



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

SOĞUK DEPO ENERJİ VERİMLİLİĞİ İÇİN KONTROL SENARYOLARININ GELİŞTİRİLMESİ

HÜSEYİN BULGURCU
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ

MUSTAFA ASKER
ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ

SOĞUK DEPO ENERJİ VERİMLİLİĞİ İÇİN KONTROL SENARYOLARININ GELİŞTİRİLMESİ

Hüseyin BULGURCU
Mustafa ASKER

ÖZET

Bilindiği gibi soğuk depolarda kompresör, kondenser ve evaporatör fanları, karter ve defrost ısıtıcıları, kapı ısıtıcıları gibi enerji tüketen elemanlar bulunmaktadır. Temel soğutma elemanlarının seçiminde genellikle pik yük değerleri kullanılmaktadır. Ancak bu pik yükler Haziran-Temmuz-Ağustos aylarında gerçekleşmekte, diğer aylarda ısı kazançlar azaldığı için sistemin soğutma etkinlik değeri de azalmaktadır. İşte bu kısmi yüklerde sistem etkinlik değerlerini yüksek tutabilmek, dolayısıyla enerji verimliliğini arttırabilmek için mevsimlik enerji etkinlik değerlerinin (SEER) yüksek tutulabilmesi adına iyi tasarlanmış kontrol sistemlerine ihtiyaç bulunmaktadır. Bu bağlamda kompresör ve fan hızlarının kontrolü ile sistemde kapasite kontrolleri yapılabilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca defrost işlemlerinin belli bir talebe bağlı olarak yapılabilmesi, soğuk depo aydınlatma sisteminde LED armatürlerin kullanılması da iç ısı kazançlarını, dolayısıyla enerji verimliliğine katkıda bulunacaktır. Bu çalışmada bir soğuk depoda enerji verimliliğini arttırmak için bazı kontrol senaryoları tanıtılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Soğuk depo, kontrol sistemi, enerji verimliliği, mevsimlik enerji etkinlik değeri (SEER)

ABSTRACT

As it is well known that cold rooms contains energy consuming components such as compressors, condenser and evaporator fans, sump and defrost heaters, door heaters. Usually, the peak load values are used in the selection of the basic cooling elements. However, these peak loads, takes place in June-July-August, while energy efficiency ratio of the system (EER) are reduced in other months. In order to improve energy efficiency at part loads, the value of seasonal energy efficiency ratio (SEER) should be kept at high level thus, well designed control system is needed.

In this context, the system capacity control is planned in this work by controlling the compressor and fan speeds. In addition, the defrost operation in cold room can be made according to specific demand and the use of LED lighting fixtures will also contribute to energy efficiency by reducing internal heat gains. This study will introduce some control scenarios to improve energy efficiency in a cold room.

Key Words: Cold room, control system, energy efficiency, seasonal energy efficiency ratio (SEER)

1. GİRİŞ

Soğuk odalar genellikle uygun sıcaklıkta gıda ve tarım ürünleri saklamak için kullanılır. Odayı istenilen sıcaklıkta tutmak için önemli miktarda elektrik enerjisi gereklidir. Enerji, soğutma sistemlerini çalıştırmak için elektrik maliyeti ile temsil edilir ve soğuk mağazaların işletmesinde önemli bir maliyet olarak kabul edilebilir. Soğuk hava tesisleri içinde elektrik enerjisinin %60-70'i soğutma için

kullanılmıştır [1]. Ülkemizde soğuk hava depolarının toplam elektrik harcaması yaklaşık 1 milyar Euro civarındadır. Bu rakamın en az %25'i bazı önlemlerle tasarruf edilebilir ki bu da 250 milyon Euro'ya karşılık gelmektedir. Bu nedenle soğuk hava deposu kullanıcıları için enerji tüketimini azaltmak son derece caziptir.

Simülasyon performans tahmini ve soğutma sistemlerinin optimum tasarımı için yaygın olarak kullanılır olmuştur. Ayrıca birçok çalışma, soğuk odalarda önemli ölçüde enerji tasarrufu elde edilebileceğini göstermiştir. Yol verme teknolojilerinin gelişmesi ve akıllı motor kontrol stratejileri, işletme performansının, kontrol yeteneğinin geliştirilmesine ve enerji tasarrufuna yol açmaktadır.

Qureshi ve Tassou, soğutma sistemlerinin kontrolünde, değişken hızlı kapasite kontrol uygulaması üzerine genel bir literatür çalışması yapmışlardır [2]. Ding tarafından yapılan çalışmada, buhar sıkıştırımlı soğutma sistemleri için geliştirilen benzetim teknikleri üzerine bir literatür çalışması yapılmıştır. Evaporatör, kondenser, kompresör ve kılcal boru yapısı için modeller özetlemiştir. Soğutucu akışkanın kütleli debisi, giriş gücü ve kompresör çıkışındaki soğutucu akışkanın sıcaklığı soğutma performansının doğru hesaplanması gerektiğini belirtmiştir [3].

Syed ve Zubair, üç farklı kapasite kontrol şemaları için bir buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminin kapasitesi kontrolünü araştırmışlar. Isı değiştiriciler üzerinde sonlu sıcaklık farkı kabul ederek kapasite ve dış akışkan giriş sıcaklıkları ile ilgili kondenser ve evaporatör sıcaklıklarında varyasyonları sağlamışlar. Tam yükteki sistem kapasitesinin yüzde fonksiyonu olarak performans (COP) katsayısı açısından bu şemaları, çalışma sıcaklıkları ve soğutucu akışkan kütleli oranı olarak karşılaştırma yapmışlardır [4].

Aprea ve Renno tarafından yapılan çalışmada soğuk depolama amaçlı kullanılan buhar sıkıştırımlı soğutma ünitesinde deneysel olarak incelemiştir. Soğutucu akışkan R407C olarak kullanılmıştır. Yapılan çalışmada kompresör soğutma kapasitesi değiştirilmiştir. Sonuçlar yoğuşma sıcaklığı, sıkıştırma oranı, yoğuşma gücü ve Soğutma tesir katsayısı (COP) cinsinden elde edilmiştir. Buna ek olarak kompresör hızı değiştiği zaman ekserji analizi de yapılmıştır [5]. Aprea ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışmada, soğuk depolarda hava sıcaklığının bir fonksiyonu olarak en uygun kompresör hızını seçmek üzere bulanık mantığa dayalı bir kontrol algoritması sunmuşlar. Çalışmanın temel amacı, soğutma kapasitesini kontrol etmek için klasik termostatik aç-kapat kompresör kontrolü yerine inverter kompresör hızını bulanık algoritma ile sürekli düzenleyerek elde edilen enerji tasarrufunu değerlendirmişler [6].

Aprea ve arkadaşları farklı çalışma koşulları için değişken hızlı soğutma sisteminde sarmal kompresör hızını değiştirerek enerji tasarrufu potansiyelini araştırmışlardır. Yapılan deneysel çalışmada soğuk depoya bağlı buhar sıkıştırımlı soğutma tesisinde %20 enerji tasarrufu elde etmişlerdir [7]. Bir başka bir çalışmada ise Aprea ve arkadaşları, değişken devirli kompresörün en uygun çalışma koşullarını araştırmışlar [8]. Yaptıkları çalışmanın amacı ekserji yıkımı oranlarını, geri ödeme süresini, enerji tasarrufu açısından enerji, ekserji ve ekonomiyi optimize edecek şekilde kompresör akım frekansını belirlemişler. Deney düzeneğinde iki farklı tip kompresör sarmal ve pistonlu kompresör kullanmışlar. Elde edilen sonuçlara göre sarmal ve pistonlu kompresör kullandığında sistemlerden sırasıyla %15 ve %25 enerji tasarrufu sağlanmıştır.

Li ve diğerleri soğutma sistemlerine PI kontrol algoritmasını uygulayarak sistem performansını enerji verimliliğini incelemiştir. Sistem kapasitesini frekans dönüştürücü ile aşırı kızgınlığı ise elektronik genleşme vanası ile kontrol etmişler. Bağımsız kontrol düzeneği kullanıldığı zaman sadece hassas bir kontrol performansı değil, aynı zamanda yüksek bir soğutma tesir katsayısı sağlanmıştır [9].

Liang ve arkadaşları hem normal hem de anormal çalışma koşullarında değişken kapasiteli soğutma sistemindeki geçici davranışları taklit eden değişken kapasiteli soğutma sistemi için bir dinamik toplu parametre modeli geliştirdiler. Deneysel verilerle matematiksel modelini doğrulanmıştır. Kompresör dönme hızı veya elektronik genleşme vanasının açılma oranı ani olarak değiştiğinde, anormal çalışma koşullarında değişken kapasiteli soğutma sistemi geçici davranışlarını güvenilir bir şekilde hesaplayabilen dinamik modeli geliştirdiler [10].

Ekren ve arkadaşları doğru akımlı soğutma kompresöründe farklı çalışma hızlarında enerji tüketim oranındaki azalma ve çalışma iyileştirme potansiyeli araştırmışlar. Yapılan çalışmada dört farklı sabit kompresör hızında gerçekleştirmişler. Deneysel verilerine bağlı olarak enerji ve ekserji verimlerini analiz etmişler. Özellikle yüksek hızlarda, değişken hızlı doğru akımlı kompresörün sabit hızlı doğru akımlı kompresörden daha verimli olduğunu göstermişler [11].

Evans ve Gigiel belli bir sayıda soğuk hava depolara detaylı enerji analizi uygulamışlar. Yapılan incelemede soğuk depolarda mevcut ekipmanları tamir ederek ve yerlerine enerji verimli cihazlar yerleştirerek %30-%40 arasında enerji tasarrufu yapılabileceğini göstermiştir [12, 13].

Stores ve arkadaşları soğuk depolarda enerji tüketimini etkileyen önemli faktörleri belirlemek için soğutulmuş, dondurulmuş ve karışık gıdalar için performans verilerini toplamışlardı. Tipik bir soğuk depo konstrüksiyonu için enerji sarfiyatını tahmin edebilmek için, kullanım ve enerji verim senaryoları kullanarak bir matematik model kullanmışlardır. Enerji kullanımı açısından deponun hacmi en etken faktör olduğunu gösterilmiş ve soğuk depoların performansları çok değişkenlik arz etmektedir. Buna ek olarak, soğuk depoların temel başlangıç enerji performans karşılaştırılmaları yapılmış ve gıda soğuk odalarındaki önemli ölçüde enerji tasarrufu yapılabilecek alanlar gösterilmiştir [14].

2. SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Enerjinin doğru ve yeterli miktarda kullanımı doğaya olan saygının ve geleceğe olan sorumluluğun bir gereğidir.

Enerji verimliliği için en belirgin göstergelerden bir tanesi alınan / verilen enerji değeridir. Bir soğutma kompresörünün yanı sıra kondenser ve evaporatör fanları, defrost ısıtıcıları, karter ısıtıcıları, solenoid valfler, depo aydınlatma armatürleri de elektrik tüketen cihazlardır.

Bütünsel bir elektrik tüketimi hesabı için;

- Kompresör
- Kondenser fanları
- Evaporatör fanları
- Defrost ısıtıcıları
- Aydınlatma armatürleri birlikte ele alınmalıdır.

Soğutma sistemlerinde iki tip verim tanımı vardır:

1. Tam yüklemedeki verim
2. Kısmi yüklemedeki verim

1. Tam Yüklemedeki Verim

Temelde aynı mantık ile hesaplama yapılan iki tip verim tanımlaması vardır: COP ve EER

EER (Energy Efficiency Ratio): Enerji verimlilik oranı anlamına gelir. Soğutma ve ısıtma fonksiyonu olan cihazlarda soğutma esnasında soğutma kapasitesinin harcanan enerjiye oranıdır. EER şu şekilde ifade edilebilir;

$$EER = \frac{\dot{Q}_s}{P_w} \quad (1)$$

Burada

\dot{Q}_s = Soğutma kapasitesi (Watt)

P_w = Harcanan enerji (Watt)

COP (Coefficient of Performance): Performans katsayısı anlamına gelir. Soğutma ve ısıtma fonksiyonu olan cihazlarda ısıtma esnasında ısıtma kapasitesinin harcanan enerjiye oranıdır. COP şu şekilde ifade edilebilir;

$$COP = \frac{\dot{Q}_h}{P_w} \quad (2)$$

\dot{Q}_h = Isıtma kapasitesi (Watt)

P_w = Harcanan elektrik miktarı (Watt)

2. Kısmi Yükteki Verim

• COP veya EER sadece tam yükte değil kısmi yüklerde de hesaplanmalıdır. Çünkü soğutma grupları %100 tam yükte çok az bir süre çalışırlar. Bu amaçla soğutma gruplarının %75, %50 ve %25 kapasitelerdeki performans değerleri hesaplanmıştır.

Kısmi yük değerlerinde hesaplanan EER değerlerinin ağırlıklı ortalaması;

- Avrupa Eurovent standartlarına göre **ESEER** (European Seasonal Energy Efficiency Ratio); *Avrupa Mevsimsel Enerji Verimlilik Oranı* olarak adlandırılır.
- Amerika ARI standartları göre ise **IPLV** (Integrated Part Load Value); *Entegre Edilmiş Kısmi Yük Değeri* olarak adlandırılır.

Eurovent Standartlarına Göre:

$$ESEER = 0.03EER \times A + 0.33EER \times B + 0.41EER \times C + 0.23EER \times D \quad (3)$$

ARI Standartlarına Göre:

$$IPLV = 0.01EER \times A + 0.42EER \times B + 0.45EER \times C + 0.12EER \times D \quad (4)$$

Formülleriyle hesaplanır.

A= %100 Kapasitede EER değeri

B= % 75 Kapasitede EER değeri

C= % 50 Kapasitede EER değeri

D= % 25 Kapasitede EER değeri

3. SOĞUK DEPOLARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Soğuk hava depolarında enerji verimliliği; dış ortam sıcaklığı, ürünün giriş sıcaklığı, odaların açıldığı koridor sıcaklığı ve nemi, dış duvar ve çatının rengi, soğuk odaların iç sıcaklığı ve binanın durumu gibi değişkenlerden etkilenir. Yukarıda bahsedilen değişkenlerin birçoğunun sabit değer olduğu zannedilir. Gerçekte böyle olmadığı daha önce yapılan çalışmalarda ifade edilmiştir [15]. Öte yandan, soğuk hava depolarında enerji verimliliği açısından en etkili değişkenin yalıtım kalınlığı olduğu yapılan çalışmalarla belirtilmektedir [15,16]. Soğuk hava depolarında kullanılan yalıtım malzemesi maliyetinin tesisin ilk yatırım maliyetinin üçte biri kadar olması, yalıtım kalınlığının enerji tasarrufu ve verimliğindeki öneminin bir göstergesidir [15].

Soğuk hava depolarını işletenler de ve buralardan hizmet alanların da maliyetlerin azaltılması yönündeki baskısı, özellikle müşterilerden gelen baskılar her geçen gün artmaktadır. Bu amaçla dünyada soğuk hava deposu işletmecileri maliyetlerini azaltmak için pek çok alanda çaba sarf etmektedir. Enerji gideri bir soğuk hava deposunun en önemli faaliyet gideri olması nedeniyle enerji giderini azaltmak öncelikli hedef halindedir. 2010 IARW Productivity and Benchmarking raporuna göre; ABD ve Kanada bölgesinde 268 soğuk hava deposuna ait verileri kapsamaktadır, bu depoların enerji gideri; gelirin %8,7 ila %17,3 kadarını oluşturmaktadır. Bu değer ortalamada %11,6'dır. Soğuk hava depo işletmeciliğinde soğutma sistemi; yüksek elektrik fatura bedelinin soğuk şüphelidir. Bu gideri azaltmak için göz önüne alınması gereken pek çok parametre vardır. Bu parametreler; soğutma sistemi, depo mimarisi, kullanılan ekipman ve çevre şartlarına bağlı olarak değişebilmektedir. Aşağıda soğutma sistemiyle ilgili kullanılan bazı kontrol yöntemleri açıklanmıştır [17].

- 1. Mevcut Borulama Sistemi, Yeniden Borulama:** Eski tip soğuk hava depolarında yapılması gerekir, evaporatör ile kondenser sistemi arasında basınç düşmesi 138 mbar ise mutlaka yapılmalıdır. 69 mbar basınç düşüşü, emme basıncında iki derece düşüşe sebep olur, enerji kullanımında %7-10 azalma olur. Kötü izole edilmiş borular diğer bir enerji kayıp noktasıdır. Bu nedenle sık sık kontrol edilerek boru veya valflerde buzlanma veya karlanma yeniden yalıtım yapmayı gerektirir. Yine emiş hatlarının mutlaka yalıtılması gereklidir.
- 2. Nem Yükünü Azaltma:** Soğutulmuş fanlara yapışan nemli havanın yarattığı buzlanmadan kurtulma ve nemli havanın kurutulması için harcanan enerji maliyet arttıran unsurdur. Bu nedenle nemli havaya engel olunmalıdır. Bu amaçla çeşitli sistemler kullanılmaktadır.
- 3. Evaporatör Performansını Arttırma:** Evaporatör fanlarının beygir gücünü 1-3 HP arttırma yoluyla evaporatör kapasitesinde % 22'lere varan artış sağlanabilir. Fan motorlarına bir kW ilave güç vermek sisteme 1,6 kW güç sağlamaktadır.
- 4. Soğutma Sistem Kontrolü:** Soğutma sisteminin üç ana parçası; evaporatör, kompresör ve kondenserdir. Evaporatörler; deponun uygun sıcaklığa erişmesinden sonra fanları otomatik olarak kapanmalıdır. Bu yolla, motorların depo içinde yaydığı sıcaklıkta azalmış olur. Kompresörlerin bakımları düzenli yapılmalı, kondenserler özellikle sıcak yaz günlerinde plakalara yapışmış tozdan arındırılmak için yıkanmalıdır.
- 5. Değişken Hızlı Kompresör Sürücülerin Kullanımı:** Değişken hızlı düzenleme tüm kompresör tiplerine verimli olarak uygulanabilir ve kompresör hızını değiştirmek için çift hızlı bir elektrik motoru veya bir frekans dönüştürücü kullanılabilir. Çift hızlı bir elektrik motoru, soğutma yükü yüksek olduğunda tam hızda çalışarak (örnek olarak soğutma dönemi) ve yük düşük olduğunda düşük devirde çalışarak (örnek olarak depolama dönemi) kompresör kapasitesini düzenler. Frekans dönüştürücü devir sayısını gerçek talebi karşılayacak şekilde ayarlar. Frekans dönüştürücü maksimum ve minimum hızları, sıcaklık ve basınç kontrolüne göre, kompresör motorunu olduğu kadar akım ve moment değerlerini de sınırlar. Frekans dönüştürücüler düşük bir kalkış akımı oluşturur [18]. Değişken hızlı soğutma ile geleneksel soğutma sistemleri arasındaki temel fark sistem kapasitesinin kısmi yüklerde kontrolüdür. Soğutma sisteminin değişken hızlı soğutma kapasitesi kontrolünde, sistem kapasitesi izlenerek farklı çalışma şartları için soğutma yükü ile kompresör motorunun hızı uyumlu hale getirilir [2].
- 6. Değişken Hızlı Evaporatör ve Kondenser Fanlarının Kontrolü:** Değişken hızlı bir frekans sürücü birçok indüksiyon motorlarının düşük hızlarda çalışmasını sağlar. Fanların hız, basınç ve güç değişimleri fan kanunları olarak bilinen bağıntılarla gerçekleşir. Hızdaki bir değişim ile basınçtaki yükselme ve bu devir sayısı için gerekli güç miktarı hesaplanabilir. Frekans sürücüler birçok yükler için enerji tasarrufu sağlamakla birlikte evaporatör ve kondenser fanları için büyük bir enerji tasarruf potansiyeli sağlar. Sonuç olarak hızın ihtiyaca göre belirlenmesi ile basınç ve güç gereksinimleri azalır [19].
- 7. Elektronik Kontrollü Fan Motorları:** Evaporatör fan motorları bir diğer önemli ısı kazanç kaynağıdır. Yakın zamanda fan tasarımı ve motor verimi ile ilgili gelişmeler eski kabin soğutma

sistemleri ve soğuk depolar için önemli avantajlar sunmaktadır. Geleneksel gölge kutuplu alternatif akım (AC) motorları ve kapasitör motorları elektronik sürücülü fırçasız doğru akım motorları (DC) ile değiştirilmek suretiyle %65'e ulaşan enerji tasarrufları sağlanmaktadır. Fan motoru daha az enerji harcadığında daha az ısı üreteceğinden ortamdaki uzaklaştırılması gereken ısı kazancı da azalacaktır. Mevcut fan motorları kolaylıkla sökülerek aynı yuvaya elektronik kontrollü (EC) fan motorları takılabilir. Genellikle EC motorlar çift çalışma hızına sahiptir. Uygun bir kontrol ile birleştirildiğinde, kompresör çalışmadığında veya gece modunda fan düşük hızda çalışır. Fan motoru tam hızın yarısında çalıştırıldığında %87 daha az enerji tüketecektir [20].

- 8. Kondenser Kapasite Kontrol Mekanizmaları:** Kış mevsiminde yoğunlaşma basıncının düşük olması soğutucu akışkanın sıvı deposunda yığılmasına ve sıvı hattı basıncının da düşmesine neden olur. Sıvı hattındaki bu basınç düşmesi sistemde dolaşan gazın debisini ve genleşme valfinin kapasitesini azaltır, çünkü bu valf giriş ve çıkıştaki basınç farkıyla çalışmaktadır. Genleşme valfinden geçen düşük soğutucu kütle debisi evaporatör kapasitesini düşürür. Hava soğutmalı kondensere sahip soğutma sistemlerindeki bu problem, sisteme ilave edilen "düşük çevre kontrolleri" ile önlenir.

Düşük çevre kontrolleri ortam sıcaklığı düştüğünde kondenser kapasitesini azaltarak soğutucu akışkan basıncının aşırı düşmesini önler. Kondenser kapasitesini azaltmak için hava taraflı ve akışkan taraflı kontroller kullanılır [21].

- 9. Elektronik Genleşme Valfi (EGV):** Genellikle valf grubu otomatik, termostatik ve elektronik valflerden oluşur. Termostatik valflerde kısmi yüklerde kızgınlık oranı ayarlanamadığından valf iğnesi kesintili olarak açıp kapatmaya başlar. Buna valf avlanması adı verilir. Elektronik genleşme valfi evaporatöre geçen soğutucu akışkan akışını, evaporatör çıkışındaki basınç ve sıcaklık algılayıcı ile kontrol eder. İki sinyal zıt yönde çalışarak valf açıklığını gerçek zamanlı olarak düzenler [22]. Elektronik genleşme valfi, değişen soğutma yüklerine karşı oransal ve integral kontrol yardımıyla kızgınlığı sabitleyecek şekilde çalışır [23-24]. Elektronik genleşme valflerinin sürücü kısmı bazı modellerde adım motorlu, bazılarında ise solenoid valfidir. Adım motorlu olanlarda tam kurs boyu 800 veya 1000 adımdan oluşurken solenoid tipte olanlarda zaman oransal kontrol ile açma kapanma aralıkları değiştirilir [25]. Elektronik valflerde avlanma olayı arıza durumu haricinde pek görülmez.

- 10. Soğuk Depo Aydınlatma Sisteminde LED Armatürlerinin Kullanımı:** Soğuk depolarda etkinliği (lümen/W değeri) yüksek olan LED ampullerin kullanımı ile %60'lara varan enerji tasarrufu sağlanırken ısı kazançları da azaltılmış olur [26].

- 11. Çalışanların Eğitimi:** Soğuk hava deposunda çalışan tüm personelin operasyon giderleri içinde en fazla yer tutan elektrik giderini azaltma yönünde eğitilmelidir. Sadece "Gereksiz ışıkları söndürmek yetmez". Soğuk hava depolarında elektrik enerjisini azaltmaya yönelik operasyonlar sadece bu önlemlerle sınırlı olmayıp iş süreçlerinin değerlendirilmesiyle ortaya çıkabilecek pek çok alan bulunabilir [17].

4. SOĞUK DEPOLARDA KONTROL SENARYOLARI

Günümüzde dünyada üretilen soğuk depolarda benzer verimlilikteki yalıtım malzemeleri ve cihazlar kullanılmaktadır. Temel fark; soğutma sistemlerinin tasarımı, boru çaplarının seçimi ve kullanılan kontrol algoritmaları ve kontrol cihazlarından ortaya çıkmaktadır.

4.1 Geleneksel Kontrol Yöntemleri

1. Soğuk depolarda kullanılan geleneksel aç-kapat (On-Off) kontrol sistemi kullanılır. Geleneksel aç-kapat kontrol yöntemi de kendi içinde ikiye ayrılır: Doğrudan kontrol ve süpürmeli kontrol.



Doğrudan kontrol sisteminde deponun büyüklüğüne bağlı olarak 2°C civarında sıcaklık farkı (diferansiyel) oluşturulur. İç sıcaklık ayar değerine düştüğünde soğutma sistemi durdurulur. Sistem durdurulduğunda donmuş muhafaza yapan sistemlerde kondenser ve evaporatör fanları da durdurulur. Soğuk muhafaza yapılan artı odalarda karlanmayı gidermek için kompresör durduğunda evaporatör fanları karlanmayı gidermek için durdurulmaz, fanlar sürekli çalıştırılır.

2. Çok sayıda odaya sahip merkezi dış üniteli soğuk depolarda kompresörler emiş hattı basıncına bağlı olarak kapasite kontrolü için sıralı olarak sürülür. Odalar ayar değerine ulaştığında soğutucu akışkan girişi solenoid valf ile kapatılır.
3. Süpürmeli kontrollü sistemlerde termostat sıvı hattı solenoid valfini kapatır. Kompresör emme tarafındaki soğutucu akışkanın tamamını süpürdükten sonra alçak taraf basınç anahtarı yardımıyla durdurulur. Termostat tekrar çağırınca kadar sistem beklemeye geçer. Termostat çağırınca sıvı hattı solenoid valfi açılır ve akış başlar, emme hattı basıncı devreye girme (cut-in) değerine ulaştıkça kompresör tekrar çalıştırılır. Bu yöntemin avantajları; ilk kalkışta emme tarafında fazla akışkan yüklemesi olmayacağından aşırı yüklenme olmaz ve bekleme anında karter içine soğutucu akışkan göçü olmayacağından taşmalı kalkış olayı yaşanmaz.

4.2 Modern Kontrol Yöntemleri

Soğuk depolarda maliyet etkin, modern soğutma kontrol çözümleri şunları optimize eder;

- Ürün kalitesi
- Enerji performansı
- Bakım çağruları
- Tesis ömrü
- Karbon ayak izi

Kompresörler ve kondenserlerde enerji optimizasyonu [27]:

1. Oldukça kararlı evaporatör kontrolü ile kompresörün kararlı çalışma durumu sağlanabilir. Kararlı çalışma paketi ile gereksiz kompresör çalışma ve durmalarının önüne geçilir, böylelikle arızalar azalır, bakım maliyetleri düşer ve tesis ömrü uzar.
2. Paket kapasite enerji optimizasyonu, kompresör kombinasyonları kullanılarak, supap yük kaldırma ve değişken hızlı sürücüler yardımıyla başarılıdır.
3. Kompresörlerin optimize edilmiş emme hattı basınç ayar noktası kontrolü, aslında gerçekleşen evaporatör sıcaklığına bağlıdır.
4. Kararlı basma hattı basıncı, büyük ölçüde değişken hızlı kondenser fan kontrolü sonucunda ve kararlı paket ile başarılıdır.
5. Kondenser kapasitesinin enerji optimizasyonu, fan kademelendirme ve/veya değişken hızlı sürücü yardımıyla istenen basma hattı basıncı sağlanarak gerçekleştirilebilir.
6. Optimize edilmiş basma hattı basıncı ayar noktası, kondenser çevresindeki şartlara bağlıdır.

Enerji optimizasyon teknolojisinin faydaları:

1. İyileştirilmiş ürün sıcaklıkları, besin kalitesinin iyileştirilmesini sağlar ve besin hijyen şartnamelerinin karşılanmasını sağlar.
2. Enerji optimizasyonu tesis şartlarının otomatik hale gelmesini, uzmanlaşmış personele ihtiyaç duyulmaksızın sağlar.
3. Tesis hizmeti azalır ve daha kararlı çalışma makinelerin daha az aşınmasına ve bakım zamanının azalmasına neden olur.
4. Tesis enerji tüketim profilinin ayarlanması en ucuz elektrik kullanımını sağlar ve işletme maliyetlerini düşürür.
5. Ölçülebilen düşük bakım masrafları, güç faktörü iyileştirmeleri ve uzatılmış tesis ömrü başarılabilir.

Kompresör Kontrol Senaryoları

1. Kompresör yükünün gerçek soğutma yüküne bağlı olarak çalıştırılabilmesi için en yaygın kullanılan yöntem emme hattı basıncının izlenmesi ve buna göre hızın değiştirilmesidir. Emme hattının normalden daha yüksek basınçta olması soğutma yükünün yüksek olduğu anlamına gelir. Tersine emme hattının normalden daha düşük olması soğutma yükünün yetersiz olduğunu gösterecektir. Dolayısıyla emme hattına bir basınç dönüştürücü (transmitter) bağlanması ve bu basınca bağlı olarak bir kontrol cihazının frekans dönüştürücüye komut vermesi gereklidir. Basınç ayar değerleri, kullanılan soğutucu akışkanın cinsine, uygulama tipine (soğuk muhafaza, donmuş muhafaza), iç sıcaklık ayar değerine bağlı olarak değişebilmektedir.
2. Kompresör için uygulanabilecek bir diğer yöntem ayar (set) sıcaklığı ile iç sıcaklık arasındaki farka göre kompresör hızının belirlenmesidir. Bu durumda sıcaklık farkı oransal kontrol cihazında 5-7 K değerine ayarlanır. Sıcaklık farkı bu ayar değerini aştığında kompresör tam devirde sürülür. Sıcaklık farkı bu ayar değerinin altına düştüğünde kompresör devri oransal olarak düşürülür.

Kondenser Fan Kontrol Senaryoları

1. Kondenser fanı için yaygın olarak kullanılan kapasite kontrol yöntemi sıvı hattı sıcaklığının veya basma hattı basıncının izlenerek fan hızının bu değişkenlere bağlı olarak ayarlanmasıdır. Basınç veya sıcaklık arttığında fan hızı artırılır. Dolayısıyla kondenser fanı kompresörden bağımsız olarak devreye sokularak şebekeden aynı anda aşırı akım çekilmesi (demeraj) önlenmiş olur. Kış aylarında fan daha düşük devirde çalıştırılarak enerji tasarrufu sağlanır ve basma hattı basıncının aşırı düşmesi engellenmiş olur.
2. Kondenser fanı için kullanılabilir bir diğer kapasite kontrol yöntemi kondenser yüzey sıcaklığı ile dış hava sıcaklığı arasındaki farkın 14 K değerine göre ayarlanmasıdır.

Evaporatör Fan Kontrol Senaryoları

1. Evaporatör fanı için kullanılan en yaygın yöntem fanın evaporatör yüzey sıcaklığı ile ayar (set) sıcaklığı arasındaki farka göre sürülmesidir. Bu fark 5-7 K civarında seçilebilir. Fan hızı, sıcaklık farkı azaldığında oransal olarak hız sürücü yardımıyla yavaşlatılır.
2. Evaporatör fanı için kullanılabilir bir diğer yöntem fanın evaporatör giriş ve çıkış sıcaklıkları ortalamasının iç ortam sıcaklığı ile oluşturduğu farka göre sürülmesidir.

Tablo 1. Kompresör, kondenser ve evaporatör fanları için kontrol senaryoları

Kontrollü Cihaz	Referans Değişken-1	Referans değişken-2	Değişken Farkı
KOMPRESÖR	İç sıcaklık (t_i)	Ayar sıcaklığı (t_s)	$t_i - t_a = 5-7$ K
	Emme hattı basıncı (P_1)		Soğutucu akışkana ve uygulamaya bağlı
KONDENSER FANI	Sıvı hattı sıcaklığı (t_{siv})		Soğutucu akışkana ve uygulamaya bağlı
	Basma hattı basıncı (P_2)		Soğutucu akışkana ve uygulamaya bağlı
	Dış hava sıcaklığı (t_d)	Kondenser yüzey sıcaklığı (t_{cy})	$t_d - t_{cy} = 14$ K
EVAPORATÖR FANI	İç sıcaklık (t_i)	Evaporatör yüzey sıcaklığı (t_{ey})	$t_i - t_{ey} = 5-7$ K

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deney düzeneği olarak 3,8x2x1,85 m iç ölçülerinde ($14,06 \text{ m}^3$) hacimli panel soğuk oda kullanılmış olup Şekil 1’de gösterilmiştir. Bu depoda yoğunluğu 40 kg/m^3 olan 70 mm kalınlığında poliüretan paneller kullanılmıştır. Depoda 3 farklı model sarmal (scroll) ve bir adet hermetik pistonlu kompresör, fanlı-lamelli kondenser ve fanlı-lamelli evaporatör kullanılmıştır. Soğutucu akışkan olarak 7,2 kg R-404A, genişleme vanası olarak dıştan dengelemeli termostatik valf kullanılmıştır. Soğutma sistem şeması Şekil 2’de malzeme listesi ise Tablo 2’de gösterilmiştir.

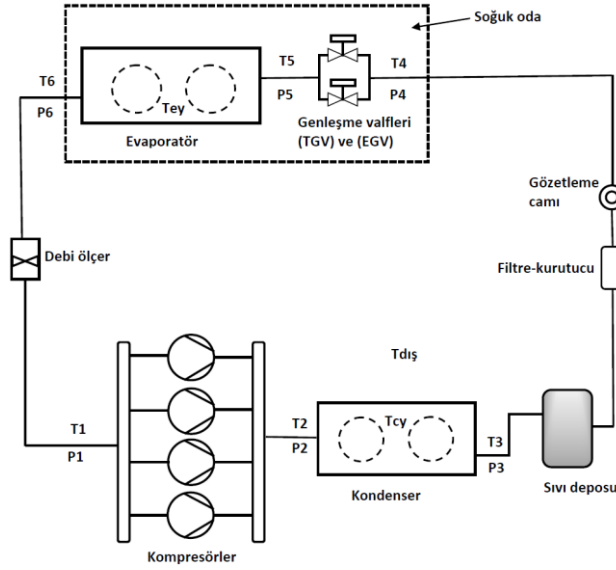
DeneySEL ölçümler aç-kapat (on-off) ve oransal integral ve türevsel (PID) kontrol senaryolarına göre yapılmıştır. İç ortamda 11,9 kW’lık fanlı ısıtıcı yerleştirilmiştir. Isıtıcı kontrolü PLC ve SSR röle ile zaman oransal olarak ayarlanabilmektedir. Fanlı ısıtıcı deneylerde ayarlandığı yükte sürekli çalıştırılmıştır.

Klasik aç-kapat kontrol senaryosunda depo iç ortam sıcaklığı (t_i) termostat ayar değerine (t_s) düştüğünde kompresörü durduracak, sıcaklık 2 K arttığında tekrar çalıştıracak şekilde ayarlanmıştır. Termostat kompresörü durdurduğunda onunla birlikte kondenser fan motoru da durdurulmuş, iç ünite fan motorları ise sürekli olarak çalıştırılmıştır.



Şekil 1. Soğuk depo, dış ünite ve kontrol panosunun görünümü

PID kontrol senaryosunda kompresör, iç sıcaklık ayar sıcaklığına ulaştırılacak şekilde PLC tarafından inverter sürücü yardımıyla hızı değiştirilecek şekilde ayarlanmıştır. Kompresör için minimum devir sayısı nominal devrin %25’i olarak ayarlanmıştır. Kondenser fanları ise kondenser yüzey sıcaklığı (t_{cy}) ile dış ortam sıcaklığı (t_d) arasında 14 K fark oluşturacak şekilde dimmer modülü yardımıyla oransal olarak (PID) sürülmüştür. Evaporatör fanları ise evaporatör yüzey sıcaklığı (t_{ey}) ve iç sıcaklık (t_i) arasındaki fark 5 K olacak şekilde yine dimmer modülü ile oransal olarak sürülmüştür. Dimmer modülleri evaporatör ve kondenser fanlarını 100 V ile 220 V arasındaki gerilimlerde oransal olarak çalıştırmıştır.



Şekil 2. Soğuk depo soğutma sistem şeması

Her iki kontrol yönteminde (aç-kapat ve oransal) depo iç sıcaklıkları $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak ayarlanmıştır. İç sıcaklıklar $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ için fanlı ısıtıcı ile %5 ila %30 arasında %5'lik artışlarla yüklenmiş, $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ iç sıcaklığında kapasite %5 ila %40 arasında %5'lik artışlarla yüklenmiştir. Deneyler sırasında tüm fiziksel değişkenler 10 saniye aralıklarla Excel dosyası olarak flash belleğe kaydedilmiştir. Daha sonra her sabit fanlı ısıtıcı yükü için bu ölçüm değerlerinin ortalamaları alınmıştır. Fanlı ısıtıcıdan, evaporatör fanlarından oluşan depo iç ısı kazançları ve transfer yoluyla panel cidarlarından oluşan kazançlar her yük durumu için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Toplam ısı kazançları aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmıştır:

$$\sum Q = P_R + P_{Rf} + P_{ef} \quad (5)$$

Isıtıcı gücü

$$P_R = \sqrt{3}EI_R \quad [\text{W}] \quad (6)$$

Fanlı ısıtıcı fan gücü ise

$$P_{Rf} = 50 \quad [\text{W}] \quad (7)$$

Evaporatör fanlarının gücü ise

$$P_{ef} = EI \cos \phi \quad [\text{W}] \quad (8)$$

Panel cidarlarından transfer yoluyla oluşan ısı kazancı

$$\dot{Q}_T = AK_u \Delta T \quad [\text{W}] \quad (9)$$

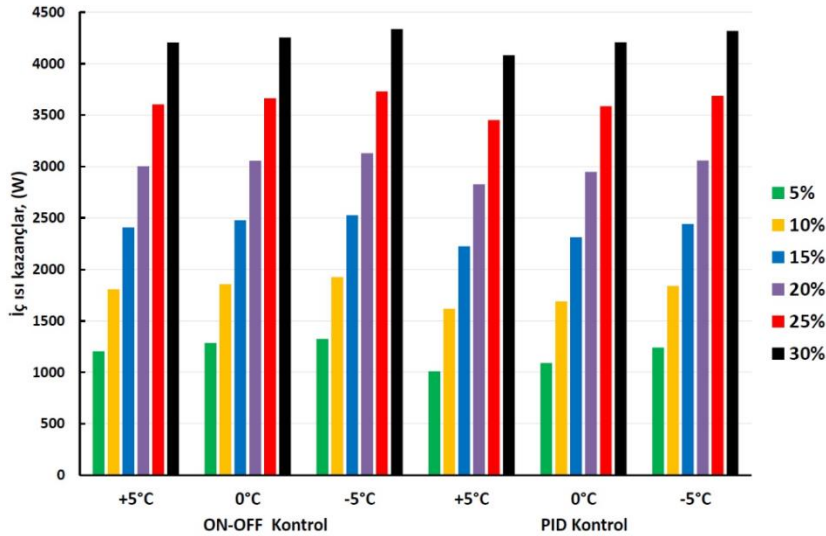
Tablo 2. Soğuk depo malzeme listesi ve özellikleri

Ekipman	Özelliği
Kompresör-1	Dijital sarmal Model ZBD38KCE-TFD-551
Kompresör-2	Sarmal (Scroll) Model ZB38KCE-TFD-551
Kompresör-3	Sarmal CSBN 373.H8G
Kompresör-4	Pistonlu Model:CS27K6E-TFD-595
Evaporatör	SPS-4, fan modeli 2x450 mm aksiyal tip fanlı
Kondenser	SPS-4D 2x400 mm aksiyal fanlı
Genleşme valfleri	Elektronik G.V. E2V-35B 16-16 ODF Termostatik genleşme valfi (Castel), kartuş no:03
Basınç Ölçer	Pressure Transducer SPKT0013R0, SPKT0033R0 -1.0 to 9,3 bar, 0-30 bar, hassasiyet %1,2
Sıcaklık ölçer	Termo dirençler: DIN/IEC PT 100
Güç Ölçer	Güç analizörü, Akım, Cos ϕ , Gerilim, Frekans, Aktif ve Reaktif Güç ölçümü
Fanlı ısıtıcı	Yük ısıtıcı, 3x3 kW Yük ısıtıcı fanı, radyal (500 m ³ /h)
PLC	Programlanabilir ve Mantık denetleyici (Delta PLC ve modülleri)
Veri toplayıcı	Çok nokta girişli (32 girişli)
Filtre Kurutucu	ADKO56MMS
Debimetre	Türbin tipi ELK-50
Frekans dönüş.	ABB-5 kW

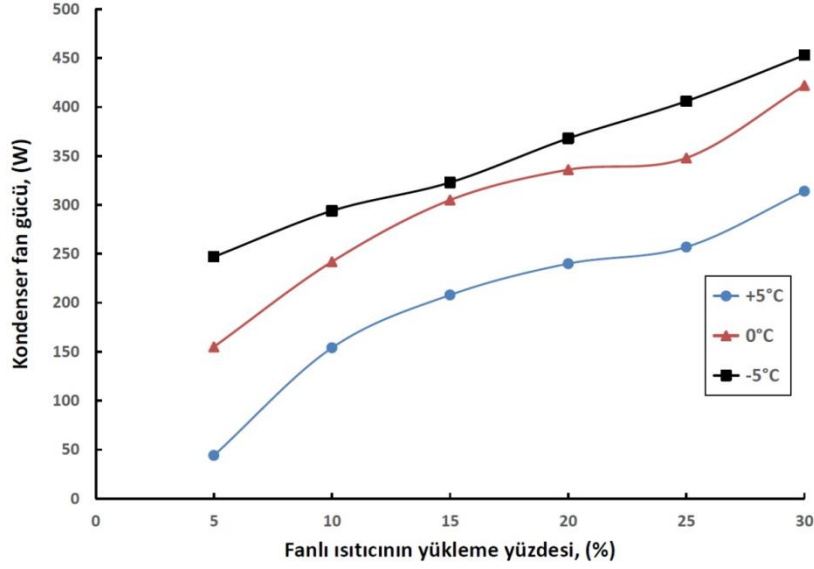
6. DENEY SONUÇLARI

Kaydedilen tüm parametrelerin ait olduğu iç sıcaklık ve yükleme yüzdelerindeki ortalamaları alınmış, hesaplamalar bu ortalama değerler üzerinden yapılmıştır. Aç-kapat kontroldeki hesaplamalara zaman oranı çarpan olarak eklenmiştir.

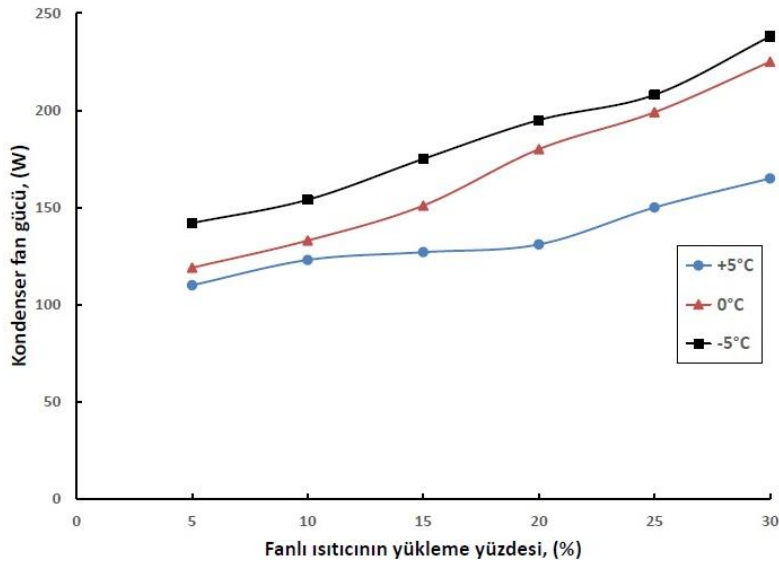
DeneySEL ölçümlerde öncelikle soğuk depo iç ısı kazançları her yük yüzdesi ve kontrol aç-kapat ve oransal (PID) kontrol türü için hesaplanmıştır (Şekil 3). Bu sonuçlara göre iç yükler toplamda %4 civarında azalmıştır. Bunun nedeni evaporatör fanının soğutma yüküne bağlı olarak düşük hızlarda çalıştırılmasıdır.

**Şekil 3.** Kontrol türüne ve yükleme yüzdelerine göre farklı sıcaklıklarda soğuk depo iç ısı kazançları

Kondenser fan yükleri her iki kontrol türü için hesaplandığında PID kontrol %42,8 oranında avantajlı olmaktadır. Şekil 4 ve Şekil 5'te kondenser fanlarının çekmiş olduğu güç değişimleri gösterilmiştir.

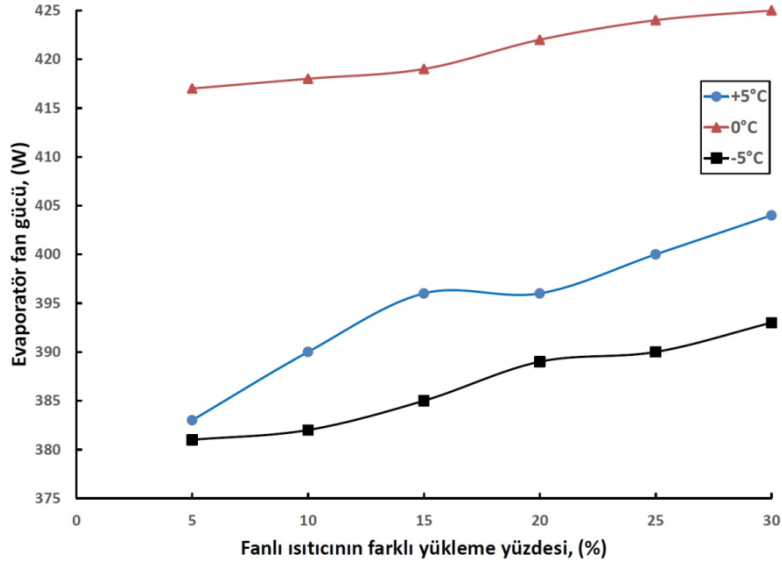


Şekil 4. Kondenser fanının aç-kapat (ON-OFF) kontrol türünde iç yük yüzdesine ve sıcaklığa bağlı fan gücü değişimi

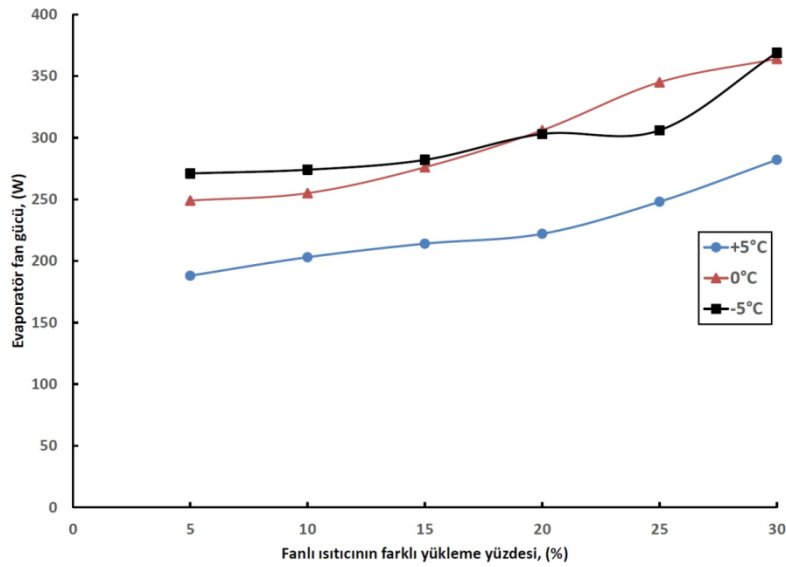


Şekil 5. Kondenser fanının oransal (PID) kontrol türünde iç yük yüzdesine ve sıcaklığa bağlı fan gücü değişimi

Evaporatör fan yükleri incelendiğinde oransal (PID) kontrol türünün aç-kapat (ON-OFF) kontrole kıyasla toplamda %31 civarında tasarruflu olduğu görülmüştür (Şekil 6 ve Şekil 7).



Şekil 6. Evaporatör fan gücünün, aç-kapat (ON-OFF) kontrolde farklı yüklerde ve farklı iç sıcaklıklarda değişimi



Şekil 7. Evaporatör fan gücünün, oransal (PID) kontrolde farklı yüklerde ve farklı iç sıcaklıklarda değişimi

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma Tübitak 2218 Yurt İçi Doktora sonrası araştırma bursu kapsamında yapılmış ve deney düzeneği yeni devreye alınmıştır. Çalışmada kullanılan PID parametreleri gelişigüzel alınmış olup bu değerlerin optimize edilmeleri gereklidir. Buna rağmen iç ısı kazançlarında %4'lük bir azalma, kondenser fan giriş gücünde %42,8, evaporatör fan giriş gücünde ise %31'lik bir enerji tasarruf ortaya çıkmıştır. Şüphesiz PID algoritmalarının optimize edilmesi ile bu tasarruf oranları daha da iyileştirilebilir.

Bu çalışmada evaporatör ve kondenser fan motorları olarak PSC (daimi ayırık kapasitörlü) motorlar kullanılmış olup, bunları yerine daha sonraki çalışmalarda elektronik kontrollü (EC) fan motorları kullanılacaktır. Ayrıca termostatik valf yerine elektronik genişleme valfi kullanılarak verim iyileşmeleri gözlenecektir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 2218 No'lu Yurt İçi Doktora Sonrası Araştırma Burs Programı kapsamında yapılmıştır. Bu projedeki destekleri için Tübitak'a, projenin gerçekleşmesinde katkılarından dolayı Teknosav, Vebs Elektronik ve Deneysan firmalarına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] Evans, J.A., Hammond, E.C., Gigiel, A.J., Foster, A.M., Reinholdt, L., Fikiin, K., Zilio, C., Assessment of methods to reduce the energy consumption of food cold stores, Applied Thermal engineering 62, 2014, pp. 697-705
- [2] Qureshi, T. Q., Tassou, S. A., Variable-Speed capacity control in refrigeration system, Applied thermal engineering, Vol. 16, No. 2, 1996, pp. 103-113
- [3] Ding, G.L., Recent developments in simulation techniques for vapour-compression refrigeration systems, International Journal of Refrigeration 30, 2007, pp. 1119-1133
- [4] Yaqub, M., Zubair, S. M., Capacity Control for Refrigeration and Air- Conditioning Systems: A Comparative Study, Transactions of the ASME Vol. 123, MARCH 2001.
- [5] Aprea, C., Renno, C., An experimental analysis of a thermodynamic model of a vapor compression refrigeration plant on varying the compressor speed. Int. J. Energy Res. 28, 2004, pp. 537-549
- [6] Aprea, C., Mastrullo, R., Renno, C., Fuzzy control of the compressor speed in a refrigeration plant, Int. J. Refrig. 27, Vol. 6, 2004, pp. 639-648
- [7] Aprea, C., Mastrullo, R., Renno, C., Experimental analysis of the scroll compressor performances varying its speed, Applied thermal engineering, 26, 2006., pp. 983-992
- [8] Aprea, C., Mastrullo, R., Renno, C., Determination of the compressor optimal working conditions. Appl. Therm. Eng. 29, 2009, pp. 1991-1997.
- [9] Hua, L., Jeong, S., You, S.S., Feedforward control of capacity and superheat for a variable speed refrigeration system, Applied Thermal Engineering 29, 2009, pp. 1067-1074
- [10] Liang N., Shao S. Tian C., Yan Y., Dynamic simulation of variable capacity refrigeration systems under abnormal conditions, Applied Thermal Engineering 30, 2010, pp. 1205-1214
- [11] Ekren, O., Celik, S., Noble, B., Krauss, R., Performance evaluation of a variable speed DC compressor. International Journal of Refrigeration 36, 2013, pp. 745-757
- [12] Evans, J.A., Gigiel, A.J., Reducing the energy consumption in cold stores, in: The 22nd IIR International Congress of Refrigeration, Beijing, 2007
- [13] Evans, J.A., Gigiel, A.J., Reducing energy consumption in cold storage rooms, in: IIR ICC, Cambridge, 2010.
- [14] Stores, J.A., Evans, A.M., Foster, J., Huet, M., Reinhold, L., Fikiin, K., Zilio, C., Houska, M., Landfeld, A., Bond, C., Scheurs, M., T.W.M. van Sambeek Specific energy consumption values for various refrigerated food cold stores Energy and Buildings 74, 2014, pp. 141-151
- [15] Çomaklı, O., Amonyak Kompresyonlu Endüstriyel Bir Soğuk Depo için Bilgisayar Modeli, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 1988.



- [16] Çomaklı, Ö., Akdoğan, F. ve Yüksel B., Soğuk Hava Depolarında Ekonomik Yalıtım Kalınlığı Hesabı, Termoklima, 1,9,33-36,1992.
- [17] <http://frigonetwork.com/2011/01/15/soguk-hava-depolarinda-enerji-tasarrufu/> (18.01.2015 tarihinde erişildi)
- [18] Dansfoss, 2006, Automatic Controls for Industrial Refrigeration Systems Application handbook
- [19] Hilton G, Aust., E, Airah M., Reducing energy use in the cold storage industry- A case study, Ecolibrium April 2013.
- [20] Carbon Trust website from www.carbontrust.co.uk
- [21] Bulgurcu, H., Hava soğutmalı kondenserler için düşük çevre sıcaklığının etkileri, Mühendis ve Makina Dergisi, Sayı 425, Cilt 35, Sayfa 28-30, Haziran 1995.
- [22] Lazzarin, R., Nardotto, D., and Noro, M. , Electronic expansion vlave vs. thermal expansion valve ASHRAE Journal, February 2009
- [23] Schmidt F. Expansion valve and zeotrope refrigerant. 19th International Congress of Refrigeration, 1995
- [24] Hewitt N.J., McMullan J.T., Murphy, N.E., Ng CT. Comparison of expansion valve performance, International Journal of Energy Research, 19, 1995, pp. 347–359
- [25] Aprea, C. and Mastrullo, R., Experimental Evaluation of Electronic and Thermostatic Expansion Valves Performances Using R22 and R407C, Applied Thermal Engineering 22, 2002, pp. 205-218.
- [26] Bulgurcu, H., Yalçın, E., Erol, E., Energy Saving In Cold Rooms Lighting System by Using Led Fixtures, 7th International Ege Energy Symposium & Exhibition, June 18-20, 2014 Usak, Turkey
- [27] <http://www.guardian-controls.com> (10.01.2015 tarihinde erişildi)

ÖZGEÇMİŞLER

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. 1995 yılında Y. Doçent, 2013 yılında Doçent oldu. 1986-1989 yılları arasında Kartal Teknik Lisesinde, 1989-1995 yılları arasında Çankırı Meslek Yüksekokulunda öğretim elemanı olarak çalıştı. 1994 yılında İngiltere'de mesleki araştırmalarda bulundu. 1995-2012 yılları arasında Balıkesir Meslek Yüksekokulu İklimlendirme ve Soğutma Programında çalıştı. Ağustos 2012'den bu yana Balıkesir Mühendislik Mimarlık Fakültesi'nde çalışmalarına devam etmektedir. 2005 yılında kurduğu deney setleri üreten bir firmanın eğitim danışmanıdır. Evli ve iki çocukludur.

Mustafa ASKER

1980 yılında Bağdat'ta doğdu. 2001 yılında Bağdat-Irak'ta Al Nahrain Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünü tamamladı. Yüksek lisans çalışmasını 2004 yılında aynı üniversitede tamamladı. Doktora çalışmasını 2012 yılında Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde tamamladı. Mayıs 2014'ten itibaren Adnan Menderes Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümüne Yrd. Doç. Dr. Olarak atandı. İlgili alanları faz dönüştürücü malzemeler, enerji tasarrufu ve sayısal ısı transferidir.

