

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALTTAN ISITILAN/ISITILMAYAN KABIN İÇİNDEKİ
SUYUN BUHARLAŞMASINI ETKİLEYEN
PARAMETRELERİN İNCELENMESİ**

Makine Mühendisi Tolga APAYDIN

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hasan HEPERKAN

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER	İ
SİMGE LİSTESİ	İİİ
KISALTIMA LİSTESİ	İV
ŞEKİL LİSTESİ	V
ÇİZELGE LİSTESİ	Vİİ
ÖNSÖZ	Vİİİ
ÖZET	İX
ABSTRACT	X
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
2.1 Soğutma Kabininde Defrost Suyu Buharlaşmasının Modellenmesi	3
2.2 Soğutma Kabininde Su Haznesinden Buharlaşan Defrost Suyunun Modellenmesi ..	9
2.3 Farklı Tip Su Haznelerindeki Suyun Buharlaşma Analizi	12
2.4 Düşük Hava Hızlarında Suyun Buharlaşmasının Ampirik İlişkisi.....	14
3. LİTERATÜRDEN ÇIKARIMLAR VE ÇALIŞMANIN AMACI.....	17
4. TEZ KONUSU İLE İLGİLİ TEMEL TANIMLAMALAR	18
4.1 Buharlaşma	18
4.1.1 Hidrolojik Çevrim	18
4.1.2 Buharlaşma Mekanizması	18
4.1.3 Buharlaşmaya Etki Eden Faktörler.....	19
4.2 Psikrometrinin Temelleri.....	20
4.2.1 Özgül Nem ve Bağlı Nem Kavramları	21
4.3 Isı ve Kütle Geçişi	22
4.3.1 Taşınım Problemi	22
4.3.2 Isı ve Kütle Geçişi Benzeşimi	24
4.3.3 Buharlaşmalı Serinletme.....	24
5. DENEY DÜZENEGİ	25
5.1 Dış Ortam Havaşı Şartlandırma Ünitesi	26
5.1.1 Deney Buharlaşma Haznesi.....	29
5.2 Veri Toplama ve Ölçüm Ünitesi.....	30
5.2.1 Veri Toplama Ünitesi	30
5.2.2 Ölçüm Sistemi	31
5.2.2.1 Sıcaklık Ölçümü	31
5.2.2.2 Bağlı Nem Ölçümü	32
5.2.2.3 Ağırlık Ölçümü.....	34
5.2.2.4 Hız Ölçümü	35
5.2.3 Ölçüm Belirsizliği	37
5.3 Kontrol Ünitesi	38
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	40
6.1 Ön Deney Çalışmaları	40
6.2 Doğal Taşınım ile Buharlaşmanın Olduğu Deneysel Çalışmalar	41
6.2.1 Kabin İçindeki Suyun Isıtılmadığı Durumda Doğal Taşınım ile Buharlaşma..	41
6.2.2 Kabin İçindeki Suyun Isıtıldığı Durumda Doğal Taşınım ile Buharlaşma	42
6.2.3 Su Yüzeyi ile Üst Katı Tabaka Arasındaki Mesafenin Buharlaşmaya Etkisi... 44	
6.3 Zorlanmış Taşınım İle Buharlaşmanın Olduğu Deneysel Çalışmalar	45
6.3.1 Kabin İçindeki Suyun Isıtılmadığı Durumda Zorlanmış Taşınım ile Buharlaşma	45
6.3.2 Kabin İçindeki Suyun Isıtıldığı Durumda Zorlanmış Taşınım ile Buharlaşma	47

6.3.3	Kabın İçindeki Suyun Taşınım ile Buharlaşmasında Fan Konumunun Etkisi	47
7.	DENEYSEL SONUÇLARIN TEORİK OLARAK İNCELENMESİ.....	51
7.1	Doğal Taşınım İle Buharlaşmanın Olduğu Deneysel Çalışmaların Teorik Olarak İrdelenmesi	51
7.2	Zorlanmış Taşınım İle Buharlaşmanın Olduğu Deneysel Çalışmaların Teorik Olarak İrdelenmesi	56
8.	SU HAZNESİNDEN BUHARLAŞAN SU MİKTARININ REGRESYON ANALİZİ ..	61
8.1	Boyut Analizi.....	61
8.2	Buckingham II Teoremi	61
8.3	Regresyon Modelinin İncelenmesi	64
9.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	66
10.	KAYNAKLAR.....	68

SİMGE LİSTESİ

A	Su haznesi ısı transfer alanı (m^2)
A_k	Hava kanalı kesit alanı (m^2)
b	Su yüzeyi üzerindeki su haznesinin yüksekliği (m)
$C_{A,s}$	Mol derişikliği ($kmol/m^3$)
c_p	Sabit basınçta özgül ısı ($kJ/kg K$)
D	Su buharının difüzyon katsayısı (m^2/s)
g	Yer çekimi ivmesi (m^2/s)
Gr	Grasshof sayısı
H	Atmosferik havanın toplam entalpisi (kJ)
h	Entalpi (kJ/kg)
h_m	Kütle transfer katsayısı (m/sn)
k	Isıl difüzyon katsayısı (m^2 /s)
L	Karakteristik uzunluk (m)
Le	Lewis katsayısı
\dot{m}	Su buharı kütle debisi (g/s)
m	Kütle (g)
n_A	Birim zamanda birim alanda buharlaşan su miktarı ($kg/s m^2$)
Nu	Nusselt Sayısı
P	Basınç (mmHg)
Pr	Prantl sayısı
Sh	Sherwood sayısı
\dot{Q}	Isı transfer enerjisi (W)
Ra	Rayleigh Sayısı
Re	Reynold sayısı
\dot{q}	Isı akısı (W/m^2)
Sc	Schmidt Sayısı
T	Sıcaklık (K)
t	zaman (s)
u	İç enerji (j/kg)
v	Özgül hacim (m^3/kg)
V	Hazne üzerinden geçen hava hızı (m/s)
W	Güç (W)
w	Özgül nem (kg su buharı / kg kuru hava)
α	Taşıyım ile olan ısı transfer katsayısı ($W/m^2 K$)
β	Suyun genleşme katsayısı (K^{-1})
γ	Suyun ısı difüzyon katsayısı (m^2/s)
λ	Isı iletim katsayısı ($W/m K$)
η	Verim
ν	Suyun kinematik viskozitesi
ρ	Yoğunluk
ϕ	Bağıl nem (%)

KISALTMA LİSTESİ

a	kuru hava
AC	Alternatif akım
b	Ek yoğuşturucu
buh	Buharlaşan su
d	Havadaki su buharı
DC	Doğru akım
doy	Doygun su buharı
fan	Fan
g	Su buharının gizli ısı
hs	Su buharı
ısı	ısıtıcı
iç	Hazne içindeki su
kap	Su haznesi
konv	Zorlanmış taşınım
LDA	Lazer hız ölçer
o	Ortam havası
PIV	Parçaçık takibi hız ölçer
REFPROP	Akışkan özellikleri
RH	Bağıl nem (%)
su	Doygun su
ter	termal
v	Kısmi
y	Kompresör dış yüzeyi
1	Kompresör dış yüzeyi
2	Ek yoğuşturucu
3	Suya doğru sıcak hava
4	Buharlaşan su
5	Hazne içindeki su
6	Buharlaştırıcıdan eriyen su

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Soğutucu sistemin ana elemanları	4
Şekil 2.2: Deney düzenekleri.....	5
Şekil 2.3: Buharlaştıran suyun kontrol hacmi	6
Şekil 2.4: Kompresör yüzeyi ve haznedeki suyun sıcaklık değişimi (*).....	8
Şekil 2.5: Buharlaştıran toplam su miktarının zamanla değişimi (*).....	8
Şekil 2.6: Bütün düzeneklerdeki buharlaştıran su miktarlarının zamanla değişimi.....	9
Şekil 2.7: Buhar sıkıştırma çevrim şematik görünümü	10
Şekil 2.8: Su sıcaklığının zamanla değişimi (Oluşturulan model-deney sonuçları)	11
Şekil 2.9: Buharlaştıran su miktarının zamanla değişimi(model-deney sonuçları)	12
Şekil 2.10: Deney Düzenekleri	12
Şekil 2.11: Su haznelerindeki zamanla değişen su buharlaşma hızları	13
Şekil 2.12: Su haznelerindeki zamanla değişen su buharlaşma miktarları.....	13
Şekil 2.13: Su buharlaşma hızının hava hızı ile değişimi.....	16
Şekil 3.1: Su yüzeyinden buharlaşma.....	18
Şekil 3.2: Düz levha ısı geçişi	22
Şekil 3.3: Düz levha kütle geçişi	23
Şekil 4.1: Tez deney düzenekleri için seçilen yatay derin dondurucu.....	26
Şekil 4.2: Deney kabini içi şematik görünümü.....	26
Şekil 4.3: Kabin içi ısıtıcı ve yalıtım yerleşimi	27
Şekil 4.4: Nemlendirici ünite ve nem tutucu malzeme.....	28
Şekil 4.5: Nem tutucuların kuru halden doymuş hale dönüşümü.....	28
Şekil 4.6: Deney kabini son hali	29
Şekil 4.7: Deney kabini düzenekleri	30
Şekil 4.8: Veri toplama ünitesi	30
Şekil 4.9: Örnek ısı-çift kanallı kalibrasyon eğrisi	32
Şekil 4.10: Sensirion STH75 marka nem sensörü	33
Şekil 4.11: Bağlı nem-hata payı ilişkisi.....	33
Şekil 4.12: Nem Kartı	34
Şekil 4.13: Elektronik terazi	34
Şekil 4.14: Ağırlık kalibrasyon eğrisi.....	35
Şekil 4.15: Zorlanmış taşınım deneyleri için oluşturulan deney düzenekleri.....	35
Şekil 4.16: Hava hızı-Gerilim eğrisi.....	36
Şekil 4.17: PIV düzenekleri ve hava çıkış ağzı akış profili	37
Şekil 4.18: Kontrol elemanları	38
Şekil 4.19 Deney kabini önden görünüş.....	39
Şekil 5.1: Kabin içi sıcaklık ve bağlı nem grafiği	40
Şekil 5.2: Su kabini deney düzenekleri	41
Şekil 5.3: Ortam bağlı nem birim zamanda buharlaştıran su miktarına etkisi.....	42
Şekil 5.4: Ortam sıcaklığının birim zamanda buharlaştıran su miktarına etkisi	42
Şekil 5.5: Bağlı nem birim zamanda buharlaştıran su miktarına etkisi-Kabin ısıtıldığı durum	43
Şekil 5.6: Su sıcaklığının birim zamanda buharlaştıran su miktarına etkisi	43
Şekil 5.7: Su haznesi ve yükseklik ayarlaması	44
Şekil 5.8: Su yüzeyi üzerindeki tabakaya olan dikey mesafenin buharlaşmaya etkisi	45
Şekil 5.9: Zorlanmış taşınım için oluşturulmuş su kabini	45
Şekil 5.10: Su yüzeyi üzerinden geçen hava hızının buharlaşmaya olan etkisi	46
Şekil 5.11: Zorlanmış taşınım su sıcaklığının etkisi	47
Şekil 5.12: Fan akış profilinin tespit çalışmaları	48
Şekil 5.13: Fan eksen mesafesi çalışmaları için oluşturulan düzenek.....	48
Şekil 5.14: Eksenel fanın açılı yerleştirildiği düzenek	49

Şekil 6.1: Su haznesi içinden buharlaşan suyun kontrol hacmi.....	51
Şekil 6.2: Kabın Şematik Görünümü.....	53
Şekil 6.3: Kabın Şematik Görünümü.....	54
Şekil 6.4: Su haznesine giren/çıkan havanın şematik görünümü	56
Şekil 6.5: Ölçülen deney sonuçları-Geliştirilen/Literatürdeki korelasyonların karşılaştırılma	59

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Deney koşulları ve verileri	15
Çizelge 2.2 Deneysel ve teorik değerlerin karşılaştırılması	16
Çizelge 3.1: Bazı boyutsuz ısı ve kütle geçişi parametreleri.....	24
Çizelge 4.1: Deney düzeneğinde kullanılan ölçüm elemanları	31
Çizelge 4.2: Deney düzeneğindeki ölçüm cihazlarının doğruluk değerleri.....	37
Çizelge 5.1: x mesafesi deney sonuçları.....	49
Çizelge 5.2: θ açılı fanın deney sonuçları.....	50
Çizelge 6.1 Zorlanmış taşınım hesaplamaları	60
Çizelge 7.1: Problemden kullanılan fiziksel büyüklükler	62
Çizelge 7.2: Regresyon analizi sonucunda elde edilen katsayılar	65
Çizelge 8.1: Farklı uygulamalardaki suyun buharlaşma değerleri	67

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışmasını yöneten, olumlu eleştiri ve önerileri ile katkıda bulunan değerli hocam Sn. Prof. Dr. Hasan HEPERKAN'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans tez çalışmam için tüm imkan ve olanaklarını sunarak bana destek olan Arçelik A.Ş. Araştırma ve Geliştirme Merkezi'ne, AR-GE Direktörü Sn. Cemil İNAN ve Ar-Ge Yöneticisi Sn. Fatih ÖZKADI'ya teşekkür ederim.

Yüksek lisans tezi süresince maddi destek sağlayan Tübitak Kurumu'na teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalar için her türlü donanımın sağlanmasında yardımcı olan Termodinamik Teknoloji Ailesi lideri Sn. Yalçın GÜLDALI'ya, deney düzeneği kurmamda ve tez çalışmamın planlı ve başarılı bir şekilde ilerlemesi için bana her zaman destek olan, değerli düşüncelerini ve önerilerini paylaşan Mak. Yük. Müh. Tuğrul KODAZ'a bilgi ve tecrübelerini her zaman paylaşan ve tez çalışmama yüksek derecede katkısı bulunan Mak. Yük. Müh. Önder BALIOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması boyunca değerli önerilerini paylaşan Sn. Dr. Alper SOYSAL'a teşekkür ederim.

Deney düzeneğinin kurulmasında, deneysel çalışmalar ve analizler süresince vermiş olduğu teknik destekten ötürü Sn. Erkan KARAKAYA'ya, fan hava hız ölçümlerinde vermiş olduğu destekten dolayı Sn. Nihat KANDEMİR'e, deneysel çalışmalarım süresince her konuda yardımcı olan tüm Arçelik A.Ş. Ar-Ge Termodinamik Ailesi teknisyenlerine teşekkür ederim.

Tez çalışmaların sırasında sıkıntılı zamanlarımda bana her konuda destek olan başta Oğuz İSTİF, Selçuk KARAGÖZ, Yavuzcan ÖZKAPTAN, Kıvanç AKKÖSE ve Ar-Ge yüksek lisans öğrencisi arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemde benden maddi ve manevi her türlü desteği hiçbir zaman esirgemeyen çok kıymetli AİLEME en derin duygularıyla teşekkür ederim.

Temmuz 2009

Tolga APAYDIN

ÖZET

Yüzeý sıcaklığı düşük olan her türlü yerde nemli havadaki su buharının etkisi ile yüzeýde yoğuşma olayı görülebilmektedir. Özellikle kapalı mekanlarda soğutma yapan hava şartlandırıcılar ve soğutucu yiyecek depolama hacimlerinde kullanılan soğutma sistemlerinde, soğutucu kaynak yüzeýlerinde karlanma, yoğuşma gibi problemler ile karşılaşılmaktadır. Kapalı mekanlara yerleştirilen bu tip ev aletlerinde eriyen ve yoğuşan su, uygun bir yere yerleştirilen küçük kesitli bir kapta toplanmaktadır. Kapta toplanan su, ortam şartlarının etkisi ile zamanla buharlaşmaktadır. Bağlı nem oranı yüksek olan tropikal iklimlerde kapta biriken su, sıvının buharlaşma süreci uzadığından dolayı belirli bir zaman aralığından sonra taşabilmektedir. Bu yüzden ağır ortam şartlarında kap içindeki suyun buharlaşma etkinliğini artırarak taşmayı önlemek için kap düzeneğine fan, ısıtıcı gibi komponentler eklenebilmektedir.

Bu çalışmada alttan ısıtılan ya da ısıtılmayan dikdörtgen kesitli bir kaptaki suyun buharlaşmasını etkileyen parametreler (ortam sıcaklığı ve bağlı nemi, su sıcaklığı, hava hızı, fan konumu, kap üstündeki boşluk mesafesi) deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir.

Doğal ve zorlanmış hava taşınım durumları için hazırlanan düzenekler kullanılarak su haznesi içinden buharlaşan su miktarları tespit edilmiştir. Bu değerler, nümerik analiz sonucu elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Deneysel ve nümerik değerler, küçük hata oranları ile birbirlerini doğrulamıştır.

Su haznesi içerisindeki suyun buharlaşmasına etkisi olan bu değişkenler Buckingham π teoremi kullanılarak boyutsuzlaştırılmıştır. Elde edilen boyutsuz değişkenler ile birim zaman ve alanda su haznesinden buharlaşan su miktarı değeri arasındaki ilişkinin genelleştirilebilmesi amacıyla, doğrusal en küçük kareler regresyon algoritması kullanılarak bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan modelden, kabın bulunduğu ortam koşulları dikkate alınarak su haznesi içinden birim zamanda ne kadar su buharlaşacağını tahmin edilebilmektedir.

Deney sonuçları, en etkili buharlaşmanın su sıcaklığının ve su haznesi üzerindeki hava hızının arttığı durumlarda gerçekleştiğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Buharlaşma, suyun buharlaşması, buharlaşmayı etkileyen faktörler, deneysel çalışma, korelasyon, regresyon analizi, hava hızı, tava buharlaşması, su kabı

ABSTRACT

Condensation on the surface, due to water vapor inside the humid air, can be seen in every condition where surface temperatures are low. Especially on the surfaces of the cooling sources that are used as a part of the cooling systems in air conditioners and in frozen food storages, problems like condensation and frost formation are commonly seen problems. When these types of home appliances are used in closed areas, defrosted and condensate water is collected in small pans located in suitable places. The water collected inside the pan evaporates because of ambient conditions. In areas with tropical climate where relative humidity is high, the evaporation process of the water takes longer therefore water inside the pan might overflow after some time. In order to avoid the overflow and increase the evaporation rates, in places with heavy ambient conditions additional components like fan, water heater can be added to the pan.

In this study, the parameters (ambient temperature, relative humidity, water temperature, air velocity, fan positioning, the gap over the water surface) which effect the evaporation process of the water in a heated or non-heated rectangular pan have been investigated experimentally and numerically,.

An experimental setup, which is prepared for both natural and forced convections, is used in order to determine the amount of the evaporated water. The experimental data is compared with the results obtained from the numerical analysis. As a result of this comparison it is seen that experimental values have verified each other with low error.

The parameters that effect the evaporation of the water inside the water pan are analysed with non-dimensional parameters by using Buckingham π theory. In order to generalize the relation between the obtained non-dimensional parameters and the amount of evaporated water in unit time and area, a model is developed by using regression algorithm. From this model, by taking the ambient conditions into account, we can predict the amount of water that will evaporate from the water pan.

Experimental results have indicated that the most effective evaporation occurs when water temperature and air velocity over the water pan increases.

Keywords: Evaporation, water evaporation, factors that effect evaporation, experimental work, correlation, regression analysis, air velocity, pan evaporation, water pan

1. GİRİŞ

Hava, sahip olduğu sıcaklığa bağlı olarak su buharı taşıtmaktadır. Bu değer sıcaklık ile artmakta olup teknik tablolardan ölçüm değerlerine ulaşılabilmektedir. Havanın bağıl nemine bağlı olarak da çığ noktası sıcaklık değeridir. Bu sıcaklık ise havanın temas ettiği yüzey sıcaklığından yoğuşmanın başladığı sıcaklığı göstermektedir.

Yüzey sıcaklığı düşük olan her türlü yerde nemli havadaki su buharının etkisi ile yüzeyde yoğuşma olayı görülebilmektedir. Özellikle kapalı mekanlarda soğutma yapan hava şartlandırıcılar ve soğutucu yiyecek depolama hacimlerinde kullanılan sistemlerde soğutucu kaynak yüzeylerinde karlanma, yoğuşma gibi problemler ile karşılaşılmaktadır. Kapalı mekanlara yerleştirilen bu tip ev aletlerinde eriyen ve yoğuşan su, uygun bir yere yerleştirilen küçük kesitli bir kapta toplanmaktadır. Kapta toplanan su, ortam sıcaklığı, bağıl nem gibi etkilerle zamanla buharlaşmaktadır. Bağıl nem oranı yüksek olan tropikal iklimlerde kapta biriken suyun buharlaşması zorlaşmakta, bu durum da zamanla biriken suyun kaptan taşmasına neden olmaktadır. Bu sebeple ağır ortam şartlarında kap içindeki suyun buharlaşma etkinliğini artırmak için kap düzeneğinde fan, ısıtıcı gibi komponentler kullanılabilir. Ancak bu tip uygulamalarda fan veya ısıtıcı benzeri elektrik çeken komponentlerden dolayı sistemin enerji tüketimi artmaktadır.

Bu çalışmada alttan ısıtılan ya da ısıtılmayan dikdörtgen kesitli bir kaptaki suyun buharlaşmasını etkileyen parametreler (ortam sıcaklığı ve bağıl nemi, su sıcaklığı, hava hızı, fan konumu, kap üstündeki boşluk mesafesi) deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Elde edilen deney sonuçları ışığında birim zaman ve alanda suyun buharlaşma miktarını veren model oluşturulmuştur. Bu kapsamda ortam şartları verileri kullanılarak kap yüzeyinden ortalama ne kadar su buharlaşacağı tahmin edilecektir. Bu durumda maksimum buharlaşma için optimum hava hızı ve optimum su sıcaklığı tespit edilebilir.

Gerçekleştirilen bu tez çalışması sekiz ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölümdeki giriş kısmında genel bir bilgilendirme yapılmıştır.

İkinci bölümde, konu ile ilgili olarak gerçekleştirilen literatür araştırması hakkında bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölümde, tez konusu ile ilgili genel tanımlamalar sunulmuştur.

Dördüncü bölümde, tez çalışmasında kullanılan deney tesisatı ve kontrol sistemi detaylı olarak açıklanmıştır.

Beşinci bölümde, tez konusu kapsamında doğal ve zorlanmış taşınım şartlarında gerçekleştirilen deneysel çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

Altıncı bölümde deneysel çalışmaların teorik olarak incelenmesi sonucunda elde edilen bilgiler sunulmuştur.

Yedinci bölümde, ortam sıcaklığı ve bağıl neminin, hava hızının, su sıcaklığının deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen su haznesinden buharlaşan su miktarlarına olan etkisi Buckingham π teoremi kullanılarak incelenmiştir. Buckingham π teoremi kullanılarak boyutsuzlaştırılan değişkenler ile buharlaşan su miktarları arasındaki ilişkinin genelleştirilebilmesi amacıyla, doğrusal en küçük kareler regresyon algoritması kullanılarak bir ampirik korelasyon modeli oluşturulmuştur.

Sekizinci bölümde gerçekleştirilen çalışmaların sonuçları değerlendirilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Soğutma Kabininde Defrost Suyu Buharlaşmasının Modellenmesi

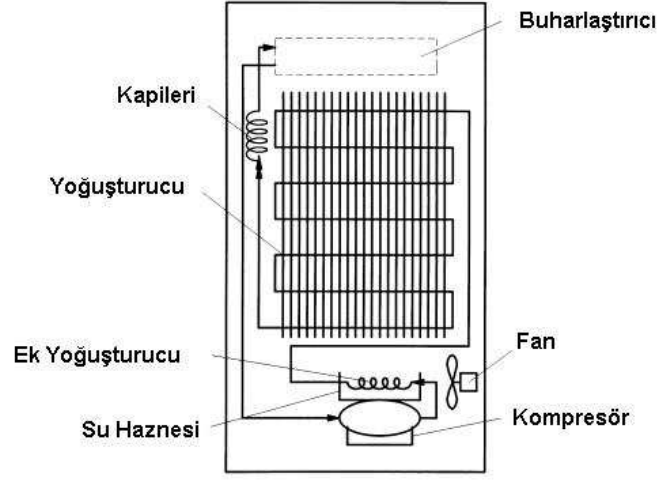
P.K. Bansal ve G.Xie'nin gerçekleştirdiği çalışmada (1999) soğutucu kabinde soğutmayı sağlayan buharlaştırıcı yüzeyinde biriken karın erimesi sonucu oluşan suyun (defrost suyu) toplandığı haznedeki buharlaşma hızı üzerine; ortam sıcaklığı, bağıl nem, hava hızı, kompresör sıcaklığı ve ek yoğuşturucu gibi değişkenlerin etkisini araştırmak için sekiz farklı düzenek oluşturulmuş ve dinamik bir simülasyon modeli kurulmuştur. Ayrıca bu model için deneysel çalışmalar yapılmış, model sonuçları ile deneysel veriler karşılaştırılmıştır. Bansal ve Xie'nin oluşturduğu model ile suyun buharlaşmasını hızlandırmak için kompresör üstüne yerleştirilen suyun toplandığı su haznesindeki suyun sıcaklığının yükseltilmesi ve üzerindeki havanın hızının optimize edilmesi gerektiği tespit edilmiştir.

Klasik soğutucu kabinlerde genellikle taze gıda bölmesindeki buharlaştırıcı -10°C , dondurucu bölmesindeki buharlaştırıcı ise -25°C sıcaklıkta şartlandırılmaktadır. Bu nedenle ortamdaki nem, buharlaştırıcı üzerinde çığ oluşumuna ve bundan dolayı ısı değiştirici üzerinde ısı iletim direncinin artmasına neden olmaktadır. Direncin artması da kompresörün harcadığı gücü arttırmaktadır. Bu problemi önlemek için modern soğutucularda belli aralıklarla çalışan elektriksel bir rezistans bulunmaktadır. Ayrıca buharlaştırıcıdan eriyen su genellikle kompresörün üzerinde bulunan hazneye drenaj olup kompresör sıcaklığı ile buharlaşmaktadır. Bu geleneksel uygulama ortamdaki bağıl nem miktarının düşük ve buharlaştırılması gereken suyun az olduğu yerlerde başarıyla uygulanmaktadır. Ancak tropikal iklimde bulunan yani bağıl nemi yüksek olan yerlerde bu yöntem verimli çalışmamaktadır. Ayrıca günümüzde kullanılan verimli kompresörlerin eski tip kompresörlere göre yaklaşık 20°C daha az çalışma sıcaklığına sahip olmasından ötürü birim zamanda kompresörden su haznesine olan ısı geçişi daha az olmaktadır. Bu yüzden su sıcaklığının artışı, suyun buharlaşması için uzun süre yeterli olamamaktadır.

Bu makalede 2 farklı çalışma modunda kompresör üzerindeki su haznesindeki suyu buharlaştırmak için sekiz farklı düzenek oluşturulmuştur. Bu düzenlemeler üzerindeki değişkenler: ortam hava sıcaklığı ve bağıl nemi, hava hızı, kompresör sıcaklığı, su sıcaklığı ve ek yoğuşturucudur.

Bu model ile enerji verimini azaltmadan ve ek masraf olmadan buharlaştırma oranını artırmak hedeflenmiştir. Şekil 2.1'de soğutucu sistemin ana elemanları sunulmuştur. Sistem; buharlaştırıcı, kompresör, kapileri, su haznesi (kompresörün üstüne yerleştirilmiş), ek

yoğuşturucu (aşırı ısınmış akışkanın su haznesinden geçen yoğuşturucu kısmı) ve fan (su haznesine doğru hava hareketi sağlayan) gibi elemanlardan oluşmuştur.



Şekil 2.1: Soğutucu sistemin ana elemanları

Suyun buharlaşma miktarını incelemek için sekiz farklı düzenek oluşturulmuştur. Bahsedilen düzenekler Şekil 2.2’de sunulmuştur.

Su haznesini ısıtmak için yüksek ısıl yükünden dolayı kompresör ısısı ve/veya ek yoğuşturucu ısısı kullanılmıştır. Bu durum için dinamik bir model oluşturulmuştur.

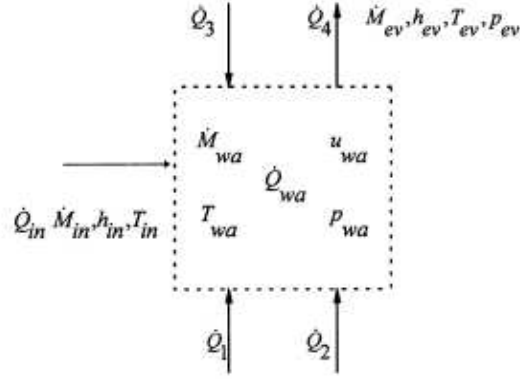
Oluşturulan matematik model için bazı kabuller yapılmıştır.

- Su haznesi 1, 2, 5, 6, 7 ve 8 numaralı deneysel düzeneklerde kompresörle doğrudan temas halindedir. Kompresörün dış yüzeyi ile su haznesi arasındaki ısıl direnç ihmal edilmiştir.
- Model için belirlenen kontrol hacmi, sadece hazne içindeki üstü açık su hacmidir. Dış ortam ile kaptaki su arasındaki enerji ve kütle değişimi sadece su ile havanın ara yüzeyinde olmuştur.
- Faz değişimi sırasında hava-su ara yüzeyinde doyma basıncındaki suyun sıcaklığı, kontrol hacmindeki suyun sıcaklığına eşit olarak kabul edilmiştir.
- Kontrol hacmindeki termo-fiziksel özellikler homojendir.
- Kompresör çalışırken değişken olan ek yoğuşturucu sıcaklığı, durma sırasında haznedeki suyun sıcaklığına eşit olarak farz edilmiştir.
- Ortam sıcaklığı sabit kabul edilmiştir.
- Hazneye gelen suyun giriş sıcaklığı ve basıncı eşit kabul edilmiştir.

Düzenlemeler		Teknik Detaylar	
1	Kompresör temaslı su haznesinden ek yoğuşturucu geçirilmiştir.		$V_a = 0$ $\dot{Q}_1 \neq 0$ $\dot{Q}_2 \neq 0$
2	Kompresör temaslı su haznesinden ek yoğuşturucu geçirilmiş ve fan ile ortam havası üflenmiştir.		$V_a \neq 0$ $\dot{Q}_1 \neq 0$ $\dot{Q}_2 \neq 0$
3	Kompresörün 1 cm üzerine yerleştirilmiş su haznesinden ek yoğuşturucu geçirilmiştir.		$V_a = 0$ $\dot{Q}_1 \neq 0$ $\dot{Q}_2 \neq 0$
4	Kompresörün 1 cm üzerine yerleştirilmiş su haznesinden ek yoğuşturucu geçirilmiş ve fan ile ortam havası üflenmiştir.		$V_a \neq 0$ $\dot{Q}_1 \neq 0$ $\dot{Q}_2 \neq 0$
5	Su haznesi kompresör üzerine yerleştirilmiştir. (Klasik sistem)		$V_a = 0$ $\dot{Q}_1 \neq 0$ $\dot{Q}_2 = 0$
6	Su haznesi kompresör üzerine yerleştirilmiş ve doğal konveksiyon şartları sağlanmıştır.		$V_a = 0.2 \text{ m/s}$ $\dot{Q}_1 \neq 0$ $\dot{Q}_2 = 0$ Doğal konveksiyon
7	Kompresör üzerine yerleştirilen su haznesi üzerine ortam havası üflenmektedir.		$V_a \neq 0$ $\dot{Q}_1 \neq 0$ $\dot{Q}_2 = 0$
8	Kompresör üzerine yerleştirilen su haznesinden ek yoğuşturucu geçirilmiş ve ana yoğuşturucudan kaynaklanan sıcak hava kap üzerine üflenmiştir.		$V_a \neq 0$ $\dot{Q}_1 \neq 0$ $\dot{Q}_2 \neq 0$ sıcak hava

Şekil 2.2: Dene düzenekleri

Modelin Geliştirilmesi:



Şekil 2.3: Buharlaşan suyun kontrol hacmi

Şekil 2.3'te sunulan kontrol hacmi için enerji ve kütle korunumu ışığında suyun enerji ve kütle değişimi şu denklemler ile ifade edilmiştir:

Kütlenin Korunumu

$$\frac{dM_{su}}{dt} = \left(\frac{dM_{iç}}{dt} \right) - \left(\frac{dM_{buh}}{dt} \right) \quad (2.1)$$

Enerjinin Korunumu

$$\dot{Q}_{su} + \dot{Q}_{iç} + \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 + \dot{Q}_3 + \dot{Q}_4 = 0 \quad (2.2)$$

\dot{Q}_{su} , haznedeki suyun enerji değişimidir.

$$\dot{Q}_{su} = \frac{d}{dt} (M_{su} \cdot u_{su}) \quad (2.3)$$

$\dot{Q}_{iç}$, hazneye gelen suyun enerji değişimidir.

$$\dot{Q}_{iç} = \left(\frac{dM_{iç}}{dt} \right) \cdot h_{iç} \quad (2.4)$$

\dot{Q}_1 , kompresör dış yüzeyinden su haznesine transfer olan ısı enerjisi değeridir. (Şekil 2.2'de sunulan 1, 2, 5, 6, 7 ve 8 nolu düzenlemeler için)

$$\dot{Q}_1 = \alpha_y \cdot A_y \cdot (T_y - T_{su}) \quad (2.5)$$

\dot{Q}_2 , ek yoğuşturucudan haznedeki suya transfer ısı enerjisi değeridir. (1, 2, 3, 4 ve 8 No'lu düzenlemeler için)

$$\dot{Q}_2 = \alpha_b \cdot A_b \cdot (T_b - T_{su}) \quad (2.6)$$

α_b , yatay borular için yazılmış doğal taşınım korelasyonlarından hesaplanmıştır. Incropera ve De Witt'den referans alınan doğal taşınım korelasyonlarına göre;

$$\alpha = \frac{\lambda_{su}}{L} \cdot Nu \quad (2.7)$$

$$Nu = 0,54 \cdot Ra^{\frac{1}{4}} \quad (10^4 < Ra < 10^7) \quad (2.8a)$$

$$Nu = 0,15 \cdot Ra^{\frac{1}{3}} \quad (10^7 < Ra < 10^{11}) \quad (2.8b)$$

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_b - T_{su}) \cdot L^3}{\nu \cdot \gamma} \quad (2.9)$$

Ek yoğuşturucu sıcaklığı (T_b) deneylerin uygulandığı soğutucu kabinden ölçülmüştür.

\dot{Q}_3 , ortamdan haznedeki suya taşınım ile transfer olan ısı enerjisi değeridir.

$$\dot{Q}_3 = \alpha_{kap} \cdot A_{kap} \cdot (T_o - T_{su}) \quad (2.10)$$

$$\alpha_{kap} = \frac{\lambda}{L} \cdot Nu \quad (2.11)$$

$$Nu = \frac{0,928 \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \cdot Re^{\frac{1}{2}}}{\left[1 + (0,00207 / Pr)^{\frac{2}{3}}\right]^{\frac{1}{4}}} \quad (2.12)$$

\dot{Q}_4 , haznedeki suyun buharlaşmasından dolayı kaynaklanan enerji kaybı değeridir.

$$\dot{Q}_4 = \frac{d}{dt} (m_{buh} \cdot h_{buh}) \quad (2.13)$$

Suyun buharlaşma hızı aşağıdaki formülle ifade edilmiştir.

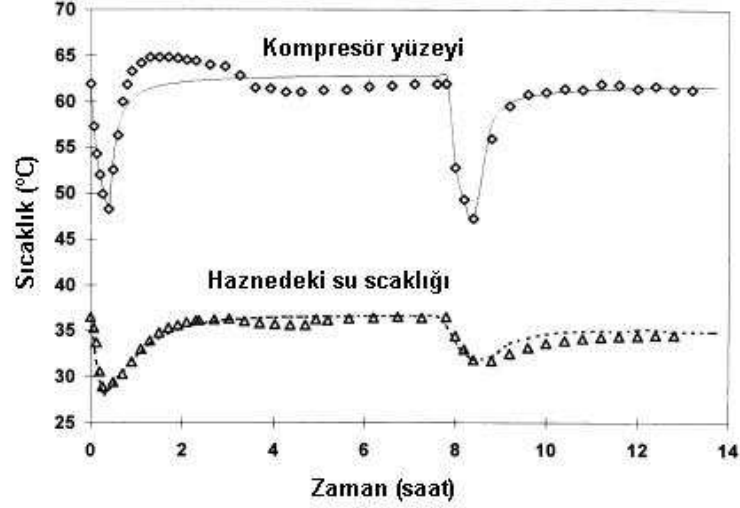
$$\frac{dm_{buh}}{dt} = \left[A_{kap} \cdot (0,002198 + 0,0398 \cdot V_o^{0,5756}) \times (P_{su} - P_p) \right] \quad (2.14)$$

$$P_p = \phi_0 \cdot P_0 \quad (2.15)$$

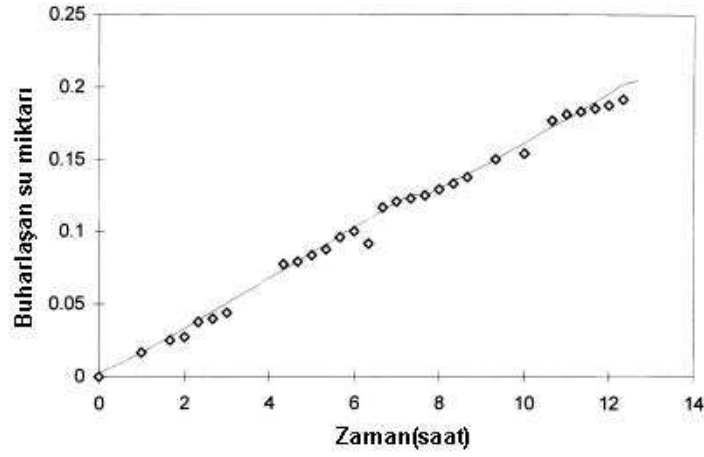
Verilen denklem 0 ile 5,36 m/s hava hızları için geçerlidir.

Kontrol hacmi giriş ve çıkış şartları belirlenip yukarıda verilen kütle ve enerji korunum denklemleri kullanılarak dinamik model oluşturulmuştur ve deneysel sonuçlarla doğrulanmıştır.

Kompresör yüzey ve su haznesindeki suyun zamanla sıcaklık değişimi Şekil 2.4'te, su haznesinden buharlaşan suyun miktarının zamanla değişimi Şekil 2.5'te sunulmuştur.



Şekil 2.4: Kompresör yüzeyi ve haznedeki suyun sıcaklık değişimi (*)



Şekil 2.5: Buharlaşan toplam su miktarının zamanla değişimi (*)

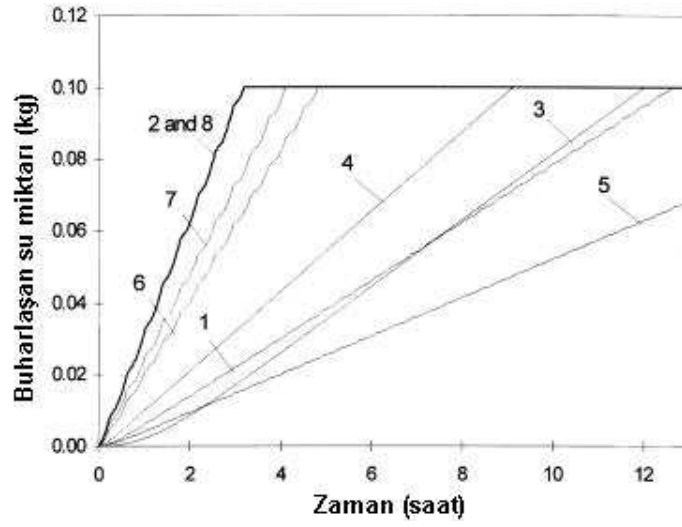
* Kompresör sekiz saat boyunca durmaksızın çalıştırılmıştır.

Sonuç olarak buhar sıkıştırılmalı çevrimin kullanıldığı soğutucu kabinlerde buharlaştırıcı yüzeyinden eritilen suyun buharlaşmasının termodinamik karakterini ortaya koymak amacıyla dinamik bir simülasyon modeli kurulmuştur. Model deneysel verilerle karşılaştırılmış ve buharlaşan su miktarına % 5,6 hata ile ulaşılmıştır.

Kompresör ısıısının (\dot{Q}_1) suyun buharlaşmasında en etkili ısı kaynağı olduğu tespit edilmiştir. Suyun buharlaşma hızı ortamdaki bağıl nemin artışı ile hızlı bir biçimde azalmıştır. Bağıl nem oranı % 45'den %95'e çıktığında buharlaşma hızında % 20'lik bir düşüş olmuştur. Su haznesi üzerindeki hava hızının 0 ile 0.9 m/s olduğu durumlarda buharlaşma hızı önemli bir şekilde artmıştır. Su yüzeyindeki hava hızının 0,9 m/sn (optimum) olduğu ve su sıcaklığının arttığı durum için en etkili buharlaşma gözlemlenmiştir.

Şekil 2.6’da kompresörün %60 çalışma oranı için, %85 bağıl nemde farklı düzeneklerdeki su haznelerinden buharlaşan su miktarları sunulmuştur. En çok buharlaşma olan düzenek; su haznesinin kompresör yüzeyi ile temas ettiği, ek yoğuşturucu üzerinden su haznesi üzerine doğru, hava akımı sağlayan bir fanın olduğu 8 numaralı düzenektir.

Sonuç olarak oluşturulan düzeneklerdeki su haznelerindeki suyun buharlaşma hızlarını çoktan aza doğru sıralarsak düzenek 2, 8, 7, 6, 4, 1, 5 ve 3 olarak tespit edilmiştir. Bu sıralamadan anlaşılacağı gibi geleneksel buharlaşma yönteminin (düzenek 5) tropikal iklim için uygun olmadığı anlaşılmıştır. Her ne kadar hiçbir düzenek günde 1 kg suyu buharlaştırmamış olsa da, 2, 6, 7 ve 8 numaralı düzeneklerde günde 0.8 kg dan biraz daha fazla su buharlaşmıştır.



Şekil 2.6: Bütün düzeneklerdeki buharlaşan su miktarlarının zamanla değişimi

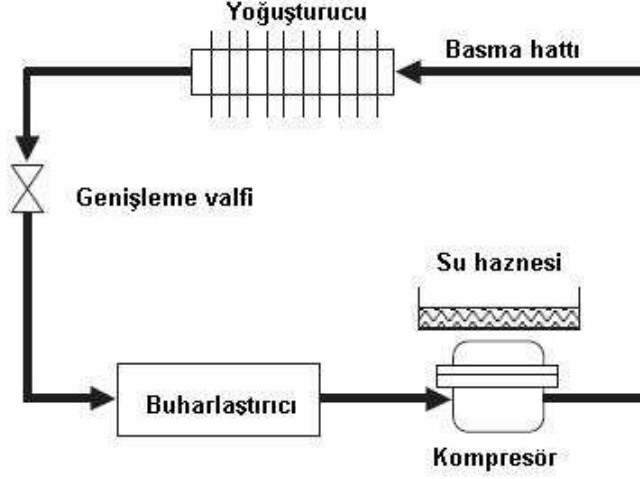
2.2 Soğutma Kabininde Su Haznesinden Buharlaşan Defrost Suyunun Modellenmesi

Somchai Wongwises ve Boonanan Anansauwapak adlı kişilerin gerçekleştirdiği çalışmadaki (2005) deney düzeneği, bir önceki bölümde açıklanan P.K. Bansal ve G.Xie’nin yaptığı çalışma düzeneği ile benzerdir. Ancak burada kompresörün üzerine yerleştirilen su haznesi ile kompresör arasında boşluk bırakılmıştır. Bu yüzden burada ısı transferi iletim yerine taşınım olmuştur. Bu makalede daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak su haznesi ile kompresör arasındaki havanın ısı taşınım katsayısı modellenmiştir.

Şekil 2.7’de buhar sıkıştırılmalı çevrimde kullanılan elemanlar, şematik olarak sunulmuştur. Su haznesi, kompresör üst dış yüzeyi ile boşluk bırakılacak şekilde kompresör üzerine yerleştirilmiştir. Bu düzenleme ile kompresör ısısının bir kısmı, su haznesi içerisindeki suyun buharlaşması için kullanılmıştır. Çalışmada geliştirilen matematik model için bazı kabuller yapılmıştır:

-Ortam sıcaklığı sabit kabul edilmiştir.

- Kompresör dış yüzey sıcaklığının zamanla değiştiği göz önüne alınmıştır.
- Faz değişimi sırasında hava-su ara yüzeyinde doyma basıncındaki suyun sıcaklığı kontrol hacmindeki suyun sıcaklığına eşit olarak kabul edilmiştir.
- Buharlaşma kabı ile kompresör arasında bir boşluk var.
- Kompresör yüzeyinden kaba olan ısı transferi doğal taşınım olarak kabul edilmiştir.
- Kompresör çalışırken soğutucu kabinin kar eritme süreci olmadığı varsayılmıştır.



Şekil 2.7: Buhar sıkıştırımlı çevrim şematik görünümü

Matematik model

Su haznesindeki kütle korunumu şu şekilde ifade edilmiştir.

$$\frac{dm_{su}}{dt} = -\left(\frac{dm_{buh}}{dt}\right) \quad (2.16)$$

Su haznesindeki enerji korunumu;

$$\dot{Q}_{su} + \dot{Q}_o + \dot{Q}_{komp} + \dot{Q}_{buh} = 0 \quad (2.17)$$

\dot{Q}_o , ortamdaki su haznesindeki suya transfer olan ısı enerjisi değeridir.

$$\dot{Q}_o = \alpha_{kap} \cdot A_{kap} \cdot (T_o - T_{su}) \quad (2.18)$$

\dot{Q}_{komp} , kompresör dış yüzeyinden su haznesine olan ısı enerjisi değeridir.

$$\dot{Q}_{komp} = \alpha_{komp} \cdot A_{komp} \cdot (T_{komp} - T_{su}) \quad (2.19)$$

\dot{Q}_{su} , su haznesindeki suyun enerji değişim değeridir.

$$\dot{Q}_{su} = \frac{d}{dt}(m_{su} \cdot u_{su}) \quad (2.20)$$

\dot{Q}_{buh} , su haznesindeki suyun buharlaşması ile kaybolan enerji değeridir.

$$\dot{Q}_{buh} = \frac{d}{dt}(m_{buh} \cdot h_{buh}) \quad (2.21)$$

Tüm ısı enerjisi denklemleri enerji korunumu denklemine (2.17) yerleştirilirse;

$$\dot{Q}_o + \dot{Q}_{komp} = \frac{d(m_{buh} \cdot h_{buh})}{dt} + \frac{d(m_{su} \cdot u_{su})}{dt} \quad (2.22a)$$

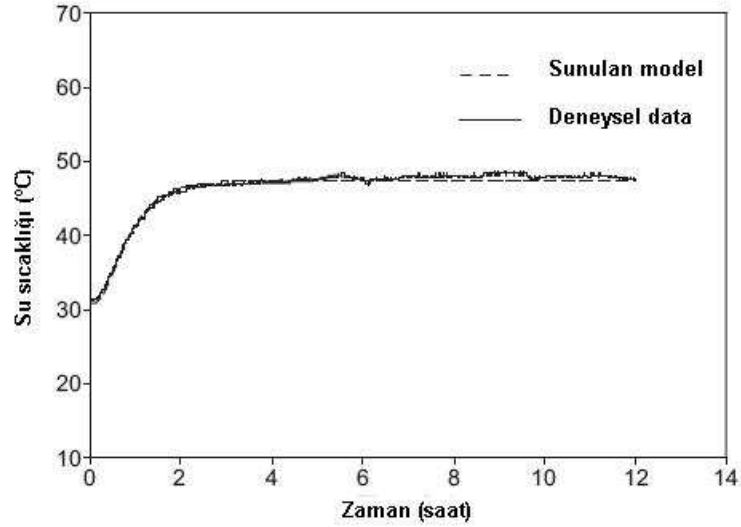
$$\dot{Q}_o + \dot{Q}_{komp} = m_{buh} \cdot \frac{d(h_{buh})}{dt} + m_{su} \cdot \frac{d(u_{su})}{dt} + -h_{buh} \cdot \frac{d(m_{buh})}{dt} + u_{su} \cdot \frac{d(m_{su})}{dt} \quad (2.22b)$$

$$h_{buh} = h_g + h_{su} \quad (2.23)$$

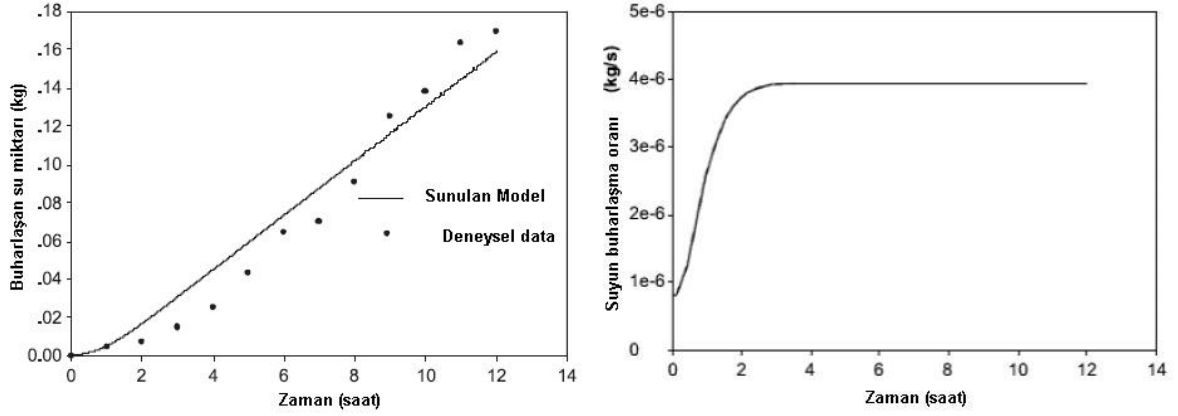
Kütle ve enerji korunum denklemleri birleştirilip model oluşturulmuştur.

Sonuç olarak deneylerin yapıldığı ortalama ortam sıcaklığı 29.3° C, bağıl nemi ise %68 dir.

Şekil 2.8’de su sıcaklığının zamanla değişimi, Şekil 2.9’da buharlaşan su miktarının zamanla değişimi sunulmuştur. İlk 2 saat içinde kompresör sıcaklığı hızlı bir biçimde yükselip 48°C’de sabitlenmiştir. Modelin ilk 4 saatteki doğruluğu çok yüksek olmuştur. Bundan sonraki zamanda ise %0.65 belirsizlikle gerçek değere yaklaşmıştır.



Şekil 2.8: Su sıcaklığının zamanla değişimi (Oluşturulan model-deneysel sonuçlar)



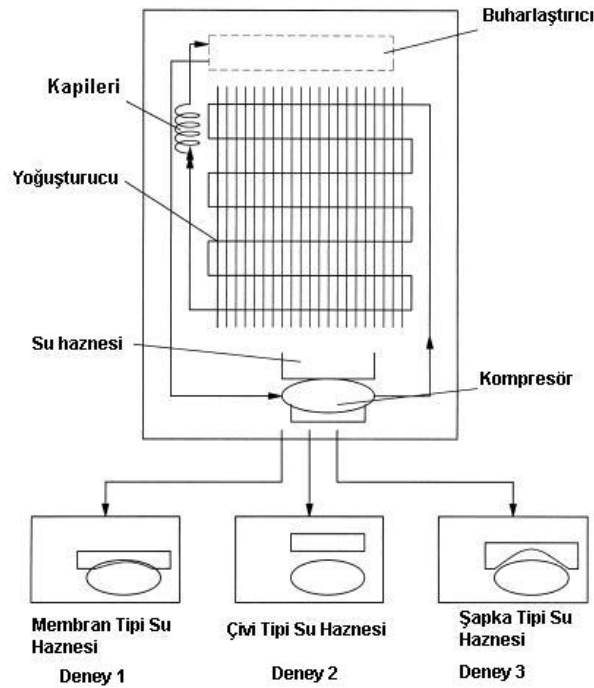
Şekil 2.9: Buharlaşan su miktarının zamanla değişimi (Oluşturulan model-deneysel sonuçlar)

Birim zamanda buharlaşan su miktarında model ile deneysel veri arasında %32,73 değer farkı tespit edilmiştir.

2.3 Farklı Tip Su Haznelerindeki Suyun Buharlaşma Analizi

Bölüm 2.1’de sunulan P.K Bansal, G. Xie ait makalede oluşturulan modellemenin aynısını 3 farklı su haznesi için aynı kişiler bu çalışmada tekrarlamıştır.

Şekil 2.10’da deney düzeneği sunulmuştur. Deneylerde 3 farklı su haznesi kullanılmıştır.



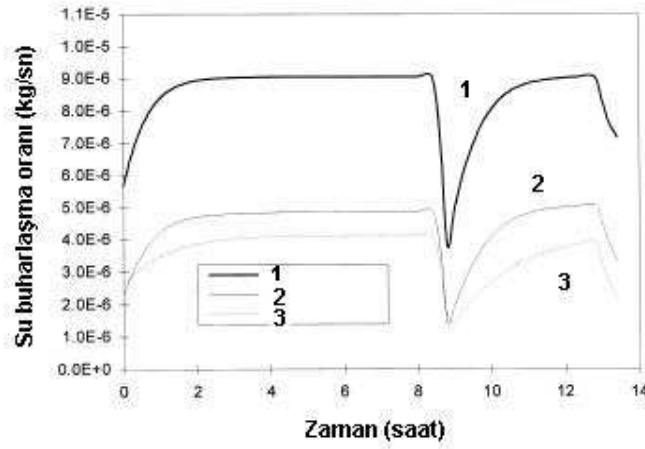
Şekil 2.10: Deney Düzeneği

Deney 1’de su haznesi tabanı kompresör yüzeyi ile tamamen temas edecek şekilde yerleştirilmiştir. Temas eden yüzey yumuşak plastikten, geri kalan bölge ise katı plastikten yapılmıştır. Isının çoğu iletimle, bir kısmı da taşınım ile transfer olmuştur. Deney 2’de su

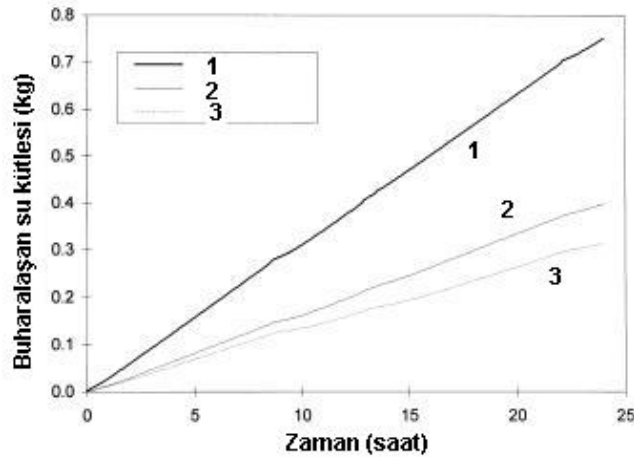
haznesi kompresör üstüne vidalanmıştır. Su haznesi ile kompresör yüzeyi arasında bir boşluk ayarlanmıştır. Isı transferi çoğunlukla taşınım, bir kısmı da radyasyonla olmuştur. Deneysel 3’de su haznesi katı plastikten yapılmış olup kompresör üzerine yerleştirilmiştir.

Sonuçlar

Şekil 2.11 ve 2.12’de gerçekleştirilen deney sonuçları sunulmuştur. 3 numaralı deney düzeneğindeki su haznesinde buharlaşan su miktarının, 1 numaralı düzenekteki su haznesinde buharlaşan su miktarına göre oldukça az miktarda olduğu tespit edilmiştir. Bunun iki nedeni vardır. Merkezden köşelere oluşan sıcaklık gradyanı ve şapka tipi su haznesinin alanının düzeneğe 1’deki su haznesinin alanının %85’i kadar olmasıdır.



Şekil 2.11: Su haznelerindeki zamanla değişen su buharlaşma hızları



Şekil 2.12: Su haznelerindeki zamanla değişen su buharlaşma miktarları

Oluşturulan düzeneklerdeki buharlaşan su miktarları büyükten küçüğe doğru sıralanırsa düzenek 1, düzenek 3 ve düzenek 2 şeklindedir. Sonuç olarak kompresör ile su haznesinin doğrudan temasının su haznesindeki suyun buharlaşma etkinliğini arttırdığı tespit edilmiştir.

2.4 Düşük Hava Hızlarında Suyun Buharlaşmasının Ampirik İlişkisi

P.K Bansal ve G.Xie'nin gerçekleştirdiği bu çalışmada (1998) soğutma kabinlerinde kompresör üzerine yerleştirilen su haznesinden buharlaşan defrost suyu miktarının buharlaşma hızıyla olan bağıntısı sunulmuştur. Bu korelasyonda hava hızı (V) ile suyun doymuş buhar basıncı ve havadaki suyun kısmi basıncı arasındaki farkla ($p_{su} - p_{hs}$) bağlantı kurulmuştur. Makalede geliştirilen korelasyonda durgun havadan 5.36 m/s'ye kadar olan hava hızı aralıkları için haznedeki buharlaşan suyun kütlesi tespit edilebilmiştir.

Gazların kinetik teorisi ve yapılan deney sonuçlarına göre buharlaşma hızı; suyun doymuş buhar basıncı ve havadaki suyun kısmi buhar basıncı arasındaki fark ve buharlaşma yüzeyi ile doğru orantılı, havadaki ortamın bağıl nemi ile ters orantılıdır. Literatürde birçok çalışmada hava hızının 0-0,9 m/s olduğu aralıktaki suyun buharlaşma miktarı için ifadeler türetilmiştir. Bu çalışmada geliştirilen ampirik korelasyon, hava hızının 0-5,36 m/s olduğu aralıktaki suyun buharlaşma hızının tespit edilmesine yardımcı olmuştur.

Bir kaptan buharlaşan suyun buharlaşma hızının bulunması için birçok yaklaşım bulunmaktadır.

- Sadece difüzyonun sebep olduğu suyun buharlaşmasına bağlı denklem (2.24a) sunulmuştur.

$$\dot{m} = -D_{AB} \cdot A \cdot \frac{d\rho}{dx} \quad (2.24a)$$

$$= -D_{AB} \cdot A \cdot \frac{\rho_p - \rho_d}{b} \quad (2.24b)$$

- Incropera ve DeWitt'e göre buharlaşma hızı; kütle taşınım katsayısının, kütle transfer alanının ve doymuş su buharı yoğunluğu ile havadaki su buharının yoğunluk farkının fonksiyonudur (2.25).

$$\dot{m} = \bar{h}_m \cdot A \cdot (\rho_d - \rho_p) \quad (2.25)$$

$$\bar{h}_m = \frac{D_o}{L} \cdot 0,0296 \cdot \text{Re}^{\frac{4}{5}} \cdot \text{Sc}^{\frac{1}{3}} \quad (2.26)$$

$$\text{Sc} = \frac{\nu_o}{D_o}, \quad \text{Re} = \frac{L \cdot V_o}{\nu_o}, \quad \frac{D_A}{D_B} = \left(\frac{T_A}{T_B} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (2.27)$$

Bu denklem $0,6 < \text{Sc} < 3000$ ve $5 \cdot 10^5 < \text{Re} < 10^7$ arasında geçerlidir. Ayrıca bu denklem yüksek hava hızı ve türbülanslı akış içindir. Şu anki formülde Sc nin ve Re nin değeri $0,59$ ve $3,3 \cdot 10^3$ dür.

- Hinchley ve Himus rüzgar tüneli kullanarak ısıtılan bakır kaptan buharlaşan su üzerine çalışmalar yapmıştır. Burada suyun sıcaklığı 20°C ve 70°C ve hava hızı 0,9 ve 5,36 m/s arasındadır. Buharlaşma hızı denklemi (2.28)'de verilmiştir.

$$\dot{m} = (0,031 + 0,0135 \cdot V_0) \cdot (p_{su} - p_{hs}) \quad (2.28)$$

- Denklem (2.29)'da suyun titreşim ve sıçrama etkisini de ele almak için denklem (2.29) Himus tarafından tekrar düzenlenmiştir.

$$\dot{m} = 0,02 \cdot (p_{su} - p_{hs})^{1,2} + 0,0446 \cdot V_0^{0,77} \cdot (p_{su} - p_{hs})^{1,2} \quad (2.29)$$

Yeni Korelasyonun Gelişimi

Gerçekleştirilen deneylerin neticesinde yeni bir korelasyon geliştirilmiştir. Oluşturulan yeni korelasyon, su haznesi üzerinden geçen hava hızının 0-5,36 m/sn olduğu durum için geçerlidir. Çizelge 2.1'de yapılan deney koşulları verilmiştir.

Çizelge 2.1 Deney koşulları ve verileri

Parametreler	Test 1	Test 2	Test 3
T_a (°C)	29.6	31.0	28.4
T_w (°C)	37.2	32.0	33.7
V_a (m/s)	0.2	0.2	0.2
p_{aw} (mmHg)	26.6	29.0	25.0
p_w (mmHg)	48.7	36.1	39.7
Φ_a (%)	85	85	85
A_i (m ²)	0.073515	0.054288	0.061065

Ampirik korelasyon geliştirmek için difüzyon denklemi (2.24a) Hinchley/Himus (2.28) denklemleri, durgun havadan 0,9 ve 5,36 m/s aralığında buharlaşma hızının bulunması için kullanılmıştır. Geliştirilen korelasyon aşağıda verilmiştir.

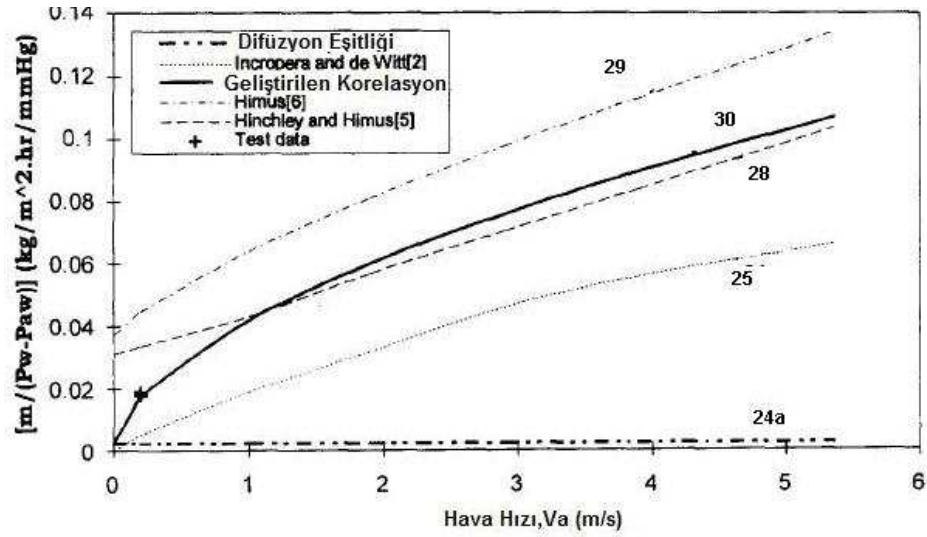
$$\dot{m} = (0,002198 + 0,0398 \cdot V_0^{0,5756}) \cdot (p_{su} - p_{hs}) \quad 0 \leq V_0 \leq 5,36 \text{ m/sn} \quad (2.30)$$

Bu denklem $0 \leq V_0 \leq 5,36 \text{ m/sn}$ aralığında geçerlidir. Geliştirilen denklem (2.30) ile deney verilerini karşılaştırmak için ortak parametre olan $[\dot{m}/(P_{su} - P_{hs})]$ buharlaşma hızının doymuş buhar basıncı ve havadaki kısmi basınç farkına oranı kullanılmaktadır. Deneylerden elde edilen buharlaşma miktarları ile geliştirilen korelasyonun verdiği buharlaşma miktarları Çizelge 2.2'de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 2.2 Deneysel ve teorik değerlerin karşılaştırılması

	Test 1	Test2	Test3
$\frac{\dot{m}}{(p_w - p_{aw})}$ (kg/m ² ·hr/mmHg) → Deneysel	0.01766	0.01900	0.01849
$\frac{\dot{m}}{(p_w - p_{aw})}$ (kg/m ² ·hr/mmHg) → Teorik olarak	0.01796	0.01796	0.01796
Uyumsuzluk (%)	1.7	-5.5	2.9

Çizelge 2.1’de belirtilen şartlarda (2.24a)-(2.29) eşitliklerinden elde edilen buharlaşma hızlarının karşılaştırmasını gösteren grafik Şekil 2.13’te sunulmuştur.



Şekil 2.13: Su buharlaşma hızının hava hızı ile değişimi

Himus’un (2.29) denkleminde yüksek hızdan dolayı oluşan su yüzeyinin titreşiminden dolayı maksimum buharlaşma hızı elde edilmiştir. Incropera ve De Witt’in denklem sonucu (2.25) deneysel değerlerden yaklaşık %72 daha düşük çıkmıştır. Hinchley ve Himus’un (2.28) denkleminde buharlaşma hızı, hava hızının 0,9 ve 5,36 m/s arasında olduğu durum için geliştirilen korelasyona yakın değer almıştır.

3. LİTERATÜRDE ÇIKARIMLAR VE ÇALIŞMANIN AMACI

Literatürde tava buharlaşması ölçümlerine yönelik bilgi birikimi incelenmiş ve şu çıkarımlar yapılmıştır:

- Bansal ve Xie isimli makale yazarları tava buharlaşmasına yönelik önemli çıkarımlarda bulunmuşlardır.
- Soğutucularda yoğuşan ve/veya eriyen suyun toplandığı su hazneleri için buharlaşmaya yönelik dinamik modeller mevcuttur. Kompresör üzerine yerleştirilen su hazneleri uygulamalarında, farklı kompresör tipleri için dinamik modeller farklılaşabilmektedir.
- Su haznesinin yerleştirildiği ortam şartlarının etkisi tespit edilmiş ve en aktif buharlaşmanın su sıcaklığının arttığı ve su haznesinin hava hareketine maruz kaldığı tasarımlarda gerçekleştiği görülmüştür.
- Su haznesi geometrisi, su haznesinin ısı kaynaklarına göre yerleşimi buharlaşmayı etkilemektedir.
- Kompresör yüzey sıcaklığı ile haznedeki su sıcaklığının modellendiği çalışmalar mevcuttur.
- Su haznesi üzerinden geçen hava hareketi için suyun buharlaşma miktarını veren ampirik ifadeler incelenmiş ve yeni korelasyonlar geliştirilmiştir.

Bu tez çalışmasının amacı, literatürde incelenen suyun buharlaşma etkinliği ile ilgili eksikliği hissedilen bilgi açığının kapatılması ve bu bilginin yaygınlaştırılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda aşağıdaki çalışmaların yapılması planlanmıştır:

- Suyun buharlaşmasını etkileyen bazı kritik parametreleri deneysel olarak incelemek için deney düzeneğinin hazırlanması.
- Deneysel sonuçların teorik olarak irdelenmesi.
- Deney sonuçlarında elde edilen sonuçlara bağımlı ampirik bir modelin oluşturulması.

4. TEZ KONUSU İLE İLGİLİ TEMEL TANIMLAMALAR

4.1 Buharlaşma

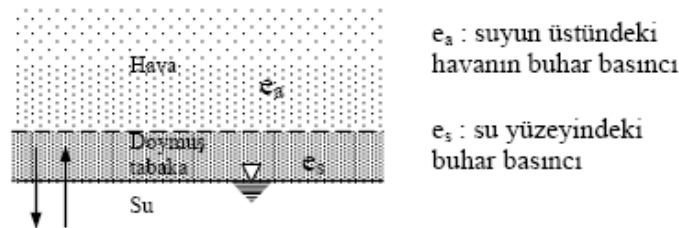
4.1.1 Hidrolojik Çevrim

Su doğada çeşitli yerlerde ve hallerde (katı, sıvı, gaz) bulunmakta ve yer küresinin farklı kısımları arasında sürekli hareket etmektedir. Suyun doğada döngü yollarının tümüne birden hidrolojik çevrim denir. Hidrolojik çevrimi gözden geçirmeye atmosferden başlanacak olursa, atmosferde buhar halinde bulunan su yoğunlaşarak yağış şeklinde yeryüzüne düşer. Karalar üzerine düşen yağışın büyük bir kısmı (% 60-75 kadarı) zeminden ve su yüzeylerinden buharlaşma ve bitkilerden terleme yoluyla denizlere erişmeden atmosfere geri döner, bir kısmı bitkiler tarafından tutulur, bir kısmı zeminden süzülerek yeraltına sızar, geriye kalan su ise yerçekimi etkisiyle hareket ederek akarsulara ve akarsular yoluyla denizlere ulaşır. Yeraltına sızan su ise yeraltı akışı yoluyla sonunda yeryüzüne çıkarak yüzeysel akışa katılır. Denizlere ulaşan su da buharlaşarak atmosfere geri döner. Görüldüğü gibi su, katı, sıvı ve gaz hallerinde doğanın çeşitli kısımları arasında ve farklı yollar izleyerek dönüp durmaktadır. Bu çevrim için gerekli enerji güneşten ve yerçekiminden sağlanır. Yerkürenin iklim sistemi ile yakından ilişkili olan hidrolojik çevrim günlük ve yıllık periyotları olan bir süreçtir.

Hidrolojik çevrimin bir parametresi olan buharlaşma, su kaynaklarının planlanması ve işletilmesi, sulama suyu miktarının belirlenmesinde, meteorolojik ve atmosferik çalışmalarda önemli bir faktör olarak görülür. Buharlaşma olayının mekanizması ve buharlaşmaya etki eden faktörler aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

4.1.2 Buharlaşma Mekanizması

Suyun sıvı halden gaz (su buharı) haline geçmesi için gerekli ısı enerjisi 2510 J/gr dır. Bu olaya buharlaşma adı verilir. Su yüzeyindeki moleküller yeterli bir kinetik enerji kazandıkları zaman kendilerini tutmaya çalışan diğer moleküllerin çekiminden kurtulup su ortamından havaya fırlarlar.



Şekil 3.1: Su yüzeyinden buharlaşma

Su yüzeyi yakınlarında sürekli olarak sudan havaya, havadan suya geçen moleküllere rastlanır. Sudun havaya geçen moleküllerin sayısı daha fazla ise buharlaşma olayının meydana geldiği kabul edilir. Su yüzeyinden buharlaşmanın şematik görünümü Şekil 3.1'de sunulmuştur.

4.1.3 Buharlaşmaya Etki Eden Faktörler

Buharlaşma oranı, yüzeyin rengi ve ışığı yansıtma özellikleri ile değişmekte ve direkt olarak güneş radyasyonuna maruz veya gölge yüzeyler için farklı olmaktadır.

- Meteorolojik Faktörler:

Meteorolojik faktörler olarak buhar basıncı farkları, hava hareketi, enerji, hava basıncı, güneş radyasyonu, mutlak nem ve sıcaklık parametreler aşağıda kısaca açıklanmıştır.

Buhar basıncı farkları: Dalton Kanunu'na göre buharlaşma, su yüzeyindeki buhar basıncıyla (e_s) suyun üstündeki havanın buhar basıncı (e_a) arasındaki fark ile orantılıdır ($e_s - e_a$). Suyun sıcaklığı arttıkça moleküllerin hızları artar, yüzeysel gerilim azalır ve buharlaşma kolaylaşır.

Hava hareketi: Buharlaşan su, su yüzeyinden uzaklaşmadığı takdirde e_a nın artması sonunda yukarıda sözü edilen basınç farkı bir süre sonra sıfıra düşeceğinden suyun üstündeki havanın doymuş hale geçmesi ile buharlaşma durur ($e_s - e_a \leq 0$).

Buharlaşmanın devam etmesi için difüzyon ve konveksiyon ile su buharının su yüzeyinden uzaklaşması gerekir. Bu da havanın hareketi ile mümkündür. Rüzgarlar (hava hareketleri) yatay doğrultuda iletimin yanında düşey doğrultuda türbülanslı difüzyon yolu ile alışverişi de arttırdıklarından buharlaşmayı devam ettirmekte önemli rol oynarlar.

Bütün meteorolojik faktörler aynı kalmak şartıyla, su haznesi yüzeyinden esen hava hızı bir anda iki katına çıktığı takdirde buharlaşma da bir an için iki katına çıkar. Fakat buharlaşma artınca, suda meydana gelen sıcaklık kaybı da artacağından suyun sıcaklığı düşer ve sonuçta buharlaşma da yavaşlar. Bu yüzden, uzun bir süre söz konusu olduğunda, hava hızının örneğin yüzde 10 gibi artması, buharlaşmayı yüzde 1-3 kadar arttırır.

Enerji: Su moleküllerinin hızlarını artırarak buharlaşmayı sağlamak için enerji gereklidir. 1 gram suyun buharlaşması için gerekli ısı ortamın sıcaklık derecesine göre 2255-2498 J arasında değişir. Su kütlelerinin buharlaşması için gerekli enerji güneşten kaynaklanan ortam ısı ile sağlanır.

Hava basıncı: Havanın basıncı azaldıkça buharlaşma artar. Ancak bu etki diğerleri yanında önemsizdir.

Güneş radyasyonu: Buharlaşma, günışığının olduğu saatlerde ve hatta geceleri de kesintiye uğramadan devam eder. Suyun sıvı halden gaz haline geçmesi enerji gerektirdiğinden, direkt güneş radyasyonu altında bu işlem çok aktiftir. Bulutlar, güneş radyasyonu spektrumunun yeryüzüne tam olarak ulaşmasını engellediği için enerji girişi azalır ve dolayısıyla buharlaşma da az olur. Tezde gerçekleştirilen tava ölçümleri, kapalı gölge ortamda yapıldığı için radyasyon etkisi ihmal edilmiştir.

Bağıl nem: Havanın nemi arttıkça su buharı emme gücü azalır ve dolayısıyla buharlaşma yavaşlar.

Sıcaklık: Buharlaşma olayı, hava sıcaklığının yüksek olması halinde, sıcaklığın düşük olmasına göre daha hızlı olur. Hava sıcaklığı arttıkça havanın su buharı emme kapasitesi de artacağından, buharlaşma olayı üzerinde iki kat etkiye sahiptir.

- **Topografik Faktörler:**

Yükseklik (=Rakım): Diğer faktörlerin değişmediği kabul edilirse yükseklikle hava basıncı azalacağından buharlaşma artar. Yükseklikle hava sıcaklığı da azalacağından buharlaşma da azalır. Fakat bu azalma hava basıncının düşmesinden ileri gelen artmayı karşılayamayacağından yükseklikle buharlaşmanın artacağı kabul edilir.

- **Buharlaşan Yüzeyin Özelliği:**

Tuzluluk: Suda erimiş tuzlar buharlaşmayı azaltır. Bu azalma % 1 tuz eriyiği için % 1 kadardır. Tezde su haznesi içindeki su, saf su olarak seçilmiştir.

4.2 Psikrometrinin Temelleri

Psikrometri; nemli havanın termodinamik özellikleri ve bu özellikleri kullanılarak nemli havadaki işlemler ile ilgilenen termodinamiğin bir dalıdır. Kuru hava; içindeki su buharı tamamen alınmış atmosferik havadır. Kuru hava, izafi olarak sabit karışım oranına sahip birçok gazın karışımından meydana gelmektedir.

Nemli hava; kuru hava ile su buharının karışımı olarak kabul edilir. Hava içindeki su buharının miktarı; kuru hava durumunda sıfırdan, sıcaklık ve basınca bağlı olarak doymuş durumdaki maksimum değerine kadar değişir. Doymuş hava, nemli hava ile yoğunlaşmış suyun doğal denge halidir.

Havadaki su buharının ideal gaz olarak ele alınması kolaylık sağlar. 50°C sıcaklıkta suyun doyma basıncı 12,3kPa'dır. Daha düşük basınçlarda, doymuş buhar halinde olsa bile, su buharı çok az bir hata ile (%0,2'den az) ideal (mükemmel) gaz olarak ele alınabilir.

Böylelikle; nemli havanın içinde bulunan kuru hava ile birlikte su buharı, ayrı ayrı $P_v = RT$ mükemmel (ideal) gaz denklemini sağlar. Bu durumda nemli hava, basıncı kuru havanın ve su buharının kısmi basınçlarının toplamı olan, mükemmel bir gaz karışımı olarak incelenebilir:

$$P = P_o + P_v \text{ [kPa]}$$

4.2.1 Özgül Nem ve Bağlı Nem Kavramları

Bir birim kuru hava kütleğinde bulunan su buharı kütlesi, mutlak nem ya da özgül nem olarak adlandırılır. Özgül nem (w);

$$w = \frac{m_{su}}{m_a} \text{ (kg su buharı / kg kuru hava) şeklindedir.} \quad (3.1)$$

$P_v = RT$ ideal gaz denklemi, nemli hava içindeki her iki karışana da uygulanacak olursa; su buharı için $P_v V = m_v R T_v$, kuru hava için de $P_a V = m_a R T_a$ bağıntıları yazılabilir. Buna göre:

$$w = \frac{m_{su}}{m_a} = \frac{P_v \cdot V / R_v \cdot T}{P_a \cdot V / R_a \cdot T} = \frac{R_a}{R_v} \cdot \frac{P_v}{P_a} = 0,622 \cdot \frac{P_v}{P_a} \Rightarrow w = \frac{0,622 \cdot P_v}{P - P_v} \quad (3.2)$$

Havadaki su buharı miktarının (m_{su}), aynı sıcaklıktaki doymuş havada bulunabilecek en çok su buharı miktarına (m_a) oranı bağlı nem olarak tanımlanır. Bağlı nem:

$$\phi = \frac{m_v}{m_p} \text{ (%) şeklindedir.} \quad (3.3)$$

Atmosferik hava, kuru hava ve su buharının bir karışımı olduğundan, nemli (atmosferik) havanın entalpisi kuru hava ve su buharının entalpileri ile ifade edilir. Atmosferik havanın toplam entalpisi, kuru hava ve su buharının entalpilerinin toplamına eşittir.

$$H = H_o + H_v = m_a \cdot h_a + m_v \cdot h_v \quad (3.4)$$

$$h = \frac{H}{m_a} = h_a + \frac{m_v}{m_a} \cdot h_v \Rightarrow h = h_a + w \cdot h_v \quad (3.5)$$

$$h_v \cong h_p \Rightarrow h = h_a + w \cdot h_p \text{ (kJ / kg kuru hava)} \quad (3.6)$$

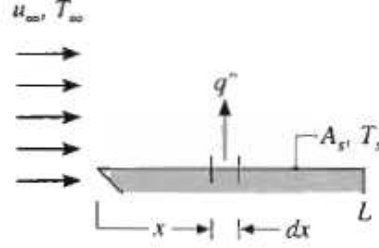
Yukarıdaki eşitlikler tez çalışmasında zorlanmış taşınım deneylerinin teorik olarak incelenmesinde kullanılmıştır.

Çiğ noktası sıcaklığı, hava sabit basınçta soğutulduğunda yoğuşmanın başladığı sıcaklık olarak tanımlanabilir. Çiğ noktası sıcaklığı, mevcut koşullardaki havanın içinde bulunan su buharının basıncındaki doyma sıcaklığıdır.

4.3 Isı ve Kütle Geçişi

4.3.1 Taşınım Problemi

Şekil 3.2’de gösterilen akış ele alınır, V hızında ve T_∞ sıcaklığında bir akışkan yüzey alanı A_s olan bir yüzey üzerinden akmaktadır. Yüzeyin T_s sıcaklığında olduğu varsayılmaktadır ve $T_s \neq T_\infty$ ise taşınım ile ısı geçişi olacaktır. Yerel ısı akısı q'' aşağıdaki denklemlerle ifade edilebilir.



Şekil 3.2: Düz levha ısı geçişi

$$q'' = h \cdot (T_s - T_\infty) \quad (3.7)$$

Burada h yerel taşınım katsayısıdır. Yüzey üzerinde akış koşullarının noktadan noktaya değişmesi nedeniyle, yüzey boyunca q'' ve h değişir. Toplam ısı geçişi q , yerel ısı akısının bütün yüzey üzerinde integrasyonu ile elde edilebilir.

$$q = \int_{A_s} q'' \cdot dA_s \quad (3.8)$$

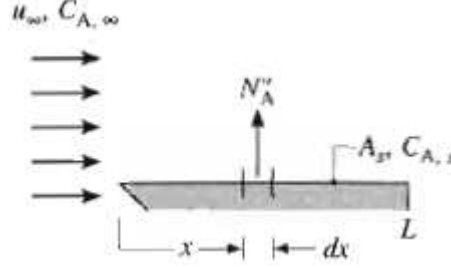
$$q = (T_s - T_\infty) \int_{A_s} h \cdot dA_s \quad (3.9)$$

Benzer sonuçlar taşınım ile kütle geçişi için elde edilebilir. Eğer içindeki A maddesinin mol derişikliği $C_{A,\infty}$ olan bir akışkan bir yüzey üzerinden akıyorsa ve yüzey üzerinde A 'nın derişikliği $C_{A,s} \neq C_{A,\infty}$ değerinde ise, taşınım ile kütle geçişi olacaktır. A maddesi genellikle katı veya sıvı bir yüzeyden, süblimleme ya da buharlaşma yoluyla gaz akışı içine geçer. Söz konusu olan kütle geçişinin hangi hızda olduğudur. Isı geçişinde bu hız taşınım katsayısı ile belirlenir. Burada A 'nın mol akısı, kütle geçiş katsayısı ve derişiklik farkı ile gösterilebilir. Şekil 3.3'te görüldüğü gibi, A maddesinin mol akısı N''_A (kmol/s m^2) aşağıdaki denklemlerle ifade edilebilir.

$$N''_A = h_m \cdot (C_{A,s} - C_{A,\infty}) \quad (3.10)$$

Burada h_m (m/s) taşınım ile kütle geçiş katsayısıdır. Mol derişiklikleri $C_{A,s}$ ve $C_{A,\infty}$ (kmol/m^3) birimindedir. Tüm yüzey için toplam kütle geçişı, N_A (kmol/s), aşığıdaki denklemlle ifade edilebilir.

$$N_A = h_m \cdot A_s \cdot (C_{A,s} - C_{A,\infty}) \quad (3.11)$$



Şekil 3.3: Düz levha kütle geçişı

Kütle geçişı ayrıca akı, n''_A (kg/s m^2) veya debi, \dot{n}_A (kg/s) olarak da yazılabilir. Bu büyüklükler 3.11 denkleminin her iki yanının A 'nın mol kütlesi M_A (kg/kmol) ile çarparak belirlenebilir. Buna bağılı olarak,

$n_A = h_m \cdot A_s \cdot (\rho_{A,s} - \rho_{A,\infty})$ eşitliğı yazılabilir. Burada ρ_A (kg/m^3) olarak A maddesinin kütleli yoğunluğudur.

Taşınım ile kütle geçişini hesaplamak için $C_{A,s}$ veya $\rho_{A,s}$ değıerinin bilinmesi gereklidir. Bu bilgi gaz ve sıvı veya katı faz arasındaki yüzeyde termodinamik dengenin varlığını göz önüne alarak sağlanabilir. Bu durumda, ara yüzeyde buhar sıcaklığı, T_s yüzey sıcaklığın eşit olur. Ayrıca buhar doymuş haldedir, böylece, T_s 'den yola çıkarak yoğunluk termodinamik tablolarından bulunabilir. Yüzeyde buharın mol derişikliği mükemmel gaz hal denklemini kullanarak oldukça hassa bir biçimde bulunabilir.

$$C_{A,s} = \frac{P_{\text{doy}} \cdot (T_s)}{R \cdot T_s} \quad (3.12)$$

Burada, R üniversal gaz sabiti ve $P_{\text{doy}(T_s)}$ ise T_s sıcaklığındaki doymuş buharın basıncıdır.

Yerel akı ve/veya toplam ısı/kütle geçişı herhangi bir taşınım probleminde büyük önem taşır. Bu bakımdan taşınım katsayılarının hesaplanması taşınım probleminin özünü oluşturur. Bununla beraber problem basit değıildir. Taşınım katsayısı yoğunluk, viskozite, ısıli iletkenlik ve özgül ısı gibi akışkan özelliklerinin ayrıca yüzey geometrisi ve akış koşullarına bağılıdır. Bağımsız değıişkenlerin çokluğu, taşınım ile ısı/kütle geçişinin, yüzey üzerinde gelişen sınır tabakalara bağılı olmasından kaynaklanmaktadır.

Isı ve kütle geçişı ile ilgili kaynaklarda sıkça rastlanan bazı boyutsuz ifadeler Çizelge 3.1'de sunulmuştur.

Çizelge 3.1: Bazı boyutsuz ısı ve kütle geçişi parametreleri

Parametre	Fiziksel Anlamı
Grashof sayısı (Gr)	Kaldırma kuvvetlerinin, sürtünme kuvvetlerine oranı
Lewis sayısı (Le)	Isı ve kütle yayılım katsayılarının oranı
Nusselt sayısı (Nu)	Yüzeydeki boyutsuz sıcaklık gradyanı
Prandtl sayısı (Pr)	Momentum ve ısı yayılım katsayılarının oranı
Reynold sayısı (Re)	Atalet ve sürtünme kuvvetlerinin oranı
Schmidt sayısı (Sc)	Momentum ve kütle yayılım katsayılarının oranı
Sherwood sayısı (Sh)	Yüzeydeki boyutsuz derişiklik gradyanı

4.3.2 Isı ve Kütle Geçişi Benzeşimi

Eğer iki veya daha fazla fiziksel olgu aynı biçimdeki boyutsuz eşitliklerle gösterilebiliyorsa, bu olgular arasında benzeşim olduğu söylenebilir. Bu benzeşimin bir sonucu olarak, ısıl sınır tabaka davranışını belirleyen boyutsuz ilişkiler, derişiklik sınır tabakasının davranışını da belirler. Bu nedenle sınır tabaka sıcaklık ve derişiklik profilleri aynı fonksiyonel biçimde olmalıdır. Aşağıda ısı ve kütle geçişi benzeşimi yapılarak elde edilen formül sunulmuştur.

$$\frac{h}{h_m} = \frac{k}{D_{AB} \cdot Le^n} = \rho \cdot c_p \cdot Le^{1-n} \quad (3.13)$$

Böylece katsayılardan biri bilindiği zaman, diğer katsayı yukarıdaki bağıntıdan hesaplanabilir. Aynı ilişki laminer ve türbülanslı akış için kullanılabilir. Uygulamaların birçoğunda n değeri 1/3 alınabilir.

4.3.3 Buharlaşmalı Serinletme

Isı ve kütle geçişi benzeşiminin önemli bir uygulaması buharlaşmalı serinletme işlemidir. Bu işlem sıvı üzerinden bir gaz akışı olduğu zaman gerçekleşir. Buharlaşma sıvı yüzeyinden olur ve faz değişimi için gerekli enerji, sıvının buharlaşma gizli ısısıdır. Yüzeye yakın sıvı moleküllerinin çarpışmaları sonunda moleküllerin enerjisi yüzey bağlanma enerjisini yenebilmek için gerekli enerjinin üzerine çıkar ve buharlaşma olur. Buharlaşmayı sürdürebilmek için gerekli enerji sıvının iç enerjisinden gelir, bu durumda sıvın sıcaklığı azalır. Ancak sürekli rejim söz konusuysa, buharlaşma nedeniyle gizli ısı kaybı, çevresinden sıvıya enerji geçişi ile dengelenir. Işınım göz ardı edilirse, bu enerji geçişi gazdan duyulur enerjinin taşınımı veya örneğin sıvı içine daldırılmış bir elektrikli ısıtıcı ile gerçekleşebilir. Sıvı yakınında bir kontrol yüzeyine enerjinin korunumun uygulanmasıyla birim yüzey alanı için, $q''_{konv} + q''_{ısı} = q''_{buh}$ denklemi yazılabilir. Burada q''_{buh} , buharlaşma gizli ısısı ile buharlaşan su debisinin çarpımıdır.

5. DENEY DÜZENEGİ

Tez çalışması kapsamında, alttan ısıtılan ya da ısıtılmayan belirli bir yüzey alan açıklığına sahip içi su dolu bir kap yüzeyinden meydana gelecek olan buharlaşma miktarına etki eden parametrelerin etkisini tespit etmek amacı ile bir deney düzeneği kurulmuştur.

Tez düzeneği kurulurken çalışılacak parametrelere göre uygun olan elemanların yerleşimleri gerçekleştirilmiştir. Tezde karşılaştırma amacı ile incelenecek parametreler;

- Su buharının doğal taşınımı durumunda
 - o Ortam hava sıcaklığı
 - o Ortam bağıl nem miktarı
 - o Su haznesi üzerinde bulunabilecek katı bir yüzeyin etkisi
- Su buharının zorlanmış taşınımı durumunda
 - o Su haznesi üzerinden geçen hava hızı
 - o Su haznesi yanına yerleştirilen fanın su haznesi merkezine olan yatay mesafesi
 - o Su haznesi yanına yerleştirilen fanın üfleme açısı

olarak belirlenmiştir.

Tez konusu kapsamında planlanmış olan deneysel çalışmaların gerçekleştirilebilmesi için ortam bağıl neminin ve sıcaklığının, su sıcaklığının, kap üzerinden geçen hava hızının kontrol edilebildiği bir deney düzeneği oluşturulmuştur.

Oluşturulan deney düzeneği aşağıda verilen ünitelerden oluşmaktadır:

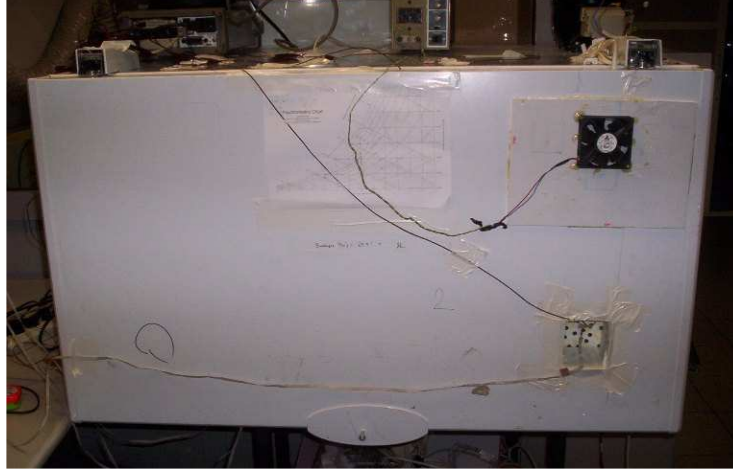
- Dış ortam havası şartlandırma ünitesi (hava sıcaklığı, hava nem oranı, hava hızı)
- Buharlaşma haznesi
- Veri toplama ve ölçüm ünitesi
- Kontrol ünitesi

Deneysel çalışmaların yürütülebileceği yatay derin bir dondurucu seçilmiştir. Farklı ortam şartlarının sağlanabildiği yatay derin dondurucu, su haznesinin yerleştirildiği deney kabini olarak kullanılmıştır. Derin dondurucunun soğutma sisteminin genel yapısında herhangi bir değişiklik yapılmamış, sadece kontrol sistemi değiştirilmiştir. Buna ek olarak yatay derin dondurucunun tabanına 80 Watt gücünde elektrikli kablo ısıtıcı yerleştirilmiştir. Veri toplama ve ölçüm ünitesi, sistem üzerinden sıcaklık, bağıl nem ve ağırlık değerlerinin okunmasını sağlamakla birlikte, bu verilerin düzenli ve periyodik olarak kaydedilmesine olanak tanımıştır.

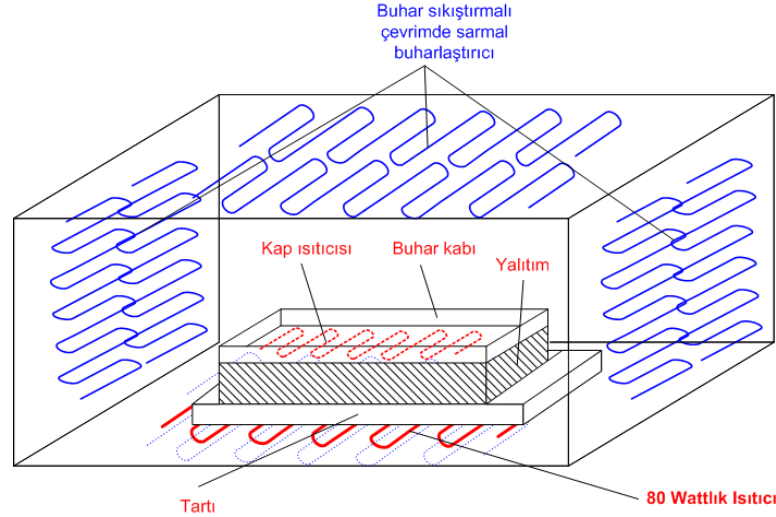
Kontrol ünitesi ise deney kabini içerisindeki şartlandırmayı ve su haznesi içindeki suyun sıcaklığını ayarlamayı sağlamıştır.

5.1 Dış Ortam Havaşı Şartlandırma Ünitesi

Deney düzeneğinin yerleştirilebileceği, sıcaklık ve nem değerlerinin ayarlanabileceği kapalı bir sistem olarak uygun ebatlarda (1100 x 830 x 620 mm) 310 litre iç hacme sahip yatay derin dondurucu seçilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1: Tez deney düzeneği için seçilen yatay derin dondurucu



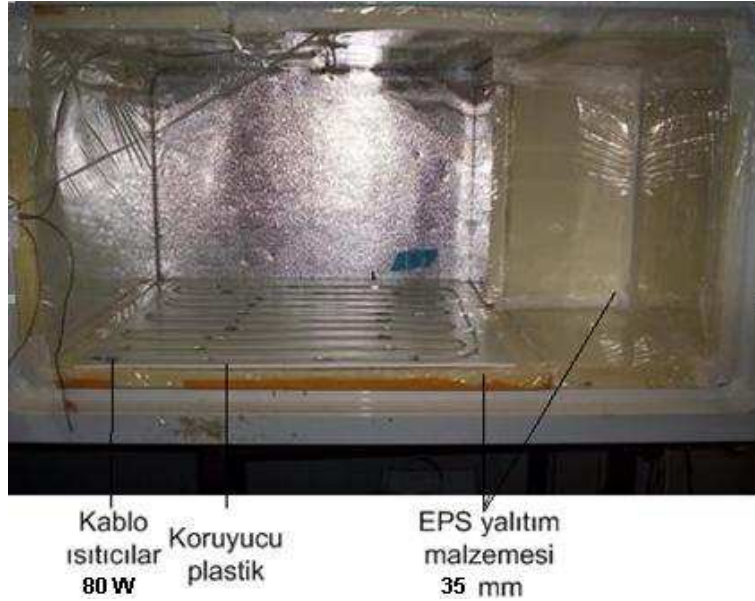
Şekil 4.2: Deney kabin içi şematik görünümü

Bahsedilen derin dondurucunun (deney kabini) soğuması için yararlanılan buhar sıkıştırılmış çevrimde; buharlaştırıcıdan çıkan doymuş buhar, kompresörde izantropik olarak daha yüksek bir basınç ve sıcaklığa sıkıştırılarak kızgın buhar haline getirilir, daha sonra yoğuşturucuya giren kızgın buhar, kullanılabilir ısıyı dışarıya vererek sabit basınçta yoğuşur, doymuş sıvı haldeki yüksek basınçlı akışkanın basıncı ve sıcaklığı, kapileride buharlaştırıcı şartlarına getirilir. Buharlaştırıcıya giren akışkanın sıcaklığı ısı kaynağının sıcaklığından düşük

olduğundan, ısı kaynağından akışkana sabit basınçta ısı geçişi olur ve akışkan buharlaşır. Böylece buharlaştırıcıya göre daha yüksek sıcaklıkta olan hacim soğur. Tez düzeneğindeki deney kabini içi, yalıtım etrafına sarılmış buharlaştırıcı ile soğutulmuştur.

Şekil 4.2’de deney kabin içi ve deney düzeneğinin şematik görünümü verilmiştir. Sarmal buharlaştırıcı kabinin dört tarafında konumlanmıştır. 80 Wattlık ısıtıcı deney düzeneğinin hemen altına yerleştirilmiştir. Buhar kabı altına 30 Wattlık bir ısıtıcı sağlanmıştır. Isıtıcıdan suya transfer olan ısı enerjisinin termal verimini yükseltmek için buhar kabının altına yalıtım yerleştirilmiştir.

Şekil 4.3’te, oluşturulan deney kabininin iç kısmına uygulanmış ısıtıcı ve yalıtım yerleşimi sunulmuştur. Deneylerde 10/25/42°C ortam sıcaklıkları çalışılacağından, seçilen derin dondurucunun soğutma kontrol sistemi iptal edilmiş; soğutma sistemine dijital termostat bağlantısı yapılmıştır, derin dondurucu taban yüzeyine 80W gücüne sahip kablo ısıtıcı yerleştirilmiştir. Deney kabini içinde yapılan ısıtma/soğutma proseslerinde kabin içerisinden dışarıya oluşacak ısı kaybını/kazancını engellemek, kabin içinde daha stabil bir sıcaklık dağılımını sağlamak ve buharlaştırıcı yüzeyinde karlanmayı önlemek amacı ile kabin içerisi 35mm EPS yalıtım malzemesi ile kaplanmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3: Kabin içi ısıtıcı ve yalıtım yerleşimi

Deneylerde kabin içerisindeki bağıl nem dengesini sağlamak için çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Deney kabini içerisinde düşük sıcaklıklarda düşük bağıl nem miktarının sağlanabilmesi için sistem içerisine nem tutucular (silika jeller) yerleştirilmiştir. Buna ek olarak kabin içerisindeki bağıl nem oranını ayarlamak için kapı üzerine yerleştirilen bir fan ile dış ortamdan kabin içine hava emişi sağlanmıştır.

Yüksek sıcaklıklarda yüksek bağıl nem değerlerine ulaşabilmek için ise sistemin nemlendirilmesi gerekmiş; bu durumda ise Sunny marka nemlendirici ünite ile deney kabini içerisine su buharı verilmiştir.

Şekil 4.4'te deneylerde kullanılan nemlendirme ünitesi ve nem tutucu malzeme örnekleri sunulmuştur.



Şekil 4.4: Nemlendirici ünite ve nem tutucu malzeme

Deney düzeneğinde kabin içi ortam bağıl nemini düşürmek için kullanılan silika jeller ağırlığının yüzde %30'u kadar ortamdan su buharı çekebilme yeteneğine sahiptir. Bahsedilen nem tutucular, suya doyduktan sonra Şekil 4.5'te görüldüğü gibi mavi renkten açık pembe renge dönüşmektedirler. Açık pembe renkteki suya doymuş silika jeller, 2 saat boyunca 130°C sıcaklıkta bekletildiklerinde silika jel üzerindeki su buharı malzemedan ayrılmaktadır ve tekrar ilk haline mavi renge dönüşüp kuru hale gelmektedir. Deneylerde kullanılan kurutma işlemi, dijital termostat ile ayarlanabilen etüvde gerçekleştirilmiştir.

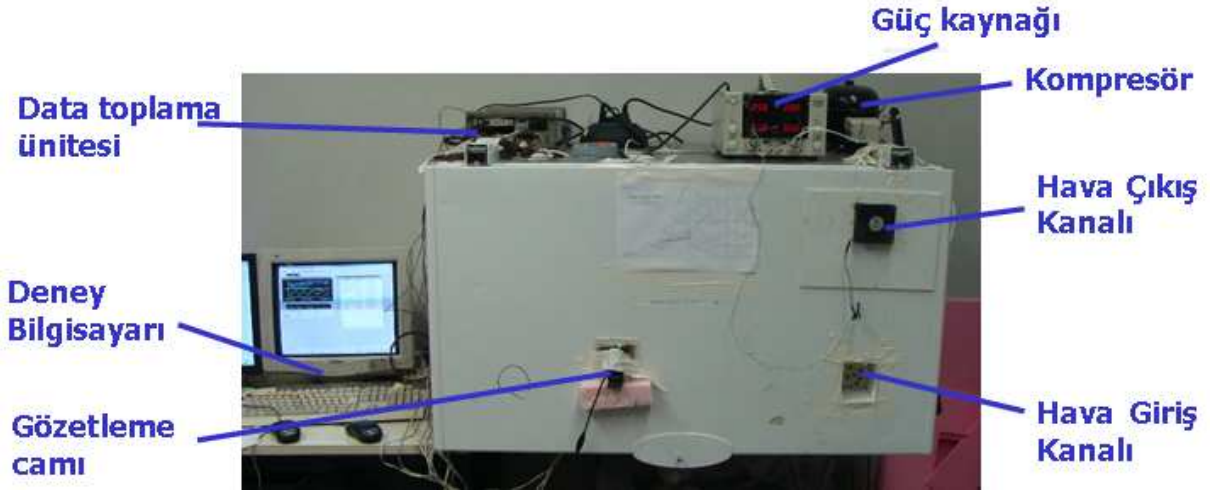


Şekil 4.5: Nem tutucuların kuru halden doymuş hale dönüşümü

Deney kabini içerisine gerektiğinde hava sirkülasyonu sağlamak için kapı üzerine şekillendirilen hava kanallarından birine DC tipi fan yerleştirilmiştir. Fana enerji sağlamak için bir tane güç kaynağı kullanılmıştır. Güç kaynağından ayarlanan gerilime göre fan debisi kontrol edilebilmiştir.

Deney düzeneğinde ölçülmesi gereken sıcaklık ve bağıl nem değerleri için ısı çiftler ve nem sensörleri sistemde uygun konumlara yerleştirilmiştir. Bunların ismi ve detayları ölçüm sistemi bölümünde detaylı bir şekilde verilmiştir.

Oluşturulan deney düzeneğinin son hali Şekil 4.6'da sunulmuştur. Sonuç olarak ölçülen sıcaklık değerlerini toplayan data toplama ünitesi, data toplama ünitesi ve nem kartından alınan değerleri görüntüleyen deney bilgisayarı, fana enerji sağlayan güç kaynağı, soğutma sisteminin ana elemanı kompresör ve hava çıkış kanalına yerleştirilen fan gibi elemanların oluşturduğu deney kabini, deneyler için hazır hale getirilmiştir.



Şekil 4.6: Deney kabini son hali

5.1.1 Deney Buharlaşma Haznesi

Öncelikle 33 x 12,3 (cm x cm) dikdörtgen kesitli alana sahip bir deney kabı (buharlaşma haznesi) oluşturulmuştur. Şekil 4.7'de oluşturulan deney kabı düzeneği sunulmuştur. Bu düzenek; su kabı, ısı yalıtım malzemeleri, 1 adet 30 Watt'lık kablo ısıtıcı, destek aparatları, ölçüm araçları ve terazi gibi elemanları içermektedir.

Destek aparatları, üst katı yüzeyin su yüzeyine olan mesafesini ayarlamak için kaba sabitlenmiştir. Kabın içindeki su sıcaklığının buharlaşmaya olan etkisini incelemek için kap altı dış yüzeyine 30 Watt'lık kablo ısıtıcı yerleştirilmiştir. Bu ısıtıcı dijital termostat ile kontrol edilmiştir. Isıtıcının kap alt yüzeyine homojen etkimesi için ısıtıcı üzeri alüminyum bant kaplanmıştır. Ardından ısıtıcı üzeri EPS tipi ısı yalıtım malzemesi ile yalıtılmıştır. Böylece ısıtıcıdan kaynaklanan ısı transfer enerjisinin oldukça büyük bir kısmının kaba aktarılması sağlanmıştır. Buna ek olarak ortamdan su kabı yan yüzeylerine olan ısı transfer enerjisini azaltmak için su kabının yan yüzeyleri de ısı yalıtım malzemesi ile çevrelenmiştir.



Şekil 4.7: Deney kabı düzeneği

Su haznesi içindeki suyun daha önceden belirlenen bazı parametrelere göre buharlaşma etkinliğini tespit etmek için oluşturulan su kabı, deney kabini içine yerleştirilmiştir.

5.2 Veri Toplama ve Ölçüm Ünitesi

5.2.1 Veri Toplama Ünitesi

Deney düzeneği üzerinden ölçülen sıcaklık ve bağıl nem gibi değerlerin deney boyunca takip edilebilmesi ve ölçülen bu değerlerin bilgisayar ortamına aktarılabilmesi için veri toplama ünitesi kurulmuştur. Şekil 4.8’de Agilent marka veri toplama ünitesi sunulmuştur.



Şekil 4.8: Veri toplama ünitesi

Termo-elemanlar (ısı çiftleri), Agilent marka 34970A model veri toplama ünitesi aracılığıyla bilgisayara bağlanmıştır. Isıl çiftlerden gelen veriler, Agilent BenchLink Veri Toplama Ünitesi programı ile bilgisayara kaydedilmiştir.

5.2.2 Ölçüm Sistemi

Sistem üzerinden okunan sıcaklık ve bağıl nem değerleri, ilgili ölçüm aletleri yardımı ile okunan büyüklüğün cinsine göre çeşitli sinyallere dönüştürülerek kayda alınmaktadır. Deney düzeneğinde sıcaklık, bağıl nem ve ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Aşağıdaki çizelgede, sistem üzerine yerleştirilen ölçüm elemanlarının listesi verilmiştir. Deneyler sırasında 9 adet kapasitif nem sensörü, 13 adet T tipi termo-eleman kullanılmıştır.

Çizelge 4.1: Deney düzeneğinde kullanılan ölçüm elemanları

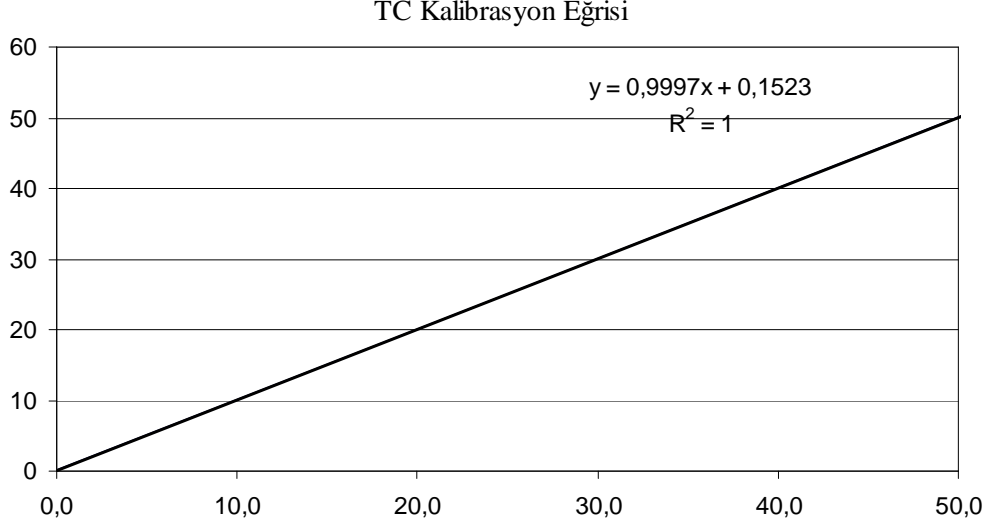
DOĞAL TAŞINIM DENEYLERİ			
NEM SENSÖRLERİ		SICAKLIK SENSÖRLERİ	
Sensör İsmi	Konum	Sensör İsmi	Konum
H1	Kabin içi Ortam Tavan	T101	Kabin içi Ortam Tavan
H2	Kabin Hava Giriş Kanalı	T102	Kabin Hava Giriş Kanalı
H3	Kabin Hava Çıkış Kanalı	T103	Kabin Hava Çıkış Kanalı
H4	Kabin içi ortam sağ	T104	Kabin içi ortam sağ
H5	Kabin içi ortam sol	T105	Kabin içi ortam sol
H6	Su haznesi 6,5 cm üstü	T106	Su haznesi 6,5 cm üstü
H7	Su haznesi 10,5 cm üstü	T107	Su haznesi 10,5 cm üstü
H8	-	T108	Kabin içindeki su sıcaklığı
H9	Kabin içi ortam	T109	Kabin içindeki su sıcaklığı
H10	Kabin içi ortam	T110	Kabin içindeki su sıcaklığı
		T111	Taban ısıtıcı
		T112	Kabin içi ortam
		T113	Kabin içi ortam

ZORLANMIŞ TAŞINIM DENEYLERİ			
NEM SENSÖRLERİ		SICAKLIK SENSÖRLERİ	
Sensör İsmi	Konum	Sensör İsmi	Konum
H1	Kabin içi Ortam Tavan	T101	Kabin içi Ortam Tavan
H2	Su haznesi Hava Kanal Giriş	T102	Su haznesi Hava Kanal Giriş
H3	Su haznesi Hava Kanal Çıkış	T103	Su haznesi Hava Kanal Çıkış
H4	Kabin içi ortam sağ	T104	Kabin içi ortam sağ
H5	Kabin içi ortam sol	T105	Kabin içi ortam sol
H6	Kabin içi ortam arka	T106	Kabin içi ortam
H7	Kabin içi ortam	T107	Kabin içi ortam
H8	-	T108	Kabin içindeki su sıcaklığı
H9	Kabin içi ortam	T109	Kabin içindeki su sıcaklığı
H10	Kabin içi ortam	T110	Kabin içindeki su sıcaklığı
		T111	Taban ısıtıcı
		T112	Kabin içi ortam
		T113	Kabin içi ortam

5.2.2.1 Sıcaklık Ölçümü

Sıcaklık ölçümlerini gerçekleştirmek amacıyla ısı-çiftler kullanılmıştır. Isıl-çiftlerin kalibrasyonu FLUKE 5500 kalibratör yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Bu cihaz, ısı-çift kanallarına istenen sıcaklığa karşılık gelen gerilim değerini yollayarak ısı-çift kalibrasyonu yapabilmektedir. Isıl-çiftler 0 °C, 10 °C, 30 °C, 40 °C ve 50 °C sıcaklıkları için kalibre

edilmiştir. Gerçekleştirilen kalibrasyon sonucunda, tüm ısı-çiftler için gerekli düzeltme katsayıları elde edilmiştir. Örnek bir ısı-çift kanalının kalibrasyon sonucu Şekil 4.9'da verilmektedir.



Şekil 4.9: Örnek ısı-çift kanalının kalibrasyon eğrisi

Kullanılan T tipi ısı-çiftler kabin içindeki homojen ortam sıcaklığını ölçmek için kabin içinde farklı konumlara 5 adet, su haznesindeki suyun sıcaklığını ölçmek için su haznesi içine 3 adet, kabin içine giren ve çıkan dış ortam sıcaklığını ölçmek için kabin hava giriş ve çıkışına birer adet, su yüzeyi üst bölüme belirli aralıklarla 3 adet yerleştirilmiştir. Buna ek olarak zorlanmış taşınım deneylerinde su haznesi hava giriş ve hava çıkış kanallarına birer sıcaklık ölçü elemanları yerleştirilmiştir. Böylece deney düzeneğinde kritik olan sıcaklıklar ölçülmüştür.

Sistemde kullanılan ısı-çiftler yaklaşık olarak 0,2°C ölçüm belirsizliğine sahiptir.

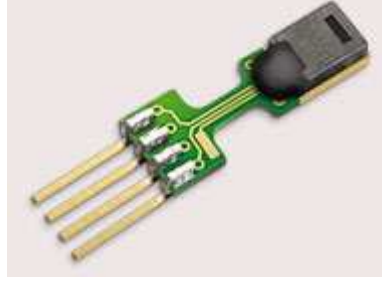
Isı-çiftler Agilent marka 34970A model veri toplama ünitesi aracılığıyla bilgisayara bağlanmıştır. Isı-çiftlerden gelen veriler Agilent BenchLink Veri Toplama Ünitesi programı ile bilgisayara kaydedilmiştir.

5.2.2.2 Bağıl Nem Ölçümü

Nem ölçme teknikleri üzerine yapılan araştırmada nem ölçümünün elektriksel ve elektronik higrometresinden kapasitans değişimiyle nem ölçen türün uygun olduğuna karar verilmiştir. Bu tip higrometrelerde ana unsur sensördür. Sensör çıkışı voltaj farkı ve akım değerleriyle ölçülmektedir. Elektriksel ve elektronik higrometrelerde malzemelerin nemi alması ve bırakması sonucunda elektriksel direncinde, empedansında veya kapasitansında değişim gözlenir. Bu değişim sayesinde sensor aracılığı ile nem ölçülür. Nem ölçümleri için Sensirion

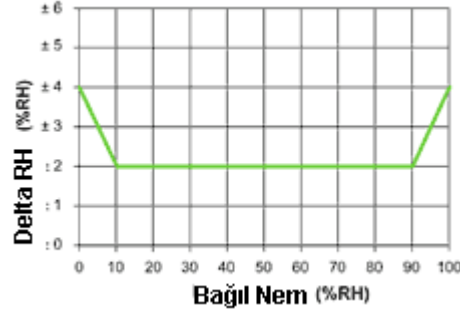
marka STH75 model nem sensörü seçilmiştir. Şekil 4.10'da nem sensörünün resmi sunulmuştur.

Nem sensörleri; kabin içinde farklı konumlardaki bağıl nem değerlerini tespit etmek için kabin içindeki uygun yerlere 7 adet, kabin içine giren ve çıkan dış ortam bağıl nemini ölçmek için kabin hava giriş ve çıkışına birer adet olmak üzere yerleştirilmiştir.



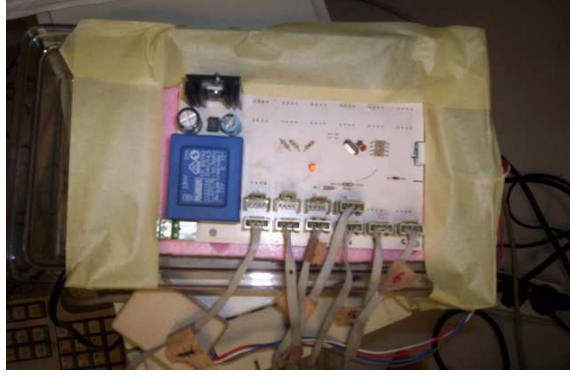
Şekil 4.10: Sensirion STH75 marka nem sensörü

Şekil 4.11'de görülebileceği gibi yüksek ve düşük bağıl nem değerlerinde sensörün nem ölçüm belirsizliği artmaktadır. %10-%90 bağıl nem aralığında ölçüm belirsizliği ± 2 civarındadır.



Şekil 4.11: Bağıl nem-hata payı ilişkisi

Nem sensörlerinin dijital çıkış vermesi nedeniyle, ölçülen nem verileri veri toplama ünitesi üzerinden doğrudan okunamamaktadır. Bu nedenle nem sensörlerinin dijital çıkışları, Şekil 4.12'de görülen elektronik kart ile toplanmış ve veri toplama ünitesi olmaksızın doğrudan bilgisayara gönderilmiştir. Gelen veriler, Universal DAQ & Network programı aracılığıyla bilgisayara kaydedilmiştir.



Şekil 4.12: Nem Kartı

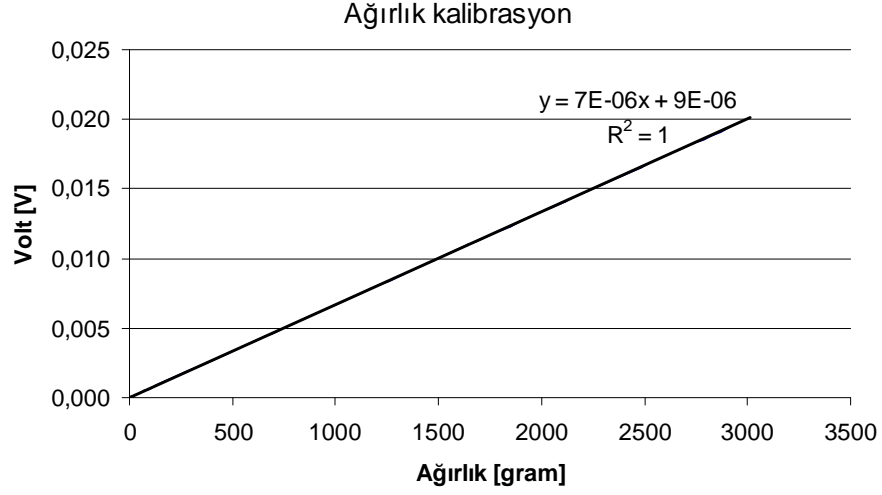
5.2.2.3 Ağırlık Ölçümü

Su haznesindeki suyun ağırlık değerleri Mettler marka elektronik terazi ile ölçülmüştür. Ağırlık değerleri, Piranha marka web kamerası ile eş zamanlı olarak kayıt edilmiştir. Şekil 4.13'te su haznesinin ağırlığını ölçmek için kullanılan terazi sunulmuştur.



Şekil 4.13: Elektronik terazi

Terazinin kalibrasyonu için sabit ağırlıklar seçilmiş ve bunlar hassas terazide ölçülmüştür. Daha sonra belirlenen bu ağırlıklar, Mettler marka elektronik teraziye yerleştirilmiş ve ölçülen değerler not alınmıştır. Terazi kalibrasyonu için 0-3000 gram arasında 40 tane ölçüm yapılmıştır ve terazinin kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur. Şekil 4.14'te elde edilen kalibrasyon eğrisi verilmiştir.



Şekil 4.14: Ağırlık kalibrasyon eğrisi

5.2.2.4 Hız Ölçümü

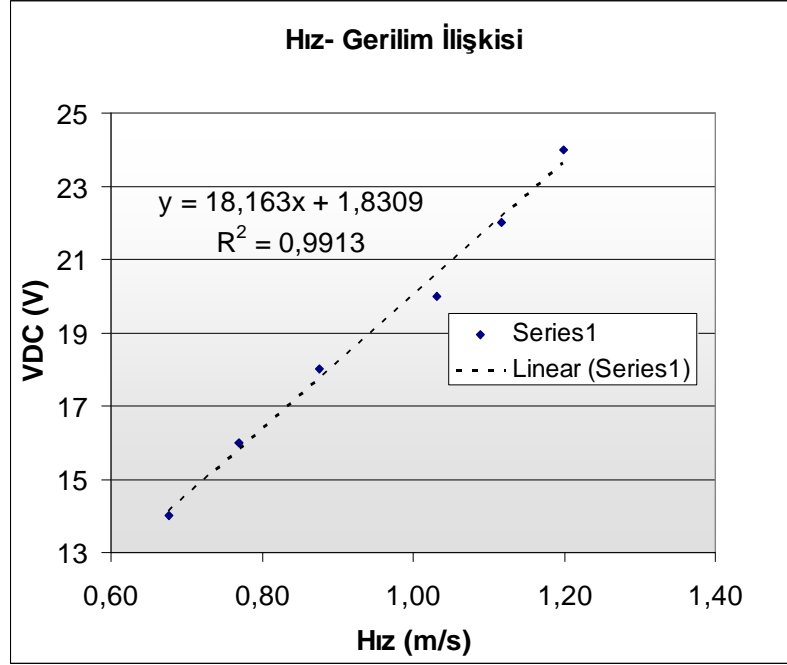
Su haznesindeki suyun zorlanmış taşınım durumundaki buharlaşma etkinliğini belirleyebilmek için su haznesi üzerindeki ortalama hava hızını tespit etmek büyük önem taşımaktadır. Su haznesi üzerinden geçen hava hızını ölçmek için su haznesi üstüne sızdırmaz kapalı bir hava kanalı oluşturulmuştur. Şekil 4.15'te oluşturulan düzenek sunulmuştur. Kanalın girişine yeterli debiyi sağlayacak radyal tipte SUNON marka bir fan yerleştirilmiştir. Havanın kanal içindeki hareket dağılımını homojen hale getirebilmek için hava kanalı boyu bir miktar uzun tasarlanmıştır. Böylece su üzerinden geçen hava dağılım yapısı düzgün bir hal almıştır.



Şekil 4.15: Zorlanmış taşınım deneyleri için oluşturulan deney düzeneği

Kurulan düzenekte ortam havası, radyal tipteki fan aracılığıyla hava kanalı içinden suyun üzerine yönlendirilip kanal sonundaki çıkış deliğinden ortama sirküle olmuştur.

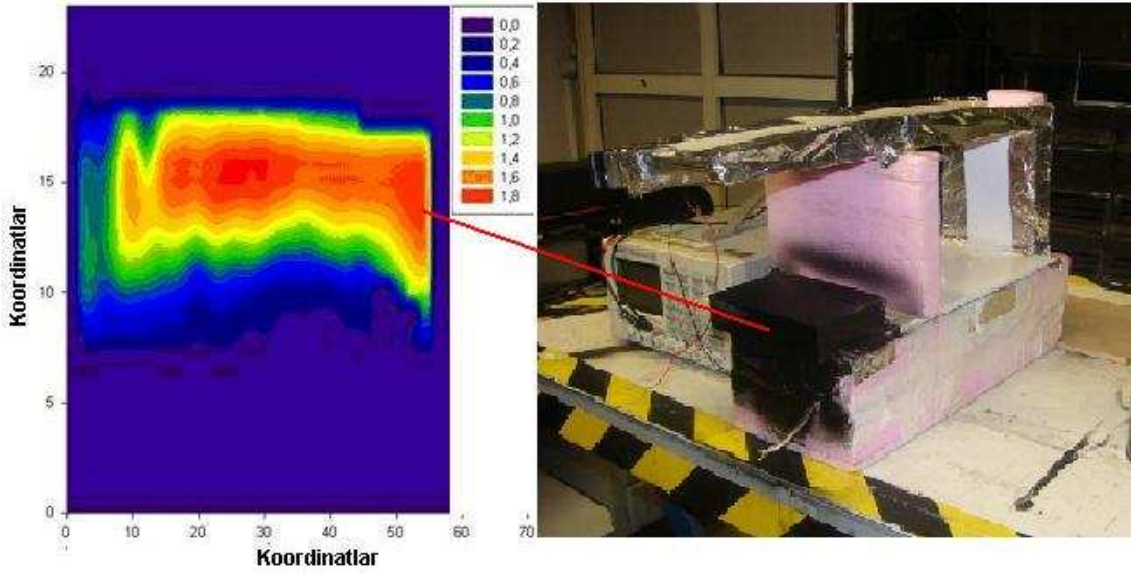
Şekil 4.17’de PIV (Particle Image Velocimetry) düzeneği ve hava kanalı çıkış ağzı akış profili sunulmuştur. PIV; parçacık takibi hız alanı ölçen düzenek olarak tanımlanmaktadır. Su haznesi üzerinden geçen ortalama hava hızının değerini tespit etmek amacıyla PIV düzeneği kullanılmıştır. Böylece güç kaynağından fana sağlanan farklı gerilimler ile farklı ortalama hava hızları elde edilmiş ve bunlar kayıt edilmiştir. Elde edilen verilere göre fana sağlanan gerilim ile ortalama hız değerleri arasında eğri oluşturulmuştur. Oluşturulan eğri Şekil 4.16’da sunulmuştur. Su haznesi üzerinde hava akışını sağlayan fan, oluşturulan düzenekte 0-1,2 m/sn arasında ortalama hava hızları sağlamıştır.



Şekil 4.16: Hava hızı-Gerilim eğrisi

Şekil 4.17’de hava kanalı çıkış ağzı hız profili incelendiğinde ağırlıklı olarak göbek kısmında hava dağılımının homojen ve daha yüksek hız mertebelerinin olduğu görülmüştür. Bunun yanında hava kanalı iç yüzeylerinde sürtünmenin etkisi ile hız gradyanları azalmıştır.

PIV sistemlerde hız ölçüm belirsizliği %0,12 civarındadır.



Şekil 4.17: PIV düzeneği ve hava çıkış ağızı akış profili

5.2.3 Ölçüm Belirsizliği

Deney düzeneğinde; ortam sıcaklığı, ortam bağıl nemi ve tava üzerinden geçen hava hızının su haznesindeki suyun buharlaşmasına etkileri araştırılacak olduğundan ölçüm belirsizliği kritik öneme sahiptir.

Ölçüm belirsizliği hesabı için yöntem olarak Kline ve McClintock tarafından geliştirilmiş olan yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemle göre deney düzeneğinde ölçümler yapılarak hesaplanması ve belirlenmesi gereken büyüklükler P ile, bu büyüklüğe etki eden bağımsız değişkenler $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ ile ifade edilmektedir. Bu ifade $P = P(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ şeklinde yazılmaktadır. Deneydeki bağımsız değişkenlerin hata oranları w_n ve P büyüklüğünün hata oranı w_p ile gösterilmektedir. Yönteme göre P büyüklüğünün hata oranı;

$$w_p = \sqrt{\pm \left[\left(\frac{\partial P}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial P}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]} \quad (4.1)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Deney düzeneğinde kullanılan cihazların ölçüm belirsizliği şu şekildedir;

Çizelge 4.2: Deney düzeneğindeki ölçüm cihazlarının doğruluk değerleri

Ölçüm Cihazı	Doğruluk
Isıl-çift (Termokupl)	0,2°C
Nem sensörü	1,80%
Hız Ölçümü	0,12%

Gerçekleştirilen deneylerden sonra elde edilen sonuçlardan yola çıkılarak hesaplanacak olan su haznesinden birim zamanda buharlaşan su miktarı değeri:

$$\frac{dm_{buh}}{dt} = [A_{kap} \cdot (0,002198 + 0,0398 \cdot V_0^{0,5756}) \times (P_{su} - P_o \cdot RH)] \quad (4.2)$$

Bansal ve Xie tarafından oluşturulan korelasyon denklemi (4.2) ile hesaplanmıştır.

Sonuç olarak Kline ve McClintock tarafından geliştirilmiş olan yöntemle göre sistem performansı için ölçüm belirsizliği, su haznesi üzerinden buharlaşan su miktarı için hesaplandığında $m = \pm 0,0002335$ kg/s değeri bulunmuştur.

5.3 Kontrol Ünitesi

Deney kabini içerisinde deneyler sırasında sabit sıcaklık değerleri istendiğinden ısıtıcının ve soğutucunun çalıştırılması kabine yerleştirilen kontrol elemanları ile sağlanmıştır. Dijital termostat olarak bilinen kontrol elemanları Şekil 4.18’de sunulmuştur. Kabin içi soğutma proseslerinde soğutma elemanlarından kompresörün çalıştırılıp durdurulması kabin içi sıcaklıklara bağlı olarak kontrol edilmiştir. Kabin içi ısıtma proseslerinde, ısıtma elemanı kablo ısıtıcının çalıştırılıp durdurulması dijital termostatlarda ayarlanan değerlere göre çalışmıştır.

Kabin içi ortam sıcaklığı ve üstü açık su haznesindeki su sıcaklığının alt ve üst kesme değerleri, istenilen deney sıcaklığına göre dijital termostatlar vasıtasıyla ayarlanmıştır.

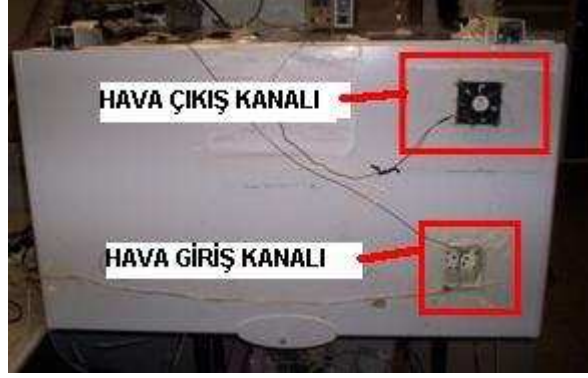


Şekil 4.18: Kontrol elemanları

Deney düzeneğinde kabin içindeki bağıl nemi istenilen değere getirebilmek için kabin içi ile dış ortam arasında hava bağlantısı sağlanmıştır. Şekil 4.19’da deney düzeneğinin şartlandırıldığı kabinin önden görünüşü sunulmuştur. Kabinin sağ üst ve alt kısmına hava giriş ve hava çıkış kanalı olmak üzere iki adet kanal oluşturulmuştur. Üstteki kanala bir adet DC

beslemeli fan yerleştirilmiştir. Böylece kabin içindeki hava dışarıya sirküle edilebilmiştir. Hava çıkış kanalına yerleştirilen fan, güç kaynağı ile beslenmiştir. Güç kaynağında ayarlanan gerilim ile fanın motor devri ayarlanabilmiştir.

Kabin içindeki uygun bağıl nemi sağlamak için fan motoru devri manuel olarak kontrol edilmiştir. Kabin içi hava sıcaklığının düşük olduğu değerlerde kabin içi bağıl nemini uygun değerlere getirebilmek için silika jel adlı nem tutucular kullanılmıştır.



Şekil 4.19 Deney kabini önden görünüş

Zorlanmış taşınım deneylerinde su haznesi üzerinden geçen hava hızının kontrolü güç kaynağından ayarlanan gerilim ile sağlanmıştır.

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

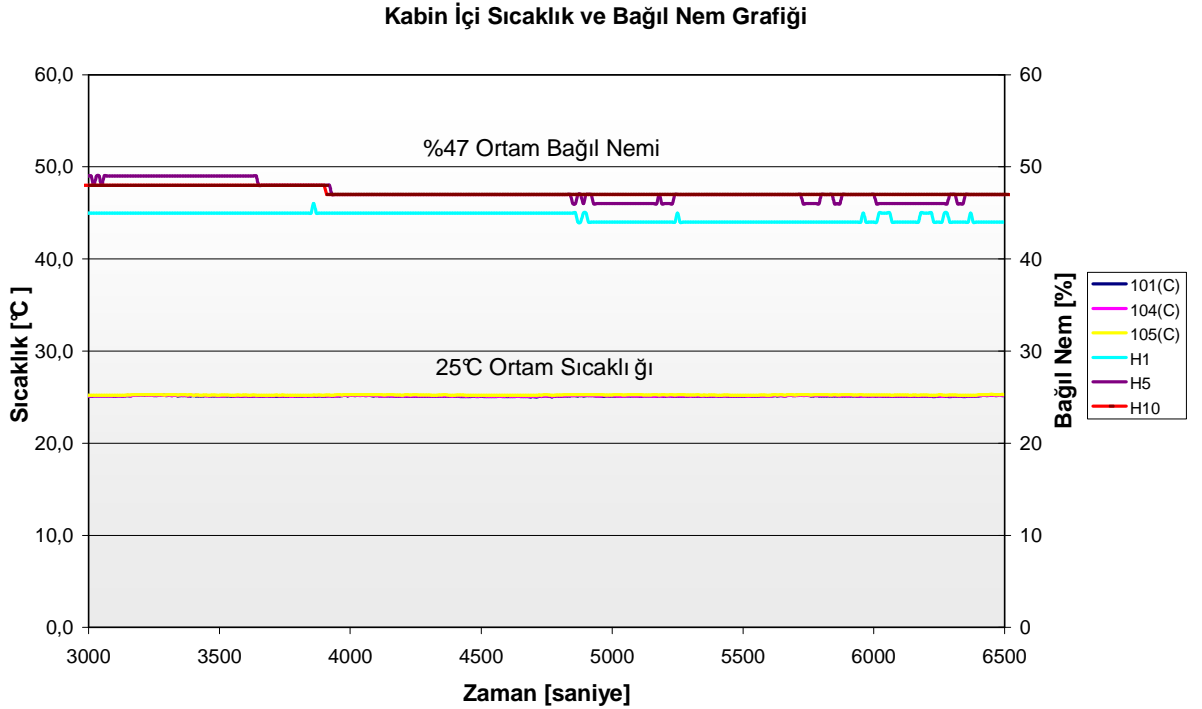
Kurulan deney düzeneğinde, küçük bir su haznesindeki suyun buharlaşmasına etki eden ana faktörlerin buharlaşma üzerindeki etkisini incelemek amacıyla deneyler yapılmıştır.

Oluşturulan deney düzeneğinde deneyler üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

- Ön deneysel çalışmalar
- Su haznesinin içindeki suyun doğal taşınım ile buharlaşma durumu
- Su haznesinin içindeki suyun zorlanmış taşınım ile buharlaşma durumu

6.1 Ön Deney Çalışmaları

Öncelikle 310 litrelik kapalı kabinde istenilen ortam şartlarının (ortam sıcaklığı ve bağıl nem değerlerinin) sağlanıp sağlanmadığını test etmek için ön deney çalışmaları yapılmıştır. Aşağıda Şekil 5.1’de yapılan ön deneysel çalışmalardan herhangi birinin deney grafiği sunulmuştur. Bu ön çalışma, 25°C ortam sıcaklığını ve %47 ortam bağıl nemini kabin içinde sağlamak için yapılmıştır. Kabin içinde sağlanan ısıtma/soğutma kontrol sistemleri ile istenilen kabin içi sıcaklığı, kabine üzerine yerleştirilen fan debisi ayarı ile istenilen kabin içi bağıl nemi rahatlıkla elde edilmiştir.



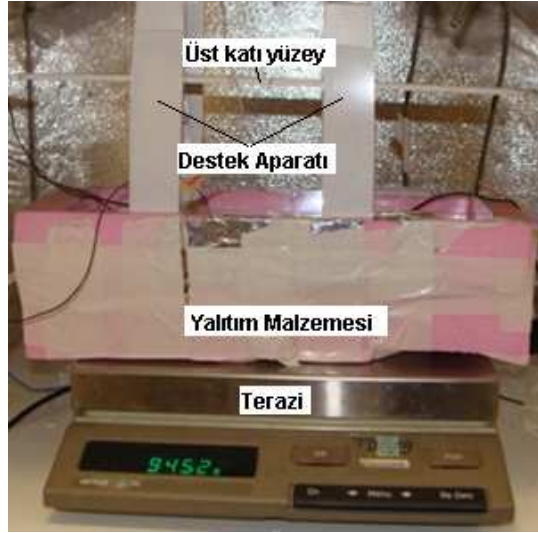
Şekil 5.1: Kabin içi sıcaklık ve bağıl nem grafiği

Kabin içinde 10 °C - 42°C sıcaklıkları arasında %45-%80 bağıl nem aralığının sağlanabilirliği gerçekleştirilen öncül deneysel çalışmalarla tespit edilmiştir. Ardından tez konusunu incelemek amacıyla deneysel çalışmalara başlanmıştır.

6.2 Doğal Taşım ile Buharlaşmanın Olduğu Deneysel Çalışmalar

6.2.1 Kabin İçindeki Suyun Isıtılmadığı Durumda Doğal Taşım ile Buharlaşma

Öncül deneysel çalışmaların ardından 33 x 12,3 (cm x cm) dikdörtgen kesit alanına sahip su haznesinin içindeki suyun ortam parametrelerine göre buharlaşma etkinliğini incelemek için su dolu kap deney kabini içine yerleştirilmiştir. Deney kabini kapısı kapatıldıktan sonra istenilen ortam şartı oluşturulmuş ve su haznesi içinden buharlaşan su miktarı düzenli olarak ölçülmüştür.



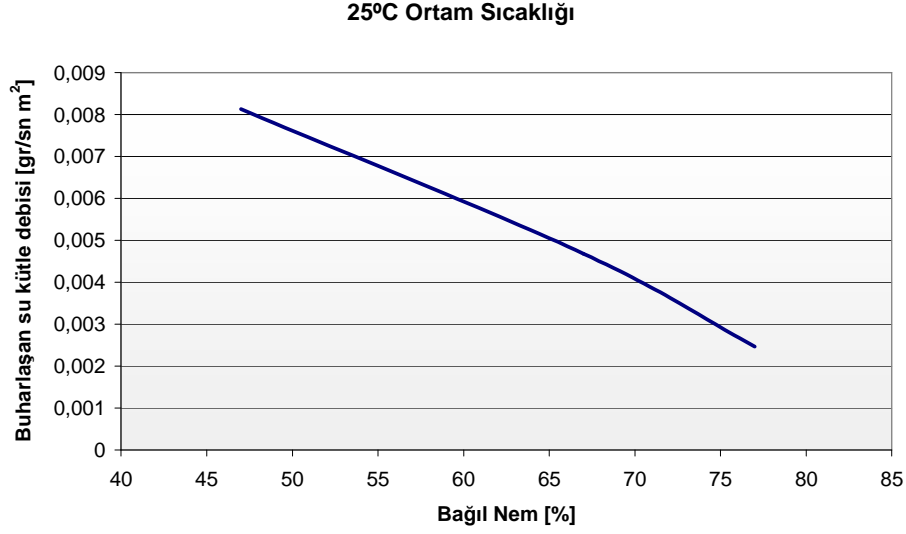
Şekil 5.2: Su kabı deney düzeneği

Şekil 5.2’de su kabı deney düzeneği sunulmuştur. Başlangıç olarak kabın içindeki su ısıtılmadan farklı ortam koşullarındaki suyun buharlaşma etkinliği incelenmiştir. Deneyler ortam sıcaklığı 10°C-42°C ve ortam bağıl nemi %47-%80 arasında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deney sonuçlarının grafiksel ifadeleri aşağıda Şekil 5.3 ve 5.4’te sunulmuştur.

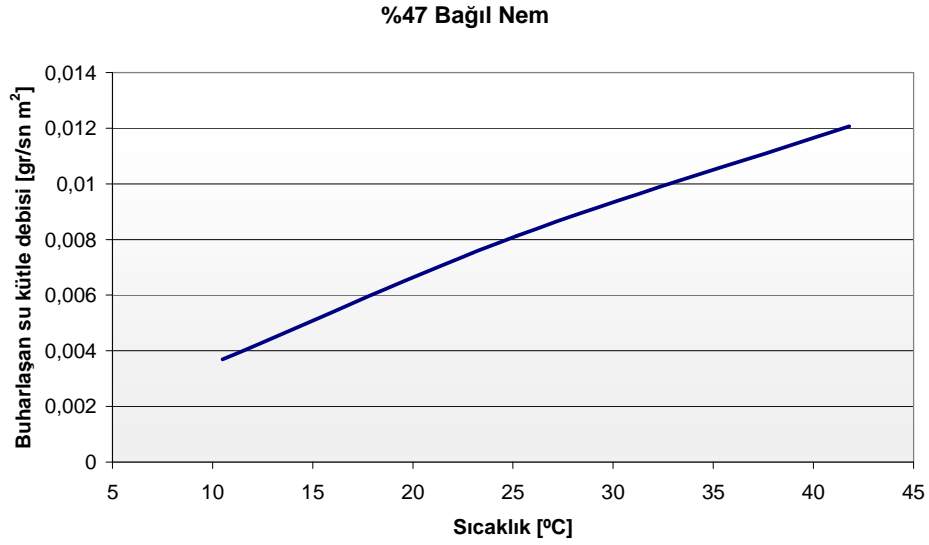
Sonuçlar:

- 25°C sabit ortam sıcaklığında, ortamın bağıl nem yüzdesi arttıkça birim zamanda birim alanda buharlaşan su kütle debisi lineere yakın bir şekilde azalmıştır. (Şekil 5.3)
- %47 ortam bağıl neminde, ortam sıcaklığı arttıkça birim zamanda birim alanda buharlaşan kütle debisi lineere yakın bir şekilde artmıştır (Şekil 5.4).

- Sonuç olarak yüksek ortam bağıl neminde ve düşük ortam sıcaklığında suyun buharlaşma etkinliği oldukça düşüktür.



Şekil 5.3: Ortam bağıl neminin birim zamanda buharlaşan su miktarına etkisi



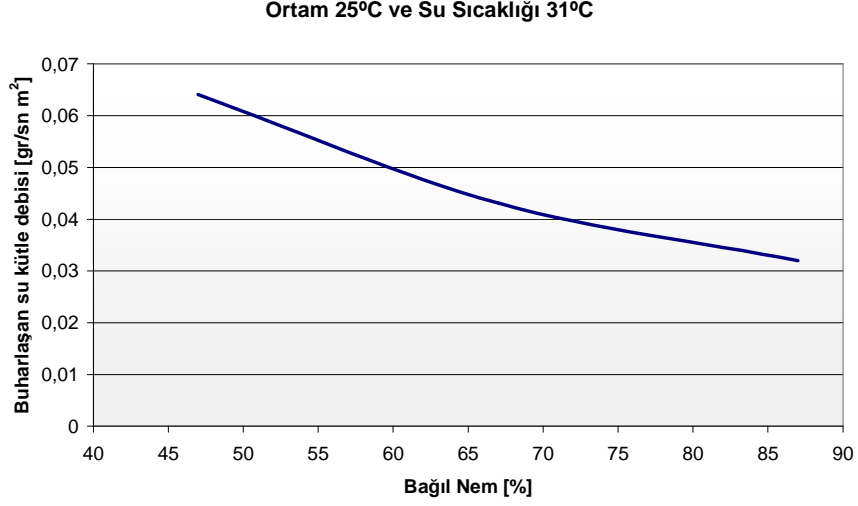
Şekil 5.4: Ortam sıcaklığının birim zamanda buharlaşan su miktarına etkisi

6.2.2 Kabın İçindeki Suyun Isıtıldığı Durumda Doğal Taşınım ile Buharlaşma

Daha sonra kabın içindeki suyun ısıtıldığı durumda farklı ortam koşullarındaki suyun buharlaşma etkinliği incelenmiştir. Bu kapsamda ortam sıcaklığı 10°C-42°C ve ortam bağıl nemi %47-%80 arasında olacak şekilde deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deney sonuçları, Bölüm 6.1’de “DeneySEL Sonuçların Teorik Olarak İrdelenmesi” kısmında sunulmuştur.

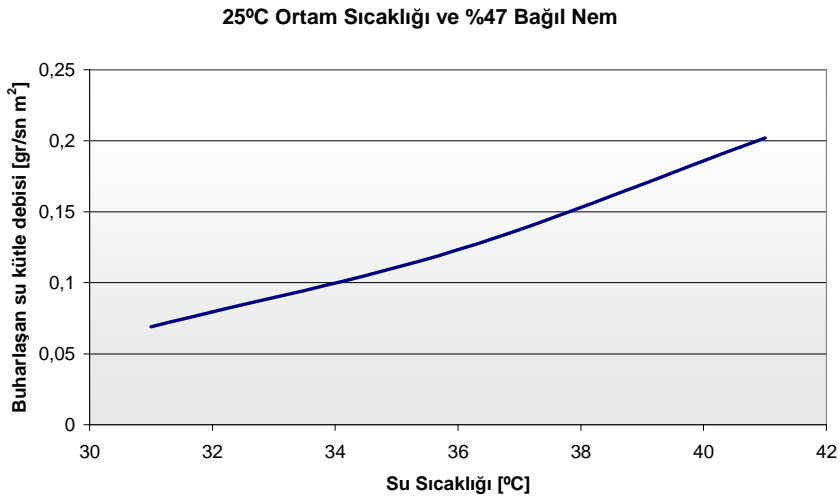
Şekil 5.5’te 25°C ortam sıcaklığında 31°C’deki suyun ortam bağıl nemi ile değişen buharlaşan su miktarının eğrisi sunulmuştur. Su sıcaklığı arttırıldığında su moleküllerinin kinetik enerjisi

artmış, moleküllerin kendilerini tutmaya çalışan diğer moleküllerin çekiminden kurtulup su ortamından havaya karışma oranı artmış ve dolayısıyla suyun buharlaşma etkinliği artmıştır. %47 bağıl nem ve 25°C ortam sıcaklığında su sıcaklığı 23,1°C iken buharlaşan su miktarı 0,00813 gr/s m² iken, aynı ortam şartlarında su sıcaklığı 31°C iken bu değer 0,0641 gr/s m² olarak ölçülmüştür. Bu durumda suyun buharlaşma etkinliği yaklaşık 8 kat artmıştır.



Şekil 5.5: Bağıl nemin birim zamanda buharlaşan su miktarına etkisi (Kabın ısıtıldığı durum)

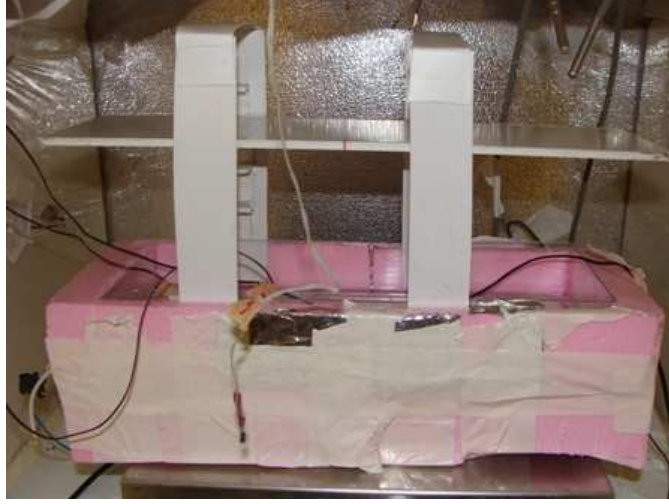
Daha sonra %47 bağıl nem ve 25°C ortam şartlarına yerleştirilen su haznesindeki suyun buharlaşma etkinliği, su sıcaklığının değişimi için incelenmiştir. Şekil 5.6'da su sıcaklığının birim zamanda birim alan başına buharlaşan su miktarına etkisini veren grafik verilmiştir. Su sıcaklığının artışı, birim zamanda buharlaşan su miktarını doğru orantılı olarak artırmıştır. Kap içindeki su sıcaklığının 34°C'den 41°C'ye yükselmesi ile kap içinden buharlaşan su miktarının iki katına çıktığı tespit edilmiştir.



Şekil 5.6: Su sıcaklığının birim zamanda buharlaşan su miktarına etkisi

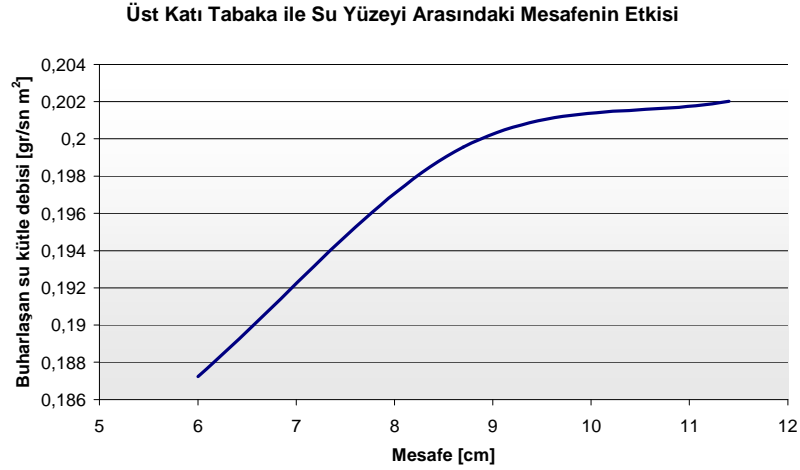
6.2.3 Su Yüzeyi ile Üst Katı Tabaka Arasındaki Mesafenin Buharlaşmaya Etkisi

Yukarıdaki çalışmalara ek olarak su yüzeyi ile kabın bulunduğu ortam tavanı (üst katı tabaka) arasındaki mesafenin buharlaşmaya etkisi incelenmiştir. İlgili parametrenin incelenmesi için kurulan yükseklik ayarlama tertibatı Şekil 5.7’de sunulmuştur. Su haznesi yanal yüzeylerine yerleştirilen destek parçalarına seviye belirleme aparatları yapıştırılmıştır. Kap kesit alanına uygun boyutta şekillendirilen dikdörtgen kesitli plastik malzeme, seviye belirleme aparatları sayesinde farklı yüksekliklere yerleştirilebilmiştir.



Şekil 5.7: Su haznesi ve yükseklik ayarlama tertibatı

%47 bağıl nem ve 25°C ortam şartlarında kap içindeki suyun sıcaklığı 41°C olduğu durum için su yüzeyi ile üst katı tabaka arasındaki mesafenin suyun buharlaşmasına etkisi tespit edilmiştir. Şekil 5.8’de üst katı tabaka ile su yüzeyi arasındaki mesafenin buharlaşmaya olan etkisi, aşağıda verilen grafik ile sunulmuştur. Görüldüğü üzere, kaptaki su yüzeyinin üst tabakaya olan mesafesi arttıkça su haznesinden buharlaşan suyun miktarının arttığı tespit edilmiştir. Su yüzeyinin üst katı tabakaya olan dikey mesafenin 6 cm’den 11,5 cm’ye artırılması buharlaşmayı yaklaşık olarak %8 artırmıştır. Aşağıda verilen grafikten de anlaşılacağı gibi su yüzeyi ile üst tabaka arasındaki mesafe arttıkça bir noktadan sonra suyun buharlaşma miktarını veren eğrinin türevi sifira yaklaşmıştır. Sonuç olarak su yüzeyi ile üst katı tabaka arasındaki kritik bir x mesafesine (sınır tabaka kalınlığı) kadar suyun buharlaşma etkinliğinin değiştiği tespit edilmiştir. Su yüzeyi üzerindeki kritik x mesafesinin üstünde bulunan katı yüzeylerin buharlaşmaya etkisi olmamıştır.



Şekil 5.8: Su yüzeyi üzerindeki tabakaya olan dikey mesafenin buharlaşmaya etkisi

6.3 Zorlanmış Taşınım İle Buharlaşmanın Olduğu Deneysel Çalışmalar

6.3.1 Kabin İçindeki Suyun Isıtılmadığı Durumda Zorlanmış Taşınım ile Buharlaşma

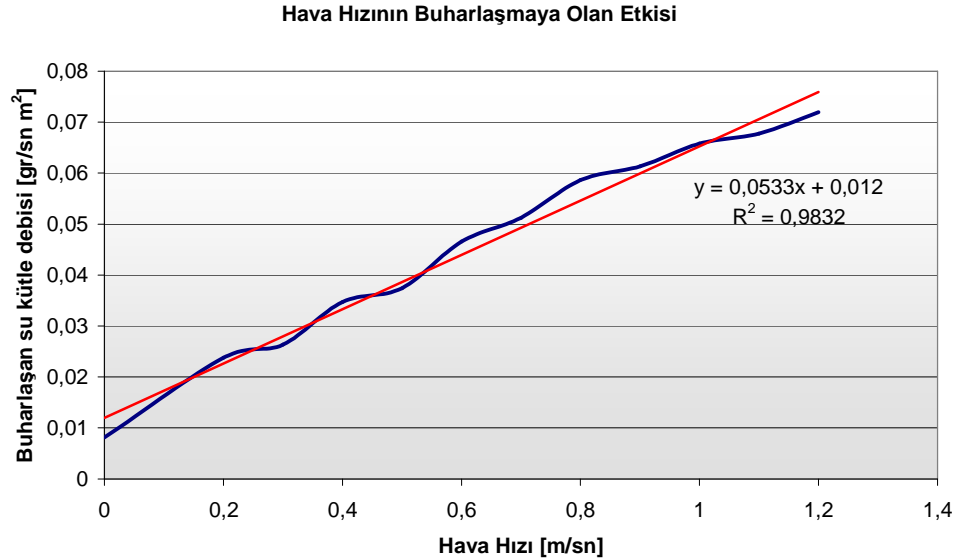
Doğal taşınım ile gerçekleştirilen deneylerin ardından 33 x 12,3 (cm x cm) dikdörtgen kesit alanına sahip su haznesinin üzerine 12,3 x 2,7 (cm x cm) dikdörtgen kesitli sızdırmaz bir hava kanalı oluşturulmuştur. Oluşturulan sistem Şekil 5.9’da sunulmuştur. Şekillendirilen hava kanalının üst baş kısmına radyal tipte doğru akımla çalışan fan yerleştirilmiştir. Radyal fan ile hava kanalı içine yönlendirilen havanın akış profilinin düzgün olması için hava kanalı bir miktar uzatılmış ve aşağıya yönlendirilmiştir. Böylece kabin içinde şartlandırılan ortam havası su üzerinden taşınarak kanal çıkışına yönlendirilmiştir. Hava kanalı çıkışından hız ölçümü PIV düzeneği ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.9: Zorlanmış taşınım için oluşturulmuş su kabı

Su haznesinin içindeki suyun zorlanmış taşınım şartlarındaki buharlaşma etkinliğini incelemek için oluşturulan sistem, deney kabini içine yerleştirilmiş ve 25 °C ortam sıcaklığı, %47 bağıl nemde deneylere tabi tutulmuştur. Deneylerde, farklı hava hızları için su kabından buharlaşan su miktarları ölçülmüştür. Şekil 5.10'da kap üzerinden geçen hava hızının su haznesi içindeki suyun buharlaşmasına etkisini gösteren grafik sunulmuştur. Mavi renk olan eğri, deneysel verileri içermektedir. Grafikten görüldüğü üzere; su yüzeyinden geçen hava hızı arttıkça buharlaşma etkinliği artmıştır. Örneğin su yüzeyinden geçen hava hızı 0,2 m/s için birim zamanda birim alanda buharlaşan su kütlesi 0,02377 gr/s m² iken, hava hızı 1,2 m/s olduğunda buharlaşan su kütlesi yaklaşık 3 kat artarak 0,07194 gr/s m² olarak ölçülmüştür. Buna ek olarak su yüzeyinden buharlaşan su doğal taşınım durumunda (V=0 m/s) 0,00813 gr/s m² iken su yüzeyinden geçen hava hızı 1 m/s olduğunda 0,0658 gr/s m² olarak ölçülmüştür. Özetle su yüzeyi durgun halden, 1 m/s lik hava hızına maruz kaldığında su haznesi içindeki suyun buharlaşma etkinliğinin yaklaşık 8 kat arttığı tespit edilmiştir. Özet olarak, su yüzeyi üzerindeki hava akımı, suyun buharlaşmasını etkin bir şekilde etkilemektedir. Bunun sebebi daha önce bahsedildiği gibi su yüzeyindeki buhar basıncıyla, suyun üstündeki havanın buhar basıncı arasındaki farkın hava hızı ile artmasıdır.

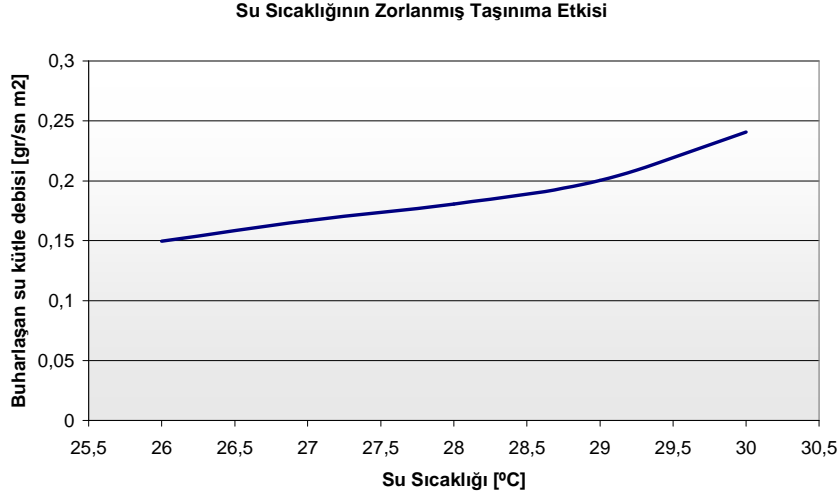
Deney sonuçları neticesinde oluşan eğri lineer hale getirilirse denklemi veren bağıntı $y=0,0533x+0,012$ şeklinde biçimlendirilmiştir.



Şekil 5.10: Su yüzeyi üzerinden geçen hava hızının buharlaşmaya olan etkisi

6.3.2 Kabın İçindeki Suyun Isıtıldığı Durumda Zorlanmış Taşınım ile Buharlaşma

Daha sonra 25 °C ortam sıcaklığı, %47 bağıl nemde su yüzeyi üzerinden 1 m/s lik hava hızına ek olarak suyun ısıtılması durumunda buharlaşan su kütlesi ölçülmüştür. Şekil 5.11’de zorlanmış taşınım ve suyun ısıtıldığı durum verilmiştir.



Şekil 5.11: Zorlanmış taşınımında su sıcaklığının etkisi

Zorlanmış taşınım ek olarak suyun ısıtılması durumunda su moleküllerinin kinetik enerjisinin artması sonucu suyun buharlaşma etkinliği daha da artmıştır. Aynı ortam şartlarında; suyun ısıtılmadığı durumda su yüzeyi üzerinden geçen hava hızı 1 m/s iken birim alan ve zamanda buharlaşan su miktarı 0,0658 gr/s m² olarak ölçülürken, kap içindeki suyun 30°C ye ısıtılması ile bu değer 0,241 gr/s m² olarak ölçülmüştür. Kısaca kap içindeki su, hem ısıtma hem de hava hızına maruz kaldığında etkin bir şekilde buharlaşmıştır.

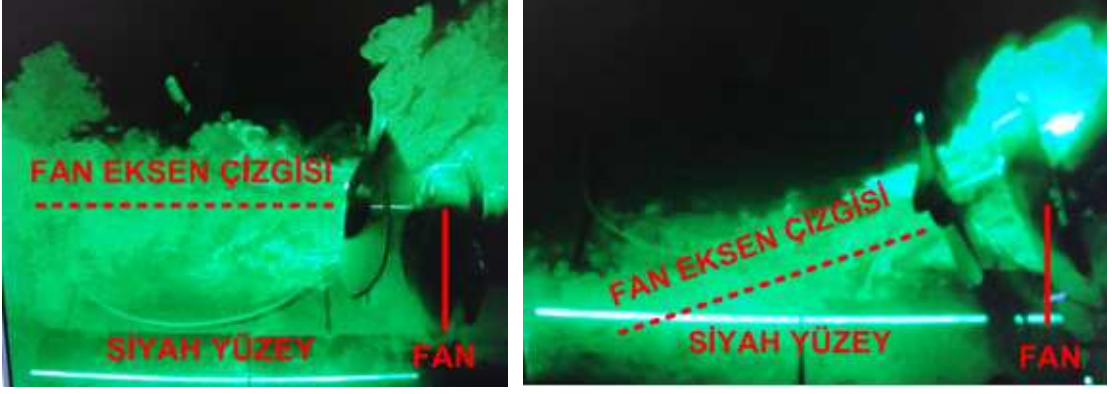
Zorlanmış taşınım durumunda suyun buharlaşma miktarını veren modellemeyi kurmak için farklı ortam şartlarında deneysel çalışmalar artırılmış ve deney dataları kayıt edilmiştir.

6.3.3 Kabın İçindeki Suyun Taşınım ile Buharlaşmasında Fan Konumunun Etkisi

Bu çalışma için ayrı bir düzenek oluşturulmuştur. Bunun için alternatif akımla çalışan aksenel bir fan seçilmiştir. Deneysel çalışmada fan eksen mesafesinin kap merkezine uzaklığı ve fan üfleme açısının kap içindeki suyun buharlaşmasına olan etkisi araştırılmıştır.

Öncelikle gerçekleştirilecek deneyler için seçilen fanın akış profilini tespit etmek için LDA (Laser Doppler Anemometry) düzeneği kullanılmıştır. LDA, gaz ve likitlerde sıvı akış yapısı araştırması için bağlantısız optik (görsel) aletlerdir. Bu aletler aynı zamanda katı maddelerin yüzeysel hızlarını ya da biraz farklı bir aygıt ile yüzeysel titreşimi ölçebilirler.

LDA ile lazer ışığında fanın üflediği havanın akış profili tespit edilmiştir. Şekil 5.12’de fanın zorladığı duman yapısı sunulmuştur. Fanın havayı fazla dağıtmadan düzgün ve eksnel bir şekilde yönlendirdiği görülmüştür. Buna ek olarak lazer ışığında fanın eğik konumu içinde akış profili incelenmiştir. Bu durumda hava, taban yüzeyi süpürüp yoluna eksnel bir şekilde devam etmiştir.



Şekil 5.12: Fan akış profilinin tespit çalışmaları

- Kap merkezi ile fan eksen mesafesinin kap içindeki suyun buharlaşmasına etkisi

Deneysel çalışmada fan eksen mesafesinin kap merkezine olan uzaklığının kap içindeki suyun buharlaşmasına olan etkisi araştırılmıştır. Öncelikle deney düzeneğinde kullanılacak fanı sabitlemek için tahtadan bir gövde yapılmıştır. Su haznesinin altına düzlem bir parça eklenmiş ve oluşturulan fan gövdesi düzlem parçanın üzerine yerleştirilmiştir. Şekil 5.13’te oluşturulan deney düzeneği sunulmuştur. Kap merkezi ile fan eksen arasındaki mesafe x ile gösterilmiştir.



Şekil 5.13: Fan eksen mesafesi çalışmaları için oluşturulan düzenek

Kap merkezi ile fan eksen mesafesinin (x) buharlaşmaya olan etkisini tespit etmek için aynı ortam koşullarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.1’de yapılan deneylerin sonuçları

sunulmuştur. Kap merkezi ile fan eksenini arasındaki mesafe arttıkça suyun buharlaşma etkinliği artmıştır. Örneğin x mesafesi 18 cm'den, 30 cm'e çıktığında suyun buharlaşma oranı %30 artmıştır. Fan gövdesi su haznesinden uzaklaştırıldığında su haznesi üzerinden geçen hızlar azalmıştır, ancak su haznesi etkin buharlaşma alanındaki zorlanmış hava taşınımı artmıştır. Etkili zorlanmış taşınım etkisi, su haznesi üzerindeki hava hızlarının azalmasından daha baskın etki yapmış ve fan ile kap arasındaki mesafenin artması suyun buharlaşma etkinliğini bir miktar artırmıştır.

Çizelge 5.1: x mesafesi deney sonuçları

x	To	RH	m
cm	°C	%	gr/sn
18	25,5	54	0,00378
24	25,5	53	0,00384
27	25,3	54	0,00405
30	25,3	54	0,00494

- Fan üfleme açısının kap içindeki suyun buharlaşmasına etkisi

Deneysel çalışmada fan üfleme açısının kap içindeki suyun buharlaşmasına olan etkisi araştırılmıştır. Şekil 5.14'te aksel fanın açılı olarak yerleştirildiği deney düzeneği sunulmuştur.



Şekil 5.14: Aksel fanın açılı olarak yerleştirildiği deney düzeneği

Çizelge 5.2'de fanın açılı olarak yerleştirildiği deneylerin sonuçları verilmiştir. Çalışmada aynı ortam koşullarında 0° - 45° arasındaki üfleme açıları denenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde fan ekseninden su yüzeyine doğru açı verildiğinde birim zamanda buharlaşan su miktarının arttığı tespit edilmiştir. Aksel fanın düz üflediği (0°) konumda suyun buharlaşma miktarı 0,00378 gr/s iken, su yüzeyine doğru 12°-45° arasında açı uygulandığında

suyun buharlaşma miktarı ortalama 0,00640 gr/s olup, düz üfleme konumuna göre suyun buharlaşma miktarının %70 arttığı tespit edilmiştir. Açılı üfleme durumunda hem su yüzeyindeki titreşimin artması hem de su yüzeyindeki buhar basıncının düşmesinin etkisi ile su yüzeyindeki moleküllerin kazandıkları kinetik enerji miktarı artmıştır. Dolayısı ile su yüzeyinden buharlaşan su miktarı artmıştır.

Çizelge 5.2: θ açılı fanın deney sonuçları

θ	To	RH	m
°	°C	%	gr/sn
0	25,2	54	0,00378
12	25,2	53	0,00644
18	25	53	0,00696
29	25	53	0,00620
45	25,2	53	0,00632

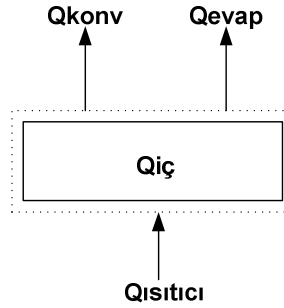
7. DENEYSEL SONUÇLARIN TEORİK OLARAK İNCELENMESİ

7.1 Doğal Taşınım İle Buharlaşmanın Olduğu Deneysel Çalışmaların Teorik Olarak İrdelenmesi

Gerçekleştirilen deneysel çalışmaları teorik olarak irdelemek için bazı kabuller yapılmıştır:

- Dış ortam ile kapta bulunan su yüzeyi arasındaki enerji ve kütle değişimi sadece su ile havanın ara yüzeyinde olmuştur.
- Faz değişimi sırasında hava-su ara yüzeyinde doyma basıncındaki suyun sıcaklığı, kontrol hacmindeki suyun sıcaklığına eşit olarak kabul edilmiştir.
- Atmosfer basıncı 1 bar alınmıştır.
- Kontrol hacmindeki termo-fiziksel özellikler homojendir.
- Sisteme, ışıınım ve iletim ile olan ısı transfer enerjileri ihmal edilmiştir.
- Hesaplamalarda, ısı ve kütle geçişi benzeşimi kullanılabilir.
- Buhar mükemmel gaz davranışı göstermektedir.

Su haznesi içinde bulunan suyun doğal taşınım ile buharlaşması durumunda belirlenen kontrol hacmi için enerji dengesi kurulursa;



Şekil 6.1: Su haznesi içinden buharlaşan suyun kontrol hacmi

Enerjinin Korunumu

$$\dot{Q}_{konv} + \dot{Q}_{iç} + \dot{Q}_{buh} + \dot{Q}_{ısı} = 0 \quad (6.1)$$

İşınım ve iletimle su haznesine olan ısı transfer enerjisi ihmal edilmiştir.

$\dot{Q}_{iç}$, haznedeki suyun enerji değişimidir.

$$\dot{Q}_{iç} = \frac{d}{dt} (M_{su} \cdot u_{su}) \quad (6.2)$$

$\dot{Q}_{ısı}$, su haznesi altına yerleştirilen ısıtıcıdan kaynaklanan ısı transfer enerji değeridir.

h_{kap} , yatay boru şeklindeki ısıtıcı için yazılmış doğal konveksiyon korelasyonlarından hesaplanmıştır. (İlgili korelasyon Incropera ve De Witt'den referans alınmıştır.)

$$h = \frac{\lambda_{su}}{L} \cdot Nu \quad (6.3)$$

$$Nu = 0,54 \cdot Ra^{\frac{1}{4}} \quad (10^4 < Ra < 10^7) \quad (6.4a)$$

$$Nu = 0,15 \cdot Ra^{\frac{1}{3}} \quad (10^7 < Ra < 10^{11}) \quad (6.4b)$$

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_o - T_{su}) \cdot L^3}{\nu \cdot \gamma} \quad (6.5)$$

\dot{Q}_{konv} , ortamdan haznedeki suya transfer olan ısı enerjisi değeridir.

$$\dot{Q}_{konv} = h_{kap} \cdot A_{kap} \cdot (T_o - T_{su}) \quad (6.6)$$

$$h_{kap} = \frac{\lambda}{L} \cdot Nu \quad (6.7)$$

$$Nu = \frac{0,928 \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \cdot Re^{\frac{1}{2}}}{\left[1 + (0,00207 / Pr)^{\frac{2}{3}}\right]^{\frac{1}{4}}} \quad (\text{Frank Incropera}) \quad (6.8)$$

Buna ek olarak \dot{Q}_{konv} formülü içindeki ısı transfer katsayısı, kütle transfer katsayısı-ısı transfer katsayısı benzeşiminden de bulunabilmektedir. Kütle transfer katsayısı-ısı transfer katsayısı benzeşimi;

$$n_{A''} = \frac{m}{A_{kap}} \quad (6.9)$$

$$h_m = \frac{n_{A''}}{\rho_{doy} \cdot (1 - \phi)} \quad (6.10)$$

$$Le = \frac{k}{D_{ab}} \quad (6.11)$$

$$h = h_m \cdot c_p \cdot \rho \cdot Le^{\frac{2}{3}} \quad (6.12)$$

\dot{Q}_{buh} , haznedeki suyun buharlaşmasından dolayı kaynaklanan enerji kaybı değeridir.

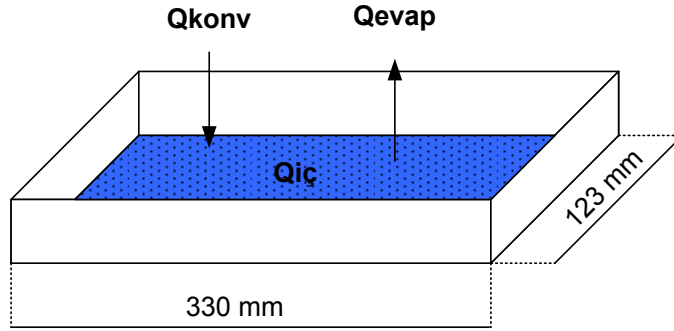
$$\dot{Q}_{buh} = \frac{d}{dt} (M_{buh} \cdot h_{buh}) \quad (6.13)$$

Enerji dengesini kurmak için deneylerden elde edilen ölçüm sonuçları, tablolardan okunan termodinamiksel özellikler ve başlangıç şartları bir tabloya işlenmiş ve ilgili formülasyonlar ile toplam enerji dengesi kurulmuştur.

Doğal taşınım şartlarında kabın ısıtılmadığı durum için enerji dengesinin kurulması:

Gerçekleştirilen deneylerden herhangi birisi (Ekler A kısmında yer alan 3 No'lu deney) için yapılan enerji dengesi hesabı aşağıda sunulmuştur.

Şekil 6.2'de ısı transfer enerjisi yönlerini içeren kabın şematik görünümü verilmiştir. Denklem 6.1'de enerji değerleri tek tek hesaplanıp yerine koyulursa enerji dengesi kurulmuş olacaktır.



Şekil 6.2: Kabın Şematik Görünümü

Denklem 6.2 aşağıdaki gibi açılır ve bilinmeyenler yerine konur:

- Su haznesi içerisindeki suyun enerji değişimi değerini hesaplamak için Denklem 6.2'de bilinmeyenler yerine konur.

$$Q_{iç} = \left(\frac{d}{dt} (m_{su} \cdot u_{su}) = \frac{m_{su2} - m_{su1}}{t_2 - t_1} \cdot u_{su} + m_{su} \cdot \frac{u_{su2} - u_{su1}}{t_2 - t_1} \right) \cdot (t_2 - t_1) \quad (6.14)$$

$$Q_{iç} = \left(\frac{(1324,1 - 1322,9) \cdot 10^{-3} (kg)}{(6220 - 2620) (s)} \cdot 97,5 (kJ / kg) + 0,58 (kg) \cdot \frac{(98,5 - 96) (kJ / kg)}{(6220 - 2620) (s)} \right) \cdot (6220 - 2620) (s)$$

$$Q_{iç} = 1,567 kJ = 1567 J$$

- Ortamdan suya transfer olan doğal taşınım ile transfer olan ısı enerjisi değerini bulmak için Denklem 6.6'da bilinmeyenler yerine konur.

$$\dot{Q}_{konv} = h_{kap} \cdot A_{kap} \cdot (T_{su} - T_o)$$

$$n_{A''} = \frac{\dot{m}}{A_{kap}} = \frac{0,0003}{0,04059} = 0,00739 \cdot 10^{-3} (kg / s \cdot m^2)$$

$$h_m = \frac{n_{A''}}{\rho_{A,doy} \cdot (1 - \phi)} = \frac{0,00739 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3} \text{ (kg/s} \cdot \text{m}^2\text{)}}{0,023336 \text{ (kg/m}^3\text{)} \cdot (1 - 0,47)} = 0,000598 \text{ m/s}$$

$$Le = \frac{k}{D_{ab}} = \frac{2,078E - 05 \text{ m}^2/\text{s}}{2,595E - 05 \text{ m}^2/\text{s}} = 0,800754$$

$$h = 0,000598 \text{ (m/s)} \cdot 1006,5 \text{ (J/kg K)} \cdot 1,1874 \text{ (kg/m}^3\text{)} \cdot 0,800754^{\frac{2}{3}} = 0,6158 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q}_{konv} = 0,6158 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)} \cdot (0,33 \cdot 0,123) \text{ (m}^2\text{)} \cdot (25,2 - 23,1) \text{ (K)} = 0,0525 \text{ W}$$

$$Q_{konv} = 0,0525 \text{ (J/s)} \cdot 2820 \text{ (s)} = 148,03 \text{ J}$$

➤ Su haznesi içindeki suyun buharlaşmasından dolayı kaynaklanan suyun kaybettiği enerji değerini bulmak için Denklem 6.13'de bilinmeyenler yerine konur.

$$Q_{buh} = 0,0003 \text{ (gr/s)} \cdot 2441,23 \text{ (kj/kg)} \cdot 2820 \text{ (s)} = 2065,28 \text{ J}$$

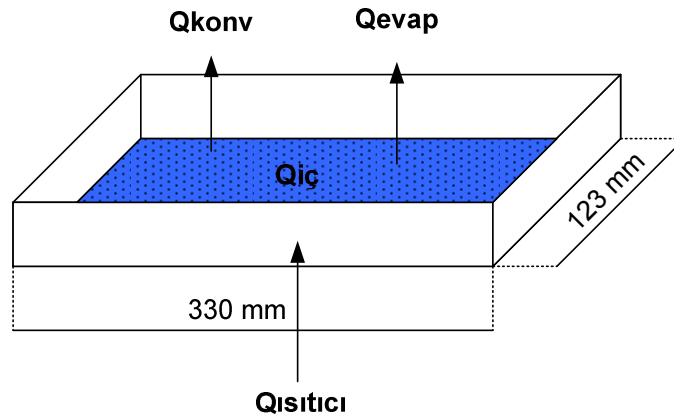
Hesaplanan ısı enerjisi değerleri enerji denkleminde yerleştirilirse;

$$\dot{Q}_{konv} + \dot{Q}_{iç} + \dot{Q}_{buh} + \dot{Q}_{ısı} = 148,03 + 1567 - 2065,28 + 0 = 350,25 \text{ J} \neq 0$$

Hesaplamalarda yaklaşık %16 lık bir hata payı tespit edilmiştir. Bahsedilen bu değer ölçüm belirsizliği ve ihmal edilen ışınlım ve iletim ile olan ısı transferlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Gerçekleştirilen diğer deneylerin teorik hesap sonuçları tablo halinde Ekler-A Bölümünde sunulmuştur.

Doğal taşınım şartlarında kabın ısıtıldığı durum için enerji dengesinin kurulması:



Şekil 6.3: Kabın Şematik Görünümü

Kabın alttan ısıtıldığı deneylerden herhangi birisi (Ekler B kısmında yer alan 2 No'lu deney) için yapılan enerji dengesi hesabı aşağıda sunulmuştur.

Denklem 6.1’de enerji değerleri tek tek hesaplanıp yerine konduğunda enerji dengesi kurulmuş olacaktır.

- Su haznesi içerisindeki suyun iç enerji değişim değerini bulmak için Denklem 6.2’de bilinmeyenler yerine konur.

$$Q_{iç} = \left(\frac{d}{dt} (m_{su} \cdot u_{su}) = \frac{m_{su2} - m_{su1}}{t_2 - t_1} \cdot u_{su} + m_{su} \cdot \frac{u_{su2} - u_{su1}}{t_2 - t_1} \right) \cdot (t_2 - t_1) \quad (6.15)$$

$$Q_{iç} = \left(\frac{(1252,9 - 1249,8) \cdot 10^{-3} (kg)}{(1840 - 1220) (s)} \cdot 150,81 (kj / kg) + 0,5 (kg) \cdot \frac{(155,4 - 146,63) (kj / kg)}{(1840 - 1220) (s)} \right) \cdot (1840 - 1220) (s)$$

$$Q_{iç} = 4,852 kJ = 4852,5 J$$

- Ortamdan suya transfer olan doğal taşınım ile transfer olan ısı enerjisi değerini bulmak için Denklem 6.6’da bilinmeyenler yerine konur.

$$\dot{Q}_{konv} = h_{kap} \cdot A_{kap} \cdot (T_{su} - T_o)$$

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_{su} - T_o) \cdot L^3}{\nu \cdot \gamma} = \frac{9,806 (m / s^2) \cdot 0,003322 (1/K) \cdot (36 - 25) (K) \cdot 0,044801^3 (m^3)}{1,61 \cdot 10^{-5} (m^2 / s) \cdot 2,26 \cdot 10^{-5} (m^2 / s)} = 87593,42$$

$$Nu = 0,15 \cdot Ra^{\frac{1}{3}} = 0,15 \cdot 87593,42^{\frac{1}{3}} = 9,289913 \quad (10^7 < Ra < 10^{11})$$

$$h = \frac{\lambda_{su}}{L} \cdot Nu = \frac{0,02647 (W/m K)}{0,044801 (m)} \cdot 9,289913 = 5,488766 (W/m^2 K)$$

$$\dot{Q}_{konv} = 5,49 (W/m^2 K) \cdot 0,04059 (m^2) \cdot (36 - 25) (K) = 2,45 W$$

$$Q_{konv} = 2,45 (J / s) \cdot 620 (s) = 1519,42 J$$

- Su haznesi içindeki suyun buharlaşmasından dolayı kaynaklanan suyun kaybettiği enerji değerini bulmak için Denklem 6.13’de bilinmeyenler yerine konur.

$$Q_{buh} = 0,005 (gr / s) \cdot 2415,5 (kj / kg) \cdot 620 (s) = 7488,02 J$$

- Kabin altına yerleştirilen 30 Watt’lık ısıtıcıdan dolayı kaynaklanan suya transfer olan ısı enerjisi değerinin hesabı:

$$Q_{ısı} = W_{ısı} \cdot \eta_{ısı} \cdot \eta_{ter} \cdot t \quad (6.16)$$

$$Q_{ısı} = 30 (J / s) \cdot 0,95 \cdot 0,80 \cdot 620 (s) = 14136 J$$

Hesaplanan ısı enerjisi değerleri enerji denkleminde yerleştirilirse;

$$\dot{Q}_{konv} + \dot{Q}_{iç} + \dot{Q}_{buh} + \dot{Q}_{ısı} = -1519,42 - 4852,5 - 7488,02 + 14136 = 276 J \neq 0$$

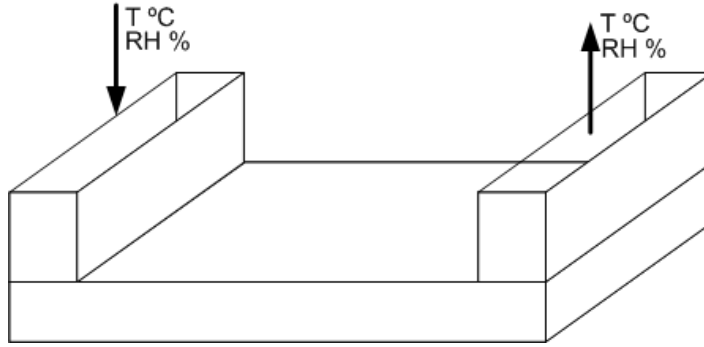
Hesaplamlarda yaklaşık %2 lık bir sapma tespit edilmiştir. Teorik hesap değeri ile deneysel ölçüm değeri, %2 hata mertebesinde uyuşmaktadır. Gerçekleştirilen diğer deneylerin teorik hesap sonuçları tablo halinde Ekler-B Bölümünde sunulmuştur.

Not: Deneylerin gerçekleştiği dış ortam basıncı 1 bara yakın ölçülmüştür. Bu yüzden hava ve suyun genel özelliklerini tespit etmek için kullanılan REFPROP programından okunan değerler, 1 bar atmosfer basıncı referans alınarak hesaplamalara tabi tutulmuştur.

7.2 Zorlanmış Taşınım İle Buharlaşmanın Olduğu Deneysel Çalışmaların Teorik Olarak İrdelenmesi

Fan üzerinden su haznesi içine yönlendirilen hava, kapalı sızdırmaz hava kanalından, hava kanalı çıkışına doğru yönlendirilmektedir. Kapalı sistem olduğu için sistemde kütle ve enerji korunumu sağlanmak zorundadır. Bu düzenekte hava kanalı giriş ve hava kanalı çıkış noktalarına ikiye adet ısı-çift ve nem sensörü yerleştirilmiştir. Böylece sistemdeki giriş/çıkış noktalarındaki bağıl nem ve sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Şekil 6.4'te zorlanmış taşınım için oluşturulan kabın şematik görünümü ve hava giriş/çıkış yönleri sunulmuştur.

Su haznesi içinde bulunan suyun zorlanmış taşınım ile buharlaşması durumunda belirlenen kontrol hacmi için kütle ve enerji dengesi kurulursa;



Şekil 6.4: Su haznesine giren/çıkan havanın şematik görünümü

Kütle Korunumu

$$\text{Kuru hava kütle debisi : } \dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} = \dot{m}_a \quad (6.17)$$

$$\text{Su kütle debisi : } \dot{m}_{a2} \cdot w_2 = \dot{m}_{a1} \cdot w_1 + \dot{m}_{su} \quad (6.18)$$

Örnek Uygulama : EK-C'de tablo halinde verilen 6 No'lu deney için yapılan hesaplamalar aşağıda sunulmuştur.

$$\text{Su kütle debisi : } \dot{m}_{a2} \cdot w_2 = \dot{m}_{a1} \cdot w_1 + \dot{m}_{su} = \frac{V_0 (m/s) \cdot A_k (m^2)}{v_1 (m^3/kg)} \cdot (w_2 - w_1) = \dot{m}_{su}$$

$$\frac{1(m/s) \cdot 0,003175(m^2)}{0,9577(m^3/kg)} \cdot (48,37 - 45,32) (\text{gr su buharı /kg kuru hava}) = 0,01011(\text{gr/s}) = \dot{m}_{su}$$

Yapılan hesaplamada kütle korunumu ilkesi kullanılarak hesaplanan buharlaşma hızı ile ölçülen buharlaşma hızı karşılaştırılmıştır. Zorlanmış taşınım durumunda teraziden 0,00996 (gr/s) olarak ölçülen suyun buharlaşma hızı, piskometrik hesaplamalar ile 0,01011 (gr/s) belirlenmiş olup hata payı % 1,52 olarak tespit edilmiştir.

Not: Su kabı üzerinden geçen şartlanmış havanın entalpi, özgül hacim ve mutlak nem değerleri 1 atm atmosfer basıncı için Psychrometric Calculator programı aracılığı ile okunmuş ve tabloya işlenmiştir.

Enerjinin Korunumu

Açık sistemlerde enerji korunumu yazılırsa;

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_\zeta \cdot h_\zeta - \sum \dot{m}_g \cdot h_g = \dot{m}_{a2} \cdot h_2 - \dot{m}_{a1} \cdot h_1 + \dot{m}_{su} \cdot h_{su} \quad (6.19)$$

Not: Enerji korunumu ifadesinde kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilmiştir.

$$Q_{ist} = \frac{t_{ist} \cdot \dot{Q}}{1000} = \frac{1890(s) \cdot 30 (J/s)}{1000} = 56,7 \text{ kJ}$$

$$W_{fan} = \frac{t_{fan} \cdot \dot{W}}{1000} = \frac{2200(s) \cdot 1 (J/s)}{1000} = 2,2 \text{ kJ}$$

$$\begin{aligned} \sum \dot{m}_\zeta \cdot h_\zeta - \sum \dot{m}_g \cdot h_g &= \dot{m}_{a2} \cdot h_2 - \dot{m}_{a1} \cdot h_1 + \dot{m}_{su} \cdot h_{su} = \dot{m}_a \cdot (h_2 - h_1) + \dot{m}_{su} \cdot h_{su} \\ &= (3,31 \cdot 10^{-3} (kg/s) \cdot (165,89 - 158,91) (kJ/kg) + 0,00996 (gr/s) \cdot 183,42 (kJ/kg)) \cdot 2200(s) \end{aligned}$$

$$\sum \dot{m}_\zeta \cdot h_\zeta - \sum \dot{m}_g \cdot h_g = 54,93 \text{ kJ}$$

$$Q_{ist} - W = \sum \dot{m}_\zeta \cdot h_\zeta - \sum \dot{m}_g \cdot h_g = 56,7 - 2,2 = 54,5 \text{ kJ} \neq 54,93 \text{ kJ}$$

Yukarıda açıklanan açık sistemde enerji korunumu %3,1 hata payı ile sağlanmıştır. Böylece zorlanmış taşınım deneyleri için oluşturulan düzenekte enerji ve kütle korunumu hesapları az hata payları ile sağlanmıştır. Tespit edilen hata payları, ölçüm belirsizlikleri içerisinde.

Buna ek olarak Literatür Çalışmalar Bölümü'nde zorlanmış taşınım için sunulan korelasyonlar kullanılarak su haznesinden buharlaşan su miktarları hesaplanmıştır ve bunlar ölçülen değerlerle karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalardan herhangi birisi bu kısımda irdelemişdir.

- Incropera ve DeWitt'e göre buharlaşma hızı, kütle taşınım katsayısının, kütle transfer alanının ve doymuş su buharı yoğunluğu ile havadaki buharın yoğunluk farkının fonksiyonu olduğu belirtilmiş ve bunlar aşağıdaki denklemler ile sunulmuştur.

$$\dot{m} = \bar{h}_m \cdot A \cdot (\rho_d - \rho_{hs}) \quad (6.20)$$

$$\bar{h}_m = \frac{D_o}{L} \cdot 0,0296 \cdot \text{Re}^{\frac{4}{5}} \cdot \text{Sc}^{\frac{1}{3}} \quad (6.21)$$

$$\text{Sc} = \frac{v_0}{D_0}, \quad \text{Re} = \frac{L \cdot V_0}{v_0}, \quad \frac{D_A}{D_B} = \left(\frac{T_A}{T_B} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (6.22)$$

Bu denklem $0,6 < \text{Sc} < 3000$ ve $5 \cdot 10^5 < \text{Re} < 10^7$ arasında geçerlidir. Ayrıca bu denklem yüksek hava hızında ve türbülanslı akış içindir. Şu anki formülde Sc'nin ve Re'nin değeri 0,59 ve $2,7 \cdot 10^3$ dür.

Yukarıdaki denklemlerin düşük Re sayılarında uygun olmadığını göstermek için hesaplamalar aşağıda sunulmuştur.

$$\text{Sc} = \frac{v_0}{D_0} = \frac{1,53\text{E} - 05 \text{ (m}^2/\text{s)}}{2,56\text{E} - 05 \text{ (m}^2/\text{s)}} = 0,5896$$

$$\text{Re} = \frac{L \cdot V_0}{v_0} = \frac{0,04177 \text{ (m)} \cdot 1 \text{ (m/s)}}{1,53\text{E} - 05 \text{ (m}^2/\text{s)}} = 2725,1$$

$$\bar{h}_m = \frac{D_0}{L} \cdot 0,0296 \cdot \text{Re}^{\frac{4}{5}} \cdot \text{Sc}^{\frac{1}{3}} = \frac{2,56 \cdot 10^{-5} \text{ (m}^2/\text{s)}}{0,04177 \text{ (m)}} \cdot 0,0296 \cdot 2725,1^{\frac{4}{5}} \cdot 0,5896^{\frac{1}{3}} = 0,008523 \text{ (m/s)}$$

$$\dot{m}_1 = 0,008523 \text{ (m/s)} \cdot 0,04059 \text{ (m}^2) \cdot (0,016038 - 0,010906) \text{ (kg/m}^3) \cdot 1000 = 0,00178 \text{ (gr/s)}$$

olarak hesaplanmıştır.

- Hinchley ve Himus'un, rüzgar tüneli kullanarak oluşturduğu korelasyon aşağıda sunulmuştur. Bu korelasyon hava hızının 0,9 ile 5,36 m/s olduğu aralık ve su sıcaklığının 20°C ve 70°C arasında olduğu aralık için geçerlidir.

$$\dot{m}_2 = ((0,031 + 0,0135 \cdot V_0) \cdot (p_{su} - p_{hs})) \cdot \frac{A}{3,6}$$

$$\dot{m}_2 = \frac{0,04059 \text{ m}^2}{3,6} \cdot ((0,031 + 0,0135 \cdot 1 \text{ (m/s)}) \cdot (23,92 - 11,24) \text{ (mmhg)}) = 0,002479 \text{ (gr/s)}$$

- Himus suyun titreşim ve sıçrama etkisini ele aldığı bir diğer korelasyonu aşağıda sunulmuştur.

$$\dot{m}_3 = \left(0,02 \cdot (p_{su} - p_{hs})^{1,2} + 0,0446 \cdot V_o^{0,77} \cdot (p_{su} - p_{hs})^{\frac{1}{1,2}} \right) \cdot \frac{A}{3,6} \quad (6.23)$$

$$\dot{m}_3 = \left(0,02 \cdot (23,92 - 11,24)^{1,2} + 0,0446 \cdot 1^{0,77} \cdot (23,92 - 11,24)^{\frac{1}{1,2}} \right) \cdot \frac{0,004059 \text{ m}^2}{3,6} = 0,00344 \text{ (gr/s)}$$

- P.K Bansal ve G. Xie'nin geliştirmiş olduğu korelasyon aşağıda verilmiştir.

$$\dot{m}_4 = (0,002198 + 0,0398 \cdot V_o^{0,5756}) \cdot (p_{su} - p_{hs}) \quad 0 \leq V_o \leq 5,36 \text{ m/s} \quad (6.24)$$

$$\dot{m}_4 = (0,002198 + 0,0398 \cdot 1^{0,5756}) \cdot (23,92 - 11,24) = 0,00234 \text{ (gr/s)}$$

➤ V_o ve $(p_{su} - p_{hs})$ parametreleri kullanılarak ölçülen deney sonuçlarına göre Sigmaplot Bilgisayar Programı kullanılarak tezde yeni bir korelasyon geliştirilmiştir. Geliştirilen bu korelasyon aşağıda sunulmuştur.

$$\frac{dm_{buh}}{dt} = \dot{m} = \left[\frac{A_{kap}}{3,6} \cdot (-0,135 + 0,138 \cdot V_o^{-0,0251}) \cdot (P_{su} - P_{hs})^{2,27} \right] \quad (6.25)$$

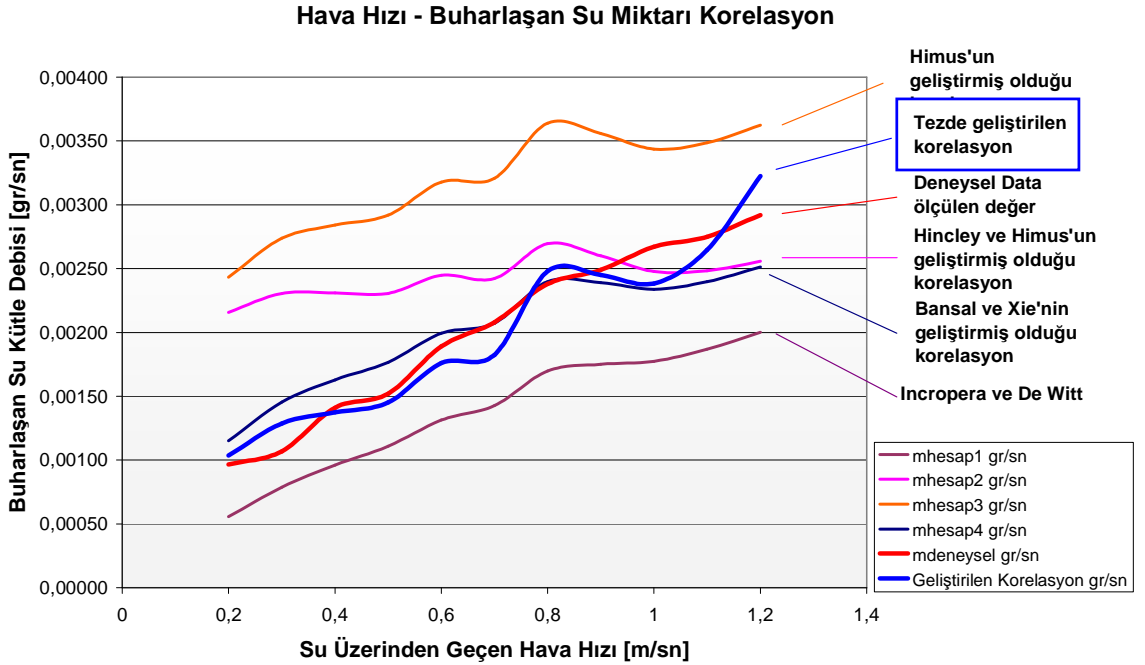
$$\frac{dm_{buh}}{dt} = \dot{m} = \left[\frac{0,004049 \text{ m}^2}{3,6} \cdot (-0,135 + 0,138 \cdot 1^{-0,0251}) \cdot (23,92 - 11,24)^{2,27} \right] = 0,00238 \text{ (gr/s)}$$

Not: Hesaplamlarda V_o , [m/sn] cinsinden ve $(p_{su} - p_{hs})$, [mmHg] cinsinden korelasyonda yerine yerleştirilmelidir. Tezde geliştirilen korelasyon aşağıdaki şartlar arasında geçerlidir.

$$10^\circ\text{C} \leq T_o \leq 42^\circ\text{C}$$

$$\%47 \leq \%RH \leq \%80$$

$$0,2 \leq V_o \leq 1,2 \text{ m/s}$$



Şekil 6.5: Ölçülen deney sonuçları-Geliştirilen/Literatürdeki korelasyonların karşılaştırılması

Şekil 6.5'te su haznesi üzerinden geçen hava hızının $0,2 \leq V_o \leq 1,2 \text{ m/s}$ aralıklarında olduğu literatürde zorlanmış taşınım için düzenlenen korelasyonların ve tezde geliştirilen korelasyonun, ölçülen deney sonuçları ile karşılaştırmasını veren eğri sunulmuştur.

Eğrilerden görüldüğü üzere farklı hava hızlarında deneylerle ölçülen suyun buharlaşma miktarına en yakın eğriyi tezde geliştirilen korelasyon vermiştir. Diğer korelasyonlar, deneysel ölçümleri genel olarak yakın mertebelerde doğrulamamıştır. Deneysel data'lara en az hata payı ile yaklaşan diğer bir denklem, Bansal ve Xie'nin geliştirdiği korelasyondur.

25°C sıcaklık ve %47 bağıl nem içeren ortamdaki hava hızının $0,2 \leq V_o \leq 1,2 \text{ m/s}$ olduğu aralık için yukarıda verilen korelasyonlarda elde edilen değerler ve deneysel sonuçlar aşağıdaki Çizelge 6.1'de sunulmuştur. Tezde geliştirilen korelasyondan elde edilen veriler, deneysel sonuçlar ile karşılaştırıldığında maksimum +16,9% ve -14% arasında sapmalar görülmüştür. Bu değer ölçüm belirsizliği mertebelerinin biraz üstündedir.

Çizelge 6.1 Zorlanmış taşınım hesaplamaları

Va	mhesap1	mhesap2	mhesap3	mhesap4	mdeneysel	Geliştirilen Korelasyon	Hata Payı
m/sn	gr/sn	gr/sn	gr/sn	gr/sn	gr/sn	gr/sn	%
0,2	0,00056	0,00216	0,00243	0,00115	0,00097	0,00104	6,8
0,3	0,00079	0,00231	0,00274	0,00145	0,00107	0,00129	16,9
0,4	0,00096	0,00231	0,00284	0,00163	0,00141	0,00137	-2,7
0,5	0,00111	0,00231	0,00292	0,00177	0,00152	0,00145	-4,8
0,6	0,00131	0,00245	0,00318	0,00199	0,00189	0,00176	-7,4
0,7	0,00143	0,00242	0,00321	0,00207	0,00208	0,00182	-14,0
0,8	0,00170	0,00270	0,00364	0,00240	0,00238	0,00248	4,0
0,9	0,00175	0,00260	0,00356	0,00239	0,00249	0,00245	-1,6
1	0,00178	0,00248	0,00344	0,00234	0,00267	0,00238	-12,0
1,1	0,00187	0,00248	0,00349	0,00240	0,00275	0,00265	-3,9
1,2	0,00200	0,00256	0,00362	0,00251	0,00292	0,00323	9,5

8. SU HAZNESİNDEN BUHARLAŞAN SU MİKTARININ REGRESYON ANALİZİ

8.1 Boyut Analizi

Boyut analizi deneysel ölçümlerde bağımlı ve bağımsız deney değişkenleri arasındaki karmaşık ifadeleri belirlemekte kullanılan bir yöntemdir. Bir fiziksel büyüklüğün boyutları (M) kütle, (L) uzunluk ve (t) zaman ile bağlantılıdır. Bunların her biri kuvvetleriyle orantılı olarak artar. Örneğin; fiziksel bir büyüklük olan hızın boyutu "uzunluk/zaman"dır (L/t) ve kuvvetin de boyutu "kütle×ivme" veya "kütle×(uzunluk/zaman)/zaman"dır (ML/t²).

Fiziksel bir büyüklüğün birimi ile boyutu birbirleri ile bağlantılıdır. Fakat kesin tanımlayıcı kavramlar değildir. Fiziksel bir büyüklüğün birimleri geleneksel olarak tanımlanır ve bazı standartlarla ilişkilidir. Örneğin uzunluğun birimi metre, feet, inch veya mikrometre olabilir. Fakat herhangi bir uzunluk, onu ölçmek için keyfi olarak seçilen birimden bağımsız olarak daima L boyutuna sahiptir. Aynı fiziksel büyüklüğün iki farklı birimi çeşitli dönüştürme faktörleriyle birbirlerine dönüştürülebilirler. Örneğin; 1 inç = 2.54 cm; böylece (2.54 cm/in) dönüşüm faktörü olarak adlandırılmakta (yaygın bir büyüklüğün farklı birimleriyle gösterimlerinin arasındaki dönüşümü yapar) ve boyutsuz olup bire eşittir. Boyut sembolleri arasında dönüşüm faktörleri yoktur.

8.2 Buckingham II Teoremi

Buckingham π teoremi boyut analizinin temelini oluşturan bir yöntemdir. Bu teorem n adet değişken içeren her anlamlı fiziksel denklemin $n - m$ boyutsuz parametrelili denklemlerle yeniden yazılabileceğini sunmaktadır. Burada m kullanılan temel boyutların sayısıdır. Daha önemlisi, teorem bu boyutsuz değişkenleri verilen değişkenlerden hesaplamak için bir yöntem sağlamaktadır. Örnek olarak, q_1, q_2, \dots, q_n fiziksel büyüklüklerini kapsayan bir problem ele alalım. Söz konusu bu fiziksel büyüklüklerin aralarında fonksiyonel bir ilişki olduğu şartı sağlanarak;

$$F(q_1, q_2, \dots, q_n) = 0 \quad (7.1)$$

elde edilir. Eğer $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n$ boyutsuz ifadeleri q_1, q_2, \dots, q_n fiziksel büyüklüklerinden türetilmiş boyutsuz sayılar ise, 7.1 eşitliği aşağıdaki biçimde yazılır.

$$f(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{n-m}) = 0 \quad (7.2)$$

Söz konusu farklı π parametrelerinin oluşturulması için takip edilen yöntem, farklı boyutlara sahip olan m adet q büyüklüğünün tekrarlanan üstel biçimleri ve tekrarlanmayan ifadenin yalın halinin çarpılması ile ifadeyi boyutsuz duruma getirecek katsayıların elde edilmesidir.

$$\Pi_i = q_1^{K1} \cdot q_2^{K2} \cdot q_3^{K3} \quad (7.3)$$

Yöntem

- Temel boyutlar seçilir.

M: Kütle	T: Sıcaklık
L: uzunluk	V: Elektrik Şiddeti
t: zaman	Ş: Işık Şiddeti

Bir problemin temel boyutları problemin fiziğine uygun olarak yukarıdaki listeden (M,L,t), (L,T), (T,V,Ş) gibi kombinezonlarla seçilir.

- Problemin boyut matrisi bulunur.

n adet boyutlu değişken temel boyutlar cinsinden yazılır. Boyut matrisindeki sıfırdan farklı en yüksek mertebeli determinantın mertebesine boyut matrisinin rankı denir.

- n adet ana değişken seçilir. Ana değişkenler temel boyutların tamamını içermelidir. Ana değişkenler kendi aralarında boyutsuz sayı oluşturmamalıdır.

- n-m adet boyutsuz değişken oluşturulur.

- Boyutsuz Π_i değişkenlerindeki temel boyutların üslerini sıfıra eşitleyerek K1, K2, K3 katsayıları bulunur.

Problem: Küçük bir su haznesinden birim zamanda ve birim alanda buharlaşan su miktarının π teoreminin kullanılarak bulunması.

$$\dot{m} = f(T_o, T_{su}, \phi, (\rho_o - \rho_{hs}), h_{fg}, c_p, \gamma, \lambda, V_o, v, D_{ab}) \quad (7.4)$$

Bu fiziksel büyüklüklerin boyutları Çizelge 7.1’de verilmiştir.

Çizelge 7.1: Problemden kullanılan fiziksel büyüklükler

Büyüklük	Sembol	Boyut
Sıcaklık	T	Θ
Bağıl Nem	Φ	-
Yoğunluk	ρ	$[M L^{-3}]$
Entalpi	h	$[L^2 T^{-2}]$
Özgül ısı	c	$[L^2 T^{-2} \Theta^{-1}]$
Termal Difzyon Katsayısı	γ	$[L^2 T^{-1}]$
Termal Isıl İletkenlik Katsayısı	λ	$[L T^{-3} \Theta^{-1} M]$
Hız	V	$[L T^{-1}]$
Kinematik Viskozite	ϑ	$[L^2 T^{-1}]$
Yayılm Katsayısı	D	$[L^2 T^{-1}]$

- Temel boyutlar: M,L,t,T
- Boyutlu değişken sayısı: 10
- Boyut matrisi

	T_o	T_{su}	ϕ	$(\rho_o - \rho_{hs})$	h_{fg}	c_p	γ	λ	V_o	v	D_{ab}
L	0	0	0	-3	2	2	2	1	1	2	2
M	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
t	0	0	0	0	-2	-2	-1	-3	-1	-1	-1
T	1	1	0	0	0	-1	0	-1	0	0	0

Matrisin rankı 4'dür.

11-4=7 tane boyutsuz değişken vardır.

- $T_o, V_o, (\rho_o - \rho_{hs}), \lambda, v$ ana değişken olarak seçilmiştir.
- Boyutsuz sayıların oluşumu için ana değişkenlerdeki üsler sıfıra eşitlenmiş ve tüm üsler tespit edilmiştir. Bu doğrultuda oluşturulan boyutsuz sayılar aşağıda sunulmuştur.

$$\Pi_1 = \phi \quad (7.5)$$

$$\Pi_2 = \frac{T_o}{T_{su}} \quad (7.6)$$

$$\Pi_3 = \frac{h_{fg}}{c_p \cdot T_o} \quad (7.7)$$

$$\Pi_4 = \frac{V_o^2}{h_{fg}} \quad (7.8)$$

$$\Pi_5 = \frac{\gamma}{v} \quad (7.9)$$

$$\Pi_6 = \frac{v}{D_{ab}} \quad (\text{Bu boyutsuz parametre aynı zamanda Lewis katsayısını ifade etmektedir.}) \quad (7.10)$$

$$\Pi_7 = \frac{(\rho_{su} - \rho_{hs}) \cdot V_o^2 \cdot v}{T_o \cdot \lambda} \quad (7.11)$$

$$\Pi_8 = \frac{L_{kap}}{\sqrt{A_{kap}}} \quad (7.12)$$

Boyutsuzlaştırma işlemi sonucunda elde edilen ifade;

$$\dot{m} = f(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6, \pi_7, \pi_8)$$

$$\dot{m} = a_0 \cdot \pi_1^{a_1} \cdot \pi_2^{a_2} \cdot \pi_3^{a_3} \cdot \pi_4^{a_4} \cdot \pi_5^{a_5} \cdot \pi_6^{a_6} \cdot \pi_7^{a_7} \cdot \pi_8^{a_8} \quad (7.13)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Bu noktada, boyutsuz sayılar ile buharlaşan su miktarı değişkeni arasında bir ilişki kurulabilmesi amacıyla boyutsuz π parametreleri uygun katsayılar ile birlikte değerlendirilmiştir. Bu katsayılar ile boyutsuz ifadeler arasındaki bağımlılığın ölçüsünü analiz etmek için kullanılabilir en uygun yöntem regresyon analizi yöntemidir. Regresyon analizi, iki veya daha fazla bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenin birbirleri arasındaki ilişkiyi tahmin ve yaklaşımlarda bulunarak şekillendiren bir istatistiksel analiz metodudur. Regresyon modeli içerisinde, bağımlı ve bağımsız değişkenlerin net bir biçimde ayırt edilmiş olması, gerek modelin gerekse problemin sağlıklı bir çözümü için gerekli bir şarttır.

İstenilen korelasyonun oluşturulmasında seçilen eşitlik doğrusal bir karaktere sahip değildir. Bu eşitlik formu üzerinde regresyon analizi mümkün gözükmemektedir. Bu sebeple eşitlik (7.13) ifadesinde, eşitliğin her iki tarafının tabii logaritması alınarak eşitlik doğrusal bir forma getirilebilir. Sonuç olarak elde edilen eşitlik ise biçim olarak çoklu regresyon modeline uygun bir forma getirilmiş olur.

$$\ln \dot{m} = a_0 + a_1 \cdot \ln \pi_1 + a_2 \cdot \ln \pi_2 + a_3 \cdot \ln \pi_3 + a_4 \cdot \ln \pi_4 + a_5 \cdot \ln \pi_5 + a_6 \cdot \ln \pi_6 + a_7 \cdot \ln \pi_7 + a_8 \cdot \ln \pi_8 \quad (7.14)$$

Oluşan model içerisinde bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni hangi ölçüde etkilediği, regresyon analizi kapsamında elde edilecek katsayılar a_n ile belirlenir. Çoklu regresyon modellerinin çözümünde ise en küçük kareler yöntemi kullanılmaktadır. Sistemin regresyon analizini gerçekleştirmek için SIGMAPLOT Programı kullanılmıştır. Denklem 7.14'deki denklem, programda tanıtılıp iterasyonlar ile a_n katsayıları tespit edilmiştir.

8.3 Regresyon Modelinin İncelenmesi

Analiz sırasında 10000 iterasyon 100'er adım kullanılmış ve 0,00001 tolerans aralığı içerisinde analizin çözümü gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen katsayılar (a_n) Çizelge 7.2'de verilmektedir.

Çizelge 7.2: Regresyaon analizi sonucunda elde edilen katsayılar

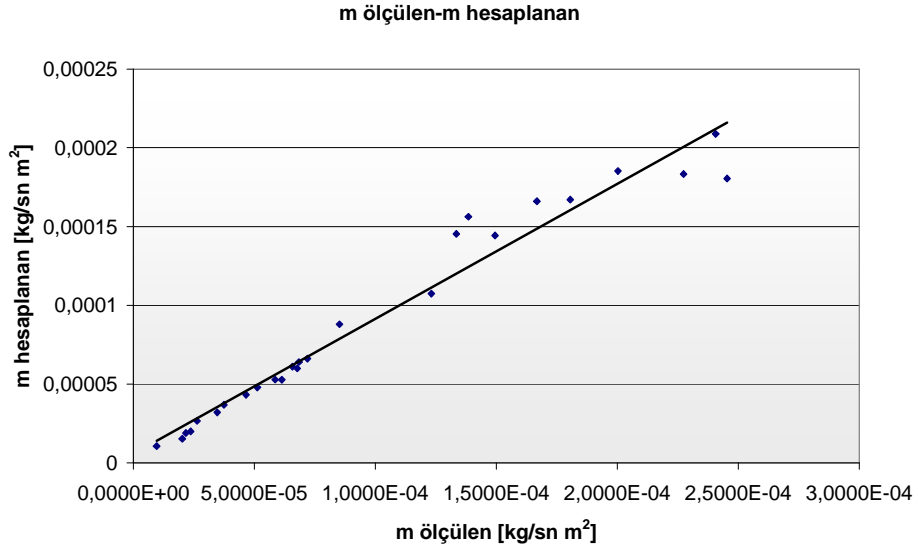
a0	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8
182,9	0,06486	147	-116,5	-0,9081	-470,6	-84,36	1,233	370,7

Elde edilen katsayıların 7.14 eşitliğinde katsayıların yerine koyulması ile eşitlik aşağıdaki şekli almıştır.

$$\ln m = 182,9 + 0,06486 \cdot \ln \pi_1 + 1467 \cdot \ln \pi_2 - 116,5 \cdot \ln \pi_3 - 0,9081 \cdot \ln \pi_4 - 470,6 \cdot \ln \pi_5 - 84,36 \cdot \ln \pi_6 + 1,233 \cdot \ln \pi_7 + 370,7 \cdot \ln \pi_8 \quad (7.15)$$

Regresyon analizleri sonucunda $10\text{cm} < L_{\text{kap}} < 50\text{cm}$ su haznesi boyları için elde edilen bu modelin hata oranı $\% \pm 20$ olup, sonuçlar bu aralık içerisinde kalmaktadır. Gerçekleştirilen deney datalarının regresyon analizi sonucunda çıkan korelasyonu doğrulamak için yapılan deneylerde ölçülen değerler korelasyonda yerine konduğunda $\%1$ ve $\%6$ hata ile su haznesinden buharlaşan su miktarları belirlenebilmiştir.

Deneyler sonucunda ölçülen su buharlaşma miktarları ile elde edilen modelin üretmiş olduğu sonuçların karşılaştırıldığı grafik Şekil 7.1’de sunulmuştur.



Şekil 7.1: Oluşturulan model ile deneysel çalışmaların karşılaştırılması

Regresyon sonuçları ile ilgili detaylı bilgilere ve çözüm analizi dokümanları EK-D Bölümü’nde verilmiştir.

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu yüksek lisans tez çalışmasında alttan ısıtılan ya da ısıtılmayan dikdörtgen kesitli bir kaptaki suyun buharlaşmasını etkileyen parametreler (ortam sıcaklığı ve bağıl nemi, su sıcaklığı, hava hızı, fan konumu, kap üstündeki boşluk mesafesi) deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Gerçekleştirilen çalışmaların ardından elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- Buharlaşma, su yüzeyindeki buhar basıncıyla suyun üstündeki havanın buhar basıncı arasındaki fark ile orantılı olduğundan su sıcaklığı arttıkça su moleküllerinin hızları ve su yüzeyindeki buhar basıncı artmaktadır. Aynı ortam koşullarında serbest buharlaşmaya bırakılan su haznesinde su sıcaklığı arttıkça buharlaşan su miktarı lineere yakın bir şekilde artmaktadır.
- Buharlaşma olayı, ortam sıcaklığının artması durumunda daha hızlı olur. Hava sıcaklığı arttıkça havanın su buharı emme kapasitesi de artacağından, buharlaşma olayı üzerinde iki kat etkiye sahiptir. Sabit bağıl nem sağlanan ortamda gerçekleştirilen deneylerde ortam sıcaklığının artışı ile su haznesinden buharlaşan su miktarı lineere yakın bir şekilde artmaktadır.
- Havanın nemi arttıkça havanın su buharı emme gücü azalır ve dolayısı ile buharlaşma yavaşlar. Sabit ortam sıcaklığında gerçekleştirilen deneylerde ortam bağıl neminin artması ile su haznesinden buharlaşan su miktarı lineere yakın bir şekilde azalmaktadır.
- Su haznesinden buharlaşan su, su yüzeyinden uzaklaşmadığı takdirde suyun üstündeki havanın basıncı ile su yüzeyindeki buhar basıncı birbirine çok yaklaşacak ve buharlaşma azalacaktır. Buharlaşmanın devam etmesi için difüzyon ve/veya konveksiyon ile su buharının su yüzeyinden uzaklaşması gerekir. Bu da havanın hareketi ile mümkündür. Su haznesi üzerinde hava hızı arttıkça suyun buharlaşma etkinliği oldukça artmaktadır.
- Fanın kap merkezinden uzaklığı buharlaşmayı fazla etkilememiştir.
- Fanın kap yüzeyine doğru açılı yerleştirilmesi suyun buharlaşma etkinliğini kayda alınacak şekilde artırmıştır.

Aşağıda Çizelge 8.1’de 25°C ortam sıcaklığı ve %47 ortam bağıl nemi bulunan bir ortama yerleştirilen su haznesinden bir günde buharlaşan su miktarları (gr/gün m²), gerçekleştirilen deneyler neticesinde sunulmuştur.

Çizelge 8.1: Farklı uygulamalardaki suyun buharlaşma değerleri

To	RH	Uygulama	m
°C	%		gr/gün m²
25	47	Su Haznesi Serbest Konumda (Doğal taşınım)	700
25	47	Suyun Isıtıldığı Durum (Tw=30°C) ----> ΔT=5°C	4752
25	47	Suyun Isıtıldığı Durum (Tw=35°C) ----> ΔT=10°C	10368
25	47	Suyun Isıtıldığı Durum (Tw=40°C) ----> ΔT=15°C	15372
25	47	Zorlanmış Taşınım V=0,2 m/sn	2073,6
25	47	Zorlanmış Taşınım V=0,6 m/sn	4147,2
25	47	Zorlanmış Taşınım V=1,0 m/sn	5789
25	47	Suyun ısıtılması ΔT=2°C ve Zorlanmış Taşınım V=1,0 m/sn	14688
25	47	Suyun ısıtılması ΔT=5°C ve Zorlanmış Taşınım V=1,0 m/sn	20736

- Su haznesindeki suyun buharlaşma etkinliğini en fazla arttıran faktörler su sıcaklığı ve hava hızının artması olarak tespit edilmiştir.
- Zorlanmış taşınım durumunda su haznesi içinden buharlaşan su miktarını ifade eden bir korelasyon geliştirilmiştir.

$$10^{\circ}\text{C} \leq T_o \leq 42^{\circ}\text{C}$$

$$\%47 \leq \%RH \leq \%80$$

$0,2 \leq V_o \leq 1,2 \text{ m/s}$ şartları için geliştirilen bu korelasyon aşağıda sunulmuştur.

$$\frac{dm_{buh}}{dt} = \dot{m} = \left[\frac{A_{kap}}{3,6} \cdot (-0,135 + 0,138 \cdot V_o^{-0,0251}) \cdot (P_{su} - P_{hs})^{2,27} \right]$$

Tezde geliştirilen korelasyondan elde edilen değerler, deneysel datalar ile maksimum %15 hata payı ile örtüşmüştür.

Tezde küçük kesit alanına sahip su hazneleri içindeki suyun buharlaşma etkinliği belirlenen parametrelere göre incelenmiştir. Daha detaylı çalışmaların yapılması için önerilen çalışmalar aşağıda sıralanmıştır.

- Gerçekleştirilen tava buharlaşması ölçümlerinin doğrudan sistem üzerinde incelenmesi, (örneğin soğutucu kabinlerde kabin dibine yerleştirilen soğutma komponentlerinin üzerine yerleştirilen kaptaki buharlaşmanın incelenmesi)
- Doğrudan sistem üzerinde simülasyon bir modelin kurulması.

10. KAYNAKLAR

A.Bejan, (1993), "Heat Transfer", (Wiley), New York

ASHRAE, (1997) "ASHRAE Handbook of Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers", Atlanta

ASHRAE, (2009) "ASHRAE Psychrometric Calculator"

Balioğlu, Ö., (2008) "Soğutma Sistemlerinde Sistem Bileşenlerinin Termodinamiksel Toplam Performansa Etkilerinin İncelenmesi", Yüksek lisans tezi, İstanbul.

Bansal P.K., G.Xie, (1999), "A Simulation Model For Evaporation of Defrosted Water In Household Refrigerators", (Department of Mechanical Engineering) The University of Aucland, New Zeland

Bansal P.K., G.Xie, (1998), "A Unified Empirical Correlation For Evaporation of Water At Low Air Velocities", (Department of Mechanical Engineering) The University of Aucland, New Zeland

Bansal P.K., G.Xie, (1999), "Analysis of Defrosted Water Evaporation From Three Water Trays In Refrigerators", (Department of Mechanical Engineering) The University of Aucland, New Zeland

Bayazıt, M., (1999). Hidroloji. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, Sayı:1605, 242s. İstanbul.

Buckingham E. (1914) "On physically similar systems: illustrations of the use of dimensional equations" Physical Review, 4(4): 345–76.

Çengel, A. Y., Boles, M. A., (1996), Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Literatür Yayınevi, İstanbul

Genceli, O. F., (1994), Ölçme Tekniği, Birsen Yayınevi, İstanbul

Genceli, O. F., (1989), Optik Ölçme Metodları, İstanbul

Incropera, F., DeWitt, D, (2002), Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri, Literatür Yayınevi İstanbul Isısan Çalışmaları, Sıhhi Tesisat, No. 272

Kline, S.A., (1992) "Engineering Equation Solver (EES)", Commercial version 7.600

Kocatürk, S., (2005) "Buzdolabında Nem Kontrolüne İlişkin Deneysel Prototip Çalışmaları", Arçelik Ar-Ge Araştırma Raporu, ANN 722, İstanbul.

NIST Refrop Version 7.0, Thermodynamic of Properties of Refrigerants

Özkan, E., (2000), Nem Ölçüm Teknikleri Ve Uygulamaları, Arçelik ATGM Araştırma Raporu, ANN-280, İstanbul

Prof.Dr. Dağsöz, K, (1995), Isı Geçiş Transferi, Beta Yayınevi, İstanbul

Prof.Dr.Özcan, O., (2005), “Akışkanlar Dinamiği Ders Notları”, YTÜ, İstanbul

Sigma plot 2001 for Windows Version 7.0, 1983-2001 SPSS Inc.

Somchai Wongwises, Boonanan Anansauwapak, (2004), “Prediction of Evaporation of Defrosted Water In Refrigerator Water Trays”, (Department of Mechanical Engineering) King Mongkut Ts University of Technology Thonburi, Thailand

Terzi, Ö., (2004), “Eğirdir Gölü’ne ait Buharlaşma Modellerinin Geliştirilmesi ve Uygulanması”, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta

Wilson, E.M., (1990). Engineering Hydrology. Macmillan Education Ltd, 350s., London.

EKLER

EK-A (Doğal taşınım şartlarında kabın ısıtılmadığı durumdaki deney dataları)

Deney No	Verilenler						Tablodan okunanlar Tw için(su)			
	a m	b m	To °C	Tw °C	Φ %	m gr/sn	ρA,sat kg/m3	hf kJ/kg	hg kJ/kg	hfg kJ/kg
1	0,33	0,12	10,70	8,60	0,47	1,49E-04	0,01	2516,60	36,15	2480,45
2	0,33	0,12	10,50	10,20	0,67	6,00E-05	0,01	2519,60	42,86	2476,74
3	0,33	0,12	25,20	23,10	0,47	3,00E-04	0,02	2546,90	105,67	2441,23
4	0,33	0,12	25,70	24,20	0,67	1,90E-04	0,02	2545,10	101,48	2443,62
5	0,33	0,12	25,70	25,00	0,80	1,00E-04	0,02	2546,50	104,83	2441,67
6	0,33	0,12	41,80	37,20	0,47	4,85E-04	0,04	2568,50	155,83	2412,67
7	0,33	0,12	42,00	39,20	0,66	3,20E-04	0,05	2572,10	164,19	2407,91
8	0,33	0,12	40,50	40,00	0,80	2,10E-04	0,05	2573,20	166,70	2406,50

Deney No	Tablodan okunanlar (Tf için hava)							Kütle-Isı transfer katsayı Benzeşimi			
	cp J/kg °K	ρ kg/m3	α m2/s	Dab m2/s	v m2/s	gama m2/s	λ W/m °K	nA" g/sn m2	hm m/sn	h W/m2 °K	Le -
1	1006,10	1,25	1,99E-05	2,51E-05	1,42E-05	1,99E-05	0,03	0,00	8,05E-04	0,87	0,79
2	1006,10	1,25	2,00E-05	2,51E-05	1,43E-05	2,00E-05	0,03	0,00	4,70E-04	0,51	0,80
4	1006,50	1,19	2,08E-05	2,60E-05	1,55E-05	2,08E-05	0,03	0,01	5,98E-04	0,62	0,80
5	1006,60	1,18	2,19E-05	2,60E-05	1,56E-05	2,19E-05	0,03	0,00	6,43E-04	0,68	0,84
6	1006,60	1,18	2,19E-05	2,60E-05	1,57E-05	2,19E-05	0,03	0,00	5,34E-04	0,57	0,84
7	1007,20	1,13	2,38E-05	2,68E-05	1,70E-05	2,38E-05	0,03	0,01	5,07E-04	0,53	0,89
8	1007,20	1,13	2,40E-05	2,69E-05	1,71E-05	2,40E-05	0,03	0,01	4,71E-04	0,49	0,89
9	1007,20	1,13	2,39E-05	2,69E-05	1,71E-05	2,39E-05	0,03	0,01	5,10E-04	0,54	0,89

M kg	t sn	Twl °C	Tws °C	Qkonv J	Qevap J	Qiç J	Qtop J	Qevap J	% %	Qiç+Qkonv J
0,54	1340,00	9,15	9,00	-99,02	495,25	-439,64	-43,41	495,25	-8,77	538,66
0,53	2620,00	10,35	10,15	-16,14	389,34	-428,60	-55,39	389,34	-14,23	444,74
0,58	2820,00	23,50	22,90	-148,03	2065,28	-1567,00	350,25	2065,28	16,96	1715,03
0,60	1620,00	24,20	24,00	-67,43	752,15	-530,10	154,62	752,15	20,56	597,53
0,59	3000,00	25,10	24,90	-48,35	732,50	-509,92	174,24	732,50	23,79	558,27
0,55	1030,00	37,30	37,10	-102,46	1205,25	-515,60	587,19	1205,25	48,72	618,06
0,54	1000,00	39,10	39,00	-56,20	770,53	-238,35	475,98	770,53	61,77	294,55
0,49	1420,00	40,10	39,80	-15,43	717,62	-642,99	59,20	717,62	8,25	658,42

EK-B (Doğal taşınım şartlarında kabın ısıldığı durumdaki deney dataları)

Deney NO	Verilenler						Tablodan okunanlar Tw için(su)			
	a	b	To	Tw	Φ	m	ρA,sat	hf	hg	hfg
	m	m	°C	°C	%	gr/sn	kg/m3	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg
1	0,33	0,123	25	31	0,47	0,002833	0,032	2557,3	129,91	2427,4
2	0,33	0,123	25	36	0,46	0,005	0,042	2566,3	150,81	2415,5
3	0,33	0,123	25	42	0,48	0,0082	0,057	2577,1	175,89	2401,2
4	0,33	0,123	25	31	0,66	0,0018	0,032	2557,3	129,91	2427,4
5	0,33	0,123	25	36	0,66	0,00364	0,042	2566,3	150,81	2415,5
6	0,33	0,123	25	42	0,66	0,0068	0,057	2577,1	175,89	2401,2
7	0,33	0,123	25	31	0,80	0,00133	0,032	2557,3	129,91	2427,4
8	0,33	0,123	25	36	0,80	0,00311	0,042	2566,3	150,81	2415,5
9	0,33	0,123	25	42	0,80	0,0049	0,057	2577,1	175,89	2401,2
10	0,33	0,123	42	46,5	0,47	0,00455	0,07	2585,1	194,71	2390,4
11	0,33	0,123	42	46,5	0,66	0,00358	0,07	2585,1	194,71	2390,4
12	0,33	0,123	42	46,5	0,80	0,00213	0,07	2585,1	194,71	2390,4
13	0,33	0,123	42	50,5	0,67	0,00533	0,085	2592,2	211,43	2380,8
14	0,33	0,123	42	50,5	0,8	0,00325	0,085	2592,2	211,43	2380,8
15	0,33	0,123	10,5	16	0,8	0,00067	0,014	2530,2	67,17	2463
16	0,33	0,123	10,5	20	0,8	0,00089	0,017	2537,4	83,92	2453,5
17	0,33	0,123	10,5	22	0,8	0,00108	0,02	2541	92,28	2448,7

Deney No	Tablodan okunanlar (Tf için hava)							Isı transfer katsayısı kütle transfer katsayısı benzeşimi ile				Isı transfer katsayısının doğal konveksiyon formülleri ile bulunması (Incropera)					
	cp	ρ	α	Dab	v	gama	λ	nA"	hm	h	Le	L	Tf	beta	Ra	Nul	h
	J/kg °K	kg/m3	m2/s	m2/s	m2/s	m2/s	W/m °K	g/sn m2	m/sn	W/m2 °K		m	°K	1/°K			W/m2 °K
1	1006,6	1,172	2,2E-05	2,617E-05	1,59E-05	2,23E-05	0,0263	0,0698	0,0041	4,39563	0,852	0,0448	301	0,0033	49595,5	8,059	4,73063
2	1006,8	1,163	2,3E-05	2,632E-05	1,61E-05	2,26E-05	0,0265	0,1232	0,0055	5,77525	0,859	0,0448	303,5	0,0033	87593,4	9,29	5,48877
3	1006,9	1,151	2,3E-05	2,649E-05	1,64E-05	2,3E-05	0,0267	0,202	0,0069	7,24227	0,869	0,0448	306,5	0,0033	129447	10,24	6,09975
4	1006,6	1,172	2,2E-05	2,617E-05	1,59E-05	2,23E-05	0,0263	0,0443	0,0041	4,36355	0,852	0,0448	301	0,0033	49595,5	8,059	4,73063
5	1006,8	1,163	2,3E-05	2,632E-05	1,61E-05	2,26E-05	0,0265	0,0897	0,0063	6,67754	0,869	0,0448	303,5	0,0033	87593,4	9,29	5,48877
6	1006,9	1,151	2,3E-05	2,649E-05	1,64E-05	2,3E-05	0,0267	0,1675	0,0087	9,18532	0,869	0,0448	306,5	0,0033	129447	10,24	6,09975
7	1006,6	1,172	2,2E-05	2,617E-05	1,59E-05	2,23E-05	0,0263	0,0328	0,0052	5,46854	0,852	0,0448	301	0,0033	49595,5	8,059	4,73063
8	1006,8	1,163	2,3E-05	2,632E-05	1,61E-05	2,26E-05	0,0265	0,0766	0,0092	9,69895	0,859	0,0448	303,5	0,0033	87593,4	9,29	5,48877
9	1006,9	1,151	2,3E-05	2,649E-05	1,64E-05	2,3E-05	0,0267	0,1207	0,0107	11,252	0,869	0,0448	306,5	0,0033	129447	10,24	6,09975
10	1007,4	1,098	2,5E-05	2,711E-05	1,77E-05	2,48E-05	0,0274	0,1121	0,003	3,12698	0,915	0,0448	317,25	0,0032	28514,3	7,017	4,29426
11	1007,4	1,098	2,5E-05	2,711E-05	1,77E-05	2,48E-05	0,0274	0,0882	0,0037	3,83525	0,915	0,0448	317,25	0,0032	28514,3	7,017	4,29426
12	1007,4	1,098	2,5E-05	2,711E-05	1,77E-05	2,48E-05	0,0274	0,0525	0,0037	3,87917	0,915	0,0448	317,25	0,0032	28514,3	7,017	4,29426
13	1007,5	1,091	2,5E-05	2,722E-05	1,79E-05	2,51E-05	0,0276	0,1313	0,0047	4,86389	0,921	0,0448	319,25	0,0031	52340,7	8,168	5,02321
14	1007,5	1,091	2,5E-05	2,722E-05	1,79E-05	2,51E-05	0,0276	0,0801	0,0047	4,89355	0,921	0,0448	319,25	0,0031	52340,7	8,168	5,02321
15	1006,2	1,217	2,1E-05	2,531E-05	1,47E-05	2,06E-05	0,0253	0,0165	0,006	6,46301	0,816	0,0448	286,25	0,0035	56733,4	8,297	4,67972
16	1006,2	1,208	2,1E-05	2,543E-05	1,49E-05	2,09E-05	0,0254	0,0219	0,0063	6,75925	0,822	0,0448	288,25	0,0035	93242,9	9,436	5,35194
17	1006,3	1,204	2,1E-05	2,549E-05	1,5E-05	2,1E-05	0,0255	0,0266	0,0068	7,27173	0,825	0,0448	289,25	0,0035	111095	9,859	5,60694

M	t	Twl	Tws	Qkonv	Qevap	Qiç	Qtop	Hata Payı	Qısıtıcı	Deney
kg	sn	°C	°C	J	J	J	J	%	J	No
0,5	420	29,6	31,9	483,88	2888,25	4838,726	8210,86	16,6	9576	1
0,5	620	35	37,1	1519,42	7488,02	4418,845	13426,29	5,3	14136	2
0,4	2930	40,5	41,8	12332,40	57691,47	2188,598	72212,47	-7,5	66804	3
0,52	350	29,6	31,6	403,23	1529,26	4375,892	6308,38	26,5	7980	4
0,47	520	34,2	36,3	1274,35	4572,04	4153,714	10000,11	18,6	11856	5
0,42	3420	39,5	41,7	14394,82	55842,54	3888,97	74126,32	5,2	77976	6
0,498	350	29,5	32,2	403,2343	1129,95	5657,523	7190,707	11,0	7980	7
0,465	500	34,8	37,2	1225,34	3756,087	4696,601	9678,028	17,8	11400	8
0,532	1380	39,7	42	5808,434	16236,98	5149,939	27195,36	15,7	31464	9
0,702	640	45,3	47,1	501,9957	6960,816	5320,934	12783,75	14,1	14592	10
0,514	410	45,2	47,3	321,591	3508,614	4545,28	8375,485	11,6	9348	11
0,593	370	45,5	47,5	290,2163	1883,866	4994,165	7168,248	17,7	8436	12
0,455	910	49,2	51,1	1577,106	11547,45	3640,712	16765,27	23,8	20748	13
0,58	610	49,6	51,4	1057,181	4719,877	4396,649	10173,71	36,7	13908	14
0,514	440	14,6	18,6	459,6786	726,1012	8647,363	9833,143	2,0	10032	15
0,492	440	17,9	21,8	908,0439	960,7828	8070,312	9939,138	0,9	10032	16
0,497	470	20,4	24,2	1230,1	1242,97	7944,082	10417,15	2,9	10716	17

EK-C (Zorlanmış taşınım şartlarındaki deney dataları)

NEMLENDİRME VE ISITMA KÜTLE KORUNUMU															
DENEY	Tg	RHg	Tç	Rhç	h1	h2	v1	v2	w1	w2	Akesit	Va	mhesap	mölçülen	hata payı
	°C	%	°C	%	kJ/kg	kJ/kg	m ³ /kg	m ³ /kg	gr/kg kuru	gr/kg kuru	m ²	m/sn	gr/sn	gr/sn	%
1	25,5	86	26,4	88	70,52	75,18	0,8699	0,8745	17,8	19,26	0,00318	1	0,005329	0,005	6,58
2	25,5	85	26,1	87	68,198	72,85	0,8696	0,8728	22,79	23,76	0,00318	1	0,003642	0,00346	2,36
4	41,6	83	41,9	85	154,26	158,91	0,9543	0,958	44,06	45,97	0,00318	1	0,006355	0,00542	17,24
5	41,8	81	42,3	84	154,26	161,24	0,954	0,9599	43,41	46,43	0,00318	1	0,010051	0,00923	8,89
6	42,1	83	42,8	85	158,91	165,89	0,9577	0,9641	45,32	48,37	0,00318	1	0,010111	0,00996	1,52
7	10,8	83	11,2	85	26,33	28,66	0,8127	0,8143	6,6968	7,0469	0,00318	1	0,001368	0,00139	-1,60

DENEY	Tg	RHg	Tç	Rhç	h1	h2	v1	v2	w1	w2	Akesit	Va
	°C	%	°C	%	kJ/kg	kJ/kg	m ³ /kg	m ³ /kg	gr/kg kuru	gr/kg kuru	m ²	m/sn
1	25,5	86	26,4	88	70,52	75,18	0,8699	0,8745	17,8	19,26	0,00318	1
2	25,5	85	26,1	87	68,198	72,85	0,8696	0,8728	22,79	23,76	0,00318	1
4	41,6	83	41,9	85	154,26	158,91	0,9543	0,958	44,06	45,97	0,00318	1
5	41,8	81	42,3	84	154,26	161,24	0,955	0,9599	43,98	46,43	0,00318	1
6	42,1	83	42,8	85	158,91	165,89	0,9577	0,9641	45,32	48,37	0,00318	1
7	10,8	83	11,2	85	26,33	28,66	0,8127	0,8143	6,6968	7,0469	0,00318	1

DENEY	Tw	hw	mw	E	t	t ısıtıcı	E	Qısıtıcı - Wf		Qısıtıcı	Wfan	hata payı
	°C	kJ/kg	gr/sn	J	sn	sn	kJ			kJ	kJ	%
1	30,6	128,24	0,005	19414,42	1100,00	660,00	19,41	=	18,70	19,8	1,1	1,95
2	29,3	122,81	0,00346	17409,86	1000,00	550,00	17,41	=	15,50	16,5	1	-5,51
4	42,9	179,66	0,00542	18417,86	1120,00	640,00	18,42	=	18,08	19,2	1,12	4,07
5	43,3	181,33	0,00923	42295,04	1700,00	1340,00	42,30	=	38,50	40,2	1,70	-5,21
6	43,8	183,42	0,00996	54927,84	2200,00	1890,00	54,93	=	54,50	56,7	2,20	3,13
7	11,7	49,152	0,00139	18342,01	2000,00	580,00	18,34	=	15,40	17,4	2,00	-5,41

EK-D (Sigmaplot Regresyon Çözüm Raporu)

%RH	Ta	Va	Tw	Tf	rhow	rhowaw	rhow-rhowaw	Dab	v	m	cp	gama	lamda	hfg	L	kökA
%	°K	m/sn	°K	°K	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	m ² /sn	m ² /sn	kg/sn m ²	kJ/kg °K	m ² /sn	W/m °K	kJ/kg	m	m
0.46	297,8	1,2	292	294,9	0.01633	0.0105	0.00582964	2.56E-05	1.53E-05	7.19E-05	1.0065	2.15E-05	0.02588	2455,9	0,33	0,20147
0.47	298	1,1	292,5	295,25	0.01681	0.0108	0.00596775	2.56E-05	1.54E-05	6.78E-05	1.0065	2.15E-05	0.0259	2454,7	0,33	0,20147
0.46	298,2	1	292,2	295,2	0.01652	0.0107	0.00578444	2.56E-05	1.54E-05	6.58E-05	1.0065	2.15E-05	0.0259	2455,4	0,33	0,20147
0.47	298	0,9	292,1	295,05	0.01642	0.0108	0.00557675	2.56E-05	1.53E-05	6.13E-05	1.0065	2.15E-05	0.02589	2455,7	0,33	0,20147
0.46	298	0,8	292	295	0.01633	0.0106	0.0057105	2.56E-05	1.53E-05	5.86E-05	1.0065	2.15E-05	0.02588	2455,9	0,33	0,20147
0.46	297,9	0,7	291,7	294,8	0.01604	0.0106	0.0054833	2.56E-05	1.53E-05	5.12E-05	1.0065	2.15E-05	0.02587	2456,6	0,33	0,20147
0.46	297,9	0,6	292,1	295	0.01642	0.0106	0.0058673	2.56E-05	1.53E-05	4.66E-05	1.0065	2.15E-05	0.02588	2455,7	0,33	0,20147
0.47	297,8	0,5	291,9	294,85	0.01623	0.0107	0.00550548	2.56E-05	1.53E-05	3.74E-05	1.0065	2.15E-05	0.02587	2456,1	0,33	0,20147
0.47	298,1	0,4	291,7	294,9	0.01604	0.0109	0.00513165	2.56E-05	1.53E-05	3.47E-05	1.0065	2.15E-05	0.02588	2456,6	0,33	0,20147
0.47	298	0,3	291,5	294,75	0.01585	0.0108	0.00500375	2.56E-05	1.53E-05	2.64E-05	1.0065	2.15E-05	0.02587	2457,1	0,33	0,20147
0.47	297,7	0,2	291,3	294,5	0.01566	0.0107	0.00499864	2.56E-05	1.53E-05	2.38E-05	1.0065	2.14E-05	0.02585	2457,5	0,33	0,20147
0.48	297,9	1	299,3	298,6	0.02482	0.011	0.0138054	2.61E-05	1.57E-05	0.00015	1.0066	2.2E-05	0.02613	2438,6	0,33	0,20147
0.47	297,9	1	300,4	299,15	0.02638	0.0108	0.01559685	2.62E-05	1.57E-05	0.000167	1.0066	2.2E-05	0.02617	2435,9	0,33	0,20147
0.5	297,3	1	301,2	299,25	0.02757	0.0111	0.01648	2.63E-05	1.57E-05	0.000181	1.0066	2.21E-05	0.02618	2434,1	0,33	0,20147
0.47	298,1	1	302	300,05	0.02881	0.0109	0.01789865	2.63E-05	1.58E-05	0.0002	1.0066	2.22E-05	0.02623	2432,2	0,33	0,20147
0.46	297,9	1	303,2	300,55	0.03075	0.0106	0.0201913	2.63E-05	1.59E-05	0.000241	1.0067	2.22E-05	0.02627	2429,3	0,33	0,20147
0.84	283,4	1	283,2	283,3	0.00953	0.0081	0.00142229	2.6E-05	1.43E-05	9.61E-06	1.0061	2E-05	0.02506	2476,7	0,33	0,20147
0.84	283,9	1	284,4	284,15	0.01028	0.0084	0.00191194	2.6E-05	1.43E-05	2.02E-05	1.0062	2.01E-05	0.02512	2473,9	0,33	0,20147
0.79	298,2	1	296,2	297,2	0.02084	0.0184	0.00239956	2.59E-05	1.55E-05	2.17E-05	1.0065	2.18E-05	0.02604	2445,9	0,33	0,20147
0.84	298,1	1	300,6	299,35	0.02667	0.0195	0.0071818	2.62E-05	1.57E-05	6.85E-05	1.0066	2.21E-05	0.02619	2435,5	0,33	0,20147
0.85	298,2	1	302,3	300,25	0.02928	0.0198	0.0094444	2.63E-05	1.58E-05	8.52E-05	1.0066	2.22E-05	0.02625	2431,5	0,33	0,20147
0.86	298,2	1	303,6	300,9	0.03142	0.0201	0.01134904	2.64E-05	1.59E-05	0.000123	1.0067	2.23E-05	0.02629	2428,4	0,33	0,20147
0.83	315,1	1	316,8	315,95	0.06185	0.0472	0.01462715	2.61E-05	1.73E-05	0.000245	1.0073	2.43E-05	0.02733	2396,9	0,33	0,20147
0.81	314,9	1	316,3	315,6	0.06036	0.0456	0.01472546	2.61E-05	1.73E-05	0.000227	1.0073	2.42E-05	0.0273	2398,1	0,33	0,20147
0.83	314,9	1	315,3	315,1	0.05889	0.0468	0.01213578	2.6E-05	1.72E-05	0.000134	1.0073	2.42E-05	0.02727	2400,5	0,33	0,20147
0.8	315	1	315,5	315,25	0.05803	0.0453	0.0127378	2.6E-05	1.73E-05	0.000138	1.0073	2.42E-05	0.02728	2400	0,33	0,20147

```

z = col(8)
logpi1 = col(1)
logpi2 = col(2)
logpi3 = col(3)
logpi4 = col(4)
logpi5 = col(5)
logpi6 = col(6)
logpi8 = col(7)
[Parameters]
a0 = 0 ' {{previous: -0,288813}}
a1 = 0 ' {{previous: -1,90613}}
a2 = 0 ' {{previous: -38,4171}}
a3 = 0 ' {{previous: -0,623623}}
a4 = 0 ' {{previous: 0,251819}}
a5 = 0 ' {{previous: -0,841349}}
a6 = 0 ' {{previous: 12,2642}}
a8 = 0 ' {{previous: -0,585288}}
[Equation]
f=a0+a1*logpi1+a2*logpi2+a3*logpi3+a4*logpi4+a5*logpi5+a6*logpi6+a8*logpi8
fit f to z
[Constraints]
[Options]
tolerance=0,000100
stepsize=100
iterations=10000

```

R = 0,97610098 Rsqr = 0,95277313 Adj Rsqr = 0,93440712

Standard Error of Estimate = 0,2246

	Coefficient	Std. Error	t	P
a0	-0,2888	7,5146	-0,0384	0,9698
a1	-1,9061	0,1928	-9,8877	<0,0001
a2	-38,4171	6,0152	-6,3866	<0,0001
a3	-0,6236	3,7476	-0,1664	0,8697
a4	0,2518	0,0622	4,0463	0,0008
a5	-0,8413	22,2335	-0,0378	0,9702
a6	12,2642	2,9344	4,1794	0,0006
a8	-0,5853	15,2286	-0,0384	0,9698

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	7	18,3259	2,6180	51,8770	<0,0001
Residual	18	0,9084	0,0505		
Total	25	19,2343	0,7694		

PRESS = 1,4914

Durbin-Watson Statistic = 1,9315

Normality Test: Passed (P = 0,5336)

Constant Variance Test: Passed (P = 0,4665)

Power of performed test with alpha = 0,0500: 1,0000

Regression Diagnostics:

Row	Predicted	Residual	Std. Res.	Stud. Res.	Stud. Del. Res.
3	-9,6286	0,0889	0,3960	0,4462	0,4360
4	-9,6456	0,0460	0,2046	0,2243	0,2183
5	-9,7228	0,0936	0,4165	0,4533	0,4431

6	-9,8157	0,1167	0,5195	0,5548	0,5439
7	-9,8506	0,1064	0,4738	0,5012	0,4905
8	-9,9606	0,0817	0,3636	0,3823	0,3731
9	-9,9692	-0,0055	-0,0247	-0,0258	-0,0251
10	-10,1272	-0,0654	-0,2912	-0,3069	-0,2990
11	-10,3020	0,0343	0,1528	0,1656	0,1611
12	-10,4721	-0,0715	-0,3182	-0,3671	-0,3581
13	-10,6830	0,0361	0,1609	0,2225	0,2165
14	-8,8007	-0,0072	-0,0323	-0,0344	-0,0334
15	-8,6096	-0,0892	-0,3972	-0,4327	-0,4228
16	-8,5818	-0,0375	-0,1669	-0,1840	-0,1790
17	-8,4042	-0,1115	-0,4964	-0,5578	-0,5469
18	-8,1881	-0,1438	-0,6403	-0,7581	-0,7488
19	-11,2258	-0,3271	-1,4559	-1,8229	-1,9618
20	-11,0840	0,2743	1,2210	1,5036	1,5626
21	-10,1962	-0,5430	-2,4170	-2,5909	-3,1796
22	-9,7020	0,1132	0,5038	0,5357	0,5248
23	-9,4988	0,1288	0,5734	0,6174	0,6064
24	-9,3450	0,3432	1,5277	1,6751	1,7718
25	-8,5410	0,2283	1,0161	1,1528	1,1641
26	-8,5475	0,1587	0,7065	0,7970	0,7885
27	-8,7242	-0,1970	-0,8770	-0,9962	-0,9960
28	-8,6335	-0,2514	-1,1193	-1,2643	-1,2871

Influence Diagnostics:

Row	Cook'sDist	Leverage	DFFITS
3	0,0067	0,2125	0,2265
4	0,0013	0,1674	0,0979
5	0,0047	0,1560	0,1905
6	0,0054	0,1234	0,2040
7	0,0037	0,1065	0,1694
8	0,0019	0,0956	0,1213
9	0,0000	0,0850	-0,0076
10	0,0013	0,0998	-0,0996
11	0,0006	0,1484	0,0672
12	0,0056	0,2490	-0,2062
13	0,0056	0,4771	0,2069
14	0,0000	0,1182	-0,0122
15	0,0044	0,1576	-0,1829
16	0,0009	0,1778	-0,0833
17	0,0102	0,2082	-0,2805
18	0,0289	0,2866	-0,4746
19	0,2357	0,3620	-1,4779
20	0,1459	0,3405	1,1228
21	0,1251	0,1297	-1,2277
22	0,0047	0,1155	0,1897
23	0,0076	0,1374	0,2420
24	0,0709	0,1682	0,7968
25	0,0477	0,2230	0,6237
26	0,0216	0,2140	0,4115
27	0,0360	0,2250	-0,5367
28	0,0551	0,2162	-0,6760

95% Confidence:

Row	Predicted	Regr. 5%	Regr. 95%	Pop. 5%	Pop. 95%
3	-9,6286	-9,8462	-9,4111	-10,1483	-9,1089
4	-9,6456	-9,8388	-9,4525	-10,1556	-9,1357
5	-9,7228	-9,9092	-9,5363	-10,2302	-9,2153
6	-9,8157	-9,9815	-9,6499	-10,3159	-9,3155
7	-9,8506	-10,0046	-9,6966	-10,3471	-9,3541
8	-9,9606	-10,1065	-9,8147	-10,4546	-9,4666
9	-9,9692	-10,1068	-9,8315	-10,4608	-9,4775

10	-10,1272	-10,2762	-9,9781	-10,6221	-9,6322
11	-10,3020	-10,4839	-10,1202	-10,8078	-9,7962
12	-10,4721	-10,7076	-10,2366	-10,9996	-9,9447
13	-10,6830	-11,0091	-10,3570	-11,2567	-10,1094
14	-8,8007	-8,9629	-8,6384	-9,2997	-8,3016
15	-8,6096	-8,7969	-8,4222	-9,1173	-8,1018
16	-8,5818	-8,7808	-8,3828	-9,0940	-8,0696
17	-8,4042	-8,6196	-8,1888	-8,9230	-7,8854
18	-8,1881	-8,4408	-7,9355	-8,7234	-7,6528
19	-11,2258	-11,5098	-10,9418	-11,7766	-10,6750
20	-11,0840	-11,3594	-10,8086	-11,6305	-10,5376
21	-10,1962	-10,3661	-10,0262	-10,6978	-9,6945
22	-9,7020	-9,8624	-9,5416	-10,2005	-9,2035
23	-9,4988	-9,6738	-9,3239	-10,0022	-8,9955
24	-9,3450	-9,5386	-9,1515	-9,8551	-8,8349
25	-8,5410	-8,7639	-8,3181	-9,0629	-8,0190
26	-8,5475	-8,7659	-8,3292	-9,0676	-8,0275
27	-8,7242	-8,9481	-8,5003	-9,2465	-8,2018
28	-8,6335	-8,8529	-8,4141	-9,1540	-8,1130

ÖZGEÇMİŞ**Doğum tarihi** 16.03.1985**Doğum yeri** Gaziantep**Lise** 2000–2003

Gaziantep Anadolu Lisesi

Lisans 2003-2007

Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak.

Makine Mühendisliği Bölümü

Lisans (Çift ana dal) 2005-2008

Yıldız Üniversitesi İnşaat Fak.

İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2007-2009

Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Müh. Anabilim Dalı, Isı Proses Programı

Çalıştığı kurum(lar)

2007-.Devam

Arçelik AŞ. Arge Termodinamik Teknolojileri
Ailesinde Proje Yardımcılığı