

# ELEKTROPNÖMATİK BASINÇ KONTROL VALFLERİ

Necip ÇAYAN

## ÖZET

Endüstriyel uygulamalarda otomasyon ürünlerinin daha fazla kullanılmasına paralel olarak elektro pnömatik basınç kontrol valfleriyle geliştirilen sistemler son yıllarda yaygınlık kazanmaya başlamıştır. Dinamik olarak basıncın kontrol edilmesi ve ihtiyaca göre süratle değiştirilmesi gereken spreyci boyama, kumaş veya kağıt gerginliği kontrolü, mobil fren donanımları ve retarder sistemleri, yakıt enjeksiyon pompaları, iplik bükme, kaynak ve taşlama basıncı kontrolü gibi birçok endüstriyel uygulamada bu tip valfler kullanılmaktadır. Klasik pnömatik, sistemin yalnızca mekanik ve pnömatik bölümüyle ilgilenirken günümüzün modern otomasyon uygulamalarının vazgeçilmez bir parçası olan elektro pnömatik, mekanikle beraber elektronik kontrol sistemini de içermektedir.

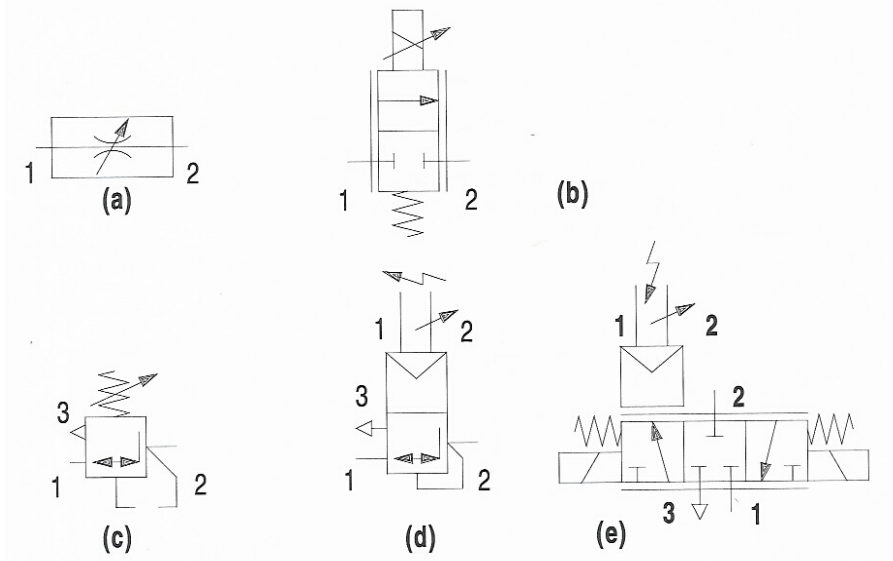
Elektro pnömatik basınç kontrol valfleri en temel anlatımla sistemdeki basıncı oldukça hassas olarak kontrol etme ve gerektiğinde değiştirme işlevini yerine getirmektedir. Elektro pnömatik basınç kontrol valfleri ile projelendirilen uygulamalarda, sistem basıncı, debisi, çalışma elemanlarının hızı, pozisyonu, kuvveti ve momenti oldukça esnek ve ekonomik olarak kontrol edilebilmektedir. Bu çalışmada elektro pnömatik kontrol valflerinin karakteristik özellikleri, kontrol algoritmaları, çalışma prensipleri ve uygulama alanları incelenecektir.

## 1. GİRİŞ

### 1.1. Tanımlar

Pnömatik sistemlerde kullanılan basınç regülatörü ve hız ayar valfleri, sistemdeki basınç ve debinin kontrol edilmesini sağlamaktadır. Kısmi valfi, basınçlı hava hattının kesit alanını değiştirerek debiyi ayarlar. (Örnek: Pnömatik bir silindirin hız ayarı) Bu valfin dezavantajlı yönü, besleme hattındaki basınç değişimlerini dengeleme yeteneğinin bulunmamasıdır. Basınç regülatörlerinin ise böyle bir dezavantajı yoktur. Besleme hattındaki basınç ayarlanılan değer altına düşmediği takdirde basınç sabit tutulabilir.

Klasik pnömatikte sıklıkla kullanılan bu komponentlerin elektro pnömatik ürün karşılıkları da mevcuttur. Eğer klasik pnömatik ve elektro pnömatik arasında bir analogi yapılırsa hız ayar valfinin karşılığı oransal valf, basınç ayar valfinin karşılığı elektro pnömatik basınç kontrol valfi olacaktır.



**Şekil 1.1.** Pnömatik semboller (a) Kısma valfi (b) 2/2 Oransal valf (c) Basınç regülatörü (d) Pilot kontrollü basınç kontrol valfi (e) Direkt kontrollü oransal basınç kontrol valfi

(Pnömatik ve hidrolik devre elemanları ile ilgili semboller ve standartlar ISO-DIN 1219'da belirtilmiştir. Bazı valflerin sembolleri farklı kaynaklarda değişik şekillerde gösterilebilir.)

**Tablo 1.1.** Analog ve elektronik akış/basınç kontrol valflerinin genel özellikleri

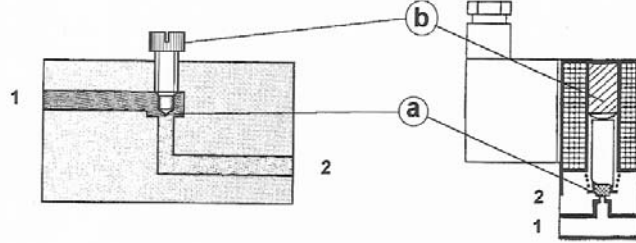
Klasik Pnömatik	Elektropnömatik
Hız Ayar (Kısma) Valfi	Oransal (2/2) Valfi
Basınç Ayar Valfi	Elektropnömatik Basınç Kontrol Valfi

	Hız Ayar Valfi	2/2 Oransal Valf	Basınç Ayar Valfi	E/P Basınç Kontrol Valfi
Debi Regülasyonu	EVET	EVET	HAYIR	HAYIR
Basınç Regülasyonu	HAYIR	HAYIR	EVET	EVET
Giriş Basıncındaki Değişimleri Dengeleyebilme	HAYIR	HAYIR	EVET	EVET
Çıkış Basıncındaki Değişimleri Dengeleyebilme	HAYIR	HAYIR	EVET	EVET
Debi Kontrol Mekanizması	Mekanik	Elektronik	-	-
Basınç Kontrol Mekanizması	-	-	Mekanik	Elektronik

## 1.2. Hız Ayar Valfi- 2/2 Oransal Valf

Hız ayar valfleri ve 2/2 oransal valfler, kesit alanı değişebilen bir kısma noktası (a) yardımıyla basınçlı havanın akış hızını ve dolayısıyla debisini kontrol eder. Hız ayar valfinde kısma işlemi, mekanik olarak el ile ayarlanan bir vidanın (b) havanın geçiş alanını kısıtlamasıyla gerçekleşir. Aşağıdaki şekilde yer

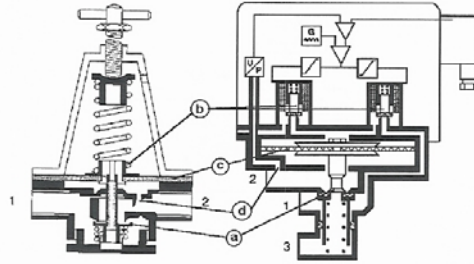
alan 2/2 oransal valfte ise kısma işlemi, konumu ve dolayısıyla etkin hava geçiş kesiti hassas olarak kontrol edilebilen oransal selenoid (b) ile kontrol edilmektedir.



Şekil 1.2. Hız ayar valfi ve oransal kısma valf

### 1.3 Basınç Regülatörü-Elektropnömatik Basınç Kontrol Valfi

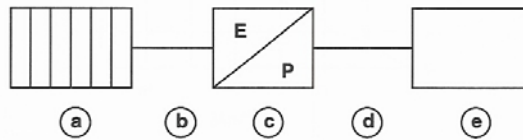
Basınç regülatörleri, çıkış basıncını yay ve diyaframdan oluşan bir mekanizma yardımıyla kontrol etmektedir. Elektropnömatik basınç kontrol valflerinde ise mekanik kontrol yerine elektronik olarak kontrol edilebilen bir veya iki adet selenoid valf bulunur. Her iki pnömatik bileşenin çıkış basıncını kontrol eden geri besleme sistemi (d), diyafram (c) ve oturtmalı (poppet) valfi (a) bulunmaktadır.



Şekil 1.3. Basınç regülatörü ve pilot kontrollü elektropnömatik basınç kontrol valfinin iç yapıları

### 1.4. Elektronik Kontrol

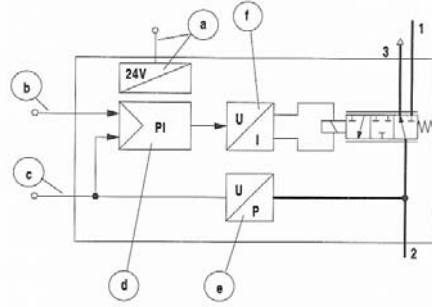
Oransal ve elektropnömatik basınç kontrol valfleri, istenilen ayar ve kontrol işlevini elektronik kontrol algoritmaları aracılığıyla yerine getirmektedir. Elektronik kontrol ile kontrol edilen sistemin çıkış basıncını veya debisini, elektrik sinyalleri aracılığıyla ayarlamak mümkündür. Gereken sinyal, mekanik bir uyarı yerine elektronik olarak basınç kontrol valfine iletilir.



Şekil 1.4. Elektropnömatik basınç kontrol sistemi elemanları  
(a) Proses kontrol ünitesi-PLC (b) Sinyal ve güç kablosu (c) Basınç kontrol valfi  
(d) Pnömatik basınç hattı (e) Basınç kontrolü yapılan sistem

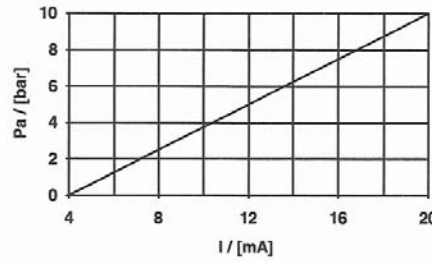
### 1.5. Elektropnömatik Basınç Kontrol Valfi

Aşağıdaki şekilde, elektropnömatik basınç kontrol valfinin blok diyagramı yer almaktadır. Bu diyagramda yer alan bileşenler ile ilgili detaylar daha sonra incelenecektir.



**Şekil 1.5.** Elektropnömatik basınç kontrol valfinin blok diyagramı  
(a) Güç kaynağı (b) Komut giriş değeri (c) Gerçek çıkış değeri (d) Kontrol sistemi  
(e) Basınç sensörü çıkış modülü (f) Pnömatik bağlantılar

Elektropnömatik basınç kontrol valfi genellikle basınç regülasyonu amacıyla kullanılır. Çıkış basıncı, kontrol sistemine elektrik sinyali olarak gönderilen bir giriş değerine göre ayarlanır. Aşağıda yer alan grafik, valfin çıkış basıncı ile sinyal giriş değeri arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



**Şekil 1.6.** 0-10 Bar çıkış, 4-20 mA giriş değerine sahip elektropnömatik basınç kontrol valfinin giriş-çıkış karakteristik eğrisi

## 2.KONTROL ALGORİTMALARI

Endüstriyel otomasyon sistemlerinde kullanılan kontrol algoritmaları ile elektropnömatik basınç kontrolünde kullanılan kontrol sistemlerinde birçok benzerlikler bulunmaktadır. Bu bölümde temel kontrol sistemleri ve algoritmaları incelenecektir.

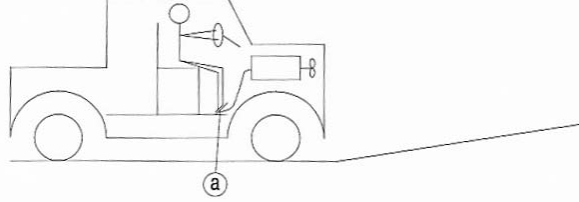
### 2.1. Açık ve Kapalı Devre Kontrol Sistemleri

Kapalı ve açık devre kontrol algoritmaları arasında çok temel farklılıklar bulunmaktadır. Açık devre kontrol sisteminde kontrol edilen parametre ile ilgili ayarlama yapılır ancak ayarlanan bu değerle ilgili herhangi bir ölçme, değerlendirme veya düzeltme asla yapılmaz. Kapalı devre kontrol algoritmalarında ise ayarlanan değerle ilgili sürekli ölçmeler yapılarak istenilen çıkış değerinin kontrol edilmesi ve sabit kalması sağlanır.

Açık ve kapalı devre kontrol sistemleri arasındaki algoritma farklılıkları, motorlu bir taşıtın hızının kontrol edilmesiyle ilgili bir örnekle açıklanabilir.

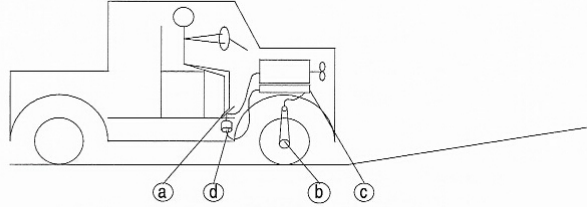
Açık devre kontrol sisteminde motorlu taşıtın sürücüsü gaz pedalı (a) yardımıyla aracın hızının istediği değere ulaşmasını ve bu seviyede sabit kalmasını sağlamaktadır. Sürücünün gaz pedalı üzerindeki

basıncı sabit tutması durumunda aracın hızı sabit kalacaktır. Ancak bu kontrol algoritmasında ayarladığınız parametrenin değerini değiştirebilecek harici faktörler göz önüne alınmamıştır. Aracın hızı, yolun eğimi ve rüzgarın etkisi değişmediği müddetçe sabit kalır. Bu iki harici etkenden birisi değiştiği takdirde araç yavaşlayacak veya hızlanacaktır.



**Şekil 2.1.** Klasik hız kontrol sistemi  
Gaz pedalı (a) aracılığıyla hız ayarı (Açık devre kontrol sistemi)

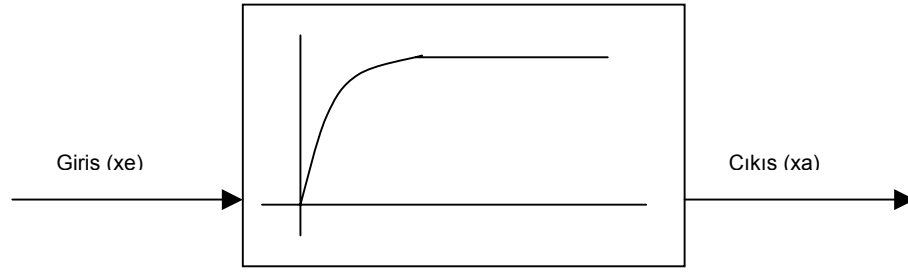
Kapalı devre kontrol algoritmasında ise aracın hızı daha gelişmiş bir sistemle kontrol edilmektedir. Sürücü açık devre sistemde olduğu gibi gaz pedalı (a) aracılığıyla istediği hız değerini tayin eder ve otomatik sabit seyir (auto-cruise) sistemini devreye sokar. Ancak bu sistemde tekerleğe entegre edilmiş bir takometre (b) bulunmaktadır ve bu takometrenin ölçtüğü hız değeri kontrol ünitesine iletilir. Kontrol ünitesi, sürücünün gaz pedalıyla ayarlayıp sabitlediği değerle takometreden gelen ölçüm sinyalini sürekli olarak karşılaştırır ve gerekirse motor devrini değiştirerek sürücü tarafından ayarlanan değere ulaşmaya ve bu değeri sabit tutmaya çalışır.



**Şekil 2.2.** Gelişmiş hız kontrol sistemi  
(a), Gaz pedalı (b) Hız sensörü – takometre (c) Elektronik kontrol ünitesi (d) Gaz pedalı motoru

## 2.2. Giriş Fonksiyonları ve Bloklar

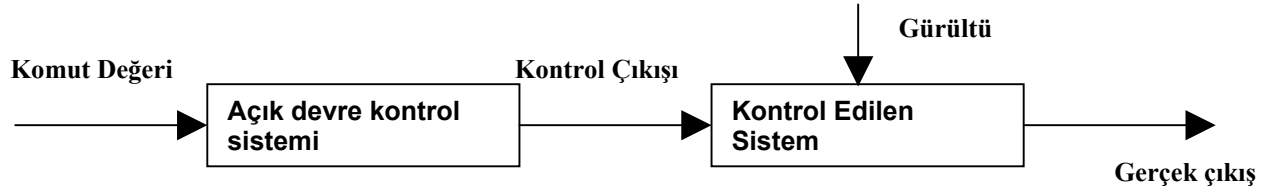
Kapalı devre kontrolde sistemin elemanları bir bütün olarak değerlendirilir ve kontrol sistemi spesifik bir görevi yerine getirecek şekilde programlanır. Sistemin elemanları, diyagramlarda bloklar olarak gösterilir. Bir bloğun fonksiyonu, çıkış (xa) değerinin giriş (xe) değerine göre davranışı veya tepkisi olarak tanımlanmaktadır. Kontrol sistemlerini birbirleriyle karşılaştırabilmek amacıyla bazı standart giriş fonksiyonları bulunmaktadır. Basamak (Step) fonksiyonu bu standart giriş fonksiyonlarından biridir. Basamak fonksiyonunda giriş değeri sıfırdan istenilen değere çıkartılır. Giriş değeri (xe) için standart basamak fonksiyonu kullanılarak kontrol sisteminin elemanlarının veya sistemin tamamının davranış karakteristiği incelenebilir. Bu davranış karakteristikleri grafiklerle ifade edilir ve bu grafikler yardımıyla sistemi oluşturan elemanlar veya sistemin bütünü hakkında bilgi edinmek mümkündür.



Şekil 2.3. Giriş (xe) ve Çıkış (xa) değerleri verilen bir blok

### 2.3 Açık ve Kapalı Devre Kontrol Sistemlerinin Blok Diyagramları

Kapalı ve açık devre kontrol sistemlerinin algoritmalarında ve kullanılan elemanlarda bazı temel farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıklar blok diyagramlarında şöyle gösterilir.

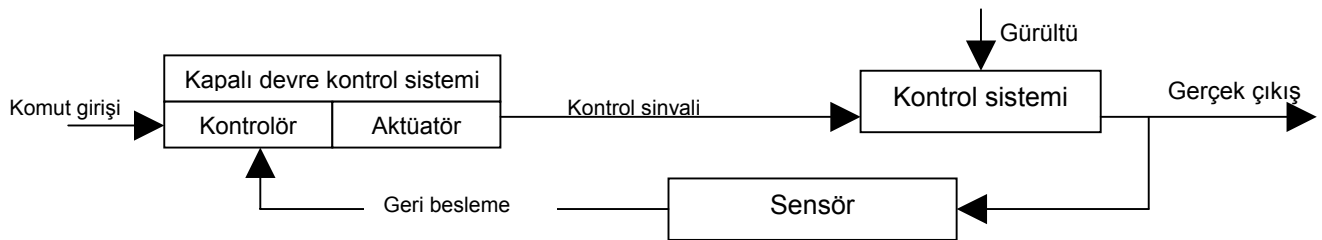


Şekil 2.4. Açık devre kontrol sisteminin blok diyagramı

Tablo 2.1. Açık devre kontrol sistemi ve sistemin elemanları ile ilgili kavramlar

	Açıklama	Örnek
Giriş değeri	Kontrol edilen parametre	Hız ayarı
Açık devre kontrol sistemi	Ayar mekanizması	Gaz pedalı
Kontrol çıkışı	Ayarlanabilir komut girişi	İçten yanmalı motor
Kontrol edilen sistem	Dinamik sistem veya proses	Motorlu taşıt
Gürültü	Harici etkenler	Yoldaki eğim
Çıkış değeri	Sistemin genel davranışı	Aracın gerçek hızı

Açık devre kontrolden kapalı devre kontrole geçerken blok diyagramlarında bazı değişiklikler yapılır ve bazı elemanlar sisteme eklenir.



Şekil 2.5. Kapalı devre kontrol sisteminin blok diyagramı

**Tablo 2.2.** Kapalı devre kontrol sistemi ve sistemin elemanları ile ilgili kavramlar

	<b>Açıklama</b>	<b>Örnek</b>
<b>Giriş değeri</b>	Kontrol edilen parametre	Hız ayarı
<b>Açık devre kontrol sistemi</b>	Ayar mekanizması	Gaz pedalı
<b>Kontrol çıkışı</b>	Ayarlanabilir komut girişi	İçten yanmalı motor
<b>Kontrol edilen sistem</b>	Dinamik sistem veya proses	Motorlu taşıt
<b>Gürültü</b>	Harici etkenler	Yoldaki eğim
<b>Çıkış değeri</b>	Sistemin genel davranışı	Aracın gerçek hız
<b>Sensör</b>	Ölçüm cihazı	Takometre
<b>Geri besleme</b>	Sistemin davranış eğilimi	Takometre frekans sinyali

#### 2.4. Kontrol Sistemleri ve Uygulama Alanları

Kontrol sistemlerinde oransal (P), entegral (I) ve türevsel (D) olarak 3 farklı tip temel denetleyici (controler) kullanılmaktadır. Aşağıdaki tabloda bu denetleyicilerin değişik kombinasyonları ve karakteristik özellikleri yer almaktadır.

**Tablo 2.3.** Çeşitli kontrol sistemi tipleri ve özellikleri

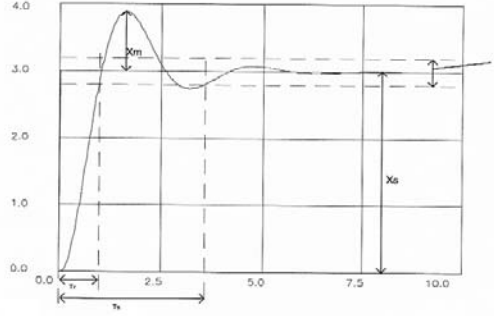
<b>Kontrolör Tipi</b>	<b>Davranış</b>	<b>Kod</b>	<b>Nitelik</b>
<b>P</b>		Kp	Hızlı
<b>I</b>		Tn	Yavaş ancak hassas
<b>D</b>		Tv	Hızlı ancak ortamdaki gürültüye karşı hassas
<b>PI</b>		Kp, Tn	Endüstriyel uygulamalarda sıklıkla kullanılır Hızlı ve hassas
<b>PD</b>		Kp, Tv	Hassasiyeti düşük
<b>PID</b>		Kp, Tv, Tn	En gelişmiş kontrolör tipi Hızlı ve hassas Ayarlanması zor ve karışık

#### 2.5. Kapalı Devre Kontrol Sistemlerinin Davranış Karakteristikleri

Bir kontrol sistemi seçilirken, sistemin hız, cevap verme süresi, hassasiyet, tolerans gibi karakteristik davranış özellikleri incelenir ve bu değerlere göre seçim yapılır.

Kontrol sistemleri ve sistemin değişik elemanları arasında standart bir karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla DIN 19622 normunda  $X_m$  (Maksimum Sapma),  $T_s$  (Ayar Süresi) ve  $T_r$  (Çıkış Süresi) kavramları şöyle belirlenmiştir.

- Maksimum sapma, giriş değerinin üzerindeki en yüksek sapma değeridir.
- Ayar süresi, bir kontrol sisteminin istenilen giriş değerine belirli bir tolerans aralığı içinde ulaşana kadar geçen süredir.
- $T_r$ , giriş komut sinyali gönderildikten sonra sistemin istenilen değere belirli bir tolerans aralığı içinde ulaşana kadar geçen sürenin ölçüsüdür.
- Tolerans aralığı, giriş değerinin alt ve üst sınırları olarak belirlenen aralıktır.



**Şekil 2.4.** Kapalı devre kontrol sisteminin basamak fonksiyonuna göre davranış grafiği

DIN standartlarında belirtilen kriterlerin yanı sıra bazı ek karşılaştırma kriterleri de bulunmaktadır. Zaman sabiti ( $T_{63}$ ) olarak bilinen kriter, giriş değerinin değiştirilmesinden sonra kontrol sisteminin nihai çıkış değerinin % 63'üne ulaşana kadar geçen süre olarak tanımlanmaktadır. Buna benzer şekilde  $T_{90}$ ,  $T_{95}$  ve  $T_{99}$  zaman sabitleri de pratik olarak kullanılmaktadır. Herhangi bir kontrol sistemi seçilirken yukarıda belirtilen kriterlerin göz önünde bulundurulması, sistemin ve sistemi oluşturan elemanların hız, hassasiyet ve cevap verme yeteneği açısından istenilen özelliklere uygun olmasını sağlayacaktır.

## 2.6. Stabilite ve Optimizasyon

Herhangi bir proses veya operasyonda bir kontrol sistemi kullanılacaksa, öncelikle proses veya operasyonlarla ilgili parametrelerin tayin edilmesi gerekmektedir. İstenilen görevi yerine getirebilecek birden fazla kontrol çözümü bulunabilir ve bunların hangisinin optimum çözüm olduğunun net bir yanıtı yoktur. Bazı uygulamalarda küçük sapmalarla beraber kısa cevap verme süresi gerekirken bir başka uygulamada kontrol değerinin kesinlikle üzerine çıkılmasına müsaade edilmeyebilir. Sistem parametrelerinin doğru ayarlanması, sistemin dinamik cevap verme, hassasiyet ve stabil kontrol gibi karakteristiklerini belirler.

Bir kontrol sisteminden beklenen en temel özellik sistemin stabil bir yapısının olmasıdır. Sistem durağan rejim halinde çalışmaya başladığında periyodik salınımların (osilasyon) olması, arzu edilen bir özellik değildir.

## 3. ELEKTROPNÖMATİK BASINÇ KONTROL VALFLERİ ve ÇALIŞMA PRENSİPLERİ

Endüstriyel uygulamalarda kullanılan elektro pnömatik basınç kontrol valfleri temel olarak aynı işlevi yerine getirmekle beraber çok farklı tip ve boyutlarda olabilmektedir. Bir elektro pnömatik basınç kontrol valfinden beklenen en genel özellik, elektrik sinyal giriş değeri ve basınç çıkış değeri arasındaki ilişkinin lineer olmasıdır. Hassasiyet, hız, cevap verme süresi ve hava geçirgenliği gibi değişik ihtiyaçlara göre geliştirilmiş farklı tipleri bulunmaktadır.

Elektro pnömatik basınç kontrol valflerinde iki tip geri besleme (feedback) olabilir;

- Pnömatik Geri Besleme

Kontrol sistemi kapalı devre ve elektrikli olmakla beraber geri besleme sinyali pnömatik olarak iletilir.

- Elektrikli Geri Besleme

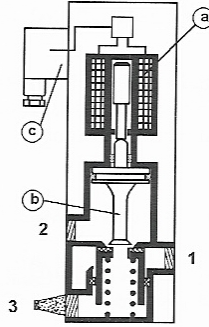
Kontrol, giriş ve geri besleme sinyallerinin tamamı elektrikli dir. Pilotlu ve direkt uyarılı olmak üzere iki farklı versiyonu mevcuttur.



### 3.1. Pnömatik Geri Beslemeli Elektropnömatik Basınç Kontrol Valfleri

Bu tip basınç kontrol valfleri, oransal selenoid tarafından kontrol edilen basınç regülatörü prensibiyle çalışır. Komut sinyali elektriksel olarak oransal selenoidi doğrudan hareket ettirir. Selenoid, sinyalin şiddetine göre çift piston üzerine belirli bir kuvvet uygular. Çalışma hattındaki basınç pistonun bir tarafına etki ederek karşı kuvvet oluşturur. Çalışma basıncının oluşturduğu kuvvet ile oransal selenoidin kuvveti birbirine eşitlendiğinde valfin pistonu tekrar eski konumunu alır.

Bu tip elektropnömatik basınç kontrol valfleri ile istenilen basınç değerini yaklaşık % 10 hata ile elde etmek mümkündür.



**Şekil 3.1.** Pnömatik geri beslemeli elektropnömatik basınç kontrol valfi  
(a) Oransal selenoid ve sürücü sistemi (b) Çift pistonlu oturtmalı (poppet) valf (c) Sinyal bağlantıları

### 3.2. Elektrik Geri Beslemeli Elektropnömatik Basınç Kontrol Valfleri

Elektrikli geri besleme sistemine sahip basınç kontrol valfleri 4 ana elemandan oluşur;

- Ölçme cihazı (Basınç sensörü)
- Kontrolör
- Selenoid sistemi ve sürücüsü
- Valf

Basınç sensörü çalışma hattındaki basıncı ölçer. Buradan alınan değer, giriş değeriyle birlikte kontrolöre gönderilir. Kontrolör giriş değeriyle ölçülen değer arasındaki farka göre bir kontrol değeri üreterek sürücüyü ve valfi kontrol eder. Sürücü elektriksel kontrol değerini mekanik harekete dönüştürerek basıncın ayarlanmasını sağlar.

Elektriksel geri beslemeli basınç kontrol valflerinin iki farklı tipi mevcuttur;

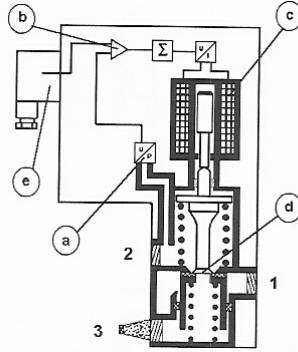
- Pilot uyarılı basınç kontrol valfleri
- Direkt uyarılı basınç kontrol valfleri

Direkt uyarılı basınç kontrol valflerde sürücü ve valf, mekanik olarak birleştirilmiş tek bir parçadan oluşur. Sürücü hava akışını direkt olarak kontrol altında tutarak basıncı regüle eder. Sürücü ve valf arasında pilot hattı bulunan basınç kontrol valfleri iki ayrı parçadan oluşabilir. Valf genellikle kontrol edilecek ortamın yakınında bulunur ve sürücü başka bir bölgeden pilot uyarısı yardımıyla valfi kontrol eder.

#### 3.2.1. Elektropnömatik Basınç Kontrol Valflerinin Çalışma Prensipleri

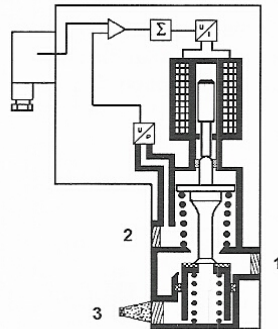
Elektropnömatik basınç kontrol valflerinin basınç kontrol prensipleri 3/2 oturtmalı (poppet) tip oransal valf örneğiyle açıklanabilir.

Öncelikle basıncın istenilen değere ulaştığı ve hava sarfiyatının sıfır olduğu varsayılacaktır. Bu konumda çalışma hattı (2) ne basınç hattına (1) ne de egzoz hattına (3) bağlıdır. Çalışma hattındaki basınç yükseltildiğinde, elektrik bağlantı portu (e) üzerinden gelen sinyal yardımıyla yeni bir komut değeri oluşturulur. Kontrolör (b) bu esnada ölçülen basınç değeri ile giriş değeri arasındaki farkı algılar ve buna bağlı olarak selenoide uyguladığı akımı yükselterek pistonu aşağı doğru iter. Pistonun hareket miktarı basınç sensöründen gelen değer (a) ile yeni basınç değerinin (e) arasındaki fark ile orantılıdır. Bu konumda çalışma hattı basınç hattına bağlanır ve çalışma basıncı istenilen değere yükselir.



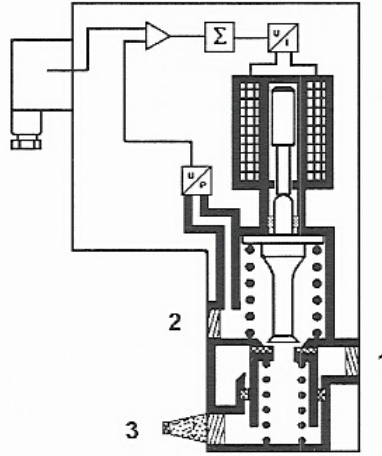
a	Çalışma hattındaki basınç sensörü
b	Kontrolör
c	Oransal selenoid ve sürücü sistemi
d	Oturmalı (poppet) valf
e	Bağlantı kabloları ve basınç değeri girişi

**Şekil 3.2.** Basınç kontrol valfi – Regülasyon konumu.  
Bu konumda herhangi bir hava akışı veya sarfiyatı yoktur.



**Şekil 3.3.** Basınç kontrol valfi – Artan basınç konumu

Çalışma basıncı istenilen değere yükseldiğinde kontrolör tarafından denetlenen kontrol sapması sıfıra iner. Selenoide giden akım tekrar azalır ve piston eski halini alarak besleme hattını kapatır. Bu işlemin tersinin istenmesi durumunda ise istenilen basınç değeri düşeceği için giriş ve ölçülen basınç değerleri arasındaki fark negatif olacaktır. Bu konumda selenoide giden akım azaltılır ve piston yukarı doğru hareket ederek çalışma hattını egzoz açar.



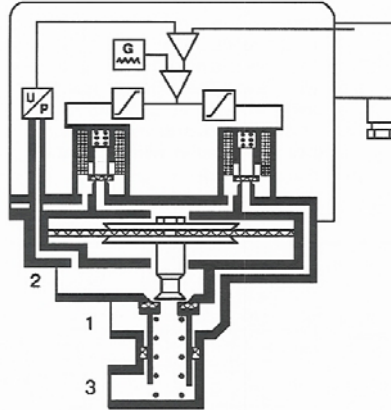
Şekil 3.4.

Buradaki açıklık, yine sapma miktarıyla doğru orantılı olacaktır. Çalışma basıncı istenilen değere düştüğünde piston tekrar eski konumunu alır ve giriş-çıkışları kapatır.

### 3.2.2. Pilot Kontrollü Elektropnömatik Basınç Kontrol Valfi

#### 2 /2 Pilot Valflerle Kontrol

Şekil 3-5'te er alan basınç kontrol valfi esasında oransal selenoidli olmamakla beraber analog elektrik sinyaline göre basınç regülasyonu yapar. Çıkış basıncı (2) komut değeri ile analog basınç-gerilim dönüştürücüsü aracılığıyla karşılaştırılarak oransal kontrolöre yollanır. 2/2 pilot valfleri kontrol değeri sapmasına göre hareket eder. Valfin kontrol odasındaki basınç komut değerine ulaşana kadar beslenerek veya tahliye edilerek istenen değer elde edilir.



Şekil 3.5. 3/3 Basınç kontrol valfi – A ve B valfleri pilot kontrol valfi olarak görev yapmaktadır. (A tahliye, B besleme)

Bu prensiple çalışan basınç kontrol valfleri yüksek hassasiyet ve doğrulukla beraber operasyonel emniyet açısından da oldukça başarılıdır. Oturtmalı (poppet) tip valflerin çalışma prensipleri sayesinde enerjinin kesilmesi durumunda bile en son ayarlanan basınç değeri korunacaktır. Bu tip valflerin dinamik cevap verme özellikleri birçok genel amaçlı uygulama için yeterlidir. Entegre elektronik devrenin güç tüketimi oldukça düşüktür ve sadece komut değerinin veya harici etkenlerin değişmesi durumunda çok az hava sarfiyatı olur.

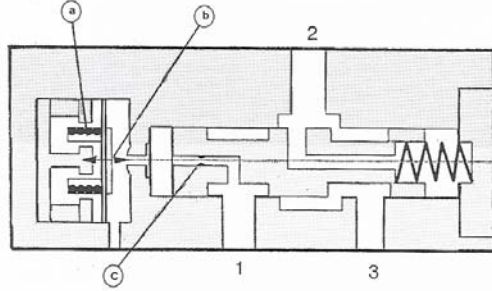
Pilot valfler ile kumanda edilen sistemlerde pilot valflere komut değerinin üstünde ve altında belirli bir aralıkta sinyal göndermek mümkün değildir. Bu aralığın büyüklüğü valfin gecikme ve cevap verme karakteristiğini tayin eder. Bu sebeplerden bu tip basınç kontrol valflerinin PI kontrol algoritmalarıyla çalıştırılması mümkün değildir. Çıkış basıncının çok seri ve sürekli olarak kontrol değiştirilmesi gereken uygulamalarda direkt kontrollü basınç kontrol valflerinin kullanılması daha uygun olacaktır.

### Oransal Selenoidli Pilot Kontrol

Oransal selenoid kontrollü basınç kontrol valflerinde iki adet 2/2 pilot valfi yerine tek bir oransal pilot valf bulunur. Pilot valf daha büyük anma ölçüsündeki bir başka valfin çıkış basıncını denetler. Bu prensiple çalışan 2" ölçüsünde valfler bulmak mümkündür.

### Diyafram-Orifis Tipi Pilot Kontrol

Diyafram kontrol prensibiyle çalışan basınç kontrol valflerinde ana valfin sürgüsü diyafram-orifis kombinasyonu ile kontrol edilir. Ana valfin sürgüsü ve sızdırmaz elemanları metalik malzemelerden yapılmıştır ve kullanılan havanın oldukça kaliteli olması gerekir. Bu prensiple çalışan sistemler oldukça dinamik cevap verme ve düşük güç tüketimi özellikleriyle ön plana çıkarlar. Hacmi ve ağırlığı oldukça düşük, harici etkenlere cevap verebilme kabiliyeti oldukça yüksek olan bu valfler özellikle pnömatik pozisyonlama uygulamalarında başarılı sonuçlar vermektedir. Bu tip valfler genellikle gövdelerine basınç sensörü entegre edilerek harici elektronik kartlarla kontrol edilir.

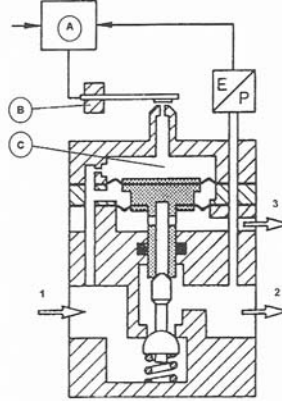


Şekil 3.6. Servo basınç kontrol valfi

(a) Diyafram-orifis kombinasyonundan oluşan pilot kontrol sistemi (b) Diyafram-orifis (c) Giriş orifisi

### Piezo-Rezistans Kontrollü Pilot Kontrol

Basınca değişimiyle elektrik direnci değişebilen malzemeler kullanılarak yapılan bu tip basınç kontrol valferinde pilot valfi piezo-seramik plaka ve diyafram-orifis kombinasyonu ile kontrol edilir. Gönderilen elektrik sinyaline göre direnci ve eğimi değişebilen piezo-seramik plaka, pilot diyaframını kontrol ederek basınç regülasyonu sağlar. Sekonder kontrol algoritmasıyla kontrol edilen bu tip valfler çok hassas çalışabilme ve dinamik cevap verebilme yeteneklerine sahip olmakla beraber özellikle sıcaklık değişimlerine ve basınçlı havadaki yabancı maddelere karşı son derece duyarlıdır.



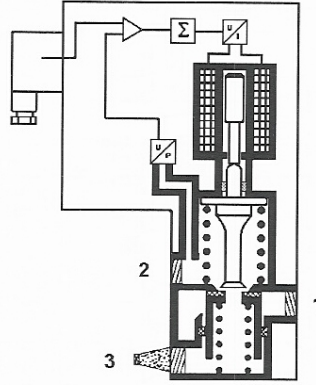
Şekil 3.7. Pilot valfi piezo-seramik konvertör plakası ile kontrol edilen entegre elektronsistemli basınç kontrol valfi

(a) Elektronik kontrol sistemi (b) Piezo-seramik konvertör (c) Kontrol odası

### 3.2.3. Direkt Kontrollü Basınç Kontrol Valfleri

#### Oransal Selenoidli 3/2 Oturtmalı (Poppet) Valf

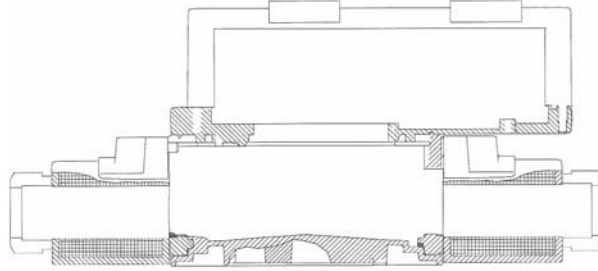
Direkt kontrollü basınç kontrol valflerinde istenilen çalışma hassasiyetine ulaşabilmek ve dinamik cevap verme özelliğini çok üst seviyelere çıkarmak mümkündür. Şekil 3-8'de basınç sensörü ve elektronik kartı gövdesine entegre olan direkt kontrollü basınç kontrol valfinin iç yapısı görünmektedir. Basınç kontrolü ve regülasyonu süresince sürekli olarak hava akışı vardır ve valf son derece sessiz ve basınçlı havadaki yabancı maddelerden etkilenmeden çalışmasını sürdürür. Bu tip valflerin elektronik kontrol kartlarında PI kontrol sistemi bulunur ve bu sayede gecikme ve tekrarlanabilirlik özellikleri maksimum çıkış basıncı değerinin %1'inden daha düşük seviyelerde tutulabilir.



Şekil 3.8. Oturtmalı (poppet) tip 3/2 basınç kontrol valfi (Direkt uyarılı)

#### 3/3 Oturtmalı (Poppet) Tip Direkt Kontrollü Basınç Kontrol Valfi

3/3 oturtmalı tip basınç kontrol valfleri 2 adet basınç kompensatörlü 2/2 kartriç valfin aynı gövde içinde kombinasyonu ile oluşturulmaktadır.

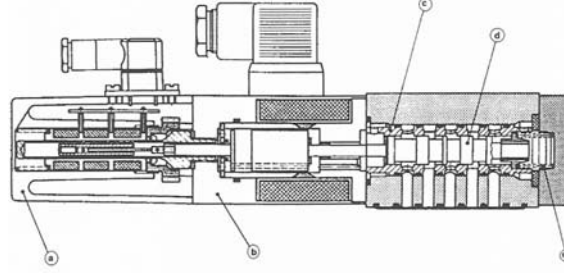


Şekil 3.9. Yüksek dinamik özelliklere sahip basınç kontrol valfi

Bu tip valfler oransal selenoidlerle kontrol edilir ve bu sayede valfin dinamik cevap verme kabiliyeti ve hassas çalışabilme özellikleri oldukça iyileştirilmiştir. Ayrıca iki farklı 2/2 valfin kombinasyonu ile çalışması sebebiyle enerji kesintisi durumunda bile en son ayarlanan basınç değeri korunacaktır. Entegre elektronik kontrol sisteminde lineer olmayan kontrol algoritmaları kullanılmaktadır ve valfin statik ve dinamik basınç kontrol karakteristiği oldukça iyidir. Basınçlı havada yer alan yabancı maddeler valfin fonksiyonunu etkilemez ve tesis basıncındaki dalgalanmaların çıkış basıncı üzerindeki etkisi oldukça düşüktür.

#### Oransal Selenoidli 5/3 Sürgülü Valf

Oransal selenoidli 5/3 sürgülü valflerin kontrol prensibi hidrolik oransal valf teknolojisinden esinlenerek geliştirilmiştir. Oldukça hassas sonuçlar elde edilebilmeyle beraber basınç kontrolü ve regülasyonu esnasında sürekli hava sarfiyatı ve enerji tüketimi olur. Bu tip valflerin çalışma prensipleri diğerlerine göre oldukça karmaşıktır. Elektronik kontrol sistemi harici olarak vakfe bağlanır.



**Şekil 3.10.** Pozisyon kontrollü 5/3 oransal valf  
(a) Pozisyon gerilim dönüştürücüsü (b) Kontrol selenoidi (c) Çelik sürgü  
(d) Valf sürgüsü (e) Geri dönüş yayı

### 3.3. Basınç Kontrol Valfleri Genel Karakteristik Özellikleri Tablosu

**Tablo 3.1.** Basınç kontrol valflerinin genel karakteristik özellikleri

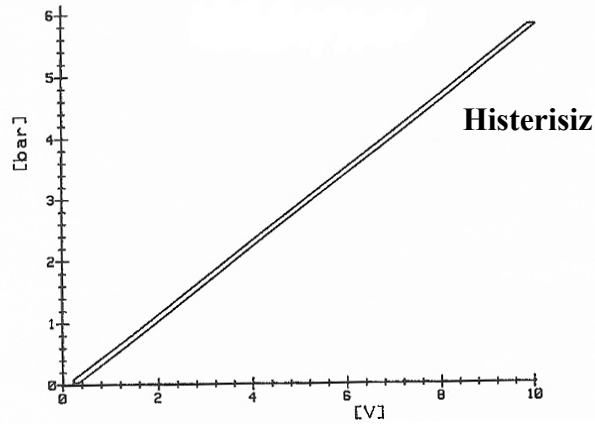
Karakteristik Özellik	Pnömatik Geri Besleme	Elektronik Geri Besleme	
		Direkt Uyarılı	Pilot Uyarılı
Tasarım	Oturmalı (Poppet) Tip	Oturmalı (Poppet) Tip	Oturmalı (Poppet) Tip
Anma Ölçüsü (mm)	<2mm	1,4,7,12 mm	4,7 mm
Histeri	%5	%1	%2
Tekrarlanabilirlik	%5	%0.5	%1
Hava Sızıntısı	AZ	YOK	YOK
Harici Güç Kaynağı	YOK	24 VDC	24VDC
Endüstriyel Standartlarda Giriş Sinyalleri İle Haberleşebilme	HAYIR	EVET	EVET

## 4. ELEKTROPNÖMATİK BASINÇ KONTROL VALFLERİNİN SEÇİM KRİTERLERİ

Elektropnömatik basınç kontrol valfleri kullanılan uygulamalarda seçim yaparken valfin basınç ve hava geçirgenliği değerlerinin yanı sıra bazı diğer karakteristik özelliklerin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Dikkat edilmesi gereken en önemli kriter valfin dinamik davranış özellikleri ve hassasiyetiyle ilgilidir. Örneğin çok ani ve sürekli basınç değişimleri gerektiren proseslerde dinamik cevap verme yeteneği yüksek olan valfler tercih edilirken hassas basınç ayarı gerektiren uygulamalarda ayar ve çıkış basıncı hassasiyeti yüksek ve histerisiz değeri düşük olan valfler kullanılmaktadır. Bu bölümde elektropnömatik basınç kontrol valflerinin temel seçim kriterleri incelenecektir. Örnek olarak verilen grafik ve diyagramlardaki verilerin aksi belirtilmediği takdirde oransal selenoid kontrollü ND4 anma ölçüsündeki valflerden alınmış olduğu kabul edilmelidir. Bu veriler genel bilgi ve karşılaştırma amacıyla kullanılabilir. Beraber projelendirme aşamasında üretici firmaların vereceği teknik detaylara ve bilgilere başvurulması doğru olacaktır.

### 4.1. Histerisiz

Histerisiz, herhangi bir kontrol sisteminin giriş komut değeri ile gerçek çıkış değeri arasındaki ilişkiyi minimum ve maksimum kontrol aralığında inceleyerek sistemin davranışı hakkında bilgi veren özelliklerden biridir. Elektropnömatik basınç kontrol valflerinin histerisiz verileri çıkış basıncının minimum-maksimum değerler arasında test edilmesiyle elde edilir. Önce komut sinyal değeri belirli kademelerde artırılarak çıkış basınç değeri kaydedilir. Aynı sinyal değerleri daha sonra azalarak sisteme verilir ve çıkış basıncı değerleri ölçülür. Elde edilen değerler sinyal giriş değeri - çıkış basıncı eksenlerinde çizilerek sistemin histerisiz karakteristik eğrisi çizilir. Histerisiz, teknik özellik tablolarında basınç veya maksimum sinyal yüzdesi olarak verilir.



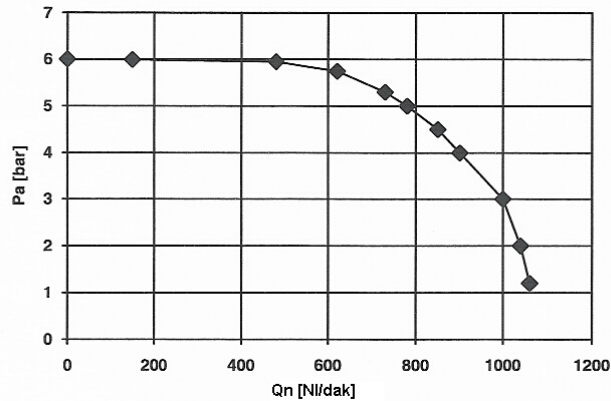
Şekil 4.1. Örnek histerisiz eğrisi

Şekil 4-1'de bir histerisiz eğrisi örneği görülmektedir. Direkt oransal selenoid kontrollü ND4 anma ölçüsündeki bir basınç kontrol valfine ait olan bu grafiğe göre histerisiz değeri 0-6 Bar çalışma aralığı için 60 mBar'dır. Histerisiz değeri yüzde olarak ifade edildiğinde şöyle ifade edilir.

$$\text{Histerisiz} = 60 \text{ (mBar)} \times 100 / 6000 \text{ (mBar)} = \% 1.0$$

#### 4.2. Basınç-Debi Fonksiyonu (PQ Eğrisi)

Basınç debi eğrisi basınç kontrol valfinin en temel davranış özelliklerinden biridir. Şekil 4-2'de yer alan eğri 6 Bar çıkış basıncına ayarlanmış ND4 anma ölçüsündeki bir elektropnömatik basınç kontrol valfinin çıkış basıncı ve çalışma hattı debisi arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Giriş basıncı 7 Bar ve ayarlanan çıkış basıncı 6 Bar değerinde iken yaklaşık 500 NI/dak. akışa kadar çıkış basıncı sabit kalmaktadır. Bu seviyeden sonra debi ancak basınç düşümü olduğu taktirde artmaktadır. Teknik olarak basınç kontrol valfinin debisi, giriş komut değeri ile ayarlanan basınçtan 0.2 Bar sapma oluşturduğu durumda geçirdiği debi olarak kabul edilmektedir. Bu değer uluslararası bir standart değildir ve farklı imalatçılar tarafından üretilen basınç kontrol valfleri farklı basınç-debi ölçüm yöntemleri ile test edilebilir.

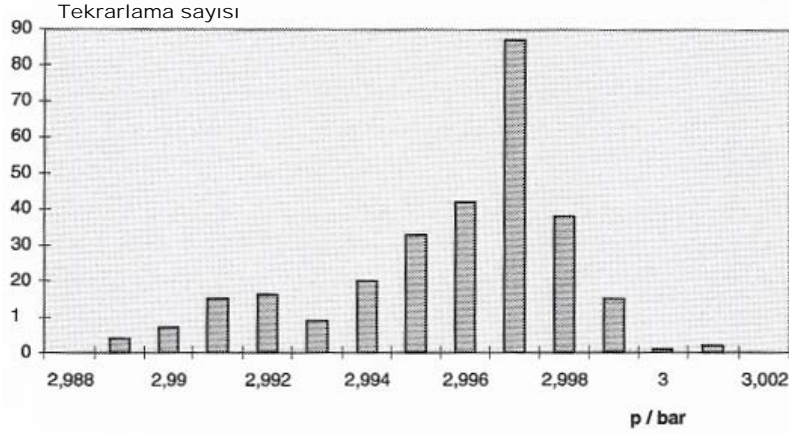


Şekil 4.2. ND4 anma ölçüsündeki bir elektropnömatik basınç kontrol valfinin P-Q eğrisi



### 4.3. Tekrarlanabilirlik

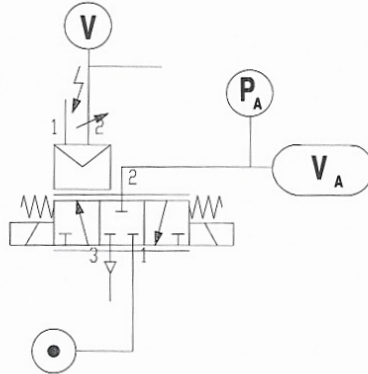
Tekrarlanabilirlik veya tekrarlama hassasiyeti bir kontrol sisteminin farklı zamanlarda belirli bir giriş komut değerine göre aynı çıkış değerini verebilme yeteneğidir. İstatistik çalışması olarak geçerli bir sonuç elde edebilmek amacıyla farklı çıkış basınç değerleri için ölçümler yapılır. Sabit bir giriş komut değeri seçilir ve bu komut değeri değiştirildikten sonra sistem aynı değere tekrar ayarlanarak çıkış basıncı ölçülür. Bu işlem birçok kez tekrarlanır ve giriş komut değeri-gerçek çıkış değerleri istatistiksel olarak değerlendirilir. Şekil 4-3'te 300 ölçümlük bir test ile ilgili histogram verileri yer almaktadır. Bu valfin 5.0V komut giriş değeri için ürettiği çıkış basıncındaki maksimum sapma 12mBar olarak görülmektedir.



**Şekil 4.3.** ND4 anma ölçüsündeki bir elektro-pnömatik basınç kontrol valfinin tekrarlama hassasiyeti verileri.  
(Giriş Komut Değeri = 5.0V, Çalışma Basıncı = 7 Bar, Test Hacmi = 0.6 l)

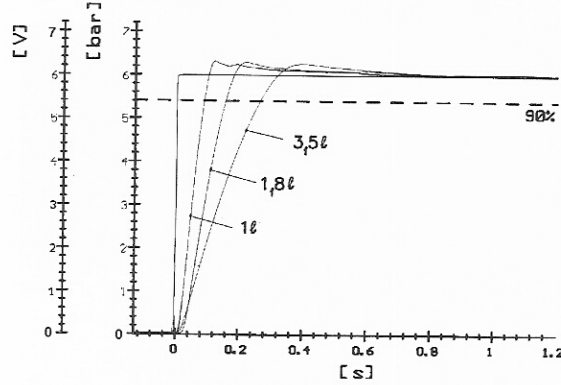
### 4.4. Basamak Fonksiyonu - Dinamik Tepki

Yukarıda bahsedilen kriterler elektro-pnömatik basınç kontrol valflerinin belirli bir basınç ayarına ulaşıldıktan sonra bu ayarı nasıl koruduklarını analiz etmeye yarayan karakteristik özelliklerdir. Ancak birçok uygulamada, ayarlanan basıncın hassasiyetle korunması ve değişmemesi kadar istenilen basınç değerine nasıl ve ne kadar sürede ulaşıldığı da önem taşımaktadır. Basamak fonksiyonu tepkisi veya dinamik tepki olarak adlandırılan kriter, basınç kontrol valfinin bu özellikleri hakkında bilgileri içerir. Dinamik cevap verme özellikleri ile ilgili veriler giriş basıncı, çalışma hacmi ve komut değeri gibi parametreler sabit tutularak ölçülür karşılaştırma tablo veya eğrileri buna göre hazırlanır. Şekil 4-5'te T90 zaman sabiti ve farklı çalışma hacimlerinde yapılan testlerden elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Bu eğrilerden belirli bir çalışma hacminde istenilen çıkış basıncı değerine ulaşılması için gereken süre kolayca okunabilir.



**Şekil 4.4.** Dinamik tepki özelliklerinin ölçümü için hazırlanmış basit bir test düzeneği





**Şekil 4.5.** ND12 anma ölçüsündeki bir elektro-pnömatik basınç kontrol valfinin farklı çalışma hacimlerdeki T90 zaman sabitine göre dinamik tepki süreleri

## 5. UYGULAMALAR

Elektro-pnömatik basınç kontrol valfleri birçok otomasyon sisteminde kullanılmaktadır. Basınç kontrol valfleri herhangi bir uygulamada doğrudan basınç veya diğer proses değişkenlerinin (örneğin kuvvet veya pozisyon) kapalı veya açık devre kontrol algoritmaları ile kontrol edilmelerini sağlayabilir. Bu sistemler yüksek ayarlama hassasiyetleri ve hızları ile sistemin toplam olarak dinamik cevap verme yeteneklerini iyileştirmekte ve kayda değer gelişmeler sağlamaktadır. Bunun yanı sıra oransal valf teknolojisinin gelişmesi ve daha sık kullanılması sayesinde proses parametreleri sürekli ve hassas olarak ayarlanabilmektedir. Sistemin ve prosesin gereksinimlerine göre daha önceki konularda basitçe değinilen hassasiyet, basınç-debi ilişkisi, tekrarlanabilirlik, dinamik tepki ve elbette ki maliyet kriterleri göz önüne alınarak ihtiyaçlara göre seçim yapılır.

Elektro-pnömatik basınç kontrol valfleri, genel otomasyon sistemleri, özel ve genel amaçlı makinalar, otomobil üretimi, ilaç ve kimya sektörü, tren sistemleri ve denizcilik gibi birbirinden çok farklı özelliklere ihtiyaç duyan uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu uygulamalarda spesifik olarak genellikle aşağıdaki proses parametreleri ayarlanır ve kontrol altında tutulur.

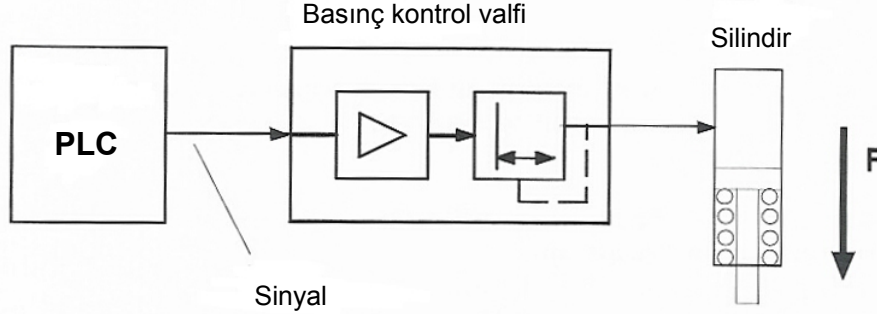
- Basınç
- Pozisyon
- Debi
- Kuvvet
- Hız
- Moment

Elektro-pnömatik basınç kontrol valfinden beklenen en temel işlev belirli bir basınç değerinin sürekli olarak aynı değerde tutulması veya belirli işlemlere paralel olarak basınç değerinin değiştirilmesidir. Diğer proses parametreleri basınç kontrolü üzerinden dolaylı olarak kontrol edilir. Sistem gereksinimlerini karşılayabilecek şekilde birçok farklı kontrol algoritması oluşturulabilir.

### 5.1. Temel Kontrol Devreleri

Bu bölümde belirli bir kuvvet elde edilmek üzere tasarlanan (silindir-valf kombinasyonu) elektro-pnömatik devrenin açık ve kapalı devre mimarileriyle oluşturulan farklı kontrol algoritmaları incelenecektir.

### 5.1.1. Geri Beslemesiz Kontrol Sistemleri



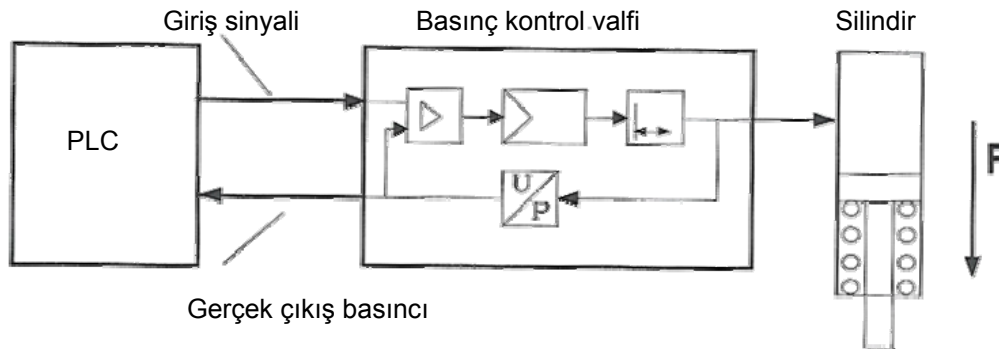
Şekil 5.1. Gerçek basınç değeri geri beslemesi olmadan çalışan kapalı devre kontrol sistemi

Bu devrede kuvvet kontrolü, sürtünmesi çok düşük olan diyafram tipi silindir ve bu silindiri kontrol eden pnömatik geri beslemeli basınç kontrol valfi aracılığıyla yapılmaktadır. Komut değeri analog sinyal verebilen bir elektronik cihaz veya PLC aracılığıyla valfe gönderilir. Basınç kontrol valfi genellikle endüstride kullanılan standartlara uygun olarak 0..10 V veya 0/4..20 mA aralığındaki sinyalleri yükselterek oransal selenoid sistemini sürer.

Bu tip basınç kontrol valfleriyle kurulan devrelerle yeterince hassas çalışmak mümkün değildir (Histerisiz ve tekrarlanabilirlik değerleri  $> 0.4$  bar) ve silindirin ürettiği kuvvet istenilen değerlerden çok farklı olabilir. Bir başka önemli sorun, proses parametrelerinin analog çıkış cihazı veya PLC üzerinde kaydedilmiş olmasıdır. Bu parametreler sistem konfigürasyonu değiştirildiğinde yeniden programlanmak durumundadır. Genel olarak bu tür devreler ve kontrol algoritmaları proses değişkenlerinin önceden tahmin edilebildiği ve çevresel faktörlerin etkisinin az olduğu uygulamalarda kullanılabilir.

### 5.1.2. Gerçek Çıkış Basıncı Geri Beslemeli Kontrol Sistemleri

Çıkış basınç değeri geri beslemeli sistemlerde elektro pnömatik basınç kontrol valfi pnömatik geri beslemeli basınç regülatörlerine benzer bir işleve sahiptir. Bu tür devreler, 5.1.1'de anlatılan sistemlere göre çok daha yüksek performansa sahiptir. Sistemin veya uygulamanın gereksinim duyduğu Histerisiz, tekrarlanabilirlik ve dinamik tepki değerlerinin bilinmesi ve bu ihtiyaçlara uygun ürünlerin kullanılması durumunda oldukça başarılı çözümler elde edilebilmektedir.



Şekil 5.2. Elektro pnömatik basınç kontrol valfi

Bu sistemlerin bir başka avantajı da gerçek çıkış basıncı değerinin sensör tarafından algılandıktan sonra 0..10V veya 0/4..20mA gibi endüstriyel standartlara uygun analog sinyal olarak sisteme geri verilebilmesidir. Analog çıkış basıncı sinyalleri elektronik göstergelerde veya daha farklı bir işlevi yerine getirebilmek amacıyla asıl kontrol sisteminde (PLC) kullanılabilir.

Bu tip bir algoritma ile proses değişkeni dolaylı olarak kontrol edilmektedir. Bu örnekte kontrol edilen proses parametresi silindirin verdiği itme kuvvetidir ve silindir kuvveti, silindire giden havanın basıncı aracılığıyla kontrol edilir. Efektif alanı sabit olan herhangi bir silindirin üreteceği kuvvet, hava basıncı ile doğru orantılıdır. Bu prensip çerçevesinde kurulan kontrol sistemi ile silindirin çalışma hattındaki basınç, elektropnömatik basınç kontrol valfinin sensörü tarafından kontrol edilerek giriş değeri ile kıyaslanır ve buna göre çalışma hattı basıncı kontrol altında tutulur. Dolaylı olarak silindirin baskı kuvveti kontrol edilmiş olur.

Bu sistemde basınç kontrol valfinin elektronik sistemi proses değişkenlerine karşı dinamik tepki verebilme özelliğine sahiptir. Genel olarak sistemdeki hata yüzdesi, geri besleme olmaya sistemlere göre düşüktür.

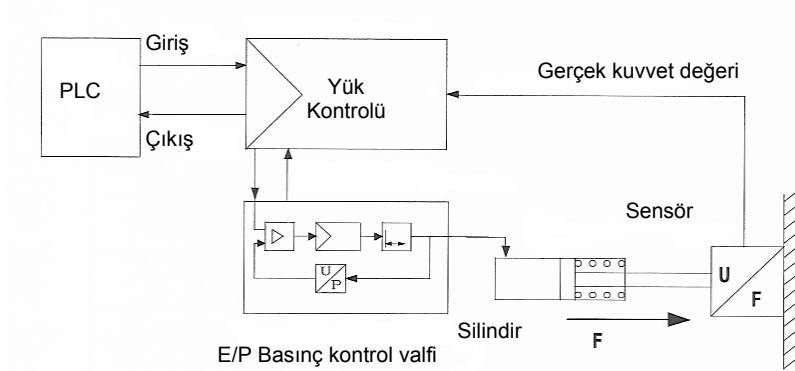
### 5.1.3. Proses Değişkeni Geri Beslemeli Kontrol Sistemleri

Bu tip sistemlerde proses değişkeni doğrudan kontrol edilir. Elektropnömatik devre elde edilen kuvveti algılayabilecek sensörlerle (Load Cell) donatılmıştır ve bu devreler endüstride “Yük Duyarlı Sistemler” olarak anılır. Silindirden elde edilen kuvvet ile ilgili elektrik sinyali doğrudan basınç kontrol valfi tarafından kullanılamaz. Bu sebeple sistemde elektropnömatik basınç kontrol valfini de kumanda eden üst düzey (primer) kapalı devre kontrol sistemi bulunmaktadır.

Doğrudan sistemin proses değişkenini kontrol eden ve bu değişkenden gelen geri beslemelere göre basınç kontrol valfini kumanda eden üst düzey kontrol (primer) sistemi, PLC ile entegre veya PLC’den farklı harici elektronik devre olarak çalışabilir. Basit sistemlerde direkt kontrol işlevi PLC tarafından yerine getirilir. Dinamik karakteristikli yük duyarlı sistemlerde ise direkt proses değişkeni kontrolünü ayrı ve özel olarak tasarlanmış elektronik kontrol ekipmanları gerçekleştirir.

Üst düzey (primer) elektronik kontrol sistemi giriş komut değerini açık devre sistemden (PLC veya analog sinyal sistemi) alır. Giriş komut değeri ve yük duyargasından gelen gerçek kuvvet değeri kapalı devre algoritması içerisinde karşılaştırılır. Bu karşılaştırma sonrasında oluşan fark, üst düzey (primer) kontrol sisteminin çıkış sinyali olarak alt düzey (seconder) kontrol sistemini oluşturan elektropnömatik basınç kontrol valfine gönderilir. Alt düzey (seconder) kontrol sisteminde standart oransal valf yerine basınç kontrol valfi kullanılmasının sebebi, kuvvet kontrolü ile ilgili dinamik tepki, tekrarlanabilirlik ve Histerisiz değerlerinin bilinebilmesi ve üst düzey (primer) sistem parametrelerinin bu değerlere göre kolayca ayarlanabilme şansının olmasıdır. Üst düzey (primer) kuvvet kontrol sistemi karakteristik olarak yavaştır ve dinamik tepki verme özelliği sınırlıdır. Dolayısıyla sistemin genel yapısı, öncelikle direkt kuvvet kontrolünü gerçekleştiren elektronik sisteme bağlıdır.

Proses değişkeni verilerinin doğrudan üst düzey (primer) kontrol sistemine geri besleme olarak gönderilmesi ve kontrol edilmesi, sistemin hızını ve dinamik tepki özelliklerini artırmaz. Direkt kontrol mimarisinde asıl amaç proses değişkeninin doğru ve hassas olarak kontrol edilebilmesidir. Üst düzey (primer) kontrol sistemi öncelikli olarak hata algılama ve düzeltme (diagnostics) işlevini üstlenir. Örneğin silindirin keçe gruplarındaki yıpranmalardan dolayı oluşan kaçakların zaman içinde değişmesi veya piston milinin mekanik problemlerden dolayı sıkışması durumunda bile silindirin ürettiği baskı kuvveti aynı olacak, fakat silindir kovanındaki basınç değişecektir. Daha önce anlatılan dolaylı kontrol sistemlerinde bu tür ayarlamaların yapılması ve doğrudan proses değişkenini etkileyen harici etkenlerin telafi edilmesi mümkün değildir.



**Şekil 5.3.** Gerçek proses değişkeni geri beslemesi

Kuvvet kontrolü için dolaylı basınç kontrolü yerine doğrudan yük duyarlı kontrol sisteminin kullanılması yapılması sistemin hassas çalışması ve ekonomikliğı açısından oldukça mantıklıdır. Basınç kontrol valflerinin elektronik sistemleri öncelikle basınç sensörü ve valfin pnömatik davranışını kontrol edecek şekilde tasarlanmıştır. Kuvvet değerlerinin çeşitli dönüştürücüler aracılığıyla doğrudan elektro pnömatik basınç kontrol valfine geri besleme sinyali olarak yollanması başarısız sonuçlar vermekte ve kararsız kontrol sistemleri oluşturmaktadır. Kuvvet kontrolü ile ilgili sistem parametreleri ve zaman sabitleri gibi değişkenler uygulamaya göre farklı olabilmekte, elektro pnömatik basınç kontrol valflerinin elektronik sistemleri de bu değişimlerine çok iyi cevaplar verememektedir.

Şekil 5-3'de yer alan sistem silindirdeki sürtünme, kaçak, karşı kuvvetler ve silindirin kesintili hareket etmesi gibi faktörlerden etkilenmeksizin oldukça hassas ve doğru sonuçlar üretebilmektedir. Bu sistemin en kritik elemanı, kuvvet algılaması işlevini yerine getiren yük sensördür.

## 5.2. Elektro pnömatik Basınç Kontrol Valflerinin Uygulama Alanları ve Örnekler

Aşağıdaki tabloda elektro pnömatik basınç kontrol valflerinin sektörlere göre uygulama alanları yer almaktadır. Bu tabloda yer alan bazı uygulama örnekleri daha detaylı olarak incelenecektir.

**Tablo 5.1.** Elektro pnömatik basınç kontrol valflerinin kullanıldığı sektörler ve uygulama alanları

SEKTÖR/UYGULAMA	KONTROL EDİLEN PROSES/DEĞİŞKEN
Kimya	Debi kontrolü
Boya	Boya tabanca basıncı kontrolü Hava hacmi kontrolü Hız kontrolü
İlaç	Hava hacmi kontrolü
Kağıt	Kağıt gerginliğı kontrolü Kaplama kalınlığı kontrolü Silindir baskı kuvveti kontrolü
Takım Tezgahları	Parlatma tezgahları baskı kontrolü
Otomotiv	Klima sistemleri Hız sabitleme sistemleri (Tempomat, Auto-Cruise ) Fren basıncı kontrolü Egzost manifoldu klape kontrolü Retarder fren sistemleri
Denizcilik (Marine) Uygulamaları	Değişken açılı pervane sistemleri Yakıt enjeksiyon pompa basıncı Pnömatik tahrikli gaz kolları
Tekstil	İplik bükme Kumaş baskı kontrolü

SEKTÖR/UYGULAMA	KONTROL EDİLEN PROSES/DEĞİŞKEN
Test Aparatları	Debi ölçüm sistemleri Kaçak test sistemleri Manometre kalibrasyon ve test aparatları
Paketleme-Ambalaj	Dozajlama sistemleri
Plastik Makinaları	Plastik film gerginliği kontrolü Şişirme havası kontrolü
Cam Endüstrisi	Silindir hareket kontrolü Şişirme/üfleme havası kontrolü Cam taşlama sistemleri
Kaynak Makinaları	Punta baskı kuvvet kontrolü Yakıt dozajlama (Oksijen, Asetilen v.s.)
Ağaç İşleme Makinaları	Kumlama sistemleri
Montaj	Kuvvet kontrolü Balans silindir kontrolü Moment kontrolü Pozisyonlama sistemleri
Alüminyum Endüstrisi	Döküm

### 5.3. Debi Kontrollü Uygulamalar

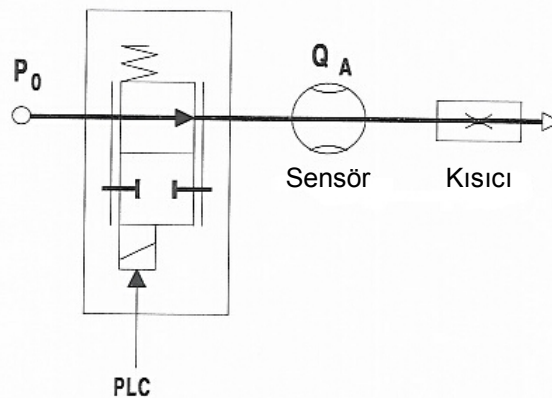
Debi kontrolü veya serbest akış kontrolü otomasyon uygulamalarında sıklıkla kullanılan kontrol sistemleridir. Debi kontrolü için açık ve kapalı devre sistemler oluşturulabilir ve sistemin ihtiyaçlarına göre farklı devreler kurulur.

#### 5.3.1. Açık Devre Debi Kontrolü

Hava debisi kontrolü, plastik ve cam şişirme sistemlerinde kullanılır ve bu işlem için genellikle basınç düşürücü ve ayarlanabilir akış denetim valfleri kullanılır. Debi ve basınç ölçümleri sabit ve statik ölçüm cihazları aracılığıyla gerçekleştirilir. Bu tür ayarlama işlemleri oransal valfler veya elektropnömatik basınç kontrol valfleri aracılığıyla da yapılır. Aşağıda açık devre kontrol algoritmasıyla kurulan örnek devreler yer almaktadır. Örneklerde yer alan sabit kısma (orifis) üfleme kafasını temsil etmektedir.

#### 2/2 Oransal Valf Kontrollü Açık Devre Debi Kontrolü

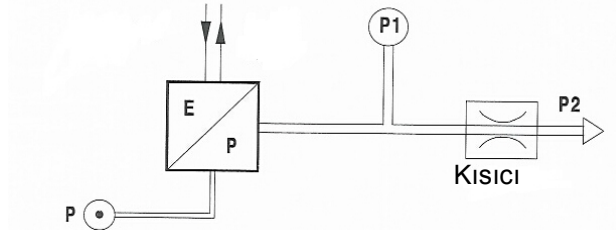
Oransal valf ile kurulan ve açık devre mantığıyla kontrol edilen bu devrede asıl kontrol sistemi tarafından yollanan sinyal ve debi sensörü aracılığıyla üfleme havası kontrol edilmektedir. Ancak bu konfigürasyon ile Histerisiz, tekrarlama hassasiyeti, giriş basıncı ve kısıcı önünde oluşan ters basınç (counter pressure) kontrol edilemez.



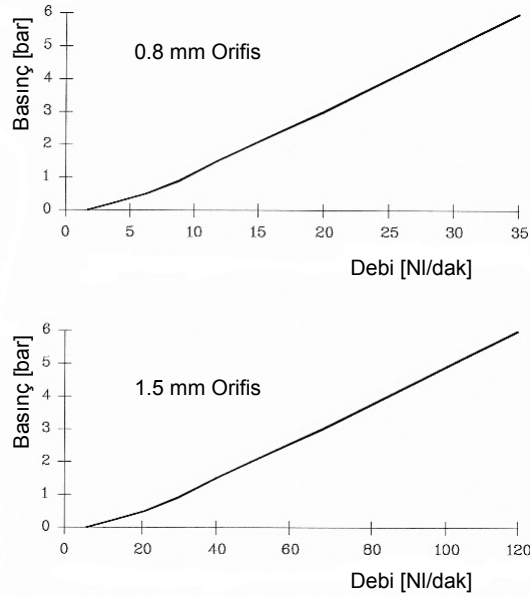
Şekil 5.4. 2/2 Oransal valf aracılığıyla kontrol edilen debi ayar devresi

### Basınç Kontrol Valfli Açık Devre Debi Kontrolü

Şekil 5-5'de yer alan devrede basınç kontrol valfi ve sabit kısıcı (orifis) ile debi kontrolü yapılmaktadır. (Debi-basınç ilişkisi Şekil 5-6'daki grafiklerde görülmektedir.) Bu tip bir devrede giriş basıncı dışındaki tekrarlamaya hassasiyeti ve histerisiz değerlerini önceden bilmek ve kontrol parametrelerini buna göre belirlemek mümkündür.



Şekil 5.5. Basınç kontrol valfi ile kontrol edilen debi kontrolü



Şekil 5.6. Q-P karakteristik eğrileri

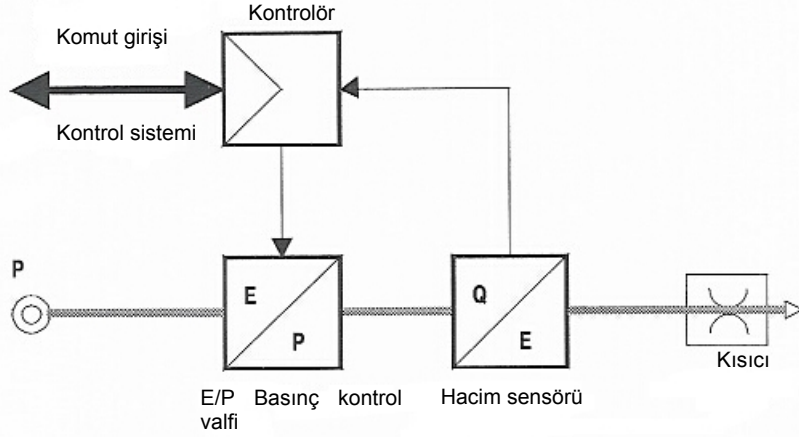
Şekil 5-6'daki iki grafikte farklı çaplardaki kısma kesitinden elde edilen basınç-debi eğrileri yer almaktadır. Basınç kontrol valflerinin debi kontrolü amacıyla kullanıldığı uygulamalarda sistemin hortum/boru uzunluğu, kısma valfi kesiti ve kaçakları değişmediği sürece oldukça başarılı sonuçlar elde edilebilmektedir.

### 5.3.2. Kapalı Devre Debi Kontrolü

Kapalı devre debi kontrol sistemleri standart kontrol devresine debi sensörü ve debi ile ilgili elektronik kontrol ekipmanlarının eklenmesi ile oluşturulur. Şekil 5-7'de tipik bir devre örneği görülmektedir. Sistemin kapalı devre olması, basınç kontrol valfi ile birlikte debi kontrolü yapan ikincil elektronik kontrolör aracılığıyla sağlanır. Sistem harici etkenleri ve gürültüleri telafi etme yeteneğine sahiptir ve sistemin dinamiği ve hassasiyeti büyük ölçüde debi ölçüm sensörüne bağlıdır.

“Debi Sensörü” ifadesi fiziksel olarak iki anlam taşımaktadır ve bu ifadeden hacimsel debi veya kütleli debi ölçümü anlaşılabilir. Kütleli debi ölçümü kalorimetrik olarak yapılır ve bu ölçüm için

oldukça kaliteli yarı iletken teknolojili aletler kullanılır. Hacimsel debi ölçümü ise sadece akan havanın hacmi ile ilgilendir. Hacimsel debi sensörleri kısma deliği (orifis) üzerindeki fark basıncı ölçülüp belirli sabitlerle çarparak elektronik sinyal olarak kontrol sistemine gönderir. Elektropnömatik basınç kontrol valfleri ile kurulan debi kontrol devrelerinde genellikle daha basit ve ekonomik olan hacimsel debi sensörleri kullanılır.

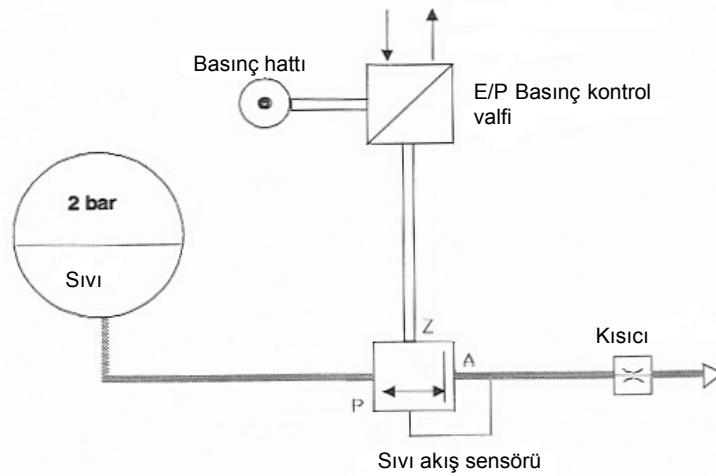


Şekil 5.7. Kapalı devre debi kontrol sistemi blok diyagramı

Kapalı devre kontrol algoritmasıyla kurulan debi kontrol sistemi, bu bölümde anlatılan 3 farklı uygulama örneği içinde en doğru sonuçları üreten ve tekrarlama hassasiyeti en yüksek olan sistemdir. Ancak proje aşamasında elbette ki ekonomik faktörler de göz önünde bulundurulmalıdır. Kapalı devre debi kontrolü için gereken sensör ve kontrol elektroniği sistemin fiyatını artıracaktır.

### 5.3.4. Sıvı Akışkan Debi Kontrolü

Elektropnömatik basınç kontrol valfleri aracılığıyla açık ve kapalı devre sıvı seviye kontrol ve debi kontrol sistemleri oluşturulabilir. Sistemin gaz ve sıvı fazını pnömatik hava uyarısı ile çalışan basınç dönüştürücüsü birbirinden ayırır. Bu tip uygulamalar genellikle kimya ve boya sektöründe yer alır ve dolayısıyla dönüştürücünün özellikle korozif etkilere karşı dayanıklı olması gerekmektedir.



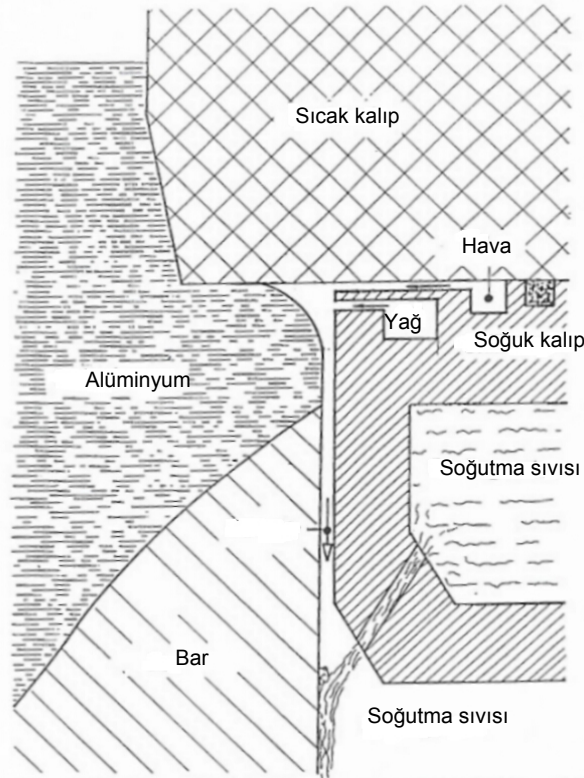
Şekil 5.8. Sıvı akışkan debi kontrolü



Açık devre debi kontrolü, sisteme manyetik, indüktif veya ultrasonik hacimsel debi ölçüm aletleri eklenerek genişletilebilir ve daha hassas debi kontrolü sağlanır.

#### 5.4. Alüminyum Sürekli Döküm Sistemleri

Bu uygulamada döküm kalıbının üfleme havası kapalı devre kontrollü basınç kontrol valfleriyle denetlenmektedir. Üfleme havası bir miktar yağ ile karışarak sıvı döküm alaşımı ve soğutulan kalıp arasında oldukça ince bir film tabaka oluşturur. (Şekil 5-9) Bu film tabaka, sıvı alaşımın ısı yüzeysel ısı kaybını geciktirerek dökülen alaşımın daha yavaş soğumasını ve daha düzgün kristalleşmesini temin eder. Ayrıca film tabakanın içinde bir miktar yağ bulunduğu için sıcak kalıp ile henüz tamamen soğumamış ve katılaşmamış olan alaşım arasındaki sürtünme azaltılarak döküm yüzeyinin oldukça düzgün olması sağlanır.



Sürekli döküm makinalarındaki üfleme havasının son derece hassas olarak dozajlanması gerekmektedir. Fazla miktarda hava döküm yüzeyinin bozulmasına ve soğumayı geciktirerek malzemenin çarpılmasına sebep olmaktadır. Bu tip uygulamalarda hava ihtiyacı oldukça düşüktür. (~0.5-5 Nl/dak) Dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, alüminyum ve döküm sektöründe hava kalitesinin genellikle düşük olmasıdır. Dolayısıyla çok kaliteli havaya ihtiyaç duymayan ve küçük partiküllerden etkilenmeyen basınç kontrol valflerinin özellikle tercih edilmesi, sistemin problem yaşanmadan çalışmasını sağlayacaktır.

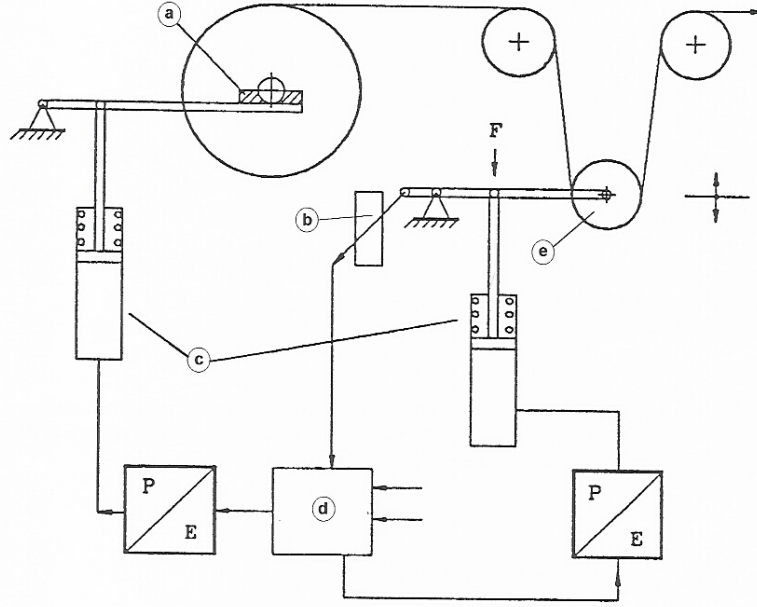
#### 5.5. Hareketli Tambur-Silindir Kontrolü

Pilot kontrollü elektro-pnömatik basınç kontrol valfleri, tekstil, kağıt ve boya/baskı makinalarındaki top sarma sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bütün sistem basınç kontrol valfinin entegre basınç sensörü aracılığıyla algıladığı bilgilere göre çalışır. Kumaş veya kağıt gerginlik kontrolü, elektro-pnömatik basınç kontrol valfleri ile gerçekleştirilen ilk



uygulamalar arasında yer aldığı için çok çeşitli ve farklı kontrol sistemleri geliştirilmiştir. Dolayısıyla oldukça gelişmiş ve aynı zamanda ekonomik kontrol sistemleri bulmak ve uygulamak mümkündür. Proses değişkenleri genellikle değişmediği veya çok az değiştiği için pilotlu basınç kontrol valflerinin dinamik tepki ve hassasiyet karakteristikleri bu tip uygulamalar için yeterli olmaktadır. Hava sarfiyatı son derece azdır ve sadece parametre değişikliği veya harici etkenlerin etkisinin arttığı durumlarda sarfiyat olur. Ayrıca pilotlu basınç kontrol valfleri enerji kesintisi durumunda bile en son ayarlanan basınç değerinde çalışmaya devam ettikleri için kullanımları operasyon güvenliği açısından son derece uygundur.

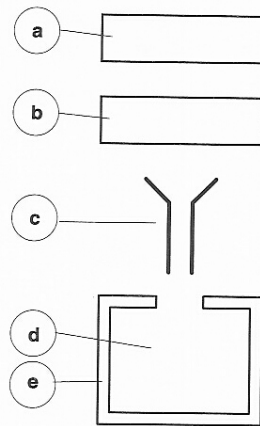


**Şekil 5.10.** Çift pistonlu balans uygulaması

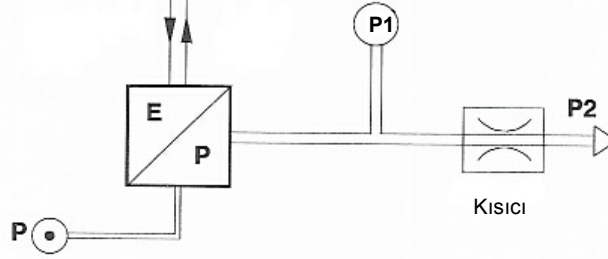
- (a) Ana tambur fren mekanizması (b) Potansiyometre (c) Düşük sürtünmeli silindirler  
(d) Bilgisayar (e) Balans tamburu

### 5.6 Plastik Şişirme Makinaları

Plastik şişirme makinalarındaki şişirme işlemi iki aşamada incelenebilir. Önce ekstruderden (a) çıkan yumuşak ve yapışkan plastik üfleme kafası (b) tarafından gelen hava ile desteklenerek (c) hava yastığı üzerinde tutulur ve kalıba yapışması önlenir.



**Şekil 5.11.** Plastik şişirme makinasının temel çalışma prensibi  
(a) Ekstruder (b) Üfleme deliği (c) Hava yastığı (d) Kalıp (e) Şişirme havası



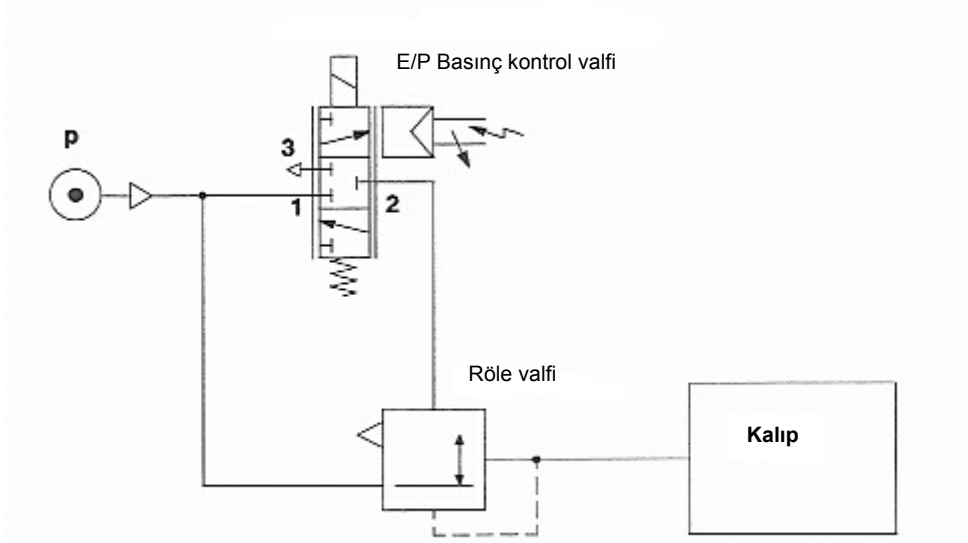
**Şekil 5.12.** Hava yastığının oluşturulması

Şişirme havasının miktarı hava hızına ve bağlantı hortumlarının boyutlarına göre değişecektir. Şekil 5-12'de yer alan sabit kısma delikli elektropnömatik basınç kontrol devresi ile debi kontrolü yapılmaktadır.

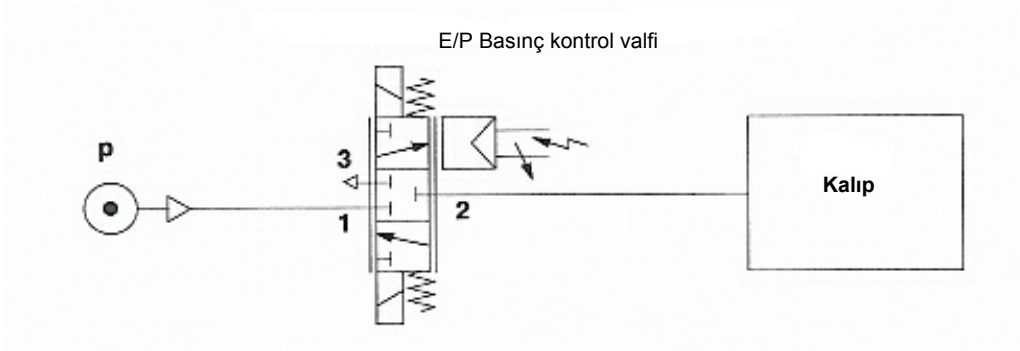
Hortum ekstrüzyon makinalarında üretilen hortumun soğutulması sebebiyle hortum iç hacminde basınç düşmeleri oluşur. Ancak hortum kesitinin düzgün olması için basıncın sabit kalması oldukça önemlidir. Bu tip uygulamalarda karşı basınç (P2) dengelemeleri için üfleme havası çıkışı oldukça düşük debili ikincil bir basınç kontrol valfi ile kontrol edilerek soğuma süreci boyunca 0-50mbar aralığında sabit hortum iç basıncı elde edilmektedir.

Plastik malzeme kalıba (d) ulaştığında önce çok düşük basınç ve debi ile şişirilir. Daha sonra basınç ve debi artırılıp maksimum şişirme havası verilerek malzemenin kalıp çeperine yapışması ve son halini alması sağlanır. İlk üfleme havası ve maksimum şişirme ile ilgili basınç değeri, üfleme miktarı ve işlem süreleri, üretilen plastik malzemenin geometrisine ve kalıp yüzeyinin karmaşıklığına göre değişiklik göstermektedir. Elektropnömatik basınç kontrol valfleri bu parametrelerin kolayca değiştirilmesine olanak sağladığı için üretilen malzemelerin ve kalıbın değiştirilmesi durumunda yeni parametreler çok kısa sürede ayarlanabilmektedir.

Plastik şişirme makinalarında en son olarak soğutma işlemi gerçekleştirilir. Şişirilen malzeme içerisindeki ısı, kalıp içine birkaç kez serbest üfleme ve tahliye yapılarak konveksiyon yoluyla taşınmalıdır. Bu aşamada hızlı cevap verme ve yüksek hava geçirgenliği özelliklerine ihtiyaç duyulur.



**Şekil 5.13.** Büyük hacimli malzemeler ( $V > 4L$ ) için şişirme havası kontrol devresi  
Yüksek dinamik tepki özellikleri iyi olan elektropnömatik basınç kontrol valfleri 4 L hacme kadar olan malzemelerin üretildiği her türlü kalıpta kullanılabilir. Daha büyük hacimli malzemelerin üretilmesi için ND4 anma ölçüsüne sahip elektropnömatik basınç kontrol valfi tarafından pilot kontrolü yapılan ve röle valfi olarak çalışan ikincil bir basınç regülatörü (ND40-ND50) bulunur. Plastik şişirme makinaları genellikle 16bar üfleme havası basıncıyla çalışacak şekilde tasarlanır. Bu durumda sistem gereksinimlerine uyguna olarak direkt kontrol veya pilot kontrolü amaçlı basınç kontrol valfleri kullanılmalıdır.

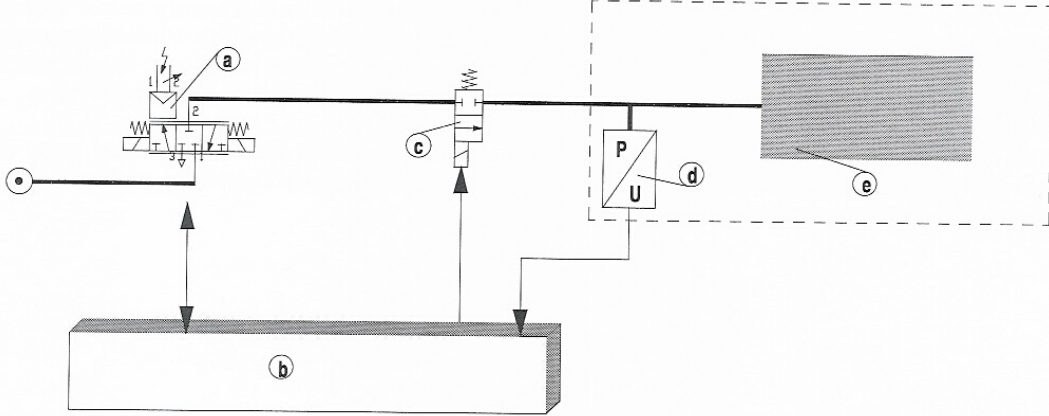


**Şekil 5.14.** Küçük hacimli malzemeler ( $V < 4L$ ) için şişirme havası kontrol devresi

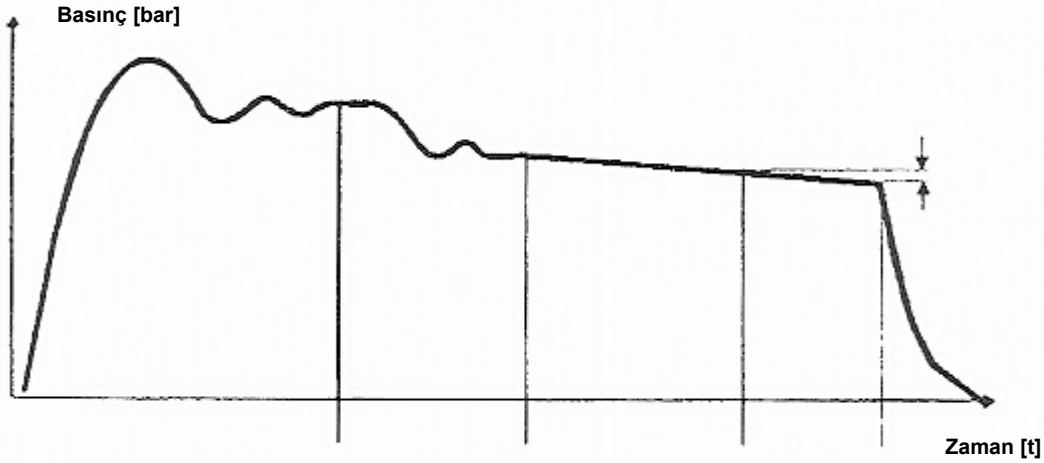
Bu bölümde anlatılan uygulamalarda kullanılan binary (On/Off) yön kontrol valfleri ve diğer pnömatik devre ekipmanların bulunduğu devreler gösterilmemiştir.

### 5.7 Test Aparatları

Test aparatlarında test edilen nesne elektropnömatik basınç kontrol valfi ile oldukça hassas olarak basınçlandırıldıktan sonra besleme hattı basıncı kesilir ve basınç düşümü belirli bir zaman aralığında ölçülerek kaçak miktarı tespit edilir.



**Şekil 5.15.** Elektropnömatik basınç kontrol valfi ile oluşturulan kaçak testi aparatı  
(a)Elektropnömatik basınç kontrol valfi (b)Açık devre kontrol sistemi  
(c)2/2 kilit valfi (d)Basınç sensörü (e)Test edilen nesne

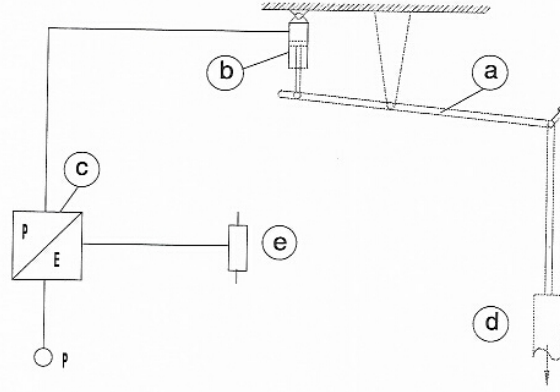


**Şekil 5.16.** Elektropnömatik basınç kontrol valfi basınç artış ve düşüş eğrisi

Test sisteminin açık devre kontrol sistemi (b) ile Şekil 5-16'da yer alan karakteristik eğriye sahip basınç kontrol valfi (a) aracılığıyla testi gerçekleştirmektedir. Basınç kontrol valfinin gerçek çıkış basıncı değeri asıl kontrol sistemi tarafından ölçülebilir. Ayarlanan basınç değerine ulaşıldığında 2/2 kilit valfi (c) kapatılarak test edilen nesne basınç altında tutulur. Test edilen nesnenin (e) basıncını algılayan bir sensör (d) aracılığıyla zamana göre basınç düşüşü ve dolayısıyla hava kaçakları ölçülmüş olur.

### 5.8. Balans Silindir Kontrolü

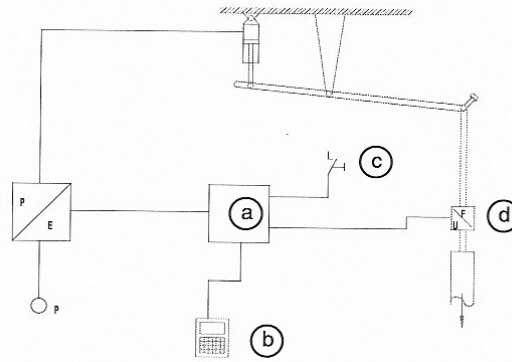
Balans silindirleri ağır yüklerin taşınması, konumlandırılması, dengelenmesi ve hızlı hareket eden kütlelerin frenlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Yük, doğrudan silindir üzerinde veya pivotlu mekanik kol vasıtasıyla taşınabilir.



**Şekil 5.17.** Sabit yük altında çalışan balans silindiri

(a)Mekanik bağlantı kolu (b)Balans silindiri (c)Basınç kontrol valfi (d)Yük (e)Potansiyometre

Şekil 5-17'de sabit yükle çalışan balans silindir sistemi görülmektedir. Basınç kontrol valfi (c) potansiyometre (e) ile ayarlanan değere göre yükü hareket ettirir.



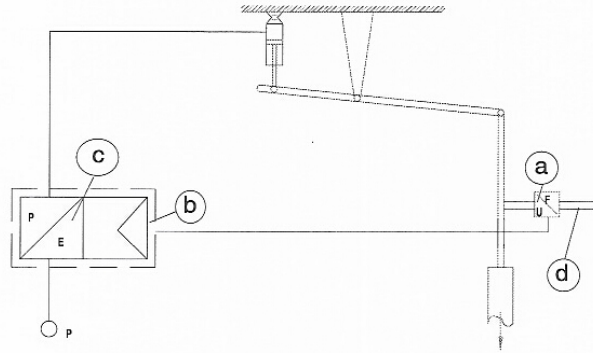
**Şekil 5.18.** Değişken yükle çalışabilen balans silindir sistemi

(a)PLC (b) Parametre ekranı (c) Sürtünme kompensatör anahtarı (d) Yük sensörü

Şekil 5-18'de değişken yüklerle çalışabilen balans silindir sistemi yer almaktadır. Yük sensörü (d) algılanan değerleri kontrol sistemine-PLC (a) gönderir ve PLC bu geri besleme sinyaline göre silindir basıncını değiştirerek yükü hareket ettirir. PLC, parametre ekranı (b) aracılığıyla anlık değerleri gösterebilir ve ayrıca sistemdeki diğer kontrol elemanlarından (kilitleme silindiri, çift el koruma devresi, silindir fren sistemi v.s.) gelen sinyaller doğrultusunda mantıksal hesaplamalar yapabilir. Böylece diğer çevre birimleri ile entegre çalışabilen bütün bir sistemin kontrolü mümkün olacaktır.

Oldukça gelişmiş işlemlere sahip olan bu sistemin bazı dezavantajları şöyle sıralanabilir:

- Kaldırma mekanizması sadece yük sensörünün üst bölümüne monte edilebilir
- Yük sensörünün mekanik montajı problemlili olabilir
- Sürtünme kayıplarını hesaplayan kompensatör sistemi oldukça karmaşıktır
- Basit uygulamalar için pahalı bir çözümdür



**Şekil 5.19.** Değişken yükte çalışabilen alternatif balans silindir sistemi  
(a)Yük sensörü (b)Giriş (komut) basınç değeri sensörü (c)Basınç kontrol valfi (d)Mekanik kol

Şekil 5-19'da yine değişken yük altında çalışabilen alternatif bir balans sistemi görülmektedir. Bu sistem, mekanik kol (d) içine entegre edilen yük sensörü (a) ile gerekli olan kuvveti hesaplayarak ilgili sinyali basınç kontrol valfine (c) gönderir. Basınç kontrol valfinin elektronik sistemi gerçek kuvvet/yük değeri geri besleme sinyaline göre gerekli basınç ayarlamasını yapabilecek şekilde genişletilmiştir. Bu yöntemle kontrol edilen sistemlerin avantajları şöyle sıralanabilir:

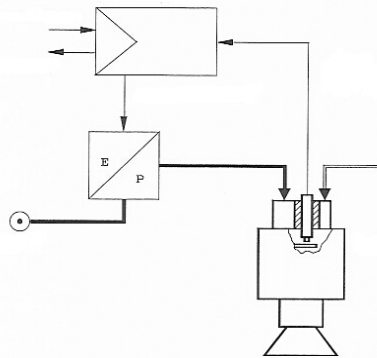
- Doğrudan çalışma kuvveti ölçüldüğü için sürtünme kayıplarını hesaplayan karmaşık kompensatör sistemine ihtiyaç yoktur
- Tüm kontrol sistemi basınç kontrol valfine entegre edilmiştir

### 5.9. Sprey Boya Sistemleri

Özellikle otomotiv endüstrisinde kullanılan sprey boya sistemlerinin döner (türbin) tip sprey boya tabancalarının hızı, hava debisi ve boya debisi elektro pnömatik basınç kontrol valfleri ile oluşturulan sistemlerle kontrol edilebilmektedir.

Hız ölçümleri ile ilgili geri besleme sinyali üst düzey (primer) kontrol sistemine gönderilir. Bu sistem sprey boya kalitesini doğrudan etkileyebilen boya miktarı veya boya viskozitesi değişimlerini de kontrol ederek gerekli basınç değerini hesaplayabilmektedir. Sensör ve üst düzey (primer) kontrol sistemi optik kablo aracılığıyla dijital olarak haberleşir.

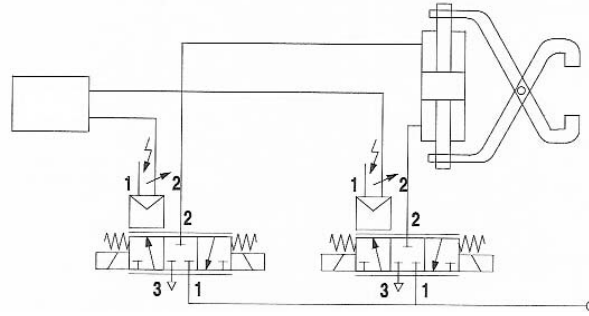
Hava geçirgenliği ve hassasiyet özellikleri bu tip uygulamalarda kullanılacak olan basınç kontrol valfleri için en önemli seçim kriterleridir. Bu değerler kullanılan türbin tipi sprey tabancasının karakteristiğine göre değişmektedir. Türbin motorunun kütlesinin büyük olması sebebiyle sistem ataleti yüksek olduğundan basınç kontrol valfinin dinamik tepki özelliği birinci derecede önemli değildir.



**Şekil 5.20.** Kapalı devre hız kontrol sistemi blok diyagramı

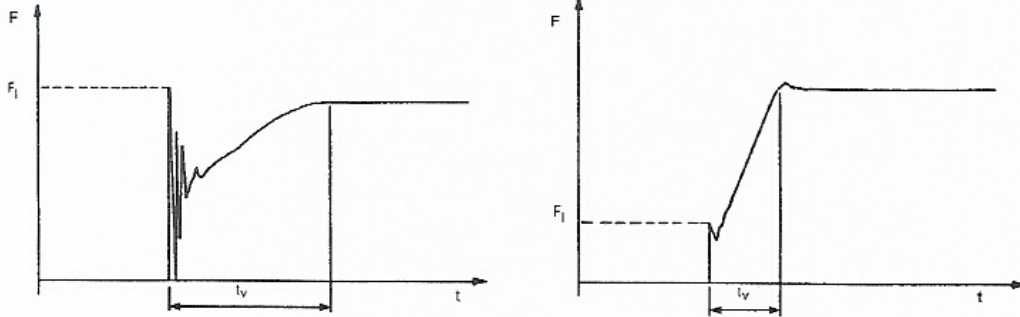
### 5.10. Punta Kaynak Makinaları

Punta kaynak makinalarının baskı çene sistemlerinde elektro pnömatik basınç kontrol valflerinin kullanılması en sık rastlanan uygulamalardan biridir. Bu uygulama ile kaynak kalitesi ve elektrotların kullanım süreleri artmakta, kaynak süresi oldukça kısalmaktadır. Elektrotlardan birinin veya her ikisinin baskı kuvveti değiştirilerek çok çeşitli uygulamalar için gerekli parametreler kolaylıkla programlanabilir. Elektrotu hareket ettiren silindir basıncı çok kısa sürede ve hassas olarak kontrol edilebilmekte ve bu basınç kaynak işlemi süresince dalgalanma yaşanmadan sabit tutulabilmektedir. Ayrıca kaynak yapılacak olan malzemenin farklı noktaları için değişik kaynak parametreleri (alt baskı, üst baskı, kaynak süresi v.s.) tanımlanarak en uygun kaynak profili elde edilebilir. Bu parametrelerin kolayca değiştirilebiliyor olması özellikle kaplamalı ve boyalı sac malzemelerin ve alüminyum plakaların kaynatılmasında büyük kolaylıklar sağlamakta ve kaynağın optimum özelliklere sahip olmasını temin etmektedir. Baskı çenelerinin hareketi ve baskı kuvveti kontrol edilerek sac malzemenin bükülmesi ve kalıcı olarak deforme olması engellenebilmektedir. Ayrıca sistem lineer pozisyon ölçüm aletleri ile donatılarak kaynak açıklığının hassas olarak belirlenmesi mümkündür.



Şekil 5.21. Punta kaynak makinası çene baskı kontrol sistemi

Aşağıdaki grafiklerde konvansiyonel ve elektro pnömatik basınç kontrol valfleri ile kontrol edilen kaynak makinalarının kuvvet-zaman eğrileri yer almaktadır. Elektro pnömatik basınç kontrol valfi ile kontrol edilen sistemde kaynak çeneleri iş parçası üzerine oldukça yumuşak bir şekilde baskı yaparken konvansiyonel sistemde baskı kuvveti aşırı dalgalanma göstermekte ve çevrim süresi uzamaktadır.

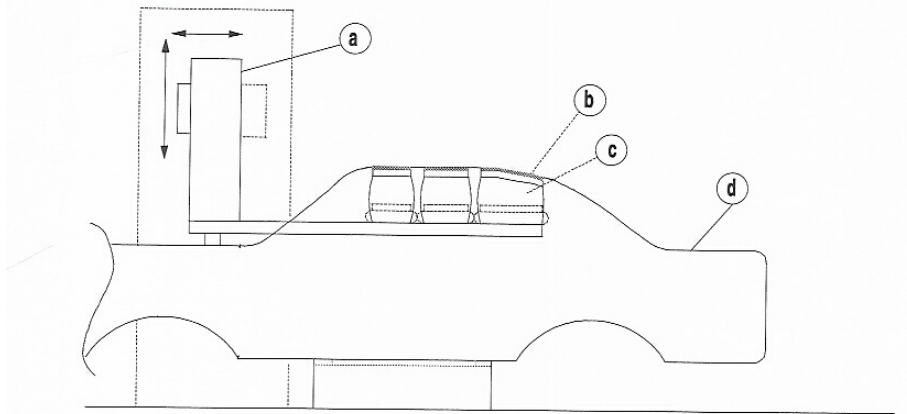


Şekil 5.22. Baskı çenelerinde oluşan kuvvet eğrileri

### 5.11 Düşük Basıncılı Pres Uygulamaları

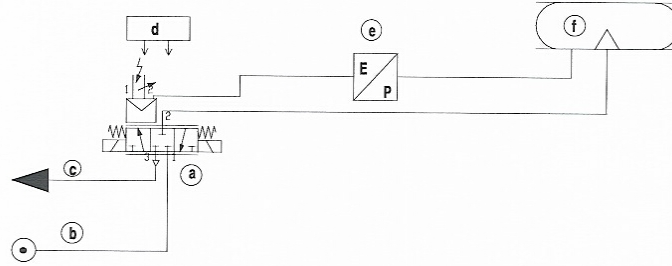
Otomotiv sektöründe özellikle binek araçlarının tavanları kompozit malzemelerle kaplanarak kuvvetlendirilmekte ve bu amaca yönelik olarak geniş baskı yüzeyli düşük basınçlı montaj presleri kullanılmaktadır.





**Şekil 5.23.** Yolcu kabini tavan kaplama yapıştırma ve montaj presi  
(a)Hareketli baskı aparatı (b)Tavan kaplaması (c)Hava yastığı tabakası (d)Araç gövdesi

Hareketli baskı aparatı (a) patlamamış hava baloncuklarını tavan kaplaması ile birlikte yolcu kabini tarafında konumlandırır. Hava yastığı tabakası(c) bu aşamada şişirilir ve kaplama (b) tavana yapıştırıldıktan sonra yastığın havası boşaltılır. Hava yastığı, tavan kaplamasının her yerine eşit baskı kuvveti sağlayabilmek amacıyla kullanılır.



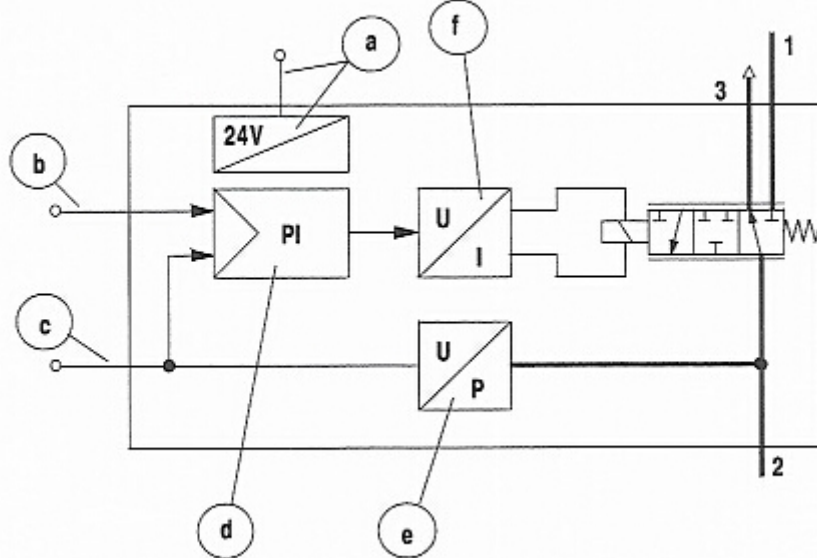
**Şekil 5.24.** Düşük basınçlı pres sisteminin blok diyagramı

Pres sisteminde PLC (d) basınç kontrol valfine (a) giriş komut değerini gönderir. Bu değer -100 / +100 mbar aralığında olabilmektedir. Bu sayede hem emiş (vakum) basıncı, hem de pozitif basınç kontrol edilebilmektedir. Pozitif basınç basınçlı hava tesiatından sağlanırken negatif basınç için vakum pompası (c) kullanılır ve pompanın emiş hattı basınç kontrol valfinin tahliye hattına bağlanır. Basınç – gerilim dönüştürücüsü hava yastığı tabakasının içerisinde bulunur. Bu tabakanın hacmi 30-60 litre arasındadır ve yaklaşık 20mbar basınç altında çalıştırılır.

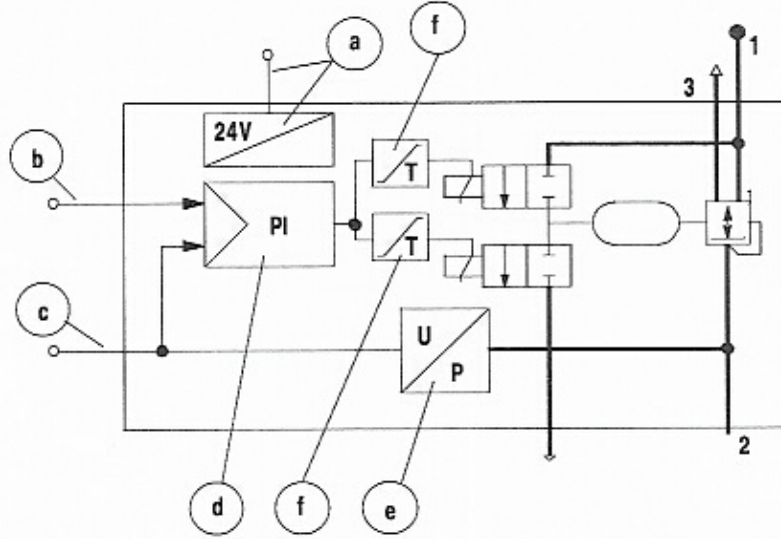
## 6. E/P BASINÇ KONTROL VALFLERİNİN TEMEL ELEKTRONİK YAPILARI

Bu bölümde elektronik basınç kontrol valflerinde kullanılan elektronik komponentler kısaca incelenecek ve genel özellikleri anlatılacaktır.





**Şekil 6.1.** Direkt kontrollü basınç kontrol valfi blok diyagramı  
(a)Güç kaynağı (b)Giriş komut değeri (c)Gerçek çıkış değeri  
(d)Kontrolör (e)Basınç sensörü (f)Basınç kontrol valfi elektronik sürücüsü



**Şekil 6.2.** Pilot kontrollü basınç kontrol valfi blok diyagramı  
(a)Güç kaynağı (b)Giriş komut değeri (c)Gerçek çıkış değeri  
(d)Kontrolör (e)Basınç sensörü (f) Basınç kontrol valfi elektronik sürücüsü

### 6.1. Güç Kaynağı

Elektro pnömatik basınç kontrol valfinin çalışabilmesi için doğrudan güç kaynağına (24V DC) bağlanması gerekir. Herhangi bir valfin gücü, birim zamanda tükettiği maksimum enerji ile ölçülür. Kullanılacak olan güç kaynağının valfin ihtiyaçlarına uygun olarak seçilmesi sistemin problemsiz olarak çalışmasını garanti edecektir. Pilot kontrollü valfler (~0.5A) genelde direkt uyarılı oransal selenoidli valflere (~1.5A) göre daha az güç tüketir.

Güç kaynağı, mutlaka elektro pnömatik basınç kontrol valfinin teknik özelliklerinde belirtilen voltaj toleransları içerisinde voltaj üretmelidir. Genellikle valfin elektronik kontrol sisteminde düşük voltaj kesicisi bulunur. Belirtilen voltaj toleransının aşılması durumunda basınç elektronik devre elemanları fazlaca ısınacaktır.

Valflerin teknik özelliklerinde belirtilen dalgalanma (ripple) değeri voltajın doğrultulma kalitesini belirler. Günümüzde kullanılan güç kaynakları belirli bir değere kadar çekilen akımdan bağımsız olarak oldukça düzgün voltaj regülasyonu yapabilmektedir.

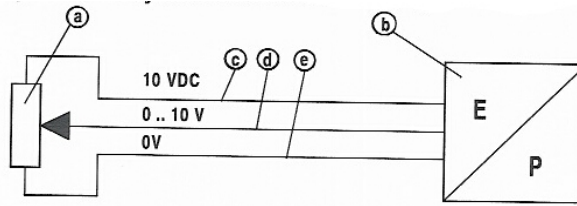
## 6.2. Komut Sinyal Değerleri

Elektro-pnömatik basınç kontrol valfinin giriş komut değeri istenilen basınç değeridir. Bu değer analog, (akım veya gerilim), dijital veya alansal veriyolu (Fieldbus) sinyalleri şekillerde gönderilebilir. Tablo 6-1'de değişik sinyal tiplerinin özelliklerini içeren özet tablo yer almaktadır. 8 Bit dijital kontrol günümüzde pek fazla kullanılmamaktadır.

Tablo 6-1 Endüstriyel sinyal tipleri (\* Kablo sayısı kullanılan Fieldbus protokolüne göre değişmektedir.)

	Voltaj	Akım	Dijital	Fieldbus
Birim	Volt	Amper	Bit	Bit
Aralık	0..10 – 2..10	0..20 – 4..20	8 - 10 - 12	8 - 10 - 12
Sinyal taşıma mesafesi	3-5 m	100-300 m	100-300 m	1000m
Kablo sayısı	2 + Toprak	2 + Toprak	8 - 10 - 12	2 - 5 *

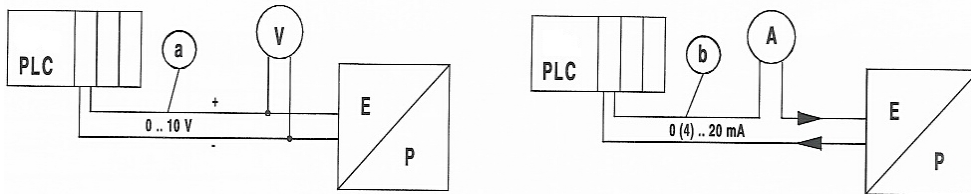
Komut değeri sinyali oluşturmanın en kolay yolu potansiyometre kullanmaktır. Potansiyometre (a) güç kaynağı (c), referans voltajı (e) ve komut değeri (d) kabloları ile doğrudan basınç kontrol valfine (b) bağlanabilir. Potansiyometrenin güç kaynağı kablosu (c) basınç kontrol valfin üzerinden geçer.



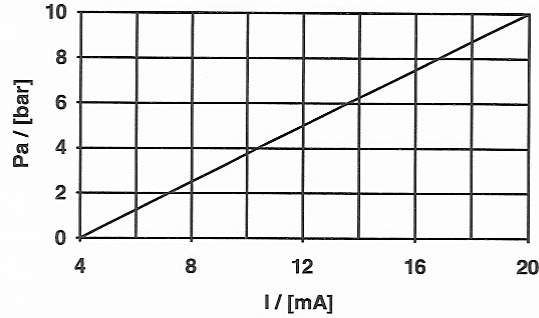
**Şekil 6.3.** Potansiyometre aracılığıyla komut değerinin ayarlanması  
(a)Potansiyometre (b)Basınç kontrol valfi (c)Güç kaynağı bağlantısı  
(d)Komut değeri kablosu (e)Referans voltajı kablosu

Basınç kontrol valfinin PLC gibi daha gelişmiş otomasyon ürünleri tarafından kontrol edilmesi durumunda komut değeri voltaj veya akım cinsinden gönderilebilir. Voltaj veya akım sinyali arasında sadece gönderilen ve algılanan sinyalin çeşidi dışında hiçbir fark yoktur. Sistem içerisinde bu sinyalleri görüntüleyen veya kullanan cihazlar kullanılan sinyal tipine uygun seçilmelidir. Basınç kontrol valfleri genellikle tek bir elektronik kart ile bütün standart sinyalleri destekleyecek şekilde geliştirilir. Sinyal giriş ve çıkışları kart üzerindeki minyatür anahtarlar aracılığıyla seçilir ve gerektiğinde farklı sinyal sistemine göre çalışabilir.

Kullanılacak olan sinyal tipi sistemin işlevini değiştirmemekle beraber önemli bir seçim kriteri olarak karşımıza çıkmaktadır. Akım sinyalleri elektromanyetik gürültüden çok fazla etkilenmez ve sinyaller daha uzun mesafelere gönderilebilirken voltaj sinyalleri ancak birkaç metrelik mesafede güvenle taşınabilir.



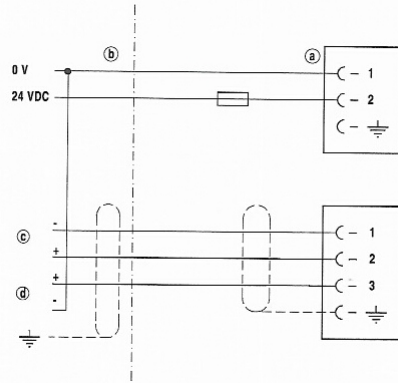
**Şekil 6.4.** Voltaj (a) ve akım (b) sinyali olarak gönderilen komut girişleri



**Şekil 6.5.** 0-10 Bar aralığında çalışan basınç kontrol valfinin 4..20 mA komut girişine karşı ürettiği gerçek çıkış basınç değeri grafiği

### 6.3 Topraklama

Basınç kontrol valfinin kontrol sisteminin komut giriş değeri (c) ve gerçek çıkış değeri (d) kabloları olası elektromanyetik gürültülere karşı mutlaka topraklanmalıdır.



**Şekil 6.6.** Elektropnömatik basınç kontrol valfi örnek bağlantı şeması

### 6.4 Akım Sinyali Kullanılan Sistemlerde Ohmik Direnç

Akım sinyali kullanılan valflerin ohmik direnç değerleri teknik bilgi sayfalarında bulunabilir. Valfin toplam ohmik direnci, maksimum akım çıkış değerinin verilmesi durumunda kullanılacak olan maksimum direnç değeridir. Bu değer aşılması durumunda sinyal çıkış değeri zayıflaması ve istenilen işlevin yerine getirilememesi gibi problemler yaşanmaktadır.

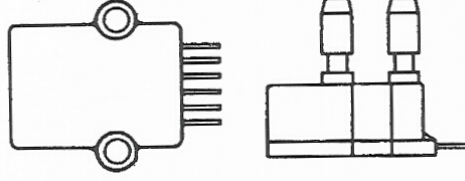
### 6.5. Fieldbus Protokolleri ile İletilen Giriş Komut Değerleri

Standart yön kontrol valfleri gibi basınç kontrol valfleri de Fieldbus protokolleri ile sinyal alışverişi yapabilir. Sinyaller dijital olarak yani sayı şeklinde iletilir. İletilen bu sayı çözünürlük katsayısı ile çarpılarak giriş komut değeri bulunur.

Örnek: 0-10 bar aralığında 10 Bit kontrol ile kontrol edilen basınç kontrol valfinin çözünürlüğü 10mbar'dır. Sinyal olarak 412 sayısı gönderilmiştir. Bu durumda komut değeri  $412 \times 10 \text{ mbar} = 4.12 \text{ bar}$  olacaktır.

### 6.6. Basınç Sensörü

Basınç kontrol valfleri için gerçek değer veya kontrol değeri valfin çıkış basıncıdır. Bu basınç piezo prensibiyle çalışan basınç sensörleri aracılığıyla ölçülür.



Şekil 6.7. Basınç sensörü

Piezo prensibi, yarı iletken bir maddenin bağlı bulunduğu plakanın basınç altında şekil değiştirmesi sonucu direncinin değişmesidir. Ölçülen basınç 0/4..20mA veya 0..10V sinyal olarak kontrol sistemine gönderir. Basınç sensörleri genellikle basınç kontrol valfinin gövdesine entegre edilir. Sensörün hassasiyet, tekrarlanabilirlik, dinamik tepki ve sıcaklık değişikliklerinden etkilenme gibi özellikleri son derece önemlidir ve basınç valfinin bütün olarak karakteristiğini belirler.

Tablo 6.2. Değişik tip basınç sensörleri

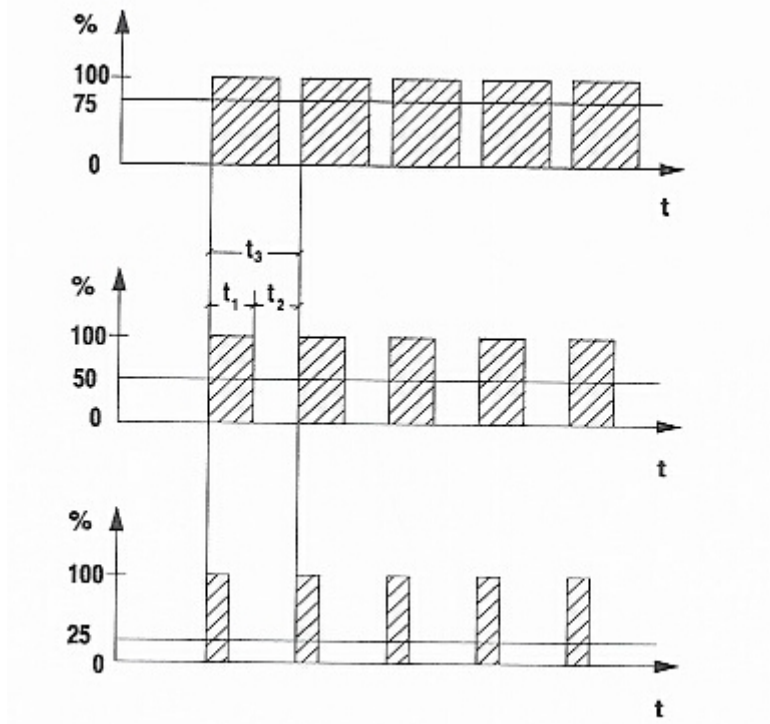
Mutlak basınç sensörü	Bir tarafı tamamen boşaltılmış olan vakum odacığı referans alınır
Fark basıncı sensörü	Birbirinden bağımsız iki ayrı basınç değerinin arasındaki farkı gösterir
Efektif basınç sensörü	Fark basıncı sensörü mantığıyla bir tarafı atmosferik basınca açık olarak ölçüm yapar

### 6.7. Analog-Dijital Girişler

Analog ve dijital sinyaller, basınç kontrol valfinin kabul ettiği sinyaller ile ilgili kavramlardır. Analog sinyaller, teorik olarak belirtilen aralıkta sonsuz aralıklarla kesintisiz olarak gönderilebilir. Dijital sinyaller ise kullanılan kontrol sisteminin yapısına göre kontrol edilen aralığı belirli bir sayıya böler ve elde edilen sonuç sistemin çözünürlüğünü ve adım sayısını belirler. Örneğin, 8 Bit kontrol sistemi ile 255 ara değer ( $2^8 - 1$ ) elde edilebilir. Eğer basınç kontrol valfi 0-10 bar aralığında çalışıyorsa sistemin çözünürlüğü  $10 / 255 = 39\text{mbar}$  olacaktır. Bu kontrol sisteminde 39mbar'dan daha küçük ara değerlerin elde edilmesi mümkün değildir. Eğer 12 Bit'lik bir kontrol sistemi kullanılırsa 4095 ara değer elde edilebilir ve sistemin çözünürlüğü 2.4mbar olur. Bu kontrol sistemiyle elbette çok daha hassas basınç kontrolü yapma şansı olacaktır.

### 6.8. Çıkış Sinyalleri

Çıkış sinyali, elektro pnömatik kontrol valfe gönderilen analog veya dijital sinyalin yükseltilerek valfin pilotunun veya oransal selenoidinin sürülmesi amacıyla kullanılır.



**Şekil 6.8.** PWM sinyalleri  
(t1)Açık kalma süresi (t2)Kapalı kalma süresi (t3) toplam periyod süresi

### 6.8.1 Direkt Kontrol Sinyalleri

Direkt kontrollü basınç kontrol valflerinde oransal selenoidin sürülebilmesi için 0-1.5A aralığında bir akım gerekmektedir. Bu akım valfe gönderilen komut giriş sinyallerini denetleyen PI kontrolör aracılığıyla üretilir. Oldukça küçük hacimlere sığdırılan elektronik komponentlerin aşırı ısınmasını engelleyebilmek için sinyaller aç-kapa (pulse-pause) şeklinde gönderilir. Bu sinyallerin frekansı birkaç kHz mertebesindedir.

### 6.8.2 Pilot Kontrol Sinyalleri

Pilot kontrol mantığında sistemin basıncı iki adet aç/kapa valfi ile kontrol edilir. Bu tip valflerin dezavantajı aç/kapa valfleri dijital olarak çalışır ve yalnızca iki konumu vardır. Ayar basıncına yaklaşıldığında pilot kontrol sisteminin çok hassas çalışması ve çok sık aç/kapa yapması gerekebilir. Bu durum basınç kontrolünün genel olarak Histerisiz özelliğini olumsuz yönde etkiler. Aç/kapa mantığıyla çalışan (binary) valfler, bazı uygulamalarda proses değişkenlerinin yeterince hassas ve aynı zamanda süratli olarak kontrol edilmesini sağlayamamaktadır.

## 6.9. EMC Regülasyonları

EMC, elektromanyetik uygunluk (Electromagnetic Compatibility) özelliğini kısaltmasıdır. EC tasarım rehberinde yer alan tanıma göre EMC uygunluk özelliğine sahip herhangi bir elektronik ürün, elektromanyetik dalgaların bulunduğu her türlü ortamda hiçbir problem çıkarmaksızın çalışabilmeli ve kendiliğinden gürültü oluşturmamalıdır. EMC regülasyonları CE uygunluk normlarının alt bölümüdür. EMC ile ilgili olarak EN 50081-2 ve EN 50082-2 numaralı standartlar malzemenin genel özellikleri ve elektromanyetik davranış karakteristiği ile ilgili sınırları belirler.

## 7. SONUÇ

Endüstriyel elektronik kontrol sistemlerinin yaygınlaşması ile birlikte pnömatik otomasyon projeleri artık sadece pnömatik lojik ile çözülemez olmuştur. Projelendirme ve uygulama aşamasında klasik pnömatik ile elektro pnömatik sistemler arasında çok belirgin farklılıklar yoktur. Her iki sisteminde kendine özgü kontrol, sinyal, denetim ve çalışma elemanları mevcuttur. Ancak elektro pnömatik sistemlerde sinyaller hava uyarısı yerine elektrik sinyali olarak taşınmaktadır.

Otomasyon sistemindeki basınç ve basınca bağlı olarak dolaylı yollardan kontrol edilebilen debi, kuvvet, konum gibi değişkenler elektro pnömatik basınç kontrol valferi ile oluşturulan değişik projelerle oldukça hızlı ve sistemin ihtiyaçlarına cevap verecek kadar hassas olarak kontrol edilebilmektedir. Günümüzde bu ürünlerin kullanım alanları oldukça yaygınlaşmış ve hatta değişik sektörlerde özel olarak geliştirilen ve çok spesifik özelliklere sahip olan komponentler üretilmeye başlanmıştır. Projelendirme aşamasında mekanik tasarıma ve sistemin ihtiyaçlarına göre doğru ürün seçimi yapıldığı takdirde son derece başarılı sonuçlar elde edilebilmektedir.

## KAYNAKÇA

- [1] H.Müseler - T.Schneider "Electronic Components and Circuits"
- [2] O.Föllinger "Control Technology"
- [3] F.Kolb O.Künzel "Control Technology Basic Principles"
- [4] P.Busc – "Elementary Control Technology"
- [5] F.Seehausen – K.Fassbender "Electropneumatic Pressure Control Valves" Mannesmann Rexroth – 1997

## ÖZGEÇMİŞ

### Necip ÇAYAN

1976 yılında Eskişehir'de doğdu. 1998 yılında ODTÜ Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 1998-2000 yılları arasında Sayısal Grafik şirketinde mekanik tasarım ve imalat yazılımlarından sorumlu ürün müdürü olarak görev yaptı. Halen Bosch Rexroth A.Ş. Pnömatik-Otomasyon bölümünde proje ve satış mühendisi olarak görev yapmaktadır.