

BİR DİREKT EVAPORATİF SOĞUTMA SİSTEMİNİN DENEYSEL, EKONOMİK VE ÇEVRESEL İNCELENMESİ

Tamer ÇALIŞIR
Mustafa ALPTEKİN
M. Zeki YILMAZOĞLU

ÖZET

Bu çalışmada bir direkt evaporatif soğutma sisteminin deneysel analizi gerçekleştirilmiştir. Deneysel analizi yapılan soğutma sisteminin; soğutma kapasitesi, soğutma verimi, su debisi ve hava hızı değişiminin soğutma kapasitesine etkileri incelenmiştir. Bununla birlikte, aynı soğutma kapasitesindeki buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminin enerji tüketimi ve çevresel etkiler yönünden karşılaştırması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; sıcak ve kuru iklim şartlarında direkt evaporatif soğutma sistemlerinin daha verimli sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Bununla birlikte, su ve hava debisinin sudan havaya olan kütle transferini direkt olarak etkilediği özgül nem değerlerinin bulunması ile gösterilmiştir. Termal konfor şartlarının sağlanması şartıyla aynı soğutma kapasitesindeki evaporatif ve buhar sıkıştırımlı soğutma sistemi için ekonomik ve çevresel yönden karşılaştırıldığında evaporatif soğutma sistemleri buhar sıkıştırımlı soğutma sistemlerine göre işletme maliyetinin daha az olduğu ve eşdeğer CO₂ salınımı açısından daha çevreci sistemler olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Direkt evaporatif soğutma, evaporatif soğutma, eşdeğer CO₂

ABSTRACT

In this study, experimental analysis of a direct evaporative cooling system was performed. Cooling capacity, cooling efficiency, the effects of mass flow rate of water and air velocity on the cooling capacity were performed in the experimental analysis. Also, a vapor compression refrigeration system with the same cooling capacity was compared in terms of energy consumption and environmental impacts. According to the results it was shown that in hot and dry climate conditions the evaporative cooling system was more efficient. Besides, it was shown, in the presence of specific humidity values that the mass flow rate of water and air, directly affects the mass transfer from water to the air. Providing thermal comfort conditions, the comparison of the economic and environmental aspects of evaporative and vapor compression cooling systems with the same capacity, shows that evaporative cooling systems have less operating cost and in terms of equivalent CO₂ emissions are more environmental compared to vapor compression cooling systems.

Key Words: Direct evaporative cooling, evaporative cooling, equivalent CO₂

1. GİRİŞ

Enerji maliyetlerinin artması ile enerji verimliliği ve verimli sistemlerin kullanımı günümüzde büyük önem kazanmıştır. İklimlendirme sistemleri incelendiğinde, yaygın olarak kullanılan buhar sıkıştırımlı soğutma sistemleri, diğer alternatif sistemlere göre enerji tüketimi daha fazla olan sistemlerdir. Bu sistemlere alternatif olarak birçok soğutma süreci denenmekte ve uygulanmaktadır [1]. Küresel ısınma yönünden de bu sistemler karşılaştırılacak olursa, buhar sıkıştırımlı soğutma sistemleri elektrik enerjisini kullanarak kompresörde soğutucu akışkan buharını sıkıştırmaktadır. Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde elektrik tüketimi iş akışkanının pompalanmasında kullanılmaktadır. Evaporatif soğutma sistemlerinde ise elektrik tüketimi hava hareketini sağlayan fan sisteminde ve sirkülasyon pompasında olmaktadır. Aynı soğutma kapasitesi için ele alınan bu üç alternatif soğutma sürecinde birim soğutma için en fazla enerji tüketimi buhar sıkıştırımlı

soğutma sisteminde olacaktır. Elektrik enerjisi tüketiminin fazla olması, elektriğin üretiminde kullanılan yakıt debisini etkileyecektir ve yakıt debisinin artması CO₂ salınımını artıracaktır. Dolayısıyla, buhar sıkıştırımlı soğutma sistemleri yerine kullanım yeri ve kapasitesine bağlı olarak çeşitli alternatif süreçler denenerek elektrik enerjisinin daha verimli kullanımı ve CO₂ salınımının azaltılması sağlanabilir. Evaporatif soğutma, diğer soğutma tekniklerine göre çok daha ucuz ilk yatırım maliyeti gerektirir ve daha az enerji tüketir. Buna karşın, evaporatif soğutma daha çok kurak ve nemsiz iklimlerde daha verimlidir. Temel olarak buldukları yapısal farklılıklar nedeniyle evaporatif soğutma cihazlarının, kompresörlü iklimlendirme cihazlarına göre avantajları ve dezavantajları vardır.

Avantajları:

- Evaporatif soğutma cihazlarının kurulum maliyeti, buhar sıkıştırımlı iklimlendirme cihazlarına göre daha azdır.
- Çalışma maliyeti buhar sıkıştırımlı iklimlendirme cihazlarına göre daha azdır.
- Evaporatif soğutma cihazlarında enerji tüketimi sadece fan ve su pompasında olurken buhar sıkıştırımlı soğutma cihazlarında ise kompresör ve fanlar enerji tüketir.
- Bakım giderleri daha azdır.
- Havanın soğutulan alan içindeki sabit ve yüksek hacimsel debisi, havanın kullanım süresini arttırır.
- Evaporatif soğutma kurak iklimlerde havanın nemini arttırdığından solunan havayı yumuşatır.
- Evaporatif soğutucularda soğutma çevrimi bir filtre gibi çalışır ve oluşturduğu nem sayesinde havanın içindeki kirliliği yok eder.

Dezavantajları:

- Çevre havasındaki yüksek nemlilik evaporatif soğutucuların verimini azaltır.
- Bir evaporatif soğutucudan elde edilen hava, ortalama %80-90 oranlarında nem içerir.
- Nemin artması, ortamda bulunan elektronik cihazlara, yazılı belgelere ya da metallere zarar verebilir. Ayrıca insan vücudundan ciğerler, deri, burun ve göz tarafından vücuttan uzaklaştırılacak nemin de dışarı atılmamasına neden olur. Bu da astım hastalarında olumsuz sonuçlar doğurur. Bu nedenle nem dengesinin kontrol edilmesi zorunludur.
- Devamlı bir su kaynağına ihtiyaç duyar.

Evaporatif soğutma ortam sıcaklığında bir hava akımı içinde suyun buharlaştırılması ile sağlanır. Bu soğutma yönteminde soğutma, hava kuru termometre sıcaklığı, sabit yaş termometre sıcaklığında azaltılarak ve havanın içerdiği nem miktarının artırılması ile sağlanır. Evaporatif soğutma işlemi direkt olarak havanın suyla teması ile sağlanabileceği gibi, indirekt olarak ya da her iki sistemin birleştirilmesi ile de sağlanabilir. Direkt evaporatif soğutma işleminde hava, bir su bloğunun içinden geçirilir. Hava ve suyun direkt teması sonucu kütle ve ısı transferi ile hava çıkışta istenilen şartlara getirilmiş olur. Bu yöntemde sağlanabilecek en çok kuru termometre sıcaklık farkı, giren havanın kuru ve yaş termometre sıcaklıkları farkıdır [1]. Direkt evaporatif soğutma sistemlerinin verimleri %85–90 arasında değişmekte olup, buhar sıkıştırımlı soğutma sistemleri ile kullanıldığında soğutma maliyetlerini %25–40 arasında azaltmaktadır [2]. Direkt evaporatif soğutma sistemleri fabrikalarda, imalathanelerde (özellikle tekstil), açık mekânlarda ve hayvancılık (süt sığırları ve tavukçuluk) sektörlerinde ekonomik olması nedeniyle sıklıkla kullanılmaktadır.

Bir ofis ortamında iç ortam konfor şartlarının oluşturulmasında iklimlendirilecek ortamın kullanım amacı, ortam havasının yaş termometre sıcaklığı, iklimlendirme sistemi seçimi etkilidir. İç ortam konfor şartlarının oluşmasında yaş termometre sıcaklığına bağlı olarak sistem seçiminde; yaş termometre sıcaklığı (YTS) 15°C'den küçükse direkt evaporatif soğutma, YTS 15-18°C arasında ise direkt/indirekt evaporatif soğutma, YTS 18-24°C ise indirekt/mekanik soğutma ve YTS 24°C'den büyükse mekanik soğutma seçimi önerilmiştir [3]. Direkt evaporatif soğutma uygulaması yalnız başına ve uygun filtreleme yapılmadan kullanıldığında Lejyoner hastalığına neden olmaktadır [4]. Bunun önlenmesi için direkt ve indirekt evaporatif soğutma uygulamalarının birlikte veya diğer soğutma sistemlerine ek olarak kullanılması önerilmektedir. İndirekt evaporatif soğutma direkt evaporatif soğutmaya göre daha az verimli olsa da sıhhi şartların önemli olduğu kullanım yerlerinde kombinasyon olarak kullanılması zorunludur. Yarı indirekt evaporatif soğutma uygulamasında ise seramik ısı değiştiriciler kullanılarak hem filtreleme sağlanmakta hem de dış ortam nemine bağlı olarak kütle transferi sağlanmaktadır [5]. Son yıllarda iki kademeli evaporatif soğutma sistemleri üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. İki kademeli evaporatif soğutma sistemleri indirekt/direkt evaporatif soğutma prensibine göre çalışan sistemler olup, yapılan deneysel çalışmalarla aynı termal konfor şartlarında, bu sistemlerin buhar sıkıştırımlı soğutma sistemlerine göre %60 daha az güç tükettiği bulunmuştur [6]. Buna karşın, bu cihazlar su tükettiği için suyun az olduğu bölgelerde kullanılamazlar. Enerji verimlilik oranı (EER); belirli iç ve dış ortam şartlarında Btu/h biriminden soğutma veya ısıtma yükünün cihazın Watt biriminden gücüne oranı olarak hesaplanır. İki kademeli evaporatif soğutma sistemlerinde EER 28–30 olarak

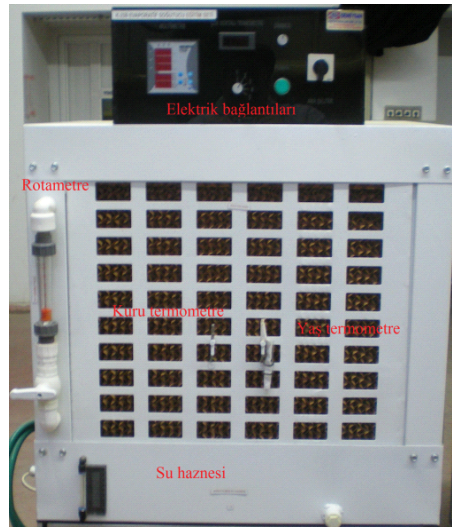
hesaplanmıştır. EER, buhar sıkıştırımlı soğutma sistemleri için 10-12'dir [6,7]. Direkt evaporatif soğutma sistemlerinin verimleri %60–90 arasında değişmekte iken indirekt evaporatif soğutma sistemlerinin verimleri %20–40 arasındadır. Buna karşın, iki kademeli indirekt/direkt soğutma sistemlerinin verimleri %90–120 arasındadır [8].

Bu çalışmada bir direkt evaporatif soğutma sisteminin deneysel analizi gerçekleştirilmiştir. Deneysel analizi yapılan soğutma sisteminin; soğutma kapasitesi, soğutma verimi, su debisi ve hava hızı değişiminin soğutma kapasitesine etkileri incelenmiştir. Bununla birlikte, aynı soğutma kapasitesindeki buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminin enerji tüketimi ve çevresel etkiler yönünden karşılaştırması yapılmıştır.

2. DENEY SETİ VE HESAPLAMALAR

Direkt evaporatif soğutma deney düzeneği, soğutma peteği, fan, elektrik motoru, su pompası, su haznesi ve su dağıtım düzeneğinden oluşmaktadır. Su pompası, su haznesinden aldığı suyla soğutucu petekleri ıslatır. Fan, dış ortamdan aldığı sıcak ve taze havayı petek gözenekleri arasından geçirerek, petek yüzeyine yayılan suyun buharlaşması ile soğuyan havayı iç ortama yönlendirir. Şekil 1'de direkt evaporatif soğutucunun fotoğrafı gösterilmiştir. Havanın soğutucuya giriş ve çıkış sıcaklıkları ıslak ve kuru termometre ile ölçülmektedir. Su haznesinden alınan su bir rotametreden geçirilerek peteklere verilmektedir. Hava debisi ise pervane tip anemometre ile alınan hız değerleri ortalamasının, fan giriş kesit alanı ile çarpımından bulunmuştur.

Bir evaporatif soğutma sisteminin soğutma kapasitesi Eş. 1 ile hesaplanır. Bu eşitlikte Q ; soğutma kapasitesini [kW], m ; havanın kütleli debisini [kg/s] ve Δh , havanın entalpisindeki değişimi göstermektedir. Havanın kütleli debisinin hesaplanmasında havanın soğutucuya alındığı yüzey alanı; A [m^2], havanın o kesitteki hızı; u [m/s] (Eş.2) ve havanın bulunan sıcaklıktaki yoğunluğunun belirlenmesi ile bulunabilir. Direkt evaporatif soğutma sisteminin verimi Eş. 3'te belirtildiği gibi bulunur. Eş. 3'te T_k ; kuru termometre, T_y ; yağ termometre sıcaklıklarını alt indis olarak g ; giriş ve $\ç$; çıkış durumlarını belirtmektedir.



Şekil 1. Direkt evaporatif soğutucu deney düzeneği

Tablo 1. Direkt evaporatif soğutucu karakteristikleri

Cihaz ölçüleri, AxBxH	780x580x760 mm
Fan motoru gücü	550 W
Fan motor debisi	2000 m ³ /h
Dolgu sıklığı	200 m ² /m ³
Evaporatif soğutucu hacmi	0,04452 m ³
Evaporatif soğutucu yüzey alanı	8,9 m ²
Pompa su debisi	500 L/h
Pompa basma yüksekliği	5 mss

$$\dot{Q} = \dot{m}(h_{\dot{c}} - h_g) \quad (1)$$

$$\dot{m} = Au.\rho \quad (2)$$

$$\varepsilon = \frac{T_{kg} - T_{k\dot{c}}}{T_{kg} - T_{yg}} \quad (3)$$

SONUÇ

a) Direkt Evaporatif Soğutucunun Kapasitesinin ve Soğutma Veriminin Belirlenmesi

Su debisi 200 l/h ve hava hızı 12 m/s değerinde sistemin kararlı hale gelmesinin ardından havanın giriş ve çıkışta kuru ve yaş termometre sıcaklıkları termometrelerle ölçülür. Su debisinin ayarlanmasında rotametre ve hava hızının ölçülmesinde pervaneli tip anemometre kullanılmıştır. Dolgu sıklığı sabit ve 200 [m²/m³] olan direkt evaporatif soğutucu için yukarıda belirtilen eşitlikler yardımıyla soğutma kapasitesi ve soğutma verimi bulunur. Belirlenen koşullar için ölçüm sonuçları Tablo 2'de belirtilmiştir.

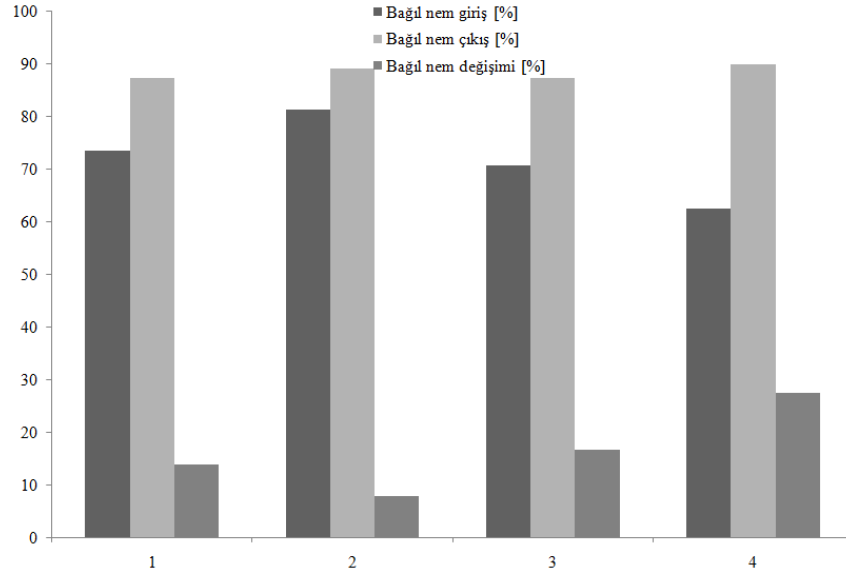
Tablo 2. Direkt evaporatif soğutucunun soğutma yükü ve veriminin belirlenmesi

Ölçüm Sayısı		1	2	3	4
Hava Giriş Sıcaklığı (Kuru)	[°C]	19,6	18,8	20,3	21,3
Hava Giriş Sıcaklığı (Yaş)	[°C]	16,5	16,7	16,8	16,6
Hava Çıkış Sıcaklığı (Kuru)	[°C]	18,4	18,4	18,7	18,3
Hava Çıkış Sıcaklığı (Yaş)	[°C]	17	17,2	17,3	17,2
Su Giriş Sıcaklığı	[°C]	17,7	18,6	17,7	17,7
Pompa ve Fanın Çektiği Akım	[A]	3,26	3,32	3,28	3,26
Hat Gerilimi	[V]	220	223	221	220
Güç Katsayısı		0,71	0,71	0,7	0,71
Soğutma Yükü	[kW]	4,903	4,985	5,027	6,096
Soğutucu Verimi	[-]	0,387	0,190	0,457	0,638

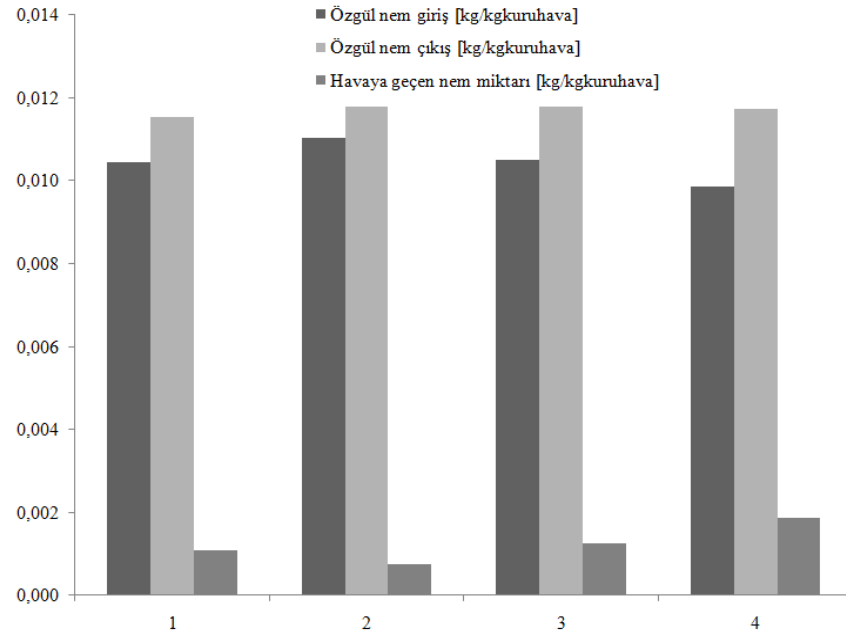
Ankara koşullarında farklı tarihlerde gerçekleştirilen deneylerde soğutma yükleri ve soğutma verimleri bulunmuştur. Şekil 2 ve 3'te, incelenen dört durum için hava bağıl nem ve özgül nem değerlerinin giriş, çıkış ve değişim miktarları gösterilmiştir. Her durumda hava çıkış kuru ve yaş termometre sıcaklıkları birbirlerine yakındır. Bu durum, Şekil 2 ve 3'te çıkış durumları incelendiğinde de görülmektedir. Her durumda hava çıkış koşullarında bağıl nem % 87–89.5 arasında değişmektedir. Özgül nem miktarı ise 11.78 [gnem/kgkuru hava] dolaylarında bulunmuştur. Sisteme giren havanın giriş ve çıkış durumlarında entalpi farkı soğutma yükünü doğrudan etkilemektedir. Hava hızının sabit tutulması ile sisteme giren havanın debisi de sabit tutulmuştur. Dolayısıyla soğutma yükünü etkileyen tek değişken havanın entalpisindeki değişim miktarıdır. İncelenen durumlarda en büyük entalpi farkı dört numaralı çalışmada bulunmuştur. Sonuç olarak, soğutma yükü incelenen dört numaralı durum için en büyük değerini almıştır. Direkt evaporatif soğutma sisteminin verimi Eş. 3'te belirtildiği gibi sadece sıcaklığın bir fonksiyonudur. İkinci durumda soğutucu verimi çok düşük bulunmuştur. Bu durum için, giriş ve çıkışta kuru termometre sıcaklık farkı çok düşüktür. Dolayısıyla, soğutucu verimi de 0.19 olarak hesaplanmıştır. Dördüncü durum incelendiğinde ise giriş ve çıkışta kuru termometre sıcaklık farkı 3°C olarak ölçülmüştür. Bu sıcaklık farkının artan değerlerinde soğutucu verimi doğal olarak daha fazla hesaplanacaktır. Sonuç olarak, direkt evaporatif soğutma sistemleri kuru ve sıcak iklim koşullarında daha verimli çalışacaktır.

b) Su Debisinin Soğutucu Kapasitesine Olan Etkisinin İncelenmesi

Su debisindeki değişimin soğutucu kapasitesine etkisinin incelenmesi için farklı su debilerinde hava giriş-çıkış sıcaklıkları, su giriş sıcaklığı ve debisi ölçülmüştür. Deneylerde su debisi 50, 100, 150, 200 ve 250 l/h olacak şekilde ayarlanmıştır. Hava giriş hızı sabit ve 12 m/s olacak biçimde ayarlanmıştır. Belirlenen koşullar için ölçüm sonuçları Tablo 3'te belirtilmiştir. Bununla birlikte, su debisindeki değişimin soğutucu yüküne ve verime olan etkisi Şekil 4'te gösterilmiştir. İlk üç durum sonuçları incelendiğinde soğutma yükü yaklaşık sabit olup su debisinin artırılması ile soğutucu yükü yaklaşık 2.5 kat artmıştır. Soğutucu yükünün hesaplanmasında (Eş.1) havanın kütleli debisi sabit tutulduğu için bu fark entalpi farkının artması ile açıklanabilir. İlk üç durumda entalpi farkı yaklaşık 0.6 kJ/kg iken, son iki durumda entalpi farkı yaklaşık 1.5 kJ/kg olarak bulunmuştur. Bununla birlikte bu entalpi farkının oluşmasının temel nedeni sudan havaya olan kütle transferidir. İlk üç durumda yaklaşık 0.99 gH₂O, havaya transfer olmuşken, su debisinin artırılması ile yaklaşık 1.28 gH₂O transferi olduğu bulunmuştur.



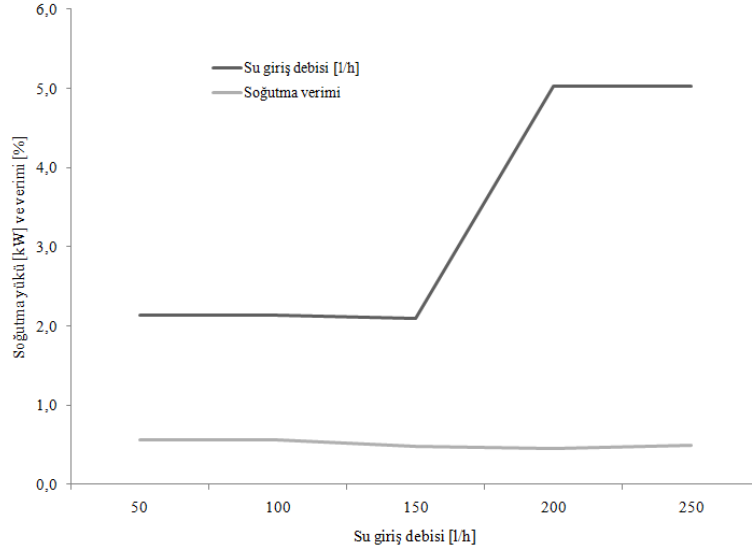
Şekil 2. İncelenen durumlar için bağıl nemin değişimi



Şekil 3. İncelenen durumlar için özgül nem miktarının değişimi

Tablo 3. Su debisindeki değişimin soğutucu yüküne etkisi

Ölçüm Sayısı	1	2	3	4	5
Hava Giriş(Kuru Hava) Sıcaklığı [°C]	20,4	20,3	20,2	20,3	20,3
Hava Giriş(Yaş Hava) Sıcaklığı [°C]	17,2	17,1	16,9	16,8	16,8
Hava Çıkış(Kuru Hava) Sıcaklığı [°C]	18,6	18,5	18,6	18,7	18,6
Hava Çıkış(Yaş Hava) Sıcaklığı [°C]	17,4	17,3	17,1	17,3	17,3
Su Giriş Sıcaklığı [°C]	17,5	17,7	17,8	17,7	17,5
Su Giriş Debisi [l/h]	50	100	150	200	250
Soğutma yükü [kW]	2,141	2,133	2,097	5,023	5,034
Soğutma verimi [-]	0,56	0,56	0,48	0,46	0,49

**Şekil 4.** Su debisindeki değişimin soğutma yüküne ve verime olan etkisi

c) Hava hızının soğutucu kapasitesine olan etkisinin incelenmesi

Hava hızındaki değişim de direkt evaporatif soğutma sistemlerinde soğutucu performansını etkileyen bir başka etkidir. Hava hızındaki değişimin soğutucu performansına olan etkisinin incelenmesi amacıyla hava giriş-çıkış yaş ve kuru termometre sıcaklıkları ve su giriş sıcaklığı ölçülmüştür. Su debisi 250 l/h ve sabit değerde iken hava giriş hızı 2.5, 5, 7.5, 10 ve 12.5 m/s olacak şekilde değiştirilerek soğutucu yükü hesaplanmıştır. Tablo 4'te hava hızı değişiminin soğutma yükü ve soğutucu performansına olan etkileri belirtilmiştir. Şekil 5'te hava hızının soğutma yüküne olan etkisi gösterilmiştir. Tablo 4'te soğutma verimleri incelendiğinde ilk durumda verim çok düşük çıkmıştır. Bunun nedeni, havanın giriş ve çıkışta kuru termometre sıcaklıkları arasındaki farkın çok az olmasından kaynaklanmaktadır. Havanın giriş ve çıkışta kuru termometre sıcaklıkları arasındaki farkı büyüdükçe soğutucu verimi de artacaktır. Buradan da bu tip cihazların sıcak ve kuru iklimlerde kullanılmasının daha verimli sonuçlar vereceği açıktır. Soğutma yükü hava hızıyla doğru orantılı olarak değişmelidir (Eş. 1–3). Havanın yoğunluğunun yaklaşık sabit ve yüzey alanının da sabit olduğu göz önüne alınırsa soğutma yükü, hava hızı ve entalpi değişimine bağlı olacaktır. Hava hızı düşük olduğu için giriş ve çıkışta entalpi farkı büyük olmuştur. Bu entalpi farkının nedeni, Şekil 6'da da gösterildiği gibi özgül nem değişimiştir. Hava soğutucu boyunca daha düşük hızda ilerleyeceği için sudan havaya olan kütle transferi de büyük olacaktır. Bu da entalpi farkına neden olacaktır.

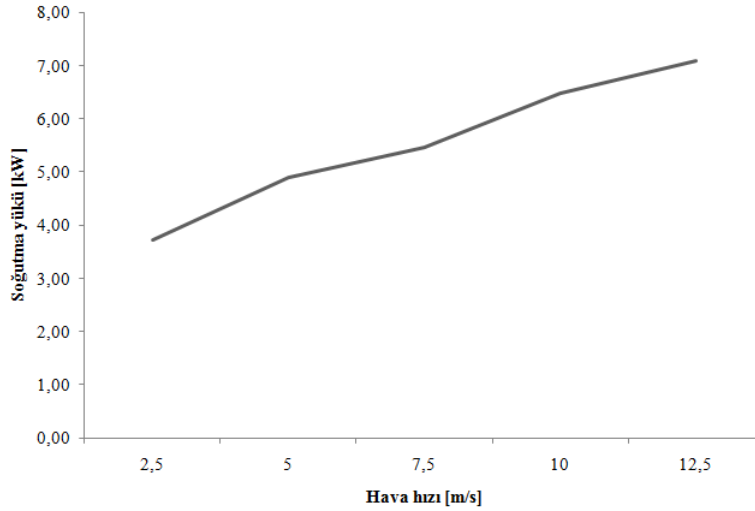
d) Direkt evaporatif soğutma sisteminin ekonomik ve çevresel karşılaştırması

Bir direkt evaporatif soğutma sistemi ile buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi aynı kapasitedeki soğutma yükü için enerji tüketimi açısından büyük farklar göstermektedir. Karşılaştırma yapılabilmesi amacı ile 18.000 Btu/h soğutma kapasitesine sahip olan bir split klima ile aynı soğutma kapasitesindeki bir direkt evaporatif soğutucu örnek durum olarak seçilmiştir. Split klimanın güç tüketimi 1.64 kW olarak katalog değerinden alınmıştır. Direkt evaporatif soğutucu ise aynı şartlarda 0.52 kW güç tüketmektedir. İlk yatırım ve bakım maliyetleri göz ardı edildiğinde ve her iki sistemin de yılda 1000 saat çalıştırılması durumunda, 0.18 TL/kWh enerji birim fiyatı için, yıllık toplam soğutma maliyeti split klima için 295.2 TL/yıl ve evaporatif soğutma sistemi için 93.6 TL/yıl olarak bulunmuştur. İki cihazın yıllık enerji tüketimi farkı çevresel etkiler yönünden de incelenmelidir. DEFRA (Department for Environment Food and Rural Affairs) 2010 yılına ait emisyon

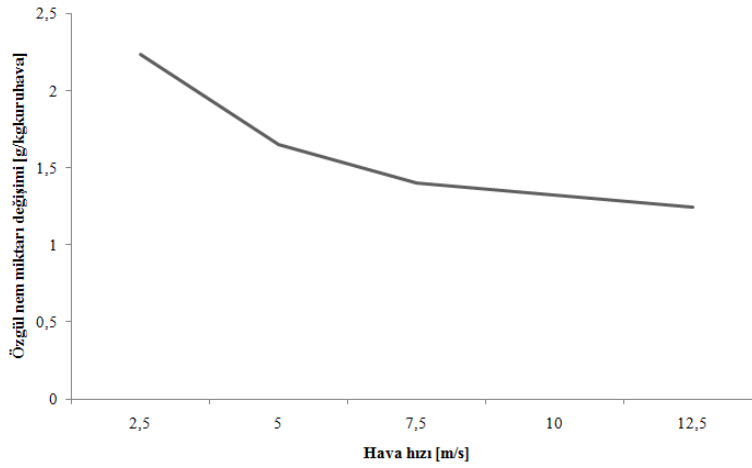
dönüşüm faktörlerini açıklamıştır [9]. Karşılaştırılan her iki cihazın yıllık enerji tüketimi farkı 1120 kWh olarak bulunmuştur. Belirtilen emisyon dönüşüm faktörleri dikkate alındığında evaporatif soğutma sistemi yıllık 440 kgCO_{2eq.} daha az salınımına neden olacaktır. Soğutma sezonunda artan elektrik talebinin yanı sıra bu talebe bağlı olan CO₂ emisyonlarındaki artış da dikkate alınır ise direkt evaporatif soğutma ile termal konforun sağlanabileceği her ortamda bu sistemlerin kullanılması ekonomik ve çevresel yönden büyük faydalar sağlayacaktır.

Tablo 4. Hava hızının soğutma yükü ve soğutucu performansına olan etkileri

Ölçüm Sayısı		1	2	3	4	5
Hava Giriş(Kuru Hava) Sıcaklığı	[°C]	18,8	18,7	18,7	18,9	19,1
Hava Giriş(Yaş Hava) Sıcaklığı	[°C]	16,5	16,4	16,3	16,3	16,3
Hava Çıkış(Kuru Hava) Sıcaklığı	[°C]	18,7	18,2	17,9	18	18,1
Hava Çıkış(Yaş Hava) Sıcaklığı	[°C]	18,3	17,6	17,2	17,1	17
Su Giriş Sıcaklığı	[°C]	17,8	17,6	17,2	17,1	17
Hava Hızı	[m/s]	2,5	5	7,5	10	12,5
Soğutma yükü	[kW]	3,71	4,88	5,47	6,48	7,09
Soğutucu verimi	[%]	4,35	21,74	33,33	34,62	35,71



Şekil 5. Hava hızının soğutma yüküne olan etkisi



Şekil 6. Hava hızının özgül nem değişimine olan etkisi

SONUÇ

Bu çalışmada bir direkt evaporatif soğutma sisteminin deneysel analizi gerçekleştirilmiştir. Deneysel analizi yapılan soğutma sisteminin; soğutma kapasitesi, soğutma verimi, su debisi ve hava hızı değişiminin soğutma kapasitesine etkileri incelenmiştir. Bununla birlikte, aynı soğutma kapasitesindeki buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminin enerji tüketimi ve çevresel etkiler yönünden karşılaştırması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; sıcak ve kuru iklim şartlarında direkt evaporatif soğutma sistemlerinin daha verimli sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Bununla birlikte, su ve hava debisinin sudan havaya olan kütle transferini direkt olarak etkilediği özgül nem değerlerinin bulunması ile gösterilmiştir. Termal konfor şartlarının sağlanması şartıyla aynı soğutma kapasitesindeki evaporatif ve buhar sıkıştırımlı soğutma sistemi için ekonomik ve çevresel yönden karşılaştırıldığında evaporatif soğutma sistemleri buhar sıkıştırımlı soğutma sistemlerine göre, işletme maliyetinin daha az olduğu ve eşdeğer CO₂ salınımı açısından daha çevreci sistemler olduğu gösterilmiştir. Bu sistemlerin kullanımının yaygınlaşması ile hem enerji verimli kullanılacak hem de küresel ısınmaya neden olan CO₂ salınımı azaltılabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Florides, G.A., Tassou, S.A., Kalogirou, S.A., Wrobel, L.C., Review of solar and low energy cooling technologies for buildings, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 6, 557–572, 2002
- [2] “ASHRAE HVAC applications handbook” Chapter 47, p 47.1-47.12. 1995
- [3] Supple, R.G., Broughton, B., Indirect evaporative cooling-mechanical cooling design, ASHRAE Trans., 91, 319–328, 1985
- [4] Rey Martinez, F.J., San José Alonso, J.F., Rahman Ali, A.A., Estudiode un recuperador Evaporativo Indirecto, in: Proceedings of the Latin-American Conference on Air Conditioning and Cooling, vol. I, Madrid, 1993.
- [5] Rey Martinez, F.J., Velasco Gómez, E., Herrero Martin, R., Martinez Gutiérrez, J., Varela Diez, F., Comparative study of two different evaporative systems: an indirect evaporative cooler and a semi-indirect ceramic evaporative cooler, Energy and Buildings, 36 696–708, 2004
- [6] 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, 2073–2079, 2009
- [7] Watt J.R., Brown W.K., “Evaporative air conditioning handbook”, Fairmont Press, 1997
- [8] El-Dessouky, H., Ettouney, H., Al-Zeefari, A., Performance analysis of two-stage evaporative coolers, Chemical Engineering Journal 102, 255–266, 2004
- [9] Internet, <http://www.defra.gov.uk/environment/business/reporting/conversion-factors.htm>.

ÖZGEÇMİŞ

Tamer ÇALIŞIR

1986'da Aichach/ALMANYA'da doğdu. Lisans eğitimini 2008'de Kırıkkale Üniversitesi'nde tamamladı, yüksek lisans eğitimine 2009'da Gazi Üniversite Makina Mühendisliği Bölümünde başladı ve çalışmalarına akışkan jetlerinin kanatçıklı yüzeyler üzerindeki ısı transferinin sayısal incelenmesi konusunda devam etmektedir. 2011 yılının başından bu yana Gazi Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

Mustafa ALPTEKİN

1987'de Bursa/ İznik'te doğdu. Lisans eğitimini 2009'da Uşak Üniversitesi'nde tamamladı. Aynı yıl içerisinde Hakkari Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Termodinamik Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2010 yılı itibariyle Gazi Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır. Ayrıca 2010-2011 yılında yüksek lisans çalışmasına başlamıştır.

Mustafa Zeki YILMAZOĞLU

1977'de Kahramanmaraş'ta doğdu. Lisans eğitimini 2002'de Karadeniz Teknik Üniversitesi'nde, yüksek lisans eğitimini 2006'da Gazi Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünde tamamladı. 2005'ten beri Gazi Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. Gazlaştırıcı kombine çevrim santralleri ve termik santrallerin yeniden performans güçlendirilmesi konusunda doktora çalışması yapmaktadır. Bina ve sanayi enerji yöneticisi sertifikalarına ve sanayi eğitim etüt proje sertifikasına sahiptir.