

SOĞUTMA SİSTEM ARIZALARININ P-H DİYAGRAMI YARDIMIYLA TEŞHİS EDİLMESİ

Hüseyin BULGURCU
Serkan YAŞAR

ÖZET

Bu çalışmada mekanik buhar sıkıştırırmalı bir soğutma sisteminde log p-h diyagramı yardımıyla nasıl arıza teşhisi yapıldığı gösterilmektedir. Bu yaklaşımın orijinal tarafı log p-h diyagramındaki sınırlı bilgi ile arıza teşhisi ile ilgili kuramsal bilgiler arasındaki boşluğu ortadan kaldırmasıdır. Bu yaklaşımla bir uzman personel bir soğutma sistemindeki arızaları tahmin edebilir. Deneysel çalışmada bir arıza bulma eğitim seti üzerinde 8 farklı arıza durumu oluşturulmuştur. Oluşturulan bu arıza durumları için ölçülen sıcaklık basınç ve debiler bir veri toplayıcı yardımıyla PC'ye aktarılmıştır. Arızalar durumlarını gösteren log p-h diyagramları CoolPack yazılımı kullanılarak çizilmiştir. Diyagramın normal çalışmadaki şekli ile arıza durumlarındaki şekli arasında önemli farklar olduğundan bu şekiller arasındaki farklılardan arıza tahminleri yapılabilmektedir. Bu eğitim seti İklimlendirme ve Soğutma Eğitimi veren okullarda ve meslek edindirme kurslarında verimli bir şekilde kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Soğutma arızaları, arıza arama, arıza bulma, log p-h diyagramı, arıza teşhisi.

ABSTRACT

This paper shows how to use the p-h diagram successfully for diagnosing faults in the vapor compression refrigeration cycle. The originality of this approach is to be able to remove the gap between the information required to apply a general theory of diagnosis and the limited information on the p-h diagram. Through this approach, an expert may interpret the failures of the refrigeration systems. This trainer has been designed for training the students at the Air Conditioning and Refrigeration Departments and eight artificial faults can be implemented on it. Cycles on the p-h diagrams can be plotted with the help of CoolPack software. The difference between normal and faulty conditions can be viewed through the diagram.

Keywords: Refrigeration failures, fault detection, fault diagnosing, log p-h diagram, troubleshooting.

GİRİŞ

1980'li yılların sonunda İklimlendirme ve Soğutma (IKS) sistemlerinin çalışmasında arıza teşhisi için ilk olarak kural tabanlı uzman sistemler kullanılmaya başlandı. 1990'lı yılların sonuna doğru otomatik arıza kontrol ve teşhisi etkin olmaya başladı. Bir IKS çalışma operasyonundaki giriş ve çıkışlar, dış girişler ile matematiksel olarak otomatik regresyon (ARX) ve yapay sinir ağları modellerine (ANN) ve diğer geliştirilen modellere uyumludur. ARX ve ANN modellerinin her ikisi de siyah kutu olarak isimlendirilir, çünkü operasyon prosesleri ile ilgili daha az fiziksel bilgi gerektirir. Bu teknolojiler laboratuvar ve alan testlerinden sonra ticari olarak kullanılabilir.

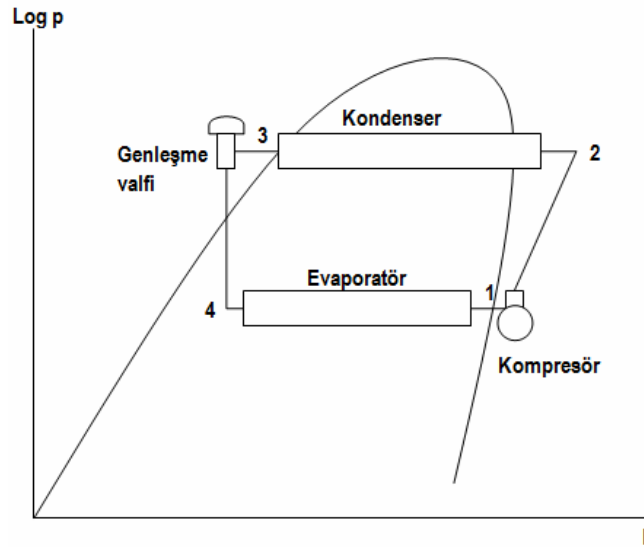
Başarılı bir arıza bulmanın anahtarı, iklimlendirme-soğutma (İSK) sistemlerinin nasıl çalıştığını ve her elemanın bu sistemlerde nasıl bir işleve sahip olduğunu bilmektir. Çünkü soğutma sistemleri borularla birleştirilen en az dört elemana sahip olduğundan bir elemanda oluşan arızanın diğer elemanları nasıl etkileyeceğini tahmin etmek gerekir. Bir elemandaki arıza diğer elemanlarda da arızalara neden olabilir. Soğutma sisteminin termodinamik çevriminin iyi bilinmesi, başarılı arıza teşhisi için zorunluluktur.

Soğutma sistemlerinde eleman arızalarının yanında dış faktörler de problemlere neden olabilmektedir. Bu faktörleri hava, su ve enerji olarak sıralamak mümkündür. Çalıştırma işlemleri ve havadaki önemli değişiklikler de sistem üzerinde etkili olur. Yük değişimleri de daha ileri problemlere neden olabilir. Bu durumların bir veya birden fazlası aynı anda etkili olabilir. Böylece sistem performansı ile ilgili bilgiler hayati önem taşır [1].

Bu araştırmanın hedefi bir soğutma arıza bulma deney seti üzerinde çeşitli yapay arızalar oluşturup bu arızaların sistem performansını nasıl etkilediğini test etmektir. Sistem çalışma şartları izlenmiş ve performans parametreleri kaydedilmiştir. Sekiz farklı arıza oluşturulmuştur: (1) kompresör arızası, (2) kompresör supap kaçakları, (3) tıkalı filtre-kurutucu, (4) tıkalı genleşme valfi, (5) eksik soğutucu akışkan şarjı, (6) fazla soğutucu akışkan şarjı, (7) kirli kondenser, (8) evaporatör fan arızası.

İKLİMLENDİRME-SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE ARIZA DENETİMİ VE TEŞHİSİ

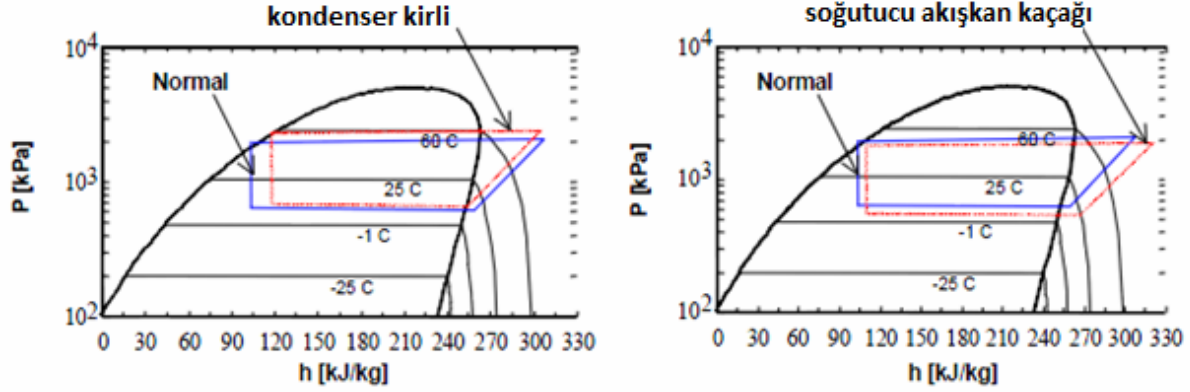
Basınç ve sıcaklık okumaları teşhis için son derece değerli bilgi kaynağıdır. Bu okumalar Şekil 2'deki soğutma çevrimine ait p-h diyagramında 1, 2, 3 ve 4 noktalarının bulunmasını sağlar. Kompresör, genleşme valfi veya diğer sistem elemanlarının performansını analiz edebilmek için bu verilerin bulunması gereklidir [2].



Şekil 2. P-h Diyagramındaki Soğutma Çevrimi Üzerinde Önemli Cihaz Kontrol Noktaları

Bazı araştırmacılar hataları teşhis etmek için termodinamik etkisinin kullanmayı önerdi. Sabit orifisli bir genleşme valfine, aç-kapat çalışan bir pistonlu kompresöre, sabit hava akışına sahip evaporatör ve kondensere sahip, soğutucu akışkan olarak R-22 kullanan paket tip bir klima olduğunu düşünelim. Şekil 3.'teki p-h diyagramı üzerinde kararlı çalışma durumları için normal, kirli kondenserli ve eksik soğutucu akışkan şarjlı durumlar için çevrim noktalarını göstermektedir. Kondenser kirlenmesi eşdeğer daha küçük kondensere sahip olduğunu gösterir ve normalden daha fazla yoğunlaşma basınçları ve sıcaklıkları oluşur. Sistemde sabit kesitli genleşme valfi bulunduğu için daha yüksek yoğunlaşma basıncı evaporatör ile kondenser arasındaki basınç farkını artırır, soğutucu akışkan debisini de artırır. Ayrıca soğutucu akışkan debisinin artması, kondenserdeki aşırı soğutmayı ve evaporatördeki

kızgınlığı azaltır ve buharlaşma sıcaklığı artar. Tersine soğutucu akışkan eksikliği sistemdeki buharlaşma ve yoğunlaşma sıcaklıklarını düşürür. Düşük buharlaşma basıncı ve ona bağlı buhar yoğunluğu soğutucu akışkan debisinin düşmesine, kızgınlığın yükselmesine dolayısıyla kompresör basma hattı sıcaklığının artmasına neden olur. Bu örnek göstermektedir ki kondenser kirliliği ve eksik soğutucu akışkan şarjı termodinamik etkileri yardımıyla fark edilebilir [3].



Şekil 3. Arızaların Termodinamik Durumlara Etkisi[4]

Soğutma sistem performansını analiz etmek için dört nokta sıcaklıkları, alçak ve yüksek taraf basınç değerleri, kütleli debi, akım, voltaj, güç katsayısı ölçümleri gereklidir. Bu ölçümler ile evaporatör, kondenser ve kompresör kapasiteleri, soğutma tesir katsayısı (STK_{el}), izentropik ve hacimsel kompresör verimleri hesaplanabilir. Buna ilave olarak bu diyagram yardımıyla eksik ve fazla soğutucu akışkan şarjı, genişleme valfi ve filtre-kurutucu tıkanması, düşük hacimsel verim ve kirliliği kondenser arızaları tespit edilebilir.

Normal çalışma şartlarında sıcaklık T (°C); basınç P (Pa); hacimsel debi \dot{V} (m³/s); veya kütleli debi \dot{m} (kg/s) gibi ölçülen çalışma parametreleri ile olması gereken (hesaplanan, benzeştirilen veya ayarlanan) değerler (sıcaklık T_{exp} , basınç P_{exp} , hacimsel debi \dot{V}_{exp} , veya kütleli debi \dot{m}_{exp}) arasındaki fark artık değer olarak adlandırılır. Bir arıza durumu bu artık değerlerin analizi ve incelenmesi ile belirlenebilir [1].

Bir artık sıcaklık T_{res} (°C), bir artık basınç P_{res} (Pa), veya artık hacimsel debi \dot{V}_{res} (m³/s) aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$T_{res} = T - T_{exp} \quad (1)$$

$$P_{res} = P - P_{exp} \quad (2)$$

$$\dot{V}_{res} = \dot{V} - \dot{V}_{exp} \quad (3)$$

Buradaki exp indisi beklenen (tahmin edilen) anlamındadır ve T_{exp} , P_{exp} , ve \dot{V}_{exp} birimleri T , P , ve \dot{V} ile aynıdır. Bir arıza bulma ve teşhis sisteminde ölçülen çalışma parametrelerinin birçoğu bir enerji yönetim ve kontrol sisteminde (EMCS) de izlenen parametrelerle (hissedilen veya ölçülen) benzerdir.

Etkin belirti farklı tipteki arızalar için aynı büyüklükte olabilmesi için artık değerler sıklıkla normalleştirilir. Artık değer R şu şekilde normalleştirilir:

$$R_{nor} = \frac{R - R_{min}}{R_{max} - R_{min}} \quad (4)$$

Burada R_{nor} normalleştirilmiş değer olup sırasıyla R_{max} ve R_{min} maksimum ve minimum artık değerlerdir.

STANDART BİR BUHAR SIKIŞTIRMALI SOĞUTMA SİSTEMİNİN ANALİZİ

Standart bir soğutma sisteminin basit bir analizi bazı kabuller yapılarak gerçekleştirilebilir a) Kararlı akış; b) her elemandaki kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilebilir ve c) boru hatlarında ısı geçişi yoktur. Kararlı durum akış enerji eşitliği dört elemana uygulanabilir.

Evaporatör: Evaporatördeki ısı kapasite veya soğutma kapasitesi \dot{Q}_e aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\dot{Q}_e = \dot{m} (h_1 - h_4) \quad (5)$$

Burada soğutucu akışkanın kg/s olarak kütleli debisidir ve h_1 ve h_4 evaporatörün giriş ve çıkışındaki özgül entalpilerdir (kJ/kg).

Kompresör: Kompresörün güç girişi, \dot{W}_c şu şekilde verilir:

$$\dot{W}_c = \dot{m} (h_2 - h_1) \quad (6)$$

Burada h_2 ve h_1 kompresörün giriş ve çıkışındaki özgül entalpi (kJ/kg) değerleridir. Çevrimin herhangi bir noktasındaki soğutucu akışkanın kütleli debi değeri \dot{m} hacimsel debi ve özgül hacim terimleriyle yazılabilir. Kompresör girişine kütleli debi eşitliği uygulanırsa,

$$\dot{m} = \frac{\dot{V}_1}{v_1} \quad (7)$$

Burada \dot{V}_1 kompresör girişindeki hacimsel debi ve v_1 kompresör girişindeki özgül hacimdir.

Sıkıştırma oranı şu şekilde verilir:

$$\varepsilon = \frac{P_c}{P_e} \quad (8)$$

Burada P_c mutlak yoğunlaşma basıncı ve P_e mutlak buharlaşma basıncıdır.

Kompresörün hacimsel verimi:

$$\eta_v = \frac{\dot{m}_r \dot{V}_1}{V_c n / 60} \quad (9)$$

Burada V_c kompresör silindir hacmidir veya ($7,95 \times 10^{-6} \text{ m}^3$) ve n kompresör devir sayısıdır (2800 rpm).

Kompresör izentropik verimi şu şekilde tanımlanır:

$$\eta_s = \frac{\dot{W}_s}{\dot{W}_c} \quad (10)$$

Burada \dot{W}_s kompresörün izentropik işidir.

Kondenser: Kondenserdeki ısı geçiş kapasitesi, \dot{Q}_c şu şekilde açıklanır:

$$\dot{Q}_c = \dot{m}(h_2 - h_3) \quad (11)$$

Burada h_2 ve h_3 sırasıyla kondenserin giriş ve çıkışındaki özgül entalpi değerleridir.

Genleşme cihazı: Genleşme valfindeki kısma işlemi sırasında çevre ile ısı geçişi olmadığı farz edilir ve daha önce açıklandığı gibi kinetik ve potansiyel enerji değişimi ihmal edilebilir. Böylelikle aşağıdaki eşitliği yazabiliriz.

$$h_3 = h_4 \quad (12)$$

Genleşme cihazının çıkıştaki durumu iki fazlı bölgeye kayar. Şu eşitlik yazılabilir:

$$h_4 = (1 - x_4)h_{f,e} + x_4h_{g,e} = h_f + x_4h_{fg} \quad (13)$$

Burada x_4 4 noktasındaki soğutucu akışkanın kuruluk derecesidir $h_{f,e}$, $h_{g,e}$ ve h_{fg} sırasıyla doymuş sıvı entalpisini, doymuş buhar entalpisini ve evaporatör basıncında gizli buharlaşma ısısıdır.

Soğutma sistemi için evaporatör yükünü kompresör güç girişine bölerek soğutma tesir katsayısı bulunur:

$$COP = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{W}_c} \quad (14)$$

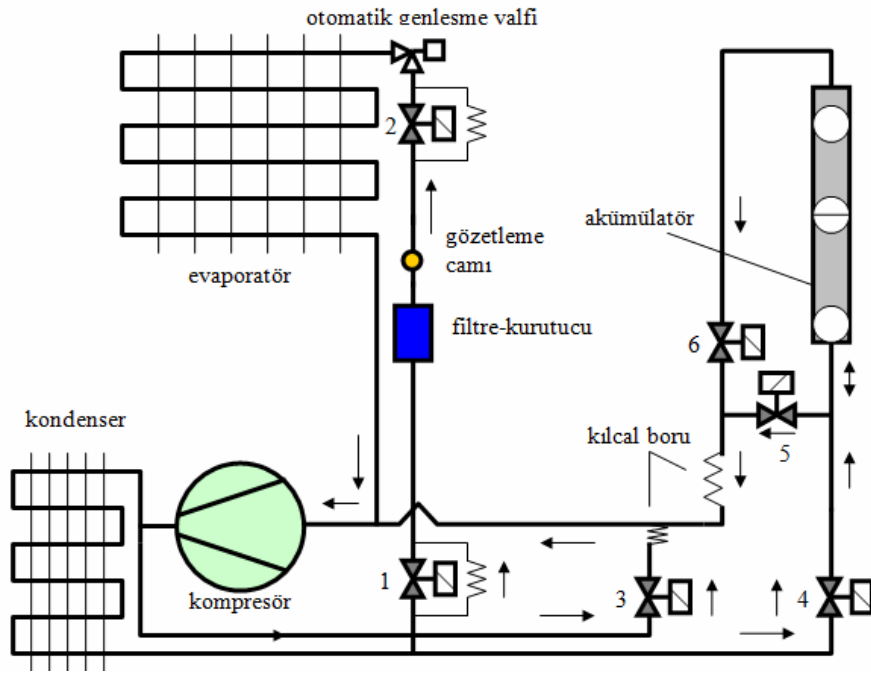
Diğer taraftan soğutma tesir katsayısı evaporatör yükü tüm sistem için harcanan elektriksel güç değerine bağlı olarak da hesaplanabilir:

$$COP_{el} = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{W}_{el}} \quad (15)$$

Burada \dot{W}_{el} kompresör, kondenser ve evaporatör fanlarının harcadığı elektrik güç girişlerinin toplamıdır.

DENEY DÜZENEGİNİN TANITILMASI

Soğutma arıza bulma deney cihazı bir hermetik kompresör, bir lamelli tip hava soğutmalı kondenser, bir otomatik genleşme valfi ve bir adet fanlı evaporatörden oluşmuş olup Şekil 4 ve Şekil 5'te gösterilmiştir. Sistem 600 gram R-134a ile şarj edilmiştir.



Şekil 4. Soğutma Arıza Bulma Deney Seti Şeması (OGV: Otomatik genişleme valfi, SV: Solenoid valf)



Şekil 5. Soğutma Arıza Bulma Deney Seti [5]

Kompresör devir başına 7.95 cm^3 silindir hacmine sahiptir ve ortalama devir sayısı 2800 d/d'dır. Hava soğutmalı kondenser 0.075 m^2 ısı transfer yüzeyine sahiptir. Evaporatör alüminyum kanatçıklarla kaplı bakır borudan yapılmıştır. Soğutma yükü evaporatörün çevre havasından soğurduğu ısı ile sağlanmaktadır.

Sabit basınçlı (otomatik) genişleme valfi evaporatör basıncına bağlı olarak çalışır. Bu valf soğutucu akışkanın evaporatöre sabit basınçta verilmesini sağlar. İstenen buharlaşma basıncı valf üzerindeki ayar vidası yardımıyla ayarlanır [6].

Şekil 4 ve Şekil 5'te görülen soğutma arıza bulma deney setinde kompresör soğutucu akışkanı kondensere basar. Bir fanı kondenser üzerinden hava emer. Soğutucu akışkan 1 no'lu solenoid valf üzerinden filtre-kurutucuya, gözetleme camına, 2 no'lu solenoid valfe, genişleme valfine ve ardından evaporatöre geçer. Bir diğer fan evaporatör üzerinden soğuk havayı üfler. Soğutucu akışkan emme hattından kompresöre geri döner. Sıvı haldeki soğutucu akışkan diğer hattan 4 no'lu solenoid valfe ve oradan sıvı akümülatörüne geçer. Akümülatör alt ve üst taraftan soğutma sistemine bağlıdır. 4 ve 6 no'lu vanalar açıldığında soğutucu akışkan akümülatöre verilir. 5 veya 6 no'lu solenoid vanalar açıldığında soğutucu akışkan emme hattından sisteme verilir. 3 no'lu solenoid vana açıldığında kızgın buhar halindeki soğutucu akışkan basma hattından doğrudan emme hattına verilir.

Tüm sıcaklık okumaları PTC tip termistörler yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Sıcaklıklar her ana elemanın giriş ve çıkışından termistörler doğrudan soğutucu akışkana temas edilerek yapılmıştır. Soğutucu akışkan kütleli debisi sıvı hattına yerleştirilen türbin tipi bir debimetre ile ölçülmüştür.

Bu deney seti farklı soğutma arızaları oluşturmak için tasarlanmıştır. Toplam sekiz farklı arıza oluşturulabilir. Bu arızalar ve kısaltmaları Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Arıza Listesi ve Kısaltmalar

ARIZALAR	KISALTMALAR
Kompresör arızalı	KA
Filtre-kurutucu tıkalı	FKT
Genişleme valfi tıkalı	GVT
Kompresör supapları kaçak yapıyor	KSK
Eksik soğutucu akışkan şarjı	ESA
Aşırı soğutucu akışkan şarjı	ASA
Kirli kondenser	KK
Evaporatör fan arızası	EFA
Normal şartlar (Arıza yok)	NK

DENEYLER

Arıza bulma deney setindeki arıza durumlarını daha iyi anlayabilmek için normal çalışma şartlarında p-h diyagramının halini bilmek gereklidir. Deneyler iklimlendirilmiş bir ortamda 25°C ortam sıcaklığında ve evaporatör ortama açık halde yapılmıştır. Böylelikle çalışma basınçları ve sıcaklıkları kış şartlarına göre daha yüksek olmuştur.

P-h diyagramı üzerindeki çevrimler CoolPack yazılımı yardımıyla çizilmiştir [7]. Normal koşullardaki (NK) çevrim, arıza hallerindeki çevrimler ile mukayese edilebilmesi için kesikli çizgilerle çizilmiştir. Ham veriler Tablo 2'de, hesaplanmış veriler ise normal çalışma koşullarına (NK) göre yüzdelikli olarak Tablo3'te gösterilmiştir.

Tablo 2. Deney Verileri

Ölçümler	Evap. basıncı P_e [kPa]	Kond. basıncı P_c [kPa]	T_1 [°C]	T_2 [°C]	T_3 [°C]	T_4 [°C]	T_s [°C]	\dot{m} [g/s]	I [A]	U [vol t]	$\cos \phi$
Arızalar											
KA	560	560	25	25	25	25	25	0	0	0	0
FKT	210	980	14,5	61,5	37,6	1,6	40	3,0	2,1	225	0,79
GVT	190	950	16,3	61,2	37,1	-0,2	40,7	2,7	2,07	226	0,78
KSK	280	860	10	63,3	34,5	7,6	41,5	2,9	2,13	225	0,80
ESA	190	860	20,1	62,5	34,1	-0,2	41	2,5	2,04	225	0,77
ASA	256	1090	6,2	50,5	40,3	5,7	32	2,6	2,19	226	0,81
KK	230	1300	17,1	70,4	48,9	3,6	42	3,6	2,19	224	0,82
EFA	195	840	0,5	36,5	33,8	0,5	24,4	3,4	2,08	226	0,77
NK	225	990	10	59	38,3	3,2	38,5	3,9	2,14	227	0,79

Tablo 3. Hesaplanmış Verilerin Normal Koşullara Göre Değişimi (%)

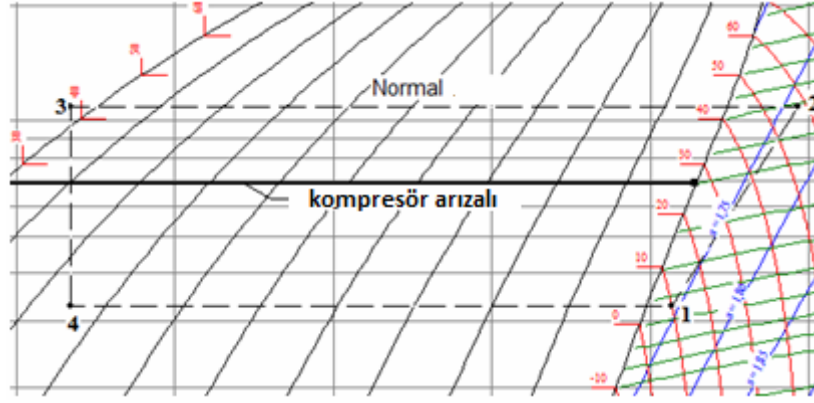
Ölçümler	Kızgınlık [K]	Aşırı soğutma [K]	\dot{Q}_e [W]	\dot{Q}_c [W]	\dot{Q}_{comp} [W]	W_{el} [W]	η_v [%]	η_s [%]	COP	COP_{el}	ε
Arızalar											
KA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
FKT	189	109	80	79	74	97	84	113	108	82	105
GVT	242	95	73	71	63	94	82	124	115	77	109
KSK	35	164	76	79	90	100	63	69	85	77	83
ESA	299	173	71	69	60	91	78	124	118	77	110
ASA	07	130	64	62	52	105	60	124	122	61	99
KK	199	82	86	88	94	106	94	121	91	83	126
EFA	0	77	87	83	65	94	93	124	133	92	95
NK	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tablo 4. Arıza Belirtileri

Belirtiler	Emme basıncı	hattı	Basma basıncı	hattı	Kızgınlık	Aşırı soğutma	Soğutucu akışkan debisi	Yüzey sıcaklığı
Arızalar								
KA	Yüksek		Düşük		Yok	Yok	Yok	Yok
FKT	Düşük		Kısmen düşük		Yüksek	Sabit	Düşük	Yüksek
GVT	Düşük		Kısmen düşük		Yüksek	Sabit	Düşük	Yüksek
KSK	Yüksek		Düşük		Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek
ESA	Oldukça düşük		Düşük		Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek
ASA	Yüksek		Yüksek		Düşük	Yüksek	Düşük	Düşük
KK	Kısmen yüksek		Yüksek		Yüksek	Düşük	Kısmen düşük	Yüksek
EFA	Düşük		Düşük		Yok	Kısmen düşük	Kısmen düşük	Oldukça düşük

Kompresör Arızalı (KA)

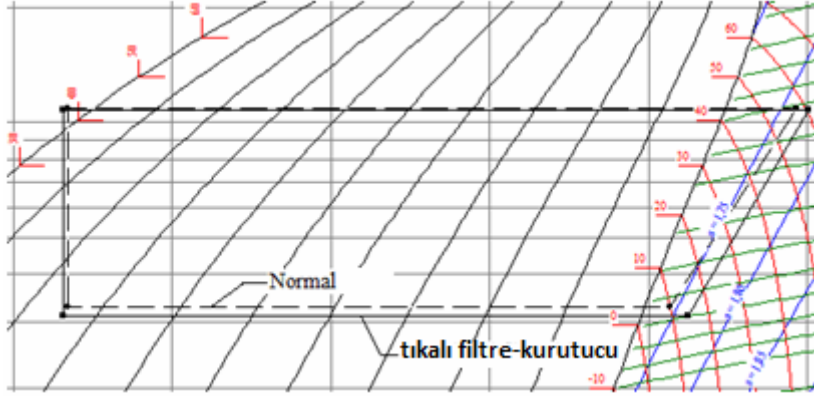
Kompresör arızalandığında basınç-entalpi (p-h) diyagramındaki soğutma çevrimi düz bir çizgi halinde görülür (Şekil 6.) Soğutucu akışkan sistemin her yanında sıvı + buhar karışımı halindedir ve ortam sıcaklığındadır. Basıncı ise sistemdeki soğutucu akışkan miktarına bağlı olarak değişebilir.



Şekil 6. Kompresör Arızası Durumunda p-h Diyagramındaki Soğutma Çevrimi

Filtre-Kurutucu Tıkalı (FKT)

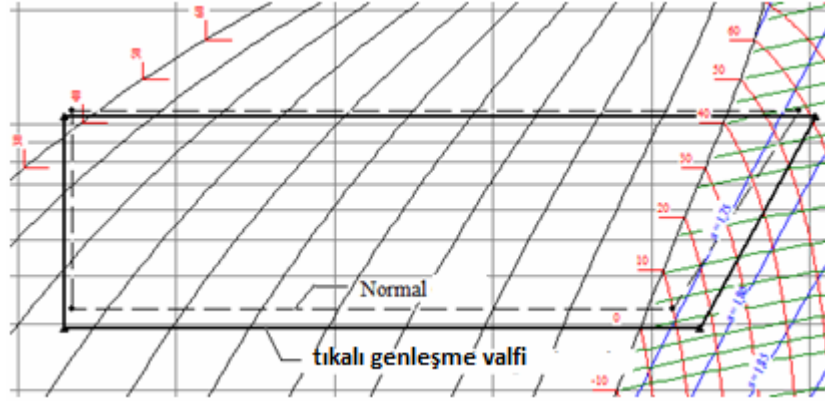
Şayet filtre-kurutucu tıkanırsa yüzeyi sıvı hattına göre soğuk olmaya başlar. Hem emme hattı hem de basma hattı basınçları düşer, kızgınlık ve aşırı soğutma artar. Sıvı hattında ilave kısma oluştuğundan soğutucu akışkan debisi azalır, dolayısıyla soğutma kapasitesi azalır. Şekil 7’de görüldüğü gibi arızalı çevrim normalden alt sağ kısımda ve daha geniş olur.



Şekil 7. Filtre-Kurutucu Tıkanması Durumunda p-h Diyagramındaki Soğutma Çevrimi

Genleşme Valfi Tıkanması (GVT)

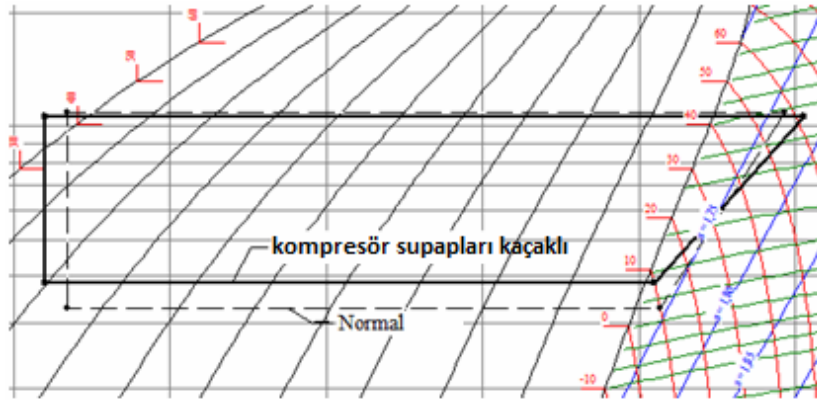
Otomatik genleşme valfi tıkanırsa yüzeyi aşırı karlanmaya başlar. Bu durumda emme ve basma hatlarındaki basınçlar düşerken tersine olarak kızgınlık ve aşırı soğutma değerleri artar. Soğutucu akışı daha fazla kısıtlandığından kütleli debi azalır, böylelikle soğutma kapasitesi de azalmış olur. Şekil 8’de görüldüğü gibi bu arızanın p-h diyagramındaki şekli normalden aşağıda ve daha geniştir.



Şekil 8. Genleşme Valfi Tıkanması Durumunda p-h Diyagramındaki Soğutma Çevrimi

Kompresör Supapları Kaçak Yapıyor (KSK)

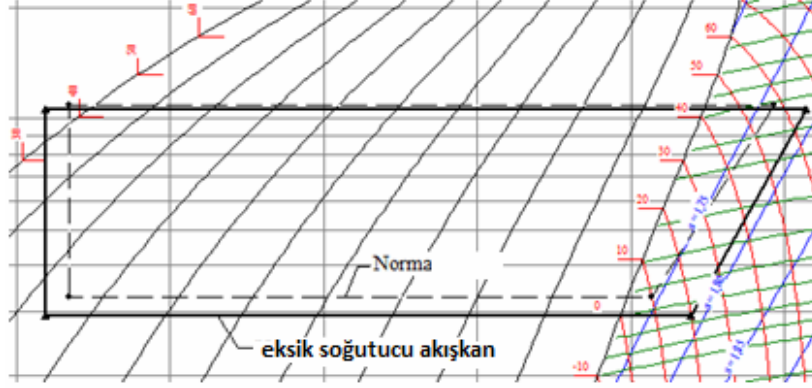
Kompresör supap kaçakları hasarlı silindir yüzeyleri, segmanlar ve tıkalı supaplardan kaynaklanır. Bu arıza bir direkt geçiş valfi (3) ile oluşturulur. Sıcak gazın bir kısmı kondensere uğramadan 3 no'lu valf üzerinden emme hattına geri verilir. Bu nedenle sistemde dolaşan soğutucu akışkanın kütleli debisi azalır. Emme hattı basıncı yükselirken basma hattı basıncı düşer, kızgınlık ve aşırı soğutma artar. Soğutucu akışkanın kütleli debisi azaldığı için soğutma kapasitesi düşer. Şekil 9'da görüldüğü gibi arızalı soğutma çevrimi normal çevrime göre ortaya kayar ve daha geniş olur.



Şekil 9. Kompresör Supapları Kaçak Yapıyor Arızası İçin p-h Diyagramındaki Çevrim

Eksik Soğutucu Akışkan Şarjı (ESA)

Bu tip bir arıza deney setindeki soğutucu akışkan akümülatöre gönderilerek oluşturulur. Soğutucu akışkan şarjı azaldığı için hem emme hem de basma hattı basınçları düşer, kızgınlık artarken aşırı soğutma azalır. Soğutucu akışkanın kütleli debisi azalır, böylece soğutma kapasitesi de azalır. Şekil 10'da görüldüğü gibi p-h diyagramındaki arızalı çevrim normalden aşağıya ve sol tarafa kayar.



Şekil 10. Eksik Soğutucu Akışkan Şarjı İçin Soğutma Çevrimi

Aşırı Soğutucu Akışkan Şarjı (ASA)

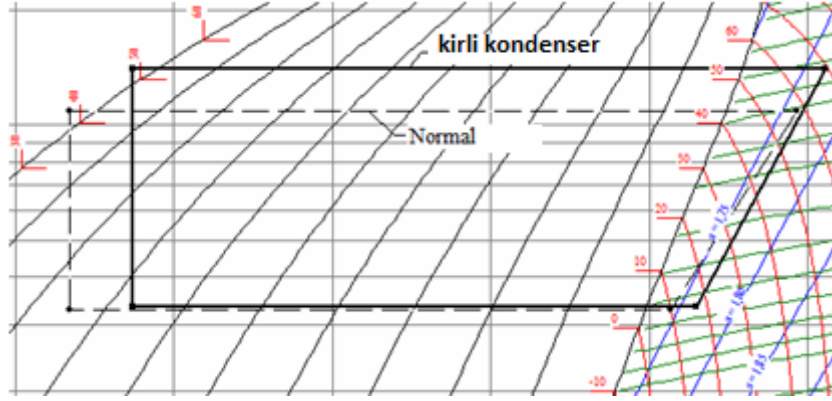
Bu arıza durumu oluşturma için akümülatördeki fazla soğutucu akışkan sisteme verilir. Soğutucu akışkan şarjı arttığında hem emme hattı hem de basma hattı basınçları artar, kompresörün çektiği akım da artar ve kızgınlık ve aşırı soğutma derecesi azalır. Soğutucu akışkan debisi ve soğutma kapasitesi artar. Soğutma çevrimi yukarı doğru kayar ve yanlardan daralır (Şekil 11).



Şekil 11. Aşırı Soğutucu Akışkan Şarjı Durumunda Soğutma Çevrimi

Kirli Kondenser (KK)

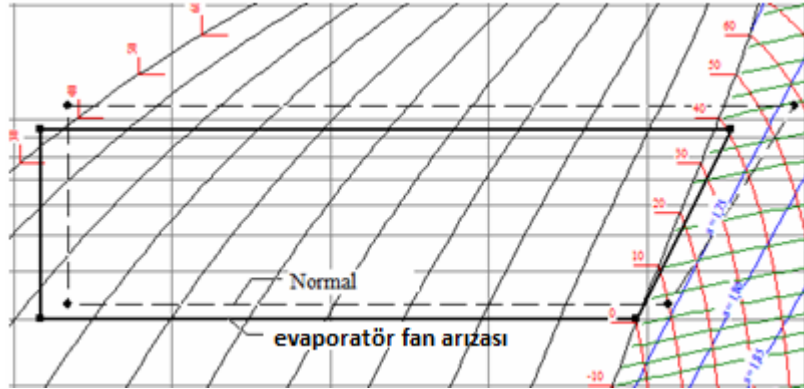
Kondenser yüzeyi yaprak, kâğıt, toz vb. maddelerle tıkanırsa ısı transfer kapasitesi azalır. Kondenser ön yüzeyindeki lamellerin %80'i kapatılarak bu arıza oluşturmuştur. Emme ve basma hatlarındaki basınçlar yükselir, kızgınlık artarken aşırı soğutma azalır. Diyagramdaki arızalı çevrim normalden yükseğe kayar ve yanlardan daralır (Şekil 12).



Şekil 12. Kirli Kondenser Durumu İçin Soğutma Çevrimi

Evaporatör Fan Arızası (EFA)

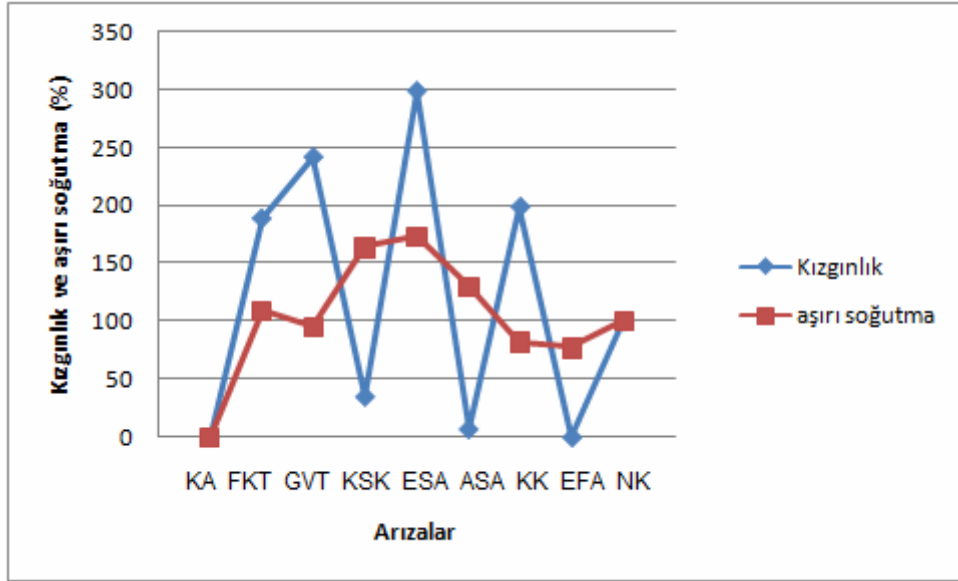
Şayet evaporatör fanı çalışmazsa evaporatördeki toplam ısı transfer katsayısı azalır. Soğutucu akışkan evaporatörde buharlaşamaz ve emme hattından kompresöre sıvı halde akar. Bu durum kompresör için oldukça tehlikelidir. Emme ve basma hattı basınçları düşer, kızgınlık aşırı şekilde düşerken aşırı soğutma derecesi artar. Sistemdeki alçak basınç anahtarı devreyi keserek kompresörü tehlikeden korur. Soğutma çevrimi Şekil 13'te görüldüğü gibi normalden aşağıya ve sola doğru kayar.



Şekil 13. Evaporatör Fan Arızası İçin p-h Diyagramındaki Soğutma Çevrimi

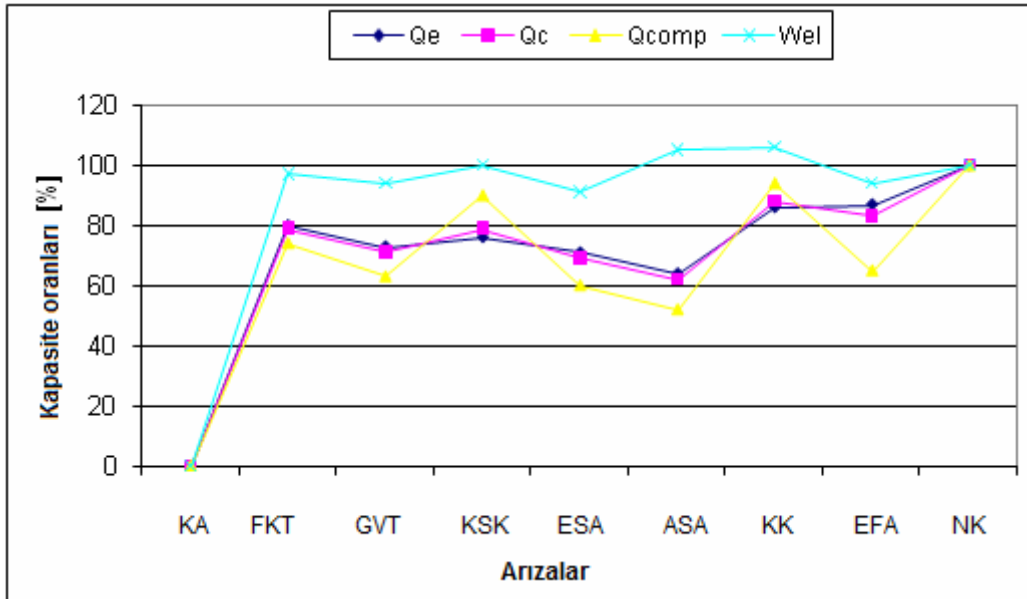
DENEY SONUÇLARI

Şekil 14 göstermektedir ki en yüksek kızgınlık "eksik soğutucu akışkan şarjı (ESA)" arızasında, en düşük kızgınlık değeri ise "aşırı soğutucu akışkan şarjı (ASA)" ve "evaporatör fan arızası (EFA)" durumlarında ortaya çıkmaktadır. Evaporatör verimi kızgınlık arttıkça azalır. Tersine kızgınlık düştükçe sıvı yürümesi oluşur ve kompresör için tehlike oluşturur. Şekil 14'te görüldüğü gibi en yüksek aşırı soğutma derecesi "eksik soğutucu akışkan (ESA)" durumunda, en düşük aşırı soğutma ise "aşırı soğutucu akışkan şarjı (ASA) ve evaporatör fan arızası (EFA) durumlarında ortaya çıkmaktadır.



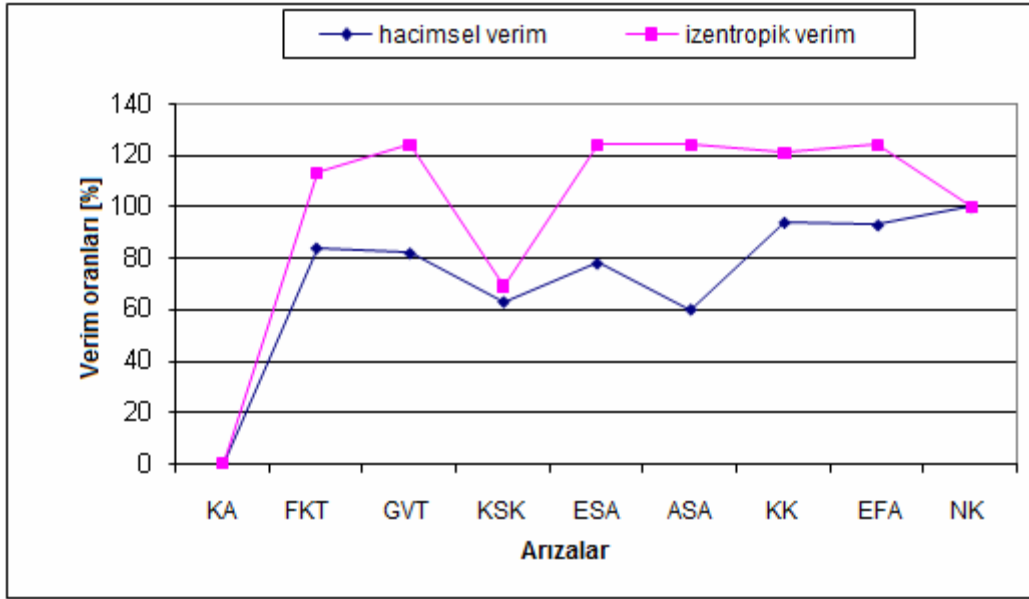
Şekil 14. Farklı Arıza Durumları İçin Kızgınlık ve Aşırı Soğutma Derecelerinin Değişimi

Şekil 15'te gösterildiği gibi evaporatör, kondenser, kompresör kapasiteleri ve kompresör elektriksel giriş gücü parametreleri arıza tiplerine bağlı olarak değişim göstermektedir. En düşük kapasite değerleri "eksik soğutucu akışkan şarjı (ESA)" durumunda ortaya çıkmaktadır ve evaporatör, kondenser ve kompresör kapasitelerindeki değişimler birbirine paralel olarak değişir. Ayrıca en düşük evaporatör ve kondenser kapasiteleri ve en büyük kompresör elektrik giriş gücü "aşırı soğutucu akışkan şarjı (ASA)" durumunda ortaya çıkmaktadır.



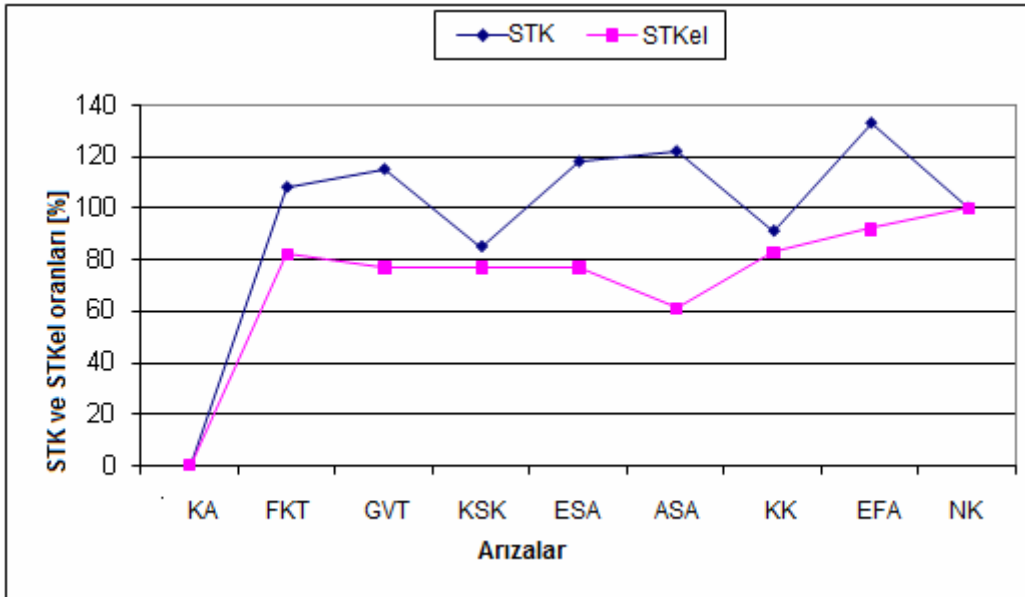
Şekil 15. Arıza Durumlarında Evaporatör, Kondenser, Kompresör Kapasiteleri ve Kompresör Elektriksel Giriş Gücü Değişimleri

Arıza durumlarında izentropik ve hacimsel verim değişimleri Şekil 16'da gösterilmiştir. Bu şekil göstermektedir ki en büyük verim değerleri "evaporatör fan arızası (EFA)" durumunda, en düşük verimler "kompresör supapları kaçak yapıyor (KSK)" durumunda oluşmaktadır.



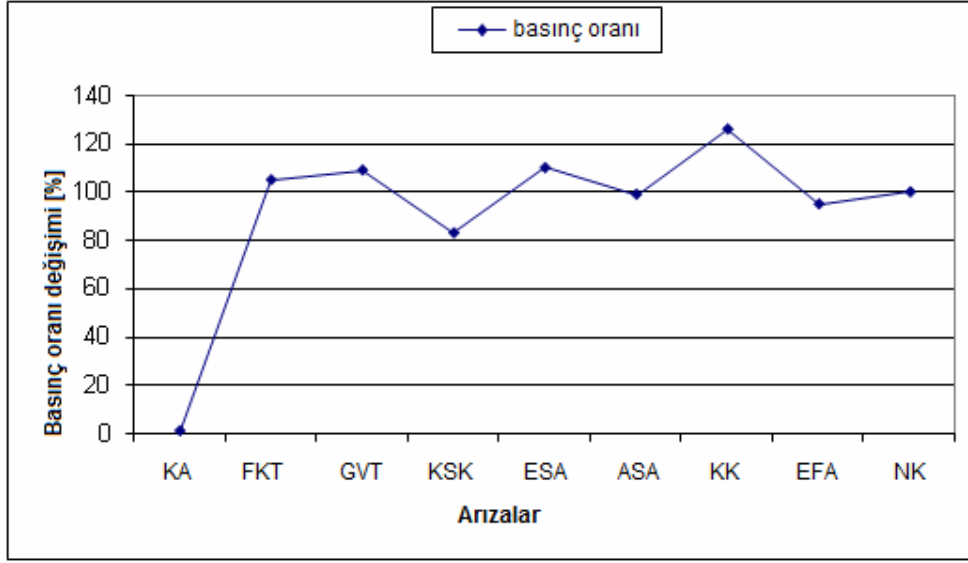
Şekil 16. Farklı Arıza Durumları İçin İzentropik ve Hacimsel Verim Değişimleri

Şekil 17'de görüldüğü gibi en düşük STK değeri "kompresör supapları kaçak yapıyor (KSK)" arızasında, en düşük STK_{el} değeri "aşırı soğutucu akışkan (ASA)" durumunda ortaya çıkmaktadır. Aynı şekilde en büyük STK ve STK_{el} değerleri "evaporatör fan arızası (EFA)" durumunda oluşur.



Şekil 17. Farklı Arıza Durumları İçin STK ve STK_{el} Değişimleri

Şekil 18 kompresör sıkıştırma oranının en yüksek değerine "kirli kondenser (KK)" arızasında ortaya çıktığını, ancak en düşük değerinin "kompresör supapları kaçak yapıyor (KSK)" arızasında olduğunu göstermektedir.



Şekil 18. Arıza Durumlarında Sıkıştırma Oranının Değişimi

SONUÇ

Temel soğutma arıza deney setinde toplam sekiz arıza durumu oluşturulmuştur. Bu arızalar p-h diyagramında ve sistem performans parametrelerinde değişimlere neden olur. Bu değişimler kullanılan genişleme valfi tipine, aksesuarlara, ortam sıcaklığına ve sistemdeki arıza seviyesine bağlı olarak değişir. Örnek olarak soğutma çevrimindeki sıvı deposunun varlığı “eksik ve fazla soğutucu akışkan şarjı” arızalarının şiddetini etkiler. Benzer şekilde genişleme valfi tipi doğrudan emme hattı basıncının arıza durumlarındaki değişimlerini etkiler. Otomatik genişleme valfi (AXV) fazla ve eksik soğutucu akışkan şarjı arıza durumları için emme hattı basıncını çok fazla değiştirmezken kılcal boru ve termostatik genişleme valfi (TXV) kullanıldığında emme hattı basıncı daha belirgin şekilde değişir. Çünkü bu genişleme elemanlarının çalışma yöntemleri farklıdır.

Kompresör arızası (CDW) durumunda tüm gösterge değerleri sıfır olduğu için diğer arıza durumları ile karşılaştırma yapılamaz.

Filtre-kurutucu tıkanması (RFD) ve otomatik genişleme valfi tıkanması (RXV) arızaları performans değerleri yönünden birbirine benzemektedir. Filtre kurutucu tıkanmasında kızgınlık değeri normalden %89 büyük, aşırı soğutma %9 büyük çıkmaktadır. Kapasite ve hacimsel verim değerleri normalden düşük, izentropik verim değeri ise normalden %13 büyük çıkmaktadır. COP değeri normalden %8 büyük, COP_{el} ise %8 küçük çıkmaktadır. Basınç oranı ise %5 artmaktadır.

Kompresör valf kaçağı (CVL) arızasında kızgınlık değeri beklenenin aksine düşerken aşırı soğutma değeri beklenildiği şekilde yüksek çıkmaktadır. Kondenser ve evaporatör kapasiteleri normal çalışma konumundan düşük çıkmaktadır. Hacimsel ve izentropik verim değerleri normalden %37 ve %31 düşük (minimum) çıkmaktadır. Benzer şekilde COP değerleri ve basınç oranı düşük olmaktadır.

Eksik soğutucu akışkan arızası durumunda kızgınlık ve aşırı soğutma değerleri normalden yüksek (%199 ve %73), kapasite oranları normalden düşük çıkmıştır. Hacimsel verim değeri normalden %22 düşük çıkarken izentropik verim değeri beklenenin aksine normalden %24 yüksek olmaktadır. Aynı şekilde COP_{el} değeri normalden %33 düşük çıkarken COP değeri beklenenin aksine normalden %18 yüksek çıkmaktadır. Yine basınç oranı beklenenin tersine normalden %10 yüksek çıkmaktadır.

Fazla soğutucu akışkan arızası durumunda kızgınlık normalden düşük çıkarken aşırı soğutma değeri normalden yüksek çıkmaktadır. Evaporatör, kondenser ve kompresör kapasite oranları ise normalden

sırasıyla %36, %38, %48 daha düşük çıkmaktadır. Hacimsel verim değeri normalden %40 düşük çıkarken izentropik verim değeri ise normalden %24 büyük çıkmaktadır. COP ve COP_{el} değerleri de sırasıyla hacimsel ve izentropik verim değerleri gibi değişmektedir. Basınç oranı ise normal değerlerle aynı çıkmaktadır.

Kirli kondenser arızası durumunda kızgınlık normalden %99 yüksek, aşırı soğutma ise %18 düşük çıkmaktadır. Kapasite oranları elektrik motoru hariç normalden düşük çıkmaktadır. Hacimsel verim normalden %6 düşük çıkarken izentropik verim %21 fazla çıkmaktadır. Yine COP değeri normalden %9 küçük çıkarken COP_{el} değeri normalden %17 daha düşük çıkmaktadır. Basınç oranı ise normalden % 26 fazla çıkmaktadır.

Evaporatör fan arızası durumunda kızgınlık sıfır olurken (sıvı yürümesi tehlikesi) aşırı soğutma değeri normalden %33 düşük çıkmaktadır. Kapasite oranları normalden düşük çıkarken, hacimsel verim değeri normalden %7 düşük çıkmaktadır. İzentropik verim ise normalden %24 büyük çıkmaktadır. COP değeri normalden %33 büyük çıkarken COP_{el} değeri normalden %8 düşük çıkmaktadır. Basınç oranı ise normalden %5 küçük çıkmaktadır.

Bu deneysel çalışma sonuçları farklı arıza durumlarında ölçüm değerlerinin nasıl değişmesi gerektiği konusunda öğrenci ve öğretim elemanları için faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Anonymous, Troubleshooting Refrigeration Systems, TPC Training Systems, Buffalo Grove, Illinois USA 1992.
- [2] Bulgurcu, H., İklimlendirme ve Soğutma Sistemlerinde Bakım Arıza Bulma ve Servis İşlemleri, ISKAV Teknik Kitaplar Dizisi No: 5 İstanbul 2009.
- [3] Shan K. Wang, Handbook of Air Conditioning and Refrigeration (Second Edition), McGraw-Hill 2001.
- [4] Braun, James E., Automated Fault Detection and Diagnostics for Vapour Compression Cooling Equipment, Journal of solar energy engineering, 2003 - link.aip.org
- [5] <http://www.deneysan.com/products/S-804eng.pdf> (was reached date 06-06-2010)
- [6] ASHRAE Handbook Refrigeration 2006, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1791 Tullie Circle, N.E., Atlanta, GA 30329
- [7] CoolPack, A Collection of Simulation Tools for Refrigeration, www.et.dtu.dk/CoolPack, 2010.

ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin BULGURCU

1962 yılında İzmir Kınık'ta doğdu. 1984 yılında Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Makine Enerji dalından lisans, 1989 yılında M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünden yüksek lisans, 1994 yılında aynı enstitüden doktora dereceleri aldı. 1986–1989 yılları arasında Kartal Teknik Lisesinde, 1989–1995 yılları arasında Çankırı Meslek Yüksekokulunda öğretim elemanı olarak çalıştı. 1994 yılında YÖK-Dünya Bankası Endüstriyel Eğitim Projesi kapsamında İngiltere'de mesleki araştırmalarda bulundu. 1995 yılından bu yana Balıkesir Meslek Yüksekokulu İklimlendirme ve Soğutma Programında Yardımcı Doçent olarak çalışmakta, deney setleri üreten bir firmada danışmanlık yapmaktadır. Evli ve iki çocukludur. MMO ve Türk Isı Bilimi Derneği üyesidir. ISKAV ve ESSİAD eğitim komisyonlarında görev yapmaktadır.

Serkan YAŞAR

1985 Balıkesir doğumludur. Liseyi 2002 yılında Edremit'te, üniversiteyi ise SDÜ Teknik Eğitim Fakültesi Tesilat Öğretmenliği bölümünde tamamlamıştır. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek

Lisans çalışmalarını sürdürmektedir. Balıkesir’de faaliyet gösteren Deneysan Eğitim Cihazları San. Ve Tic. Ltd. Şirketinde çalışmakta ayrıca EÜ Bergama MYO’da İklimlendirme ve Soğutma Programında dersler vermektedir.

KISALTMALAR

COP	performans katsayısı
COP_{el}	elektrik girişine bağlı performans katsayısı
$\cos \phi$	kompresör motor güç katsayısı
h	soğutucu akışkanın özgül entalpisi (kJ kg^{-1})
I	kompresör ve fan motorlarının çektiği akım (A)
\dot{m}	soğutucu akışkanın kütleli akış debisi (kg s^{-1})
n	kompresör motor devir sayısı (d/d)
\dot{Q}_c	kondenserde atılan ısı güç (W)
\dot{Q}_e	evaporatör yükü (W)
R	artık değerler
T	sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)
U	ısıtıcıdan geçen gerilim (V)
V_c	kompresör silindir hacmi (m^3)
\dot{V}	hacimsel akış debisi (m^3/s)
W_{el}	elektrik motor gücü (W)

YUNAN SEMBOLLERİ

ε	sıkıştırma oranı
η_v	kompresör hacimsel verimi
η_s	izentropik verim

İNDİSLER

a	hava
c	kondenser
ca	mutlak yoğunlaşma
$comp$	kompresör
e	evaporatör
ea	mutlak buharlaşma
el	elektrik
exp	beklenen değerler
f, e	doymuş sıvı
fg	gizli ısı
g, e	doymuş buhar
max	maksimum değerler
min	minimum değerler
nor	normalleşmiş değerler
r	soğutucu akışkan
res	artık değerler
v	özgül hacim
y	yüzey