Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi
Part:C, Tasarım Ve Teknoloji
GU J Sci Part:C
4(3):83-90 (2016)

Adyabatik Soğutma Sistemlerinde Nozul Yapısının Soğutma Performansına Etkilerinin Teorik ve Deneysel İncelenmesi

Ali Etem GÜREL[1], Abdulaziz YILDIZ[2], Emrah DENİZ[3,♠]

[1]*Düzce Üniversitesi, Düzce Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Düzce/TÜRKİYE*
[2]*Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Karabük/TÜRKİYE*
[3]*Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Karabük/TÜRKİYE*

Başvuru: 25/05/2016 Kabul: 22/07/2016

ÖZ

Küresel ısınma, yaşam standartlarındaki artış vb. etkenler soğutma ve iklimlendirme sistemlerine olan talebi her geçen gün artırmaktadır. Bu sistemlerin performanslarının artırılmasına yönelik farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri de soğutma sistemlerinde evaporatif kondenser kullanımıdır. Bu çalışmada, soğutma sistemlerinde evaporatif kondenser kullanımının sistem performansına olan etkileri deneysel olarak analiz edilmiştir. Deneysel sistemin kondenser ünitesi adyabatik nemlendirme yöntemi ile soğutulmuştur. Adyabatik nemlendirme işlemi 0.2, 0.3 ve 0.4 mm çaplarında nozullar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sistem, hava soğutmalı kondenser kullanımı ve farklı nozul çapları için termodinamik olarak analiz edilmiş, sistemin soğutma performansları karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler evaporatif kondenser kullanımıyla, kompresör işinde %8.48 azalma, soğutma sistemi COP değerinde %32.92 ve tüm sistemin COP değerinde ise, %18.43 artış olduğunu göstermiştir.

Anahtar kelimeler: *Adyabatik nemlendirme, Evaporatif kondenser, COP.*

The Experimental and Theoretical Investigation of Effects on the Cooling Performance of Nozzle Structure in Adiabatic Cooling Systems

ABSTRACT

Global warming, rise in life standards, and so on increase the demand for cooling and air-conditioning systems every passing day. Various methods are used to enhance the performance of these systems. One of these methods is the use of evaporative condenser in cooling systems. This study makes an experimental analysis of the effects of using evaporative condenser in cooling systems on system performance. The condenser unit of the experimental system was cooled through adiabatic humidification method. Adiabatic humidification process was carried out by using nozzles with diameters of 0.2, 0.3, and 0.4 mm. The system was thermodynamically analyzed for the use of air-cooled condenser and different nozzle diameters, thereby comparing the cooling performances of the system. The obtained data shows that the use of evaporative condenser led to a decrease of 8.48% in the work of compressor, an increase of 32.92% in the COP value of the cooling system, and an increase of 18.43% in the COP value of the entire system.

Keywords: *Adiabatic humidification, evaporative condenser, COP.*

♠*İletişim yazarı, e-mail: edeniz@karabuk.edu.tr*

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Hızlı nüfus artışı ve teknolojik gelişmeler enerji tüketimini dolayısıyla da dünyanın enerji talebini her geçen gün artırmaktadır. Bu talebi karşılamak için yoğun olarak kullanılan birincil enerji kaynakları da küresel ısınma, sera etkisi ve ozon tabakasının incelmesi gibi birçok problemin kaynağı olmaktadırlar. Uluslararası Enerji Ajansının verilerine göre birincil enerji kaynakları kullanımı 20 yıllık süreçte (1984-2004) yükseliş eğilimi göstermiştir. Dünya nüfusu %27 artarken, kişi başına ortalama enerji tüketimi %10 artış göstermiştir. Bu nedenle birincil enerji kaynakları tüketimi %49 artarken, CO_2 emisyonları da %43 artış göstermiştir [1]. Birçok ülkede toplam enerji tüketiminin önemli bir bölümünü konut sektörü oluşturmaktadır [2]. Konut sektörü dünya toplam enerji tüketiminin %60'ından fazlasını oluşturmaktadır. Evlerde bu oran yaklaşık %20-40 arasındadır [1]. Evlerde tüketilen enerjinin büyük bir kısmını ısıtma-soğutma uygulamaları kapsamaktadır. Soğutma için gerekli olan enerji ihtiyacının 1990 ve 2000 yılları arasında yılda %14.6'ya ulaştığı bildirilmiştir [3]. Dünya genelinde HVAC ekipmanları tarafından tüketilen enerji, ülkenin iklim koşullarına da bağlı olarak, %16-%50 arasında değişmektedir [4].

Küresel ısınma, yaşam standartlarının artması vb. etkenlerden dolayı soğutma sistemlerinin kullanımı her geçen gün artış trendi göstermektedir. Soğutma sistemlerinin birçok farklı tipi vardır. Bu sistemlerin verimlerinin iyileştirilmesine yönelik farklı uygulamalar bulunmaktadır. Bunlardan biri de evaporatif kondenser kullanımıdır.

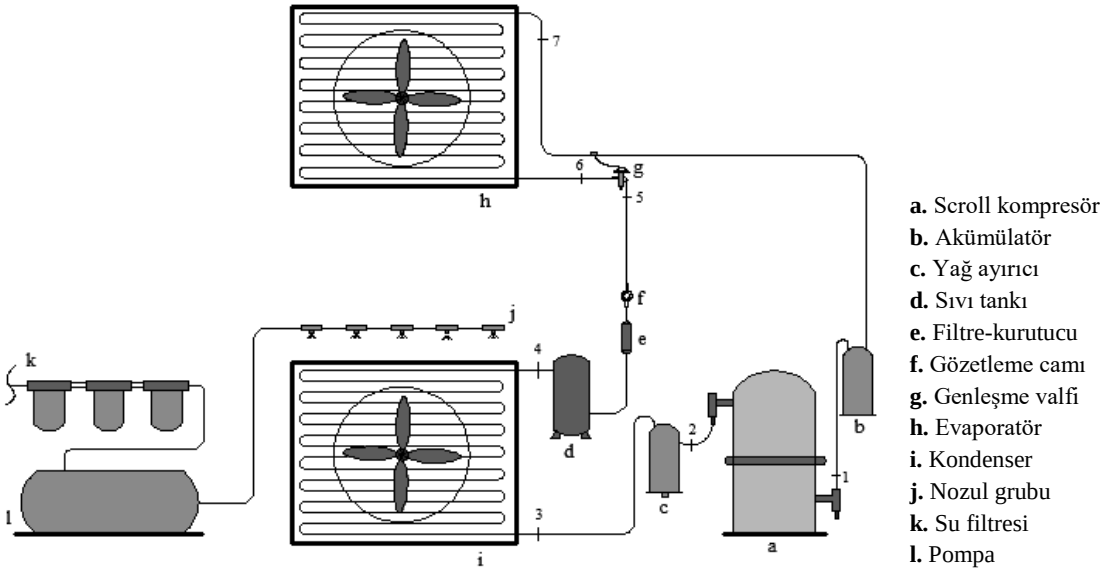
Harby ve arkadaşları, buhar sıkıştırmalı soğutma sistemlerinde evaporatif kondenser kullanımının performans üzerindeki etkileri üzerine bir inceleme gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada farklı tipteki kondenserler karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda, 3-3000 kW soğutma kapasitesine sahip sistemlerde hava soğutmalı kondenser yerine evaporatif kondenser kullanımının güç tüketimini %58'e kadar azaltabildiği, sistem performans katsayısını (COP) yaklaşık %113.4 artabildiği belirlenmiştir [5]. Wang ve arkadaşları, evaporatif kondenser kullanılan bir iklimlendirme sistemini deneysel olarak incelemişlerdir. Sistemde evaporatif kondenser kullanılması ile kompresör güç tüketiminde %14.3 azalma kaydedilmiştir [6].

Nasr ve arkadaşları, ev tipi soğutucularda kullanılan evaporatif kondenser sistemini teorik ve deneysel olarak incelemiştir. Çalışmanın sonunda evaporatif kondenser için teorik bir model geliştirilmiş ve bu modelin doğruluğu deneysel verilerle karşılaştırılmıştır [7]. Ertunç ve Hoşöz, evaporatif kondenserli bir soğutma sistemini YSA tekniği kullanarak analiz etmişlerdir. YSA modeli soğutma sisteminin, kondenser ısı atma oranın, soğutucu akışkan kütlesel debisinin, kompresör gücü ve COP değerlerinin tahmininde kullanılmıştır [8]. Jahangeer ve arkadaşları, çalışmalarında evaporatif bir kondenserin ısı transfer karakteristiklerini nümerik olarak değerlendirmişlerdir [9]. Hwang ve arkadaşları, yeni bir evaporatif kondenser yapısı ile geleneksel hava soğutmalı bir kondenserin performanslarını karşılaştırmışlardır. Deneysel sistem kontrollü bir kabin içerisinde test edilmiştir. Deneysel sonuçlar evaporatif kondenser kullanımının hava soğutmalı kondenserden %1.8 ile %8.1 arasında daha yüksek bir performans sağladığını göstermiştir [10]. Islam ve arkadaşları, bir iklimlendirme sisteminde kullanılan evaporatif kondenserin sistem performansına olan etkilerini incelemişlerdir. Çalışmanın sonuçları, COP değerinin evaporatif kondenser kullanımında hava soğutmalı kondenser kullanımına göre %28 arttığını göstermiştir [11].

Bu çalışmada evaporatif kondenser kullanılan bir soğutma sisteminin enerji analizi yapılmıştır. Sistem farklı çaplı nozullar kullanılarak test edilmiştir. Enerji analizi her nozul çapı için gerçekleştirilmiş ve sistemin performans katsayıları değerlendirilmiştir.

2. DENEYSEL SİSTEM (EXPERIMENTAL SYSTEM)

Çalışmada kullanılan deneysel sistemin şematik görünümü Şekil 1'de verilmiştir. Deneysel sistemde ana bileşenleri scrool kompresör, fannet tipi alüminyum levhalı evaporatör, U tipi alüminyum levhalı kondenser ve termostatik genleşme valfi olan 60000 BTU kapasitesine sahip bir kanal tipi split klima sistemi kullanılmış olup, kullanılan soğutma sisteminin teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Deneysel sistemin şematik görünümü (Schematic view of experimental system)

Soğutma sisteminde adyabatik nemlendirme işlemini sağlayabilmek amacıyla kondenser üzerine 0.2, 0.3 ve 0.4 mm çapında nozullar yerleştirilerek yüksek basınçlı bir pompa (55-70 bar) ile suyun basınçlandırılması sağlanmıştır. Deneylerde kullanılan adyabatik nemlendirme sistemi, yüksek basınçta nozullardan 35 mikronun altında püskürtülen su zerrecikleri ile kondenser giriş havasını neme doyurmakta ve kondenser girişindeki havayı yaş termometre sıcaklığına yaklaştırmaktadır.

Tablo 1. Deneysel sistemin teknik özellikleri (Technical properties of experimental system)

Parametre	**Değer**
Soğutma kapasitesi (kW)	17.6
Hava debisi (L/s)	825
Soğutucu Akışkan	R-22
Enerji verim oranı-EER (BTU/Wh)	9
Kompresör tipi	Scrool
Akım (A)	11.9
Kütle (kg)	200

Şekil 2'de soğutma sistemi dış ünitesi ile bütünleşik olarak hazırlanan adyabatik nemlendirme sistemi bir arada görülmektedir. Deneysel çalışmalar, adyabatik nemlendirme işleminin yapılmadığı hava soğutmalı kondenser ile 0.2, 0.3 ve 0.4 mm çaplarında nozullar kullanılarak adyabatik nemlendirmenin yapıldığı evaporatif kondenser olmak üzere iki farklı şart altında gerçekleştirilmiştir.

Deneyler esnasında soğutma sistemindeki basınç değerleri GEMS marka, 2600 serisi model 0-400 bar basınç aralığını ölçme özelliğine ve %0.25 hassasiyete sahip basınç transmitterleri kullanılarak belirlenmiştir. Havanın bağıl nem değeri ölçümleri Ram DT 615 model sıcaklık ve nemölçer kullanılarak yapılmıştır. Sistem tarafından tüketilen enerji miktarının belirlenmesi amacıyla ise, MAKEL T300.2216 tipi elektrik sayacı kullanılmıştır. Hazırlanan sistemde tüm sıcaklık ölçümleri ise, ±0.1 °C hassasiyete sahip nikel krom-nikel (K tipi) ısıl çiftler kullanılarak yapılmıştır. Basınç ve sıcaklık verileri Advantech marka "Adam 4018" veri dönüştürücü kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılarak ölçülmüş ve kaydedilmiştir.

Şekil 2. Deneysel sisteminin dış ünitesi (Outdoor unit of experimental system)

3. TERMODİNAMİK ANALİZ (THERMODYNAMIC ANALYSIS)

Soğutma sistemine ait kondenser, evaporatör ve kompresör kapasiteleri, Şekil 1 üzerindeki çevrim noktaları göz önüne alınarak, sırasıyla aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_{kond} = \dot{m}_{sa} \cdot (h_3 - h_4) \quad (1)$$

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}_{sa} \cdot (h_7 - h_6) \quad (2)$$

$$\dot{W}_{komp} = \dot{m}_{sa} \cdot (h_2 - h_1) \quad (3)$$

Soğutma sistemin performans katsayısı (COP) Eşitlik 4. kullanılarak hesaplanır.

$$COP = \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{W}_{komp}} \quad (4)$$

Belirli sıcaklıklar arasında çalışan en etkin soğutma çevrimi ters Carnot çevrimidir. Tersinir bir soğutma makinesinin soğutma performans katsayısı aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$COP_{tr} = \frac{T_L}{T_H - T_L} \quad (5)$$

Bu eşitlik, T_H (yüksek sıcaklıktaki ısıl enerji deposu) ve T_L (düşük sıcaklıktaki ısıl enerji deposu) sıcaklık sınırları arasında çalışan bir soğutma makinasının ulaşabileceği en yüksek etkinlik katsayısı değeridir. Bu sıcaklık sınırları arasında çalışan tüm gerçek soğutma makinalarının etkinlik katsayıları daha düşük olacaktır. Yani tersinir çevrimler, gerçek çevrimlerin üst sınırını belirler.

Yapılan çalışmada kullanılan sistemde kompresör, hava fanları ve su pompası gibi farklı yapı ve özelliklerde enerji tüketen sistem elemanları bulunmaktadır. Bu elemanlarında tüketmiş oldukları enerji miktarları hesaba katıldığında bütün sistemin performans katsayısı (COP_{ts});

$$COP_{ts} = \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{W}_{komp} + \dot{W}_{fanlar} + \dot{W}_{pompa}} \quad (6)$$

eşitliği kullanılarak bulunur [12].

4. SONUÇLAR (RESULTS)

Yapılan çalışmada, evaporatif kondenser kullanımının soğutma sistemlerinin çalışma parametrelerine etkilerinin deneysel olarak belirlenmesi hedeflenmiş ve bu doğrultuda split klima ve adyabatik nemlendirme ünitelerinden oluşan deneysel bir sistem oluşturularak gerçek şartlar altında denenmiştir. Çalışmaların ilk aşamasında hava soğutmalı geleneksel kondenser uygulaması, ikinci aşamada ise çeşitli çaplarda nozullarla adyabatik nemlendirme yöntemi kullanılan evaporatif kondenser uygulamaları şeklinde gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Tablo 2'de her iki kondenser uygulaması ile elde edilen sıcaklık ve basınç değerlerindeki değişimler verilmiştir.

Tablo 2. Deneysel parametreler (Experimental parameters)

Parametre	**Birim**	**Hava soğutmalı kondenser**	**0.2 mm nozullu evaporatif kondenser**	**0.3 mm nozullu evaporatif kondenser**	**0.4 mm nozullu evaporatif kondenser**
Dış hava sıcaklığı	°C	38	38	38	38
Evaporatör giriş hava sıcaklığı	°C	25	25	25	25
Evaporatör çıkış hava sıcaklığı	°C	10	8.4	7.6	6.8
Evaporatör basıncı	bar	3.6	3,5	3.45	3.42
Kondenser basıncı	bar	16	14	13	12
Evaporatör sıcaklığı	°C	-9.6	-10.4	-10.8	-11
Kondenser sıcaklığı	°C	41.75	36.3	33.35	30.25
Kompresör giriş sıcaklığı	°C	1.1	-2.5	-5.2	-6.4

0.2 mm çapında nozullar kullanılarak adyabatik nemlendirme yapılan soğutma sistemine ait deneysel sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir. 0.2 mm nozul çapına sahip evaporatif kondenser uygulamasının, hava soğutmalı kondenser kullanılan sistemle karşılaştırıldığında, COP değerinde %16.77, COP_{ts} değerinde %9.55 ve soğutucu akışkan kütlesel debisinde %5.54 oranında artış, kompresör enerji tüketiminde ise %4.13 azalma gerçekleştiği görülmektedir.

Tablo 3. Evaporatif kondenser ve hava soğutmalı kondenserin performans değerlendirmesi (0.2 mm nozul için) (Performance evaluation of evaporative condenser and air-cooled condenser for 0.2 mm nozzle)

Parametre	**Birim**	**Hava soğutmalı kondenser**	**0.2 mm nozullu evaporatif kondenser**	**Değişim (%)**
Kompresör kapasitesi	kW	4.6	4.41	-4.13
Kütlesel debi	kg/s	0.08937	0.09432	5.54
Evaporatör kapasitesi	kW	14.8	16.6	12.16
COP	-	3.22	3.76	16.77
COP_{tr}	-	5.13	5.62	9.55
COP_{ts}	-	2.55	2.72	6.66
Su debisi	L/h	-	21	-

Tablo 4'te 0.3 mm nozul kullanılan evaporatif kondenser uygulaması ile hava soğutma kondenser uygulamasının karşılaştırılması verilmiştir. 0.3 mm nozul çapına sahip uygulama ile COP değerinde %24.22 artış elde edilirken, kompresör enerji tüketiminde de %6.52 azalma görülmüştür.

Tablo 4. Evaporatif kondenser ve hava soğutmalı kondenserin performans değerlendirmesi (0.3 mm için) (Performance evaluation of evaporative condenser and air-cooled condenser for 0.3 mm nozzle)

Parametre	**Birim**	**Hava soğutmalı kondenser**	**0.3 mm nozullu evaporatif kondenser**	**Değişim (%)**
Kompresör kapasitesi	kW	4.6	4.3	-6.52
Kütlesel debi	kg/s	0.08937	0.09733	8.91

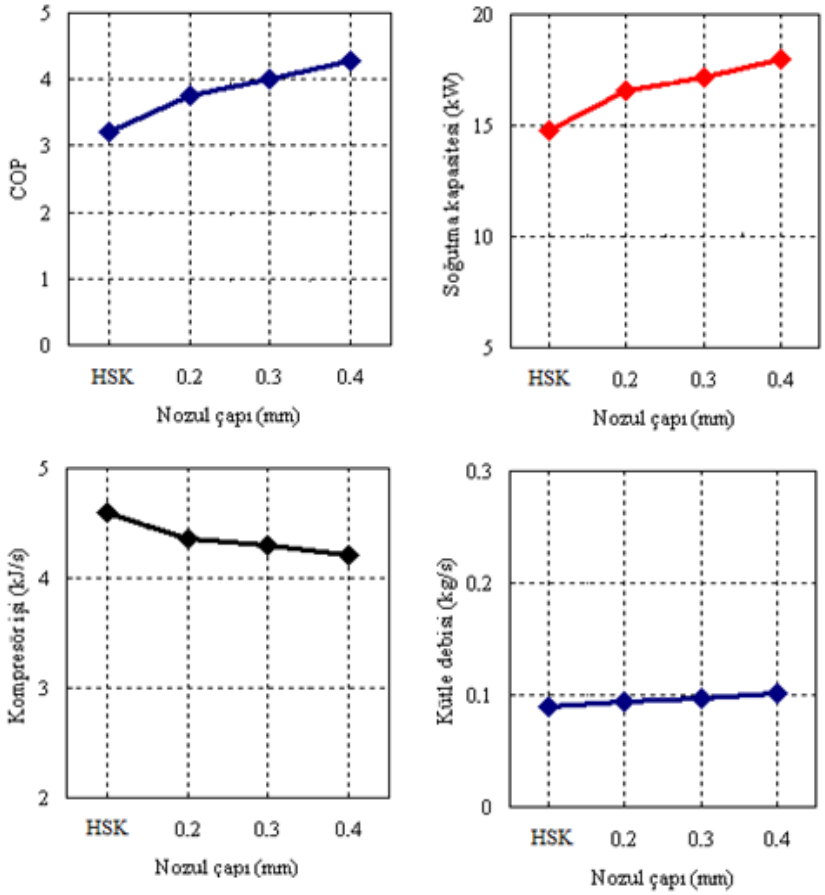
Evaporatör kapasitesi	kW	14.8	17.2	16.22
COP	-	3.22	4	24.22
COP_{tr}	-	5.13	5.94	15.79
COP_{ts}	-	2.55	2.84	11.37
Su debisi	L/h	-	33	-

0.4 mm çapında nozul kullanılan evaporatif kondenser uygulaması ile hava soğutmalı kondenser uygulamasının karşılaştırılması Tablo 5'te verilmiştir.

Şekil 3'te geleneksel hava soğutmalı kondenser uygulaması ve farklı nozul çapları kullanılan evaporatif kondenser uygulamalarının, performansları karşılaştırılmıştır.

Tablo 5. Evaporatif kondenser ve hava soğutmalı kondenserin performans değerlendirmesi (0.4 mm için) (Performance evaluation of evaporative condenser and air-cooled condenser for 0.4 mm nozzle)

Parametre	**Birim**	**Hava soğutmalı kondenser**	**0.4 mm nozullu evaporatif kondenser**	**Değişim (%)**
Kompresör kapasitesi	kW	4.6	4.21	-8.48
Kütlesel debi	kg/s	0.08937	0.10159	13.67
Evaporatör kapasitesi	kW	14.8	18	21.62
COP	-	3.22	4.28	32.92
COP_{tr}	-	5.13	6.35	23.78
COP_{ts}	-	2.55	3.02	18.43
Su debisi	L/h	-	48	-



Şekil 3. Hava soğutmalı kondenser (HSK) ve farklı nozul uygulamalarının performans karşılaştırması (Performance comparison of air-cooled condenser (HSK) and different nozzle applications)

Şekil 4'te hava soğutmalı kondenser ve farklı çaplarda test edilen evaporatif kondenser uygulamalarının çevrim performansları P-h diyagramında gösterilmiştir.

Şekilde görüldüğü gibi evaporatif kondenser uygulaması ile kondenser basıncı düşürülmüş ve buna bağlı olarak soğutma kapasitelerinde artış ve kompresör enerji tüketimlerinde azalma görülmüştür.

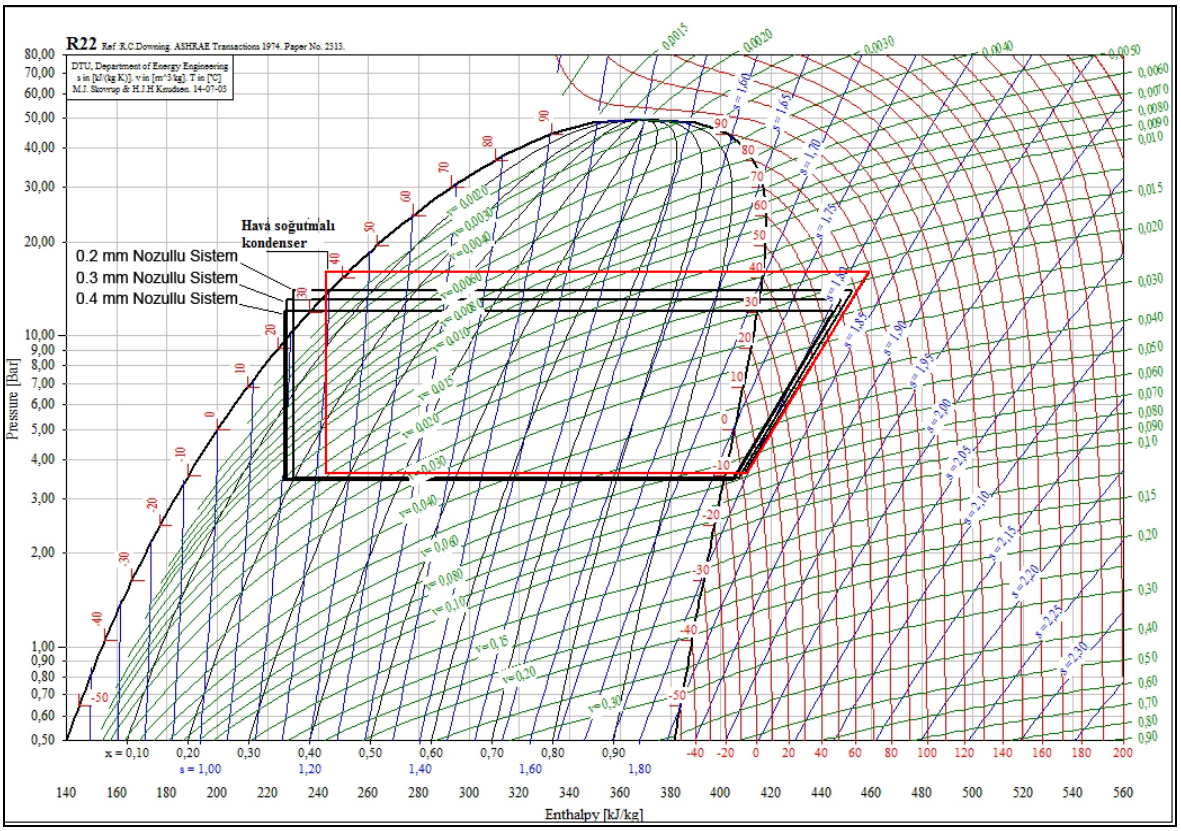
5. TARTIŞMA (CONCLUSION)

Yapılan deneysel çalışmalar ve teorik incelemeler sonucunda elde edilen veriler ve bilim çevreleri tarafından yapılan çalışmalar göstermektedir ki; enerji kaynaklarının etkin kullanımı kullanılan sistemlerin verimlilik düzeylerinin yüksek ve enerji kayıplarının düşüklüğüne bağlıdır.

Bu yüzden verimlilikleri yüksek ve enerji kayıplarını azaltıcı uygulamaları teşvik edici önlemlerin alınması ve kullanımlarının yaygınlaştırılması sağlanmalıdır.

Yoğun enerji tüketiminin söz konusu olduğu hava şartlandırma ve soğutma uygulamaları alanlarında da enerjinin etkin kullanımı amacıyla yeni yöntemler geliştirilmeli ve uygulanmalıdır.

Bu amaçla hava şartlandırma ve soğutma uygulamalarında kullanılabilecek yöntemlerden biri evaporatif kondenser kullanımı olup, kanal tipi split klima kullanılarak yapılan deneysel çalışmalarda, nemlendirme yönteminin uygulanma özelliklerine bağlı olarak kompresör işinde %8.48'e kadar düşüş, COP değerinde ise sırasıyla %32.92'lere kadar artış olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında kanal tipi split klima sistemini oluşturan bütün elemanların etkilerinin de hesaba katılması ile elde edilen COP_{ts} değerinin de %18.43 değerine ulaşabiliyor oluşu, kullanılmakta olan enerjiden önemli miktarlarda tasarruf edilebileceğinin bir göstergesidir.



Şekil 4. Hava soğutmalı kondenser ve evaporatif kondenser sistemlerinin P-h diyagramında karşılaştırılması (Comparison of air-cooled condenser and evaporative condenser systems in the P-h diagram)

Adyabatik nemlendirme yönteminin hava şartlandırma ve soğutma uygulamalarında sağlayacağı olumlu özelliklerin yanında aşağıda verilen faydalar da sağlanacaktır.

1. Sistem performansı ve verimini arttırıcı özelliklerinin yanı sıra güvenilir ve düşük maliyetli bir yöntemdir.

2. Mevcut hava soğutmalı kondenserlere kolayca ve düşük maliyet ile uyarlanabilir.

3. Evaporatif kondenser uygulaması, hava soğutmalı kondenserlerle kıyaslandığında sistem performansı ve enerji tüketiminin azaltılmasına önemli ölçüde katkı sağlamaktadır.

4. Soğutma sistemlerinde çalışma basınç oranlarının düşmesine ve buna bağlı olarak kompresör arızalarının azalmasına sebep olacaktır.

5. Dış ortam sıcaklığının yüksek olduğu özellikle yaz aylarında soğutma sistemlerinin işlevlerini yerine getirememesi gibi olumsuzlukların ortadan kaldırılmasına yardımcı olacaktır.

Yapılacak yeni deneysel çalışmalarda ise; adyabatik nemlendirme yönteminin farklı soğutucu akışkan türlerinin kullanıldığı soğutma sistemlerinin performanslarına olan etkileri, farklı dış ortam koşullarına sahip bölgelerde kullanımları ile sağlanabilecek olumlu etkiler incelenebilir. Bütün bunlara ek olarak kondenser kanatçıklarının uğrayacağı korozyonun önlenebilmesi konularında da çalışmalar yapılarak bu sistemlerin kullanımının yaygınlaştırılmasına katkı sağlanabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] Cuce, P. M., & Riffat, S. (2016). A state of the art review of evaporative cooling systems for building applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *54*, 1240-1249.

[2] Balta, M. T., Dincer, I., & Hepbasli, A. (2010). Performance and sustainability assessment of energy options for building HVAC applications. *Energy and Buildings*, *42*(8), 1320-1328.

[3] Balaras, C. A., Droutsa, K., Dascalaki, E., & Kontoyiannidis, S. (2005). Heating energy consumption and resulting environmental impact of European apartment buildings. *Energy and Buildings*, *37*(5), 429-442.

[4] Khalid, F., Dincer, I., & Rosen, M. A. (2015). Development and analysis of sustainable energy systems for building HVAC applications. *Applied Thermal Engineering*, *87*, 389-401.

[5] Harby, K., Gebaly, D. R., Koura, N. S., & Hassan, M. S. (2016). Performance improvement of vapor compression cooling systems using evaporative condenser: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *58*, 347-360.

[6] Wang, T., Sheng, C., & Nnanna, A. A. (2014). Experimental investigation of air conditioning system using evaporative cooling condenser. *Energy and Buildings*, *81*, 435-443.

[7] Nasr, M. M., & Hassan, M. S. (2009). Experimental and theoretical investigation of an innovative evaporative condenser for residential refrigerator.*Renewable Energy*, *34*(11), 2447-2454.

[8] Ertunc, H. M., & Hosoz, M. (2006). Artificial neural network analysis of a refrigeration system with an evaporative condenser. *Applied Thermal Engineering*, *26*(5), 627-635.

[9] Jahangeer, K. A., Tay, A. A., & Islam, M. R. (2011). Numerical investigation of transfer coefficients of an evaporatively-cooled condenser. *Applied Thermal Engineering*, *31*(10), 1655-1663.

[10] Hwang, Y., Radermacher, R., & Kopko, W. (2001). An experimental evaluation of a residential-sized evaporatively cooled condenser. *International Journal of Refrigeration*, *24*(3), 238-249.

[11] Islam, M. R., Jahangeer, K. A., & Chua, K. J. (2015). Experimental and numerical study of an evaporatively-cooled condenser of air-conditioning systems. *Energy*, *87*, 390-399.

[12] Yıldız, A., Gürel, A. E., & Deniz, E. (2016). Experimental investigation of the effects of using evaporative condenser in cooling systems. *XII. International HVAC+R and Sanitary Technology Symposium*, İstanbul, 377-382.