ARAŞTIRMA MAKALESİ

Endüstriyel Bulaşık Makinelerinde Enerji Verimliliğinin Artırılması

Özlem EMANET
Dr.
Yıldız Teknik Üniversitesi
Makine Fakültesi
Makine Mühendisliği
İstanbul
panzehir@yildiz.edu.tr
orcid: 0000-0002-1947-7699

Nuri Alpay KÜREKCİ
Doç. Dr.
Yıldız Teknik Üniversitesi
Makine Fakültesi
Makine Mühendisliği
İstanbul
kurekci@yildiz.edu.tr
orcid: 0000-0002-0450-4818

Mustafa Kemal SEVİNDİR
Dr.
Yıldız Teknik Üniversitesi
Makine Fakültesi
Makine Mühendisliği
İstanbul
sevindir@yildiz.edu.tr
orcid: 0000-0003-1210-1880

ÖZ

Günümüzde iklim krizinin etkilerinin ortaya çıkması, enerji ve su kaynaklarının kısıtlı hale gelmesi ve enerji fiyatlarının artması, enerji verimliliği çalışmalarını zorunlu kılmıştır. Büyük otellerde, lokantalarda ve toplu yemek servisi yapılan işletmelerde endüstriyel bulaşık makineleri kullanılmaktadır. Bu makinelerde yıkama süreleri kısa olması nedeniyle, sıcak su ihtiyacını karşılamak için kullanılan yüksek kapasiteli elektrikli ısıtıcılar oldukça fazla enerji tüketmektedir. Bu çalışmada, giyotin tipi endüstriyel bir bulaşık makinesinin enerji tüketiminin azaltılması amacıyla ısı pompası kullanımı incelenmiştir. 9 kW elektrikli rezistans ısıtıcıya sahip giyotin tipi endüstriyel bir bulaşık makinesinin, 3 farklı yıkama programında çalışması esnasında tüketilen elektrik enerjisi miktarı ve aynı cihaz ile birlikte ısı pompası kullanılması durumunda tüketilen elektrik enerjisi miktarı deneysel olarak belirlenmiştir. Deneysel sonuçların değerlendirilmesi sonucunda ısı pompası kullanılması halinde elektrik enerjisi tüketiminin %22,5 oranında azaldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler

Endüstriyel Bulaşık Makinesi, Enerji Verimliliği, Isı Pompası.

Increasing Energy Efficiency in Industrial Dishwashers

ABSTRACT

Nowadays, the emergence of the effects of the climate crisis, the limited energy and water resources, and the increase in energy prices have necessitated energy efficiency studies. Industrial dishwashers are used in large hotels, restaurants, and establishments that provide catering services. Due to the short washing times in these machines, the high-power resistance heaters used to meet the hot water needs consume a lot of energy. In this study, a heat pump was investigated to reduce the energy consumption of a hood-type industrial dishwasher. The amount of electrical energy consumed during the operation of a hood-type industrial dishwasher with a 9 kW electrical residence heater in 3 different washing programs and the amount of electrical energy consumed using a heat pump with the same device were determined experimentally. As a result of the evaluation of the experimental results, it has been observed that the electrical energy consumption is reduced by approximately 22,5% if the heat pump is used.

Keywords

Hood-Type Industrial Dishwasher, Energy Efficiency, Heat Pump.

Geliş Tarihi : 25.03.2024
Kabul Tarihi : 03.04.2024

Emanet, Ö., Kürekci, N. A., Sevindir, M. K., Endüstriyel Bulaşık Makinelerinde Enerji Verimliliğinin Artırılması, Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı: 201, sf. 1-7, Mart-Nisan 2024.

1. GİRİŞ

Enerji tüm sektörler için en önemli girdilerden biridir. Artan enerji maliyeti ve çevresel etmenler enerjinin verimli kullanımının önemini artırmaktadır. Sanayi dışındaki sektörlerde de enerji verimliliği çalışmaları önem kazanmaktadır. Yiyecek, içecek ve turizm sektörlerinin gelişme hızı dikkate alındığında, enerji tüketimi konusunda dikkate değer bir pay sahibi oldukları görülmektedir. Endüstriyel bulaşık makineleri bu sektörlerde kullanılan ve oldukça fazla enerji tüketen cihazlardan biridir. Bulaşık makinelerinde kullanılan enerjinin %70-95'i kullanılan suyu ve yıkanacak tabakları ısıtmada kullanılır [1]. Bu nedenle bu enerjiyi farklı yollardan temin etme üzerine çalışmalar yapılmıştır. Örneğin binalardaki mevcut su ısıtma sistemlerinden beslenen bulaşık makinelerinin elektrik enerjisinden tasarruf ettirdiği tespit edilmiştir [1, 2]. Yapılan farklı çalışmalarda ise bulaşık makinelerinden dışarı atılan yaklaşık 65-70 °C'lik sudan enerji tasarrufu elde edilebileceği görülmüştür. Yapılan ölçümlerin sonuçlarında atık sudaki ısının geri kazanılmasının ekonomik olarak faydalı olduğu kanıtlanmıştır [3, 4]. Suyu elektrik enerjisi ile ısıtmak yerine hava kaynaklı ısı pompası ile ısıtma yöntemi denenmiş ve düşük debi ve yüksek sıcaklık farkı söz konusu olduğunda performansın daha iyi olduğu görülmüştür [5]. Bu yöntem evsel bulaşık makinelerinde denenmiş ve oldukça olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Isı pompası kullanılan bulaşık makinelerinde %24 enerji tasarrufu elde edilmiştir [6]. Literatürde bulaşık makinelerinde enerji tüketiminin azaltılması amacıyla ısı pompası kullanımı konusunda yapılmış çalışmalar bulunmaktadır.

Dong, W. ve Li, Y., evsel bulaşık makineleri için, çok fonksiyonlu bir ısı pompası sistemi tasarlamıştır. Soğutucu akışkan olarak R22/R134a kullanılmış ve dört farklı çalışma koşulunda yapılan termodinamik analiz sonucunda sistemin COP'sinin 3,2'nin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca enerji verimliliği, çevresel kazanımlar ve işletme maliyetleri açısından karşılaştırıldığında geleneksel ısıtıcılı bulaşık makinelerine göre birincil enerji tüketiminin, karbondioksit emisyonunun ve işletme maliyetinin %73,67 daha az olduğu görülmüştür [7]. Başka bir çalışmada, Bengtsson, P. vd. ev tipi bulaşık makinesinde ısı pompası sistemi kullanarak maksimum yıkama sıcaklığını değiştirmeden toplam elektrik kullanımı ve yıkama süresini araştırmıştır. Kompresör silindir hacmi ve kompresör çalışma süresi gibi parametreler, ısı pompası bulaşık makinesinin doğrulanmış bir simülasyon modeli ile incelenmiştir. Yıkama ve durulama adımlarında aynı yıkama çalışma süresi ve maksimum sıcaklıklarla %24 daha az elektrik tüketildiği görülmüştür [8]. Isı pompasının evsel kullanım alanını genişletmek mümkündür. Atasoy, E. vd. sıcak su kullanan tüm evsel cihazlar için sıcak su sağlayan ısıtıcı sistemine ısı pompası entegre edilmesi halinde performans parametrelerinin değişimini incelemiştir. Deneysel veriler kullanarak sistem değişkenlerini optimize etmişlerdir. Enerji tüketimi, gürültü seviyesi ve çalışma süresi kaydedilmiş, ısı pompalı entegre su ısıtıcı sisteminde 4 L suyu 50 °C'ye kadar ısıtmak için enerji tüketiminin %26'ya varan oranda azaldığı, gürültü seviyesinin minimum 0,9 dBA ve çalışma süresinin ise 65 dakika arttığı görülmüştür. Deneylerde zaman ortalamalı COP değerinin 3,0 ile 3,54 arasında değiştiği, ancak daha gerçekçi ortam sıcaklığı durumlarında 7,5'e kadar çıkabildiği belirlenmiştir [9]. Isı pompası kullanımının çevresel açıdan da değerlendirilmesi gerekir. Bu amaçla Bengtsson, P. ve Eikevik, T. tarafından, ısı pompalı bulaşık makinelerinde R134a yerine hidrokarbon soğutucu kullanımının küresel ısınmaya etkisi araştırılmıştır. Bir simülasyon modelinde kompresörün farklı silindir hacimleri için R134a, R290 ve R600a soğutucu akışkanlarının en düşük toplam elektrik kullanımı belirlenmiştir. Elektrik üretiminden kaynaklanan düşük CO_2 emisyonuna sahip bölgelerde, bir ısı pompalı bulaşık makinesinin toplam eşdeğer ısınma etkisinin R600a ile en düşük ve R134a ile en yüksek, yüksek CO_2 emisyonlu bölgelerde ise, R600a ile en düşük, geleneksel elektrik elemanıyla ise en yüksek değerde olduğu bulunmuştur [10].

Yapılan çalışmalar incelendiğinde bulaşık makinelerinde enerji tasarrufu konularında çalışıldığı, ısı pompası ile enerji tüketiminin azaltılması çalışmalarının evsel bulaşık makineleri için yapıldığı anlaşılmaktadır. Ancak giyotin tipi endüstriyel bulaşık makinelerinde, enerji tüketiminin azaltılması konusunda yapılmış bir çalışmaya rastlanmamıştır. Literatürde yapılan çalışmalarda elde edilen enerji tasarrufu, benzer şekilde endüstriyel bulaşık makinelerinde de sağlanabilir. Yapılan deneysel çalışmada giyotin tipi endüstriyel bulaşık makinelerinde ısı pompası kullanımının enerji tüketiminin azaltılması yönündeki etkisi incelenmiştir.

2. MATERYAL ve METOD

Giyotin tipi endüstriyel bulaşık makinelerinde enerji tüketiminin incelenmesi amacıyla bir deney düzeneği kurulmuştur. Tasarlanan bir ısı pompası sistemi, endüstride aktif olarak kullanılan bir bulaşık makinesi modeline entegre edilmiştir. Cihazın üç farklı yıkama programı mevcuttur. Deneysel çalışmalarda bu üç programda ısı pompasız ve ısı pompalı olmak üzere iki farklı şekilde yıkama yapılmıştır. Deneyler sırasında farklı noktalarda su sıcaklığı, soğutucu akışkan sıcaklığı, soğutucu akışkan basıncı ile bulaşık makinesi ve ısı pompası elektrik tüketim değerleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

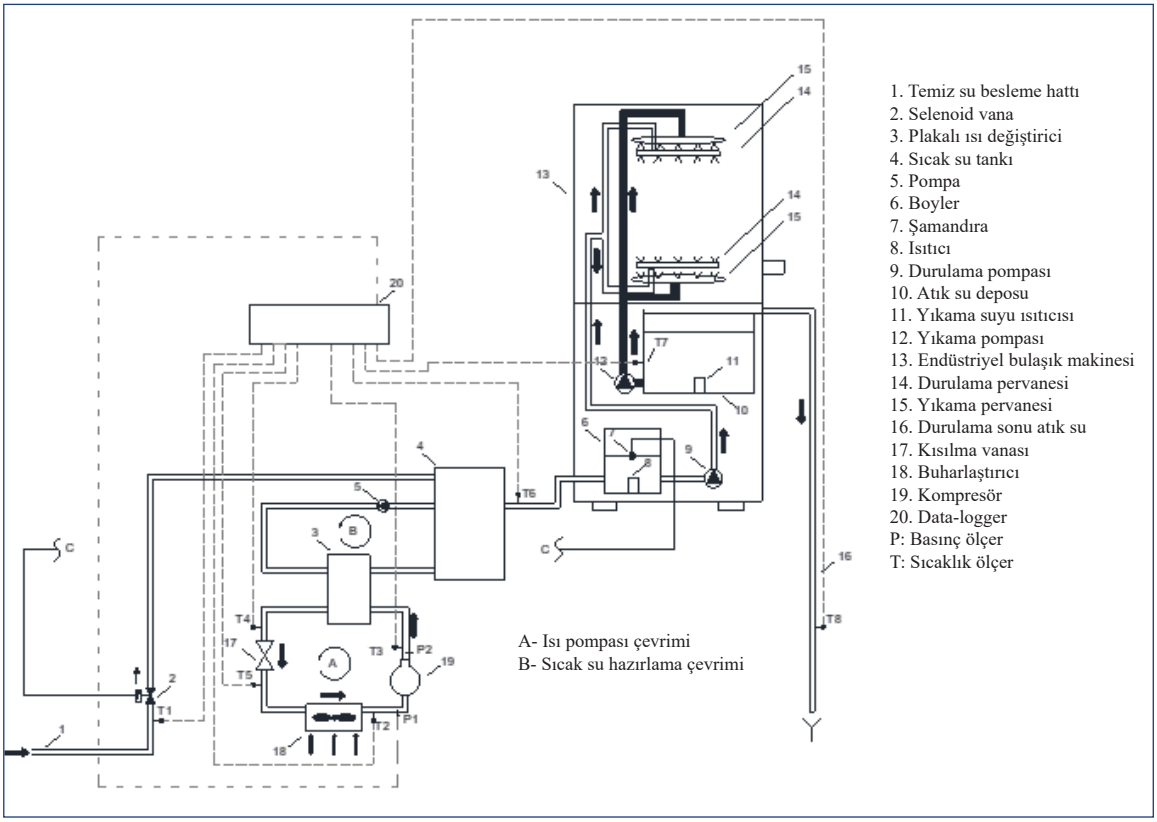
2.1. Deney Düzeneği

Çalışmada kullanılan deney düzeneğinin şematik resmi Şekil 1'de görülmektedir. Deney düzeneği bir giyotin tipi endüstriyel bulaşık makinesi, bir ısı pompası devresi (A çevrimi) ve iki sistemi birbirine bağlayan bir sıcak su hazırlama devresinden (B çevrimi) oluşmaktadır. Deneylerde kullanılan bulaşık makinesinin özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Bulaşık makinesinin 52 s, 102 s ve 132 s süreli olmak üzere üç farklı yıkama programı mevcuttur. Her yıkama programında son 12 s durulama süresi dışında kalan süre yıkama süresidir.

Tablo 1. Giyotin Tipi Bulaşık Makinesi Teknik Özellikleri

Ürün Adı	Giyotin Tip Bulaşık Makinesi
Ürün Tipi	Elektrikli
Kapasite	1108 tabak/h
Elektrik Gücü (toplam)	9,66 kW
Yıkama Suyu Sıcaklığı	55 – 60 °C
Yıkama Pompası Gücü	0,66 kW
Durulama Suyu Sıcaklığı	80 – 85 °C
Boyler Hacmi	7 lt
Boyler Isıtıcı Gücü	9 kW
Tank Hacmi	25 lt
Tank Isıtıcı Gücü	2 kW

Bulaşık makinesine entegre edilen ısı pompası 3,2 kW kapasiteye sahiptir.



Şekil 1. Deney düzeneği

Bulaşık makinesi (13) ile ısı pompası çevrimini (A çevrimi) irtibatlandıran sıcak su hazırlama devresi (B çevrimi) Şekil 1'de görülmektedir. Isı pompasının her komponentinde ve bulaşık makinesinin farklı noktalarında sıcaklık ve basınç değerleri ölçülmektedir. Sistem üzerinden alınan sıcaklık ve basınç değerlerinin ölçüm noktaları Şekil 1'de verilmiştir. Alınan sıcaklık ve basınç değerleri, ısı pompası sistemi üzerinde kontrolü sağlayan PLC tarafından kaydedilmiştir. Sıcaklık ölçümleri için K tipi termokupl ve 3 mm çaplı Pt 100 sıcaklık sensörleri, basınç ölçümleri için 4-20 mA çıkışlı 0-50 bar ölçüm aralığına sahip basınç sensörleri kullanılmıştır. Sistemin enerji tüketimi trifaze güç analiz cihazı ile ölçülmüştür.

2.2. Isı Pompasız Bulaşık Makinesinin Çalışma Prensibi

Bulaşık makinesi yıkama ve durulama işlemlerini gerçekleştirmektedir. Yıkama işlemi makine içerisindeki 25 lt'lik tankın içerisine yerleştirilen 2 kW'lık ısıtıcı ile su sıcaklığının 55–60 °C'ye çıkartılması ve bir pompa ve nozuller vasıtasıyla bulaşıkların üzerine gönderilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Durulama işlemi ise şebekeden gelen suyun boyler içerisine yerleştirilen 9 kW'lık bir elektrikli ısıtıcı ile 80–85 °C sıcaklığa çıkartılması ve bir pompa ve nozuller vasıtasıyla bulaşıklar üzerine gönderilmesi ile gerçekleştirilmektedir.

2.3. Isı Pompalı Bulaşık Makinesinin Çalışma Prensibi

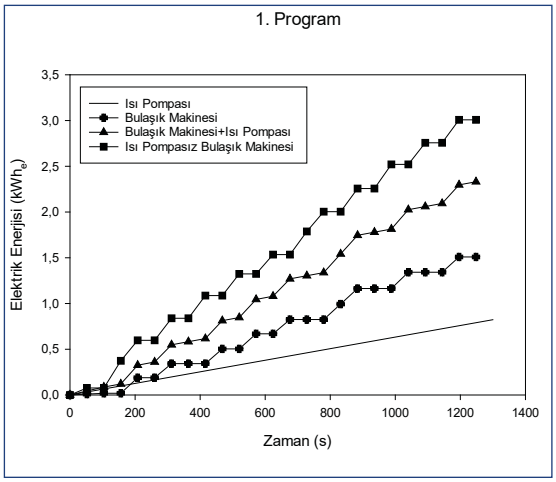
Isı pompasız bulaşık makinesinin yıkama işleminde herhangi değişiklik yapmadan sadece durulama işlemindeki 9 kW'lık elektrikli ısıtıcının gücünü azaltabilmek, dolayısıyla enerji tasarrufu yapabilmek amacı ile sisteme ısı pompası entegre edilmiştir. Şebeke suyu doğrudan bulaşık makinesindeki boyler yerine ısı pompası devresindeki tanka, tankta ön ısıtma yaptıktan sonra boylere verilmektedir. Sistem iki çevrimden oluşmaktadır. Şekil 1'de A ile ifade edilen çevrim havadan suya ısı pompası çevrimidir. Soğutucu akışkan olarak R134a kullanılmıştır. Ortam havasından çekilen ısı, bir adet plakalı ısı değiştirici vasıtasıyla suya aktarılmaktadır. B çevrimi ise durulama için gerekli suyun istenen sıcaklığa getirilmesini sağlayan sıcak su hazırlama çevrimidir.

3. BULGULAR ve TARTIŞMALAR

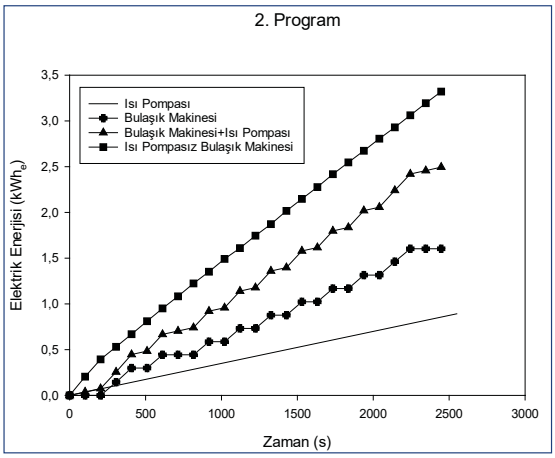
Deneysel çalışmalar, giyotin tipi endüstriyel bulaşık makinesi ile ısı pompasız ve ısı pompalı olmak üzere iki grup halinde yapılmıştır. Bulaşık makinesinin 3 ayrı yıkama programında da deneyler yapılmış, ölçümlerin doğruluğunun teyit edilmesi amacıyla her grup deney bir kez daha tekrarlanmıştır. Cihaz kapasitesi olan 1000 bardak/h değerini sağlamak amacıyla her program için 25 deney yapılmıştır.

Şekil 2'de bulaşık makinesinin 1. Programı için yapılan deneysel çalışma sonucu görülmektedir. Yapılan ölçümlerde iki ölçüm süresi arasındaki farklar alınmadan, tüm deney süresi boyunca ölçülen elektrik tüketim değerleri verilmiştir. Şekilde de görüleceği üzere, ısı pompasının ve ısı pompalı bulaşık makinesinin elektrik tüketimi, ısı pompasız bulaşık makinesinin elektrik tüketiminin altında kalmıştır. Şekildeki en üsteki iki eğri sırayla ısı pompasız ve ısı pompalı bulaşık makinesinin elektrik tüketimini göstermektedir. Aralarındaki fark da sağlanan enerji tasarruf miktarıdır. Deneyler esnasında boylerdeki su sıcaklığı istenen değerde olduğu durumda boyler içindeki elektrikli ısıtıcı devreye girmemektedir. Bu nedenle elektrik enerjisi eğrileri kısmi olarak yatay olarak seyretmektedir.

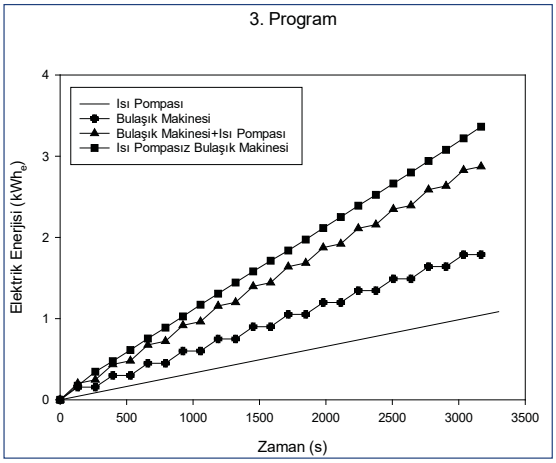
Deneyler bulaşık makinesinin 2. programı ve 3. programı için de tekrarlanmıştır. Şekil 3'de 2. programda elde edilen sonuçlar ve Şekil 4'de 3. programda elde edilen sonuçlar verilmiştir.



Şekil 2. 1. program için, ısı pompasız ve ısı pompalı bulaşık makinesinin elektrik tüketim miktarı



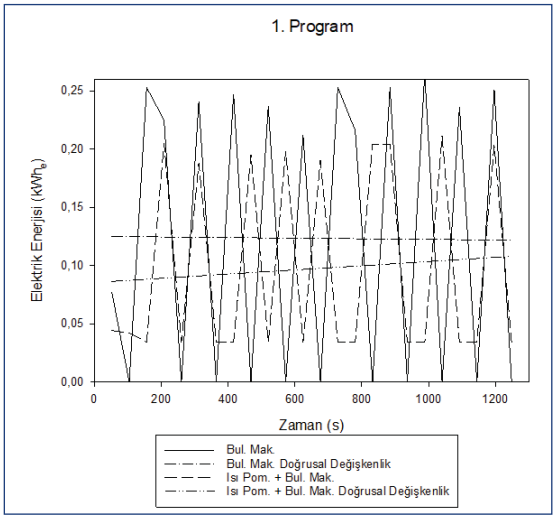
Şekil 3. 2. program için, ısı pompasız ve ısı pompalı bulaşık makinesinin elektrik tüketim miktarı



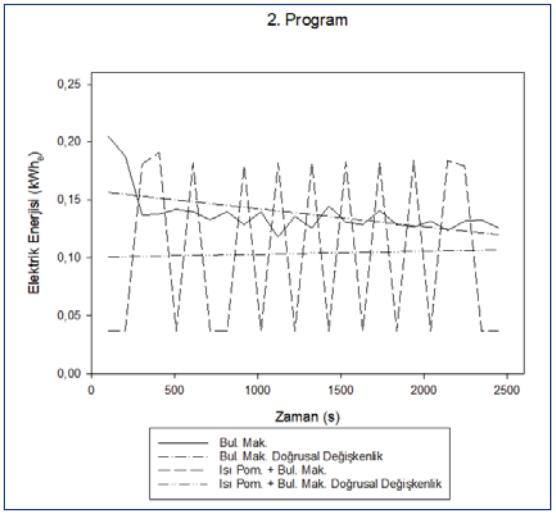
Şekil 4. 3. program için, ısı pompasız ve ısı pompalı bulaşık makinesinin elektrik tüketim miktarı

Bulaşık makinesinin ısı pompasız ve ısı pompalı çalışması durumunda her yıkamada harcanan enerji miktarı 3 yıkama programı için sırasıyla Şekil 5, 6 ve 7'de verilmiştir. Ayrıca bulaşık makinesinin tükettiği elektrik enerjisi miktarı ile ısı pompası entegre edilmiş bulaşık makinesinin tükettiği elektrik enerjisi miktarı için eğilim çizgileri eklenmiştir. Farkın net görülmesi için eğilim çizgileri doğrusal olarak seçilmiştir. İki doğru arasındaki fark ısı pompası entegrasyonu ile elde edilen enerji tasarrufu miktarını göstermektedir.

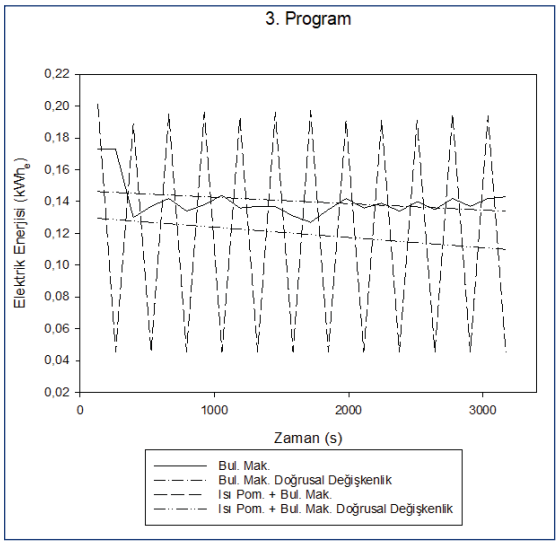
Şekil 5, 6 ve 7'deki maksimum değerler bulaşık makinesinin zamana bağlı elektrik enerjisi tüketim değerleridir. Deney esnasında boylerde bulunan durulama suyu sıcaklığının yeterli olması durumunda, boyler içindeki elektrikli ısıtıcı devreye girmemekte ve elektrik tüketim değeri ısı pompası kullanıldığı durumda minimum değerde ve kullanılmadığı durumda sıfır olmaktadır. Isı pompası bulaşık makinesindeki yıkama prosesinden bağımsız olarak çalışmaktadır. Bu nedenle her yıkama çevrimi için elektrik enerjisi tüketimi aynı değerde olmamaktadır. Isı pompasının tüm deney süresince harcadığı elektrik enerjisi ölçülmüş ve deney sayısına göre ortalaması alınarak her yıkama çevrimindeki elektrik tüketimine eklenmiştir. Dolayısıyla bulaşık makinesi ve ısı pompası birlikte çalıştığında ısı pompasının çevrim başına harcadığı enerji miktarı grafiklerdeki minimum değer olarak ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5. 1. program için, ısı pompasız ve ısı pompalı bulaşık makinesinin elektrik tüketim miktarının doğrusal değişkenlik değeri



Şekil 6. 2. program için, ısı pompasız ve ısı pompalı bulaşık makinesinin elektrik tüketim miktarının doğrusal değişkenlik değeri



Şekil 7. 3. program için, ısı pompasız ve ısı pompalı bulaşık makinesinin elektrik tüketim miktarının doğrusal değişkenlik değeri

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada otellerde, lokantalarda ve toplu yemek servisi verilen işletmelerde sıklıkla kullanılan endüstriyel bulaşık makinelerinde harcanan elektrik enerji miktarını azaltabilmek amacıyla ısı pompası entegre edilmesi halinde enerji tüketimi incelenmiştir.

Bulaşık makinesinde farklı yıkama sürelerine sahip üç yıkama programı mevcuttur. Buna göre bulaşık makinesine ısı pompası entegrasyonunun yıkama süresine bağlı olarak enerji tüketimine etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre:

Bulaşık makinesi ve ısı pompasının entegre olarak çalışması durumunda harcanan toplam elektrik enerjisi miktarının, sadece bulaşık makinesinin tükettiği elektrik enerjisi miktarından 1. programda %22,5, 2. programda %21,5 ve 3. programda %11 daha az olduğu belirlenmiştir.

Bulaşık yıkama program süresinin artması ile enerji tüketimi artmaktadır. Yıkama süresinin uzamasının, yıkama haznesindeki su sıcaklığının sabit tutulması için elektrikli ısıtıcının çalışma süresinin artmasına ve dolayısıyla tüketiminin artmasına neden olduğu görülmüştür.

Giyotin tipi endüstriyel bulaşık makinesi içinde durulama suyunu ısıtan 9 kW ısıl gücünde elektrikli ısıtıcı bulunmaktadır. Kullanılan ısı pompası ise 3,2 kW ısıl gücündedir. Isı pompası durulama aşamasında gerekli su sıcaklığını sağlamak için yeterli olmamaktadır. Sistemdeki ısı pompasından elde edilecek su sıcaklığı, ısı pompasının kapasitesine bağlıdır. Isıl kapasite de sistemde kullanılan soğutucu akışkan özelliklerine ve ısı pompası ekipmanlarına bağlı olarak değişmektedir. Sonraki çalışmalarda daha yüksek sıcaklıkta su elde edebilmek için farklı kapasitelerde ve farklı soğutucu akışkanla çalışan ısı pompası kullanılması planlanmaktadır.

TEŞEKKÜR

Yapılan çalışma YTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından (FBA-2021-4437) desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

[1] Persson, T., Rönnelid M., Increasing Solar Gains by Using Hot Water to Heat Dishwashers and Washing Machines, Applied Thermal Engineering, 27, 646-657, 2007.

[2] Kahraman, Z., Hacı, M., Gürcü, S., Soyhan, H. S., Development of Innovative Commercial Dishwasher Using Gas-Heated Water for Energy Efficiency, International Scientific Journal Machines, Technologies, Materials, 6, 192-19, 2022.

[3] De Paepe, M., Theuns, E., Lenaers, S., Van Loon, J., Heat Recovery System for Dishwashers, Applied Thermal Engineering, 23, 743-756, 2003.

[4] Selimli, S., Karabas, T., Taskin, Y., Karatas, M. B., Experimental Study of the Performance of Heat Recovery by a Fin and Tube Heat Exchange Tank Attached to the Dishwasher Greywater Line, Sustainable Energy Technologies and Assesments, 36,100552 ,2019.

[5] Wang, W., Jiang, J., Hu, B., Wang, R. Z., Luo, M., Zhang, G., Performance Improvement of Air-Source Heat Pump Heating System with Variable Water Temperature Difference, Applied Thermal Engineering, 210, 118366, 2022.

[6] Bengtsson, P., Study of Using a Capillary Tube in a Heat Pump Dishwasher with Transient Heating, International Journal of Refrigeration, 67, 1-9, 2016.

[7] Dong, W., Li, Y., Economic and Environmental Benefits of a Novel Multi-Functional Heat Pump System for Dishwasher, 4th International Conference on Advances in Energy and Environment Research, 118, 03029, 2019.

[8] Bengtsson, P., Berghel, J., Renström, R., A Household Dishwasher Heated by a Heat Pump System Using an Energy Storage Unit with Water as the Heat Source, Int. J. Refrig., 49, 19-27, 2015.

[9] Atasoy, E., Çetin, B., Bayer, Ö., Experiment-Based Optimization of an Energy-Efficient Heat Pump Integrated Water Heater for Household Appliances, Energy, 245, 123308, 2022.

[10] Bengtsson, P., Eikevik, T., Reducing the Global Warming Impact of a Household Heat Pump Dishwasher Using Hydrocarbon Refrigerants, Appl. Therm. Eng., 99, 1295–1302, 2016.