T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI İKLİM BÖLGELERİNDE EVAPORATİF NEMLENDİRİCİLİ KURU SOĞUTUCULARIN PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Emre ALTAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı Proses Programı

Danışman

Prof. Dr. Derya Burcu ÖZKAN

Nisan, 2019

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI İKLİM BÖLGELERİNDE EVAPORATİF NEMLENDİRİCİLİ KURU SOĞUTUCULARIN PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Emre ALTAY tarafından hazırlanan tez çalışması çalışması 08.05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Isı Proses Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Derya Burcu ÖZKAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Derya Burcu ÖZKAN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Galip TEMİR, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Ebru MANÇUHAN, Üye
Marmara Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. Derya Burcu ÖZKAN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Farklı İklim Bölgelerinde Evaporatif Nemlendiricili Kuru Soğutucuların Performans Karşılaştırılması başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim

Emre ALTAY

İmza

Aileme

ve

biricik eşime

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her safhasında çeşitli kaynak, bilgi ve önerileriyle benden yardımlarını esirgemeyen değerli ve saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Derya Burcu Özkan'a teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince desteğini esirgemeyen Friterm A.Ş.'ye ve çok değerli çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince manevi desteklerini esirgemeyen ve hayatımdaki en büyük destekçilerim olan aileme ve eşime sevgilerimi ve en içten şükranlarımı sunarım.

Emre ALTAY

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ 9
KISALTMA LİSTESİ 10
ŞEKİL LİSTESİ 11
TABLO LİSTESİ 13
ÖZET 15
ABSTRACT 17
1 Giriş 1
1.1 Literatür Özeti 1
1.1.1 Kuru Soğutucular Üzerine Yapılan Önceki Çalışmalar 1
1.1.2 Evaporatif Nemlendiriciler Üzerine Yapılan Önceki Çalışmalar 3
1.2 Tezin Amacı 7
1.3 Hipotez 8
2 Islak/Kuru Soğutucular 9
2.1 Islak/Kuru Soğutucularda Adyabatik Soğutma Sistemleri 10
2.1.1 Doğrudan Su Spreyleme 10
2.1.2 Sisleme Sistemli Kuru Soğutucular 10
2.1.3 Ağ Üzeri Su Spreyleme 10
2.1.4 Hibrid Sistemli Kuru Soğutucu 11
2.1.5 Evaporatif Pedli Soğutma 12
2.2 Kuru Soğutucu Üretiminde Kullanılan Malzemeler 12
2.2.1 Batarya Bloğu 13
2.2.2 Kaset 13

2.2.3 Fanlar 13
2.3 Islak/Kuru Soğutucuların Tasarım ve Performans Kriterleri 14
2.4 Akışkan Özellikleri 14
2.5 Kuru Soğutucularda Donma 15
3 Evaporatif Soğutma Sistemleri 17
3.1 Pedli Evaporatif Soğutma Sistemlerinin Yapısal Elemanları 18
3.1.1 Ped Malzemesi 18
3.1.2 Ped Yüzey Alanı, Ped Kalınlığı ve Yoğunluğu 19
3.1.3 Hava Hızı 20
3.1.4 Su Akış Debisi 20
3.1.5 Su Deposu 21
4 TEORİK ANALİZ 22
4.1 Kuru Soğutucu Kapasite Hesabı 22
4.2 Farklı İklim Bölgelerinde Evaporatif Nemlendiricinin Kuru Soğutucu Kapasitesine Etkisinin Hesaplanması 24
4.3 1.Derece Gün Bölgesi Antalya İli İçin Evaporatif Nemlendiricinin Kuru Soğutucu Kapasitesine Etkisi 25
4.4 2.Derece Gün Bölgesi İstanbul İli İçin Evaporatif Nemlendiricinin Kuru Soğutucu Kapasitesine Etkisi 28
4.5 3.Derece Gün Bölgesi Ankara İli İçin Evaporatif Nemlendiricinin Kuru Soğutucu Kapasitesine Etkisi 32
4.6 4.Derece Gün Bölgesi Erzurum İli İçin Evaporatif Nemlendiricinin Kuru Soutucu Kapasitesine Etkisi 34
4.7 Farklı İklim Bölgelerinde Evaporatif Nemlendiricinin Kuru Soğutucu Kapasitesine Etkisinin İncelenmesi 37
5 DENEYSEL ÇALIŞMA 41
5.1 Deneysel Çalışmada Kullanılan Ekipmanlar 41

5.1.1 Evaporatif Pedin Verimliliğini Ölçüm Deneyinde Kullanılan Ekipmanlar... 41
5.1.2 Isı Değiştiricisi Kapasitesi ve Suyun Çıkış Sıcaklığını Ölçüm Deneyinde Kullanılan Ekipmanlar... 42
5.2 Deneysel Yöntem... 47
5.3 Deneylerin Yapılışı... 48
5.3.1 Evaporatif Pedin Verimliliğini Ölçüm Deneyinin Yapılışı... 48
5.3.2 Kuru Soğutucu Kapasitesi ve Suyun Çıkış Sıcaklığını Ölçüm Deneyinin Yapılışı... 50
5.4 Deney Sonuçları... 52
5.5 Belirsizlik Analizi... 54
5.6 Deneylerin Tekrarlanabilirliği ve Güvenirliği... 54
5.7 Teorik Model Sonuçları ile Deneyde Ölçülen Sonuçların Karşılaştırılması... 54
6 SONUÇ VE ÖNERİLER... 57
Kaynakça... 59
Tezden Üretilmiş Yayınlar... 61

SİMGE LİSTESİ

A	Isı transferi yüzey alanı (m^2)
c_p	Özgül ısı (j/kg^oC)
h	Konveksiyon ısı transfer katsayısı (W/m^2K)
k	Malzeme ısı iletim katsayısı (W/mK)
m	Havanın kütlesi (kg/s)
Q	Isı miktarı (W)
$Q_{duyulur}$	Duyulur soğutma (W)
T	Sıcaklık (^oC)
T_1	Evaporatif ped giriş sıcaklığı (^oC)
T_2	Evaporatif ped çıkış sıcaklığı (^oC)
$T_{hç}$	Hava çıkış sıcaklığı (^oC)
T_{hg}	Hava giriş sıcaklığı (^oC)
$T_{sç}$	Su çıkış sıcaklığı (^oC)
T_{sg}	Su giriş sıcaklığı (^oC)
T_{yt}	Yaş termometre sıcaklığı (^oC)
U	Toplam ısı transferi katsayısı (W/m^2K)
ΔT	Sıcaklık farkı (^oC)
ΔT_m	Logaritmik sıcaklık farkı (^oC)
η	Evaporatif ped verimi (%)

KISALTMA LİSTESİ

ÇDR	Çoklu Doğrusal Regrasyon
COPI	Isıtma Performans Katsayısı
COPS	Soğutma Performans Katsayısı
GP	Genetik Programlama
HVAC	Isıtma, Soğutma ve Havalandırma
YSA	Yapay Sinir Ağı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Yatık tip kuru soğutucu [2] 9
Şekil 2.2 Ağ üzeri su spreyleme sistemli dik tip kuru soğutucu 11
Şekil 2.3 Hibrit sistemli kuru soğutucu [14] 11
Şekil 2.4 Evaporatif pedli kuru soğutucu[14] 12
Şekil 3.1 Evaporatif buharlaşmalı soğutma[15] 17
Şekil 3.2 Evaporatif soğutma teorisi[7] 18
Şekil 3.3 Selüloz kağıttan üretilmiş ped[16] 19
Şekil 4.1 Evaporatif pedli dik tip kuru soğutucu 22
Şekil 4.2 Psikrometrik diyagramda evaporatif soğutma gösterimi 23
Şekil 4.3 Tek fanlı dik tip kuru soğutucu 24
Şekil 4.4 Antalya için aylık ortalama hava sıcaklık değerleri 27
Şekil 4.5 Antalya için normal ve evaporatif pedli kuru soğutucu soğutma kapasitesi (kW) 27
Şekil 4.6 Antalya için normal ve evaporatif pedli kuru soğutucudan çıkan suyun sıcaklığı (°C) 28
Şekil 4.7 İstanbul için aylık ortalama hava sıcaklık değerleri 30
Şekil 4.8 İstanbul için normal ve evaporatif pedli kuru soğutucu soğutma kapasitesi (kW) 30
Şekil 4.9 İstanbul için normal ve evaporatif pedli kuru soğutucudan çıkan suyun sıcaklığı (°C) 31
Şekil4.10 Ankara için aylık ortalama hava sıcaklık değerleri 33
Şekil 4.11 Ankara için normal ve evaporatif pedli kuru soğutucu soğutma kapasitesi (kW) 33
Şekil 4.12 Ankara için normal ve evaporatif pedli kuru soğutucudan çıkan suyun sıcaklığı (°C) 34
Şekil 4.13 Erzurum için aylık ortalama hava sıcaklık değerleri 36
Şekil 4.14 Erzurum için normal ve evaporatif pedli kuru soğutucu soğutma kapasitesi (kW) 36
Şekil 4.15 Erzurum için normal ve evaporatif pedli kuru soğutucudan çıkan suyun sıcaklığı (°C) 37
Şekil 4.16 Aylara göre il bazında evaporatif ped kullanılmasının kuru soğutucu soğutma kapasitesine etkisi 38
Şekil 4.17 Isıtma sezonu için derece gün bölgelerine göre evaporatif pedli ve pedsiz kuru soğutucu kapasiteleri 39

Şekil 4.18 Soğutma sezonu için derece gün bölgelerine göre evaporatif pedli ve pedsiz kuru soğutucu kapasiteleri 40
Şekil 5.1 Deneyde kullanılan tek fanlı kuru soğutucunun önden çekilen fotoğrafı 41
Şekil 5.2 Deneyde kullanılan tek fanlı kuru soğutucunun şematik gösterimi 41
Şekil 5.3 Çok fonksiyonlu ölçüm aracı 42
Şekil 5.4 Test edilen kuru soğutucu bataryası 43
Şekil 5.5 İklimlendirilmiş oda ve rüzgar tüneli laboratuvarı şematik görünüm 44
Şekil 5.6 İklimlendirilmiş oda ve rüzgar tüneli laboratuvarı 44
Şekil 5.7 Hava karışım ünitesi 45
Şekil 5.8 Hava Karıştırıcı 45
Şekil 5.9 Lüle haznesi 46
Şekil 5.10 Deney yapılan tek fanlı kuru soğutucunun ön görünüşü 48
Şekil 5.11 Deney yapılan tek fanlı kuru soğutucunun arka görünüşü (evaporatif pedin bulunduğu , havanın giriş yaptığı taraf) 48
Şekil 5.12 Havanın evaporatif pedden önce ve sonraki değerleri 49
Şekil 5.13 Havanın evaporatif pedden önce ve sonraki değerleri 49
Şekil 5.14 Deney yapılan tek fanlı kuru soğutucunun yan görünüşü (sirkülasyon pompasının , giriş ve çıkış kolektörlerinin bulunduğu taraf) 50
Şekil 5.15 Deney yapılan tek fanlı kuru soğutucunun üst görünüşü (pedi islatmak için suyun toplanıp aktığı tava) 50
Şekil 5.16 İklimlendirilmiş oda ve rüzgar tüneli genel görüşünüş-1 51
Şekil 5.17 İklimlendirilmiş oda ve rüzgar tüneli genel görüşünüş-2 51
Şekil 5.18 Test edilen isı değiştiricisi 51
Şekil 5.19 Evaporatif nemlendirici kullanılmasının kuru soğutucu soğutma kapasitesi üzerindeki artışının teorik ve deneysel olarak karşılaştırılması 55

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Antifriz oranına göre karışımın donma noktası [14] 15
Tablo 3.1 Ped malzemeleri için üretici firmalarca tavsize edilen hava hızı değerleri [17] 20
Tablo 4.1 Kuru soğutucu hesabında sabit kabul edilen değerler 25
Tablo 4.2 Antalya için aylık ortalama hava sıcaklık değerleri (°C) 25
Tablo 4.3 Antalya için aylık ortalama bağıl nem değerleri (%) 25
Tablo 4.4 Antalya için havanın evaporatif pedden geçtikten sonraki aylık ortalama hava sıcaklık değerleri (°C) 26
Tablo 4.5 Antalya için evaporatif pedli ve pedsiz kuru soğutucu soğutma kapasitesi (kW) 26
Tablo 4.6 Antalya için suyun kuru soğutucudan çıkış sıcaklığı (°C) 26
Tablo 4.7 İstanbul için aylık ortalama hava sıcaklık değerleri (°C) 29
Tablo 4.8 İstanbul için aylık ortalama bağıl nem değerleri (%) 29
Tablo 4.9 İstanbul için havanın evaporatif pedden geçtikten sonraki aylık ortalama hava sıcaklık değerleri (°C) 29
Tablo 4.10 İstanbul için evaporatif pedli ve pedsiz ürün kapasitesi (kW) 29
Tablo 4.11 İstanbul için suyun kuru soğutucudan çıkış sıcaklığı (°C) 29
Tablo 4.12 Ankara için aylık ortalama hava sıcaklık değerleri (°C) 32
Tablo 4.13 Ankara için aylık ortalama bağıl nem değerleri (%) 32
Tablo 4.14 Ankara için havanın evaporatif pedden geçtikten sonraki aylık ortalama hava sıcaklık değerleri (°C) 32
Tablo 4.15 Ankara için evaporatif pedli ve pedsiz ürün kapasitesi (kW) 32
Tablo 4.16 Ankara için suyun için suyun kuru soğutucudan çıkış sıcaklığı (°C) 32
Tablo 4.17 Erzurum için aylık ortalama hava sıcaklık değerleri (°C) 35
Tablo 4.18 Erzurum için aylık ortalama bağıl nem değerleri (%) 35
Tablo 4.19 Erzurum çin havanın evaporatif pedden geçtikten sonraki aylık ortalama hava sıcaklık değerleri (°C) 35
Tablo 4.20 Erzurum için evaporatif pedli ve pedsiz ürün kapasitesi (kW) 35
Tablo 4.21 Erzurum için suyun için suyun çıkış sıcaklığı (°C) 35
Tablo 5.1 Ölçüm aletinin belirsizliği 42
Tablo 5.2 Labaratuarda bulunan ölçüm aletlerinin ölçüm belirsizlikleri 47
Tablo 5.3 İlk deney değerleri 49

Tablo 5.4 İkinci deney değerleri 49
Tablo 5.5 Deney girişinde alinan hava ve su değerleri 52
Tablo 5.6 Havanın normal koşullardaki ve evaporatif pedden geçtikten sonraki koşullarda ölçülen deney-1 değerleri 52
Tablo 5.7 Havanın normal koşullardaki ve evaporatif pedden geçtikten sonraki koşullarda ölçülen deney-2 değerleri 53

ÖZET

Farklı İklim Bölgelerinde Evaporatif Nemlendiricili Kuru Soğutucuların Performanslarının Karşılaştırılması

Emre ALTAY

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Derya Burcu Özkan

Bu çalışmada evaporatif ped kullanımının kuru soğutucu kapasitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Türkiye'nin dört farklı derece gün iklim bölgesinden İstanbul, Ankara, Antalya ve Erzurum illeri seçilerek evaporatif pedsiz kuru soğutucudan ve evaporatif pedli kuru soğutucudan elde edilen kapasiteler hesaplanarak karşılaştırma yapılmıştır. Belirtilen iller için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan saatlik sıcaklık ve nem değerleri aylık ortalama değerlere çevrilerek teorik analiz yapılmıştır. Kuru soğutucunun farklı hava şartlarındaki kapasite hesabı yapılırken hava debisi, akışkan giriş sıcaklığı ve akışkan debisi sabit kabul edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda hemen hemen her ilde her ay evaporatif ped kullanılmasının kapasiteye olumlu etki sağladığı görülmüştür. Özellikle Türkiye'de soğutma sezonu olan, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında dört il için de evaporatif ped kullanılması kapasiteyi %20 ve üzerinde arttırmıştır. Antalya (1.bölge) için yıl boyunca evaporatif ped kullanıldığında kapasite evaporatif pedsiz kuru soğutucuya göre ortalama %20,4 artmaktadır . Bu değer İstanbul (2.Bölge) için %19,4, Ankara(3.Bölge) için %17,2 ve Erzurum (4.bölge)

için %11,1'dir. Antalya ili (1.bölge) için evaporatif pedli kuru soğutucu kullanılması diğer illere göre daha etkili olduğu görülmüştür.

Deneysel çalışmada tek fanlı bir kuru soğutucuda havanın girişinde yerleştirilen evaporatif pedin soğutma kapasitesine etkisi çalışılmıştır. Çalışmada havanın kuru termometre sıcaklığı ve bağıl nemi ile evaporatif pedden çıkan havanın kuru termometre sıcaklığı ve bağıl nemi ölçülmüştür. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, evaporatif ped sayesinde kuru soğutucu soğutma kapasitesinin %69,72 arttığı, suyun çıkış sıcaklığının %9,08 azaldığı ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kuru Soğutucu, Evaporatif Ped, Evaporatif Soğutma, Farklı İklim Bölgeleri

ABSTRACT

Performance Comparison for Evaporative Dry Coolers in Different Climate Regions

Emre ALTAY

Department of Mechanical Engineering

MSc Thesis

Advisor: Prof. Dr. Derya Burcu ÖZKAN

In this study, the effect of evaporative pad usage on dry cooling capacity was investigated. Dry cooler capacities with and without evaporative ped were compared for the cities of Istanbul, Ankara, Antalya and Erzurum from 4 different climatic regions of Turkey. Hourly temperature and humidity values obtained from Turkish Meteorological General Directorate for specified proviences are calculated by converting them to the monthly average values.Fluid inlet temperature and flow rate are considered as constant while the calculation of the dry cooler capacities in different weather conditions. Using evaporative pad has a positive effect on capacity in almost every province every month. Especially in cooling season , in June, July, August and September, evaporative pads for four provinces increased the capacity by 20% or more. During the year using evaporative pad dry cooler for Antalya (1st region) increased the capacity by 20,4% on average . This value is 19.4% for İstanbul (2nd region), 17.2% for Ankara (3rd region) , and 11.1% for Erzurum (4th region). The use of evaporative pad dry cooler for Antalya province (1st region) was found to be more effective than other provinces.

In the experimental study, the values of the air after passing through the evaporative pad were measured using a single fan dry cooler. In this study, the dry bulb temperature and relative humidity of the air exiting the evaporative pad were measured and normal air temperature and relative humidity were measured. As a result of the experiment, it was found that the product capacity increased by 69.72% and the outlet temperature of water decreased by 9.08% thanks to evaporative pad.

Key Words: Dry cooler, Evaporative Ped, Evaporative Cooling, Different Climatic Regions.

1
Giriş

1.1 Literatür Özeti

Kuru soğutucular temelde fan ve batarya bloğundan meydana gelen ünitelerdir. Fanlar vasıtasıyla içerisinde su dolaşan batarya üzerinden hava geçirilir. Batarya bloğundan geçmekte olan su enerjisini hava üzerine bırakarak soğur. Kuru soğutucular plastik sektörü, veri merkezi soğutma sistemleri, enerji tesisleri gibi çok geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Su soğutma grupları ile entegre olarak da kuru soğutucular kullanılmaktadır. Hava sıcaklığının ihtiyaç duyulan su sıcaklığından düşük olduğu dönemlerde mekanik soğutmalı su soğutma grubu ile birlikte entegre olarak kullanılmaktadırlar. Yıl boyunca belli dönemlerde kuru soğutucu + soğutma grubu, hava sıcaklığının daha düşük olduğu dönemlerde ise sadece kuru soğutucu ile sistemde ilave enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

Evaporatif ped kullanımı özellikle havanın sıcak ve kuru olduğu bölgelerde kuru soğutucu kapasitesine olumlu etki yapmaktadır. Evaporatif ped kullanımı Türkiye'de Akdeniz ve Güneydoğu bölgelerinde özellikle yaz aylarında kuru soğutucu kapasitesini yüksek oranlarda arttırmaktadır. Literatürde kuru soğutucular üzerine veya evaporatif soğutma üzerine bir çok çalışma olmasına rağmen evaporatif nemlendiricili kuru soğutucu üzerine sınırlı çalışma bulunmaktadır.

Yapılan literatür çalışmaları, kuru soğutucular üzerine yapılan çalışmalar ve evaporatif nemlendiriciler üzerine yapılan çalışmalar olmak üzere 2 bölümde toplanmıştır.

1.1.1 Kuru Soğutucular Üzerine Yapılan Önceki Çalışmalar

Kök, ''Kuru Soğutucu Kullanımının Enerji Verimliliği Açısından İncelenmesi '' başlıklı çalışmasında yıl boyu soğutma suyu kullanılan ve mevcut bir hava soğutmalı chiller sistemi olan tesis için gerekli soğutma kapasitesini karşılayacak bir kuru soğutucu seçimi yaparak sağlanacak enerji tasarrufu hesaplamıştır.

Hesaplamalar İstanbul ve Konya illeri için ayrıntılı olarak yapılmıştır. Hesaplama yapılırken bu şehirlere ait literatürde bulunan bin dataları kullanılmıştır. Suyun kuru soğutucudan çıkış sıcaklığı, yaklaşık olarak hava giriş sıcaklığı ile suyun kuru soğutucuya giriş sıcaklığının ortalaması olarak kabul edilerek kuru soğutucunun harcayacağı güç hesaplanmıştır. Dış hava sıcaklığı soğutma suyu dönüş sıcaklığının 2°C altına düştüğünde kısmi doğal soğutma, 10°C altına düştüğünde ise %100 doğal soğutma yapılacak şekilde şehirlerin sıcaklık değerlerinin yıllık tekrarlanma sıklığı kullanılarak tesisin çalışma süresine göre enerji maliyetleri hesaplanmıştır [1].

Acül, '' Kuru Soğutuculu Doğal Soğutma Uygulamaları ile İklimlendirme Sistemlerinde Enerji Verimliliği'' başlıklı çalışmasında dış ortam sıcaklılarının istenen soğutma suyu sıcaklılarının altına düşmesi ile birlikte soğutma grubu sistemine kuru soğutucu sistemi ilave edilerek sağlanan enerji tasarrufu hesabını yapmıştır. Çalışmasında kuru soğutucular için malzeme, performans, enerji kullanımı ve konstrüktif özellikler hakkında da bilgi vermiştir. Ülkemizdeki şehirlere ait bin verileri kullanılarak doğal soğutma ile enerji verimliliğin ne oranda arttırılabileceği hesaplanmıştır . Hesaplar Ankara şehri için detaylı biçimde yapılmıştır [2].

Angelis vd., yapmış olduğu çalışmada bir fabrika için bir su dolaylı serbest soğutma işletim prosedürü kullanarak, ofis blokları soğutma gereksinimlerinde elde edilen enerji tasarrufunu araştırmışlardır. Kuru soğutucularla donatılmış HVAC tesisinin, soğutma ekipmanı kondansatörlerinin soğutucusu olarak çalıştığı ya da tıpkı fanlı serpantinlere su sağlayan soğutucu gibi olduğu varsayılmıştır. Daha fazla güneş radyasyonu olduğu için, daha fazla soğutma gücü gereklidir, kuru soğutucular, yerleşik fotovoltaik paneller ile donatılmış olarak kabul edilmiştir. Ofis bloğunun soğutma yükleri, farklı iklim koşulları için Energyplus saatlik zaman dilimi simülasyonları ile değerlendirilmiştir. Farklı iklimlerde kuru soğutucuların elektrik tüketimi ve PV panelleri tarafından üretilen enerji değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak merkezi ve güney şehirlerin tipik iklim koşulları referans alınarak gerçekleştirilen simülasyonlar, bu yerler için de elektrik enerjisi tasarrufu açısından iyi sonuçların elde edilebileceğini göstermişlerdir. Kuru

Soğutucu sistemlerin ve fotovoltaik tesislerin kombinasyonu sayesinde yenilenemeyen kaynakların tasarrufunu sağladığını göstermişlerdir [3].

Angelis vd., yapmış oldukları çalışmada, alışveriş merkezi binalarına hizmet veren soğutma tesislerinde kuru soğutucuların kullanılması ile elde edilebilecek olası enerji tasarrufunu araştırmışlardır. Bu binalarda insan yoğunluğu, aydınlatma, elektrikli cihazlar, koridorlarda bulunan büyük tavan pencerelerinden güneş ışınlarının girmesi gibi nedenlerle ısı kazançları oldukça fazladır. Bu nedenle bu binaların bazı bölgelerinin geçiş mevsimlerinde ve kış aylarında da soğutulması gerekmektedir. Yapmış oldukları çalışmada alışveriş merkezi için bir su dolaylı serbest soğutma sistemi geleneksel bir soğutma ekipmanına entegre edildiğinde elde dilen enerji tasarrufunu incelemişlerdir. Dış hava koşullarına bağlı olarak kuru soğutucular suyu soğutmak için alternatif olarak kullanılabilirler bu sayede sağlanan su fancoillere gönderilerek dolaylı bir şekilde serbest soğutma elde edilir, bu durum da chiller cihazını kapatmaya olanak sağlar. Farklı lokasyonlarda enerji simülasyonları ile elektrik enerjisi tasarrufu incelenmiştir. Simülasyon sonuçları, geleneksel bir tesis ile kuru soğutucu ile donatılmış bir tesis arasında bir karşılaştırma yapılmasına izin vermiştir [4].

1.1.2 Evaporatif Nemlendiriciler Üzerine Yapılan Önceki Çalışmalar

Kara, '' Evaporatif Kondenser Tasarımı, İmalatı ve Deneysel Olarak İncelenmesi '' başlıklı çalışmasında deney verileri esas alınarak sistemin soğutma (COPS) ve ısıtma (COPI) performans katsayısı hesaplanmıştır. Mekanik soğutma sisteminin çalışma prensipleri anlatılarak sistem elemanları olan kompresörler, genleşme valfleri, evaporatörler ve kondenserler hakkında bilgi verilmiştir . Hava soğutmalı kondenser ve evaporatif kondenser için mekanik soğutma sistemi hesabı anlatılmıştır. Deney sistemi ve kullanılan cihazlar tanıtılmıştır. Amaca yönelik evaporatif kondenser tasarlanarak, sistem hem hava soğutmalı, hem de evaporatif soğutmalı çalıştırılarak deneyler gerçekleştirilmiştir . Evaporatif kondenserli soğutma sistemlerinin daha etkin bir soğutma sağladığı görülmüştür [5].

Yıldız, ''Soğutma Sistemlerinde Soğutma Kapasitesinin Adyabatik Nemlendirme Yöntemi Kullanılarak İyileştirilmesi'' isimli çalışmasında soğutma sistemlerinde

enerji verimliliğinin arttırılabilmesi ve aynı zamanda soğutma kapasitesinin arttırılabilmesi amacıyla soğutma sistemleri ile entegre çalışabilecek bir adyabatik nemlendirme sisteminin kullanımını teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. İdeal buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi, gerçek buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi, buhar sıkıştırmalı soğutma sistemi elemanları, evaporatif soğutma sistemleri anlatılmıştır. Çalışma İstanbul ili için yapılmıştır. Deney ve ölçüm sistemleri anlatılmıştır. Deneysel çalışmalar farklı nozül çaplarında gerçekleştirilmiştir. Nozul çaplarının büyümesine bağlı olarak ciddi enerji verimliliği sağlandığı değerlendirme sonuçlarında ortaya konulmuştur. Çalışma sonucunda COP değerinin nozul çapının büyümesine bağlı olarak arttığı görülmektedir. Bu veriler adyabatik nemlendirme yönteminin kullanıldığı buhar sıkıştırmalı bir soğutma sisteminde daha az enerji harcayarak daha fazla soğutma performansı sağlanabileceğini göstermiştir [6].

Akdeniz ve Osma, ''Evaporatif Soğutmanın Çorlu İçin Kullanılabilirliği'' adlı çalışmasında evaporatif soğutmanın mekanik soğutma ile entegre olduğu bir sistemde Çorlu için enerji tasarrufunu incelemişlerdir. Çalışmada bir toplantı salonu için gerekli soğutma kapasitesi hesaplanarak evaporatif soğutmayla yapılan enerji tasarrufu mekanik sıkıştırmalı soğutma sistemiyle karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, dış hava özgül nem değerinin, üfleme havası özgül neminden yüksek olduğu günlerin %87 mertebesinde olduğu Çorlu için evaporatif soğutmanın enerji tasarrufu sağlayan bir sistem olmadığı açıklanmıştır [7].

İdiz vd.,''İklimlendirme Sistemlerinde Evaporatif Soğutma Uygulamaları'' başlıklı çalışmasında evaporatif soğutmayı açıklayarak türlerini anlatmışlardır. Evaporatif soğutma sisteminde bulunan elemanlar anlatılmıştır. Evaporatif soğutma kullanım alanlarından bahsetmişlerdir. Direkt evaporatif soğutma, Endirekt evaporatif soğutma, Endirekt/Direkt evaporatif soğutma ve Endirekt evaporatif ve soğutma serpantinli iki kademeli soğutma sisteminin termodinamik analizlerini yaparak COP değerlerini hesaplamış ve karşılaştırma yapmışlardır. Yapılan çalışma neticesinde evaporatif soğutma sistemlerinin gerek yalın kullanımlarında gerekse diğer sistemlerle entegre çalışmasında ciddi derecede avantajlar sunduğu görülmektedir [8].

Eser, ''Evaporatif Soğutmanın Havanın Psikometrik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi '' başlıklı çalışmasında evaporatif soğutma sistemi açıklanmış, hesapları anlatılmıştır. Evaporatif soğutma yapısal elemanları hakkında bilgi verilmiştir. Evaporatif Soğutma sistemi tasarlanarak deneysel analiz yapılmıştır. Tasarlanan sistem psikrometrik olarak analiz edilmiştir. Deney sisteminde ortam iç havası tekrar kullanılmıştır. Mahalin negatif ve pozitif basınçlı evaporatif soğutmaya karşı sıcaklık değişimleri ve soğutma etkinliği gözlenmiştir . Havadan çekilen duyulur ısı, havaya verilen gizli ısı, coolped etkinliği deneysel sistem için analiz edilmiştir [9].

Koç, ''Çukurova Koşullarında Selüloz Esaslı Evaporatif Serinletme Pedinin Farkı Su Akış Debilerinde Bazı Performans Değerlerinin(Serinletme Etkinliği, Sıcaklık Düşmesi ve Buharlaştırılan Su Miktarı) Değişimi'' başlıklı çalışmasında evaporatif soğutma sistemi açıklanmış, yapısal elemanları hakkında bilgi verilmiştir. Yapılan deney düzeneğinde havanın pedden geçiş hızı sabit tutularak farklı debilerde su geçirilmiştir. Bölgede evaporatif serinletme sistemlerinin Haziran- Eylül arası dönemde çalıştırılmaktadır. Deneyler bu peryotlar için yapılmıştır. Deneyler farklı günlerde ve farklı dış ortam koşullarında yapıldığı için ped ıslatma suyu akış debisi ile ped çıkışında ulaşılan havanın doyma düzeyi hakkında net bir yorum yapılamamıştır. Çalışma sonucunda bölge koşullarında ve seçilen su akış debilerinde ele alınan ped ile 3...10 ° C arasında değişen sıcaklık düşmeleri sağlanabileceği sonucuna varılmıştır [10].

Irmak, '' Selüloz Esaslı Bir Evaporatif Serinletme Pedinde Havanın Pedden Geçiş Hızı ile Havanın Doyma Düzeyi ve Buharlaştırılan Su Miktarı Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi'' başlıklı çalışmasında Çukurova bölgesinde selüloz malzemesinden üretilmiş ped kullanarak farklı hava hızlarında havanın neme doyma seviyesi ve buharlaşan su arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Yapılan deneylerde havanın pedden geçme hızı olarak 0,5 m/s; 1,0 m/s ve 1,5 m/s değerleri seçilmiştir. Su sirkülasyon sisteminde akış debisi üretici firma tavsiyesi göz önüne alınarak 4 L/dak olarak sabit tutularak çalışma yapılmıştır. Temmuz ayı içinde üç defa yapılan deney sonucunda ; havanın pedden geçme hızındaki artışa bağlı olarak birim ped yüzeyinden birim zamanda buharlaşan su miktarında artış

olmuş fakat havanın doyma seviyesi azalmıştır. Doyma seviyesi en az 1,5 m/s hızda beklenirken 0,5 m/s hızında olduğu görülmüştür. Bunun nedeni olarak da farklı hava hızlarında pedden geçen havanın akış karakterinin farklı olmasıdır. Başka bir ifadeyle bu durum 1,5 m/s ve 1,0 m/s hızlarında havanın pedden geçişteki akışının türbülanslı, 0,5 m/s hızında ise akışın laminer karakterli olması ile açıklanabilir [11].

Sohani vd. yapmış oldukları çalışmada bir selüloz malzemeden üretilmiş evaporatif soğutma pedi sisteminin performans özelliklerinin davranış modelini açıklamak için hesaplama ve istatistiksel araçların geliştirilmesi üzerinde çalışmışlardır. Besleme havası sıcaklığı ve ped basınç düşüşünü tahmin etmek için yapay sinir ağı (YSA), genetik programlama (GP) ve çoklu doğrusal regresyon (ÇDR) olmak üzere üç hesaplama ve istatistiksel araç kullanmışlardır . Elde edilen modellerin tahmin yetenekleri analiz edilmiş ve analitik modeller ile karşılaştırılmış ve kapsamlı bir hata analizi yapılmıştır. Çoklu doğrusal regresyon ve yapay sinir ağı modellerinin sırasıyla besleme havası sıcaklığını ve ped basınç düşüşünü tahmin etmek için diğer yaklaşımlardan daha iyi performans gösterdiği bulunmuştur. Giriş hava koşullarının ve ped özelliklerinin dokuz farklı sistem performans parametresine etkileri termal konfor endeksleri gibi kapsamlı olarak incelenmiştir. Ped kalınlığı ve temas alanı için en iyi değerlerin termal konfor şartlarını sağlayan minimum değerler olduğu bulunmuştur. Çok sıcak ve kuru hava koşullarında soğutulmuş havanın bir kısmının yeniden sirkülasyonu ile doğrudan evaporatif soğutma sisteminin kullanılması araştırılmış ve geleneksel sistemlere alternatif olarak önerilmiştir. [12]

Chopra ve Kumar, yapmış oldukları çalışmada farklı soğutma pedi materyallerinin kullanımını incelemişlerdir. Buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimleri ve klima sistemlerinde kloroflorokarbonlar (CFC) ve hidroflorokarbonlar (HFC) gazların kullanılması ozon tabakasının incelmesine sebep olmasına rağmen , buharlaşmalı soğutmanın faydasını azaltır. Bu sebeple birçok üretici farklı şekilli evaporatif soğutucular ve farklı tipte ped malzemeleri geliştirmeye çalışmaktadır. Yapmış oldukları çalışmalarında günümüzde kullanılan diktörtgen şekilli evaporatif soğutucu yerine dairesel formu yeni evaporatif soğutucu tasarlamışlardır. Soğutma

pedi malzemesi olarak Khus kullanılarak dikdörtgen şekilli soğutucu ve yeni tasarlanmış yarı dairesel şekilli soğutucu arasındaki karşılaştırma, sıcaklık düşüşü, nem artışı ve soğutma verimliliği açısından yapılmıştır. Yarı dairesel şekilli evaporatif soğutucuda su kullanımının artmasıyla buhar hattı modeli nedeniyle daha fazla hacimde hava temas eder. Bu da daha az soğutma pedi malzemesi gerektirir ve soğutma pedini kompakt hale gelir, böylece kurulum için daha az yer gerektirir. Yuvarlak şekilli evaporatif soğutucuda Celdek, Khus, Hindistan Cevizi ve Bambu lifi gibi malzemelerin performansının yanı sıra normal su ve soğutulmuş su kullanılarak sıcaklık düşüşü, nem artışı ve soğutma verimi şartları analiz edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada Bhopal'ın iklimine göre insan konforu için en iyi ped malzemesinin analizi yapılmıştır. İnsan konforuna göre en iyi ped malzemesi Celdek'tir ve onu sırasıyla Hindistan cevizi, Bambu Lifi ve Khus takip eder. Bhopal'ın hava durumu verilerine göre, yaz aylarında Bhopal'ın iklimi sıcak ve kuraktır, bu nedenle Bhopal iklimindeki evaporatif soğutma için önerilen en iyi malzeme Celdek'dir [13].

1.2 Tezin Amacı

Yapılan bu çalışmada evaporatif ped kullanılmasının kuru soğutucu kapasitesi üzerindeki etkisi teorik ve deneysel olarak incelenmiştir.

Türkiye'nin dört farklı derece gün iklim bölgesinden seçilen iller için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan saatlik kuru termometre sıcaklığı ve bağıl nem değerleri aylık ortalama değerlere çevrilerek teorik analiz yapılmıştır. Yapılan teorik analiz ile derece gün bölgesinden seçilen her il için, evaporatif ped sayesinde kuru soğutucuların performansında meydana gelen iyileşme yıllık olarak hesaplanmıştır.

Deneysel çalışmada, önce havanın kuru termometre ve bağıl nem değerleri ölçülerek, evaporatif ped kullanılmasının havanın kuru termometre ve bağıl nemi üzerindeki etkisi ölçümle incelenmiştir. Daha sonra evaporatf pedden çıkan havanın kuru termometre ve bağıl nem değerleri bir kuru soğutucu üzerinden geçirilerek, evaporatif pedin kapasite ve su çıkış sıcaklığı üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

1.3 Hipotez

Evaporatif peddin kuru soğutucularda hava girişinde kullanılması kuru soğutucu soğutma kapasitesinde artış sağlar ve suyun kuru soğutucudan daha düşük sıcaklıkta çıkmasına yardımcı olur. Evaporatif ped sayesinde sağlanan fayda, derece gün iklim bölgelerine göre değişiklik göstermektedir.

2
Islak/Kuru Soğutucular

Kuru soğutucular su soğutma işleminde kullanılan cihazlardır. Sistemin temel çalışma prensibi soğutma suyu yükünün bir fanlı batarya sistemi yardımıyla havaya aktarılmasıdır. Kuru soğutucular, fanlar vasıtasıyla emilen havanın, lameller arasından geçerken boru içindeki akışkanın soğuması esasına göre çalışır [2].

Kuru soğutuculardа elde edilen su sıcaklığı, ortamın kuru termometre sıcaklığına bağlıdır. Kuru soğutucular yardımıyla havanın kuru termometre sıcaklığının yaklaşık 5 ºC üzerine kadar soğutulmuş su elde edilebilir. Daha düşük sıcaklıklarda soğutma suyuna ihtiyaç duyulan durumlarda Islak-Kuru Soğutucular kullanılır [2].



Şekil 2.1 Yatık tip kuru soğutucu

Kış ve bahar aylarında binalarda ısıtma yapılması gerekirken, binaların bazı kısımlarında soğutma yapılması gerekebilir. Bu alanlar her an soğutma ihtiyacı olan bilgisayar ve server odaları, veri merkezleri, alışveriş merkezlerinin enerji yoğun bölümleri, ısı yoğun ofisler, konferans salonları vb. iç ortam bölümleridir. Dış ortam sıcaklıklarının, mahalleri soğutmak için gerekli olan soğutma suyu sıcaklıklarının altına inmesi ile birlikte doğal soğutma sistemleri kullanılabilir ve böylece ciddi derecede enerji tasarrufu sağlanır [2].

2.1 Islak/Kuru Soğutucularda Adyabatik Soğutma Sistemleri

Adyabatik soğutma sistemleri kuru soğutuculardа, soğutma verimliliğini arttırmak amacıyla sunulan bir aksesuardır.

Genel olarak kuru soğutuculardа; doğrudan spreyleme, sisleme, ağ üzeri (ecomesh) spreyleme, hibrit sistemler ve evaporatif soğutma petekli (Cool pad) spreyleme olmak üzere beş şekilde adyabatik soğutma yapılmaktadır.

2.1.1 Doğrudan Su Spreyleme

Doğrudan su spreyleme sistemi bulunan ıslak/kuru soğutuculardа belirli aralıklarla yerleştirilmiş nozüllerden giriş havasına püskürtülen su zerrecikleri giriş havasını neme doyurarak yaş termometre sıcaklığına yaklaştırmaktadır. Bu sistemde kullanılan suyun sertliği alınmış ve filtrelenmiş olması gerekmektedir. Bu sistemin dezavantajı su direkt olarak lamellere temas ettiği için kuru soğutucunun yıpranması hızlı olmaktadır [2].

2.1.2 Sisleme Sistemli Kuru Soğutucular

Nozüller vasıtasıyla 35 mikron altında yüksek basınçta (70 bar) püskürtülen su kuru soğutucuya giren havayı neme doyurarak kuru termometre sıcaklığını yaş termometreye doğru yaklaştırmaktadır. Doğrudan su spreyleme sisteminde olduğu gibi bu sistemlerde de kullanılan su filtrelenmiş ve sertliği alınmış olmalıdır [2].

2.1.3 Ağ Üzeri Su Spreyleme

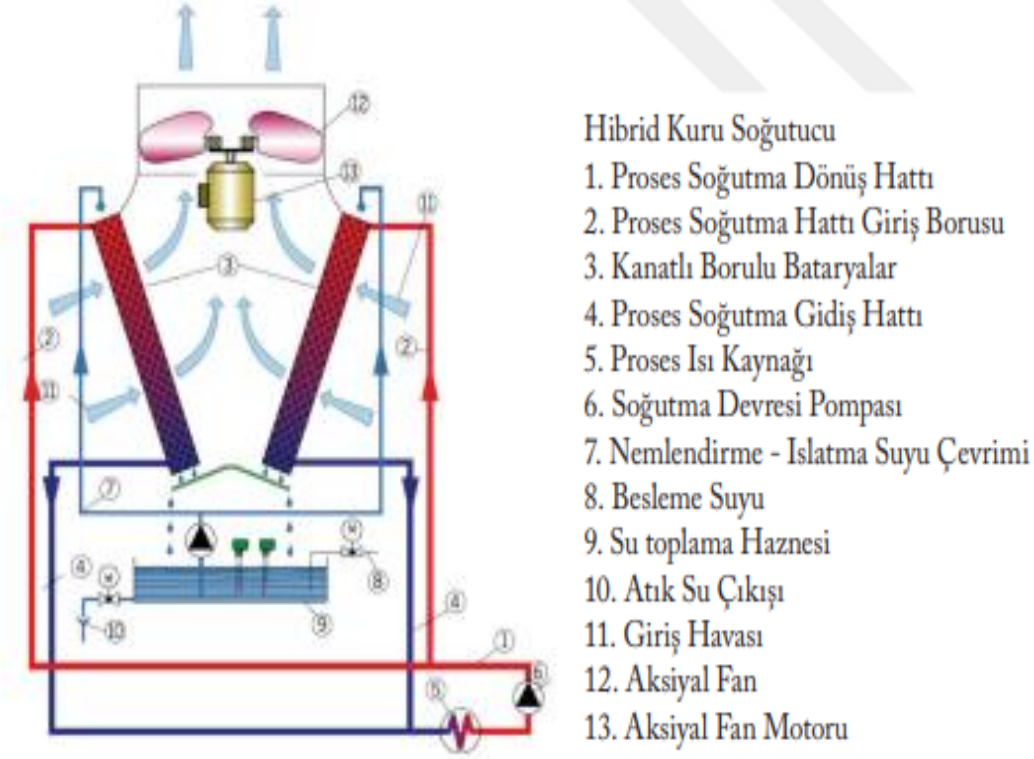
Ağ üzeri su spreyleme sistemli ıslak/kuru soğutuculardа ön kısma yerleştirilmiş olan geniş sık gözlü ağ yapılı perdenin üzerine su püskürtülerek buradan geçen giriş havası neme doyurulur ve yaş termometre sıcaklığına yaklaştırılır. Bu su spreyleme giriş havası üzerinde adyabatik soğutma sağlar. Sıcaklığı düşen hava sayesinde soğutmada verimin arttırılması sağlanır. Bu sistemde su direkt olarak lameller ile temas etmediği için lameller üzerinde kireç tabakası oluşmaz ve bu yüzden ısı transfer performansında azalma meydana gelmez [2].



Şekil 2.2 Ağ üzeri su spreyleme sistemli dik tip kuru soğutucu [2]

2.1.4 Hibrid Sistemli Kuru Soğutucu

Spreyleme sistemi bulunan bir diğer ıslak/kuru soğutucu tipi de "Hibrid Kuru Soğutucu" olarak adlandırılan sistemdir. Temel mantık olarak diğer adyabatik kuru soğutucular ile benzer şekilde çalışır. Bir su haznesi yardımıyla sağlanan su lameller üzerine doğrudan verilmektedir. Bu sistemlerde de kullanılan su filtrelenmiş ve sertliği alınmış olmalıdır [14].

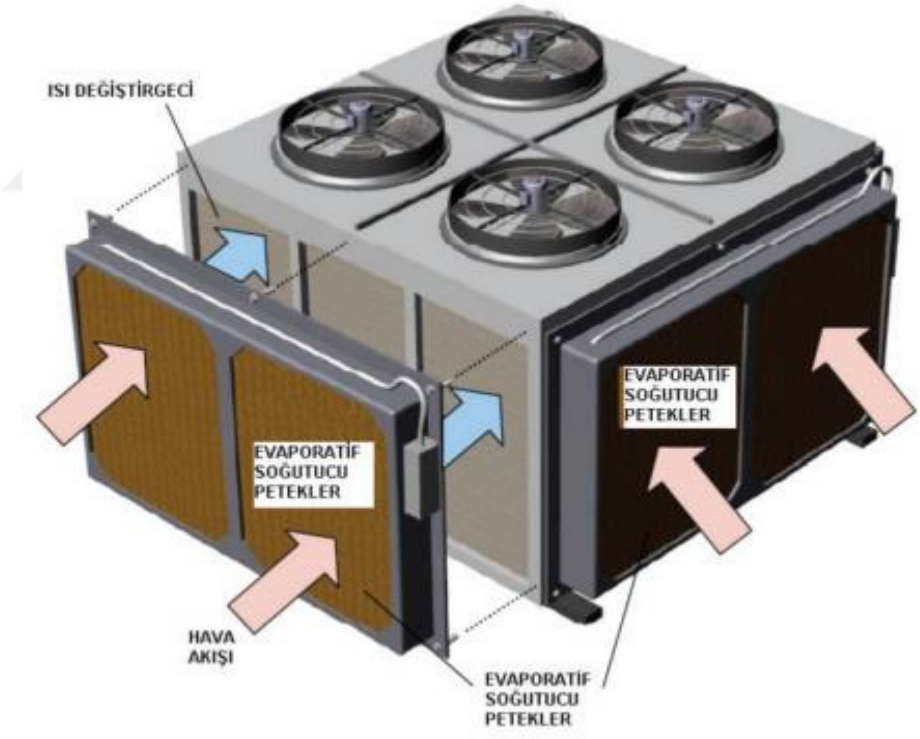


Şekil 2.3 Hibrit sistemli kuru soğutucu [14]

2.1.5 Evaporatif Pedli Soğutma

Evaporatif soğutma sistemi bulunan ıslak/kuru soğutucularda petekler lamel bloğu önüne montajı yapılan özel sac aksama yerleştirilir. Pompa yardımıyla üst kısımdan akıtılan su ile peteklerin ıslatılması sağlanır. Kuru ve sıcak olan dış hava, ıslak evaporatif peteklerin üzerinden geçirilerek ön soğutmaya tabi tutulur. Islak soğutma petekleri ile temas eden hava neme doyurularak sıcaklığı yaş termometre sıcaklığına yaklaştırılır [2].

Su direkt olarak lamellerle temas etmediği için lamel ömrü direkt su spreyleme sistemine göre daha uzundur. Suyun direkt lamellerle temas etmemesi lamellerin kirlenmesini engeller. Mikroorganizmalar, mineraller ve benzeri parçalar suyun buharlaşma fazında havaya karışmadığı için çalışma prensibi tamamen sağlıklıdır. Sistem minimum seviyede su tüketimi ile kuru soğutucu verimliliğinin arttırılması sağlanır. [2]



Şekil 2.4 Evaporatif pedli kuru soğutucu[14]

2.2 Kuru Soğutucu Üretiminde Kullanılan Malzemeler

Kuru soğutucular temel olarak batarya bloğu, kaset ve fanlardan oluşmaktadır.

2.2.1 Batarya Bloğu

Batarya temel olarak boru ve lamelden oluşmaktadır.

2.2.1.1 Boru

Kuru soğutucularda performans ve ekonomi dikkate alındığında kullanılması gereken en uygun boru malzemesi bakırdır. Borularda kullanılan bakırın kalitesi kuru soğutucuların ömrünü etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Uygun malzeme kulanılmaması durumunda özellikle büküm ve lehim yerlerinde problemlerle karşılaşılır. Kullanılan borunun et kalınlığı dikkat edilmesi gereken diğer bir önemli husustur. Kuru soğutucularda kullanılan bakır boru et kalınlığı 0,5mm ve yukarısı olmalıdır [2].

2.2.1.2 Lamel

Kuru soğutucularda kullanılan en yaygın lamel malzemesi alüminyumdur. Lamel malzemesi seçimi kuru soğutucunun kullanılacağı ortamın aşındırıcı etkisine göre yapılmaktadır. Kullanım yerine göre lamel kalınlığının 0,12mm-0,15mm olması uygun olacaktır. Deniz yakınlarında ve enerji tesislerinde ise epoksi kaplı lamel kullanılması kuru soğutucu ömrünün uzun olmasını sağlamaktadır [2].

2.2.2 Kaset

Kuru Soğutucularda kaset malzemesi seçimi ortam şartlarına göre yapılmaktadır. Genel olarak uygulamalarda elektrostatik toz boya kaplı galvanizli çelik kullanılır [2].

Paslanmaz çelik kasetleme daha dayanıklı malzemenin gerektiği yerlerde tercih edilmelidir.

2.2.3 Fanlar

Fan seçiminde dikkat edilmesi gereken nokta, hava sıcaklığına göre istenen kapasitenin sağlanması için gerekli hava debisinin sağlanmasıdır. Hava sıcaklığının daha düşük olduğu dönemlerde hesaplanan kapasitenin sağlanması için fanların

tam devirde çalışması gereksiz ve maliyetli olur. Fanların uygun devirde çalıştırılması ile sistem için uygun debide hava tedariği sağlanır [2].

2.3 Islak/Kuru Soğutucuların Tasarım ve Performans Kriterleri

Bir ıslak/kuru soğutucunun gerekli performansı gösterebilmesi için dikkat edilmesi gereken tasarım kriterleri vardır.

Islak/kuru soğutucuların tasarımı ve seçimi için ihtiyaç duyulan veriler; ünitenin boyutları, giriş havası kuru termometre ve yaş termometre sıcaklıkları, su giriş ve çıkış sıcaklıkları, su debisi, su tarafı basınç kaybı, glikol oranı ve gerekli soğutma kapasitesi değerleridir [14].

Üretici firmalar, yukarıda belirtilen parametreler ile kendi üretim tekniklerine uygun olarak kuru soğutucu tasarımı ve imalatı yapabilirler. Üretici firmanın performans onaylı tasarım yazılımının olması ve kuru soğutucuların bu yazılım veya program vasıtasıyla tasarlanması, sonradan ortaya çıkabilecek olumsuz durumları önlemede çok önemlidir [14].

2.4 Akışkan Özellikleri

Sistemde soğutma suyu ihtiyacı için % 100 su kullanılabileceği gibi sıfırın altında eksi derece dış ortam sıcaklığında çalışan sistemlerde donmayı önlemek için glikol-su karışımlı (salamuralı) suyun kullanılması gerekmektedir. Örneğin, hacimsel % 30 etilen-glikollü bir karışım yaklaşık -16 °C, % 40 etilen-glikollü bir karışım ise yaklaşık -25 °C'a kadar koruma sağlar. Antifriz oranına göre karışımın donma noktası (Tablo 2.1)'de verilmiştir[14].

Islak/Kuru soğutucu dizayn ve tasarımında soğutma suyuna ilave edilecek glikol oranının da dikkate alınarak hesaba katılması gerekir. Aksi durumda, suya ilave edilecek glikolun soğutma kapasitesinde sebep olacağı düşme, kuru soğutucudan hedeflenen performansın alınamamasına neden olur . Dolayısıyla, ıslak/kuru soğutucunun belirtilen soğutma kapasitesi, gerekli tasarım şartları ve antifiriz (glikol) oranı verilmezse anlamsız olur [14].

Glikol-su karışımlı sistemlerde % 100 su kullanılan sistemlere göre kuru soğutucu kapasitesi çok daha düşük olur. Bu nedenle de daha büyük ısı transfer alanına, dolayısıyla daha büyük (maliyeti daha yüksek) bir kuru soğutucuya ihtiyaç duyulur [14].

Tablo 2.1 Antifriz oranına göre karışımın donma noktası [14]

Hacimsel Karışım Oranı	Donma Sıcaklığı
%100 Su	0 (°C)
%90 Su + %10 Glikol Karışımı Durumunda	-3 (°C)
%80 Su + %20 Glikol Karışımı Durumunda	-8 (°C)
%70 Su + %30 Glikol Karışımı Durumunda	-16 (°C)
%60 Su + %40 Glikol Karışımı Durumunda	-25 (°C)
%50 Su + %50 Glikol Karışımı Durumunda	-37 (°C)
%40 Su + %60 Glikol Karışımı Durumunda	-50 (°C)
%30 Su + %70 Glikol Karışımı Durumunda	<-50 (°C)
%20 Su + %80 Glikol Karışımı Durumunda	-45 (°C)
%10 Su + %90 Glikol Karışımı Durumunda	-28 (°C)

2.5 Kuru Soğutucularda Donma

Kış mevsiminde ıslak/kuru soğutucularda donma olayına yönelik önlem alınmalıdır. Aksi durumda, akışkanın donması sebebiyle borularda oluşacak hasarın onarılması çok zordur (onarım mümkün olsa bile, sebep olacağı ek maliyet ile birlikte, kuru soğutucunun performansında düşme meydana gelecektir). Ülkemizde, donma sebebiyle kullanılamaz duruma gelen kuru soğutucuların komple yenilenmek zorunda kalındığı örneklere sık sık rastlanmaktadır.

Donma durumuna karşı genelde alınan önlem, sistemin kullanılmadığı soğuk havalarda ıslak/kuru soğutucuda bulunan suyun boşaltılmasıdır. Bunun yanında, borulama yapısından ötürü kuru soğutucu içerisindeki suyun tam anlamıyla boşaltılması mümkün olmadığı için, soğutma suyuna gerekli oranda antifriz (etilen-glikol) ilave edilmesi gereklidir. Bu yöntem sayesinde elektrik kesintisi

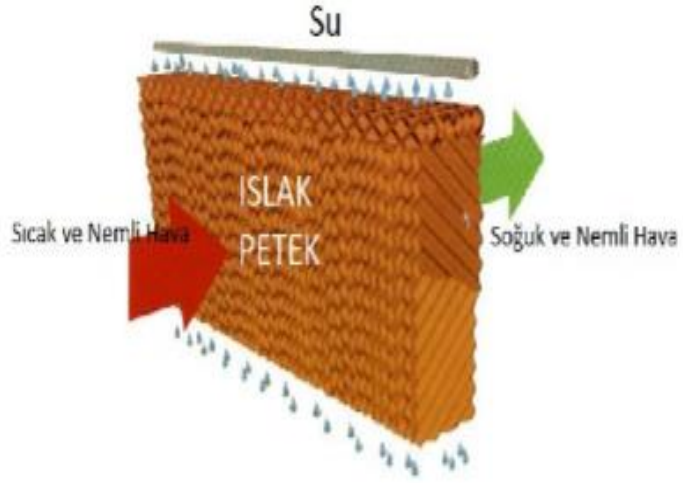
sebebiyle ortaya çıkabilecek donma olaylarının önüne geçmek mümkün olmaktadır.



Şekil 2.5 Donma sonucu kuru soğutucu borularında meydana gelen tipik bir hasar örneği[14]

3
Evaporatif Soğutma Sistemleri

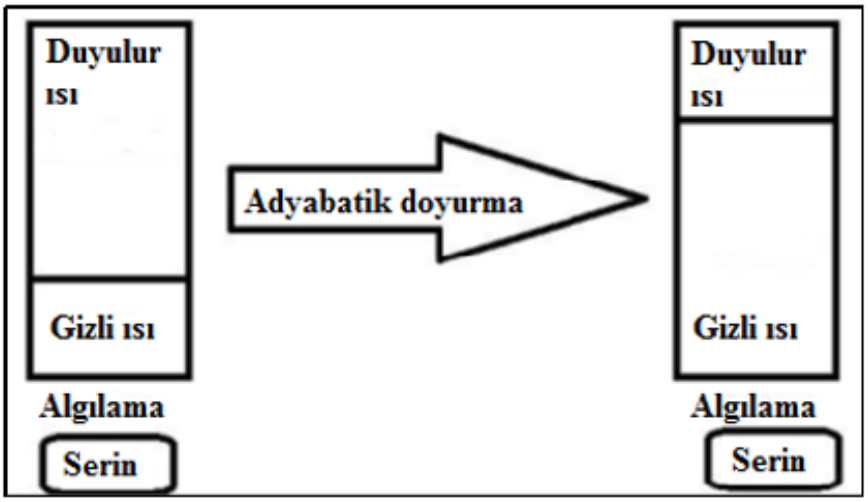
Evaporatif soğutma, kuru ve sıcak havanın nemli bir yüzeyden geçerken buharlaşan suyun, havadan buharlaşma gizli ısısını çekmesi sonucunda meydana gelen sıcaklığın düşmesi olayıdır. Sistemde %100 taze hava kullanıldığı için doğal soğutma ismiyle de adlandırılır. Havanın içerisine püskürtülen suyun buharlaştırılmasında ihtiyaç duyulan buharlaştırma gizli ısısı, havanın duyulur ısısından alınır. Sonuç olarak havanın neme doyurularak kuru termometre sıcaklığının düşmesi ile soğutma elde edilir. Bu işlem sırasında havanın yaş termometre sıcaklığı aynı kalmaktadır. Bu sistemde işlem sabit entalpide gerçekleştiğinden adyabatik işlemdir ve ne sistem dışarıya ısı vermekte ne de dışarıdan sisteme ısı verilmektedir. Sistem içinde proses boyunca yalnız bir defa ısı alışverişi olur. Aynı oranlarda gizli ısı artarken duyulur ısı azalmaktadır. Bu soğutma tekniği çok eski zamanlara dayanmaktadır. Sıcak ve kuru bir yaz gününde avluda zemin sulandığında, havanın daha soğuk ve ortamda bir serinlik hissedilmesi evaporatif soğutmanın etkisidir [15].



Şekil 3.1 Evaporatif buharlaştırmalı soğutma [15]

Isı transferinin olmadığı, tamamen yalıtılmış bir kapalı ortamdaki doymamış havayı sistem olarak düşünüldüğümüzde bu doymamış havanın içerisine nozüller

vasıtasıyla küçük damlacıklar halinde su püskürtüldüğü zaman bu su damlacıklarının buharlaştığı görülür. Bu buharlaşma sebebiyle ortam havasının duyulur ısısı suyun buharlaşma gizli ısısına dönüşür [9].



Şekil 3.2 Evaporatif soğutma teorisi [9]

Evaporatif soğutma sistemlerinin performansı, buharlaştırılan suyun miktarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Buharlaştırılan suyun miktarı arttıkça, sıcaklık daha fazla düşeceği için sistemin performansı da o seviyede artar. Bu durum aynı zamanda soğutulmaya çalışılan giriş havasının bağıl nem oranına bağlıdır. Havanın bağıl nem oranı azaldıkça daha fazla su buharlaştırılabilir, bu durum da sistemin performansını o seviyede arttırır [16].

3.1 Pedli Evaporatif Soğutma Sistemlerinin Yapısal Elemanları

3.1.1 Ped Malzemesi

Pedlerin yapımında kağıt, ahşap, metal, cam, mineral, ve son yıllarda çimento ve plastik vb. malzemeler kullanılmaktadır. Kağıt ve ahşaptan daha dayanıklı malzemeler olsa da, bu malzemelerin çoğu suyun yüzey üzerindeki dağılımını kolaylaştıracak özellikte malzeme değildir. Bu tür malzeme yüzeylerinde su damlaları dağılmadan aşağıya doğru hareket etmektedir, bu sebeple pedin istenilenden daha küçük bir yüzey alanı ıslatılmış olur [9].



Şekil 3.3 Selüloz kağıttan üretilmiş ped [16]

Ped yapımında kullanılan Aspen (kavağa benzer ağaç) yongası ya da testere talaşı en uygun malzeme olarak önerilmektedir. Bu malzemeler, çürümelere karşı alternatif ped malzemelerine göre daha sağlam olsalar da şekilsel bozulmaların kolay oluşması ciddi bir problemdir. Bu malzemeler ile yapılan pedlerin, temizlik amacıyla belirli periyotlar ile yıkanması ve pedlerdeki şekilsel bozuklukların onarılması pedlerin verimini arttırmak ve ömrünü uzatmak için tavsiye edilmektedir [9].

3.1.2 Ped Yüzey Alanı, Ped Kalınlığı ve Yoğunluğu

Pedli evaporatif soğutma sistemleri tasarlanırken, kullanılan pedin yüzey alanının doğru şekilde seçilmesine dikkat edilmesi gerekmektedir. Pedin yüzey alanı küçük seçilirse pedden geçen havanın hızı artar. Bu durumda hem soğutma sisteminin verimi düşer hem de fanların yenmesi gereken statik basınç farkı artar, havalandırma debisinde düşme meydana gelir [9].

Pedin kalın olması, pedin içerisinden geçen havanın ped yüzeyi ile olan temas süresini arttırır fakat bu durum pedin hava akışına karşı göstereceği direncin artmasına da sebep olur. Bunun yanında hava, pedin içerisinden geçerken buhar basıncı farkı (pedin içinden geçirilen havanın sahip olduğu buhar basıncı ile ped yüzeyinin sahip olduğu buhar basıncı arasındaki farkı) azalır. Bu durumda ped yüzeyinden suyun buharlaşma hızı azalacaktır [9].

3.1.3 Hava Hızı

Pedden geçen havanın hızı, pedin farklı noktalarında değişiklik gösterir ve ölçümü de zordur. Havanın pede girdiği ve çıktığı yüzeylerinde hava hızı ölçümü daha kolay olmaktadır. Havanın pede girdiği ve çıktığı yüzeylerinde ölçülen hava hızı bilgileri, havanın pedden geçme hızı olarak kabul edilmektedir. Hava hızı, ped yüzeyinin alanı hesaplanırken kullanılan kolay bir dizayn parametresidir. Genel ped malzemeleri için üretici firmalarca tavsiye edilen hava hızı değerlerinin bilgisi (Tablo 3.1)'de verilmiştir [9].

Tablo 3.1 Ped malzemeleri için üretici firmalarca tavsize edilen hava hızı değerleri [17]

Ped Tipi	Hava Hızı (m/s)
Düşey konumlu, 50…100mm kalınlığında aspen fiber	0,75
Yatay konumlu, 50…100mm kalınlığında aspen fiber	1,00
100 mm kalınlığında oluklu selüloz	1,25
150 mm kalınlığında oluklu selüloz	1,75

Havanın pedden geçiş hızı, hem hava akışının ped içerisindeki yörüngesini hem de ıslak yüzey ile ne kadar süre temas edeceğini etkiler. Hava hızı çok düşük olduğu zaman akış laminer olur. Böyle bir akışta, nemli ped yüzey alanı ile temas eden belli kalınlıkta çok az hava neme doyurulma fırsatı yakalar. Hava hızı arttığında ise akış türbülans olur. Bu sayede havanın ped yüzeyinden nemi alma imkanı artar. Başka bir deyişle hava hızı yükseldikçe havanın akışı türbülanslı olur ve ped yüzeyinden suyun buharlaşma hızı yükselir [9].

3.1.4 Su Akış Debisi

Sıcak ve kuru iklim bölgelerinde, ped içerisinden geçen havanın pedde bulunan suyu buharlaştırma hızı, su sirkülasyon sistemi tarafından pedin ıslatılması için sağlanan sudan fazla olması durumunda sistemin doyma verimi değişebilir. Bu

nedenle su sirkülasyon sistemi tarafından sağlanan su debisi belirlenirken bölgenin en zor iklim şartları dikkate alınmalıdır [9].

Ped yüzeyinden geçen suyun akış debisi, doyma seviyesinden az olması durumunda sistemin soğutma verimi hızla azalır. Pedi ıslatan suyun akış debisinin az olması durumunda ped yüzeyinden akan suyun tamamı buharlaşacaktır. Akış debisinin az olması durumunda su içerisindeki mineraller ped malzemesi üzerinde birikir ve tıkanmalara sebep olur. Bu durum zamanla sistemin veriminde azalmaya neden olur [9].

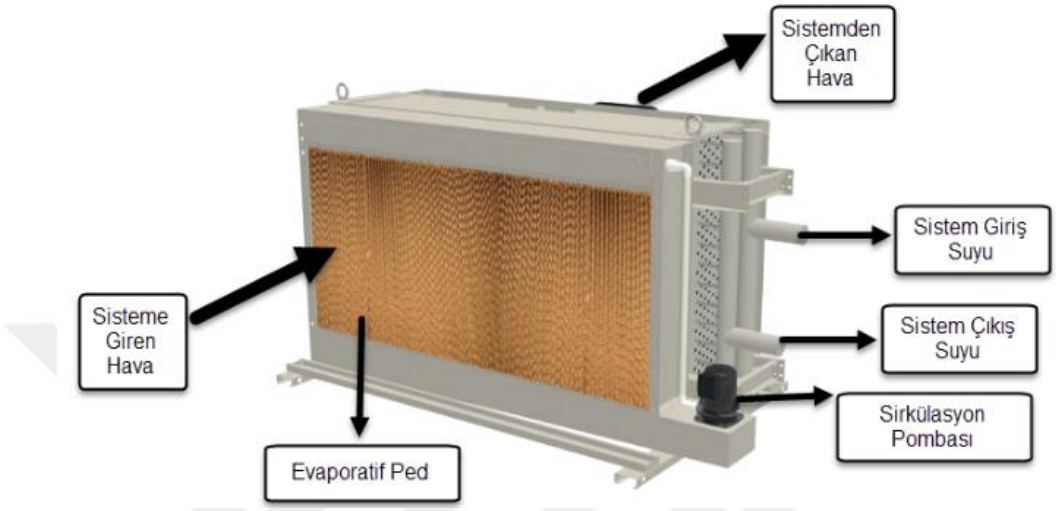
Ped üzerindeki suyun sirkülayon debisinin yüksek olması durumunda ped yüzeyinin dalgalı yapısı su ile dolarak düz bir şekil alır. Bu durum havanın temas ettiği ped yüzey alanının azalmasına neden olur. Bununla birlikte, bu durum küçük delikli olan pedlerde sirkülasyon sisteminde gözenekler arasında köprü oluşturarak havanın ped ile temas ettiği yüzey alanın azalmasına sebep olur. Havanın temas ettiği ped yüzey alanı azalırsa hem sistemin verimi düşer hem de toplam soğutma kapasitesinde düşme meydana gelir [9].

3.1.5 Su Deposu

Bir evaporatif soğutma sisteminde pedi ıslatacak su dikkatli kullanılmalı ve çalışma süresinde pedlerin ıslak tutulması için soğutma sistemlerinde bir su deposu kullanılmalıdır. Kullanılacak olan depunun büyüklüğü, ped tipi, pompanın özellikleri ve atık su debisine bağlı olarak değişiklik gösterir [9].

Pompa vasıtasıyla ped üzerine gönderilen su debisinin fazla kısmı, buharlaşma gerçekleşmeden pedin alt tarafındaki depoya toplanır. Buharlaşmadan aşağı akan suyun içerisinde bulunan mineraller ped üzerinde birikme olmadan depoya taşınır. Depoda biriken suda bulunan mineraller sistemin çalışma süresince artış gösterir. Deponun uzun süre temizlenmediği durumlarda sirkülasyon suyunda bulunan mineral miktarında artış olur ve istenmeyen seviyeye ulaşır. Bu durumda sistemin soğutma verimi ve ömrü olumsuz olarak etkilenir. Bu sebeple, pedin ıslatılmasında kullanılacak suyun sertlik derecesi göz önüne alınarak deponun belirli periyotlarla temizlenmesi gerekir [9].

4
TEORİK ANALİZ



Şekil 4.1 Evaporatif pedli dik tip kuru soğutucu

4.1 Kuru Soğutucu Kapasite Hesabı

Kuru soğutucu toplam kapasitesi aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır [18];

$$Q = U \times A \times \Delta T_m \quad (4.1)$$

(4.1) eşitliğinde kullanılan değerler;

Q = Isı Miktarı (W)

U = Toplam Isı Transferi Katsayısı (W/m2K)

ΔT_m = Logaritmik sıcaklık farkı (^oC)

A = Isı transferi yüzey alanı (m^2)

Logaritmik sıcaklık farkı aşağıdaki şekilde hesaplanır ;

$$\Delta T_m = (\Delta T_o - \Delta T_i)/\ln(\Delta T_o - \Delta T_i) \quad (4.2)$$

$$\Delta T_o = T_{sg} - T_{hç} \quad (4.3)$$

$$\Delta T_i = T_{sç} - T_{hg} \quad (4.4)$$

Eşitlik (4.3) ve (4.4)'te kullanılan değerler;

T_{sg} = Su Giriş Sıcaklığı (^oC)

$T_{sç}$ = Su Çıkış Sıcaklığı (^oC)

T_{hg} = Hava Giriş Sıcaklığı (^oC)

$T_{hç}$= Hava Çıkış Sıcaklığı (^oC)

Toplam ısı transfer katsayısı aşağıdaki şekilde hesaplanır ;

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{h_1 A_1} + \frac{dL}{kA} + \frac{1}{h_2 A_2} \qquad (4.5)$$

Eşitlik (4.5)'te kullanılan değerler;

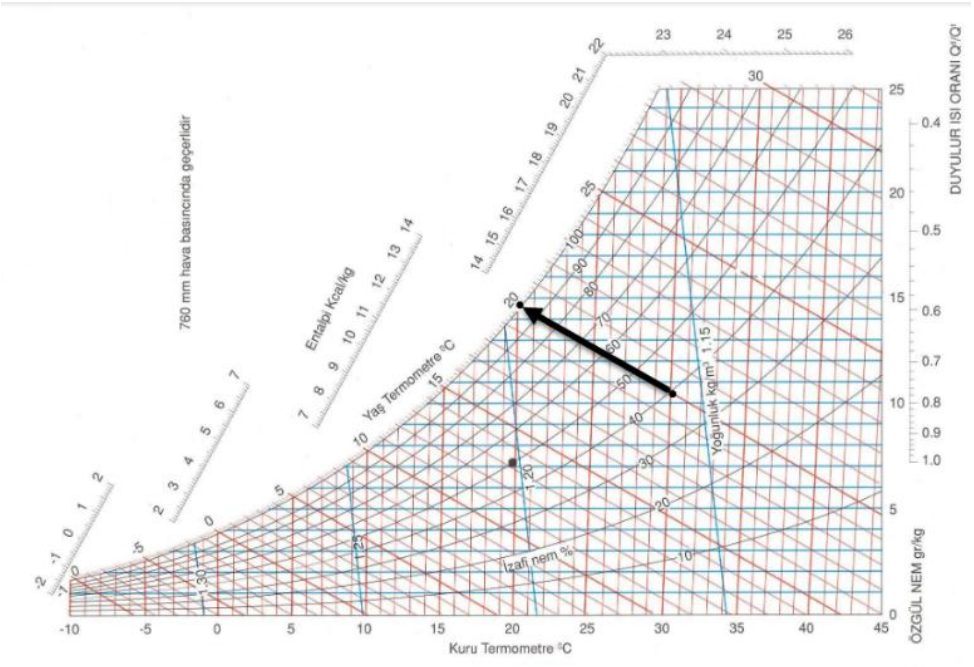
U = Toplam ısı transfer katsayısı (W/m^2K)

A = Akışkan temas yüzeyi (m^2)

k= Malzeme ısı iletim katsayısı (W/mK)

h = Konveksiyon ısı transfer katsayısı (W/m^2K)

Havanın evaporatif pedden geçtikten sonraki sıcaklığı psikrometrik diyagram yardımıyla hesaplanmıştır.



Şekil 4.2 Psikrometrik Diyagramda Evaporatif Soğutma Gösterimi

Evaporatif ped sayedinde hava neme doyurularak sıcaklığı düşürülür böylece hava duyulur olarak soğutulmuş olur .

Duyulur soğutma aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilir :

$$Q_{duyulur} = m \times c_p \times \Delta T \quad (4.6)$$

$$\Delta T = T_1 - T_2 \quad (4.7)$$

$$\eta = (T_1 - T_2) / (T_1 - T_{yt}) \quad (4.8)$$

Evaporatif pedden çıkan havanın sıcaklığı psikrometrik diyagram yardımıyla bulunarak kuru soğutucuya giriş havası olarak alınıp, kuru soğutucu kapasitesi yukarıdaki formüller yardımıyla hesaplanmıştır.

4.2 Farklı İklim Bölgelerinde Evaporatif Nemlendiricinin Kuru Soğutucu Kapasitesine Etkisinin Hesaplanması

Soğutma yükünü karşılayacak kuru soğutucu 308,79 m2 ısı transfer yüzeyine sahiptir. Kuru soğutucuda 1 adet 910mm çapında fan mevcuttur. Deneyde kullanılan evaporatif pedli tek fanlı kuru soğutucunun önden çekilmiş fotoğrafı Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Tek fanlı dik tip kuru soğutucu

Kuru soğutucunun farklı hava şartlarındaki kapasite hesabı yapılırken hava debisi, akışkan giriş sıcaklığı ve akışkan debisi sabit kabul edilen değerler (Tablo 4.1)'de verilmiştir.

Tablo 4.1 Kuru soğutucu hesabında sabit kabul edilen değerler

Su Debisi :	20000 kg/h
Hava Debisi:	26967 m^3/h
Suyun Giriş Sıcaklığı :	50 °C

Hesaplamalar Türkiye'nin dört farklı derece gün bölgesinden birer şehir seçilerek İstanbul, Ankara, Antalya ve Erzurum için yapılmış olup, meteoroloji genel müdürlüğünden alınan 2017 yılı sıcaklık ve nem değerlerinin aylık ortalaması alınarak gerekli hesaplamalar yıllık olarak yapılmıştır.

4.3 1.Derece Gün Bölgesi Antalya İli İçin Evaporatif Nemlendiricinin Kuru Soğutucu Kapasitesine Etkisi

Meteoroloji genel müdürlüğünden alınan aylık ortalama sıcaklık değerleri, aylık ortalama nem değerleri ile hesaplamalar sonucu ortaya çıkan havanın evaporatif pedden geçtikten sonra aylık ortalama sıcaklık değerleri, kuru soğutucu soğutma kapasitesi ve suyun çıkış sıcaklığı olarak aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 4.2 Antalya için aylık ortalama hava sıcaklık değerleri (°C)

Ocak	Subat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
10,20	12,6	15	17,76	21,37	26,45	30,46	29,02	26,84	22,13	16,83	14,42

Tablo 4.3 Antalya için aylık ortalama bağıl nem değerleri (%)

Ocak	Subat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
56,73	57,11	62,59	62,11	67,6	62,95	57,64	64,39	63,05	52,72	59,79	67,92

Tablo 4.4 Antalya için havanın evaporatif pedden geçtikten sonraki aylık ortalama hava sıcaklık değerleri (°C)

Ocak	Subat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
6	8,1	10,9	13,2	17	21,1	20,1	24,4	21,2	15,2	12,2	10,8

Tablo 4.5 Antalya için evaporatif pedli ve pedsiz kuru soğutucu soğutma kapasitesi (kW)

Kuru Soğutucu Tipi	Ocak	Subat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Pedsiz	269,39	252,01	234,78	215,15	189,85	154,69	127,40	137,23	152,03	184,45	221,74	238,97
Evaporatif Pedli	300,10	284,85	264,43	247,82	220,69	191,86	198,85	168,98	191,16	233,49	255,02	265,15

Tablo 4.6 Antalya için suyun kuru soğutucudan çıkış sıcaklığı (°C)

Kuru Soğutucu Tipi	Ocak	Subat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Pedsiz	38,4	39,2	39,9	40,7	41,8	43,3	44,5	44,1	43,4	42,1	40,4	39,7
Evaporatif Pedli	37,1	37,7	38,6	39,3	40,5	41,7	41,4	42,7	41,8	40	39	38,6

Hava tarafı ve su tarafı soğutma kapasiteleri sırasıyla aşağıdaki enerji denkliklerinden hesaplanmıştır:

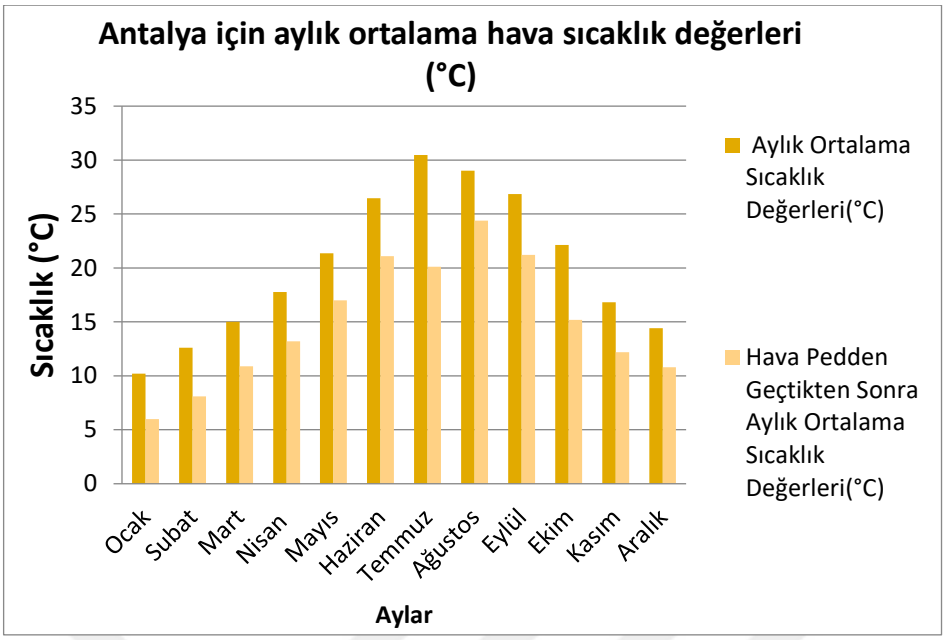
$$Q_{hava} = m_{hava} \times c_{hava} \times (T_{h,g} - T_{h,ç}) \quad (4.9)$$

$$Q_{su} = m_{su} \times c_{su} \times (T_{s,g} - T_{s,ç}) \quad (4.10)$$

Denklem (4.9) ve (4.10) eşitlenerek suyun çıkış sıcaklığı için aşağıdaki eşitlik elde edilir :

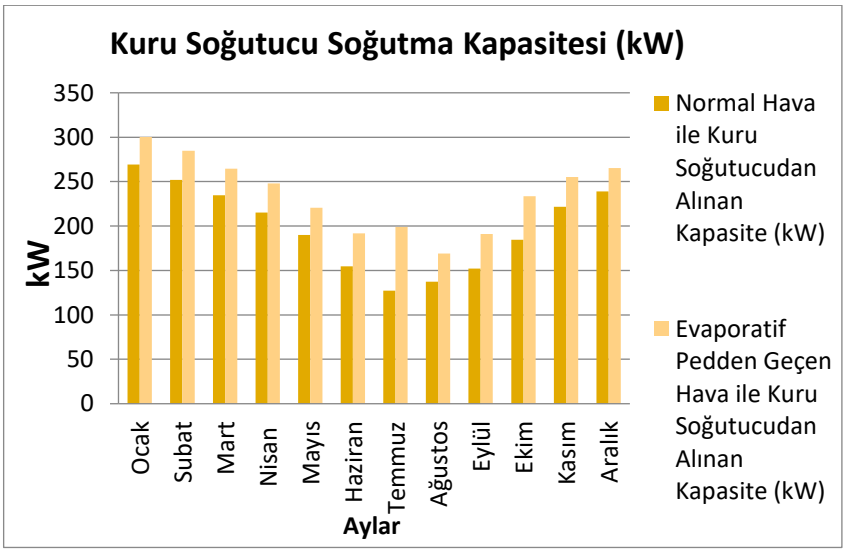
$$Q_{hava} = Q_{su} \quad (4.11)$$

$$T_{s,ç} = T_{s,g} - \frac{m_{hava} \times c_{hava} \times (T_{h,g} - T_{h,ç})}{m_{su} \times c_{su}} \quad (4.12)$$



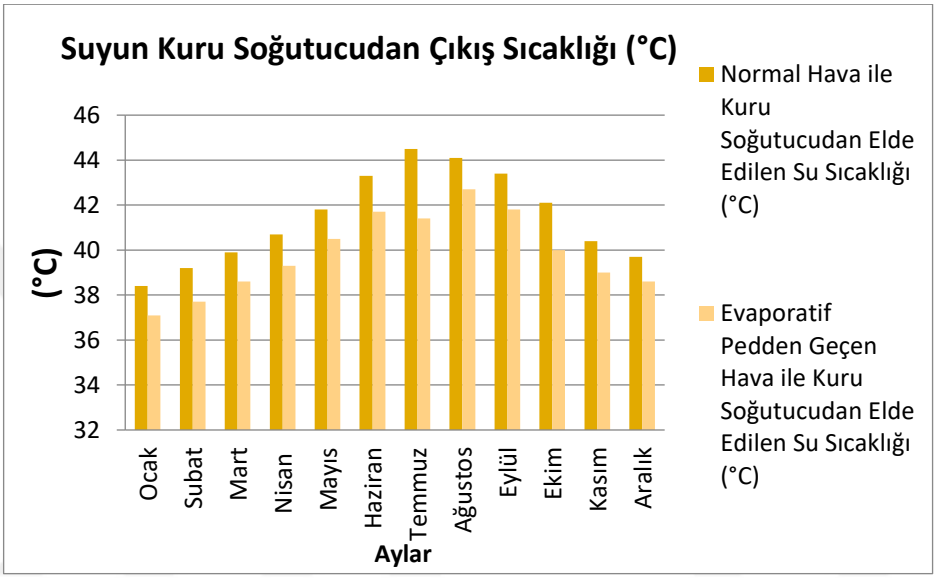
Şekil 4.4 Antalya için aylık ortalama hava sıcaklık değerleri (°C)

Türkiye'nin 1.derece gün iklim bölgesinde yer alan Antalya ilinde Şekil4.4.'te de belirtildiği üzere evaporatif ped kullanılması havanın kuru soğutucu ünitesine giriş sıcaklığını her ay için düşürmüştür. Evaporatif ped kullanılması özellikle yaz aylarında havanın üniteye giriş sıcaklığını önemli ölçüde düşürmüştür, örnek olarak Haziran ayı sıcak ortalaması 26,45°C iken evaporatif ped sayesinde ortalama sıcaklık 21,1°C 'ye düşmüştür.



Şekil 4.5 Antalya için normal ve evaporatif pedli kuru soğutucu soğutma kapasitesi (kW)

Evaporatif ped sayesinde elde edilen sıcaklık düşüşü, kuru soğutucu soğutma kapasitesinde artışa neden olmuştur. Şekil 4.5'te de belirtildiği gibi 1.derece gün bölgesinden seçilen Antalya ili için soğutma kapasitesi artışı her ay görülmüştür. Örnek olarak Haziran ayında kuru soğutucudan 154,69 kW soğutma kapasitesi alınırken, evaporatif pedli kuru soğutucu kullanıldığında soğutma kapasitesi 191,86 kW olmaktadır. Haziran ayı için evaporatif ped kullanımı kuru soğutucu kapasitesini %24 arttırmıştır.



Şekil 4.6 Antalya için normal ve evaporatif pedli kuru soğutucudan çıkan suyun sıcaklığı (°C)

Şekil 4.6'da da belirtildiği üzere evaporatif ped sayesinde kuru soğutucudan çıkan su sıcaklığında düşüş yaşanmıştır yani daha soğuk su elde edilmiştir. Örnek olarak Haziran ayında kuru soğutucudan 43,3 °C su çıkışı alınırken, evaporatif pedli kuru soğutucu kullanıldığında su çıkış sıcaklığı 41,7 °C olmaktadır.

4.4 2.Derece Gün Bölgesi İstanbul İli İçin Evaporatif Nemlendiricinin Kuru Soğutucu Kapasitesine Etkisi

Meteoroloji genel müdürlüğünden alınan aylık ortalama sıcaklık değerleri , aylık ortalama nem değerleri ile hesaplamalar sonucu ortaya çıkan havanın evaporatif pedden geçtikten sonra aylık ortalama sıcaklık değerleri , kuru soğutucu soğutma kapasitesi ve suyun çıkış sıcaklığı olarak aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 4.7 İstanbul için aylık ortalama hava sıcaklık değerleri (°C)

Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
4,35	7,55	9,98	13,05	17,88	23,31	25,65	25,53	23,05	16,11	13,19	11,12

Tablo 4.8 İstanbul için aylık ortalama bağıl nem değerleri (%)

Ocak	Subat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
77,60	72,67	74,44	64,47	70,42	67,72	64,51	70,45	66,32	71,25	74,03	71,40

Tablo 4.9 İstanbul için havanın evaporatif pedden geçtikten sonraki aylık ortalama hava sıcaklık değerleri (°C)

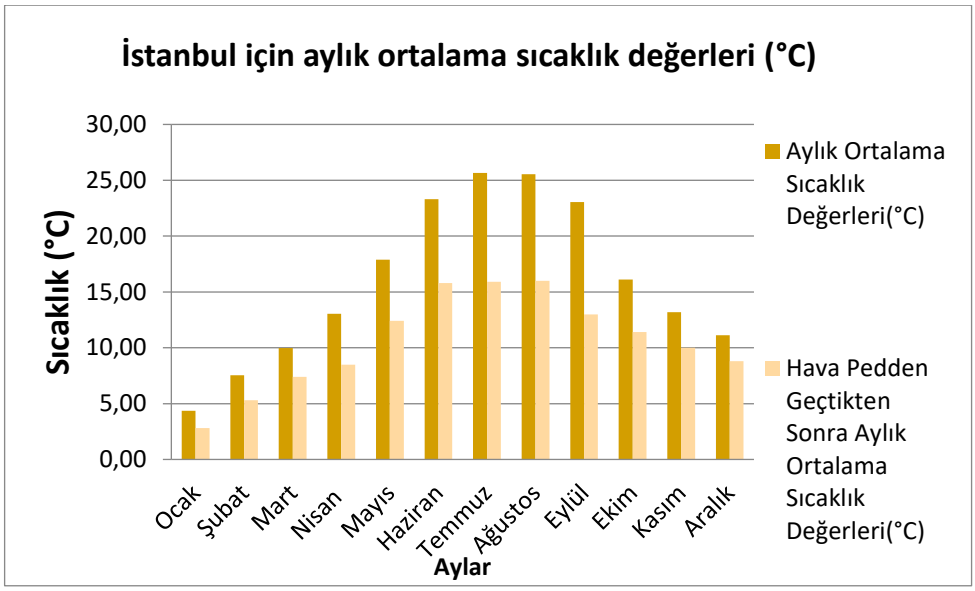
Ocak	Subat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
2,8	5,3	7,4	8,5	12,4	15,8	15,9	16	13	11,4	10	8,8

Tablo 4.10 İstanbul için evaporatif pedli ve pedsiz kuru soğutucu soğutma kapasitesi (kW)

Kuru Soğutucu Tipi	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Pedsiz	312,51	288,81	271,04	248,8	214,36	176,34	160,21	161,03	178,15	226,91	247,81	262,72
Evaporatif Pedli	324,11	305,49	289,99	281,92	253,58	229,22	228,5	227,79	249,26	260,8	270,97	279,72

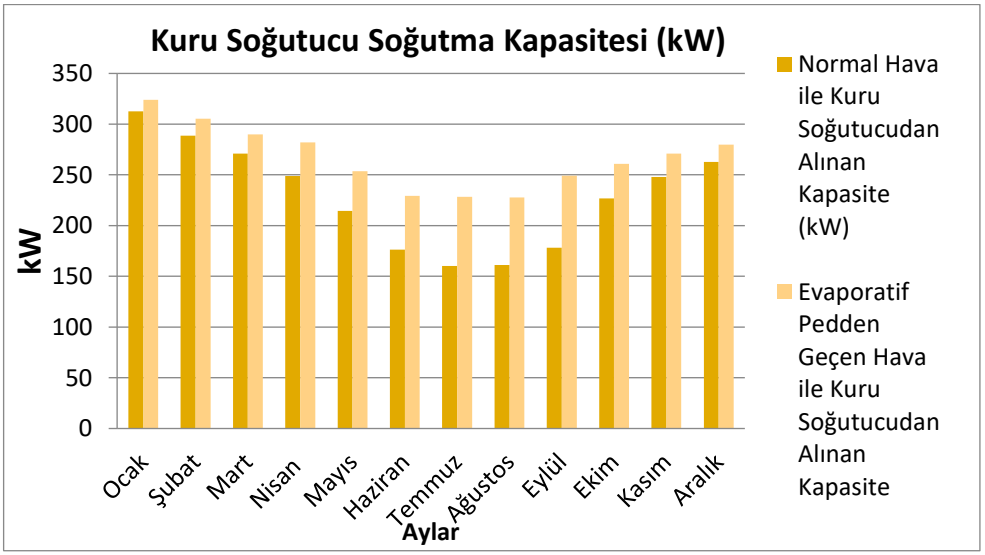
Tablo 4.11 İstanbul için suyun kuru soğutucudan çıkış sıcaklığı (°C)

Kuru Soğutucu Tipi	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Pedsiz	36,5	37,6	38,3	39,3	40,8	42,4	43,1	43,1	42,3	40,2	39,3	38,7
Evaporatif Pedli	36	36,8	37,5	37,9	39,1	40,1	40,2	40,2	39,3	38,8	38,3	38



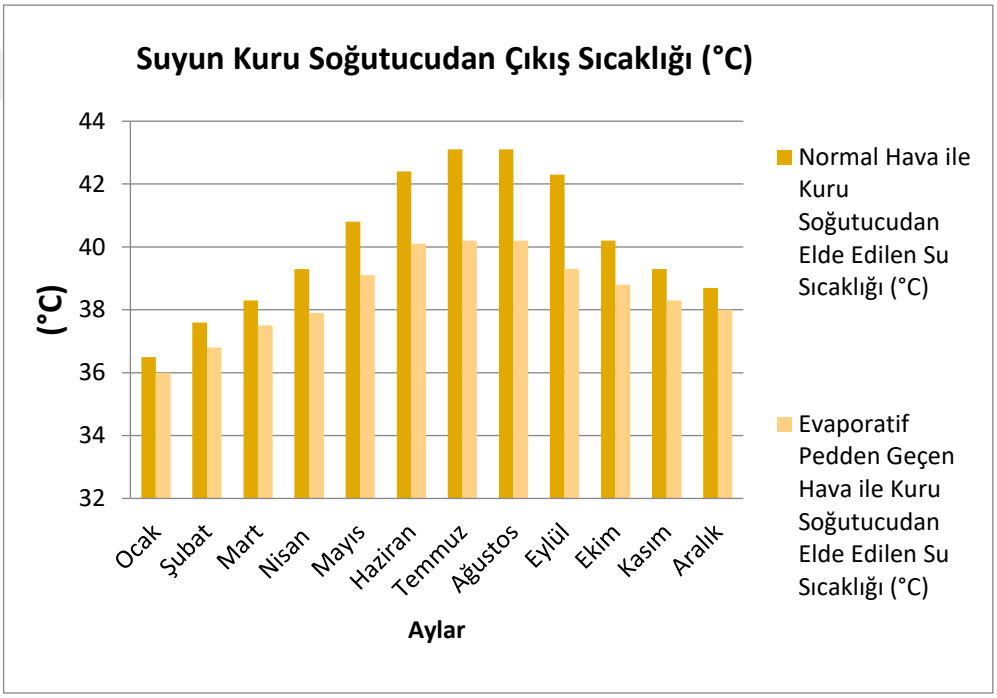
Şekil 4.7 İstanbul için aylık ortalama hava sıcaklık değerleri (°C)

Türkiye'nin 2.derece gün iklim bölgesinde bulunan İstanbul ili için aylık ortalama hava sıcaklık değerleri ve evaporatif pedden geçen havanın aylık ortalama sıcaklık değerleri Şekil 4.7'de verilmiştir. Türkiye'nin 2.derece gün iklim bölgesinde bulunan İstanbul ili için evaporatif ped kullanımı kuru soğutucuya giren havayı neme doyurarak sıcaklığını düşürdüğü Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Evaporatif ped kullanımı sayesinde sıcaklık düşüşü her ay gerçekleşmesine rağmen, Mayıs-Eylül ayları arasında daha fazla bir sıcaklık azalması olduğu görülmektedir.



Şekil 4.8 İstanbul için normal ve evaporatif pedli kuru soğutucu soğutma kapasitesi (kW)

Şekil 4.8'de aylara göre kuru soğutucu ısıl kapasitesi ve evaporatif ped olduğu durumdaki kuru soğutucu kapasiteleri karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Seçilen kuru soğutucu modeli için, İstanbul verilerine göre hesaplama yapıldığında, evaporatif ped sayesinde kuru soğutucu soğutma kapasitesinde artış olduğu şekilden anlaşılmaktadır. Evaporatif ped kullanımının soğutma yükünün fazla olduğu Mayıs – Eylül ayları arasında daha fazla ısıl kapasite elde edildiği görülmektedir. Örnek olarak Haziran ayında kuru soğutucudan 176,3 kW kapasite alınırken, Evaporatif pedli kuru soğutucu kullanıldığında bu kapasite 229,2 kW olmaktadır. Haziran ayı için evaporatif ped kullanımı kuru soğutucu soğutma kapasitesini %30 arttırmıştır.



Şekil 4.9 İstanbul için normal ve evaporatif pedli kuru soğutucudan çıkan suyun sıcaklığı (°C)

Şekil 4.9'da aylara göre kuru soğutucu ve evaporatif pedli kuru soğutucudan çıkan su sıcaklıkları aylık olarak gösterilmiştir. Evaporatif ped sayesinde kuru soğutucudan çıkan su sıcaklığında düşüş yaşanmıştır, yani daha soğuk su elde edilmiştir. Örnek olarak Haziran ayında kuru soğutucudan 42,4 °C su çıkışı alınırken, evaporatif pedli kuru soğutucu kullanıldığında su çıkış sıcaklığı 40,1 °C olmaktadır.

4.5 3.Derece Gün Bölgesi Ankara İli İçin Evaporatif Nemlendiricinin Kuru Soğutucu Kapasitesine Etkisi

Meteoroloji genel müdürlüğünden alınan aylık ortalama sıcaklık değerleri , aylık ortalama nem değerleri ile hesaplamalar sonucu ortaya çıkan havanın evaporatif pedden geçtikten sonra aylık ortalama sıcaklık değerleri , kuru soğutucu soğutma kapasitesi ve suyun çıkış sıcaklığı olarak aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 4.12 Ankara için aylık ortalama hava sıcaklık değerleri (°C)

Ocak	Subat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
-1,39	3,09	8,15	11,11	15,72	20,46	25,61	24,69	22,62	12,48	7,17	4,75

Tablo 4.13 Ankara için aylık ortalama bağıl nem değerleri (%)

Ocak	Subat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
56,73	57,11	62,59	62,11	67,6	62,95	57,64	64,39	63,05	52,72	59,79	67,92

Tablo 4.14 Ankara için havanın evaporatif pedden geçtikten sonraki aylık ortalama hava sıcaklık değerleri (°C)

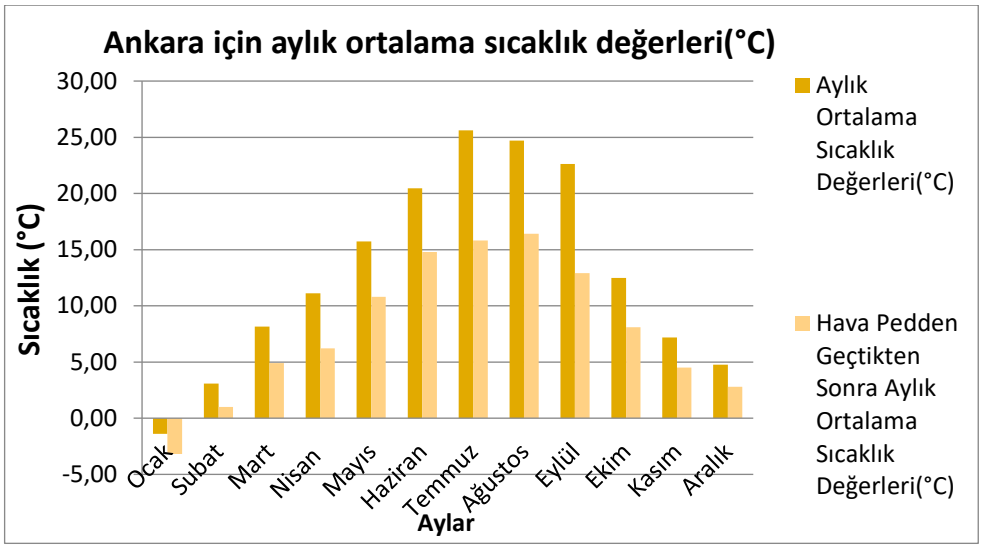
Ocak	Subat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
-3,2	1,0	4,9	6,2	10,8	14,8	15,8	16,4	12,9	8,1	4,5	2,8

Tablo 4.15 Ankara için evaporatif pedli ve pedsiz kuru soğutucu soğutma kapasitesi (kW)

Kuru Soğutucu Tipi	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Pedsiz	355,7	321,87	284,35	262,77	229,57	196,1	160,33	166,7	180,97	252,87	291,56	309,52
Evaporatif Pedli	369,54	337,63	308,46	298,83	265,15	236,35	229,22	224,95	249,98	284,85	311,43	324,11

Tablo 4.16 Ankara için suyun kuru soğutucudan çıkış sıcaklığı (°C)

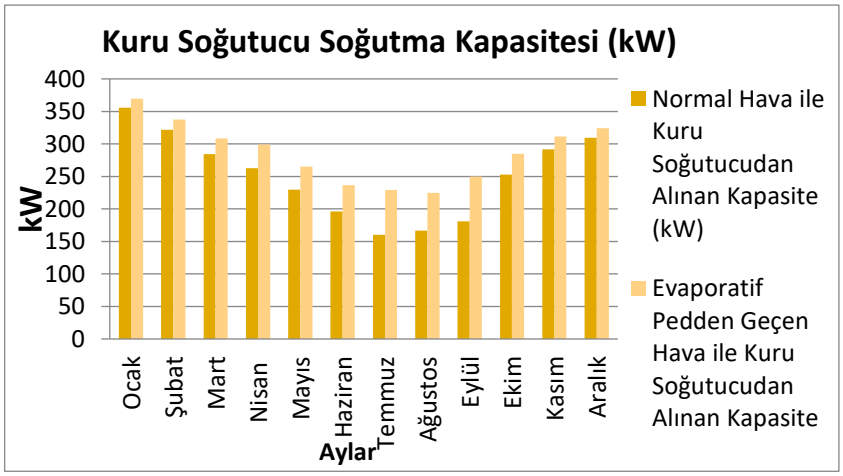
Kuru Soğutucu Tipi	Ocak	Subat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Pedsiz	34,7	36,1	37,8	38,7	40,1	41,6	43,1	42,8	42,2	39,1	37,4	36,7
Evaporatif Pedli	34,1	35,5	36,7	37,1	38,6	39,8	40,1	40,3	39,2	37,7	36,6	36



Şekil 4.10 Ankara için aylık ortalama hava sıcaklık değerleri (°C)

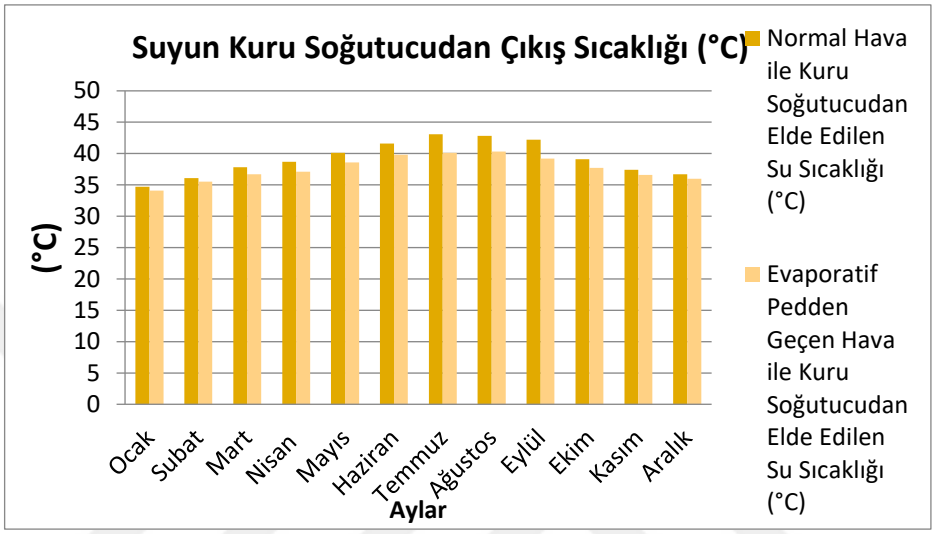
Şekil 4.10'da de görüleceği üzere Ankara ili için evaporatif ped kullanımı kuru soğutucuya giren havayı neme doyurarak sıcaklığını düşürür. Evaporatif ped kullanımı sayesinde sıcaklık düşüşü her ay olsa da Mayıs-Eylül ayları arasında daha fazla bir düşüş olduğu görülmektedir. Ocak ayı gibi hava değerlerinin 0^0C 'nin altına indiği sıcaklıklarda evaporatif ped kullanımı avantaj sağlamamaktadır. Bu aylarda evaporatif ped kullanılması tavsiye edilmemektedir.

En fazla sıcaklık düşüşü Şekil 4.10'da görüleceği üzere Temmuz ayında yaşanmıştır. Temmuz ayı sıcaklık ortalaması 25,61 ^{0}C iken, evaporatif ped kullanılarak aylık ortalama sıcaklık değeri 15,8^{0}C'ye düşürülmüştür.



Şekil 4.11 Ankara için normal ve evaporatif pedli kuru soğutucu soğutma kapasitesi (kW)

Ankara ili için kuru soğutucuda evaporatif ped kullanılması sayesinde kuru soğutucu soğutma kapasitesinde yaşanan artış Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Örnek olarak Haziran ayında kuru soğutucudan 196,1 kW kapasite alınırken, Evaporatif pedli kuru soğutucu kullanıldığında bu kapasite 236,35 kW olmaktadır. Haziran ayı için evaporatif ped kullanımı kuru soğutucu soğutma kapasitesini 1,21 kat arttırmıştır.



Şekil 4.12 Ankara için normal ve evaporatif pedli kuru soğutucudan çıkan suyun sıcaklığı (°C)

Şekil 4.12'de aylara göre kuru soğutucu ve evaporatif pedli kuru soğutucudan çıkan su sıcaklıkları aylık olarak gösterilmiştir. Evaporatif ped sayesinde kuru soğutucudan çıkan su sıcaklığında düşüş yaşanmıştır, yani daha soğuk su elde edilmiştir. Örnek olarak Haziran ayında kuru soğutucudan 41,6 °C su çıkışı alınırken, evaporatif pedli kuru soğutucu kullanıldığında su çıkış sıcaklığı 36,8 °C olmaktadır

4.6 4.Derece Gün Bölgesi Erzurum İli İçin Evaporatif Nemlendiricinin Kuru Soutucu Kapasitesine Etkisi

Meteoroloji genel müdürlüğünden alınan aylık ortalama sıcaklık değerleri , aylık ortalama nem değerleri ile hesaplamalar sonucu ortaya çıkan havanın evaporatif pedden geçtikten sonra aylık ortalama sıcaklık değerleri , kuru soğutucu kapasitesi ve suyun çıkış sıcaklığı olarak aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 4.17 Erzurum için aylık ortalama hava sıcaklık değerleri (°C)

Ocak	Subat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
-9,52	-8,76	0,195	5,94	11,02	16,58	21,88	22,39	18,23	7,909	1,989	-1,72

Tablo 4.18 Erzurum için aylık ortalama bağıl nem değerleri (%)

Ocak	Subat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
76,59	76,48	71,5	56	55,11	46,9	36,49	32,5	31,38	58,13	68,79	74,3

Tablo 4.19 Erzurum için havanın evaporatif pedden geçtikten sonraki aylık ortalama hava sıcaklık değerleri (°C)

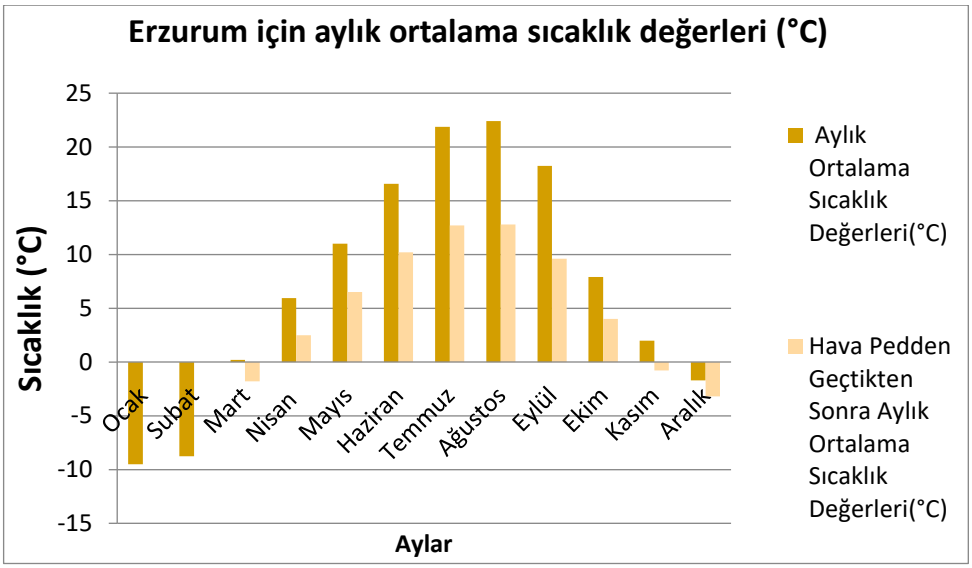
Ocak	Subat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
0	0	-1,8	2,5	6,5	10,2	12,7	12,8	9,6	4	-0,8	-3,2

Tablo 4.20 Erzurum için evaporatif pedli ve pedsiz kuru soğutucu soğutma kapasitesi (kW)

Kuru Soğutucu Tipi	Ocak	Subat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Pedsiz	418,52	412,55	343,64	300,63	263,43	223,47	186,1	182,55	211,69	286,13	330,13	358,15
Evaporatif Pedli	345,18	345,18	358,84	326,36	296,61	269,51	251,42	250,7	273,88	315,15	351,24	369,54

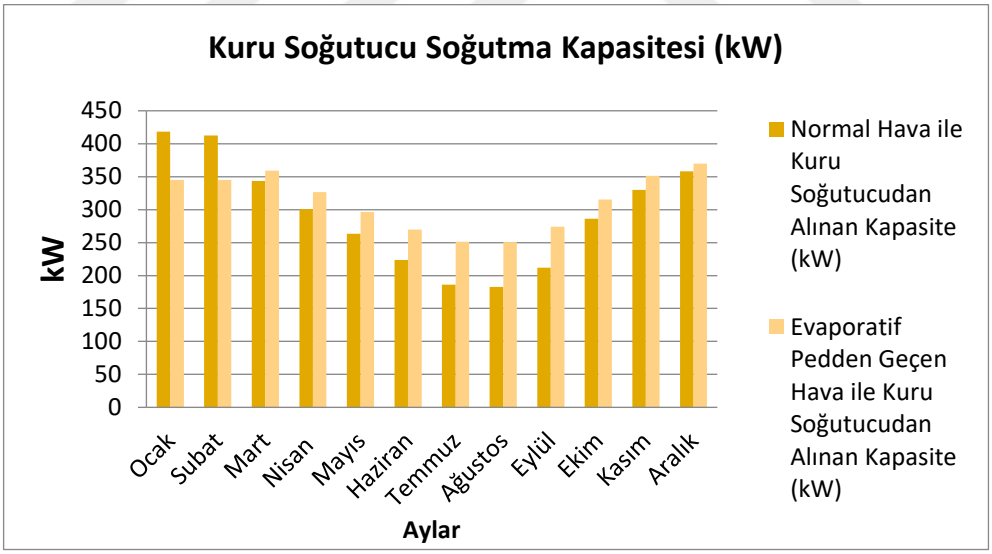
Tablo 4.21 Erzurum için suyun kuru soğutucudan çıkış sıcaklığı (°C)

Kuru Soğutucu Tipi	Ocak	Subat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Pedsiz	32	32,2	35,2	37,1	38,7	40,4	42	42,1	40,9	37,7	35,8	34,6
Evaporatif Pedli	35,1	35,1	34,6	36	37,2	38,4	39,2	39,2	38,2	36,4	34,9	34,1



Şekil 4.13 Erzurum için aylık ortalama hava sıcaklık değerleri (°C)

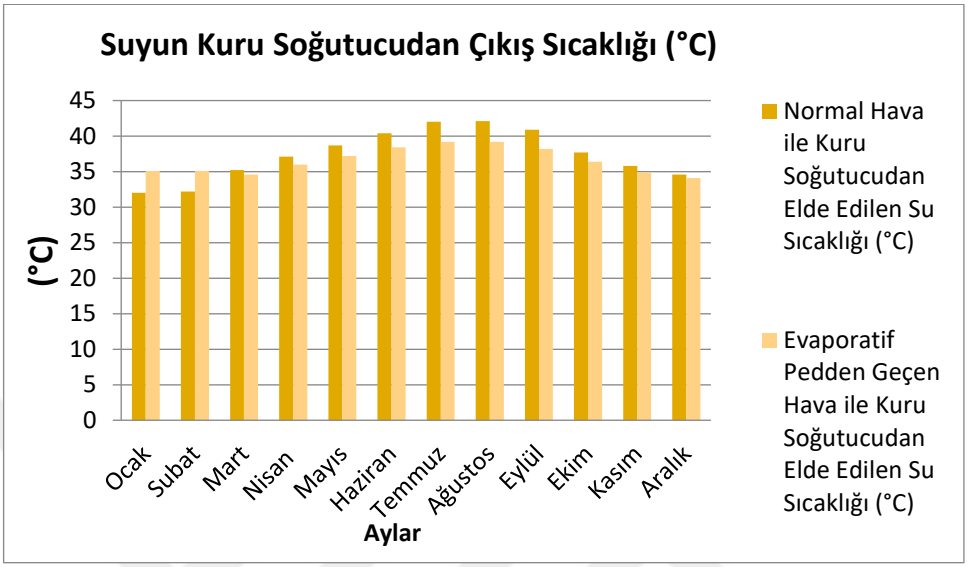
Şekil 4.13'dan da görüleceği üzere evaporatif ped kullanımı kuru soğutucuya giren havayı neme doyurarak sıcaklığını düşürür. Havanın eksi değerlere düştüğü Ocak, şubat aylarında evaporatif ped kullanımının avantajlı bir durum olmadığı görülmüştür.



Şekil 4.14 Erzurum için normal ve evaporatif pedli kuru soğutucu soğutma kapasitesi (kW)

Şekil 4.14'de normal kuru soğutucu ve evaporatif pedli kuru soğutucudan alınan kapasiteler gösterilmiştir. Yaz aylarında evaporatif ped kullanımı soğutma

kapasitesini olumlu yönde etkilemiştir. Örnek olarak Haziran ayında kuru soğutucudan 223,4 kW kapasite alınırken, Evaporatif pedli kuru soğutucu kullanıldığında bu kapasite 269,5 kW olmaktadır. Haziran ayı için evaporatif ped kullanımı kuru soğutucu soğutma kapasitesini %21 arttırmıştır.



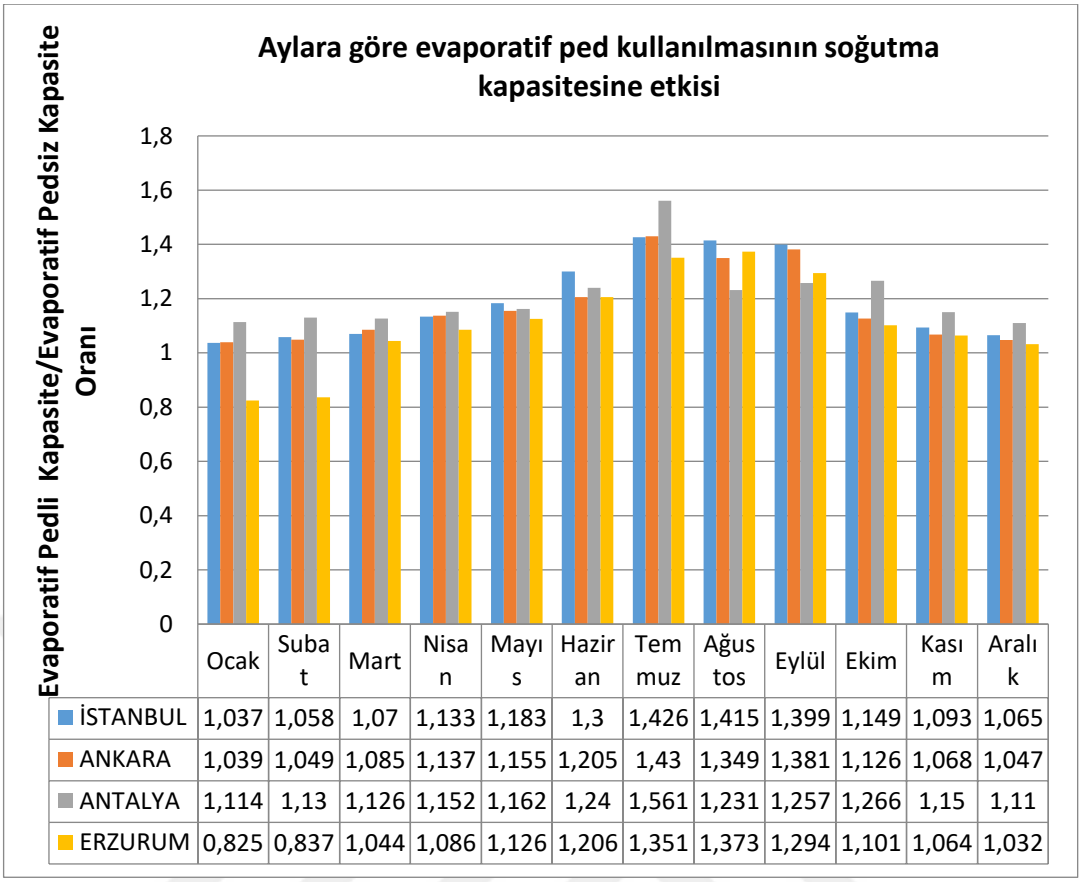
Şekil 4.15 Erzurum için normal ve evaporatif pedli kuru soğutucudan çıkan suyun sıcaklığı(°C)

Şekil 4.15'de aylara göre kuru soğutucu ve evaporatif pedli kuru soğutucudan çıkan su sıcaklıkları aylık olarak gösterilmiştir. Evaporatif ped sayesinde kuru soğutucudan çıkan su sıcaklığında düşüş yaşanmıştır, yani daha soğuk su elde edilmiştir. Örnek olarak Haziran ayında kuru soğutucudan 40,4 °C su çıkışı alınırken, evaporatif pedli kuru soğutucu kullanıldığında su çıkış sıcaklığı 38,4 °C olmaktadır

4.7 Farklı İklim Bölgelerinde Evaporatif Nemlendiricinin Kuru Soğutucu Kapasitesine Etkisinin İncelenmesi

Türkiye'nin 4 farklı derece gün iklim bölgesinden seçilen İstanbul,Ankara, Antalya ve Erzurum için yapılan çalışmalar neticesinde özellikle bahar ve yaz aylarında evaporatif ped kullanımının kapasiteye olumlu katkı sağladığı görülmüştür.

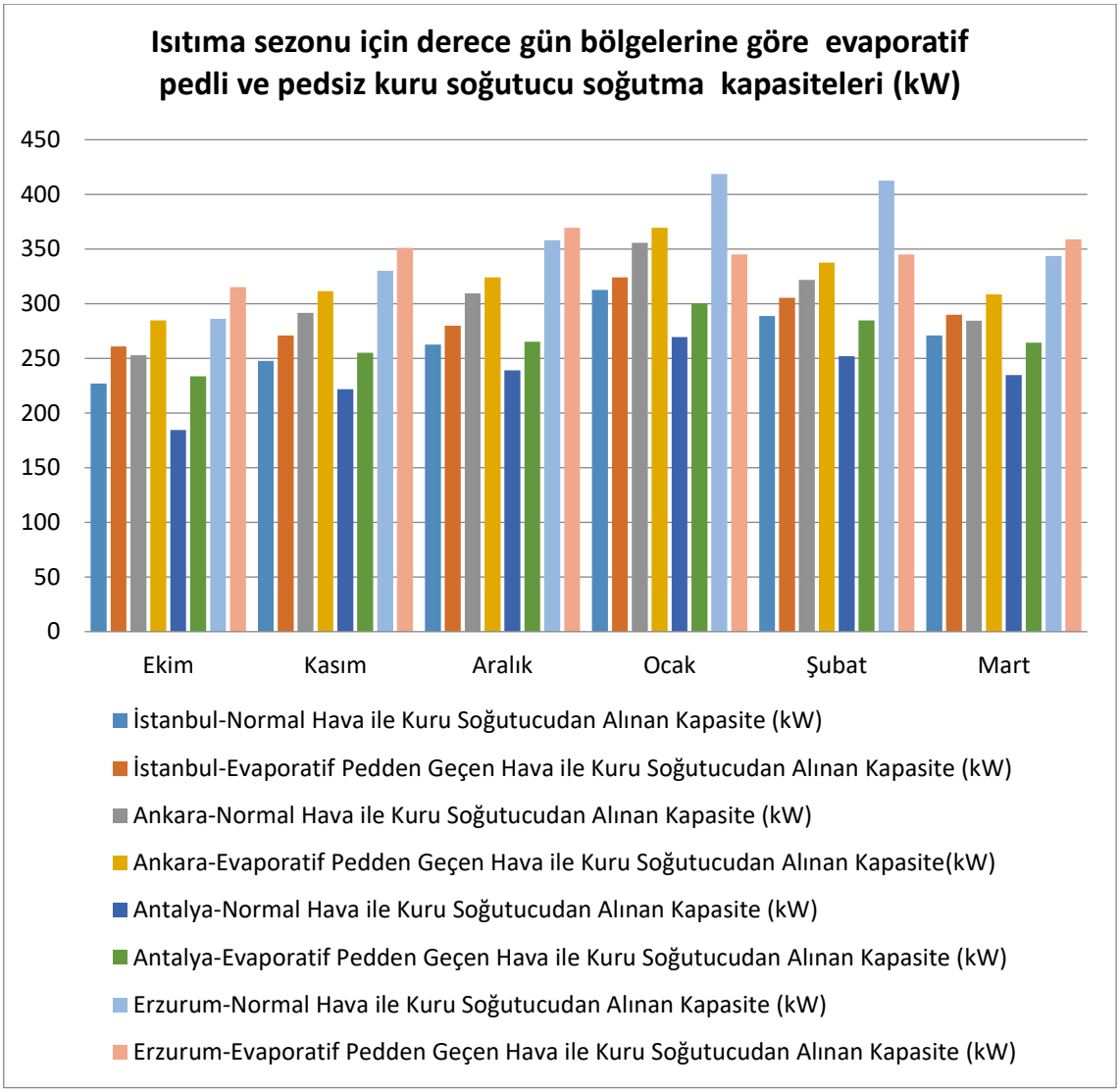
Evaporatif ped sayesinde suyun çıkış sıcaklığı düşürülerek sistem için gerekli soğutmayı sağlamak için kullanılan enerji miktarında tasarruf sağlanır.



	Ocak	Subat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
İSTANBUL	1,037	1,058	1,07	1,133	1,183	1,3	1,426	1,415	1,399	1,149	1,093	1,065
ANKARA	1,039	1,049	1,085	1,137	1,155	1,205	1,43	1,349	1,381	1,126	1,068	1,047
ANTALYA	1,114	1,13	1,126	1,152	1,162	1,24	1,561	1,231	1,257	1,266	1,15	1,11
ERZURUM	0,825	0,837	1,044	1,086	1,126	1,206	1,351	1,373	1,294	1,101	1,064	1,032

Şekil 4.16 Aylara göre il bazında evaporatif ped kullanılmasının kuru soğutucu soğutma kapasitesine etkisi

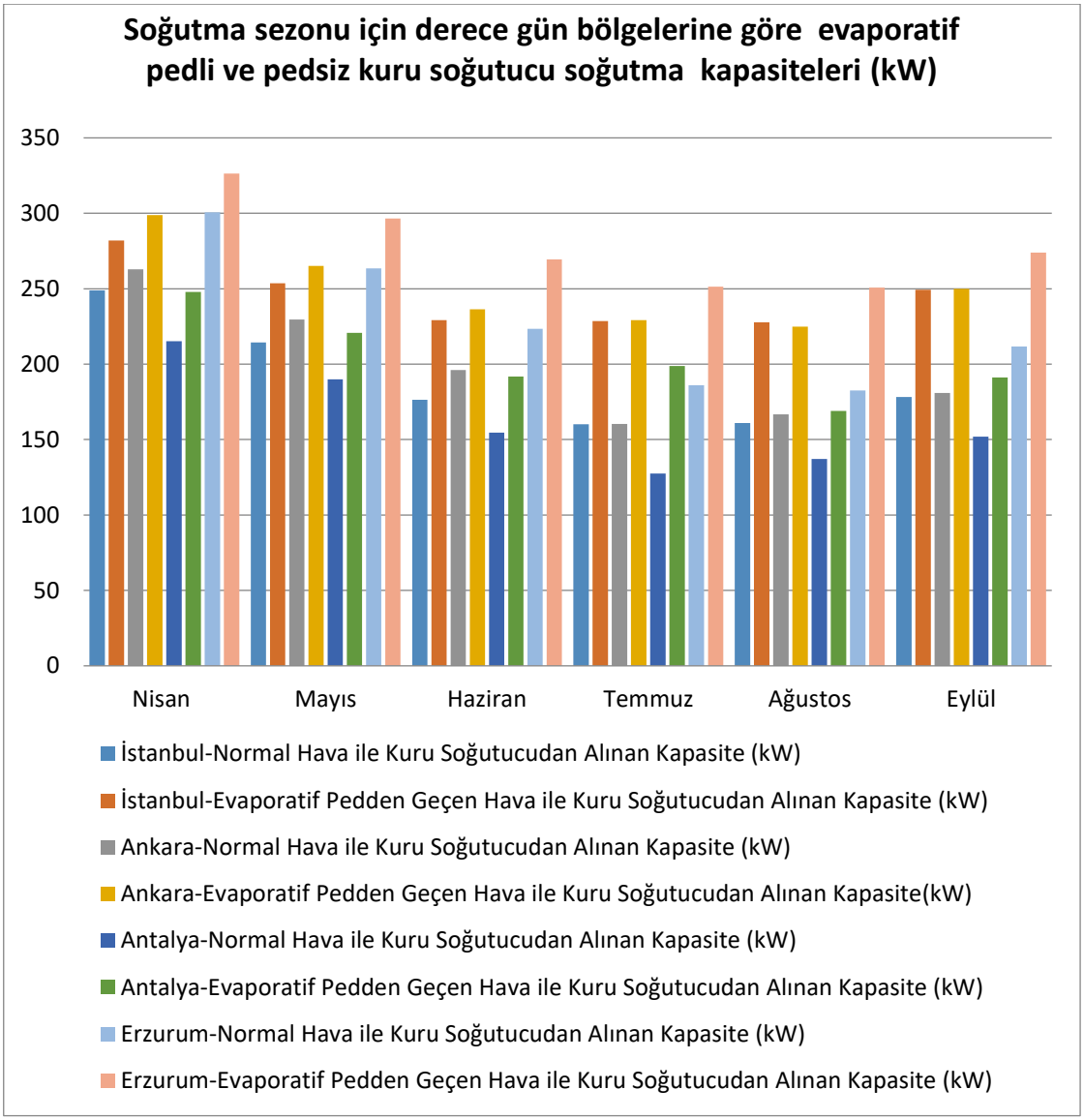
Evaporatif ped kullanımının 1.derece gün bölgesi(Antalya), 2.derece gün bölgesi(İstanbul), 3.derece gün bölgesi(Ankara) ve 4.derece gün bölgesi (Erzurum) için de Haziran, Temmuz Ağustos Eylül aylarında %20 ve yukarısında avantaj sağladığı Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



Şekil 4.17 Isıtma sezonu için derece gün bölgelerine göre evaporatif pedli ve pedsiz kuru soğutucu kapasiteleri

1.derece gün bölgesi(Antalya), 2.derece gün bölgesi(İstanbul), 3.derece gün bölgesi(Ankara) ve 4.derece gün bölgesi (Erzurum) için evaporatif pedli ve pedsiz kuru soğutuculardan alınan kapasiteler ısıtma sezonu (1 Ekim-1Nisan) aylara göre Şekil 4.17'de gösterilmiştir.

Ekim, Kasım ve Aralık ayı için evaporatif ped kullanımı her bölgede kuru soğutucu kapasitesinde olumlu etki sağlarken , Ocak-Şubat gibi aylarda Erzurum için olumsuz etki yarattığı görülmüştür.



Şekil 4.18 Soğutma sezonu için derece gün bölgelerine göre evaporatif pedli ve pedsiz kuru soğutucu kapasiteleri

1.derece gün bölgesi(Antalya), 2.derece gün bölgesi(İstanbul), 3.derece gün bölgesi(Ankara) ve 4.derece gün bölgesi (Erzurum) için evaporatif pedli ve pedsiz kuru soğutuculardan alınan kapasiteler soğutma sezonu (1 Nisan-1Ekim) aylara göre Şekil 4.18'de gösterilmiştir. Soğutma sezonunda evaporatif ped kullanımının her dört bölge için de kuru soğutucu kapasitesine olumlu katkı sağladığı görülmektedir.

5
DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1 Deneysel Çalışmada Kullanılan Ekipmanlar

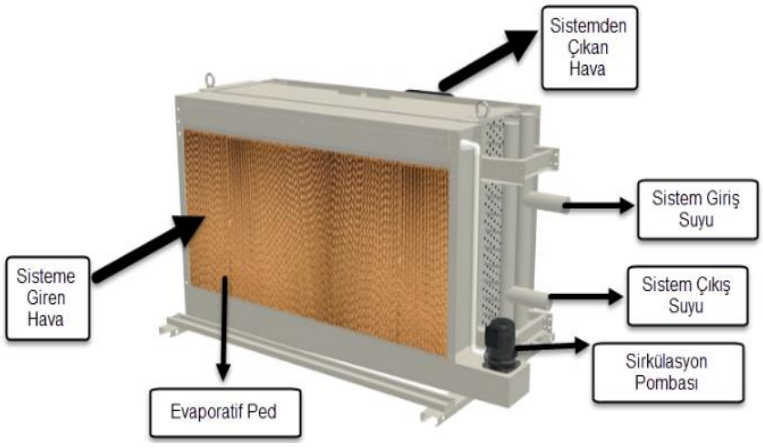
Deneysel çalışma; evaporatif pedin verimliliğini ölçme deneyi ve ısı değiştirici kapasitesini ve suyun çıkış sıcaklığını ölçme deneyi olmak üzere 2 aşamadan oluşmaktadır.

5.1.1 Evaporatif Pedin Verimliliğini Ölçüm Deneyinde Kullanılan Ekipmanlar

Evaporatif pedin verimliliğini ölçmek amacıyla, Şekil 5.1 de verilen, 308,79 m2 ısı transfer yüzey alanına sahip, 1 adet 910mm çapında fan bulunan kuru soğutucu kullanılmıştır.



Şekil 5.1 Deneyde kullanılan tek fanlı kuru soğutucunun önden çekilen fotoğrafı



Şekil 5.2 Deneyde kullanılan tek fanlı kuru soğutucunun şematik gösterimi

Dış ortam hava sıcaklığı ve neminin ölçülmesi için Şekil 5.3 de görüldüğü üzere, termal problu çok fonksiyonlu ölçüm aracı kullanılmıştır. Bu deneysel çalışmadaki amaç, evaporatif pedin etkinliğini belirlemektir. Bu sebeple havanın evaporatif nemlendiriciye giriş ve çıkışında kuru termometre ve bağıl nem değerleri ölçülmüştür.



Şekil 5.3 Çok fonksiyonlu ölçüm aracı

Havanın sıcaklık ve nemini ölçen cihaza ait ölçüm belirsizlikleri (Tablo-5.1)'de verilmiştir.

Tablo 5.1 Ölçüm aletinin belirsizliği

Ölçüm	Alet	Ölçüm Yeri	Ölçüm Aralığı	Ölçüm Belirsizlikleri
Sıcaklık	Testo 435-2	Dış Hava	-50 … +150 °C	±0.5% ölç.değ. (kalan aralık)
Nem	Testo 435-2	Dış Hava	0 … +100 %RH	±2 %RH (+2 … +98 %RH)

5.1.2 Isı Değiştiricisi Kapasitesi ve Suyun Çıkış Sıcaklığını Ölçüm Deneyinde Kullanılan Ekipmanlar

Deneylerde, kuru Soğutucu kapasitesini ve suyun çıkış sıcaklığının ölçümü yapılmıştır. Havanın kuru termometre ve bağıl nem değerleri ile evaporatif pedden çıkış kuru termometre ve bağıl nem değerleri kullanılarak, test

laboratuarında 90,71 m2 ısı transfer yüzey alanına sahip, kuru soğutucu kullanılarak deneyler yapılmıştır.

Deneyin yapıldığı laboratuvarda hava sıcaklığı ölçüm sensörü, nem ölçüm sensörü, akışkan sıcaklık ölçüm sensörü ve akışkan debisi ölçüm aletleri kullanılmıştır. Bu deneyde evaporatif pedden çıkan hava değerleri ısı değiştiricisine giren hava değerleri olarak kabul edilmiştir. Burada amaç evaporatif ped sayesindeki kuru soğutucu soğutma kapasitesi ve suyun çıkış sıcaklığı değerlerindeki değişimin gözlemlenmesidir.

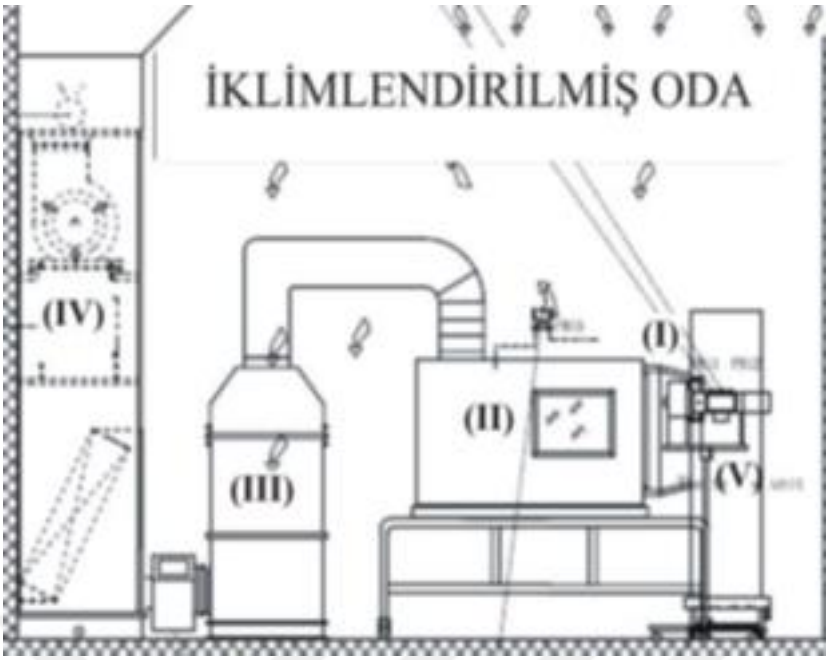


Şekil 5.4 Test edilen kuru soğutucu bataryası

Deney düzeneğinde bulunan ekipmanlar hakkında aşağıdaki alt başlıklarda detaylı olarak bilgi verilmiştir.

5.1.2.1 Rügar Tüneli

İklimlendirme odasında yer alan emiş tipli rüzgâr tünelinin kesit ölçüleri 715 mm x 715 mm ‘dir. Rüzgâr tüneli temelde bir karışım ünitesi, akış ölçümü ve hava karışımı hazneleri bağlantı kanalı, egzoz körüğü, lüle haznesi ve giriş kısmından oluşmaktadır. İklimlendirme odası ve rüzgar tüneli şematik gösterimi Şekil 5.5’te, foğrafı ise Şekil 5.6’da gösterilmiştir.



Şekil 5.5 İklimlendirilmiş oda ve rüzgar tüneli laboratuvarı şematik görünüm (I: test edilen ısı değiştiricisi, II: Karışım haznesi, III: lüle haznesi, akış ölçüm haznesi, IV: hava şartlandırma ünitesi, V: hava numunelendirici)



Şekil 5.6 İklimlendirilmiş oda ve rüzgar tüneli laboratuvarı

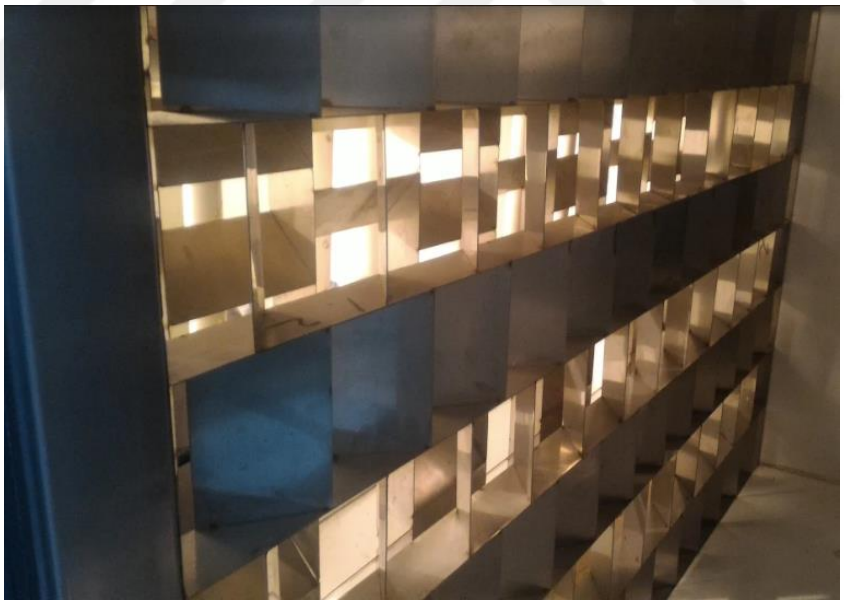
5.1.2.2 Hava Karışım Ünitesi

Hava karışım ünitesi 60 mm et kalınlığına sahip PVC kaplı çelik sactan imal edilmiştir. Hava karıştırıcı hava karışım haznesini psikrometrik ve basınç olarak iki

ayrı bölüme ayırmaktadır. Hava karıştırıcı yatay ve dikey yönlerde havayı karıştırabilmektedir. Şekil 5.6'da karışım ünitesi gösterilmiştir.



Şekil 5.7 Hava karışım ünitesi



Şekil 5.8 Hava Karıştırıcı

5.1.2.3 Basınç Probu

Statik basınç ölçümü bölümünde her iki tarafta dört adet basınç probu bulunmaktadır, bu problar test ürünlerinin çıkış statik basıncını ölçmek amacıyla

kullanılmaktadır.Hava karıştırıcısının aşağı akım bölgesine yerleştirilmiş olan sıcaklık ve nem ölçüm kutusu içerisinde havanın kuru termometre sıcaklığını ve çiğ noktası sıcaklığını ölçen sensörler yer almaktadır.

5.1.2.4 Lüle Haznesi

Lüle haznesi paslanmaz çelik sac malzemeden imal edilmiştir. Giriş kısmında bir adet hava adaptörü bulunmaktadır. Lüle haznesinin içerisinde beş tene lüle seti bulunmaktadır. Statik basınç düşüşünün ölçülmesi için lülelerin hem aşağı hem de yukarı kısmında haznenin dört tarafında basınç bantları bulunmaktadır. Lülelerden önce havanın özgül hacmini teyit etmek amacıyla hava sıcaklığını ölçen bir sıcaklık sensörü yer almaktadır. Şekil 5.9'de lüle haznesi gösterilmiştir.



Şekil 5.9 Lüle haznesi

5.1.2.5 Su Isıtma Tankı

Bir adet su ısıtma tankı vasıtasıyla su giriş sıcaklığı kontrol edilmektedir. Tankın içerisine bir tanesi 9 kW ısıtma gücüne sahip olan üç adet elektrikli ısıtıcı yerleştirilmiştir. Giriş suyu sıcaklık değerinde doğru ayar yapılması için test edilen branşta ikinci bir su ısıtma tankı bulunmaktadır.

Tablo 5.2 Labaratuarda bulunan ölçüm aletlerinin ölçüm belirsizlikleri

Ölçüm	Alet	Ölçüm Yeri	Ölçüm Aralığı	Ölçüm Belirsizlikleri
Sıcaklık	Galltec	Ürünün giriş ce çıkışındaki sıcaklık ölçüm kutusu	-40 … +85 °C	0.15°C
Nem	Galltec	Ürünün giriş ce çıkışındaki sıcaklık ölçüm kutusu	0 ... +100 %RH	1%
Sıcaklık	PT 100	Boru su giriş ve çıkışı	-30 … +70 °C	0.1°C
Debi	AXF025G Flow meter-FM3	Borularda su debisi	0…5 m^3/h	0,50%

5.2 Deneysel Yöntem

Testler, akışkanın boru içi debisinin ve çıkış sıcaklığının referans alındığı iki farklı durum için yapılabilmektedir. Sabit su debisinin referans alındığı durumda boru içerisinden belirli bir debide su geçirilmektedir ve buna bağlı olarak suyun çıkış sıcaklığı ölçülmektedir. Sabit su çıkış sıcaklığının referans alındığı durumda ise suyun çıkış sıcaklığı, su debisi ayarlanarak kontrol edilmektedir. Yazılım, test sırasında gerekli su akış debisini hesaplamak için su çıkış sıcaklığını kullanır ve sabit bir çıkış suyu sıcaklığı elde etmek için gerekli su debisi miktarını ayarlar. Su akış debisi bir invertör kontrollü su pompası tarafından debisi 0.3 ile 5 m3/h arasında kontrol edilmektedir. Deney ünitesinde bulunan bütün ölçme ve kontrol elemanları bilgisayar yazılımı aracılığı ile bilgisayarlarla bağlantılıdır. Deneylerde kullanılan test ünitesinin şekli, ölçme ve kontrol elemanlarının şekli, değer göstergeleri, çalıştırma ve durdurma butonları bilgisayar ekranına hazır bir yazılım yardımı ile çizdirilmiştir.

Testin ilk aşamasında sistemin kararlı çalışma durumuna gelmesi için belirli bir süre beklenmektedir. Ölçülen bütün fiziksel büyüklükler eş zamanlı olarak kayıt edilmekte ve hesaplamalar zaman ortalaması alınmış şekilde yapılmaktadır. Ölçülen basınç ve sıcaklık değerlerinden faydalanılarak giriş ve çıkıştaki hava ve suyun entalpi değerleri sistemin veri bankasında bulunan entalpi tablolarından belirlenmektedir.

5.3 Deneylerin Yapılışı

5.3.1 Evaporatif Pedin Verimliliğini Ölçüm Deneyinin Yapılışı

Öncelikle havanın kuru termometre sıcaklığı ve bağıl nemi ölçülmüştür, daha sonra evaporatif ped besleme suyu ile ıslatılarak havanın pedden çıkış değerleri ölçülmüştür. Deney, tekrarlanabilirliğin gösterilmesi için aynı gün içerisinde 2 farklı saatteki değerler ölçülerek yapılmıştır.

1.Deneyde evaporatif ped verimi %85, 2.Deneyde evaporatif ped verimi %79 olarak hesaplanmıştır. Bu durum beklenilen bir durumdur ve sıcaklık düştükçe evaporatif pedin veriminin düşmesi ile açıklanabilir.



Şekil 5.10 Deney yapılan tek fanlı kuru soğutucunun ön görünüşü



Şekil 5.11 Deney yapılan tek fanlı kuru soğutucunun arka görünüşü (evaporatif pedin bulunduğu , havanın giriş yaptığı taraf)

Yapılan deneylerin sonucunda evaporatif pedin havayı neme doyurarak kuru termometre sıcaklığını düşürdüğü gözlemlenmiştir. Deneyin tekrarlanabilirliğini göstermek için , deney aynı gün içinde ölçülen iki farklı kuru termometre ve bağıl nem değerinde yapılmıştır.Deney sonuçları (Tablo 5.3) ve (Tablo 5.4)'te verilmiştir.

Tablo 5.3 İlk deney değerleri

Hava Giriş Sıcaklığı (°C)	Hava Giriş Nemi (%)	Havanın Evaporatif Pedden Çıkış Sıcaklığı (°C)	Havanın Evaporatif Pedden Çıkış Nemi (%)
34,5 °C	34,10%	23,9 °C	70,20%



Şekil 5.12 Havanın evaporatif pedden önce ve sonraki değerleri

Tablo 5.4 İkinci deney değerleri

Hava Giriş Sıcaklığı (°C)	Hava Giriş Nemi (%)	Havanın Evaporatif Pedden Çıkış Sıcaklığı (°C)	Havanın Evaporatif Pedden Çıkış Nemi (%)
33,8 °C	35,60%	24,5 °C	68,70%



Şekil 5.13 Havanın evaporatif pedden önce ve sonraki değerleri



Şekil 5.14 Deney yapılan tek fanlı kuru soğutucunun yan görünüşü (sirkülasyon pompasının , giriş ve çıkış kolektörlerinin bulunduğu taraf)



Şekil 5.15 Deney yapılan tek fanlı kuru soğutucunun üst görünüşü (pedi islatmak için suyun toplanıp aktığı tava)

5.3.2 Kuru Soğutucu Kapasitesi ve Suyun Çıkış Sıcaklığını Ölçüm Deneyinin Yapılışı

Bu deneyde bir önceki deneyde elde edilen havanın normal değerleri ve evaporatif pedden çıkış değerleri kullanılmıştır. Deney tekrarlanabilirliği açıkca göstermek için iki farklı zamanda elde edilen değerler ısı değiştiricisi giriş havası değerleri kabul edilerek kuru soğutucu kapasitesi ve suyun çıkış sıcaklığı değerleri ölçülmüştür. Toplam 4 adet hava değeri için deney yapılmıştır.

Deney esnasında çekilen farklı görünüşteki fotoğraflar aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



Şekil 5.16 İklimlendirilmiş oda ve rüzgar tüneli genel görüşünüş-1



Şekil 5.17 İklimlendirilmiş oda ve rüzgar tüneli genel görünüş-2



Şekil 5.18 Test edilen ısı değiştiricisi

5.4 Deney Sonuçları

4 farklı hava değerinde deney yapılmıştır. (Tablo 5.5)'te verilen değerler 4 farklı hava değerinde deney yapılırken sabit alınan değerlerdir.

Tablo 5.5 Deney girişinde alınan hava ve su değerleri

Hava Tarafı Özellikleri		Su Tarafı Özellikleri	
Hava Giriş Sıcaklığı (°C)	34,5	Akışkan	Su
Hava Giriş Bağıl Nemi (%)	34%	Su Giriş Sıcaklığı (°C)	50
Hava Debisi (m^3/h)	5000	Akışkan Debisi (kg/h)	3000

Deney sonuçları havanın pedden geçmeden önceki ve pedden geçtikten sonraki değerleri baz alınarak Tablo (5.6)'da ve Tablo (5.7)'de verilmiştir.

Tablo 5.6 Havanın normal koşullardaki ve evaporatif pedden geçtikten sonraki koşullarda ölçülen deney-1 değerleri

	Havanın Normal Koşullardaki Değerleri ile Yapılan Deney Sonuçları	Havanın Evaporatif Pedden Geçtikten Sonraki Değerleri ile Yapılan Deney Sonuçları
Hava Giriş Sıcaklığı (°C)	34,47	23,9
Hava Giriş Bağıl Nemi (%)	34,10%	70,08%
Hava Debisi (m^3/h)	5002,11	5008,81
Su Debisi (m^3/h)	3000	3000
Su Giriş Sıcaklığı (°C)	49,97	49,95
Su Çıkış Sıcaklığı(°C)	44,45	40,41
Kuru Soutucu Soğutma Kapasitesi (kW)	19,32	32,79

Deneyde hava debisinde ve su giriş sıcaklığında çok küçük sapmalar meydana geldiği (Tablo5.6)'da gösterilmiştir.

Yapılan deney sonucunda (Tablo 5.6)'da görüleceği üzere evaporatif ped kullanımı kuru soğutucu soğutma kapasitesi 19,32 kW'tan 32,79 kW'a yükseltmiştir. Diğer bir ifadeyle evaporatif ped kullanılması kuru soğutucu kapasitesini %69,7 arttırmıştır.

Deney sonucunda ölçülen suyun çıkış sıcaklığına baktığımızda ciddi bir düşüş görülmektedir. Normal kuru soğutucuda suyun çıkış sıcaklığı 44,45^{o}C olarak ölçülürken , evaporatif ped kullanılan durumda suyun çıkış sıcaklığını 40,41 ^{o}C olarak ölçülmüştür.

Tablo 5.7 Havanın normal koşullardaki ve evaporatif pedden geçtikten sonraki koşullarda ölçülen deney-2 değerleri

	Havanın Normal Koşullardaki Değerleri ile Yapılan Deney Sonuçları	Havanın Evaporatif Pedden Geçtikten Sonraki Değerleri ile Yapılan Deney Sonuçları
Hava Giriş Sıcaklığı (^{o}C)	33,79	24,49
Hava Giriş Bağıl Nemi (%)	34,41%	68,40%
Hava Debisi (m^3/h)	5008,44	5003,12
Su Debisi (m^3/h)	3000	3000
Su Giriş Sıcaklığı (^{o}C)	49,97	50
Su Çıkış Sıcaklığı(^{o}C)	44,16	40,7
Kuru Soğutucu Soğutma Kapasitesi (kW)	20,24	32,03

Deneyde hava debisinde ve su giriş sıcaklığında çok küçük sapmalar meydana geldiği (Tablo5.6)'da gösterilmiştir.

Yapılan deney sonucunda (Tablo 5.7)'de görüleceği üzere evaporatif ped kullanımı kuru soğutucu soğutma kapasitesi 20,24 kW'den 32,02 kW'ye yükseltmiştir. Diğer bir ifadeyle evaporatif ped kullanılması kuru soğutucu kapasitesini %58,2 arttırmıştır.

Deney sonucunda ölçülen suyun çıkış sıcaklığına baktığımızda ciddi bir düşüş görülmektedir. Normal kuru soğutucuda suyun çıkış sıcaklığı 44,16^{o}C olarak ölçülürken , evaporatif ped kullanılan durumda suyun çıkış sıcaklığını 40,7 ^{o}C olarak ölçülmüştür.

Bu verilerin ilk deney verileri ile benzerlik göstermesi deneyin tekrarlanabilirliğini açıkca göstermektedir.

5.5 Belirsizlik Analizi

Deneysel bulguların hata analizinde Kline ve McClintock [19] tarafından ortaya atılmış belirsizlik analizi (uncertainty analysis) yöntemi kullanılmıştır:

$$W_Q = \left[\left(\frac{\partial Q}{\partial m_h} w_1\right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial T_{hç}} w_2\right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial T_{hg}} w_3\right)^2\right]^{1/2} \quad (5.1)$$

Denklem (5.1)'de ifade edilen kapasite ya da ısı transfer hızı ifadesinin belirsizlik değeri ölçülen debi, giriş ve çıkış sıcaklık değerlerinin değişimi ile ifade edilmektedir.

Çalışma koşullarına bağlı olarak kuru soğutucu soğutma kapasitesindeki belirsizlik değeri %1,73mertebesindedir.

5.6 Deneylerin Tekrarlanabilirliği ve Güvenirliği

Yapılan deneyler yenilenebilir ve tekrarlanabilir niteliktedir. Bu durumlar deneylerin kendi içerisinde de açıklıkla görülebilir. Şöyle ki birinci deneyin içerisinde iki farklı değer için yapılan deneyler mevcuttur, iki deneyin içinde ise dört farklı değer için yapılan deneyler mevcuttur.

5.7 Teorik Model Sonuçları ile Deneyde Ölçülen Sonuçların Karşılaştırılması

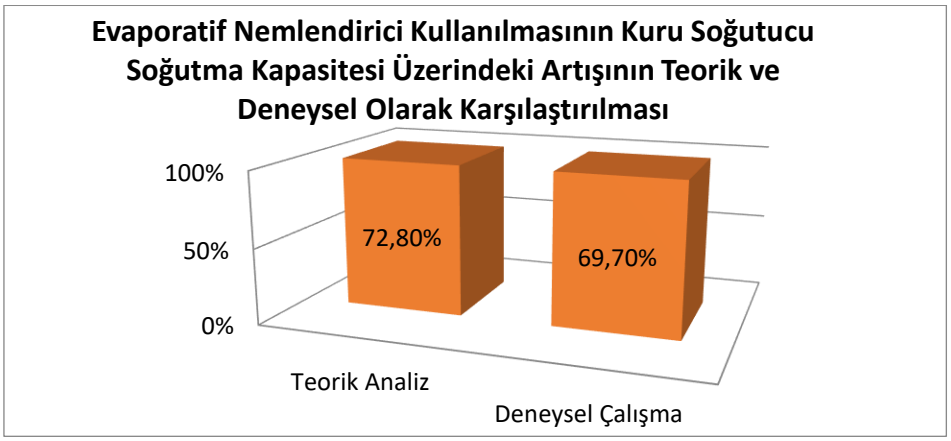
Yapılan deneysel ve teorik çalışmada evaporatif nemlendiricinin kuru soğutucu soğutma kapasitesini arttırdığı sonucuna varılmıştır.

Deneysel çalışmada dış ortam hava şartları, Türkiyenin 1. Derece gün iklim bölgesinde bulunan Antalya ili Temmuz ayı ortalama kuru termometre sıcaklık ve

bağıl nem değerleri olarak belirlenmiştir. Buna göre kuru soğutucuya havanın giriş şartları kuru termometre sıcaklığı 30,5 °C ve bağıl nemi %58 olarak alınmıştır.Kuru soğutucu soğutma kapasitesi belirtilen şartlar için 127,4 kW olarak hesaplanmıştır. Evaporatif nemlendirici kullanıldığında ise havanın kuru soğutucuya giriş sıcaklığı 20,1 °C olmaktadır ve kuru soğutucu kapasitesi 198,8kW olarak hesaplanmıştır. Evaporatif nemlenidirici kullanıldığında kuru soğutucu soğutma kapasitesi %56 artmaktadır.

Deneysel çalışmada ölçülen hava kuru termometre sıcaklığı 34,6 °C ve bağıl nem %34,41 olduğu şartlarda teorik analiz yapıldığında kuru soğutucu kapasitesi 92,97 kW olarak hesaplanmaktadır. Evaporatif nemlendirici kullanıldığı durumdaki hava kuru termometre sıcaklığı 23,9 °C ve bağıl nem %70,08 olduğu şartlarda teorik analiz yapıldığında ise kuru soğutucu kapasitesi 160,73 kW olarak hesaplanmaktadır. Evaporatif nemlenidirici kullanıldığında teorik analiz için belirtilen değerlerde kuru soğutucu soğutma kapasitesi %72,8 artmaktadır.

Kuru soğutucu ile laboratuvarda yapılan deneysel çalışmada ise ölçülen hava kuru termometre sıcaklığı 34,6 °C ve bağıl nem %34,41 olduğu şartlarında kuru soğutucu kapasitesi 19,32 kW olarak ölçülürken iken evaporatif pedli hava kuru termometre sıcaklığı 23,9 °C ve bağıl nem %70,08 olduğu şartlar da kuru soğutucu kapasitesi 32,79 kW olarak ölçülmüştür. Yapılan deney sonucunda evaporatif nemlenidirici kullanıldığında kuru soğutucu soğutma kapasitesi %69,7 artmaktadır.



Şekil 5.19 Evaporatif nemlendirici kullanılmasının kuru soğutucu soğutma kapasitesi üzerindeki artışının teorik ve deneysel olarak karşılaştırılması

Şekil 5.19’da, teorik çalışmada evaporatif nemlendirici kullanılmasının kuru soğutucu soğutma kapasitesini %72,8 arttırdığı, deneysel çalışmada ise evaporatif nemlendirici kullanılmasının kuru soğutucu soğutma kapasitesini %69,7 arttırdığının karşılaştırılması gösterilmiştir.

6
SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Türkiye'nin 4 farklı derece gün iklim bölgesinden örnek birer il seçilerek kuru soğutucularda evaporatif soğutmanın kapasite üzerindeki etkisi teorik ve deneysel olarak incelenmiştir.

1.derece gün bölgesi(Antalya), 2.derece gün bölgesi(İstanbul) ve 3.derece gün bölgesi(Ankara) için evaporatif soğutma yöntemiyle soğutma kapasitesinde her ay artış yaşanırken, 4.derece gün bölgesi (Erzurum) gibi soğuk bir iklime sahip lokasyonlar için evaporatif soğutmanın özellikle kış aylarında uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Kuru soğutucular ile birlikte evaporatif ped kullanılması özellikle yaz aylarında kuru soğutucu soğutma kapasitesinde önemli bir artış sağladığı verilen grafiklerden anlaşılmıştır.

1.derece gün bölgesi(Antalya) için yıl boyunca evaporatif pedli kuru soğutucu kullanılması soğutma kapasitesini ortalama %20 arttırmıştır. Bu oran Temmuz ayında %56 olarak en yüksek değerine ulaşmıştır.

2.derece gün bölgesi(İstanbul) için yıl boyunca evaporatif pedli kuru soğutucu kullanılması soğutma kapasitesini ortalama %19,40 arttırmıştır. Bu oran Temmuz ayında %42,6 olarak en yüksek değerine ulaşmıştır.

3.derece gün bölgesi(Ankara) için yıl boyunca evaporatif pedli kuru soğutucu kullanılması soğutma kapasitesini ortalama %17,3 arttırmıştır. Bu oran Temmuz ayında %43 olarak en yüksek değerine ulaşmıştır.

4.derece gün bölgesi (Erzurum) için yıl boyunca evaporatif pedli kuru soğutucu kullanılması tavsiye edilmemektedir. Hava sıcaklığının eksi değerlere düştüğü aylarda evaporatif ped kullanılmasının uygun olmadığı görülmüştür. Erzurum ili için evaporatif ped kullanıldığında soğutma kapasitesini artışı Ağustos ayında %37,3 olarak en yüksek değerine ulaşmıştır.

Teorik analizi yapılan 1.derece gün bölgesi(Antalya), 2.derece gün bölgesi(İstanbul), 3.derece gün bölgesi(Ankara), 4.derece gün bölgesi (Erzurum) için Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında evaporatif ped kullanıldığında kapasitede %20 ve daha fazla artış olduğu hesaplanmıştır. Özellikle bahar ve yaz aylarında evaporatif ped kullanımı soğutma kapasitesine olumlu katkı sağlayarak, suyun çıkış sıcaklığının düşmesine yardımcı olur ve sistem için gerekli soğutmayı sağlamak için kullanılan enerji miktarında tasarruf sağlanır.

Evaporatif ped ile yapılan deney sonucunda havanın bağıl nemi yükselmiştir ve kuru termometre sıcaklık değeri düşmüştür. Yapılan ilk deneyde evaporatif ped çıkışında, havanın bağıl nemi %34,1'den %70,2'ye yükselmiştir, havanın kuru termometre sıcaklık değeri ise 34,5°C'den 23,9°C'ye düşmüştür.

Yapılan deneysel çalışmada, İstanbul için kuru termometre sıcaklığı 34,5°C, bağıl nem %34,1 olduğu şartlarda, kuru soğutucudan suyun çıkış sıcaklığı 44,16^{o}C olarak ölçülürken , evaporatif ped kullanılan durumda suyun çıkış sıcaklığı 40,7 ^{o}C olarak ölçülmüştür.

Sonuç olarak evaporatif ped kullanımının kuru soğutucu soğutma kapasitesinin yükselmesine olumlu etki sağlayıp, evaporatif ped kullanımı kuru soğutucu soğutma kapasitesini 19,32 kW'tan 32,79 kW'a yükselterek % 69 iyileşme sağladığı anlaşılmaktadır.

Kaynakça

[1]Kök, G., (2012), ''Kuru Soğutucu Kullanımının Enerji Verimliliği Açısından İncelenmesi'', Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,İstanbul

[2]Acül, H., (2009), ''Kuru Soğutuculu Doğal Soğutma Uygulamaları ile İklimlendirme Sistemlerinde Enerji verimliliği'', IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 2009, 83-114

[3]Angelis, A. vd., (2016), ''Cooling Energy Savings with Dry Cooler Equipped Plants in Office Buildings'', International Journal of Heat and Technology, 205-211

[4]Angelis, A. vd., (2017), ''Energy Savings Evaluation for Dry-Cooler Equipped Plants in Shopping Mall Buildings'', International Journal of Heat and Technology,Cilt:35, Özel Sayı:1, 361-366

[5] Kara, A., (2008), ''Evaporatif Kondanser Tasarımı, İmalatı ve Deneysel Olarak İncelenmesi'', Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük

[6]Yıldız, A., (2013), ''Soğutma Sistemlerinde Soğutma Kapasitesinin Adyabatik Nemlendirme Yöntemi Kullanılarak İyileştirilmesi'', Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük

[7]Akdeniz, H. ve Osma E., (2011), ''Evaporatif Soğutmanın Çorlu İçin Kullanılabilirliği'', Mühendis ve Makine,52 (619) : 63-70.

[8]İdiz vd., (2017), ''İklimlendirme Sistemlerinde Evaporatif Soğutma Uygulamaları'', 13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 2017,İzmir, 1761-1776

[9]Eser, S., (2015), ''Evaporatif Soğutmanın Havanın Psikometrik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi'', Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük

[10] Koç, N., (2007), ''Çukurova Koşullarında Selüloz Esaslı Evaporatif Serinletme Pedinin Farkı Su Akış Debilerinde Bazı Performans Değerlerinin(Serinletme Etkinliği, Sıcaklık Düşmesi ve Buharlaştırılan Su Miktarı) Değişimi'', Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana

[11] Irmak, F., (2013), ''Selüloz Esaslı Bir Evaporatif Serinletme Pedinde Havanın Pedden Geçiş Hızı ile Havanın Doyma Düzeyi ve Buharlaştırılan Su Miktarı Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi'', Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana

[12]Sohani, A. vd., (2017), ''A Comprehensive Performance Investigation of Cellulose Evaporative Cooling Pad Systems Using Predictive Approaches'',Applied Thermal Engineering, 1589-1608

[13] Chopra, M. vd., (2017), ''Design of New Evaporative Cooler and Usage of Different Cooling Pad Materials for Improved Cooling Efficiency'', International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Cilt 4, Sayı 09, 503-511

[14] Friterm A.Ş., 2009, ''Plastik Endüstrisinde Soğutma Sistemleri ve Uygulamaları'', Friterm A.Ş. Teknik Yayını, İstanbul, 978-605-89090-0-7.

[15]Bulut, H., 2017, ''Soğutma ve Klima Tekniği'', Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, 2017

[16]Ashrae, 1983, "EquipmentHandbook. Am. Soc. Of Heating, RefrigeratingandAir- ConditioningEngineering",New York

[17]Anonymous, 1983, "Ventilation of AgriculturalStructures (Edited: Mylo A. Hellicksonand John N. Walker)",ASAE Monograph, Nombers:6, St. Joseoh, Michigan

[18]ÇENGEL, Y.A. ve BOLES, M.A., 2005, Thermodynamics: An Engineering Approach 5th Edition, McGraw-Hill, New York, 0073107689

[19]Kline, F.A., McClintock, S.J. (1953). "Describing Uncertainties in Simgle-Sample Experiments," Mech. Eng., 75(1), 3-8

Tezden Üretilmiş Yayınlar

İletişim Bilgisi: yayin-istanbul@mmo.org.tr

Makaleler

1. Altay, E., Özkan, D. B., Türkiye'nin Derece Gün Bölgelerinde Evaporatif Ped Kullanımının Kuru Soğutucu Kapasitesi Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, MMO, Tesisat Mühendisliği, sayı: 170, sayfa: 20-28, Mart-Nisan 2019.