



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan,
teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE EVAPORATİF SOĞUTMA UYGULAMALARI

**ATACAN İDİZ
YUNUS CAN KOĐAK
FIRAT ÖZDEMİR
ÖZAY AKDEMİR
ALİ GÜNGÖR
EGE ÜNİVERSİTESİ**



İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE EVAPORATİF SOĞUTMA UYGULAMALARI

Evaporative Cooling Applications in Air Conditioning Systems

Atacan İDİZ
Yunus Can KOÇAK
Fırat ÖZDEMİR
Özay AKDEMİR
Ali GÜNGÖR

ÖZET

İklimlendirme, tanım itibari ile belirli bir ortam havasının, sıcaklık, nem, hava hızı, v.b. değerlerinin ayarlanması ile ortam koşullarının istenilen standartlara ulaştırılması işlemidir. İnsanoğlu tarihin başlangıcından bu yana gerek kendi konforu gerekse diğer ikincil ihtiyaçlarının sağlıklı bir şekilde giderilmesi için havanın şartlandırılmasına ihtiyaç duymuştur. Tıbbi ve gıda ürünleri gibi uygun şartlar altında korunmadığı takdirde hızlıca bozulacak ürünlerin saklanması gibi sistemlerin yüksek performansta çalışmasını sağlamaya kadar pek çok alanda iklimlendirme ihtiyacı vardır. İklimlendirme sistemleri uygulamalarında sistem tercihini etkileyen en önemli faktörlerden birisi de enerji verimliliğidir. Dünya genelinde enerji giderlerinin büyük bir bölümünün iklimlendirme sistemlerinde harcandığı bilinmektedir. Özellikle yaz aylarında ılıman ülkelerde soğutma işlemi için harcanan enerji toplam enerji tüketiminin oldukça büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Evaporatif soğutma sistemleri yüksek enerji verimliliği ile çalışan, kurulum ve işletme maliyetleri düşük sistemlerdir. Sistem, buharlaşma işleminin oluşturduğu soğutma etkisinden faydalanarak çalışır. Bilinen en eski iklimlendirme uygulamalarından olan evaporatif soğutma neolitik döneme kadar dayanan bir tarihe sahiptir. Bu çalışmada evaporatif soğutma sistemleri kapsamlı olarak incelenmiş, evaporatif soğutucular ile ilgili çalışmalar ve yapılan uygulamalar detaylı olarak aktarılmıştır. Farklı evaporatif soğutma uygulamalarının termodinamik analizleri gerçekleştirilerek verim tanımları verilmiş ve sistemler karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Evaporatif soğutma, İklimlendirme, Soğutma

ABSTRACT

Air conditioning is the process of delivering the desired standards of ambient conditions by setting a specific ambient air according to standard conditions such as temperature, humidity, air speed. Since the beginning of history, mankind has needed air conditioning in order to relieve its own comfort and other secondary needs in a healthy way. There are conditioning needs in many areas, from storage of items that will quickly fail if not protected under appropriate conditions, such as medical and food products, to systems that perform at high performance, such as data centers. Energy efficiency is one of the most important factors that is affecting system choice in the implementation of climate systems. It is known that a large part of the world's energy expenditure is spent on climate systems. Especially in summer, the energy consumed for cooling in temperate countries constitutes a considerable part of total energy consumption. Evaporative cooling systems are systems with high energy efficiency and low installation and operating costs. The system works by taking advantage of the cooling effect created by the evaporation process. It has a history that is dating back to the evaporative cooling neolithic turn of the oldest known climate practices. In this study, evaporative cooling systems have been extensively investigated and studies, applications related to evaporative coolers have been explained in detail. The thermodynamic analyzes of different evaporative cooling applications were performed and yield definitions were given and the systems were compared comparatively.

Key Words: Evaporative cooling, Air-conditioning, Refrigeration

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun yaşamında büyük önem arz eden sıcaklığın, nemin ve hava kalitesinin istenilen koşullarda tutulması işlemine "iklimlendirme" adı verilir. İklimlendirmede en temel amaç, ortamın hava kalitesinin ve nem oranının insan konforu ve sağlığı için optimum şartlarda muhafaza edilmesini sağlamaktır [1].



1775 yılında Glasgow Üniversitesi profesörü William Cullen eline eter sürdüğünde elinin serinlediğini görerek çalışmalara başlamış ve ilk mekanik soğutmanın temelini atmıştır. William Cullen tesadüfe dayanarak 1775 yılında emiş prensibine dayanarak buz yapma makinesi imal etmiştir [2].

1834 yılında Jacop Perkins adındaki Amerikalı mühendis Londra’da pratik buz yapma makinesi geliştirmiştir. Otuz yıl bu prensiple çalışan buz makineleri kullanıma sunulmuştur [2].

Buz ile soğutma çok zahmetli olduğundan bilim adamları mekanik bir soğutma sistemi üzerine çalışmaya başlamışlardır. 1910 yılında J. M. Larsen Şirketi tarafından ilk küçük buzdolabı yapılmıştır. Fakat termostat olmadığı için kullanımda büyük zorluklar yaşanmıştır. 1913 yılında Kelvinator ilk termostatlı dolabı imal edip satışa sunmuştur. 1930’da R-12 gazı bulunarak CFC soğutucuların temeli atılmıştır. 1935’te R-22 soğutucu akışkanı bulunarak HCFC kökenli akışkanlar geliştirilmiştir. 1989’da R-134 A ve R-123 soğutucu akışkanları bulunarak ozon tabakasına zarar vermeyen HFC kökenli akışkanlar geliştirilmiştir. 1990’lı yılların başında R-22 ve R-502 yerine kullanılmak üzere ikili ve üçlü alternatif soğutucu akışkan karışımları geliştirilmiştir. 1913 yılından itibaren soğutma teknolojisi sürekli gelişerek bugünkü ortamda yaşamın değişmez bir parçası olmuştur ve çeşitli iklimlendirme cihazları üretilerek farklı işlevlerde kullanılmıştır [2].

İklimlendirme cihazları temel olarak altı işlevden oluşmaktadır:

- Soğutma
- Isıtma
- Nemlendirme
- Nem alma
- Hava sirkülasyonu
- Hava temizleme

İklimlendirme cihazları bu temel işlemlerden yalnızca birini ya da tümünü aynı anda, gereken kapasitede ve optimum boyutlarda, ekonomik açıdan da uygun olacak şekilde imal edilir. Bu şartların sağlanmasına yönelik kapsamlı ve dikkatli bir araştırma, tasarımı yapan kişiye hem cihaz ve sistem seçimi hem de cihaz ve sistem tasarımı aşamasında büyük ölçüde yararlar sağladığı gibi, düzgün ve sorunsuz bir çalışma performansını da beraberinde getirmektedir [1].

Günümüzde yaşam standartlarının yükselmesiyle iklimlendirme cihazlarına olan talep artmıştır. Bu durum iklimlendirme sistemlerinin toplam enerji tüketimindeki payını arttırmıştır. Toplam üretilen enerjinin yaklaşık %30’u binalarda tüketilmektedir. Binalarda tüketilen enerjinin ise yaklaşık %70-90’ı ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılmaktadır. İklimlendirme cihazlarının enerji tüketimindeki payının düşürülebilmesi için enerji verimli sistemlerin kullanılması ve enerji tasarrufu yöntemlerinin uygulanması gibi tedbirler alınabilir. Bunun dışında enerji tüketimi daha az olan alternatif sistemlerin de kullanılması gerekmektedir [3]. Bu arayış içerisinde düşünülen sistemlerden birisi de enerji tüketimi az ve çevre dostu olan evaporatif (adyabatik buharlaştırıcı) soğutucular son yıllarda oldukça tercih edilmektedir.

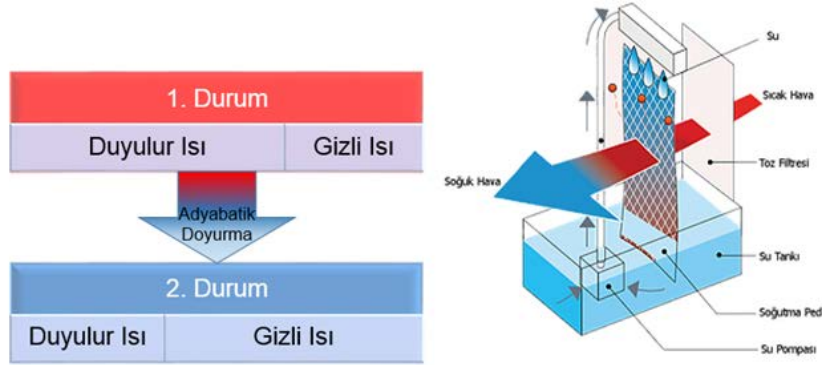
2. EVAPORATİF SOĞUTMA (BUHARLAŞTIRMALI SOĞUTMA) SİSTEMLERİ

Evaporatif soğutma sistemlerinin temel prensibi, hava akımı içine verilen suyun zamanla buharlaşmaya başlamasıdır [4]. Buharlaşma sebebiyle ortam havasının duyulur ısısı suyun buharlaşma gizli ısısına dönüşür. Ortam havasının duyulur ısısının azalması nedeniyle havanın kuru termometre sıcaklığı düşer. Bu süre zarfında, dış ortamla herhangi bir ısı alışverişi olmadığı için sistemdeki toplam ısı değişmez, sabit kalır. Kısaca bu işlem Şekil 1’de görüldüğü üzere, duyulur ısının gizli ısıya dönüştüğü adyabatik bir işlemdir [5]. İşlem, sabit entalpi meydana geldiğinden dolayı adyabatiktir [6].

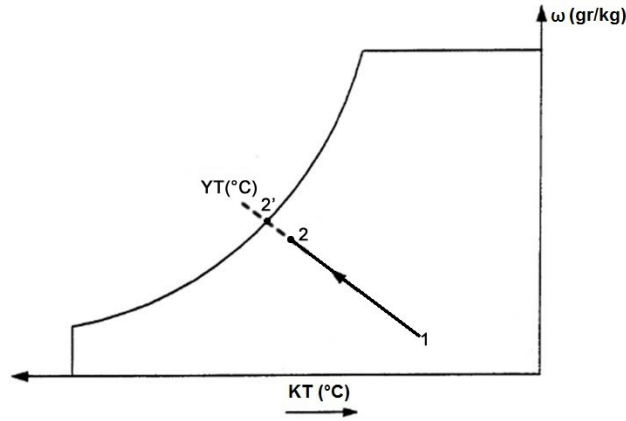
Buharlaştırıcı soğutma, insanların sıcak ortamlarda kendi rahatını sağlamak amacıyla kullandığı en eski metotlardan biridir. Buharlaşmalı soğutmanın kullanımı antik çağlara kadar dayanır. Antik Mısır’da büyük gözenekli testiler soğutma için kullanılırdı. Bu etkiyi güçlendirmek için, büyük kuş tüyleri testilerin etrafındaki havayı hareket ettirmek için kullanılırdı. Eski Mısırlılar, Yunanlılar ve Romalılar çadırlarının girişine ıslak battaniyeler asıp içeriye esen rüzgarın, suyu buharlaştırması ile mekânlarını soğutuyorlardı. Antik Pers’te saray avluları sürekli nemlendirme yoluyla havayı soğutan su jeti ile soğutulurdu. İtalya, İspanya ve Mısır’daki, kazılar bu önemli iklimlendirme tekniğinin antik çağdaki önemini göstermiştir. Bütün bu uygulamalarda, temel prensip her zaman aynıdır: Su buharlaşır ve ortamı soğutur [7,8].

Evaporatif soğutmanın psikrometrik diyagramda gösterimi Şekil 2’de verilmiştir. Sıcak ve kuru hava buharlaşmalı soğutucuya (1) halinde girer ve burada giren hava akımına su püskürtülür. İşlem sırasında suyun bir bölümü hava akımından ısı alarak buharlaşır. Proses boyunca havanın yaş termometre sıcaklığı ve entalpisi sabit kalırken,

kuru termometre sıcaklığı azalır ve nem oranı artar (2). Hava bu işlemle en çok (2') doymuş haline kadar soğutulabilir. (2') hali bu işlem ile erişebilecek en düşük sıcaklıktır. Çünkü havanın barındırabileceği maksimum su buharı miktarının olduğu noktaya (2'), yani yaş termometre sıcaklığına ulaşılmış olur.



Şekil 1. Evaporatif soğutma prensibi ve düzeneği



Şekil 2. Evaporatif soğutmanın psikrometrik diyagramda gösterilmesi

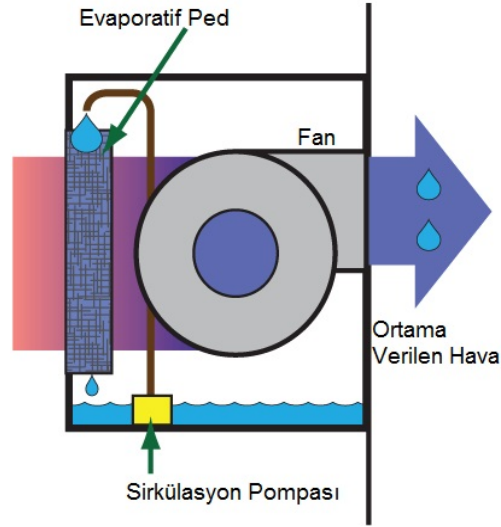
Buharlaştırılmalı soğutmaya olan ilginin artmasıyla bu sistemlerde birçok yeni tasarımlar ortaya çıkmıştır. Buharlaştırılmalı soğutma sistemleri üç ayrı sınıfta incelenebilir:

2.1. Direkt (Doğrudan) Evaporatif Soğutma (DES) Sistemleri

Direkt evaporatif soğutma sistemleri, evaporatif soğutma sistemleri arasındaki en temel soğutma sistemi olup evaporatif soğutma teorisinin en basit örneğidir.

Direkt evaporatif soğutmada, sisteme giren hava, mahale gönderilecek olan üfleme havasını da temsil eder ve hava içerisinde suyun direkt olarak buharlaştırılması vasıtasıyla soğutulur. Psikrometrik diyagramda bu durum incelenecek olursa, giren taze havanın yaş termometre sıcaklığı sabit bir değerde kalırken, (yaş termometre sıcaklık eğrisi ile entalpi eğrisi aynı eğri) hava ve su arasındaki eş zamanlı gizli ve duyulur ısı transferi gerçekleşir. Bu sebepten dolayı, kuru termometre sıcaklığında bir düşüş meydana gelirken havadaki nem oranında artış görülmektedir.

Şekil 3'te gösterildiği üzere dış ortamdan alınan hava, nemlendirme ve soğutma işlemlerini gerçekleştirecek olan evaporatif ped ile direkt olarak temas ettirilir. Daha sonra bir fan yardımı ile iklimlendirilecek ortama gönderilir. Ortamı nemli hale getirmek için pulvarizatör, hava yıkayıcısı, evaporatif pedler gibi çeşitli düzenekler kullanılabilir. Bunun dışında, buharlaşan ve hava ile birlikte ortama verilen suyun tedariki için, yani sürekli olarak nemlendirme işlemini gerçekleştirebilmek için su sürekli olarak sistemde sirküle ettirilir.

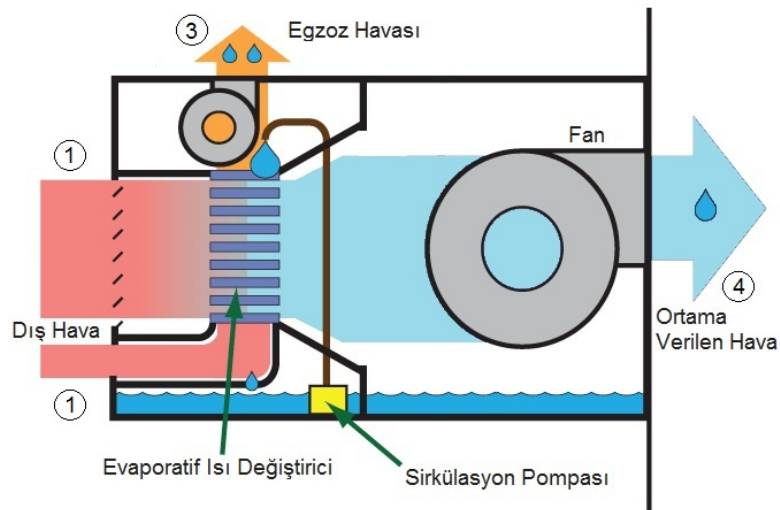


Şekil 3. Direkt evaporatif soğutmanın çalışma prensibi [9].

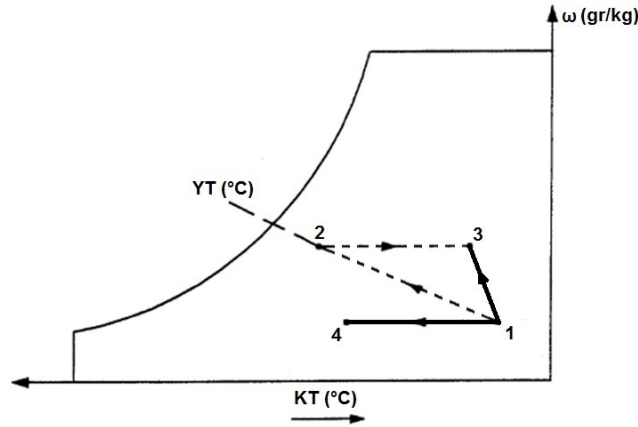
2.2. Endirekt (Dolaylı) Evaporatif Soğutma (EES) Sistemleri

Endirekt evaporatif soğutma teknolojisi, proses havası ile nemlendirilerek soğutulan hava arasındaki ısı ve kütle transferi temeline dayanır [10]. Endirekt evaporatif soğutma sistemlerinde, direkt evaporatif soğutma sistemlerine göre sistemde iki farklı hava yer almaktadır (Şekil 4). Birincil hava, dış ortamdan alınıp DES sistemindeki prensip ile soğutulup nemlendirilir. Sonraki aşamada, havadan havaya plakalı ısı değiştiricisine gönderilir ve plakalar soğumaya başlar. Bu sırada, ikincil hava da diğer taraftan evaporatif ısı değiştiricisine alınır. Birincil hava egzoz edilirken, ikincil hava duyulur olarak soğur ve bir fan yardımı ile ortama verilir.

Endirekt evaporatif soğutmanın psikrometrik diyagramda gösterimi Şekil 5'te verilmiştir. (1) hal noktası dış ortamdan alınan sıcak ve kuru havayı (birincil hava) göstermektedir. (2) hal noktası birincil havanın evaporatif ısı değiştiricide, nemlendirilerek soğutulmuş halini, (3) hal noktası ise, (2) hal noktasındaki nemli ve soğuk havanın, havadan havaya plakalı ısı değiştiricisinden geçirilip egzoz edilen halini göstermektedir. Son olarak (4) hal noktası, dışarıdan alınıp evaporatif ısı değiştiriciden geçirilerek ortama verilen, nem oranı kısmen düşük olan soğutulmuş havadır.



Şekil 4. Endirekt evaporatif soğutmanın çalışma prensibi

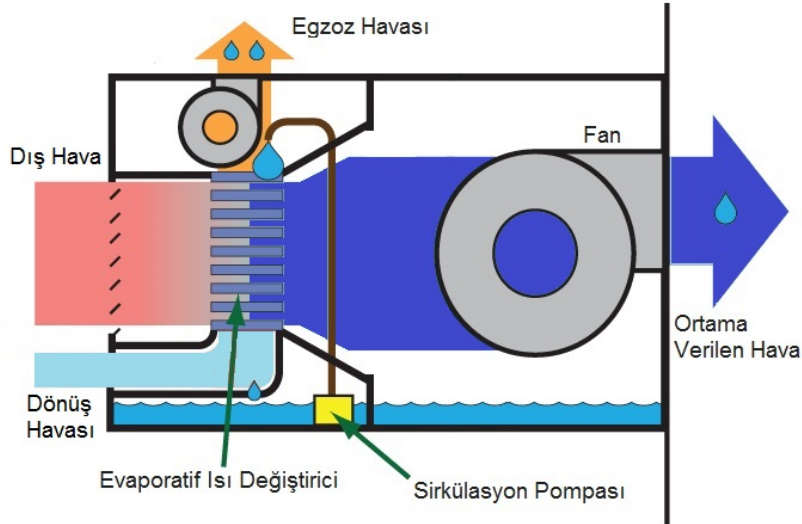


Şekil 5. Endirekt evaporatif soğutmanın psikrometrik diyagramda gösterilmesi

Endirekt evaporatif soğutma sistemlerinin tercih edilme sebebi, DES sistemlerine göre insan sağlığı ve konforu açısından daha düşük nem oranına sahip havanın ortama verilebiliyor olmasıdır. Fakat EES sistemlerinde kullanılan ısı değiştiricisinden dolayı, soğutma performansı daha düşük değerlerdedir. EES sistemlerinin soğutma performansını arttırmaya yönelik farklı çalışmalar yapılmaktadır.

2.2.1. Rejeneratif-1 Endirekt Evaporatif Soğutma Sistemleri

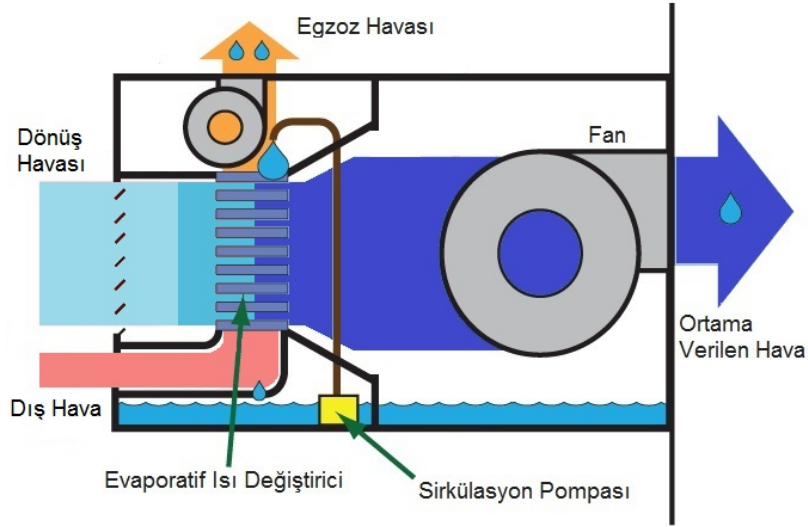
Şekil 6'da gösterildiği gibi endirekt evaporatif soğutma sistemlerinde, her zaman ikincil hava olarak taze hava kullanılmaz. Bazı koşullarda, ikincil hava olarak iklimlendirilecek olan ortamdan alınan havadan (dönüş havasından) yararlanır. Bu sistemlerde, dönüş havası nemlendirilerek soğutulur ve evaporatif ısı değiştiriciden geçirilip egzoz havası olarak atılır. Aynı zamanda, dışarıdan alınan taze hava ısı değiştiriciye gönderilerek soğutulup, bir fan yardımıyla ortama verilir. Sonuç olarak, daha iyi bir soğutma performansı elde edilebilir [11].



Şekil 6. Rejeneratif-1 EES'nin çalışma prensibi

2.2.2. Rejeneratif-2 Endirekt Evaporatif Soğutma Sistemleri

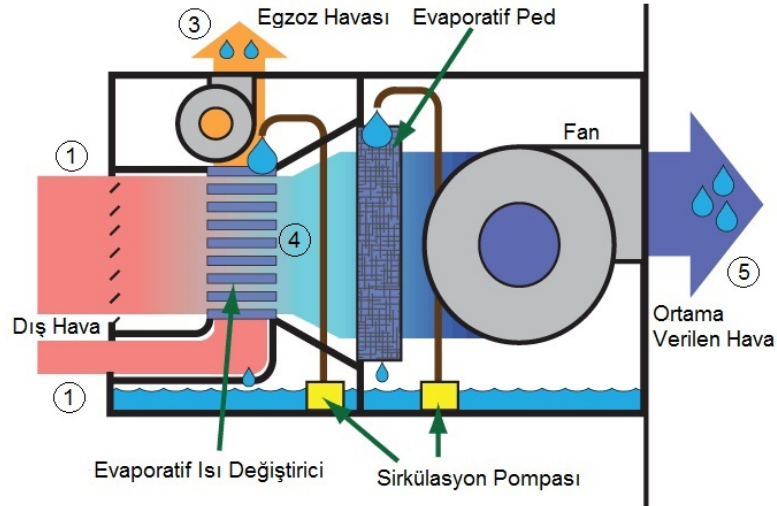
Şekil 7'de gösterilen sistemde birincil hava ortamdan alınan hava, ikincil hava dış ortamdan alınan taze havadır. Sistemin çalışma şekli, temel olarak dış havanın nemlendirilerek soğutulmasının ardından ısı değiştiriciden geçirilerek dönüş havasının soğutulması prensibine dayanır. İkincil hava egzoz havası olarak atılırken, birincil hava fan yardımı ile ortama verilir.



Şekil 7. Rejeneratif-2 EES'nin çalışma prensibi

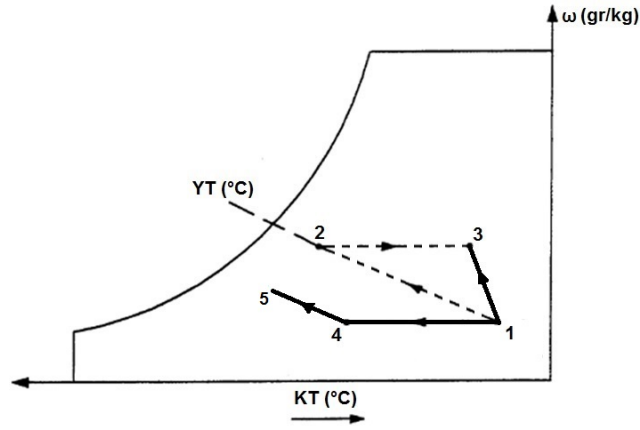
2.3. Endirekt/Direkt (İki Kademeli) Evaporatif Soğutma Sistemleri

Şekil 8'de gösterilen iki kademeli sistemlerin kullanılmasının amacı, endirekt sistemde ortama verilen havanın sıcaklığı ve nemi arasındaki optimizasyonu gerçekleştirerek, daha iyi konfor şartlarına erişebilmektir. Bu yüzden endirekt sistemlerdeki fan çıkışına direkt sistem aynen bağlanarak, havanın sıcaklığı bir miktar daha azaltılır ve nem oranı artırılır. Tek kademeli sistemler ile kıyaslandığında, kuru termometre sıcaklığında önemli ölçüde düşüş sağlanabilmektedir. Ancak ortama verilen havanın nem oranı, DES sistemlerinden verilen havanın nem oranından daha yüksek değerdedir. Bu sistem ile istenilen soğutma yükü değerlerine ulaşılabilir fakat konfor şartları açısından yüksek nem olumsuz sonuçlar yaratabileceğinden dolayı, nem oranının istenilen değerlere düşürülebilmesi için ekstra bir nem alma işleminin uygulanması gerekir [12].



Şekil 8. İki kademeli sistemlerin çalışma prensibi [9].

Sistemin çalışma prensibi, Şekil 9'da verilen psikrometrik diyagramda gösterilmiştir. (1) hal noktası dış ortamdan alınan sıcak ve kuru havayı, (2) hal noktası dışarıdan alınıp evaporatif ısı değişiricide nemlendirilerek soğutulan havayı göstermektedir. (3) hal noktası, evaporatif ısı değişiriciden egzoz edilen havayı temsil ederken, (4) hal noktası, dış ortamdan alınıp evaporatif ısı değişiriciden geçirilen, nem oranı ve sıcaklığı düşük olan havayı gösterir (DES sistemine gönderilen hava). (5) hal noktası ise, DES sisteminden çıkan ve ortama verilen nem oranı yüksek, sıcaklığı düşük olan havadır.

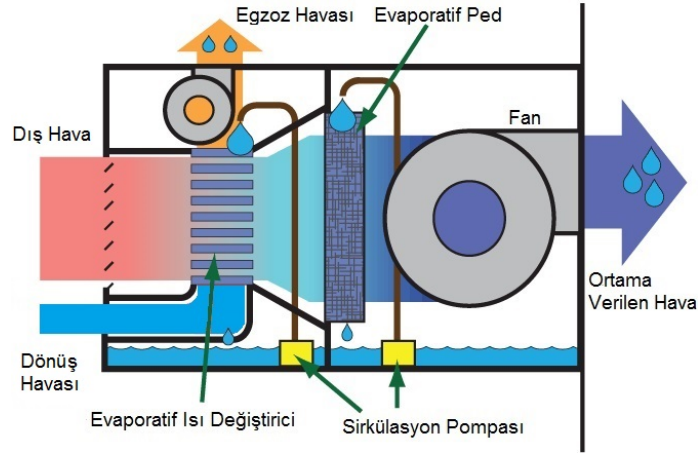


Şekil 9. İki kademeli sistemin psikrometrik diyagramda gösterilmesi

EES sistemlerinde de olduğu gibi, soğutma performansını arttırmaya yönelik olarak dönüş havasının sistemde tekrardan kullanıldığı farklı uygulamalarda mevcuttur.

2.3.1. Rejeneratif-1 Endirekt/Direkt Evaporatif Soğutma Sistemleri

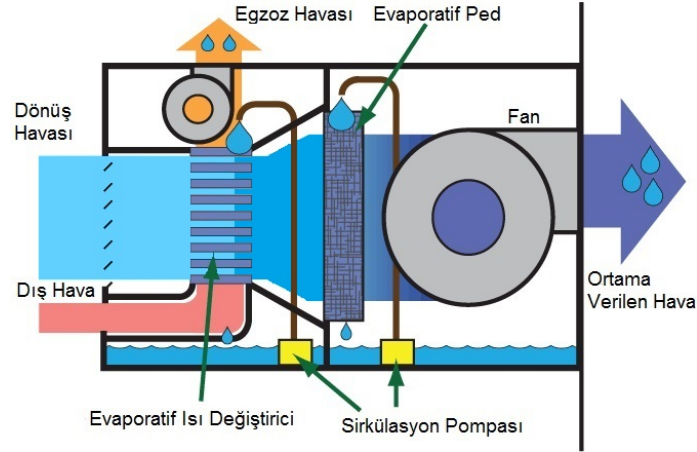
Aynı endirekt evaporatif sistemlerde olduğu gibi endirekt/direkt sistemlerde de ikincil hava olarak her zaman taze hava kullanılmaz. Şekil 10'da verilen rejeneratif-1 direkt-endirekt evaporatif soğutma sistemlerinde ikincil hava olarak taze hava yerine iklimlendirilen ortamdaki dönüş havası kullanılmaktadır. Bu sistemlerde, dönüş havası (ortamdan alınan hava) nemlendirilip soğutulur ve evaporatif ısı değiştiriciye gönderilir. Endirekt/Direkt evaporatif soğutma sistemlerinden farkı budur. Sonuç olarak, daha iyi bir soğutma performansı elde edilir [11].



Şekil 10. Rejeneratif-1 direkt-endirekt evaporatif soğutma çalışma prensibi

2.3.2. Rejeneratif-2 Endirekt/Direkt Evaporatif Soğutma Sistemleri

Şekil 11'de verilen sistemde birincil hava ortamdaki havadır. İkincil hava ise dış ortamdaki taze havadır. Sistemin çalışma şekli, temel endirekt/direkt evaporatif soğutma sistemleriyle benzerdir. Aralarındaki tek fark, sisteme giren havaların farklı özelliklerde olmasıdır.



Şekil 11. Rejeneratif-2 direkt-endirekt evaporatif soğutma çalışma prensibi

3. EVAPORATİF SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN YAPISAL ELEMANLARI

3.1. Sirkülasyon Pompası

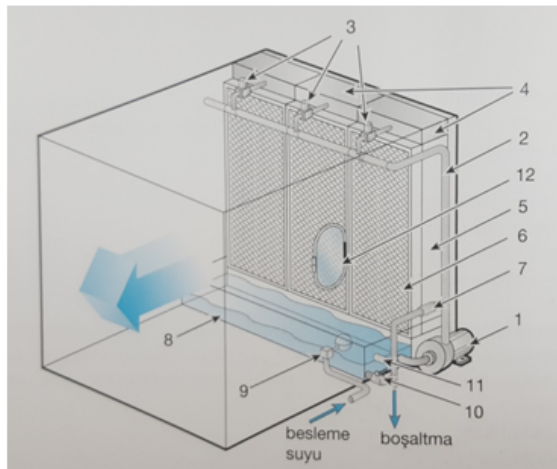
Genel olarak hat tipi (inline) olan santrifüj pompalardır ve kapalı sistemlerde su sirkülasyonu için kullanılırlar. Çoğunlukla genişleme tankı ile beraber kullanımı mevcuttur. Kullanım kolaylığına sahiptirler. Aynı eksen üzerinde olan emme ve basma flanşları ile boru hattına rahatlıkla bağlanırlar. Bakımları kolaydır. Konutsal ve endüstriyel tesislerde sıcak su, soğuk su, besleme suyu sirkülasyonlarında kullanılırlar. Islak rotorlu olan tipleri mevcuttur. Yeni çalışmalar doğrultusunda ciddi enerji verimliliği sağlayan bir pompa tipidir. Yeni tasarımlarında frekans kontrolü esastır. Bu sayede sistemdeki ihtiyaca göre sabit hız, sabit basınç ve değişken basınç değerleri için çalıştırılabilirler. Genel olarak binalarda, konutlarda, AVM'lerde HVAC sistemlerinde kullanılırlar [4].

3.2. Nemlendirici Elemanlar

Tanım olarak nemlendirme, havadaki su buharı miktarının artırılması işlemidir. Evaporatif soğutma sistemlerinde nemlendirme işlemi farklı nemlendirici elemanlar kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

3.2.1. Islak Dolgulu Nemlendiriciler

Şekil 12'de verilen ıslak dolgulu nemlendiricilerde hava, petek veya sıkıştırılmış delikli geçirgen levhadan yapılmış geniş bir yüzeyden geçerken bu levhalar tarafından soğurulmuş (absorbe edilmiş) su ile temas etmektedir. Burada dönen diskli nemlendiriciler ve hava yıkayıcılardan farklı olarak hava içine kireç ve tortu taşınmaz yani ıslak dolgu aynı zamanda filtre görevi görerek nemlendirme işleminin yanında havayı temizlemektedir. Bu nemlendiriciler için ortalama hava hızı 0,5 ile 3 m/s arasındadır [7].

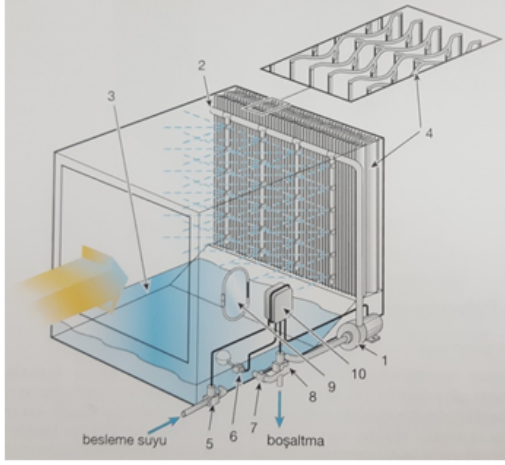


1. Sirkülasyon pompası
2. Dağıtım kolektörü
3. Kapasite kontrol selonoid valfleri
4. Su dağıtım başlıkları
5. Nemlendirici elemanlar
6. Damla tutucu
7. Otomatik seyreltme vanası
8. Toplama havuzu
9. Taşma vanası
10. Elle boşaltma musluğu
11. Şamandıra
12. Gözetleme deliği

Şekil 12. Islak dolgulu nemlendirici [7].

3.2.2. Pulverizetörlü Nemlendiriciler

Şekil 13'te verilen pulverizetörlü nemlendiricilerde, su damlaları hava akımı içine püskürtülerek doğrudan buharlaştırılmaktadır. Püskürtme işlemi çok sayıda püskürtme nozulu ile yapılır ve toplama havuzundan pompa yardımıyla alınan su nozullara gönderilir. Ayrıca damla tutucu buharlaşmamış su damlalarını tutar ve toplama havuzuna gönderir [7].



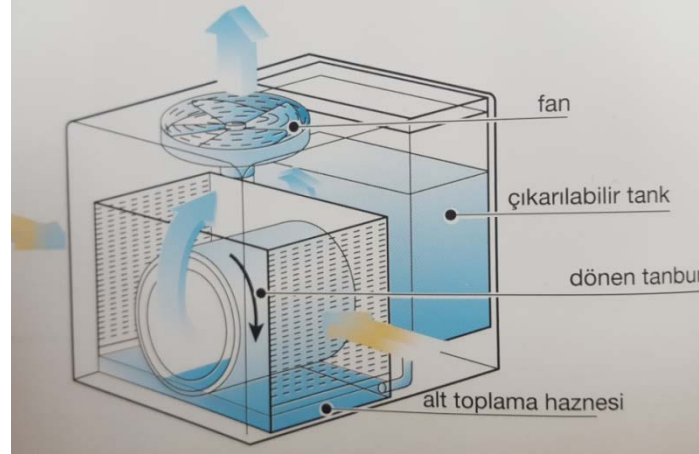
1. Sirkülasyon pompası
2. Dağıtım kolektörü
3. Kapasite kontrol selonoid valfleri
4. Su dağıtım başlıkları
5. Nemlendirici elemanlar
6. Damla tutucu
7. Otomatik seyreltme vanası
8. Toplama havuzu
9. Taşma vanası
10. Elle boşaltma musluğu

Şekil 13. Pulverizetörlü nemlendirici [7].

3.2.3. Tamburlu (Döner Diskli) Nemlendiriciler

Şekil 14'te verilen tamburlu nemlendiricilerde, köpük malzeme ile kaplı bir tambur, dönerken su dolu bir tanka daldırılır ve tambur çevresindeki dolgu ıslanır. Tambura gelen kuru hava, tamburun çevresinden merkezine doğru geçerken nemlenir ve ünitenin üstündeki menfezden dışarı çıkar. Bu cihazlar su seviyesini ve nemi gösteren ekipmanlara sahip taşınabilir ünitelerdir. Birçok yerde kullanılabilirler [7].

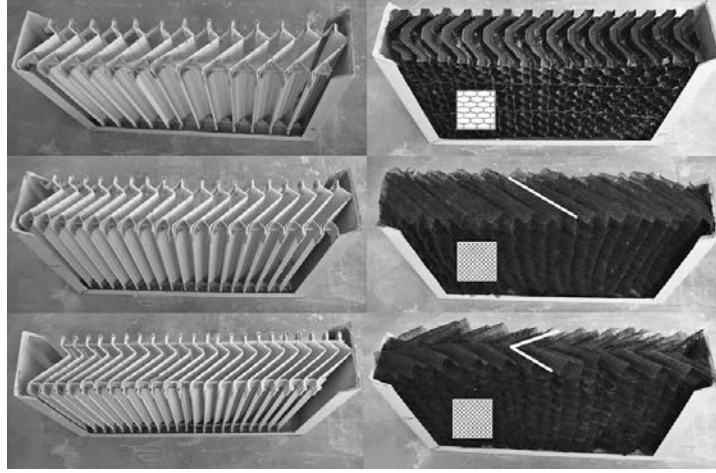
Hava debisi, en yüksek gürültü seviyesine ve ortam hacmine göre ayarlanabilir. Bu cihazlardaki su toplama tavası düzenli olarak temizlenmelidir. Dönen tamburun ömrü sınırlıdır ve işletme şartlarına bağlı olarak gerektiğinde değiştirilmelidir [7].



Şekil 14. Tamburlu nemlendirici [7].

3.3. Damla Tutucu

Püskürtülen suyun buharlaşmayan (1 m^3 havada 2 kg 'a kadar) kısmının tutulması için damla tutucu kullanılması çok önemlidir. Damla tutucular su damlalarının düz bir yol izlemesine imkan vermeyen ve hava ile su buharının içinde kolayca geçebildiği birbirine paralel özel şekillendirilmiş plakalardan oluşur (Şekil 15). Su damlası damla tutucu yüzeylerdeki tutucu yüzeyine çarptığı zaman kendi ağırlığı (yerçekimi) ile toplama havuzuna süzülür [7].



Şekil 15. Damla tutucuların farklı kanat açılı modelleri [13].

3.4. Su Tankı ve Toplama Havuzu

Evaporatif soğutma sistemlerinde su tankı ve toplama havuzu tek bir depo gibi düşünülebilir. Fakat ayrı kullanıldıkları sistemlerde mevcuttur. Su tankı, pompanın nemlendiriciye göndermek üzere su çektiği kaynaktır. Toplama havuzu ise pompa aracılığı ile nemlendiriciye gönderilen suyun, buharlaşmayan kısmının biriktiği yerdir.

Sistemdeki su deposunda bulunan suyun sürekli olarak sirküle edilmesi gerekmektedir. Çünkü durgun suda oluşan bakteriler insan sağlığı açısından tehlike arz eder. Bu yüzden su tankı ve toplama havuzunun ayrı kullanılması insan sağlığı açısından daha iyi sonuçlar vermektedir.

3.5. Fanlar

Evaporatif soğutma sistemlerinde emme ve üfleme fanı olarak iki farklı fan tipi kullanılmaktadır. Bu fanlar havanın ortamdaki emişini ya da sistemden ortama hava verilmesini sağlamaktadır. Fanların sayıları kullanılacak olan ESS'e göre farklılık gösterebilir. Evaporatif soğutma sistemlerinde, düşük enerji tüketimlerinden dolayı aksiyel (aksiyal) fanlar tercih edilir.

Aksiyel tip fanlarda basınç farkı oluşturularak meydana gelen havanın hareketi aksiyel yöndedir. Aksiyel tip fanlar pervane kanatlı tip, silindirik kanat tip ve kılavuzlu silindirik tip olmak üzere üç kısma ayrılır [14].

Pervane kanatlı tip; Alçak, orta ve yüksek basınçlı genel ısıtma, havalandırma ve klima uygulamalarında kullanılırlar.

Silindirik kanat tip; Alçak ve orta basınçlı sistemlerde ve kurutma ve boyama kabinlerinin egzozlarında kullanılırlar.

Kılavuzlu silindirik tip; Alçak statik basınçlı, büyük hava debileri için kullanılırlar [14].

3.6. Isı Geri Kazanım (IGK) Cihazları

Evaporatif soğutma sistemlerinde kullanılan ısı geri kazanım cihazlarında, egzoz havası proses havasının ısı enerjisini alır ve bu şekilde proses havasının soğutma yönünden şartlandırılmasını sağlar. Aynı zamanda filtreleme yaptığı için iç ortam havasını temizler [15]. IGK cihazları, paralel, ters ya da çapraz akışlı olabilen, havadan havaya ısı geçişi sağlayan ısı değiştiricilerdir. Kış koşullarında egzoz havasındaki ısı enerjisi, bina içine gönderilecek olan taze havaya, yaz koşullarında proses havasındaki ısı enerjisi, egzoz havasına aktarılarak geri kazanım sağlanır [16].

IGK cihazı, birbirine karışmayan sıcak ve soğuk hava kanallarından ibaret olup, şematik olarak Şekil 16'da görülmektedir. Cihazın temel bileşenleri: (1) Birden fazla sayıda plakalı ısı değiştiricinin bir araya getirilmesi ile oluşturulan ısı değiştirici grubu, (2) Egzoz ve proses hava akışlarını sağlayan iki adet radyal tipte plug-fan, (3) Hava ile birlikte taşınan katı parçacıkların engellenmesi için iki adet filtre ve (4) Hava akışına uygun şekilde tasarlanmış hava kanalları olarak sayılabilir [16].



Şekil 16. Isı geri kazanımlı havalandırma cihazı ve bileşenleri [16].

4. EVAPORATİF SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN KULLANIM ALANLARI

Evaporatif soğutma sistemleri; konfor iklimlendirmesi yanında tekstil fabrikalarında, güç santrallerinde, dökümhanelerde, fırınlarda, depolarda, otel mutfaklarında, atölyelerde konfor ve proses şartlarını iyileştirmek, verimi arttırmak amacıyla yoğun olarak kullanılırlar [2].

4.1. Konfor Şartlarına Gerek Duyulmayan Alanlar

4.1.1. Direkt ESS'nin Kullanım Alanı

- Tarım Sektöründe
- Hayvancılık Sektöründe
- Sanayide

4.1.2. Endirekt ESS'nin Kullanım Alanı

- Gaz Türbin Santrallerinde
- Jeotermal Santrallerde
- Kojenerasyon - Trijenerasyon Sistemlerinde
- Petrokimya Tesislerinde
- Sanayide (Soğutma Sistemlerinde)
 - o Hava Soğutmalı Su Soğutucularında
 - o Hava Soğutmalı Soğutma Sistemlerinde
 - o Kuru Tip Soğutucularda
 - o Hava Soğutmalı Soğuk Depolarda
 - o Özel Soğutma Sistemlerinde (Muhtelif Hava Soğutmalı Serpantinler)

4.2. Konfor Şartlarına Gerek Duyulan Alanlar

4.2.1. Direkt ESS'nin Kullanım Alanı

- Özel konum ve şartlardaki Endüstriyel Mutfaklarda
- Özel konum ve şartlardaki Endüstriyel Tesislerde

4.2.2. Endirekt ESS'nin Kullanım Alanı

- Hava Soğutmalı Su Soğutma Cihazlarında (Chiller)
- Büyük Çatı Tipi Klima Sistemlerinde

5. TERMODİNAMİK ANALİZ

Çalışma kapsamında evaporatif soğutma sistemlerin de yer alan DES, EES ve kombinasyonlu sistemlerin termodinamik hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan hesaplamalarda duyulur soğutma yükü 2 kW kabul edilmiş ve hava şartları $T_{kt}=37^{\circ}\text{C}$ ve $T_{yt}=22^{\circ}\text{C}$ olan İzmir ili için değerlendirmeler yapılmıştır. ASHRAE konfor şartlarına göre incelemeler gerçekleştirilmiştir [17].

Evaporatif soğutma sistemlerinde pompa gücü aşağıda verilen bağıntıyla hesaplanmaktadır.



$$P_{pompa} = \frac{V_{pompa} g H}{\eta_{pompa}} \quad (1)$$

Bu formülasyonda, V suyun hacimsel debisini (m^3/s), ρ suyun yoğunluğunu (kg/m^3), g yer çekimi ivmesini (m/s^2), η pompa verimini ve H basma yüksekliğini göstermektedir (mSS) [18].

Sistemlerde kullanılacak fanların güçleri aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmaktadır [18].

$$P_{fan} = \frac{m \Delta P}{\rho_{hava} T_{fan}} \quad (2)$$

Etkinlik katsayısı (COP) tanım olarak, termodinamikte ısı pompaları ve soğutma makinalarının verimini belirten performans katsayısıdır. Bu katsayı evaporatif soğutma sistemlerinde, soğutma havasından çekilen duyulur ısı yükünün enerji tüketimine oranı olarak ifade edilmektedir [19].

$$COP = \frac{Q_d}{P_{pompa} + P_{fan}} \quad (3)$$

5.1. Direkt Evaporatif Soğutma Sisteminin Termodinamik Analizi

Direkt sistemlerin buharlaşma performansı, “performans faktörü” (PF) adı verilen bir terimle simgelenir ve değeri gerçek sıcaklık düşümünün teorik sıcaklık düşümüne oranıdır.

$$PF = \frac{T_{gh} - T_{ch}}{T_{gh} - T_{gh,YTS}} \quad (4)$$

T_{gh} : Giren havanın sıcaklığı ($^{\circ}C$)

T_{ch} : Çıkan havanın (üfleme havası) sıcaklığı ($^{\circ}C$)

$T_{gh,YTS}$: Giren havanın yaş termometre sıcaklığı ($^{\circ}C$) [1].

Ele alınan sistemde $PF = \%85$ kabul edilerek termodinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar sonucunda çıkış hava koşulları $T_{kt} = 24^{\circ}C$ ve $BN = \%82$ olarak belirlenmiştir. Sistem ASHRAE konfor standardını sıcaklık yönünden sağlarken, nem açısından sağlamamaktadır.

Sistemden geçen havanın kütleli debisi aşağıdaki bağıntı kullanılarak belirlenmektedir (Q_d : Duyulur soğutma yükü, c_p : Havanın özgül ısı).

$$\dot{m} = \frac{Q_d}{c_p (T_{gh} - T_{ch})} \quad (5)$$

Soğutma kapasitesini sağlayacak havanın kütleli debisi yukarıdaki denklem kullanılarak $0,156$ kg/s olarak belirlenmiştir. Fan gücünün hesabında petekdeki basınç kaybı 40 Pa kabul edilmiştir. Bu debi değerini sağlayacak fanın gücü 8 W (Watt) olarak hesaplanmıştır. Mevcut üretilen fanların kapasiteleri dikkate alındığında uygulamada en düşük kapasiteye sahip 70 W gücündeki bir fanın kullanılması uygun görülmüştür.

Sirkülasyon pompasının gücü, sistem için gerekli su akışını sağlayacak şekilde 1 W olarak hesaplanmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda bu kadar düşük güçlerde çalışan pompaların mevcut sistemlerde kullanılmadığı görülmüştür. Bu nedenle sistemde 40 W gücünde bir sirkülasyon pompasının kullanıldığı dikkate alınmıştır. Sistemin toplam enerji tüketimi 110 W olarak hesaplanmış ve çalışma kapsamında incelenen direkt evaporatif soğutma sisteminin COP değeri $18,18$ olarak belirlenmiştir.

5.2. Endirekt Evaporatif Soğutma Sisteminin Termodinamik Analizi

Endirekt sistemdeki performans faktörü ($PF_{EÜ}$);

$$PF_{EÜ} = \frac{\dot{m} (T_{gh} - T_{gh,YTS}) PF + \Delta T}{(T_{gh} - T_{gh,YTS}) + \Delta T} = \frac{T_{gh} - T_{ch}}{T_{gh} - T_{gh,YTS}} \quad (6)$$

T_{gh} : Giren havanın sıcaklığı ($^{\circ}C$)

T_{ch} : Çıkan havanın (üfleme havası) sıcaklığı ($^{\circ}C$)

$T_{gh,YTS}$: Giren havanın yaş termometre sıcaklığı ($^{\circ}C$)

ΔT : Nemlendiriciye girmeden önceki havanın sıcaklığı ile ısı geri kazanım cihazına giren havanın sıcaklık farkı ($^{\circ}C$) [1].

Nemlendiriciye girmeden önceki hava ile IGK cihazına girmeden önceki havanın, dış hava olması durumunda aşağıdaki eşitlik geçerli olmaktadır [1].

$$PF_{EÜ} = \zeta \cdot PF \quad (7)$$

ζ : Isı geri kazanım cihazının verimi

Çalışma kapsamında IGK cihazlarının verimleri %55 olarak kabul edilmiştir. Isı geri kazanım cihazlarında basınç kayıplarının 100~250 Pa aralığında kalması önerilmektedir [20]. Bu çalışmada ısı geri kazanım cihazında 100 Pa basınç kaybı olduğu durum dikkate alınmıştır.

İncelenen sistemde $PF_{EÜ} = \%46,7$ hesaplanarak, çıkış hava koşulları $T_{kt} = 29,9^\circ\text{C}$ ve $BN = \%40$ olarak belirlenmiştir. Sistem, ASHRAE konfor standardını nem açısından sağlarken, sıcaklık yönünden sağlamamaktadır.

Sistemden geçen havanın kütleli debisi denklem 5 kullanılarak hesaplanmaktadır. Havanın kütleli debisi 0,284 kg/s olarak belirlenmiştir. Soğutma havası için gerekli debiyi sağlayacak fan ile buharlaşma peteği üzerinde hava akışını sağlayacak fanların toplam gücü 83,7 W olarak hesaplanmıştır. Sistemde 70 W gücünde iki adet fanın kullanılması durumu dikkate alındığında toplam fan gücünün 140 W olduğu belirlenmiştir.

Sirkülasyon pompasının gücü, DES sisteminde kullanılan pompanın güç değerine sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle sistemde 40 W gücünde bir sirkülasyon pompası seçilmiştir. Sistemin toplam enerji tüketimi 180 W olarak hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında incelenen endirekt evaporatif soğutma sisteminin COP değeri 11,11 olarak belirlenmiştir.

5.3. Direkt/Endirekt Evaporatif Soğutma Sisteminin Termodinamik Analizi

Direkt/Endirekt sistemler, endirekt sistemin son kısmına direkt sistemin bağlanmasıyla oluşurlar. Isı geri kazanım cihazından çıkan hava, tekrar DES ile soğutulmuş ortama gönderilir. Dolayısıyla, direkt ve endirekt evaporatif soğutma sistemlerinde yapılan termodinamik analizler, birlikte değerlendirilmektedir.

EES sisteminden çıkan havanın koşulları hesaplamalar sonucunda $T_{kt} = 29,9^\circ\text{C}$ ve $BN = \%40$ olarak bulunmuştur. Bu hava daha sonra DES sisteminde $T_{kt} = 24,5^\circ\text{C}$ ve $BN = \%66$ özelliklerine getirilerek ortama gönderileceği belirlenmiştir.

Denklem 5 kullanılarak sistemden geçen havanın kütleli debisi 0,159 kg/s olarak hesaplanmıştır. Bu debiye göre sistemdeki fanların toplam gücü 57,4 W olarak belirlenmiştir. Sistemde 70 W gücünde iki adet fanın kullanılması durumu dikkate alındığında toplam fan gücünün 140 W olduğu belirlenmiştir. Sistemde kullanılacak sirkülasyon pompalarının güçleri, DES sistemindeki pompanın gücü ile aynı değere sahiptir. Sistemde iki adet pompa kullanıldığından dolayı toplam güç 80 W olarak bulunmuştur. Bu sistemin toplam enerji tüketimi 220 W olarak hesaplanmıştır. İncelenen direkt/endirekt sistemin COP değeri 9,09 olarak belirlenmiştir.

5.4. Endirekt Evaporatif ve Soğutma Serpantinli İki Kademeli Soğutma Sisteminin Termodinamik Analizi

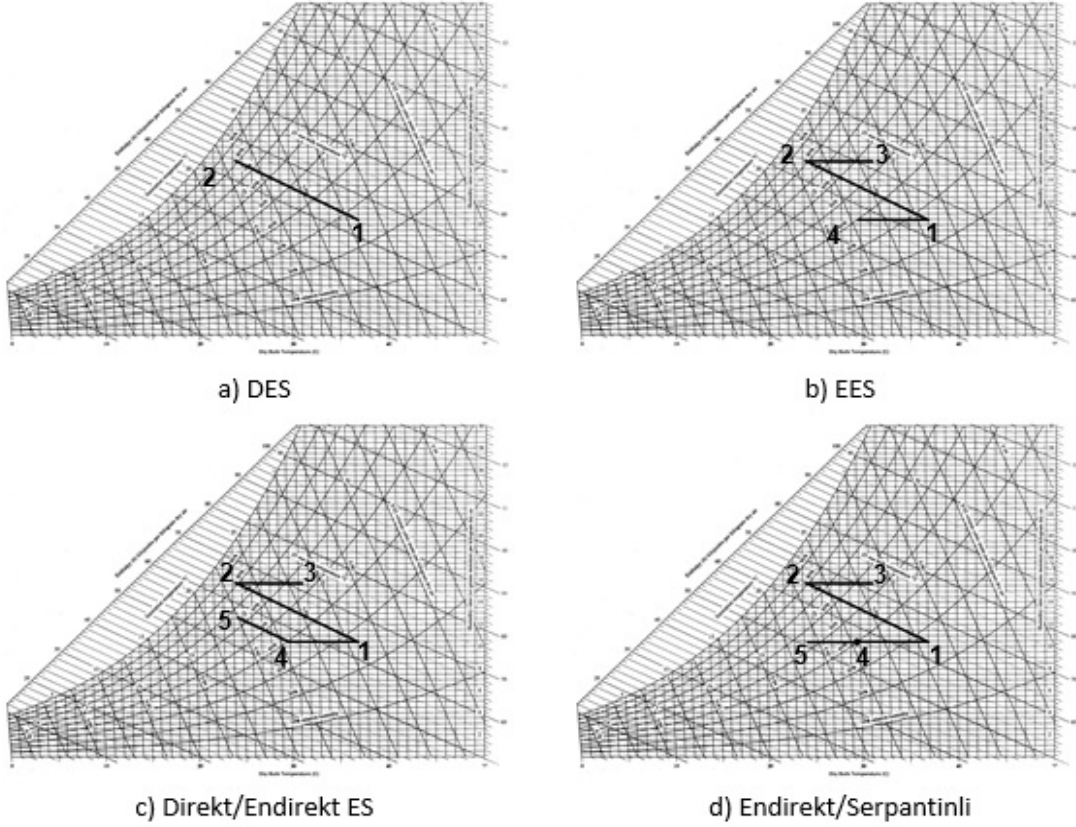
İncelenen iki kademeli soğutma sistemi endirekt evaporatif soğutma sisteminin, soğutma serpantinli sistemden önce kullanılmasıyla oluşturulur. Bu sistemde sırasıyla EES sisteminin ve soğutma serpantininin yük dağılımları 1,125 kW ve 0,875 kW olarak hesaplanmıştır. Endirekt evaporatif soğutma sisteminden çıkan hava $T_{kt} = 29,9^\circ\text{C}$ ve $BN = \%40$ özelliklerinde soğutma serpantinine girmektedir. Soğutma serpantininde $5,45^\circ\text{C}$ düşüş olacak şekilde hesaplamalar yapılmıştır. Soğutma serpantininde gerçekleştirilen soğutma işleminde yoğuşmanın olmadığı kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır. Serpantinden ortama verilen havanın koşulları, $T_{kt} = 24,55^\circ\text{C}$ ve $BN = \%52$ olarak belirlenmiştir. Bu çıkış özellikleri ASHRAE konfor standardını sıcaklık ve nem açısından sağlamaktadır. Uygulamada soğutma serpantinlerinde yoğuşma olmasından dolayı havanın mutlak nem değerinde azalma meydana gelmektedir. Bu durum konfor açısından avantaj olarak ifade edilebilir.

Sistemdeki hava debisi, direkt/endirekt sistemin debisi ile aynı olup 0,159 kg/s değerine sahiptir. Bu çalışmada soğutma makinasında 350 Pa basınç kaybı olduğu kabul edilmiştir. Birinci fanın gücü 28,7 W olarak hesaplanmıştır; fakat incelemede 70 W gücündeki bir fanın kullanılması dikkate alınmıştır. İkinci fanın gücü 92,23 W olarak belirlenmiştir, yapılan incelemede 100 W gücündeki fanın kullanılması durumu değerlendirilmiştir. Bu durumda sistemde kullanılan fanların toplam fan gücü 170 W olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, sistemde kullanılan pompanın gücü 40 W olarak hesaplanmıştır.

Soğutma serpantini için gerekli olan soğutma yükü su soğutma makinası (chiller) ile sağlanmaktadır. Sistemde kullanılan su soğutma makinasının soğutma etki katsayısı 3 olarak kabul edilmiştir. Bu durumda su soğutma makinasının çekmiş olduğu güç 291,67 W olarak hesaplanmıştır. Sistemin harcadığı toplam güç 501,67 W olarak bulunmuştur. Endirekt evaporatif ve soğutma serpantinli iki kademeli soğutma sisteminin COP değeri 3,987 olarak hesaplanmıştır.

6. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Evaporatif soğutma sistemlerinin ilk yatırım, işletme ve bakım maliyetlerinin oldukça düşük olduğu ve bu yönden sektörde yaygın bir kullanım alanına sahip oldukları bilinmektedir. Ayrıca yürütülen çalışmalarda da bu sistemlerin ihtiyaca göre farklı soğutma sistemleri ile akuple kullanılmaları halinde yüksek nemlilik gibi dezavantajlarının da giderilebildiği görülmektedir.



Şekil 17. Termodinamik analizleri yapılan sistemlerin psikrometrik diyagramda gösterimi

Bu çalışmada evaporatif soğutma sistemleri kapsamlı olarak incelenmiş, evaporatif soğutucular ile ilgili çalışmalar ve yapılan uygulamalar detaylı olarak aktarılmıştır. Farklı evaporatif soğutma uygulamalarının termodinamik analizleri gerçekleştirilerek verim tanımları verilmiş ve sistemler karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Şekil 17'de yapılan analizler sonucu elde edilen değerler psikrometrik diyagramlar üzerinde gösterilmiş, incelenen her bir sistem için ayrı ayrı sonuçlar ortaya konulmuştur. Şekil 17 (a)'da DES sisteminde gerçekleşen soğutma işleminden elde edilen sonuçlara göre, sistemin COP değeri 18,18 olarak hesaplanırken, Şekil 17 (b)'de verilen EES sisteminde bu değer 11,11 olarak hesaplanmıştır. DES sistemi soğutma performansı açısından daha iyi sonuçlar verirken, sistem çıkışında ortama verilecek havanın termodinamik özellikleri incelendiğinde bu değerlerin kapalı ortamlar için konfor şartlarını sağlamadığı görülmektedir. Ancak EES sistemi nem oranı açısından daha iyi sonuçlar vermektedir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda DES sistemlerinin açık alanların iklimlendirilmesinde uygun olduğu, EES sistemlerinin ise kapalı alanların iklimlendirilmesinde uygun olduğu görülmektedir.

Şekil 17 (c)'de verilen direkt/endirekt evaporatif soğutma sisteminin termodinamik analizi sonucunda COP değeri 9,09 olarak belirlenmiştir. Şekil 17 (d)'de verilen endirekt evaporatif ve soğutma serpantinli iki kademeli soğutma sisteminde ise COP değeri 3,987 olarak bulunmuştur. Sistemler karşılaştırıldığında; soğutma serpantinli sistemde soğutma havasının konfor şartlarını sağladığı diğer sistemde ise mutlak nemin daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak direkt/endirekt evaporatif soğutma sisteminin nem yönünden DES sistemine göre sağladığı avantaj da göz ardı edilemez niteliktedir. Ayrıca serpantinli sisteme EES entegrasyonu ile sistem COP'sinin azaldığı görülmektedir.



Bu sonuçlar değerlendirildiğinde evaporatif soğutma sistemlerinin gerek yalın kullanımlarında gerekse diğer sistemlerle entegrasyonu ile göz ardı edilemez avantajlar sunduğu görülmektedir. Ayrıca yapılan çalışmaların uygulamaya dökülmesi ve çeşitli parametre değişimleri ile sistem performansının daha da yükseltilebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] OSMA, E., “Evaporatif Soğutma Sistemlerinin Mekanik Buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Sistemleri ile Termodinamik ve Ekonomik Bakımdan Karşılaştırılması”, 2011.
- [2] BULUT, H., “Soğutma ve Klima Tekniği Ders Notları”, 2011.
- [3] BULUT, H., YENİGÜN, B., “Taşınabilir Bir Evaporatif Soğutucunun Performans Analizi”, 2013.
- [4] CUCE, P.M., RIFFAT S., “A State of The Art Review of Evaporative Cooling Systems for Building Applications”, 2015.
- [5] ESER, S., “Evaporatif Soğutmanın Havanın Psikrometrik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi”, 2015.
- [6] GENCELİ, O.F., “Buharlaştırılmalı Serinletme Özellikleri ve Uygulamaları”, 1993.
- [7] EKREN, O., TOKSOY, M., “Buharlaştırılmalı Soğutma”, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayın No:632, 2015.
- [8] ATIKOL, U., HACIŞEVKİ, H., “Lefkoşa Bölgesi İçin Evaporatif Soğutma Fizibilite Çalışması”, 2001.
- [9] ENERGY DESIGN RESOURCES e-NEWS, “Evaporative Cooling: Saving Energy in More Ways Than Ever”, 2010.
- [10] PORUMB, B., UNGURESAN P., TUTUNARU L.F., ŞERBAN, A., BALAN M., “A Review of Indirect Evaporative Cooling Operating Conditions and Performances”, 2015.
- [11] EL-REFAIE, M.F., KASEB, S., “Speculation in the Feasibility of Evaporative Cooling. Building and Environment”, 2009.
- [12] WANG, K.S., "Handbook of Air Conditioning and Refrigeration, Second Edition", McGraw-Hill, 2001.
- [13] LUCAS, M., MARTINEZ, P.J., VIEDMA, A., “Experimental Determination of Drift Loss from A Cooling Tower with Different Drift Eliminators Using The Chemical Balance Method”, 2012.
- [14] MEGEP, “Tesisat Teknolojisi ve İklimlendirme: Havalandırma Tesisat Elemanları”, 2008.
- [15] KAYA, O., "Havadan Havaya Isı Geri Kazanım Cihazları İçin TS EN 308 Standardına Göre Test Düzeneği Tasarımı", 2013.
- [16] ŞENTÜRK U., ALTIN M., AĞAR G., AKTAKKA S., TOKSOY M., "Bir Isı Geri Kazanım Cihazının Performans Karakteristiklerinin Deneysel ve Sayısal Olarak Belirlenmesi", 2015.
- [17] ASHRAE, Standard 55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, Atlanta: ASHRAE, 2010.
- [18] GÜNERHAN, H., "Akışkanlar Mekaniği Ders Notları, 6.Baskı", 2015.
- [19] ALAHMER, A., “Thermal Analysis of A Direct Evaporative Cooling System Enhancement with Desiccant Dehumidification for Vehicular Air”, 2015.
- [20] ŞAHAN, M.A., “HVAC Uygulamalarında Isı Geri Kazanımı”, 1999.
- [21] İLERİ, A., ÜNER, M., “Türkiye Şehirleri İçin Tipik İklim Verileri”, 1998.

ÖZGEÇMİŞ

Atacan İDİZ

1994 yılı İzmir doğumludur. 2012 yılında İTO Vakti Süleyman Taştekin Anadolu ve Teknik Meslek Lisesi Bilişim Teknolojileri bölümünü bitirmiştir. 2012 yılında Ege Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde başlamış olduğu lisans öğrenimine devam etmektedir.

Yunus Can KOÇAK

1993 yılı Mersin doğumludur. 2011 yılında Hacı Sabancı Anadolu Lisesini bitirmiştir. 2012 yılında Ege Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde başlamış olduğu lisans öğrenimine devam etmektedir.

Fırat ÖZDEMİR

1989 Adana doğumludur. 2013 yılında Niğde Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünü bitirmiş ve aynı yıl Şırnak Üniversitesinde Araştırma Görevlisi olarak göreve başlamıştır. 2014 Yılında Hacettepe Üniversitesi'ne ve ardından Ege Üniversitesi'ne görevlendirilmiştir. Halen Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Yüksek Lisans eğitime ve Araştırma Görevlisi görevine devam etmektedir.

**Özay AKDEMİR**

1975 yılı Ankara doğumlu, evli ve iki çocuk babasıdır. 1997 yılında Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. Yüksek Lisans eğitimini 2001 yılında Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde ve doktora eğitimini 2007 yılında Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde tamamlamıştır. 1998-2007 yılları arasında Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2007 yılından beri Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Yrd. Doç. Dr. olarak görev yapmaktadır.

Ali GÜNGÖR

1955 Elazığ doğumlu, evli ve iki kız çocuk babasıdır. Ege Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden 1977 yılında Mühendis, 1978 yılında Yüksek Mühendis ve aynı Üniversitenin Güneş Enerjisi Enstitüsü'nden 1985 yılında Doktor Mühendis derecelerini aldı. 1986 yılında Kanada'da Brace Research Institute'de altı ay araştırmalarda bulundu. 1989 yılında Isı ve Madde Transferi Bilim Dalında Doçent oldu. 1996 yılında Ege Üniversitesinde Profesör unvanını aldı. 1997-2012 yılları arasında Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Bölüm Başkanlığı yaptı ve halen aynı bölümde Termodinamik Ana Bilim Dalı Başkanlığını yapmaktadır.