



Hasan Acül
Makina Mühendisi
FRİTERM A.Ş. AR-GE Şefi

Kanatlı Borulu Tip Hava Soğutmalı Kondenserler ve Sistem Enerji Verimliliğine Etkileri *

GİRİŞ

Enerji verimliliğinin iklimlendirme, endüstriyel soğutma, süper market, ticari soğutma, şoklama, proses soğutma vb. uygulamalarda giderek ön plana çıkması tesislerde enerji tüketiminin önemli bir bölümünü yaratan geleneksel soğutma gruplarının sistem elemanlarının dizaynlarını da etkilemektedir. Küresel ısınma potansiyeli yüksek ve ozon tabakasına negatif etkisi olan akışkanların soğutma sistemlerinde kullanımını kısa vadede kısıtlayan, uzun vadede yasaklayan yasal düzenlemeler de tasarımlar üzerinde etkilidir. Hava soğutmalı kondenserler soğutma gruplarının temel bileşenlerinden olmaları nedeni ile enerji verimliliklerini arttırmaya yönelik geliştirme faaliyetleri sürekli olarak devam etmekte, ilgili ulusal ve uluslararası standartlar yükseltilmekte ve enerji tüketimlerine yönelik kısıtlamalar artmaktadır. Yazımızda hava soğutmalı kondenserlerde enerji verimliliğini artırıcı uygulamalar hakkında bilgi aktarılacaktır.

1. KONDENSERLERİN TASARIM VERİLERİ VE PERFORMANSLARINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Hava soğutmalı kondenserlerin tasarım ve seçimi için gerekli veriler aşağıda belirtilmiştir [1].

- Sistem için gerekli Kondenser Kapasitesi
- Kullanılacak Soğutucu Akışkan Cinsi
- Ortam Giriş Havası Kuru Termometre Sıcaklığı
- Tasarım Kondenzasyon ve Evaporasyon Sıcaklıkları
- İzin verilen Akışkan Tarafı Basınç Kaybı Değerleri
- Ünite Boyutları Limitleri
- İzin verilen Max. Ses Seviyesi (Son dönemde daha da ön plana çıkmaktadır)
- İstenen Enerji Verimliliği Sınıfı (Son dönemde daha da ön plana çıkmaktadır)
- Fanların izolasyon, sıcaklık dayanım ve koruma sınıfı özellikleri (Son dönemde daha da ön plana çıkmaktadır)

Bir kondenserin ihtiyaç duyulan performansı verimli bir biçimde uzun vadeli gösterebilmesi için dikkat edilmesi gereken temel tasarım veri ve kriterleri vardır. Takip eden kısımda kondenserlerin enerji verimliliğine etki eden veri ve kriterler açıklanmıştır.

1.1 Yoğuşma (Kondenzasyon) sıcaklığının kapasiteye etkisi

Soğutucu akışkan yoğuşma (kondenzasyon) sıcaklığı genel uygulamalarda hava giriş sıcaklığının 6 oC–20 oC üzerinde olacak şekilde düşünülmektedir. Kondenzasyon sıcaklığı seçimi sistemin çalışacağı ortam sıcaklığına bağlı olarak değişir. Bu durumda uygulamalarda yaygın olarak yoğuşma sıcaklığı 30-60 °C arasında kabul edilmektedir. Yoğuşma sıcaklığı belirlenmesinde göz önüne alınan faktörler:

- Ortam sıcaklığı,
- Soğutucu akışkanın termo fiziksel özellikleri
- Seçilmiş olan kompresörün özellikleri
- Kondenser boyutlarıdır.

Kondenserlerde Eurovent Standardına göre nominal kondenser kapasitesi verilirken, 25°C hava giriş sıcaklığı ve 40°C kondenzasyon sıcaklığı baz alınmaktadır. Diğer bir deyişle $\Delta T = 15$ °C'dir. ΔT sıcaklık farkı ortam sıcaklığı yüksek olan yerlerde düşük seçilmelidir. Örneğin Antalya şartlarında bir dizayn yapılıyorsa ΔT değeri 7°-10°C aralığında tercih edilmelidir. Türkiye şartlarında dış mahalde çalışacak sistemler için kuzeyden güneye indikçe sıcaklık farkı düşürülmeli ve seçimler bu duruma göre yapılmalıdır. Yüksek Kondenzasyon sıcaklığının kompresörün üzerinde verimlilik düşürücü ve çalışma ömrünü kısaltıcı yük oluşturduğu unutulmamalıdır. Tasarımda kondenzasyon sıcaklığının olabildiğince düşük tespit edilmesi oldukça

Kondenzasyon Sıcaklığı (C)	Soğutma Kapasitesi (W)	Kompresörün Çektiği Güç (kW)	COP ETKENLİK (C.O.P)	160 kwye karşılık çekilen Güç (kW)	Nominal Kondenzasyon(40C) ile arasındaki Fark	Tüketim Bedeli (\$/kw)	Ünite Çalışma Süresi (saat/yıl)	Kompresör Yıllık Fark (\$/yıl)	Fan gücü farkı(\$/yıl)	Ünite Toplam fark(\$/yıl)	Ünite Toplam fark(EURO/yıl)	50 C -35 C kondenzasyon Farkı (EURO/yıl)
30	186.202	45,47	4,10	39,05	-13,47	\$0,13	6000	\$10.232	-	-	-	13.504 €
35	173.053	49,00	3,53	45,27	-7,25	\$0,13	6000	-\$5.505	\$607,63	-\$4.897	-3.588,05 €	
40	159.904	52,52	3,04	52,52	-	-	-	-	-	-	-	
45	146.388	55,65	2,63	60,79	8,27	\$0,13	6000	\$6.280	\$303,82	\$5.976	4.378,48 €	
50	132.872	58,78	2,26	70,74	18,22	\$0,13	6000	\$13.838	\$303,82	\$13.534	9.915,61 €	

Tablo 1. 50 °C ve 35 °C yoğuşma sıcaklıkları için yıllık harcama farkı (EURO/yıl)



yararlıdır. Ancak, bazı şartlarda kondenzasyon sıcaklığının düşük alınması mümkün değildir. Örneğin, dış ortamın 50° – 55°C derece olduğu Arap ülkelerinde kondenzasyon sıcaklığının yüksek olması kaçınılmazdır.

Tablo 1’de 50 °C ve 35 °C yoğuşma sıcaklıkları için yıllık harcama farkı (EURO/yıl) olarak örnek karşılaştırma verilmiştir. (Seçilen Kondenser: A sınıfı kondenser [1] – 160 Kw soğutma yükü için; Seçilen Kompresör: Yarı hermetik (BOCK HGX7/2110-4 S) [2]; Evaporasyon Sıcaklığı: 5 °C.) 40 °C yoğuşma sıcaklığı temel nokta kabul edilirse, 50 °C ve 35 °C yoğuşma sıcaklıkları için karşılaştırmada yıllık harcama Farkı 13.500 EURO/yıl’dır.

Hava soğutmalı kondenserlerin enerji verimliliğini arttırmak için uygulanan sistemlerden bir tanesi ağ üzeri su spreyleme sistemidir. Ağ üzeri su spreyleme sistemi, hava soğutmalı kondenserin ön kısmına yerleştirilmiş geniş sık gözlü ağ yapılı malzemenin üzerine belirli mesafelerde bulunan nozullardan aralıklı olarak sistemin ihtiyacı kadar su spreyleme ve spreylene suyun adyabatik olarak buharlaşması sonucu ısı değiştirgeci yüzeyine temas eden giriş havası sıcaklığının düşürülerek, soğutmada verimin artırılmasını sağlama mantığı ile çalışan sistemdir [3].

1.2 Lamel Geometrisinin kapasiteye etkisi

Hava soğutmalı kondenserlerin tasarımında boru çapı ve borular arasındaki mesafeleri tanımlayan lamel geometrisi, kapasite ve basınç kayıpları üzerinde etkilidir. Lamel geometrisi, tasarım şartlarında ihtiyaç duyulan soğutma kapasitesinin uygun basınç kayıpları dahilinde sağlanacağı şekilde üretici tarafından kendi standartları arasından seçilir. Yoğun borulu geometrilerin daha avantajlı kapasite/fiyat değeri verdikleri söylenebilir; fakat bu durumda basınç kayıpları da artacağı için optimizasyona gidilmesi gerekmektedir.

1.3 Hava Hızının kapasiteye etkisi

Hava hızı, hava tarafındaki kısmi ısı transfer katsayısını etkilediği için önemli bir kriterdir. Hava hızı arttıkça ısı transferi arttığı için daha küçük bir ısı değiştiricisi yeterli olacaktır; bununla birlikte hava tarafı basınç kaybının art-

ması nedeniyle yüksek hızlarda fan performansı düşer. Bu nedenle hava hızının optimum değerlerde seçilmesi gereklidir. Hava soğutmalı kondenser tasarımında, standart ses seviyelerinde, tavsiye edilen hava hızı 3,0 – 4,0 m/s civarındadır. Daha düşük ses seviyesi arandığı ortamlarda hava hızının seviyesi de düşecektir. Belirtilen hız değerlerinin altında hava hızları ısı değiştirgecinin büyük seçilmesini gerektirir. Yüksek hava hızları ise daha güçlü ve pahalı fanlar gerektirir.

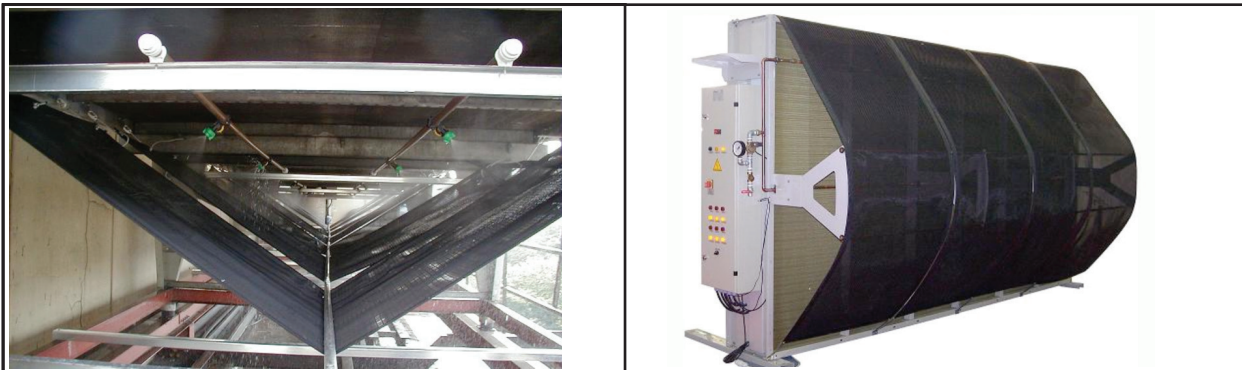
1.4 Yivli Boru kullanımının kapasiteye etkisi

Hava soğutmalı kondenserlerde kullanılan boruların iç yüzeyi tasarıma ve maliyet optimizasyonuna göre farklılık gösterebilmektedir. Düz-Yivsiz (smooth) borular ve yivli (grooved) borular kondenser bataryalarında kullanılabilir. Yivli boru yada düz boru kullanımı için kullanılacak akışkan ve uygulama özellikleri irdelenmelidir. Bakır boru üreticisi uluslar arası bir firma tarafından, hava soğutmalı kondenserlerde yivli boru kullanımı ile kapasitenin batarya alın yüzeyi hava hızına bağlı değişimine yönelik deneysel bir çalışma yapılmıştır. 40°C kondenzasyon, 25 °C hava giriş sıcaklığı ve R404A gazı kullanımı şartlarında Düz-Yivsiz (smooth) borular ve yivli (grooved) borular arasında yapılan karşılaştırmada, yivli (grooved) boru kullanımı ile 1,5 m/sn yüzey hava hızında %11,70 yüksek kapasite elde edildiği gözlemlenmiştir [4].

1.5 Fan seçiminin kapasiteye ve Ses seviyesine etkisi & Kontrol Seçenekleri

Soğutma grupları yerleşim merkezlerinin içerisindeki süper marketlerde, soğuk depolarda, klimalarda, proses soğutma sistemlerinde vs. kullanıldığı için grupların çalışması esnasında fazla gürültülü olmaması önemli bir kriterdir. Kondenser fanları ve kompresörler soğutma gruplarında ses kaynağı olan iki birleşendir. Gerekirse motor devri düşürülerek ses seviyesi azaltılabilir; bu durumda gerekli soğutma kapasitesinin sağlanması için ısı değiştiricisinin ısı transfer yüzeyi artırılmalıdır.

Değişken debide hava sağlanması için en pratik yol, çift devirli fan kullanımıdır. En yüksek çalışma devrinin 3 / 4’ü gibi bir ikinci hızda da çalışabilen bu fanlar sayesinde, hava giriş sıcaklığının tasarım sıcaklığının çok altına düştüğü za-



Şekil 1.A, 1.B Dik ve Yatık Tip Ağ Üzeri Su Spreyleme Sistemli Hava Soğutmalı Kondenserler [3], [1]



manlarda önemli oranda enerji tasarrufu sağlanabilmektedir [5]. Tek devirli fanlarda da, çift devirli fanlarda da kullanılabilen kontrol üniteleri ile de hava debileri ihtiyaca göre değiştirilebilir. Fan devirleri üzerinde hassas kontrol gerekmeyen yerlerde, fanların sırayla devreye girdiği ve devreden çıktığı step kontrol sistemleri uygulanır. Kullanılan fan adedinin az olduğu ve sıcaklık-basınç farklarının hassas olduğu durumlarda step kontrol ile yeterli sonuç alınmaz. Böyle yerlerde fan devirlerinin kontrol edildiği ve dolayısıyla hava debisi üzerinde çok daha hassas kontrol sağlayan sistemler (frekans invertörleri/konvertörleri) kullanılır. Farklı devir aralıklarındaki motor seçeneklerinin yanı sıra son yıllarda kullanım alanları hızla artan EC Motor teknolojisi kondenser uygulamalarında da kullanılmaktadır. EC fanlar kutup sayılarından bağımsız olarak fan motorunun tüm hızlarda kontrol edilebilmesini sağlamaktadır. EC Motor sistemleri, frekans invertörü-step kontrol-trafo, vb. konvansiyonel hız kontrol sistemleri ile karşılaştırıldığında nominal hızlarda ortalama % 10 enerji tasarrufu sağlamaktadır [6].

1.6 Hava Soğutmalı Kondenserli Soğutma

Gruplarında Doğal Soğutma Bataryası Kullanımı

Geleneksel hava soğutmalı kondenserli soğutma gruplarından farklı olarak entegre doğal soğutma bataryalı grupların kullanımı son yıllarda yaygınlaşmaya başlamıştır. Doğal soğutma ortamının düşük hava sıcaklığından faydalanarak soğuk su üretici grubun (chiller) kompresörünün çalışması olmaksızın yada kısmen çalıştırılarak soğutma suyu elde edilmesidir [7], [8]. Entegre doğal soğutma bataryalı gruplar yirmi dört saat soğutma ihtiyacı olan büyük bilgisayar ve server odaları, İnternet ve telekomünikasyon veri merkezleri soğutma uygulamaları için alternatif sistemdirler. Hem

Sınıf	Enerji Sarfiyatı	Enerji Oranı (R)*
A	En Düşük (Extremely low)	$R > =110$
B	Çok Düşük (Very low)	$70 = < R < 110$
C	Düşük (Low)	$45 = < R < 70$
D	Orta (Medium)	$30 = < R < 45$
E	Yüksek (High)	$R < 30$

* Enerji oranı "R", ürün standart kapasitesinin fan motorlarının toplam enerji tüketimine bölünmesi ile elde edilir.

mekanik soğutma hem de doğal soğutma (kısmi ve tam) yapabilme kabiliyetine sahiptirler [7]. Doğal soğutma bataryası hava soğutmalı kondenser bataryasının – ünitenin hava giriş yönüne göre- ön kısmına yerleştirilir. Ortam sıcaklığının dönüş suyu sıcaklığının altına düşmesi ile birlikte kontrol vanası dönüş suyunu doğal soğutma bataryasına ön soğutma yada tam doğal soğutma amaçlı olarak gönderir [7].

2. HAVA SOĞUTMALI KONDENSERLERDE STANDARTLAR VE ENERJİ SINIFLANDIRMASI

Hava Soğutmalı Kondenserlerde standart kapasiteler TS EN 327 (Isı Eşanjörleri-Hava Soğutmalı Zorlanmış Konveksiyonlu Soğutucu Akışkanlı Kondenserlerin Performansının Tayini İçin Deney Metotları) standardında belirlenen şartlarda tanımlanmaktadır [9]. Kondenser bataryaları, 97/23/EC PED (Basıncı Ekipmanlar Direktifi) altında tanımlanan SEP (Sound Engineering Practice) kapsamına uygun üretilmeli, ünitenin tümü CE şartlarını karşılamalıdır [10]. Ürünlerde enerji verimliliği EUROVENT Rating Stan-

ÖZELLİKLER	KONDENSER 1		KONDENSER 2		KONDENSER 3		KONDENSER 4	
MODEL	FUH YK 80 23 C1 2,1 E		FUH YK 63 24 C1 2,1 Q		FUH YK 50 24 C3 2,1 L		FUH YK 63 23 A1 2,5 S	
Enerji Verimliliği Sınıfı	A	Sınıfı	B	Sınıfı	C	Sınıfı	D	Sınıfı
Q (Kondenser Kapasitesi)	161.396	KW	163.430	KW	162.250	KW	160.170	KW
Isı Transfer Yüzeyi	543,3	m ²	522,6	m ²	461,3	m ²	272,1	m ²
Batarya Uzunluğu	3600	mm	4000	mm	3200	mm	3000	mm
Batarya genişliği	2150	mm	1800	mm	1500	mm	1800	mm
Hava Debisi	39.150	m ³ /h	40.730	m ³ /h	39.530	m ³ /h	57.640	m ³ /h
Hava Hızı	1,4	m/s	1,6	m/s	2,3	m/s	3,0	m/s
Fan Çapı	800	mm	630	mm	500	mm	630	mm
Fan Devri	330	d/d	480	d/d	900	d/d	900	d/d
Fan Adedi	6	adet	8	adet	8	adet	6	adet
Toplam Fan gücü	1,2	kw/h	1,52	kw/h	2,56	kw/h	4,68	kw/h
Ses Gücü Seviyesi (LwA)	68	dBA	72	dBA	78	dBA	84	dBA
Ses Basınç Seviyesi (LpA)	36	dBA	40	dBA	46	dBA	52	dBA
Enerji oranı (R)	134,5	-	107,5	-	63,4	-	34,2	-
Ünite Fiyatı	8.525 €	Euro	6.676 €	Euro	5.396 €	Euro	4.515 €	Euro

Tablo 3. Varsayılan dört kondenser üzerinde yapılan örnek karşılaştırma [1]



HESAPLAMALAR	A sınıfı ve D sınıfı ürün arası fark
Ünitelerin fan motorlarının elektriksel tüketimleri arasındaki fark	3,48 kw/h
Yıllık olarak fan motorlarının elektriksel tüketimleri arasındaki fark (20 saat/gün)	25.404 kw
Birim elektrik harcaması maliyeti	0,13 \$/kW
Yıllık Toplam elektrik harcaması farkı (USD)	3.302,5 \$
Yıllık Toplam elektrik harcaması farkı (EURO)	2.623,7 €
Üniteler arası maliyet farkı	4.010,0 €
Ünite Maliyet Farkının geri kazanım süresi	1,5 Yıl

Tablo 4. Varsayılan kondenserlerin karşılaştırması ve İlk yatırım maliyeti geri ödeme süresi hesabı

dard (for Forced Convection Air Cooled Condensers For Refrigeration "Air Cooled Condensers") 7/C/002 – 2007 standardına göre Tablo 2'de verilen değer aralıkları için hesaplanabilir [11].

Enerji verimliliğinin artırılması ile ilk yatırım masrafları arasında ciddi bir ilişki söz konusudur. Enerji verimliliği yüksek ürünlerin ilk yatırım maliyetleri göreceli olarak yüksek olsa da aradaki maliyet farkını kısa zamanda geri kazandırdıklarını ifade etmek mümkündür. Tablo 3.'de aynı şartlarda çalıştıkları, aynı cins soğutucu akışkan kullandıkları ve eşit kapasiteye sahip oldukları varsayılan dört farklı hava soğutmalı kondenser üzerinde yapılan örnek karşılaştırma görülmektedir. Karşılaştırmada sistemdeki kondenser kapasitesi ihtiyacının 160 kw olduğu varsayılmış ve alternatif kondenser dizaynları bu kapasiteye göre yapılmıştır.

Örnek üniteler arasındaki temel farklar:

- Isı transfer yüzeyleri,
- Ünite boyutları,
- Batarya alın hava hızları,
- Elektrik güçleri,
- Enerji verimliliği sınıfları,
- Ses seviyeleri ve
- Maliyetlerdir.

İlk yatırım maliyeti fazla olan ünitenin boyutları ve ısı transfer alanı daha fazladır. Bu kısım maliyete doğrudan etki etmektedir. Ancak hava hızı, dolayısıyla hava tarafı basınç kaybının düşüklüğü fanların elektrik tüketim değerine

etkilemekte ve tüketim değerleri düşmektedir. Bu durum ünitenin enerji verimliliğini artırmakta, buradaki örnekte olduğu gibi üniteleri A, B, C, D enerji sınıflandırmalarında ifade ettirmektedir.

Tablo 4.'te ise A sınıfı ürün ile D sınıfı ürün arasındaki fark gösterilmiştir. İlk yatırım masrafı yüksek olan A sınıfı ürünün, D sınıfı ürün kullanımına göre kendisini 1,5 yıl içerisinde geri kazandırdığı görülmektedir.

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Enerji verimliliğinin iklimlendirme, endüstriyel soğutma, süper market, ticari soğutma, şoklama, proses soğutma vb. tesisatlarda giderek ön plana çıkması tesislerde enerji tüketiminin önemli bir bölümünü yaratan geleneksel soğutma gruplarının sistem elemanlarının dizaynlarını da etkilemektedir. Soğutma sektörü içerisinde yer alan yatırımcıların, proje ve uygulama mühendislerinin yukarıda tanımlanan konular hakkında bilgi sahibi olmaları gerekmektedir. Enerji verimliliği yüksek ürünlerin kullanımının yaygınlaştırılması ile birlikte sistemlerimizde verimlilik artacaktır. Bu sistemlerin aynı zamanda çevreci sistemler olduğu da akıldan çıkartılmamalıdır.

[* "Kanatlı Borulu Tip Hava Soğutmalı Kondenserler ve Sistem Enerji Verimliliğine Etkileri" yazısı, ESSİAD tarafından düzenlenen 1.Soğutma Teknolojileri Sempozyumunda (9-12 Ekim 2008, İzmir) Friterm AR-GE Şefi Hasan ACÜL tarafından yayınlanmış makalenin özeti niteliğindedir. Makalenin tam metnine ulaşmak için <http://www.friterm.com/makaleler.asp> sayfasını ziyaret ediniz.]

KAYNAKLAR

- [1] Friterm A.Ş Teknik Dokümanları ve Uygulamaları (<http://www.friterm.com>)
- [2] BOCK Firması Teknik Kataloğu (Seçilen model BOCK HGX7/2110-4 S) (<http://www.bock.de>)
- [3] EPS (Environmental Process Systems Ltd) Firması Ecomesh Teknik Kataloğu (www.epsltd.co.uk)
- [4] KME Firması Teknik ve Test Dokümanları (<http://www.kme.com>)
- [5] Ziehl Abegg Firması Teknik Kataloğu (www.ziehl-abegg.com)
- [6] EBM-PAPST GmbH Firması "EC Fans" Teknik Broşürü (<http://www.ebmpapst.com>)
- [7] De Saulles,T., "BSRIA Guide: Free Cooling Systems", BSRIA,2004
- [8] ASHRAE Handbook 2000 Systems And Equipment, Chapter 36, Chapter 38, ASHRAE, 2000
- [9] TS EN 327 (Isı Eşanjörleri-Hava Soğutmalı Zorlanmış Konveksiyonlu Soğutucu Akışkanlı Kondenserlerin Performansının Tayini İçin Deney Metotları)
- [10] 97/23/EC The Pressure Equipment Directive
- [11] EUROVENT Rating Standard (for Forced Convection Air Cooled Condensers For Refrigeration "Air Cooled Condensers") 7/C/002 – 2007