

Havadan Suyu Isı Pompasının Farklı Ortam Şartlarında Enerji Verimliliği Açısından Analizi

Analysis of Air-to-Water Heat Pump in Terms of Energy Efficiency under Different Ambient Conditions

İsmail ALTUN¹ , Ayhan ONAT¹ 

¹ Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 34854 Maltepe/İSTANBUL

Öz

Havadan suya ısı pompaları kullanıcıların ısıtma, soğutma ve kullanım sıcak suyu ihtiyacının karşılanmasında kullanılan, buhar sıkıştırma soğutma çevrimi esasına dayalı çalışan cihazlardır. Bu cihazların enerji verimliliği açısından etkin bir şekilde kullanılabilmesi için çalışacağı ortam şartlarının değerlendirilmesi gerekmektedir. Havadan suya ısı pompalarının ısı kaynağı havadır. Bu çalışma kapsamında; yapılan deneyler yardımıyla havanın iki önemli özelliği olan sıcaklık ve bağıl nem değerleri belli aralıklarla değiştirilerek her bir sıcaklık-bağıl nem noktası için havadan suya ısı pompasının performans katsayısı (COP) ve enerji verimlilik oranı (EER) hesaplanmıştır. Su çıkış sıcaklıklarının ortam sıcaklığı ve bağıl nem ile değişimi gösterilmiştir. Deneyler sonucunda COP değerlerinin ortam sıcaklığına bağlı olarak -15 °C ortam sıcaklığında 2,13 ile 20 °C ortam sıcaklığında 5,24 arasında değiştiği görülmüştür. Deneylerden elde edilen veriler IBM SPSS Statistics programı kullanılarak analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda COP değerini kompresör giriş-çıkış sıcaklığı, kondenser çıkış sıcaklığı ve evaporatör giriş sıcaklığı ile ilişkilendiren matematiksel model denklemi bulunmuştur. Deneylerde hesaplanan COP değerleri ile programdan elde edilen matematiksel model denklemi kullanıldığında bulunan COP değerleri karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca bağıl nem etkisinin deneysel olarak ele alınması açısından literatüre özgün bir katkı sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Isı Pompası, Enerji Verimliliği, Soğutma Çevrimi, Sıcaklık, Bağıl Nem

Abstract

Air-to-water heat pumps are devices that work based on the vapor compression cooling cycle and are used to meet the heating, cooling and domestic hot water needs of users. In order for these devices to be used effectively in terms of energy efficiency, it is necessary to evaluate the environmental conditions in which they will operate. The heat source of air-to-water heat pumps is air. Within the scope of this study; with the help of experiments, the temperature and relative humidity values, which are two important characteristics of the air, were changed at certain intervals and the performance coefficient (COP) and energy efficiency ratio (EER) of the air-to-water heat pump were calculated for each temperature-relative humidity point. The variation of water outlet temperatures with ambient temperature and relative humidity has been shown. As a result of the experiments, it was seen that the COP values varied between 2.13 at -15 °C ambient temperature and 5.24 at 20 °C ambient temperature, depending on the ambient temperature. The data obtained from the experiments were analyzed using IBM SPSS Statistics program. As a result of the analysis, a mathematical model equation was found that relates the COP value to the compressor inlet-outlet temperature, condenser outlet temperature and evaporator inlet temperature. The COP values calculated in the experiments were evaluated by comparing the COP values found when using the mathematical model equation obtained from the program. In addition, an original contribution to the literature has been made in terms of experimentally addressing the effect of relative humidity.

Keywords: Heat Pumps, Energy Efficiency, Cooling Cycle, Temperature, Relative Humidity

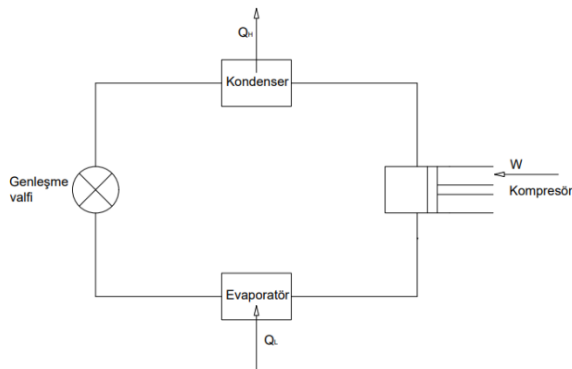
1. GİRİŞ

Isı pompaları bir ısı kaynağındaki ısı enerjisini buhar sıkıştırma soğutma çevrimi yardımıyla farklı bir ortama o ortamın ısıtılması veya soğutulması amacıyla aktaran cihazlardır. Isı pompaları, ısı enerjisini aldıkları kaynağa göre hava kaynaklı, su kaynaklı ve toprak kaynaklı ısı pompaları şeklinde sınıflandırılmaktadır. Isı pompalarının kompresör, kondenser, genleşme vanası ve evaporatör olmak üzere dört temel unsuru vardır. Bir soğutucu akışkanın ısı pompası içerisinde sıvı ve gaz fazları arasında hal değişiminde bulunması yardımıyla ortam ile ısı transferi gerçekleştirilir. Isı pompalarının basitçe çalışma prensibi şu şekildedir: Soğutucu akışkan kompresörde sıkıştırılarak kızgın buhar haline getirilir. Kompresör tarafından basıncı ve sıcaklığı artırılan soğutucu akışkanın

sıcaklığı kondenser kısmında yoğunlaşarak çevreye ısı vermesinden dolayı azalır. Teoride soğutucu akışkanın kondenser kısmında basıncının sabit kaldığı kabul edilir fakat gerçekte boru sürtünmeleri ve yüzey kayıplarından dolayı bir miktar basınç düşümü yaşanmaktadır. Kondenserde yoğunlaşmış halde çıkan düşük sıcaklıktaki soğutucu akışkanın basıncı genişleme (kısılma) vanasında düşerek evaporatör basıncına iner. Evaporatörde ise düşük basınç ve düşük sıcaklıkta olan soğutucu akışkan ortamdaki ısı çekerek buharlaşır. Evaporatörde tekrardan gaz fazına geçen soğutucu akışkanın kompresöre girmesiyle çevrim tamamlanmış olur.

Isı pompaları soğutma çevriminin ters yönde çalışmasıyla ısıtma yapılması ve kondenserde atılan ısı enerjisinin suya aktarılmasıyla sıcak su sağlanması için kullanılmaktadır. Bu şekilde çalışan ısı pompaları tek bir sistem olarak kullanıcıların hem ısıtma-soğutma hem de kullanım sıcak suyu ihtiyacını karşılamasından dolayı oldukça yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Havadan aldığı ısı enerjisini suya aktaran ısı pompaları havadan suya ısı pompaları olarak adlandırılmaktadır. Isı pompasının kondenserinde yoğunlaşan soğutucu akışkanın ısı enerjisi radyatör, yerden ısıtma ve fan-coil gibi sistemlerle ısıtma maksadıyla kullanılmaktadır. Ayrıca ısı pompasından elde edilen sıcak su boyler veya tanklarda depo edilerek kullanım sıcak suyu olarak da kullanılmaktadır. Bu şekilde çalışan ısı pompaları güneş enerjisi ve ek elektrikli ısıtıcılar ile de desteklenebilmektedir.

Enerji verimliliği basitçe elde edilen faydalı enerjinin bu enerjinin sağlanması için harcanan enerjiye oranı olarak tanımlanabilir. Isı pompalarında fayda sağlanan enerji ısıtma maksadıyla kullanıldığında enerji verimliliği ile ilgili değerlendirmelerde performans katsayısı (COP) göz önüne alınır. Fayda sağlanan ısı enerjisi soğutma maksadıyla kullanıldığında ise verimlilik enerji verimliliği oranı (EER) olarak dikkate alınır. Isı pompasının basit çevrimi Şekil 1 içerisinde verilerek COP ve EER değerlerinin hesaplanmasında kullanılan denklemler belirtilmiştir.



Şekil 1. Isı pompası basit çevrimi

Q_H : ortama atılan ısı enerjisini

Q_L : ortamdaki alınan ısı enerjisini

W : harcanan enerjiyi

$Q_H = Q_L + W$ ise Şekil 1'de verilen sistemin enerji dengesi ifade etmektedir.

Yukarıdaki ifadeler göz önüne alındığında ısı pompaları için COP değeri kondenserden ortama atılan ısı enerjisinin kompresörde harcanan enerjiye oranıdır. Isı pompası soğutma maksadıyla kullanıldığında ise EER değeri evaporatörde ortamdaki alınan ısı enerjisinin yine kompresörde harcanan enerjiye oranıdır.

$$COP = \frac{Q_H}{W} = \frac{Q_L + W}{W} = 1 + (Q_L/W) \quad (1)$$

$$EER = Q_L/W \quad (2)$$

Isı pompaları geleneksel ısıtma sistemlerinde kullanılan kömür, doğal gaz ve LPG gibi yanması sonucu havaya karbondioksit, nitrojen ve kükürt gibi zararlı gazlar salan yakıtlara nazaran çevre için daha sağlıklıdır. Havadan suya ısı pompaları ise ısıtma-soğutma ihtiyacı ile birlikte sıcak kullanım suyu sağlaması ve çevre için fosil yakıtlara göre daha sağlıklı olması dolayısıyla kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Enerjinin verimli kullanılması ise getirilen yasal düzenlemeler, enerji kaynaklarına ulaşımın zorlaşması ve enerji maliyetlerinin artması sebebiyle zorunluluk haline gelmiştir. Havadan suya ısı pompalarının enerji verimliliğinin artırılması ile ilgili birçok çalışma ve değerlendirme bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında ise havadan suya ısı pompalarının kullanıldığı ortamdaki havanın sıcaklık ve bağıl nem değerlerindeki değişimin ısı pompasının enerji verimliliği ve çalışma performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

1.1. Literatür İncelemesi

Naldi, C., Dongellini, M. ve Morini, G.L. tarafından yapılan çalışmada, ısıtma amacıyla kullanılan ve farklı tipte kompresörlerle çalıştırılan elektrikli ısıtıcı takviyeli havadan suya ısı pompasının bir matematiksel model kullanılarak farklı iklimlerdeki sezonluk performans katsayıları, binanın ısı ihtiyacına göre değerlendirilmiştir [1].

Popa, V., Ion, I. ve Popa, C. L. tarafından yapılan çalışmada, bir havadan suya ısı pompasının ısıtma ihtiyacı için çalıştırılmasının ekonomikliği, fosil yakıtlı sistemlerle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Bununla birlikte havadan suya ısı pompası sisteminin performans katsayısı hesaplanmıştır. Ayrıca havadan suya ısı pompası sistemini biyoyakıtlı bir ısıtıcı ile kombine ederek daha ekonomik bir sistem elde edilebileceği belirtilmiştir [2].

Januševičius, K. ve Streckienė, G. tarafından yapılan bu çalışmada, TRNSYS (Transient System Simulation) programı kullanılarak bir havadan suya ısı pompasının performansının değişken dış ortam şartlarına göre deneysel araştırılması ve simülasyonu yapılarak incelenmiştir [3].

Şanslı boyler eklenen bir split klimanın COP değerlerini klimanın boyler ekli ve normal şekilde soğutma modunda çalıştığı durumlar için karşılaştırmıştır. Split klimanın kondenserine boyler eklenmesinin enerji verimliliğini artırdığını tespit etmiştir [4].

Afshari, F., Comakli, O., Adiguzel, N. ve Karagoz, S. tarafından yapılan bu çalışmada, bir havadan suya ısı pompası sistemi için gerekli optimum soğutucu akışkan miktarının tespit edilebilmesi amacıyla üç farklı soğutucu akışkan (R22, R134a ve R404a) çeşitli debilerde kullanılarak havadan suya ısı pompasının performans katsayısı, ısıtma kapasitesi ve kompresör basıncı incelenmiştir [5].

Liu, F., Wang, L., Wang, Q. ve Wang, H. tarafından yapılan bu çalışmada, güneş enerjisi ile desteklenen bir ısı pompası tasarlanarak hava kaynaklı ısı pompasının performansı deneysel olarak değerlendirilmiştir. Bununla birlikte düşük hava sıcaklıklarında oluşabilecek karlanma ile ısı pompasının defrost özelliğinde çalışması ile oluşan enerji kayıplarının böyle bir sistem ile önüne geçilerek daha yüksek verimler elde edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca ısıtma kapasitesi ve COP değerinde artış hedeflenmiştir. Sonuçlar ısı pompasına güneş paneli ekli olmadığı durum ile karşılaştırılmıştır [6].

Zhao, X., Long, E., Zhang, Y., Liu, Q., Jin, Z. ve Liang, F. tarafından yapılan bu çalışmada, ortam hava sıcaklığının sabit kaldığı bir hava kaynaklı ısı pompasının performans katsayısı bir sıcak su deposunun içerisindeki suyun sıcaklığının değişmesine göre incelenmiştir. Isı pompasının performans katsayısı (COP) tankın farklı giriş ve çıkış su sıcaklıklarındaki değişime göre hesaplanmıştır [7].

Çoşkun, havadan suya olarak çalışan bir ısı pompasının kompresör, kondenser, evaporatör ve genleşme vanasının matematik modellerini oluşturarak R12, R134a, R22 ve R404a soğutucu akışkanları kullanıldığında farklı su debileri, su giriş sıcaklıkları, hava debileri ve hava sıcaklıklarında havadan suya ısı pompasının çalışma performansını ve enerji analizini değerlendirmiştir [8].

Büyükerzen, R., Kahraman, A., Kaya, M.N. ve Dağ, H.İ. tarafından gerçekleştirilen çalışmada TRNSYS programı kullanılarak modellenen sıcak su ihtiyacını gideren bir güneş enerjisi destekli hava kaynaklı ısı pompası sisteminin test odası, ısı pompası ve su hattından oluşan deneysel sistemi ile doğrulamasını yapmışlardır. Yapılan deneylerde kullanılan test

odasının sıcaklığı 15 °C'den 0 °C'ye düşürülmüş ve nem oranı %70-80 arasında sabit alınarak ısı pompasının ısıtma performans katsayısı, ısı pompasına su giriş sıcaklığı ve ısı pompasından su çıkış sıcaklığı ölçülmüş ve simülasyondan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır [9].

Gündü ise yaptığı çalışmada sıvı pompası ve ejektör ilavesi yapılan bir ısı pompasının ısıtma performansını incelemiştir. Yapılan matematiksel modellemeye bir ve iki ejektör ile çalışan iki farklı sistem karşılaştırılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda sıvı pompası ile ejektörün ekli olduğu bir ısı pompası kompresörünün geleneksel bir ısı pompası kompresöründen daha az enerji tükettiği ve sistemin COP değerinin daha yüksek bulunduğu gösterilmiştir [10].

Işık, N., Onat, A. ve Mendi, F. tarafından yapılan çalışmada ortam sıcaklıkları değiştirilerek soğutucu akışkan olarak R134a kullanılan bir havadan suya ısı pompasının ısıtma kapasitesi, performans katsayısı, harcanan elektrik enerjisi ve kompresör hacimsel verimliliği incelenmiştir [11].

Kazjonovs, J., Sipkevics, A., Jakovics, A., Dancigs, A., Bajare, D. ve Dancigs, L. tarafından yapılan çalışmada ısı pompası üreticileri tarafından verilen performans katsayısının sadece belirli sıcaklık aralığında tespit edildiği belirtilerek bu performans katsayısına dayalı olarak ısı pompasının verimi hakkında yorum yapılamayacağı ifade edilmiştir. Bu çalışmada Letonya'nın iklim şartlarında çalıştırılan havadan suya ısı pompasının sezonsal performans faktörü gerçek ve deneysel koşullarda hesaplanarak değerlendirilmiştir. Ayrıca havadan suya ısı pompasının yenilenebilir olmayan sistemlerle işletme maliyeti açısından karşılaştırması yapılmıştır [12].

Literatürde havadan suya ısı pompalarının performansı farklı iklim koşullarında, çeşitli soğutucu akışkanlar ve kompresör tipleriyle incelenmiştir. Ancak birçok çalışma bağıl nem değişkenini kapsamlı şekilde analiz etmemiştir. Bu çalışma, bağıl nem parametresini deneysel ve istatistiksel olarak bütünleştirerek literatüre farklı bir perspektif kazandırmaktadır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Havadan suya olarak çalışan bir ısı pompasının kaynağındaki yani ortam olarak kullanılan havadaki sıcaklık ve bağıl nem değerlerinin değişmesiyle ısı pompasının çalışma performansını nasıl etkilediğinin incelenmesi amacıyla Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İklimlendirme ve Soğutma Laboratuvarında bulunan deney ünitesi üzerinde çeşitli deneyler yapılmıştır. Deney ünitesi; 1900 mm x 2400 mm x 2100 mm ölçülerinde ve 8 cm kalınlığında poliüretan panellerden oluşan yalıtımlı soğuk hava deposu ile bu depoyu ortam olarak kullanan havadan suya ısı pompası deney ünitesinden oluşmaktadır. Soğuk hava deposunun içerisinde ortamın bağıl nemi ve sıcaklığının değiştirilmesinde kullanılan sırasıyla

nemlendirici ünite ile havadan havaya olarak çalışan bir ısı pompası bulunmaktadır. Ortamın bağıl nem ve sıcaklık değerleri soğuk hava deposu üzerinde bulunan dijital kumanda ile ayarlanabilmektedir.

Deneylerde kullanılan ısı pompasında soğutucu akışkan olarak yaygın kullanılabilirliğe ve ortalama sıcaklık değerlerindeki uygulamalara uygunluğu sebebiyle R134a gazı kullanılmıştır. Sistemin kompresörü hermetik yapıda tek silindirli pistonlu tipte, kondenseri su soğutmalı, evaporatörü alüminyum kanatlı, bakır borulu ve entegre fanlıdır. Genleşme vanası olarak ise termostatik genleşme vanası kullanılmıştır.

Deneyler %30, %40, %50, %60 ve %70 bağıl nem oranlarında her bir bağıl nem değeri için ortam sıcaklığı -15 °C'den 40 °C'ye kadar 5'er derece aralıklarla 12 farklı sıcaklık değeri için tekrarlanmıştır. Toplamda beş farklı bağıl nem değeri için 12 farklı sıcaklık değeri olmak üzere 60 farklı sıcaklık-bağıl nem noktası için deneyler yapılmıştır. Ortam şartları ölçümlerin alınacağı şartlara getirilerek havadan suya ısı pompası çalıştırılmış ve sistemin kararlı hale gelmesi için 10 dakika beklenmiştir. Sistemin kararlı hale gelmesi üzerine şu verilerin ölçümü yapılmıştır:

- T₁: Kompresör giriş sıcaklığı (°C)
- T₂: Kompresör çıkış sıcaklığı (°C)
- T₃: Kondenser çıkış sıcaklığı (°C)
- T₄: Evaporatör giriş sıcaklığı (°C)
- T₅: Su giriş sıcaklığı (°C)
- T₆: Su çıkış sıcaklığı (°C)
- P₁: Kompresör basma basıncı (Pa)
- P₂: Kompresör emiş basıncı (Pa)
- m_a: Soğutucu akışkan debisi (g/s)
- m_{su}: Su debisi (g/s)
- t: Elektrik sayacının bir tam devri için geçen süre (saniye)

Deneylerde ölçüm yapılan verilerin gösterge ekranı Şekil 2 içerisinde yer almaktadır.



Şekil 2. Deney ünitesi ölçüm verileri gösterge ekranı

Deneylerden ölçülen veriler kullanılarak kondenserde atılan ısı enerjisi (Q_H, Watt), evaporatörde alınan ısı enerjisi (Q_L, Watt), kompresörde kullanılan elektrik enerjisi (Q_{elektrik}, Watt), COP ve EER değerleri hesaplanmıştır.

Deneylerde kullanılan su soğutmalı kondenserde sürtünme ve yüzey kayıpları ihmal, burada atılan enerjinin tamamının suya geçtiği kabul edilip kondenserde atılan ısı enerjisi 3 numaralı denklemde belirtildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$Q_H = \dot{m}_{su} \left(\frac{kg}{s} \right) * c_{su} \left(\frac{J}{kg^\circ C} \right) * (T_6 - T_5) (^\circ C) \quad (3)$$

- Q_H : Kondenserde atılan ısı enerjisi (W)

- c_{su} : Suyun özgül ısısı (4182 J/kg °C)

- m_{su} : Su debisi (kg/s)

- T₆ : Su çıkış sıcaklığı (°C)

- T₅ : Su giriş sıcaklığı (°C)

Sistemin çalışması için gerekli elektrik enerjisi ise deney ünitesi ölçüm verileri gösterge ekranında bulunan elektrik sayacı yardımıyla bulunmuştur. Sistemdeki tüm kayıplar ihmal edilerek kondenserde atılan ısı enerjisinin sistemin çalışması için kompresörde tüketilen elektrik enerjisi ile evaporatörde alınan ısı enerjisinin toplamı olduğu belirtilmiştir.

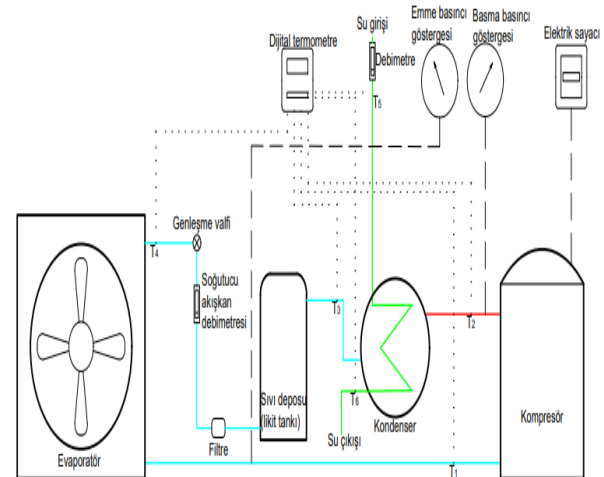
$$Q_H = Q_{elektrik} + Q_L \quad (4)$$

COP ve EER değerlerinin hesaplanması ise denklem 5 ve denklem 6 içerisinde verilmiştir.

$$COP = Q_H / Q_{elektrik} \quad (5)$$

$$EER = Q_L / Q_{elektrik} \quad (6)$$

Havadan suya ısı pompası deney ünitesinin çevrim elemanları ile ölçüm yapılan değerlerin yer aldığı şematik gösterimi Şekil 3 içerisinde sunulmuştur.



Şekil 3. Deney ünitesi şematik gösterimi

2.1. Optimizasyon Çalışması

Gerçekleştirilen deneyler yardımıyla kullanılması veya üretilmesi düşünülen ve R134a soğutucu akışkanı ile çalışan belirli bir havadan suya ısı pompasının anlamlı ve bütüncül bir sıcaklık-bağıl nem değeri aralığında enerji verimliliğinin değerlendirilebilmesi için her sıcaklık-bağıl nem değeri noktası için COP değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan COP değerlerinin doğruluğunun sağlanması ve deney verilerinin optimizasyonunun yapılabilmesi maksadıyla deneylerden elde edilen verilerin tamamı IBM SPSS Statistics 26 programına kaydedilmiştir. Yapılan optimizasyon analizi ile hesaplanan COP değerinin ölçümü yapılan kompresör giriş sıcaklığı, kompresör çıkış sıcaklığı, kondenser çıkış sıcaklığı ve evaporatör giriş sıcaklığı değerleri ile etkileşimi değerlendirilmiştir. Bu analiz ile hedef fonksiyon olan COP değerinin maksimize edilmesi amaçlanmıştır. Yapılan analizde COP değeri bağımlı Y değişkeni, kompresör çıkış sıcaklığı bağımsız X değişkeni, kompresör giriş sıcaklığı M_1 , kondenser çıkış sıcaklığı M_2 , evaporatör giriş sıcaklığı ise M_3 olarak tanımlandığında belirlenen analizin matematiksel model denklemi denklem 7 içerisinde gösterilmiştir.

$$Y = i_y + c'X + b_1M_1 + b_2M_2 + b_3M_3 + e_y \quad (7)$$

Denklem 7'de yer alan i_y ifadesi model denkleminin sabit değerini, e_y ifadesi ise hata payını göstermektedir. c' , b_1 , b_2 ve b_3 değerleri ise sırasıyla X, M_1 , M_2 ve M_3 değişkenlerinin katsayı değerlerini ifade etmektedir. Denklem 7 içerisinde belirtilen bilinmeyen değerlerin bulunabilmesi maksadıyla deneylerden elde edilen veriler kullanılarak model çalıştırıldığında $i_y = 4,2952$, $c' = 0,0149$, $b_1 = -0,0392$, $b_2 = -0,0448$ ve $b_3 = 0,1305$ olarak bulunmuştur. Bu değerler kullanıldığında yapılan çalışmanın matematiksel model denklemi denklem 8 içerisinde belirtilen şekilde bulunmuştur.

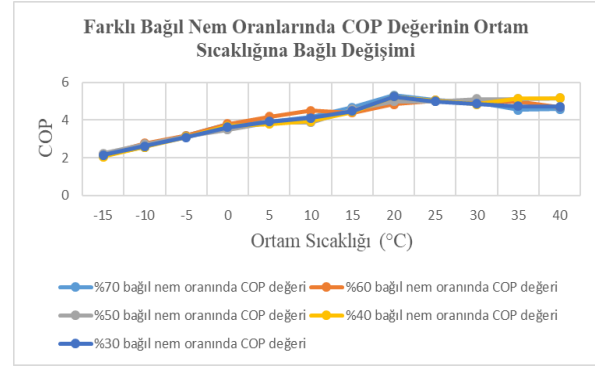
$$Y = 4,2952 + 0,0149X - 0,0392M_1 - 0,0448M_2 + 0,1305M_3 \quad (8)$$

Yapılan optimizasyon sonucunda elde edilen ve denklem 8 içerisinde belirtilen denklem kullanılarak ölçüm yapılan belirli bir sıcaklık-bağıl nem değerindeki kompresör çıkış (X), kompresör giriş (M_1), kondenser çıkış (M_2) ve evaporatör giriş (M_3) sıcaklık değerleri yerine konduğunda o ölçüm noktası için COP değerinin bulunması sağlanmıştır.

III. BULGUAR VE TARTIŞMA

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen COP, EER ve su çıkış sıcaklığı değerlerinin ortam sıcaklığına bağlı değişimi beş farklı bağıl nem oranı için grafikler yardımıyla sunulmuştur.

Beş farklı bağıl nem oranında deneylerden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan COP değerlerinin ortamın sıcaklığı ile nasıl değiştiği Şekil 4 içerisinde bulunan grafik yardımıyla gösterilmiştir.



Şekil 4. Farklı bağıl nem oranlarında COP değerinin ortam sıcaklığına bağlı değişimi

%70 bağıl nem oranında en düşük COP değeri -15 °C ortam sıcaklığında 2,104 olarak hesaplanmıştır. En yüksek COP değeri ise 20 °C ortam sıcaklığında 5,304 olarak hesaplanmıştır.

%60 bağıl nem oranında en düşük COP değeri -15 °C ortam sıcaklığında 2,161 olarak hesaplanmıştır. En yüksek COP değeri ise 25 °C ortam sıcaklığında 5,024 olarak hesaplanmıştır.

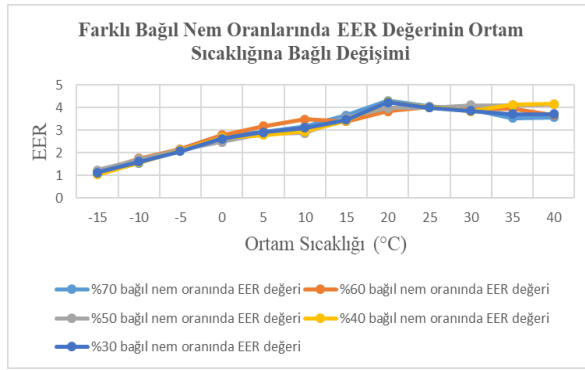
%50 bağıl nem oranında en düşük COP değeri -15 °C ortam sıcaklığında 2,233 olarak hesaplanmıştır. En yüksek COP değeri ise 40 °C ortam sıcaklığında 5,152 olarak hesaplanmıştır.

%40 bağıl nem oranında en düşük COP değeri -15 °C ortam sıcaklığında 2,048 olarak hesaplanmıştır. En yüksek COP değeri ise 20 °C ortam sıcaklığında 5,246 olarak hesaplanmıştır.

%30 bağıl nem oranında en düşük COP değeri -15 °C ortam sıcaklığında 2,133 olarak hesaplanmıştır. En yüksek COP değeri ise 20 °C ortam sıcaklığında 5,244 olarak hesaplanmıştır.

Bu veriler, ortam sıcaklığının genelde COP üzerinde belirgin bir artış etkisine sahip olduğunu göstermekte, ancak 20 °C'den sonra bazı bağıl nem oranlarında verimde düşüşler gözlenebilmektedir. Bu durum kondenser verimi, kompresör yükü ve ısı transfer kayıplarının değişimine bağlanabilir. Bulgular genel olarak literatürde benzer iklim koşullarında raporlanan değerlerle uyumlu bulunmuştur.

Hesaplanan EER değerlerinin farklı ortam sıcaklıklarında ölçüm yapılan tüm bağıl nem oranları için gösterimi ise Şekil 5 içerisinde bulunan grafikte yer almaktadır.



Şekil 5. Farklı bağıl nem oranlarında EER değerinin ortam sıcaklığına bağlı değişimi

%70 bağıl nem oranı için hesaplanan en düşük EER değeri ortam sıcaklığı -15 °C olduğunda 1,104 olarak bulunmuştur. En yüksek EER değeri ise ortam sıcaklığı 20 °C olduğunda 4,304 olarak bulunmuştur.

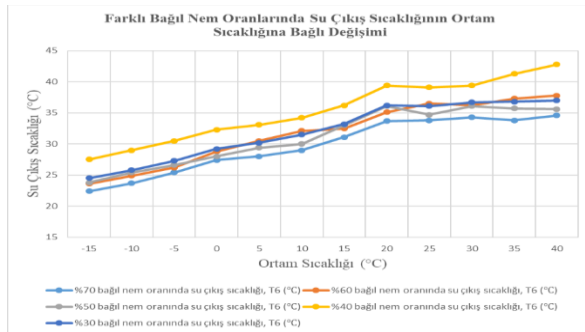
%60 bağıl nem oranı için hesaplanan en düşük EER değeri ortam sıcaklığı -15 °C olduğunda 1,161 olarak bulunmuştur. En yüksek EER değeri ise ortam sıcaklığı 25 °C olduğunda 4,024 olarak bulunmuştur.

%50 bağıl nem oranı için hesaplanan en düşük EER değeri ortam sıcaklığı -15 °C olduğunda 1,233 olarak bulunmuştur. En yüksek EER değeri ise ortam sıcaklığı 40 °C olduğunda 4,152 olarak bulunmuştur.

%40 bağıl nem oranı için hesaplanan en düşük EER değeri ortam sıcaklığı -15 °C olduğunda 1,048 olarak bulunmuştur. En yüksek EER değeri ise ortam sıcaklığı 20 °C olduğunda 4,246 olarak bulunmuştur.

%30 bağıl nem oranı için hesaplanan en düşük EER değeri ortam sıcaklığı -15 °C olduğunda 1,133 olarak bulunmuştur. En yüksek EER değeri ise ortam sıcaklığı 20 °C olduğunda 4,244 olarak bulunmuştur.

Havadan suya ısı pompası deney ünitesi üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda bulunan su çıkış sıcaklıklarının ortam sıcaklığına bağlı değişiminin deneylerin yapıldığı beş farklı bağıl nem oranı için gösterimi Şekil 6 içerisindeki grafik yardımıyla sunulmuştur.



Şekil 6. Farklı bağıl nem oranlarında su çıkış sıcaklıklarının ortam sıcaklığına bağlı değişimi

%70 bağıl nem değerinde su çıkış sıcaklığının en yüksek değeri ortam sıcaklığının 40 °C olduğu durumda 34,6 °C olarak ölçülmüştür. Su çıkış sıcaklığının en düşük değeri ise -15 °C ortam sıcaklığında 22,4 °C olarak bulunmuştur.

%60 bağıl nem değerinde su çıkış sıcaklığının en yüksek değeri ortam sıcaklığının 40 °C olduğu durumda 37,8 °C olarak ölçülmüştür. Su çıkış sıcaklığının en düşük değeri ise -15 °C ortam sıcaklığında 23,6 °C olarak bulunmuştur.

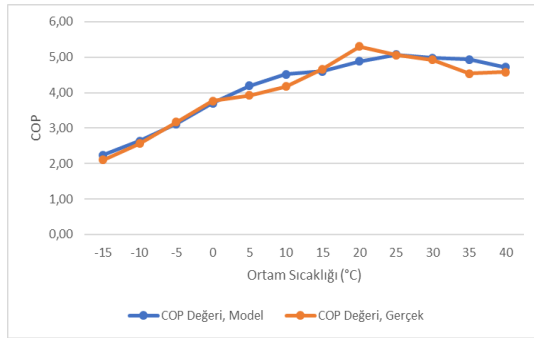
%50 bağıl nem değerinde su çıkış sıcaklığının en yüksek değeri ortam sıcaklığının 20 °C ve 30 °C olduğu durumlarda 36,1 °C olarak ölçülmüştür. Su çıkış sıcaklığının en düşük değeri ise -15 °C ortam sıcaklığında 23,8 °C olarak bulunmuştur.

%40 bağıl nem değerinde su çıkış sıcaklığının en yüksek değeri ortam sıcaklığının 40 °C olduğu durumda 42,8 °C olarak ölçülmüştür. Su çıkış sıcaklığının en düşük değeri ise -15 °C ortam sıcaklığında 27,5 °C olarak bulunmuştur.

%30 bağıl nem değerinde su çıkış sıcaklığının en yüksek değeri ortam sıcaklığının 40 °C olduğu durumda 37 °C olarak ölçülmüştür. Su çıkış sıcaklığının en düşük değeri ise -15 °C ortam sıcaklığında 24,5 °C olarak bulunmuştur.

Su çıkış sıcaklığı değerlerinin incelenmesi elde edilen sıcak suyun kullanımı için önem arz etmektedir. Bununla birlikte; havadan suya ısı pompasının enerji verimliliğinin tam olarak değerlendirilebilmesi için su çıkış sıcaklık değeri ile su giriş sıcaklığı değeri arasındaki farkın göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Şekil 6 içerisinde bulunan grafikte görüleceği üzere %40 bağıl nem oranında ölçülen su çıkış sıcaklığı değerleri diğer bağıl nem oranlarında ölçülen su çıkış sıcaklığı değerlerinden daha yüksektir. Bu durumun sebebi deneylerin yapıldığı farklı zamanlarda su girişini besleyen şebeke suyundaki sıcaklığın değişimidir. %40 bağıl nem değerinde şebeke suyunun sıcaklığı diğer bağıl nem oranlarında ölçülen şebeke suyunun sıcaklığından yaklaşık 3-4 °C daha fazladır. ΔT sıcaklık farkının en yüksek değeri 40 °C ortam sıcaklığında ve %40 bağıl nem oranında 19,7 °C olarak hesaplanmıştır.

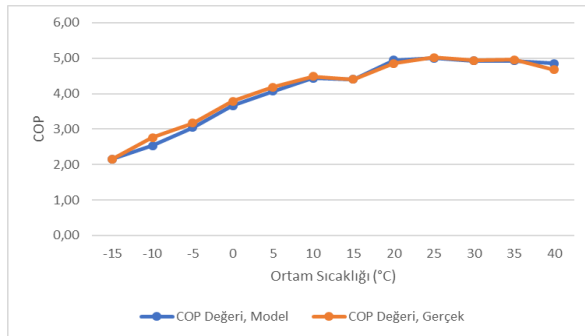
Denklem 8 içerisinde yer alan matematiksel model denkleminde ölçüm yapılan 60 farklı sıcaklık-bağıl nem noktasında elde edilen veriler yerine konulduğunda her bir nokta için COP değeri bulunmuştur. Deneyler sonucunda hesaplanan COP değerleri ile optimizasyon modelinden bulunan COP değerlerinin kıyaslanması her bir bağıl nem oranı için grafikler yardımıyla ayrı ayrı sunulmuştur. Her bir bağıl nem oranında ölçüm yapılan ortam sıcaklıklarında deneylerde hesaplanan COP değerleri ile modelde bulunan COP değerleri arasındaki hata paylarının aritmetik ortalaması alınarak ilgili bağıl nem oranı için hata payları hesaplanmıştır.



Şekil 7. %70 bağıl nem oranında elde edilen COP değerlerinin karşılaştırılması

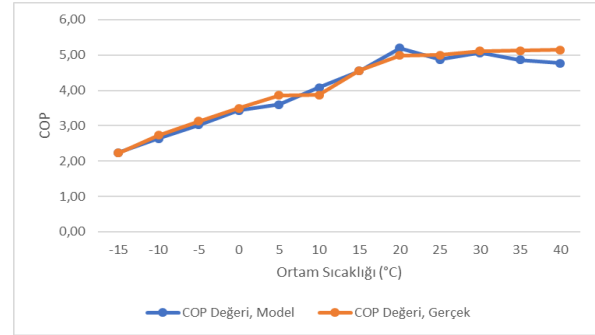
Şekil 7 içerisinde bulunan grafikte optimizasyon modelinden elde edilen COP ile gerçek COP değerlerinin ortam sıcaklığına bağlı olarak değişimi gösterilmiştir. %70 bağıl nem oranı için; hesaplanan COP değerleri kıyaslandığında optimizasyon modelinden elde edilen ile gerçek değerler arasında %4,2 oranında hata payı olduğu belirlenmiştir.

%60 bağıl nem oranındaki optimizasyon modelinden elde edilen COP ile gerçek COP değerlerinin karşılaştırılması Şekil 8 içerisinde bulunan grafikte sunulmuştur. Bu bağıl nem oranında tüm ölçüm noktalarında hesaplanan gerçek COP değerleri ile modelden elde edilen COP değerlerinin hata payının aritmetik ortalaması %2,2 olarak bulunmuştur.



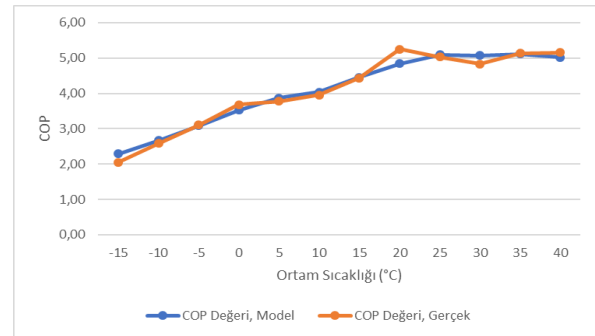
Şekil 8. %60 bağıl nem oranında elde edilen COP değerlerinin karşılaştırılması

%50 bağıl nem oranındaki optimizasyon modelinden elde edilen COP ile gerçek COP değerlerinin karşılaştırılması Şekil 9 içerisinde bulunan grafikte sunulmuştur.



Şekil 9. %50 bağıl nem oranında elde edilen COP değerlerinin karşılaştırılması

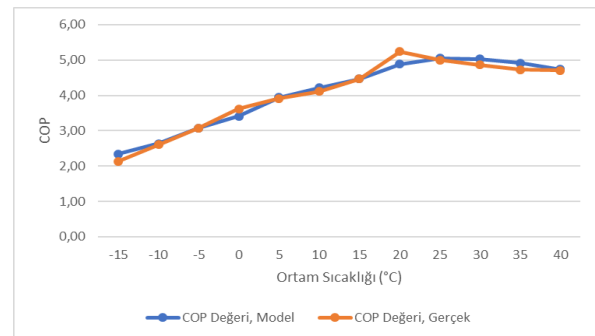
%50 bağıl nem oranında tüm ölçüm noktalarında hesaplanan gerçek COP değerleri ile modelden elde edilen COP değerlerinin hata payının aritmetik ortalaması %3,4 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 10. %40 bağıl nem oranında elde edilen COP değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 10'da ise COP değerlerinin karşılaştırılması %40 bağıl nem oranı için belirtilmiştir. Her bir ölçüm noktasındaki hata paylarının aritmetik ortalaması alındığında %3,6 oranında bir hata payı görülmüştür.

Son olarak %30 bağıl nem oranı için; COP değerlerinin kıyaslanmasına Şekil 11 içerisinde bulunan grafikte yer verilmiştir.



Şekil 11. %30 bağıl nem oranında elde edilen COP değerlerinin karşılaştırılması

%30 bağıl nem oranında gerçek COP ile modelden elde edilen COP değerleri karşılaştırıldığında %3 oranında bir hata payı görülmüştür.

IV. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışma kapsamında havadan suya olarak çalışan bir ısı pompasının kullanıldığı ortam şartlarındaki değişimin ısı pompasının enerji verimliliği üzerinde nasıl bir etkiye bulunduğu deneysel olarak analiz edilmiştir. Isı pompasının ısı kaynağı olan havanın sıcaklık ve bağıl nem parametreleri belirli ve anlamlı bir aralıkta değiştirilerek her bir deney noktası için COP, EER ve su çıkış sıcaklığı değerleri saptanmıştır. Deneylerden elde edilen veriler kullanılarak IBM SPSS Statistics 26 programı yardımıyla optimizasyon çalışması yapılmıştır.

Hesaplanan COP değerleri incelendiğinde görüleceği üzere deneylerin yapıldığı tüm ölçüm noktaları arasında en yüksek COP değeri 5,246 olarak 20 °C ortam sıcaklığında ve %40 bağıl nem oranında tespit edilmiştir. En düşük COP değeri ise yine -15 °C ortam sıcaklığında ve %40 bağıl nem oranında 2,048 değerinde hesaplanmıştır. En yüksek ve en düşük EER değerleri de COP değerlerinin en yüksek ve en düşük değerini aldığı aynı ortam şartlarında bulunmuştur. Genel olarak COP ve EER değerlerinin ortam sıcaklığının yükselmesiyle arttığı gözlemlenmiştir.

Su çıkış sıcaklığı değerleri incelendiğinde ise en yüksek su çıkış sıcaklığı %40 bağıl nem değerinde ortam sıcaklığının 40 °C olduğu durumda 42,8 °C olduğu görülmüştür. En düşük su çıkış sıcaklığı da 22,4 °C olarak %70 bağıl nem oranında ve -15 °C ortam sıcaklığında ölçülmüştür.

Bu çalışmada COP, EER ve su çıkış sıcaklıklarının tespit edilmesiyle R134a soğutucu akışkanı ile çalışan belirli bir havadan suya ısı pompası özelinde ısı pompasının enerji verimliliği ve çalışma karakteristiği hakkında kullanıcı ve üreticilerin bilgi sahibi olmasına katkıda bulunulmuştur. Yapılan optimizasyon çalışmasıyla elde edilen verilerin tutarlı olduğu saptanmıştır. Ölçüm yapılan beş farklı bağıl nem değerlerinde deneylerde hesaplanan COP ile optimizasyon modelinden gelen COP değerleri karşılaştırıldığında bütün bağıl nem oranlarında oldukça düşük hata paylarının olduğu görülmüştür. Tüm hata paylarının aritmetik ortalaması ise %3,3 olarak hesaplanmıştır. Bu değer yapılan çalışmanın son derece anlamlı ve tutarlı olduğunu ortaya koymuştur.

Bu çalışma, havadan suya ısı pompasının farklı bağıl nem ve sıcaklık şartlarında enerji verimliliğini deneysel ve istatistiksel olarak detaylı analiz ederek literatüre özgün katkı sunmuştur. Gelecek çalışmalarda alternatif soğutucu akışkanlar, hibrit sistemler ve farklı iklim koşullarında benzer analizlerin yapılması tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Naldi, C., Dongellini, M. ve Morini, G.L. (2015) Climate Influence on Seasonal Performances of Air-to-water Heat Pumps for Heating, 69th Conference of the Italian Thermal Engineering Association, ATI 2014, Italy.
- [2] Popa, V., Ion, I. ve Popa, C. L. (2015) Thermo-Economic Analysis of an Air-toWater Heat Pump, Sustainable Solutions for Energy and Environment, EENVIRO-YRC 2015, 18-20 November 2015, Bucharest, Romania.
- [3] Januševičius, K. ve Streckienė, G. (2015) Analysis of Air-to-Water Heat Pump in Cold Climate: Comprasion Between Experiment and Simulation, Science-Future of Lithuania, Environmental Protection Engineering, 2014 7(4): 468-474, Lithuania.
- [4] Şanslı, B., (2015) Ticari Tip Split Klimada Kondenser Atık Isının Farklı Bir Yöntemle Boylerde Kullanımının Enerji Verimliliğine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, Türkiye.
- [5] Afshari, F., Çomaklı, Ö., Adıgüzel, N. ve Karagöz, Ş. (2015) Refrigerant Charge Amount In Heat Pump Systems And Evaluating Optimal Amount Of Gas, ULIBTK'15 20. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 02-05 Eylül 2015, Balıkesir, Türkiye.
- [6] Liu, F., Wang, L., Wang, Q. ve Wang, H. (2017) Experiment Study on Heating Performance of Solar-Air Source Heat Pump Unit, 10th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning, ISHVAC2017, 19-22 October 2017, Jinan, China.
- [7] Zhao, X., Long, E., Zhang, Y., Liu, Q., Jin, Z. ve Liang, F. (2017) Experimental Study on Heating Performance of Air - source Heat Pump with Water Tank for Thermal Energy Storage, 10th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning, ISHVAC2017, 19 - 22 October 2017, Jinan, China.
- [8] Coşkun, S., (2004) Sürekli Rejimde Farklı Soğutucu Akışkanlar İçin Hava-Su Kaynaklı Mekanik Buhar Sıkıştırma Isı Pompasının Simulasyonu, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 9, 1, 41-51, Bursa, Türkiye.
- [9] Büyükerzen, R., Kahraman, A., Kaya, M.N. ve Dağ, H.İ. (2021) Experimental Validation of Performance Parameters of An Air Source Heat Pump. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 9(4), 739 - 748. 10.29109/gujsc.1015345, Ankara, Türkiye.
- [10] Gündü, İ. (2018) Isı Pompasında Ejektör Yardımı ile Isıtma Kapasitesi ve Etkinliğinin Artırılması, Yüksek Lisans Tezi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Osmaniye, Türkiye.

-
- [11] Işık, N., Onat, A. ve Mendi, F. (2000) Havadan Suya Mekanik Isı Pompası Farklı İşletme Koşullarında Deneysel Performans Çalışması, 6. Ulusal Soğutma ve İklimlendirme Tekniği Kongresi, 13-14 Nisan 2000, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye.
- [12] Kazjonovs, J., Sipkevics, A., Jakovics, A., Dancigs, A., Bajare, D. ve Dancigs, L. (2014) Performance Analysis of Air-to-Water Heat Pump in Latvian Climate Conditions. Environmental and Climate Technologies, 14(1), 18–22, Latvia.