Basınçlı Hava Nem Kontrolü: Enerji Verimliliği Bakışıyla Örnek Bir Uygulama

Ahmet Saim PAKER
Mak. Müh.
İstanbul
saimpkr@yahoo.com
orcid: 0000-0002-8237-924X

ÖZ

Basınçlı hava üretim tesislerinde enerji tüketiminin %15 nem alma ünitelerinde harcanmaktadır. Doğrudan maliyeti oluşturan bu değerin yanı sıra tesisatta yoğuşmaların olması durumunda; olası makine arızaları, amortisman ve verim kayıpları ayrıca bunlara bağlı olan duruşlardan kaynaklanan üretim zaman ve ürün miktar kayıpları ciddi maliyetlere sebep olabilmektedir. Kayıpların olası azami boyutları, konunun üzerinde durulmasında etkili olmuştur. Konuya açıklık getirmek amacıyla bu çalışma yapılmıştır. Enerji verimliliğinin sağlanması genelde KİB anlayışının hayata geçirilmesi ile mümkündür. Bu Kapasite, İşletme, Bakım kavramlarının değerlendirilmesidir. Bu çalışmanın kapsamında; işletmenin vizyonuna bağlı olarak uyguladığı politik ve stratejik yaklaşımlara göre yaptığı kapasite seçimi üzerinde durulmaksızın, basınçlı hava tesisindeki nem faktörünün enerji verimliliği açısından nem gidericinin seçimi, bakım ve işletmesi üzerinde durulmuştur. Yöntem; ihtiyacın belirlenmesi, çözümler için gerekli teçhizat alternatiflerinin tanımlanması, maliyet analizi, uygun çözümün belirlenmesi ve gerekli tesisat tasarımlarının yapılarak doğrulanmasıdır. Yatırım kararı inşa edilirken nem bertaraf sistemlerinin teknolojik yapıları araştırılmış, enerji tüketimleri ve verimlilikleri nominal değerleri üzerinden olası işletme şartlarına göre incelenmiştir.
Çalışmada, karar inşa aşaması çalışmalarındaki bilgiler özetlenmiş, tercih edilen sistemin işletmesine yönelik değerlendirmelerle konu irdelenmiştir. Geliştirilen basınçlı hat tesisatı, ileri teknoloji uygulamaları desteklenerek özgül tüketimde [kWh/m³] 0,293/0,033 =8,9 kat iyileşme, birim hacim maliyetinde [Avro/m³] 3,17/0,3 =10,6 kat iyileşme sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler
Nem, Rutubet, Enerji Verimliliği, Basınçlı Hava.

Compressed Air Humidity Control: Sample Application With Energy Efficiency Perspective

ABSTRACT

15% of total energy is spent for humidity elimination on pressurized air production plants. In case of consideration; production time and quantity loss of sources such as potential machine errors, depreciation and amortization losses can cause serious costs. The possible huge losses have effected on the decision of study. This study was conducted to clarify the subject.
Ensuring energy efficiency is usually possible with the realization of the COM. This is the evaluation of Capacity, Operation, Maintenance concepts. In this study; It was focused on the selection, maintenance and operation of dehumidifier in terms of energy efficiency of the moisture factor in the compressed air plant, without considering the capacity choice made according to the political and strategic approaches applied by the company. Method; identification of the required equipment alternatives, cost analysis, determination of the appropriate solution and verification of necessary installation designs. While the investment decision was made, the technological structures of the humidity disposal systems were investigated and their energy consumption and efficiency were examined according to their possible operating conditions over their nominal values.
In the study; the information included in the studies in the decision-making phase is summarized then the preferred system subjects have been evaluated. Improved air pressure line circuit with advanced technology applications the specific consumption [kWh/m³] provided improvement 0,293/0,033 = 8,9 times and the unit volume cost [Euro/m³] 3,17/0,3 = 10,6 times.

Geliş Tarihi : 28.09.2018
Kabul Tarihi : 02.02.2019

Keywords
Humidity, Moisture, Energy Efficiency, Pressurized Air.

Paker, A. S., Basınçlı Hava Nem Kontrolü: Enerji Verimliliği Bakışıyla Örnek Bir Uygulama, 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, sf. 1776-1778, 17-20 Nisan 2019.

1. GİRİŞ

Endüstriyel faaliyetlerde; tüm çalışma ve yaşam ortamlarındaki faaliyet türlerine göre tesisatlarda ve çalışma hacimlerinde nemin belli bir düzeyde olması istenmektedir. Nem miktarı süreçlerin ihtiyaçlarına, korozyon mücadelesindeki olumsuz etkilerine göre sınırlandırılmakta ve maliyet unsurlarına bağlı olarak kontrol edilmeye çalışılmaktadır.

Nem tekstil sektörü, iplik üretiminde mukavemet açısından kontrol edilmesi gereken bir parametredir. Kuru ip düşük mukavemeti sebebiyle kopacağı, yaş ipin de ağırlığı artacağı için belli bir düzeyde nemli hava üretim ortamında istenir. Basınçlı hava için tesisata ve basınçlı hava tüketilen proses olan olumsuz etkilerinden dolayı istenmeyen bir özelliktir.

Katıların içinde bulunan su miktarına rutubet, hava içinde bulunan su miktarına da nem, denilmektedir. Ortam havalarında nem miktarına da katkı sağlayan rutubetin basınçlı havaya katkısı kompresör emiş menfezlerinin bulunduğu ortamlardaki yoğunluğu açısından önemlidir. Çalışmamızda bu türden rutubet etkisiz kabul edilmiştir. Kompresör odaları rutubetten arındırılmış olmalıdır.

2. KURUTUCU SEÇİMİ

İşletmenin hava ihtiyacının karşılanmasında ilk aşama, miktar ve kalite olarak hava ihtiyacını karşılayacak kapasitenin tespit edilmesidir. Bu aşama en kritik basamak olmakla birlikte, enerji tüketimi açısından yatırıma konu olan tesisin işletme maliyeti, sahip olma maliyeti açısından önemli bir paya sahiptir. Ekipmanların teknolojik düzeyi performans odaklı bakım maliyetlerini de etkilemektedir. İhtiyaç olan teknolojinin doğru seçimi bu aşamada önem kazanmaktadır.

2.1. Basınçlı Hava İhtiyacın Belirlenmesi

İşletmelerin çalışma rejimleri üretim ihtiyaçlarına göre aktivite edilen süreçlere göre değişiklik gösterebilmektedir. Sürekli ve kesintili çalışan süreçlerin ihtiyaçları kapasite ihtiyacında dalgalanmalara da sebep olabilmektedir. Bu durum kapasite seçimi konusunda gelecek büyüme perspektifine bağlı olarak da hassas bir değerlendirmeyi gerekli kılmaktır.

Basınçlı hava ile çalıştırılacak ekipmanların hassasiyet seviyeleri nem kalitesini belirlemektedir. CMM; Koordinat ölçme makinesi gibi hava yastıkları üzerinde hareket eden makineler, bazı hassas minyatür valfler içeren ve havalı fener miline sahip CNC işlem merkezleri de çok düşük nem içeren havaya ihtiyaç duymaktadır.

Standartların önerdiği hava kalite sınıflandırması Tablo 1'de verilmiştir. Makine imalatçılarının verdiği tavsiyeler CMM'ler için 1-2 kalite, CNC tezgahlar için 2-3 kalite olarak önerilmektedir. El aletleri ve diğer makine ve teçhizatlarda 4 kalite hava yeterli olmaktadır.

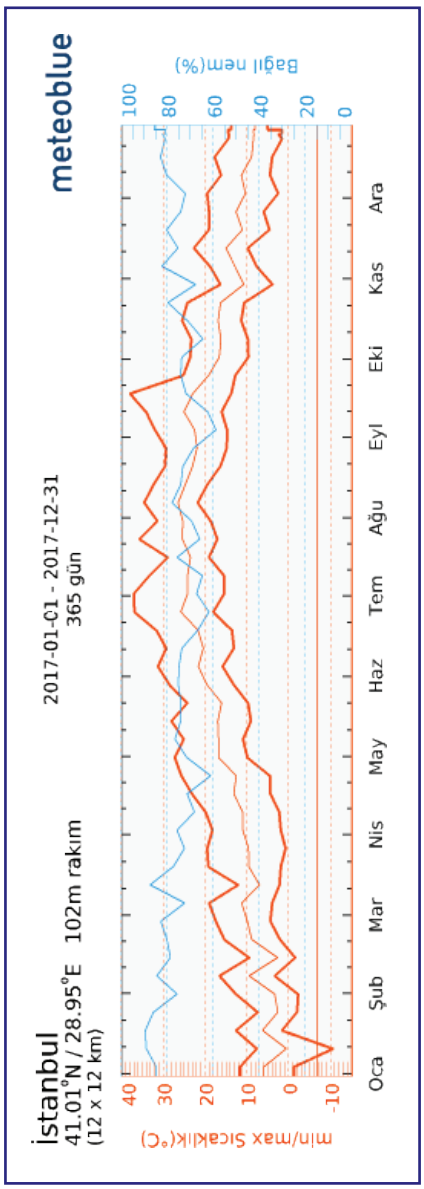
Tablo 1. Çiyleşme Noktasına Göre Nemli Hava Kalite Sınıfları [1]

Sınıf	Basınç altında çiyleşme noktası [°C]
0	Kullanıcı ya da tedarikçi tarafından belirlenen sınıf 1'den daha az nem içeren hava kaliteleri
1	İçindeki suyun -70 °C ve daha az sıcaklıklarda yoğuşturulan hava-su karışımları (Pneurop 6611 / -40 °C = 0,177g/m³ [2])
2	İçindeki suyun -40 °C ve daha az sıcaklıklarda yoğuşturulan hava-su karışımları (Pneurop 6611 / -20 °C = 0,88 g/m³ [2])
3	İçindeki suyun -20 °C ve daha az sıcaklıklarda yoğuşturulan hava-su karışımları (Pneurop 6611 / 2 °C = 5,57 g/m³ [2])
4	İçindeki suyun +3 °C ve daha az sıcaklıklarda yoğuşturulan hava-su karışımları (Pneurop 6611 / 10 °C = 9,36 g/m³ [2])
5	İçindeki suyun +7 °C ve daha az sıcaklıklarda yoğuşturulan hava-su karışımları
6	İçindeki suyun +10 °C ve daha az sıcaklıklarda yoğuşturulan hava-su karışımları
Sınıf	**Su konsantrasyonu Ks [g/m³]**
7	1 m³'de 0,5 gram su ve daha azını içeren konsantrasyonlar
8	1 m³'de 0,5 gram sudan fazla su ile 5 gram ve daha az arasında su içeren konsantrasyonlar
9	1 m³'de 5 gram sudan fazla su ile 10 gram ve daha az arasında su içeren konsantrasyonlar
X	1 m³'de 10 gram sudan fazla su içeren konsantrasyonlar

İşletmemizde kompresör seçiminde öngörülen kapasite gelecek büyüme ve tesis büyütme ihtiyaçları da dikkate alınarak 6,7 m^3/dakika olarak hesaplanmıştır. Tedarikteki teknoloji ve makineler değerlendirildiğinde 7-7,5 m^3/dakika kapasitedeki makinelerden birisi seçilmiştir.

2.2. Kurutucu Cihaz Kapasitesinin Tespiti

Kompresör kapasitenin tespiti sonrası ihtiyaç olacak havanın ortamdan seçimine yönelik olarak meteorolojik verilere başvurulmuştur. Tesis kuruluşun İstanbul il sınırları içinde Avrupa tarafındaki yerleşkesinde konumlanmıştır. Şekil 1'de atmosferik hava şartlarında nem miktarı ve ortam sıcaklıkları ortalama değerlerle ve sıcaklıkta geçmiş yıllar aralığı da tanımlanarak verilmiştir.



Şekil 1. İstanbul 2017 yılı bağıl nem oranları ve hava sıcaklıkları [5]

Tablo 2. Yüksek Basınçta Çiyleşme Noktası Sıcaklıkları (formül Y değerleri, Şekil 1'den türetilmiştir)

Gösterge Basıncı		Atmosferik Basınçta Çiyleşme Sıcaklığı [°C] (formülde x değerleri)																					Kullanılan Denklem
psiG	barG	-100	-90	-80	-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	Y=f(x)
1000	68,95	-187,3	-180,8	-174,2	-167,7	-161,1	-154,6	-148,0	-141,4	-134,9	-128,3	-121,8	-115,2	-108,7	-102,1	-95,6	-89,0	-82,4	-75,9	-69,3	-62,8	-56,2	Y(70barg)=0,656.X-121,778
800	55,16	-182,2	-175,5	-168,8	-162,1	-155,4	-148,7	-142,0	-135,3	-128,6	-121,9	-115,2	-108,5	-101,8	-95,0	-88,3	-81,6	-74,9	-68,2	-61,5	-54,8	-48,1	Y(55barg)=0,671.X-115,157
600	41,37	-176,3	-169,6	-162,8	-156,1	-149,3	-142,6	-135,9	-129,1	-122,4	-115,7	-108,9	-102,2	-95,5	-88,7	-82,0	-75,2	-68,5	-61,8	-55,0	-48,3	-41,6	Y(41barg)=0,674.X-108,927
500	34,47	-170,5	-163,7	-156,9	-150,0	-143,2	-136,4	-129,6	-122,8	-115,9	-109,1	-102,3	-95,5	-88,7	-81,8	-75,0	-68,2	-61,4	-54,6	-47,7	-40,9	-34,1	Y(35barg)=0,683.X-102,303
400	27,58	-165,0	-157,9	-150,8	-143,7	-136,6	-129,5	-122,4	-115,3	-108,2	-101,1	-94,0	-86,9	-79,8	-72,7	-65,6	-58,5	-51,4	-44,3	-37,2	-30,1	-23,0	Y(28barg)=0,71.X-94,04
300	20,68	-162,8	-155,6	-148,3	-141,0	-133,7	-126,5	-119,2	-111,9	-104,6	-97,4	-90,1	-82,8	-75,5	-68,2	-61,0	-53,7	-46,4	-39,1	-31,9	-24,6	-17,3	Y(20barg)=0,728.X-90,074
250	17,24	-159,3	-151,8	-144,2	-136,7	-129,1	-121,5	-114,0	-106,4	-98,9	-91,3	-83,7	-76,2	-68,6	-61,0	-53,5	-45,9	-38,4	-30,8	-23,2	-15,7	-8,1	Y(17barg)=0,757.X-83,732
200	13,79	-155,3	-147,7	-140,1	-132,4	-124,8	-117,1	-109,5	-101,8	-94,2	-86,5	-78,9	-71,3	-63,6	-56,0	-48,3	-40,7	-33,0	-25,4	-17,7	-10,1	-2,5	Y(14barg)=0,765.X-78,897
150	10,34	-151,3	-143,4	-135,4	-127,5	-119,5	-111,5	-103,6	-95,6	-87,6	-79,7	-71,7	-63,8	-55,8	-47,8	-39,9	-31,9	-24,0	-16,0	-8,0	-0,1	7,9	Y(10barg)=0,797.X-71,724
100	6,89	-145,6	-137,4	-129,3	-121,1	-113,0	-104,9	-96,7	-88,6	-80,4	-72,3	-64,2	-56,0	-47,9	-39,7	-31,6	-23,5	-15,3	-7,2	1,0	9,1	17,2	Y(7barg)=0,814.X-64,163
80	5,52	-140,9	-132,4	-123,9	-115,4	-106,9	-98,4	-90,0	-81,5	-73,0	-64,5	-56,0	-47,5	-39,0	-30,6	-22,1	-13,6	-5,1	3,4	11,9	20,4	28,9	Y(6barg)=0,849.X-56,01
60	4,14	-134,5	-125,9	-117,2	-108,6	-99,9	-91,3	-82,6	-74,0	-65,3	-56,7	-48,0	-39,4	-30,7	-22,1	-13,4	-4,8	3,9	12,5	21,2	29,8	38,5	Y(4barg)=0,865.X-48,022
40	2,76	-129,5	-120,7	-111,9	-103,1	-94,3	-85,5	-76,7	-67,9	-59,1	-50,3	-41,5	-32,7	-23,9	-15,1	-6,3	2,5	11,3	20,1	28,9	37,7	46,5	Y(3barg)=0,88.X-41,52

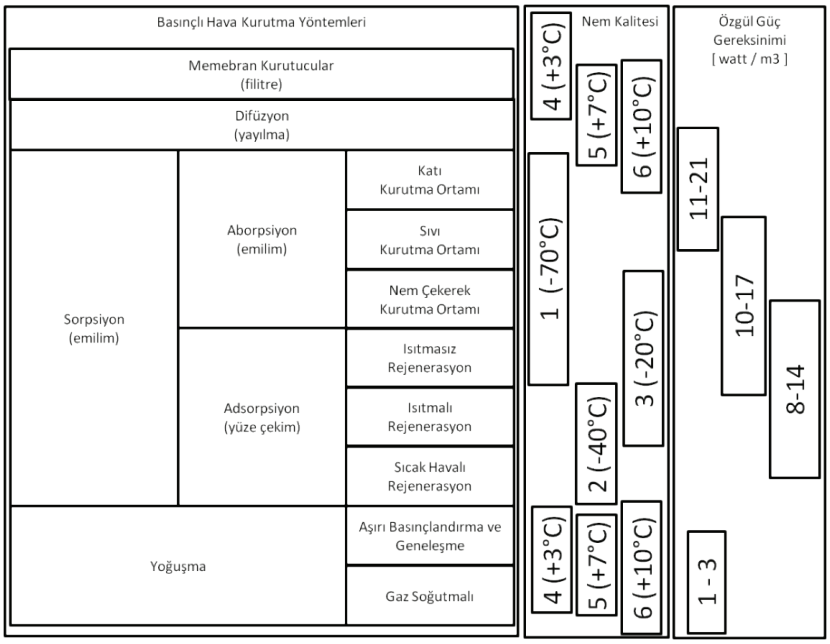
Y=f(x) Y: Yüksek basınç çiyleşme sıcaklığı x: Atmosferik basınç çiyleşme sıcaklığı

Atmosferik havada bulunan nemin çiyleşme noktası; havadaki suyun yoğuşması için gerekli doyma sıcaklığı yaş termometre sıcaklığı olarak psikrometrik diyagramlardan erişilebilmektedir. Ancak başınçlandırılmış havadaki nemin atılması için daha düşük doyma sıcaklıkları gerekmektedir. Şekil 2'de atmosferik basınç altındaki çiyleşme sıcaklıklarından basınç altındaki şartlarda çiyleşmenin gerçekleştiği sıcaklıkları gösteren grafik verilmiştir.

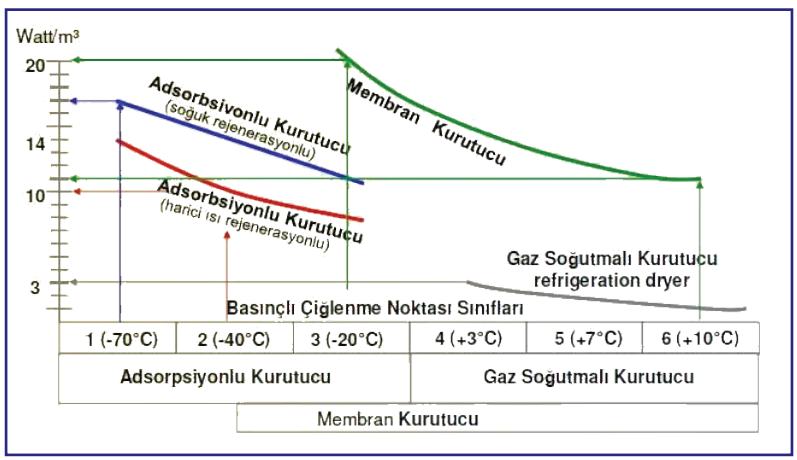
Kaynaklardan [1] derlenen bilgilerle daha hassas çalışma imkanı oluşturmak amacıyla gerekli olabilecek basınçlardaki santigrat birimindeki çiyleşme noktası sıcaklıkları için Tablo 2 hazırlanmıştır. Ara değerler için tablo satırları sonundaki doğrusal korelasyon denklemleri çalışmalarda kullanılmıştır. İlişki bire bir doğrusal olduğu için regresyon katsayısı 1'dir.

Kurutucu kapasitesi ihtiyaç olan havanın kalitesi ve miktarına bağlı olarak değerlendirilmiştir. Basınçlı hava kurutma teknolojileri ve özgül güç ihtiyaçları Şekil 3'de derlenmiştir.

Şekil 4'de özet niteliğindeki grafik Şekil 3'ün daha iyi değerlendirilmesi için nem alma metotları olmaksızın verilmiştir.

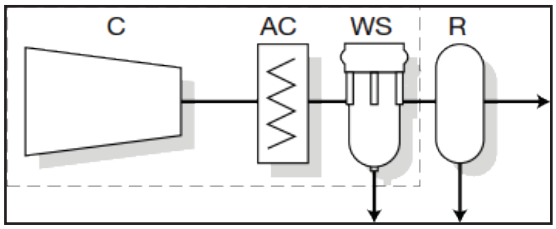


Şekil 2. Kalitelerine göre basınçlı hava kurutma yöntemleri ve özgül güç ihtiyaçları [3]



Şekil 3. Direkt ya da dolaylı kullanımda birim güç ihtiyacı [3]

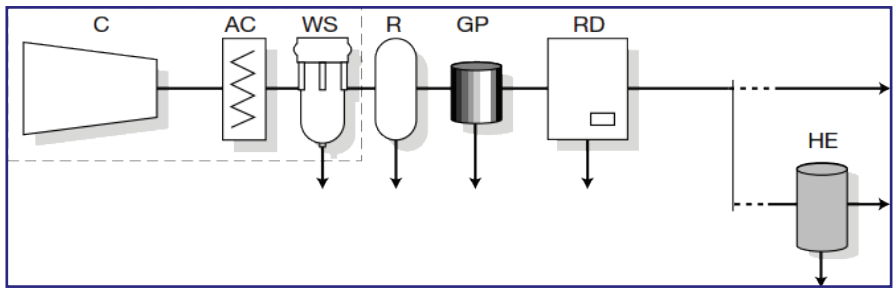
Basınçlı hava tesisatı için hava hazırlıkları ve dağıtımı için sınıflar bazında tesisat.



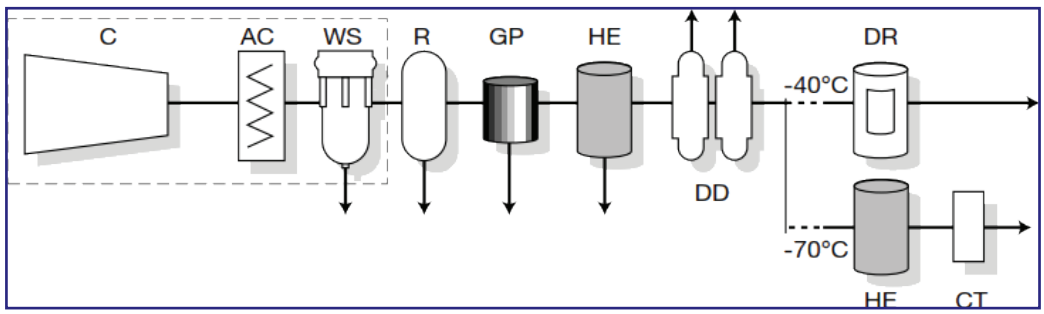
Şekil 4. Basit sistemler için tesisat (Sınıf 7 ve üstü) [4]

Kısaltmalar [4]

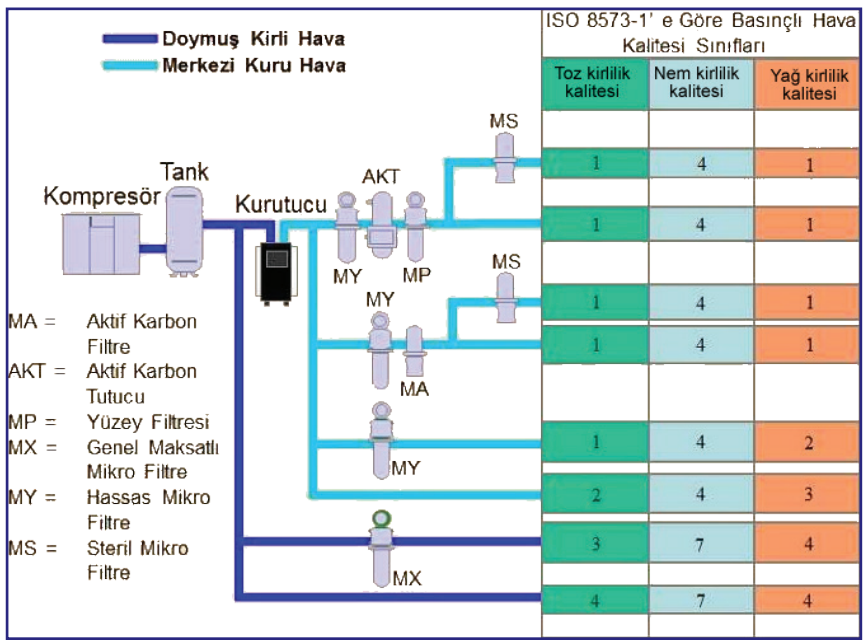
C	Kompresör Compressor	HE	Yüksek verimli filtre High efficiency filter
AC	Basınçlı hava kurutucusu After-cooler	DD	Absorber / Adsorber kurutucu Desiccant dryer
WS	Su ayırıcı Water separator	DR	Toz alıcı filtre Dust remover filter
R	Depolama tankı Receiver	CT	Karbon kule Carbon tower
GP	Genel amaçlı filtre General purpose fitler	LB	Yağlayıcı Lubricator
RD	Soğutuculu kurutucu Refrigeration dryer	BA	Soluma hava cihazları Breathing air set



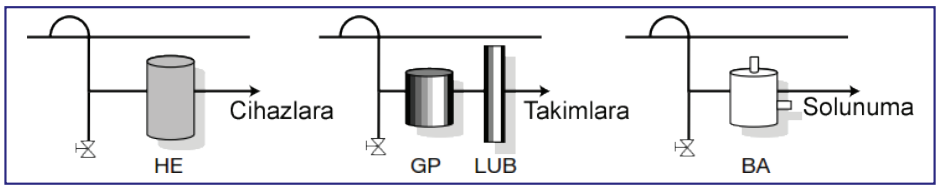
Şekil 5. Makineler için tesisat (Sınıf 4,5,6) [4]



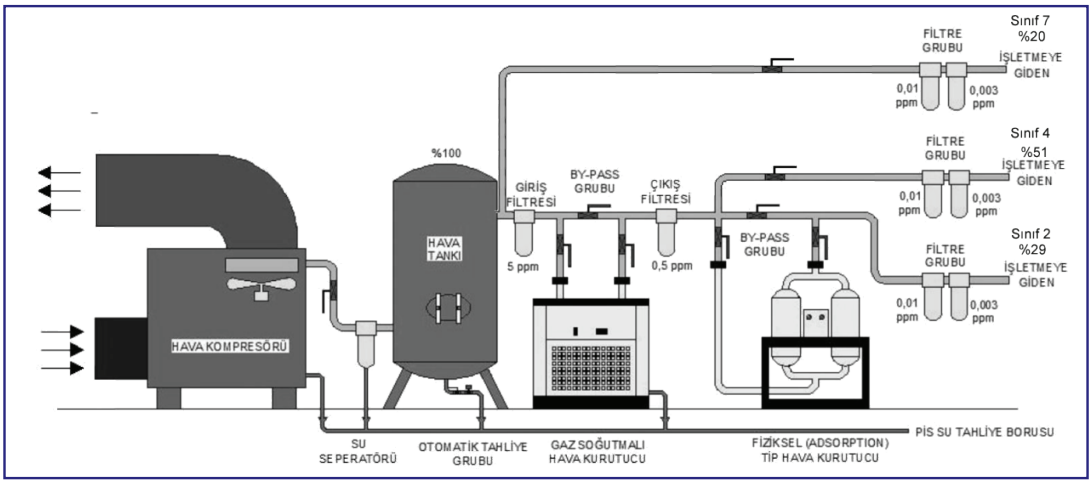
Şekil 6. Hassas cihaz ve makineler için tesisat (Sınıf 2,3 ve altı) [4]



Şekil 7. Hava kalitesi için komple tesisat modellemesi [5]



Şekil 8. Tesisattan ekipmanlara dağıtım biçimleri [4]

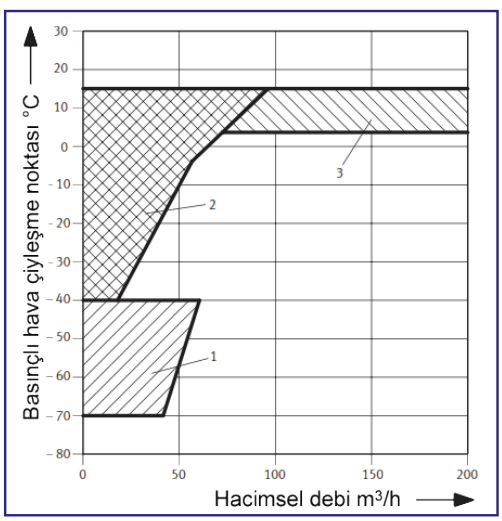


Şekil 9. Planlanan adsorbsiyonlu ve gaz soğutma yoğuşmalı basınçlı hava tesisi [6]

İşletme ihtiyacı hava kalite sınıfları %20 sınıf 7, %51 sınıf 4 ve %29 sınıf 2 kalitesindedir. Bu amaçla bu tesisat önerilerine uygun olarak Şekil 8'deki düzenleme Şekil 9'daki dağıtım biçimleri ile birlikte modellenmiştir.

Tüm bu veriler ışığında öngördüğümüz basınçlı hava üretim tesisinin yapısı Şekil 10'da verildiği gibi bir yapıda olması planlanmıştır.

2.3. Kurutucu Cihazların Seçimi



Şekil 10. Kurutucu tipleri ve kapasiteleri [3]

Planlanan tesisat modellemesi Şekil 11'de verilen grafikteki kapasite değerlerine göre 1 ve 3 tipleri tercih edilmiştir. Membranlı kurutma kapasitesinin ihtiyaçların karşılanmasında enerji tüketiminde yüksek değerlere ulaşması sebebiyle işletme maliyetini arttıracağı için tercih edilmemiştir.

2.3.1. Soğutuculu Kurutucunun Seçimi

Kompresör ve kurutucu tasarım ve testlerinde çalışma havası referans koşulları; soğutuculu sistemlerde 20 °C hava sıcaklığı 100 kPa (1 bar) basınç. kabul edilmektedir. [1] İşletme koşullarında kapasite analizi yapılarak seçimin yapılması gerekmektedir. Düzeltme katsayıları Tablo 3, 4 ve 5'de verilmiştir. Pek çok kaynakta hatta bazı ciddi firmaların kataloglarında da rastlanan tabloları kullanmadan önce tabloların açıklamalarında verilen kullanım talimatlarını ve formüllerine dikkat etmek gereklidir. Bazı tablo katsayıları bölen olarak kullanılsa da Tablo 3, 4, 5 verilen katsayılar çarpan olarak kullanılmaktadır.

Kataloglarda referans koşullara göre belirtilen kapasite değerlerini, işletmemizdeki en kötü şartlara göre değerlendirmek ve kurutucu giriş koşullarına göre uygun olacaktır. Enerji yönetimi açısından ise bu durum enerji tüketimini kabul şartlarımızın belirlediği bir marjda arttıracağı için işletme ma-

Tablo 3. Kurutucu Seçiminde Giriş Hava Sıcaklığı Düzeltme Katsayısı [7]

Hava Giriş Sıcaklığı	30±2°C	35±2°C	40±2°C	45±2°C	50±2°C	60±2°C
K1	0,85	1	1,18	1,39	1,67	2,1

Tablo 4. Kurutucu Seçiminde Çalışma Ortam Sıcaklığı Düzeltme Katsayısı [7]

Ortam Sıcaklığı	22±2°C	25±2°C	30±2°C	35±2°C	40±2°C	55±2°C	50±2°C
K2	0,92	1	1,07	1,14	1,22	1,35	1,5

Tablo 5. Kurutucu Seçiminde Giriş Basıncı Düzeltme Katsayısı [7]

Basınç [bar]	4±0,14	6±0,14	7±0,14	8±0,14	10±0,14	12±0,14	14±0,14	16±0,14
K3	1,25	1,06	1	0,96	0,9	0,86	082	0,8

liyetlerimizi arttıracaktır. Düzeltilmiş Kurutucu Kapasitesi [m^3/dak]: DKK, İstenen Kapasite Değeri [m^3/dak]: IKD'ye göre hesaplanması denklem 1'de verilmiştir.

$DKK = IKD \times K_1 \times K_2 \times K_3$ 1

Kompresör çıkışı, kurutucu girişi hava sıcaklığı 50 °C olarak alınması önerilmiştir. K_1= 1,67

Ortam sıcaklığı Şekil 1'den 35 °C alınmıştır. K_2= 1,14

Kompresör çıkış basıncı 8 bar ayarlanacaktır. K_3= 0,96

İstenen kapasite değeri 7,5 m^3/dak. Soğutucudan geçecek kapasite %80 olarak tasarlanmıştı. Hesaplamada kullanılacak kapasite 6 m^3/dak. alınmıştır.

Denklem 1'den DKK = 6 x 1,67 x 1,14 x 0,96 =10,97 m^3/dak. (658,2 m^3/h) hesaplanmıştır.

Min 650 m^3/h kapasiteli soğutuculu kurutucular için teklif alınması hedeflenmiştir.

2.3.2. Kimyasal Kurutucunun Seçimi

Kimyasal kurutucularda ortam sıcaklığının performansa etkisi olmadığı için Denklem 1'de K_2 katsayısı hesaplamada dikkate alınmadan kapasite hesabı yapılmıştır.

Denklem 1'den aşağıdaki denklem türetilmiştir.

$DKK = IKD \times K_1 \times K_3$ 2

Kompresör çıkışı, kurutucu girişi hava sıcaklığı 50 °C olarak alınması önerilmiştir. K_1= 1,67

Kompresör çıkış basıncı 8 bar ayarlanacaktır. K_3= 0,96

İstenen kapasite değeri 7,5 m^3/dak. Soğutucudan geçecek kapasite %29 olarak tasarlanmıştı. Hesaplamada kullanılacak kapasite 2,18 m^3/dak. alınmıştır.

Denklem 2'den DKK = 2.18 x 1,67 x 0,96 =3,5 m^3/dak. (210 m^3/h) hesaplanmıştır.

Min 210 m^3/h kapasiteli soğutuculu kurutucular için teklif alınması hedeflenmiştir.

3. TEKLİFLERİN DEĞERLENDİRMESİ SAHİP OLMA MALİYETİ ANALİZİ

Değerlendirme tekliflerde belirtilen 10 yıllık ekonomik kullanım ömrü esas alınarak yapılmıştır. Ekipmanların 10 yıl boyunca harcayacağı enerji, kullanıcı bakımlarında yapılan bakımlar, büyük bakım, küçük bakımlar öngörülen çalışma süreleri hesaplanarak maliyetlendirilmiştir.

Çalışma süreleri kapasite ile orantılı olarak tekliflerde verilen süreler esas alınarak hesaplama yapılmıştır. Kompresörlerde %15-40 arasında çalışma öngörüsü çoğunlukla soğutuculu kurutucularla aynı oranda olmakla birlikte kapasite kullanımlarına göre dalgalanma değerlerindeki öngörülen ortalamalara göre tedarikçilerle değerlendirilmiştir. Oluşan senaryoların gerçekçiliği hesaplamadaki en büyük belirsizlik alanıdır. Tedarikçi değerlendirmeleri bu çalışmada en önemli destek olmuştur.

Tablo 6. Yatırım Sahip Olma Maliyet Analizi

Model	Birimler	C	C	C	C	D	D	E	E	F	F	G
		ELDEKİ	ELDEKİ	Alternatif-2	Alternatif-2a	Alternatif-3	Alternatif-3a	Alternatif-4	Alternatif-4a	Alternatif-5	Alternatif-5a	Alternatif-6
Kapasite Basınç	BAR	7,5	7,5	7,5	7	7,5	7	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Kapasite Debi	m^3/dak	3,6	12,6	7,6	7,8	12,9	13,8	7,8	8,5	3,7	4,5	5,5
İlk Yatırım Tutarı												
Satın alma Bedeli	Avro	4.250,00	14.700,00	11.400,00	2.000,00	17.400,00	2.900,00	10.900,00	1.700,00	13.000,00	2.100,00	14.000,00
Finasman	TL											
Sigorta	TL											
İşletme Bedeli												
Ekonomik ömür	Yıl	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	20
Revizyon periyodu	saat	30.000	30.000,00	30.000,00	30.000,00	30.000,00	30.000,00	20.000,00	2.000,00	40.000,00	40.000,00	40.000,00
Çalışma Oranı	%	40	18	30	30	15	15	30	30	40	40	40
Yükte Çalışma / Yıl	Saat	3.200,00	1.440,00	2.400,00	8.000,00	1.200,00	8.000,00	2.400,00	8.000,00	3.200,00	8.000,00	3.200,00
Boşta Çalışma / Yıl	Saat	4.800,00	6.560,00	5.600,00	2.400,00	6.800,00	1.200,00	5.600,00	2.400,00	4.800,00	3.200,00	4.800,00
Revizyon Sayısı	Adet	1,07	0,48	0,80	2,67	0,40	2,67	1,20	4,00	0,80	2,00	1,60
Birim Revizyon Maliyeti	Avro	1.600,00	4.000,00	2.000,00	200,00	3.850,00	150,00	2.300,00	200,00	11.000,00	100,00	1.300,00
Birim Hafif Bakım Maliyeti (3-4000 saat)	Avro	180,00	400,00	200,00	50,00	400,00		400,00		160,00		160,00
Birim Ağır Bakım Maliyeti (6-8000 saat)	Avro	280,00	640,00	400,00	220,00	640,00	280,00	400,00	100,00	400,00	140,00	400,00
Hafif Bakım Sayısı	adet	13,33	13,33	13,33	17,33	13,33	15,33	13,33	17,33	10,00	18,67	20,00
Ağır Bakım Sayısı	adet	5,33	2,40	4,00	13,33	2,00	13,33	4,00	1,33	4,00		8,00
Revizyon ve bakım Maliyetleri	Avro	5.600,00	8.789,33	6.746,67	4.333,33	8.713,33	4.133,33	10.093,33	933,33	12.560,00	200,00	8.480,00
Elektrik Tüketimi Yükte	kWh	318.848,00	87.920,64	334.032,00	52.800,00	140.340,00	264.000,00	360.000,00	528.000,00	307.200,00	704.000,00	896.000,00
Elektrik Tüketimi Boşta	kWh	336.960,00	2.097.888,00	-	15.120,00	-	91.800,00	-	151.200,00	-	172.800,00	-
0,4 TL/ kWh	TL	262.323,20	874.323,46	133.612,80	27.168,00	56.136,00	142.320,00	144.000,00	271.680,00	122.880,00	350.720,00	358.400,00
Elden Çıkarma Bedeli												
Hurda Bedeli	Avro	-1000	- 3.675,00	- 2.682,35	- 100,00	- 4.094,12	- 100,00	- 4.360,00	- 100,00	- 2.265,00	- 100,00	- 2.800,00
1 AVRO	TL	4,15	4,15	4,15	4,15	4,15	4,15	4,15	4,15	4,15	4,15	4,15
Sahip Olma Maliyeti												
Toplam Maliyet	AVRO	72.060,41	230.494,68	47.660,17	12.779,84	35.545,96	41.227,31	51.332,13	67.998,39	52.904,64	86.710,84	106.041,45
SET	kWh/m^3	0,095	0,20	0,031	0,002	0,015	0,005	0,032	0,017	0,043	0,041	0,042
Birim Maliyet	Avro/m^3	1,90	1,27	0,28	0,02	0,27	0,04	0,37	0,10	0,75	0,24	0,30
Üretim Kapasitesi m^3 Hava/Ömür	M^3	6.912.000	10.886.400	10.944.000	37.440.000	9.288.000	66.240.000	11.232.000	40.800.000	7.104.000	21.600.000	21.120.000
Aylık enerji maliyeti	TL/AY	2.186,03	7.286,03	1.113,44	226,40	467,80	1.186,00	1.200,00	2.264,00	1.024,00	2.922,67	1.493,33

Çalışmada öz kaynak kullanımı söz konusu olduğu için finansman; iç karlılık oranı hesaplamaları ve tedarikçi garantisi altındaki ürün grupları için sigorta maliyetleri değerlendirilmemiştir.

Projenin fayda/masraf oranı elde edilecek gelirlerin hesaplamasındaki belirsizliklerin yüksek olmasından ve geçmiş olası hava kaynaklı bakım, tamir maliyetlerinin belirlenmesindeki güçlüklerden dolayı ölçülebilir sonuçlara ulaşılamadığı için dikkate alınmamıştır.

Proje değerlendirmesinde bu günkü değer analizlerinde enflasyon bazlı iskonto oranları döviz cinsinden değer değişimleri ile ölçülerek esas alınan ülkelerin enflasyon ortalamaları maliyet artırım faktörü olarak dikkate alınmamıştır.

Yukarıdaki kısıtlar çerçevesinde ekipmanların üretim miktarları m^3 hava, elden çıkarma maliyeti gözetilerek toplam maliyet hesaplanmış harcanan enerji esas alınarak Özgül tüketim kWh/m^3 olarak hesaplanmıştır. Seçim kriteri olarak tüm harcamaların m^3 başına maliyeti sahip olma maliyeti olarak esas alınmıştır. Detaylı çalışma Tablo 6'da verilmiştir.

Yüksek kapasiteli ürün öneren firmaların sahip olma maliyetleri yüksek çıkmıştır. Stratejik olarak 10 yıllık büyüme projeksiyonuna uygun projelerin daha akılcı çözüm olduğu değerlendirilmiştir.

Tablodan birim üretim başına maliyetinin, çoğunluğu enerji maliyeti olan işletme maliyeti ile doğrusal bir ilişki içindedir. En düşük birim maliyet aynı zamanda en yüksek enerji verimliliğinin olduğu ekipmanları işaret etmektedir. Çalışmada tablodaki alternatif-2 kompresör ve 2a'da kurutucuların bedeli tanımlanan alternatif-2 ekipmanları seçilmiştir.

4. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ ve TARTIŞMA

Enerji tasarrufunda iki temel unsur ön plana çıkmaktadır. İlki tesisat yapısı ve bu yapının şekillendirilme stratejisi, ikincisi ise; teknolojik yenilikler tesisat yapısı ve bu yapının şekillendirilme stratejisidir.

Şekil 12'de öngörülen tesisat şeması verilmektedir. Birinci yaklaşım; Bu şemada A kesim noktası olmadan tüm donanım basınçlı hava tesis odasında yerleştirilip tüm işletmede 3 ayrı boru tesisatı ile Sınıf 7,4,2 kalite hava tüketim yerlerine ulaştırılabilirdi. İkinci yaklaşımda; 2 ayrı tesisat ile sınıf 7 ve 4 kalite hava tüketim yerlerine gönderilebilir, Sınıf 2 kalite hava ihtiyacı olan makineler bir bölgede toplanır sınıf 4 ana boru tesisatından alınan hava A kesinti noktasından itibaren tüketim bölgesinde tesis edilerek tüketim yerlerine hava ulaştırılabilir.

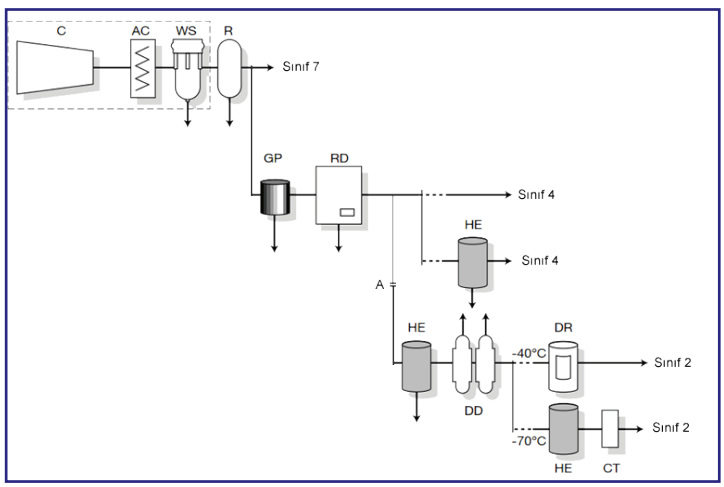
4.1. Tesisat Yapısı

Basınçlı tesisatın ısıl izolasyonu yoktur. Tesisat işletme büyüklüğüne göre dış ortamdan da kısa uzunlukta da olsa geçmekte kışın soğuk yazın sıcak ortamdan etkilenebilmektedir. Bu durum ve sonrasında atölyelerdeki yüksek konumlardan geçen tesisat borularında yoğuşma sürmektedir. Sınıf 2 kalite tesisat yalıtılmış ve özel olmalıdır. Bu durum ilk yatırım maliyetini arttırmakta ve işletme bakım masrafları yaratmaktadır. Bu durumdan sakınmak için Sınıf 2 tesisatı tüketim yerine konuşlandırılmıştır. Sınıf 2 kalite havanın içindeki eser miktar hava (Bakınız Tablo 1 - Pneurop 6611 / -20°C = 0,88 g/m^3 [2]) yoğuşmadan tüketilmektedir. Bu durum verimsiz kurutma sebebiyle ek donanım kullanılmasını ve ekstra enerji tüketimini önlemiştir. Uygulamamızda ikinci yaklaşım tercih edilmiştir.

4.2. Teknolojik Yenilikler

Hem soğutma sisteminde hem de kompresörde invertörlü enerji tüketim kontrolü olması teknolojik yenilikti. Alınan tekliflerde üreticilerin çoğu sadece kompresörlerinde invertör teknolojisini kullanmakta soğutma sistemlerinde ise kullanmayı gerek görmemişlerdir.

İnvertörsüz makinelerde;Boşta çalışma sonrası yumuşak kalkış evresindeki enerji tüketiminin (kompresördeki 32 kW, kurutuculardaki takribi 1,5 kW gücündeki motorların) enerji tüketimlerini arttırmaktadır.



C	Kompresör
AC	Basınçlı hava kurutucusu
WS	Su ayırıcı
R	Depolama tankı
GP	Genel amaçlı filtre
RD	Soğutuculu kurutucu
HE	Yüksek verimli filtre
DD	Absorber / Adsorber kurutucu
DR	Toz alıcı filtre
CT	Karbon kule
LB	Yağlayıcı
BA	Soluma hava cihazları

Şekil 11. Bileşik tesisat ihtiyaç sınıflarına göre modelleme (Sınıf 7, 4, 2) [4]

Kompresörün devreye girip çıkma miktarına göre kurutucunun durumu bazı şartlarda sürekli daha sık devreye girip çıkmayı gerektirdiği için kompresörün tüketimi enerji analizörlerinden yapılan tespitlere göre 3 katına kadar artabilmektedir. Bu şartlarda kurutucularda tüketilen enerji toplam tüketilen enerjinin %15'ine yaklaşabilmektedir.

Diğer bir enerji tasarrufu fırsatı da boşta çalışma sırasında elde edilmektedir. Boşta çalışan makine tesis gücünde çalıştığında yüksüz de olsa hatırı sayılır bir enerji tüketmektedir. Oysa boşta gerekli enerji 3 kW olabilmekte 32 kW gücün boşta çektiği akım 3 kW güçte 10 kat daha azaltılabilmektedir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Aynı ölçekte değerlendirmek için eldeki ürünlerin tüketimlerini de aynı kıstaslara getirdiğimiz Tablo 6'da C kolonda eldeki başlıklı model kolonlarında gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Eski teknoloji ve tesisat yapısında 0,293 kWh/m^3 toplam birim tüketim ve 3,17 Avro/m^3 birim hacim maliyeti bulunmuştur. Bu değerler yeni teknoloji ve tesisat düzenlemeleri ile 0.033 kWh/m^3 özgül tüketime ve birim maliyette de 0,30 Avro/m^3 birim hacim maliyeti bulunmuştur.

Özgül tüketimde [kWh/m^3] 0,293/0,033 =8,9 kat iyileşme..

Birim hacim maliyetinde [Avro/m^3] 3,17/0,3 =10,6 kat iyileşme.. gözlenmektedir.

Hava tüketim hızı dikkate alındığında 10 yıllık yatırım maliyetinin yaklaşık 1 yıl içinde karşılandığı anlaşılmaktadır.

Enerji tasarrufuna katkı sağlayan ve geri dönüş süresi makul yatırımlar tercih edilmelidir. Teknoloji yatırımı tek başına yeterli değildir. İşletmeyi ve prosesleri bina mimarisini iyi değerlendirip en uygun tesisat yapılandırmasını tesis etmek gereklidir. Doğru kapasitede, işletme şartlarını izleyip kontrol altında tutarak performans odaklı bakımlarla enerji verimliliği sağlanır. KİB (Kapasite, İşletme, Bakım) enerji verimliliğinin anahtarıdır.

KAYNAKÇA

[1] ISO 8573, Compressed Air — Part 1: Contaminants and Purity Classes, 3 dü., cilt 1, Geneva: ISO Press, 2010, p. 4.

[2] Georg Fisher Piping Systems, Technisches Hanbuch für Druckluftnetze, Albershausen: Georg Fisher GmbH, 2011.

[3] S. Hesse, Compressed Airas an Energy Carrier Preparation and Distribution, Esslingen: Festo AG & Co., 2002.

[4] Energy Efficiency Enquiries Bureau UK, Energy Saving In The Filtration And Drying Of Compressed Air Good Practice Guide 216, Oxfordshire: ETSU & Air Technology Ltd, 1998.

[5] Dalgakıran Makine San. ve Tic. A.Ş., Basınçlı Hava Tekniği, İstanbul: Dalgakıran, 2017.

[6] Tercih Isı, "Tercih Isı Makinaları İmalat ve San. Tic. Ltd. Şti." 2017, [Çevrimiçi], Available: http://www.tercihisi.com/, [%1 tarihinde erişilmiştir. 11 11 2018].

[7] Hertz Kompressoren GmbH, Compressed Air Dryers Performances At Real Flow, Ahlen: Hertz Kompressoren GmbH.

[8] Compressed Air & Gas Institute (CAGI), "Compressed Air Treatment (Dryers and Filters)" %1 içinde Compressed Air Challenge Training Fundementals of Compressed Air systems, Richmond, VA, Laurel and Associates Ltd., 1999, p. 181.

[9] Britsih Compressed Air Society, Basınçlı Hava Servislerinin seçim ve Tesis Etme (Kurma) Kılavuzu, T. T. H. S. V. T. A.S., Dü., İstanbul, 1998.

[10] Sustainability Victoria & Champion Compressors Pty Ltd & CompAir Ltd, Energy Efficiency Best Practice Guide Compressed Air Systems, Melbourne: Sustainability Victoria, 2009.

[11] U.S. Department of Energy, Compressed Air Best Proctices Tools, Washington DC: U.S. Department of Energy Industrial Technologies Program, 2007.

[12] ISO 7183, Compressed-Air Dryers - Sprecifications and Testing, Geneva: ISO Press, 2007, p. 5.

[13] Meteoblue Weather - Close To You, "Meteorolojik Arşiv İstanbul", 2006-2018. [Çevrimiçi]. Available: https://www.meteoblue.com/tr/hava/tahmin/archive/%C4%B0stanbul_t%C3%BCrkiye_745044?fcstlength=1y&year=2017&month=9. [%1 tarihinde erişilmiştir. 27 09 2018].

[14] Sanayide Enerji Verimliliği Arttırma Projesi, Endüstriyel Sistemlerde Optimizasyon Basınçlı Hava Sistemleri, Ankara: Birleşmiş Milletler Kalkınma Planı (UNDP), 2016.