ARAŞTIRMA MAKALESİ

Türkiye'nin Tüm İlleri İçin Farklı Su Sıcaklıklarında Çalışan Direkt Buharlaşmalı Soğutucu Kullanmanın Performansa Etkisinin İncelenmesi

Cenk ONAN

Doç. Dr.
Yıldız Teknik Üniversitesi
Makine Fakültesi
Makine Mühendisliği
İstanbul
conan@yildiz.edu.tr
orcid: 0000-0001-8640-7220

Serkan ERDEM

Dr.
Yıldız Teknik Üniversitesi
Makine Fakültesi
Makine Mühendisliği
İstanbul
serdem@yildiz.edu.tr
orcid: 0000-0002-9553-6769

ÖZ

İklimlendirme sistemlerinde buharlaşmalı soğutucu kullanımı, uygun iklim şartlarında çalışıldığı takdirde oldukça faydalı olabilmektedir. Buharlaşmalı soğutma işlemi adyabatik olabileceği gibi soğutulmuş su kullanılarak da yapılabilmekte ve soğutma etkisi arttırılabilmektedir. Bu çalışmada öncelikle bir buharlaşmalı soğutucu deneysel olarak İstanbul şartlarında test edilmiş ve verimi irdelenmiştir. 15 °C ve 20 °C su sıcaklıklarında yapılan testlerde verim değerleri sırasıyla %85 ve %89 olarak bulunmuştur. Çalışmanın devam eden kısmında Engineering Equation Solver (EES) ile oluşturulan bilgisayar programı ile, Türkiye'nin tüm illeri için farklı besleme suyu sıcaklıklarında çalışan buharlaşmalı soğutucu kullanımının etkisi araştırılmıştır. Buharlaşmalı soğutucunun adyabatik olması durumu ve besleme suyu sıcaklıklarının 10 °C, 15 °C, 20 °C ve 25 °C olması durumları irdelenmiştir. Her il için buharlaşmalı soğutucudan yararlanma oranı belirlenmiştir. Yararlanma oranları her durumda Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi için en yüksek değerleri vermiştir. Bu bölgenin haricinde de hava şartlarına bağlı olarak buharlaşmalı soğutucu kullanımın uygun olabileceği iller belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler
Buharlaşmalı Soğutma, İklimlendirme, Buharlaşmalı Soğutucu Verimi, Modelleme.

Investigation of the Effect on Performance of Using Direct Evaporative Cooler Operating with Different Water Temperature for All Provinces of Turkey

ABSTRACT

The use of evaporative coolers in air-conditioning systems can be very useful if they are operated under suitable climatic conditions. Evaporative cooling can be either adiabatic or chilled water and the cooling effect can be increased. In this study, first of all, an evaporative cooler was tested experimentally under Istanbul conditions and its efficiency was investigated. In the tests carried out at 15 °C and 20 °C water temperatures, the efficiency values were found 85% and 89%, respectively. Ongoing part of the study, by a computer program created by Engineering Equation Solver (EES), the effect of different supply water temperature in evaporative coolers use for all cities of Turkey were investigated. The case of the evaporative cooler is adiabatic and the feed water temperatures are 10 °C, 15 °C, 20 °C and 25 °C were investigated. Evaporative cooler utilization rate was determined for each city. Utilization rates in each case gave the highest values for the Southeastern Anatolia Region of Turkey. Outside of this region, depending on the weather conditions, it is determined that the evaporative cooler can be used.

Keywords
Evaporative Cooling, Air Conditioning, Efficiency Of Evaporative Cooler, Modeling.

Geliş Tarihi : 20.10.2020
Kabul Tarihi : 19.11.2020

Onan, C., Erdem, S., Türkiye'nin Tüm İlleri İçin Farklı Su Sıcaklıklarında Çalışan Direkt Buharlaşmalı Soğutucu Kullanmanın Performansa Etkisinin İncelenmesi, Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı: 180, sf. 30-39, Eylül-Ekim 2020

1. GİRİŞ

Enerjinin verimli kullanılmasının gerekliliği, insanlar için konfor şartları sağlanırken, tüketimin de minimize edilmesini gerektirmektedir. Bu amaçla, klima santrallerinin kompresörünün işini azalmak için çeşitli yöntemler denenmektedir. Klima santrallerine bir ön soğutucu olarak buharlaşmalı soğutma sistemlerinin eklenmesi bu noktada önem kazanmaktadır. Ancak, buharlaşmalı soğutucu çıkışındaki hava yüksek bağıl nem değerlerine eriştiğinden, bu sistemlerin kullanımına iklim koşulları iyi analiz edilerek karar verilmelidir.

Chen vd. [1] standart bir soğutma sisteminin ilk aşaması olarak, gelen dış havayı önceden soğutmak için indirekt buharlaşmalı soğutucuları kullanmanın enerji tasarrufu potansiyelini araştırmışlar ve çeşitli uygulama ilkeleri ortaya koymuşlardır.

Maheshwari ve Suri [2] yaz sezonu boyunca kuru termometre ve yaş termometre sıcaklıkları arasındaki büyük farklar olan Kuveyt'in kıyı ve iç bölgelerinde kaydedilen hava durumu verilerini kullanarak analitik bir değerlendirme yapışlardır. Buharlaşmalı soğutucu kullanılarak taze havayı klima santraline girmeden soğutmanın avantajlarını ortaya koymuşlardır.

Heidarinejad vd. [3] iki kademeli indirekt/direkt buharlaşmalı soğutma sisteminin soğutma performansını, simüle edilmiş çeşitli iklim koşullarında deneysel olarak incelemişlerdir. Sonuçlar, çeşitli dış ortam koşullarında, indirekt buharlaşmalı soğutma kademesinin etkinliğinin %55-61 aralığında değiştiğini ve tüm sistemin etkinliğinin %108-111 aralığında değiştiğini göstermiştir. Konfor şartları göz önüne alındığında, bu sistem İran'da tek başına direkt buharlaşmalı soğutmanın yaz konfor koşulunu sağlayamadığı geniş bir bölgede konfor şartlarını sağlayabilmiştir. Direkt buharlaştırmalı soğutma sistemlerine göre su tüketiminde sadece %55 artış ile mekanik buhar sıkıştırma sistemlerine kıyasla bu sistemle %60'ın üzerinde enerji tasarrufu sağlanmıştır.

Delfani vd. [4] İran›ın dört şehri için geleneksel mekanik soğutma sistemi için havayı ön soğutmaya yönelik indirekt buharlaşmalı soğutma sisteminin performansını araştırmışlardır. Bu amaçla, bir indirekt buharlaşmalı soğutma ünitesinden ve ardından bir paketli ünite klimadan oluşan birleşik bir deney düzeneği tasarlamış, inşa etmiş ve test etmişlerdir. Deneysel veriler ve uygun bir analitik yöntem kullanılarak, kombine sistemin performansı ve enerji azaltma kapasitesi soğutma sezonu boyunca değerlendirilmiştir. Sonuçlar, indirekt buharlaşmalı soğutma sisteminin soğutma mevsimlerinde soğutma yükünü %75'e kadar azaltabileceğini göstermiştir. Ayrıca, paketli ünite klimanın elektrik enerjisi tüketiminde %55 azalma sağlanabilmiştir.

Bulut ve Yenigün [5] çalışmalarında, taşınabilir bir buharlaşmalı soğutucunun soğutma performansını değişik parametrelere göre deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyler, kapalı ve açık hacimlerde, Şanlıurfa iklim koşulları altında, soğutma sezonu boyunca yapılmıştır. Buharlaşmalı soğutucunun, dış ortam kuru termometre sıcaklığını ortalama 10 °C düşürdüğü tespit edilmiştir.

Pomianowski vd. [6] yaptıkları çalışmada Danimarka'da bulunun 15 farklı şehir ve 123 Avrupa şehri için, 5 farklı buharlaşmalı soğutma sisteminin performansını araştırmışlardır. Yüksek sıcaklıkta çalışan sistemler için buharlaşmalı sistemlerin uygun olduğunu, ancak performansın dış şartlara bağlı olduğunu ortaya koymuşlardır.

Guan vd. [7] çalışmalarında Avustralya'daki farklı şehirler için direkt buharlaşmalı soğutma sisteminin potansiyelini irdelemişlerdir. Direkt buharlaşmalı soğutma sistemi ile kombine çalışacak bir hibrit soğutma sistemi kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, direkt buharlaşmalı soğutma sisteminin Avustralya için çok uygun olduğu, Darwin şehri dışında, sıcak günlerde uygun hava sirkülasyonu sağlandığı takdirde hibrit soğutma sistemine olan ihtiyacın %5'in altında olduğu sonucuna varılmıştır.

Angelis vd. [8] yaptıkları çalışmada dört farklı konfigürasyondaki (doğal havalandırmalı, mekanik havalandırmalı, direkt buharlaşmalı soğutmalı, indirekt buharlaşmalı soğutmalı) endüstriyel binayı irdelemişlerdir. Dış hava koşulları, iç ısı kazançları, ısıl geçirgenlik, hava debisi, vb. parametrelerin etkilerini araştırmışlardır. Özellikle sıcak iklimler için direkt buharlaşmalı soğutmalı sistemlerin uygun olduğunu, ancak indirekt buharlaşmalı soğutmalı sistemlerin düşük iç ortam bağıl nemini sağlayabildiği için en uygun yöntem olduğunu belirtmişlerdir.

Al-Badri ve Al-Waaly [9] soğutulmuş su ile çalışan

direkt buharlaşmalı soğutmalı sistemin performansını incelemişlerdir. Bunun, soğutma prosesinde yaş termometre sıcaklığı azaldığı için, özellikle nemli bölgelerde direkt buharlaşmalı soğutma sisteminin performansını arttırdığını ortaya koymuşlardır.

Dhamneya vd. [10] tarafından doğrudan buharlaşmalı soğutma sisteminde, farklı konfigürasyonlara sahip aspen elyaf malzemeli buharlaşmalı soğutucu dolgu malzemelerinin, performansa etkisi incelenmiştir. Giriş havası sıcaklığının, nemin ve kütlesel debinin etkisi, dolgu malzemelerinin farklı konfigürasyonu kullanılarak ayrıntılı olarak tartışılmıştır. En yüksek doygunluk verimliliği, üçgen konfigürasyonunda, durum-I için %97 olarak gözlemlenmiştir.

Kavaklioglu vd. [11] çalışmalarında, direkt buharlaşmalı soğutma sisteminin modellenmesi için radyal tabanlı yapay sinir ağ yöntemini kullanmışlardır. Kuru havanın çıkış sıcaklığı, soğutucu boyunca hava basıncı düşüşü ve soğutucu verimliliği, bu model kullanılarak tahmin edilmiştir. Model doğrulaması, iki yönlü çapraz doğrulama yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçları, modelleme yapmak için radyal tabanlı yapay sinir ağlarının uygulanmasının, uygun olduğunu göstermektedir.

Inamdar vd. [12] konfor koşullarını sağlarken, su tüketimini en aza indirmek için sıvı kanalı olarak bambu kullanımını irdelemişlerdir. Tasarladıkları bir kanal geometrisi ile direkt buharlaşmalı soğutma sistemlerine kıyasla daha düşük nemde hava çıkışı sağlayabildiklerini belirtmişlerdir.

Yang vd. [13] çalışmalarında buharlaşmalı soğutmayı kategorize etmiş ve hava-aracılı, su-aracılı buharlaşmalı soğutma olarak inceledikleri gibi, direkt buharlaşmalı soğutma ve indirekt buharlaşmalı soğutma olarak da incelemişlerdir. Bu sistemler hakkında, kapsamlı bir inceleme yapmışlardır ve farklı gelişmiş buharlaşmalı soğutma teknolojilerindeki son gelişmelerden, uygulamalardan bahsetmişlerdir.

Gómez vd. [14] pamuklu kumaş bir dolgu malzemesi kullanan yeni bir direkt buharlaşmalı soğutucu tasarlamışlardır. Böylelikle, minimum basınç düşüşü ile birlikte, maksimum ıslak alanı sağlamayı hedeflemişlerdir.

Khosravi vd. [15] çalışmalarında sabit yataklı, desikant (kurutucu) destekli bir buharlaşmalı soğutucu sisteminde, farklı doğal buharlaşmalı soğutucu dolgu malzemelerinin deneysel olarak incelenmesini amaçlamışlardır. Kurutucu malzeme olarak vermikülit-kalsiyum klorür (Vmc-CaCl2) kompoziti kullanılmıştır. Testleri aynı zamanda, direkt buharlaşmalı soğutucu kullanılarak da gerçekleştirmişlerdir. Her iki sistem kıyaslandığında, desikant destekli soğutma sisteminin, direkt buharlaşmalı soğutma sistemine göre %17 ile 62 arasında daha yüksek soğutma kapasitesi sağladığı belirlenmiştir.

Kowalski ve Kwiecien [16] Polonya'da bulunduğu varsayılan bir endüstriyel binada buharlaşmalı soğutma sisteminin analizini, TRNSYS 17 yazılımı ile yapmışlardır. Altı farklı sistem için yapılan analiz, dört farklı şehirde (Koszalin, Lublin, Suwałki ve Wr°Cław) gerçekleştirilmiştir. Hem direkt hem de indirekt buharlaştırmalı soğutma kullanan basit buharlaşmalı soğutma sistemleri değerlendirilmiştir. Oda konfor şartına (ayar değerine) ulaşılmayan saat sayısı TTF olarak tanımlanmış ve tüm sistemlerde değerlendirildiğinde, Lublin'de en yüksek, Koszalin'de ise en düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Aynı zamanda nemlendirme için egzoz havası yerine dış havayı kullanan sistemlerin daha yüksek enerji verimliliğine ve daha düşük iç hava sıcaklığına ulaştığını bulmuşlardır.

Bu çalışmada öncelikle bir direkt buharlaşmalı soğutucu İstanbul'da test edilmiştir. Testler farklı su sıcaklıklarında gerçekleştirilip, buharlaşmalı soğutucunun verimi hesaplanmıştır. Çalışmanın devam eden kısmında, benzer bir buharlaşmalı soğutucunun, bir klima sisteminin enerji tüketimini düşürmek amacıyla ön soğutucu olarak kullanımı irdelenmiştir. Mevcut çalışmalardan farklı olarak böyle bir sistemin, tüm Türkiye için uygulanabilirliği incelenmiştir. Bu amaçla bir modelleme çalışması yapılmış ve sonuçlar Türkiye'nin tüm illeri için haritalar halinde sunulmuştur. Elde edilen veriler ile tasarlanan, yararlanma oranı haritalarının, enerji verimliliğine katkısı hedeflenmiştir ve hem araştırmacıların hem de ticari firmaların faydalanması amaçlanmıştır.

2. DENEYSEL İNCELEME

Buharlaşmalı soğutma deney çalışmaları Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Termodinamik ve Isı Tekniği Ana Bilim Dalı laboratuvarında

bulunan "Buharlaşmalı Soğutma Deney Cihazı" (Şekil 1) üzerinde yapılmıştır [17]. Direkt buharlaşmalı soğutma deney düzeneği; dolgu malzemesi, elektrik motoru, fan, su pompası, su haznesi ve su dağıtım düzeneğinden oluşmaktadır. Su pompası, su haznesinden aldığı suyu yukarı basarak suyun buharlaşmalı dolgu malzemesini ıslatmasını sağlamaktadır. Değişken devirlerde ayarlanabilen fan, dış ortamdan aldığı taze ve sıcak havayı dolgu malzemesi gözenekleri arasından geçirmektedir. Dolgu malzemesi yüzeyini ıslatan suyun, sıcak havadan ısı alarak buharlaşması ile taze hava soğumaya başlamakta ve soğuyan taze hava iç ortama yönlendirilmektedir. Havanın soğutucuya giriş ve çıkışında ıslak ve kuru termometre sıcaklıkları ölçülmektedir.

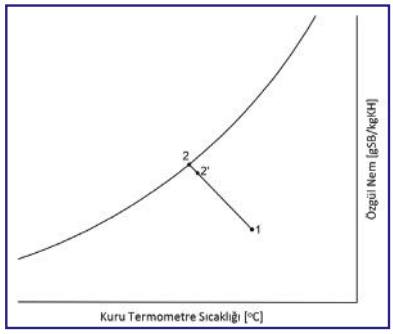
Bu ölçümler halihazırda buharlaşmalı soğutucu deney düzeneği üzerinde bulunan dahili gösterge yardımıyla okunabilmektedir. Hava debisi ise hava hızının fan giriş kesit alanı ile çarpımından bulunmuştur.

İstanbul ilinde aynı tarihte ve aynı koşullarda yapılan deneyler; 15 °C ve 20 °C olmak üzere 2 farklı su sıcaklığında ve 8 m/s hava hızında gerçekleştirilmiştir. Burada her bir durum için su sıcaklıkları sabittir. Deney düzeneğinde havanın akış yönünde kesit boyutu 0,60×0,55 m^2'dir. Havanın cihaz giriş ve çıkışındaki kuru ve yaş termometre sıcaklıkları, cihaz üzerinde bulunan göstergeden okunmuştur. Mahallin kuru termometre sıcaklığı 23 °C, yaş termometre sıcaklığı ise 16,7 °C'dir.

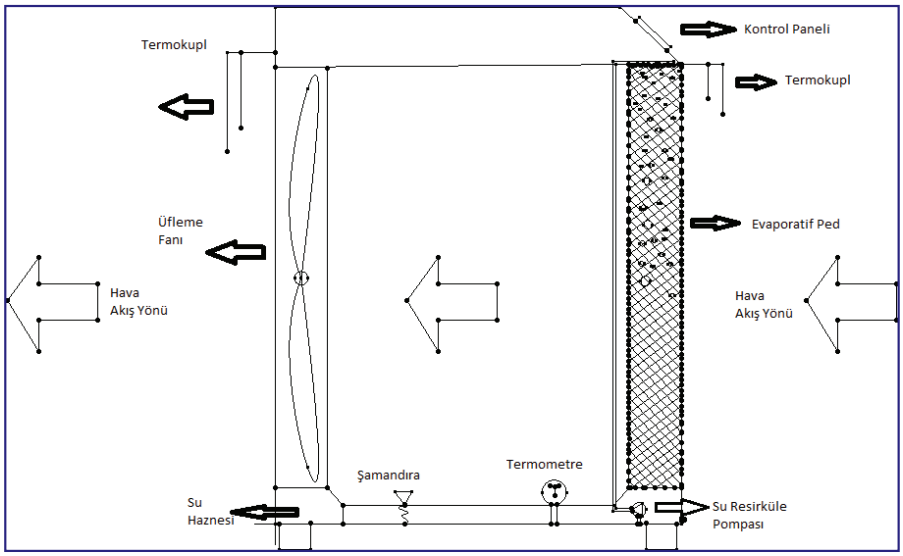
Deneyler sonucunda farklı iki su sıcaklığı için buharlaşmalı soğutucunun verimi hesaplanmıştır. Buharlaşmalı soğutma deney düzeneğinde, suyun sıcaklığı bir nevi cihaz çiğ noktası sıcaklığı olarak kabul edilebilir. Dolayısıyla hava şartlarının değişimi, Şekil 2'de temsili olarak gösterilen havanın giriş şartlarından (1 noktası), püskürtülen su sıcaklığındaki doymuş hava şartlarına (2 noktası) doğru olacak ve bu iki noktayı birleştiren doğru ile ifade edilebilecektir. Çıkışta hava yine hiçbir zaman doyma şartlarına ulaşamayacağından, bir verim söz konusudur (Denklem 1). Sonuçta hava buharlaşmalı soğutucudan 1-2 doğrusu üzerinde 2'şartlarında çıkar [18].

$$Verim_{evoporatif\ soğutucu} = |12'| / |12| \quad (1)$$

Bu bilgiler ışığında, 15 °C ve 20 °C su sıcaklıkları için, havanın giriş ve çıkış şartları ölçüldüğünde buharlaşmalı soğutucunun verim değerleri sırasıyla, %89 ve %85 olarak bulunmuş ve sonuçları Şekil 3 ve 4'te psikrometrik diyagramda gösterilmiştir.



Şekil 2. Buharlaşmalı soğutucunun veriminin bulunması



Şekil 1. Buharlaşmalı soğutma deney düzeneğinin genel görünümü [17]

3. TÜRKİYE'NİN TÜM İLLERİ İÇİN MODELLEME ÇALIŞMASI

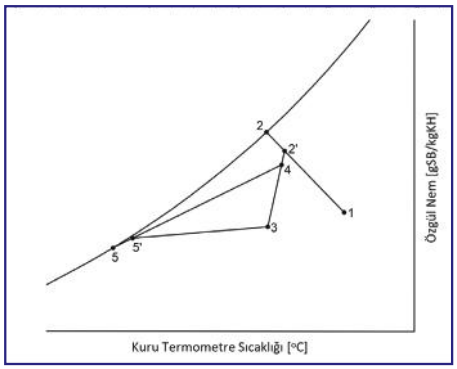
Çalışmanın bu kısmında, Türkiye'nin 81 ilinde, soğutma sezonunda, klima santraline ek bir ön soğutucu olarak buharlaşmalı soğutucu kullanımının, performansa etkisi incelenmiştir. Buharlaşmalı soğutucunun kullanılması durumunda klimanın soğutma yükü, kullanılmaması durumundaki soğutma yükü ile kıyaslanmıştır. Engineering Equation Solver (EES) ile parametrik sonuç verecek şekilde tasarlanan sistemin psikrometrik analizi Şekil 5'te verilmiştir. 1 noktasındaki dış hava buharlaşmalı soğutucudan 2' noktasında çıkmakta ve ardından mahalden (3) gelen hava ile karıştırılmaktadır. Karışım havası (4) soğutucu bataryada soğutulmakta ve 5' noktasında mahale verilmektedir. Burada kanal kayıpları ve fan nedeniyle meydana gelen ısınma ihmal edilmiştir.

EES ile model oluşturulurken, termodinamiğin birinci kanununa uygun olarak analiz yapılmıştır. Buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimine göre çalışan klima santralinde soğutucu akışkan olarak R410A seçilmiştir. Kompresörün izantropik verimi sabit (η_{is} = 0,65) alınmıştır [19].

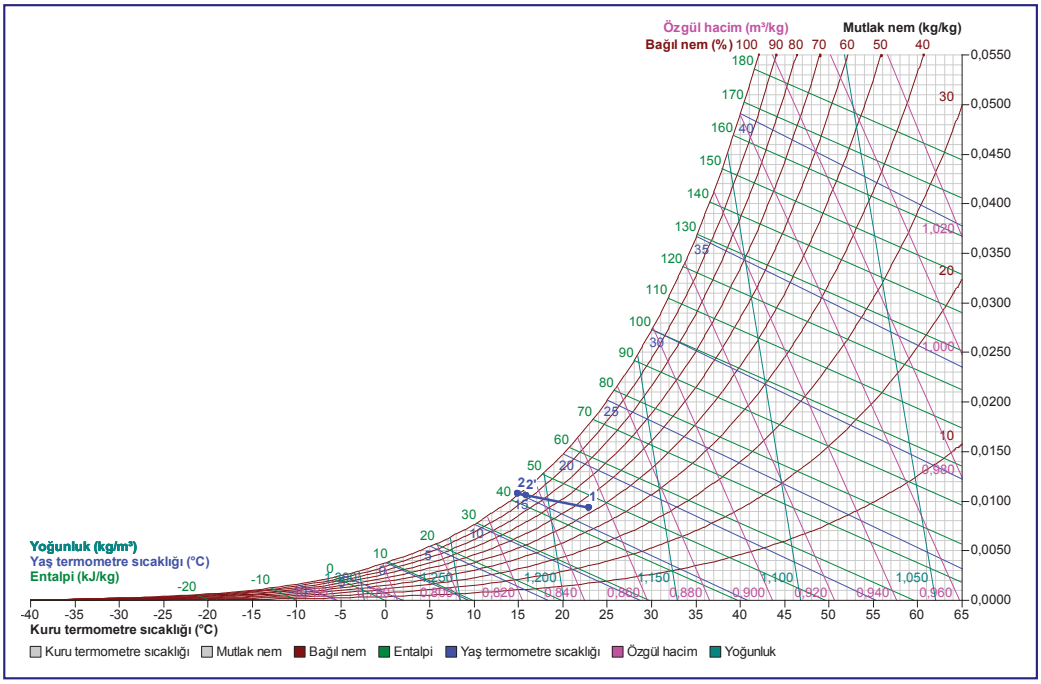
Soğutucu akışkanın kondenserden çıkış sıcaklığı dış hava sıcaklığından 8 °C fazla olacak şekilde alınmıştır. Kondenser çıkışında 5 °C aşırı soğutma yapılmıştır.

Kısılma vanasında sabit entalpide kısılma gerçekleşmektedir. Soğutucu akışkanın buharlaştırıcıya giriş sıcaklığı, mahal sıcaklığından 8 °C düşük olacak şekilde tasarlanmıştır. Buharlaştırıcı çıkışında da 10 °C aşırı kızdırma yapılmıştır.

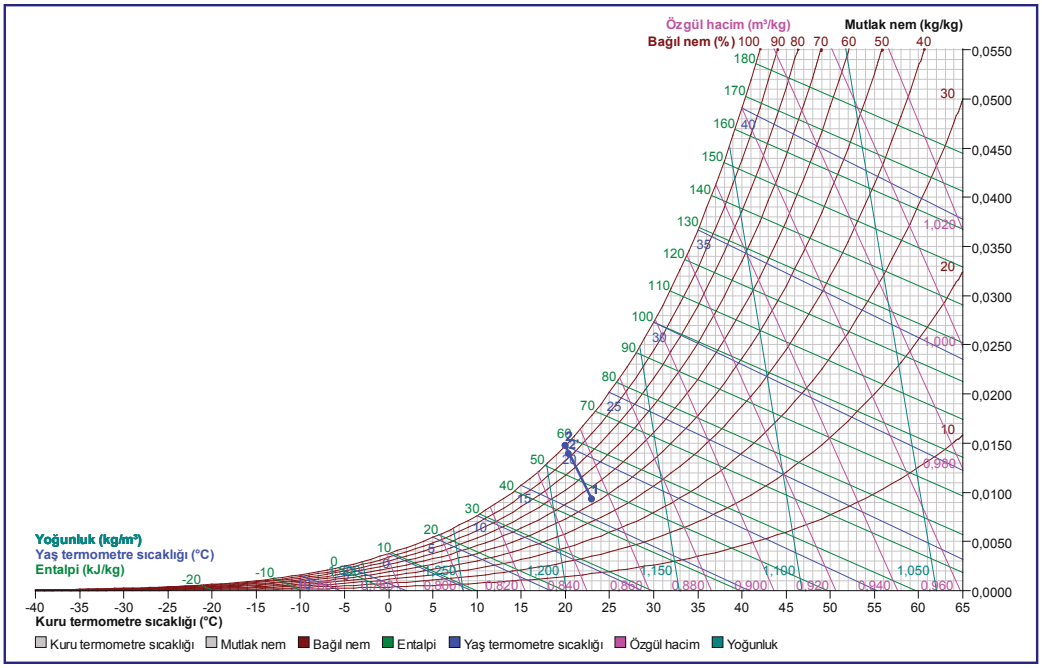
İllerin soğutma sezonu için kuru ve yaş termometre sıcaklık verileri literatürden [20] alınmıştır. Sıcaklık verisi bulunmayan dört il için, uygun komşu illerin sıcaklık verisi kullanılmıştır. İller bazında sıcaklık dağılımı Şekil 6'da gösterilmiştir.



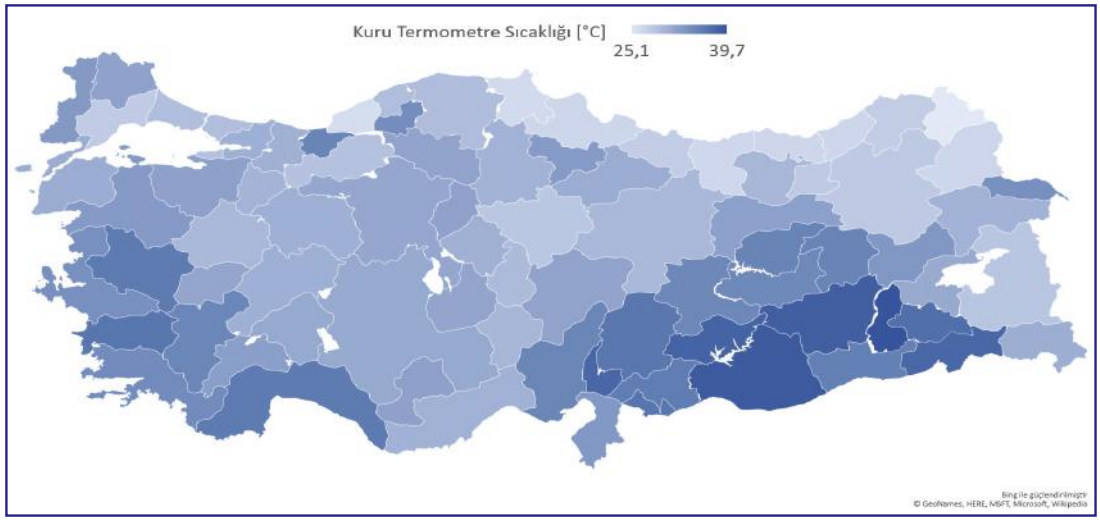
Şekil 5. Buharlaşmalı soğutucu ile birlikte çalışan klima sisteminde gerçekleşen prosesin psikrometrik diyagramda gösterimi



Şekil 3. 15 °C'deki su ile buharlaşmalı soğutma halinde elde edilen sonuçların psikrometrik diyagramda gösterimi



Şekil 4. 20 °C'deki su ile buharlaşmalı soğutma halinde elde edilen sonuçların psikrometrik diyagramda gösterimi



Şekil 6. İllerin sıcaklık dağılımı

İl merkezlerinin rakımına bağlı olarak atmosfer basınçları aşağıdaki gibi hesaplanmıştır ve böylelikle atmosfer basıncının psikrometrik olarak hava şartlarına etkisi dahil edilmiştir.

$$P = P_0 \times \exp(-g \times M \times [(h-h_0)/(R \times T)]) \quad (2)$$

Burada:

h: Rakım (m)

P: Hava basıncı (kPa)

P_0: Referans seviyesindeki (h_0) hava basıncı (kPa) (Deniz seviyesinde 101,325 kPa)

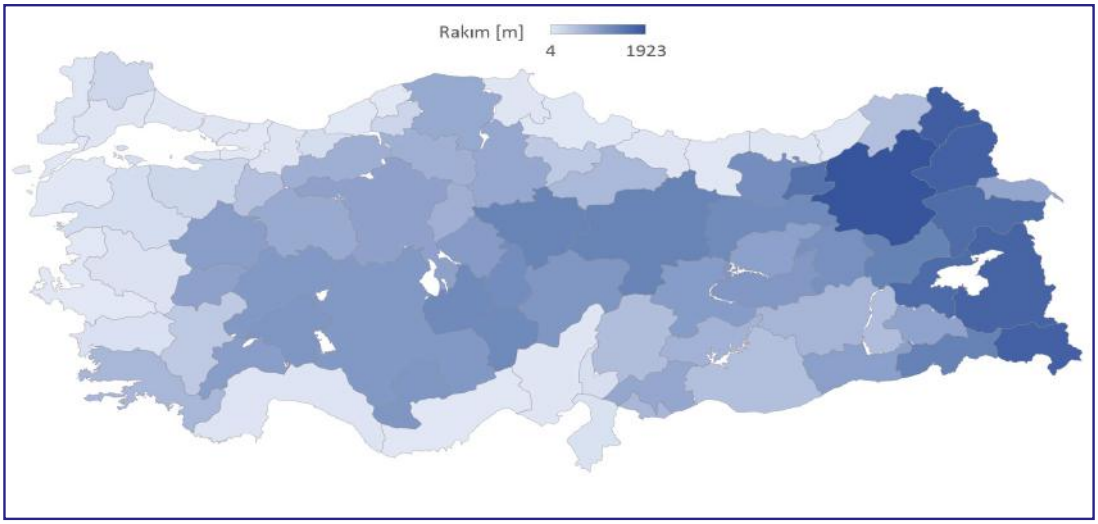
h_0: Referans yüksekliği (m) (Deniz seviyesi için 0 alınmıştır.)

T: h yüksekliğindeki sıcaklık (K)

g: Yerçekimi ivmesi (9,80665 m/s^2)

M: Havanın mol kütlesi (0,0289644 kg/mol)

R: Üniversal gaz sabiti (8,31432 Nm /molK)



Şekil 7. İllerin yükseklik dağılımı

İllerin yükseklik dağılımı Şekil 7'de gösterilmiştir.

Kuru termometre, yaş termometre ve basınç bilgileri ile her ilin psikrometrik şartları ayrı ayrı irdelenmiştir. Yapılan kabuller aşağıda sıralandığı gibidir.

Buharlaşmalı soğutucunun verimi: %85

Resirkülasyon havası oranı: %20

Soğutucu batarya için by-pass faktörü: 0,10

Mahallin kuru termometre sıcaklığı: 25 °C

Mahallin bağıl nemi: %50

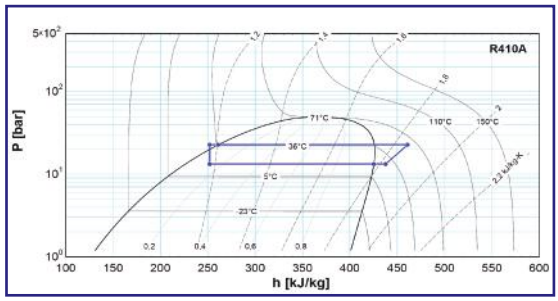
Mahallin soğutma yükü: 10 kW

Tüm iller için duyulur ısı oranı sabit alınmıştır .

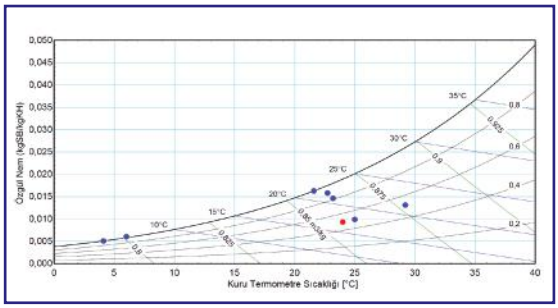
Buharlaşmalı soğutucunun adyabatik olması durumu ve su sıcaklıklarının 10 °C, 15 °C, 20 °C ve 25 °C olması durumları irdelenmiştir. Sonuçta, buharlaşmalı soğutucu ile toplam soğutma yükünün ne kadarının karşılanabildiği belirlenmiş ve "yararlanma oranı" ile ifade edilmiştir.

Yararlanma Oranı (%)= 1 − [(Buharlaşmalı soğutma yapıldığında klima santralinin soğutma yükü [kW])/(Buharlaşmalı soğutma yapılmadığında klima santralinin soğutma yükü [kW])] (3)

EES ile oluşturulan model ile hem soğutucu akışkan hem de hava tarafında, her bir ilin her bir su sıcaklığı şartında analizleri yapılmıştır. Örnek oluşturması için İstanbul ili için adyabatik buharlaşmalı soğutma yapılması durumunda elde edilen basınç-entalpi grafiği ve hava tarafı proseslerinin psikrometrik diyagramda gösterimi sırasıyla Şekil 8 ve 9'da verilmiştir.



Şekil 8. EES ile oluşturulan modelden elde edilen, soğutucu akışkana ait basınç-entalpi grafiği (İstanbul)



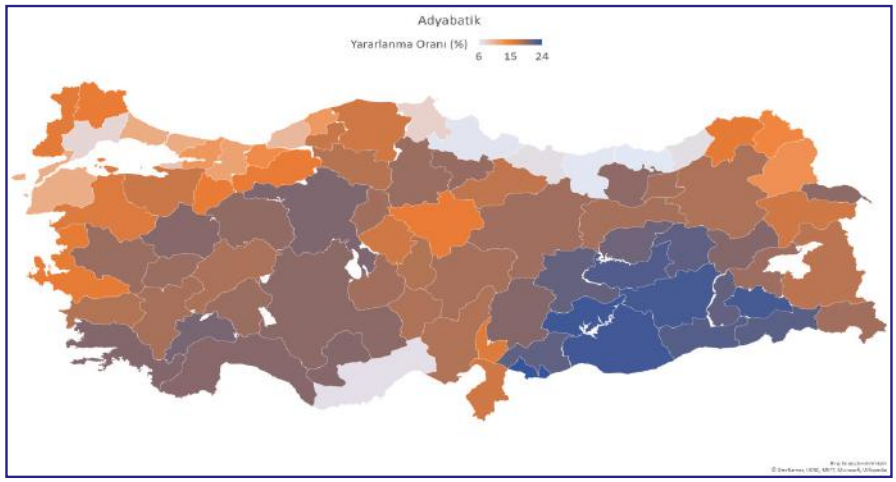
Şekil 9. EES ile oluşturulan modelden elde edilen, hava tarafı psikrometrik analiz grafiği (İstanbul)

3.1. Sonuçlar

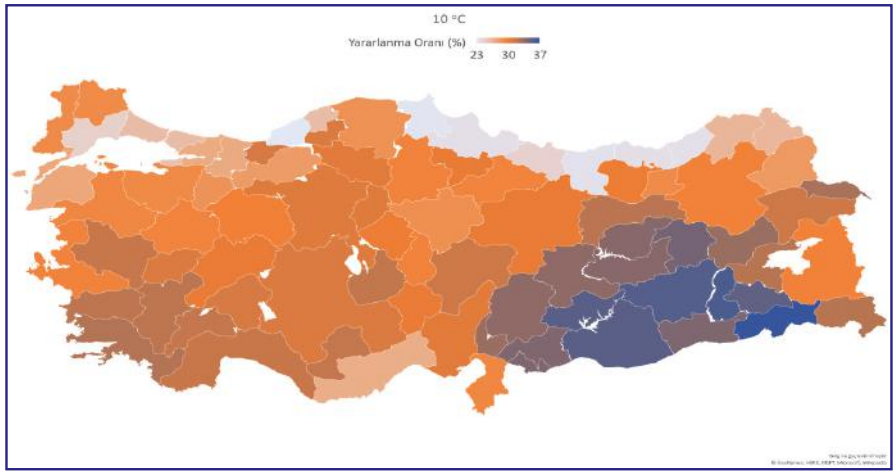
Adyabatik buharlaşmalı soğutma yapıldığı takdirde, her il için besleme suyu sıcaklığı o ilin kuru ve yaş termometre sıcaklıklarına bağlı olarak değişken olmaktadır. Buna bağlı olarak öncelikle, besleme suyu sıcaklığı için özel bir şartlandırma yapılmayıp, sistemin adyabatik olarak çalışması prensibi irdelenmiştir. Yapılan analiz sonucunda en düşük yararlanma oranının %6 olarak Trabzon'da, en yüksek yararlanma oranının da %24 ile Kilis'te gerçekleştiği görülmüştür. Tüm iller için sonuçlar Şekil 10'da verilmiştir.

Besleme suyu sıcaklıkları tüm iller için sabit olacak şekilde 10 °C, 15 °C, 20 °C ve 25 °C iken buharlaşmalı soğutucu kullanılması durumunda elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil 11, 12, 13 ve 14'te gösterilmektedir. 10 °C ve 15 °C su sıcaklığı için en düşük yararlanma oranı değerleri Türkiye'nin kuzeyinde bulunan Zonguldak ilinde gerçekleşmiş olup sırasıyla, %23 ve %17 olarak hesaplanmıştır. 20 °C ve 25 °C su sıcaklıklarında ise, en düşük yararlanma oranı ülkemizin kuzeydoğu köşesinde yer alan Ardahan'da gerçekleşmiştir ve sırasıyla %10 ve %0 olarak hesaplanmıştır. En yüksek yararlanma oranı değerleri ise Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan Batman'da gerçekleşmiş olup 10 °C, 15 °C, 20 °C ve 25 °C su sıcaklıkları için sırasıyla, %36, %32, %26 ve %20 olarak hesaplanmıştır.

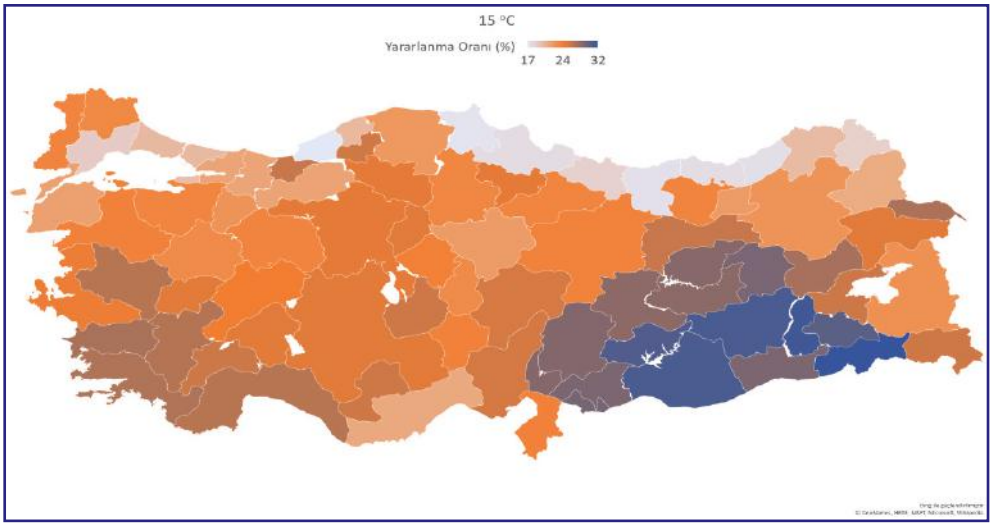
Oluşturulan bu haritalar ile buharlaşmalı soğutma uygulamasının Türkiye'nin tüm illeri için uygun olup olmadığı belirlenmiştir. Özellikle yazları sıcaklığın yüksek, bağıl nemin düşük olduğu coğrafi bölgelerde, enerji verimliliğinin oldukça önem kazandığı günümüz şartlarında, bu sistemi kullanmanın oldukça avantaj sağlayabildiği ortaya konulmuştur.



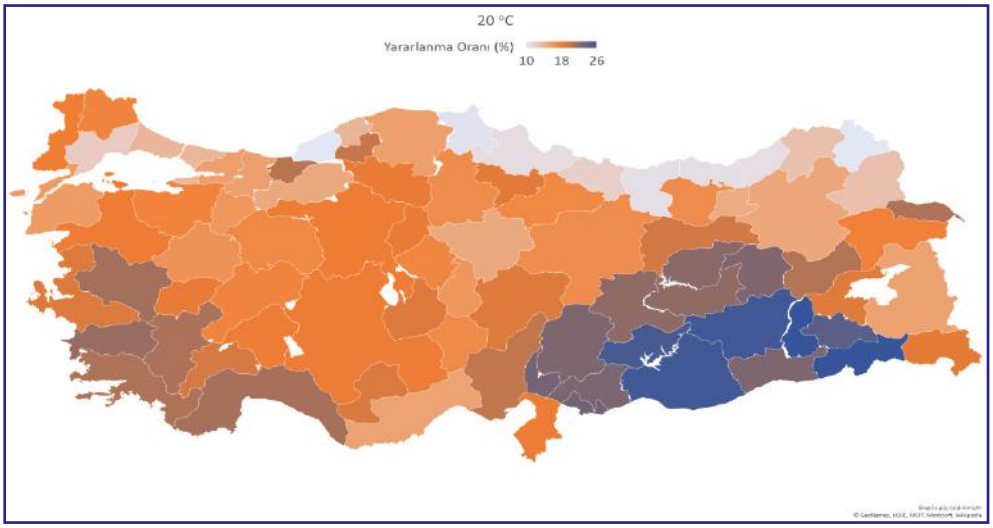
Şekil 10. Adyabatik buharlaşmalı soğutma durumunda yararlanma oranları



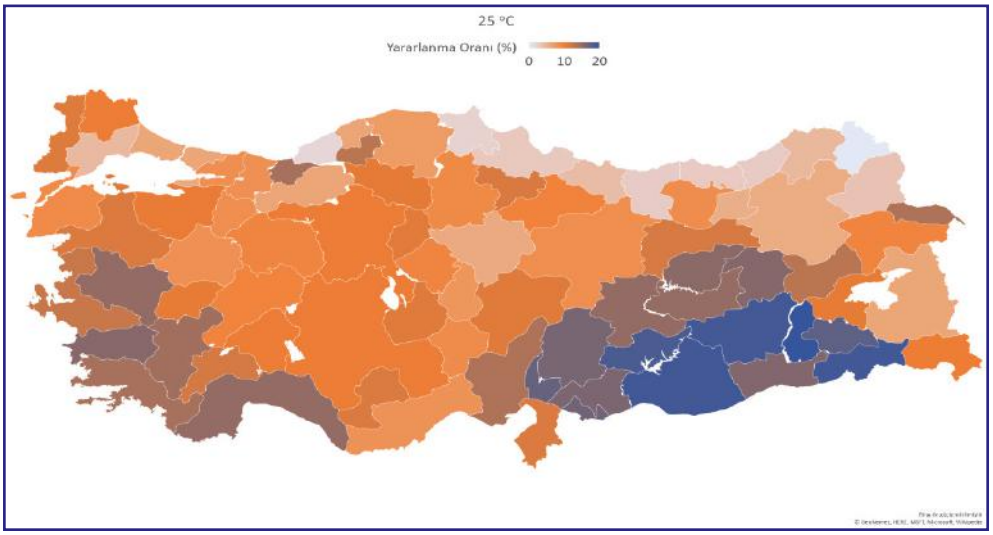
Şekil 11. 10 °C'deki su ile buharlaşmalı soğutma durumunda yararlanma oranları



Şekil 12. 15 °C'deki su ile buharlaşmalı soğutma durumunda yararlanma oranları



Şekil 13. 20 °C'deki su ile buharlaşmalı soğutma durumunda yararlanma oranları



Şekil 14. 25 °C'deki su ile buharlaşmalı soğutma durumunda yararlanma oranları

4. DEĞERLENDİRME

Yapılan çalışmada, buharlaşmalı soğutma sistemlerinin farklı iklim şartlarında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Klima sisteminin buharlaştırıcısına ek olarak kullanılacak olan bir buharlaşmalı soğutucunun, buharlaştırıcının soğutma kapasitesini ve dolaylı olarak da kompresör işini ne kadar düşürdüğü belirlenmiştir. Buharlaşmalı soğutucunun soğutma performansını arttırmak için soğutulmuş su kullanımının etkileri ortaya konulmuştur. Birçok parametrenin etkilediği iklimlendirme sistemi için, 81 ilin 5 farklı besleme suyu sıcaklığı için toplam 405 farklı analiz yapılmıştır.

a. Çalışmanın ilk kısmında, Şekil 1'de gösterilen buharlaşmalı soğutucu ile İstanbul şartlarında deneyler yapılmıştır. 15 °C ve 20 °C besleme suyu sıcaklıkları için buharlaşmalı soğutucunun verimi sırasıyla %85 ve %89 bulunmuştur (Şekil 3 ve 4).

b. EES programında bir model oluşturulmuş ve Türkiye'nin her ili için soğutma sezonunda buharlaşmalı soğutucu kullanımın etkileri belirlenmiştir.

c. Buharlaşmalı soğutucunun adyabatik çalışması ve besleme suyu sıcaklıklarının 10 °C, 15 °C, 20 °C ve 25 °C olması durumları irdelenmiştir ve sonuçları Şekil 10, 11, 12, 13 ve 14'te verilmiştir.

d. Her durumda, buharlaşmalı soğutma sisteminin kullanılmasının en makul olduğu iller, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde çıkmıştır.

e. Türkiye'nin kuzeydoğusunda yer alan illerde buharlaşmalı soğutucudan yararlanma oranının genellikle diğer illere göre daha düşük olduğu ortaya konulmuştur.

f. Güneydoğu Anadolu Bölgesinden sonra buharlaşmalı soğutma sisteminin yararlanma oranlarının, sırasıyla Ege Bölgesinde ve kısmen Akdeniz bölgesinde yüksek olduğu görülmektedir.

g. Besleme suyunun sıcaklık artışına bağlı olarak, yararlanma oranının düştüğü görülmektedir.

Ülkemiz açısından enerji verimliliğinin önemi göz önüne alındığında, iklimlendirme sistemlerinde buharlaşmalı soğutmanın kullanılması faydalıdır. Elde edilen veriler ile tasarlanan yararlanma oranı haritalarının, enerji verimliliğine katkı sağlaması hedeflenmiştir. Konusunda uzman araştırmacıların ve çalışanların faydalanabileceği haritalar oluşturulmuştur. Her biri farklı besleme suyu sıcaklıkları için verilerek, iklimsel veriler ile yol gösterici olması sağlanmıştır.

SEMBOLLER

g	Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
h	Rakım (m), Entalpi (kJ/kg)
h_0	Referans yüksekliği (m)
KH	Kuru hava (-)
M	Havanın mol kütlesi (kg/mol)
P	Hava basıncı (kPa)
P_0 (kPa)	Referans seviyesindeki (h_0) hava basıncı
R	Üniversal gaz sabiti (Nm/molK)
SB	Su buharı (-)
T	h yüksekliğindeki sıcaklık (K)
η_{is}	Kompresörün izantropik verimi

KAYNAKLAR

[1] Chen, P., Qin, H., Huang, Y. J., Wu, H., Blumstein, C., Energy-Saving Potential of Precooling Incoming Outdoor Air by Indirect Evaporative Cooling, vol. 99, ASHRAE Transactions, 1993.

[2] Maheshwari, GP., Suri, RK., Energy-Saving Potential of an Indirect Evaporative Cooler, Applied Energy, 69, 69–76, 2001.

[3] Heidarinejad, G., Bozorgmehr, M., Delfani, S., Esmaeelian, J., Experimental Investigation of Two-Stage Indirect / Direct Evaporative Cooling System in Various Climatic Conditions, Building and Environment, 44, 2073–9, 2009. doi:10.1016/j.buildenv.2009.02.017.

[4] Delfani, S., Esmaeelian, J., Pasdarshahri, H., Karami, M., Energy Saving Potential of an Indirect Evaporative Cooler as a Pre-Cooling Unit for Mechanical Cooling Systems in Iran, Energy & Buildings, 42, 2169–76, 2010. doi:10.1016/j.enbuild.2010.07.009.

[5] Bulut, H., Yenigün, B., Taşınabilir Bir Evaporatif Soğutucunun Performans Analizi, Tesisat Mühendisliği, 21, 5–13, 2013.

[6] Pomianowski, M., Andersen, C. H., Heiselberg, P., Technical Potential of Evaporative Cooling in Danish and European Condition, Energy Pr°Cedia, 78, 2421–6, 2015. doi:10.1016/j.egypro.2015.11.211.

[7] Guan, L., Bennett, M., Bell, J., Evaluating the Potential Use of Direct Evaporative Cooling in Australia, Energy and Buildings, 108, 185–94, 2015. doi:10.1016/j.enbuild.2015.09.020.

[8] De Angelis, A., Saro, O., Truant, M., Evaporative Cooling Systems to Improve Internal Comfort in Industrial Buildings, Energy Pr°Cedia, 126, 313–20, 2017. doi:10.1016/j.egypro.2017.08.245.

[9] Al-Badri, A. R., Al-Waaly, A. A.Y., The Influence of Chilled Water on the Performance of Direct Evaporative Cooling, Energy and Buildings, 155, 143–50, 2017. doi:10.1016/j.enbuild.2017.09.021.

[10] Dhamneya, A. K., Rajput, S. P. S., Singh, A., Thermodynamic Performance Analysis of Direct Evaporative Cooling System for Increased Heat and Mass Transfer Area, Ain Shams Engineering Journal, 9, 2951–60, 2018. doi:10.1016/j.asej.2017.09.008.

[11] Kavaklioglu, K., Koseoglu, M. F., Caliskan, O., Experimental Investigation and Radial Basis Function Network Modeling of Direct Evaporative Cooling Systems, International Journal of Heat and Mass Transfer, 126, 139–50, 2018. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.05.022.

[12] Inamdar, S. J., Junghare, A., Kale, P., Performance Enhancement of Evaporative Cooling by Using Bamboo, International Journal of Engineering and Advanced Technology, 8, 856–60, 2019. doi:10.35940/ijeat.F1161.0886S19.

[13] Yang, Y., Cui, G., Lan, C. Q., Developments in Evaporative Cooling and Enhanced Evaporative Cooling - A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 113, 109230, 2019. doi:10.1016/j.rser.2019.06.037.

[14] Velasco-Gómez, E., Tejero-González, A., Jorge-Rico, J., Rey-Martínez, F. J., Experimental Investigation of the Potential of a New Fabric-Based Evaporative Cooling Pad, Sustainability (Switzerland), 12, 2020. doi:10.3390/su12177070.

[15] Khosravi, N., Aydin, D., Karim Nejhad, M., Dogramaci, P. A., Comparative Performance Analysis of Direct and Desiccant Assisted Evaporative Cooling Systems Using Novel Candidate Materials, Energy Conversion and Management, 221, 113167, 2020. doi:10.1016/j.enconman.2020.113167.

[16] Kowalski, P., Kwiecień, D., Evaluation of Simple Evaporative Cooling Systems in an Industrial Building in Poland, Journal of Building Engineering, 32, 2020. doi:10.1016/j.jobe.2020.101555.

[17] Tarhan, T., Evaporatif Soğutmada Su Besleme Sıcaklık Değişiminin Verime Etkisinin İncelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye, 2018.

[18] Klima Tesisatı, ISISAN Çalışmaları No. 305, İstanbul, 2001.

[19] Danfoss, Coolselector®2, Version 4.0.2, Database 64.64.2.25.17.44, 2020.

[20] Yılmaz, T., Bulut, H., Türkiye İçin Yeni Dış Ortam Sıcaklık Tasarım Değerleri, V. Ulus. Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, İzmir, 2001, p. 293–311.