Mekanik Soğutma Sistemlerinin Dengelenmesi ve Denge Noktası Oluşumu

Nurettin IŞIK
GÜ., Gaziantep Meslek Yüksekokulu, İklimlendirme-Soğutma Programı, Gaziantep

Ayhan ONAT
KSÜ., Kahramanmaraş Meslek Yüksekokulu, İklimlendirme-Soğutma Programı, Kahramanmaraş

ÖZET

Bu çalışmada, mekanik sıkıştırmalı soğutma sistemlerinde sistemin buharlaştırıcı ve yoğuşma grubu bölümleri arasındaki ilişki ele alınmıştır. Buharlaştırıcı ve yoğuşma grubu seçim kriterleri, bunların bir arada soğutma sisteminin denge noktasını nasıl oluşturdukları açıklanmış, örnek bir problemle tasarım şartları belirlenip, buna uygun buharlaştırıcı ve yoğuşma grubu seçilmiş, sistemin denge noktasının grafik analizi yapılmıştır. Buharlaştırıcı ve yoğuşma grubu kapasitelerinin birbirlerine uygun olmaması durumunda denge noktasındaki değişim grafik olarak ortaya çıkartılıp, eşdeğer olmayan kapasitelerde buharlaştırıcı ve yoğuşma grubu kullanılması halinde sistemde denge noktasında ortaya çıkabilecek değişimler tablolanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Soğutma, Yoğuşturucu, Buharlaştırıcı, Denge noktası.

System Equilibrium in Mechanical Refrigeration Systems and Establishing the Balance Point

ABSTRACT

In this study, the relationship between evaporator and condensing units in a mechanical refrigeration system is investigated. The selection criteria of evaporator and condensing unit, and how these components connected together in a common system constitute the system balance point are explained. Depending on the data on an example problem, after determining the system design conditions, appropriate evaporator and condensing unit selections are made, and the graphical analysis of system balance is made. In case of selecting the evaporator and condensing units having unequal capacities at system design conditions, the shift on system balance point is graphically presented and the possible changes at system equilibrium are tabulated.

Key Words: Refrigeration, Condenser, Evaporator, Balance point.

GİRİŞ

Soğutma sistem tasarımında dikkate alınması gereken en önemli noktalardan biri, sistemin buharlaşma ve yoğuşma bölümleri arasında uygun bir dengenin tesis edilmesi ihtiyacıdır. Bir soğutma sisteminde birbirine seri olarak bağlanan buharlaştırıcı ve yoğuşturucu arasında bir denge noktası ya da "balans" kendiliğinden otomatik olarak oluşur. Bunun nedeni buharlaşma ve yoğunlaşma hızlarının eşit olması gereğidir. Yani buharlaştırıcı buharlaşıp yoğuşturucuda yoğuşturulan buhar miktarı her zaman buharlaştırıcı sıvı soğutucu akışkanın

buharlaşarak ısı çekmesi sonucu elde edilen buhar miktarına eşit olacaktır. Bir soğutma sisteminde tüm elemanlar birbirlerine seri olarak bağlı olduğu için, tüm elemanlardaki soğutucu akışkan debisi de aynı olacaktır. Sonuç olarak bir soğutma sisteminde kullanılan elemanların kapasitelerinin de aynı değerlerde olması gerekir (Dossat, 1981).

Soğutma sistem elemanları sistem tasarım şartlarında eşit kapasitelerde olacak şekilde seçilmişse, sistem denge noktası, yada "balans noktası" da buna bağlı olarak sistem tasarım şartlarını sağlayacak bir noktada oluşacaktır. Diğer yandan soğutma sistem elemanları, sistem tasarım şartlarında farklı kapasitelerde seçilmişlerse, sistem denge noktası da işletme şartlarında sistem tasarım şartlarının dışında ortaya çıkıp, soğutma sisteminin tatmin edici performans göstermesine engel olacaktır. Sistem denge noktası esas itibarı ile soğutma sisteminin buharlaştırıcıda ortaya çıkan buharlaşma hızı ile yoğuşma grubunda ısının atılmasına bağlı olarak ortaya çıkacağı için, bu bölümde buharlaştırıcı ve yoğunlaşma grubu kapasiteleri kısaca ele alınacaktır (Althouse ve ark., 1988).

MATERYAL VE METOT

Buharlaştırıcı Kapasitesini Belirleyen Etkenler

buharlaştırıcı kapasitesi buharlaştırıcı yüzey alanı, buharlaştırıcı toplam ısı geçiş katsayısı ve buharlaşma sıcaklığı ile oda sıcaklığı arasındaki farka bağlı olarak değişiklik gösterir:

$$Q_e = A \times U \times TD \tag{1}$$

Burada,

$Q_e\left(kW\right)$, buharlaştırıcı kapasitesini,

$A\left(m^2\right)$, buharlaştırıcı dış yüzey alanını,

$U\left(kW/m^2K\right)$, toplam ısı geçiş katsayısı,

$TD\left(K\right)$, buharlaştırıcının soğuttuğu ortam ile buharlaştırıcı içindeki soğutucu akışkan arasındaki logaritmik sıcaklık farkı değerlerini ifade etmektedir.

Buharlaştırıcı yüzey alanı ve buharlaştırıcı toplam ısı geçiş katsayısı çoğu kez imalatçılar tarafından belirlenen, üzerinde tasarımcının inisiyatifinin pek olmadığı değişkenler olup, uygulamada tasarımcının belirleyeceği temel değişken buharlaştırıcı sıcaklık farkıdır. Buharlaştırıcı sıcaklık farkı, buharlaştırıcı serpantini içindeki soğutucu akışkan sıcaklığı ile buharlaştırıcının içinde bulunduğu soğutulan ortam sıcaklığı arasındaki farktır (Miller, 1983).

$$BSF = t_{oda} - t_{buh} \tag{2}$$

Burada,

$BSF\left(K\right)$, buharlaştırıcı sıcaklık farkı,

$t_{oda}\left(K\right)$, soğuk oda sıcaklığı,

$t_{buh}\left(K\right)$, buharlaştırıcı serpantini içindeki soğutucu akışkan sıcaklığı değerlerini ifade etmektedir.

Bu fark ile buharlaştırıcı kapasitesi arasında doğru orantı vardır. Bununla beraber, buharlaştırıcı sıcaklık farkının özellikle soğuk depo uygulamalarında oda izafi nemi üzerinde belirleyici etkisi vardır. Buharlaştırıcı sıcaklık farkı arttıkça oda izafi nemi düşecek, sıcaklık farkı azaldıkça oda izafi nemi artacaktır. Gıda maddelerinin muhafaza koşullarında sıcaklık kadar izafi nemin de önemi olduğundan soğutma sistemlerinin tasarımında buharlaştırıcı sıcaklık farkının bu yönüyle dikkate alınması gerekir. Tablo 1'de buharlaştırıcı tasarım sıcaklığı ile izafi nem arasındaki ilişki verilmiştir (Dossat, 1981).

Tablo 1. Buharlaştırıcı Sıcaklık Farkı ile Oda İzafi Nemi Arasındaki Bağlantı

% İzafi Nem	Tasarım sıcaklık farkı, K	
	Doğal taşınımlı buharlaştırıcı	Zorlanmış taşınımlı buharlaştırıcı
95-91	7-8	5-6
90-86	8-9	6-7
85-81	9-10	7-8
80-76	10-11	8-9
75-80	11-12	9-10

Yoğuşma Grubu Kapasitesini Belirleyen Etkenler

Buharlaştırıcı kapasitesinin belirlenmesinde olduğu gibi, yoğuşturucu kapasitesi de, yoğuşturucu yüzey alanı, yoğuşturucu toplam ısı geçişi ve akışkanın yoğuşma sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki logaritmik sıcaklık farkına bağlı olarak değişiklik gösterir:

$$Q_k = A \times U \times TD \tag{3}$$

Burada,

$Q_k\,(kW)$, yoğuşturucu kapasitesini, $A(m^2)$, yoğuşturucu yüzey alanını,

$U\left(kW/m^2K\right)$, toplam ısı geçiş katsayısı, $TD(K)$, akışkanın yoğunlaşma sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki logaritmik sıcaklık farkı değerlerini ifade etmektedir.

Yoğuşturucu kapasitesini belirleyen yukarıdaki etkenler ele alındığında, yüzey alanı ve toplam ısı iletkenlik katsayısı değerlerinin imalatçı firmalar tarafından belirlenen değerler olduğunu, tasarımcının ancak yoğuşturucu sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı parametresine bağlı olarak kapasiteyi belirleyebileceğini söylemek yanlış olmaz. Buna bağlı olarak sistemin tasarım yoğuşma sıcaklığı ortaya çıkarılabilmektedir. Bunun için elbette yoğuşma ortamı sıcaklığının doğru tespit edilmesi gerekmektedir. Bir çok imalatçı firmanın ekipman seçim katalogları esas itibarı ile seçimi yapılacak elemanın kapasitesini belirleyen faktörler göz önüne alınarak hazırlanmıştır.

Buharlaştırıcı Seçiminin Yapılması

İmalatçı firmalar buharlaştırıcı seçim kataloglarında buharlaştırıcı sıcaklık farkına bağlı olarak kapasiteler verirler. Kapasiteler farklı sıcaklık farklarında verilebileceği gibi, sabit bir sıcaklık farkına göre düzenlenip, sabit sıcaklık farkının dışına çıkıldığında bir takım düzeltme faktörleri de verilebilir. Her durumda tasarım şartlarına tespit etmek için belirli bir buharlaşma sıcaklığı, buharlaştırıcı sıcaklık farkı ve kapasite değerleri elde edilmelidir (Özkol, 1987).

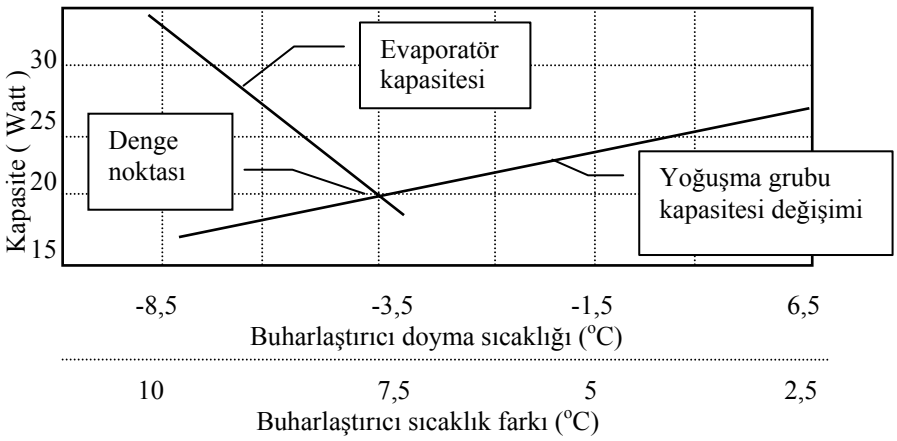
Örneğin ısı kazançları sonucunda hesaplanan sahip olunması gereken kapasitenin 15 kW, muhafaza edilecek malın sıcaklığının 2 ^{o}C, izafi neminin ise % 95 civarında olacağını, emiş hattında ise yaklaşık 10 kPa basınç kaybı (0,5 ^{o}C karşılığı) olacağını varsayalım. Bu durumda Tablo 1'den, %95 civarında bir izafi nem değeri için buharlaştırıcıda yaklaşık 5 K'lik bir sıcaklık farkı tesis edilmesi gerektiği ortaya çıkar. Buna bağlı olarak buharlaştırıcı sıcaklığı -3 ^{o}C olacaktır. Yani iyi tasarlanmış bir sistemde sistem denge noktası oda sıcaklığını 2 ^{o}C değerinde istenilen % izafi nemde tutacak şekilde oluşmalıdır.

Yoğuşma Grubu Seçiminin Yapılması

Yoğuşma grubu seçiminde imalatçı firma seçim kataloglarında farklı emiş doyma sıcaklıklarında belirli dış ortam sıcaklıkları ve yoğuşturucu sıcaklık farkı değerlerine göre kapasiteler verilmiştir. Bununla beraber yoğuşma grubu seçiminde sıvı hattında aşırı soğuma (subcooling) değerlerine bağlı olarak kapasite katsayıları da verilmiştir. Genellikle sıvı hattında aşırı soğuma olmadığı varsayımı ile verilen kapasiteler, uygulamada aşırı soğuma değerleri olması durumunda tavsiye edilen yüzdeliklerde arttırılmalıdır. Bir önceki başlıkta verilen örnek için yoğuşma grubu seçimi yapılacağını varsayalım: Bu durumda seçilecek yoğuşma grubunun emiş doyma sıcaklığını ve ortam sıcaklığını belirlemek durumundayız. Buharlaştırıcı doyma sıcaklığı -3 ^{o}C olarak hesaplanan örnekte, buharlaştırıcı ile kompresör emişi arasındaki 10 kPa basınç düşümü göz önüne alındığında sistemde R12 kullanıldığı varsayımı ile kompresör emiş sıcaklığı -3,5^{o}C olacaktır. Buna göre yoğuşma grubu öyle seçilmelidir ki, -3,5 ^{o}C emiş doyma sıcaklığında mevcut dış ortam sıcaklığında 15 kW soğutma kapasitesini verebilsin.

Sistem Denge Noktasının Grafik Analizi

Verilen örneğe ait buharlaştırıcı ve yoğuşma grubu seçimi yapılacak, seçilen buharlaştırıcı ve yoğuşma grubunun kapasite grafikleri çizilerek bu kapasite eğrilerinin kesişme noktaları sistem denge noktası olarak ele alınacaktır. Bunun için buharlaştırıcı ve yoğuşma grubu kapasite değişimleri aynı grafik üzerinde ele alınacaktır. Burada ele alınan örnek için buharlaştırıcı Friterm Firmasının imalatı olup, ENV 328'de belirtilen Eurovent standart şartlarına göre hazırlanan katalog seçimde kullanılmıştır (Friterm, 2000). Yoğuşma grubunda ise Copeland Firması imalatı hermetik kompresör katalogu kullanılmıştır (Copeland, 2001). Her iki katalog seçim ölçütlerine bağlı olarak hazırlanmışlardır. İmalatçı firma seçim kataloglarından yoğuşma grubu kapasite değişimi emiş doyma sıcaklığına, buharlaştırıcı kapasite değişimi ise buharlaştırıcı sıcaklık farkı değerlerine bağlı olarak aynı grafik üzerinde işaretlenecektir. Yoğuşma grubu ve buharlaştırıcı kapasite değişimlerinin işaretleneceği grafikte bazı noktalara dikkat edilmelidir.



Şekil 1. Sistem dengelenmesinin grafik analizi.

Emiş doyma sıcaklığı ve buharlaştırıcı sıcaklık farkı değerlerinin üzerinde işaretlendiği eksende doyma sıcaklığı ve sıcaklık farkı değerleri arasındaki bağıntı dikkatle etüt edilmelidir (Dossat, 1981).

Şekil 1'deki sistem dengelenmesinin grafik analizini anlayabilmek için herhangi bir oda sıcaklığında, emiş doyma sıcaklığı ve buharlaştırıcı sıcaklık farkı değerleri arasında sabit bir bağlantı olduğunun bilinmesi gereklidir. Yani, herhangi bir oda sıcaklığında sıcaklık farkı seçildiğinde, bu tasarım şartını oluşturabilecek ancak tek bir emiş sıcaklığı söz konusudur. Örnekte 2 °C tasarım oda sıcaklığında 5 K buharlaştırıcı sıcaklık farkında, emiş hattında 0,5 °C karşılığı basınç kaybı ile, bu şart ancak -3,5 °C emiş sıcaklık değerinde elde edilebilir. Yani bu örnekte emiş sıcaklığının ancak -3,5 °C değerinde olması durumunda buharlaştırıcı sıcaklık farkı 5 K olacaktır. -3,5 °C dışında herhangi bir emiş sıcaklığı 5 K dışında büyük ya da küçük buharlaştırıcı sıcaklık farkı verecektir. Örneğin emiş sıcaklığının -8,5 °C olduğunu varsayalım: Bu durumda basınç kaybı dikkate alındığında buharlaştırıcı sıcaklığı -8 °C olacaktır. Bu durumda buharlaştırıcı sıcaklık farkı 10K [2 -(-8)] olacaktır. Benzer işlem sırası uygulanarak, herhangi bir oda sıcaklığında emiş sıcaklığı düşürüldükçe karşılığında ortaya çıkacak buharlaştırıcı sıcaklık farkının artacağı, emiş sıcaklığı arttırıldıkça da karşılığında buharlaştırıcı sıcaklık farkının azalacağı ortaya çıkacaktır. Sonuç olarak emiş sıcaklığında bir artış ya da azalma beraberinde buharlaştırıcı sıcaklık farkında da bir değişime yol açacaktır. Oda sıcaklığının sabit olması kaydıyla emiş sıcaklığının arttırılması buharlaştırıcı sıcaklık farkını azaltacak, emiş sıcaklığının azaltılması da buharlaştırıcı sıcaklık farkını arttıracaktır.

Kapasite Değişimlerinin Üzerinde Çizileceği Grafiğin Hazırlanması

1. Grafik yaprağı üzerine oluşturacağınız grafiğin kapasite (kW), emiş doyma sıcaklığı (°C), ve buharlaştırıcı sıcaklık farkı (TD) değerleri için uygun bir ölçek belirleyin. Grafiğin düşey ekseni kapasite değerlerini gösterirken, yatay ekseni ise

hem emiş doyma sıcaklığı değerlerini, hem de buharlaştırıcı sıcaklık farkı değerlerini gösterecektir. Yatay eksende emiş doyma sıcaklığı (^oC), ve buharlaştırıcı sıcaklık farkı (TD) değerlerini işaretlerken, bu değerlerin arasında sistemde tasarım şartlarına bağlı değişkenlerin dikkate alınması gerekir. Buna göre, her bir buharlaştırıcı sıcaklık farkına tekabül eden ancak bir emiş doyma sıcaklığı söz konusu olacaktır.

2. İmalatçı firma yoğuşma grubu seçim kataloğundan farklı emiş doyma sıcaklığı değerlerine bağlı olarak elde edilebilecek kapasite değerlerini grafik üzerinde işaretleyin. Elde edilen noktaların birleştirilmesi yoğuşma grubu kapasite değişimini gösteren grafiği verecektir.

3. İmalatçı firma buharlaştırıcı seçim kataloğundan farklı buharlaştırıcı sıcaklık farkı (TD) değerleri için kapasite değerlerini işaretleyip, elde edilen noktaları birleştirin.

4. Yoğuşma grubu ve buharlaştırıcı kapasite grafiklerini kesiştiği nokta sistem denge noktasını verecektir. Bu noktadan düşey kapasite eksenine çizilen dik bu noktada sistemin kapasitesini verirken, yatay eksene çizilen dik ise denge noktasında ortaya çıkan emiş doyma sıcaklık ve buharlaştırıcı sıcaklık farklarını verir.

5. İyi tasarlanıp, doğru elemanların seçildiği bir soğutma sisteminde öngörülen tasarım şartları sistem denge noktasında oluşabilmelidir.

Örnek Bir Soğutma Sistemi İçin Eleman Seçimi ve Denge Noktasının Grafik Analizinin Yapılması

Uygulamaya ait veriler:
Hesaplanan soğutma kapasitesi: 18500 Watt
Soğuk oda muhafaza sıcaklığı: 0 ^oC
Odada muhafaza için gereken % izafi nem: %75-80
Sistem sıvı hattında 8 ^oC -10 ^oC arası aşırı soğuma (subcooling) var.
Dönüş hattında basınç kaybı: Göz ardı edilebilir.
Kullanılan soğutucu akışkan: R22
Kullanılacak buharlaştırıcı tipi: Zorlanmış taşınımlı soğuk oda buharlaştırıcı.
Yoğuşma sıcaklığı: 40 ^oC

Çözüm:

0 ^oC soğuk oda sıcaklığında %75-80 civarı bir izafi nem elde edebilmek için, Tablo 1'den buharlaştırıcı sıcaklık farkı 10 K olmalıdır. Buna göre soğutma sisteminin buharlaştırıcı sıcaklığı -10 ^oC (0-10) olmalıdır.

Buharlaştırıcı Seçimi

Friterm Firmasının oda soğutucusu katalogundan Eurovent/Cecomaf ENV 328'te tanımlanan DT1 esasına göre SC2 çalışma aralığındaki oda buharlaştırıcı seçilmelidir(Tablo2). SC2 aralığında oda sıcaklığı 0^oC, buharlaşma sıcaklığı ise -8^oC olarak verilmiştir. Bu aralık problemdeki çalışma aralığına en yakın aralıktır. Katalogda SC2 aralığında verilen tüm buharlaştırıcı modellerinde 0^oC oda sıcaklığı ve -8^oC buharlaşma sıcaklığı kabullerine göre verilmiştir. Ancak problemde buharlaşma sıcaklığı ve buharlaştırıcı sıcaklık farkı değerleri bu kabullerin dışında olduğundan, Tablo 3'de verilen düzeltme katsayıları kullanılmalıdır.

Tablo 2. Eurovent/Cecomaf ENV 328'de Tanımlanan DT1 Esasına Göre Şartlar

	Oda Sıcaklığı	Buharlaşma Sıcaklığı
	°C	°C
SC1	+10	0
SC2	0	-8
SC3	-18	-25
SC4	-25	-31
	Oda Sıcaklığı	Buharlaşma Sıcaklığı
	°C	°C
SC6	+16	+4
SC7	0	-10

Tablo 3. Düzeltme Katsayısı (k) Değerleri

Lamel Aralığı:4mm-6mm-8mm-10mm-12mm											
		K1								R-K2	
		R22/R507									
Δt (K)		4	5	6	7	8	10	12	14	134a	40a
Buharlaşma sıcaklığı	10°C	0,63	0,78	0,93	1,08	1,24	1,54	1,84	2,15	1,07	1,16
	5°C	0,60	0,75	0,90	1,05	1,20	1,50	1,80	2,10	1,03	1,14
	0°C	0,58	0,73	0,88	1,03	1,17	1,48	1,77	2,06	1,00	1,12
	-5°C	0,56	0,71	0,85	1,00	1,14	1,43	1,72	2,01	0,97	1,10
	-8°C	0,50	0,63	0,76	0,88	1,00	1,26	1,51	1,76	0,94	1,09
	-10°C	0,49	0,61	0,73	0,86	0,98	1,23	1,48	1,73	0,93	1,08
	-15°C	0,48	0,60	0,72	0,84	0,96	1,19	1,43	1,66	0,89	1,07
	-20°C	0,46	0,58	0,69	0,81	0,92	1,15	1,38	1,61	0,86	1,04
	-25°C	0,44	0,55	0,66	0,77	0,88	1,10	1,32	1,54	0,82	1,03
	-30°C	0,42	0,53	0,63	0,74	0,84	1,05	1,26	1,47	-	1,01
	-35°C	0,39	0,49	0,59	0,69	0,79	0,99	1,19	1,39	-	0,99
	-40°C	0,37	0,46	0,55	0,64	0,73	0,91	1,09	1,27	-	0,97

Buna göre -10 ^{o}C ve 10 K buharlaşma sıcaklık farkı değerlerine göre seçilecek buharlaştırıcıda 1,23 değerinde bir düzeltme katsayısı uygulanmalıdır. Yani katalogda verilen kapasite değerleri 1,23'lük bu katsayı ile çarpılmalıdır. Buna göre SC2 çalışma aralığında FEH 40.41 Model Numaralı Friterm buharlaştırıcısı 15164 watt soğutma kapasitesi vermektedir. Bu kapasite değeri problemdeki çalışma şartları dikkate alınarak 1,23 katsayı ile çarpıldığında 19752 watt kapasitesini vermektedir. 18651 watt kapasite değeri problemdeki uygulamanın biraz üzerinde bir değer olduğundan uygundur.

Yoğuşma Grubu-Kompresör Seçimi: Copeland Yarı Hermetik Kompresör katoloğundaki verilere göre: -10 ^{o}C buharlaşma ve 40 ^{o}C yoğunlaşma şartlarında 8,3 K sıvı hattında aşırı soğuma değerlerinde QR15 M1 seri nolu model 19860 watt kapasite vermektedir (Tablo 4). Bu değer istenilen buharlaştırıcı kapasitesine uygundur.

Tablo 4. Copeland Yarı Hermetik Kompresörlerin Kapasite Değerleri

Model No	$T_{con.}$	Buharlaşma sıcaklığı							
		12,5	10	7	5	0	-5	-10	-15
QR 15 M1	30	58790	54210	48900	45480	37400	30060	23540	17930
	40	52350	48030	43050	39860	32380	25690	19860	14970
	50	45760	41750	37160	34240	27460	21520	16480	12430
QR 22 M1	30	90420	82680	73720	68000	54580	42640	32380	24000
	40	78420	71280	63100	57880	45760	35160	26280	19340
	50	66820	60340	52940	48260	37540	28340	20920	15460

Buharlaştırıcı ve Yoğuşma Grubu Kapasite Değişimlerinin İncelenmesi

Grafiğin yatay ekseninde hem emiş doyma sıcaklığı değerleri, hem de buharlaştırıcı sıcaklık farkı değerleri işaretlenecektir. Sabit oda sıcaklığında her emiş doyma sıcaklığına ancak bir buharlaştırıcı sıcaklık farkı elde edilebilecektir. Buna göre 0 ^{o}C oda sıcaklığında, farklı emiş doyma sıcaklığı değerlerine göre elde edilebilecek buharlaştırıcı sıcaklık farkı değerleri Tablo 5'deki gibi olacaktır:

Tablo 5. Buharlaştırıcı Sıcaklık Farkı Değerleri

t_{buh} (buharlaştırıcı doyma sıcaklığı)	-15	-10	-5	0	5
$BSF = t_{oda} - t_{buh}$	15	10	5	0	-

Buharlaştırıcı Sıcaklık Farkına (BSF) Bağlı Değişim

Seçimi yapılan Friterm Firmasının SC2 aralığında FEH 40.41 Model Numaralı buharlaştırıcının değişik BSF değerlerinde verdiği kapasiteler kataloğun Tablo.3 bölümde verilmiştir. Buna göre -10°C buharlaşma sıcaklığında R22 kullanılan buharlaştırıcı kapasite değişimi için bulunan 15164 watt nominal kapasitede Tablo 6'da katsayılara bağlı olarak kapasite değişimi gösterilmektedir.

Tablo 6. Buharlaştırıcı Sıcaklık Farkına Göre Düzeltilmiş Kapasite Değerleri

$BFS = t_{oda} - t_{buh}$	5	10	14
k	0,61	1,23	1,73
Düzeltilmiş kapasite $Q_b = k \times Q_{b\,nom}$ (watt)	9250	18651	26238

Yoğuşma Grubu Kapasitesinde Buharlaştırıcı Sıcaklığına Bağlı Değişim

Seçimi yapılan Copeland QR15 M1 Model numaralı kompresörün değişik buharlaştırıcı doyma sıcaklıklarındaki yoğuşma kapasitesi değişimleri için Copeland kataloğundan alınan değerler Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Buharlaştırıcı Sıcaklık Farkına Göre Yoğuşturucu Kapasite Değerleri

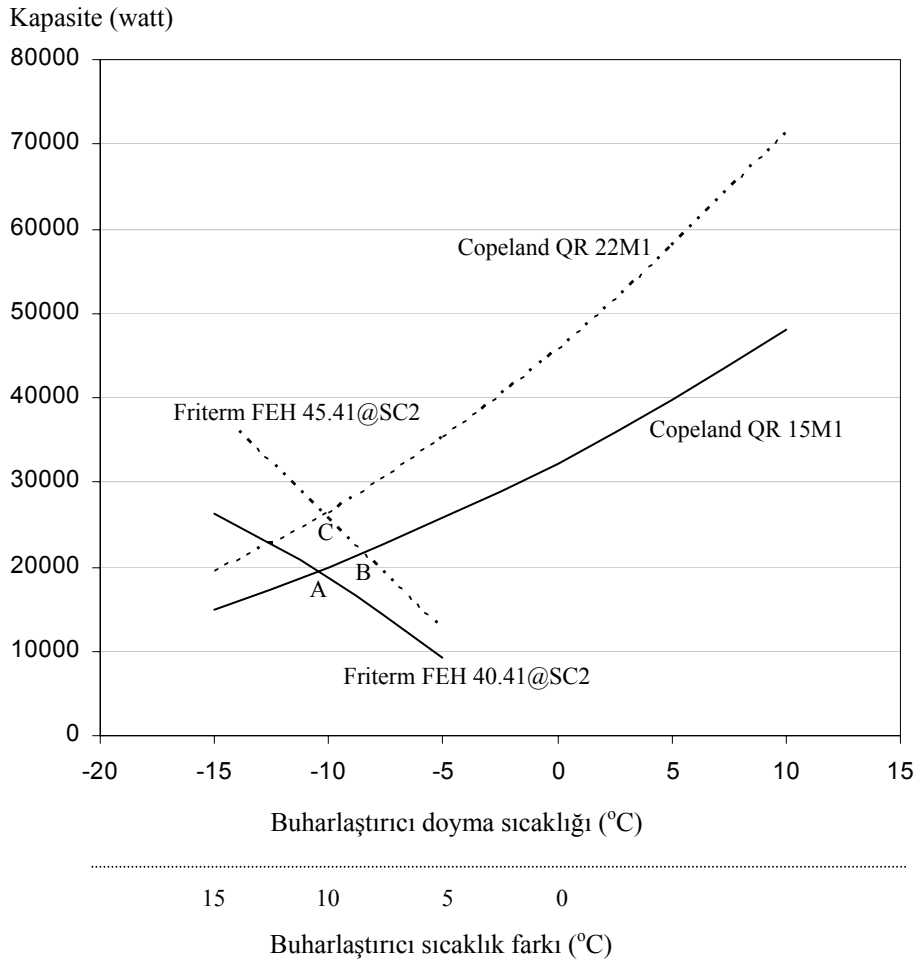
t_{buh} (^{o}C)	-15	-10	-5	0	5	10
$Q_{yoğ}$ (watt)	14970	19860	25690	32280	39860	48030

BULGULAR VE TARTIŞMA

Buharlaştırıcı ve yoğuşma grubu kapasite grafiklerinin kesiştiği nokta sistem denge noktasıdır. Bu örnekte denge noktasında 19300 watt kapasite oluşurken, 10,5K civarında bir BSF ve –10,5^{o}C civarında bir emiş doyma sıcaklığı elde edilebilmektedir. Denge noktasında elde edilen kapasite sistemde hesaplanan kapasiteden bir miktar büyük olduğundan uygun olduğu söylenebilir. Denge noktasında elde edilen buharlaştırıcı sıcaklık farkı (BSF) 10,5 K karşılık gelen oda izafi nemi % 75 civarında olup tasarım koşullarına uygundur. Şekil 2'de görüldüğü gibi, emiş sıcaklığı yükseldikçe buharlaştırıcı sıcaklık farkı düşmektedir. Buna bağlı olarak, emiş sıcaklığı arttıkça buharlaştırıcı kapasitesi düşmekte, yoğuşma grubu (kompresör) kapasitesi ise yükselmektedir.

Benzer şekilde emiş sıcaklığı düştükçe, buharlaştırıcı sıcaklık farkı ve buharlaştırıcı kapasitesi artmakta, yoğuşma grubu kapasitesi ise düşmektedir. Bu iki kapasite eğrisinin kesiştiği nokta sistemin denge noktasını göstermektedir. Bu örnekte buharlaştırıcı ve yoğuşma grubu kapasiteleri sistem tasarım şartlarında eşit kapasitelerde seçildiğinden, sistem denge noktası sistem tasarım şartlarına çok yakın oluşmuştur. Daha önce belirtildiği gibi, tasarım şartlarında buharlaştırıcı ve yoğuşma grubu kapasiteleri farklı değerlerde seçilmişlerse, buna bağlı olarak da sistem denge noktası tasarım şartlarının dışında oluşacaktır. Örneğin Friterm Firmasının SC2 aralığında FEH 40.41 Model numaralı buharlaştırıcı yerine, FEH 45.41 Model buharlaştırıcı seçildiğini varsayalım. Bu model -10 ^{o}C buharlaşma ve 10 K BSF çalışma şartlarında k =1,23 düzeltme katsayısı ile 20754 watt'lık SC2 aralığında nominal kapasitesinin uygulamada 1,23·20754=25527,42 watt vereceği görülür.

Yoğuşma grubu kapasitesi ise tasarım şartlarında 19860 watt değerinde olduğundan, buharlaştırıcıda yoğuşma grubu tarafından çekilebilecek buhar miktarından daha fazla buhar üretilecektir. Dolayısıyla sistem bu noktada dengeye varamayacaktır. Bu modelin farklı buharlaştırıcı sıcaklık farklarında verdiği kapasite değişimi Tablo 8'de verilmiştir.



Şekil 2. Seçilen elemanlardan oluşan sistemin dengelenmesinin grafik analizi.

Tablo 8. Buharlaştırıcı Sıcaklık Farkına Göre Buharlaştırıcı Kapasite Değerleri

$BSF = t_{oda} - t_{buh}$	5	10	14
k	0,61	1,23	1,73
Düzeltilmiş kapasite $Q_b = k \times Q_{b\,nom}$ (watt)	12659,44	25527,42	35904,42

Şekil 2'de FEH 45.41 model buharlaştırıcı ile QR15 M1 model kompresörün kapasite eğrilerinin kesişimi olan B noktasında bu durum kolayca gözlenebilir.

Yoğuşma grubu tarafından tümü buharlaştırılamayan buharlaştırıcıdaki buhar soğutucu akışkan, buharlaştırıcı birikerek, sistemin buharlaştırıcı sıcaklık ve basıncını arttıracaktır. Artan buharlaştırıcı sıcaklığı emiş doyma sıcaklığını yükseltirken, aynı zamanda buharlaştırıcı sıcaklık farkını (BSF) düşürecek, yoğuşma grubu kapasitesi artacak ve buharlaştırıcı kapasitesi azalacaktır. Tüm bunlara bağlı olarak sistem denge noktası Şekil 2'de gösterildiği gibi "B Noktasında" oluşacaktır. Bu yeni denge noktasında emiş doyma sıcaklığı yükselerek yaklaşık -8,5^{o}C'ye ulaşacaktır. Buharlaştırıcı sıcaklık farkı da 8,5 K değerine düşecektir. Yani bir önceki denge noktasında oluşan 10,5 K'lik BSF değerinden 2 K'lik bir düşüş söz konusu olacaktır. Buna bağlı olarak oda izafi nem seviyesinde bir artış kaçınılmaz olacaktır. Diğer yandan denge noktasında oluşan soğutma kapasitesi de yaklaşık 21500 watt olur ki, bu daha önce hesaplanan 18500 watt'lık soğutma kapasitesinden yaklaşık %16 daha büyüktür. Buna bağlı olarak sistemin günlük çalışma süresi daha kısa olacaktır. Örneğin soğutma yüklerinin hesaplanmasında günde 16 saat çalışma esasına uyulmuşsa, bu durumda sistemin günde yaklaşık 13,4 saat çalışacağı söylenebilir.

Buharlaştırıcının daha yüksek bir kapasitede seçilmesi ile ortaya çıkan bu durumda sistemin tatmin edici bir performans gösterip göstermeyeceği sorusu gündeme gelecektir. Bu uygulamaya bağlı olarak değişebilen bir durum olmakla beraber, bir çok durumda muhtemelen performans olumsuz etkilenecektir. Bunun birkaç nedeni vardır: öncelikle sistem denge noktasında buharlaştırıcı sıcaklık farkının azalmasından kaynaklanan oda izafi nemindeki artma dikkate alınmalıdır. Bilindiği gibi soğuk muhafaza koşullarının iki önemli parametresinden biri izafi nemdir.

Soğuk odalarda sıcaklık değeri kadar oda izafi neminin de belli aralıklarda tutulması istenilir. Dikkate alınması gereken diğer bir nokta da sistem yeni denge noktasında ortaya çıkan yaklaşık %16'lık artıştır. Buna bağlı olarak günlük çalışma süresinde de bir kısalma ortaya çıkacaktır. Bu esas itibarı ile ekipman üzerine ciddi bir sorun yaratmamakla beraber, kısa süreli çalışma rejimi yüksek izafi nem sorununu özellikle kış mevsiminde arttıracak niteliktedir. Sonuçta özellikle oda izafi nem seviyesinin kritik olduğu uygulamalarda sistemin performansının yeterli olmayacağı söylenebilir.

Bu durumda sistemde oda sıcaklık ve izafi nem değerlerini tasarım şartlarına getirebilmek için iki çözüm ortaya çıkmaktadır: ya yoğuşma grubu kapasitesi buharlaştırıcı kapasitesine yükseltilecek, yada buharlaştırıcı kapasitesi düşürülecektir. Bu iki çözümden hangisinin en tatmin edici sonucu vereceği toplam sistem kapasitesi ile hesaplanan sistem kapasitesi arasındaki ilişkiye bağlıdır. Şekil 2'den görülebileceği gibi, gerek yoğuşma grubunun gerekse buharlaştırıcının kapasitesinin arttırılması, sistem denge noktasında toplam sistem kapasitesinde bir yükselmeye yol açarken, yoğuşma grubunun yada buharlaştırıcının kapasitesinin düşürülmesi ise, toplam sistem kapasitesinde bir azalmaya yol açmaktadır.

Şekil 2'den görüldüğü gibi, yoğuşma grubu QR22 M1 modelle değiştirilerek kapasitesi oda sıcaklık ve izafi nem değerlerini tasarım şartlarına getirebilecek kadar yükseltilecek olursa, denge noktası B'den C noktasına çıkacaktır. Diğer yandan buharlaştırıcı kapasitesi yoğuşma grubu kapasitesine çekilirse, bu kez denge noktası A'ya gelecektir. Burada hem A hem de C noktası tasarım şartlarında oda sıcaklık ve

izafi nem değerlerini karşılamakla beraber, C noktasında toplam sistem kapasitesinin hesaplanan kapasiteden oldukça yüksek olduğuna dikkat edilmelidir. Bu nedenle yoğuşma grubunun kapasitesinin arttırılması yolu tavsiye edilmez. Aşağıda QR22 M1 kompresörünün buharlaştırıcı sıcaklığı değerlerine bağlı olarak kapasite değişimi Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Buharlaştırıcı Doyma Sıcaklığına Bağlı Kapasite Değerleri

t_{buh} (^{o}C)	-15	-10	-5	0	5	10
$Q_{yoğ}$ (watt)	19340	26280	35160	45760	57880	71280

SONUÇLAR

Soğutma sisteminde sistemin buharlaştırıcı ve yoğuşma grupları eşdeğer kapasitelerde seçilmelidir. Soğuk muhafaza uygulamalarında ürünün muhafaza sıcaklığı kadar, muhafaza izafi nem değerleri de dikkate alınmalıdır. Bir soğutma sisteminde buharlaştırıcı ve yoğuşma grupları eşdeğer kapasitelerde değilse, aşağıda tablolandığı şekilde toplam sistem kapasitesi, emiş sıcaklığı, buharlaştırıcı sıcaklık farkı ve oda % izafi nemi değerlerinde değişiklikler ortaya çıkacaktır. Oluşabilecek değişiklikler Tablo 10'da verilmektedir.

Tablo 10. Sistem Denge Noktasında Ortaya Çıkabilecek Değişimler

	Sistem denge noktasında ortaya çıkabilecek değişimler			
	Toplam sistem kapasitesi	Emiş doyma sıcaklığı	Buharlaştırıcı sıcaklık farkı (BSF)	Oda % bağıl nemi
Buharlaştırıcı kapasitesi yoğuşma grubu kapasitesinden yüksek.	Artar.	Artar.	Düşer.	Artar.
Buharlaştırıcı kapasitesi yoğuşma grubu kapasitesinden düşük.	Düşer.	Düşer.	Artar.	Düşer.
Yoğuşma grubu kapasitesi buharlaştırıcı kapasitesinden yüksek.	Artar.	Düşer.	Artar.	Düşer.
Yoğuşma grubu kapasitesi buharlaştırıcı kapasitesinden düşük.	Düşer.	Artar.	Düşer.	Artar.

KAYNAKLAR

Althouse A.D., Turnquist C.H., Bracciano A. F., 1988. Modern Refrigeration and Air Conditioning, The Goodheart-Willcox Company, Inc., South Holland, IL, USA.

Anonim, 2001. Copeland-Hermetik Kompresör Seçim Katalogu.

Anonim, 2000. Friterm Termik Cihazlar Oda Soğutucuları Seçim Katalogu.

Dossat R.J., 1981. Principles of Refrigeration-Second Edition-SI Version, John Wiley & Sons Inc., New York, USA.

Miller R., 1983. Refrigeration and Air Conditioning Technology, Bennett Publishing Company. Peoria, IL, USA.

Özkol N., 1987. Uygulamalı Soğutma Tekniği, TMMOB Mak. Müh. Odası Yayınları No: 115, Ankara.