



# PNÖMATİK SİSTEMLERDE ENERJİ TASARRUFU ÇÖZÜMLERİ

*ENERGY SAVING SOLUTIONS IN PNEUMATIC SYSTEMS*

**Efekan Şeşen**

## ÖZET

Bu çalışmada, basınçlı havanın makinalardaki verimsiz kullanımından kaynaklı oluşturacağı maliyetlerden ve bu noktada enerji verimliliğine yönelik çözüm ve örneklerden bahsedilmiştir. Hava kaçaklarının nedenleri, sonuçları ve takibinin öneminden bahsedilmekle kalmayıp aynı zamanda silindir ve üfleme uygulamalarında enerji verimliliğine yönelik önerilerden ve optimum basınçta çalışmanın öneminden bahsedilmiştir. Örnekler genel olarak, konvansiyonel ürünlerin enerji verimli yöntem veya ürünlerle değiştirilmesi durumunda ne kadar tasarruf sağlatacağı konusunda bilgi vermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji verimliliği, kompaktlık, çevre dostu, hafif ürünler, egzoz geri kazanım.

## ABSTRACT

In this study, the costs that will arise from the inefficient use of compressed air in machines and based on this, energy efficient solutions and examples were mentioned. Not only the causes, results and importance of the monitoring the air consumption/leakages, but also proposal regarding to energy efficiency about cylinder and blowing applications and importance of working at optimum pressures were mentioned. The examples show whether how much savings will be done by usage of energy efficient solutions and products if replaced with conventional products.

**Key Words:** Energy efficiency, compactness, environment friendly, exhaust recovery

## 1. GİRİŞ

Küresel ısınmanın, iklim değişikliğinin önüne geçmek için karbondioksit salınımlarını azaltmaya yönelik yapılan çalışmalar oldukça öneme sahiptir. Öyle ki, 190'dan fazla ülkeden dünya liderlerini bir araya getiren Paris Anlaşması küresel ısınmayı 2°C'nin altında tutmak için insan faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazı miktarını; ağaçların, toprakların ve okyanusların 21. yüzyılın ikinci yarısından sonuna kadar olan zaman diliminde, doğal olarak emebilecek seviyelere getirmeyi hedeflemektedir [1]. Bu noktada ülkeler, sera gazı emisyonlarını azaltmaya ve geleceğe yönelik hedeflerini oranlarla ifade etmektedirler. Türkiye ise 2030 yılına kadar karbondioksit emisyonlarını mevcut koşullardan %21 oranında daha az artıracığını belirtmiştir [2]. Bu noktada karbondioksit salınımlarını minimize etme yöntemlerinden bazıları bilindiği üzere yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Özellikle sanayileşen ülkelerde bu tip kaynakların kullanılmaması karbondioksit salınımlarını artırarak ülkelerin verdikleri hedeflere ulaşmaları yönünde dezavantaj oluşturmaktadır.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2017 yılı verilerine göre toplam nihai enerji tüketiminin %62'si imalat sanayinde, %20,8'i ulaştırma ve depolama sektöründe, %3,8'si toptan ve perakende ticaret

sektöründe ve %13,4 ise diğer sektörlerde tüketilmiştir [3]. Görüldüğü gibi imalat sanayisinde tüketilen enerji oranı diğer sektörlerle göre çoğunluğu temsil etmektedir.

Fabrikalar için yenilenebilir enerji kaynakları (güneş panelleri, rüzgâr türbinleri vs.) ulaşılması zor, amorti süreleri çok uzun yöntemler olarak düşünülebilir. Fakat bu durum hiçbir şey yapılmaması anlamına da gelmemelidir. Hemen hemen tüm fabrikalar soğutma, ısıtma, aydınlatma, basınçlı hava vs. için elektrik enerji kullanmaktadır. Bu noktada tüketim anlamında tasarruf sağlanabilmesi enerji verimliliğine yönelik yöntemler kritik öneme sahiptir. İlerleyen sayfalarda basınçlı hava kullanan fabrikalarda enerji verimliliğine yönelik yöntemlerden bahsedilecektir.

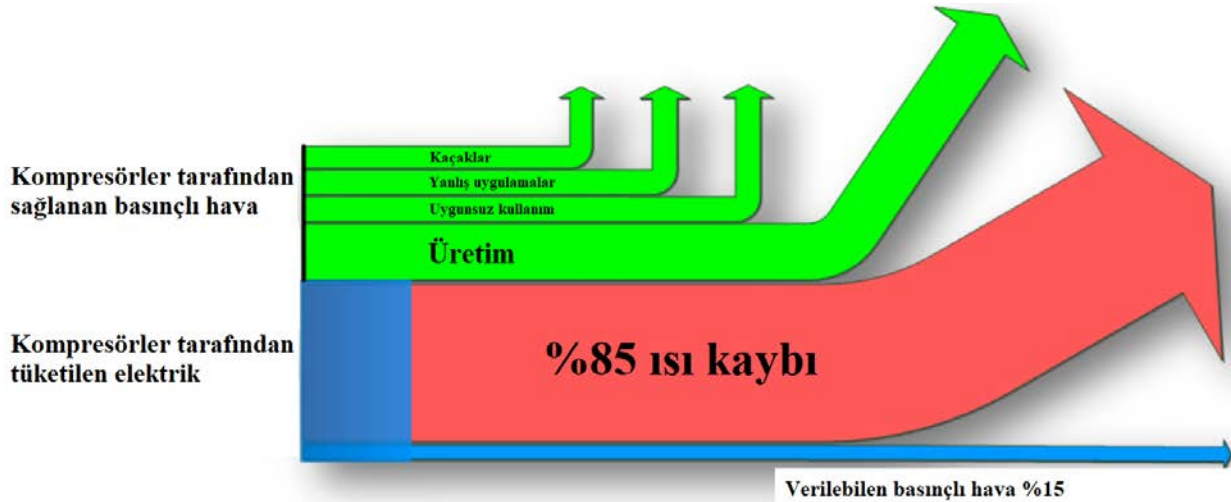
## 2. BASINÇLI HAVA

### 2.1 Basınçlı Hava Nedir, Nerelerde Kullanılır?

Basınçlı hava, bir kompresör yardımıyla atmosfer havasının sıkıştırılması sonucu oluşturulan havadır. Başta endüstri, ulaşım ve bazı dalgıçlık gibi özel amaçlı yerlerde olmak üzere pek çok sektörde kullanım alanına sahiptir. Fakat, endüstriyel otomasyon alanında en geniş kullanım alanına sahiptir. Bir işletmede basınçlı hava, genel olarak, tanklarda depolandıktan sonra borularla dağıtılması sonucu pnömatik iş elemanları (tutucular, döner iş elemanları, silindireler vs.) tarafından kullanılır.

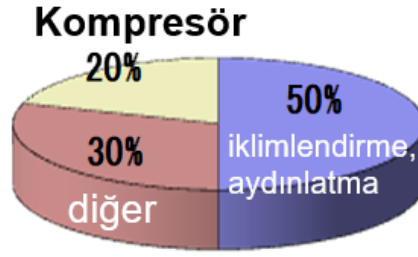
### 2.2 Endüstride Basınçlı Hava Kullanımı?

Kompresörler, basınçlı havayı üretimi esnasında performanslarının %85'lik kısmını ısıya kalan %15'lik kısmını kullanılabilir basınçlı havaya dönüştürebilmektedirler. Aşağıda bu durumla alakalı bir örnek şekil gösterilmektedir.



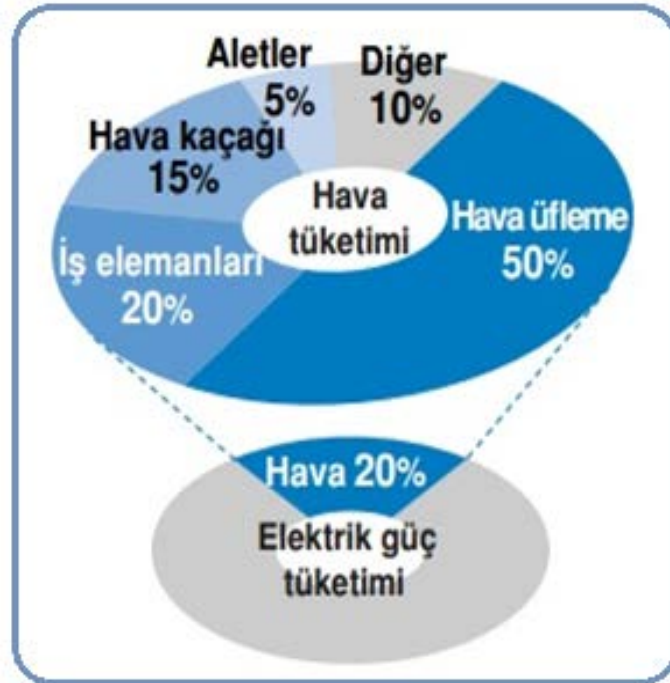
Şekil 1. Kompresör verimliliği [4].

Kompresörler basınçlı hava üretmek için elektrik enerjisi kullanılırlar. Yukarıdaki şekilden de görüldüğü üzere bu denli düşük verime sahip kompresörlerde üretilen basınçlı havanın bilinçsiz kullanılması (hava kaçakları, borulamalardaki kayıplar, verimsiz ürünler vs.) elektrik tüketimini arttırmaktadır. Her ne kadar basınçlı hava ihtiyacı işletmeden işletmeye değişiklik gösterse de genel olarak kompresörler bir işletmede elektrik tüketiminin yaklaşık %20'lik kısmını oluşturur.



**Şekil 2.** Bir fabrika için örnek elektrik tüketim dağılımı

Yukarıdaki şekilde bahsedilen kompresör elektrik güç tüketim kısmını detaylandırdığımız zaman, aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi, kompresör elektrik güç tüketiminin bir tesiste genel olarak %50'lik kısmı hava üfleme uygulamalarında, %20'lik kısmının iş elemanlarında, %15'lik kısmının hava kaçaklarında, %5'lik kısmının basınçlı havayla çalışan el aletlerinde, %10'luk kısmınınsa diğer ekipmanlarda (vakum, ürün tespit doğrulama işlemi vs.) kullanıldığı söylenebilir.



**Şekil 3.** Bir kompresörün tesiste hava tüketimi

Hava bedavadır, fakat basınçlı hava değil. Genelde yaygın yapılan yanlışlardan biri basınçlı havanın bedava olduğu düşüncesidir. Bu sebeple işletmelerde üfleme uygulamaları, hava kaçakları vs. basınçlı havanın da bedava olduğu varsayımı sonucu farkında olmadan yüksek tüketim ve maliyetlere yol açmaktadır.

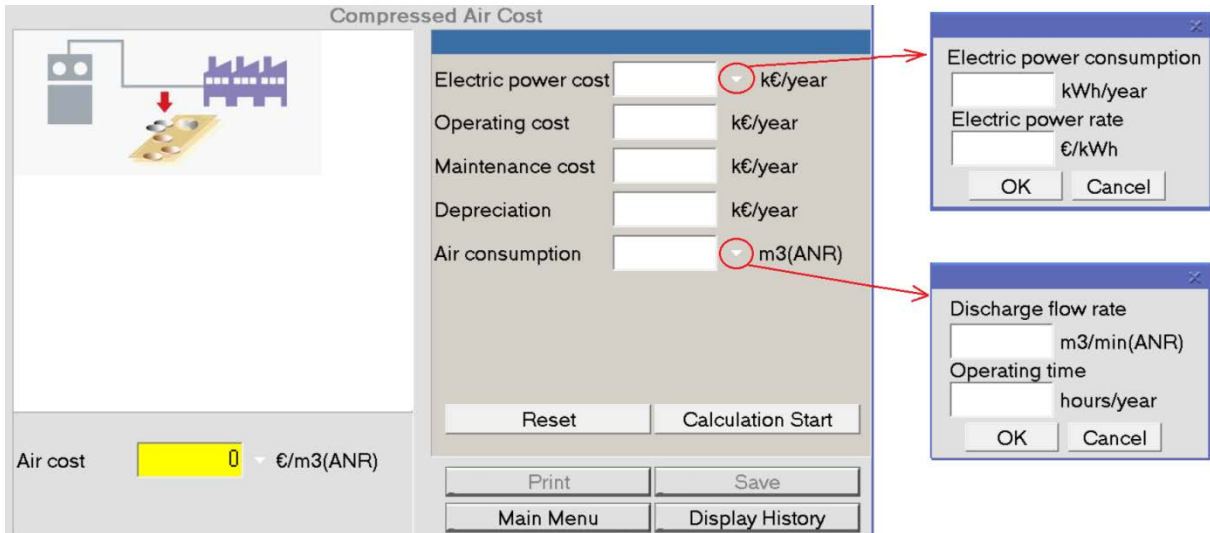
### 2.3 Basınçlı Havanın Maliyeti

Basınçlı hava maliyeti standart koşullarda 1 m<sup>3</sup> lük basınçlı hava tüketimi sonucu ortaya çıkan maliyettir. Pnömatik ekipmanların işletme maliyetlerini hesaplama noktasında bilgi veren bir değerdir. Bu değer elektrik enerjisi maliyeti olarak düşünülmemelidir. Basınçlı hava maliyeti ülkeden ülkeye, işletmeden işletmeye değişiklik gösterebilen bir değerdir. Bu değerın hesabı Tablo 1'de gösterildiği gibi formüllerle yapılabilirken, Şekil 4'de gösterildiği gibi yazılım kullanılarak da yapılabilir.

**Tablo 1.** Basıncılı hava maliyeti hesabı tablosu

$U = (Ea + Eb + Ec + Ed) / q$			
İsim	Değişken	Birim	Açıklama
Compressed air cost	$U$	€/m <sup>3</sup> (ANR)	Standart koşullarda 1 m <sup>3</sup> 'lük basınçlı hava tüketimi sonucu ortaya çıkan maliyet
Operating time	$H$	h/year	Kompresörün yıllık çalışma süresi (saat/yıl)
Electric power cost	$Ea$	€	Kompresörün elektrik güç tüketim maliyeti
Operating cost	$Eb$	€	Kompresör yağı ve soğutma suyu dolum maliyetleri
Maintenance cost	$Ec$	€	Kompresör bakım giderleri
Equipment depreciation cost	$Ed$	€	Kompresör ve aksesuarlarının amorti maliyeti
Air consumption	$q$	m <sup>3</sup> (ANR)	Debimetreden ölçülen veya hesaplanan kompresör hava tüketim değeri
Discharge flow-rate	$Q$	m <sup>3</sup> /min(ANR)	Kompresör çıkış debisi

Tablo 1'de gösterilen değerler aşağıda gösterilen yazılımdaki sekmelere girilerek, yazılımla da yapılabilmektedir.

**Şekil 4.** Basıncılı hava maliyet hesabı [5]

Yukarıdaki şekilde verilerin girilmesi sonucunda çıkan sonuç bir işletme için basınçlı hava maliyetini verecektir. Uluslararası ölçü sistemi, bir boru tesisatından birim zamanda geçen hava hacmini (dakika başına litre miktarı) l/dak olarak tanımlar. Fakat basınçlı hava debisi, sıcaklık ve basınç değişimlerine göre değişir, böylece referans koşullarını belirlemek zorunlu hale gelir.

NI/dak (dakika başına normal litre) ortam sıcaklığı 0°C, basıncın 0,1013 MPa olduğu ve bağıl nem'in %0 (kuru hava) olduğu durumu belirtmektedir.

"Standart" referans şartları ise ortam sıcaklığının 20°C, basıncın 0,1 MPa olduğu ve bağıl nem'in %65 olduğu şartları durumu belirtmektedir. ISO 8778 tarafından L/dak (ANR) (dakika başına litre miktarı) olarak tanımlanmıştır.

Tablo 1 ve Şekil 4.'de gösterilen ve ilerleyen sayfalarda yapılacak olan hesaplamalar standart koşullar baz alınarak yapılacaktır. Basıncılı hava maliyeti olarak da 0,01 €/m<sup>3</sup> alınacaktır.

## 2.4 Hava Kaçakları Maliyeti

Hava kaçakları neredeyse tüm fabrikalarda olan, bazı fabrikaların önemsemediği bazılarının ise çok önemsemediği fakat çeşitli nedenlerden dolayı ihmal etmelerine neden oldukları bir durumdur. Fakat işin sonunda bu durum ciddi maliyetlere sebebiyet verebilmektedir. Aşağıda bu durumla alakalı bir hortumda oluşan delik üzerinden hava kaçak örneği gösterilmektedir.



Şekil 5. Hortum üzerinde delik sonucu oluşan kaçak

Aşağıda ise farklı delik çapları ve basınçta oluşabilecek kaçak maliyetlerine yönelik örnek tablo gösterilmektedir.

Tablo 2. Hava kaçakları maliyet tablosu

Günde (24 saatte) oluşan basınçlı hava maliyeti *				
Kaçak orifis çapı	€/gün			
	4 bar	5 bar	6 bar	7 bar
0,5 mm	0,15 €	0,18 €	0,21 €	0,24 €
1 mm	0,61 €	0,73 €	0,86 €	0,98 €
2 mm	2,44 €	2,93 €	3,42 €	3,91 €
2,5 mm	3,82 €	4,58 €	5,34 €	6,11 €
4 mm	9,77 €	11,73 €	13,68 €	15,63 €
5 mm	15,27 €	18,32 €	21,38 €	24,43 €

\* Basınçlı hava maliyeti 0,01 €/m<sup>3</sup> alınmıştır.

Yukarıdaki tablodan da görüleceği üzere sadece 1 mm'lik kaçak 6 bar'lık besleme basıncında günlük 0,86 €'luk bir basınçlı hava maliyeti oluşturmaktadır. Dolayısıyla bir fabrikada onlarca noktada hava kaçakları olduğu varsayıldığında bu değer çok ciddi rakamlara ulaşacaktır.

## 3. ENERJİ VERİMLİLİĞİNE YÖNELİK UYGULAMALAR

### 3.1 Hava Kaçaklarına Karşı Önlemler

Enerji verimli bir sistem veya makina yapmadan önce dikkat edilmesi gereken ilk kritik nokta, sistemde hava kaçağının olmamasının tespitidir. Kaçakların genel anlamda her ne kadar fabrika bazlı %100 giderilmesi mümkün olmasa bile makina veya komponent bazlı bu kaçakları gidermek ciddi faydalar sağlayacaktır.

Hava kaçağı olan bir sistemde enerji verimliliğine yönelik yöntemler ne kadar uygulanırsa uygulansın tam anlamıyla performans alınamaz. Buna örnek olarak otomobilleri verebiliriz. Bir araba her ne kadar yakıt tasarruflu, az tüketen araba olursa olsun ortam şartlarına göre seçilmemiş ve uygun basınçta olmayan hatta sızıntı halinde hava kaçıran bir lastiğe sahip olması, arabanın performansını kötü anlamda etkileyip, yakıt tüketimini arttıracaktır. Bu durumda bu arabanın yakıt tüketimine avantaj sağlaması açısından, aerodinamik olarak üzerinde modifikasyonlar yapılması hiçbir fayda sağlamayacaktır. Bu durumda ilk olarak verimsizliğe neden olarak lastikler uygun olanlarla değiştirilmelidir.

Fabrikalarda hava kaçakları genel olarak ortam şartlarından dolayı hortumların delinmesinden, aşınmasından, erimesinden, bilinçsiz hortum rakor bağlantılarından, gevşek rakor bağlantılarından ve ürünlerin yanlış noktada kullanılması vs. gibi birçok nedenlerden dolayı kaynaklanmaktadır.

### 3.1.1 Kartezyen Robot Uygulamalarında Aşınma Dayanımlı Hortum Kullanılması Önerisi

Özellikle yüksek hızlı sürekli çevrim yapan kartezyen robot uygulamalarında kanal içerisinde bulunan, piyasada genellikle tercih edilen, poliüretan hortumlar zamanla sürekli hareketten ötürü aşınabilmektedirler. Bu aşınma sonucu ürünler kısa vadede hava kaçaklarına sebebiyet verebilmektedirler. Bu gibi noktalarda aşınmaya dayanıklı hortumlar kullanılmalıdır, böylelikle aşınma oranları 3 kata kadar varan oranda azaltılabilmektedir [6]. Şekil 6'da, temsili olarak hortum kanalına sahip kartezyen sistem ve içerisinde poliüretan hortum kullanılması sonucu hava kaçıran örnek gösterilmektedir. Genel olarak bu tip noktalar ulaşılması zor olan bölgelerde olduklarından ses veya gözle kaçak olma ihtimalini anlamak çok daha zordur.



**Şekil 6.** Kartezyen robot uygulamasında sürtünmeden kaynaklı hava kaçıran poliüretan hortumlar

Aşağıda, 1 yıllık çalışma neticesinde büyük ölçüde aşınan poliüretan hortum gösterilmektedir.



**Şekil 7.** Yüksek oranda aşınan poliüretan hortum

Aşağıda ise bu noktada aşınma dayanımlı hortum kullanılması sonucu, 1 yıllık çalışma neticesinde, oluşan aşınma miktarı gösterilmektedir. Görüldüğü gibi aşınma yok denecek kadar azdır.



**Şekil 8.** Aşınma dayanımlı hortum



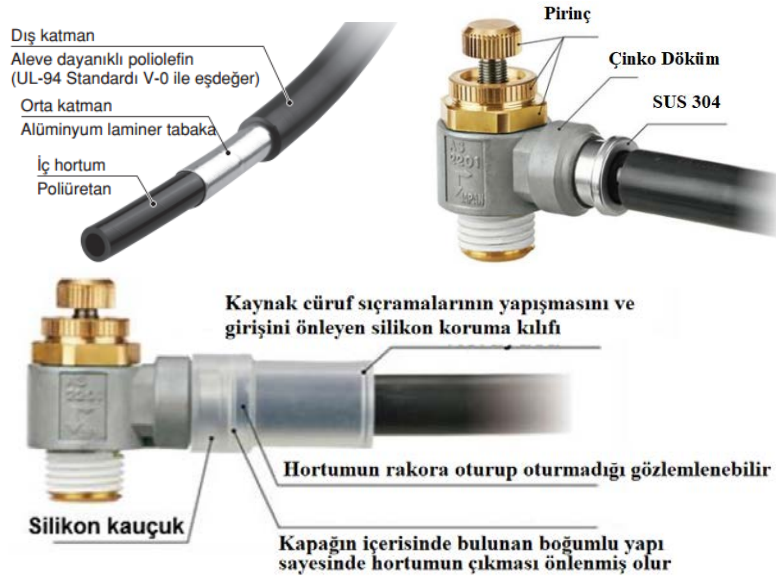
### 3.1.2 Kaynak Cürufuna Dayanımlı Hortum, Rakor Ve Silindir Kullanım Önerisi

Uygun ürünün uygun ortamda doğru bir şekilde kullanılması hava kaçaklarına yönelik alınan önlemlerin başında gelmektedir. Bu noktada örneğin, kaynak cürufunun yoğun olduğu ve kaynak cürufuna yakın olan noktada standart hortum, rakor, silindirler vs. kullanılması ürünlerin ömrünü çok ciddi seviyede kısaltacak aynı zamanda çeşitli nedenlerden dolayı (hortumların delinmesi, rakorların erimesi, silindir milinin aşınması vs.) hava kaçaklarına neden olacaktır. Aşağıda bu durumla alakalı bir örnek gösterilmektedir.



**Şekil 9.** Kaynak cürufuna karşı alınan verimsiz önlem

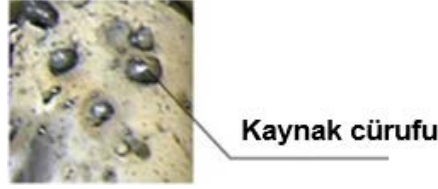
Yukarıdaki resimde gösterildiği gibi hortumu ve rakoru bir nebze olsa da kaynak cürufundan korumak için hortum üzerine kılıf geçirilmiştir. Bu kılıfın zamanla erimesi/yırtılması sonucu sürekli kaynak cürufunun sıçramasından ötürü içerisinde bulunan hortumu delmesi, ayrıca, hortum rakor bağlantı bölgesinin kaynak cürufuna maruz kalması hava kaçaklarına sebebiyet verebilmektedir. Bu gibi noktalarda hortumlara ekstra kılıf geçirmek yerine aşağıda gösterildiği gibi, kaynak cürufuna dayanıklı 3 katmanlı hortumlar [7] ve rakorlar [8] kullanılmalıdır.



**Şekil 10.** Kaynak cürufuna yönelik verimli önlem (3 katmanlı hortum ve dayanıklı rakorlar)

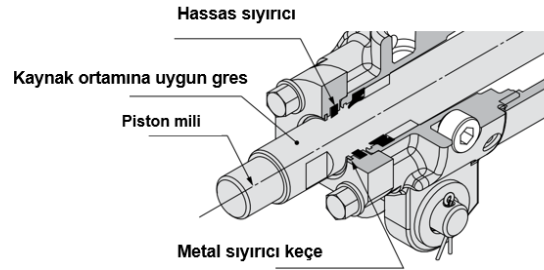
Yukarıdaki şekilde gösterildiği gibi 3 katmanlı hortumun, özel sıyırıcı ekipmanla, soyulup, iç kısmında bulunan poliüretan kısmın rakora bağlanması gerekmektedir. Sonrasında silikon kauçuk sayesinde hortum rakor bağlantı noktasına gelebilecek kaynak cürufu bağlantı noktasında önlenmiş olur. Takip ve izlenebilirliği kolaylaştırmak adına 3 katmanlı hortumları 6 farklı renkte kullanmak mümkündür.

Kaynak ortamlarında silindirin de kaynak cüruflarına karşı dayanıklı olması gerekmektedir. Bu gibi noktalarda kaynak cüruflarına maruz kalan silindirin mil kısımlarında aşağıdaki gibi problemler oluşabilmektedir. Bu durumda milin ileri geri hareket etmesi, silindirin boğaz keçesini aşındırıp, hava kaçaklarına sebebiyet vermektedirler.



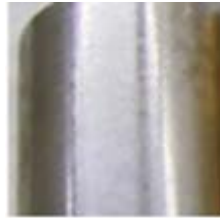
**Şekil 11.** Kaynak cürufuna karşı önlem alınmamış silindir mili [9]

Bu gibi noktalarda silindirlerde, aşağıdaki resimde gösterildiği gibi, metal sıyırıcı keçe, hassas sıyırıcı ve kaynağa uygun gres kullanılarak, yukarıdaki resimde gösterilen kaynak cüruflarının silindirin iç kısmına girmesi engellenmiş olur.



**Şekil 12.** Kaynak cürufuna dayanıklı silindir özellikleri [9]

Aşağı ise, bahsedilen özelliklerin kullanılması durumunda 1 çevrim sonrasında silindir milinin ne kadar temiz olduğu görülmektedir. Ayrıca, bu silindirlerin milleri (S45C) yüksek karbon alaşımli çeliğe sahiptir.



**Şekil 13.** Kaynak cürufuna karşı önlem alınmış silindir mili [9]

### 3.1.3 Enerji Verimli Makine Veya Revizyon Yapımında Titiz İşçiliğin Önemi

Hava kaçaklarına yönelik bahsedilen önlem ve yöntemler artırılabilir. Ortam şartları her ne kadar kullanılan ürünlerin çalışma şartlarına elverişli olsa bile basit hatalardan dolayı (hortumların eğik ve pürüzlü kesilmesi), aşağıda gösterilen temsili resimde olduğu gibi, hortum rakor bağlantılarında hava kaçakları meydana getirebilmektedir.



**Şekil 14.** Hava kaçırın hortum rakor bağlantısı



Bu noktada, hortumları yan keski vb. gibi ekipmanlarla kesmek yerine bu iş için uygun olan hortum makaslarıyla kesilmesi önerilmektedir. Aşağıda, bu noktada kullanılması önerilen, plastik gövdeden, bıçak kısmı yedek parça olarak değiştirilebilen metal gövdeye kadar bazı hortum makas modelleri gösterilmektedir.



**Şekil 15.** Hortum makasları [10]

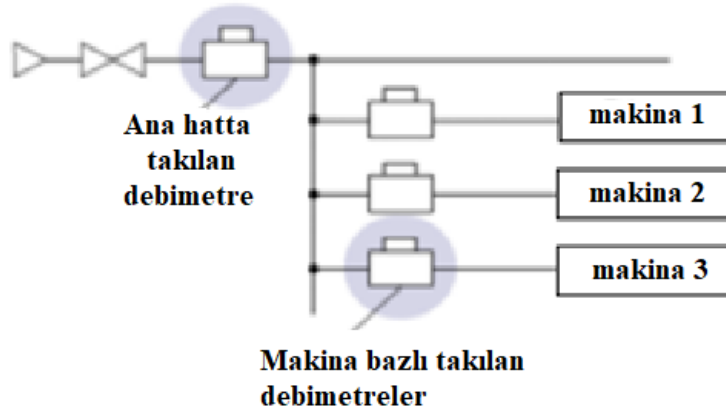
Rakorların, ürün kataloglarında belirtilen uygun tork değerlerinde sıkılmaması ayrıca uygun sızdırmazlık ekipmanları ile (conta, teflon vs.) kullanılmaması durumu da hava kaçaklarına sebebiyet verebilmektedir. Bu tip durumlardan dolayı hava kaçaklarının önüne geçmek adına çalışanların, operatörlerin bilinçlendirilmesi gerekmektedir.

### 3.1.4 Hava Kaçakları Tespitine Yönelik Debimetre Kullanım Önerisi

Pnömatik sistemlerle çalışan ekipmanların tükettiği havayı ölçmeye yarayan debimetreler, bu tür sistemlerin ömürlerinde, çalışma kapasitelerinde ve kalitelerinde belirleyici rol oynarlar.

Debimetreler, aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi, makinaların bağlandığı ana hatta takılarak tüm sistemin üretim esnasındaki hava tüketim miktarını, makineler durgun haldeyken de (mola, bakım vs.) kaçak miktarını ölçebilmektedirler. Debimetreler ölçüm metodlarına, ölçüm aralıklarına, ölçüm kapasitelerine, port ölçülerine, çıkış özelliklerine vs. göre değişiklik gösterebilmektedirler.

Hava kaçaklarının giderilmesine istinaden debimetre üzerinde gösterilen değer azalmasıyla ne kadar tasarruf sağlanabileceği kolayca hesaplanabilir. Bu durumla alakalı bir örnek aşağıdaki şekilde ve Tablo 3'de gösterildiği gibidir. Bu örnekte tüm makinaların aynı işi yaptığı ve dakikada 800 L tükettiği varsayılmaktadır.



**Şekil 16.** Örnek debimetre bağlantı şeması

**Tablo 3.** Şekil 16'da gösterilen şemaya yönelik örnek değerler tablosu

Hattaki Makinalar	Hava Tüketim Miktarı		Kaçak miktarı
	Normal şartlarda	Belli bir zaman sonra	
1. makinadaki debimetre	800 L/dak	800 L/dak	0
2. makinadaki debimetre	800 L/dak	800 L/dak	0
3. makinadaki debimetre	800 L/dak	<b>1100 L/dak</b>	<b>300 L/dak</b>
Ana hattaki debimetre	2400 L/dak	2700 L/dak	300 L/dak

Yukarıdaki tablodan görüleceği gibi, ana hattaki toplam tüketim miktarı normal şartlarda 2400 L/dak iken belli bir zaman sonra bu değer 2700 L/dak olduğu tespit edilmiştir. Üretim kapasitesi aynıken tüketimin yükselmesinden ötürü bir terslik olduğu anlaşılmaktadır. Bu noktada tüketimin neden fazla olduğunu anlayabilmek için lokal olarak konulan diğer makinalardaki debimetrelerin tüketim miktarları kontrol edilebilir. Bu kontrolü debimetreden gelen çıkış özelliği sayesinde Endüstri 4.0'a uyumlu olacak şekilde otomatik olarak tespit etmekte mümkündür. Yukarıdaki tablodan görüldüğü üzere, ana hattaki toplam tüketimin artma nedeni Makine 3'de oluşan kaçaktan (300 L/dak) kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Bu kaçak değeri aşağıda gösterildiği gibi hesaplanabilir.

$300 \text{ L/dak} = 0,3 \text{ m}^3/\text{dak}$ , bu da  $0,3 \text{ m}^3/\text{dak} * 60 \text{ dak/saat} * 24 \text{ saat/gün} = 432 \text{ m}^3/\text{gün}$  demektir.

$1 \text{ m}^3$  basınçlı havanın maliyetini 0,01 € olarak varsaydığımızdan bu durumda günlük kaçak maliyeti aşağıda gösterildiği gibi çıkacaktır;

$432 \text{ m}^3/\text{gün} * 0,01 \text{ €/m}^3 = 4,32 \text{ €/gün}$

Yukarıdaki hesaplamalardan da görüleceği üzere 300 L/dak'lık kaçak günde 4,32 €'luk maliyet oluşturmaktadır.

### 3.2 Silindir Uygulamalarında Enerji Verimliliği

Silindir uygulamalarında yapılabilecek tasarruf yöntemleri tek yönde iş yapan uygulamalar için tek etkili silindirlerin kullanılmasıyla, enerji tasarruflu hız ayar valfleri ile (düşük basınçta silindirin geri getirilmesi) ve egzoz geri kazanım yöntemi gibi yöntemlerle yapılabilmektedir.

Bunların yanı sıra, kendinden valfi silindirler, tandem silindirler yerine ileri yönde itme kuvvetinin gerektiği noktalarda çift güçlü silindirler, uygulamaya yönelik optimum çaplı hortum ve ara çaplı silindirler ile de tasarruf yapılabilmektedir.

#### 3.2.1 Egzoz Geri Kazanım Devresiyle Enerji Tasarrufu Önerisi

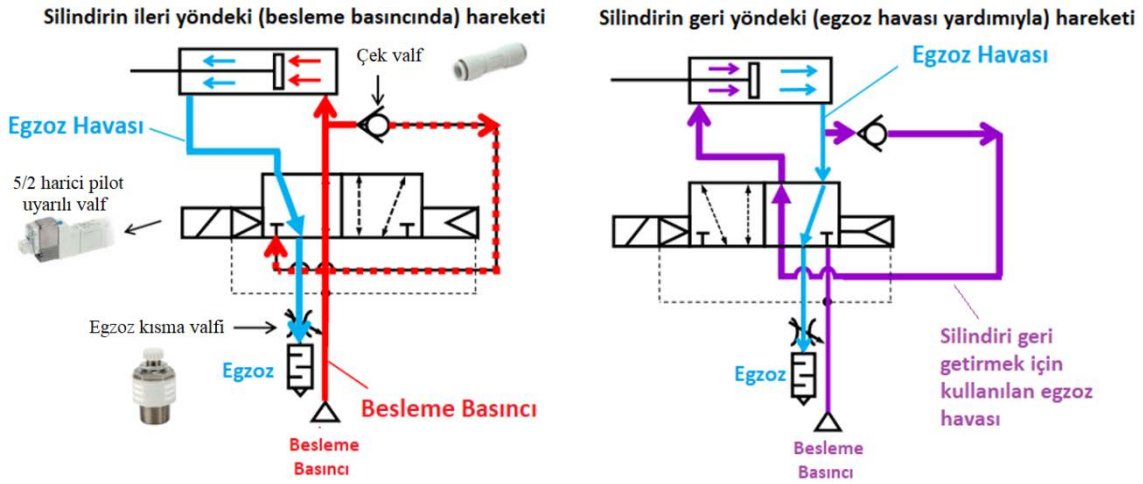
Genel anlamda pnömatik silindirler tek yönlü olarak iş yapmaktadırlar (transfer, pres vs.). Yani, silindirler ileri yönde iş yapıp, geri boşta dönmektedirler. Bu işlem esnasında yaygın olarak yapılan ve gereksiz tüketim oluşturan hatalardan biri, silindirin her iki yönü için yüksek basınç uygulanmasıdır (ör; silindirin 6 bar'da ileri ve geri getirilmesi). Bu durumda gereksiz bir tüketim oluşmaktadır. Bu gibi durumlarda egzoz geri kazanımı yöntemiyle %45'lere varan oranlarda tasarruf yapılabilmektedir.

Şekil 17'de egzoz geri kazanım devresi gösterilmektedir. Silindir ileri yönde besleme basıncıyla (kırmızı hat) hareket ederken (Şekil 17'de soldaki resim), boşalan hava (mavi hat) akış kontrollü susturuculu egzoz valfi üzerinden tahliye edilmektedir. Aynı zamanda basınçlı hava, çek valf ile 5/2 harici pilot uyarılı valf arasında (kırmızı kesik çizgili hat) biriktirilmektedir.

Valf konum değiştirdiğinde ise (Şekil 17'de sağdaki resim) besleme basıncının önü kapanmakta olup, biriktirilen hava sayesinde silindir geri getirilmektedir. Geri getirilme esnasında egzoz edilen havanın bir kısmı atmosfere tahliye edilirken bir kısmı çek valf üzerinden geçerek, tekrar geri kazanılarak, silindiri geri getirmek için kullanılmaktadır. Bu noktada susturuculu egzoz kısma valfi ayarının optimum seviyede ayarlanması kritik önem arz etmektedir.

Eğer tamamen açık olursa, basınçlı hava kolay yolu tercih edeceğinden, dolayısıyla egzoz havasının direk atmosfere tahliye edilmesi sonucu, silindir tam olarak geri gelemeyecektir. Egzoz kısma valfi tam olarak kapatılırsa da silindir hiç hareket edemeyecektir. Bu noktada egzoz kısma valfinin optimum düzeyde ayarlanması kritik önem arz etmektedir.

Çek valf ile 5/2 harici pilot uyarılı valf arasındaki hortum ne kadar kısa olursa o kadar tasarruf miktarı fazla olmaktadır. Fakat silindirin geri geliş hızı yavaş kalabilir. Bu noktada hortum çapı, uzunluğu veya kullanılan tank hacmi ve valf boyutu büyüdükçe o derece aynı veya daha büyük boyutlu silindirlerin geri geliş hareketleri hızlı olmaktadır. Sonuç olarak bu yöntem sayesinde yapılacak tasarruf miktarı depolanan hava miktarına göre değişiklik göstermektedir. Depolanan hava da silindirin geri geliş hızını etkilemektedir. Depolanan havanın optimum seviyelerde olması durumunda %45'lere varan oranlarda tasarruf yakalamak mümkündür.



Şekil 17. Egzoz geri kazanım devresi

Bu devre için gerekli olan temel ekipmanlar çek valf, susturuculu egzoz kısma valfi ve harici pilot uyarılı 5/2 yön denetim valfidir.

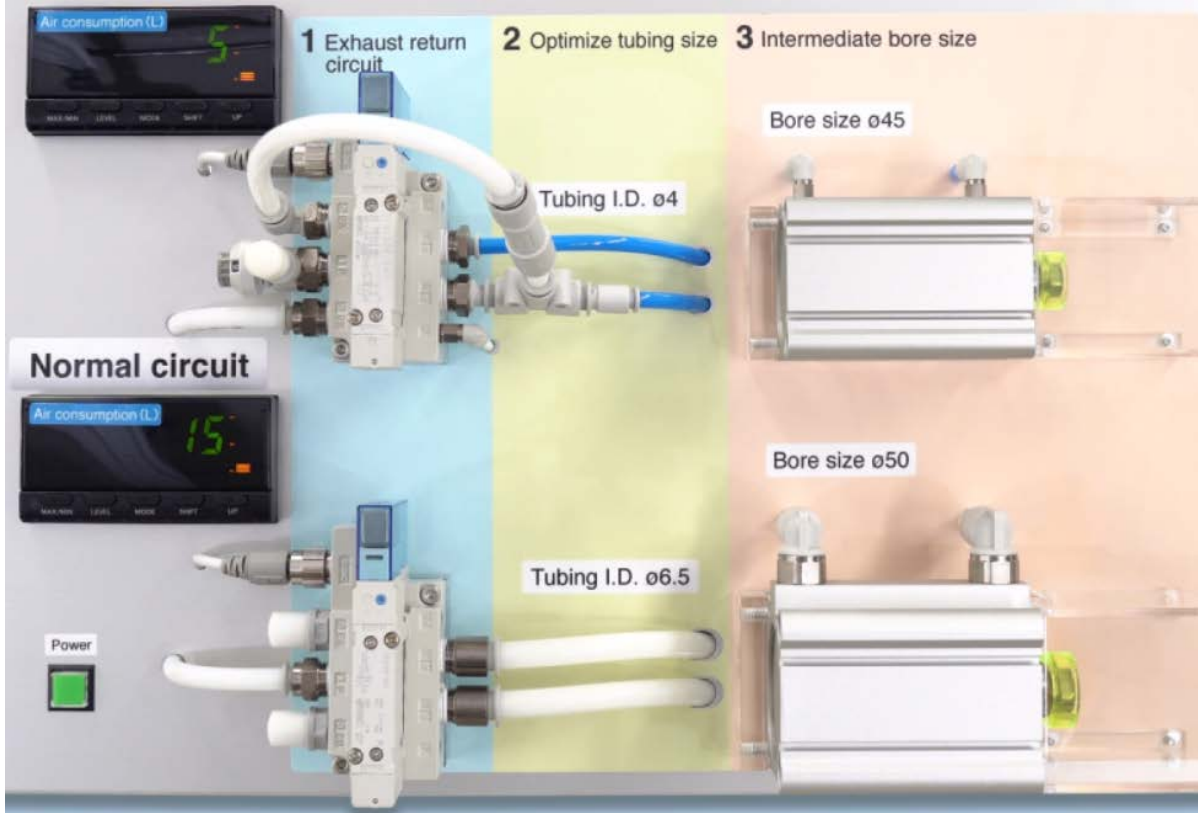
### 3.2.2 Pnömatik Devrelerde 3 Adım İle Enerji Verimliliği Uygulamaları

Tek yönlü iş yapan çift etkili silindirlerde egzoz geri kazanım devresi ile yüksek oranda tasarruf yapılabileceğinden bir önceki başlıkta bahsedilmişti.

Tasarrufa yönelik bir diğer adım ise valf ile silindir arasındaki hortum hacminin optimum seviyelerde olmasıdır. Bu noktada hortum hacmi ne kadar fazla olursa o kadar fazla hava tüketimi ve geçmiş tepkime süreleri elde edilir. Valf ile silindir arasındaki hortum hacmi iki türlü optimize edilebilir. Bunlardan ilki, valf ile silindir arasındaki hortum mesafesiyken, diğeri ise hortumun çapı olarak belirtilebilir. Genelde operatörler tarafından işletmelerde yaygın olarak yapılan yanlışlardan biri hortumların gelişigüzel bir şekilde, gereğinden uzun, büyük çaplı hortumlarla kullanılmasıdır. Hortum çapının silindirin itme kuvvetinden ziyade silindirin hızını etkileyen faktördür. Daha düşük çaplı bir hortum ile benzer işi yapabilecek hızların alınması ile enerji tasarrufu sağlanabilmektedir.

Bu konu başlığında bahsedilecek üçüncü adım ise ara çaplı silindirlerin kullanılmasına yöneliktir. Ara çaplı silindirler hangi noktada kullanılabilir diyecek olursak şu şekilde bir örnekle ifade edilebilir. Pnömatik bir silindirin dikine bir şekilde 37 kg'lık bir yükü %50 yük faktörü (güvenlik katsayısı) ile 5 bar'da kaldırılması gereken uygulama için bu işi yapabilecek silindir çapının yapılan hesaplamalar sonucu minimum Ø43 mm olması gerekmektedir. Bu işi, standart ISO 15552 serisi silindirlerde, Ø40 mm'lik silindir yapamayacağından mecbur Ø50 mm'lik tercih edilecektir. Bu durum gereksiz yere hem alandan, hem ağırlıktan hemde fazla hava tüketimden dolayı dezavantaj oluşturacaktır. Bu noktada aynı işin Ø45 mm'lik ISO olmayan ara çaplı silindirle yapılması sonucu hem daha hafif hem daha kompakt hem de daha tasarruflu bir çalışma gerçekleştirilmiş olacaktır [11].

Aşağıdaki şekilde bahsedilen üç yöntemle alakalı bir panel gösterilmektedir. Panelin alt kısmında bulunan valf, hortum ve silindir, mevcutta bir işletme de yaygın olarak kullanılan pnömatik bir devre olarak düşünülebilir. Panelin üst kısmında ise aynı işin egzoz geri kazanım yöntemi devre, mevcut hızlara ulaşabilecek daha küçük çaplı hortum ve ara çaplı silindir kullanılması yöntemi gösterilmektedir. İki yöntemin aynı hızlarda aynı çevrimi yapması sonucunda oluşan tüketim mevcut sistemde 15 L iken, enerji tasarruflu yöntemlerin uygulandığı devrede 5 L çıkmıştır.



**Şekil 18.** Egzoz geri kazanım, optimum çaplı hortum ve ara çaplı silindir ile enerji tasarrufu devresi

Yukarıdaki şekilde de gösterildiği gibi enerji verimliliğine yönelik yöntemlerin uygulanmasıyla %66'lara varan oranda enerji tasarrufu elde edilmiştir.

### 3.3 Üfleme Uygulamalarında Enerji Verimliliği

Hava tüketimlerinin fabrika içerisindeki büyük bir bölümü Şekil 3'de belirtildiği gibi üfleme uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu üfleme uygulamalarında önlem alınmadığı takdirde ciddi anlamda hava tüketim maliyetleri oluşabilmektedir. Özellikle direk hortumdan yapılan üflemler, orifis çapı büyük olan nozüllerden yapılan üflemler ve verimsiz hava tabancaları bu duruma örnek olarak verilebilir.

#### 3.3.1 Direk Hortumdan Yapılan Üflemlerin Hava Tabancalarıyla Yapılması ile Enerji Tasarrufu Önerisi

Orifis çapı büyük olan direk hortumdan yapılan üflemler yüksek hava tüketiminin, dolayısıyla maliyetin yanı sıra iş güvenliği açısından da problem oluşturmaktadır. Şekil 19'da temizlik amaçlı kullanılan büyük orifis çaplı hortum gösterilmektedir.



**Şekil 19.** Temizliğin büyük orifis çaplı hortumlarla yapılmasına örnek (hortum dış çapı Ø12 mm)

Bu noktada hortum yerine hava tabancasının kullanılmasına sebebinin büyük nedeni hava tabancalarının hortum kadar yüksek etkilere ulaşamaması düşüncesidir. Fakat, uygun orifis çaplı nozül ve yüksek geçirgenlikli hava tabancaları ile çok ciddi seviyelerde üfleme debileri alınırken aynı zamanda hava tasarrufu sağlanabilir.

Aşağıdaki şekilde direk hortumdan yapılan üflemin ne kadar hava tükettiği ve basınç kaybı oluşturduğu gösterilmektedir. Görüldüğü üzere hava geçişine izin verildiğinde (sağdaki resim) 1920 L/dak hava tüketimi gerçekleşmiş, besleme basıncının 5,98 bar'dan, 3,28 bar'a düştüğü gözlemlenmiştir. Basınç kaybı oldukça fazladır ( $5,98-3,28=2,7$  bar).



**Şekil 20.** Dış çapı Ø12 mm'lik hortumun oluşturduğu tüketim

Bu durumda günlük bir saatlik temizliğin oluşturacağı tüketim maliyeti aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$1920 \text{ L/dak} = 1,920 \text{ m}^3/\text{dak}$ , bu da  $1,920 \text{ m}^3/\text{dak} * 60 \text{ dak/saat} * 1 \text{ saat/gün} = 115,2 \text{ m}^3/\text{gün}$  demektir.

$1 \text{ m}^3$  basınçlı havanın maliyetini 0,01 € olarak varsaydığımızdan bu durumda günlük tüketim maliyeti aşağıda gösterildiği gibi çıkacaktır;

$115,2 \text{ m}^3/\text{gün} * 0,01 \text{ €/m}^3 = 1,152 \text{ €/gün}$

Yüksek maliyetin yanı sıra bu tip büyük çaplı hortumlarla yapılan üflemler iş güvenliği açısından da problem oluşturmaktadır. Üfleme esnasında hortumun elden kayması durumunda ciddi yaralanmalar meydana gelebilir.

Şekil 21' de yüksek debi geçirgenlikli hava tabancası ve uygun nozülle yapılan üfleme ve tüketim değerleri gösterilmektedir. Görüleceği üzere tabancaya basılması durumunda oluşan tüketim 915 L/dak iken, üfleme esnasında basıncın 6,28 bar'dan 5,78 bar'a düştüğü gözlemlenmiştir. Basınç kaybı oldukça azdır ( $6,28-5,78=0,5$  bar).

Nozülü değişebilen hava tabancalarıyla farklı nozüllerle farklı üfleme etkileri almak mümkündür.





**Şekil 21.** Dış çapı Ø12 mm'lik hortum yerine Ø6 mm orifis çaplı hava tabancası kullanım önerisi [12]

Bu durumda günlük bir saatlik temizliğin oluşturacağı tüketim maliyeti aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

915 L/dak = 0,915 m<sup>3</sup>/dak, bu da 0,915 m<sup>3</sup>/dak \* 60 dak/saat \* 1 saat/gün = 54,9 m<sup>3</sup>/gün demektir.

1 m<sup>3</sup> basınçlı havanın maliyetini 0,01 € olarak varsaydığımızdan bu durumda günlük tüketim maliyeti aşağıda gösterildiği gibi çıkacaktır;

$$54,9 \text{ m}^3/\text{gün} * 0,01 \text{ €/m}^3 = 0,549 \text{ €/gün}$$

Bahsedilen örnek için temizliğin direk hortum yerine yüksek debili hava tabancası kullanılarak yapılması durumunda oluşturacağı günlük tasarruf miktarı 1,152 € - 0,549 €  $\cong$  0,6 €'dur.

İş güvenliği açısından risk oluşturmaması açısından hava tabancalarının düşük basınçlarda kullanılması gerekmektedir (ör; 2 bar).

### 3.3.2 Uygulamaya Göre Hava Tabancası Seçimiyle Enerji Tasarrufu Önerisi

Hava tabancalarıyla yapılan üflemler uygulamaları açısından iki farklı sınıfta toplanabilir.

1. İşlenmiş parçaları kurutmak, üst-baş temizlemek, farklı nozüller kullanarak noktasal basınç veya debi gerektiren üfleme uygulamaları vb. için standart hava tabancaları kullanılması uygunken,

2. Yapışan talaşların, tozların temizlenmesi istenen uygulamalarda (Ör; CNC tezgahlarının iç kısımlarının temizlenmesi) yüksek basınca ihtiyaç vardır, sürekli üflemeye ihtiyaç yoktur). Bu gibi durumlarda aşağıda gösterildiği darbe üfleme etkili hava tabancaları kullanılabilir.



**Şekil 22.** Darbe üfleme etkili hava tabancaları [13]



Standart hava tabancaları, uzaklaştırılması zor olan yapışmış talaşları, ucundaki nozül ile bağlantılı olarak, örneğin 5 sn. sürede uzaklaştırdığı varsayılırsa. Aynı işi darbe üfleme etkili hava tabancaları sadece birkaç atışla, daha kısa sürede %87'lere varan oranlarda enerji tasarrufu sağlayabilmektedirler.

Aşağıdaki şekillerde standart hava tabancasıyla, darbe üfleme etkili hava tabancası kıyaslamaları gösterilmektedir.



**Şekil 23.** Parça üzerinde bulunan talaş temizliğinin standart hava tabancasıyla oluşturduğu tüketim

Yukarıdaki şekilde görüldüğü üzere standart hava tabancasıyla 3,4 bar'lık besleme basıncında 3 parça temizliği sonucunda oluşan toplam tüketim 33 L olarak çıkmıştır. Aşağıda ise darbe etkili hava tabancasıyla bir kaç atışta yapılan temizlik sonucu oluşan toplam tüketim değeri 5 L çıkmıştır. Bu durumda sağlanan tasarruf 3 parça temizliği için 28 L iken, tasarruf oranı %85 çıkmıştır.



**Şekil 24.** Talaş temizliğinin darbe üfleme etkili tabancalarla yapılmasıyla oluşan tüketim

Darbe üfleme etkili hava tabancaları dahili tanklı iç yapısı sayesinde verdiği etki basıncını standart hava tabancalarının verdiği anlık etki basıncından hemen hemen 3 kat daha fazla verebilmektedirler. Düşük hat basınçlarında bile yüksek etki basınçları alınabilmektedir. Böylelikle uygulamaya göre hava tabancası seçimiyle enerji tasarrufu mümkündür.

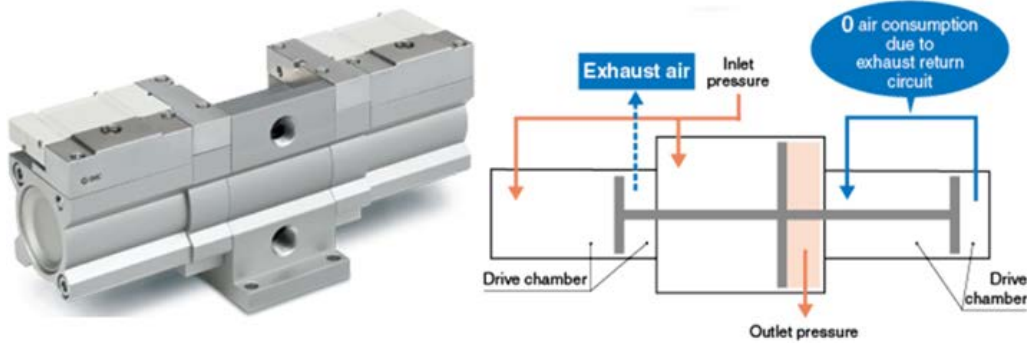
### 3.4 Basıncın Yetmediği Bölgelerde Lokal Olarak Booster Kullanılarak Enerji Tasarrufu Önerisi

Enerji verimliliğiyle alakalı tasarruf yapılabilecek bir diğer nokta ise hat veya makine basınçlarının optimum seviyelerde tutulmasıyla sağlanmaktadır. Gereğinden fazla yüksek basınçta çalıştırılan makineler gerek fazla hava tüketimine gerekse ürünler üzerinde mekanik stresi arttıracağından enerji verimliliği noktasında dezavantaj oluşturmaktadır.

Bu durumla alakalı örnek verecek olursak; bir işletmede bulunan 10 makinanın 8 tanesinin 5 bara ihtiyaç duyması, diğer 2 makinanın 9 bara ihtiyaç duymasından ötürü kompresör basıncını 9 bar seviyelerine yükseltmek hem tüketimi, hemde olası kaçak durumunda maliyetlerin çok daha fazla olmasına neden olacaktır. Bunun yerine, yüksek basınç gereken bu noktalarda basınç arttırıcıları (booster'lar) kullanarak enerji tasarrufu sağlanabilmektedir.

Booster'lar mekanik yapıda ürünler olup basıncı bir kaç kat olacak şekilde arttırabilmektedirler. Çalışırken enerji kaynağı olarak besleme basıncı olan havayı kullanırlar. İçerilerinde bulunan pistonlu yapıları sayesinde hava sıkıştırılırken (basınç yükseltilirken) bir kısım hava atmosfere egzoz edilir. Dolayısıyla booster'lar hava tüketerek çalışmaktadırlar. Bundan dolayı, booster sayısının gereğinden fazla olma durumu (Ör; 5 bar'a ihtiyaç duyan 2 makina varsa ve bunun için kompresör basıncını 5 bar mertebelerine düşürüp 9 bar'a ihtiyaç duyan 8 makina için 8 tane booster kullanarak o makinelerin basıncı yükseltmek) enerji tasarrufundan ziyade booster yatırım maliyetlerini ve tüketimi arttıracağından dolayı gereksiz maliyetlere yol açacaktır. Bu durumda booster seçimi yapılırken çalışma şartları iyi analiz edilmelidir.

Booster'lar her ne kadar hava tüketerek çalışsalar da yapılan çalışmalar ve teknolojinin gelişmesiyle %40'lara varan oranlarda daha az hava tüketen booster'lar da piyasada mevcuttur. Aşağıda, içerisinde egzoz geri kazanım devresi özelliği sayesinde %40'lara varan oranda daha az hava tüketen booster örneği gösterilmektedir.



Şekil 25. Egzoz geri kazanım özellikli, enerji tasarruflu booster [14]

Yukarıdaki şekilde egzoz geri kazanım özellikli booster'ın kabaca çalışma devresi gösterilmektedir. Besleme havası iki kola ayrılmaktadır. Biri solda bulunan drive chamber'e gelirken diğer kısmı da ortada bulunan basınç yüksetme odasına (booster chamber) gelmektedir. Pistonlu yapının hareket etmesi sonucu sağ tarafta bulunan drive chamber kısmında sıkışan hava kendisine doğru depolanmaktadır (egzoz geri kazanım). Pistonlu yapı sağ tarafa doğru hareket ederken orta kısımda bulunan "outlet pressure" kısmından sıkıştırılmış hava sisteme aktarılır. Pistonlu yapının sürekli hareket etmesi sonucu basıncı arttırma işlemi gerçekleşir. Basıncın istenilen seviyeye ulaşması sonucu boosterin içerisinde bulunan pistonlu yapı hareketini durdurur.



## SONUÇ

Kompresörler, basınçlı hava üretimi konusunda oldukça düşük verime sahiptirler. Dolayısıyla basınçlı havayı verimli kullanmak kritik öneme sahiptir. Basınçlı havayı verimli kullanabilmek için ilk olarak hava kaçaklarının giderildiğinden emin olunmalıdır. Bu noktada uygun ürünün uygun noktada doğru bir şekilde kullanılması oldukça önemlidir. Hava kaçaklarının veya tüketimdeki anormalliklerin tespiti konusunda özellikle debimetreler ciddi avantajlar sunmaktadırlar.

Basınçlı havanın verimli kullanılmasına yönelik diğer öneriler ise silindir uygulamalarında enerji verimli yöntemlerin uygulanmasıdır. Böylelikle %66'lara varan oranda enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. İşletmelerde basınçlı hava kullanımının büyük bir kısmının üfleme uygulamalarında kullanıldığı düşünüldüğünde ise üfleme uygulamalarında %87'lere varan oranlar enerji tasarrufu yapılabilmektedir. Basıncın yetmediği bölgelerde kompresör basıncını arttırmak yerine enerji verimli booster'lar ile ciddi oranlarda enerji tasarrufu sağlanabilmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/what-is-the-paris-agreement>
- [2] <http://www.wwf.org.tr/?5540>
- [3] <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=27667>
- [4] <https://www.plantservices.com/articles/2011/05compressorheatrecovery/>
- [5] SMC Energy Saving Program
- [6] [http://ca01.smcworld.com/catalog/en/fitting\\_tube/TUZ-E/6-7-p0475-0480-tuz\\_en/data/6-7-p0475-0480-tuz\\_en.pdf](http://ca01.smcworld.com/catalog/en/fitting_tube/TUZ-E/6-7-p0475-0480-tuz_en/data/6-7-p0475-0480-tuz_en.pdf)
- [7] [http://ca01.smcworld.com/catalog/en/fitting\\_tube/TRTU-E/6-7-p0491-0493-trtu\\_en/data/6-7-p0491-0493-trtu\\_en.pdf](http://ca01.smcworld.com/catalog/en/fitting_tube/TRTU-E/6-7-p0491-0493-trtu_en/data/6-7-p0491-0493-trtu_en.pdf)
- [8] <https://content2.smcetech.com/pdf/14-e629-asx737.pdf>
- [9] [https://www.smcworld.com/products/en/s.do?ca\\_id=993&se\\_id=3019&show\\_page=true](https://www.smcworld.com/products/en/s.do?ca_id=993&se_id=3019&show_page=true)
- [10] [http://ca01.smcworld.com/catalog/en/fitting\\_tube/TM-E/6-7-p0530-0534-related\\_en/data/6-7-p0530-0534-related\\_en.pdf](http://ca01.smcworld.com/catalog/en/fitting_tube/TM-E/6-7-p0530-0534-related_en/data/6-7-p0530-0534-related_en.pdf)
- [11] [https://content2.smcetech.com/pdf/JMB-D\\_EU.pdf](https://content2.smcetech.com/pdf/JMB-D_EU.pdf)
- [12] [https://static.smc.eu/pdf/VMG-F\\_EU.pdf](https://static.smc.eu/pdf/VMG-F_EU.pdf)
- [13] <http://ca01.smcworld.com/catalog/New-products-en/mpv/19-E711-IBG1/data/19-E711-IBG1.pdf>
- [14] [http://www.smc.com.cn/products/subject/en-vn/air\\_saving/actuators/vba\\_x3145.html](http://www.smc.com.cn/products/subject/en-vn/air_saving/actuators/vba_x3145.html)

## ÖZGEÇMİŞ

### Efekan Şeşen

1988 yılı İstanbul doğumludur. 2006 yılında Haydarpaşa Anadolu Teknik Lisesi Otomatik Kumanda bölümünü bitirmiştir. 2008 yılında Kocaeli Üniversitesi Gebze Meslek Yüksek Okulu Mekatronik Önlisans programından mezun olmuştur. 2013 yılında Bahçeşehir Üniversitesi Mühendisliği Fakültesi Mekatronik Mühendisliğini Lisans programından mezun olmuştur. 2016 yılında Siegen Üniversitesi Mekatronik bölümü Yüksek Lisans (M.Sc.) programından mezun olmuştur. 2017 yılında başladığı SMC Turkey Otomasyon A.Ş.'de Uzman Teknik Destek Mühendisi olarak çalışmalarına devam etmektedir.