

## 1. Non Lineer Sistemin Sayısal PI ile Kontrolü

### 1.1. Deneyin Amacı

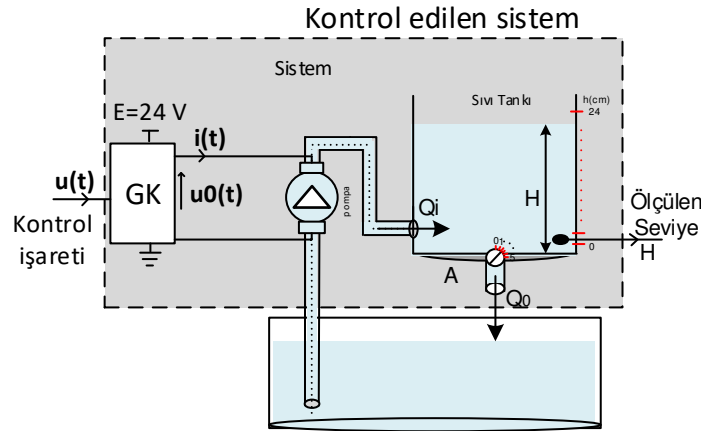
Bu deneyin amacı, **doğrusal olmayan** sıvı seviye sisteminin belirlenen bir çalışma noktası civarında doğrusallaştırılmış matematiksel modelinin elde edilmesi ve sıvı seviyesinin tasarlanan sayısal **PI** kontrolör ile belirlenen performansa göre kontrol edilmesidir.

Bu amaç için sırası ile,

- 1- Sistem belirlenen **çalışma noktası** ( $h_0$  seviyesi) etrafında çalışılırken, kontrol edilecek olan sistemde  $\Delta h$  kadar bir sıvı seviyesi değişimi yapılarak, sistemin basamak cevabından **kazanç ve zaman sabiti** belirlenerek açık çevrim transfer fonksiyonu elde edilecektir.
- 2- Açık-çevrim transfer fonksiyonu kullanılarak **PI kontrolör** katsayıları belirlenen performansa göre hesap edilecektir.
- 3- Hesap edilen **PI kontrolör katsayıları** ile sistem kapalı çevrim olarak çalıştırılacaktır.

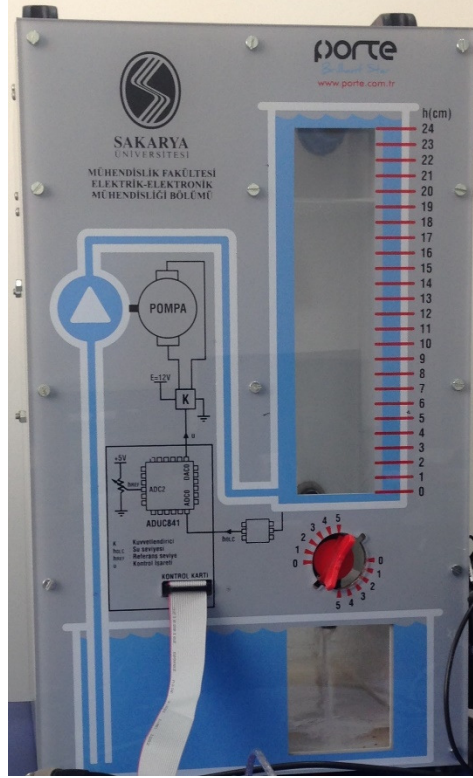
### 1.2. Deney Düzeneği

Kontrol edilecek olan sistem, güç kuvvetlendirici (**GK**), giriş sıvı debisi  $Q_i$  nin ayarı için pompa ve  $Q_0$  çıkış sıvı debisine sahip bir sıvı tankından oluşmaktadır. Tanktaki sıvı seviye yüksekliği  $H$  dır.



Şekil 1. Kontrol edilecek olan sistem

Şekil 1'de şematik olarak verilen sistemin gerçek zaman düzeneği Şekil 2'de gösterilmiştir. Kontrol edilecek olan sistem sayısal **PI** kontrolöre bağlanarak kontrol edilecektir.



Şekil 2. Sıvı Seviye Sistemi Deney Seti

Çıkış debisi ( $Q_0$ ) (0-5) kademe aralığında ayarlanabilmektedir. Ayarlanan her kademede sıvı seviye sisteminin modeli değişmektedir. Bu nedenle deney boyunca aynı çıkış debisi ayarı kullanılmalıdır.

### 1.3. Doğrusallaştırma

$A$  = Sıvı tank alanı,

$H$  = tanktaki sıvı yüksekliği,

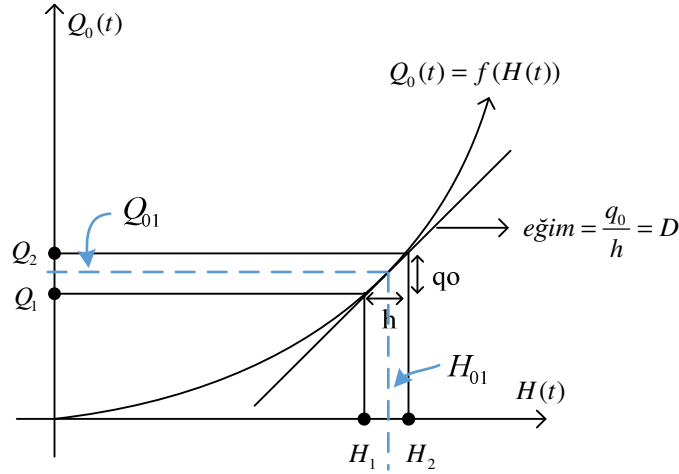
$Q_i$  = Tanka giren sıvı debisi,

$Q_0$  = tanktan çıkan sıvı debisi.

$Q_i - Q_0$  = Tanktaki sıvı miktarı değişimi

$$Q_i - Q_0 = A \frac{dH}{dt} \quad (1)$$

Tanktan çıkan sıvının debisi ile yüksekliği,  $Q_0 = c_{d0} a_0 \sqrt{2gH}$ , arasında nonlineer bir bağıntı vardır. Bu nedenle Sıvı Seviye Sistemi non-linner bir sistemdir. Doğrusal kontrol sistemleri için tanımlanmış olan kontrol tasarım yöntemleri kullanarak sayısal **PI** tasarımı yapılabilmesi için deneyde seçilen  $H_1$  çalışma noktasında etrafında Sıvı Seviye sistemi doğrusallaştırılacaktır. Çıkış debisine ait non-lineer değişim eğrisi ve çalışma noktası  $H_1$  Şekil-3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Doğrusal olmayan çıkış debisine ait eğri

Burada  $H_1$  çalışma noktasını ve  $Q_{01}$  ise  $H_1$ 'e bağlı tanktaki sıvı boşalma debisini temsil eder. Belirlenen bir sıvı seviye yüksekliği civarında küçük debi değişimleri için denklem (2) aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Q_{i1} + q_i(t) = A \frac{d(h(t) + H_1)}{dt} + Q_{o1} + q_o(t) \quad (2)$$

$Q_{i1}$  : Çalışma noktasındaki giriş debisi,  $q_i$  :  $Q_{i1}$  giriş sıvı debisi etrafındaki küçük değişimler,  $q_o$  :  $Q_{o1}$  çıkış sıvı debisi etrafındaki küçük değişimler,

$H_1$  sabit çalışma noktası olduğundan  $\frac{dH_1}{dt} = 0$  olur.

Şekil 3'te verilen grafikten faydalanarak çıkış sıvı debisindeki küçük değişimleri  $q_o$  ifadesi (3)'teki gibi yazılabilir.

$$q_o(t) = Dh(t) \quad (3)$$

Denklem (3), denklem (2)'de yerine koyulur ise;

$$Q_{i1} + q_i(t) = A \frac{dh(t)}{dt} + Q_{o1} + Dh(t) \quad (4)$$

$H_1$  çalışma noktasında (Denge 1) giriş sıvı debisi = çıkış sıvı debisidir;

$$Q_{i1} = Q_{o1} \quad (5)$$

Denklem (5), denklem (4)'te yerine koyularak yeniden düzenlenir ise;

$$\cancel{Q_{i1}} + q_i(t) = A \frac{dh(t)}{dt} + \cancel{Q_{o1}} + Dh(t) \quad (6)$$

Çalışma noktası etrafındaki değişimler için

$$q_i(t) = A \frac{dh(t)}{dt} + Dh(t) \quad (7)$$

İfadesi elde edilir. Denklem (7)'nin laplace dönüşümü alınır ve  $\frac{H(s)}{Q_i(s)}$  şeklinde yeniden düzenlenir ise;

$$\frac{H(s)}{Q_i(s)} = \frac{1}{sA + D} \quad (8)$$

olarak bulunur.

Burada,  $\tau = \frac{A}{D}$  ve  $K = \frac{1}{D}$  dönüşümleri yapılarak denklem (8) yeniden düzenlenir ise ,

$$T_{\text{tank}}(s) = \frac{H(s)}{Q_i(s)} = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (9)$$

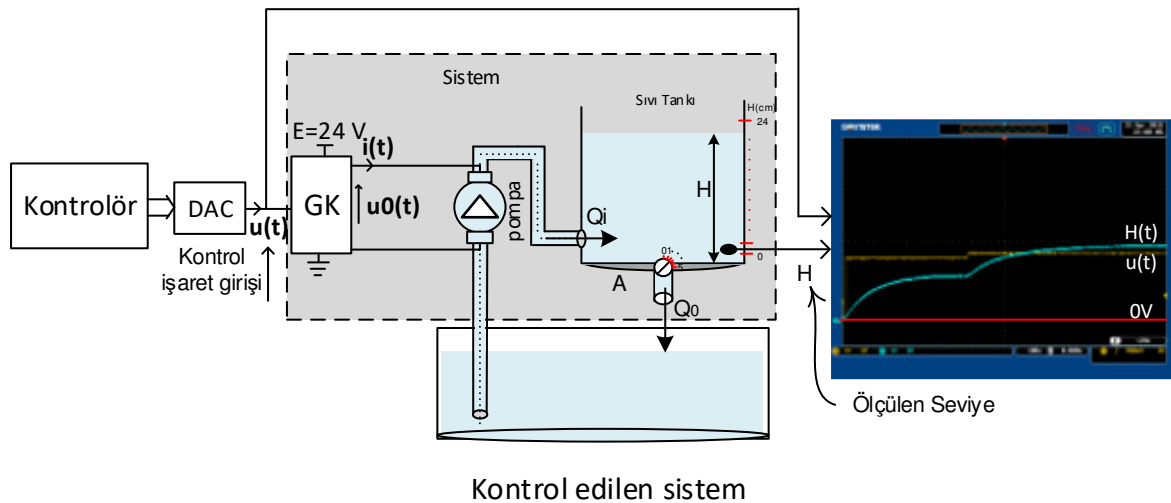
Sıvı Seviye tankına ait doğrusallaştırılmış modele ait transfer fonksiyonu denklem (9)'daki gibi elde edilir. Görüldüğü üzere doğrusallaştırılmış sıvı seviye tankı 1. dereceden basit bir transfer fonksiyonuna sahiptir. Açık-Çevrim Transfer fonksiyon parametreleri ( $K$  ve  $\tau$ ) sistemin basamak giriş cevap eğrisi kullanılarak bir sonraki bölümde gösterildiği gibi deneysel olarak elde edilecektir.

#### 1.4. Açık-Çevrim Transfer Fonksiyon Parametrelerinin Elde Edilmesi

Kontrol edilecek olan sıvı seviye kontrol sisteminin açık-çevrim transfer fonksiyonu

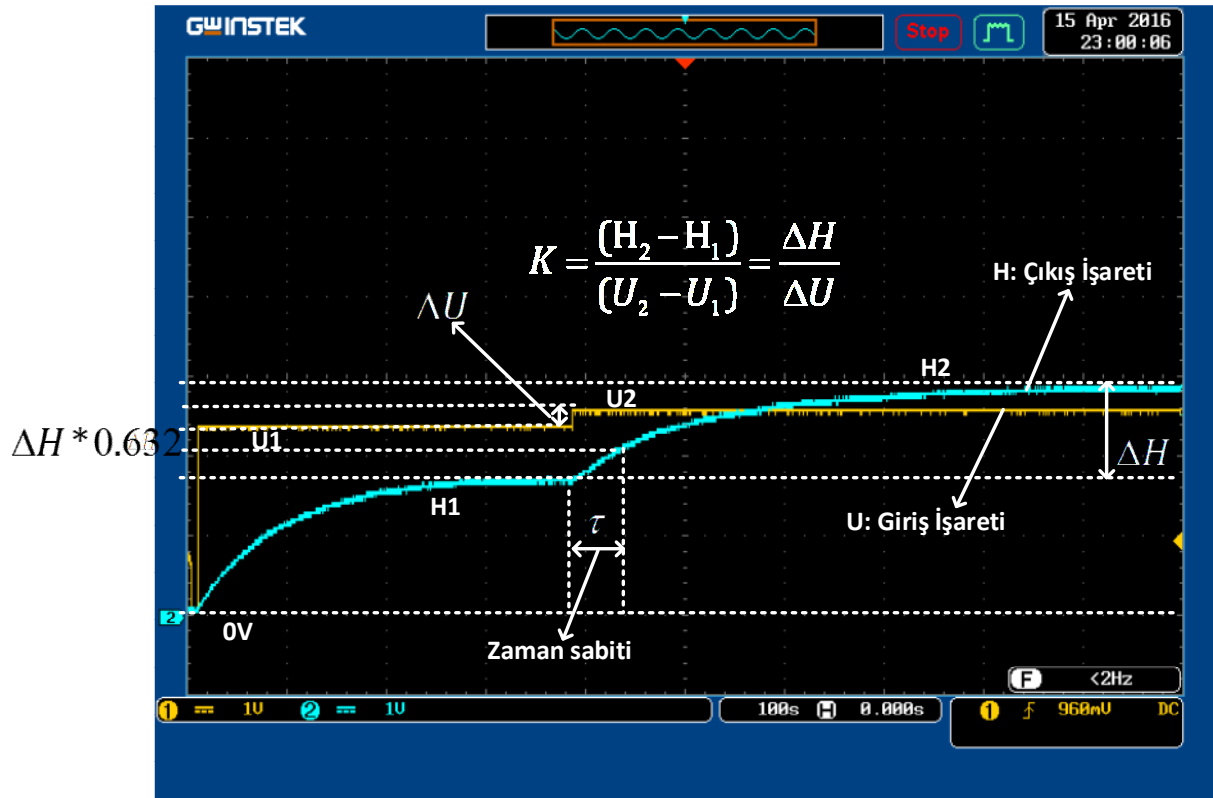
$$T_{\text{tank}}(s) = \frac{\text{Çıkış işaretinin Laplace dönüşümü}}{\text{Giriş işaretinin Laplace dönüşümü}} = \frac{H(s)}{Q_i(s)} = \frac{K}{\tau s + 1} \text{ ve } K = \frac{(H_2 - H_1)}{(U_2 - U_1)} = \frac{\Delta H}{\Delta U} \text{ dir.}$$

Deney düzeneğinde açık-çevrim mod seçilerek aşağıda verilen osiloskop çıktısından Açık-çevrim kazancı  $K$  hesap edilir ve zaman sabiti  $\tau$  ölçülür Şekil 4.



Şekil 4. Açık-çevrim deney düzeneği ve osiloskop çıktısı örneği.

Aşağıda açık-çevrim kazancının hesabı ve zaman sabitinin ölçümü için basmak girişe karşılık açık-çevrim cevap eğrisi verilmiştir. Örneği deney sonuçlarınızda kullanmak üzere inceleyiniz Şekil 5.



Şekil 5. Basmak giriş için açık-çevrim cevap eğrisi

## 2.5 Deneyin Yapılışı

- 1) Deney seti üzerinde çıkış sıvı debisi vana ayarını Şekil 1 'de gösterilen konumda bırakınız.
- 2) Mikroişlemci üzerinde bulunan '**sıvı seviyesi**' osiloskobun **CH1** kanalı '**kontrol işareti DAC0'a** osiloskobun **CH2** kanalı proplarını sırası ile bağlayınız.
- 3) Kontrolör ve deney seti enerjilendirildikten sonra sistemi açık çevrim çalıştırmak için kontrolör üzerinde bulunan **BT1** butonuna basınız ve sistem çıkış cevabının Denge 1 seviyesine ulaşmasını bekleyiniz.
- 4) Seviye dengelendikten sonra **BT1** butonuna tekrar basınız ve sistem çıkış cevabının Denge 2 seviyesine ulaşmasını ve sabitlenmesini bekleyiniz.
- 5) Sistemin açık çevrim cevabından sistemin  $K$  ve  $\tau$  değerleri hesaplayınız.

$$T_{\text{tank}}(s) = \frac{\text{Çıkış işaretinin Laplace dönüşümü}}{\text{Giriş işaretinin Laplace dönüşümü}} = \frac{H(s)}{U(s)} = \frac{K}{\tau s + 1}$$

Örnekleme zamanı  $T = \frac{\tau}{10}$  olarak seçiniz.

$T_{\tan k}(z) = Z\{T_{\tan k}(s)\}$  elde ediniz.

6) Performans için %2 kriterine göre yerleşme zamanını  $4\tau < t_s < 7\tau$  ve aşım için  $0.6 < \zeta < 0.95$  arasında belirleyiniz.

$w_n$  ve  $\zeta$  değerlerini elde ediniz.

7) Elde edilen  $T$ ,  $w_n$  ve  $\zeta$  kullanılarak  $s_1 = -\zeta w_n + jw_n\sqrt{1-\zeta^2}$   $z_1 = e^{s_1 T}$  ifadeleri yardımı ile  $|z_1|, \beta, |G_p(z_1)|$  ve  $\psi$  değerlerini hesaplayınız.

$$z_1 = \sigma_{z1} + jw_{z1} = |z_1|e^{j\beta} \quad z_1 = \sqrt{\sigma_{z1}^2 + w_{z1}^2} \quad \beta = \tan^{-1}\left(\frac{w_{z1}}{\sigma_{z1}}\right)$$

$$G_p(z_1) = |G_p(z_1)|e^{j\psi} \quad \psi = \angle G_p(z_1)$$

8)  $|z_1|, \beta, |G_p(z_1)|$  ve  $\psi$  değerlerini kullanarak parametrik denklemler ile  $K_p$  ve  $K_i$  kat sayılarını elde ediniz.

$$K_i = -\frac{\sin \psi}{|G_p(z_1)|} \frac{|z_1| - 2\cos \beta + \frac{1}{|z_1|}}{\sin \beta} \quad z_1 = |z_1|e^{j\beta} \quad G_p(z_1) = |G_p(z_1)|e^{j\psi}$$

$$K_p = -\frac{\cos \psi}{|G_p(z_1)|} - 2K_i |z_1| \frac{|z_1| - \cos \beta}{|z_1|^2 - 2|z_1|\cos \beta + 1} + \frac{-|z_1|\sin \psi + \cos \beta \sin \psi}{|G_p(z_1)|\sin \beta}$$

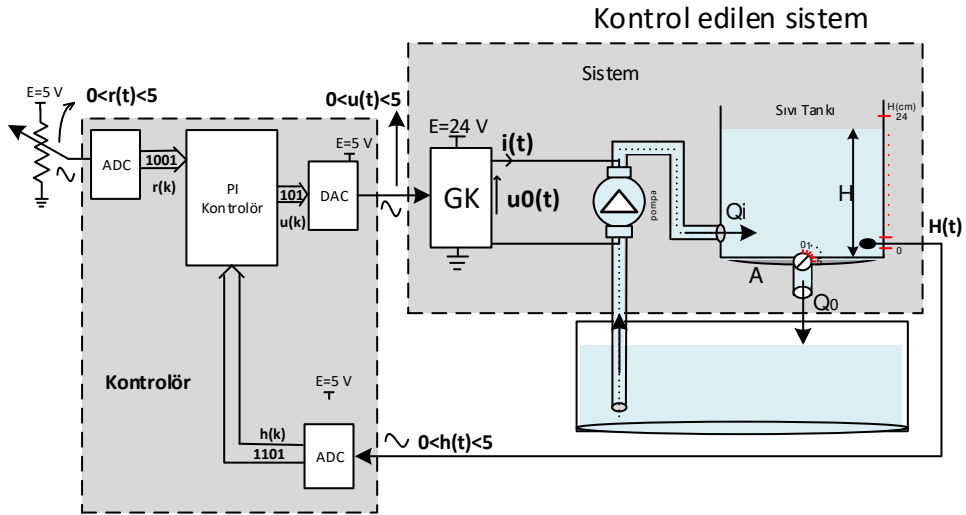
Bulunan katsayılar Sayısal **PI** Kontrolör'de kullanılacaktır.

9) Sistemi kapalı çevrim çalıştırmak için '**kapalı çevrim için**' **BT3**'e basınız, Şekil 6. Bulunan  $T$ ,  $K_p$  ve  $K_i$  katsayılarını kontrolcüye giriniz. Ekrandaki yönlendirmeleri takip ediniz.

10) Sıvı Seviye deney düzeneğinde Kontrolör kartı üzerindeki ekrandaki yönlendirmeler yardımı ile Kapalı-çevrim deneyini yapınız.

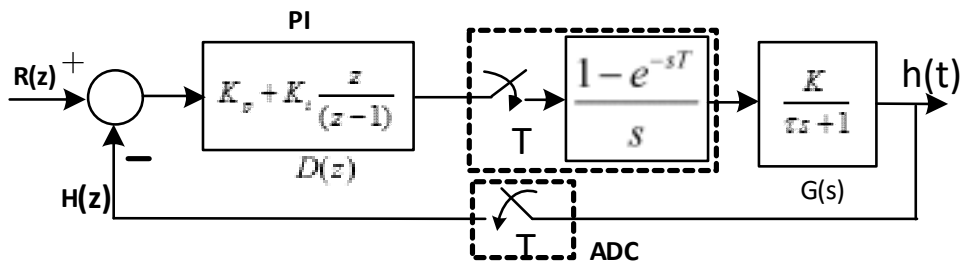
### **Kapalı Çevrim:**

Kontrolör ve kontrol edilen sistemden oluşan kapalı çevrim sisteme ait donanım ve işaret büyüklükleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 6. Kapalı çevrim sisteme ait donanım

Kapalı çevrim sisteme ayırık-zaman kontrol blok diyagramı aşağıda verilmiştir.



Şekil 7. Kapalı-çevrim kontrol blok diyagramı.