

BASINÇLI HAVA KALİTESİ VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ**Arda ZAİM**

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 26480 Eskişehir

Fikret Kemal AKYÜZ

Festo Sanayi ve Ticaret A.Ş. Teknoloji Yönetimi Müdürlüğü, 34953 İstanbul

ÖZET

Basınçlı hava dış ortamdan alınan atmosfer havasının bir kompresör kullanılarak sıkıştırılması ile elde edilmektedir. Elektrik enerjisinin olduğu her yerde elde edilebilen ve depolanabilir olması nedeniyle endüstride en çok tercih edilen enerji kaynaklarından birisidir. Basınçlı hava sistemlerinde atmosferden alınan hava kompresör tarafından basınçlandırılmakta, tankta depo edilmekte, kurutucu tarafından neminden arındırılmakta ve filtrelenerek kullanım noktalarına servis edilmektedir. Basınçlı hava içerisinde farklı nedenlerden ötürü çeşitli kirleticiler bulunmaktadır. Basınçlı havanın kalitesi proses güvenilirliği ve pnömatik ekipmanların çalışma ömürleri üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Bu çalışmada, basınçlı hava kalitesi ile ilgili araştırmalar farklı deneysel yöntemlerle sunulmuştur. Çalışma kapsamında, basınçlı hava içerisinde bulunan partikül, nem ve yağ miktarları tespit edilmiş, ISO8573-1:2010 standardı uyarınca sınıflandırılmıştır. Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar literatür ile karşılaştırılarak irdelenmiştir.

254

Anahtar kelimeler: Basınçlı Hava, Basınçlı Hava Kalitesi, ISO-8573, Pnömatik**COMPRESSED AIR QUALITY AND MEASUREMENT METHODS****ABSTRACT**

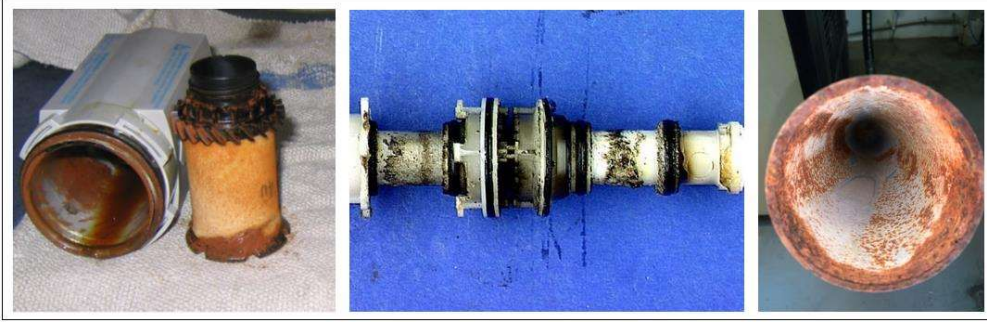
Compressed air is obtained by compressing the atmospheric air taken from the outside environment using a compressor. It is one of the most preferred energy sources in the industry because it can be obtained and stored wherever there is electrical energy. In compressed air systems, the air taken from the atmosphere is pressurized by the compressor, stored in the tank, dehumidified by the dryer and filtered and served to the points of use. Compressed air contains various pollutants for different reasons. The quality of compressed air has a major impact on process reliability and the working life of pneumatic equipment. In this study, researches on compressed air quality are presented with different experimental methods. Within the scope of the study, the amount of particles, moisture and oil in the compressed air were determined and classified in accordance with the ISO8573-1:2010 standard. The results obtained in experimental studies have been compared with the literature.

Keywords: Compressed Air, Compressed Air Quality, ISO-8573, Pneumatic

1. GİRİŞ

Elektrik enerjisinin olduğu her noktada üretilen ve depolanabilir olması sebebiyle endüstriyel tesislerde yaygın olarak kullanılan enerji kaynaklarından birisi de basınçlı havadır. Basınçlı hava dış ortamdaki atmosferik havanın kompresör yardımıyla belirli bir oranda sıkıştırılarak basınçlandırılmasıyla elde edilmektedir. Basınçlı hava endüstriyel tesislerde pnömatik iş elemanları, aktüatörler, hammadde iletimi ve bir çok proseste kendine kullanım alanı bulmuştur (Radgen ve Blaustein, 2001). Örnek bir basınçlı hava sisteminde çalışma düzeni şu şekildedir; kompresör tarafından dış ortamdan çekilen atmosferik hava sıkıştırılarak basınçlandırılmakta, tankta depo edilmekte, kurutucu tarafından neminden arındırılmakta ve filtrelenerek kullanım noktalarına iletilmektedir. Basınçlı hava kolay elde edilip, yaygın bir kullanıma sahip olmasına karşın elektrikten yaklaşık 2.5 kat daha maliyetli bir enerji türüdür. Enerjinin verimli kullanımının yanında basınçlı hava kalitesi de oldukça önemli bir parametredir (Saidur, Rahim ve Hasanuzzaman, 2010; Lund ve Salgi, 2009; Cai ve Kawashima, 2006). Basınçlı hava içerisinde pnömatik ekipmanların ömrüne ve proses güvenilirliğine direkt etki eden farklı nedenlerden ötürü havaya karışan çeşitli kirleticiler bulunmaktadır. Basınçlı hava içerisindeki kirleticiler partikül, nem ve yağ olmak üzere üç ana başlıkta sınıflandırılmaktadır (Saragosi, Saragosi ve Smychok, 2018). Partikül muhteviyatının oluşması iki şekilde meydana gelebilmektedir. Birincisi dış ortamdan çekilen atmosferik havanın, kompresör içerisinde filtrelenmeden sıkıştırılması sebebiyledir. İkincisi ise korozyona dayanıklı olmayan mekanik tesisat bileşenleridir. Zamanla akış sürtünmesi, sıcaklık değişimi ve nemin etkisiyle bu ekipmanlarda akış yüzeyinde korozyon gözlenmekte, korozyon nedeniyle ana malzemedan kopan küçük parçacıklar basınçlı hava içerisine karışarak partikül muhteviyatı oluşturmaktadır (Nehler, 2018). 1013 mbar basınç ve 20 °C sıcaklıktaki 1 m³ hava hacmi doymuş durumda yaklaşık 17 gr su buharı taşıyabilmektedir. Doymuş havanın sıkıştırılmasıyla hacmi küçülmekte bu nedenle taşıyabileceği su buharı miktarı da orantılı olarak azalmaktadır. Hava içerisinde bulunan su buharı yoğunlaşarak su haline dönüşmektedir. Kompresör çıkışında şartlandırılmamış hava bu sebepten ötürü ıslak hava olarak adlandırılmaktadır. Sistemdeki suyun ve su buharının ayrıştırılması için kurutucular görev yapmaktadır. Kurutucular istenilen hava kalitesine göre soğutarak kurutma, fiziksel ve kimyasal kurutma gibi farklı şekilde çalışma prensiplerine sahiptir. Soğutarak kurutmada, basınçlı hava soğuk bir ortamdan geçirilerek bünyesindeki su buharınıyoğuşması sağlanır. Yoğuşan su uygun tahliye mekanizmalarıyla basınçlı havadan uzaklaştırılmış olmuştur. Fiziksel kurutucularda basınçlı hava, SiO₂ bileşiğinden imal edilmiş tanecikli bir yapıdan geçirilir. Nem, bileşik tarafından emilerek kurutma sağlanır. Kimyasal kurutucularda basınçlı hava silikajel da Al₂O₃ gibi nem tutucu bileşiklerden geçirilerek kurutma işlemi

sağlanmış olur. Rejenerasyon olarak tanımlanan kimyasal bileşiklerin nemden ayrışma işleminin gerçekleşmesi için yine basınçlı hava kullanılmaktadır. 3 °Ctd basınç altında çığlenme noktası sıcaklığına erişebilmek için soğutarak kurutma yapan kurutucular yeterli olmaktadır. -40 °Ctd veya -70 °Ctd gibi daha düşük değerler için de fiziksel veya kimyasal kurutma yapan kurutucular tercih edilmelidir (Mingzhu, Zhili, Hongtao ve Yongbo, 2009; Carter ve Wyszynski, 1983). Yağ ise basınçlı hava içerisine kompresör kaynaklı olarak karışmaktadır. Teknolojisi gereği yağlı tip vidalı ya da pistonlu kompresörler sıkıştırma işlemini gerçekleştirirken mekanizmaların ısınmasını ve aşınması önlemek amacıyla sıkıştırılan hava içerisine bir miktar yağ püskürtmektedir. Sıkıştırma işlemi sonrasında bir seperatör yardımıyla havaya karışan yağ ayrıştırmaya çalışılmaktadır. Seperatörtam anlamıyla ayrıştırma gerçekleştiremediğinden hatta bir miktar yağ karışmaktadır. Şekil 1.1.'de aşırı derecede partikül, nem ve yağa maruz kalmış pnömatik ekipmanlar gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Aşırı partikül, nem ve yağa maruz kalan pnömatik ekipmanlar

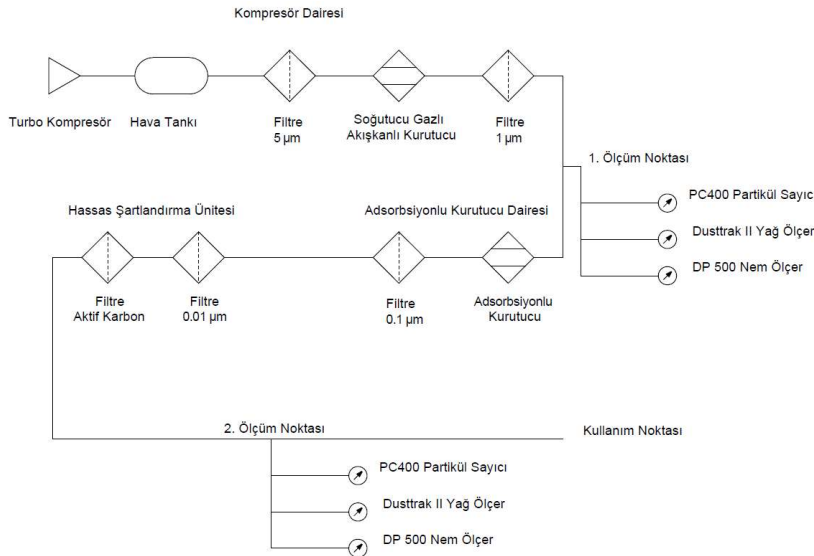
Basınçlı hava kalitesi, içeriğinde bulunan partikül, nem ve yağ gibi kirleticilerin muhteviyatına göre sınıflandırılmakta; makine kullanılabilirliği, proses güvenilirliği ve ekipman kullanım ömrü açısından büyük önem arz etmektedir. Literatürde basınçlı hava kalitesi, ISO8573-1:2010 basınçlı hava kalite standardı dikkate alınarak tanımlanmaktadır. Bu standart ölçüm yapılan konumdan bağımsız olarak basınçlı havayı içeriğinde bulunan partikül, nem ve yağ gibi kirleticilerin miktarlarına göre sınıflandırmaktadır. Tablo 1.1.'de ISO 8573-1:2010 basınçlı hava kalite standardı gösterilmektedir (ISO 8573-1, 2010).

Tablo 1.1. ISO 8573-1:2010 Basınçlı hava kalite standardı

ISO 8573-1:2010	Maksimum Partikül Sayısı (m ³)			Basınç Altında Çiğlenme Noktası Sıcaklığı	Nem	Toplam Yağ İçeriği
	Sınıf	0.1-0.5 µm	0.5-1.0 µm			
1	≤ 20000	≤ 400	≤ 10	≤ -70	-	≤ 0.01
2	≤ 400000	≤ 6000	≤ 100	≤ -40	-	≤ 0.1
3	-	≤ 90000	≤ 1000	≤ -20	-	≤ 1
4	-	-	≤ 10000	≤ 3	-	≤ 5
5	-	-	≤ 100000	≤ 7	-	-
6	≤ 5 (mg/m ³)			≤ 10	-	-
7	5-10 (mg/m ³)			-	≤ 0,5	-
X	>10 (mg/m ³)			-	-	> 5

2. MATERYAL VE METOT

ISO8573-1:2010 Basınçlı Havada Kalite Standardı uyarınca, Şekil 2.1.'de pnömatrik devre şeması gösterilen hatta basınçlı hava içerisinde bulunan partikül, nem ve yağ kirleticilerinin ölçümlerini gerçekleştirebilmek amacıyla ölçüm düzeneği oluşturulmuştur.



Şekil 2.1. Ölçüm noktası pnömatrik devre şeması

Şekil 2.1.'de görüldüğü üzere basınçlı hava kaynağı olarak 261 kW gücünde elektrik motoruyla tahriklendirilen yaklaşık hava üretim debisi 45 m³/dk olan TA2000 model turbo kompresör kullanılmaktadır. Üretilen basınçlı hava 128 m³/dk debi geçirgenliğine sahip SG0768 model 5 µm'lik

filtreden geçirilmektedir. Sonrasında 116 m³/dk kapasiteye sahip DV7000 model R407C soğutucu gazlı akışkanlı kurutucuda kurutulmaktadır. 5000 lt hacmindeki hava tankında depolanarak, kollektörden kullanım noktalarına servis edilmektedir. Kompresör dairesinden gelen basınçlı hava 32,5 m³/dk kapasiteye sahip HRS 1950 model adsorpsiyonlu kurutucudan ve 1 µm'lik filtreden geçirilerek hassas şartlandırma ünitesine iletilmektedir. Hassas şartlandırma ünitesinde sırasıyla 0.01 µm ve aktif karbon filtreleri bulunmaktadır. Ölçüm noktalarında partikül miktarını belirlemek için PC400 model partikül sayıcı, yağ buharı ölçümü için Dusttrak II model yağ ölçer ve çığlenme noktası sıcaklığı ölçümü için DP500 model nem sensörü kullanılmıştır. Cihazlardan alınan veriler DS500 model ekranlı veri kaydedicide kayıt altına alınmıştır. Kompresör dairesinde üretilen basınçlı hava adsorpsiyonlu kurutucu dairesine gelmeden işletme içinde farklı kullanım noktalarında da servis edilmektedir. Tesisatta bulunan hassas filtre ve adsorpsiyonlu kurutucunun etkilerini gözlemek amacıyla 2 ölçüm noktası oluşturulmuştur.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

1.ölçüm soğutucu gazlı akışkanlı kurutucu ve 1 µm geçirgenliğindeki filtreden sonra gerçekleştirilmiştir. 2.ölçüm ise sırasıyla 0.1 µm, 0.01 µm ve aktif karbon filtresinden sonra Tablo 3.1.'de partikül ölçümü sonuçları gösterilmektedir. 1.ölçüm noktasındaki partikül muhteviyatı ilgili standart uyarınca Sınıf 6 ve 2.ölçüm noktasında partikül muhteviyatı Sınıf 1 olarak belirlenmiştir. Ölçüm görseli Şekil 3.1.'de gösterilmektedir.

Tablo 3.1. Partikül ölçümü sonuçları

Partikül Muhteviyatı (adet / m ³)	0,1-0,5 µm	0,5-1,0 µm	1,0-5,0 µm
1.Ölçüm Noktası	8828040	1849925	483882
2.Ölçüm Noktası	1130	282	0

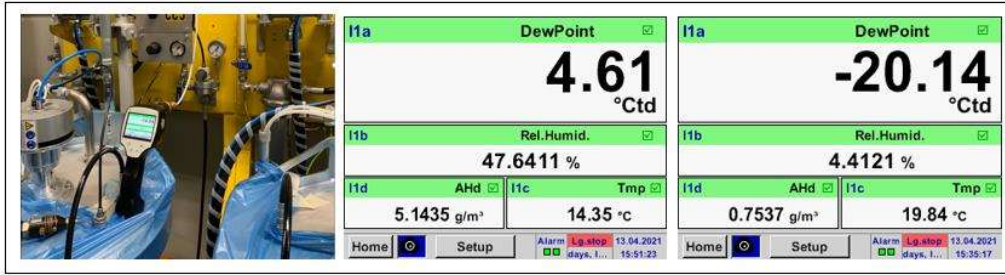


Şekil 3.1. Partikül ölçümü

Soğutucu gazlı akışkanlı sonrasında gerçekleştirilen nem ölçümünde basınç altında çiglenme noktası sıcaklığı 4.38 °Ctd ölçülmüş ve ilgili standart uyarınca Sınıf 5 olarak belirlenmiştir. Adsorbsiyonlu kurutucudan sonra ise basınç altında çiglenme noktası sıcaklığı -20.14 °Ctd'ye gerileyerek Sınıf 3'e ulaşmıştır. Nem ölçümü sonuçları Tablo 3.2.'de gösterilmektedir. Ölçüm görselleri ise Şekil 3.2.'de gösterilmektedir.

Nem Ölçümü	Basınç Altında Çiglenme Noktası Sıcaklığı (°Ctd)	Bağıl Nem (%)	Su Buharı (mg/m ³)	Sıcaklık (°C)
1.Ölçüm Noktası	4.61	47.64	5.14	14.35
2.Ölçüm Noktası	-20.14	4.41	0.75	19.84

Tablo 3.2. Nem ölçümü sonuçları



Şekil 3.2. Nem ölçümü

1.ölçüm noktasında ölçülen yağ buharı miktarı 0.15 mg/m³'dür. Bu noktadaki hava kalitesi Sınıf 3 olarak belirlenmiştir. 2.ölçüm noktasında ölçülen yağ buharı muhteviyatının 0.009 mg/m³'e düşmesiyle birlikte hava kalitesi Sınıf 1 olarak sınıflandırılmaktadır. Yağ ölçüm sonuçları Tablo 3.3.'de gösterilmektedir. Şekil 3.3.'de ise ölçüme ait görsellere yer verilmiştir.

Tablo 3.3. Yağ ölçümü sonuçları

Yağ Ölçümü	Yağ Buharı Muhteviyatı (mg/m ³)
1.Ölçüm Noktası	0.15
2.Ölçüm Noktası	0.009

Kompresör dairesi çıkışında hava basıncı 6.5 bardır. Akış sürtünmesi ve mekanik tesisat kaynaklı kayıplarla 2.ölçüm noktasında hava basıncı 6.0 bara düşmektedir. Basınç düşüşünün partikül ve

yağmuhteviyatında herhangi bir etkisi yoktur. Ancak azalan basınçla birlikte çiğlenme noktası sıcaklığının kurutma yönteminden bağımsız olarak iyileştiği gözlenmiştir.



Şekil 3.3. Yağ ölçümü

4. SONUÇLAR

Turbo kompresör, tank, 5 µm filtre ve soğutucu gazlı akışkanlı kurutucu kombinasyonu sonrasında 1.ölçüm noktasında tespit edilen basınçlı hava kalitesi ISO8573-1:2010 uyarınca [6:5:3]'dür. 2.ölçüm noktasında sırasıyla adsorbsiyonlu kurutucu, 1 µm filtre, 0.1 µm filtre, 0.01 µm filtre ve aktif karbon filtresinden sonra tespit edilen basınçlı hava kalitesi [1:3:1]'dir. Basınçlı hava kalitesi ekipman ömrü ve proses güvenilirliği açısından büyük önem arz etmektedir. Basınçlı hava kalite standardı göz önünde bulundurularak işletmede kullanılması gereken hava kalitesi sınıfı tespit edilmeli, gerektiği kadar şartlandırma yapılmalıdır. Gereğinden fazla yapılan şartlandırma prosesinde basınç ve debi kayıpları meydana gelecek, bu durum verimsiz kullanıma örnek teşkil edecektir. Kurutucu seçimi yapılırken kompresörün sahip olduğu üretim kapasitesi dikkate alınmalı, seçilecek hava kalitesi sınıfına göre uygun tipte kurutucu seçilmelidir. Filtreleme işleminin düşük hassasiyetten yüksek hassasiyete doğru olması gerektiği unutulmamalıdır. Filtre kartuşları fark basıncı metodu benimsenerek periyodik olarak değiştirilmelidir. Partikül muhteviyatından korunabilmek için korozyona dayanıklı mekanik tesisat elemanları tercih edilmelidir.

KAYNAKÇA

Cai M., Kawashima K. (2006). Power assessment of flowing compressed air. Journal of Fluid Engineering. Vol.128(2), pp.402-405.

Carter C.J.W., Wyszynski L. (1983). The pressure swing adsorption drying of compressed air. Chemical Engineering Science. Vol.38(7), pp.1093-1099.

Lund H., Salgi G. (2009). The role of compressed air energy storage (CAES) in future sustainable energy systems. Energy Conversion and Management. Vol.50(5), pp.1173-1179.

ISO 8573-1:2010 Compressed air — Part 1: Contaminants and purity classes www.iso.org

Mingzhu Z., Zhili Z., Hongtao L., Yongbo Z. (2009). Energy saving technology of thermal regenerative compressed air dryer by regenerates adsorbent with residual heat. 2nd International Conference on Intelligent Computation Technology And Automation, pp.587-590.

Nehler T. (2018). Linking energy efficiency measures in industrial compressed air systems with nin energy benefits. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol.89, pp.72-87.

Radgen P., Blaustein E. (2001). Compressed air system in the European Union. Energy, emissions, savings potential and policy actions. Germany: N. P.

Saidur R., Rahim N.A., Hasanuzzaman M. (2010). A review on compressed-air energy use and energy savings. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol.14 (4), pp.1135-1153.

Saragosi T., Saragosi L., Smychok L. (2018). Compressed air quality increase for rolling stock pneumatic systems based on energy efficiency. Transport problems. Vol.13(4), pp.13-21.