



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Isı pompasının performansını etkileyen dış ortam parametrelerinin evaporatör ile kondenser sıcaklığı üzerindeki etkisinin modellenmesi

Modeling of the effect of external environment parameters affecting the performance of the heat pump on the evaporator and condenser temperature

Yazar(lar) (Author(s)): Mehmet ÖZDEMİR¹, Mustafa Kemal ONAT², Ayhan ONAT³, İsmail EKMEKÇİ⁴

ORCID¹: 0000-0002-3816-9157

ORCID²: 0009-0002-0134-1598

ORCID³: 0000-0001-9737-6300

ORCID⁴: 0000-0002-2247-2549

To cite to this article: Özdemir M, Onat M. K., Onat A. ve Ekmekçi İ., “Isı Pompasının Performansını Etkileyen Dış Ortam Parametrelerinin Evaporatör ile Kondenser Sıcaklığı Üzerindeki Etkisinin Modellenmesi”, *Journal of Polytechnic*, *(*) : *, (*).

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz: Özdemir M, Onat M. K., Onat A. ve Ekmekçi İ., “Isı Pompasının Performansını Etkileyen Dış Ortam Parametrelerinin Evaporatör ile Kondenser Sıcaklığı Üzerindeki Etkisinin Modellenmesi”, *Politeknik Dergisi*, *(*) : *, (*).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.1451756

Isı Pompasının Performansını Etkileyen Dış Ortam Parametrelerinin Evaporatör ile Kondenser Sıcaklığı Üzerindeki Etkisinin Modellenmesi

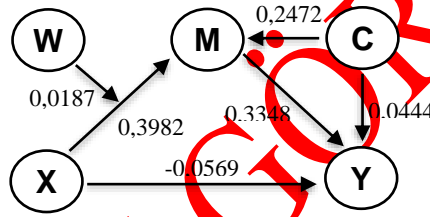
Modeling of the Effect of External Environment Parameters Affecting the Performance of the Heat Pump on the Evaporator and Condenser Temperature

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Dış ortam sıcaklığı, bağıl nem ve rüzgar hızının evaporatör buharlaşma ve kondenser yoğuşma sıcaklığı üzerindeki etkileri optimizasyon modeli ile ortaya çıkarılmıştır. / The effects of outdoor temperature, relative humidity, and wind speed on evaporator and condenser temperature have been revealed by the optimization model.
- ❖ Evaporatör ve kondenser sıcaklığını tahmin etme imkanı veren optimizasyon modeline ayı denklemler elde edilmiştir. / The equations of the optimization model, which allows estimating the evaporator and condenser temperature, have been obtained.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Soğutma modunda optimizasyon model kullanılarak kondenser ve evaporatör sıcaklıkları üzerinde dış ortam parametrelerinin etkisi ortaya çıkarılmıştır. / Using the optimization model in cooling mode, the effect of external environment parameters on condenser and evaporator temperatures was discovered.



Şekil. Optimizasyon modelin kavramsal diyagramı. / Figure. Conceptual diagram of the optimization model.

Amaç (Aim)

Soğutma modunda dış ortam parametrelerinin kondenser ve evaporatör sıcaklığı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. / The effects of external environment parameters on condenser and evaporator temperature in cooling mode have been investigated.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Moderated mediyasyon analiz yardımıyla verilerin optimizasyonu ve modellenmesi gerçekleştirilmiştir. / The optimization and modeling of the data were carried out with the help of moderated mediyasyon analysis.

Özgünlük (Originality)

Tahmin imkanı sunan optimizasyon model denklemleri elde edilmiştir. / The optimization model equations, which offer the possibility of prediction, have been obtained.

Bulgular (Findings)

Değişkenler arasındaki etkileşimler ve matematiksel denklemler bulunmuştur. / The interactions between variables and mathematical equations have been obtained.

Sonuç (Conclusion)

Kondenser ve evaporatör sıcaklığı üzerinde en büyük etkiyi dış ortam sıcaklığının yaptığı matematiksel olarak elde edilmiştir. / It has been mathematically determined that the outdoor temperature has the greatest effect on the condenser and evaporator temperatures.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Isı Pompasının Performansını Etkileyen Dış Ortam Parametrelerinin Evaporatör ile Kondenser Sıcaklığı Üzerindeki Etkisinin Modellenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Mehmet ÖZDEMİR¹, Mustafa Kemal ONAT², Ayhan ONAT³, İsmail EKMEKÇİ⁴

¹Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Doktora Programı, Türkiye

²Çarşamba İlçe Milli Eğitim Müdürlüğü, Türkiye

³Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği, Türkiye

⁴İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Türkiye

(Geliş/Received : 12.03.2024 ; Kabul/Accepted : 25.03.2024 ; Erken Görünüm/Early View : 03.06.2024)

ÖZ

Hava kaynaklı ısı pompasının performansını etkileyen dış ortam parametrelerinin kondenser yoğunlaşma sıcaklığı ve evaporatör buharlaşma sıcaklığı üzerindeki etkisi soğutma modunda moderated mediation analizi ile araştırılarak dış ortam parametrelerinin etkileri ve optimizasyon modeline ait denklemler elde edilmiştir. Kullanılan optimizasyon modeliyle kondenser yoğunlaşma sıcaklığı üzerinde dış ortam sıcaklığının %39,82, rüzgar yönünün %24,72 ve bağıl nemin %7,65 oranında etkisi olduğu bulunmuştur. Dış ortam sıcaklığı, evaporatör buharlaşma sıcaklığı üzerinde %1,32 oranında olumsuz bir dolaylı etki oluşturmaktadır. Dış ortam sıcaklığı, rüzgar yönü ve evaporatör buharlaşma sıcaklığı arasındaki etkileşim üzerinde bağıl nemin %0,63 oranında etkisi olduğu elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Moderated mediation analiz, hava kaynaklı ısı pompası, evaporatör ve kondenser sıcaklığı.

Modeling of the Effect of Outdoor Parameters Affecting the Performance of the Heat Pump on the Evaporator and Condenser Temperature

ABSTRACT

The effect of the outdoor parameters affecting the performance of the air source heat pump on the condenser condensation temperature and evaporator evaporation temperature was investigated by moderated mediation analysis in cooling mode, and the effects of the outdoor parameters and the optimization model equations. With the optimization model used in this study, the effect of outdoor temperature, wind direction, and relative humidity on condenser condensation temperature was found to be 39,82%, 24,72%, and 7,65%, respectively. The outdoor temperature has a negative indirect effect on the evaporator evaporation temperature by 1,32%. It was discovered that relative humidity has a 0,63% effect on the interaction between outdoor temperature, wind direction, and evaporator temperature.

Keywords: Moderated mediation analiz, air source heat pump, evaporator and condenser temperature.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Konutlardaki ısıtma, soğutma ve sıcak su ihtiyacını sağlamak için gerekli olan enerji miktarı gün geçtikçe artmakta ve tüketim kalemlerinin en üst sırasında yer almaktadır [1]. Enerji tüketim miktarını azaltmak ve enerji tüketiminden kaynaklı karbon emisyonunu ciddi oranda düşürmek için ülkeler ısı pompası gibi temiz enerji teknolojili sistemlerin yaygınlaşması adına teşvikler vermektedir [2]. Enerjiye ihtiyaç duyan sektörlerin yüksek oranda karbon salınımı yapmasından dolayı CO₂ emisyonu 36,8 GtCO₂ seviyesine ulaşmıştır. [3]. Paris Anlaşması ve Kyoto Protokolü gereği hem Türkiye’de hem de Dünya’da 2050 yılına kadar temiz enerjili teknolojiler kullanılarak sıfır emisyon hedefine ulaşmak

istenmektedir [4]. Konutlardaki ısıtma, soğutma ve sıcak su ihtiyacını sağlamak için gerekli olan enerji miktarı gün geçtikçe artmakta ve tüketim kalemlerinin en üst sırasında yer almaktadır [1]. Enerji tüketim miktarını azaltmak ve enerji tüketiminden kaynaklı karbon emisyonunu ciddi oranda düşürmek için ülkeler ısı pompası gibi temiz enerji teknolojili sistemlerin yaygınlaşması adına teşvikler vermektedir [2]. Enerjiye ihtiyaç duyan sektörlerin yüksek oranda karbon salınımı yapmasından dolayı CO₂ emisyonu 36,8 GtCO₂ seviyesine ulaşmıştır. [3]. Paris Anlaşması ve Kyoto Protokolü gereği hem Türkiye’de hem de Dünya’da 2050 yılına kadar temiz enerjili teknolojiler kullanılarak sıfır emisyon hedefine ulaşmak istenmektedir [4].

Doğru tasarım parametreleriyle üretilen ısı pompaları, enerji verimliliğini artırırken karbon emisyonunu da azaltmaktadır. En çok tercih edilen ısı pompası türü olan

*Sorumlu Yazar : Mehmet ÖZDEMİR
e-posta : ozdemir1406@gmail.com

hava kaynaklı ısı pompasının avantajları arasında çevre dostu olması, enerji tasarrufu sağlaması, izlenebilirlik, diğer ısı pompa türlerine kıyasla düşük kullanım maliyeti, ısıtma-soğutma sistemlerinde geniş uygulama alanlarına sahip olması ve merkezi olmayan ısıtma sistemlerine entegrasyonunun yapılabilmesi sayılabilir [5]. Soğutma ve ısıtma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan hava kaynaklı ısı pompasının balkon, teras, bahçe gibi alanlarda yer alması, hava kaynaklı ısı pompasının dış ortam sıcaklığı, bağıl nem, rüzgar hızı gibi dış ortam parametrelerinden çok fazla etkilemesine neden olmaktadır. Ayrıca dış ortam parametrelerindeki değişimler kondenser yoğuşma sıcaklığı ve evaporatör buharlaşma sıcaklığı üzerinde değişime neden olmakta ve kompresörün tükettiği enerji miktarı ile hava kaynaklı ısı pompasının performansını olumlu veya olumsuz olarak etkilemektedir [6].

Sahin ve arkadaşları dış ortam parametrelerinin hava kaynaklı ısı pompası performansına etkisi üzerinde yaptıkları deneysel çalışmada hava kaynaklı ısı pompasının temel elemanlarından kondenser ve evaporatörü soğutma modunda etkileyen en önemli iklim özelliklerinin dış ortam sıcaklığı ve bağıl nem olduğunu belirtmişlerdir. [7]. Özdemir ve arkadaşları tarafından hava kaynaklı ısı pompası performansını etkileyen parametreler üzerinde yapılan optimizasyon çalışmasında dış ortam parametrelerinden bir tanesindeki değişimin diğer parametreleri etkilediği sonucu bulunmuştur. Ayrıca soğutma modunda dış ortam sıcaklığı, rüzgar hızı ve bağıl nem parametrelerindeki artışın, iç ortamdaki çekilen ısıya kondenser ile dış ortama atmasını olumsuz olarak etkilediği sonucu bulunmuştur [8]. Eom ve arkadaşları tarafından hava kaynaklı ısı pompasının bağıl nemin fazla olduğu bölgelerde kapasitesinin olumsuz etkilendiği ve yaklaşık %20 azaldığı sonucu elde edilmiştir [9]. Li ve arkadaşlarının ısı pompasının performansı üzerine yaptıkları deneysel çalışmada geliştirilen optimizasyon stratejileriyle dış ortam parametrelerindeki (dış ortam sıcaklığı, bağıl nem ve rüzgar hızı) değişimden kaynaklı olarak ısı pompası performansının etkilendiği bulunmuştur [10]. Ndoukaye ve arkadaşlarının oluşturduğu ısı pompası optimizasyon modeli ile ısı pompası elemanlarının farklı dış ortam sıcaklığı ve bağıl nem değerlerinde performanslarının etkilendiği sonucunu elde edilmiştir [11]. Xu ve arkadaşları tarafından dış ortam sıcaklığı ve bağıl nem değerleri günlük olarak ölçülerek hava kaynaklı ısı pompası optimizasyon modeli gerçekleştirilmiştir [12]. Long ve arkadaşlarının hava kaynaklı ısı pompası üzerine yaptıkları optimizasyon çalışmasında oluşturdukları model ile yılın diğer aylarına göre daha çok soğuk olan Aralık ve Ocak aylarında hava kaynaklı ısı pompası elemanlarının performansının daha fazla olduğu görülmektedir [13]. Milovančević ve arkadaşlarının ısı pompasının performansı üzerine yaptıkları çalışmada optimizasyon modeli oluşturulup matematiksel denklem çıkarılmıştır [14]. Stamatellos ve arkadaşlarının meteoroloji veri tabanından elde ettikleri ölçümler ile

geliştirilen simülasyon modeli yardımıyla dış ortam parametrelerinin hava kaynaklı ısı pompasına ait temel birleşenlerinin performansında değişimlere neden olduğu sonucu elde edilmiştir [15]. Akan'ın temiz enerji kullanan yeni teknolojileri desteklenmesi amacıyla yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yaptığı modelleme çalışmasında yenilenebilir enerji kaynaklarını etkileyen değişkenler moderated mediation analiz ile incelenmiştir [16]. Dec ve arkadaşlarının dış ortam parametreleri üzerine yaptıkları çalışmada 20 yıllık süreç boyunca dış ortam sıcaklığının arttığı zaman dilimlerinde, bağıl nemin azaldığı ve rüzgar hızının artış gösterdiği sonucu bulunmuştur. Ayrıca bağıl nemin nisan-eylül aylarda diğer aylara göre daha düşük seviyelere gerilediği sonucu elde edilmiştir [17].

Artan enerji tüketimine cevap verebilmek ve karbon emisyonunun etkisini azaltmak için ısı pompası gibi temiz enerji teknolojilerine karşı olan talep gittikçe artmaktadır [18]. Dış ortam parametrelerden dış ortam sıcaklığı ve bağıl nem değerindeki değişim hava kaynaklı ısı pompasının kondenser ve evaporatör performansını olumlu ya da olumsuz olarak etkilemektedir. Hava kaynaklı ısı pompasının temel birleşenlerinden biri olan kondenser, dış ortam parametrelerindeki değişime en çok maruz kalan ünedir. Dolayısıyla dış ortam sıcaklığı, bağıl nem ve rüzgar hızı gibi dış ortam parametrelerindeki değişimler, direk olarak kondenser yoğuşma sıcaklığını ve dolaylı olarak da evaporatör buharlaşma sıcaklığını etkileyerek kondenser ile evaporatör performansını değiştirmektedir [19].

Bu çalışmada dış ortam parametrelerinden dış ortam sıcaklığı, bağıl nem ve rüzgar hızının kondenser yoğuşma sıcaklığı ile evaporatör buharlaşma sıcaklığı üzerindeki etkilerinin araştırılması ve ilgili değişkenler yardımıyla moderated mediation analizinin 7. optimizasyon modeli kullanılarak matematiksel denklemler elde edilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen etkiler ve matematiksel denklemler ile hava kaynaklı ısı pompası, kondenser ve evaporatör üreticilerine ve/veya tasarımcılarına yön göstermek hedeflenmiştir.

1.1. Metodoloji (Methodology)

Bu çalışmada dış ortam parametrelerinden dış ortam sıcaklığı ve bağıl nem değişkenlerine ek olarak rüzgar hızı parametresi de dikkate alınarak kondenser yoğuşma sıcaklığı ve evaporatör buharlaşma sıcaklığının optimizasyon analizi yapılmıştır. Geleceğe ait tahmin yapma imkanı sunan ve değişkenler arasındaki etkileri ortaya çıkaran matematiksel denklem moderated mediation analizinin bir sonucu olarak elde edilmiştir. Moderated mediation analizinde yer alan 92 adet optimizasyon modelinden değişkenler arasındaki ilişkiye bağlı olarak 7. Optimizasyon modeli tercih edilmiş ve bu modelin analizi IBM SPSS 26 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. IBM SPSS 26 yazılımı istatistik analiz ve model oluşturulmak için tercih edilmiştir. Ayrıca yazılımda kullanılan moderated mediation analizinin 7. optimizasyon modeline covariate (kovaryans) değişkeni eklenerek değişkenlerin farklı

etkileşimleri ortaya çıkarılmıştır. Çalışmada izlenen adımlar Şekil 1’de gösterilmektedir.

1. Adım	Hava kaynaklı ısı pompasının konumunun belirlenmesi
2. Adım	09.00-16.00 zaman diliminde 10 gün boyunca ölçüm yapılması
3. Adım	Aynı zaman diliminde dış ortam parametrelerine ait verilerin kaydedilmesi
4. Adım	Elde edilen verilere uygun optimizasyon modelinin belirlenmesi
5. Adım	SPSS kullanılarak uygun moderated mediation modelinin uygulanması
6. Adım	Optimizasyon modeli sonuçlarına göre oluşan etkileşimlerin değerlendirilmesi
7. Adım	Optimizasyon modelinin sonuçlarına göre denklemlerin oluşturulması
8. Adım	Çalışmanın bilimsel katkılarının ortaya çıkarılması

Şekil 1. Metodolojiye göre çalışmadaki adımlar (Steps in the study according to the methodology)

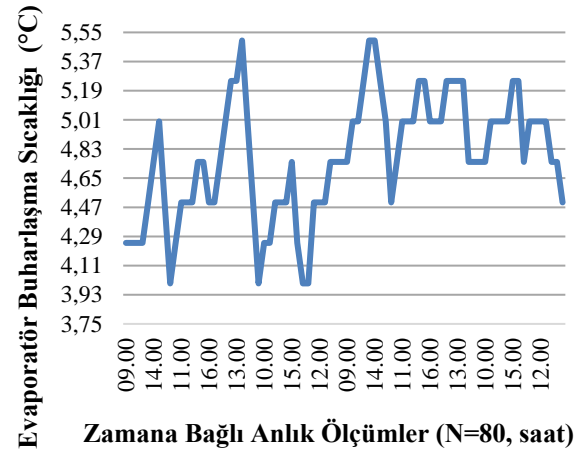
1.2. Veri Toplama (Data Collection)

Merkezi limit teoremini kullanan modellerin optimizasyon çalışmalarının ve istatistiksel analizlerin başarılı olabilmesi için en az kritik örneklem sayısı kadar ölçüm yapılması gerekmektedir. Moderated mediation analizinde yer alan 92 adet optimizasyon modelinin sonuçlarının değerlendirilmesi için en az 50 adet ölçüm yapılması veya veri toplanması gerekmektedir. Ancak örneklem sayısının artırılması hata payını düşürdüğünden daha fazla ölçüm veya veri toplanması tavsiye edilmektedir [20]. Bu çalışmalarda hava kaynaklı ısı pompasının temel elemanlarından olan kondenser yoğuşma ve evaporatör buharlaşma sıcaklığını etkileyen dış ortam parametrelerine ait veriler Türkiye Cumhuriyeti Meteoroloji veri tabanından alınmıştır. Kondenser yoğuşma sıcaklığı ve evaporatör buharlaşma sıcaklığı değerleri ise sensörler yardımıyla elde edilmiştir. Dış ortam parametrelerinden dış ortam sıcaklığı, bağıl nem ve rüzgar hızına ait veriler ile kondenser yoğuşma sıcaklığı ve evaporatör buharlaşma sıcaklığı değerleri aynı anda kaydedildiğinden elde edilen model ve matematiksel denklemler homojen bir yapıya sahiptir. Tüm veriler anlık ve aynı zaman diliminde (09.00, 10.00, 11.00, 12.00, 13.00, 14.00, 15.00 ve 16.00) on gün boyunca alınmış ve ayrı ayrı 80 veri Çengelköy/Üsküdar/İstanbul konumu için toplanmıştır. IBM SPSS 26 yazılımı yardımıyla moderated moderation analizinin 7. optimizasyon modeli kullanılarak dış ortam parametrelerinin hava kaynaklı ısı pompasının evaporatör buharlaşma ve kondenser yoğuşma sıcaklığı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Moderated mediation analizinde yer alan modelde kullanılan kondenser

yoğuşma sıcaklığı ölçümleri Şekil 2’de gösterilmektedir. Hava kaynaklı ısı pompasının evaporatör buharlaşma sıcaklığı ölçümleri Şekil 3’te yer almaktadır. Şekil 2 ve Şekil 3’te yer alan kondenser yoğuşma sıcaklığı ile evaporatör buharlaşma sıcaklığı değerleri hava kaynaklı ısı pompasında yer alan sensörler yardımıyla elde edilmiştir. Diğer şekillerde yer alan dış ortam sıcaklığı, rüzgar hızı ve bağıl nem değerleri ise T.C. Meteoroloji Müdürlüğü veri tabanından elde edilmiş ve doğrulukları normallik analiz ile ispatlanmıştır. Ölçümler ve dış ortam parametrelerine ait veriler 10 gün boyunca 09.00-16.00 saatleri arasında veriler kaydedilmiştir. Toplamda 80 adet veri toplandığından şekildeki x-ekseninde N=80 tanımlaması yapılmıştır. Ayrıca ölçümler ile diğer değişkenlere ait veriler zaman bağılı olarak ölçüldüğünden ve toplamda 80 adet örneklem yer aldığından x-ekseni, “Zamana Bağlı Anlık Ölçümler (N=80) (saat)” ifade ile tanımlanmaktadır.



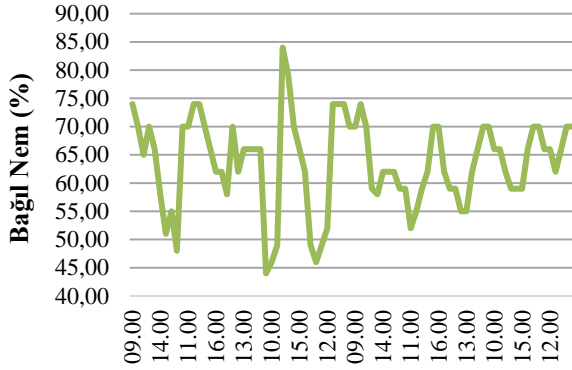
Şekil 2. Kondenser yoğuşma sıcaklığı ölçümleri (Condenser condensation temperature measurements)



Şekil 3. Evaporatör buharlaşma sıcaklığı ölçümleri (Evaporator evaporation temperature measurements)

Şekil 2’de yer alan kondenser yoğuşma sıcaklığı değerinin 10 gün - 8 saatlik zaman dilimi içerisinde 30°C ile 26°C arasında değişim göstermektedir. Ayrıca ölçümler incelendiğinde öğle saatlerinde kondenser yoğuşma sıcaklığının diğer zaman dilimlerine göre daha fazla olduğu görülmektedir. Şekil 3’te yer alan

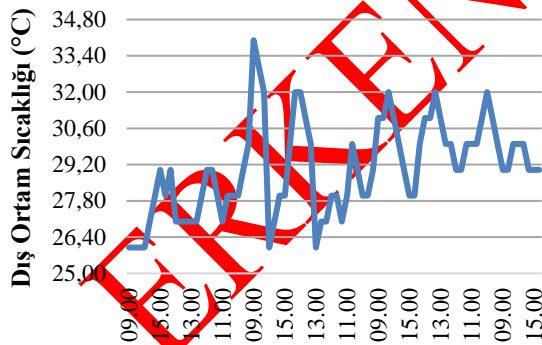
evaporatör buharlaşma sıcaklığı değeri de 10 günlük - 8 saatlik zaman dilimi içerisinde 4°C ile 5,50°C arasında değişmektedir. Ayrıca Şekil 3 incelendiğinde kondenser yoğunlaşma sıcaklığındaki değişimlerin evaporatör buharlaşma sıcaklığını etkilediği görülmektedir Hava kaynaklı ısı pompasının bulunduğu bölgedeki bağıl nem değerleri Şekil 4'te yer almaktadır.



Zamana Bağlı Anlık Ölçümler (N=80, saat)

Şekil 4. Hava kaynaklı ısı pompasının bulunduğu bölgedeki bağıl nem değerleri (Relative humidity values in the area where the air source heat pump is located)

Hava kaynaklı ısı pompasının bulunduğu bölgeye ait bağıl nem değerleri ölçümler ile aynı zaman diliminde T.C. Meteoroloji Müdürlüğü veri tabanından alınmış ve Şekil 4 oluşturulmuştur. Şekil 4 incelendiğinde dış ortam parametrelerinden bağıl nem değerlerinin %44 ile %84 arasında değiştiği bulunmuştur. Ayrıca dış ortam sıcaklığındaki değişimlerin bağıl nemi etkilediği Şekil 4'de görülmektedir. Hava kaynaklı ısı pompasının bulunduğu bölgedeki dış ortam sıcaklığı değerleri Şekil 5'te yer almaktadır.

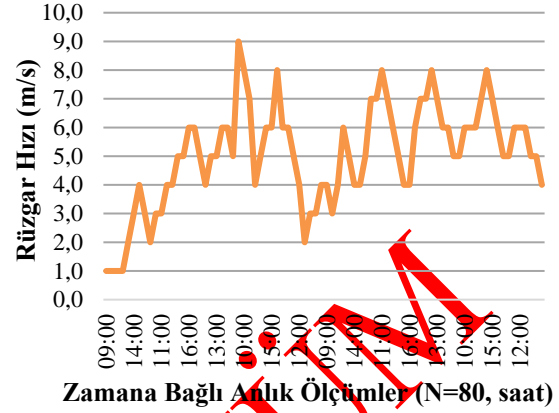


Zamana Bağlı Anlık Ölçümler (N=80, saat)

Şekil 5. Hava kaynaklı ısı pompasının bulunduğu bölgedeki dış ortam sıcaklık değerleri (Outdoor temperature values in the area where the air source heat pump is located)

Şekil 5'te hava kaynaklı ısı pompasının yer aldığı bölgedeki dış ortam sıcaklığı verileri 26°C ile 34°C arasında değişmektedir. Dış ortam sıcaklığı verileri incelendiğinde öğle saatlerinde sıcaklık değerlerin artış gösterdiği görülmektedir. Ayrıca T.C. Meteoroloji Müdürlüğü veri tabanından alınan dış ortam sıcaklığı verileri 10 günlük süre içerisinde 8 saatlik periyotlarda

kaydedilip Şekil 5 oluşturulmuştur. Hava kaynaklı ısı pompasının bulunduğu bölgedeki rüzgar hızı değerleri Şekil 6'te gösterilmektedir.



Zamana Bağlı Anlık Ölçümler (N=80, saat)

Şekil 6. Hava kaynaklı ısı pompasının bulunduğu bölgedeki rüzgar hızı değerleri

Şekil 6'da hava kaynaklı ısı pompasının bulunduğu bölgedeki rüzgar hızı değerleri 2 m/s ile 9 m/s arasında değişmektedir. Şekil 6 incelendiğinde dış ortam sıcaklığının arttığı durumlarda rüzgar hızlarının da artış gösterdiği görülmektedir. Ayrıca T.C. Meteoroloji Müdürlüğü veri tabanından alınan rüzgar hızı verileri 10 günlük zaman diliminde 8 saatlik periyotlarda kayıt altına alınıp Şekil 6 elde edilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Değişkenler arasındaki etkileşimleri bulmak ve optimizasyon modeli geliştirmek için öngörülen moderated mediation analizinde yer alan verilerin bilimsel kabuller çerçevesinde olması gerekmektedir [24].

2.1. Normallik Testi (Normality Test)

Verilerin moderated moderation analizinin optimizasyon modellerinde kullanılabilmesi için normal dağılım özelliğine sahip olması gerekmektedir. Eğer ölçümler ile elde edilen verilerin normallik özelliği yoksa optimizasyon modellerinde kullanılması durumunda analizler hatalı sonuç vermektedir. Normal dağılım, çarpıklık ve basıklık olmak üzere iki temel kriter ile değerlendirilmektedir. Çarpıklık, verilerin ortalamasının dağılımın ortalamasından ne ölçüde saptığını belirlemek için kullanılmaktadır. Basıklık ise verilerin ortalamasının dağılımın ortalamasına ne kadar yakın veya dağılımın ortalamasından ne kadar uzak olduğunu görmek için kullanılmaktadır [23]. Analizlerde kullanılan verilere ait değişkenlerin çarpıklık ve basıklık değeri -1,5 ile +1,5 arasında olması verilerin normal olarak dağıldığını göstermektedir [24]. Normallik testi IBM SPSS 26 programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.2. Moderated Mediation Analiz (Moderated Mediation Analysis)

Moderated mediation analizi, moderation ve mediation analiz olarak bilimsel çalışmalarda yer alan iki

optimizasyon modelinin birleştirilmesi ile oluşmuştur. Moderated mediation analizi, veri setlerinin birbirleri arasındaki etkileşimine göre 92 adet optimizasyon model içermektedir. X değişkeni, Y değişkeni ve mediator M_1 , M_2 , M_3 vb. değişkenin bulunduğu modellere moderator olarak tanımlanan W, Z, Q vb. değişkenler eklenmektedir. Seçilen model türüne göre analiz sonuçları değişse de modelin birinci kısmında X değişkeninin mediator M değişkeni üzerinden Y değişkenine olan etkisi tanımlanmakta ve X, M ile Y değişkenleri arasındaki etkileşimi moderator W değişkeninin nasıl etkilediği ortaya çıkarılmaktadır. Modelin birinci kısmında yer alan değişimleri ifade eden matematiksel denklem Eşitlik 1 ile gösterilmektedir [25].

$$M_p = i_M + a_1 X + a_2 W + a_3 XW + e_M \quad (1)$$

En küçük kareler yöntemi dikkate alınarak optimizasyon model tarafından oluşturulan Formül 1'de M_p , mediator değişkenini açıklamaktadır. Ayrıca i_M denklemde yer alan sabit değeri, a_1 X değişkenine ait katsayıyı, a_2 moderator W değişkenine ait katsayıyı, a_3 etkileşimsel etkiyi ortaya koyan XW değişkenine ait katsayıyı ve e_M varsa hata payı değerini temsil etmektedir. Ayrıca katsayılar optimizasyon analizi sonucunda elde edilmiştir [25].

Moderated mediation analizde değişkenlerin ilişki durumuna göre seçilen modellerin ikinci bölümde X, M ile Y değişkenleri tarafından oluşturulan ve Y değişkeninin değerini tahmin etme olanağı sunan matematiksel denklem elde edilmektedir. Bu matematiksel denklem Eşitlik 2 ile gösterilmektedir. Bununla birlikte M ve Y değişkenleri üzerindeki farklı ilişkileri ortaya çıkarmak için modele covariate değişkeni (C değişkeni) eklenmektedir. Covariate değişkeni ile elde edilen yeni 7. optimizasyon modeli denklemleri Eşitlik 3 ve Eşitlik 4 ile ifade edilmektedir [26].

$$Y_p = i_Y + c'X + b_1 M + e_Y \quad (2)$$

Optimizasyon modeli elde edilen ve tahmin imkanı sunan Eşitlik 2'de yer alan Y_p Y değişkenini tanımlamaktadır. Ayrıca i_Y tahmin denklemdeki sabit değeri, c' tahmin denklemdeki X değişkeninin katsayısını, b_1 tahmin denklemdeki mediator M değişkeninin katsayısını ve e_Y varsa hata payı değerini temsil etmektedir [26].

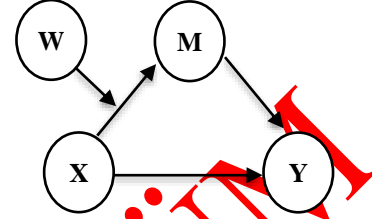
$$M_C = i_{M_C} + a_1 X + a_2 W + a_3 XW + a_4 CW + e_{M_C} \quad (3)$$

Covariate değişkeni ile tanımlanan mediator denklemde i_{M_C} denklemdeki sabit değeri, a_1 X değişkeninin katsayısını, a_2 moderator W değişkeninin katsayısını, a_3 etkileşimsel etkiyi ortaya koyan XW değişkeninin katsayısını, a_4 covariate değişkeninin katsayısını ve e_{M_C} varsa hata payı değerini tanımlamaktadır [26].

$$Y_C = i_{Y_C} + c'X + b_1 M + b_2 C + e_Y \quad (4)$$

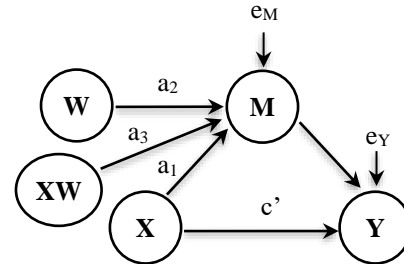
Tahmin imkanı sunan ve covariate değişkeni ile oluşturulan Eşitlik 4'te i_{Y_C} denklemdeki sabit değeri, c' denklemdeki X değişkeninin katsayısını, b_1 denklemdeki mediator M değişkeninin katsayısını, b_2 covariate değişkeninin katsayısını ve e_Y varsa hata payı değerini tanımlamaktadır [26].

X ile Y değişkenleri arasındaki etkileşimin moderator W değişkeni tarafından ne yönde etkilendiğinin belirlenmesi bakımından moderated mediation analizde kullanılan covariate değişkenli modele moderator W değişkeni ve In-1 (XW) değişkeni eklenmektedir. Son adımda ise M değişkeni ve Y değişkeni üzerindeki etkiler ortaya çıkarılmaktadır. Moderated mediation analiz 7. optimizasyon modelinin kavramsal diyagramı Şekil 7'de gösterilmektedir [27].



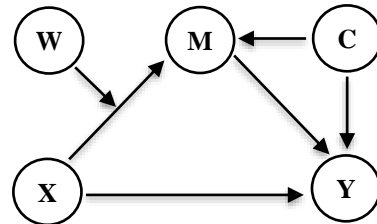
Şekil 7. Moderated mediation analiz 7. Optimizasyon modelinin kavramsal diyagramı (7. conceptual diagram of the optimization model of moderated mediation analysis)

Moderated mediation analiz 7. optimizasyon modelinin istatistiksel diyagramı Şekil 8'de yer almaktadır. Modelin istatistiksel diyagramında değişkenler arasındaki ilişkiler ve katsayı değerleri gösterilmektedir. Ayrıca değişkenlerin birbirlerini etkilediği yönler ile varsa hata paylarının etkisi istatistiksel diyagramında yer almaktadır. İstatistiksel diyagramındaki değişkenlere ait katsayı değerleri ile denklemler oluşturulabilir [27].



Şekil 8. Moderated mediation analiz 7. Optimizasyon modelinin istatistiksel diyagramı (7. statistical diagram of the optimization model of moderated mediation analysis)

Moderated mediation analiz 7. optimizasyon modelinin kavramsal diyagramı Şekil 9'da gösterilmektedir. Temel kavramsal diyagramdan farklı olarak covariate değişkeninin aynı anda mediator değişkeni ile bağımlı değişken üzerindeki etkisi Şekil 9 ile ortaya çıkarılmaktadır [27].



Şekil 9. Moderated mediation analiz 7. optimizasyon modelinin kavramsal diyagramı (7. conceptual diagram of the optimization model of moderated mediation analysis with covariate variable)

2.3. Teori ve Hipotezler (Theory and Hypotheses)

Dış ortam parametrelerindeki değişimden (dış ortam sıcaklığı, bağıl nem ve rüzgar hızı) en çok etkilenen hava kaynaklı pompasının temel bileşeninden kondenser cihazı iken dolaylı olarak etkilenen bileşen ise evaporatördür. Kim ve arkadaşlarının ısı pompasının enerji tüketimi üzerine yaptıkları araştırmada dış ortam parametrelerindeki değişimin (dış ortam sıcaklığı ve bağıl nem) kondenser yoğuşma sıcaklığı ile evaporatör buharlaşma sıcaklığını etkilemişinden dolayı kondenser ve evaporatör performansının değiştiği bulunmuştur. Ayrıca oluşan bu performans değişiminden dolayı kompresörün daha fazla zorlandığı ve daha fazla enerji tükettiği sonucu elde edilmiştir [28]. Elde edilen tüm bilimsel veriler ışığında H₁ ve H₂ hipotezleri geliştirilmiştir.

H₁: Dış ortam sıcaklığının kondenser yoğuşma sıcaklığı üzerinde direkt etkisi vardır.

H₂: Dış ortam sıcaklığının evaporatör buharlaşma sıcaklığı üzerinde dolaylı etkisi vardır.

2.3.1. Mediator M değişkeni (The mediator M variable)

Dış ortam parametrelerindeki (dış ortam sıcaklığı, bağıl nem vb.) değişimin hava kaynaklı ısı pompasına ait kondenserin performansını üzerinde direkt bir etki oluşturacağı ve evaporatörün performansını üzerinde de dolaylı bir etki yapacağı kaçınılmaz bir gerçektir [29]. Yang ve arkadaşlarının ısı değiştiricilerin performansı üzerine yaptıkları çalışmada kondenser yoğuşma sıcaklığı ile dış ortam sıcaklığı arasındaki etkileşimin evaporatör performansını etkileyeceği sonucu bulunmuştur [30]. Kondenser ve evaporatör etkileşimi dikkate alınarak kullanılan optimizasyon modelinde mediator değişkeni kondenser yoğuşma sıcaklığı olarak seçilmiştir. Bu nedenle H₃ hipotezi geliştirilmiştir.

H₃: Kondenser yoğuşma sıcaklığının evaporatör buharlaşma sıcaklığı üzerinde direkt etkisi vardır.

2.3.2. Moderator W değişkeni ve covariate C değişkeni (The moderator W variable and the covariate C variable)

Meng ve arkadaşlarının ısı pompası performansı üzerine yaptıkları çalışmada dış ortamdaki bağıl nemin ve rüzgar hızının ısı pompasının performansını etkilediği ve ısı pompasının daha fazla ya da daha az enerji tüketmesinde etkili olduğu sonucu bulunmuştur [31]. Niu ve arkadaşlarının hava kaynaklı ısı performansı üzerinde yaptıkları çalışmada bağıl nem değerlerinin artmasının hava kaynaklı ısı pompasının ve temel elemanlarının (kondenser ve evaporatör buharlaşma sıcaklığı artışı) performansını azalttığı sonucu elde edilmiştir [32]. Bu nedenle H₄, H₅, H₆, H₇ ve H₈ hipotezleri oluşturulmuştur. Bu hipotezler ile rüzgar hızı ile bağıl nemin evaporatöre ve kondenser performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

H₄: Bağıl nemin kondenser yoğuşma sıcaklığı üzerinde direkt etkisi vardır.

H₅: Bağıl nemin evaporatör buharlaşma sıcaklığı üzerinde dolaylı etkisi vardır.

H₆: Rüzgar hızının kondenser yoğuşma sıcaklığı üzerinde direkt etkisi vardır.

H₇: Rüzgar hızının evaporatör buharlaşma sıcaklığı üzerinde dolaylı etkisi vardır.

H₈: Bağıl nemin, dış ortam sıcaklığı ve kondenser yoğuşma sıcaklığı arasındaki etkileşim üzerinde moderator etkisi vardır.

H₉: Bağıl nemin, dış ortam sıcaklığı ve evaporatör buharlaşma sıcaklığı arasındaki etkileşim üzerinde moderator etkisi vardır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Moderated mediation analizinin 7'inci optimizasyon modelinin gereği olarak **X değişkeni** dış ortam sıcaklığını (°C), **Y değişkeni** evaporatör buharlaşma sıcaklığını (°C), **M değişkeni** kondenserin yoğuşma sıcaklığını (°C), **W değişkeni** bağıl nemi (%) ve **C değişkeni** ise rüzgar hızını (m/s) temsil etmektedir.

Moderated mediation analizinin 7'inci optimizasyon modeli iki bölümden oluşmaktadır. Model 7a olarak tanımlanan birinci kısımda dış ortam parametrelerinin kondenser yoğuşma sıcaklığı üzerindeki etkisini daha basit olarak ortaya çıkarmak ve çoklu bağlantı sorununu ortadan kaldırmak için değişkenlere merkezleştirme (standardize etme) metodu uygulanmaktadır. Model 7b olarak tanımlanan ikinci kısımda ise dış ortam parametrelerinin evaporatör sıcaklığı üzerindeki etkileri ortaya çıkarılmakta ve evaporatör yoğuşma sıcaklığını tahmin etme imkanı sağlayan matematiksel denklem elde edilmektedir.

Moderated mediation analizinde yer alan değişkenlerin modele dahil edilebilmesi için verilerin normal dağılım özelliklerinin olması gerekmektedir. Bu nedenle IBM SPSS 26 yazılımı kullanılarak değişkenlerin normallik testi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 1'de gösterilmiştir. IBM SPSS 26 yazılımı yardımıyla elde edilen Çizelge 1'deki normallik analizi sonuçları literatürde verilen çarpıklık ve basıklık değerleri arasında yer almaktadır. Verilerin normallik özellikleri belirlemek için çarpıklık ve basıklık değerleri dikkate alınmaktadır. Eğer çarpıklık değeri (-) olarak belirlenmiş ise değişkene ait veri setinin ortalamadan -SD'ye doğru ne kadar saptığı ortaya çıkartılırken çarpıklık değeri (+) olarak belirlenmiş ise değişkene ait veri setinin ortalamadan +SD'ye doğru ne kadar saptığı bulunmaktadır. Basıklık değeri (-) olarak elde edilmiş ise değişkene ait veri setinin tepe noktasından x eksenine doğru ne oranda yaklaştığı bulunurken basıklık değeri (+) olarak analiz sonucunda çıkmış ise değişkene ait veri setinin tepe noktasından daha üst noktalara doğru ne oranda genişlediği bulunmuştur.

Çizelge 1. Moderated mediation analizinde kullanılan değişkenlere ait normallik testi sonuçları (Normality test results of the variables used in the moderated mediation analysis)

Değişkenler	Çarpıklık	Basıklık	Literatür Aralığı
X	0,290	-0,373	-1,5 ile +1,5
Y	-0,197	-0,609	-1,5 ile +1,5
M	-0,534	-0,663	-1,5 ile +1,5
W	-0,374	-0,023	-1,5 ile +1,5
C	-0,193	-0,340	-1,5 ile +1,5

Moderated mediation analizinin 7. optimizasyon modelinin birinci kısmı olan model 7a ile elde edilen sonuçlar Çizelge 2’de gösterilmektedir. Model 7a’nın P anlamlılık değeri, %95 güven aralığında 0,05 anlamlılık değerinden küçük olduğundan model 7a ile elde edilen sonuçların anlamlı olduğu değerlendirilmektedir. Kondenser yoğuşma sıcaklığı ile dış ortam sıcaklığı (b: 0,3982, P<0,05, LLCI: 0,2627, ULCI: 0,5336), bağıl nem (b: 0,0765, P<0,05, LLCI: 0,0480, ULCI: 0,1050), rüzgar hızı (b: 0,2472, P<0,05, LLCI: 0,1314, ULCI: 0,3630) ve Int-1 değişkeni (b: 0,0187, P<0,05, LLCI: 0,0104, ULCI: 0,0271) arasında anlamlı bir etki bulunmuştur.

Kondenser yoğuşma sıcaklığı verilerinin %54,44’ün (R-sq: 0,5444) model 7a ile tam olarak temsil edildiği sonucu elde edilmiştir. Ayrıca X, moderator W, covariate C ve Int-1 değişkenlerinin etkileşimleri açıklamadaki hata payları sırasıyla %6,80, %1,43, %5,81 ve %0,42 olarak gerçekleştiği görülmektedir. Model 7a’daki Int-1 değişkeni, dış ortam sıcaklığı ile kondenser yoğuşma sıcaklığı arasındaki etkileşim üzerinde moderator W değişkeninin etkisini tanımlamaktadır. Bu sonuçlara göre H₁, H₄, H₆ ve H₈ hipotezi reddedilemez. Matematiksel denklem için LLCI ve ULCI arasındaki değerler alınarak optimum katsayı değerleri bulunabilir.

Int-1 değişkenine ait P anlamlılık değerinin %95 güven aralığında 0,05 anlamlılık değerinden küçük çıkmasından dolayı dış ortam sıcaklığının kondenser yoğuşma sıcaklığına etkisi üzerinde bağıl nemin anlamlı bir düzenleyici (moderator) rolü olduğu bulunmuştur. Moderated mediation analizinin 7’inci optimizasyon modelinin birinci bölümü olan model 7a’ya ait analiz sonuçlarının yer aldığı Çizelge 2’de X değişkeni dış ortam sıcaklığını, W değişkeni bağıl nemi, C değişkeni rüzgar hızını ve Int-1 (XW) değişkeni ise etkileşimsel etki değişkenini tanımlamaktadır. Ayrıca Int-1 değişkeni dış ortam sıcaklığının kondenser yoğuşma sıcaklığı üzerindeki etkisinin bağıl nem tarafından nasıl değiştiğini etki değeri ile ortaya koymaktadır. Int-1 değişkeni optimizasyon modeline ait dekleme kullanılması durumunda bu değişkenini şekillendiren verilerin merkezleştirilmesi başka bir ifade ile veriler aralarındaki korelasyon ortayadan kaldırılması gerekmektedir. Aksi durumda Int-1 değişkeninin yer aldığı model hatalı tahminler yapmaktadır.

Çizelge 2. Moderated mediation analizinin 7’inci optimizasyon modelinin birinci bölümü olan model 7a’ya ait analiz sonuçları (The first part of the 7th optimization model of moderated mediation analysis; the results of the analysis of model 7a)

	Sabit	X	W	C	Int-1
Etki	27,5028	0,3982	0,0765	0,2472	0,0187
se	0,2448	0,0680	0,0143	0,0581	0,0042
t	112,3490	5,8558	5,3423	4,2542	4,4547
P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LLCI	27,0139	0,2627	0,0480	0,1314	0,0104
ULCI	27,9892	0,5336	0,1050	0,3630	0,0271
R: 0,7378 R-sq: 0,5444 F: 22.4059 P: 0,000					

Int-1 (XW): Dış ortam sıcaklığı ile kondenser yoğuşma sıcaklığı arasındaki etkileşim üzerindeki bağıl nemin moderator etkisi **LLCI:** Alt sınır güven aralığı, **ULCI:** Üst sınır güven aralığı

Rüzgar hızı, dış ortam sıcaklığı, bağıl nem ve Int-1 değişkenlerinin kondenser yoğuşma sıcaklığı üzerindeki etkileri ile oluşturulan optimizasyon modeline ait matematiksel denklem Eşitlik 5 ile gösterilmektedir. Eşitlik 5, Çizelge 2’de yer alan ve optimizasyon modeli sonucunda elde edilen katsayı değerleri ile oluşturulmuştur. Ayrıca matematiksel denkleme XW değişkeninin etkileşimsel etkisi de modele dahil edilerek daha gerçekçi bir tahmin denklemi elde edilmiştir. Böylece modeli oluşturan değişkenlere ait veriler ile kondenser yoğuşma sıcaklığının tahmini gerçekleştirilebilir.

$$M_{\text{kondenser}} = 27,5016 + 0,3982X + 0,0765W + 0,0187XW + 0,2472C \quad (5)$$

Dış ortam sıcaklığı ve kondenser yoğuşma sıcaklığı arasındaki etkileşim üzerinde bağıl nemin moderator etkisi (b: 0,1205, P<0,05) anlamlı olarak bulunmuş ve moderator bağıl nemin etkileşimsel etkisinin (XW) %12,05 oranında gerçekleştiği elde edilmiştir. Moderator bağıl nemin etkileşimsel etkisi ve diğer analiz sonuçları Çizelge 3’te gösterilmektedir.

Çizelge 3. Dış ortam sıcaklığı ve kondenser yoğuşma sıcaklığı arasındaki etkileşim üzerinde bağıl nemin etkisi (The effect of relative humidity on the interaction between outdoor temperature and condenser condensation temperature)

Değişken	Etki	F	df1	df2	P
XW	0,1205	19,8445	1,00	75,00	0,00

Model 7a ile elde edilen sonuçlara göre dış ortam sıcaklığının kondenser yoğuşma sıcaklığına etkisi üzerinde düşük (b: 0,2468, LLCI: 0,1050, ULCI: 0,3887) orta (b: 0,3982, LLCI: 0,2627, ULCI: 0,5336) ve yüksek (b: 0,5495, LLCI: 0,3891, ULCI: 0,7099) bağıl nem değerlerinin anlamlı olarak moderator etkisinin olduğu bulunmuş ve sonuçlar Çizelge 4’de gösterilmiştir. Düşük, orta ve yüksek bağıl nem değerlerine ait P anlamlılık değerlerinin optimizasyon analizi açısından anlamlı (P<0,05; %95 güven aralığında) olması ve LLCI ile ULCI değerleri arasında “sıfır” değerinin bulunmaması modeldeki bağıl nem değişkeninin moderator rolünün olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4. Dış ortam sıcaklığının kondenser yoğuşma sıcaklığına etkisi üzerinde düşük, orta ve yüksek (-1SD, 0.00, +1SD) bağıl nem değerlerinin etkileşimsel etkisi (The interactive effect of low, medium and high (-1SD, 0.00, +1SD) relative humidity values on the effect of outdoor temperature on condenser condensation temperature)

Bağıl Nem	-8,0785	0,0000	8,0785
Etki	0,2468	0,3982	0,5495
se	0,0712	0,0680	0,0805
t	3,4662	5,8558	6,8242
P	0,0000	0,0000	0,0000
LLCI	0,1050	0,2627	0,3891
ULCI	0,3887	0,5336	0,7099

Moderated mediation analizinin 7. optimizasyon modelinin ikinci kısmı olan model 7b ile kondenser yoğuşma sıcaklığı, dış ortam sıcaklığı ve rüzgar hızı değişkenlerinin evaporatör buharlaşma sıcaklığı üzerindeki etkilerinin anlamlı ($P_{\text{model7b}}=0,0000<0,005$) olduğu ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca evaporatör buharlaşma sıcaklığını tahmin etmek için elde edilen matematiksel denklemin katsayı değeri Çizelge 5'te gösterilmektedir.

Evaporatör buharlaşma sıcaklığı verilerinin %75,20'sı (R-sq: 0,7520) model 7b ile tam olarak temsil edildiği bulunmuştur. Ayrıca model 7b'de yer alan X, mediator M ve covariate C değişkenlerinin etkileşimleri açıklamadaki hata payları sırasıyla %1,32, %2,62 ve %1,84 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre H_2 , H_3 ve H_7 hipotezleri reddedilemez. Model 7b ile elde edilen tahmin ve optimizasyon denklemi Formül 6 ile gösterilmektedir. Formül 6, Çizelge 5'te verilen ve optimizasyon modeli sonucunda elde edilen X, Mediator M ve C değişkenlerinin katsayı değerleri ile oluşturulmuştur. Bu matematiksel denklem sadece değişkenlerin değişimlerini tahmin etmek için kullanılmaktadır.

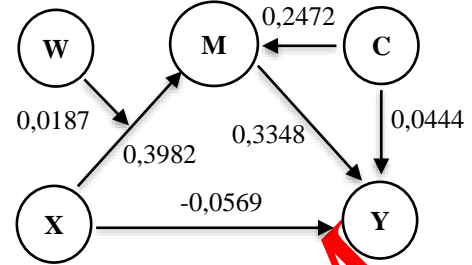
$$Y_{\text{evaporatör}} = -4,8556 - 0,0569X + 0,3348M + 0,0444C \quad (6)$$

Çizelge 5. Moderated mediation analizinin 7'inci optimizasyon modelinin ikinci bölümü olan model 7b sonuçları (The second part of the 7th optimization model of moderated mediation analysis; the results of model 7b)

	Sabit	X	M	C
Etki	-4,8556	-0,0569	0,3348	0,0444
se	0,7152	0,0132	0,0262	0,0184
t	-,7889	-4,3219	12,7799	2,4058
P	0,0000	0,0000	0,0000	0,0186
LLCI	-6,2801	-0,0831	0,2826	0,0076
ULCI	-3,4311	-0,0307	0,3870	0,0811
R: 0,8672 R-sq: 0,7520 F: 76,8028 P: 0,00				

Model 7a ve model 7b ile elde edilen sonuçlara göre değişkenler arasındaki katsayı değerleri ve etkileşim yönleri belirlenmiştir. Covariate değişkenli kavramsal diyagram üzerinde yer alan ve optimizasyon modeli yardımıyla elde edilen değişken etkileşimleri Çizelge 10 ile gösterilmektedir. Çizelge 10'daki kavramsal

diyagramda değişkenlerin birbirlerini hangi yönde etkiledikleri ve bu etkilere ait değerler ortaya çıkarılmaktadır. Temel kavramsal diyagramdan farklı olarak covariate değişkenine ait etkileşimler de Şekil 10'da gösterilmektedir.



Şekil 10. Moderated mediation analizinin covariate değişkenli 7. optimizasyon modelinin kavramsal diyagramı (7. conceptual diagram of the optimization model of moderated mediation analysis with covariate variables)

Model 7b ile elde edilen sonuçlara göre kondenser yoğuşma sıcaklığının evaporatör buharlaşma sıcaklığı üzerindeki direkt etkisinden kaynaklı olarak dış ortam sıcaklığının evaporatör buharlaşma sıcaklığını olumsuz olarak etkilediği (Dolaylı etki: %5,69) sonucu bulunmuştur. Bu dolaylı etki ile ilgili sonuçlar Çizelge 6'da verilmektedir. Etkinin P anlamlılık değeri, %95 güven aralığında 0,05 anlamlılık değerinden küçük olduğundan ve LLCI ile ULCI değerleri (LLCI: -0,0831, ULCI: -0,0307) arasında sıfır değeri yer almadığından dış ortam sıcaklığının evaporatör yoğuşma sıcaklığı üzerindeki dolaylı etkisinin anlamlı olduğu bulunmuştur.

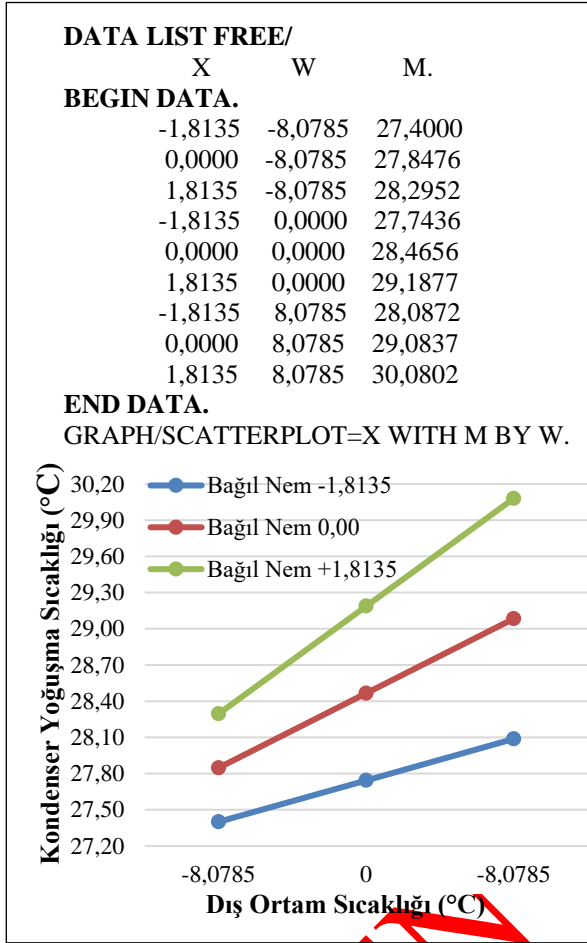
Çizelge 6 Moderated mediation analizinin 7. optimizasyon modeline göre dış ortam sıcaklığının evaporatör buharlaşma sıcaklığı üzerindeki dolaylı etkisi (The indirect effect of the outdoor temperature on the evaporator evaporation temperature according to the 7. optimization model of moderated mediation analysis)

Dış Ortam Sıcaklığı → Evaporatör Buharlaşma Sıcaklığı	
Dolaylı Etki	-0,0569
se	0,0132
T	-4,3219
P	0,0000
LLCI	-0,0831
ULCI	-0,0307

Model 7a ile elde edilen kodlar IBM SPSS 26 Syntax bölümünde kullanılarak bağıl nem, dış ortam sıcaklığı ve kondenser yoğuşma sıcaklığı arasındaki etkileşimler ortaya çıkarılmıştır. Bu etkileşimler Şekil 11 ile gösterilmektedir.

Dış ortam sıcaklığı düşük değerlerde olsa dahi bağıl nemin artış gösterdiği durumlarda kondenser yoğuşma sıcaklığının artarak olumsuz etkilendiği bulunmuştur. Ayrıca bağıl nem ve dış ortam sıcaklığının birlikte artması durumunda kondenser yoğuşma sıcaklığının oldukça fazla arttığı sonucu elde edilmiştir.

Şekil 11. Bağlı nem, dış ortam sıcaklığı ve kondenser yoğuşma sıcaklığı arasındaki etkileşimlere ait grafik (Graph of the interactions between relative humidity, outdoor temperature and condenser condensation temperature)



Model 7b sonuçlarına göre dış ortam sıcaklığı, rüzgar hızı ve kondenser yoğuşma sıcaklığı ile evaporatör buharlaşma sıcaklığı arasındaki etkileşimin moderator bağlı nem değişkeni tarafından hangi oranda ve yönde değiştiği Çizelge 7’de gösterilmektedir. Dış ortam sıcaklığı, rüzgar hızı, kondenser yoğuşma sıcaklığı ve evaporatör buharlaşma sıcaklığı arasındaki etkileşim, bağlı nem tarafından %0,63 oranında anlamlı olarak (LLCI: 0,0210, ULCI: 0,0099) etkilemektedir. Bu nedenle H₃ hipotezi reddedilemez.

Çizelge 7. Evaporatör buharlaşma sıcaklığı üzerinde bağlı nemin dolaylı etkisi - moderated mediation indeks (Indirect effect of relative humidity on evaporator evaporation temperature - moderated mediation index)

Değişken	İndeks	se	LLIC	LLCI
Bağlı Nem	0,0063	0,020	0,0210	0,0099

Model 7b ile elde edilen sonuçlara göre dış ortam sıcaklığı ile evaporatör buharlaşma sıcaklığı arasındaki etkileşim üzerinde düşük (b: 0,0826, LLIC: 0,0272, ULCI: 0,1361) orta (b: 0,1333, LLIC: 0,0883, ULCI: 0,1785) ve yüksek (b: 0,1840, LLIC: 0,1263, ULCI: 0,2382) bağlı nem değerlerinin anlamlı olarak moderator

etkisinin olduğu bulunmuş ve sonuçlar Çizelge 8’de gösterilmiştir. Düşük, orta ve yüksek bağlı nem değerlerinin P anlamlılık değerlerinin %95 güven aralığında 0,05 anlamlılık değerinden küçük olması ve LLIC ile ULCI değerleri arasında “sıfır” olmaması bağlı nemin moderator rolünün olduğunu göstermektedir. Bu nedenle H₈ hipotezi reddedilemez.

Çizelge 8. Dış ortam sıcaklığı ile evaporatör buharlaşma sıcaklığı arasındaki etkileşim üzerinde bağlı nemin koşullara göre -1SD, 0.00, +1SD/ etkisi (The effect -1SD, 0.00, +1SD/ of relative humidity on the interaction between the outdoor temperature and the evaporator evaporation temperature according to the conditions)

Bağlı Nem	Etki	se	LLIC	ULCI
-8,0785	0,0826	0,0273	0,0272	0,1361
0,0000	0,1333	0,0230	0,0883	0,1785
8,0785	0,1840	0,0286	0,1263	0,2382

Moderated mediation analiz sonuçlarına göre kondenser yoğuşma sıcaklığı üzerinde en büyük etkiye sahip olan dış ortam parametresinin dış ortam sıcaklığı olduğu görülmektedir. Dec ve arkadaşlarının elde ettiği sonuçlara paralel olarak bu çalışmada elde edilen moderated mediation analiz sonuçları incelendiğinde dış ortam sıcaklığındaki artışa bağlı olarak kondenser yoğuşma sıcaklığı üzerinde en büyük etkiye sahip ikinci dış ortam parametresinin rüzgar hızı olduğu ifade edilebilir. Dış ortam sıcaklığı ve rüzgar hızının etkisi göz önüne alındığında bağlı nemin kondenser yoğuşma sıcaklığı üzerindeki etkisi oldukça düşüktür. Bu sonuç, Şahin ve Eom’in yaptıkları çalışmalarda bulgulara ters düşmemektedir.

Bağlı nemin dış ortam sıcaklığı ile kondenser yoğuşma sıcaklığı arasındaki etkileşim üzerinde anlamlı bir düzenleyici rol oynaması dış ortam sıcaklığının kondenser yoğuşma sıcaklığını artırıcı yönündeki olumsuz etkisini daha da arttırmaktadır. Bu durum Ndukaiye ve arkadaşlarının çalışması ile paralellik göstermektedir. Böylece tasarım şartlarında belirlenen ısı miktarının kondenser tarafından dış ortama atılmasının olumsuz etkilenmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Başka bir ifade ile istenilen tasarım şartlarının sağlanması için kompresörün daha fazla güç tüketmesi gerekmektedir. Bu durumu, hava kaynaklı ısı pompası ve elemanlarını üreten ve/veya tasarlayanların dikkate alması faydalı olacaktır.

Model 7a sonuçlarına göre bağlı nem değerleri düşük seviyelerden yüksek seviyelere doğru arttıkça dış ortam sıcaklığının kondenser yoğuşma sıcaklığına etkisi 2,23 kat artmaktadır. Dolayısıyla kondenser üreten ve/veya tasarlayanların bağlı nem artışlarını göz önünde tutmaları gerekmektedir. Ayrıca bağlı nem ile ilgili sonuçlar Stamatellos ve arkadaşların simülasyon modeli sonuçlarına benzerlik göstermektedir.

IBM SPSS Syntax kodları ile elde edilen grafik sonuçlarına göre dış ortam sıcaklığı düşük değerlerde olsa dahi bağlı nemin artması durumunda kondenser yoğuşma sıcaklığının yükseldiği görülmektedir. Dış

ortam sıcaklığı ve bağıl nemin yüksek değerlere ulaşması durumunda ise kondenser yoğuşma sıcaklığı üzerindeki olumsuz etki oldukça fazla olmaktadır. Kim ve arkadaşlarının çalışmasındaki sonuçlar ile paralellik elde edilmiştir.

Moderated mediation analizin 7. optimizasyon modelinin ikinci kısmı olan model 7b ile kondenser yoğuşma sıcaklığı, dış ortam sıcaklığı ve rüzgar hızı değişkenlerinin evaporatör buharlaşma sıcaklığına olan etkileri ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca model 7b ile elde edilen matematiksel denklem yardımıyla evaporatör buharlaşma sıcaklığını tahmin etmek mümkün olmaktadır.

Kondenser yoğuşma sıcaklığının evaporatör buharlaşma sıcaklığı üzerindeki etkisinden kaynaklı olarak dış ortam sıcaklığındaki artış evaporatör buharlaşma sıcaklığı üzerinde olumsuz ve dolaylı bir etki oluşturmaktadır. Artan evaporatör buharlaşma sıcaklığı nedeniyle tasarım şartlarına göre istenilen miktarda ısıyı ortamdan çekilmesini zorlaştırmaktadır. Bu bulgu Kim ve arkadaşlarının çalışmasındaki sonuçlara zıt düşmemektedir. Dış ortam sıcaklığı, rüzgar hızı, kondenser yoğuşma sıcaklığı ve evaporatör buharlaşma sıcaklığı arasındaki etkileşim üzerinde bağıl nemin çok az da olsa etkisinin olduğu bulunmuştur.

Model 7b sonuçlarına göre bağıl nem değerleri düşük seviyelerden yüksek seviyelere doğru arttıkça dış ortam sıcaklığının evaporatör buharlaşma sıcaklığına etkisi 2,23 kat artmaktadır. Dolayısıyla evaporatör üreten ve/veya tasarlayanların bağıl nem artışlarını göz önünde tutmaları gerekmektedir. Ayrıca bağıl nem ile ilgili sonuçlar Sahin ve arkadaşların simülasyon modeli ile gerçekleştirilen performans analizi sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir.

Literatürdeki çalışmalar ile paralellik gösteren sonuçlar ve yeni bilimsel katkılar sayesinde dış ortam sıcaklığı, rüzgar hızı ve bağıl nemin, kondenser yoğuşma sıcaklığı ile evaporatör buharlaşma sıcaklığı üzerindeki etkileri ortaya konmuştur. Bu optimizasyon çalışmasıyla elde edilen sonuçlar ile matematiksel denklemlerin hava kaynaklı ısı pompası, kondenser ve evaporatör üreticilerine ve/veya tasarlayanlara yön göstereceği düşünülmektedir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada Moderated mediation analiz sonuçlarına göre dış ortam sıcaklığının kondenser yoğuşma sıcaklığı üzerindeki etkisi %39,82 olarak elde edilirken rüzgar hızının kondenser yoğuşma sıcaklığı üzerindeki etkisi %24,72 oranında olduğu bulunmuştur. Bağıl nem etkisinin ise %7,65 oranında gerçekleştiği görülmektedir. Moderated mediation analizin kondenser yoğuşma sıcaklığı verilerinin %54,44'ü tam olarak temsil ettiği ve değişkenlere ait hata paylarının %10'un altında olduğu sonucu elde edilmiştir. Bağıl nemin dış ortam sıcaklığı ile kondenser yoğuşma sıcaklığı arasındaki etkileşim üzerindeki düzenleyici rolün etkisinin %12,05 oranında olduğu bulunmuştur.

Yüksek bağıl nem değerlerinde dış ortam sıcaklığının kondenser yoğuşma sıcaklığı üzerindeki etkisinin %54,95 oranında arttığı sonucu elde edilmiştir. Ayrıca bağıl nem, düşükten (b: 0,2468) yüksek değerlere (0,5495) doğru arttıkça dış ortam sıcaklığının kondenser yoğuşma sıcaklığı üzerindeki etkisinin 2,23 kat arttığı sonucu bulunmuştur.

Moderated mediation analiz sonuçlarına göre kondenser yoğuşma sıcaklığı, dış ortam sıcaklığı ve rüzgar hızı değişkenlerindeki değişimler ile evaporatör buharlaşma sıcaklığını tahmin edebilecek matematiksel denklem oluşturulmuştur. Elde edilen denklem Eşitlik 7 ile gösterilmektedir. Kondenser yoğuşma sıcaklığının evaporatör buharlaşma sıcaklığı üzerindeki etkisinden kaynaklı olarak dış ortam sıcaklığındaki artışın evaporatör buharlaşma sıcaklığı üzerinde %5,69 oranında olumsuz ve dolaylı bir etki oluşturduğu bulunmuştur.

$$Y_{\text{evaporatör}} = -4,8556 - 0,0569X + 0,3348M + 0,0444C \quad (7)$$

Düşük bağıl nem değerlerinde dış ortam sıcaklığının evaporatör buharlaşma sıcaklığı üzerindeki etkisi %8,26 oranında artarken yüksek bağıl nem değerlerinde dış ortam sıcaklığının evaporatör buharlaşma sıcaklığı üzerindeki etkisi %18,40 oranında arttığı bulunmuştur. Ayrıca bağıl nem, düşükten (b: 0,0826) yüksek değerlere (b:0,1840) doğru arttıkça dış ortam sıcaklığının evaporatör buharlaşma sıcaklığı üzerindeki etkisinin 2,23 kat arttığı sonucu elde edilmiştir. Dış ortam sıcaklığı, rüzgar hızı, kondenser yoğuşma sıcaklığı ve evaporatör buharlaşma sıcaklığı arasındaki etkileşimi bağıl nemin %0,63 oranında artırıcı etkisinin olduğu bulunmuştur.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Mehmet ÖZDEMİR: Literatür araştırmasını gerçekleştirmiştir. Ölçümlerin ve verilerin modellenmesi ile matematiksel modelin oluşturulmasını sağlamıştır. Makalenin kurallara uygun yazılmasını gerçekleştirmiştir.

Mustafa Kemal ONAT: Makalenin yazımı ve analizlerin yapılmasında yardımcı olmuştur. Meteoroloji müdürlüğü ve diğer veri tabanlarından verilerin toplanmasında yardımcı olmuştur.

Ayhan ONAT: Modelleme için yöntem belirlemiştir. Bulguların yorumlamasını gerçekleştirmiştir. Makalenin yazımı ve analizlerin yapılmasında yardımcı olmuştur.

İsmail EKMEKÇİ: Meteoroloji müdürlüğü ve diğer veri tabanlarından verilerin toplanmasını sağlamış ve analiz süreci ile bulguların değerlendirilmesinde yardımcı olmuştur.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur. / There is no conflict of interest in this study.

KISALTMA VE SEMBOLLER (ABBREVIATIONS AND SYMBOLS)

CO ₂	Karbondioksit
GtCO ₂	Gigaton Karbondioksit
IBM	International Business Machines
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
b	Değişken etki değeri
%	Yüzde
°C	Santigrat Derece
N	Örneklem Sayısı
R	Korelasyon Değeri
R-sq	R-kare
LLIC	Alt sınır güven aralığı
ULCI	Üst sınır güven aralığı
SD	Standart Sapma
se	Standart Hata
F	F-Testi Değeri
df	Serbestlik Değeri
P	Anlamlılık Değeri
T	T-Testi Değeri

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Canbaz, Ö., Yücel, N. and Albayrak, K., "Experimental Investigation of Unsteady Flow in a Vertical Shaft Axial Flow Pump", *Politeknik Dergisi*, 26(2), 1025-1034, (2023).
- [2] International Energy Agency, "Word Outlook 2023 Report", IEA Publications Typeset in France, 17-355, (2023).
- [3] International Energy Agency, "CO₂ Emissions in 2022 Report", IEA Publications Typeset in France, 1-19, (2023).
- [4] Dönmezçelik O., Koçak E. and Örkücü H. H., "Towards Net Zero Emissions Target: Energy Modelling of the Transport Sector in Türkiye", *Energy*, 279, (2023).
- [5] Qu M., Qin K., Tang Y., Fan Y. and Li T., "An Experimental Study on the Improvement of Reverse Cycle Defrosting Performances for a Cascade Air Source Heat Pump Using Thermal Energy Storage Based Defrosting Method", *Procedia Engineering*, 205; 818-825, (2017).
- [6] Zou H., Liu Z. and Long E., "An Experimental Study on External Ventilation to the Heating Performance of Household Air Source Heat Pump", *Frontiers in Energy Research*, 9; 785461 (2012).
- [7] Sahin E., and Adıgüzel N., "Experimental Analysis of the Effects of Climate Conditions on Heat Pump System Performance" *Energy*, 243; 123037, (2022).
- [8] Özdemir M. and Onat A., "Optimization of the fan coil cooling system in accordance with the parameters affecting the performance of the air source heat pump using a moderated mediation model", *Thermal Science*, Vol. 28, No. 2B, 1561-1576 (2024).
- [9] Eom H., Chung Y., Park M., Hong B. S. and Kim S. M., "Deep learning-based prediction method on performance change of air source heat pump system under frosting conditions", *Energy*, 228; 120452 (2021).
- [10] Li Y., Li Z., Fan Y., Zeng C., Cui Y., Zhao X., Li J., Chen, J. and Shen C., "Experimental investigation of a novel two-stage heat recovery heat pump system employing the vapor injection compressor at cold ambience and high water temperature conditions", *Renewable Energy*, 250; 687-694, (2023).
- [11] Ndukaife T. A. and Nnanna A. G. A., "Enhancement of Performance and Energy Efficiency of Air Conditioning System Using Evaporatively Cooled Condensers", *Heat Transfer Engineering*, 40; 375-387, (2019).
- [12] Xu Z., Hao L. H., Shao S., Xu W., Wang Z., Wang Y., Sun X., Yang Q., Xu C. and Zhao W., "A semi-theoretical model for energy efficiency assessment of air source heat pump systems", *Energy Convers Manage*, 228; 113667, (2021).
- [13] Long T., Qiao Z., Wang M., Li Y., Lu J., Li W., Zeng L. and Huang S., "Performance analysis and optimization of a solar air source heat pump heating system in Tibet, China", *Energy and Buildings*, 220; 110084, (2020).
- [14] Milevančević U. and Kosi, F., "Performance analysis of system heat pump - heat recuperator used for air treatment in process industry", *Thermal Science*, 20; 1345-1354, (2016).
- [15] Stamatellos G., Zogou O. and Stamatelos A., "Energy Performance Optimization of a House with Grid-Connected Rooftop Pv Installation and Air Source Heat Pump", *Energies*, 14; 740, (2021).
- [16] Akan T., "Renewable Energy: Moderated, Moderating or Mediating?", *Applied Energy*, vol. 347; 121411, (2023).
- [17] Dec E., Babiarz B. and Sekret R., "Analysis of temperature air humidity and wind conditions for the needs of outdoor thermal comfort", *EDP Sciences*, 44; 9 (2018).
- [18] Kocakulak, S., Yılmaz, S. ve Ergün, A., "Yüzey Suyu Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Enerji ve Ekserji Analizi", *Politeknik Dergisi*, 26(3), 1049-1058, (2023).
- [19] Sezen, K. "Operation Parameters Variation of Air Source Heat Pump According to the Outdoor Temperature", *Politeknik Dergisi*, 26(3), 1179-1184, (2023).
- [20] Amanda K. M., "Selecting a Within- or Between-Subject Design for Mediation: Validity, Causality, and Statistical Power", *Multivariate Behavioral Research*, 58; 616-636, (2023).
- [21] www.tr.freemeteo.com/havadurumu/istanbul/hourly-forecast/today/?gid=745044&language=turkish&country=turkey, "Freemeteo", (Kontrol: 25.02.2023).
- [22] www.mevbis.mgm.gov.tr/mevbis/ui/index.html#/Workspace, "Türkiye Cumhuriyeti Meteoroloji Müdürlüğü Veri Tabanı Sistemi", (Kontrol: 25.02.2023).
- [23] Suleyman D., "Comparison of Normality Tests in Terms of Sample Sizes under Different Skewness and Kurtosis Coefficients", *International Journal of Assessment Tools in Education*, 9, 397-409, (2022).

- [24] Tabachnick, B.G., and Fidell L. S., “*Using Multivariate Statistics (seventh ed.)*”, Harlow, Essex : Pearson Education, 79-81, (2018).
- [25] Clement M. L. and Garcia B., M., “A Step-By-Step Tutorial for Performing a Moderated Mediation Analysis Using PROCESS”, *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*, 18; 258-271, (2022).
- [26] Borau S. Akremi A., Gambier L. E., Kidar H. L. and Ranchoux C., “Analysing Moderated Mediation Effects: Marketing Applications”, *Recherche et Applications En Marketing*, 30; 88-128 (2015).
- [27] Casement M. D., Keenan K. E., Hipwell A. E., Guyer A. E and Forbes E., “Neural reward processing mediates the relationship between insomnia symptoms and depression in adolescence”, *Sleep*, 39; 439-447, (2016).
- [28] Kim B. J., Jo S. Y. and Jeong J. W., “Energy Performance Enhancement in Air-Source Heat Pump with a Direct Evaporative Cooler-Applied Condenser”, *Case Studies in Thermal Engineering*, 35; 102137 (2022).
- [29] Malwe P. D., Shaikh J. and Gawali B., S., “Exergy Assessment of a Multistage Multi-Evaporator Vapor Compression Refrigeration System Using Eighteen Refrigerants”, *Energy Reports*, vol. 8; 153-162, (2022).
- [30] Yang M., Wu X., Zhou W., Liu X., Qiang R. and Huang F., “Experimental Study on Effects of Different Water Flow Rates on Heat Transfer Characteristics of Evaporator”, *Journal of Physics*, 2418; 1, (2023).
- [31] Meng Z., Cui X., Zhang H., Liu Y., Wang Z. and Zhang F., “Study on Drying Characteristics of Yam Slices under Heat Pump-Electrohydrodynamics Combined Drying”, *Case Studies in Thermal Engineering*, 41; 102601, (2023).
- [32] Jianhui N., Liang Z. L., Tianshu L., Haichao W. and Shuxue X., “A newly designed air-source heat pump system with liquid subcooling defrosting: Simulation and experiment”, *Applied Thermal Engineering*, 242, 122472, (2024).

ERKEN GÖRÜNMÜ