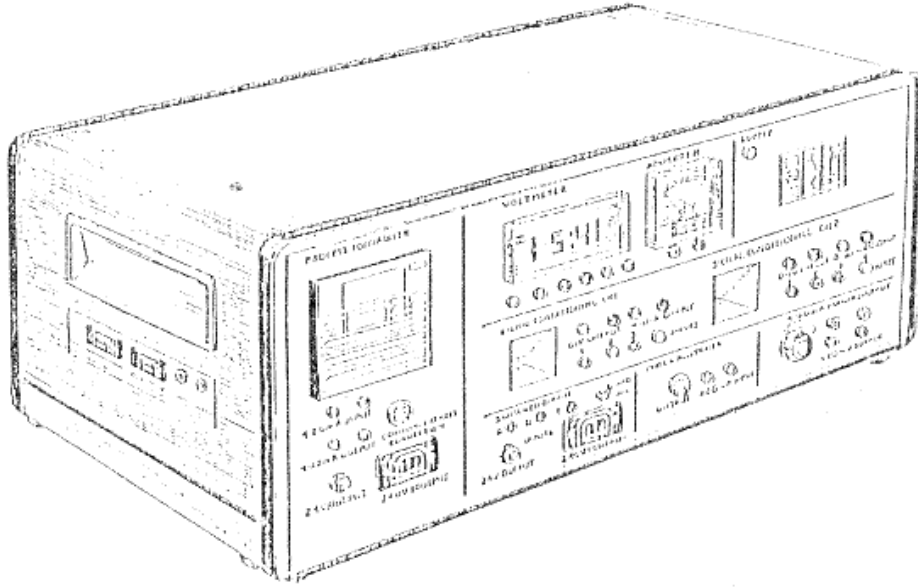
hesaplamalarıyla hesaplanabileceğini önermemişlerdir. Onlar  $K_{cu}$  ve  $P_u$ 'nun gerçek prosesin kapalı döngüde denenmesinden bunların elde edilebileceğini önermişlerdir. Buna göre;

- 1) Öncelikle kontrolördeki  $K_R$ , ve  $K_d$  parametreleri etkisizleştirilir.
- 2) Bir oransal kazanç ( $K_c$ ) seçilir. Sisteme bozan etki verilir ve zaman cevabı alınır. Bozan etki olarak küçük bir basamak değişimi verilir ve bunun cevabı izlenir. Eğer cevap ayar noktasına ulaşmadan sönümlenirse daha yüksek bir  $K_c$  değeri seçilir ve yeniden sistem cevabı gözlenir. Kazançtaki artışa cevabın ilk defa bir salınım verdiği noktaya kadar küçük basamaklar halinde devam edilir. Salınımın başladığı noktadaki kazanç değeri ve salınım periyodu sıra dışı kazanç ( $K_{cu}$ ) ve sıra dışı periyot ( $P_u$ ) değerlerine karşılık gelmektedir.
- 3) Bulunan  $K_{cu}$  ve  $P_u$  degerleri kullanılarak Çizelge 1'de verilen Z-N kurallarına göre  $K_c$ ,  $K_R$ , ve  $K_d$  parametreleri hesaplanır.

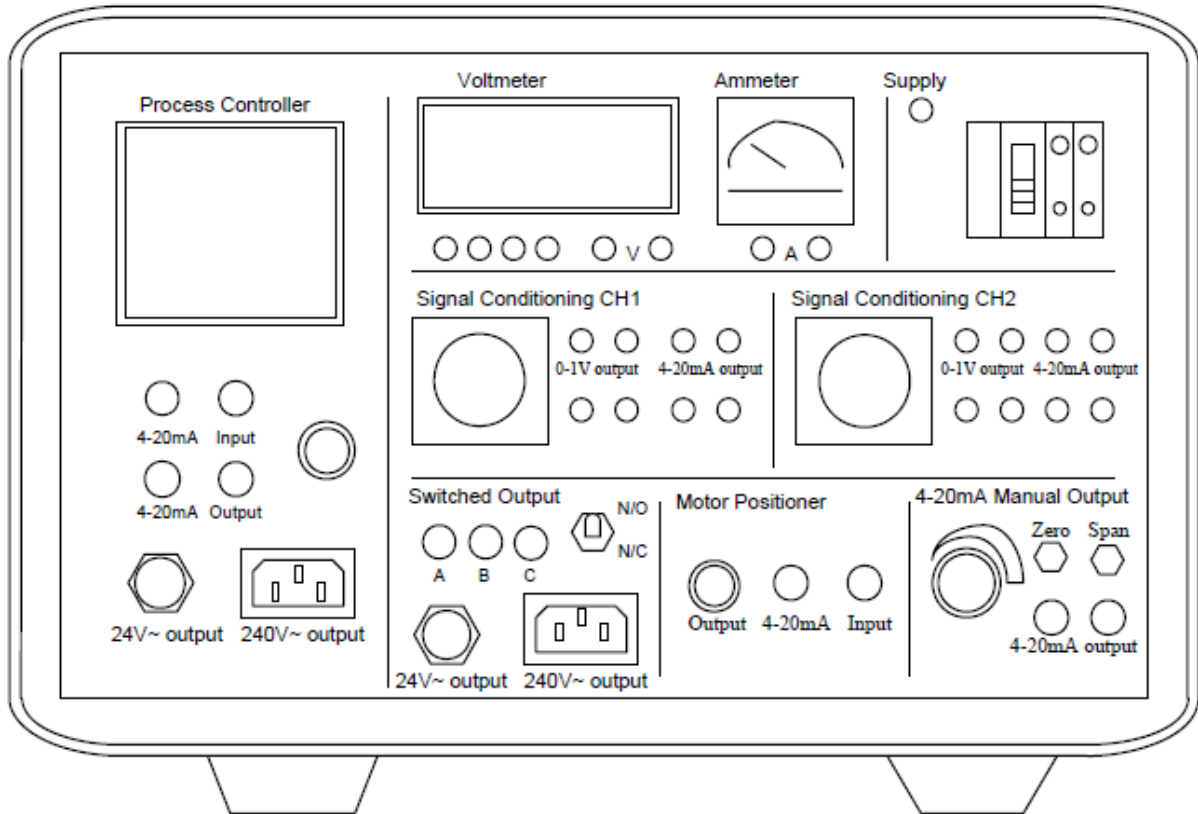
Çizelge 1.Ziegler-Nichols kontrolör düzenlemeleri

Kontrolör tipi	$K_c$	$K_R$	$K_d$
Oransal (P)	$0.5 K_{cu}$	-	-
Oransal-integral (PI)	$0.45 K_{cu}$	$P_{cu}/1.2$	-
Oransal-integral-türevsel (PID)	$0.6 K_{cu}$	$P_{cu}/2$	$P_{cu}/8$

**DENEY DÜZENEĞİ:**



Şekil 1. Elektrik konsolu

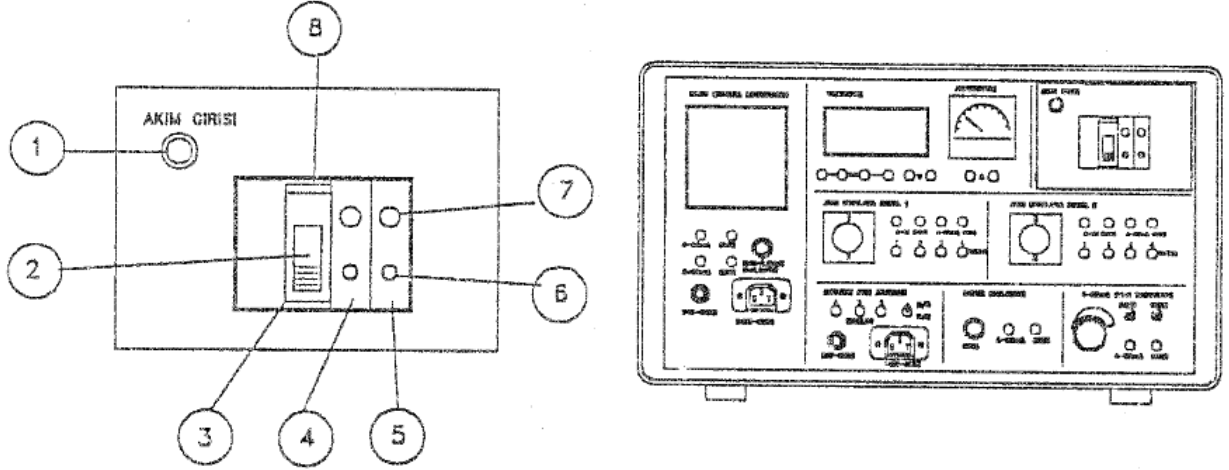


Şekil 2. PCT10 Elektrik konsolu ön panel görünüşü

## PCT10 Elektrik Konsolu

## Mekanizmanın Çalıştırılması

- Topraklama sistemindeki bağlantıları ve çalışmasını kontrol ediniz.



Şekil 3. Topraklama sistemindeki bağlantı kontrolü

Elektrik akımının ana kablosunu Elektrik konsoluna bağlayınız. Topraklama sistemi (2) için ön panelin üzerindeki siyah manivelayı (3) kilitlenene kadar kaldırın.

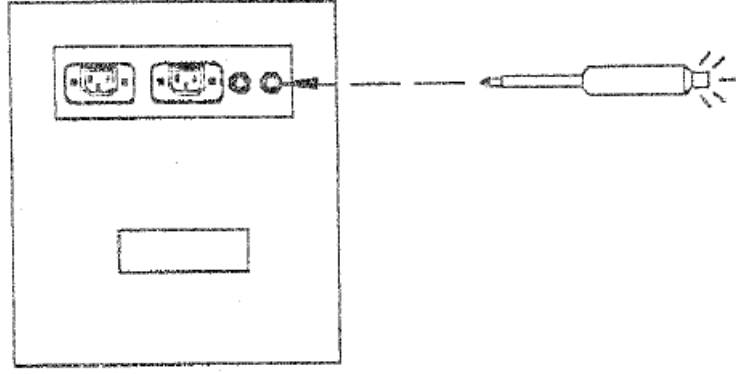
Bu sistemi devreden çıkarmak için ise siyah manivelanın üzerindeki küçük dikdörtgen düğmeye (8) basınız. Böylece siyah manivelanın kilidi açılmış olacaktır ve sistemin konsol ile bağlantısı kesilecektir. Bağlantıyı tekrar kurmak için siyah manivela kilitlenene kadar itilmelidir.

İki devre kesici de konsol ve aksesuarları içindeki elektrik devrelerini korumak için sisteme eklenmiştir. 240 VAC kaynakları sol devre kesici (4) ile 24 VAC kaynakları sağ devre kesici (5) ile korunmaktadır. Her devre kesici için büyük düğmeye (7) basmak yeterlidir ve kesicinin de kilitlendiğinden emin olunmalıdır.

Eğer istenirse devre kesicilerin kilidi alttaki küçük düğmeye (6) basılarak açılabilir.

Sistem üzerindeki kırmızı lamba (1), topraklama sistemi ve 240 VAC kesicileri devreye girdiği zaman yanacaktır.

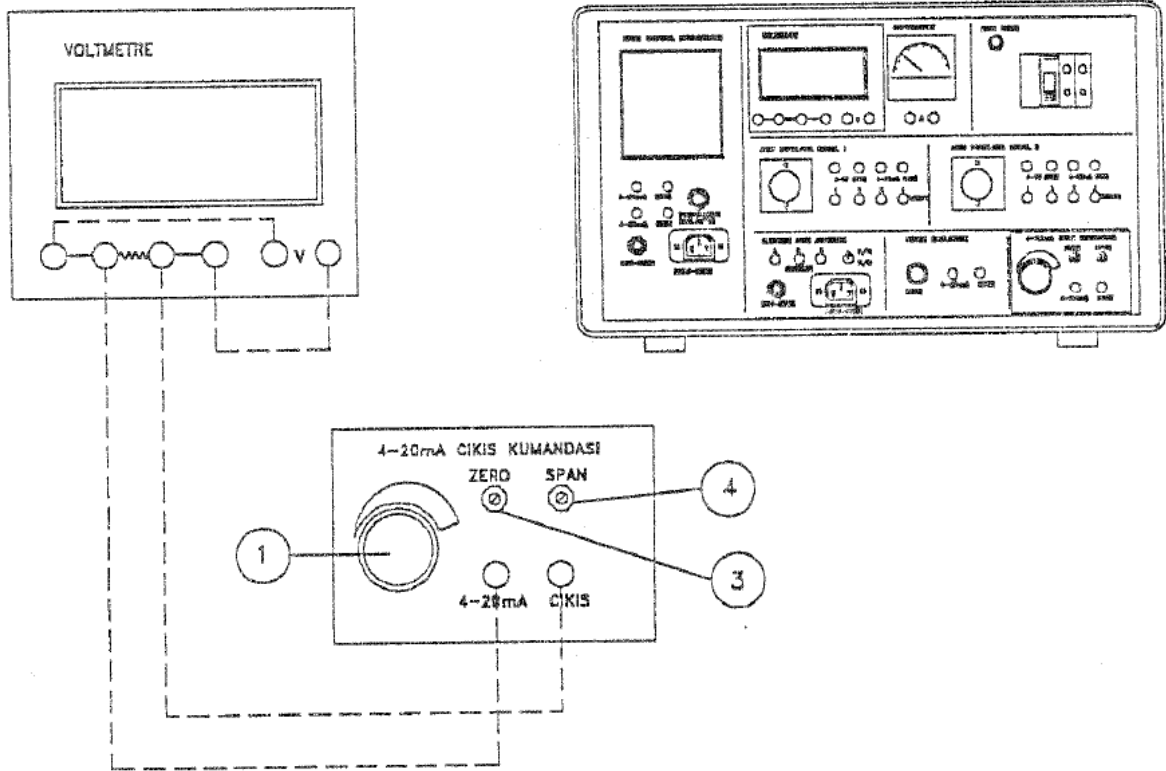
- 24 VAC lambasını ve 24 VAC kaynağını kontrol ediniz.



Şekil 4. 24 VAC lambası ve ışığının kontrol edilmesi

24 VAC lambasını, konsolun arkasındaki fişine takınız. Eğer lamba yanmıyorsa sol devre kesiciyi ve konsol arkasındaki 24 VAC fişini kontrol ediniz.

- 4 mA akımını voltmetre yardımı ile kalibre ediniz.



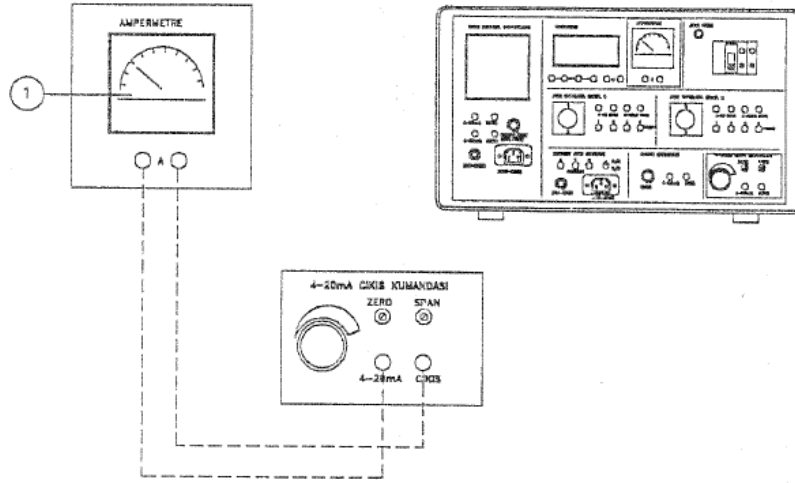
Şekil 5. 4mA akımının voltmetre yardımı ile kalibre edilmesi

Kontrol düğmesini (1) saat yönünün tersine tam olarak çeviriniz. 4 mA ve 50 ohm'luk dirence karşılık voltmetrede 0,200 volt okunmalıdır. Zero potansiyometreyi (3) küçük plastik aleti kullanarak voltmetrede 0,200 volt okunana kadar ayarlayınız. Kontrol düğmesini (1) saat

yönünde tam olarak çeviriniz. 20 mA ve 50 ohm'luk dirence karşılık voltmetrede 1,000 volt okunana kadar ayarlayınız.

Kontrol düğmesi ile yukarıdaki işlemleri, voltmetrede maksimum ve minimumda 0,200 ve 1,000 voltlar okunan kadar tekrarlayınız. Bu durumda 4-20 mA akımı kalibre olmuştur.

- Ampermetrenin (akımölçer) çalışmasını kontrol ediniz.

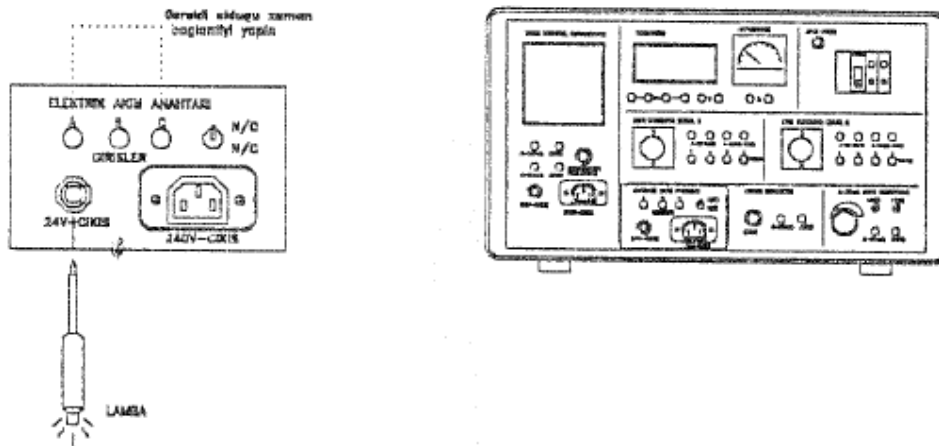


Şekil 6. Ampermetrenin kontrol edilmesi

Ampermetreyi yukarıda görüldüğü gibi 4 mA akımına bağlayınız. Kontrol düğmesi minimumda iken ampermetrede 4 mA, maksimumda iken 20 mA okunduğunu kontrol ediniz.

Not: Ampermetre kesin değerler veren bir alet değildir ve sistemdeki akımın belirlenmesine yarar ölçülmesine yaramaz.

- Elektrik akım anahtarının çalışmasını kontrol ediniz.



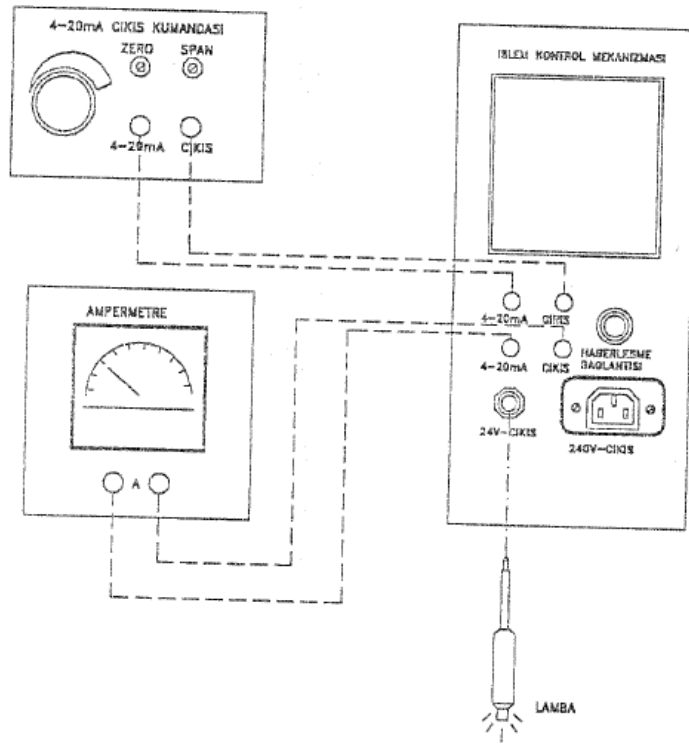
Şekil 7. Elektrik akım anahtarının çalışmasının kontrol edilmesi

Lambayı 24 VAC çıkış soketine (2) yerleştiriniz. Lamba değiştirme düğmesi (4) N/O durumunda iken yanmayacak, N/C durumunda iken yanacaktır. Düğmeyi N/O durumuna getiriniz. Sarı bağlama telini kullanarak A ve B (1) birbirine bağlayınız. 24 VAC lambası A ve B birbirine bağlı iken yanacaktır.

- İşlem kontrol mekanizmasının çalışmasını kontrol ediniz.

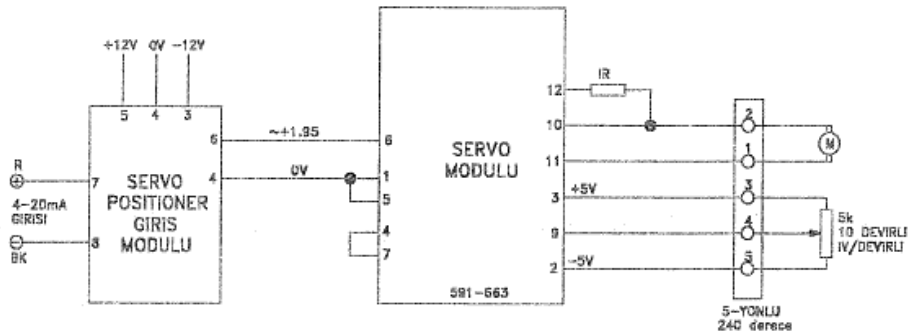
Elektrik akımı bağlandığı zaman işlem kontrol mekanizması otomatik olarak kendi test sistemi çalışmaya başlayacaktır. Bu sistem olabilecek hatada haber verecektir.

Yukarıdaki işlemler de yapılmışsa sistem hazır durumdadır. Bağlantılar aşağıdaki gibi yapılmalıdır.



Şekil 8. Sistem bağlantıları

- Sinyal uyarılma ve motor durumunu kontrol ediniz.

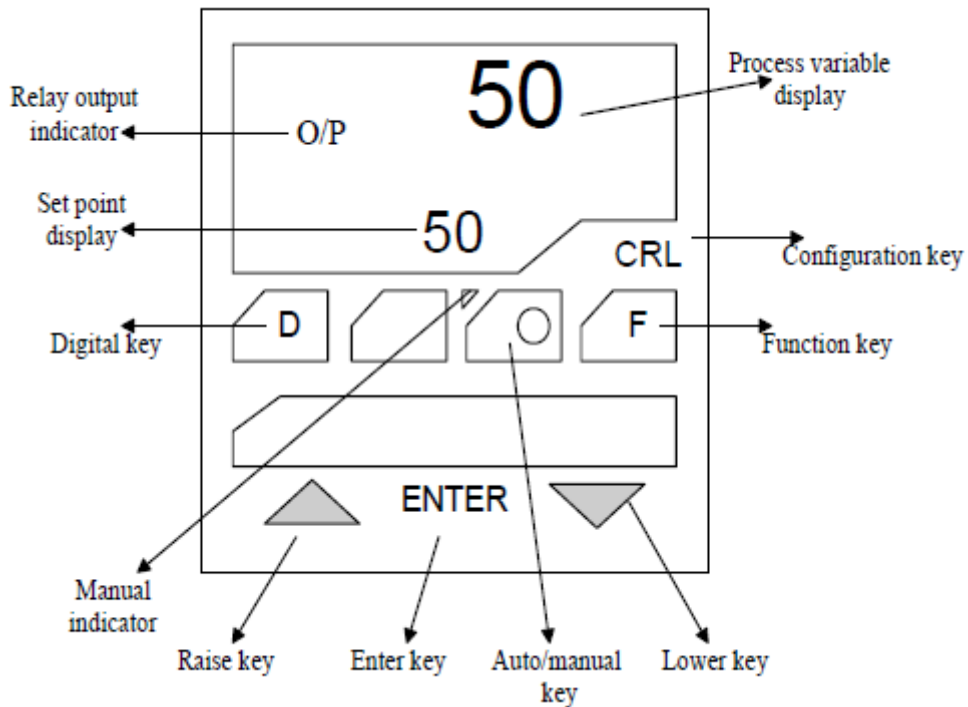
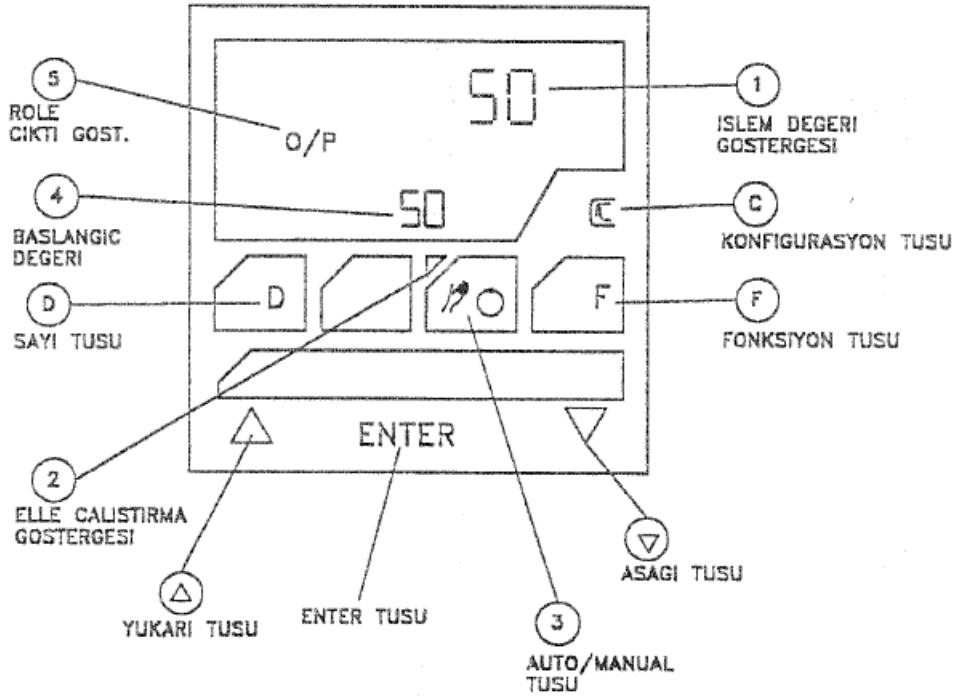


Şekil 9. Motor devre diyagramı



## Kontrol mekanizmasının çalıştırılması

Yapılacak her çalışma için kontrol mekanizmasının öncelikle konfigürasyonunun yapılması gerekir. Aşağıdaki şekil mekanizmanın ön panelini göstermektedir.



Şekil 10. Kontrol mekanizması ön panel görünüşü

Çizelge 1. Kontrol mekanizması ayar tablosu

Kontrol mekanizması değerleri	Kodlar	Değerler	Birimler
Çalışma nok.	-----	0-100	%
Güç kayn. Çıkışı	‘Pr’ ‘ ’	0-100	%
Orantılı bant	‘ProP’	0,1-500	%
İntegral süresi	‘Int’	0,1-200	Dakika
Türev süresi	‘dEr’	6-4000	Saniye
Dönüş süresi	‘CY-t’	1-255	Saniye
Kullanılmadı	‘CL-G’	-----	-----
Kullanılmadı	‘HC-O’	-----	-----
Kullanılmadı	‘UP-t’	-----	-----
Histerezis (ölüband)	‘HYSt’	1-255	%
Güç limiti	‘Pr-L’	1-100	%
Başlangıç limiti	‘SP-L’	0-100	%
Çizgisel düzen (4-20 mA=0-100%)	‘CS-1’	- 0 5 8	-----
Geri kontrol hareketi	‘CS-2’	- r L F	-----
İleri kontrol hareketi	‘CS-2’	- d L F	-----
Kullanılmadı	‘CS-3’	A H A H	-----
Durum	‘CS-4’	A c U O	-----
Adres	‘CS-5’	- - 0 0	-----
Baud oranı	‘CS-6’	- - - 3	-----
Mode	‘CS-7’	- - - 0	-----
Span	‘SPAn’	100	%
Zero	‘ZEro’	0	%

### Normal çalıştırma düzeni

‘F’ düğmesine basın, mekanizmanın ön panelinde başlangıç olarak 0 ile 100% arasında bir değer okunacaktır. ‘Başlangıç ayarı’, ‘Pr’ ile gösterilmektedir. ‘F’ düğmesine tekrar basın eğer sol tarafta ‘Pr’ okunuyorsa 15 saniye sonra normal gösterimine dönecektir.

Elektrik düzenleyicisi göstergesi (5) ışığı sistem çalışırken yanmaktadır. Bu 24 VAC, 240 VAC duylarında akım olduğunu gösterir.

Başlangıç değerini değiştirmek için: ‘D’ düğmesine rakamlar aydınlanana kadar basın daha sonra aşağı veya yukarı düğmelerini kullanarak ayarlayın ve doğru değere gelindiğinde enter düğmesine basarak geri girin. Bu işlemi her rakam için tekrarlayın.

## **Konfigürasyon**

Konfigürasyon moduna geçmek için 'C' düğmesine basın. 'F' düğmesine basarak 'Pr' sinyalinin ön panelde görünmesini sağlayın. Başlangıç için çalışma değerleri yukarıdaki tabloda verilmiştir. Eğer 15 saniye sonra normal değerler görünüyorsa 'CS', 'SPAn' ve 'ZEro' değerlerini ayarlamanıza gerek kalmayacaktır ve 'F' düğmesine bastığınızda bu değerler görünecektir.

## **Kalibrasyon**

Konfigürasyon bölümündeki 'SPAn' ve 'ZEro' değerlerini yukarıda anlatıldığı gibi ayarlamanız uygun kalibrasyonun yapılmasını sağlayacaktır. Daha sonra 20 mA akımını bağlayarak 'F' düğmesine basın. Başlangıç değeri olarak ön panelde 'ZEro' değeri görünecektir, 4 mA akımını bağlayarak; paneldeki değeri, aşağı yukarı ve 'D' düğmelerini kullanarak 0,000'a ayarlayın ve 'ENTER' tuşuna basın. Kalibrasyon yerleşene kadar bekleyin.

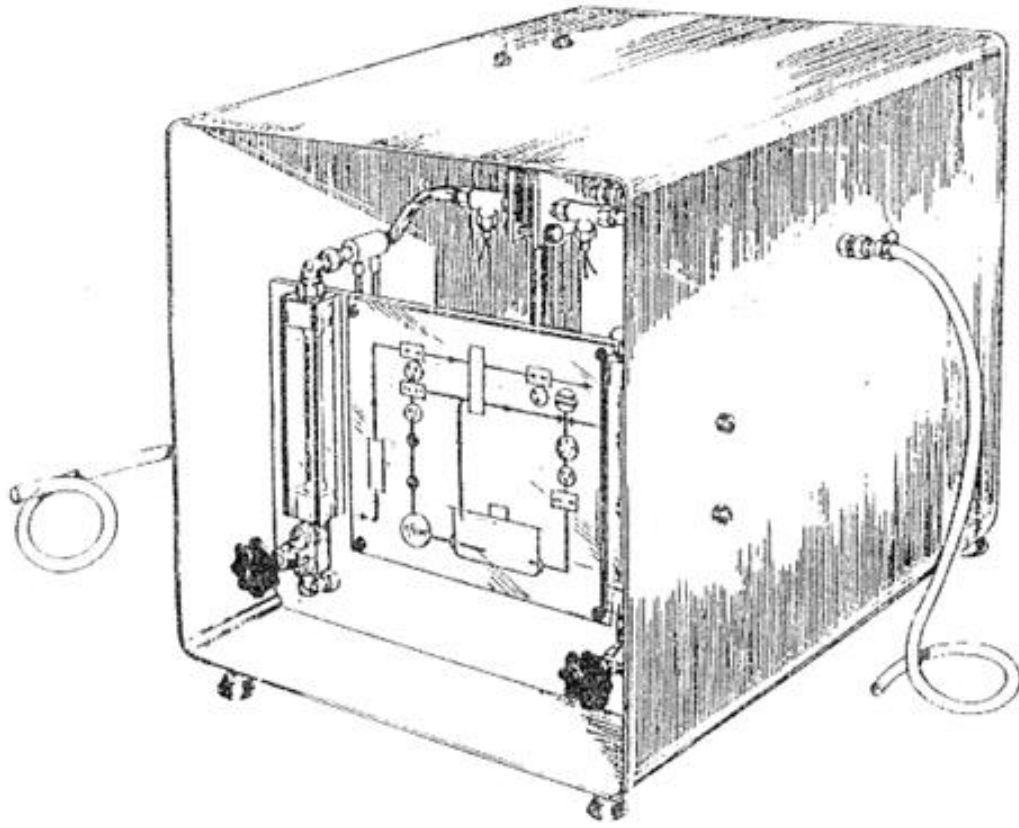
## **Otomatik çalışma**

'F' düğmesine basın ve 'Pr' sinyali görünürken otomatik çalıştırma düğmesine (3) basın. Bu durumda normal kullanım lambası sönecektir.

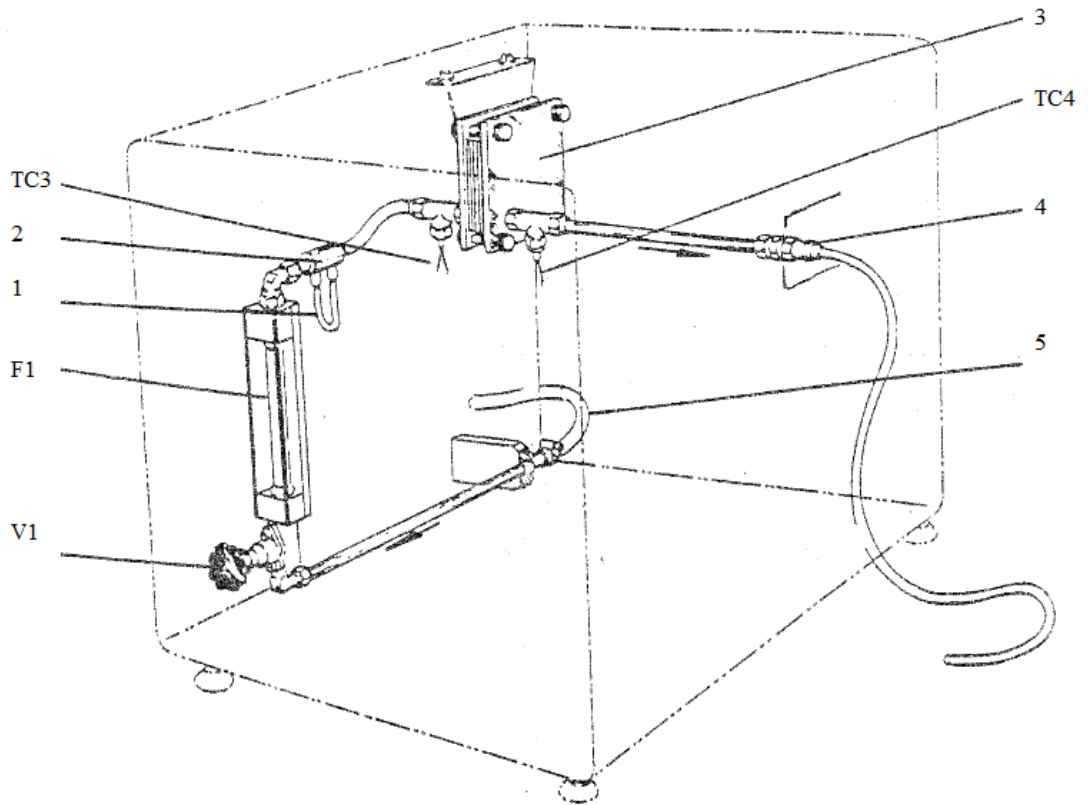
## **Auto-Tune**

Konfigürasyon moduna geçin 'ProP' görünecektir, bu değeri 0,000'a ayarlayın ve AUTO/MAN düğmesine (3) basın. Bu çalışma moduna geçildiğini gösteren kullanma lambası (2) yanacaktır. 15 saniye sonra normal değerler görünecek ve lambada yanmaya devam edecektir. Lamba söndüğü zaman auto-tune tamamlanmış olacaktır.

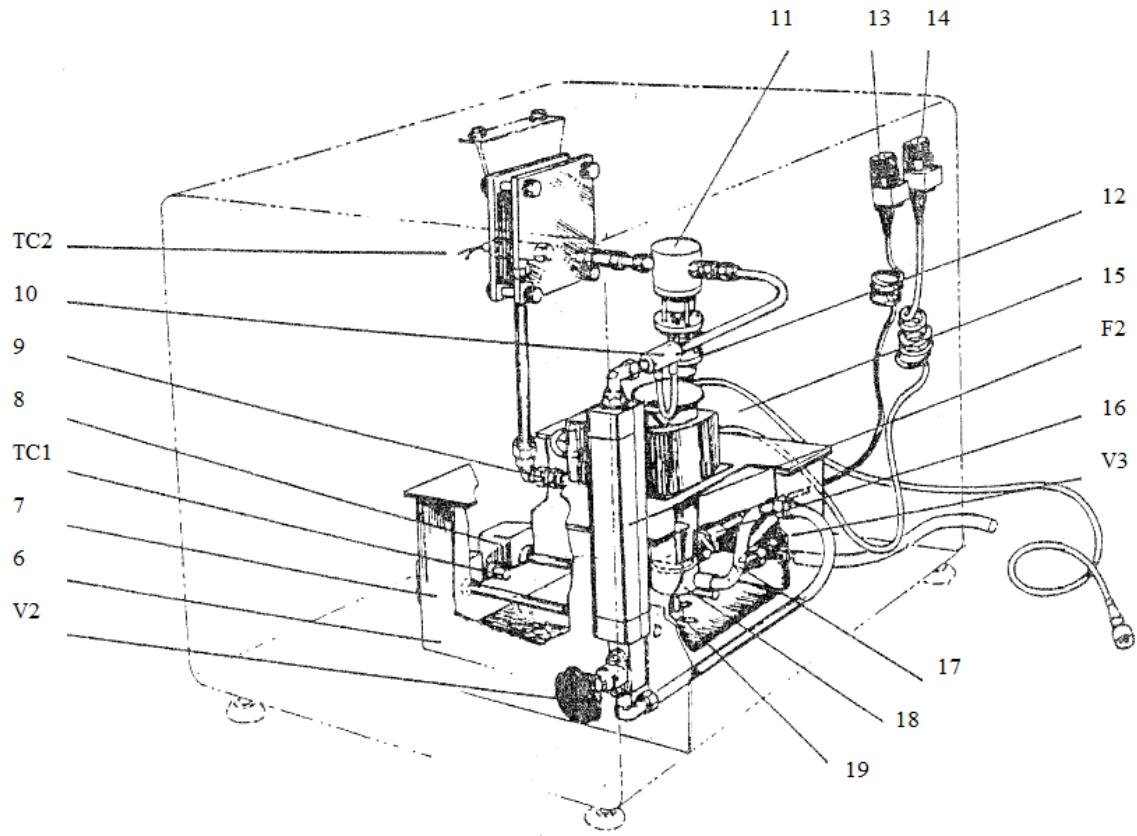
## PCT13 Sıcaklık Kontrol Cihazı



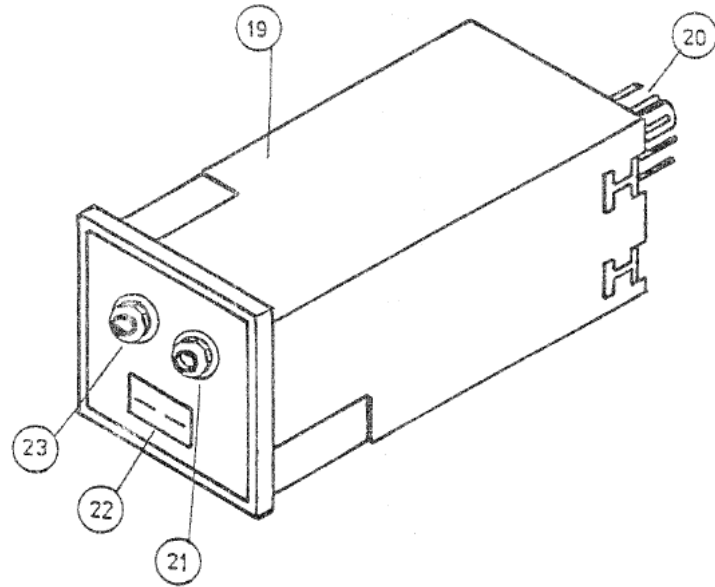
Şekil 11. Sıcaklık kontrol birimi



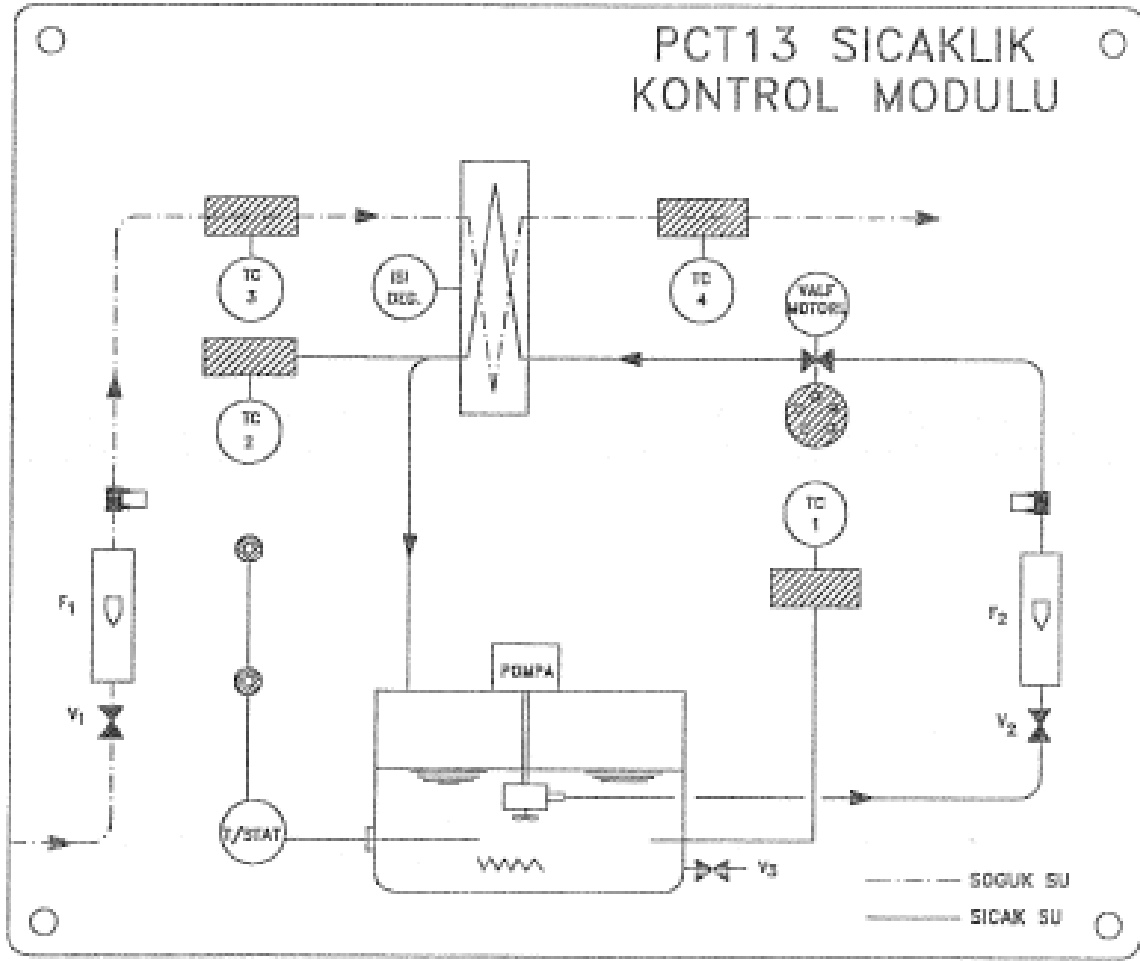
Şekil 12. Süreç akışkan (soğuk akışkan) bileşenleri



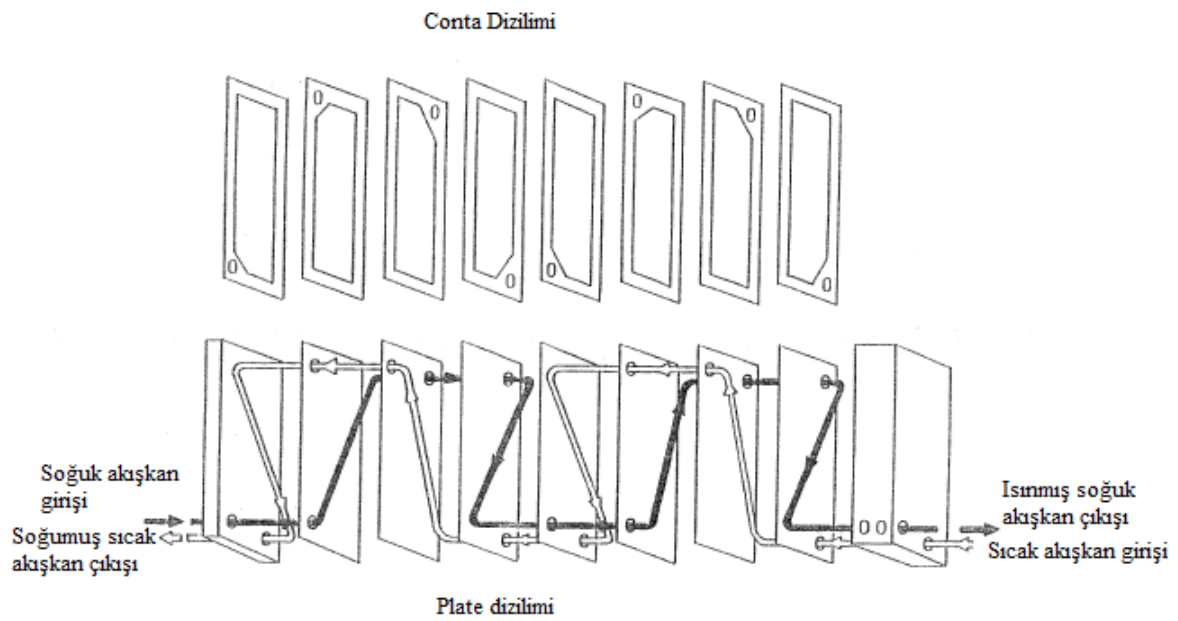
Şekil 13. Isıtıcı akışkan bileşenleri



Şekil 14. Isılçift işleme modülü



Şekil 15. PCT13 Sıcaklık kontrol modülü



Şekil 16. Isı değıştirici

## Cihazın Çalıştırılması

PCT13 Sıcaklık Kontrol Cihazını çalıştırılması için bir PCT10 Elektrik Konsolunun bulunması gereklidir.

- Sıcak sıvı rezervuarını su ile doldurun. Boşaltma vanasını (V3) kapatın. Rezervuarın üstündeki doldurma ünitesinden (15) kapağı çıkarın. Rezervuarı 4,0 litre temiz su ile doldurun.
- Motorlu vanayı bağlayın.

PCT10'un 4-20 mA manuel çıkış bölümündeki siyah çıkış soketini, PCT10'un motor yerleştirici bölümündeki siyah giriş soketine; PCT10 ile birlikte bulunan ve fiş bananla sonlanan siyah bağlantı telini kullanarak bağlayın.

PCT10'un 4-20 mA manuel çıkış bölümündeki kırmızı çıkış soketini, PCT10'un motor yerleştirici bölümündeki kırmızı giriş soketine; PCT10 ile birlikte bulunan ve fiş bananla sonlanan siyah bağlantı telini kullanarak bağlayın.

PCT13 üzerindeki vana motor soketini, PCT10'un motor yerleştirici bölümündeki çıkış soketine, 5 pin DIN fiş ile sonlanan bağlantı telini kullanarak bağlayın.

- PCT10'u çalıştırın. Manuel 4-20 mA kontrol düğmesini saat yönünde ve tersine çevirerek çalıştığını gözleyin. Kontrol düğmesini tam olarak saat yönünde çevirerek kontrol vanasına sonuna kadar açın.
- Sıcak sıvı sirkülasyon pompasını PCT10'un yan kısmında bulunan 240 VAC çıkışlardan birine bağlayın (fiş 14).
- Isıtma devresi pompasının ve akış ölçerin çalışmasını kontrol edin. Manuel kontrol vanasını (V2) açın ve sıcak sıvının akış ölçerde (F2) belirtilen şekilde kapalı devrede çalıştığını kontrol edin. Manuel kontrol vanasını (V2) sonuna kadar açın 4-20 mA'e ayarlayın. Eğer akış ölçer (F2) göstergesi en yükseği göstermiyorsa, sirkülasyon pompasında hava vardır. Havayı boşaltmak için PCT13'ün ön panelinden motor soketindeki bağlantıyı sökün, daha sonra motorlu vanayı maksimum dönme noktasından daha fazla döndürmek için vana üzerindeki kapling çevirerek havanın dışarı çıkmasını sağlayın.

Motorlu vananın tamamen açık duruma dönmesi için bağlantı telini motor soketine bağlayın. Eğer gösterge en üst noktayı göstermiyorsa işlemi tekrarlayın.

Not: Eğer vana çok fazla açılırsa diyafram yatağından çıkabilir ve bir kaçağa neden olabilir.

V2 vanasını F2 akış ölçerde 150 cm<sup>3</sup>/dk görünecek şekilde ayarlayın.

- Sıvı işlem akış ölçerini kontrol edin. Sıvı işlem girişinden (5) gelen esnek boruyu soğuk su kaynağına bağlayın.
- Rezervuardaki ısıtma elemanını PCT10'un yan kısmında bulunan 240 VAC çıkışlarından birine bağlayın.

Termokupl düzenleyici modülünü PCT10 üzerinde bulunan sinyal düzenleme kanallarından birine bağlayın. Sinyal düzenleyicisinden 0-1 V çıkışını, kırmızı ve siyah bağlantı tellerini kullanarak voltmetreyi bağlayın.

PCT13 ile birlikte gelen özel termokupl bağlantı kablosunu kullanarak, PCT13'ün ön panelinde bulunan TC1 sıvı ısıtma rezervuarına ait termokupl soketini, düzenleyici modülün ön kısmında bulunan sokete bağlayın.

Voltmetre rezervuardaki sıcaklığı gösterir. 10 voltluk değer 100 °C'lik sıcaklığa karşılık gelir. Örneğin 0,2 volt 20 °C demektir.

Not: Termokupl düzenleyici modüller kullanılmadan önce kalibre edilmelidir.

- V1 ve V2 vanalarını F1 ve F2 akış ölçerlerinden 150 cm<sup>3</sup>/dk değeri okunacak şekilde ayarlayın. PCT13'deki TC1 soketinden termokupl fişini çıkarın, bu fişi TC2 soketine takın. Voltmetrede T1'den daha düşük bir değer görünmeli. Sıcak sıvı sıcaklık değiştiricisi tarafından soğutulmuş olur. TC2 soketinden fişi çıkarın TC3'e takın. Gelen işlem sıvısının sıcaklığını voltmetrede okuyun.

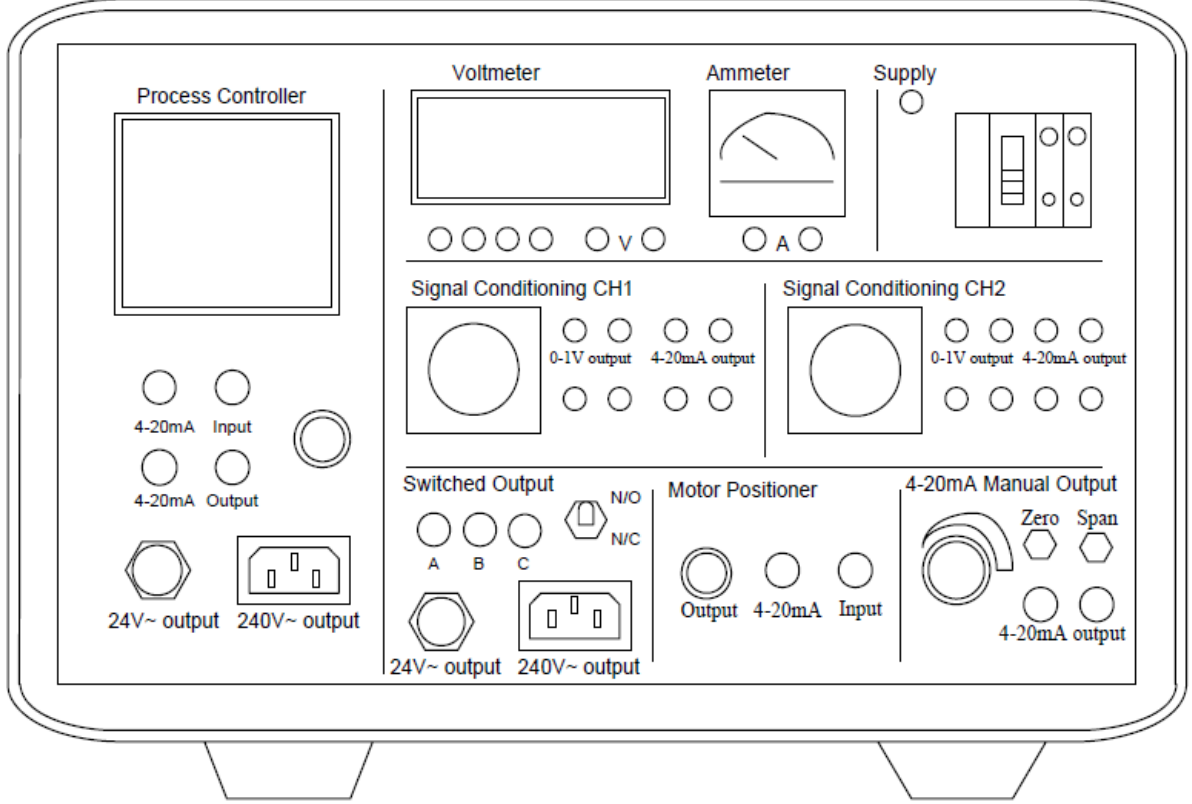
TC3'den fişi çıkarın, TC4'e takın voltmetredeki değer TC3'den daha yüksek olacaktır. Sıcaklık değiştiricisindeki işlem sıvısı ısınmış olacaktır.

- İkinci termostatın çalışmasının kontrol edilmesi: İkinci termostat 60 C'de çalışacak şekilde ayarlanmıştır. PCT13'ün ön panelindeki termostat soket bananı sarı bağlantı kablolarını kullanarak PCT10'daki A ve C soketlerine bağlanır. Buradaki değiştirme düğmesini N/O konumuna getirin. Gösterge lambasını 24 VAC soketine takın lamba yanmalıdır (yanmıyorsa rezervuardaki sıcaklık termostatta ayarlananın üzerindedir). PCT10 konsolundaki ısıtıcıyı 240 VAC'dan çıkarın, rezervuardaki sıcaklık termostatta belirlenenin altına düştüğünde termostat kapanır ve lamba yanar.
- Sıcak sıvı sirkülasyon pompası ve akış ölçerin çalışmasının kontrol edilmesi: Rezervuardaki suyun ilk ısınması durumunda çıkardığı hava kabarcıkları pompanın çalışmasını etkileyebilir.



## Deney A

Bu deneyin amacı, motorlu vanaya sadece oransal (proportional-P) kontrol uygulanması durumunda proses akışkan çıkış sıcaklığının (TC4) kontrol edilmesinin incelenmesidir.



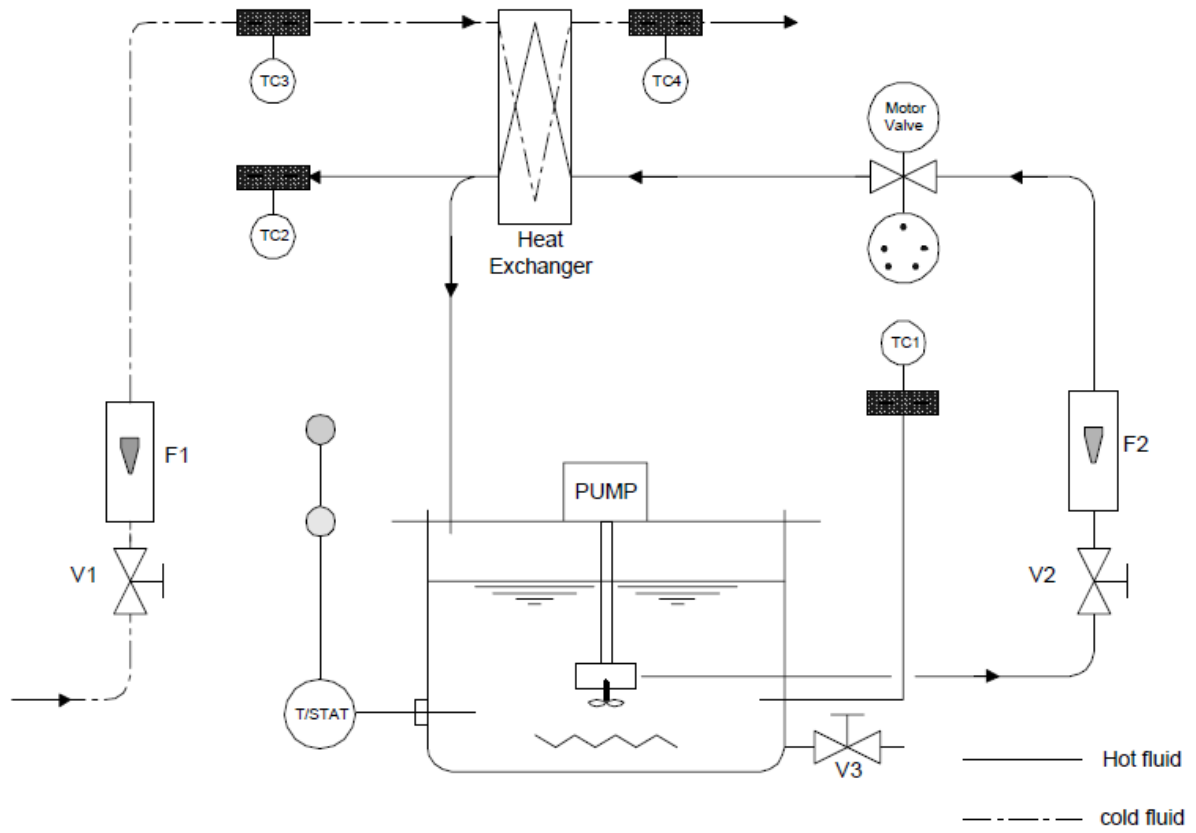
Şekil 17: Elektrik Konsolu (PCT10) Ön Panel Görünümü

## Prosedür

### *Ekipman:*

Cihaz Şekil 17’de gösterildiği gibi bir Elektrik Konsolu (PCT10) ve Şekil 18’de gösterildiği gibi bir Sıcaklık Kontrol Modülünü (PCT13) içermektedir. Proses, içine bir elektrikli ısıtıcı yerleştirilmiş “heating fluid reservoir” (ısıtıcı akışkan rezervuarı) içermektedir. Isıtıcı akışkan (su), devreden pompa aracılığıyla rezervuar ve plakalı ısı değiştirici arasında dolaşmaktadır. Isı değiştiricide, ısıtıcı akışkan bir dış kaynaktan sağlanan soğuk su ile ısıtılmaktadır. Soğuk su akışı manuel vana (V1) vasıtasıyla ayarlanabilirken, sıcak akışkan akışı manuel vana (V2) veya motorlu vana vasıtasıyla ayarlanabilmektedir. Akışkan sıcaklığını ölçmek için dört tane ısıçift farklı yerlere yerleştirilmiştir; TC1 ve TC2 ısıtıcı akışkanın giriş ve çıkış sıcaklığını ölçer, TC3 ve TC4 soğuk akışkanın giriş ve çıkış

sıcaklığını ölçer. TC1 veya TC4'ün ayarlanması için ya motorlu vana ya da elektrikli ısıtıcı ayarlanır.



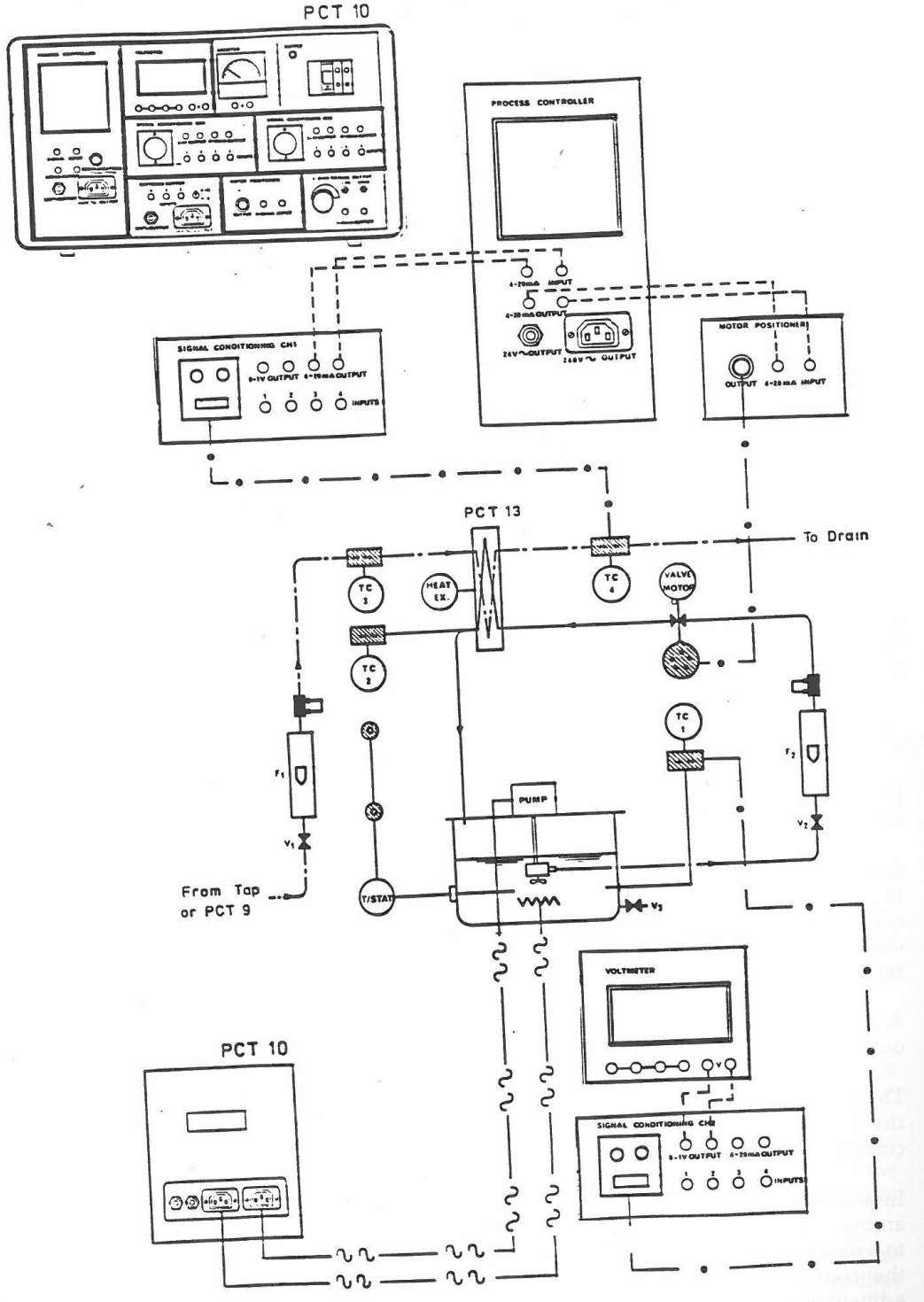
Şekil 18: Sıcaklık Kontrol Modülü Şeması

#### Hazırlık:

- 1) Rezervuarı yaklaşık 4 litre su ile doldurun. Drenaj vanasını (V3) kapatın.
- 2) Soğuk su kaynağını proses akışkan girişine bağlayın.
- 3) Uygun bir drenaj bağlantısının kurulduğundan emin olun.
- 4) Ana güç prizini 110 VAC çıkışına (110VAC outlet) bağlayın.
- 5) PCT10'u açın.
- 6) PCT10'un yanında bulunan 240VAC çıkışlarına pompa prizini bağlayın.
- 7) Proses içinde akışkanın dolaşmasına izin vermek için manuel V1 ve V2 vanalarını açın.
- 8) Motor vanasının tamamen açık olduğundan emin olun.

## I. Oransal Bant %5 iken motorlu vananın kontrolü

- 1) F1 üzerinde  $150 \text{ cm}^3/\text{dk}$  olacak şekilde V1'i ve F2 üzerinde  $280 \text{ cm}^3/\text{dk}$  olacak şekilde V2'yi ayarlayın.
- 2) Şekil 19'da gösterildiği gibi, PCT13 ile PCT10'u bağlayın.



Şekil 19: Deney için cihaz kurulum diyagramı

- 3) Güç bağlantıları yapıldığında ısıtıcı akışkanın sıcaklığı artmaya başlar. Sıcaklığın artışı voltmetre üzerinden gözlemlenebilir. Voltmetreden okunan sıcaklık değeri 90 °C'ye (voltmetrede 0,9 volt olarak belirir) ulaştığında ısıtıcının bağlantısı kesilmelidir, bunun için fiş 240 V bağlantısından çekilir.
- 4) Çizelge 2'de verilen ayarlar ile kontrolörü başlatın. Kontrolörün nasıl ayarlanacağı ve çalıştırılacağı Sıcaklık Kontrol Ek'inde verilmiştir.
- 5) Başlangıç TC4 ayar noktası kontrolör üzerinde 40 °C olacak şekilde ayarlanır. Eğer kurulum doğru gerçekleştirilirse; ısıtıcı akışkan ve proses akışkanı ısı değiştiriciden geçer ve ısıtıcı akışkan sayesinde proses akışkanının sıcaklığı yükselir.

Çizelge 2. Deney için kontrolör ayarları

Kontrolör Ayarları	Kod	Değer	Birim
Set değeri	-----	40	%
Oransal bant	'ProP'	5	%
İntegral süresi	'Int'	0	Dakika
Türev süresi	'dEr'	0	Saniye
Dönüş süresi	'CY-t'	5	Saniye
Kullanılmadı	'CL-G'	-----	-----
Kullanılmadı	'HC-O'	-----	-----
Kullanılmadı	'UP-t'	-----	-----
Histeresis (ölüband)	'HYSt'	1	%
Güç limiti	'Pr-L'	100	%
Başlangıç limiti	'SP-L'	100	%
Çizgisel düzen (4-20 mA=0-100%)	'CS-1'	- 0 5 8	-----
Geri kontrol hareketi	'CS-2'	- r L F	-----
Kullanılmadı	'CS-3'	A H A H	-----
Durum	'CS-4'	A c U 0	-----
Adres	'CS-5'	- - 0 0	-----
Baud oranı	'CS-6'	- - - 3	-----
Mode	'CS-7'	- - - 0	-----
Span(-11.2)	'SPAn'	100%'de 20mA girişi	%
Zero (-11.2)	'ZEro'	0%'de 4mA girişi	%

### **Çalışma 1: Ayar noktası değişiminin etkisi**

#### ***i. Sıcaklığın düşürülmesi***

- 1) TC4 başlangıç değerini kaydedin.
- 2) Kontrolörün *Lower* ve *Raise* tuşlarını kullanarak, set değerini 30 °C'ye ayarlayın ve zamanlayıcıyı (kronometre) başlatın.
- 3) 10 saniyelik zaman aralıklarında; TC4 sıcaklığını istenen değere (30 °C) ulaşana kadar ve yeni veri civarında salınırken kaydedin.
- 4) Veriler alınırken TC4 sıcaklığı için minimum/maksimum noktalar ve offset değeri tespit edilmelidir.
- 5) Vananın işleyişi (açılıp/kapanması) gözlenip not edilmelidir.
- 6) V1 akış hızının 150 cm<sup>3</sup>/dk'da sabit olmasına dikkat edilmelidir.

#### ***ii. Sıcaklığın artırılması***

- 1) TC4 başlangıç değerini kaydedin.
- 2) Kontrolörün *Lower* ve *Raise* tuşlarını kullanarak, set değerini 50 °C'ye ayarlayın ve zamanlayıcıyı (kronometre) başlatın.
- 3) 10 saniyelik zaman aralıklarında; TC4 sıcaklığını istenen değere (50 °C) ulaşana kadar ve yeni veri civarında salınırken kaydedin.
- 4) Veriler alınırken TC4 sıcaklığı için minimum/maksimum noktalar ve offset değeri tespit edilmelidir.
- 5) Vananın işleyişi (açılıp/kapanması) gözlenip not edilmelidir.
- 6) V1 akış hızının 150 cm<sup>3</sup>/dk'da sabit olmasına dikkat edilmelidir.

### **Çalışma 2: Proses akışkanı akış hızının etkisi**

TC4 başlangıç değeri 40 °C'de sabit tutulmalıdır.

#### ***i. Akış hızının düşürülmesi***

- 1) Proses akışkanı akış hızı V1=100 cm<sup>3</sup>/dk olacak şekilde ayarlanır.
- 2) 10 saniyelik zaman aralıklarında; TC4 sıcaklığını istenen değere (40 °C) ulaşana kadar ve yeni veri civarında salınırken kaydedin.
- 3) Offset değeri tespit edilir.
- 4) Vananın işleyişi (açılıp/kapanması) gözlenip not edilir.

*ii. Akış hızının arttırılması*

- 1) Proses akışkanı akış hızı  $V1=200 \text{ cm}^3/\text{dk}$  olacak şekilde ayarlanır.
- 2) 10 saniyelik zaman aralıklarında; TC4 sıcaklığını istenen değere (40 °C) ulaşana kadar ve yeni veri civarında salınırken kaydedin.
- 3) Offset değeri tespit edilir.
- 4) Vananın işleyişi (açılıp/kapanması) gözlenip not edilir.

***II. Oransal Bant %1 iken motorlu vananın kontrolü***

Çalışma I ve II'yi oransal bant %1 için tekrarlayınız.

***III. Oransal Bant %50 iken motorlu vananın kontrolü***

Çalışma I ve II'yi oransal bant %1 için tekrarlayınız.

## **Deney B**

Bu deneyin amacı, motorlu vanaya oransal (proportional-P) ve integral (I) kontrol uygulanması durumunda proses akışkanı çıkış sıcaklığının (TC4) kontrol edilmesinin incelenmesidir.

### **I. Prop=%5 ve Int=1dk iken motorlu vananın kontrolü**

- 1) F1 üzerinde 150 cm<sup>3</sup>/dk olacak şekilde V1'i ve F2 üzerinde 280 cm<sup>3</sup>/dk olacak şekilde V2'yi ayarlayın.
- 2) Çizelge 3'de verilen ayarlar ile kontrolörü başlatın. Kontrolörün nasıl ayarlanacağı ve çalıştırılacağı Sıcaklık Kontrol Ek'inde verilmiştir.
- 3) Başlangıç TC4 ayar noktası kontrolör üzerinde 40 °C olacak şekilde ayarlanır. Eğer kurulum doğru gerçekleştirilirse; ısıtıcı akışkan ve proses akışkanı ısı değiştiriciden geçer ve ısıtıcı akışkan sayesinde proses akışkanının sıcaklığı yükselir.

Çizelge 3. Deney için kontrolör ayarları

Kontrolör Ayarları	Kod	Değer	Birim
Set değeri	-----	40	%
Oransal bant	'ProP'	5	%
İntegral süresi	'Int'	1	Dakika
Türev süresi	'dEr'	0	Saniye
Dönüş süresi	'CY-t'	5	Saniye
Kullanılmadı	'CL-G'	-----	-----
Kullanılmadı	'HC-O'	-----	-----
Kullanılmadı	'UP-t'	-----	-----
Histerezis (ölübant)	'HYSt'	1	%
Güç limiti	'Pr-L'	100	%
Başlangıç limiti	'SP-L'	100	%
Çizgisel düzen (4-20 mA=0-100%)	'CS-1'	- 0 5 8	-----
Geri kontrol hareketi	'CS-2'	- r L F	-----
Kullanılmadı	'CS-3'	A H A H	-----
Durum	'CS-4'	A c U 0	-----
Adres	'CS-5'	- - 0 0	-----
Baud oranı	'CS-6'	- - - 3	-----
Mode	'CS-7'	- - - 0	-----
Span(-11.2)	'SPAn'	100%'de 20mA girişi	%
Zero (-11.2)	'ZEro'	0%'de 4mA girişi	%

### **Çalışma 1: Ayar noktası değişiminin etkisi**

#### ***i. Sıcaklığın düşürülmesi***

- 1) TC4 başlangıç değerini kaydedin.
- 2) Kontrolörün *Lower* ve *Raise* tuşlarını kullanarak, set değerini 30 °C'ye ayarlayın ve zamanlayıcıyı (kronometre) başlatın.
- 3) 10 saniyelik zaman aralıklarında; TC4 sıcaklığını istenen değere (30 °C) ulaşana kadar ve yeni veri civarında salınırken kaydedin.
- 4) Veriler alınırken TC4 sıcaklığı için minimum/maksimum noktalar ve offset değeri tespit edilmelidir.
- 5) Vananın işleyişi (açılıp/kapanması) gözlenip not edilmelidir.
- 6) V1 akış hızının 150 cm<sup>3</sup>/dk'da sabit olmasına dikkat edilmelidir.

#### ***ii. Sıcaklığın artırılması***

- 1) TC4 başlangıç değerini kaydedin.
- 2) Kontrolörün *Lower* ve *Raise* tuşlarını kullanarak, set değerini 50 °C'ye ayarlayın ve zamanlayıcıyı (kronometre) başlatın.
- 3) 10 saniyelik zaman aralıklarında; TC4 sıcaklığını istenen değere (50 °C) ulaşana kadar ve yeni veri civarında salınırken kaydedin.
- 4) Veriler alınırken TC4 sıcaklığı için minimum/maksimum noktalar ve offset değeri tespit edilmelidir.
- 5) Vananın işleyişi (açılıp/kapanması) gözlenip not edilmelidir.
- 6) V1 akış hızının 150 cm<sup>3</sup>/dk'da sabit olmasına dikkat edilmelidir.

### **Çalışma 2: Proses akışkanı akış hızının etkisi**

TC4 başlangıç değeri 40 °C'de sabit tutulmalıdır.

#### ***i. Akış hızının düşürülmesi***

- 1) Proses akışkanı akış hızı V1=100 cm<sup>3</sup>/dk olacak şekilde ayarlanır.
- 2) 10 saniyelik zaman aralıklarında; TC4 sıcaklığını istenen değere (40 °C) ulaşana kadar ve yeni veri civarında salınırken kaydedin.
- 3) Offset değeri tespit edilir.
- 4) Vananın işleyişi (açılıp/kapanması) gözlenip not edilir.



*ii. Akış hızının arttırılması*

- 1) Proses akışkanı akış hızı  $V1=200 \text{ cm}^3/\text{dk}$  olacak şekilde ayarlanır.
- 2) 10 saniyelik zaman aralıklarında; TC4 sıcaklığını istenen değere ( $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ) ulaşana kadar ve yeni veri civarında salınırken kaydedin.
- 3) Offset değeri tespit edilir.
- 4) Vananın işleyişi (açılıp/kapanması) gözlenip not edilir.

***II. Prop=%5 ve Int=10dk iken motorlu vananın kontrolü***

Çalışma I ve II'yi Prop=%5 ve Int=10 dk için tekrarlayınız.

***III. Prop=%5 ve Int=0,1 dk iken motorlu vananın kontrolü***

Çalışma I ve II'yi Prop=%5 ve Int=0,1 dk için tekrarlayınız.

***IV. Prop=%50 ve Int=1dk iken motorlu vananın kontrolü***

Çalışma I ve II'yi Prop=%50 ve Int=1 dk için tekrarlayınız.

### Deney C

Bu deneyin amacı, motorlu vanaya oransal (proportional-P) ve diferansiyel (D) kontrol uygulanması durumunda proses akışkanı çıkış sıcaklığının (TC4) kontrol edilmesinin incelenmesidir.

#### **I. Prop=%5 ve dEr=10sn iken motorlu vananın kontrolü**

- 1) F1 üzerinde 150 cm<sup>3</sup>/dk olacak şekilde V1'i ve F2 üzerinde 280 cm<sup>3</sup>/dk olacak şekilde V2'yi ayarlayın.
- 2) Çizelge 4'de verilen ayarlar ile kontrolörü başlatın. Kontrolörün nasıl ayarlanacağı ve çalıştırılacağı Sıcaklık Kontrol Ek'inde verilmiştir.
- 3) Başlangıç TC4 ayar noktası kontrolör üzerinde 40 °C olacak şekilde ayarlanır. Eğer kurulum doğru gerçekleştirilirse; ısıtıcı akışkan ve proses akışkanı ısı değiştiriciden geçer ve ısıtıcı akışkan sayesinde proses akışkanının sıcaklığı yükselir.

Çizelge 4. Deney için kontrolör ayarları

Kontrolör Ayarları	Kod	Değer	Birim
Set değeri	-----	40	%
Oransal bant	'ProP'	5	%
İntegral süresi	'Int'	0	Dakika
Türev süresi	'dEr'	10	Saniye
Dönüş süresi	'CY-t'	5	Saniye
Kullanılmadı	'CL-G'	-----	-----
Kullanılmadı	'HC-O'	-----	-----
Kullanılmadı	'UP-t'	-----	-----
Histerezis (ölübant)	'HYSt'	1	%
Güç limiti	'Pr-L'	100	%
Başlangıç limiti	'SP-L'	100	%
Çizgisel düzen (4-20 mA=0-100%)	'CS-1'	- 0 5 8	-----
Geri kontrol hareketi	'CS-2'	- r L F	-----
Kullanılmadı	'CS-3'	A H A H	-----
Durum	'CS-4'	A c U 0	-----
Adres	'CS-5'	- - 0 0	-----
Baud oranı	'CS-6'	- - - 3	-----
Mode	'CS-7'	- - - 0	-----
Span(-11.2)	'SPAn'	100%'de 20mA girişi	%
Zero (-11.2)	'ZEro'	0%'de 4mA girişi	%

### **Çalışma 1: Ayar noktası değişiminin etkisi**

#### ***i. Sıcaklığın düşürülmesi***

- 7) TC4 başlangıç değerini kaydedin.
- 1) Kontrolörün *Lower* ve *Raise* tuşlarını kullanarak, set değerini 30 °C'ye ayarlayın ve zamanlayıcıyı (kronometre) başlatın.
- 2) 10 saniyelik zaman aralıklarında; TC4 sıcaklığını istenen değere (30 °C) ulaşana kadar ve yeni veri civarında salınırken kaydedin.
- 3) Veriler alınırken TC4 sıcaklığı için minimum/maksimum noktalar ve offset değeri tespit edilmelidir.
- 4) Vananın işleyişi (açılıp/kapanması) gözlenip not edilmelidir.
- 5) V1 akış hızının 150 cm<sup>3</sup>/dk'da sabit olmasına dikkat edilmelidir.

#### ***ii. Sıcaklığın artırılması***

- 1) TC4 başlangıç değerini kaydedin.
- 2) Kontrolörün *Lower* ve *Raise* tuşlarını kullanarak, set değerini 50 °C'ye ayarlayın ve zamanlayıcıyı (kronometre) başlatın.
- 3) 10 saniyelik zaman aralıklarında; TC4 sıcaklığını istenen değere (50 °C) ulaşana kadar ve yeni veri civarında salınırken kaydedin.
- 4) Veriler alınırken TC4 sıcaklığı için minimum/maksimum noktalar ve offset değeri tespit edilmelidir.
- 5) Vananın işleyişi (açılıp/kapanması) gözlenip not edilmelidir.
- 6) V1 akış hızının 150 cm<sup>3</sup>/dk'da sabit olmasına dikkat edilmelidir.

### **Çalışma 2: Proses akışkanı akış hızının etkisi**

TC4 başlangıç değeri 40 °C'de sabit tutulmalıdır.

#### ***i. Akış hızının düşürülmesi***

- 5) Proses akışkanı akış hızı V1=100 cm<sup>3</sup>/dk olacak şekilde ayarlanır.
- 1) 10 saniyelik zaman aralıklarında; TC4 sıcaklığını istenen değere (40 °C) ulaşana kadar ve yeni veri civarında salınırken kaydedin.
- 2) Offset değeri tespit edilir.
- 3) Vananın işleyişi (açılıp/kapanması) gözlenip not edilir.

*ii. Akış hızının arttırılması*

- 1) Proses akışkanı akış hızı  $V1=200 \text{ cm}^3/\text{dk}$  olacak şekilde ayarlanır.
- 2) 10 saniyelik zaman aralıklarında; TC4 sıcaklığını istenen değere ( $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ) ulaşana kadar ve yeni veri civarında salınırken kaydedin.
- 3) Offset değeri tespit edilir.
- 4) Vananın işleyişi (açılıp/kapanması) gözlenip not edilir.

***II. Prop=%5 ve dEr=20sn iken motorlu vananın kontrolü***

Çalışma I ve II'yi Prop=%5 ve dEr=20 sn için tekrarlayınız.

***III. Prop=%50 ve dEr=10sn iken motorlu vananın kontrolü***

Çalışma I ve II'yi Prop=%50 ve dEr=10 sn için tekrarlayınız.

## Deney D

Bu deneyin amacı, motorlu vanaya oransal (proportional-P), integral (I) ve diferansiyel (D) kontrol uygulanması durumunda proses akışkanı çıkış sıcaklığının (TC4) kontrol edilmesinin incelenmesidir.

### **I. Prop=%5, Int=1 dk ve dEr=10sn iken motorlu vananın kontrolü**

- 1) F1 üzerinde 150 cm<sup>3</sup>/dk olacak şekilde V1'i ve F2 üzerinde 280 cm<sup>3</sup>/dk olacak şekilde V2'yi ayarlayın.
- 2) Çizelge 5'de verilen ayarlar ile kontrolörü başlatın. Kontrolörün nasıl ayarlanacağı ve çalıştırılacağı Sıcaklık Kontrol Ek'inde verilmiştir.
- 3) Başlangıç TC4 ayar noktası kontrolör üzerinde 40 °C olacak şekilde ayarlanır. Eğer kurulum doğru gerçekleştirilirse; ısıtıcı akışkan ve proses akışkanı ısı değiştiriciden geçer ve ısıtıcı akışkan sayesinde proses akışkanının sıcaklığı yükselir.

Çizelge 5. Deney için kontrolör ayarları

Kontrolör Ayarları	Kod	Değer	Birim
Set değeri	-----	40	%
Oransal bant	'ProP'	5	%
İntegral süresi	'Int'	1	Dakika
Türev süresi	'dEr'	10	Saniye
Dönüş süresi	'CY-t'	5	Saniye
Kullanılmadı	'CL-G'	-----	-----
Kullanılmadı	'HC-O'	-----	-----
Kullanılmadı	'UP-t'	-----	-----
Histerezis (ölübant)	'HYSt'	1	%
Güç limiti	'Pr-L'	100	%
Başlangıç limiti	'SP-L'	100	%
Çizgisel düzen (4-20 mA=0-100%)	'CS-1'	- 0 5 8	-----
Geri kontrol hareketi	'CS-2'	- r L F	-----
Kullanılmadı	'CS-3'	A H A H	-----
Durum	'CS-4'	A c U 0	-----
Adres	'CS-5'	- - 0 0	-----
Baud oranı	'CS-6'	- - - 3	-----
Mode	'CS-7'	- - - 0	-----
Span(-11.2)	'SPAn'	100%'de 20mA girişi	%
Zero (-11.2)	'ZEro'	0%'de 4mA girişi	%

### **Çalışma 1: Ayar noktası değişiminin etkisi**

#### ***i. Sıcaklığın düşürülmesi***

- 1) TC4 başlangıç değerini kaydedin.
- 2) Kontrolörün *Lower* ve *Raise* tuşlarını kullanarak, set değerini 30 °C'ye ayarlayın ve zamanlayıcıyı (kronometre) başlatın.
- 3) 10 saniyelik zaman aralıklarında; TC4 sıcaklığını istenen değere (30 °C) ulaşana kadar ve yeni veri civarında salınırken kaydedin.
- 4) Veriler alınırken TC4 sıcaklığı için minimum/maksimum noktalar ve offset değeri tespit edilmelidir.
- 5) Vananın işleyişi (açılıp/kapanması) gözlenip not edilmelidir.
- 6) V1 akış hızının 150 cm<sup>3</sup>/dk'da sabit olmasına dikkat edilmelidir.

#### ***ii. Sıcaklığın artırılması***

- 1) TC4 başlangıç değerini kaydedin.
- 2) Kontrolörün *Lower* ve *Raise* tuşlarını kullanarak, set değerini 50 °C'ye ayarlayın ve zamanlayıcıyı (kronometre) başlatın.
- 3) 10 saniyelik zaman aralıklarında; TC4 sıcaklığını istenen değere (50 °C) ulaşana kadar ve yeni veri civarında salınırken kaydedin.
- 4) Veriler alınırken TC4 sıcaklığı için minimum/maksimum noktalar ve offset değeri tespit edilmelidir.
- 5) Vananın işleyişi (açılıp/kapanması) gözlenip not edilmelidir.
- 6) V1 akış hızının 150 cm<sup>3</sup>/dk'da sabit olmasına dikkat edilmelidir.

### **Çalışma 2: Proses akışkanı akış hızının etkisi**

TC4 başlangıç değeri 40 °C'de sabit tutulmalıdır.

#### ***i. Akış hızının düşürülmesi***

- 1) Proses akışkanı akış hızı V1=100 cm<sup>3</sup>/dk olacak şekilde ayarlanır.
- 2) 10 saniyelik zaman aralıklarında; TC4 sıcaklığını istenen değere (40 °C) ulaşana kadar ve yeni veri civarında salınırken kaydedin.
- 3) Offset değeri tespit edilir.
- 4) Vananın işleyişi (açılıp/kapanması) gözlenip not edilir.

*ii. Akış hızının arttırılması*

- 1) Proses akışkanı akış hızı  $V1=200 \text{ cm}^3/\text{dk}$  olacak şekilde ayarlanır.
- 2) 10 saniyelik zaman aralıklarında; TC4 sıcaklığını istenen değere ( $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ) ulaşana kadar ve yeni veri civarında salınırken kaydedin.
- 3) Offset değeri tespit edilir.
- 4) Vananın işleyişi (açılıp/kapanması) gözlenip not edilir.

**II. Prop=%5, Int=0,1 dk ve dEr=10sn iken motorlu vananın kontrolü**

Çalışma I ve II'yi Prop=%5, Int=0,1 ve dEr=10 sn için tekrarlayınız.

**III. Prop=%5, Int=1 dk ve dEr=20sn iken motorlu vananın kontrolü**

Çalışma I ve II'yi Prop=%5, Int=1 ve dEr=20 sn için tekrarlayınız.

**Sonuçlar:**

- 1) Toplanan verilerin grafiğini çizin.
- 2) Sonuçlarınız üzerinde tartışın.

**KAYNAKLAR**

- [1] Armfield PCT10 Engineering Teaching and Research Equipment Instruction Manual, UK, 1995.
- [2] Armfield PCT13 Engineering Teaching and Research Equipment Instruction Manual, UK, 1995.
- [3] Anadolu Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Kimya Mühendisliği Laboratuvarı, Proses Kontrol Deney Föyü.
- [4] KIRK, F.W.ve RIMBOI, N.R., Instrumentation, American Technical Publishers, USA, 1975.

## **DENEY NO: 2 LABORATUVAR FLOKÜLATÖRÜ (PIHTILAŞTIRICI)**

### **DENEYİN AMACI**

Atık sularda optimum pıhtılaştırma oranının, optimum pH değerinin, karıştırma süresinin ve yoğunluğun etkilerinin belirlenmesi.

### **KURAMSAL TEMELLER**

Flokülasyon yöntemi, herhangi bir sıvı içerisinde çökmeden askıda duran veya çok yavaş çöken ve bu nedenle bulanıklığa sebep olan ince boyutlu katı taneciklerin bir katkı maddesi vasıtasıyla bir araya getirilip hızlı çöktürülmesi işlemidir.

Sedimentasyonla sıvı içerisindeki büyük kütleli maddeler sıvının dibine çöker ve sıvı içerisinde yalnızca küçük kütleli parçacıklar kalır. Flokülasyon işlemi sıvı içerisindeki bu küçük parçacıkları temizlemeye yöneliktir.

Sıvı içerisinde asılı kalmış koloidal maddeler, küçük parçacıkların fiziksel veya kimyasal olarak birleşmesi ile oluşmuştur. Mekanik pıhtılaştırma iyi sonuç vermesi için hafif bir karıştırma gerektirir. İşlemler sırasında bazı kimyasalların katılması ise işlemleri hızlandırır ve üretimin kaliteli olmasını sağlar.

Alüminyum veya demir tuzları sıvıların iyileştirilmesinde kullanılabilirler. Flokülasyon testleri, pH ayarlamaları ile birlikte bulanıklığın ve rengin giderilebilmesi için optimum kimyasal dozları içermektedir.

*Flokülant olarak kullanılacak maddeler:*

- Alüminyum sülfat  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$
- Demir (III) klorür  $FeCl_3$
- Demir sülfat  $FeSO_4$
- Demir (III) sülfat  $Fe_2(SO_4)_3$
- Sodyum alüminat  $Na_2Al_2O_4$
- Amonyaklı alüminyum sülfat  $(NH_4)_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$

*Flokülant yardımcıları:* Kendileri flokülant olmadıkları halde, flokülant madde ile birlikte kullanıldıklarında flokülasyonu kolaylaştırırlar.



- Kil
- Kalsit
- Polielektrolit
- Aktif silika
- Asitler ve alkaliler
- Soda
- Sönmemiş kireç
- Sönmüş kireç

#### *Reaksiyonlar:*

Ferrik klorür atık suya katıldığı zaman ferrik hidroksit pıhtıları aşağıdaki reaksiyonu göstermektedir.



Kireç daha sonra sıvıya katılabilir.



Tepkime için gerekli olan doğal alkalinite veya kireç ağırlıkları, farklı ferrik klorürle birlikte yaklaşık olarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

Eğer 30 ppm ferrik klorür sıvıya eklenirse;

$$30 * [(3 * 100) / (2 * 162.2)] = 27.8 \text{ ppm CaCO}_3 \text{ olarak gerekli alkalinite veya}$$

$$30 * [(3 * 56) / (2 * 162.2)] = 15.5 \text{ ppm CaO olarak kireç}$$

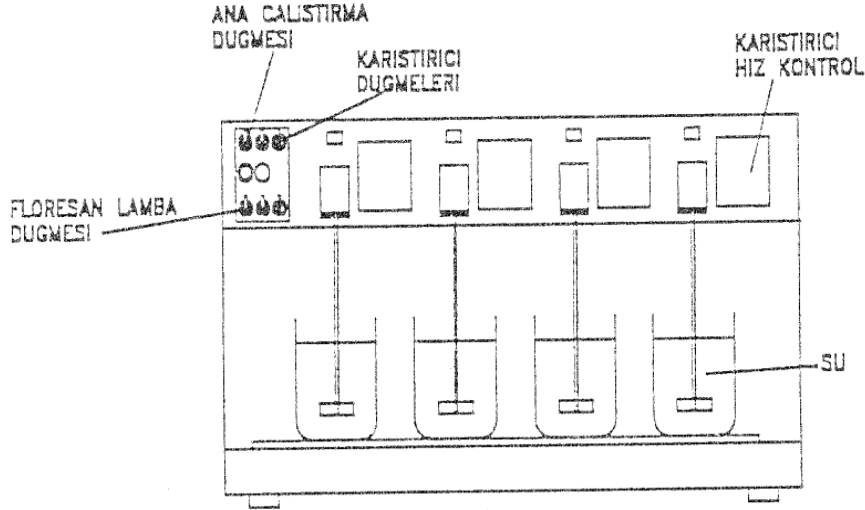
Gereken ferrik hidrat miktarı :

$$30 * [(3 * 106.9) / (2 * 162.2)] = 19.8 \text{ ppm ferrik hidrat}$$

#### **DENEY DÜZENEĞİ**

- 1 L'lik dört kavanoz
- Termometre
- Kronometre
- Colormetre(Renk deneyi için)
- Spektrofotometre(Bulanıklık deneyi için)

- pH metre(pH deneyi için)
- Su
- Alüminyum ve ferrik sülfat
- Sodyum hidroksit veya sülfirik asit



**Şekil: Laboratuvar Flakülatörü**

## DENEYİN YAPILIŞI

### Deney A: Optimum pıhtılaşma oranının elde edilmesi

20-50 L doğal su bulun. Suyun ve ortamın sıcaklığı ölçün. Eğer bulunan su çok temizse içine kaolin veya betonite kil ve kahve katılabilir. Örnek olarak alüminyum ve ferrik sülfattan pıhtılaştırma çözeltileri hazırlayın. Çözeltiler 1 L suya 1 mL katıldığı zaman 10 ppm dozajını verecektir.

Her kavanoza 1 L su doldurun ve yerlerine yerleştirerek floresan lambayı açın. Karıştırıcıları 100 rpm hızında çalıştırın. İlk kaba 1 mL ekleyin ve hızla karıştırın. İkinciye 3 mL, üçüncüye 5 mL ve dördüncüyü kontrol için bırakın. Bir dakika boyunca hızla karıştırın ve karıştırıcıların hızını pıhtılaşma olması için 30 rpm'ye düşürün.

Görünür pıhtılaşmanın olduğu süreyi not edin. Eğer büyük kütlelerde pıhtılaşma oluyorsa karıştırıcının hızını biraz daha azaltmak gerekir. Görünen pıhtılaşmanın büyüklüğünü ve kütlesini not edin.

20 dk sonra pıhtılaşma tam olarak oluşacaktır. Karıştırıcıları kapatın ve kavanozlardan çıkarın. Pıhtıların ökeltmesi için 30 dk bekleyin. Her kavanozdaki bulanıklığı ve rengi ölçün. Çökelen maddelerin alkalanmamasına dikkat edin. Örneklerin pH değerlerini ve çökeltinin kalınlığını ölçün. Sonuçlar istenildiği gibi değilse pıhtılaştırma çözeltisinin miktarlarını değiştirerek işlemleri tekrarlayın.

Alüminyum tuzu yerine demir tuzu ile deneyi tekrarlayın.

### **Deney B: Optimum pH değerinin elde edilmesi**

Optimum dozda ferrik sülfat pıhtılaşma çözeltisi kullanarak Deney A'yı tekrarlayın. Fakat pıhtılaşma çözeltisini eklemeden önce sodyum hidroksit veya sülfirik asit ile pH değerlerini 6, 7, 8 ve 9 olarak ayarlayın.

İşlemler sonuçlandığında her örneğin pH değerini, bulanıklığını, rengini ve pıhtılaşma kalınlığını ölçün.

Deney A'da bulduğunuz optimum pıhtılaşma çözeltisi dozajına göre optimum pH değerini belirleyin.

### **Deney C: Karıştırma süresinin ve yoğunluğun etkileri**

Dört kavanoz içinde daha önce belirlediğiniz optimum dozdaki pıhtılaştırma çözeltilerinden hazırlayın. Aynı hızda karıştırıcıları kullanarak karıştırın. Fakat bu kez süreleri değiştirin. 10, 20, 30 ve 40 dk'ları dört kavanoz için kullanın. Süreler dolduğunda karıştırıcıları çıkarın. Çökeltme için 30 dk bekleyin. Her kavanozun rengini, bulanıklığını ve pH değerlerini ölçün. Değerleri tablolar halinde karışlaştırın. İşlemleri farklı karıştırma hızlarında tekrarlayın.

## HESAPLAMALAR VE SONUÇLAR

Tablo 1. Her kavanoz için elde edilen pıhtılaşma süresi, pıhtılaşmanın büyüklüğü, bulanıklık, renk değerleri

	Pıhtılaşma süresi	Pıhtılaşmanın büyüklüğü	Bulanıklık	Renk
1.kavanoz				
2.kavanoz				
3.kavanoz				
4.kavanoz				

Tablo 2. Her kavanoz için elde edilen pıhtılaşma süresi, pıhtılaşmanın büyüklüğü, bulanıklık, pıhtılaşma kalınlığı değerleri

	pH	Bulanıklık	Pıhtılaşma kalınlığı
1.kavanoz			
2.kavanoz			
3.kavanoz			
4.kavanoz			

Tablo 3. 10dk, 20dk, 30dk ve 40dk karıştırma süreleri sonunda elde edilen pH, bulanıklık, ve renk değerleri

	pH	Bulanıklık	Renk	Pıhtılaşma kalınlığı	
1.kavanoz					10 dk
2.kavanoz					20 dk
3.kavanoz					30 dk
4.kavanoz					40 dk

## **DEĞERLENDİRME VE YORUM**

Öğrenci yapmış olduğu deney ve bulduğu sonuçlar ışığında bir değerlendirme ve yorum yapar.

## **KAYNAKLAR**

- Armfield W1 Engineering Teaching and Research Equipment Instruction Manual, UK, 1995.

## DENEYİN NO: 3 KONSANTRİK TÜPLÜ ISI DEĞİŞTİRİCİSİ

### DENEYİN AMACI

Birbirinden duvar ile ayrılmış, içerisinde akışkan olan ve birinden diğerine dolaylı yoldan ısıtma veya soğutmanın yapıldığı sistemlerin (ısı değiştirici) incelenmesi ve sistem parametrelerinin gerçekleşen ısı transferine olan etkisinin araştırılması.

### KURAMSAL TEMELLER

Mühendislik uygulamalarında en önemli ve en çok karşılaşılan konulardan birisi, farklı sıcaklıklardaki iki veya daha fazla akışkan arasındaki ısı transferidir. Sözü edilen akışkanlar genellikle katı bir cidar ile birbirinden ayrılmakta böylece birbirine karışmamaktadır. Bu cihazlar, ısı değiştiricisi (eşanjör) olarak adlandırılmakta ve sıcaklığı fazla olan bir akışkandan düşük sıcaklıktaki bir akışkana ısı aktarımı prensibine göre çalışmaktadır.

### Isı Değiştiricilerin Sınıflandırılması

#### Akışkanların Temas Şekline Göre Sınıflandırılması

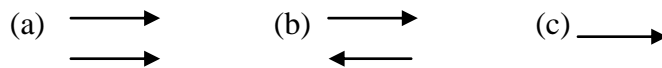
- Direkt Temaslı Isı Değiştiriciler
- İndirekt Temaslı Isı Değiştiriciler

#### Akış Şekillerine Göre Sınıflandırılması

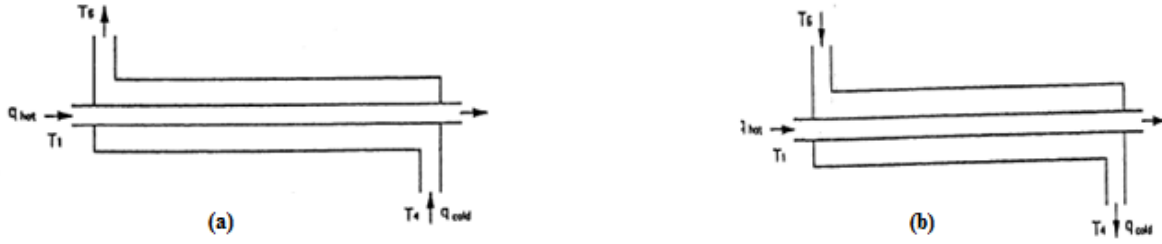
- Paralel Akım
- Zıt Akım
- Çapraz Akım

### Isı Değiştiricilerinde Akış Düzenlemeleri

İçindeki akışkanların akışlarının özellikleri sıcaklık farkına, ısı değiştiricisi etkinliğine ve ısıl gerilmelere çok etki eder. Prensip olarak bu akışkanlar paralel, ters ve çapraz olmak üzere üç şekildedir. İki akışkanın ısı değiştirici içinde birbirine göre sadece bir kere karşılaştığı tipler tek geçişli ısı değiştiricilerdir.



Şekil 1. Isı değiştiricilerinde akış düzenlemeleri: (a) paralel, (b) ters, (c) çapraz



Şekil 2. a) Zıt akışlı çift borulu ısı değiştirici, b) Paralel akışlı çift borulu ısı değiştirici

### Paralel akımlı ısı değiştiricileri

Bu düzenlemede ısı değiştirici içindeki ısıtıcı akışkan ile ısıtılacak akışkan, değiştiricinin aynı ucundan girip, birbirlerine paralel olarak akarlar ve değiştiricinin diğer ucundan çıkarlar. Bu tür ısı değiştiricilerde küçük çaplı bir boru ile bunun dışında aynı eksenli ikinci bir boru vardır. Birinci akışkan içteki boru içinden akarken, ikinci akışkan iki boru arasındaki boşluktan akar.

### Ters akımlı ısı değiştiricileri

Bu tipte akışkanlar ısı değiştiriciler içinde birbirlerine göre eksensel olarak paralel, fakat zıt yönlü olarak akar. Akışkanların ısı kapasitelerine ve faz durumlarına göre, ısı değiştirici boyunca sıcaklığındaki değişim incelendiğinde ters akımlı ısı değiştiricilerde etkinlik diğerlerinden daha fazla olduğu için tercih edilir.

### Çapraz akımlı ısı değiştiricileri

Isı değiştirici içindeki akışkanlar birbirlerine göre dik olarak akar. Bu ısı değiştiricilerin ısı etkinliği, paralel ve ters akımlı ısı değiştiricilerin arasındadır. İmalat kolaylığı bakımından kompakt ısı değiştiricilerden büyük çoğunluğu çapraz akımlı olarak üretilir.

### Borulu Isı Değiştirici Çeşitleri

Bu tip ısı değiştiricilerinde genelde dairesel kesitli borular kullanılır. Dairesel kesitli borular diğer geometrik şekilli olanlara nazaran yüksek basınçlara dayanıklı olduklarından, bu tip ısı değiştiriciler yüksek basınçlarda kullanılır. Borulu ısı değiştiricileri, esas olarak bakır

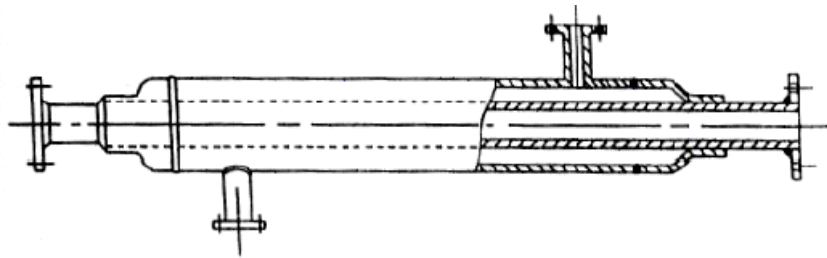
veya çelik borulardan oluşan boru demetleri kullanılarak yapılır. Bir akışkan borunun içerisinden akarken, diğer akışkan borunun dışından akar. Boru çapı, boru sayısı, boru uzunluğu, boru adımı ve boru düzenlemesi değiştirilebilir. Bu nedenle borulu ısı değiştiricilerin tasarımlarında oldukça esneklik vardır. Farklı ısı aktarım uygulamaları, farklı özelliklerde malzemelerin ve farklı geometrilere sahip ısı değiştiricilerin kullanımını gerektirmektedir.

- Çift borulu ısı değiştiriciler
- Kompakt ısı değiştiriciler
- Kabuk ve boru ısı değiştiriciler

### Çift borulu ısı değiştiriciler

Düz (çift) borulu ısı değiştiricileri en basit ısı değiştirici tipidir. Bir borunun daha büyük çaplı bir boru içerisine eş merkezli olarak yerleştirilmesi ile elde edilir. Akışkanlardan biri içteki borudan akarken, diğeri dışarıdaki borudan akar. Bu ısı değiştiriciler, istenen basınç düşümü ve sıcaklık farkı gereksinimlerini karşılamak için çeşitli seri ve paralel konfigürasyonlar şeklinde düzenlenebilir. İçteki boru tek veya çok borulu olabilir. Eğer halkadaki ısı taşınım kat sayısı düşükse aksel kanatçıklara sahip iç boru (veya borular) kullanılabilir.

Bu tip ısı değiştiriciler, rafinerileri ve diğer büyük kimyasal prosesler içeren tesislerde en yaygın kullanılan ısı değiştiricilerdir. Bu ısı değiştirici tipi, dış tarafta büyük bir boru (kovan olarak da anılır) ve onun içinde dolayan daha küçük çapta borular içerir. Farklı sıcaklıklardaki iki akışkan ısı değiştiricisi boyunca akar, birisi içteki borular boyunca, diğeri ise dış taraftaki büyük boru (kovan) boyunca akar. Isı, bir akışkandan diğerine transfer olur. Akışkanlar arasında ısı transferinde kullanılan bu yöntem, birçok uygulamada, atık ısıdan yararlanılmasını sağlar. Bu, enerjinin geri kazanımı için çok iyi bir yoldur. Örneğin buhar kullanan bir tesisin kullanımdan çıkan buharı, ısı değiştiricileri vasıtası ile tesis ısıtması, kullanım suyunun ısıtılması gibi yerlerde kullanması gibi.



Şekil 3: Düz (çift) borulu ısı değiştirici prensip şeması



Isı değiştiricisi tasarımındaki genel düşünce, soğuk veya sıcak bir sıvıdan birinden diğerine ısı transferini sağlamak için borular veya geniş yüzeyler kullanılmasıdır. Genelde, ısı değiştirici bir sıvının diğeri içinde dolaşmasını sağlayan bobin seklinde borular ve diğer sıvıyı içeren boruların içinde dolaştığı kapalı bölmeden oluşur. Boru duvarları genelde metalden yapılır veya düşük özgül ısı kapasitesi olan başka bir maddeden (malzemenin ısı kapasitesi azaldıkça sıcaklık artış hızı yükselir), dış taraftaki kapalı bölme ise ısıyı ısı değiştiriciden dışarı ısı vermeyen plastik veya yüksek ısı kapasiteli başka bir malzemedan yapılır.

*Avantajları:*

- Isıl kapasiteyi ve ısı geçiş yüzey alanını artırmak için seri hâlde montajları yapılabilir.
- Karşıt akış elde etmek kolaydır.
- Yüksek basınçlara dayanabilir.
- Standart modüler konstrüksiyona sahiptir.
- Bakımı ve tamiri kolaydır.
- Temizlenmesi kolay olduğundan, özellikle kirletici akışkanlar için uygundur.
- Piyasadan kolay şekilde bulunabilir.
- Birçok metal ile imal edilebildiğinden akışkan sınırlaması çok azdır.

*Dezavantajı:*

- Yüksek ısıl kapasiteler (1 MW' dan daha fazla) için pahalıdır.

## **Isı Değiştiricilerin Analizi**

En uygun ısı değiştirici seçimi; belirli bir kütleli akış hızına sahip akışkan için talep edilen sıcaklık değişiminin sağlanması.

Çıkış sıcaklıklarının tahmin edilmesi; belirli bir ısı değiştirici için sıcak ve soğuk akışkanların çıkış sıcaklıklarının belirlenmesi.

Isı değiştirici analizleri için iki yöntem vardır:

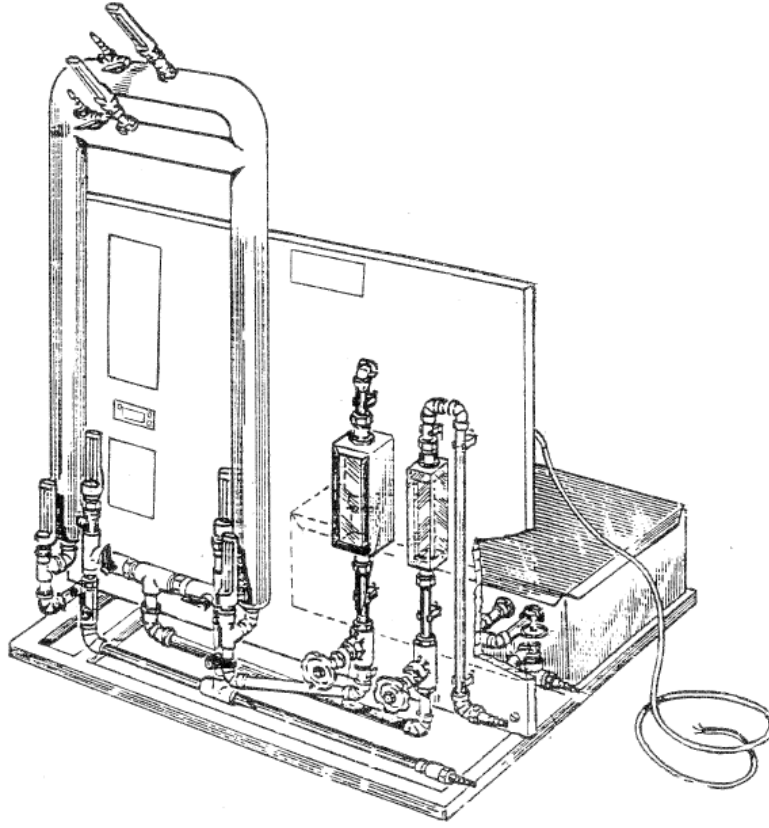
- a) Logaritmik ortalama sıcaklık farkı (Log mean temperature difference method, LMTD): Isı değiştirici seçiminde çok iyi sonuç verir.
- b)  $\epsilon$ -NTU metodu, Isı transfer ünite sayısı (Effectiveness-Number of transfer unit): Çıkış sıcaklıklarının tahmininde çok iyi sonuç verir.

Bu metotlar kullanılırken yapılması gereken kabuller:

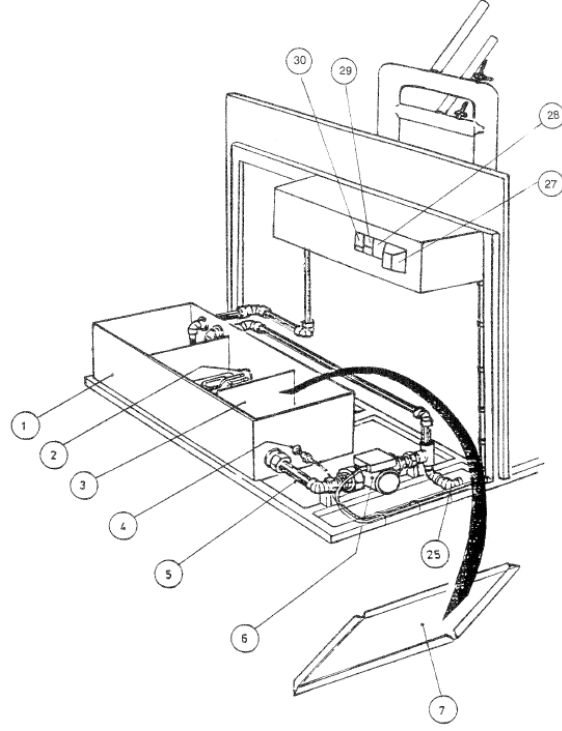
- Sistem yatışkın durumdadır.
- Her bir akışkanın kütleli akış hızı sabittir.

- Akışkan özellikleri giriş ve çıkış için değişmez.
- Her bir akışkanın Cp değeri sabittir (belirli bir sıcaklık aralığı için).
- Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilir.
- Boru boyunca aksel yönde ısı iletimi ihmal edilir.
- Isı değiştiricinin dış yüzeyi mükemmel izolasyona sahiptir (ortama ısı kaybı yok).
- Tüm ısı transferi yalnızca iki sıvı arasında gerçekleşmektedir.

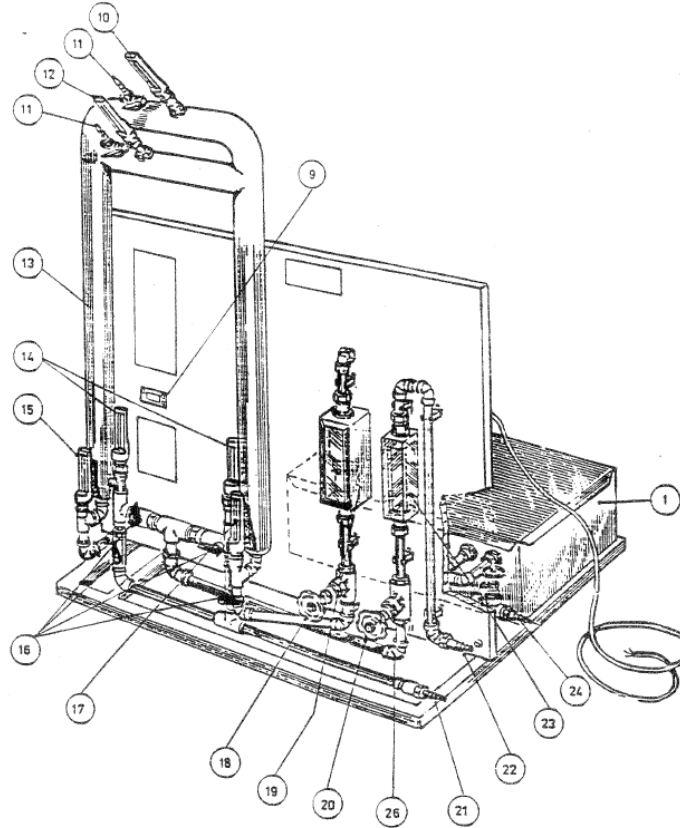
### DENEY DÜZENEGİ:



Şekil 4. HT4 konsantrik tüp ısı değıştirici



Şekil 5. HT4 arkadan görünüm



Şekil 6. HT4 önden görünüm

## DENEYİN YAPILIŞI:

Çalıştırmaya başlamadan önce, paketleme için sökülen iki cam termometre aşağıda belirtildiği gibi takılmalıdır.

Termometreyi ısıtıcının üst kısmında bulunan boş kısma yerleştirin, vidaları sıkıştırın. Termometre düzgünce takıldığında ön taraftaki aralıktan görülebilmelidir.

Soğuk su kaynağı:

Soğuk su girişini (21) cihazla gelen esnek hortumu kullanarak soğuk su kaynağına bağlayın.

Boşaltma:

Soğuk su çıkışını (22) cihazla gelen esnek hortumu kullanarak uygun bir boşaltma borusuna bağlayın.

Çalıştırma:

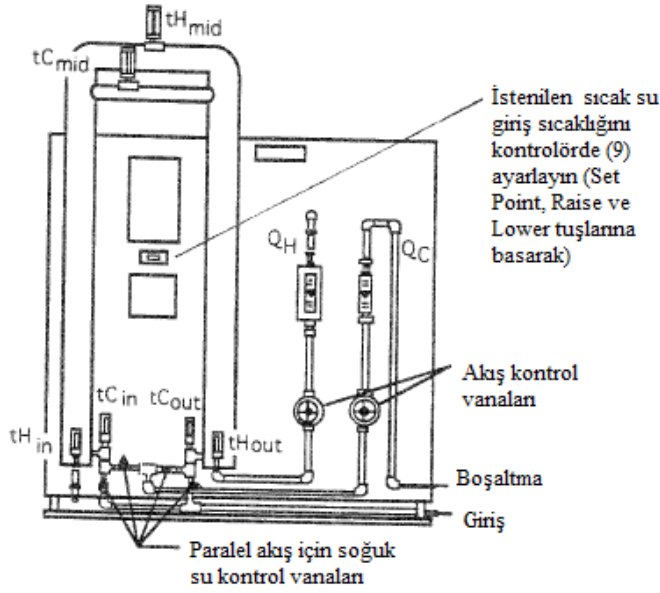
Çalıştırmadan önce su pompasının iki tarafında bulunan servis vanalarının açık olduğundan emin olun (yuvalar boru ile paralel olur).

- Su tankındaki boşaltma vanasının (24) tamamen kapalı olduğu kontrol edilir (saat yönünde çevirin).
- Pompa boşaltmanın üstündeki boşaltma musluğunun (25) tamamen kapalı olduğu kontrol edilir.
- Soğuk su akış kontrol vanasının altındaki boşaltma musluğunun (26) tamamen kapalı olduğu kontrol edilir.
- Isı değiştiricinin üstündeki hava boşaltma vanası (11) kapatılır.
- Su depolama tankının kapağı (7) açılır ve üstten 7,5 cm kalacak şekilde temiz su doldurulur.
- Sıcak su kontrol vanası (18) kapatılır.
- Soğuk su girişinin (21) soğuk su kaynağına (cihazla gelen esnek hortum kullanılarak) bağlı olduğu kontrol edilir.
- Su pompası motorunun üstündeki seçici anahtarın (6) maksimuma ayarlandığı kontrol edilir.

- Güç kablosunun uygun güç kaynağına bağlı olduğu ve kaynağın açık olduğu kontrol edilir.
- HT4'ün arkasındaki RCCD (28) çalıştırılır. TEST düğmesine basılır ve anahtarın devreden çıktığından emin olunur. Böylece RCDD'nin kapanması gerekir. Eğer RCCD devreden çıkmıyorsa, cihaz kullanılmadan önce yetkili elektrik teknisyeni tarafından kontrol edilir. RCCD çalıştırılır.
- Ana yalıtıcı (27) ve HT4'ün arkasındaki iki devre kesicisi (29-30) çalıştırılır. Sıcaklık kontrolörü ışıklandırılır ve su pompası çalışır. Su pompasının suyu by-pass üzerinden geçirmeye başlamasına kadar ana yalıtıcı birkaç kez açılıp kapatılmalıdır.
- Çalışma noktasını (set point) görmek için kontrolörün solundaki “set point membrane” tuşuna basılır. “Set point” tuşuna basılırken “LOWER” tuşuna basılarak sıcaklık ortam sıcaklığının altına düşürülür (ısıtıcılar kapanır).
- Sıcak su akış kontrol vanası (18) ve sıcak su devresi üstündeki boşaltım vanası (11) açılır. Sıcak su akış kontrol vanasını (18) sürekli açıp kapayarak borulardan su geçmesi sağlanır. Boşaltım vanasından (11) su geçer geçmez vana kapatılır.
- Eğer yukarıdaki teknikle su pompası işlemezse, pompadaki boşaltma çeşmesine (25) bir hortum bağlayıp ucu tanka uzatılır ve su boşaltılır. Pompadan su geçene kadar, boşaltım vanası açık tutulur (pompa çalışırken). Pompa işlemeye başlayınca boşaltım vanası kapatılır ve hortum çıkarılır.
- Su tankında yeterli su olduğu kontrol edilir ve kapağı kapatılır.
- Sıcak su akış kontrol vanası, akış ölçerde (19) orta değer okuyacak şekilde ayarlanır.
- Seçme vanaları (16) Co-current durumuna getirilir. Akış yatışkın olana kadar suyun ısı değiştiriciden akması sağlanır. Ardından, soğuk su akış kontrol vanası (20) akış ölçerde (23) orta değer okunacak şekilde ayarlanır.
- Sıcaklık kontrolörünün çalışma sıcaklığı (set point) uygun membran tuşlara (set point tuşuna basılırken, Raise/Lower tuşlarına istenilen sıcaklığa gelene kadar basılır) basılarak yükseltilir (ör: 50 °C). Su sıcaklığı artarak bir süre sonra istenilen dereceye ulaşır  $\pm 1$  °C toleransla sabit kalacaktır.
- Çalıştırma işlemi böylece sona erer.

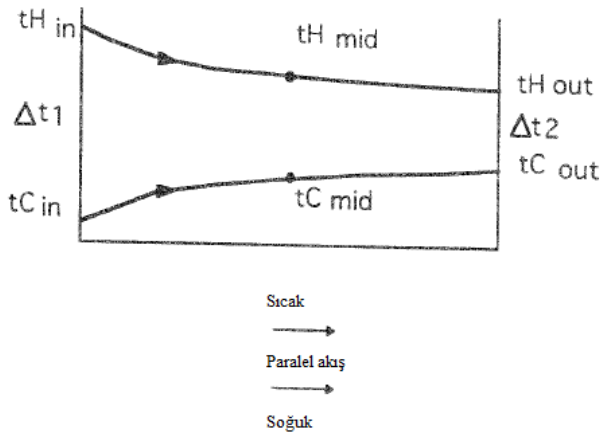
## DENEY A: Paralel akış şartlarında cihazın çalışma prensiplerinin gösterilmesi.

Deney düzeneği Şekil 7'deki gibidir.



Şekil 7. Paralel akış deney düzeneği

### Hesaplamalar ve Sonuçlar:



Şekil 8. Paralel akış için sıcaklık değişim grafiği

$$\text{Sıcak akışkanın kaybettiği } 1S_1 = q_h = Q_H \rho_H C_{pH} (t_{H,in} - t_{H,out})$$

$$\text{Soğuk akışkanın kazandığı } 1S_1 = q_c = Q_C \rho_C C_{pC} (t_{C,in} - t_{C,out})$$

$$1S_1 \text{ kaybı} = q_h - q_c$$

$$\text{Verimlilik} = \eta = \frac{q_c}{q_h} * 100$$

$$\text{Log Ortalama Sıcaklık Farkı } \Delta t_m = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\log_e \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}}$$

$$\text{Isı transfer katsayısı (U)} = \frac{q_c}{\text{Isı iletim alanı} * \Delta t_m}$$

### Değişkenlerin başlangıç değerleri:

Kontrollü su sıcaklığı = 60 °C

Sıcak su akış oranı =  $Q_H = 2000 \text{ cc/min}$

Soğuk su akış oranı =  $Q_C = 1000 \text{ cc/min}$

### Alınacak ölçümler:

Ölçümler alınmadan, sistemdeki sıcak ve soğuk suyun giriş, çıkış ve orta noktalarda normal şartlara ulaşması gereklidir.

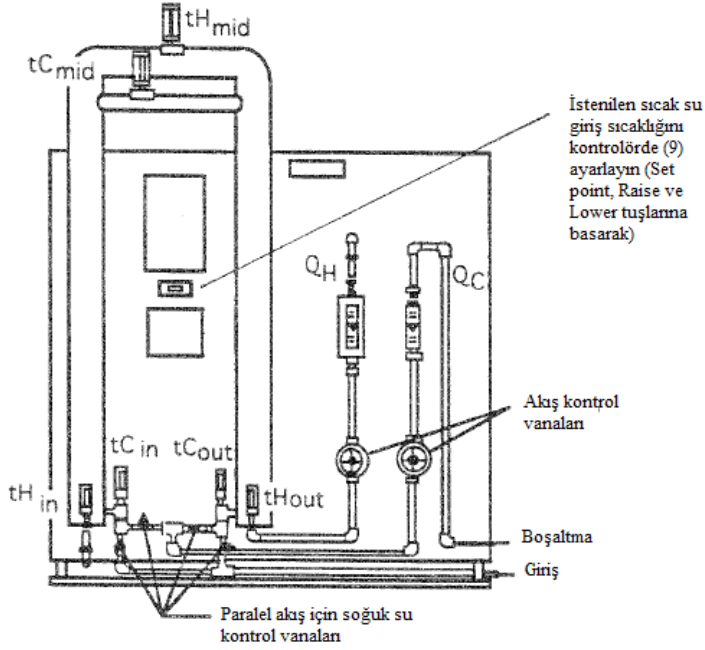
### Sonuçlar:

Ölçümler	$t_{h,in}$ (°C)	$t_{h,mid}$ (°C)	$t_{h,out}$ (°C)	$t_{c,in}$ (°C)	$t_{c,mid}$ (°C)	$t_{c,out}$ (°C)
1						
2						
3						
4						
5						

Hesaplar	$q_h$ (W)	$q_c$ (W)	Güç kaybı (W)	Verimlilik %	$\Delta t_m$ (°C)	U (W/m <sup>2</sup> *°C)
1						
2						
3						
4						
5						

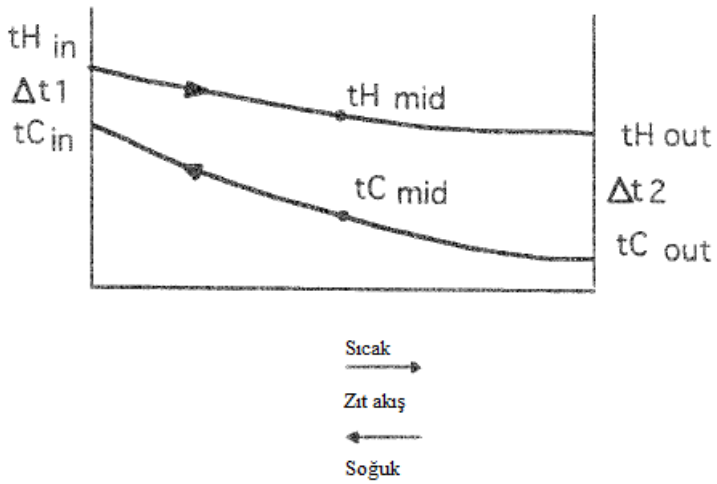
## DENEY B: Ters yönlü (zıt) akış şartlarında cihazın çalışma prensiplerinin gösterilmesi.

Deney düzeneği Şekil 9'daki gibidir.



Şekil 9. Zıt akış deney düzeneği

### Hesaplamalar ve Sonuçlar:



Şekil 10. Zıt akış için sıcaklık değişim grafiği

$$\text{Sıcak akışkanın kaybettiği } \dot{Q}_h = \dot{Q}_h \rho_H C_{pH} (t_{H,in} - t_{H,out})$$

$$\text{Soğuk akışkanın kazandığı } \dot{Q}_c = \dot{Q}_c \rho_C C_{pC} (t_{C,in} - t_{C,out})$$

$$\text{Isı kaybı} = \dot{Q}_h - \dot{Q}_c$$



$$\text{Verimlilik} = \eta = \frac{q_c}{q_h} * 100$$

$$\text{Log Ortalama Sıcaklık Farkı } \Delta t_m = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\log_e \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}}$$

$$\text{Isı transfer katsayısı (U)} = \frac{q_c}{\text{Isı iletim alanı} * \Delta t_m}$$

### Değişkenlerin başlangıç değerleri:

Kontrollü su sıcaklığı = 60 °C

Sıcak su akış oranı =  $Q_H = 2000 \text{ cc/min}$

Soğuk su akış oranı =  $Q_C = 1000 \text{ cc/min}$

### Alınacak ölçümler:

Ölçümler alınmadan, sistemdeki sıcak ve soğuk suyun giriş, çıkış ve orta noktalarda normal şartlara ulaşması gereklidir.

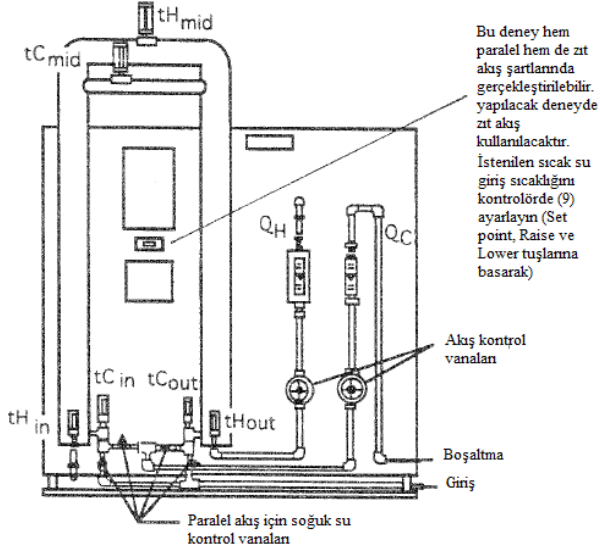
### Sonuçlar:

Ölçümler	$t_{h,in}$ (°C)	$t_{h,mid}$ (°C)	$t_{h,out}$ (°C)	$t_{c,in}$ (°C)	$t_{c,mid}$ (°C)	$t_{c,out}$ (°C)
1						
2						
3						
4						
5						

Hesaplar	$q_h$ (W)	$q_c$ (W)	Güç kaybı (W)	Verimlilik %	$\Delta t_m$ (°C)	U (W/m <sup>2</sup> *°C)
1						
2						
3						
4						
5						

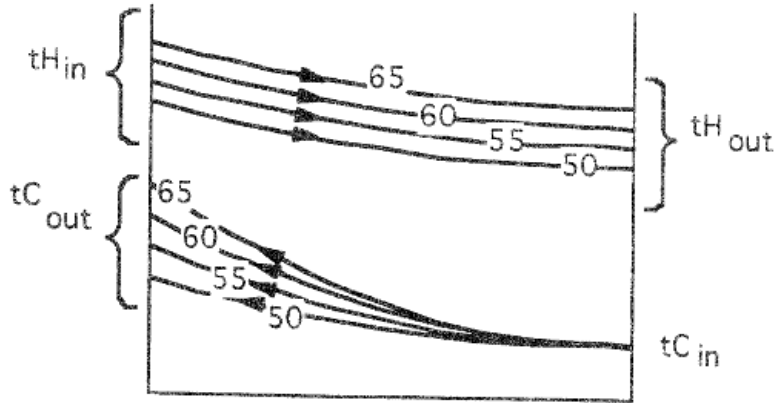
### DENEY C: Ters yönlü akış şartlarında konsantrik tüp ısı değiştiricide ısı aktarımının belirlenmesi

Deney düzeneği Şekil 11'deki gibidir.



Şekil 11. Zıt akışta sıcaklık değişiminin ısı değiştiriciye etkisinin incelenmesi deney düzeneği

### Hesaplamalar ve Sonuçlar:



Şekil 11. Zıt akışta sıcaklık değişim grafiği

### Isı değiştiricinin sıcaklık verimliliği:

a) Soğuk ortamda:  $\eta_c = \frac{t_{c,out} - t_{c,in}}{t_{h,in} - t_{c,in}} * 100$

b) Sıcak ortamlarda:  $\eta_h = \frac{t_{h,in} - t_{h,out}}{t_{h,in} - t_{c,in}} * 100$

c) Ortalama sıcaklık verimliliği:  $\eta_{mean} = \frac{\eta_c - \eta_h}{2}$

Sıcaklık verimliliği, cihazdaki ısı transferinin bir göstergesidir. Buna göre verimlilik, sonsuz yüzey genişliğinde, maksimum ısı transferinin yüzdesini verir.

### Değişkenlerin başlangıç değerleri:

Sıcak su akış oranı =  $Q_H = 2000$  cc/min

Soğuk su akış oranı =  $Q_C = 2000$  cc/min

### Alınacak ölçümler:

Ölçümler alınmadan, sistemdeki su sıcaklığının ayarlanan değerlere gelmesi ve sabitlenmesi gereklidir.

### Sonuçlar:

Ölçümler	Ayarlanan sıcaklık (°C)	$t_{h,in}$ (°C)	$t_{h,mid}$ (°C)	$t_{h,out}$ (°C)	$t_{c,in}$ (°C)	$t_{c,mid}$ (°C)	$t_{c,out}$ (°C)
1	50						
2	55						
3	60						
4	65						

Hesaplar	Ayarlanan sıcaklık (°C)	$q_h$ (W)	$q_c$ (W)	Güç kaybı (W)	Verimlilik %	$\Delta t_m$ (°C)	U (W/m <sup>2</sup> *°C)	$\eta_c$ %	$\eta_h$ %	$\eta_{mean}$ %
1	50									
2	55									
3	60									
4	65									

### DEĞERLENDİRME VE YORUM

Öğrenci yapmış olduğu deney ve bulduğu sonuçlar ışığında bir değerlendirme ve yorum yapar.

1. Isı değiştirici nedir? Hangi prensipte çalışır? Kaç tiptir?
2. Endüstride ısı değiştiricisi hangi alanlarda kullanılmakta ve en çok hangi tip ısı değiştiricisi tercih edilmektedir?
3. Isı değiştiricisi tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlar nelerdir?
4. Isı değiştiricisi hesaplamalarında kullanılan katsayılar nelerdir?
5. Bir silindir için ısı transfer katsayısı hangi eşitliklerden hesaplanabilir? Bulduğunuz eşitliği Donohue eşitliği ile karşılaştırınız.
6. Bir ısı değiştiricisinde toplam ısı transfer katsayısı nelere bağımlı olarak değişir?
7. Kirlenme, ısı değiştiricilerde ısı transferini nasıl etkiler? Hangi yöntemlerle önlem alınabilir?
8. Bir boru içindeki ısı transferi hangi metotla hesaplanır? Açıklayınız.

## KAYNAKLAR

[1] Armfield HT4 Engineering Teaching and Research Equipment Instruction Manual, UK, 1995.

[2] Anadolu Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Kimya Mühendisliği Laboratuvarı, ift Borulu ve Plakalı Isı Değiştiriciler Deney Föyü.

[3] Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Paralel-Zıt Akışlı Isı Değiştiricisi Deney Föyü.

[4] Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Isı Değiştirici Deney Föyü.

[5] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, MEGEP, Kimya Teknolojisi, Borulu Isı Değiştiriciler, Ankara, 2008.

Çizelge 1. Su için özgül ısı değerleri ( $C_p = \text{kJ/kg}\cdot\text{K}$ )

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	4.1274	4.2138	4.2104	4.2074	4.2045	4.2019	4.1996	4.1974	4.1954	4.1936
10	4.1919	4.1904	4.1890	4.1877	4.1866	4.1855	4.1846	4.1837	4.1829	4.1822
20	4.1816	4.1810	4.1805	4.1801	4.1797	4.1793	4.1790	4.1787	4.1785	4.1783
30	4.1782	4.1781	4.1780	4.1780	4.1779	4.1779	4.1780	4.1780	4.1781	4.1782
40	4.1783	4.1784	4.1786	4.1788	4.1789	4.1792	4.1794	4.1796	4.1799	4.1801
50	4.1804	4.1807	4.1811	4.1814	4.1817	4.1821	4.1825	4.1829	4.1833	4.1837
60	4.1841	4.1846	4.1850	4.1855	4.1860	4.1865	4.1871	4.1876	4.1882	4.1887
70	4.1893	4.1899	4.1905	4.1912	4.1918	4.1925	4.1932	4.1939	4.1946	4.1954

Çizelge 2. Su için yoğunluk değerleri ( $\rho=\text{kg/m}^3$ )

°C	0	2	4	6	8
0	999.8	999.9	999.9	999.9	999.9
10	999.7	999.5	999.2	998.9	998.6
20	998.2	997.8	997.3	996.8	996.2
30	995.7	995.0	994.4	993.7	993.0
40	992.2	991.4	990.6	989.8	988.9
50	988.0	987.1	986.2	985.2	984.2
60	983.2	982.2	981.1	980.0	978.9
70	977.8	976.6	975.4	974.2	973.0

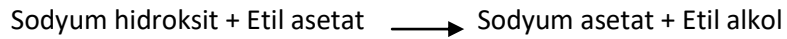
## DENEY NO:4 SIVI FAZ KİMYASAL REAKTÖR

### DENEYİN AMACI

- 1- Tam karıştırmalı kesikli reaktörde etil asetatın seyreltik sodyum hidroksit ile sabunlaşma reaksiyonu için reaksiyon hız sabiti değerini bulmak.
- 2- Tam karıştırmalı sürekli reaktörde etil asetatın seyreltik sodyum hidroksit ile sabunlaşma reaksiyonu için reaksiyon hız sabiti değerini bulmak.

### KURAMSAL TEMELLER

Etil asetatın sodyum hidroksitle gerçekleştirdiği sabunlaşma reaksiyonu izotermal işlem için seçilen bir reaksiyondur. Reaksiyon denklemi aşağıdaki gibidir:



Reaksiyona giren maddelerin başlangıç derişimleri (a) eşit olduğu ve t zaman sonra harcanan reaktant derişiminin X olduğu varsayımı yapılırsa, t zaman sonundaki konsantrasyonlar aşağıdaki gibi olur:



İkinci dereceden bir reaksiyonun kinetik analizinden reaksiyon hız sabiti değeri için aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$k_2 t = \frac{X}{a(a-X)}$$

Burada;

$k_2$ = İkinci dereceden reaksiyon sabiti

t= reaksiyon süresi

Sürekli bir reaktörde genel kütle denklığı ise aşağıdaki şekilde gösterilir:

Reaktördeki bileşenin değişim hızı = Giren – Çıkan + Birikim

Örneğin, (V) hacimli bir reaktörde (A) bileşeni için hız denklığı yazılırsa;

$$\frac{d(VC_A)}{dt} = FC_A^0 - FC_A - Vk_2C_A^2$$

Yatışkın durumda sabit hacimli sürekli reaktörde gerçekleşen tepkime için reaksiyon hız sabiti aşağıdaki denklik ile bulunabilir:

$$k_2 = \frac{F(C_A^0 - C_A)}{VC_A^2}$$

Burada,

$C_A^0$  = A bileşeninin başlangıç derişimi

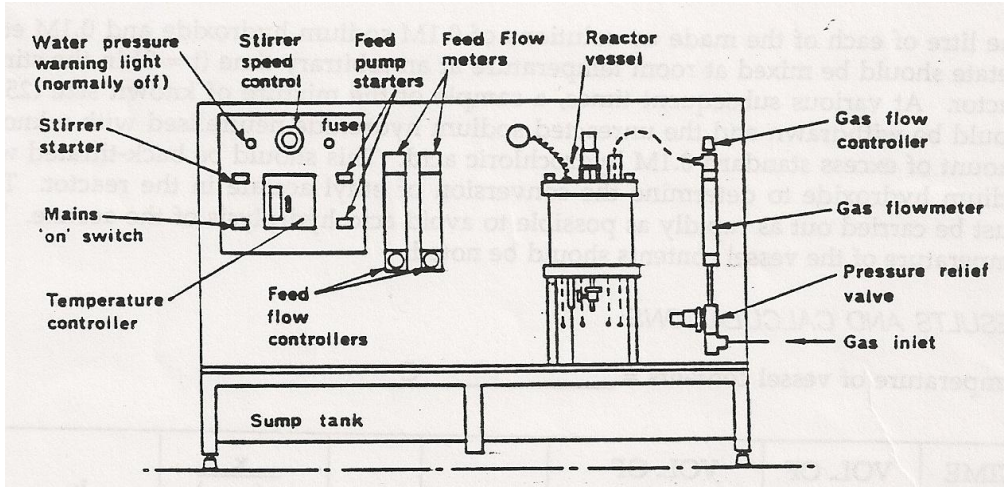
$C_A$  = A bileşeninin çıkış derişimi

F = Toplam akış hızı

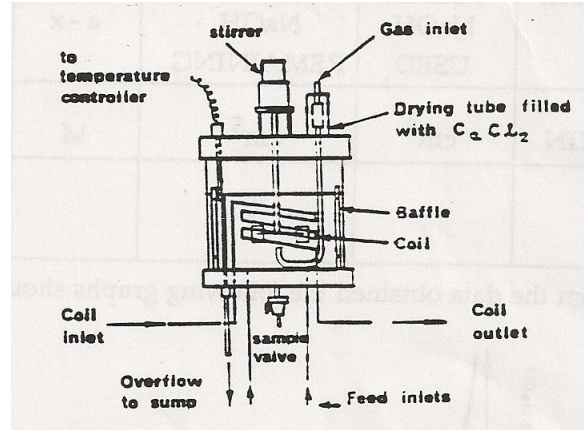
T= Reaksiyon süresi

$k_2$ = Reaksiyon hız sabiti

## DENEY DÜZENEGİ



Şekil1: Reaktör'ün reaksiyon servis ünitesine bağlantısı



Şekil2: Reaktör

## DENEYİN YAPILIŞI

### Deney1:

- 1- İlk olarak oda sıcaklığında,  $t=0$  anında tam karıştırmalı reaktöre 0.1M sodyum hidroksit ve 0.1M etil asetat çözeltilerinin her birinden 1 litre konur.
- 2- Belirli zaman aralıklarında karışımdan bilinen miktarlarda (25ml) örnekler alınır.
- 3- Reaksiyona girmeyen sodyum hidroksit 0.1M aşırı hidroklorik asit ile nötralize edilir.



- 4- Reaktördeki etil asetat dönüşümüne karar vermek amacıyla hidroklorik asitin aşırısı sodyum hidroksit ile geri titre edilmelidir.
- 5- Asetatın asit hidrolizini engellemek için bu işlem mümkün olduğunca çabuk yapılmalıdır.
- 6- Reaktör sıcaklığı not edilmedir.

### Deney2:

- 1- İlk olarak tam karıştırmalı reaktörün her iki akış kontrol vanası, 0.1 M sodyum hidroksit ve 0.1M etil asetat çözeltilerinin her birinden 40ml/dk akış hızında besleme olacak şekilde ayarlanır.
- 2- Belirli zaman aralıklarında karışımdan bilinen miktarlarda (25ml) örnekler alınır.
- 3- Reaksiyona girmeyen sodyum hidroksit 0.1M aşırı hidroklorik asit ile nötralize edilir.
- 4- Reaktördeki etil asetat dönüşümüne karar vermek amacıyla hidroklorik asitin aşırısı sodyum hidroksit ile geri titre edilmelidir.
- 5- Asetatın asit hidrolizini engellemek için bu işlem mümkün olduğunca çabuk yapılmalıdır.
- 6- Reaktör sıcaklığı not edilmedir.

### HESAPLAMALAR VE SONUÇLAR

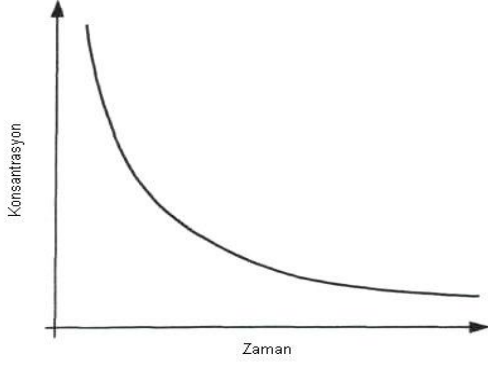
#### Deney1:

Reaktör sıcaklığı: \_\_\_\_\_ °C

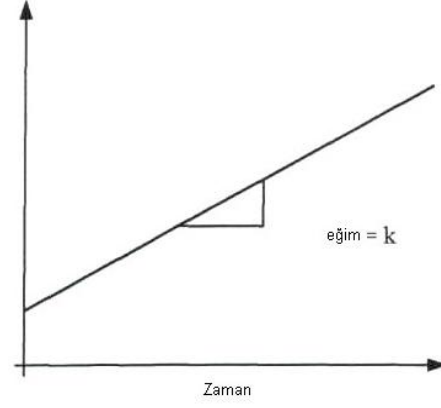
ZAMAN dk	KULLANILAN NaOH HACMİ cm <sup>3</sup>	KALAN NaOH HACMİ, cm <sup>3</sup>	a-x M	x M	$\frac{x}{a(a-x)}$	k <sub>1</sub> M <sup>-1</sup> dk <sup>-1</sup>

Elde edilen datalardan yararlanılarak aşağıdaki grafikleri çiziniz:

$$x/a(a-x)$$



Şekil3: NaOH konsantrasyonunun zamanla değişim grafiği



Şekil4:  $x/a(a-x)$  ifadesinin zamanla değişimi

**Deney2:**

Reaktör sıcaklığı: : \_\_\_\_\_ °C

Toplam akış hızı : \_\_\_\_\_ ml/dk

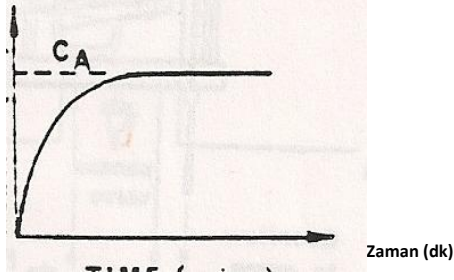
Reaktör hacmi : \_\_\_\_\_ ml

Giriş konsantrasyonu: \_\_\_\_\_ M

Zaman dk	Kullanılan NaOH Hacmi, cm <sup>3</sup>	Artan NaOH Hacmi, cm <sup>3</sup>	Reaktörde NaOH Konsantrasyonu, M

Elde edilen deneysel verilerden yararlanarak aşağıdaki grafiği oluşturunuz:

NaOH'in reaktördeki derişimi, M



Şekil: NaOH derişiminin zamanla değişimi

Bu grafikten yararlanara, yatışkın hal için reaktördeki NaOH derişimi saptanır ve bu değer reaksiyon hız sabitinin ( $k_2$ ) hesaplanmasında kullanılır.

### TARTIşMA VE YORUM

- 1- Reaksiyon hızı ve reaksiyon hız sabitini açıklayınız. Reaksiyon hızını ve reaksiyon hız sabitini etkileyen parametreleri açıklayınız.
- 2- Kesikli ve sürekli reaktör nedir? Çalışma prensiplerini açıklayınız.
- 3- Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen grafikleri yorumlayınız.

### KAYNAKLAR

- 1- CONNORS C.A., *“Chemical Kinetics : The Study of Reaction Rates in Solution”*, VCH, New York (1990).
- 2- FOGLER H.S., *“Elements of Chemical Reaction Engineering”*, 2nd ed, Prentice-Hall International (1992).
- 3- LEVENSPIEL O., *“Chemical Reaction Engineering”*, J. Wiley Press, New York (1999).

## DENY NO:5 HAVALANDIRMA

### DENEYİN AMACI

**Deney 1:** Değişken koşullarda oksijen transferi gerçekleştirilecektir.

**Deney 2:** Karıştırmanın, absorpsiyon katsayısı ( $K_s$ ) ve sistemin oksijen kapasitesi ( $R$ ) üzerinde etkisinin bulunması amaçlanır.

### KURAMSAL TEMELLER

Sistemin oksijen kapasitesini bulmak için iki metot kullanılır:

1. Değişken durum metodu
2. Yatışkın durum metodu

Yatışkın durum metodu tankta kalmış artıkların havalandırılması için daha iyidir. Fakat değişken durum metodu daha iyi performans alınabilen ve daha gerçekçi bir metottur.

Atmosferde sıvılarla temasta bulunan gazlar çözünerek sıvıların içine geçerler; bu geçiş eşitlik sağlanana dek sürer. Bu eşitlik noktası  $K$  (ya da  $K_s$ ) emme katsayısının bulunması ile bulunabilir. Bu aşağıdaki eşitlikle gösterilebilir:

$$\frac{\ln D_1 - \ln D_2}{t_2 - t_1} = 2.303 \frac{\log D_1 - \log D_2}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

Burada  $D_1$  ve  $D_2$  değerleri  $t_2$  ve  $t_1$  zamanlarında okunan oksijen konsantrasyonlarıdır ve birimi  $\text{mg/l}$ 'dir.

Sistemin oksijenlenme kapasitesi,  $10^\circ\text{C}$ 'deki tamamen oksijensiz suyun havalandırma sırasındaki oksijen absorpsiyon hızı olarak tanımlanır ve aşağıdaki eşitlik ile gösterilmiştir.

$$R_{(10)} = KFC_{(10)}V \quad \text{gram/saat} \quad (2)$$

Burada  $F$  sıcaklık düzeltme faktörü (Tablo 2),  $C$  doygunluk konsantrasyonu,  $V$  suyun hacmidir.

## DENEYSEL YÖNTEM

1. Aşağıdaki çözeltiyi hazırlayın.
  - a. %10 sodyum sülfid çözeltisini ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) 100 g tuzu damıtılmış suda çözün ve 1 lt'ye tamamlayın.
  - b. %1'lik  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  çözeltisini, 10 g tuzu damıtılmış suda çözün ve 1 lt'ye tamamlayın.
2. Kapları istenilen seviyeye kadar musluk suyu ile doldurun. 20 lt yeterli olacaktır.
3. Diffüzer ve oksijen elektrotlarını istenilen pozisyonda yerleştirin.
4. Karıştırıcıyı çalıştırın. Kaplara her litre için 1.5 ml sodyum sülfid ekleyin. Daha sonra, kobalt klorür çözeltisinden her litre için 0.5 ml ekleyin. Bu miktarlar suyun oksijenin açığa çıkmasında etkili olacaktır. Çözünmüş oksijen seviyesini ölçün; bu, doygunluk değerinin %10'undan daha az olduğunu kontrol etmek içindir. Gerekirse, seviyeyi neredeyse sıfır yapmak için her çözeltiden biraz daha ekleyin.
5. Havalandırma işlemi başlatın ve istenen değere ayarlayın (örneğin dakikada 5 litre şeklinde olabilir).
6. Kapların içindekiler yeterince karışınca, karıştırıcıların hızını azaltın.

**NOT:** Hava kabarcıklarının elektrot ile temas etmeyecek şekilde, difüzer ve oksijen elektrotunun yerleştirildiğine emin olun. Aksi takdirde yanlış değerler okumanıza neden olacaktır.

7. Hava akışı istenilen orana ulaşip sabitleşince oksijen seviyesi doyma noktasına ulaşmaya kadar her 2 dakikada bir değerleri okuyun. Bu, deney şartlarına bağlı olarak 10 ile 30 dakika arası sürebilir.
8. Her okumada sıcaklığı da ölçün. Sonraki hesaplamalarda ortalama sıcaklık kullanılacaktır.

Zaman (dak.)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
O <sub>2</sub> (mg/l)																
Sıcaklık (°C)																

## HESAPLAMALAR

$$\text{Absorpsiyon katsayısı } K = 2.303 \frac{\log D_1 - \log D_2}{t_2 - t_1}$$

$$\text{Oksijenlenme kapasitesi } R_{(10)} = KFC_{(10)}V = 2.303 FC_{s(10)}V \frac{\log D_1 - \log D_2}{t_2 - t_1}$$

Log Dt'ye karşılık t değerleri ile bir grafik oluşturulduğunda, doğrunun eğimi  $\frac{\log D_1 - \log D_2}{t_2 - t_1}$  değerini verir. Dt ölçülen oksijen konsantrasyonu olan Ct'den deney sırasındaki sıcaklıktaki doygunluk değeri Cs'nin çıkarılması ile hesaplanır. Buna göre;

- Her okuma için, gözlenen değer olan Ct'den deney sıcaklığındaki Cs değerini çıkararak Dt değerlerini hesaplanır.
- Logaritmik skalada Dt'ye karşılık t(aritmetik skalada) grafiği çizilir.
- İşaretlenen noktalarla bir doğru çizilir. Bu doğrunun eğimi ölçülür.
- Eğim 2.303'e bölünerek Ks hesaplanır.
- Yukarıda verilen denklemler kullanılarak  $R_{(10)}$  oksijenlenme kapasitesi hesaplanır.

## TARTIŞMA

- $K_s$  ve R değerlerinin hangi faktörlerden etkilendiğini tartışın.
- Oksijen transferi için kullanılan en etkili cihaz/ekipman nedir?

## DENEY 2

## DENEYSEL YÖNTEM

Deney 1, karıştırıcıların farklı hızlarda çalıştırılması ile tekrarlanır ve sonuçlar tek tek not edilir.

Yavaş hızda:

Zaman (dak.)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
O <sub>2</sub> (mg/l)																
Sıcaklık (°C)																

Orta hızda:

Zaman (dak.)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
O <sub>2</sub> (mg/l)																
Sıcaklık (°C)																

Yüksek hızda:

Zaman (dak.)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
O <sub>2</sub> (mg/l)																
Sıcaklık (°C)																

## HESAPLAMALAR VE SONUÇLAR

- Absorpsiyon katsayısı  $K = 2.303 \frac{\log D_1 - \log D_2}{t_2 - t_1}$
- Oksijenlenme kapasitesi  $R_{(10)} = KFC_{(10)}V = 2.303 FC_{s(10)}V \frac{\log D_1 - \log D_2}{t_2 - t_1}$

Log  $D_t$ 'ye karşılık t değerleri ile bir grafik oluşturulduğunda, doğrunun eğimi  $\frac{\log D_1 - \log D_2}{t_2 - t_1}$  değerini verir.  $D_t$  ölçülen oksijen konsantrasyonu olan  $C_t$ 'den deney sırasındaki sıcaklıktaki doygunluk değeri  $C_s$ 'nin çıkarılması ile hesaplanır. Buna göre;

- Her okuma için, gözlenen değer olan  $C_t$ 'den deney sıcaklığındaki  $C_s$  değerini çıkararak  $D_t$  değerlerini hesaplanır.

- Logaritmik skalada  $D_t$ 'ye karşılık  $t$ (aritmetik skalada) grafiği çizilir.
- İşaretlenen noktalarla bir doğru çizilir. Bu doğrunun eğimi ölçülür.
- Eğim 2.303'e bölünerek  $K$  hesaplanır.
- Yukarıda verilen denklemler kullanılarak  $R_{(10)}$  oksijenlenme kapasitesi hesaplanır.

### **TARTIŞMA**

- Karıştırma hızlarının  $K$  ve  $R$  değerleri üzerindeki etkilerini tartışın. Oksijenlenme kapasitesi  $R$ 'ye karşı değişen karıştırma hızlarının grafiğini çizin ve mümkünse bir matematiksel ifade çıkarın.

### **KAYNAK**

Armfield W10 Engineering Teaching and Research Equipment Instruction Manual, UK, 1995.



## DENEY NO: 6 SABİT VE AKIŞKAN YATAK

### DENEYİN AMACI

Sabit ve akışkan yatak boyunca basınç düşüşünün belirlenmesi, Kozeny-Carman Eşitliği'ni ispatlanması ve akışkanlaşma başlangıcının gözlenmesidir.

### KURAMSAL TEMELLER

Bir kolon içinde yığılı durumda bulunan taneciklerin oluşturduğu yatak bölgesine alttan düşük bir hızla hava verilmeye başlandığında, öncelikle düşük hava hızında hava tanecikler üzerinde fazla kuvvet uygulayamaz ve tanecikler arasında kendine boşluklar bularak yukarı hareket eder. Bu durum taneciklerin hareket etmediği sabit yatak konumudur. Bu durumda basınç Ergun denklemi ile hesaplanır.

$$\frac{\Delta P}{L} \cdot \frac{D_p}{\rho(V_{SM})^2} \cdot \frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)} = 150 \frac{(1-\epsilon)}{Re} + 1.75$$

$D_p$  = Eşdeğer partikül boyutu ( $\mu$ )

$L$  = Yatak yüksekliği (m)

$\mu_w$  = Suyun viskozitesi ( $10^{-3}$  Nsm<sup>-2</sup>)

$\nu_w$  = Suyun kinematik viskozitesi ( $10^{-6}$  Nsm<sup>-2</sup>)

$\rho_w$  = Suyun yoğunluğu (kgm<sup>-3</sup>)

$\rho_s$  = Taneciklerin yoğunluğu (kgm<sup>-3</sup>)

$\epsilon$  = Yatak boşluğu =  $1 - \frac{\text{Taneciklerin Kütlesi}}{\text{Taneciklerin yoğunluğu} \times \text{Toplam yatak hacmi}}$

$Re$  =  $D_p \cdot V_{SM} \cdot \rho_w / \mu_w$ , boş kule hızına dayalı Reynolds sayısı

$V_{SM}$  = Boş kule hızı

Düşük Re değerlerinde ( $Re/(1-\epsilon) < 10$ ) viskoz kuvvetler daha önemli olduğundan Ergun Denklemi;

$$\frac{\Delta P}{L} \cdot \frac{D_p}{\rho(V_{SM})^2} \cdot \frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)} = 150 \frac{(1-\epsilon)}{Re}$$

Şeklinde yazılabilir. Bu denklem Kozeny-Carman denklemi olarak adlandırılır. Yüksek Re değerlerinde ( $Re/1-\epsilon > 1000$ ) ise viskoz kuvvetler ihmal edilebilir ve atalet kuvvetleri baskın olduğundan Ergun Denklemi;

$$\frac{\Delta P}{L} \cdot \frac{D_p}{\rho(V_{SM})^2} \cdot \frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)} = 1.75$$

Şeklinde yazılır. Bu denklem de Blake-Plummer denklemi olarak adlandırılır. Akış hızı Q litre/saniye biriminde ve boş kule hızı  $V_{SM} \text{ ms}^{-1}$  biriminde ölçülürse,

$$V_{sm} = \frac{Q \times 10^{-3}}{A}$$

yazılabilir ve A, yatağın kesit alanıdır.

Yatak boyunca basınç düşüşü (h) mmH<sub>2</sub>O biriminde ölçülürse,

$$\frac{\Delta P}{\rho_w \cdot g} = h \times 10^{-3}$$

Şeklinde ve  $g = 9,81 \text{ Nm}^{-2}$ , dir.

Böylece aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$h = \left[ \frac{150L(1-\epsilon)^2 \cdot (V_{sm}) \cdot \mu_w}{D_p^2 \cdot \epsilon^3 \cdot \rho_w \cdot g} + \frac{1.75L \cdot (V_{sm})^2 (1-\epsilon)}{D_p \cdot \epsilon^3 \cdot g} \right] \times 10^{-3} \text{ mmH}_2\text{O}$$

Akışkanlaşma esnasında basınç düşüşü aşağıdaki eşitlik kullanılarak bulunabilir.

$$\Delta P = L(1-\epsilon)(\rho_s - \rho_w)g$$

$$h = L \frac{(1-\epsilon)}{\rho_w} (\rho_s - \rho_w) \times 10^3 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Akışkan yatakta hava kullanıldığı durumda ise basınç düşüşü(h) mmH<sub>2</sub>O biriminde ölçülürse;

$$\frac{\rho_a}{\rho_w} \cdot \frac{\Delta P}{\rho_w \cdot g} = h \times 10^{-3}$$

şeklinde ve  $g = 9,81 \text{ Nm}^{-2}$ , dir.

Böylece aşağıdaki eşitlik elde edilebilir:

$$h = \left[ \frac{150L(1-\varepsilon)^2 (V_{sm}) \mu_w}{D_p^2 \cdot \varepsilon^3 \cdot \rho_w \cdot g} + \frac{1.75L(V_{sm})^2 (1-\varepsilon)}{D_p \cdot \varepsilon^3 \cdot g} \right] \times 10^{-3} \text{ mmH}_2\text{O}$$

böylece;

$$h = \left[ \frac{150L(1-\varepsilon)^2 (V_{sm}) \mu_a}{D_p^2 \cdot \varepsilon^3 \cdot \rho_w \cdot g} + \frac{1.75L(V_{sm})^2 (1-\varepsilon) \rho_a}{D_p \cdot \varepsilon^3 \cdot \rho_w \cdot g} \right]$$

Akışkanlaşma esnasında basınç düşüşü aşağıdaki eşitlik kullanılarak elde edilebilir.

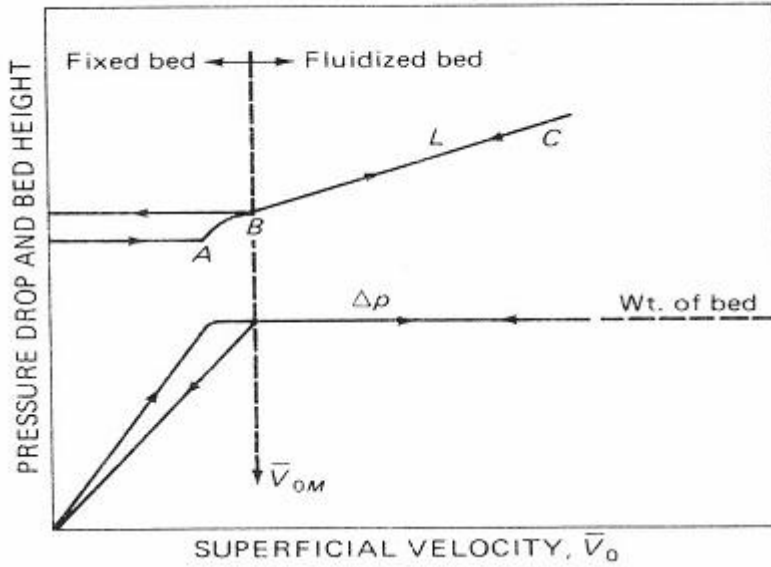
$$\Delta P = L(1-\varepsilon)(\rho_s - \rho_a)g$$

$$h = L \frac{(1-\varepsilon)}{\rho_w} (\rho_s - \rho_a) \times 10^3 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Akışkan hızı sürekli olarak arttırılırsa basınç düşüşü ve tanecikler üzerine uygulanan sürtünme kuvveti artar. Taneciklere daha fazla kuvvet uygulanarak tanecikler arasındaki yerçekiminden kaynaklanan kuvvetler azalır. Hız arttırıldığında (daha fazla), taneciklerin üzerindeki kaldırma kuvveti yerçekimini dengeleyerek, yukarı doğru akan havanın içinde taneciklerin asılı kalmalarını sağlar. Yatağı oluşturan tanecikler akışkan özellikleri sergilemeye başlarlar. Yatak içinde basınç düşüşünün, yatağın birim yüzeye düşen ağırlığına eşit olduğu ana “ yatağın akışkan hale gelme anı”, bu andaki hava hızına da “ Minimum akışkanlaşma hızı “ denilmektedir.

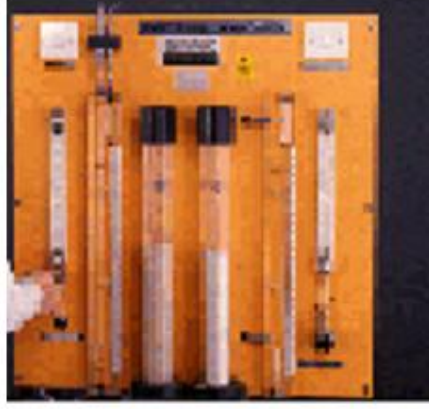
Hız, bu kritik değerın üzerine çıkacak biçimde arttırılırsa, yatak daha fazla akışa olanak verecek ölçüde kabarmaktadır. Verilen fazla akışkanın büyük bir bölümü, yatak arasından kabarcıklar halinde geçmektedir. Akış hızı, kritik hızın 3-5 katı arasında bir değere ulaştığında, sistem parçacıkların hızla birbirine karıştığı yüksek bir türbülant özellik kazanmaktadır. Bu durumda yatak, şiddetli kaynayan bir sıvı görünümündedir. Akışkan yatak denilen böyle bir yatak, bir sıvının bir çok özelliğini taşımaktadır. Örneğin yatak herhangi bir yöne eğilirse, yatak yüzeyi yatay konumunu korumaktadır. Değişik derinliklerde iki yatak birleştirilirse, iki yatak boyu eşit oluncaya kadar yüksek yataktan düşük yatağa, tanecik akımı sürer. Akışkan yatağı, herhangi bir noktadan açılarak deliklerden katı parçacıklar, gaz veya sıvı ortam gibi dışarıya akıtılarak boşalmaktadır. Sonuç olarak katı parçacıklara, böyle bir yatak içerisinde akışkan özellik kazandırılmasına "*Akışkanlaştırma*" denir. Dikey ve ince granül malzeme ile doldurulmuş dikey bir tüp göz önüne alınsın. Tüpün üst kısmı açıktır ve

tabanında granül malzemeyi destekleyen ve kesit alanı boyunca akışın homojen dağılmasını sağlayan poröz bir plaka vardır. Hava plakanın altından çok düşük bir hızla girmekte ve herhangi bir taneciği hareket ettirmeden yukarı doğru geçmektedir. Eğer tanecikler yeterince küçük ise, tanecikler arasındaki akış laminer olur ve yatak boyunca basınç düşüşü boş kule hızı ile doğru orantılı olur. Hız kademeli olarak arttırılırsa, basınç düşüşü de artar, ancak tanecikler hareket etmez ve yatak yüksekliği aynı kalır. En sonunda, yataktaki basınç düşüşü tanecikler üzerindeki veya yerçekimi kuvvetine veya yatağın ağırlığına eşit olur ve hızdaki herhangi bir artış taneciklerin hareket etmesine neden olur. Bu durum grafikte A ile gösterilmiştir. Bazı durumlarda yatak tanecikler hala temas halinde iken yavaşça genişler, sadece  $\epsilon$  değerindeki küçük bir artış boş kule hızındaki artışı dengeleyebilir ve basınç düşüşünü sabit tutar. Hızın daha da artmasıyla tanecikler hareket edecek kadar birbirinden ayrılır ve gerçek akıcılaşma başlar (B noktası). Yatak akışkanlaştıktan sonra, yatak boyunca basınç düşüşü sabit kalır ancak artan hızla birlikte yatak yüksekliği de artar. Akışkan yatağın hızı kademeli olarak düşürülürse, basınç düşüşü sabit kalır ve yatak yüksekliği düşer. BC doğrusu hızın arttırılması sonucunda gözlenmiştir.



**Şekil1.** Akışkan yatakta basınç düşüşü ve yatak yüksekliği

## DENEY DÜZENEĞİ ve YÖNTEMİ



Şekil 2. Deney düzeneği

- Test kolonunu 300mm'ye kadar kalın kum ile doldurulur.
- Su akış kontrol vanasını kapatılır.
- Manometreden okunan değerın sıfır olduğunu kontrol edin, eğer değilse, sıfır olacak şekilde ayarlanır.
- Su pompasını açılır.
- Suyun akış hızını 0,1 l/dk artışa ayarlanır.
- Yatak yüksekliğini, manometre okumasını ve yatağın durumunu kayıt edilir.
- Hava pompasını açılır.
- Havanın akış hızını 2.0 l/dk olacak şekilde ayarlanır.
- Yatak yüksekliğini, manometre okumasını ve yatağın durumunu kayıt edilir.
- Akış hızını 1.0 l/dk artış ile arttırın ve verileri tabloya geçirilir.
- Bütün deneyleri ince kum için tekrarlanır.
- Tanecik yoğunluğunu kumdan belirli miktarda tartım alarak belirlenir.

## HESAPLAMALAR VE SONUÇLAR

- ✓ Her deney seti için aşağıdaki tablo doldurulmalıdır.

Yatak Yüksekliği(mm)	Akış Hızı (l/dk)	Yatakta Basınç Düşmesi (mmH <sub>2</sub> O)	Yatak Durumu

- ✓ Her bir su akış hızı için basınç düşüşünü hesaplayınız.
- ✓ Her bir hava akış hızı için basınç düşüşünü hesaplayınız.
- ✓ Yataktaki hava ve su akışları için basınç düşüşünü deneysel verilerden elde edilen hava akış hızına karşı grafiğini çiziniz.
- ✓ İnce kum için tanecik çapını 267 mikro, kalın kum için tanecik çapını 485 mikron olarak alınız.

## DEĞERLENDİRME VE YORUM

- Tahmini akışkanlaşma noktası ile grafikten okunan gerçek akışkanlaşma noktasını karşılaştırınız.
- İki değer arasında farklılık varsa nedenlerini açıklayınız.
- Akışkan yatakların avantajlarını açıklayınız
- Akışkan yatakların kullanım alanlarını tercih edilme sebepleri ile birlikte açıklayın.
- Akışkan yatakta kullanılan akışkanın türüne göre taneciklerin hareketleri nasıl değişiklik göstererek? Açıklayınız.
- Kullanılan akışkan yatak türlerini sınıflandırarak açıklayınız?

- Akışkan yatak yüksekliği ile porozite arasındaki bağıntıyı açıklayarak formül ile ifade ediniz.

## KAYNAKLAR

- 1.DAUGHERTY L.R., *Fluid Mechanics for Engineering Applications*, Mc Graw-Hill (1989).
- 2.DE NEVERS N., *Fluid Mechanics for Chemical Engineering*, Mc Graw-Hill (1991).
- 3.GEANKOPLİS J. C., *Transport Processes and Unit Operations*, Prentice-Hall Inc., New Jersey, USA(1993).
- 4.McCABE L.W., SMITH C. J., HARRIOT P., *Unit Operations of Chemical Engineering*, McGraw-Hill, New York, USA(2001).
- 5.UYSAL Z.B., *Akışkanlar Mekaniği*, Ankara, Türkiye(2003).

## **DENEY NO: 7 BİLGİSAYAR KONTROLLÜ BORULARDA SÜRTÜNME KAYBI DENEYİ**

### **DENEYİN AMACI**

Sıkıştırılmayan bir akışkan olan suyun silindirik bir boru içerisinde akarken vanalar, dirsekler, ani daralma ve ani genişleme gibi elemanlar ile akış ölçerlerden ve pürüzlü borudan geçerken sürtünme nedeni ile oluşan enerji kayıplarının, basınç farkından yararlanılarak incelenmesi.

### **KURAMSAL TEMELLER**

Bir sistemde akan akışkan için üç tip akış vardır:

- Laminar akış
- Geçiş bölgesi
- Türbülant akış

Laminar Akış (katmanlı akış), akışkanın paralel katmanlar halinde aktığı düzgün akıştır. Katmanların düzlemsel ve katmanlardaki akışkan parçacıklarının hızlarının da aynı olması zorunlu değildir. Yatay ve düz bir boruda laminar akış hâlindeki bir akışkanın katmanlarındaki parçacıkların hızları aynıdır. Bu hız, “kritik hız” adı verilen değere ulaşıncaya akışın düzenliliği bozulur ve türbülant akış başlar. Türbülant akış hızın çok yüksek olduğu, edilerin oluştuğu, normal akış düzleminde sistemin her yönüne akış sapmalarının olduğu durumdur.

Akış türü Reynold sayısının ( $N_{Re}$ ) hesaplanmasıyla belirlenir.

$$Re = \frac{Dv\rho}{\mu}$$

Re, Reynolds Sayısı

$\rho$  , Sıvı Yoğunluğu

$v$  , Akışkanın Hızı

D , Boru Çapı

$\mu$  , Sıvının Viskozitesi



$Re < 2100$  ise akış laminar,  $Re > 4000$  ise akış türbülant olur. Arada kalan bölge geçiş bölgesi ( $2100 < Re < 4000$ ) olarak adlandırılır. Bu bölgede her iki akımdan da bahsedilebilir.

Sıkıştırılmayan akışkanların taşınması boru sistemleri önemli bir yer tutar. Akışkan yolu boyunca boru sisteminin kesiti veya bir referans noktasına nazaran yüksekliği değişebilir. Bir akım hattında iki nokta için mekanik enerji denkliği aşağıda verilen genel *Bernoulli denklemi* ile ve birim sistemine bağlı olarak çeşitli şekillerde ifade edilir.

$$\frac{g}{g_c} Z_1 + \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2g_c} - \eta W_p = \frac{g}{g_c} Z_2 + \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2g_c} + H_f \quad (\text{fps: ft.lbf/lbm, enerji/kütle})$$

SI sisteminde  $g_c$  değerleri 1 olarak alınır ve birim J/kg olur.

### ***Sürtünme Kayıpları***

Akış sırasında akışkanın maruz kaldığı sürtünme akışkanın mekanik enerjisinin azalması/kaybolmasının göstergesidir. Yani sürtünmeli akışta akış hatları boyunca basınç, kinetik enerji ve potansiyel enerji farklarının (head) toplamı sabit kalmaz ve akış yönünde azalma gösterir. Akış sürtünmesi, mekanik enerjinin akış hattında ısıya dönüşerek korunması şeklinde tanımlanır. Sürtünme kayıpları, birim kütle için olup her türlü sürtünmeden kaynaklanan mekanik enerjinin ( ısıya dönüşerek) korunumunu ifade eder.

Bir boru şebekesindeki sürtünme kayıpları iki gruba ayrılır;

- a) Toplam boru şebekesi boyunca viskoz kuvvetlerden ileri gelen kayıplar. ( Yüzey Sürtünmeleri)
- b) Boru şebekesindeki; vana, dirsek, bükülme gibi yerel etkilerden ileri gelen kayıplar. ( Biçim sürtünmeleri)

Toplam kayıplar bu gruplardaki kayıpların toplamı kadardır. Karmaşık bir devrede birbirine komşu elemanların karşılıklı olarak bir birilerini etkilemeleri nedeniyle toplam kayıp, ayrı ayrı her bir eleman için hesaplanmış kayıpların toplamından farklı olabilir.

### ***Laminar Akışta Basınç ve Sürtünme Kaybı***

Newtonian bir akışkan kararlı halde laminar olarak bir boruda akıyorsa bu durum için kayma gerilimi;

$$\tau_{rz} = -\mu \frac{dV_z}{dr}$$

Silindirik borularda laminar akış için türetilmiş Hogen-Poiseuille denkleminde

$\frac{(P_0 - P_L) \times D^2}{32\mu L}$  yararlanılarak basınç kaybı için aşağıdaki ifade yazılır.

$$\Delta P_f = (P_1 - P_2) = \frac{32\mu V(L_2 - L_1)}{D^2}$$

### ***Sürtünme Katsayısı ve Sürtünme Kaybı***

Fanning sürtünme katsayısı ve  $f$ , yüzeydeki kayma geriliminin  $1/2 PV^2$  ye oranı olarak ifade edilir. Kayma gerilimi de ıslak yüzey alanına uygulanan kuvvet olarak ifade edilirse;

$$f = \frac{\tau_s}{\rho \frac{V^2}{2}} = \frac{\Delta P_f \pi r^2}{2\pi R \Delta L} / \frac{PV^2}{2} \text{ olur.}$$

$$\Delta P_f = hfP \frac{\Delta L V^2}{D} \frac{1}{2}$$

$$F_f = \frac{\Delta P_f}{\rho} = 4f \frac{\Delta L V^2}{D} \frac{1}{2} \text{ olarak yazılır.}$$

Laminar akış için bu denklemler birleştirilirse;

$$f = \frac{16}{N_{Re}} = \frac{16}{\frac{DV\rho}{\mu}}$$

İkinci ve üçüncü denklem türbülant akım içinde geçerlidir. fakat türbülant akımda  $\varepsilon/D$  bulunur.  $\varepsilon$  borunun pürüzlülük faktörüdür. Borunun özelliğine göre  $\varepsilon/D$  bulunup  $f$  hesaplanır.

### ***Düz Boruda Sürtünme Kaybı***

Çapı (D) sabit kalan "L" uzunluğundaki düzgün bir boruda sürtünme kaybı aşağıdaki ifade ile bulunabilir.

$$h_L = 4f \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2}$$

Burada " f " sürtünme faktörü boyutsuz bir sabit olup değeri hem Reynolds sayısına hem de boru iç yüzeyindeki pürüzlülük miktarına (türbülent akımda) bağlıdır.

### ***Akış Kesitindeki Ani Değişmelerden İleri Gelen Kayıplar***

**a) Ani genişleme:** Ani genişleme dolayısıyla sürtünme kayıpları aşağıdaki ifade ile bulunabilir.

$$h_L = K_g \frac{(V_a - V_b)^2}{2} = \frac{1}{2} V_a^2 \left(1 - \frac{S_a}{S_b}\right)^2$$

**b) Ani Daralma:** Ani daralma dolayısıyla sürtünme kayıpları da ani genişleme de olduğu gibi aşağıdaki ifade ile bulunabilir.

$$h_L = K_d \frac{V_b^2}{2}$$

### ***Dirsekler Dolayısıyla Kayıplar***

Bükülmeler dolayısıyla sürtünme kayıpları aşağıdaki ifade ile bulunabilir.

$$h_B = K_B \frac{V^2}{2}$$

Burada  $K_B$  katsayısı bükülme yarıçapı/boru yarıçapı oranına ve bükülme oranına bağlı bir sabittir. Bu ifadeyle hesaplanan kayıp, bükülmedeki toplam kayıp olmayıp, bükülmedeki boru eksenini uzunluğuna eşit düz borudaki sürtünme kaybına ilave kayıptır.

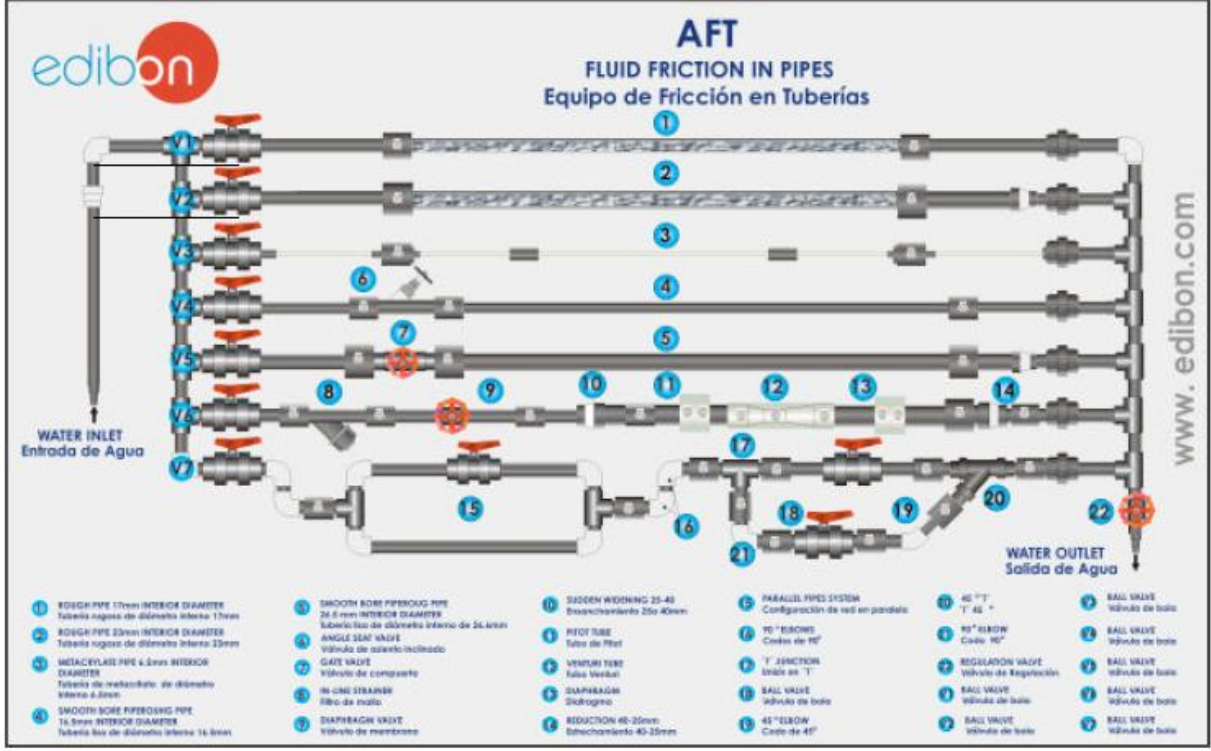
### ***Vanalar Dolayısıyla Kayıplar***

Vanalar dolayısıyla sürtünme kayıpları aşağıdaki ifade ile bulunabilir.

$$h_L = K_V \frac{V^2}{2}$$

Buradaki  $K$  katsayısı vana tipine ve açıklık derecesine bağlıdır.

## DENEYİN DÜZENEGİ



Ekipmanın genel bileşenleri:

- 17 mm çapında pürüzlü boru
- 23 mm çapında pürüzlü boru
- 6.5 mm çapında pürüzsüz boru
- 16.5 mm çapında pürüzsüz boru
- 26.5 mm çapında pürüzsüz boru
- Eğik yerleştirilmiş vana
- Taşırma kapağı vanası
- Filtre
- Membran vana
- Ani genişleme
- Pitot tüp
- Ventürimetre
- Diyafram
- Ani daralma
- Paralel borular
- 90°'lik dirsekler serisi
- “T” boru
- Küresel vana
- 45°'lik dirsek
- 45° eğimli “T”
- 90°'lik dirsek
- Akış düzenleyici vana

## DENEYİN YAPILIŞI

Yapılacak tüm deneylere başlarken öncelikle tüm vanaların kapalı olduğundan emin olunmalıdır. Daha sonra çalışılacak alandaki boru bağlantıları yapılarak, ilgili vana/vanalar açılacaktır.

**Deney 1:** 17 mm ID'ye sahip pürüzlü boruda sürtünmeden kaynaklı kayıpların hesaplanması

23 mm ID'ye sahip pürüzlü boruda sürtünmeden kaynaklı kayıpların hesaplanması

6.5 mm ID'ye sahip pürüzsüz boruda sürtünmeden kaynaklı kayıpların hesaplanması

16.5 mm ID'ye sahip pürüzsüz boruda sürtünmeden kaynaklı kayıpların hesaplanması

26.5 mm ID'ye sahip pürüzsüz boruda sürtünmeden kaynaklı kayıpların hesaplanması

Bu deneylerde sürtünme kayıpları ile akışkanın hızı arasındaki ilişki belirlenecektir. Her bir deneysel çalışma için, deney sırasında alınacak veriler ile aşağıdaki tablo doldurulmalıdır.

Akış, Q L/dk	Hız, u m/s	Yükseklik, $h_f$ mm Su	Yükseklik, $h_f$ mm Hg	Log u	Log h

**Deney 2:** Pürüzlü boruda çapın sürtünmeden kaynaklı kayıplara etkisinin belirlenmesi  
Pürüzsüz boruda çapın sürtünmeden kaynaklı kayıplara etkisinin belirlenmesi

Deney 1’de alınan veriler pürüzlü ve pürüzsüz borular için aralarında gruplandırılıp 2. deney için de kullanılacaktır.

- Deney 3:** 17 mm ID’ye sahip pürüzlü boruda sürtünme katsayısı hesabı  
23 mm ID’ye sahip pürüzlü boruda sürtünme katsayısı hesabı  
6.5 mm ID’ye sahip pürüzsüz boruda sürtünme katsayısı hesabı  
6.5 mm ID’ye sahip pürüzsüz boruda sürtünme katsayısı hesabı  
16.5 mm ID’ye sahip pürüzsüz boruda sürtünme katsayısı hesabı  
26.5 mm ID’ye sahip pürüzsüz boruda sürtünme katsayısı hesabı

Gerekli boru bağlantılarını yaparak manometrelerden yükseklik farklarını okuyunuz. Deneysel çalışma sırasında alınan verilerle her farklı ID’ye sahip boru için aşağıdaki tablo doldurulacaktır.

Akış, Q L/dk	Hız, u m/s	Reynolds Re	f	Yükseklik, $h_f$ mm H <sub>2</sub> O	Yükseklik, $h_f$ mm Hg

- Deney 4:** Eğik yerleştirilmiş vanadan kaynaklı kayıpların hesaplanması  
Küresel vanadan kaynaklı kayıpların hesaplanması  
Filtreden kaynaklı kayıpların hesaplanması  
Membran vanadan kaynaklı kayıpların hesaplanması  
Ani genişleme kaynaklı kayıpların hesaplanması  
Ventürimetreden kaynaklı kayıpların hesaplanması  
Diyaframdan kaynaklı kayıpların hesaplanması  
Ani daralmadan kaynaklı kayıpların hesaplanması

Gerekli boru bağlantılarını yaparak manometrelerden yükseklik farklarını okuyunuz. Her bir vana için yaptığınız deneysel çalışmalara göre aşağıdaki tabloyu doldurunuz.

Akış, Q L/dk	Hız, u m/s	Kinetik Yükseklik $h_v$	Yükseklik, $h_f$ mm H <sub>2</sub> O	Yükseklik, $h_f$ mm Hg	K h/ $h_v$	Vana Açıklığı

Filtre, ani daralma, ani genişleme, venturimetre ve diyafram için yaptığınız deneysel çalışmaları aşağıdaki tabloyu doldurunuz.

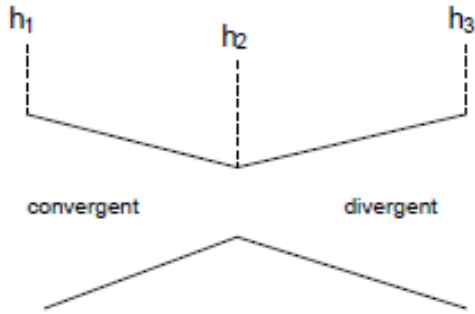
Akış, Q L/dk	Hız, u m/s	Kinetik Yükseklik $h_v$	Yükseklik, $h_f$ mm H <sub>2</sub> O	Yükseklik, $h_f$ mm Hg	K h/ $h_v$

**Deney 5:** Venturimetre kaynaklı kayıplar ile akış ölçümü  
Diyafram kaynaklı kayıplar ile akış ölçümü

Sadece venturimetrenin bağılı olduğu boru açılarak deneysel çalışmalar sürdürülecektir. Aşağıdaki tablo venturimetre ile yapılan deney sırasında alınan veriler ile doldurulacaktır.

Akış, Q L/dk	Hız, u m/s	Venturi yüksekliği (convergent)	Venturi yüksekliği (divergent)	Akışölçerdeki akış

Venturimetre:



Sadece diyaframın bağılı olduğu boru açılarak deneysel çalışmalar sürdürülecektir. Aşağıdaki tablo diyafram ile yapılan deney sırasında alınan veriler ile doldurulacaktır.

Akış, Q L/dk	Hız, u m/s	Diyafram yüksekliği	Akışölçerdeki akış	Diyaframdaki akış



**Deney 6:** Simetrik olarak ikiye ayrılmadan kaynaklı kayıpların hesaplanması

Bu deneyde açık vana ve kapalı vana için aşağıdaki tablolar doldurulur.

	Akış, Q L/dk	Hız, u m/s	Bağlantı $h_f$ mm H <sub>2</sub> O	Bağlantı $h_f$ Mm Hg	K H/h <sub>v</sub>
Açık Vana					

	Akış, Q L/dk	Hız, u m/s	Bağlantı $h_f$ mm H <sub>2</sub> O	Bağlantı $h_f$ mm Hg	K H/h <sub>v</sub>
Kapalı Vana					

2 adet 90°'lik dirsekten kaynaklı kayıpların hesaplanması

T bağlantıdan kaynaklı kayıpların hesaplanması

DeneySEL çalışmalar sırasında alınan veriler ile aşağıdaki tablo doldurulur.

Akış, Q L/dk	Hız, u m/s	Bağlantı $h_f$ mm H <sub>2</sub> O	Bağlantı $h_f$ mm Hg	K H/h <sub>v</sub>

1 adet 90°'lik dirsekten sonraki kayıpların hesaplanması

Deneyden alınan veriler ile aşağıdaki tablo doldurulur.

Akış, Q L/dk	Bağlantı $h_f$ mm H <sub>2</sub> O	Bağlantı $h_f$ mm Hg	$V^2$	K

Küresel vanadan kaynaklı kayıpların hesaplanması

Deneyden alınan veriler ile aşağıdaki tablo doldurulur.

Akış, Q L/dk	Hız, u m/s	Kinetik Yükseklik, $h_v$	Bağlantı $h_f$ mm H <sub>2</sub> O	Bağlantı $h_f$ mm Hg	K $h/h_v$	Vana Açıklığı

45°'lik dirsekten kaynaklı kayıpların hesaplanması

Deneyden alınan veriler ile aşağıdaki tablo doldurulur.

Akış, Q L/dk	Bağlantı $h_f$ mm H <sub>2</sub> O	Bağlantı $h_f$ mm Hg	$V^2$	K

--	--	--	--	--

Eğik bir T bağlantıdan kaynaklı kayıpların hesaplanması

Deneyseel alışmalar sırasında alınan veriler ile aşağıdaki tablo doldurulur.

Akış, Q L/dk	Hız, u m/s	Bağlantı $h_f$ mm H <sub>2</sub> O	Bağlantı $h_f$ mm Hg	K H/h <sub>v</sub>

## HESAPLAMALAR VE SONUÇLAR

### Deney 1:

1. Sürtünme kaybına karşılık hız değerlerini grafiğe çiziniz. Bu grafik üzerinde laminar bölge, geçiş bölgesi ve türbülant akış bölgelerini belirtiniz. Eğer bölgeler tam gösterilemiyorsa bu grafiği log u ve log h değerlerine karşılık çiziniz.
2. Geçiş bölgesinin başlangıcında ve sonunda Reynold Numarasını hesaplayınız.

### Deney 2:

1. Grafiksel olarak sürtünme kaybının çapın nasıl bir fonksiyonu olduğunu gösteriniz.
2. Çizilen grafiğe göre büyük çaplarda mı sürtünmenin daha etkili, küçük çaplarda mı sürtünmenin daha etkili olduğunu tartışın.

### Deney 3:

1. Her farklı ID'ye sahip boru için f-Re arasındaki ilişkiyi grafik üzerinde gösteriniz.
2. Teorik olarak bulduğunuz sonuçlar ile deneysel çalışma sonucu bulduğunuz sonuçları karşılaştırınız.

### Deney 4:

Her bir vana için;

1. Kayıp katsayısı “K”nın vana için sabit olduğunu gösteriniz
2. Vananın her bir açıklık derecesinde K-Q arasındaki ilişkiyi grafiksel olarak gösteriniz

Filtre, ani daralma, ani genişleme ve diyafram için;

3. Basınç artışının akış hızının karesinin fonksiyonu olduğunu gösteriniz.
4. K’yı hesaplayınız.

#### **Deney 5:**

1. Akışölçerden ölçülen akış hızı ile venturimetreden ölçülen akış hızı aynı mıdır? Yorumlayınız.
2. Diyaframdan ölçülen akış hızı ile venturimetreden ölçülen akış hızı aynı mıdır? Yorumlayınız.

#### **Deney 6:**

1. Simetrik olarak ikiye ayrılmadan kaynaklı kayıpta K’nın sabit olduğunu gösteriniz.
2. Simetrik olarak ikiye ayrılmada vana açıkken ve kapalıyken oluşan kayıpları kıyaslayınız.
3. 2 adet 90°’lik dirsekten kaynaklı kayıplarda hesaplanan K’nın sabit olduğunu gösteriniz.
4. T bağlantıdan kaynaklı kayıplarda K’nın sabit olduğunu gösteriniz.
5. Simetrik olarak ikiye ayrılma ile T bağlantıdan kaynaklanan kayıp arasında fark var mıdır? Yorumlayınız.
6. 90°’lik dirsekten kaynaklanan kayıplarda hesaplanan K’nın sabit olduğunu gösteriniz.
7. 90°’lik dirsek ile 2 adet 90°’lik dirsekten kaynaklanan kayıplar arasındaki farkı belirtip, yorumlayınız.
8. Küresel vanadan kaynaklanan kayıplarda hesaplanan K’nın sabit olduğunu gösteriniz.
9. Küresel vananın her bir açıklık derecesi için K-Q arasındaki ilişkiyi grafiksel olarak gösteriniz.
10. 45°’lik dirsekten kaynaklı kayıplarda K’nın sabit olduğunu gösteriniz.
11. 45°’lik dirsek ile 90°’lik dirsekten kaynaklanan kayıplar arasında fark var mıdır? Yorumlayınız.
12. Eğik T bağlantıdan kaynaklı kayıplarda K’nın sabit olduğunu gösteriniz.

13. Simetrik olarak ikiye ayrılma ile eğik T bağlantıdan kaynaklanan kayıp arasında fark var mıdır? Yorumlayınız.

### **DEĞERLENDİRME VE YORUM**

Gerekli hesaplamalar yapıp sonuçlar ve grafiklerin yorumları bu bölümde yer alacaktır.

### **KAYNAKLAR**

1. Uysal, B.,Z., “Akışkanlar Mekaniği”, 2. Baskı, Alp Yayınevi, 2003 , s. 210-213