

PROSES KONTROL DENEYİ

Amaç

Bu deneyin amacı sürekli bir sıvı dolaşımının olduğu bir kaptaki sıcaklığın nasıl kontrol edilebileceğinin ve kontrol parametrelerinin nasıl ayarlanacağına anlaşılmasıdır. Ayrıca kontrol modlarının ve ayarlama kavramlarının anlamları açıklanacaktır.

Teori

Bir kimyasal fabrika, sistematik ve mantıklı olay içinde bir biri ile entegre olmuş proses birimlerinin bir araya gelmesi ile oluşur. Fabrikanın tüm amacı, hammaddelerin ucuz bir şekilde ve uygun enerji kaynaklarının kullanımı ile istenilen ürüne dönüştürülmesidir. Çalışma boyunca, her an değişen bozucu dış etkiler (**Disturbance**) varlığında genel teknik, ekonomik, sosyal durumlar ve tasarımcısı tarafından öngörülen bir çok gereksinimi karşılamak zorundadır. Bu zorunluluklar şu şekilde sıralanabilir.

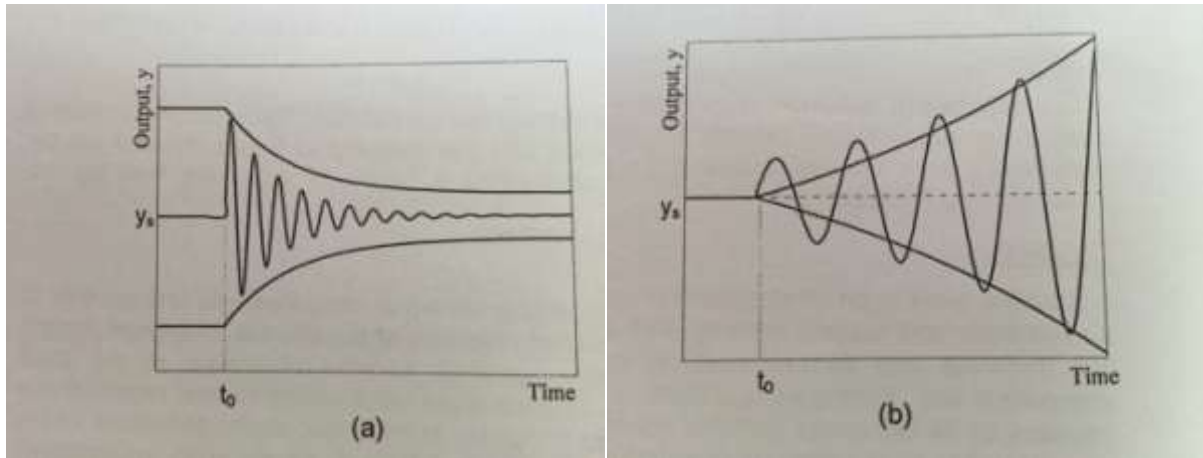
- 1. Güvenlik:** Bir kimyasal fabrikanın güvenli bir şekilde çalışması, o fabrikada çalışanlar için ve ekonomiye katkısı devamlılığı için birincil önceliktir.
- 2. Üretim Verileri:** Bir fabrika istenen miktarlarda ve kalitede üretim yapması gerekir.
- 3. Çevresel Kısıtlamalar:** Çeşitli yasa ve yürütmeliliklere uygun bir şekilde üretim yapması gerekir. Örneğin; sıcaklık değerlerinin, çevreye yayılan kimyasal derişimlerinin ve atık olarak çıkan akımdaki kimyasalların derişimlerinin istenilen değerlerde tutulması gerekir.
- 4. Proses Kısıtlamaları:** Bir kimyasal fabrikada kullanılan çeşitli tipte ekipmanların prosesin devamı için kendine has kısıtlamaları vardır. Bu kısıtlamalar proses süresince yerine getirilmek zorundadır.
- 5. Ekonomik:** Bir fabrika, ham maddeye ulaşım ve ürüne olan talep gibi market koşullarına uymak zorundadır. Ayrıca, ham madde, enerji, yatırım ve iş gücü kullanımı konusunda oldukça ekonomik olmalıdır.

Yukarıda bahsedilen bir fabrikanın çalışması hususunda tüm bu gereksinimleri amaçlarına uygun bir şekilde yerine getirebilmesinin gözlenebilmesi amacıyla bir kontrol mekanizmasına ihtiyaç vardır. Bu amaç, ancak bazı ekipmanların (ölçüm cihazları, kontrolörler, kontrol vanaları, bilgisayarlar vb...) makul bir şekilde ayarlanması ve insan müdahalesi (fabrika

tasarımcısı, fabrika operatörü vb...) ile başarıya ulaşacaktır. Bunların tamamı **kontrol sistemleri** olarak adlandırılır.

Bir kontrol sisteminin istenen ölçüde olması için aşağıda bahsedilen 3 özelliğe sahip olması gerekir.

- ✓ **Disturbance'ın etkisini bastırma:** Bir kimyasal fabrikada bir kontrol sisteminin yaygın olan amacı disturbance'ın etkisini bastırmaktır. Disturbance, bir kimyasal proses üzerine çevrenin etkisini ifade eder. Proseste çalışan bir operatör için erişilip düzeltilecek bir şey değildir. Sonuç olarak, istenen doğrultuda çalışan bir fabrikaya etki eden disturbance'ların olumsuz etkisini ortadan kaldırmak için proses üzerinde uygun değişiklikler yapabilecek bir kontrol mekanizmasına ihtiyaç vardır.
- ✓ **Bir kimyasal prosesin kararlılığından emin olma:** Şekil 1a'da verilen prosesin çıktı değişkeninin davranışına bakıldığında, $t=t_0$ 'da y'nin sabit değeri disturbance yada set değerindeki değişiklikler nedeniyle değişmektedir. Ama zaman geçtikçe, y'nin değeri istenen değere ulaşmakta ve sabit kalmaktadır. Bu tip prosesler **kararlı** yada otomatik sistemlerdir. Kararlı proseslerin davranışlarının aksine, Şekil 1b'de gösterilen prosesin çıktı değişkeni y dış etkenler tarafından bozunmasından sonra ilk değerine ulaşmamıştır. Bu tip prosesler kararsız prosesler olarak adlandırılır ve kararlı davranış sergilemeleri için dışarıdan bir kontrol sistemine ihtiyaçları vardır.



Şekil 1. Kararlı (a) ve kararsız (b) prosesler

- ✓ **Bir kimyasal prosesin performans optimizasyonu:** Güvenilir ve istenilen boyutlarda üretim sağlandığında, bir sonraki amaç prosesi daha karlı hale getirmektir. Koşullar göz önüne alındığında, fabrikanın çalışmasına etki eden faktörler sürekli aynı kalmaz. Bu nedenle, ekonomik açıdan fabrikadan maksimum kazanç sağlayabilme doğrultusunda proses üzerinde (akış debileri, basınçlar, konsantrasyonlar, sıcaklıklar) değişiklikler

yapabilmek gerekir. Bu amaç, otomatik kontrol sistemleri ve operatörlerden tarafından gerçekleştirilir.

Bir kimyasal proses ile bağlantılı değişkenler girdi (**input**) ve çıktı (**output**) değişkenleri olmak üzere iki gruba ayrılır. Girdi değişkenleri proses üzerine çevrenin etkisini ifade ederken, çıktı değişkenleri ise prosesin çevreye olan etkisini ifade eder. Input değişkenleri iki tip kategoriye ayrılır.

- ✓ **Manipulated** (Ayarlanabilen) değişkenler; şayet değişkenler bir operatör yada kontrol mekanizması tarafından ayarlanabiliyorsa buna ayarlanabilen değişkenler denir.
- ✓ **Disturbance** (bozucu dış etkiler); şayet değişkenler bir operatör yada kontrol mekanizması tarafından bir ayarlanmanın sonucu değilse bu tip değişkenler bozucu dış etki değişkenleri diye adlandırılır.

Bir kimyasal prosesde bir potansiyel disturbance'ı ve bir ayarlanabilen değişkeni kontrol etmek için gerekli (**controlled variable**=kontrol edilen değişken) olan y diye bilinen bir çıktı değişkenine sahip olduğunu düşünelim. Disturbance tahmin edilemez bir davranış içerisinde değişmekte ve kontrolün amacı ayarlanabilen değişkendeki yapılan değişiklikler ile kontrol edilebilen değişkenleri istenen değerde (**Set point, SP or reference**) tutmaktır. Ayrıca, set point, üretim stratejisine göre değişebilir. Bazı kontrol işlemleri, hatanın (**deviation, error, $\epsilon=SP-MV$**) büyüklüğü sifira gelene kadar, ayarlanan değişkenlerin ayarlanması ile set point ve ölçüm değerinin (**Measured value**) karşılaştırılması ile sık sık başarıya ulaşır.

Kontrol mekanizmaları üç elemandan oluşabilir:

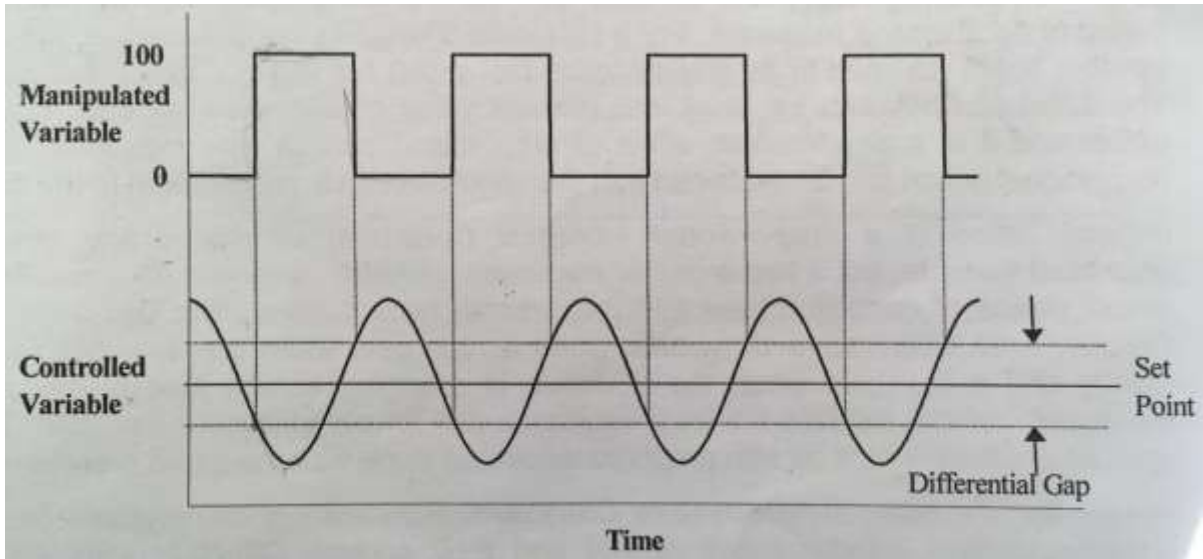
1. **Ölçüm cihazı (sensör) ve Aktarıcı (Transmitter):** Sensörler kontrol edilebilen değişkenleri ölçmek için kullanılırlar. Bir ölçüm kontrol sistemine direk olan gönderilemiyorsa (basınç farkı, mekanik devinim gibi), uygun bir fiziksel büyüklüğe (elektriksel akım gibi) dönüştürülmelidir. Transmitter'lar bu amaçla kullanılır.
2. **Kontrolör (Controller) :** Belirli bir zekaya sahip olan donanımsal bir cihazdır. Ölçüm cihazından bilgileri alarak ne yapabileceğine karar verir.
3. **Son kontrol Elemanı (Final Control Element or controlled element):** Kontrolör tarafından alınan kararları yerine getiren donanımsal bir cihazdır. Kontrol vanaları, pompaları, kompresörler sıklıklar kullanılan son kontrol elemanlarıdır. Çoğu kontrol vanaları basınçlı hava ile hareket edebildiğinden dolayı, kontrolör çıktısı (genellikle elektriksel akım) hava basıncına dönüştürülmelidir. Bu iş dönüştürücüler (**transducers**) tarafından yapılır.

Ayrıca bir kimyasal fabrikanın nasıl bir davranış sergilediğini görmemizi sağlayan kaydedicilerde kullanılır.

Kontrolör Mod Çeşitleri

Basit geleneksel kontrol sistemlerinde, kontrolör çalışan moda göre hata fonksiyonu olarak bir çıktı üretir. En basit kontrol mekanizması on/off kontrol olmasına rağmen, orantısal (P), integral (I) ve türevsel (D) olarak, 3 tip kontrol modu vardır.

On/off Kontrol Sistemi: Birçok problem olmasına rağmen basitliğinden dolayı on/off kontrol sistemleri geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Basit bir örnek olarak ketıl tipi ısıtıcılar verilebilir. Tanktaki suyun sıcaklığına bağlı olarak, güç sağlayıcı tamamen kendisini ya kapatır ya da açar. Gerçek on/off kontrol sistemleri, set point değerinin etrafında küçük aralıklara sahiptir. Bu farklılıklar diferansiyel boşluk (differential gap) yada ölü bölge (dead zone) olarak adlandırılır ve bu farklılıkların amacı set değerinin etrafında meydana gelebilecek osilasyonlardan kaçınmaktır. Şekil 2'de görüldüğü gibi, kontrol edilen değişkenler ölü bölge dışına çıktığında, ayarlanabilen değişken ya açılır ya da kapanır. Bu tip bir sistem ucuz ya da oldukça basit olmasına rağmen, bu modun osilasyona yatkınlığı kendisini oldukça hatalı bir kontrolör yapar. On/off kontrol sisteminin kullanımı endüstriyel proseslerde sınırlıdır.



Şekil 2. Diferansiyel boşluklu yada ölü bölge on/off kontrol sistem örneği

Orantısal (P) Kontrol Mod: Orantısal kontrol modunun sinyali hata ile orantılıdır ve şu şekilde gösterilir:

$$c(t) = K_c \varepsilon(t) + c_s ; c(t) = \frac{1}{PB} \varepsilon(t) + c_s$$

K_c , kontrolörün orantısal kazancını (**proportional gain**), C_s ise kontrolörün ön değerini (**controller's bias**, $\varepsilon=0$ olduğunda) ifade etmektedir. Birçok cihaz üreticileri, orantısal kazanç yerine alternatif bir terim olarak orantısal band (proportional band, PB) kullanmaktadır. Bu iki terim arasındaki ilişki;

$$PB = \frac{100\%}{K_c}, PB = \frac{1}{K_c} \text{ ve genellikle } 1\% \leq PB \leq 500\%.$$

İntegral (I) Kontrol Mod: İntegral kontrol modunun sinyali hatanın zamana göre integrali ile orantılı bir çıktı verir. İntegral modun çıktısı şu şekilde gösterilir.

$$c(t) = \frac{K_c}{\tau_I} \int_0^t \varepsilon(t) d(t) + c_s ; c(t) = \frac{1}{PB} \frac{1}{\tau_I} \int_0^t \varepsilon(t) d(t) + c_s$$

τ_I , integral zaman sabitidir ve çoğunlukla 0.1-50 dk. aralığında değişir. İntegral mod proses çıktısında hata oluştuğunda kontrolör çıktısına neden olur.

Türevsel (D) Kontrol Mod: Türevsel kontrol modunun sinyali hatanın zamana göre türevi ile orantılı bir çıktı verir. Türevsel modun çıktısı şu şekilde gösterilir.

$$c(t) = K_c \tau_D \frac{d\varepsilon}{dt} + c_s ; c(t) = \frac{1}{PB} \tau_D \frac{d\varepsilon}{dt} + c_s$$

τ_D , türevsel zaman sabitidir. Türev teriminin varlığı ile, türevsel mod yakın gelecekte hatanın ne olacağını bekler ve hata içinde değişimin anlık oranına orantılı olan bir kontrol modu uygular.

İntegral ve türevsel modlar normalde orantısal kontrol ile bir kombinasyon şeklinde kullanılır. PI, PD, PID birleştirilmiş kontrol modlarıdır. PID kontrol modunun çıkış sinyali aşağıdaki gibi gösterilmiştir.

$$c(t) = K_c \left(\varepsilon(t) + \frac{1}{\tau_I} \int_0^t \varepsilon(t) d(t) + \tau_D \frac{d\varepsilon}{dt} \right) + c_s ; c(t) = \frac{1}{PB} \left(\varepsilon(t) + \frac{1}{\tau_I} \int_0^t \varepsilon(t) d(t) + \tau_D \frac{d\varepsilon}{dt} \right) + c_s$$

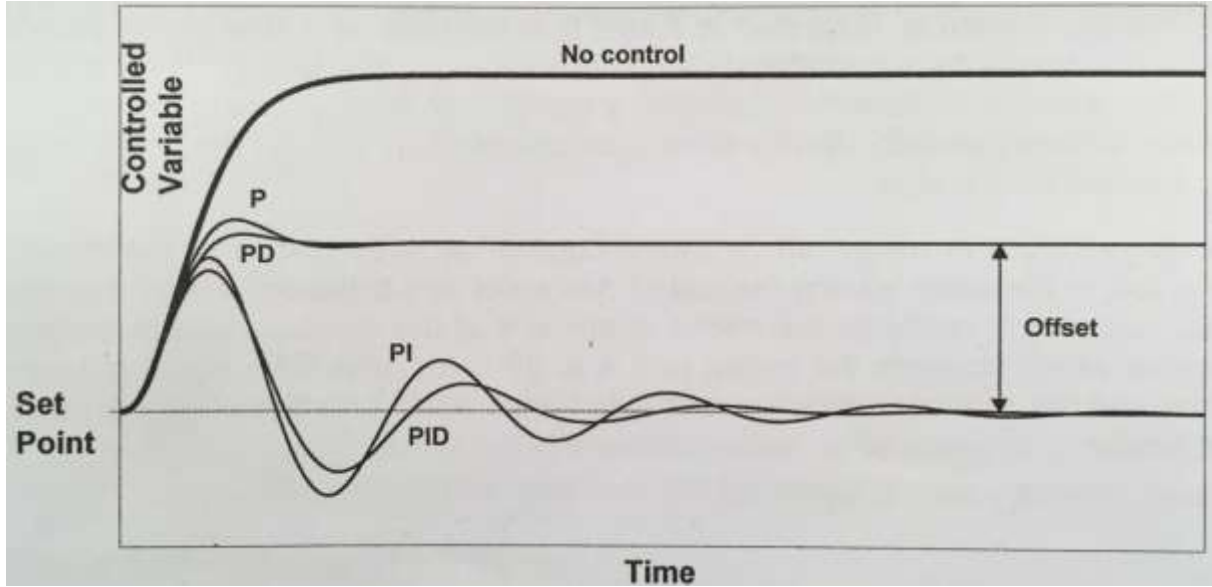
Orantısal kontrol en basit kontrol modudur. Orantısal modun tepkisi maksimum hataya sahiptir ve önemli ölçüde osilasyon oluşturur. Bu osilasyon periyodu ise ortalama bir değerdedir. Disturbance'daki uzun süreli değişiklikler bir değişiklik için, kontrol edilen değişken orjinal değerine (set point) dönmez fakat yeni bir denge değerine ulaşır. Set point ve kontrol edilen değişken arasındaki fark **offset** olarak tanımlanır ve orantısal kontrol için karakteristik bir sonuçtur. Orantısal mod ile oluşan offset'in sebebi kontrol modunun hata ile orantılı olması ile açıklanabilir.

PI kontrol modunda bulunan İntegral modu kontrol değişkeninde oluşan offset'i ortadan kaldırır fakat **P** kontrol modundan daha büyük osilasyon periyoduna, daha uzun tepki

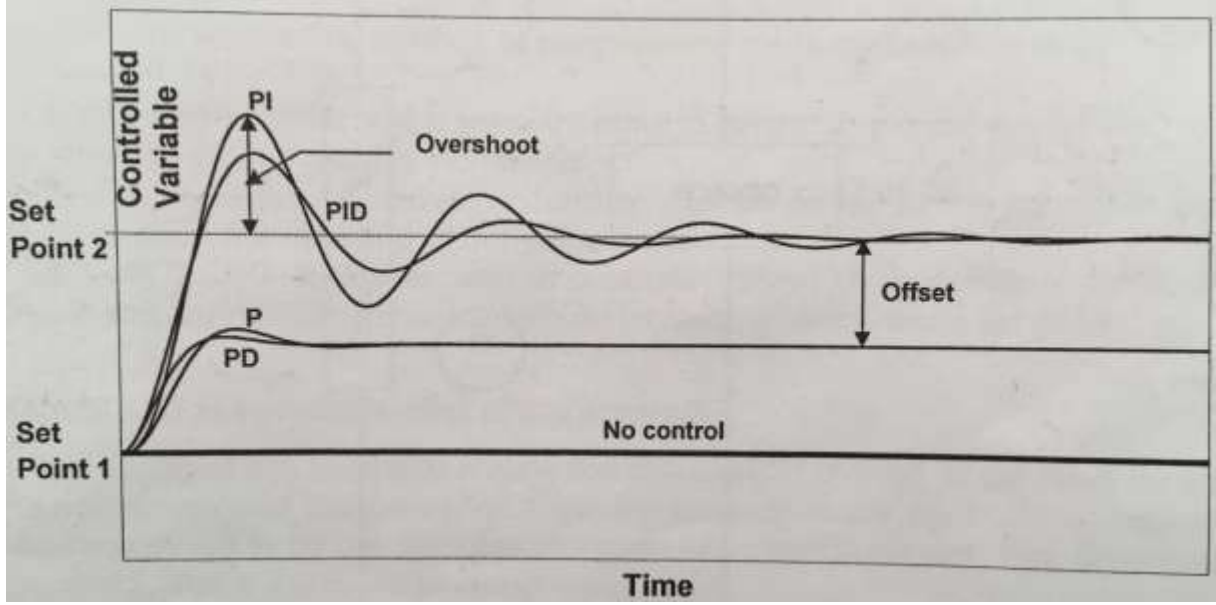
zamanına ve daha büyük hataya neden olur. **PD** kontrol modundaki türev terimi hata hızlı değişirken yüksek bir kazanç, hata yavaş değişirken düşük bir kazanç sağlar. Bu mod sayesinde, kontrol edilen değişken en az osilasyon ve en düşük maksimum hata sağlar. Aynı miktarda orantısal kazanç ile yalnız P kontrol modunda elde edilen aynı büyüklükte offset'e neden olur.

PID kontrol modu aslında **PI** ve **PD** kontrol modlarının avantaj ve dezavantajları arasında kalan bir kontrol mod çeşididir. İntegral modun varlığı ile offset giderilir ve türevsel mod maksimum hatayı ve osilasyon zamanını azaltır.

Overshoot kontrol edilen değişkenin kararlı hal değerini aştığı miktardır ve PI ve PID kontrol modlarının karakteristik özelliğidir. Şekil 3'de bir disturbance ve Şekil 4'de ise bir set point değişimleri için kontrol modlarının etkisi görülmektedir.



Şekil 3. Bir disturbance değişimi için kontrol modlarının etkileri



Şekil 4. Bir set point değişimi için kontrol modlarının etkileri

Deneye Hazırlık

Deneye başlamadan önce aşağıdaki soruları cevaplayınız:

1. Proses kontrol yöntemlerini açıklayınız.
2. Distürens, ayarlanılabilen değişken, kontrol edilen değişken, set point terimlerini açıklayınız.
3. Orantısal (P), integral (I) ve türevsel (D) kontrolü ve bunlar arasındaki farkı açıklayınız.
4. Kontrolör ayarlama tekniklerini yazınız, bu tekniklerden Ziegler–Nichols (ZN) metodunu açıklayınız.
5. Deney düzeneğini inceleyiniz. Düzeneğin şematik ve blok diyagramlarını çiziniz. Bloklar arasındaki sinyalleri çizimde belirtiniz.
6. Düzenekte kullanılan sensörleri ve bu sensörlerin fonksiyonlarını belirtiniz.

Deney Prosedürü

1. Bu deneyde çelik bir haznede rezistans ile ısıtılan su, sirküle edilirken soğutucu eşanjörlerden geçirildiği için hazneye soğuk olarak geri döner. Bu soğutmanın yanı sıra sistemdeki ısı kayıpları da sistemin soğumasına neden olmaktadır. Deneye başlamadan önce sistemi kontrol eden yazılımı öğreniniz.
2. Deneye başlarken çelik hazne LI-01 sensöründe %20-40 seviye görünecek kadar doldurulur ve HEATER aktüatörünün %100 devreye alınması ile ısıtılır. Sıcaklık 40-60°C arası uygundur.
3. Eşanjörün soğuk akım tarafındaki küresel vananın bir miktar açılması ile belli bir debi sağlanır.

4. Pompa devreye alınır ve belli bir debi sağlandıktan sonra (FV-01 ile manuel olarak veya FIC-01 döngüsü AUTO durumda kullanılarak) dönüş suyundaki soğuma TI-02 sensöründeki sıcaklık okunarak tespit edilir.
5. TIC-01 döngüsü AUTO durumuna alınır ve uygun bir set değeri verilir. Burada döngünün görevi, eşanjördeki soğumayı ve ısı kayıpları karşılayacak şekilde HEATER aktüatörüne güç vermek ve hazne içi sıcaklığı set edilen değerde tutmaktır.
6. K, T ve D ayarları Ziegler–Nichols (Z-N) yöntemi kullanılarak ayarlanır ve uygun kontrol sağlanır.
7. Bozan etki olarak, soğutma suyu debisi değiştirilebilir. Bunun neticesinde TI-02 değeri ve kontrol döngüsünün tepkileri gözlenir.
8. Bir başka bozan etki olarak FIC-01 veya FV-01 durumları değiştirilerek, sirküle eden suyun miktarı değiştirilir. Böylece eşanjörden geçen debi değiştikçe, kaybedilen ısının da miktarı değişir. Buna bağlı olarak da TIC-01 kontrol döngüsünün tepkileri gözlenir.

Deneyin Yapılışı

1. Sistem belli bir sıcaklık noktasına ayarlanarak varsayılan ayarlarla sıcaklık değişimi gözlemlenir.

2. Sistem yatışkın hale ulaştıktan sonra sırasıyla aşağıdaki basamaklar izlenir:

Basamak 1: Türev ve integral sabitlerinin elimine edilmesi ve sistemin sadece orantısal kontrolde çalışabilmesi için τ_i olası en büyük değere, τ_d 0'a ayarlanır.

Basamak 2: K_c küçük bir değere eşitlenir (0,05 gibi). Kontrol edici otomatik moda getirilir.

Basamak 3: Kontrol edilen değişkenin ayar noktasından uzaklaşması için anlık bir bozan etki verilir. Sürekli döngü oluşana kadar K_c sürekli olarak arttırılır. Sürekli salınım gözlemlendiği K_c değeri K_{cu} değerine eşittir. Gözlemlenen salınıma karşılık gelen periyoda da P_u denir.

Basamak 4: Ziegler-Nichols veya Tyreus-Luyben yöntemleri için gerekli PID kontrol parametreleri hesaplanır.

Basamak 5: Hesaplanan PID parametreleri ile sisteme bozan etki verilir ve ayarlar test edilir.

Çizelge 1. Sürekli döngü metoduna dayalı kontrol edici ayarları

Zeigler-Nichols	K_c	τ_I	τ_D
P	0,5 K_{cu}		-
PI	0,45 K_{cu}	$P_u/1,2$	-
PID	0,6 K_{cu}	$P_u/2$	$P_u/8$
Tyreus-Luyben	K_c	τ_I	τ_D
PI	0,31 K_{cu}	$2,2P_u$	-
PID	0,45 K_{cu}	$2,2P_u$	$P_u/6,3$

Kaynaklar

- Dale Seborg, Thomas Edgar, Duncan Mallichamp, Francis Doyle, Proses Dinamiđi ve Kontrolü, 3. Basımdan çeviri (Çevirenler: Niyazi Alper Tapan, Sebahat Erdoğan)
- Ege Üniversitesi Kimya Mühendisliđi Bölümü, Kimya Mühendisliđi Laboratuvar Föyü.