

Toprak Nemliliğinin Toprak Hava Isı Değiştiricisinin Isıl Performansına Etkisinin Deneysel Analizi

^{1*}Yunus Demirtaş and ¹Hüsamettin Bulut

¹Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Harran Üniversitesi, Türkiye

Özet

Toprak Hava Isı Değiştirici (THID) sistemleri toprağın sahip olduğu yüksek enerji potansiyelinin kullanımına dayalı yenilenebilir enerji sistemleridir. Basit bir yapısı olmasına karşın ısıl performansına etki eden birden çok parametre bulunmaktadır. Toprak altına gömülü boru sistemi ve bir fandan meydana gelen THID'in kurulumunda bu parametrelerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu çalışmada, THID'in yerleştirildiği toprağın bir sulama hattı yerleştirilerek nemlendirilmesinin ısıl performansa etkisi araştırılmıştır. Deneysel çalışmada farklı malzemeden boru sistemine sahip iki adet THID ele alınmıştır. Farklı hava hızlarında yapılan çalışmada, giriş-çıkış hava sıcaklıkları ve su sıcaklığı ölçülmüştür. PVC ve metal boruların kullanıldığı sistemlerin çıkış sıcaklıklarında kuru toprak durumuna göre %10 oranında düşüş olduğu belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda toprağı nemlendirmenin THID etkinliğini arttırdığı gözlemlenmiştir. Soğutma kapasitesindeki artışla sulama sisteminin sebep olduğu ek maliyet kıyaslandığında da toprak nemlendirme sisteminin kurulumunun enerji verimliliği açısından uygulanabilir olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Toprak enerjisi; THID; soğutma; sulama.

Abstract

Earth Air Heat Exchanger (EAHX) systems are renewable energy systems based on the use of the high energy potential of the soil. Although they have a simple structure, there are multiple parameters that affect their thermal performance. These parameters should be taken into consideration when installing the EAHX, which consists of a buried pipe system and a fan. In this study, the effect of humidification of the soil on thermal performance of EAHX which is installed with an irrigation line was investigated. Two EAHXs with different material piping system are discussed in the experimental study. The study was carried out at different air speeds, inlet-outlet air temperatures and water temperatures. It was determined that the decrease in the outlet air temperatures of the systems using PVC and metal pipes was 10% when compared to the dry soil condition. As a result of the study, it has been observed that moistening the soil increases EAHX efficiency. When the increase in cooling capacity and the additional cost caused by irrigation system are compared, it is seen that the installation of soil humidification system is applicable in terms of energy efficiency.

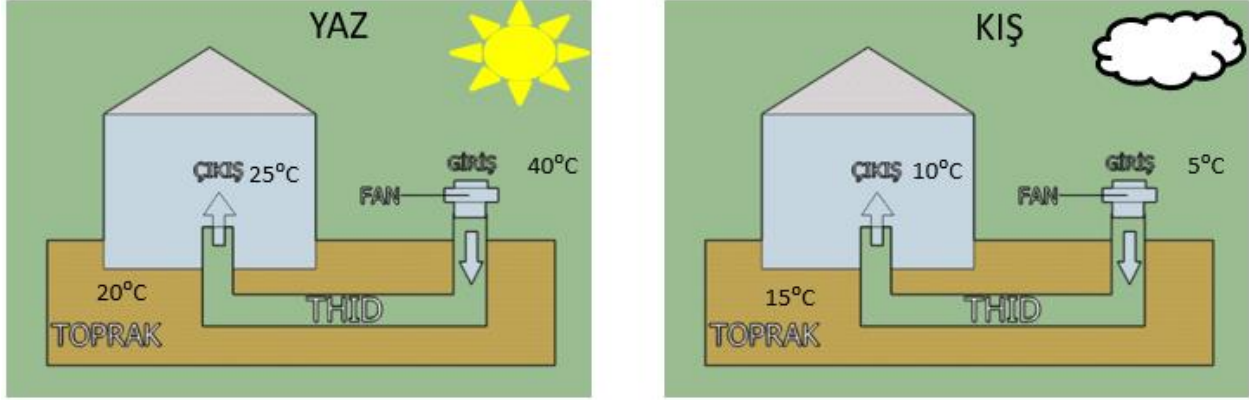
Key words: Soil energy; EAHX, cooling; irrigation

1. Giriş

Toprak-hava ısı değiştiricisi (THID) sistemleri; hava hareketini sağlayan bir fan ve havanın içinden geçtiği toprak altına yerleştirilmiş boru veya kanal sistemlerinden meydana gelir (Şekil 1). Kış

*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Harran University, 63100, Şanlıurfa TURKEY. E-mail address: yunusdemirtas@harran.edu.tr, Phone: +4143181077

aylarında binaların ısıtma yükünü, yaz aylarında ise soğutma yükünü azaltan THID sistemleri son zamanlarda kullanılan yöntemlerden biridir. THID sistemleri günümüzde pek çok farklı uygulamada kullanılmakta olup iç mekanlarda ısı konforu sağlanması için gelecek vaat eden enerji tasarruflu bir teknolojidir.



Şekil 1. THID sisteminin yaz ve kış dönemlerindeki çalışması

Binaların ısıtılması, soğutulması, sıfır enerjili yapıların iklimlendirilmesi ve sera ısıtması gibi uygulamalarda THID kullanımına ait literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Özellikle enerji maliyetlerinde düşüş sağlanması ve çevresel zararının neredeyse hiç olmaması THID kullanımının artışıdaki temel sebeplerdendir. Agrawal vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada THID sistemlerinin performansına etki eden parametreler detaylı olarak incelenmiştir. Toprağın termofiziksel özelliklerinin, havanın ısı ve akış parametrelerinin, borunun geometrik ve malzeme özelliklerinin farklı çalışma durumlarında THID performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Havanın giriş sıcaklığının THID sisteminin termal performansı üzerinde önemli bir etkisinin olduğu ve hava akış hızının THID uygulamalarında optimize edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Ayrıca THID borusu çevresinde ısı iletkenliği yüksek ve nemli toprak olması halinde performansının artacağı, boru malzemesinin, hava ve toprak arasındaki toplam ısı aktarımı üzerinde minimum bir etkiye sahip olduğu, geniş çaplı tek bir boru yerine küçük çaplı çoklu boru kullanımının daha uygun olacağı ifade edilmiştir. Çalışmanın sonucunda THID sisteminin uygun tasarım şartları ile geliştirilmesi halinde, küçük ve büyük binalarda ısıtma- soğutma ihtiyacını karşılayabileceği ve enerji tasarrufu açısından önemli bir fayda sağlayabileceği belirtilmiştir [1]. Bordoloi vd. (2018), bu konuda yapılmış son araştırmaları derledikleri çalışmalarının sonucunda, THID teknolojisinin geleneksel klima sistemlerinin yerini alabileceği ve sera gazlarını etkili bir şekilde azaltabileceği ve çevreyi daha yaşanabilir bir hale getirebileceği ifade edilmiştir [2]. Hasan vd. (2019), bazı tasarım parametrelerinin (boru çapı, giriş durumu, boru uzunluğu ve çıkış durumu) THID sisteminin genel performansı üzerindeki etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Seçilen tüm boru çapları için, çıkış havası sıcaklığı ve basınç farkının, artan hava hızı ile birlikte arttığını, çıkış havası sıcaklığının, yaz mevsiminde artan giriş havası sıcaklığı ile arttığını ve kış mevsiminde azalan giriş havası sıcaklığı ile azaldığını ifade etmişlerdir. [3]. Taşdelen ve Dağtekin (2018), THID sisteminin ısı performansını sayısal olarak incelemişlerdir. Farklı toprak derinlikleri için yapılan analizde boru malzemesi olarak PVC kullanılmıştır THID sistemine ait en iyi ısı performansın en küçük hava giriş hızında olduğu ve sayısal sonuçlar ele alındığında, bu sistemin bina için ısı konforu sağlamak üzere gerekli soğutma enerjisi tüketimini azalttığı belirlenmiştir [4]. THID

sisteminin binaya entegre edilmesi ile yıl boyunca iç mekân ısı konforunu sağlamasına yönelik olarak yapılan bir diğer çalışmada bu sistemlerin tasarımında hem bina hem de iklim şartlarına uyumun göz önünde bulundurulması gerektiği ifade edilmiştir [5].

Bu konuda yapılmış birçok sayısal (nümerik) çalışmanın yanında deneysel araştırmalarda literatürde geniş bir yer kaplamaktadır. Genelde yatay kullanılan THID sistemlerinin aksine dikey olarak toprağa yerleştirilmiş bir THID sisteminin deneysel olarak incelendiği bir çalışmada geri ödeme süresi ve CO₂ emisyonu azaltma potansiyeli hesaplanmıştır. Yapılan enerji ölçümleri analizi, çalışmada ele alınan sistemin ekonomik olarak uygun olduğunu göstermektedir [6]. Bulut vd. (2018), farklı malzemelerin THID ısı performansına etkisini inceledikleri çalışmalarında metal ve PVC boruları kullanmışlardır. Çalışma sonucunda sistem performansına malzeme etkisinin çok düşük olduğu ancak metal malzeme kullanımının az da olsa daha verimli olduğu ifade edilmiştir [7].

Literatürde deneysel çalışmaların simülasyondan elde edilen nümerik sonuçlarla karşılaştırıldığı birçok çalışmada bulunmaktadır. Cezayir’de yapılan çalışmada malzemenin etkisini kontrol etmek için, biri galvanizli sacdan diğeri PVC’den iki boru sistemi aynı geometrik koşullar altında (20 m’lik boru uzunluğu, 120 mm boru çapı ve 2 metre toprak derinliği) deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel sonuçlar, TRNSYS 16 kullanılarak elde edilenler nümerik sonuçlarla karşılaştırıldığında elde edilen değerlerin birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir [8]. Deneysel çalışma ile CFD analizinin karşılaştırıldığı bir diğer çalışmada geometrik parametrelerin çok borulu THID sistemlerinin akış özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Sonuçların çok borulu THID’nin doğru geometrisini akış performansı açısından seçmek için kullanılabileceğini, ayrıca sunulan akış özelliklerinden de bir binadaki mekanik havalandırma sistemi ile entegre THID sistemlerin ayrıntılı analizinde ve enerji değerlendirmesinde faydalanılabileceği ifade edilmiştir [9].

THID sistemlerinde faz değiştiren malzeme kullanımı bu sistemlerin verimliliğini arttırmak için uygulanan yöntemlerden biridir. Liu vd. (2019) faz değişim malzemesi ile entegre dikey bir THID sistemini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada çıkış havası sıcaklığında ortam hava sıcaklığı değişikliklerine bağlı olarak büyük bir dalgalanma meydana gelebileceği ve bu durumun THID sistemlerini ısı konforu sağlamak noktasında olumsuz etkilediğini ifade etmişlerdir. Faz değiştiren malzeme kullanımının çıkış havası sıcaklık dalgalanmasını azaltabileceği belirtilmiştir. Deneysel verilerle geliştirilen sayısal model simüle edilmiş sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür. Çalışmanın sonucunda farklı hava hızlarında yapılan analizlerde faz değiştiren malzeme kullanımının çıkış havasında ki dalgalanmayı büyük ölçüde azalttığı belirlenmiştir [10]. Gao vd. (2018) toprak ısı değiştiricilerinin sıfır enerji binalarda kullanım potansiyellerini araştırmışlardır. Su ve hava kullanılan sistemlerin incelendiği çalışmada, güneş kolektörleri, soğutma kuleleri ve güneş kuleleri gibi uygulamalar analiz edilmiştir. Toprak hava ısı değiştiricilerinin özellikle binaların iklimlendirme sistemlerinde ön ısıtma veya ön soğutma aracı olarak kullanılabilmesi ifade edilmiştir [11].

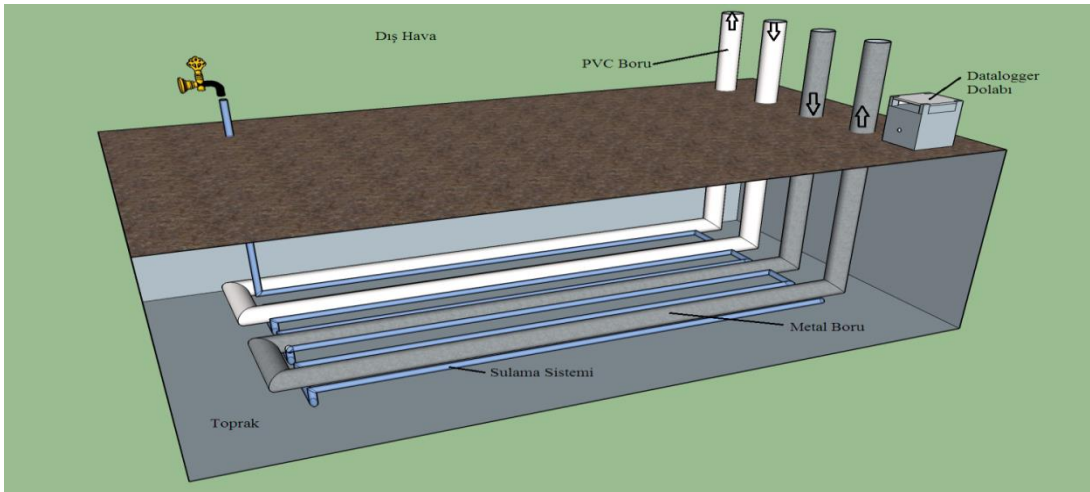
Bu çalışmanın da özünü oluşturan toprak nemlendirilmesinin THID performansına etkisi ile ilgili literatürde çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Agrawal vd. (2018) sıcak ve kuru iklime sahip Ajmer (Hindistan)’de yaptıkları deneysel çalışmada, THID sistemine su vermenin ısı performansına etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. %5, %10, %15 ve %20 oranlarında nemlendirme yapılan

çalışmada 10 saat beklendikten sonra nemli ve kuru toprağa ait sonuçlar karşılaştırılmıştır. %20 nemlendirilmiş topraktaki THID'in kuru topraktaki THID'e göre ısı transferi ve COP değerlerinin sırasıyla %24.1 ve %24 arttığı ifade edilmiştir. Toprağın nemlendirilmesiyle artan THID performansının sonuç olarak, kazı maliyeti, boru ve işçilik ücretlerini azaltabileceği belirtilmiştir. Deneysel çalışma hem yaz sezonunda soğutma amaçlı hem de kış sezonunda ısıtma amaçlı olarak çalıştırılmış ve sonuçlar kuru toprağa ait değerlerle karşılaştırılmıştır [12,13].

Literatürdeki çalışmalardan Türkiye'de toprak nemliliğinin THID üzerine etkisinin araştırılmadığı görülmüş ve bu çalışmada, sıcak ve kuru bir iklime sahip Şanlıurfa'da yapılan iki adet THID sistemi toprak altına yerleştirilerek toprak nemliliğinin etkisi deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır.

2. Deneysel Çalışma

10 cm çapındaki PVC ve metal malzemeden yapılmış 2 m derinlikteki toprağa yerleştirilmiş iki adet THID sisteminin etrafındaki toprak, sistemlerin yanına yerleştirilen 3 cm çapındaki boru ile sulanarak nemlendirilmiştir. Su sıcaklığının da ölçüldüğü bu çalışmada toprağın nemliliğinin THID performansına etkisi araştırılmıştır. Şekil 2.'de THID sistemleri ve sulama hattı görülmektedir. Sulama hattı, metal ve PVC boruların tamamen etrafı ıslatılacak şekilde yerleştirilmiştir.



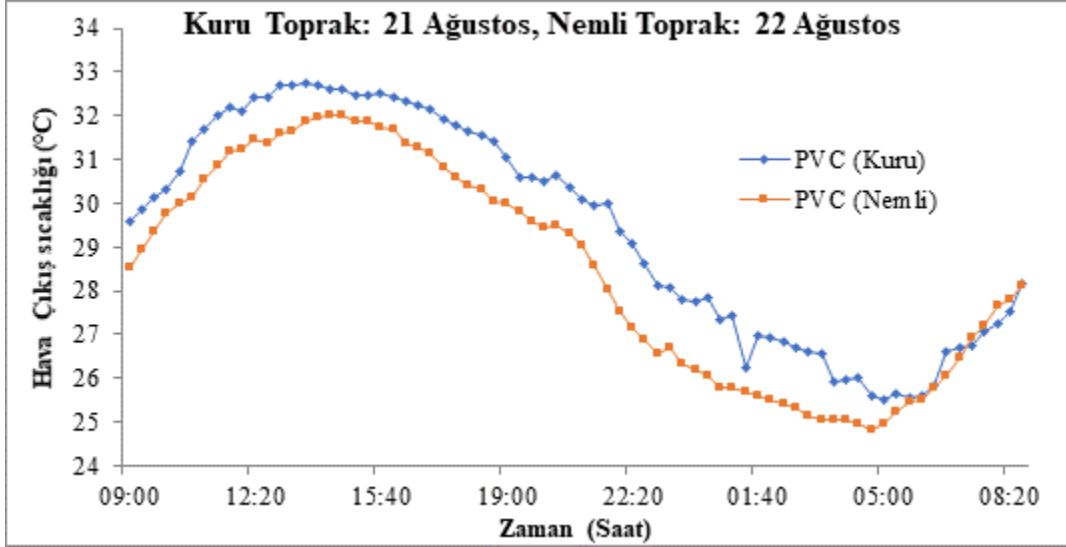
Şekil 2. THID sistemleri ve sulama hattına ait çizim.

Yapılan deneysel çalışmada öncelikle 10 cm aralıklarla delik delinen sulama borusunun toprağı iyice ıslatabilmesi için bir gün boyunca açık bırakılmıştır. Daha sonraki gün sistem çalıştırılarak ölçümler kayıt edilmiştir.

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

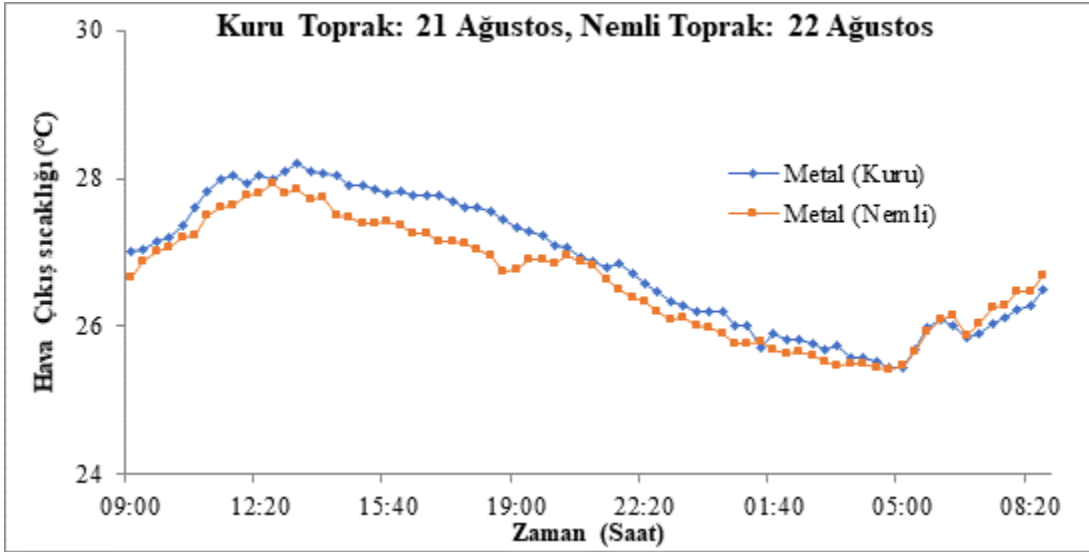
PVC malzemenin kullanıldığı THID sisteminin kuru toprak durumundaki (21 Ağustos) ve nemlendirilmiş toprak durumundaki (22 Ağustos) hava çıkış sıcaklıkları Şekil 3.'te gösterilmiştir.

Şekilden görüldüğü gibi nemli toprakta daha düşük çıkış sıcaklığı elde edilmiştir.



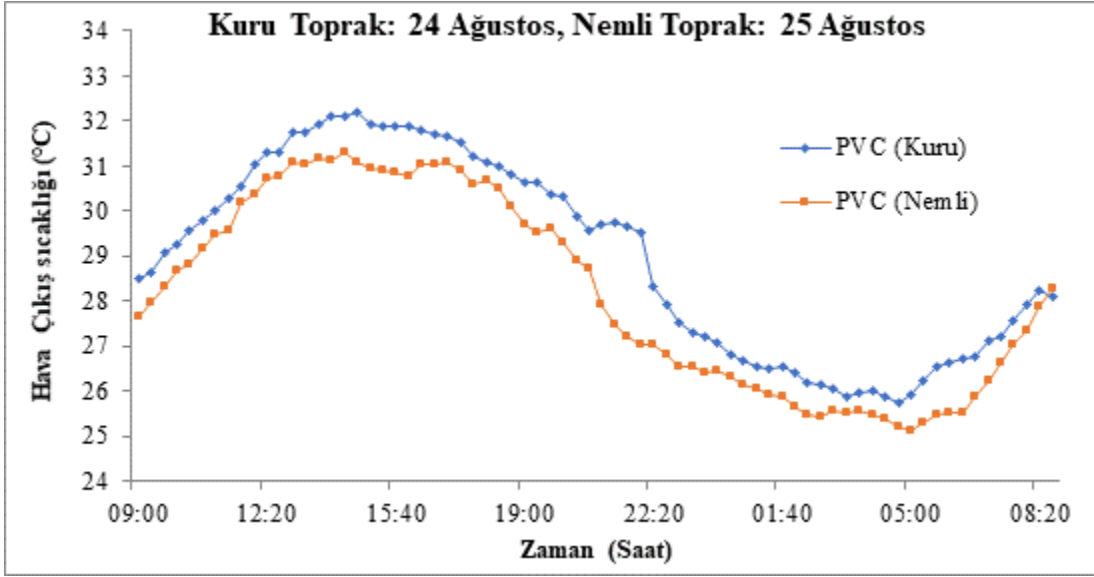
Şekil 3. 21 ve 22 Ağustos tarihlerine ait PVC ölçüm sonuçları

Şekil 4.'te ise metal malzemenin kullanıldığı THID sisteminin kuru toprak durumundaki (21 Ağustos) ve nemlendirilmiş toprak durumundaki (22 Ağustos) çıkış sıcaklıkları gösterilmiştir. Şekilden genel olarak nemli toprak durumunun daha düşük çıkış sıcaklığı verdiği görülmektedir.



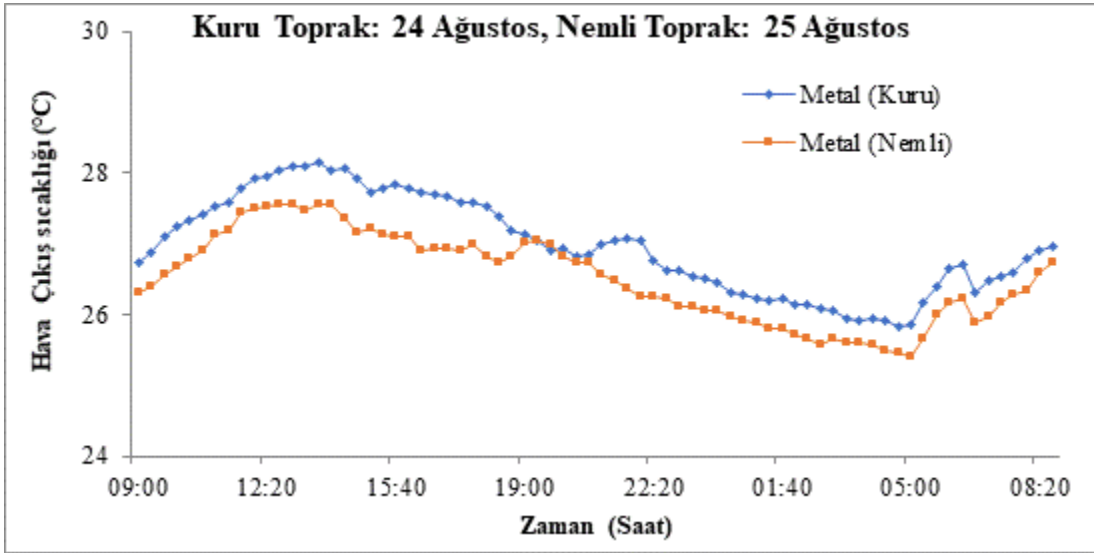
Şekil 4. 21 ve 22 Ağustos tarihlerine ait metal ölçüm sonuçları

24 Ağustos ve 25 Ağustos tarihlerinde PVC malzemeli THID sisteminin kuru toprak ve nemlendirilmiş toprak durumları için tekrarlanan ölçüm sonuçları Şekil 5.'te verilmiştir. Şekilden hava çıkış sıcaklıklarının nemli toprak durumunda daha düşük olduğu görülmektedir.



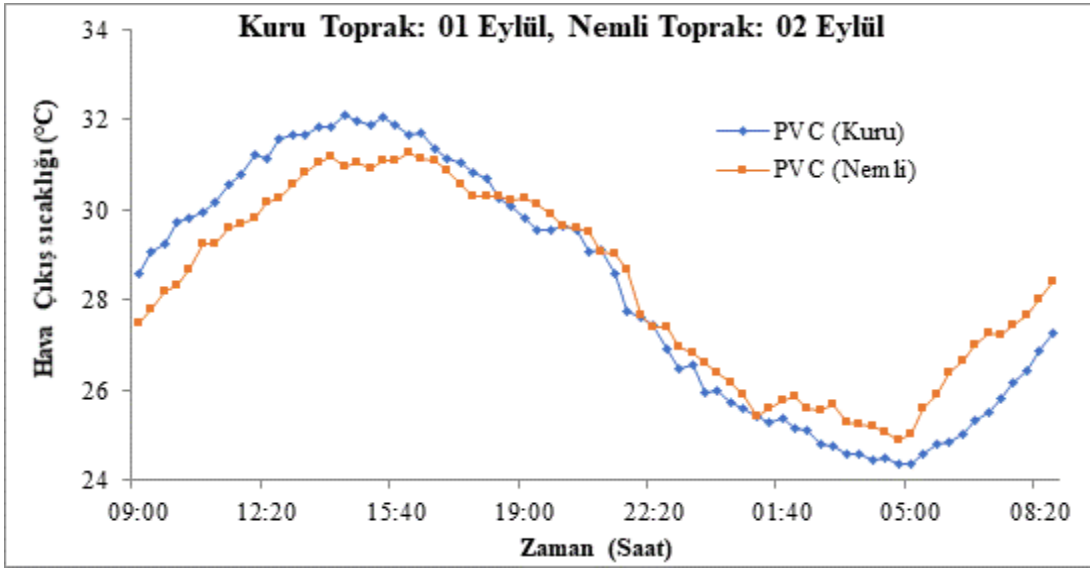
Şekil 5. 24 ve 25 Ağustos tarihlerine ait PVC ölçüm sonuçları

Metal malzemenin kullanıldığı THID sisteminin kuru toprak durumundaki (24 Ağustos) ve nemlendirilmiş toprak durumundaki (25 Ağustos) çıkış sıcaklıkları karşılaştırıldığında yine sonuçların birbirine çok yakın olduğu görülmektedir (Şekil 6.). Bu durum daha önceki nemlendirme etkisinin toprak üzerinde etkisinden kaynaklanmaktadır.



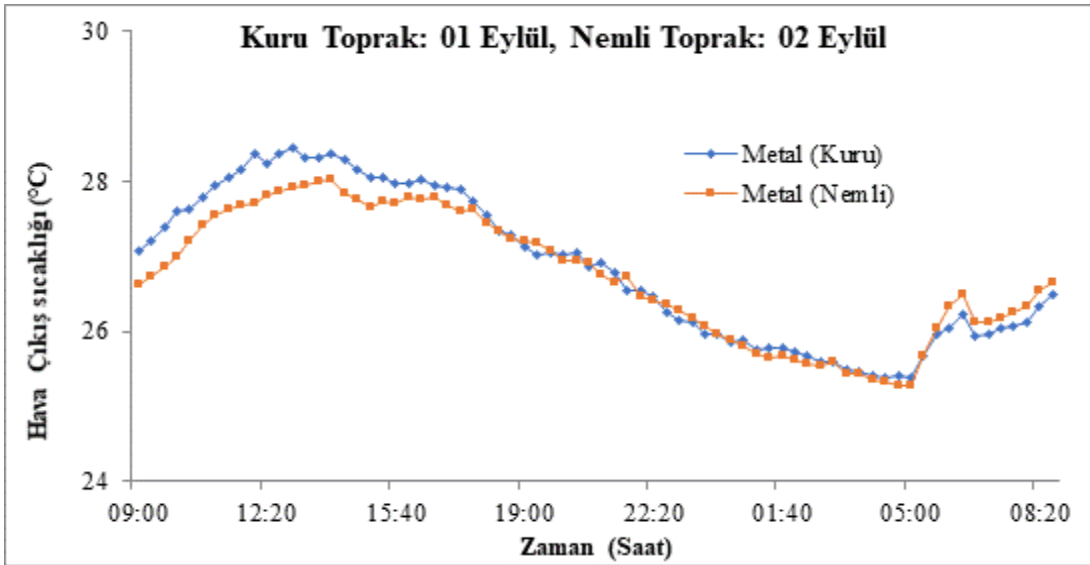
Şekil 6. 24 ve 25 Ağustos tarihlerine ait metal ölçüm sonuçları

Şekil 7.'de THID sisteminin kuru toprak durumundaki (1 Eylül) ve nemlendirilmiş toprak durumundaki (2 Eylül) çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi gösterilmektedir. PVC malzemeye ait ölçüm sonuçlarının gösterildiği şekilde toprağın nemlendirildiği sisteme ait sonuçların düşük çıktığı gözlemlenmiştir.



Şekil 7. 1 ve 2 Eylül tarihlerine ait PVC ölçüm sonuçları

Metal malzemenin kullanıldığı THID sisteminin kuru toprak durumundaki (1 Eylül) ve nemlendirilmiş toprak durumundaki (2 Eylül) çıkış sıcaklıkları gösterilmektedir. Ölçümler incelendiğinde yine toprak nemlendirildikten sonra çıkış sıcaklığında düşüş olduğu gözlemlenmektedir (Şekil 8.).



Şekil 8. 1 ve 2 Eylül tarihlerine ait metal ölçüm sonuçları

Çalışmada, THID etkinliği, ε , ve sistemin performans katsayısı, COP, değerleri aşağıda verilen denklemlerle hesaplanıp [7], analiz edilmiştir.

$$\varepsilon = \frac{T_g - T_c}{T_g - T_t} \quad (1)$$

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

Burada T_g (°C), hava giriş sıcaklığı, T_c (°C), hava çıkış sıcaklığı, T_t (°C) ise toprak sıcaklığıdır. \dot{Q} (W), topraktan çekilen veya toprağa verilen enerji miktarını ve \dot{W} (W), fan gücünü ifade etmektedir.

Nemlendirilen sistemde hava çıkış sıcaklığının ortalama 2°C düştüğü, toprak sıcaklığındaki değişimin ise ihmal edilebilir olduğu göz önüne alındığında THID etkinliği aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Buna göre iki sistem karşılaştırıldığında; toprağı nemlendirmenin etkinlikte %10 - %20 arasında bir artış sağladığı tespit edilmiştir.

$$\varepsilon_{kuru} = \frac{40-30}{40-20} = 0.5 = \%50$$

$$\varepsilon_{nemli} = \frac{40-28}{40-20} = 0.6 = \%60$$

Kuru ve nemli toprak durumundaki THID sisteminin COP'lerinin karşılaştırılması için aşağıdaki hesaplamalar yapılmıştır. İki sisteme ait COP değerleri karşılaştırıldığında etkinlikle benzer şekilde nemlendirme sonucunda COP'nin ortalama %10 - %20 arttığı tespit edilmiştir.

$$\frac{COP_{kuru}}{COP_{nemli}} = \frac{\left(\frac{\dot{Q}}{\dot{W}}\right)_{kuru}}{\left(\frac{\dot{Q}}{\dot{W}}\right)_{nemli}} = \frac{(\eta \cdot \varepsilon \cdot \Delta T)_{kuru}}{(\eta \cdot \varepsilon \cdot \Delta T)_{nemli}} = \frac{\Delta T_{kuru}}{\Delta T_{nemli}} = \frac{40-30}{40-28} = \frac{10}{12}$$

4. Sonuçlar

THID sistemlerinin performansına etki eden birçok parametre bulunmaktadır. Bu çalışmada toprağı nemlendirmenin THID' in ısıl performansına etkisi sıcak ve kurak bir iklime sahip Şanlıurfa iklim şartlarında yaz dönemi için incelenmiştir. THID in yerleştirildiği toprağın bir sulama hattı yerleştirilerek nemlendirilmesi sağlanmıştır. Çalışmada farklı malzemeden boru sistemine sahip iki adet THID ele alınmıştır. Farklı hava hızlarında yapılan çalışmada giriş-çıkış hava sıcaklıkları, su sıcaklığı ve havanın nemi ölçülmüştür. PVC ve metal boruların kullanıldığı sistemlerin çıkış sıcaklıklarındaki düşüşün kuru duruma göre %10 oranında olduğu belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda toprağı nemlendirmenin THID sisteminin COP ve etkinliğinin kuru toprak durumuna göre %10 ile %20 arasında arttırdığı hesaplanmıştır. Soğutma kapasitesindeki artışla sulama sisteminin sebep olduğu ek maliyet kıyaslandığında toprak nemlendirme sisteminin kurulmasının enerji verimliliği açısından uygulanabilir olduğu görülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Agrawal, K. K., Agrawal, G. D., Misra, R., Bhardwaj, M., & Jamuwa, D. K. (2018). A review on effect of geometrical, flow and soil properties on the performance of Earth air tunnel heat exchanger. *Energy and Buildings*.

- [2] Bordoloi, N., Sharma, A., Nautiyal, H., & Goel, V. (2018). An intense review on the latest advancements of Earth Air Heat Exchangers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89, 261-280.
- [3] Hasan, M. I., Noori, S. W., & Shkariah, A. J. (2019). Parametric study on the performance of the earth-to-air heat exchanger for cooling and heating applications. *Heat Transfer—Asian Research*.
- [4] Taşdelen, F., & Dağtekin, İ. (2019). A Numerical Investigation of Thermal Performance of Earth–Air Heat Exchanger. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44(2), 1151-1163.
- [5] Yang, D., Wei, H., Shi, R., & Wang, J. (2019). A demand-oriented approach for integrating earth-to-air heat exchangers into buildings for achieving year-round indoor thermal comfort. *Energy Conversion and Management*, 182, 95-107.
- [6] Liu, Z., Yu, Z. J., Yang, T., Li, S., El Mankibi, M., Roccamena, L., ... & Zhang, G. (2019). Experimental investigation of a vertical earth-to-air heat exchanger system. *Energy Conversion and Management*, 183, 241-251.
- [7] Bulut, H., Demirtaş, Y., & Beyazıt, N. İ. (2018). Farklı malzemelerin toprak–hava ısı değiştiricisinin (THİD) ısı performansına etkisinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(4), 1505-1516.
- [8] Menhoudj, S., Benzaama, M. H., Maalouf, C., Lachi, M., & Makhlouf, M. (2018). Study of the energy performance of an earth–Air heat exchanger for refreshing buildings in Algeria. *Energy and Buildings*, 158, 1602-1612.
- [9] Amanowicz, Ł. (2018). Influence of geometrical parameters on the flow characteristics of multi-pipe earth-to-air heat exchangers—experimental and CFD investigations. *Applied energy*, 226, 849-861.
- [10] Liu, Z., Yu, Z. J., Yang, T., El Mankibi, M., Roccamena, L., Sun, Y., ... & Zhang, G. (2019). Experimental and numerical study of a vertical earth-to-air heat exchanger system integrated with annular phase change material. *Energy Conversion and Management*, 186, 433-449.
- [11] Gao, J., Li, A., Xu, X., Gang, W., & Yan, T. (2018). Ground heat exchangers: Applications, technology integration and potentials for zero energy buildings. *Renewable energy*, 128, 337-349.
- [12] Agrawal, K. K., Misra, R., Yadav, T., Agrawal, G. D., & Jamuwa, D. K. (2018). Experimental study to investigate the effect of water impregnation on thermal performance of earth air tunnel heat exchanger for summer cooling in hot and arid climate. *Renewable energy*, 120, 255-265.
- [13] Agrawal, K. K., Yadav, T., Misra, R., & Agrawal, G. D. (2019). Effect of soil moisture contents on thermal performance of earth-air-pipe heat exchanger for winter heating in arid climate: In situ measurement. *Geothermics*, 77, 12-23.