

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAPALI YÜZME HAVUZLARINDA ISI VE KÜTLE
TRANSFERİ HESAPLARININ YAPILMASI**

HASAN KESİCİOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISI PROSES PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. SABİHA YILDIZ**

İSTANBUL, 2011

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAPALI YÜZME HAVUZLARINDA ISI VE KÜTLE
TRANSFERİ HESAPLARININ YAPILMASI

HASAN KESİCİOĞLU tarafından hazırlanan tez çalışması 16.06.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Sabiha YILDIZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Eş Danışman

Yrd. Doç. Dr. B. Tümer ÖZKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Sabiha YILDIZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İsmail TEKE
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Semra ÖZKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

“Kapalı Yüzme Havuzlarında Isı ve Kütle Transferi Hesaplarının Yapılması” adı altında gerçekleştirilen bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Isı Proses Ana Bilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Bir kapalı yüzme havuzu tasarlanması sözkonusu olduğunda karşılaşılabilecek sorunlara ve bunların değişik çalışmalarda nasıl çözüldüğüne bakılacak , bu sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılacaktır. Gerçek bir tesisden alınan ölçülerle çeşitli hesaplamaların sonuçları karşılaştırılarak tasarımcıya tasarlayacağı tesisde yapması gereken kabuller doğrultusunda kendine uygun ifadeyi seçme şansı tanıyacak bir çalışma yapılması hedeflenmiştir.

Çalışmanın başlangıcından itibaren deneyimi ve bilgi birikimiyle değerli fikirlerini benimle paylaşan Sayın hocam Doç. Dr. Sabiha Yıldız’a ve lisans eğitimimden itibaren eğitim hayatımın içinde olmasından memnuniyet duyduğum , yüksek lisans çalışmam sırasında konusundaki hakimiyeti ile beni doğru yöntemlere yönlendiren ve değerli vaktini ve bilgisini esirgemeyen Sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Derya B. Tümer Özkan’a teşekkürlerimi sunarım.

Mesleki hayatım boyunca iş disiplini , iş ahlakı ve konularındaki hakimiyeti ile etik ve teknik duruşunu örnek aldığım ve yüksek lisans çalışmam boyunca bana desteğini esirgemeyen ağabeyim Makine Yüksek Mühendisi Sayın Berk İnce’ye minneti borç bilirim.

Ayrıca eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi her zaman bana destek olan aileme , eşim Dilek Kesicioğlu’na teşekkürlerimi sunar , çalışmamın yararlı olmasını dilerim.

Haziran, 2011

Hasan KESİCİOĞLU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	viii
KISALTMA LİSTESİ	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ÖZET.....	xv
ABSTRACT	xvii
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	1
1.3 Hipotez	2
BÖLÜM 2.....	3
KAPALI YÜZME HAVUZLARI HAKKINDA GENEL ESASLAR	3
2.1 Kapalı Yüzme Havuzlarının Sınıflandırılması	3
2.2 Kapalı Yüzme Havuzlarında Konfor Şartları	4
2.2.1 Kapalı Yüzme Havuzlarında Su Sıcaklık Değerleri	4
2.2.2 Kapalı Yüzme Havuzlarında Nem Miktarı	5
2.2.3 Egzost ve Üfleme Havalandırması Sınır Şartları.....	6
2.2.4 Projelendirmeye Esas Değerler	8
2.3 Bina Yapısı	10
2.3.1 Binanın Konumu	11
2.3.2 Dış Yapı Elemanları	11
2.3.3 Hava Kanalları Geçiş Yerleri ve Santral Odası	13
BÖLÜM 3.....	18
KAPALI YÜZME HAVUZLARINDA BUHARLAŞMA HESAPLARINA GENEL BAKIŞ.....	18

3.1	VDİ 2089 Normuna Göre Buharlaşma İfadesi:.....	19
3.2	Recknagel'e göre Buharlaşma İfadesi	21
3.3	Ashrae'ye göre Buharlaşma İfadesi	22
3.4	Diğer Buharlaşma İfadeleri	24
BÖLÜM 4.....		27
KAPALI YÜZME HAVUZLARINDA NEM ALMA SİSTEMLERİ		27
4.1	Dış Hava Kullanımlı Tesisatlar	27
4.2	Isı Pompalı Sistemler	29
4.3	Isı Ekonomizeri	34
BÖLÜM 5.....		36
KAPALI YÜZME HAVUZLARINDA ISI TRANSFERİ HESAPLARI		36
5.1	Isı Kaybı Hesapları	36
5.1.1	Buharlaşma Etkisiyle Isı Kaybı.....	36
5.1.2	Havuz Çanağından İletim Yoluyla Isı Kaybı	37
5.1.3	Su Yüzeyinden Taşınım Yoluyla Isı Kaybı	39
5.1.4	Su Yüzeyinden Işınım Yoluyla Isı Kaybı	40
5.1.5	Buharlaşan Suyun Geri Beslenmesi ile Oluşan Isı Kaybı	40
5.1.6	Kayıp Suyun Geri Beslenmesi ile Oluşan Isı Kaybı	41
5.2	Isı Kazancı Hesapları.....	41
5.2.1	Su Yüzeyinden Taşınım Yoluyla Isı Kazancı	41
5.2.2	Güneş Işınımı Yoluyla Isı Kazancı	41
5.3	İlk Isıtma Isı İhtiyacı Hesabı	42
BÖLÜM 6.....		43
DENEYSEL ÇALIŞMANIN ANLATILMASI VE DÖKÜMANTASYONU		43
6.1	Ölçümde Kullanılan Aletler	43
6.2	Ölçüm Yapılacak Alanının Tanıtılması	43
6.3	DeneySEL Ölçüm Metodolojisi	46
BÖLÜM 7.....		58
BUHARLAŞMA HESAPLARININ YAPILMASI ve KARŞILAŞTIRILMASI		58
7.1	VDI , Recknagel , ASHRAE ve M.M. Shah'a göre Buharlaşma Hesapları... 58	
7.1.1	VDI 2089 Normuna göre Buharlaşma Hesaplamaları.....	58
7.1.2	Recknagel'e göre Buharlaşma Hesaplamaları	60
7.1.3	ASHRAE'ye göre Buharlaşma Hesaplamaları.....	62
7.1.4	Diğer Buharlaşma İfadeleri ve M.M. Shah'a göre Buharlaşma Hesabı	
	65	
BÖLÜM 8.....		75
KÜTLE TRANSFERİ HESAPLARI ile TAŞINIMIN HESAPLANMASI.....		75

8.1 Doğal Taşınım ile Havuz Ortasından Oluşan Kütle Transferinin Hesaplanması.....	75
8.2 Düz Levha Üzerinden Dış Akışla Oluşan Kütle Transferinin Hesaplanması.....	79
BÖLÜM 9.....	80
NEM ALMA SANTRALİ ÜZERİNDEN BUHARLAŞMA MİKTARININ HESAPLANMASI	80
BÖLÜM 10.....	84
ISI TRANSFERİ HESAPLARININ YAPILMASI	84
10.1 Isı Kaybı Hesaplarının Yapılması.....	84
10.2 Isı Kazancı Hesaplarının Yapılması	87
10.3 İlk Isıtma Isı İhtiyacı Hesabı	87
BÖLÜM 11.....	89
SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	89
KAYNAKLAR.....	96
ÖZGEÇMİŞ.....	97

SİMGE LİSTESİ

A	Yüzey Alanı
Ab,Ap	Su yüzey alanı
A_{taban}	Havuz taban alanı
A_{yanal}	Havuz yanal alanı
C	Barometrik basınca bağlı katsayı (C.C. Smith 1999)
C_h	Havanın ısınma ısısı
Cs,Cp	Suyun ısınma ısısı , özgül ısısı
d	Malzeme kalınlığı
E	Havuz yüzeyinden birim zamanda birim yüzeyden oluşan buharlaşma miktarı
e	Toplam buharlaşma sayısı (VDI 2089)
hd	İlk ısıtma süresi
Fu	Havuz kullanım faktörü
Gr	Grashof Sayısı
Lc	Karakteristik Uzunluk
M	Hava Debisi
Me	Evaporatör üzerinden geçen hava debisi
t_i	İç hacim sıcaklığı
t_d	Dış hacim sıcaklığı
o	Buharlaşma sayısı (Recknagel)
Pd	Ortam havasının basıncı
Pm	Soğutma grubu kompresör mil gücü
Ps	Su sıcaklığındaki havanın doyma basıncı
Q	Isı kaybı , kazancı miktarı
Qk	Kondenzasyon kapasitesi
Qs	Soğutma kapasitesi
R	İletişim katsayısı
r	Belirgin bir ts sıcaklığındaki suyun buharlaşma özgül ısısı
Rd	Su buharı için özel gaz sabiti
Sc	Schimdt sayısı
Sh	Sherwood sayısı

T	Ortalama sıcaklık
T_a	Hava sıcaklığı
t_k	Karışım havası sıcaklığı
t_w	Su sıcaklığı
U	Isı iletim katsayısı
V	Havuz suyu hacmi
v	Yüzeyde oluşan hava hızı
W	Saatte buharlaşan su miktarı
Xh	Havanın içindeki mutlak nem miktarı
Xd	Dış havanın içindeki mutlak nem miktarı
Xs	Su sıcaklığındaki havanın doyma eğrisindeki mutlak nem miktarı
Xü	Üfleme havasının içindeki mutlak nem miktarı
Y,l	Suyun buharlaşma gizli ısısı
y	Havanın özgül ağırlığı
α_i	İç hacmin ısı iletim katsayısı
α_d	Dış hacmin ısı iletim katsayısı
λ	Yapı elemanı ısı iletim katsayısı
σ	Buharlaşma sayısı (Ashrae)
Δi	Havanın evaporatöre girişi ve çıkışı arasındaki entalpi farkı
ΔP	Ps – Pd basınç farkı
η_{ek}	Ekonomizer ısı randımanı
α_t	Su yüzeyinden taşınım katsayısı
θ	Sıcaklık çarpanı

KISALTMA LİSTESİ

ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers
VDI	Alman Mühendisler Birliği

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	VDI 2089 'e göre elbisesiz insan için bunaltıcı sınırı..... 6
Şekil 2. 2	Dış ortam sıcaklığına bağlı olarak müsaade edilen maksimum bağıl nem oranı (VDI 2089) 6
Şekil 2. 3	“A” noktasındaki havanın çığ noktası sıcaklığının bulunması 11
Şekil 2. 4	İzolasyonlu dış duvarın içinde sıcaklık dağılımları..... 12
Şekil 2. 5	Galeriden hava üflenmesi (İbrahim İşbilen ,MMO , 1995) 14
Şekil 2. 6	Döşeme seviyesinden ve üst seviyeden hava üflenmesi (İşbilen İ. ,MMO , 1995 , VDI 2089)..... 15
Şekil 2. 7	Pencerelere üstten hava üflenmesi 16
Şekil 3. 1	Su yüzeyi – hava basınç farkı..... 19
Şekil 3. 2	Su yüzeyi – Hava arasındaki su buharı kısmi basınçları arasındaki farka göre buharlaşma durumları (İşbilen İ. ,MMO , 1995 , VDI 2089) 20
Şekil 3. 3	Kapalı yüzme havuzlarında su buharlaşması“W”için kılavuz değerleri (Tsu=24~28°C) (ASHRAE Handbook , 1999) 23
Şekil 3. 4	Hava hızlarına bağlı buharlaşma miktarları grafiği (Tortam – Tsu :~3°C) (Recknagel 1999)..... 23
Şekil 4. 1	Dış havalı nem alma akış şeması ((İbrahim İşbilen ,MMO , 1995) 28
Şekil 4. 2	Isı pompası sistemi soğutma devresi (ASHRAE Handbook , 1999) 30
Şekil 4. 3	Isı pompası sistemi hava akış şeması (ASHRAE Handbook , 1999) 31
Şekil 6. 1	Ölçüm alanı nem alma santralinin akış şeması 45
Şekil 6. 2	Tesisdeki ısı pompalı santralde havanın şartlandırılmasının psikometrik diagramdaki gösterimi 46
Şekil 6. 3	Tesisin ölçüm alanı ve ölçüm noktalarının gösterimi..... 48
Şekil 6. 4	“A” enindeki noktalarda h:50cm ve h:150cm’de ölçülen sıcaklık değerleri grafiği.....49
Şekil 6. 5	“B” enindeki noktalarda h:50cm ve h:150cm’de ölçülen sıcaklık değerleri grafiği 50
Şekil 6. 6	“C” enindeki noktalarda h:50cm ve h:150cm’de ölçülen sıcaklık değerleri grafiği 51
Şekil 6. 7	“D” enindeki noktalarda h:50cm ve h:150cm’de ölçülen sıcaklık değerleri grafiği 52
Şekil 6. 8	“A”enindeki noktalarda h:50cm ve h:150cm’de ölçülen bağıl nem değerleri grafiği 53

Şekil 6. 9	“B”enindeki noktalarda h:50cm ve h:150cm’de ölçülen bağıl nem değerleri grafiği	54
Şekil 6. 10	“C”enindeki noktalarda h:50cm ve h:150cm’de ölçülen bağıl nem değerleri grafiği	55
Şekil 6. 11	“D”enindeki noktalarda h:50cm ve h:150cm’de ölçülen bağıl nem değerleri grafiği	56
Şekil 7. 1	“A” noktalarındaki buharlaşma ifadeleri grafikleri	68
Şekil 7. 2	“B” noktalarındaki buharlaşma ifadeleri grafikleri	70
Şekil 7. 3	“C” noktalarındaki buharlaşma ifadeleri grafikleri	72
Şekil 7. 4	“D” noktalarındaki buharlaşma ifadeleri grafikleri	74
Şekil 9. 1	Psikometrik diagramdan üfleme ve emiş havalarının özelliklerinin okunması	81
Şekil 10 .1	Ölçüm alanı fiziksel özellikleri	84
Şekil 11 .1	Ölçümler ile gerçek durumda gün içindeki buharlaşma miktarlarının karşılaştırılması	91
Şekil 11 .2	Korelasyonlar ile gerçek durumun ve ölçüm ile yapılan hesabın “A” noktaları içinde buharlaşma miktarlarının karşılaştırılması.....	92
Şekil 11 .3	Korelasyonlar ile gerçek durumun ve ölçüm ile yapılan hesabın “B” noktaları için buharlaşma miktarlarının karşılaştırılması	93
Şekil 11 .4	Korelasyonlar ile gerçek durumun ve ölçüm ile yapılan hesabın “C” noktaları için buharlaşma miktarlarının karşılaştırılması	93
Şekil 11 .5	Korelasyonlar ile gerçek durumun ve ölçüm ile yapılan hesabın “D” noktaları için buharlaşma miktarlarının karşılaştırılması	94

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1	VDI 2089'a göre yüzme havuzlarında hava sıcaklıkları 5
Çizelge 2. 2	Kapalı yüzme havuzlarındaki projelendirmeye esas referans değerler (İbrahim İşbilen 1995 ,MMO) 9
Çizelge 3. 1	Su buharlaşma faktörü tablosu (VDI 2089) 21
Çizelge 3. 2	Sıcaklık ve neme bağlı buhar basıncı tablosu 24
Çizelge 6. 1	"A" enindeki noktalarda h:50cm ve h:150cm'de ölçülen sıcaklık değerleri tablosu..... 49
Çizelge 6. 2	"B" enindeki noktalarda h:50cm ve h:150cm'de ölçülen sıcaklık değerleri tablosu..... 50
Çizelge 6. 3	"C" enindeki noktalarda h:50cm ve h:150cm'de ölçülen sıcaklık değerleri tablosu..... 51
Çizelge 6. 4	"D" enindeki noktalarda h:50cm ve h:150cm'de ölçülen sıcaklık değerleri tablosu..... 52
Çizelge 6. 5	"A" enindeki noktalarda h:50cm ve h:150cm'de ölçülen bağıl nem değerleri tablosu 53
Çizelge 6. 6	"B" enindeki noktalarda h:50cm ve h:150cm'de ölçülen bağıl nem değerleri tablosu 54
Çizelge 6. 7	"C" enindeki noktalarda h:50cm ve h:150cm'de ölçülen bağıl nem değerleri tablosu 55
Çizelge 6. 8	"D" enindeki noktalarda h:50cm ve h:150cm'de ölçülen bağıl nem değerleri tablosu 56
Çizelge 6. 9	A, B, C, D, noktalarındaki h:50cm. ve h:150cm. yükseklikteki hız ölçümleri tabloları 57
Çizelge 7. 1	VDI 2089 'a göre buharlaşma hesabı tablosu 60
Çizelge 7. 2	Recknagel'e göre buharlaşma hesabı tablosu..... 62
Çizelge 7. 3	ASHRAE'ye göre buharlaşma hesabı tablosu 64
Çizelge 7. 4	M.M. Shah'a göre buharlaşma hesabı tablosu 66
Çizelge 7. 5	"A" noktaları h:50cm.'deki buharlaşma hesabı değişkenler tablosu 67
Çizelge 7. 6	"A" noktaları h:50cm.'deki birim ve toplam yüzeyden buharlaşma miktarları 68
Çizelge 7. 7	"B" noktaları h:50cm.'deki buharlaşma hesabı değişkenler tablosu 69
Çizelge 7. 8	"B" noktaları h:50cm.'deki birim ve toplam yüzeyden buharlaşma miktarları 70
Çizelge 7. 9	"C" noktaları h:50cm.'deki buharlaşma hesabı değişkenler tablosu 71

Çizelge 7. 10	“C” noktaları h:50cm.’deki birim ve toplam yüzeyden buharlaşma miktarları	72
Çizelge 7. 11	“D” noktaları h:50cm.’deki buharlaşma hesabı değişkenler tablosu.....	73
Çizelge 7. 12	“D” noktaları h:50cm.’deki birim ve toplam yüzeyden buharlaşma miktarları	74
Çizelge 9. 1	Havuz kullanımında değilken santral üfleme ve emiş havalarının özgül kütleleri ve toplam buharlaşma miktarları ile ortalama buharlaşma miktarları	82
Çizelge 9. 2	Havuz kullanımında iken santral üfleme ve emiş havalarının özgül kütleleri ve toplam buharlaşma miktarları ile ortalama buharlaşma miktarları ...	83
Çizelge 10. 1	İşletme süresince oluşan ısı kayıp ve kazançları.....	88
Çizelge 11. 1	Durgun su yüzeyinde hesapların gerçek durum ile karşılaştırılması.....	92

**KAPALI YÜZME HAVUZLARINDA ISI VE KÜTLE
TRANSFERİ HESAPLARININ YAPILMASI**

Hasan KESİCİOĞLU

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Sabiha YILDIZ

Eş Danışman: Yrd. Doç. Dr. Derya B. Tümer ÖZKAN

Kapalı yüzme havuzlarında ısı transferi ve kütle transferi hesapları çeşitli normlarda araştırılmış ve sonuç olarak değişik durumlar için formüller verilmiştir. Bu çalışmaların dışında bazı makalelerde bu konuya farklı ifadelerle yaklaşımda bulunulmuştur. Söz konusu ifadelerin gerçek bir durumdan alınan değerler ile karşılaştırılması yapılması hedeflenmiştir.

Kapalı havuzlarda kontrol edilmesi gereken en önemli parametreler su ve ortam sıcaklığı ve havuz holünün bağıl nemidir. Yapılan çalışmalarda ortam havasının ve suyun sıcaklığının sabit tutulması için ısı transferi hesapları ortaya konmuştur. Ayrıca havuz yüzeyinden oluşan kütle transferi miktarı için çok farklı ampirik ifadelerle başvurulmuştur.

Bu çalışmada yukarıda bahsedilen ısı transferi ve kütle transferi problemlerine dair daha önce verilen ifadeler birbirleri arasında karşılaştırılacaktır. Ayrıca mevcut bir kapalı yüzme havuzu tesisinden alınan ölçümler ile bu ifadelerin tutarlılığını da sorgulama fırsatı edinilecektir.

Gerçek bir tesisden alınan ölçümler ile bu ifadeleri karşılaştırdığımızda verilen ifadelerin gerçek değerlerin %80 ile %150 arasında üstünde kaldığı sonucu görülecektir.

Anahtar Kelimeler : Kapalı Yüzme Havuzları Isı ve Kütle Transferi , Havuz su yüzeyinden buharlaşma , Nem alma

**HEAT AND MASS TRANSFER CALCULTIONS IN INDOOR SWIMMING
POOLS**

Hasan KESİCİOĞLU

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Sabiha YILDIZ

Co-Advisor: Assist. Prof. Derya B. Tümer ÖZKAN

In indoor swimming pools heat and mass transfer calculations have been researched by different norms and for different conditions formulas have been preferred. Other than these norms , in some articles different type of expressions used to approach to this phenomena. In this thesis these expressions were compared with the measurement that were taken from a real facility.

The most important parameters that have to be controlled in an indoor swimming pool are pool water and room air temperature , room air relative humidity .In researches heat transfer methods obtained for keeping room air and pool water temperature constant.Also there are different types of emprical expressions mentioned for the mass transfer from the pool water surface.

In this work the expressions that are obtained to express heat and mass transfer calculations will be compared to each other , also will have the chance to compare these methods with the measurements taken from an indoor swimming pool to mention the analogy between real measurements and theoretical calculations.

As a result we will see that datas colected from calculation of given expressions are mostly overpredicted in the range of %80 ~%150 from the real measurements.

Keywords : Indoor Swimming Pools Heat and Mass Transfer , Evaporation from pool water surface , Dehumidification

1.1 Literatür Özeti

Kapalı yüzme havuzlarının kullanım yoğunluğu sosyal ve kültürel ihtiyaçlara paralel olarak zaman içinde artmıştır. Böylelikle tesislerin projelendirilmesi için ısı ve kütle transferi hesaplarının çözülmesinin gerekliliği başgöstermiştir. Bunun sonucunda çeşitli çalışmalar yapılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Alman mühendisleri normunda bu konu incelenmiş ve bazı ifadeler önerilmiştir. Aynı şekilde Recknagel ve ASHRAE’de de belirli hesap yöntemleri önerilmiştir. Özel çalışmalar bu hesapların özel hallerini belirlemek için yapılmış , çeşitli makaleler yayınlanmıştır. Tüm bu hesap sistemlerine 4. bölümde ayrıntılı biçimde değinilecektir.

1.2 Tezin Amacı

Günümüzde yüzme havuzları farklı kullanım maksatlarına göre tasarlanırken değişen kullanıcı talepleri yatırımcılara kılavuz olmaktadır. İklim şartlarına bağlı olmaksızın havuzlardan yararlanma isteği sonucunda kapalı havuzlar dizayn edilmeye başlanmıştır. Bu gelişmeye paralel olarak mahaldeki konfor şartlarının oluşturulabilmesi beraberinde çözülmesi gereken bazı teknik sorunlar getirmiştir. Bu sorunlar kısaca aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

Havuz suyunun yüzeyinden iç havaya transfer olan su buharı ve bunun sonucunda iç havanın nem miktarının artması

Havuz suyu sıcaklığının iklim şartlarından bağımsız olarak sabit sıcaklıkta tutulmasının sağlanması

Havuz suyu sıcaklığı ile iç hacimdeki havanın sıcaklığının termik dengesi

Yukarıda sözü geçen problemlerin çözümleri çeşitli kaynaklar vasıtasıyla incelenecektir. Mevcut bir kapalı yüzme havuzundan alınan veriler ile çeşitli normlarda ve çalışmalarda önerilen ifadelerin doğruluğu tesis şartları için karşılaştırılmış olacaktır

1.3 Hipotez

Isı ve kütle transferi hesaplarında çeşitli parametreler sonucu direkt etkilediği halde hızlı hesap yapılabilmesi , bazı parametrelerin önceden yeterli doğrulukta tahmin edilememesi gibi sebeplerle literatürde önerilen ifadelerde yer verilememiştir. Tesislerin yapısı , şartları ; coğrafi koşullar ; bölgenin termodinamik özelliklerinin bu ifadeleri önemli ölçüde etkilediği savunulmaktadır. Öyle ki ; ifadelerin gerçek durumdan %100'ün üzerinde değişkenlik gösterebileceği durumların sözkonusu olabileceğini düşünebilmekteyiz. Bu da enerji ekonomisi , ilk yatırım ve işletme maliyetleri açısından büyük önem arz etmektedir. İfadelerin sonuçları ile gerçek bir durum arasındaki bulguların hata oranı tespitleri ile bu fark daha net ortaya konmuş olacaktır.

KAPALI YÜZME HAVUZLARI HAKKINDA GENEL ESASLAR

2.1 Kapalı Yüzme Havuzlarının Sınıflandırılması

Öncelikle kapalı yüzme havuzlarını çeşitli özellikleri göz önünde bulundurarak sınıflandırmalıyız.

Kısaca aşağıdaki şekilde sınıflandırabiliriz.

- Özel Havuzlar : Konutlara özel villa tipi olarak özetlenebilir.
- Yarı – Özel Havuzlar : Otel gibi toplu erişime açık ticari maksatlı havuzlardır. Kullanıcı sayısı kontrol edilebilir ve sınırlandırılabilir tipte havuzlardır. Kaplıca tarzında yer altı kaynak suları ile beslenen ve tedavi maksatlı çeşitli kimyasal maddeler içeren suların bulunduğu havuzlar yine bu sınıfta sayılabilir. Kimyasal maddelerin özelliklerine uygun tesisat ve havalandırma sistemi kurulması konusu bu tip bir kapalı havuzda önem kazanmaktadır.
 - Eğitim ve Spor Maksatlı Havuzlar : Okullarda yada spor kulüplerine ait tesislerde bulunan bu tip havuzlar aynı zaman diliminde yoğun kullanımı olan havuzlardır. Olimpik (50m) yada yarı olimpik (25m) uzunluğunda olup kulvar sayıları 6 , 8 , 10, 12 olabilmektedir. Çoğunda seyirci tribünü ve atlama kulesi de mevcuttur.
 - Halka Açık Havuzlar : Genellikle soğuk iklimli bölgelerde halka açık olarak kullanılan havuzlardır. Bu tipteki havuzlar her mevsim faaldir , bu nedenle dizayn edilirken yıl boyunca gerçekleşecek tüm dış hava şartlarının göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

2.2 Kapalı Yüzme Havuzlarında Konfor Şartları

Kapalı yüzme havuzlarında konfor şartlarını belirlemede havuz suyu sıcaklığı , iç ortamdaki hava sıcaklığı , nem oranı değerleri kontrol parametreleri olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca ısıtma yüzeyleri ve hava dağıtım sistemi de kapalı havuz iklimlendirmesini etkileyen faktörlerdendir. Havuz yüzeyinde ve çevresindeki alanlarda havalandırma sistemi ile üflenen hava hızları belli sınırlar içinde tutulmalıdır. Çıplak vücut üzerinden geçen hava insan sağlığı bakımından önem arz etmektedir. Özellikle havuzdan yeni çıkan bir insan teni üzerinden geçen kontrolsüz hava vücut üzerindeki havuz suyunun buharlaşması sırasında etrafından ısı çekeceği için üşüme hissi yaratacak ve konforsuz bir ortam oluşturacaktır. Bu sebeple havuz yüzeyindeki hava hızı 0,15m/s ~ 0,3m/s arasında tutulmalıdır. Havalandırma sistemi ile üflenen hava sıcaklığı da max. 45°C olmalıdır. Havuz mahalinin ısıtılmasında havalandırma sistemi hesaplamalarda ısı kaybının %60~70 'ini karşılamak üzere tasarlanmalıdır. Kalan ısı kaybı statik ısıtma – radyatör , konvektör yada yerden ısıtma – ile sağlanacaktır.

Kapalı havuz içerisindeki konforu arttırmak için yukarıda belirlenen parametreleri kontrol etmenin dışında mimari tasarıma göre değişkenlik gösteren uygulamalar yapılabilmektedir. Örneğin havuz mahalini çevreleyen cam yüzeyler var ise bu bölgelere sıcak hava üflenerek hem cam yüzeyi üzerindeki yoğuşma önlenmiş olunacak hem de infiltrasyon nedeniyle oluşan ısı kaybı ve sızıntı yüzeylerinden kontrolsüz giren dış ortam havasının rahatsız edici etkisi bertaraf edilmiş olunacaktır. Statik ısıtma ile ısı kaybını karşılamada havuz kenarındaki bölgelerde yerden ısıtma yapılması tercih edilirse çıplak ayakla basılan bu yüzeylerde oluşacak rahatsız edici soğukluk hissi ortadan kalkmış olacaktır. Bunun ayrı bir avantajı da sistem günlük kapalı konumdan açık konuma geçtiğinde daha kısa sürede işletme şartlarına hazır hale gelecektir . Çünkü radyatör yada konvektörle önce havanın sonrasında yapının ısınması gibi dolaylı bir yol yerine direkt insan vücuduyla temas eden yerden ısıtma yüzeyleri tercih edilmiş olacaktır .

2.2.1 Kapalı Yüzme Havuzlarında Su Sıcaklık Değerleri

Havuz suyu sıcaklığının seçiminde havuzun kullanım maksadı önemlidir. Eğer bir spor aktivitesi olarak kullanılacaksa insan vücudunun da sıcaklığı göz önünde bulundurularak

24°C sıcaklık yeterli olurken , bu değer serbest maksatlı havuzlarda 28°C , çocuk havuzlarında ise 32°C mertebesinde olacaktır. Bunun dışında tesisin farklı bölümleri için farklı sıcaklık alanları oluşturulması gerekmektedir .

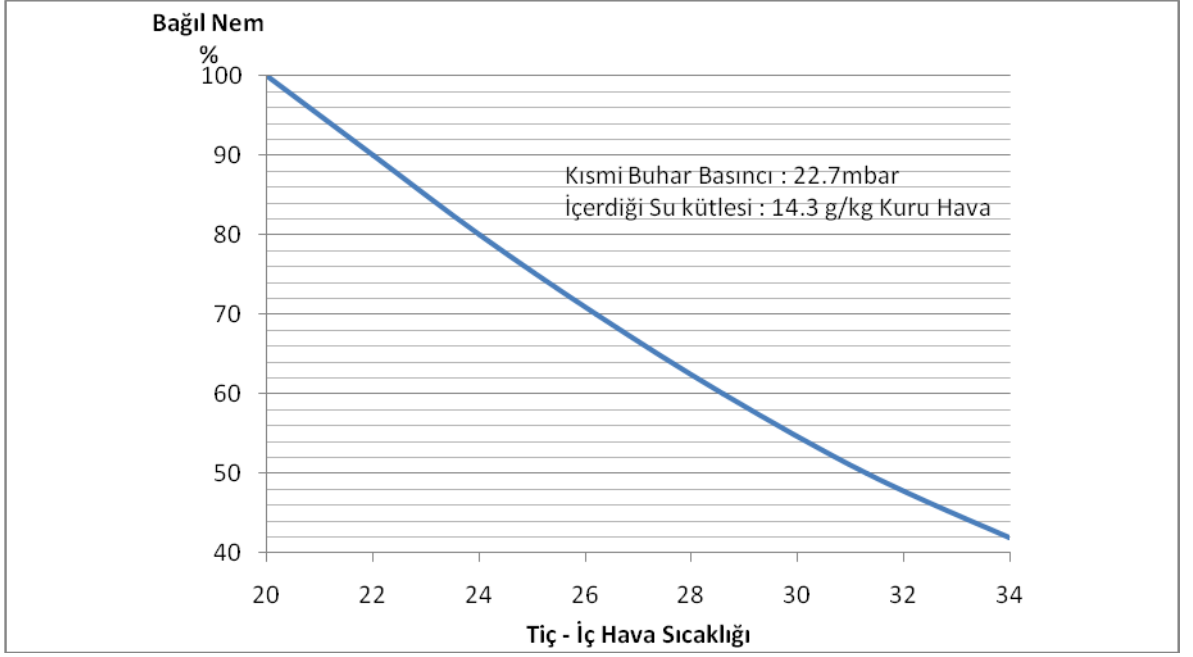
2.2.2 Kapalı Yüzme Havuzlarında Nem Miktarı

Ortam havasının nem miktarının tayininde insanın rahatlık hissinin yanında , yapı elemanın sağlığı da dikkate alınmalıdır.Yüzme havuzu salonunda ve özellikle duşlarda kısmı buhar basıncının düşük olması deri yüzeyindeki su damlacıklarında hızlı bir buharlaşmaya , bu da önemli ölçüde vücuttan ısı çekilmesine neden olmaktadır.

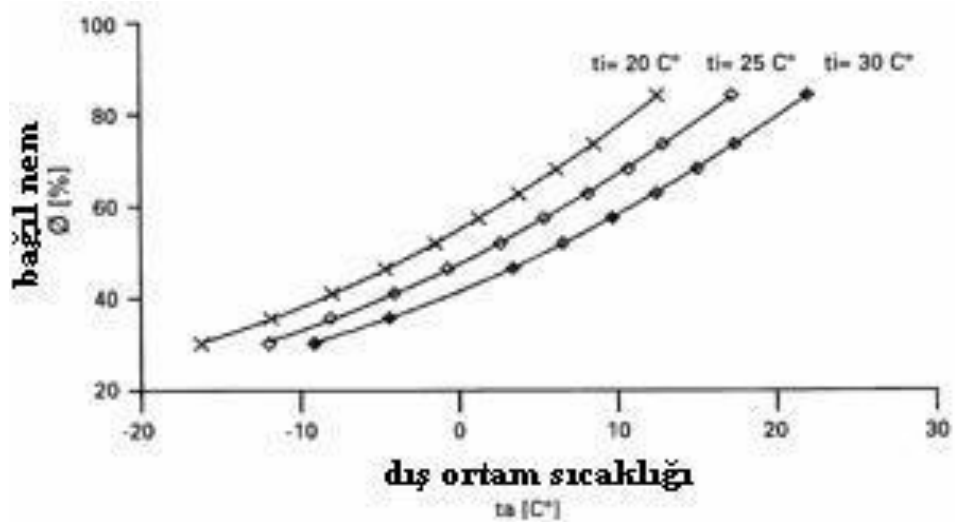
Dolayısıyla istenilen rahatlık hissi için ortam sıcaklığı yükseltilmelidir. Maksimum mutlak nem miktarı 14,4 g/kg kuru hava değerini (bunalma sınırını) aşmamalıdır. 30°C'lik bir salon sıcaklığında maksimum %55'lik bir bağıl nem sağlanmalıdır . Düşük hava sıcaklıkları insanlarda rahatsızlığa neden olmaktadır. Havadaki yüksek nem oranı ise bunaltıcı bir etki yapmaktadır. 1000 mbar'lık hava basıncındaki yüzme havuzlarında bağıl nem miktarı maksimum %53, minimum %42 dolayındadır. Yüzme havuzlarında metal ve ahşap yapı bileşenlerinin herhangi bir zarara uğramaması için bağıl nem %40 ile %60 arasında bir bölgede bulunmalıdır. Kötü yapılmış bir konstrüksiyon veya kalitesiz cam kullanımı (ısıl iletkenliği yüksek) durumunda,ortam havasını düşük bir dış ortam sıcaklığında sınır değerleri altında neminin alınması gerekir. Bu da enerji sarfiyatına neden olmaktadır. Şekil 2.1'de ve Şekil2.2 'de dış ve iç ortam sıcaklığına bağlı olarak müsaade edilen maksimum bağıl nem oranı verilmektedir.

Çizelge 2. 1 VDI 2089'a göre yüzme havuzlarında hava sıcaklıkları

Mahal Türü	Hava Sıcaklığı (°C)	
	Minimum	Maksimum
Giriş Bölgesi, Yan Odalar ve Merdiven Boşlukları	18	22
Soyunma Odaları	24	28
Personel Odaları	22	26
Duşlar	27	31
Yüzme Havuzu	30	34



Şekil 2. 1 VDI 2089 'e göre elbisesiz insan için bunaltıcı sınırı



Şekil 2. 2 Dış ortam sıcaklığına bağlı olarak müsaade edilen maksimum bağıl nem oranı (VDI 2089)

2.2.3 Egzost ve Üfleme Havalandırması Sınır Şartları

Kapalı havuzlarda klor kokusu, karbondioksit (CO₂) gibi sınırlanması istenilen zararlı maddeler için, bugünkü şartlara göre havuz işler durumdayken kişi başına minimum taze hava ihtiyacı 20 m³/h.Kişi 'dir. Havuz yüzey alanına ve doluluk oranına (0,5 Kişi/m² havuz yüzey alanı) bağlı olarak hijyenik hava değişim oranı 10 m³/h .m²' dir.

Termal veya mineral içerikli kaplıcalar için hava debisinin hesaplanması MAK (MAK-değeri: sağlığa zararlı maddelerin çalışma ortamındaki maksimum konsantrasyon değeri) tablosuna göre yapılır.

Yüzme havuzlarında ziyaretçiler tarafından dışarı atılan CO₂ oranının etkisi fazla büyük değildir. Çünkü uygun bir havalandırma ve gerekli olan dış hava oranına göre CO₂ konsantrasyonunun %0,08' in üzerine çıkmaması gerekmektedir. % 0,1'in üzerinde CO₂ oranlarında kötü hava şartlarından söz etmek mümkündür ve %2,5'in üzerinde ise ciddi zararlı etki söz konusudur. Bu değerler genellikle kapalı yüzme havuzlarında sağlanmaktadır.

Kapalı havuz hacmi için gerekli havalandırma değerlerini sağlayacak şekilde bir hava akımı olmalıdır. Havanın beslenmesi (üflenmesi) pencere önlerinden yada mimari olarak uygunsa pencere altlarından , dış duvarlarda kafa yüksekliklerinden, tribünlerde merdiven basamak altlarından v.s. gerçekleştirilmelidir. Spesifik olarak daha hafif olan su buharının ve kokulu maddelerin hızlı bir şekilde taşınması için, salon havasının emme işlemi tavan altından havuz su yüzeyi üzerinden gerçekleştirilmelidir. Bu nedenle çatının ısı ve nem izolasyonuna özellikle dikkat edilmelidir.

Güney, batı ve doğu yönlerinde bulunan pencere yüzeylerinden içeriye doğru ısı ışınımı söz konusudur. Bu pencere yüzeylerinde gereksiz ısı ışınımı pencerelere yerleştirilecek jaluziler ile önlenabilir.

Havuz holünde gerekli minimum hava debisi havadan alınması gereken su buharına göre hesaplanır. Bulunacak miktar ısıtma ihtiyacı için de yeterli olacaktır.

$$M = W / (X_h - X_u) \cdot \gamma (2.1)$$

M: Holdeki sirküle olan hava debisi

W: Holden alınacak nem (Buharlaşan Su) miktarı (kg/h)

X_h : Hol havası mutlak nemi (kg/kg)

X_u : Üfleme havası mutlak nemi (kg/kg)

γ : Vantilatör geçişindeki hava özgül ağırlığı (kg/m³)

Formülden görüleceği üzere nemin alınmasına esas olan değerin üfleme havasının kuruluğu yani havuz yüzey sıcaklığındaki havanın doyma eğrisindeki nem kütlesine olan uzaklığı olduğu görülmektedir.

2.2.4 Projelendirmeye Esas Değerler

Kapalı yüzme havuzlarına ilişkin verilen değerlerin çeşitli normlarda farklı ancak birbirine yakın mertebelerde olduğu gözlemlenmiştir. Buna göre aşağıdaki değer aralıkları proje tasarımları için önerilebilir.

Hava nemi ile ilgili olarak; VDI normunda bağıl nem değeri verilmemekte, buna karşın hava basıncının insanların rahatı için üst sınır olan 22,7 mbar değerini aşmaması tavsiye edilmektedir. Bu basınç değeri, psikometrik diagramda da bakıldığında , $x = 14,3 \text{ g/kg}$ mutlak nem seviyesinde oluşmaktadır, Aynı norm, hole sevk edilecek havanın 9 g/kg mutlak nem seviyesinde olsa dahi, içeride aynı mutlak nem ($14,3 \text{ g/kg}$) değerini aşmadan kuruluğu sağlayacak kadar yeterli miktarda olmasını istemektedir.

Çizelge 2. 2 Kapalı yüzme havuzlarındaki projelendirmeye esas referans değerler [5]

Havuz Suyu Sıcaklığı	Eğlence - Sportif Yarışma Çocuk Havuzu Tedavi Amaçlı	24 - 28 °C 22 - 24 °C 32 °C 30 - 35 °C
Hava Sıcaklıkları	Havuz Holü Soyunma , Duş , WC Diğer Mahaller Üfleme Havası	24 - 30°C (Su sıcaklığından ~2°C yüksek) 25°C 22°C max 45°C
Taze Hava Miktarı	Havuz ve Çevresi Seyirci Tribünü WC	10m ³ /h , m ² (Havuz Yüzeyi) 25m ³ /h , kişi 100m ³ /h , ad- armatür (hela ,pisuvar vs.)
Sirküle Hava Miktarları	Giriş + Soyunma Odaları Elbise Dolap Odaları İşletici Odası , Depolar Duş	20m ³ /h.m ² 15m ³ /h.m ² 25m ³ /h.m ² 220m ³ /h.ad (duş)
Hava Değişimi	Havuz Holü Seyirci Tribünü WC Duş	4 - 6 kez (Hava değişimi) / h 6 - 8 kez (Hava değişimi) / h Ortalama 15 kez (Hava Değişimi) / h - Egzost edilerek max. 30 kez (Hava Değişimi) / h
Max. Zemin Sıcaklıkları	Oturma Bankosu Havuz Çevresi , Duş	40°C 26°C
Ses Seviyesi	NC 45 - 50	
Hava Filtresi	EU 5 (ASHRAE %45 - 50)	
Hava Nemi	Kış Mevsimi Yaz Mevsimi	%50 - 60 Mutlak dış nem + Ax ; max %60 r.n , kaydı ile

Kaynaklar incelendiğinde, Almanya'nın tüm bölgelerinde kış ve yaz mevsimi dış hava şartlarının birbirine çok benzediği ve yaz mevsiminde ortalama mutlak nemin 10-12 g/kg (16-19 mbar basınç) arasında değiştiği görülmektedir. Böyle bir iklimde, 9,0 g/kg

üfleme havası ile 14,3 g/kg iç hava şartı ($A_x = 5,3$ g/kg) elde etmek, yaz mevsiminde bir çok zamanlarda mümkün olabilecektir Oysa ki, yurdumuzun bazı bölgelerindeki yaz mevsimi mutlak nem değerleri, VDI normunun öngördüğü iç hava nem seviyesinin bile üzerindedir: İstanbul ve Bursa 15,1 g/kg, Adana: 16,4g/kg, Trabzon: 17,7g/kg , Antalya:19,5g/kg ve Mersin: 23,1 g/kg.Diğer taraftan bir çok literatürde kış mevsimi için kapalı havuz holünde izin verilen; 30 °C'ye kadar iç sıcaklık ve % 60'a kadar iç nem oranı değerlerine ulaşıldığında, 16 g/kg mutlak nem ve bu nemin sonucu 25,7 mbar iç basınç oluşmaktadır ki, bu değerler VDI'nin 14,3g/kg - 22,7 mbar iç şart sınırını geçmektedir.Yurdumuzun iklim şartları dikkate alınarak; dış hava ile nem alma sisteminde çalışan tesisatların yaz mevsimi çalışmaları için; dış havanın 9 g/kg mutlak neme kadar olduğu bölgelerde 15,0 g/kg iç nemin kabulü, dış havadaki herbir ilave 1 g/kg nem değeri artışı için iç hava neminin 0,6 g/kg artmasına izin verilmesi görüşünün uygun olacağı söylenebilir.

Formül ile ifade etmek gerekirse;

$$X_{h,max} = 0,015 + (X_d - 0,009) \times 0,6 \quad (2.2)$$

$X_{h,max}$: Hol mutlak nemi (kg/kg),

X_d : Dış hava mutlak nemi (kg/kg).

Yaz mevsimine göre yapılacak hesabın kış mevsimine uygunluğu kontrol edilmelidir.

Isı pompası sistemi ile yapılacak tesisatlarda içerideki nem alma işleminde dış havanın hiçbir katkısı olmadığı için, yaz mevsiminde de düşük bir mutlak iç nem temini mümkün olmaktadır.

2.3 Bina Yapısı

Bir kapalı havuz tasarlanıyorsa avan proje aşamasında dikkat edilmesi ve projeye dahil edilmesi gereken noktalar belirleyici olmaktadır. Tasarlanan yapı hizmet edeceği maksada ve onun gerektirdiği özel koşullara göre şekillendirilmelidir. Bu hususları aşağıdaki alt başlıklarda inceleyeceğiz.

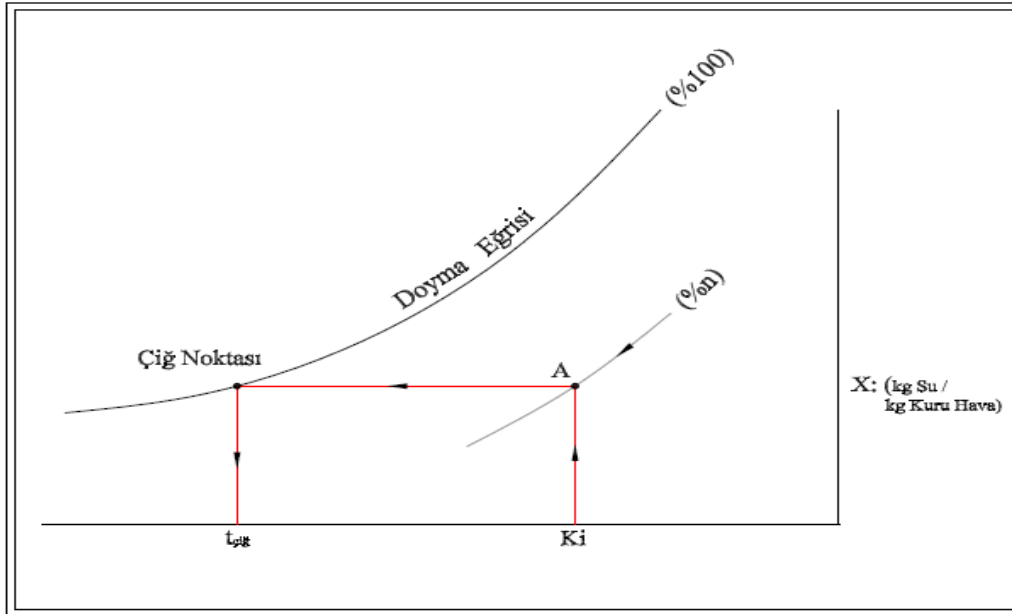
2.3.1 Binanın Konumu

Tesis arsa üzerinde konumlandırılırken, havuzun uzun kenarına paralel olan bina dış duvarının güney yönüne bakması sağlanmalıdır. Buradaki amaç kış aylarında hayli eğik olarak alınan güneş ışınlarından en iyi şekilde yararlanmaktır.

2.3.2 Dış Yapı Elemanları

Yapı elemanlarının ısı iletim katsayıları (K), aşağıda açıklanan kriterlere göre kontrol edilmelidir. Önce, havuz holü iç hava şartlarına göre “çiğ noktası” bulunur. Bilindiği gibi nemli hava soğutulurken belli bir sıcaklığa düşünce yoğuşmaya başlar. Bu sıcaklık derecesine “çiğ noktası” denilmektedir.

Çiğ Noktası Sıcaklığı: Bir hava – buhar karışımının ihtiva ettiği su buharı ağırlığı veya kısmi basıncı değişmeksizin tamamen doymuş hale geldiği sıcaklık derecesine denir.



Şekil 2. 3 “A” noktasındaki havanın çiğ noktası sıcaklığının bulunması

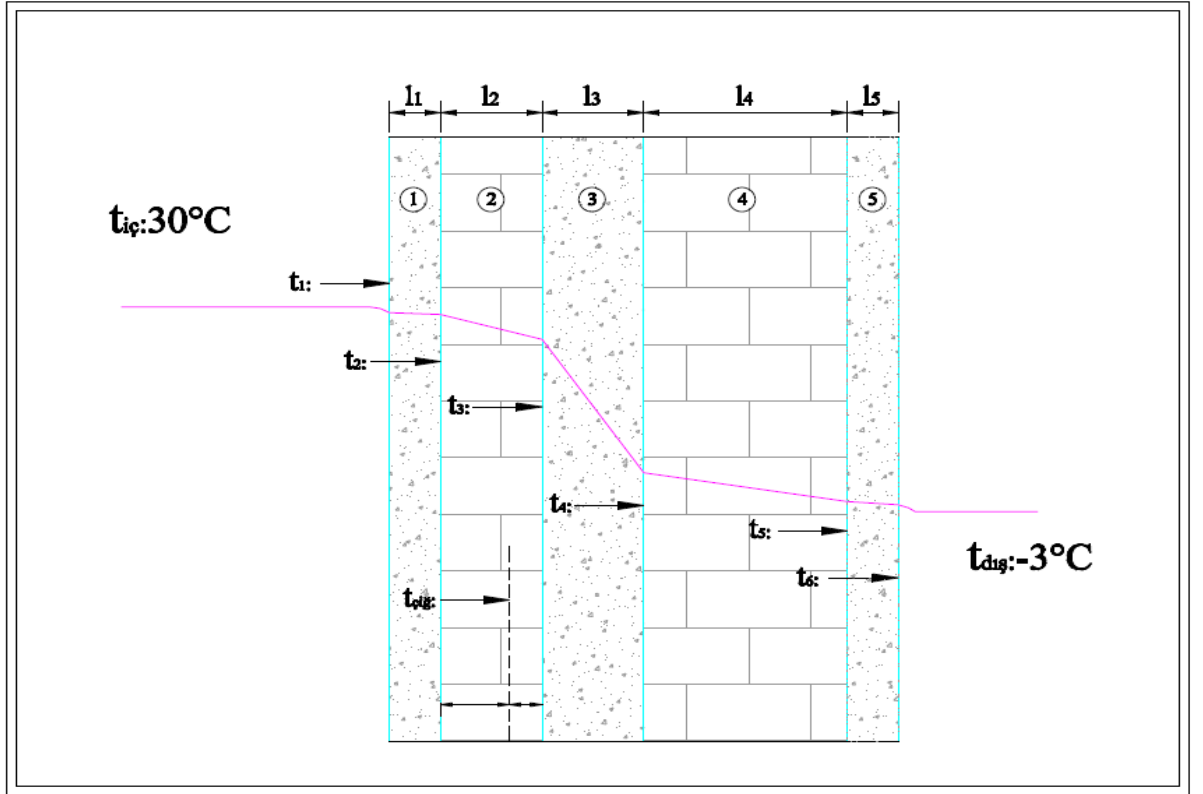
Yapı elemanının iç yüzey sıcaklığı, tespit edilen çiğ noktası değerinden daha sıcak olmalıdır. Aksi halde yapı elemanı üzerinde yoğuşma meydana gelecek ve zamanla yapıya zarar verecektir. Yeterli izolasyonun sağlanmasından sonra ayrıca izole malzemesinin sıcak yüzüne “buhar kesici” tabaka uygulanmalıdır.

Yoksa ;

- İyi izole edilmemiş bina dış yüzeyleri, iç ve dış kısımlardan,
- İzole edilmiş fakat buhar kesici tabaka yapılmamış bina dış yüzeyleri ise dış kısımlardan, aşırı ıslaklık problemleriyle karşılaşacaktır.

Dış yapı elemanının içten dışa doğru sıcaklık değişimleri şu şekilde hesaplanabilir:

Önce malzeme cins ve kalınlıklarına göre ısı iletim katsayısı (K) hesaplanır:



Şekil 2. 4 İzolasyonlu dış duvarın içinde sıcaklık dağılımları

$$U = 1 / (1/\alpha_i + l_1/\lambda_1 + \dots + 1/\alpha_d) \quad (2.3)$$

U: ısı iletim katsayısı (W / m² . °K)

α_i : iç yüzey film katsayısı (W / m² . °K)

α_d : dış yüzey film katsayısı (W/ m² . °K)

l: malzeme kalınlığı(m)

λ : malzeme ısı iletim katsayısı (W/ .m .°K)

Daha sonra, 1 m² yapı malzemesi için ısı kaybı (Q) bulunur.

$$Q = U.A. (t_i - t_d) \quad (2.4)$$

Q: toplam ısı kaybı (W)

U: ısı iletim katsayısı (W/ m² . °K)

A: yüzey (m²)

t_i : iç sıcaklık (°K)

t_d : dış sıcaklık (°K)

İçten dışa doğru, sırayla tüm malzemelerin başlangıç noktalarındaki yüzey sıcaklıkları hesaplanır.Burada film katsayıları da malzeme gibi ele alınır:

Birinci malzeme iç yüzey sıcaklığı(film tabakasının arkası):

$$t_1 = t_i - (Q / A) .(1/\alpha_i) \quad (2.5)$$

İkinci malzeme iç yüzey sıcaklığı (birinci malzemenin arkası)

$$t_2 = t_1 - (Q/A) .(l_1/\lambda_1)(2.6)$$

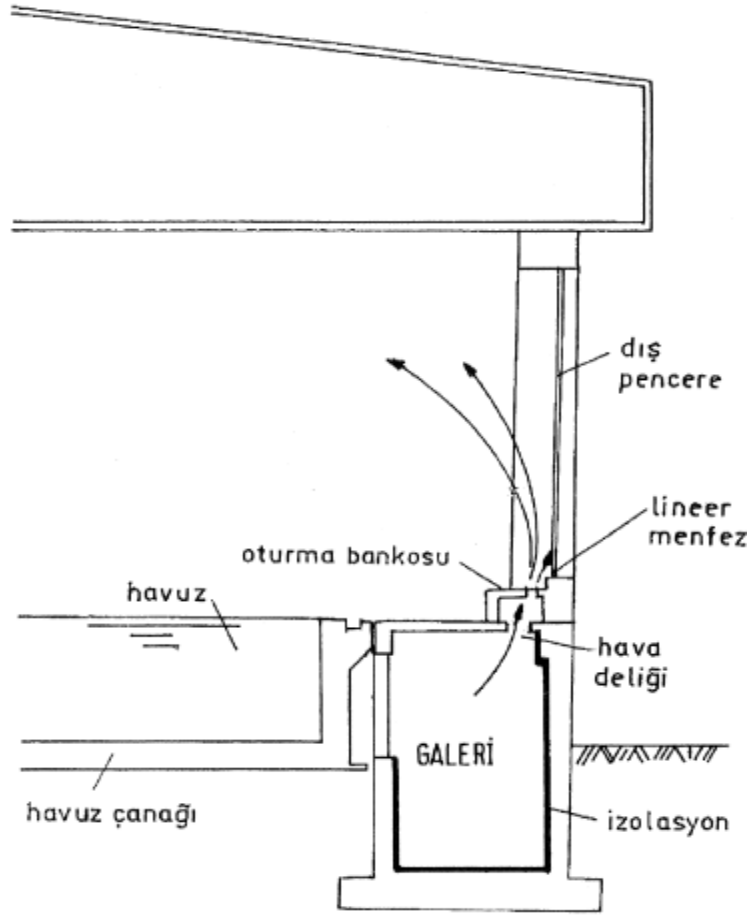
2.3.3 Hava Kanalları Geçiş Yerleri ve Santral Odası

Binanın avan mimari proje aşamasında ele alınması gereken konularda biri de, havalandırma tesisatının yerleşimidir.Normal yapıların projelerinde daha ileri adımlarda gündeme gelen bu konu, kapalı havuz klimasında hava debilerinin bir hayli yüksek (örneğin 1.000 m² havuz yüzeyi için 80.000 ila 100.000 m³/h mertebelerinde) olması nedeniyle başlangıçta çözümlenmelidir.

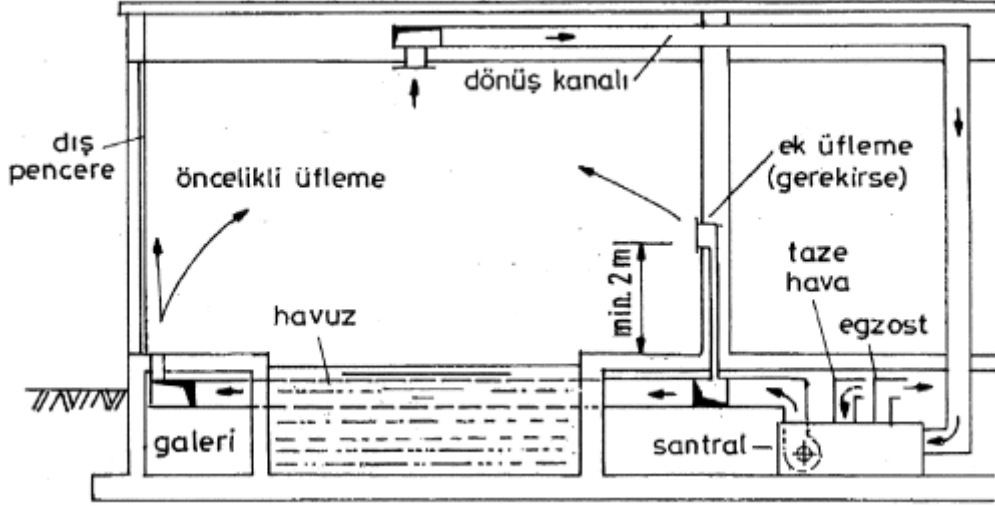
Üfleme Kanalları: Holün yapısında ısı izolasyonun en zayıf olduğu malzeme pencerelerdir. Kışın sıcak olan üfleme havası dış pencerelerin yüzeylerine doğru üflenerek buralardaki muhtemel yoğuşma olayları önlenmiş olur.

a) Galeriden hava üfleme (Şekil 2.5) ,

b) Döşeme seviyesinden ve üst seviyeden üfleme (Şekil 2.6) ,



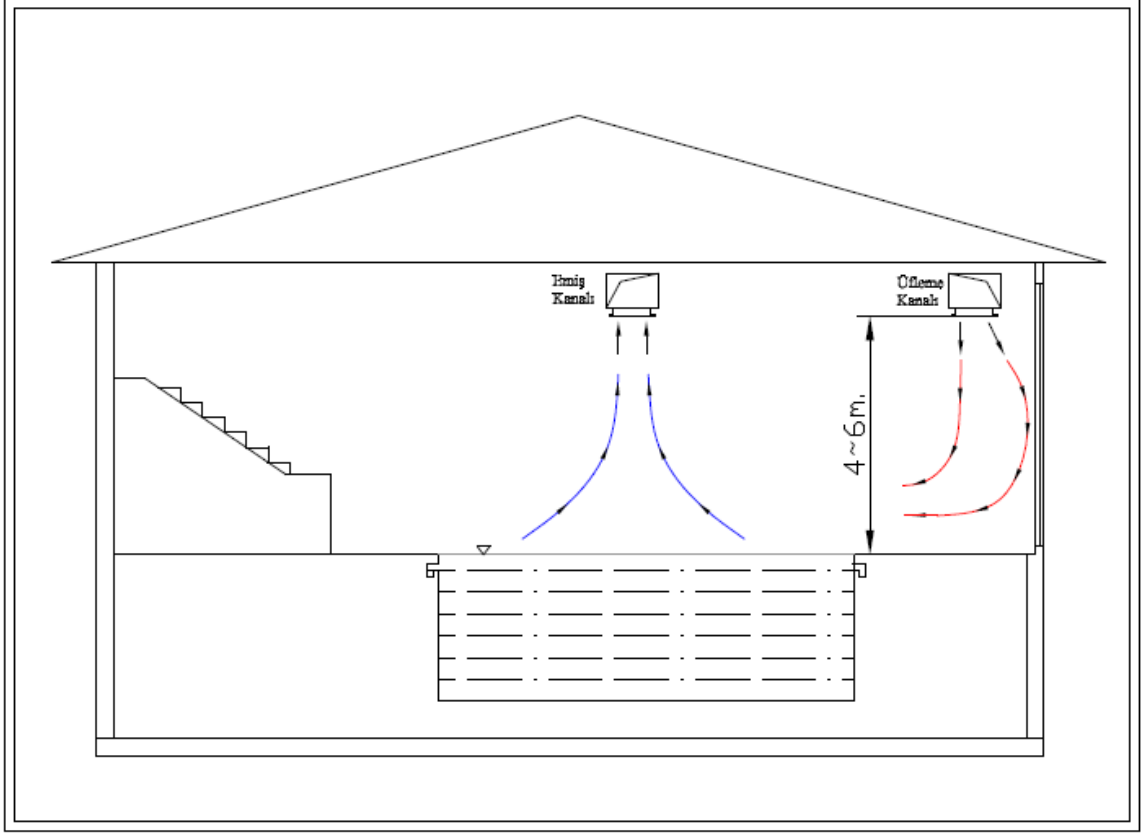
Şekil 2. 5 Galeriden hava üflenmesi (İbrahim İşbilen ,MMO , 1995)



Şekil 2. 6 Döşeme seviyesinden ve üst seviyeden hava üflenmesi (İşbilen İ. ,MMO , 1995 , VDI 2089)

Yukarıda ki her iki üfleme şeklinde menfezler, havuz çanağını çevreleyen galeri boşluğunun tavanından geçen ana kanaldan beslenir. Alt katta havuz çanağı bulunmaktadır. Çanağın dört bir yüzeyini çevreleyen PVC havuz suyu tesisatı için bırakılmış bir "galeri" boşluğu vardır ve ana üfleme kanalı buradan geçirilir.

Orta büyüklükteki ve özel küçük havuzlarda düzgün bir dış cephe ve dış pencere yapısı olmayabilir. Üfleme kanalları iç hacim tavanından geçirilir ve dış pencerelere doğru olan üfleme, pencere üzerinden aşağı doğru yapılabilir. (Bkz. Şekil 2.7). Pencerelerin haricinde hole doğrudan üfleme yapılacaksa, üfleme havasının yüzücüleri rahatsız etmemesi için, menfezler yerden 2,0- 2,5 m kadar yükseğe ve hava hızı kontrolü yapılarak yerleştirilir.



Şekil 2. 7 Pencerelere üstten hava üflenmesi

Dönüş Kanalları : Havuz havasındaki yüksek nemin, kimyasal buharın ve klor kokusunun çevredeki bölümlerde rahatsızlık yaratmaması için, hol hava basıncının mümkünse 15 –30 Pa kadar negatif olması istenir. Bu nedenle dönüş havası, üfleme havası debisinden %5 civarında daha yüksek seçilmelidir.

Holden emilecek havanın en uygun toplama noktaları, havuz su yüzeyinin mümkün olduğu kadar üst ve orta kısımları olacaktır. Bu şekilde havuz boyunca bir kenardan yada her iki kenarından üflenen kuru hava havuz yüzeyi üzerinde buharlaşan suyu da bünyesine alarak orta bölümlerin tavanındaki emiş kanallarından yükselerek tekrar santrale döndürülür. Böylelikle nemli havanın sürekli kontrolü sağlanır . Dönüş havası, üfleme hava debisinden % 5 civarında daha yüksek seçilmelidir. Bu fark her seferinde egzost havası ile dışarı atılır.¹

Santral Odası: Küçük yüzeyli havuzların yapımında santral odası ayrılmasına gerek yoktur. Buralarda ısı pompası sistemi ile yapılmış küçük ve orta kapasiteli nem alma cihazları ile “kurutma” işlemi ve kısmen de ısıtma işlemi gerçekleştirilebilir. Bu

cihazların ana görevi havadaki nemin alınması olduğu için, havuz holünün ısıtılması bilinen usullerle çözülmelidir. Bu durumda ayrıca taze hava ve egzost sistemi yapılması gerekecektir. Kış şartlarında çalışmaya göre bu seçim yapılacağı için ısı geri kazanımlı havalandırma cihazları hem doğal nem alma sistemi olarak çalışacak hem de aynı anda taze hava ve egzost havalandırma problemini çözmüş olacaktır. Kompakt ısı pompası yada rotorlu nem tutuculu paket sistemler ile bu tip havuzlar için daha ekonomik çözümler sunacaktır.

Ortalama 100 ila 300 m² su yüzeyinden itibaren merkezi klima tesisatı ve dolayısıyla santral odası yapılması kaçınılmaz olur. Santral odası, egzost ve taze hava dahil tüm kanallarının bodrum kattaki geçiş mesafelerini en az uzunluğa indirecek şekilde yerleştirilmiştir. Ayrıca, havuz kimyasallarının pompalandığı dozaj istasyonundan ve ısıtma merkezinden uzak olmalı.

Büyük kapasiteli santrallerin ve bunlara ait kanalların yerleştirilmesinde zorluk çekildiği için, büyük havuzlarda iki veya üç adet santralin paralel çalıştırılması zorunlu olmaktadır. Bu durum aslında, düşük yük zamanlarında tek bir santralin çalıştırılması ile enerji tasarrufu sağladığı ve ayrıca arıza halinde yedekleme olanağı yarattığı için işletmede fayda sağlamaktadır. Aynı görüşle, nispeten daha küçük kapasiteli tesisatlarda da iki adet santral kurulması düşünülebilir.

Santrallerin debi ve sayıları yaklaşık olarak avan proje aşamasında belirlenmeli, kanal kesitleri hesaplanmalı ve santral odası büyüklüğü saptanmalıdır. Oda "net yüksekliği" incelenmeli, gerekiyorsa bu kısım için zemin suyu kontrol edilerek düşük döşeme uygulaması yapılmalıdır.²

^{1,2} [5] İşbilen, İ. , (1995) MMO , " Kapalı Yüzme Havuzları , Klima ve Nem Alma Tesisatları" , Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi , 1995

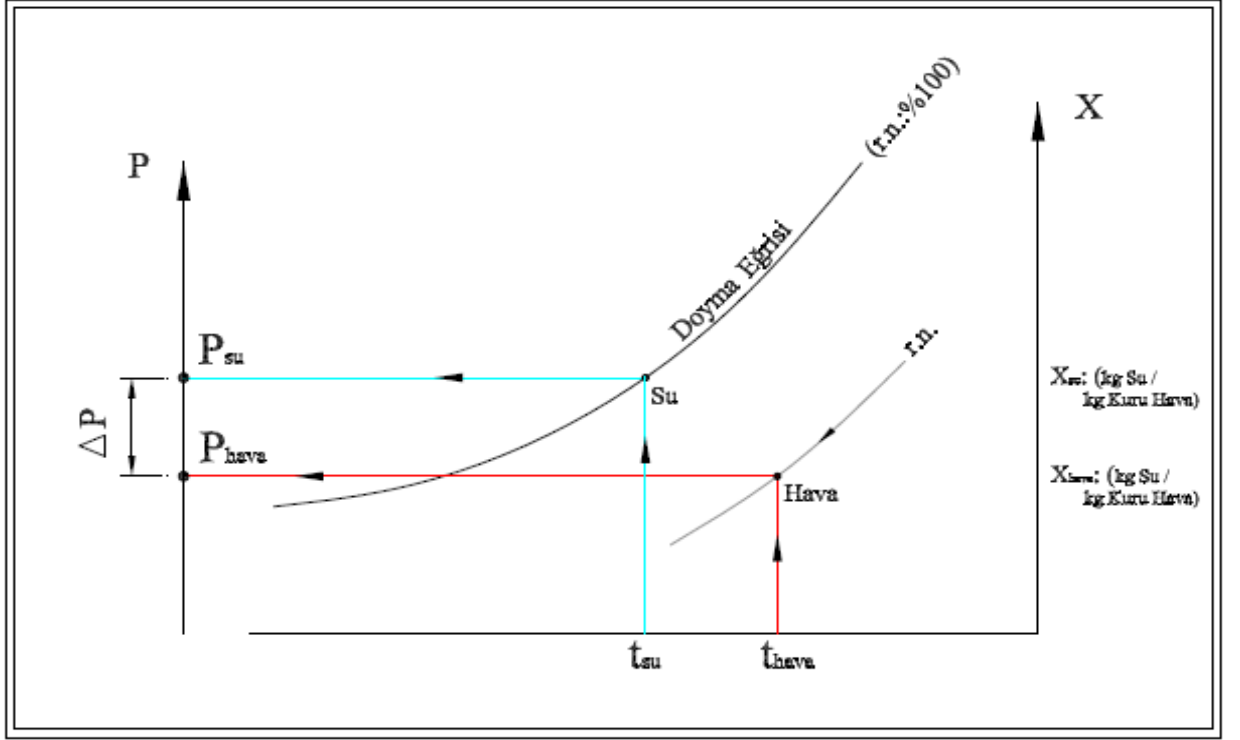
KAPALI YÜZME HAVUZLARINDA BUHARLAŞMA HESAPLARINA GENEL BAKIŞ

Bir su yüzeyinden buharlaşan suyun birim zamandaki miktarı, su yüzeyindeki film tabakasının basıncı ile ortam havası basıncının farkına göre değişir. Miktar, bu fark ile doğru orantılı olarak artar. Bu oran aynı zamanda nem kütleleri arasındaki fark olarak da düşünülebilir.

Psikometrik kartta, bilindiği gibi; su yüzeyi film değeri doyma eğrisi ($q = \%100$) üzerinde belirtilmektedir. Diğer bir anlatımla, “ su sıcaklığı = YT ” sıcaklığı olarak ele alınmaktadır.

Basınç farkı (ΔP) arttıkça, buharlaşan su miktarı ve buharlaşma hızı da artacaktır. Bu farkın azalmasıyla buharlaşma miktarı ve buharlaşma hızı da azalır, fark sıfırlanınca buharlaşma durur; fark negatife dönüşürse, yani su yüzeyi basıncı hava basıncının altına düşerse bu kez hareket ters yöne çevrilir ve havadaki su buharı yoğuşarak suya karışır.

Daha önce (Kapalı Havuz Tipleri) bölümünün (Süs Havuzları) paragrafında yer alan “havuz suyu sıcaklığının düşürülmesiyle buharlaşmanın önlenebileceği” ifadesi, yukarıda verilen bilgilerin ışığı altında açıklığa kavuşmuş olmaktadır. Bu tip küçük havuzlarda su- hava basınç farkının minimuma indirilmesi, yani suyun biraz soğutulması, problemi çözecektir.,



Şekil 3. 1 Su yüzeyi – hava basınç farkı

Havuzlardaki buharlaşan su miktarını hesaplamada aşağıda ayrı kaynakların verdiği ifadeler üzerinden inceleyeceğiz.

3.1 VDI 2089 Normuna Göre Buharlaşma İfadesi:

Kapalı havuzlarla ilgili Almanya'da geliştirilmiş bir normdur.

$$W = A_b \cdot e \cdot (P_s - P_d) \quad (3.1)$$

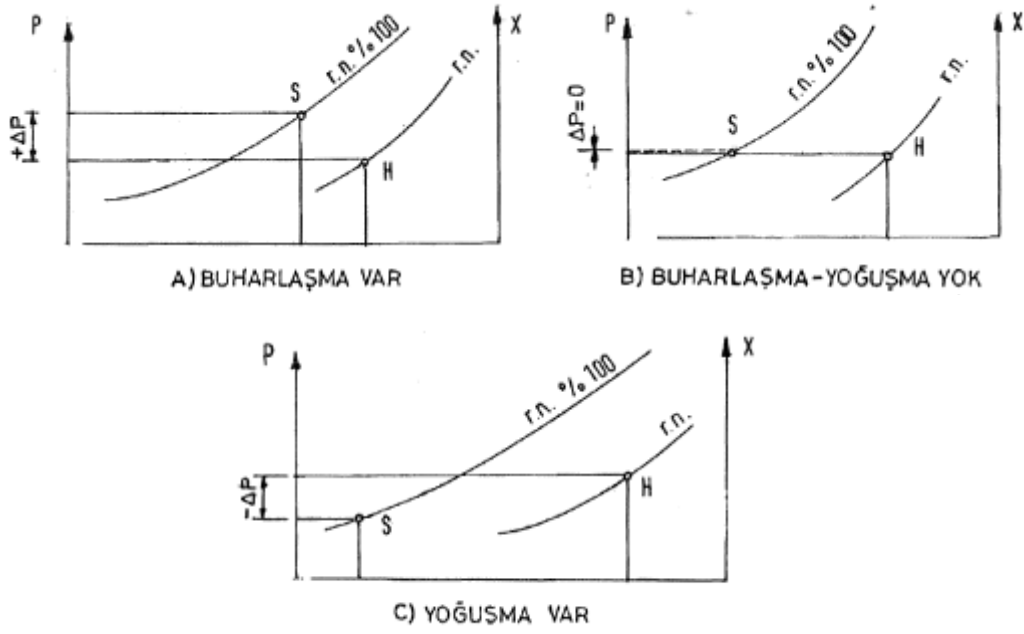
W: buharlaşan su miktarı (g/h)

A_b : su yüzeyi (m²)

e: toplam buharlaşma sayısı (g/h. m².mbar)

P_s : su sıcaklığındaki havanın doyma eğrisindeki basıncı (mbar)

P_d : hol havasının basıncı (mbar)



Şekil 3. 2 Su yüzeyi – Hava arasındaki su buharı kısmi basınçları arasındaki farka göre buharlaşma durumları (İşbilin İ. ,MMO , 1995 , VDI 2089)

Norm, buharlaşma sayısı için üç ayrı kullanım etkinliğine göre değer vermektedir:

Düşük işletme $e = 13 \text{ g/h.m}^2.\text{mbar}$ (özel havuzlar, otel havuzları)

Orta işletme $e = 25 \text{ g/h.m}^2.\text{mbar}$ (normal kullanımlı havuzlar)

Aşırı işletme $e = 35 \text{ g/h.m}^2.\text{mbar}$ (yatay dalgalandırılmış özel yarışma havuzları)

İfadede belirtilen e değerini belirlemede aynı normda , değişik su sıcaklıklarında buharlaşma faktörünün değişeceği göz önünde bulundurularak ayrıca hesaplanması hedeflenmiştir.

$$e = \frac{\beta}{R_D \cdot T} \text{ [kg / h.m}^2 \text{ Pa]} \quad (3.2)$$

R_D : Su buharı için özel gaz sabiti (461.52 J/kgK)

T : Ortam sıcaklığı ile su sıcaklığının aritmetik ortalaması ($^{\circ}\text{K}$ cinsinden)

Çizelge 3. 1 Su buharlaşma faktörü tablosu (VDI 2089)

Havuz tipleri	Pasif mod β_u	Aktif mod β_b
Özel Havuzlar	7	21
Havuz derinliği > 1,35m	7	28
Havuz derinliği < 1,35m	7	40
Dalgalı Havuzlar	7	50
Su kaydıracağı olan havuzlar	-	50

3.2 Recknagel'e göre Buharlaşma İfadesi

$$W = o \cdot (x'' - x) \cdot A_b \quad (3.3)$$

W: birim yüzeyden buharlaşan su miktarı(kg/h)

o: buharlaşma sayısı (kg/h.m².(kg/kg))

x'': su sıcaklığındaki havanın doyma eğrisindeki mutlak nemi (kg/kg)

x': hol havasının mutlak nemi (kg/kg)

$$o = 25 + 19 \cdot V \quad (3.3a)$$

Havuzdaki kullanım etkinliğinin şiddetine bağlı olan su yüzeyindeki "hava hızı"nı belirtmektedir ve aşağıdaki değerler tavsiye edilmektedir.

Özel havuzlar $V = 0,1$ m/s

Otel havuzları $V = 0,3$ m/s

Genel havuzlar $V = 0,5 \text{ m/s}$

3.3 Ashrae'ye göre Buharlaşma İfadesi

$$W = A_b \cdot (0.0887 + 0.07815 \cdot v) (P_s - P_d) \cdot Y \quad (3.4)$$

W : buharlaşan su miktarı (kg/s)

A_b : su yüzeyi (m^2)

v : su üzerindeki hava hızı (m/s)

Y : suyun buharlaşma gizli ısısı (kJ/kg)

P_s : su sıcaklığındaki havanın doyma eğrisindeki basıncı (kPa)

P_d : hol havasının basıncı (kPa)

Ashrae' de hava hızı ve bu hızın vektörel durumu ile ilgili ayrıntılar bulunmamakta, sadece formül ortalama bir (Y) değeri ve $0,05 - 0,3 \text{ m/s}$ hava hızları için sadeleştirilerek;

$$W = A_b \cdot (P_s - P_d) / K_b \quad (3.5)$$

şeklini almaktadır.

İfadede geçen K_b değeri $20.000 \sim 25.000$ aralığında seğilen hız ile ters orantılı olarak seçilebilir.

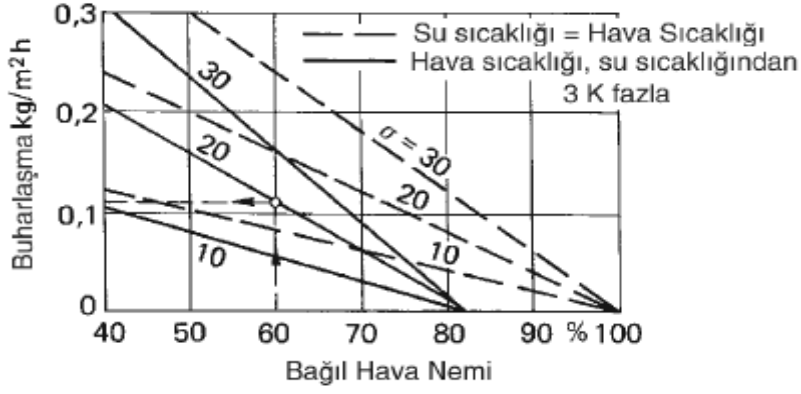
Recknagel'de kapalı havuzlar için verilen bu ifadeye benzer başka bir ifadeye hızlı hesap yapılması için formül basitleştirilmiştir.

$$W = \sigma (x_s - x) (kg/m^2h) \quad (3.6)$$

σ : Buharlaşma Katsayısı

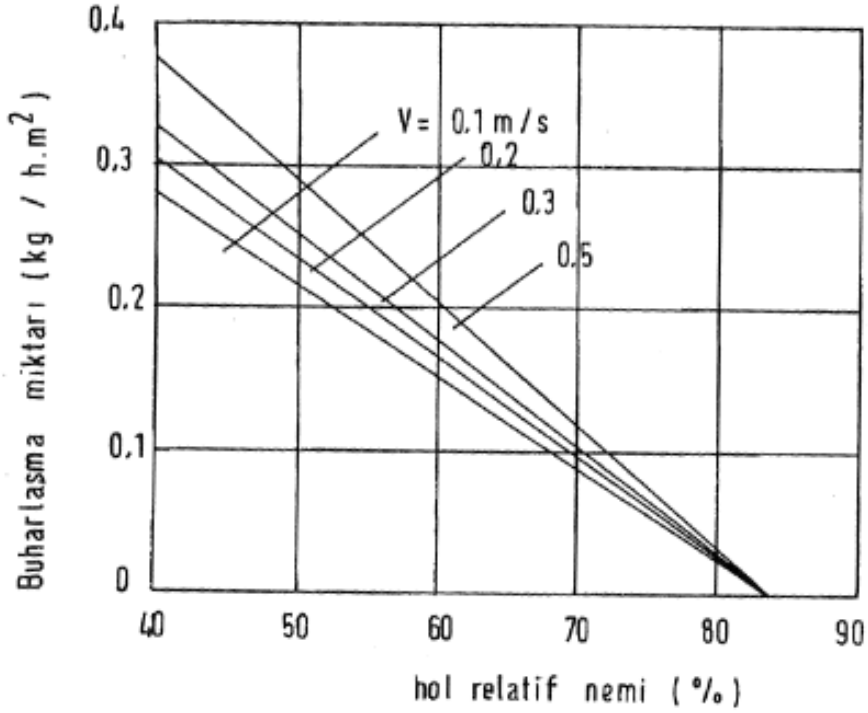
x_s : Su sıcaklığındaki havanın doyma eğrisindeki mutlak nemi (kg/kg)

x : Havuz üzerindeki havanın mutlak nemi (kg/kg)



Şekil 3. 3Kapalı yüzme havuzlarında su buharlaşması“W”için kılavuz değerleri
($T_{su}=24\sim 28^{\circ}C$) [1]

Recknagel'in bu yaklaşımına başka bir bakış açısı da su yüzeyine paralel hava hızı değeri biliniyorsa birim alandan buharlaşma miktarı değerini aşağıda oluşturulan grafikten okuyarak tespit etmeye dayanır.



Şekil 3. 4 Hava hızlarına bağlı buharlaşma miktarları grafiği (Tortam – $T_{su} : \sim 3^{\circ}C$) [8]

Çizelge 3. 2 Sıcaklık ve neme bağlı buhar basıncı tablosu

BUHAR BASINCI TABLOSU (Pa)													
t (oC)	Bağıl Nem (%)												
	40	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	100
25	1270	1584	1616	1647	1679	1711	1742	1774	1806	1837	1869	1901	3170
26	1340	1681	1715	1748	1782	1815	1849	1883	1916	1950	1983	2017	3360
27	1430	1783	1819	1854	1890	1926	1961	1997	2032	2068	2104	2139	3560
28	1510	1890	1928	1966	2004	2041	2079	2117	2155	2193	2230	2268	3780
29	1600	2003	2043	2083	2123	2163	2203	2244	2284	2324	2364	2404	4000
30	1700	2122	2164	2207	2249	2292	2334	2376	2419	2461	2504	2546	4240
31	1800	2247	2292	2337	2381	2426	2471	2516	2561	2606	2651	2696	4490
32	1900	2378	2425	2473	2520	2568	2616	2663	2711	2758	2806	2853	4750

3.4 Diğer Buharlaşma İfadeleri

Yukarıda incelenen buharlaşma formüllerinin haricinde çeşitli kaynaklarda farklı korelasyonlar bulunmaktadır. Bu korelasyonlar havuzların farklı özelliklerine göre buharlaşma miktarının ve hızının değişeceği gerçeğinin somutlaştırılması üzerine çalışmalarlardır. Örneğin bir çalışmada içinde aktivite olan bir havuzda su yüzeyindeki dalgalanmanın oranına göre buharlaşma miktarlarını etkileneceği ortaya konmak istenmiştir. Dalgalı bir havuzun durgun havuzlara göre daha aktif olarak buharlaşma sağlayacağını tahmin edebiliyoruz ancak eğer havuz yüzeyindeki dalgalanmanın ne oranda olduğu tespit edilebilir ve sayısal olarak ölçülebilir bir nitelik kazandırılırsa

buharlaşma miktarı ampirik ifadelerle formulize edilebilir bir hal alabilir. Bunun üzerine C.C. Smith (1999) içinde aktivite olan ve olmayan havzular için yaptığı deneysel sonuçlara dayanarak aşağıdaki ampirik ifadeleri vermiştir.

Aktivite olmayan havzular için;

$$E = (C + 0,35V) A_p \Delta P / I \quad (3.7)$$

İfadede C barometrik basınca bağlı bir katsayıdır (C=72 – Rakım:1524m. ; C=69 Deniz seviyesinde)

Carrier'in ifadesini C.C. Smith ve arkadaşları içinde aktivite olan havzular için düzenleyerek

$$E = (0,068 + 0,063 F_u) A_p \Delta P / I \quad (3.8)$$

korelasyonunu önermiştir.

İfadede " F_u " havuz kullanım faktörü olarak verilmiştir ($F_u = \frac{A_{max}}{A_p/N}$; Amax:Kişi başına

düşen max. Havuz Kullanım alanı – Alman standartlarında 4,5m² geçmektedir - , A_p :Havuz Yüzey Alanı , N: kullanıcı sayısı)

Başka bir modelde Hannsen ve Mathisen [1] aşağıdaki ifadeyi öngörmüşlerdir.

$$E = 3 \times 10^{-5} V^{\frac{1}{3}} (e^{0.06T_w} \phi_a e^{0.06T_a}) \quad (3.9)$$

İfadede $V = [V_a^2 + (0.12 (4(1 - \phi_a) - (T_a - T_w))^{0.5})^2]^{0.5}$; T_w su yüzey sıcaklığı (°C); T_a hava sıcaklığı (°C); ϕ_a havanın bağlıl nemini belirtmektedir.

M.M.Shah'ın serbest ve hareketsiz havuz yüzeyinden oluşan buharlaşma için verdiği bir ifade aşağıdaki gibidir.

$$E = K \cdot A_p \cdot (\rho_w (\rho_r - \rho_w))^{1/3} \cdot (W_w - W_r) \quad (3.10)$$

, $\rho_r - \rho_w < 0,02$ ise $K=40$, $\rho_r - \rho_w > 0,02$ ise $K=35$. Bu formül geniş ölçekteki su sıcaklıklarında ve havanın bağıl neminde (28-98 %) geçerlidir.

Yine Shah deneysel sonuçlara dayandırdığı aşağıdaki ampirik ifadeyi içinde aktivite olan havuzlar için önermiştir.

$$E = A_p \cdot (0,113 - 0,000079/F_u + 0,000059\Delta P) \quad (3.11)$$

Bu ifade normal aktivitedeki kapalı havuzlar için verilmiştir. (N havuz kullanıcı sayısı , 40'dan az ; su sıcaklığı (25-30°C) , hava sıcaklığı (26-31,7°C) ; havanın bağıl nemi (33-72%) .

$$A_{Islak\ G\ddot{u}verte} = F_u \times A_{havuz} \quad (3.12)$$

Fu değeri yine havuz kullanım faktörünü belirtmekte olup aşağıdaki şekilde formülize edilmiş.

$$F_u = \frac{A_{max}}{A_{havuz}/N} \quad (3.13)$$

N havuzdaki kullanıcı sayısı , A_{max} . maksimum dolulukta kişi başına düşen alan olarak tanımlanmış.

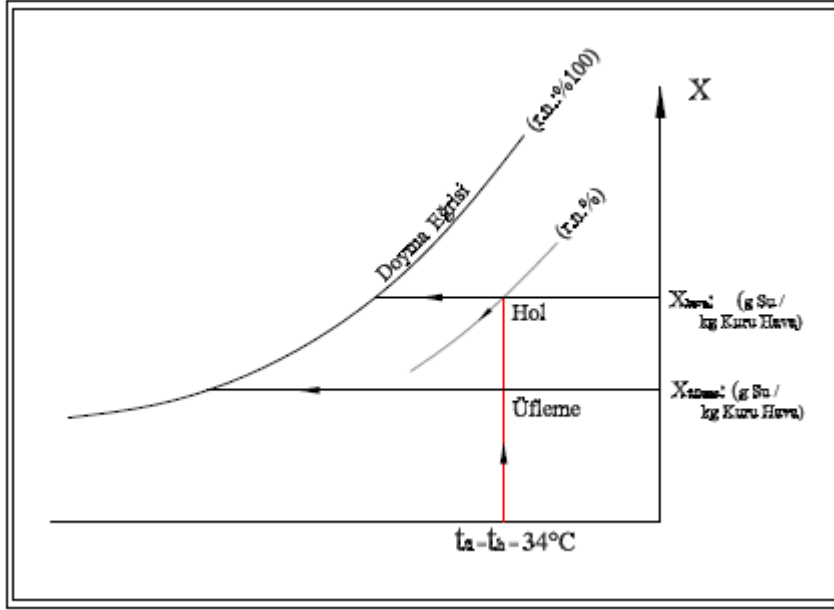
Yukarıda incelenen tüm bağıntı ve korelasyonlar enerji dengesi bağıntılarından ve deneysel sonuçlardan elde edilmiştir. Enerji denkliklerinden elde edilen formüllerde pek çok kabul yapılması zorunlu olduğu için bu ifadeler deneysel ifadelerle birleştirilerek ampirik ifadeler oluşturulmuştur. Farklı durumlar için katsayılar tanımlanmış ve gerçek durumlara bu yolla daha yakın sonuçlar elde edilmesi hedeflenmiştir.

KAPALI YÜZME HAVUZLARINDA NEM ALMA SİSTEMLERİ

4.1 Dış Hava Kullanımlı Tesisatlar

Dış hava kullanılarak nem alma esasına dayanan klasik tesisat türlerinde, dış havanın daha yüksek miktarda nem taşıdığı yaz mevsimi çalışma şartları önem kazanmaktadır. Her ne kadar kapalı havuz kış mevsiminde spor yapılabilmesini sağlamak amacıyla inşa edilmiş ise de, yapılan yatırımdan tüm yıl boyunca yararlanılmak istenilmesi hesaplara esas alınmalıdır.

İşletmecinin isteği havuzun yaz mevsiminde de kullanımı yönünde ise, hava debisi yaz mevsimi şartlarına göre seçilmeli, daha sonra kış mevsimine uygunluğu kontrol edilmelidir. Yaz mevsiminde dış hava daha nemlidir ve ayrıca ısıtılmasına gerek yoktur, bu nedenle yaz çalışmasında %100 dış hava kullanılır, amaç, dış hava şartlarını olabildiğince içeriye taşımaktır.



Şekil 4. 100 dış havalı nem alma akış şeması [5]

Kış mevsiminde dış havanın kuruluğu istenen şartların da altında olduğu için çok kuru olan havayı üfleme şartlarındaki nem oranında nemlendirmek için iç hava ile dış hava karıştırılır. Bu karışım oranı “Dış Hava Oranı” olarak adlandırılır. Sistemin çalışmasına esas olan en yüksek nem oranındaki üfleme havası yaz şartlarında oluşacaktır. Bu tip çalışmada %100 dış havalı çalışacağı için sistem maksimum debide hava üfleyecektir. Dış hava oranı da en yüksek kuruluk ile en düşük kuruluk oranındaki üfleme havasının birbirine oranı olarak karşımıza çıkmaktadır.

$$DHO = \frac{(x_{\bar{u}} - x_d)}{(x_h - x_d)} \quad (4.1)$$

$x_{\bar{u}}$: Üfleme havasının nem oranı (kg su / kg kuru hava)

x_d : Kış şartlarındaki dış havanın nem oranı (kg su / kg kuru hava)

x_h : Havuz holündeki iç havanın nem oranı (kg su / kg kuru hava)

ve

$$t_k = DHO \cdot (t_h - t_d) + t_d \quad (4.2)$$

t_k : Karışım havasının sıcaklığı (°C)

formülleriyle hesaplanabilir

Havanın hol şartlarına kadar “geri ısıtma” işlemi için harcanacak enerjiyi, aşağıdaki formülle hesaplayabiliriz;

$$Q_{g1} = M \cdot c_{h.} \cdot (t_h - t_k) \cdot y \quad (4.3)$$

$c_{h.}$: havanın ısınma ısısı = 0,279 W.h /kg.°C

Yaz ve kış çevrimlerinin incelenmesinde görüldüğü gibi tesisat, nemli yaz günlerinde maximum, kuru kış günlerinde ise minimum dış hava ile çalışacaktır.

Bu uygulamada “minimum” değerdeki dış havanın bile bir hayli fazla kullanılması nedeniyle, daha önce açıklanan esaslara göre hesaplanacak “taze havanın gereğinden çok daha fazla miktarlarda alınmakta olduğu görülmektedir.

İzmir iklim şartlarında çalışan bir havuz, daha nemli dış hava ile çalışacağı için bir hayli yüksek hava debisi gerekmektedir.

Hava debisini aynı miktarda sabit tutarsak, kışın en soğuk günde alınan dış hava oranı % 51' e kadar düşecek, diğer günlerde bu oran yükselecektir.

Dış hava sistemli tesisatlarda, dönüş havasını kontrol eden higrostat oransal olarak “egzost + karışım + taze hava” damper sistemine kumanda eder; iç nemin yükselmesine paralel olarak dış hava oranını artırır, verilen örneklerde görüldüğü gibi dış havanın nem oranının yükselmesiyle bu oran % 100 değerini bulur. Tesisatın ısıtma kontrolü ise normal konfor tesisatlarında olduğu gibi yapılır. Dönüş havası sıcaklığı izlenerek oransal servomotor ile santral ısıtma eşanjörünün sıcak su vanasına kumanda edilir. İçeride soyunuk insanlar bulunacağından, üfleme havası alt sınır sıcaklığı kontrolü mutlaka yapılmalıdır.

4.2 Isı Pompalı Sistemler

Isı pompası sistemi ile yapılmış kapalı havuz klima tesisatı, normal klima tesisatlarında bulunanlara benzeyen bir “mekanik soğutma” devresiyle donatılmıştır. Bu soğutma sisteminde, çevrimin “soğuk bölgesi” nde (evaporatörde) yoğuşturulmak suretiyle havanın nemi alınmakta ve bu arada hava istenilmeden soğutulmuş olmaktadır; sistemin

“sıcak bölgesi” nde (kondenserde) ise, bir önceki işlemde istek dışı soğutulan hava bu defa ısıtılmaktadır, öyle ki, ısıtma işleminin soğutma işleminden daha yüksek kapasitede sağlanması mümkün olmaktadır, işte bu yüksek ısıtma kapasitesi çok zaman fazla gelmekte fakat dışarıya atılmayarak başka bir yerde (genellikle suyun ısıtılmasında) değerlendirilmektedir.

Isı pompası sistemini harekete geçiren parametre , holdeki nemin yükselmesidir, nem yükseldiğine göre havuzda buharlaşma var demektir.Buharlaşma olduğu sürece suda soğuma vardır.Dolayısıyla ısıtma ihtiyacı vardır .Sudaki buharlaşmanın durduğu anda, suyun ısıtılma gereksinimi de bitecektir, zaten buharlaşma durduğu için ısı pompası sistemi de duracak ve “artık enerji” kalmayacaktır.Suyun buharlaşması ve yoğuşması birbirine zıt, ancak eşdeğer enerjiler ile oluşan fiziksel olaylardır.

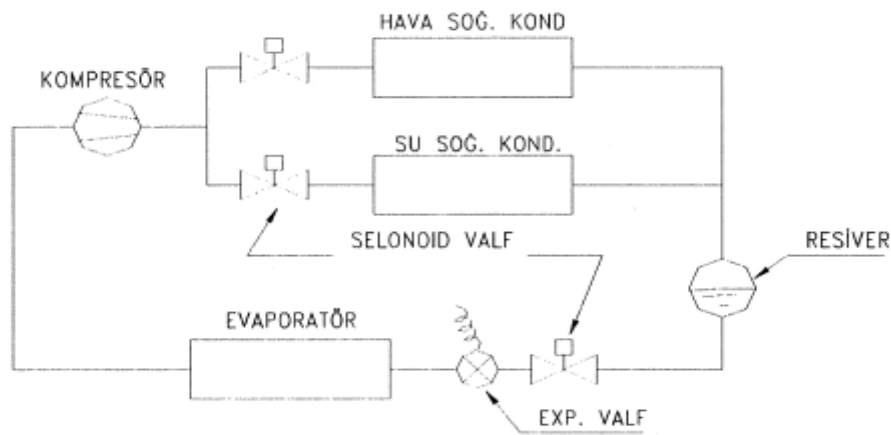
Burada bir parantez açarak, kondenser kapasitesinin soğutma kapasitesinden daima büyük olduğunu hatırlatalım.

$$Q_k = Q_s + P_m \quad (4.4)$$

Q_k : kondenzasyon kapasitesi (kW)

Q_s : soğutma kapasitesi (kW)

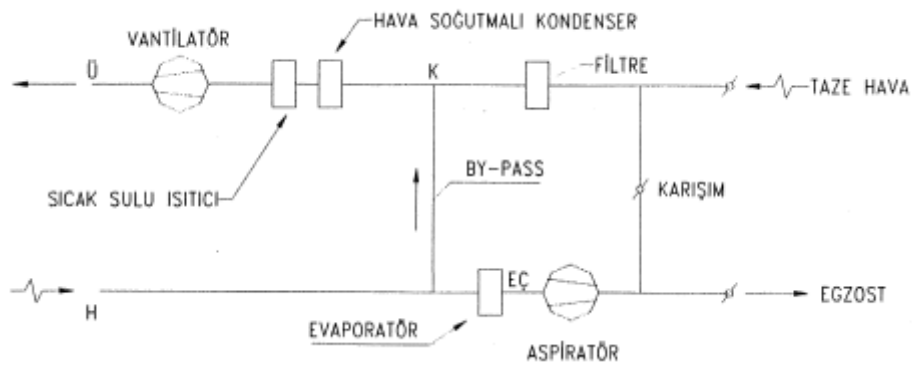
P_m : kompresör motoru mil gücü (kW)



Şekil 4. 2 Isı pompası sistemi soğutma devresi [1]

Havanın soğutularak neminin alındığı evaporatör ile “artık” enerjiyle ısıtıldığı kondenser, bakır boru – alüminyum kanatlı olarak yapılmış birer hava eşanjörüdür.

Havanın ısıtılmasından artan enerjinin kullanıldığı diğer kondenser ise genellikle AISI 316 malzeme ile yapılmış kaynaklı – levhalı tip bir ısı eşanjörüdür ve bir bölümünde soğutucu akışkan (R22 ,R307C , R410A vs.), diğer bölümünde filtrelenmiş havuz suyu dolaşır. Şu halde soğutma kompresörünün birisi hava – diğeri su soğutmalı tip olmak üzere iki adet kondenseri ve sadece hava ile çalışan bir adet evaporatörü bulunmaktadır.



Şekil 4. 3 Isı pompası sistemi hava akış şeması [1]

Hava ile çalışan evaporatör ve kondenserin kanatları, havada bulunan aşındırıcı kimyasal buharlardan korunması için PVC film tabakası ile kaplanmış özel alüminyum folyo ile imal edilmiş olmalıdır.

Isı pompalı bir santralin hava akış şeması görülmektedir. Holden dönen havanın % 30 ila 40 oranındaki bir bölümü evaporatöre girmeden önce by – pass edilerek doğrudan kondenser bölümüne verilmektedir, buradaki amaç , daha fazla hava debisine ihtiyaç gösteren kondenseri besleyebilmektir. By – pass miktarı, seçilecek kondenzasyon sıcaklığına ve kondenser büyüklüğüne göre değişecektir, optimum miktar yapılacak birkaç ayrı hesap ile bulunabilir.

By – pass edilen miktardan sonra kalan hava (toplam debinin % 60 ila 70'i), evaporatörden geçirilir ve soğutularak içindeki nemi alır.

Hava, evaporatör çıkışından sonra “karışım hücrelerine gelmekte ve burada gerekli miktarda egzost yapılarak yerine taze hava alınmaktadır. Dikkat edilirse “dış” yerine

“taze” kelimesi kullanılmıştır.Çünkü ısı pompası sisteminde kurutma işlemi mekanik olarak yapıldığından, bu iş için dış havaya gerek yoktur ve bunun sonucu dış havanın şartları da önemini kaybetmektedir.Bu durumda dışarıdan alınacak havanın, miktarları aşmamasına dikkat edilmelidir.Gerekli taze havanın miktarı, içerdeki insanların sayısına ve hareketliliğine bağlı olarak değişecektir.Gerçek değerlerin temini için günde birkaç kez yeni ayar yapılması gerekir, pratikte bu imkansız olduğu için “ortalama” olarak yapılmış bir ayar, tesisatın ömür boyunca gereksiz enerji sarfiyatına yol açar.Havuz tesisatlarının geceleri de çalıştığı dikkate alınırsa, taze hava ayarının önemi daha da artar.Bu konuda hem konforu hem de tasarrufu sağlamak için “ hava kalite kontrol” paneli kullanılması uygun olacaktır.Bu panelde hava kütlesi değişik seviyelere göre ayarlanabilmekte ve taze hava yapılan ayarın gerektirdiği kadar alınmaktadır.

Dış hava alınmasıyla ilgili bir ayrıntı daha vardır; kış mevsiminde dış hava sıcaklığı evaporatör çıkış havası sıcaklığından daha yüksek ve dış mutlak nem üfleme havası mutlak neminden daha küçük veya eşit ise, hava karışım damperleri otomatik olarak % 100 dış hava ile çalışmaya başlar ve şartlar değişinceye kadar bu çalışma devam ederek enerji tasarrufu sağlanmış olur.

Yeterli miktarda taze havanın alınmasından sonra, salondan dönen nemli hava ile birleşen ve toplam debiye ulaşan hava, önce “hava soğutmalı” kondenserden, daha sonra sulu eşanjörden geçmekte ve vantilatör tarafından havuz holüne gönderilmektedir.

Havuz suyunun ısıtılması için ayrıca kalorifer kazanından beslenen ısıtma eşanjörü tesis edilir.İsı pompasının çalışmadığı zamanlarda ve ilk çalıştırma ile bakım sonrası devreye alma işlemlerinde bu eşanjör kullanılır.

Kış mevsiminde bina ısı kaybı açısından hava debisinin uygunluğu araştırılır ve yetersiz kalıyorsa, daha önce belirtildiği gibi, ucuzluğu nedeniyle aradaki fark alışılmış ısıtıcılarla (radyatör vb.) karşılanır.İsı kaybının bir kısmını da, bu tip yapılar için ideal olan “yerden ısıtma tesisatı” ile sağlanabileceği unutulmamalıdır.Binanın ısı izolasyonu zorunlu olarak çok iyi yapıldığından, soğutma kompresörünün kondenser enerjisi kış mevsiminde ısıtma işlemi için - kompresörün çalıştığı zamanlarda- genellikle yeterli olmaktadır.İçerdeki nemin düşük olduğu ve dolayısıyla soğutma kompresörünün

çalışmadığı zamanlar için santralde normal ısıtma eşanjörü ve kalorifer kazanında buna göre ayrılmış ısı kapasitesi bulunmalıdır.

Yaz mevsiminde de nem almak amacıyla hava istek dışı soğutulduğu için, santraldeki hava soğutmalı kondenser yine "ısıtıcı" görevini sürdürecektir. Kompresör durduğunda, doğal olarak bu kez sıcak sulu hava ısıtıcısının devreye girmesine gerek kalmayacaktır. Yaz mevsiminde bina genelinde ısı kayıplarının düşük oluşu, ısı pompası sisteminin kondenser enerjisinin tam olarak kullanılmasını biraz zorlaştırabilir. Kondenser enerjisinin fazla kısmı yine havuz suyunun ısıtılmasında kullanılır, buradan artacak enerji ile duş boylerinin ısıtılması ve/veya hol sıcaklığının birkaç derece daha yükseltilmesi düşünülebilir.

Isı pompası sisteminde kompresör kapasitesi, %100 dış hava esasına göre hesaplanır. Tazelemek amacıyla alınacak dış hava ihmal edilebilir. Zaten kış mevsiminde alınacak dış havanın etkisinin soğutma kapasitesini düşürme yönünde olacağı bellidir.

$$Q_s = M_e \cdot i \cdot \Delta \gamma \quad (4.5)$$

Q_s : soğutma kapasitesi (kcal/h)

M_e : evaporatörden geçen hava debisi (m³/h)

i : evaporatör giriş-çıkış hava entalpi farkı (kcal/kg)

γ : aspiratör geçişindeki hava özgül ağırlığı (kg/m³)

Soğutma kompresörünün seçiminde, kapasiteyle beraber evaporasyon ve kondenzasyon sıcaklıklarının da bilinmesi gerektiğini hatırlatırız. Bu sıcaklıklar seçildikten sonra evaporatör ve kondenser imalatçısı ile işbirliğine gidilerek daha ekonomik çözümler ile gerekirse bazı düzeltmeler yapılmalıdır.

Evaporasyon sıcaklığı 5 ila 10 °C arasında olabilir. Daha düşük sıcaklıklar extrem şartlarda evaporatörde buzlanmaya neden olacağı için tehlikelidir. Kondenzasyon sıcaklığı 45 – 55 °C arasında seçilebilir.

Soğutma kompresörlerinin;

evaporasyon sıcaklıkları yükseldikçe,

kondenzasyon sıcaklıkları düştükçe,

soğutma kapasiteleri artmakta ve dolayısıyla enerji tüketimleri azalmaktadır.

4.3 Isı Ekonomizeri

Yapılacak tesisatın türü ne olursa olsun, klima santralına bir ısı ekonomizeri tesis edilmesi çok büyük ekonomik faydalar getirecektir.

Dış hava esasına dayanan santrallerde bu ekonomizer , ekzost havası ile alınan dış hava arasına konulur. Isı pompası sistemli tesisatın santralında ise, evaporatör giriş ve çıkış havalarının arasına yerleştirilir.

Uygulamada, “ısı borusu = heat pipe” ve “levhalı” tip ekonomizerler yaygın olarak kullanılmaktadır. Isı borusu tip olanların yapısı, santral hava ısıtıcı eşanjörlerine benzer, boruların içerisinde sıvı – buhar fazları arasında kolay dönüşebilen özel bir akışkan vardır, fiyatları daha pahalı olmakla beraber çok az yer kapladıkları ve hafif oldukları için özellikle “paket tip” cihazlarda kullanılırlar. Daha eski geçmişleri olan levhalı tip eşanjörler büyük boyut ve ağırlıkta olmalarına karşın daha ucuzdurlar.

Her iki tip için, $\eta_{ek} = \% 40-60$ randımanlı seçilmiş ekonomizerlerin uygun çözüm getirecekleri söylenebilir. Her iki yöndeki hava debilerinin birbirine eşit olmaları halinde ekonomizlerin randımanı:

$$\eta_{ek} = (t_{\zeta-dış} - t_d) / (t_i - t_d) \quad (4.6)$$

η_{ek} : ekonomizer ısı randımanı (%)

$t_{\zeta-dış}$: dış havanın ekonomizerden çıkış sıcaklığı(°C)

t_d : dış hava sıcaklığı (°C)

t_i : iç hava sıcaklığı(°C)

aynı formülden, alınan havanın eşanjörden çıkış sıcaklığı;

$$t_{\text{ç-dış}} = t_d + (t_i - t_d) \cdot \eta_{ek} \quad (4.7)$$

olarak bulunur.

İncelendiğinde görüleceği gibi ekonomizer, enerji tüketiminde kendi randıman oran kadar düşme yapmaktadır.Örneğin % 40 randımanlı olarak seçilmiş bir ekonomizer, tüketilecek enerjide de % 40 oranında bir azalma sağlayacaktır.

% 50 randımanlı bir ekonomizerin kullanılmasıyla;

Soğutma kompresörü sayısında bir azalmaya gidilebilir.

Enerji harcamasında yarı yarıya kazanç sağlar.

Soğutma kapasitesinin düşmesiyle ilk tesis masraflarını azaltır.

Ekonomizere yapılan yatırım, başlangıçta çok fazlası ile geri alınır.

Dış havalı sistemlerde ekonomizer 'in amortisman müddetinin tesisin çalışmaya başlamasından sonraki tarihlerde fakat kısa bir vadede olacağı tahmin edilebilir, kesin tespit ekonomizer büyüklüğü ve yakıt cinsi seçimi yapıldıktan sonra güncel fiyatlara göre belli olacaktır.

KAPALI YÜZME HAVUZLARINDA ISI TRANSFERİ HESAPLARI

Kapalı yüzme havuzlarında ısının ortamda ve havuz suyunda sabit tutulabilmesi için sadece yapının ısı kaybını karşılamak yeterli olmayacaktır. Daha önceki bölümlerde incelenen termik denge hesaplarını ölçüm alanı için tekrar inceleyerek analiz edeceğiz.

Kapalı yüzme havuzundaki enerji ihtiyacının en önemli kısmını su buharı dengesinin sağlanması oluşturmaktadır. Havuz yüzeyinden buharlaşan suyun yarattığı soğutma etkisi ve bu su buharının ortam havasına karışması nedeniyle yükselen bağıl nemin tekrar istenen koşullara getirilmesi için harcanan soğutma enerjisi ve ardından gerekli iç sıcaklığa getirilmesi için tekrar ısıtılması için harcanan enerji tesisin ısı enerjisi ihtiyaçlarını bize göstermektedir.

Bunun haricinde iletim ve taşınım yoluyla ısı kaybı , ışınım ile ısı kaybı , buharlaşan su miktarının geri beslenmesi için suyun ısıtılmasında kaybedilen enerji miktarlarına da ayrıca değinilecektir.

5.1 Isı Kaybı Hesapları

5.1.1 Buharlaşma Etkisiyle Isı Kaybı

Havuz yüzeyindeki su buharlaşırken çevresinden ısı çeker . Buharlaşma süreci havuz su yüzeyi üzerindeki film tabakasında gerçekleştiği için bu ısı transferi önce suyun kendi kütlesi üzerinde oluşur ve ayrılan kütle ısını kalan kütleden alır. Kalan kısım eğer başka bir kaynaktan ısı almıyorsa kütlede soğuma meydana gelir. Kapalı

havuz sistemlerinde bu soğuma miktarının hesaplanması gerekir. Hesaplanan ısı kaybı kadar enerji tekrar havuz suyuna verilmelidir. Aksi takdirde havuz suyu buharlaşma hızına ve miktarına bağlı olarak soğuyacak ve konfor şartlarından uzaklaşacaktır. Söz konusu soğuma ısı transferi buharlaşan su ile ortam havasına “Gizli Isı” olarak geçmektedir.

Buharlaşma gizli ısı hesabı 0°C’deki suyun fiziksel özelliklerine bağlı olarak aşağıdaki şekilde yapılır.

$$r = (r_0 + C_b \cdot t_s) - (c_s \cdot t_s) \quad (5.1)$$

r : (t_s) sıcaklığındaki suyun buharlaşma gizli ısı (W.h/kg)

r_0 : 694W.h/ kg: 0°C sıcaklığındaki suyun buharlaşma gizli ısı

C_b : 0,53W.h / kg.°K : su buharının ortalama ısınma ısı

c_s : 1,16 W.h / kg°K : Suyun ısınma ısı

t_s : buharlaşan suyun sıcaklığı (°C)

$$(W/m^2) Q_{su-buharlaşma} = r (W.h / kg) \times E (kg / h \cdot m^2) \quad (5.2)$$

E havuz yüzeyinden birim zamanda birim alandan buharlaşan toplam su buharı kütlesi olup daha önce hesapları incelenen metodlar ile elde edilir.

Buharlaşan su ile nemi yükselen hava dış hava ile çalışan bir sistemde ise direkt dışarı atılır. Eğer ısı ekonomizörü varsa ekonomizör üzerinden geçirilen hava enerjisini cihazın verimi oranında üfleme havasına aktararak dışarı atılır. Isı pompalı bir bis sistemde ise evaporatördeki çevrimdeki gazın basıncını yükselterek kompresörün performansını arttırır ve böylelikle çevrimin COP değerinin yükselmesini sağlar.

5.1.2 Havuz Çanağından İletim Yoluyla Isı Kaybı

Havuz suyunun temas ettiği yanal alanlardan ve taban alanından iletim yoluyla ısı kaybı oluşmaktadır. Isı kaybı yapı elemanlarının ısı transfer katsayıları ve kalınlıklarına göre hesaplanır. Sonuçta hesaplanan ısı iletim katsayısı 1m² yüzeyden 1°C sıcaklık farkı

için oluşan ısı kaybını vermektedir. Yapı elemanlarından olan ısı kaybını hesaplamada daha önce verilen ısı iletim katsayısı hesabı ve toplam ısı kaybı formülü kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanacaktır.

$$U = 1 / (1/\alpha_i + l/\lambda + \dots + 1/\alpha_d) \quad (5.3)$$

U: ısı iletim katsayısı (W /m² . °K)

α_i : iç yüzey film katsayısı (W / m² . °K)

α_d : dış yüzey film katsayısı (W / m² . °K)

l: malzeme kalınlığı(m)

λ : malzeme ısı iletim katsayısı (W / .m .°K)

Daha sonra, 1 m² yapı malzemesi için ısı kaybı (Q) bulunur.

Daha sonra, 1 m² yapı malzemesi için ısı kaybı (Q) bulunur.

$$Q = U.A. (t_i - t_d) \quad (5.4)$$

Q: toplam ısı kaybı (W)

U: ısı iletim katsayısı (W / m² . °K)

A: yüzey (m²)

t_i : iç sıcaklık (°K)

t_d : dış sıcaklık (°K)

Burada dikkat edilmesi gereken konu α_i ve α_d katsayılarının ısı geçişi yönünde birisinin havuz suyu tarafında diğ erinin ise havuz çanağının dış yüzeyinin bulunduğu mahale ait katsayılar olduğudur.

Hesaplanan “U” değ eri havuz çanağı alanına istinaden hesaplanan ısı transfer katsayısıdır. Bu nedenle birim alandan olan ısı kayıpları alt alta toplanırken havuz çanağından iletim yoluyla gerçe keş en ısı kaybı toplam kayıba ayrıca hesaplanarak eklenmelidir.

5.1.3 Su Yüzeyinden Taşınım Yoluyla Isı Kaybı

Havuz suyu sıcaklığı ile ortam havası sıcaklığı arasındaki fark taşınım ile ısı transferini doğuracaktır. Bunun sebebi havuz suyu yüzeyindeki film tabakası sıcaklığı ortam havasından farklılık gösterecektir. Bu nedenle sıcaklık farkının yönü de ısının hangi yöne doğru transfer olacağını gösterir. Örneğin havuz suyu ısıtılan açık havuzlarda ortam havası sıcaklığı havuz yüzey sıcaklığından daha düşük olacağı için ısı transferi havuzdan ortam havasına doğru olacaktır. Bu yönde oluşan ısı transferi aşağıdaki formül ile hesaplanabilir.

$$Q_T = \alpha_T \times (t_h - t_\varphi) \quad (\text{W} / \text{m}^2) \quad (5.5)$$

t_h =Havuz suyu sıcaklığı(°C)

t_φ =Çevre hava sıcaklığı(°C)

α_T =Su yüzeyi taşınım katsayısı(W/m² °C).

$$\alpha_T = 1,8.v + 1,65\sqrt{v} \quad (5.6)$$

v =su yüzeyindeki hava hızı(m/s)

Açık havuzlar için oluşan ortamdaki su yüzeyi film tabakasına kondüksiyon ısı transfer mekanizması kapalı havuzlarda iki farklı durum halinde oluşturmaktadır. Eğer kapalı havuzlarda ortam havası ısıtılıyorsa havuz yüzey filmi ile ortam havası arasında taşınım ile oluşan ısı kaybı söz konusu değildir. Bunun nedeni ise sıcaklık farkının ortam havası yönünde 2~3°C daha sıcak olmasıdır.

Ancak ortam havası ısıtılmayan bir kapalı yüzme havuzunda su sıcaklığı ortam havasından daha yüksek olacak ve bu da belirli oranda bir ısı kaybına sebep olacaktır.

Bu kayıp havuz suyu ısıtılan açık yüzme havuzlarına oranla daha düşük olacaktır. Hesaplarda kullanılmak üzere bu değer bazı makalelerde $Q_t = 11 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$ olarak verilmiştir.

5.1.4 Su Yüzeyinden Işınım Yoluyla Isı Kaybı

Işınım bir maddeden , yapısındaki atomlarının veya moleküllerinin elektronik dizilimlerinde e şekillerinde meydana gelen değişimler sonucunda enerjinin elektromanyetik dalgalar veya fotonlar yoluyla yayılmasıdır.

Açık havuzlarda ısı kaybı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$Q_i = R \cdot \theta \cdot (t_h - t_c) \text{ (W / m}^2\text{)} \quad (5.7)$$

R=iletişim katsayısı(uygulamada 5,8 W/m² °C⁻¹)

θ=Sıcaklık çarpanı (1 °C)

t_h =Havuz suyu sıcaklığı(°C)

t_c =Çevre hava sıcaklığı(°C)

Kapalı yüzme havuzlarında ise, ışınım ile kaybolan ısı, salon duvar ve çatısından yansarak tekrar suya döner.Bundan dolayı hesaplarda dikkate alınmaz.

5.1.5 Buharlaşan Suyun Geri Beslenmesi ile Oluşan Isı Kaybı

Havuz yüzeyinden buharlaşma yoluyla kaybedilen su , havuz suyu seviyesinde azalmaya neden olur. Eksilen bu miktardaki suyun tekrar havuz suyu sıcaklığına kadar ısıtılarak geri beslenmesi için ısı enerjisine ihtiyaç duyulur. Bu yolla oluşan ısı kaybı hesabı aşağıdaki şekilde yapılır.

$$Q_e = E \cdot C_p \cdot (t_h - t_b) \text{ (W / m}^2\text{)} \quad (5.8)$$

E = Su yüzeyinden buharlaşan su debisi (kg / h.m²)

Cp=Su özgül ısı (Su için Cp=1,16 W.h/kg°C)

t_h =Havuz suyu sıcaklığı(°C)

t_b =Besleme suyu sıcaklığı(°C)

5.1.6 Kayıp Suyun Geri Beslenmesi ile Oluşan Isı Kaybı

Yüzme havuzlarında su buharlaşması haricinde de su kayıpları oluşabilmektedir. Örneğin su sıçraması ve filtreleme sistemindeki yıkama, vb olaylar ile ek su kayıpları oluşur.

Bu yolla oluşan su kaybını hesaplamak sistemde kullanılacak yıkama elemanlarına , havuzun kullanımına ve aktivite yoğunluğua bağlı olarak değişeceğinden hesaplamak mümkün olmayacaktır. Bunun yerine sözkonusu faktörlere dayanarak yaklaşımlarda bulunmak daha doğru olacaktır. Değişik makalelerde bu kayıp için 0,15 ~ 0,5 kg / m².h su kaybı hesaplamalarda kullanılmış.

Buna göre kayıp su için geri besleme ısı gereksinimi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Q_s = E_{kayıp} \cdot C_p \cdot (t_h - t_b) \quad (5.9)$$

$E_{kayıp}$: Kullanım etkinliğine bağlı su kaybı miktarı (kg / m².h)

C_p =Su özgül ısısı (Su için $C_p=1,16$ W.h/kg°C)

t_h =Havuz suyu sıcaklığı(°C)

t_b =Besleme suyu sıcaklığı(°C)

5.2 Isı Kazancı Hesapları

5.2.1 Su Yüzeyinden Taşınım Yoluyla Isı Kazancı

Açık havuzlarda soğuk mevsimlerde yada mevsim geçişi zamalarında havuz suyunun ısıtılması gerekmektedir. Bu dönemlerde çevre sıcaklığı havuz su sıcaklığından düşüktür.Bu sebeple havuz suyu yönünde taşınım ile ısı kazancı oluşmaz .Bu,ortam ısıtması yapılmayan kapalı yüzme havuzları için de geçerlidir.

5.2.2 Güneş Işınımı Yoluyla Isı Kazancı

Dünya yüzeyine gelen güneş ışınımı miktarı tesisin konumuna , tüm yıl boyunca değişen günlük ışınım şiddetine yani güneşlenme süresine göre değişmektedir.

Açık yüzme havuzlarında yaklaşım olarak $Q_g = 135 \sim 200 \text{ W/ m}^2$ olarak kullanılabilir.

Kapalı havuzlarda güneşlenme gibi bir durum söz konusu olmadıkça böyle bir kazançtan söz edilemez. Ancak havuz yüzeyinin güneşlenebileceği oranda cam kaplı yan duvarlar yada cam tavanlı tesisler için ışınlam ile ısı kazancından söz edilebilir.

5.3 İlk Isıtma Isı İhtiyacı Hesabı

Tesis ilk devreye alındığı sırada havuz suyu şebeke suyu ile yada tankerler tarafından getirilen kuyu suları tarafından doldurulur. Bu suyun istenen havuz suyu sıcaklığına getirilmesi için ısıtma sistemi tarafından bir eşanjör vasıtasıyla bu suya ısı verilir. İlk ısıtma süresinde su sıcaklığını yükseltmenin yanında ayrıca iletim yoluyla oluşan ısı kaybı da karşılanmalıdır. Bu nedenle havuz çanağından oluşan ısı kaybı da bu ilk ısıtma hesabına eklenecektir.

Havuz suyunun ilk ısıtılması için gerekli ısı miktarı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$Q_d = Q_i + 1000 \times V \times C_p \times (t_h - t_b) / h_d \quad (5.10)$$

V =Havuz suyu hacmi(m^3) (1000kg =1 m^3 alınmıştır.)

C_p =Su özgül ısısı (Su için $C_p=1,16 \text{ W.h/kg}^\circ\text{C}$)

t_h =Havuz suyu sıcaklığı($^\circ\text{C}$)

t_b =Besleme suyu sıcaklığı(10°C alınabilir)

h_d =İlk ısıtma süresi(h)

İlk ısıtma süresi işletme şartlarına bağlı olarak 24-96 saat arasında alınabilir.Sürenin kısa seçilmesi işletmeye daha hızlı hazır hale gelmesi anlamına gelir ancak tesisatın büyümesi ve ilk yatırım maliyetlerinin de artmasına yol açar. Tam tersi ilk ısıtma süresi uzadıkça daha uzun sürede tesis hazır hale gelir ve sistem de bu oranda küçük seçilir. Burada yatırımcının istekleri , tesisin kullanım amacı ve devreye giriş çıkış aralıkları göz önünde bulundurularak doğru zaman seçimi yapılmalıdır.

DENEYSEL ÇALIŞMANIN ANLATILMASI VE DÖKÜMANTASYONU

6.1 Ölçümde Kullanılan Aletler

Anemometre

Ürün Özellikleri

Hava Hızı Ölçüm 0.0 ... 45.0m/s

Hassasiyet 0.05m/s

Birim m/s, f/min, km/h, knots

Sıcaklık Ölçüm 0 ... 60°C

Hassasiyet 0.1 °C

Birim °C Celcius , °F Fahreneit

Bağıl nem 0.0....100%

Hassasiyet 0.5 °C

Doğruluk %3

6.2 Ölçüm Yapılacak Alanının Tanıtılması

Ölçümlerin yapılacağı yüzme havuzu 15.8m. eninde 33m. boyundadır. Havuz tabanı 11.m'ye kadar -1,5m. , 22.m'ye kadar -3m. ve havuz sonuna kadar 5m. olmak üzere 3 ayrı derinlik seviyesinde tesis edilmiştir . Havuzun yanıl alanlarında tesisat galerisi bulunmaktadır. Bu galeride taşma havuzu , kenar toplama kanallarına ait sert PVC borular , denge havuzu bağlantıları ile yerden ısıtma tesisatına ait ısıtma hatları bulunmaktadır.

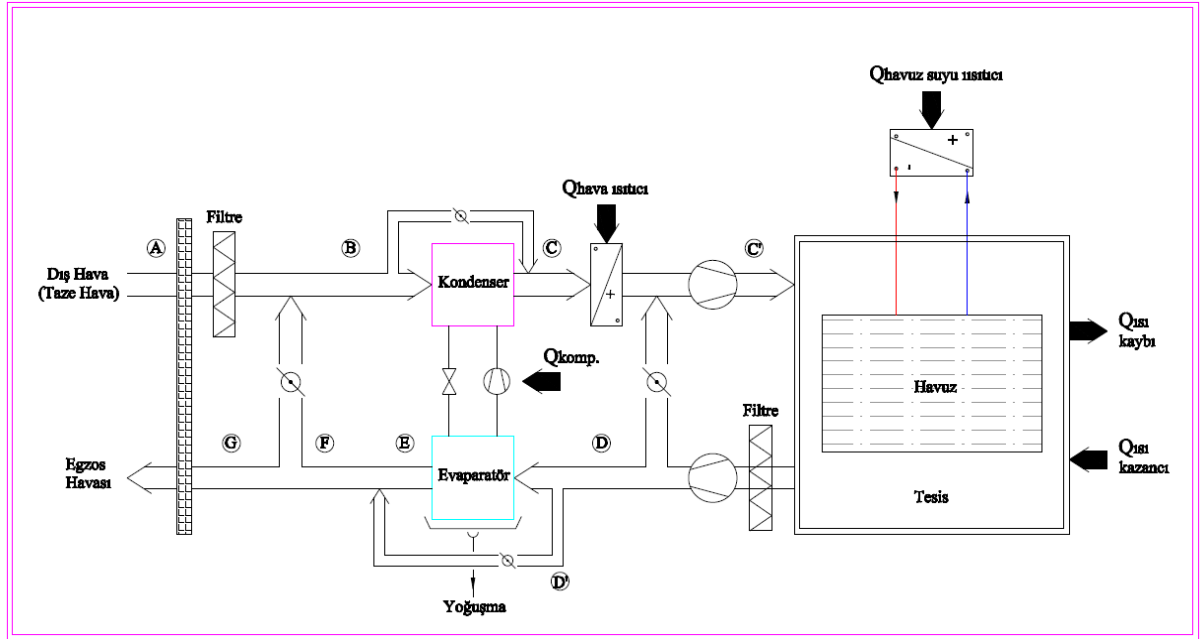
Havuz suyu seviyesi denge havuzu üzerinden kontrol edilmektedir. Denge havuzu tesisin görevlisi tarafından periyodik olarak kontrol edilmekte ve gerekli olduğu takdirde havuz suyu seviyesi hidrofordan beslenen bir vana vasıtasıyla su eklenerek belirlenen aralıklarda tutulmaktadır. Havuz suyu seviyesindeki azalma iki sebepten oluşabilmektedir. Birincisi havuz tabanı ve yanal alanlarındaki yapı elemanlarından suyun kontrol dışı sızması ile oluşan su kaybıdır. Diğeri ise daha ayrıntılı olarak inceleyeceğimiz bir mühendislik problemi olan havuz suyunun buharlaşması ile oluşan su kaybıdır.

Havuz mahalinde ısıtma ihtiyacı iki ayrı kaynaktan temin edilmektedir. Bir tanesi havuzun kenarlarında bulunan alanların ısıtılmasında kullanılan yerden ısıtma sistemidir. Yerden ısıtma zonu yer tipi bir kazandan ayrı bir hat ile beslenmektedir. Yerden ısıtma alanlarında sıcaklık 26 °C ~ 28 °C 'de tutulmaktadır. Bu sayede havuzdan çıktığında çıplak ayakla basılan bölgelerde konforsuz soğukluk hissi bertaraf edilmiş olmaktadır. Yerden ısıtmanın bir avantajı da ısıtma tesisatının havuz alanı dışında kalan tüm mahallere ulaşması sebebiyle tesisin kısa sürede kullanıma hazır hale gelmesidir.

Isıtma ihtiyacının %70'e yakın bir kısmı ise havuz holüne üflenen cebri havalandırma ve nem alma sistemine yüklenmiştir. Bu sistemde 2 adet nem alma santrali kullanılmaktadır. Nem alma santralleri sensörler ve kontrol elemanları ile donatılmıştır. Hissedici elemanlar sıcaklık hissediciler , higrostatlar , fark basınç presostatları , donma termostadlarıdır. Kontrol elemanları ise damper motorları , 3 yollu vana servo motorları ve diğer sistemleri devreye sokan veya çıkaran elektronik rölelerdir. Her bir nem alma santralinin ayrı bir kontrol paneli bulunmaktadır ancak cihazlardan bir tanesi "Master" cihaz olarak tanımlanmıştır. Santrallerin devreye girmelerine , damperlerin açılıp kapanmasına , kompresörlerin devreye girip çıkmasına ana panel komuta etmektedir.

Santrallerde üfleme havasının ısıtılması için nem alma sistemine ait çevrimin kondenserinden yararlanılmaktadır. Daha önce üzerinde durulduğu üzere kondenser kapasitesi nem almanın gerçekleştiği evaporatör kapasitesinden daha yüksek olmak zorundadır ve bu da ısıtma ihtiyacına %80 oranında cevap verebilmektedir. Bu

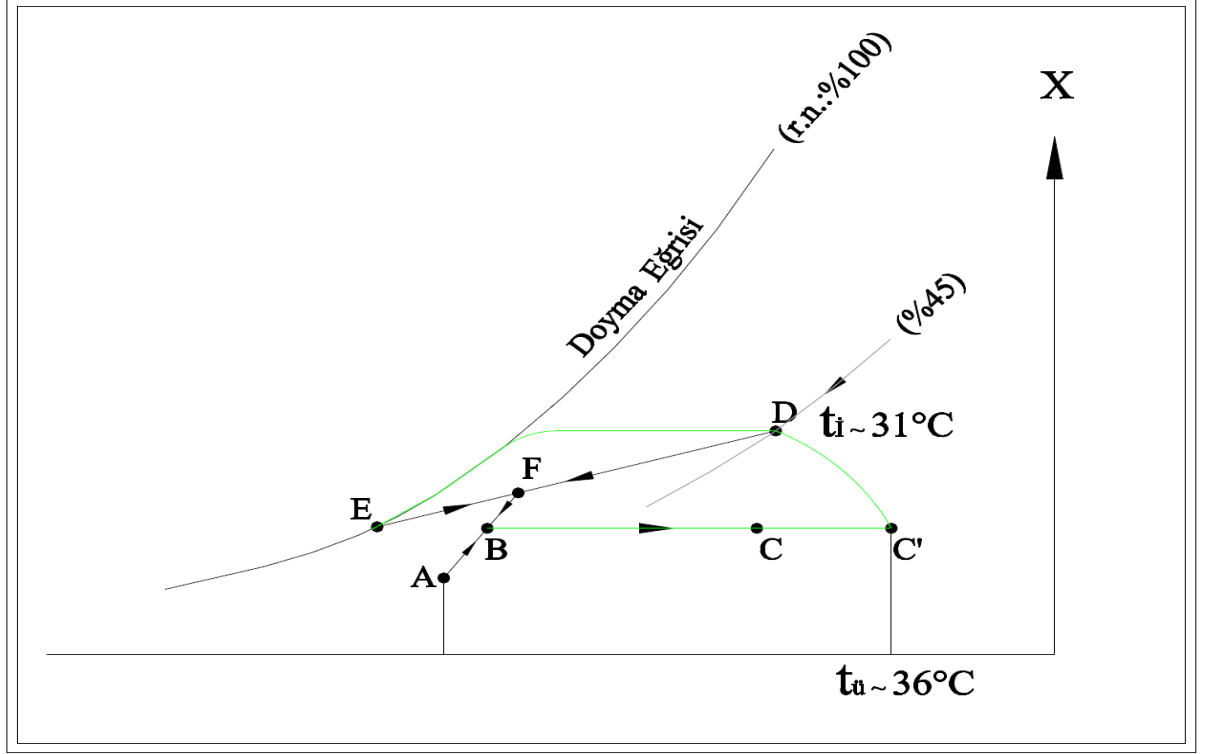
kapasitenin yeterli gelmediği durumlar için merkezi ısıtma kazanında bir rezerv zon bırakılmıştır. Bu hat vasıtasıyla santrallerin ön ısıtmasının önünde bulunan ikincil ısıtma sistemi beslenmektedir. Bu ısıtmaya ait sulu batarya devresinin sıcaklığı santral otomasyon panelinin kontrol ettiği 3 yollu vanalar aracılığıyla kontrol edilmektedir.



Şekil 6. 1 Ölçüm alanı nem alma santralinin akış şeması

Santral şemasından izleneceği üzere dönüş şartlarındaki havanın (D) evaporatör üzerinden geçirilerek nemi alınırken bir kısmı hiç evaporatöre girmeden by-pass edilir. Evaporatörde önce çığ noktasına kadar hava soğutulur ve ardından neminin alınması için doyma eğrisi boyunca daha düşük özgül nem değerine kadar soğutulmaya devam edilir. Yeterli miktarda nemi alınan bu hava (E) by-pass havası (D') ile birleştirilerek (F) noktası şartlarına getirilir. Isı pompalı sistemde egzost miktarı havuz holünde gereken taze hava miktarı kadar olacaktır. Bu sebeple (G) miktar ve şartlarındaki hava egzost edilir. (F) şartlarındaki hava (A) şartlarındaki dış hava ile birleştirilir. Sonuçta elde edilen (B) şartlarındaki hava ısı pompası sisteminin kondenserinde ısıtılır ve havuz holüne üfleme şartlarına getirilir. Isı pompası sisteminde gaz çevrimi her zaman kullanılmaz yada kısmen kullanılır. Kompresörün devrede kısmen olduğu yada tamamen kapalı olduğu durumlarda santral dış havanın kuruluşunu kullanarak havanın nemini alabilir. Bu durumda kondenserde ısı birikmesi ya az olacak yada hiç olmayacaktır. Böyle durumlarda soğuk havanın iç hava sıcaklığına

getirilebilmesi için harici enerji kaynağı gerekmektedir. Bu sistemde kondenserin önüne bir ısıtma kazanından beslenen sulu batarya konuşlandırılmıştır. Bu batarya vasıtasıyla (C) şartlarındaki hava (C') şartlarına getirilir.



Şekil 6. 2 Tesisdeki ısı pompalı santralde havanın şartlandırılmasının psikometrik diagramdaki gösterimi

Havuz suyu ısıtması yine merkezi sistemden ayrı bir hat vasıtasıyla sağlanmaktadır. Isıtma plakalı eşanjör kullanılmaktadır. Primer devrede kazandan gelen sıcak su dolaşırken sekonder devrede havuz suyu dolaşmakta ve bu yolla ısıtma sağlanmaktadır.

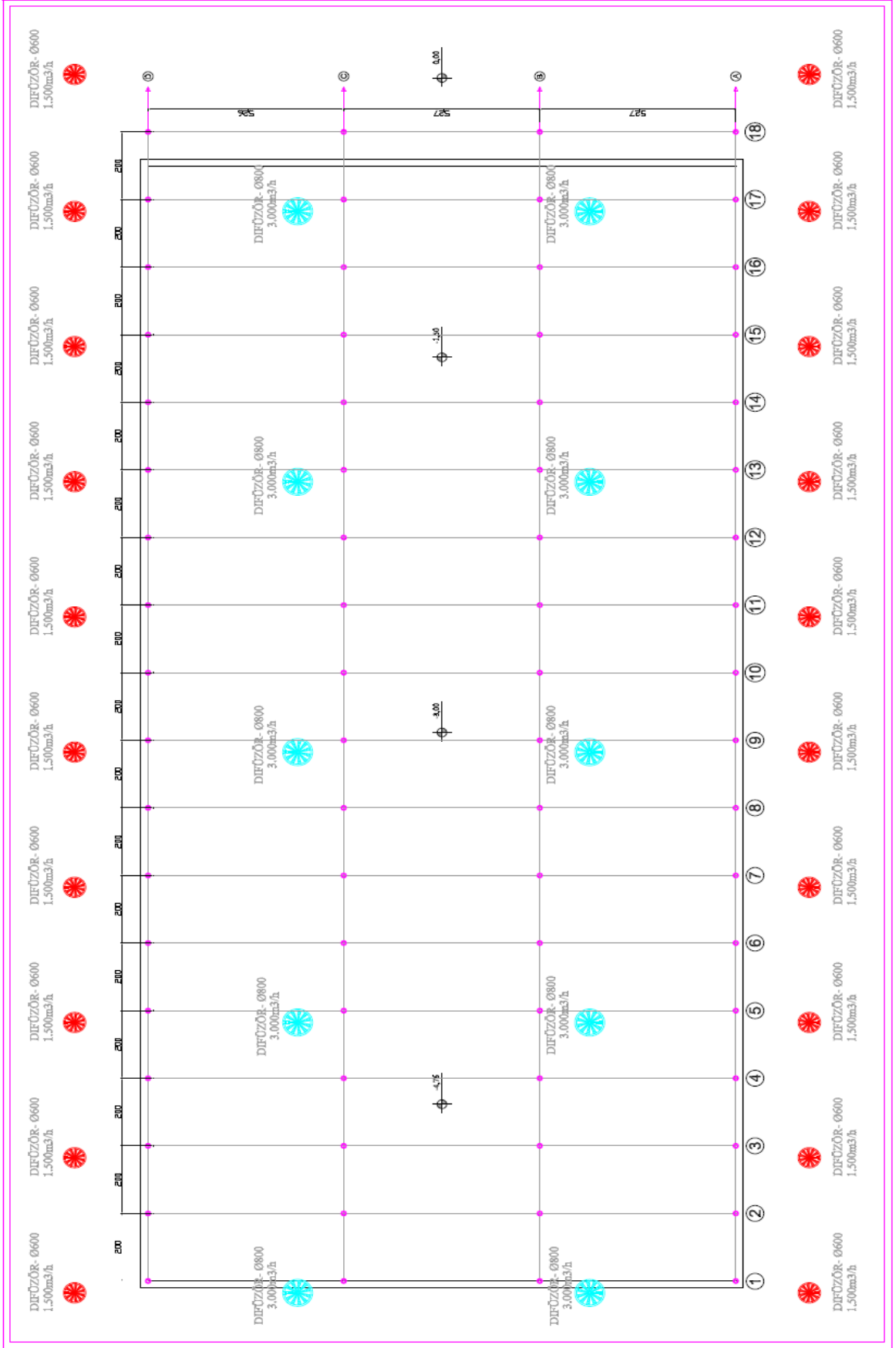
6.3 Deneysel Ölçüm Metodolojisi

Deney çalışmasında kapalı bir yüzme havuzunda havuz yüzeyinden havaya transfer olan su buharı miktarını ve ısı transferini hesaplamak için gerekli veriler elde edilecektir. Hesaplamalarda kullanılmak üzere havuz yüzey alanı üzerinde sıcaklık , yüzeye paralel hava hızı ve bağıl nem değerleri ölçülecektir.

Öncelikle havuzun kenarlarında havuz boyunca her 2m.'de bir sıcaklık ölçümü yapılacak ve bu ölçüm havuz suyu yüzeyinden 50cm. yükseklikte gerçekleştirilecektir. Böylelikle

başlangıç noktası (Bkz. Şekil 5.1 “A1”) ile 34m. Havuz boyu aralığında 18 adet ölçüm alınacaktır. Daha sonra tekrar başa dönülecek ve sıcaklıklar bu kez havuz suyu yüzeyinden 150cm. yükseklikte tekrar ölçülecektir. Daha sonra sıcaklığın yükseklik ile değişip değişmediğini grafikler oluşturarak takip edebileceğiz. İki ayrı yükseklikte yapılan bu sıcaklık ölçümlerini havuzun diğer kıyısının başlangıç noktasından (Bkz. Şekil 5.1 “D1”) başlayarak tekrar gerçekleştireceğiz. Böylelikle havuz kenarlarında oluşan sıcaklık dağılımı hakkında bilgi sahibi olacağız. Aynı işlemi havuzun orta bölümlerinde de gerçekleştirmemiz gerekecektir. Bu nedenle havuzun eni boyunca 5,27m.’de (Bkz. Şekil 5.1 “B”) ve 10,54m.’de (Bkz. Şekil 5.1 “C”) bu ölçümleri tekrar edeceğiz. Yine yükseklikle birlikte sıcaklık değişimini incelemek için havuzun orta bölümlerindeki bu ölçümleri havuz su yüzeyinden 50cm.’de ve 150cm.’de olmak üzere iki ayrı yükseklikte ölçeceğiz.

Sıcaklık ölçümlerini sonlandırdıktan sonra aynı sırada ve aynı metod ile öncelikle bağıl nem değerleri okunacaktır. İki ayrı yükseklikte bu ölçümler tamamlandıktan sonra değerler tablolar halinde kaydedilecektir. Bir sonraki adımda havuz yüzeyine paralel hava hızını ölçeceğiz. Böylelikle yüzeye paralel hava hızına bağlı olarak verilen buharlaşma ifadelerinin sonuçlarını da gerçek durum ile karşılaştırabileceğiz.

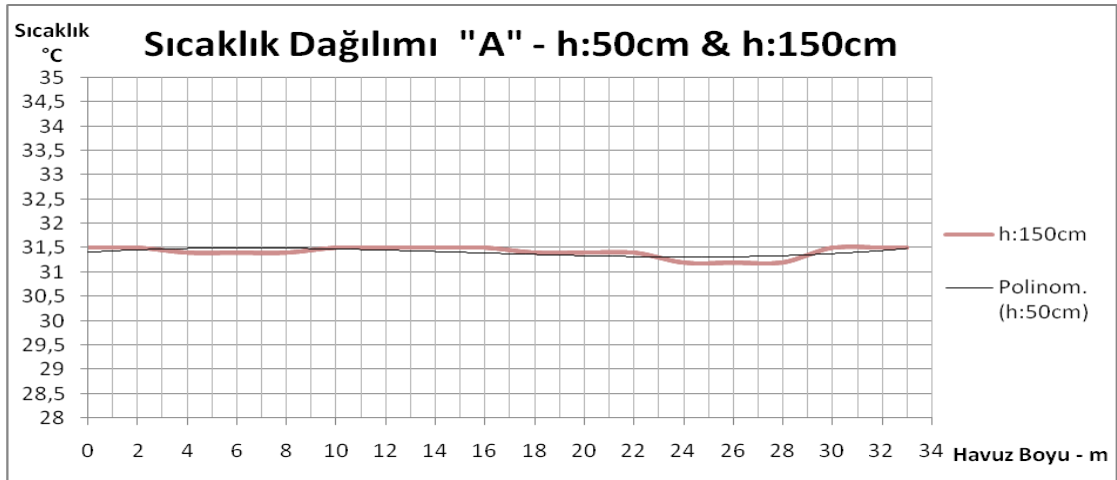


Şekil 6. 3 Tesisin ölçüm alanı ve ölçüm noktalarının gösterimi

Şekil 6.1 'deki havuz eni boyunca A, B, C, D olarak ; boyu boyunca ise 1den 18'e kadar noktalar tespit edilmiştir. Böylelikle 72 adet ölçüm noktası oluşturulmuştur. Bu ölçüm noktalarından ilk veri olarak sıcaklıklar ölçülmüş ve aşağıdaki grafikler oluşturulmuştur.

Çizelge 6. 1 "A" enindeki noktalarda h:50cm ve h:150cm'de ölçülen sıcaklık değerleri tablosu

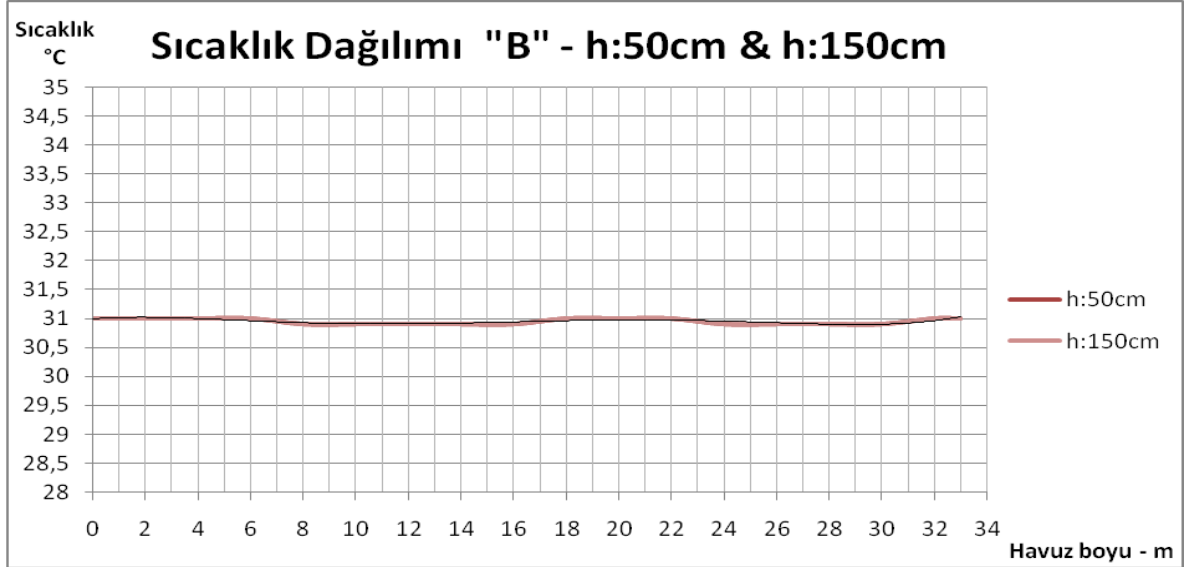
"A" Noktası Sıcaklık Ölçümleri		
	h:50cm	h:150cm
0 m	31,5	31,5
2 m	31,5	31,5
4 m	31,4	31,4
6 m	31,4	31,4
8 m	31,4	31,4
10 m	31,5	31,5
12 m	31,5	31,5
14 m	31,5	31,5
16 m	31,5	31,5
18 m	31,4	31,4
20 m	31,4	31,4
22 m	31,4	31,4
24 m	31,2	31,2
26 m	31,2	31,2
28 m	31,2	31,2
30 m	31,5	31,5
32 m	31,5	31,5
33 m	31,5	31,5



Şekil 6. 4 "A" enindeki noktalarda h:50cm ve h:150cm'de ölçülen sıcaklık değerleri grafiği

Çizelge 6. 2 "B" enindeki noktalarda h:50cm ve h:150cm'de ölçülen sıcaklık değerleri tablosu

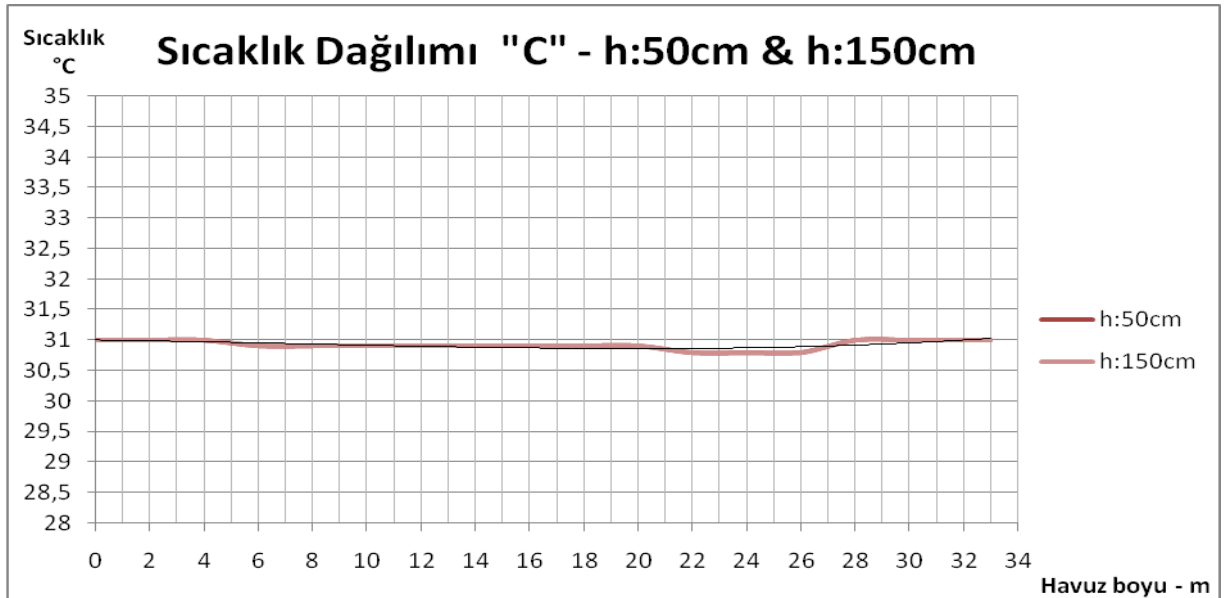
"B" Noktası Sıcaklık Ölçümleri		
	h:50cm	h:150cm
0 m	31	31
2 m	31	31
4 m	31	31
6 m	31	31
8 m	30,9	30,9
10 m	30,9	30,9
12 m	30,9	30,9
14 m	30,9	30,9
16 m	30,9	30,9
18 m	31	31
20 m	31	31
22 m	31	31
24 m	30,9	30,9
26 m	30,9	30,9
28 m	30,9	30,9
30 m	30,9	30,9
32 m	31	31
33 m	31	31



Şekil 6. 5 "B" enindeki noktalarda h:50cm ve h:150cm'de ölçülen sıcaklık değerleri grafiği

Çizelge 6. 3 "C" enindeki noktalarda h:50cm ve h:150cm'de ölçülen sıcaklık değerleri tablosu

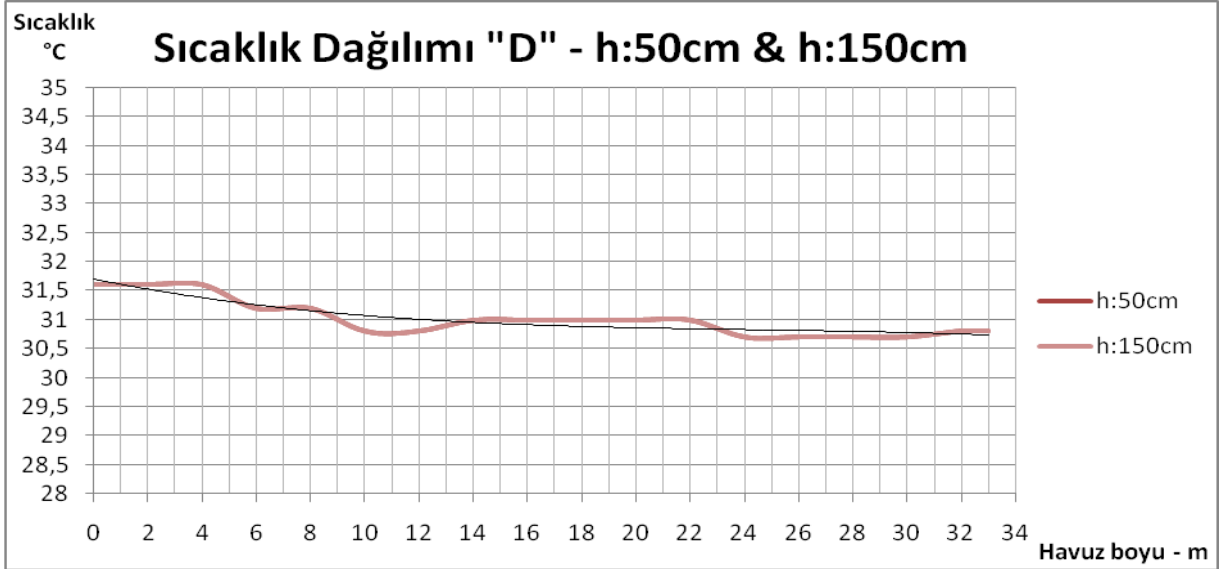
"C" Noktası Sıcaklık Ölçümleri		
	h:50cm	h:150cm
0 m	31	31
2 m	31	31
4 m	31	31
6 m	30,9	30,9
8 m	30,9	30,9
10 m	30,9	30,9
12 m	30,9	30,9
14 m	30,9	30,9
16 m	30,9	30,9
18 m	30,9	30,9
20 m	30,9	30,9
22 m	30,8	30,8
24 m	30,8	30,8
26 m	30,8	30,8
28 m	31	31
30 m	31	31
32 m	31	31
33 m	31	31



Şekil 6. 6 "C" enindeki noktalarda h:50cm ve h:150cm'de ölçülen sıcaklık değerleri grafiği

Çizelge 6. 4 "D" enindeki noktalarda h:50cm ve h:150cm'de ölçülen sıcaklık değerleri tablosu

"D" Noktası Sıcaklık Ölçümleri		
	h:50cm	h:150cm
0 m	31,6	31,6
2 m	31,6	31,6
4 m	31,6	31,6
6 m	31,2	31,2
8 m	31,2	31,2
10 m	30,8	30,8
12 m	30,8	30,8
14 m	31	31
16 m	31	31
18 m	31	31
20 m	31	31
22 m	31	31
24 m	30,7	30,7
26 m	30,7	30,7
28 m	30,7	30,7
30 m	30,7	30,7
32 m	30,8	30,8
33 m	30,8	30,8

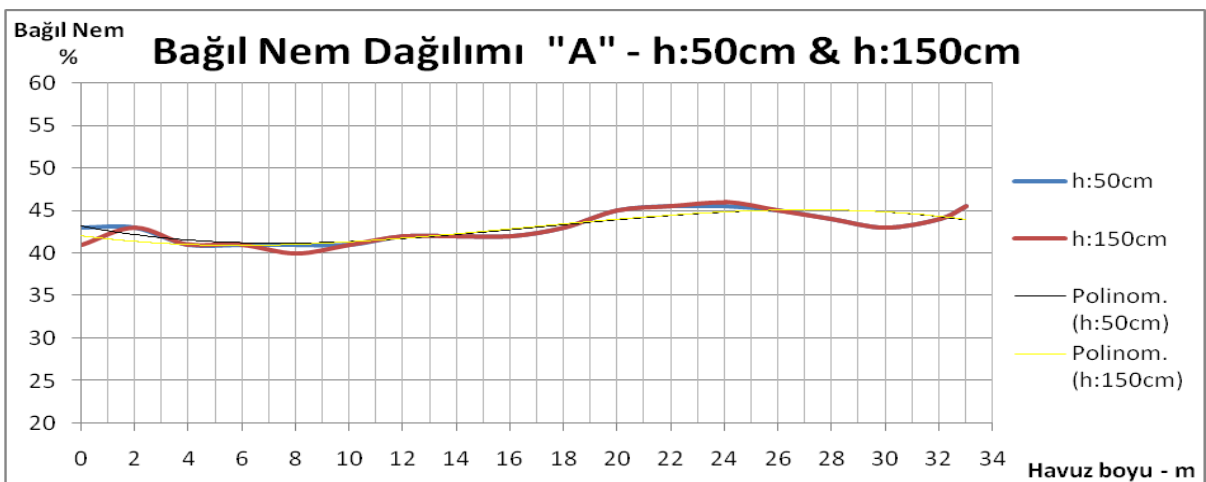


Şekil 6. 8 "D" enindeki noktalarda h:50cm ve h:150cm'de ölçülen sıcaklık değerleri grafiği

Grafiklerden de görüldüğü üzere sıcaklık dağılımları yüksekliğe bağlı olarak değişim göstermemektedir. Sıcaklık ölçümlerinin yapıldığı bu ölçüm noktalarında bağıl nem değerleri de yine iki ayrı yükseklik için ölçülerek aşağıdaki grafikler elde edilmiştir.

Çizelge 6. 5 "A"enindeki noktalarda h:50cm ve h:150cm'de ölçülen bağıl nem değerleri tablosu

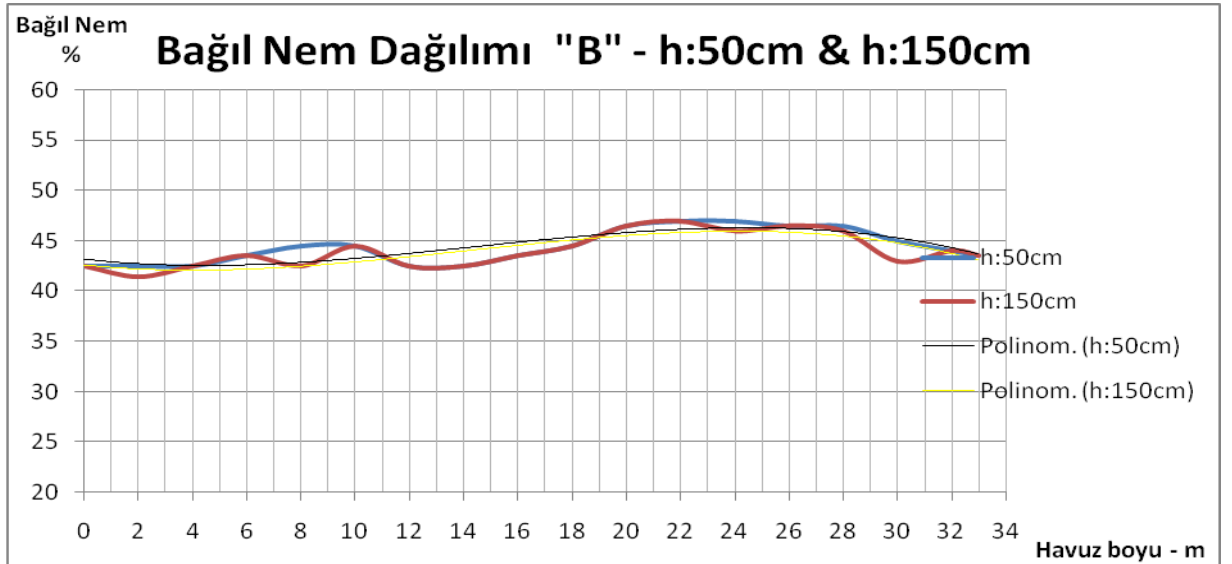
"A" Noktası Bağıl Nem Ölçümleri		
	h:50cm	h:150cm
0 m	43	41
2 m	43	43
4 m	41	41
6 m	41	41
8 m	41	40
10 m	41	41
12 m	42	42
14 m	42	42
16 m	42	42
18 m	43	43
20 m	45	45
22 m	45,5	45,5
24 m	45,5	46
26 m	45	45
28 m	44	44
30 m	43	43
32 m	44	44
33 m	45,5	45,5



Şekil 6. 9 "A"enindeki noktalarda h:50cm ve h:150cm'de ölçülen bağıl nem değerleri grafiği

Çizelge 6. 6 "B"enindeki noktalarda h:50cm ve h:150cm'de ölçülen bağıl nem değerleri tablosu

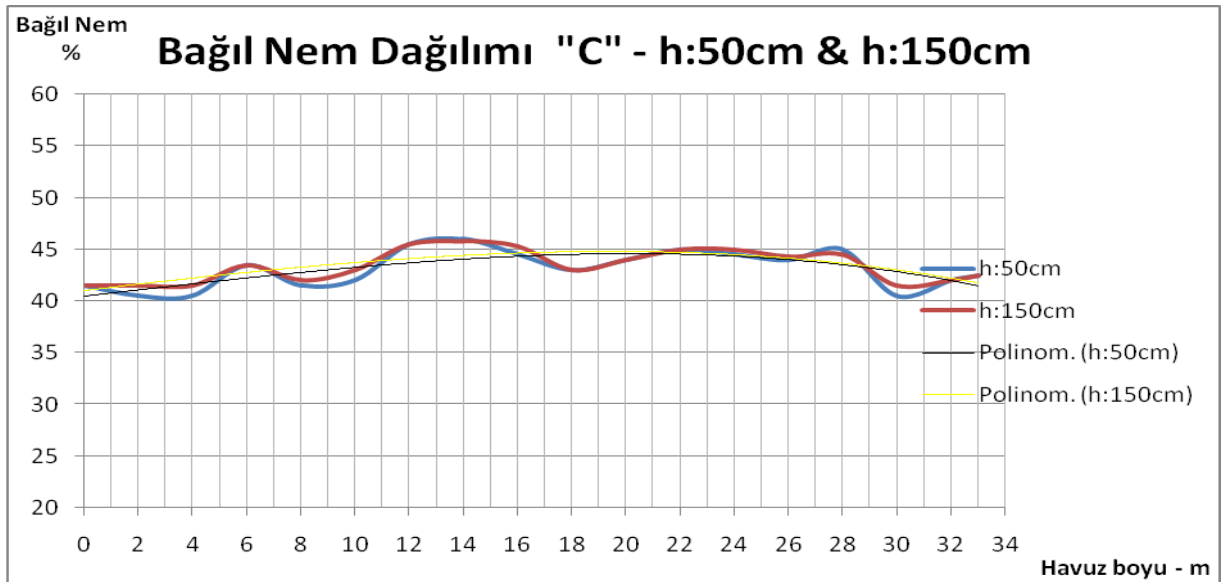
"B" Noktası Bağıl Nem Ölçümleri		
	h:50cm	h:150cm
0 m	42,5	42,5
2 m	42,5	41,5
4 m	42,5	42,5
6 m	43,5	43,5
8 m	44,5	42,5
10 m	44,5	44,5
12 m	42,5	42,5
14 m	42,5	42,5
16 m	43,5	43,5
18 m	44,5	44,5
20 m	46,5	46,5
22 m	47	47
24 m	47	46
26 m	46,5	46,5
28 m	46,5	46
30 m	45	43
32 m	44	44
33 m	43,5	43,5



Şekil 6. 9 "B"enindeki noktalarda h:50cm ve h:150cm'de ölçülen bağıl nem değerleri grafiği

Çizelge 6. 7“C” enindeki noktalarda h:50cm ve h:150cm’de ölçülen bağıl nem değerleri tablosu

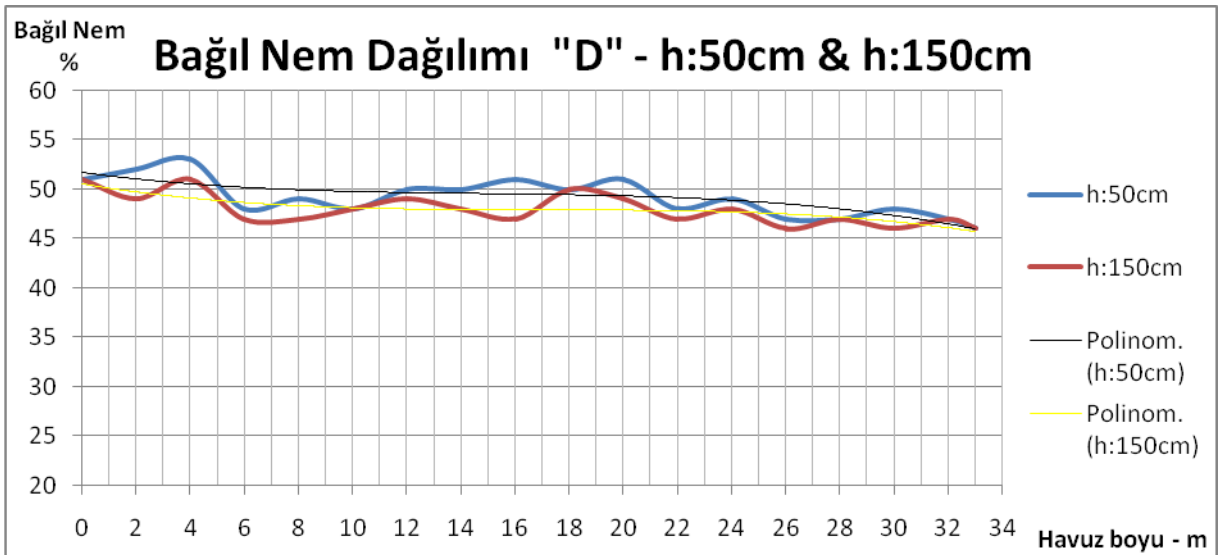
"C" Noktası Bağıl Nem Ölçümleri		
	h:50cm	h:150cm
0 m	41,5	41,5
2 m	40,5	41,5
4 m	40,5	41,5
6 m	43,5	43,5
8 m	41,5	42
10 m	42	43
12 m	45,5	45,5
14 m	46	45,8
16 m	44,5	45,3
18 m	43	43
20 m	44	44
22 m	45	45
24 m	44,5	45
26 m	44	44,3
28 m	45	44,5
30 m	40,5	41,5
32 m	42	42
33 m	42,5	42,5



Şekil 6. 10 “C” enindeki noktalarda h:50cm ve h:150cm’de ölçülen bağıl nem değerleri grafiği

Çizelge 6. 8 "D"enindeki noktalarda h:50cm ve h:150cm'de ölçülen bağıl nem değerleri tablosu

"D" Noktası Bağıl Nem Ölçümleri		
	h:50cm	h:150cm
0 m	51	51
2 m	52	49
4 m	53	51
6 m	48	47
8 m	49	47
10 m	48	48
12 m	50	49
14 m	50	48
16 m	51	47
18 m	50	50
20 m	51	49
22 m	48	47
24 m	49	48
26 m	47	46
28 m	47	47
30 m	48	46
32 m	47	47
33 m	46	46



Şekil 6. 10 "D"enindeki noktalarda h:50cm ve h:150cm'de ölçülen bağıl nem değerleri grafiği

Aynı noktalarda su yüzeyine paralel hız ölçümleri de yine iki ayrı yükseklikte yapılmış ve aşağıdaki tablolar elde edilmiştir. Görüleceği üzere tesisde yüksekliğin hıza etkisi olmamıştır.

Çizelge 6. 9 A, B, C, D, noktalarındaki h:50cm. ve h:150cm. yükseklikteki hız ölçümleri tabloları

"A" Noktası Hız Ölçümleri		
	h:50cm	h:150cm
0 m	0,3	0,3
2 m	0,3	0,3
4 m	0,3	0,3
6 m	0,3	0,3
8 m	0,35	0,35
10 m	0,35	0,35
12 m	0,3	0,3
14 m	0,3	0,3
16 m	0,3	0,3
18 m	0,35	0,35
20 m	0,35	0,35
22 m	0,3	0,3
24 m	0,3	0,3
26 m	0,3	0,3
28 m	0,35	0,35
30 m	0,35	0,35
32 m	0,3	0,3
33 m	0,3	0,3

"B" Noktası Hız Ölçümleri		
	h:50cm	h:150cm
0 m	0,3	0,3
2 m	0,3	0,3
4 m	0,3	0,3
6 m	0,3	0,3
8 m	0,3	0,3
10 m	0,35	0,35
12 m	0,35	0,35
14 m	0,3	0,3
16 m	0,3	0,3
18 m	0,3	0,3
20 m	0,35	0,35
22 m	0,35	0,35
24 m	0,3	0,3
26 m	0,3	0,3
28 m	0,3	0,3
30 m	0,3	0,3
32 m	0,3	0,3
33 m	0,3	0,3

"C" Noktası Hız Ölçümleri		
	h:50cm	h:150cm
0 m	0,3	0,3
2 m	0,3	0,3
4 m	0,3	0,3
6 m	0,3	0,3
8 m	0,35	0,35
10 m	0,35	0,35
12 m	0,35	0,35
14 m	0,3	0,3
16 m	0,3	0,3
18 m	0,35	0,35
20 m	0,35	0,3
22 m	0,3	0,3
24 m	0,35	0,35
26 m	0,35	0,35
28 m	0,3	0,3
30 m	0,3	0,3
32 m	0,3	0,3
33 m	0,35	0,35

"D" Noktası Hız Ölçümleri		
	h:50cm	h:150cm
0 m	0,3	0,3
2 m	0,3	0,3
4 m	0,3	0,3
6 m	0,3	0,3
8 m	0,3	0,3
10 m	0,3	0,3
12 m	0,3	0,3
14 m	0,3	0,3
16 m	0,3	0,3
18 m	0,3	0,3
20 m	0,3	0,3
22 m	0,3	0,3
24 m	0,3	0,3
26 m	0,3	0,3
28 m	0,3	0,3
30 m	0,3	0,3
32 m	0,3	0,3
33 m	0,3	0,3

BUHARLAŞMA HESAPLARININ YAPILMASI ve KARŞILAŞTIRILMASI

3. Bölüm 'de belirtilen buharlaşma ifadelerinde farklı parametreler üzerinden hesaplamalar yapılmaktadır. Bunun sonucunda da birbirinden farklı sonuçlar elde edilmesi doğal olacaktır. Ancak bu ifadelerin birbiriyle paralel ve orantılı sonuçlar verip vermediği meçhuldür. Aşağıdaki hesaplamalarda bu ifadelerin birbiri ile benzeşimi irdelenmiş , grafikler ile denkliği ve de benzeşimi ortaya konmaya çalışılmıştır.

7.1 VDI , Recknagel , ASHRAE ve M.M. Shah'a göre Buharlaşma Hesapları

7.1.1 VDI 2089 Normuna göre Buharlaşma Hesaplamaları

Bölüm 3.1'de geçen (3.1) nolu denklemdeki ifadede yer alan parametreler tüm kapalı yüzme havuzunda oluşturulması istenen konfor şartları göz önünde bulundurulduğunda aşağıdaki değerleri alır.

$$W = A_b \cdot e \cdot (P_s - P_d) \quad (3.1)$$

W: buharlaşan su miktarı (kg/h.m²) – Hesaplanması hedeflenen değer

A_b: 15,8m x 33,0m = 521,40m² - Su yüzeyi

P_s : 3780 Pa (28°C sıcaklıktaki su buharının doyma basıncı)

P_d: 2023 Pa (31°C -45% bağıl neme sahip havanın içindeki su buharı kısmi basıncı)

e: toplam buharlaşma sayısı (g/h. m².mbar)

Toplam buharlaşma sayısı “e” daha önce verilen ifadeden yola çıkılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$e = \frac{\beta_u}{R_D \cdot T} \text{ [kg / h.m}^2 \text{ Pa]}$$

$\beta_u = 28$ - Tablo 3’den okundu.

R_D : 461.52 J/kgK - Su buharı için özel gaz sabiti

T : (28 + 31)/2 + 273°K = 302,5°K - Ortam sıcaklığı ile su sıcaklığının aritmetik ortalaması

$$e = \frac{28}{461,52 \times 302,5} = 2 \times 10^{-4}$$

(7) nolu denklemde değerler yerine konursa ;

$$\dot{M}d = W / A_b = 2 \times 10^{-4} \times (3780 - 2023) \text{ Pa} = 0,3524 \text{ kg / m}^2 \cdot \text{h}$$

Tüm havuz yüzeyi üzerinden buharlaşan su debisi ;

$$W = \dot{M}d \times A_b = 0,3524 \text{ kg / m}^2 \cdot \text{h} \times 521,4 \text{ m}^2 = 183,73 \text{ kg / h} ,$$

bulunur.

Tüm bu hesapları aşağıdaki gibi bir tabloda toplayabiliriz.

Çizelge 7. 1 VDI 2089 'a göre buharlaşma hesabı tablosu

VDI 2089		Kapalı Yüzme Havuzu Buharlaşma Hesabı			
Dizayn Şartları :	Mahal Sıcaklığı :	30		oC	
	Mahal Bağıl Nemi :	45		%	
	Su Sıcaklığı :	28		oC	
	Havuz Boyu :	33		m	
	Havuz Eni :	15,8		m	
	Dalga Faktörü :	1			
	Mahal Yüksekliği	7		m	
	Su Yüzey Alanı :	521,40		m ²	
	Mahal Hacmi :	3.649,80		m ³	
$MD, Bu/b = \frac{\beta}{RD \cdot T} (Ps - Pd) \quad (VDI 2089)$					
MD	Havuz yüzeyinden birim alanda buharlaşan su debisi			0,3524	kg/h.m ²
MD, Bu	Havuz yüzeyinden toplam buharlaşan su debisi			183,73	kg/h
β_u, β_b	Su buharlaşma faktörü (aktif ve pasif modda)			28	m/h
RD	Su buharı için özel gaz sabiti			461,52	J/kgK
T	Ortam sıcaklığı ve su sıcaklığının Kelvin cinsinden aritmetik ortalaması			302,5	K
Tortam	Ortam sıcaklığı	31	oC	304	K
Tsu	Su sıcaklığı	28	oC	301	K
Ps	Su sıcaklığındaki su buharının doyma basıncı			3780	Pa
Pd	Ortam havasının su buharı basıncı			2023	Pa
Ab	Havuz yüzey alanı			521,4	m ²

7.1.2 Recknagel'e göre Buharlaşma Hesaplamaları

Benzer şekilde (3.3) nolu denklemde değerleri yerine koyarak hesaplama yapıldığında ,

$$W = o. (x'' - x).A_b$$

W: birim yüzeyden buharlaşan su miktarı(kg/h) - Hesaplanması hedeflenen değer

$$A_b: 15,8m \times 33,0m = 521,40m^2 - \text{Su yüzeyi}$$

x'': 0,02425 kg.Su /kg. Kuru Hava - Su sıcaklığındaki havanın doyma eğrisindeki mutlak nemi

x' : 0,0125 kg.Su /kg. Kuru Hava – Ortam havasının mutlak nemi

o : buharlaşma sayısı kg/h.m².(kg/kg)

Buharlaşma sayısı “ o ” daha önce verilen ifadeden yola çıkılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$o = 25 + 19 \cdot V$$

V : 0,31m/s – havuz su yüzeyine paralel hava hızı ortalama değeri

$$o = 25 + 19 \times 0,31\text{m/s} = 30,89\text{kg/h.m}^2\text{.(kg/kg)}$$

(8) nolu denklemde değerler yerine konursa ;

$$\dot{M}d = W / A_b = 30,89\text{kg/h.m}^2\text{.(kg/kg)} \times (0,02425 - 0,0125)\text{kg/kg} \quad \dot{M}d = 0,3630 \text{ kg / m}^2 \cdot \text{h}$$

Tüm havuz yüzeyi üzerinden buharlaşan su debisi ;

$$W = \dot{M}d \times A_b = 0,3630 \text{ kg / m}^2\text{.h} \times 521,4\text{m}^2 = 189,25 \text{ kg / h} ,$$

bulunur.

Tüm bu hesapları aşağıdaki gibi bir tabloda toplayabiliriz.

Çizelge 7. 2 Recknagel'e göre buharlaşma hesabı tablosu

Recknagel		Kapalı Yüzme Havuzu Buharlaşma Hesabı			
Dizayn Şartları :	Mahal Sıcaklığı :	30		oC	
	Mahal Bağlı Nemi :	45		%	
	Su Sıcaklığı :	28		oC	
	Havuz Boyu :	33		m	
	Havuz Eni :	15,8		m	
	Dalga Faktörü :	1			
	Mahal Yüksekliği :	7		m	
	Su Yüzey Alanı :	521,40		m ²	
	Mahal Hacmi :	3.649,80		m ³	
	MD,Bu/b	=	o.(x'' - x')		
MD	Havuz yüzeyinden birim alanda buharlaşan su debisi		0,3630		kg/h.m ²
MD,Bu	Havuz yüzeyinden toplam buharlaşan su debisi		189,25		kg/h
v	Havuz yüzeyi üzerindeki hava hızı		0,31		m/s
o	Su buharlaşma faktörü 25 + 19.v		30,89		kg/h.m ² .(kg/kg)
T	Ortam sıcaklığı ve su sıcaklığının Kelvin cinsinden aritmetik ortalaması		302,5		K
Tortam	Ortam sıcaklığı	31	°C	304	K
Tsu	Su sıcaklığı	28	°C	301	K
x''	Su sıcaklığındaki havanın doyma eğrisindeki nemkütlesi		24,25		g/kg
x'	Ortam havasının nem oranı		12,5		g/kg
A_b	Havuz yüzey alanı		521,4		m ²

7.1.3 ASHRAE'ye göre Buharlaşma Hesaplamaları

$W = A_b \cdot (0.0887 + 0.07815 \cdot v) (P_s - P_d) \cdot Y$ (3.4) nolu denklemde değerleri yerine koyarsak ,

W: buharlaşan su miktarı (kg/s) – Hesaplanması hedeflenen değer

A_b : 15,8m x 33,0m = 521,40m² - Su yüzeyi

v: 0,31 m/s - Su üzerindeki hava hızı

Y: 2.438kJ / kg – 28°C 'deki Suyun buharlaşma gizli ısı (kJ/kg)

P_s : 3,780 kPa (28°C sıcaklıktaki su buharının doyma basıncı)

P_d : 2,023 kPa (31°C -45% bağıl neme sahip havanın içindeki su buharı kısmi basıncı)

Değerler (9) nolu denklemde yerine konursa ,

$$\dot{M}d = W / A_b = (0,0887 + 0,07815 \times 0,31 \text{ m/s}) \times (3,78 - 2,023) \text{ kPa} / 2438 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{M}d = 8,138 \text{ kg} / \text{m}^2 \cdot \text{s} \times 3600 = 0,2930 \text{ kg} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$$

Tüm havuz yüzeyi üzerinden buharlaşan su debisi ;

$$W = \dot{M}d \times A_b = 0,2930 \text{ kg} / \text{m}^2 \cdot \text{h} \times 521,4 \text{ m}^2 = 152,76 \text{ kg} / \text{h} ,$$

bulunur.

Tüm bu hesapları aşağıdaki gibi bir tabloda toplayabiliriz.

Çizelge 7. 3 ASHRAE'ye göre buharlaşma hesabı tablosu

ASHRAE		Kapalı Yüzme Havuzu Buharlaşma Hesabı			
Dizayn Şartları :	Mahal Sıcaklığı :	30		oC	
	Mahal Bağlı Nemi :	45		%	
	Su Sıcaklığı :	28		oC	
	Havuz Boyu :	33		m	
	Havuz Eni :	15,8		m	
	Dalga Faktörü :	1			
	Mahal Yüksekliği :	7		m	
	Su Yüzey Alanı :	521,40		m ²	
	Mahal Hacmi :	3.649,80		m ³	
$MD, Bu/b = A_b \cdot (0,0887 + 0,07815 \cdot v) \cdot (P_s - P_d) \cdot 3600 / Y.$					
Ashrae					
MD	Havuz yüzeyinden birim alanda buharlaşan su debisi			0,2910	kg/h.m ²
MD,Bu	Havuz yüzeyinden toplam buharlaşan su debisi			151,70	kg/h
v	Havuz yüzeyi üzerindeki hava hızı			0,3	m/s
Y	Suyun buharlaşma gizli ısı			2438	KJ / kg
T	Ortam sıcaklığı ve su sıcaklığının Kelvin cinsinden aritmetik ortalaması			302,5	K
Tortam	Ortam sıcaklığı	31	oC	304	K
Tsu	Su sıcaklığı	28	oC	301	K
Ps	Su sıcaklığındaki su buharının doyma basıncı			3,78	kPa
Pd	Ortam havasının su buharı basıncı			2,023	kPa
Ab	Havuz yüzey alanı			521,4	m ²

Yukarıda hesaplanan 3 ayrı buharlaşma hesabı için kullanılan değerlerin tüm havuz alanı boyunca ölçülen değerlerin ortalaması olduğu unutulmamalıdır. Göze çarpan bir konu ise VDI normu ile Recknagel 'in önerdiği ifadeleri birbiri ile tutarlı sonuçlar vermesine karşın ASHRAE'nin ve M.M. Shah'ın ifadesinin farklı sonuçlar verdiğidir. Bunun nedeninin ampirik ifadede yer alan katsayıların tanımlanmasında yapılan kabullerin diğer ifadelerdeki kabullerden farklı olabileceğini söyleyebiliriz.

7.1.4 Diğer Buharlaştırma İfadeleri ve M.M. Shah'a göre Buharlaştırma Hesabı

Kısaca diğer ifadelerde belirtilen buharlaştırma hesaplarını da ortalama değerler üzerinden yaparsak .

$E = (0,068 + 0,063 F_u) A_p \Delta P$ /ICarrier'in C.C. Smith tarafından düzenlenmiş korelasyonu

$$\dot{M}d = E / A_p = (0,068 + 0,063 \times 0,5) \times (3,78 - 2,023) \text{kPa} / 2438 \text{ kJ} / \text{kg} \times 3600$$

$\dot{M}d = 0,258 \text{ kg} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$ (F_u kullanım faktörü olarak %50 oranında kullanım olduğu varsayılarak 0,5 olarak alınmıştır.)

Hansen ve Mathisen'in önerdiği ifade , içinde aktivite olmayan havuzlar için geçerli olduğundan diğer ifadelerin sonuçları ile yaklaşık sonuçlar vermeyecektir.

Ancak M.M. Shah'ın önerdiği ifade içinde aktivite olan havuzları kapsamaktadır . Bu ifadede önemli olan aktivite oranı olarak yer alan F_u 'yu doğru belirlemektir.

Alman normlarında A_{max} için $4,5 \text{m}^2$ için alındığına daha önce değinilmişti. Havuz kullanıcı sayısı 90 kişi olarak alındığında ;

$$F_u = 4,5 \text{m}^2 / 521,4 / 90 = 0, 778$$

Bu değeri Shah'ın (3.10) nolu ifadesinde kullandığımızda ;

$$E = A_p \cdot (0,113 - 0,000079 / F_u + 0,000059 \Delta P)$$

$$\dot{M}d = E / A_p = 0,113 - 0,000079 / 0,778 + 0,000059 (3780 - 2023) \text{Pa}$$

$$\dot{M}d = W / A_p = 0,2166 \text{kg} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$$

Tüm havuz yüzeyi üzerinden buharlaşan su debisi ;

$$W = \dot{M}d \times A_p = 0,216 \text{ kg} / \text{m}^2 \cdot \text{h} \times 521,4 \text{m}^2 = 112,91 \text{ kg} / \text{h} ,$$

bulunur.

Tüm bu hesapları aşağıdaki gibi bir tabloda toplayabiliriz.

Çizelge 7. 4 M.M. Shah'a göre buharlaşma hesabı tablosu

M.M. Shah		Kapalı Yüzme Havuzu Buharlaşma Hesabı			
Dizayn Şartları :	Mahal Sıcaklığı :	30		oC	
	Mahal Bağıl Nemi :	45		%	
	Su Sıcaklığı :	28		oC	
	Havuz Boyu :	33		m	
	Havuz Eni :	15,8		m	
	Dalga Faktörü :	1			
	Mahal Yüksekliği	7		m	
	Su Yüzey Alanı :	521,40		m2	
	Mahal Hacmi :	3.649,80		m3	
MD,Bu/b =		$A_p \cdot (0,113 - 0,000079/F_u + 0,000059\Delta P)$			M.M. Shah
MD	Havuz yüzeyinden birim alanda buharlaşan su debisi			0,2166	kg/h.m ²
MD,Bu	Havuz yüzeyinden toplam buharlaşan su debisi			112,91	kg/h
Fu	Havuz kullanım faktörü			0,77	
Y	Suyun buharlaşma gizli ısısı			2438	KJ / kg
T	Ortam sıcaklığı ve su sıcaklığının Kelvin cinsinden aritmetik ortalaması			302,5	K
Tortam	Ortam sıcaklığı	31	oC	304	K
Tsu	Su sıcaklığı	28	oC	301	K
Ps	Su sıcaklığındaki su buharının doyma basıncı			3780	kPa
Ph	Ortam havasının su buharı basıncı			2023	kPa
AB	Havuz yüzey alanı			521,4	m2

7.2 Buharlaşma Hesaplarının Karşılaştırılması

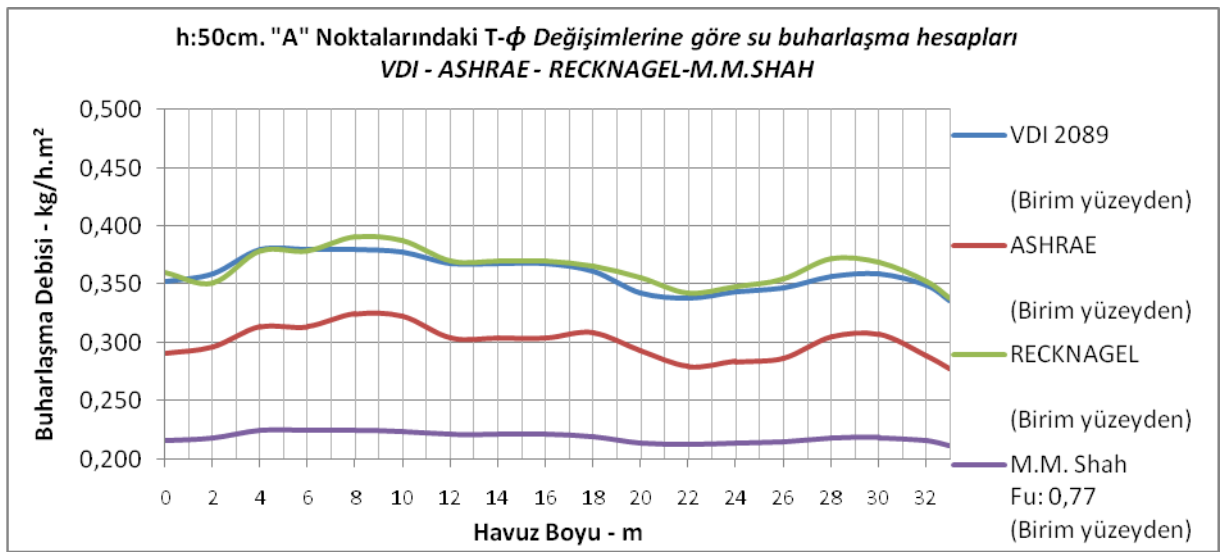
Yapılan ölçümlerde sıcaklık , bağıl nem ve hız değerlerini havuz üzerindeki 72 ayrı noktada 2 ayrı yükseklikte olmak üzere elde etmiş ve tablolar halinde vermiştik. Bu noktalardaki değerleri referans kabul ederek VDI 2089 , Recknagel , ASHRAE ve M.M. Shah'ın önerdiği ifadelerle göre hesaplamaları yaparak sonuçları karşılaştıracğız.

Çizelge 7. 5 "A" noktaları h:50cm.'deki buharlaşma hesabı değişkenler tablosu

"A" Noktaları - h:50cm. Buharlaşma Hesapları												
		Ortam Havası Bağlı Nemi	Ortam Havası Sıcaklığı	Su Sıcaklığı	Su sıcaklığındaki havanın doyma basıncı	Ortam sıcaklığındaki havanın basıncı	Su sıcaklığındaki havanın doyma eğrisindeki nem kütlesi	Ortam sıcaklığındaki havanın nem kütlesi	Su yüzeyine paralel Hava hızı	Su buharlaşma faktörü (VDI 2089)	Su buharı için özel gaz sabiti	Suyun buharlaşma gizli ısısı
No	Ölçüm nokt.	Bağıl Nem	Tortam	Tsu	Psu, sat	Phava	Xsu,sat	Xhava	Vair	β_u, β_b	Rd	Y
	m	%	°C	°C	Pa	Pa	kg.su/kg.Hava	kg.su/kg.Hava	m/s	m/h	J/kgK	KJ / kg
1	0	43	31,5	28	3780	2023	0,02425	0,0125	0,3	28	461,52	2438
2	2	43	31,5	28	3780	1988,75	0,02425	0,0128	0,3	28	461,52	2438
3	4	41	31,4	28	3780	1885,94	0,02425	0,0119	0,3	28	461,52	2438
4	6	41	31,4	28	3780	1885,94	0,02425	0,0119	0,3	28	461,52	2438
5	8	41	31,4	28	3780	1885,94	0,02425	0,0119	0,35	28	461,52	2438
6	10	41	31,5	28	3780	1896,25	0,02425	0,012	0,35	28	461,52	2438
7	12	42	31,5	28	3780	1942,5	0,02425	0,0122	0,3	28	461,52	2438
8	14	42	31,5	28	3780	1942,5	0,02425	0,0122	0,3	28	461,52	2438
9	16	42	31,5	28	3780	1942,5	0,02425	0,0122	0,3	28	461,52	2438
10	18	43	31,4	28	3780	1977,82	0,02425	0,0127	0,35	28	461,52	2438
11	20	45	31,4	28	3780	2068,7	0,02425	0,013	0,35	28	461,52	2438
12	22	45,5	31,4	28	3780	2092,67	0,02425	0,0131	0,3	28	461,52	2438
13	24	45,5	31,2	28	3780	2066,3	0,02425	0,0129	0,3	28	461,52	2438
14	26	45	31,2	28	3780	2046,6	0,02425	0,0127	0,3	28	461,52	2438
15	28	44	31,2	28	3780	2001,28	0,02425	0,0125	0,35	28	461,52	2438
16	30	43	31,5	28	3780	1988,75	0,02425	0,0126	0,35	28	461,52	2438
17	32	44	31,5	28	3780	2035	0,02425	0,01275	0,3	28	461,52	2438
18	33	45,5	31,5	28	3780	2104,4	0,02425	0,01325	0,3	28	461,52	2438

Çizelge 7. 6 "A" noktaları h:50cm.'deki birim ve toplam yüzeyden buharlaşma miktarları

No	Ölçüm nokt. m	VDI 2089	ASHRAE	RECKNAGEL	M.M. Shah	521,40 m ²	VDI 2089	ASHRAE	RECKNAGEL	M.M. Shah
		(Birim yüzeyden)	(Birim yüzeyden)	(Birim yüzeyden)	Fu: 0,77 (Birim yüzeyden)		(Toplam yüzeyden)	(Toplam yüzeyden)	(Toplam yüzeyden)	Fu: 0,77 (Toplam yüzeyden)
		Md.buh	Md.buh	Md.buh	Md.buh		Md.buh	Md.buh	Md.buh	Md.buh
		kg/h.m ²	kg/h.m ²	kg/h.m ²	kg/h.m ²		kg/h	kg/h	kg/h	kg/h
1	0 m	0,352	0,291	0,361	0,217		183,580	151,702	188,082	112,915
2	2 m	0,359	0,297	0,352	0,219		187,159	154,659	183,280	113,968
3	4 m	0,380	0,314	0,379	0,225		197,934	163,536	197,686	117,131
4	6 m	0,380	0,314	0,379	0,225		197,934	163,536	197,686	117,131
5	8 m	0,380	0,325	0,391	0,225		197,934	169,234	203,804	117,131
6	10 m	0,377	0,323	0,388	0,224		196,824	168,313	202,153	116,814
7	12 m	0,368	0,304	0,370	0,221		191,991	158,653	192,884	115,391
8	14 m	0,368	0,304	0,370	0,221		191,991	158,653	192,884	115,391
9	16 m	0,368	0,304	0,370	0,221		191,991	158,653	192,884	115,391
10	18 m	0,361	0,309	0,366	0,219		188,332	161,025	190,602	114,304
11	20 m	0,343	0,293	0,356	0,214		178,835	152,905	185,651	111,509
12	22 m	0,338	0,279	0,342	0,212		176,330	145,687	178,478	110,771
13	24 m	0,344	0,284	0,348	0,214		179,145	147,963	181,679	111,583
14	26 m	0,348	0,287	0,355	0,215		181,204	149,664	184,881	112,189
15	28 m	0,357	0,305	0,372	0,218		185,942	158,929	193,902	113,583
16	30 m	0,359	0,307	0,369	0,219		187,159	160,048	192,252	113,968
17	32 m	0,350	0,289	0,353	0,216		182,327	150,666	184,080	112,545
18	33 m	0,336	0,277	0,338	0,212		175,075	144,674	176,077	110,411



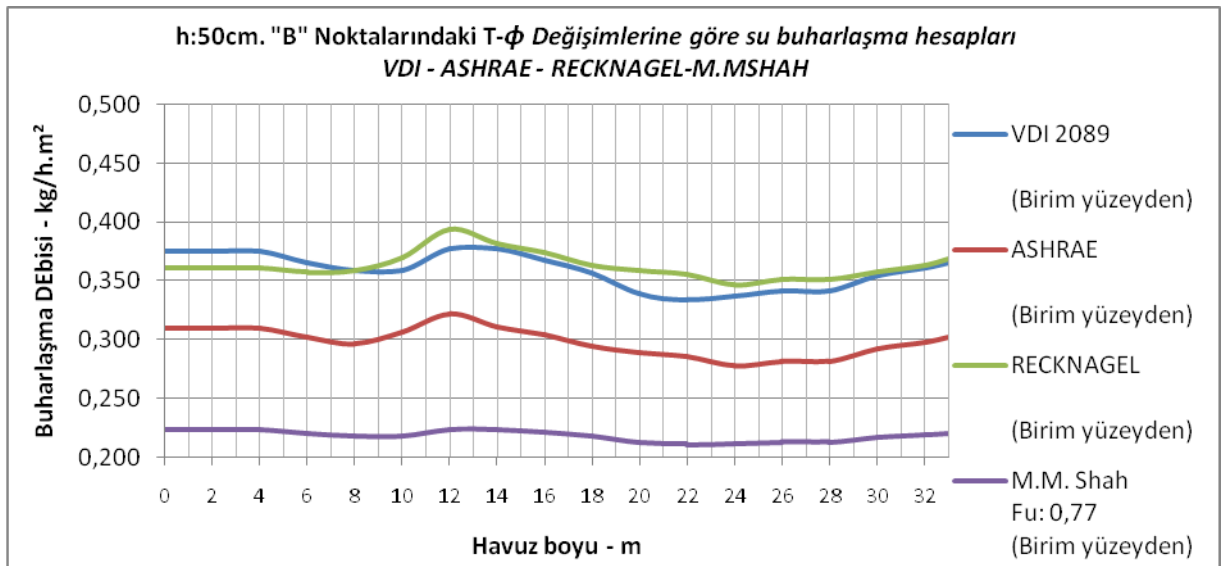
Şekil 7. 1 "A" noktalarındaki buharlaşma ifadeleri grafikleri

Çizelge 7. 7 "B" noktaları h:50cm.'deki buharlaşma hesabı değişkenler tablosu

"B" Noktaları - h:50cm. Buharlaşma Hesapları												
No	Ölçüm nok.t.	Ortam Havası Bağl Nem	Ortam Havası Sıcaklığı	Su Sıcaklığı	Su sıcaklığındaki havanın doyma basıncı	Ortam sıcaklığındaki havanın basıncı	Su sıcaklığındaki havanın doyma eğrisindeki nem kütlesi	Ortam sıcaklığındaki havanın nem kütlesi	Su yüzeyine paralel Hava hızı	Su buharlaşma faktörü (VDI 2089)	Su buharı için özel gaz sabiti	Suyun buharlaşma gizli ısı
	m	%	°C	°C	Pa	Pa	kg.su/kg.Hava	kg.su/kg.Hava	m/s	m/h	J/kgK	KJ / kg
1	0	42,5	31	28	3780	1909	0,02425	0,0125	0,3	28	461,52	2438
2	2	42,5	31	28	3780	1909	0,02425	0,0125	0,3	28	461,52	2438
3	4	42,5	31	28	3780	1909	0,02425	0,0125	0,3	28	461,52	2438
4	6	43,5	31	28	3780	1956	0,02425	0,0126	0,3	28	461,52	2438
5	8	44,5	30,9	28	3780	1989	0,02425	0,01255	0,3	28	461,52	2438
6	10	44,5	30,9	28	3780	1989	0,02425	0,01255	0,3	28	461,52	2438
7	12	42,5	30,9	28	3780	1900,5	0,02425	0,0118	0,3	28	461,52	2438
8	14	42,5	30,9	28	3780	1900,5	0,02425	0,0118	0,3	28	461,52	2438
9	16	43,5	30,9	28	3780	1945	0,02425	0,01205	0,3	28	461,52	2438
10	18	44,5	31	28	3780	2000,5	0,02425	0,0124	0,3	28	461,52	2438
11	20	46,5	31	28	3780	2090,5	0,02425	0,0129	0,3	28	461,52	2438
12	22	47	31	28	3780	2112,9	0,02425	0,013	0,3	28	461,52	2438
13	24	47	30,9	28	3780	2101,15	0,02425	0,01295	0,3	28	461,52	2438
14	26	46,5	30,9	28	3780	2078,5	0,02425	0,0128	0,3	28	461,52	2438
15	28	46,5	30,9	28	3780	2078,5	0,02425	0,0128	0,3	28	461,52	2438
16	30	45	30,9	28	3780	2012,25	0,02425	0,0126	0,3	28	461,52	2438
17	32	44	31	28	3780	1978,8	0,02425	0,0124	0,3	28	461,52	2438
18	33	43,5	31	28	3780	1956,45	0,02425	0,01225	0,3	28	461,52	2438

Çizelge 7.8 "B" noktaları h:50cm.'deki birim ve toplam yüzeyden buharlaşma miktarları

No	Ölçüm nokt. m	VDI 2089	ASHRAE	RECKNAGEL	M.M. Shah Fu: 0,77	521,40 m ²	VDI 2089	ASHRAE	RECKNAGEL	M.M. Shah Fu: 0,77
		(Birim yüzeyden)	(Birim yüzeyden)	(Birim yüzeyden)	(Birim yüzeyden)		(Toplam yüzeyden)	(Toplam yüzeyden)	(Toplam yüzeyden)	(Toplam yüzeyden)
		Md.buh	Md.buh	Md.buh	Md.buh		Md.buh	Md.buh	Md.buh	Md.buh
		kg/h.m ²	kg/h.m ²	kg/h.m ²	kg/h.m ²		kg/h	kg/h	kg/h	kg/h
1	0 m	0,375	0,310	0,361	0,223		195,653	161,545	188,082	116,422
2	2 m	0,375	0,310	0,361	0,223		195,653	161,545	188,082	116,422
3	4 m	0,375	0,310	0,361	0,223		195,653	161,545	188,082	116,422
4	6 m	0,366	0,302	0,358	0,221		190,738	157,487	186,481	114,976
5	8 m	0,359	0,297	0,359	0,219		187,318	154,638	187,282	113,961
6	10 m	0,359	0,307	0,370	0,219		187,318	160,026	193,077	113,961
7	12 m	0,377	0,322	0,394	0,224		196,575	167,933	205,454	116,683
8	14 m	0,377	0,311	0,382	0,224		196,575	162,279	199,287	116,683
9	16 m	0,368	0,304	0,375	0,221		191,920	158,437	195,285	115,314
10	18 m	0,357	0,295	0,364	0,218		186,085	153,645	189,683	113,607
11	20 m	0,339	0,290	0,359	0,213		176,673	150,957	187,301	110,838
12	22 m	0,334	0,286	0,356	0,211		174,331	148,955	185,651	110,149
13	24 m	0,337	0,278	0,347	0,212		175,589	144,954	180,879	110,510
14	26 m	0,341	0,282	0,352	0,213		177,958	146,910	183,280	111,207
15	28 m	0,341	0,282	0,352	0,213		177,958	146,910	183,280	111,207
16	30 m	0,355	0,293	0,358	0,217		184,887	152,630	186,481	113,245
17	32 m	0,361	0,298	0,364	0,219		188,354	155,518	189,683	114,274
18	33 m	0,366	0,302	0,368	0,220		190,691	157,448	192,084	114,962



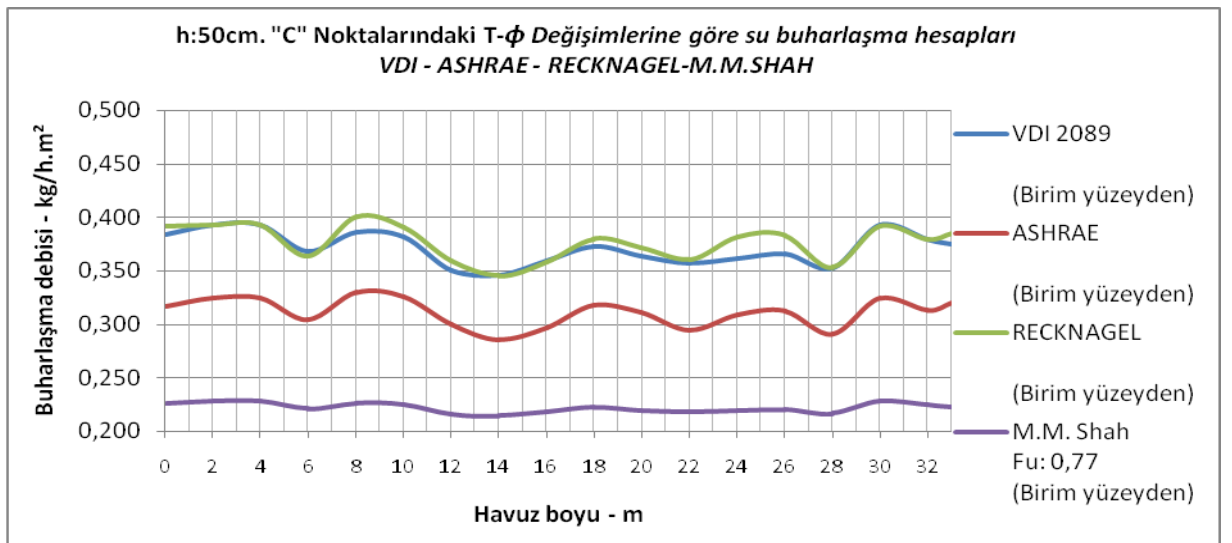
Şekil 7. 2 "B" noktalarındaki buharlaşma ifadeleri grafikleri

Çizelge 7. 9 "C" noktaları h:50cm.'deki buharlaşma hesabı değişkenler tablosu

"C" Noktaları - h:50cm. Buharlaşma Hesapları												
No	Ölçüm nokt.	Ortam Havası Bağlı Nem	Ortam Havası Sıcaklığı	Su Sıcaklığı	Su sıcaklığındaki havanın doyma basıncı	Ortam sıcaklığındaki havanın basıncı	Su sıcaklığındaki havanın doyma eğrisindeki nem kütlesi	Ortam sıcaklığındaki havanın nem kütlesi	Su buharlaşma faktörü (VDI 2089)	Su buharı için özel gaz sabiti	Suyun buharlaşma ısı	
	m	%	°C	°C	Pa	Pa	kg.su/kg.Hava	kg.su/kg.Hava	m/s	m/h	J/kgK	KJ / kg
1	0	41,5	31	28	3780	1867	0,02425	0,0115	0,3	28	461,52	2438
2	2	40,5	31	28	3780	1822	0,02425	0,01145	0,3	28	461,52	2438
3	4	40,5	31	28	3780	1822	0,02425	0,01145	0,3	28	461,52	2438
4	6	43,5	30,9	28	3780	1945,5	0,02425	0,0124	0,3	28	461,52	2438
5	8	41,5	30,9	28	3780	1856,5	0,02425	0,0116	0,35	28	461,52	2438
6	10	42	30,9	28	3780	1878,9	0,02425	0,0119	0,35	28	461,52	2438
7	12	45,5	30,9	28	3780	2032,5	0,02425	0,0129	0,35	28	461,52	2438
8	14	46	30,9	28	3780	2056,7	0,02425	0,013	0,3	28	461,52	2438
9	16	44,5	30,9	28	3780	1990	0,02425	0,0126	0,3	28	461,52	2438
10	18	43	30,9	28	3780	1923,35	0,02425	0,01225	0,35	28	461,52	2438
11	20	44	30,9	28	3780	1967,8	0,02425	0,0125	0,35	28	461,52	2438
12	22	45	30,8	28	3780	2001	0,02425	0,0125	0,3	28	461,52	2438
13	24	44,5	30,8	28	3780	1978,5	0,02425	0,0122	0,35	28	461,52	2438
14	26	44	30,8	28	3780	1956	0,02425	0,01215	0,35	28	461,52	2438
15	28	45	31	28	3780	2023,5	0,02425	0,01275	0,3	28	461,52	2438
16	30	40,5	31	28	3780	1822	0,02425	0,0115	0,3	28	461,52	2438
17	32	42	31	28	3780	1889,4	0,02425	0,0119	0,3	28	461,52	2438
18	33	42,5	31	28	3780	1911	0,02425	0,0121	0,35	28	461,52	2438

Çizelge 7. 10 "C" noktaları h:50cm.'deki birim ve toplam yüzeyden buharlaşma miktarları

No	Ölçüm nokt.	VDI 2089	ASHRAE	RECKNAGEL	M.M. Shah Fu: 0,77 (Birim yüzeyden)	521,40 m ²	VDI 2089	ASHRAE	RECKNAGEL	M.M. Shah Fu: 0,77 (Toplam yüzeyden)
		(Birim yüzeyden)	(Birim yüzeyden)	(Birim yüzeyden)	(Birim yüzeyden)		(Toplam yüzeyden)	(Toplam yüzeyden)	(Toplam yüzeyden)	(Toplam yüzeyden)
		Md.buh	Md.buh	Md.buh	Md.buh		Md.buh	Md.buh	Md.buh	Md.buh
	m	kg/h.m ²	kg/h.m ²	kg/h.m ²	kg/h.m ²		kg/h	kg/h	kg/h	kg/h
1	0 m	0,384	0,317	0,391	0,226		200,045	165,171	204,089	117,714
2	2 m	0,393	0,324	0,393	0,228		204,751	169,057	204,889	119,098
3	4 m	0,393	0,324	0,393	0,228		204,751	169,057	204,889	119,098
4	6 m	0,368	0,304	0,364	0,221		191,868	158,394	189,683	115,299
5	8 m	0,386	0,330	0,400	0,226		201,176	171,865	208,754	118,037
6	10 m	0,381	0,326	0,391	0,225		198,834	169,863	203,804	117,347
7	12 m	0,351	0,299	0,359	0,216		182,769	156,139	187,301	112,622
8	14 m	0,346	0,285	0,345	0,215		180,238	148,792	180,079	111,878
9	16 m	0,359	0,296	0,358	0,219		187,214	154,551	186,481	113,930
10	18 m	0,372	0,318	0,380	0,222		194,185	165,892	198,028	115,980
11	20 m	0,364	0,311	0,372	0,220		189,536	161,920	193,902	114,613
12	22 m	0,357	0,295	0,361	0,218		186,094	153,602	188,082	113,591
13	24 m	0,361	0,309	0,381	0,219		188,448	160,964	198,853	114,284
14	26 m	0,366	0,313	0,383	0,221		190,801	162,974	199,678	114,976
15	28 m	0,352	0,291	0,353	0,217		183,680	151,659	184,080	112,899
16	30 m	0,393	0,324	0,391	0,228		204,751	169,057	204,089	119,098
17	32 m	0,379	0,313	0,379	0,224		197,703	163,237	197,686	117,024
18	33 m	0,375	0,320	0,385	0,223		195,444	166,995	200,503	116,360



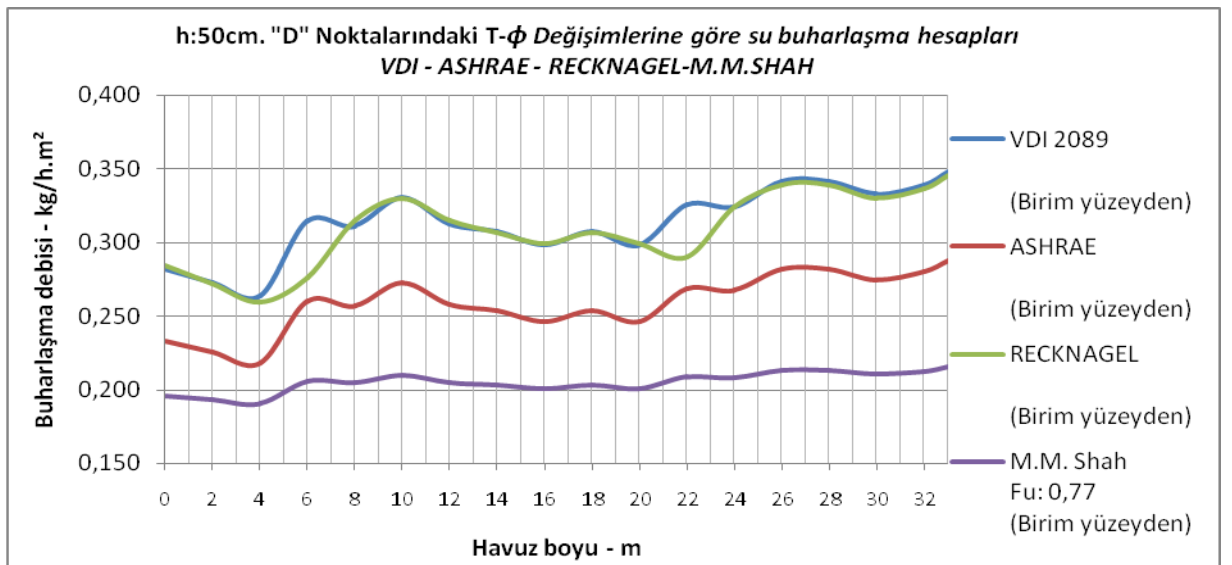
Şekil 7. 3 "C" noktalarındaki buharlaşma ifadeleri grafikleri

Çizelge 7. 11 "D" noktaları h:50cm.'deki buharlaşma hesabı değişkenler tablosu

"D" Noktaları - h:50cm. Buharlaşma Hesapları												
No	Ölçüm nokt.	Ortam Havası Bağlı Nemi	Ortam Havası Sıcaklığı	Su Sıcaklığı	Su sıcaklığındaki havanın ortam sıcaklığındaki havanın	Phava	Xsu,sat	Xhava	Vair	β_u, β_b	Rd	Y
	m	%	°C	°C	Pa	Pa	kg.su/kg.Hava	kg.su/kg.Hava	m/s	m/h	J/kgK	KJ / kg
1	0	51	31,6	28	3780	2371,8	0,02425	0,015	0,3	28	461,52	2438
2	2	52	31,6	28	3780	2418,6	0,02425	0,0154	0,3	28	461,52	2438
3	4	53	31,6	28	3780	2464,4	0,02425	0,0158	0,3	28	461,52	2438
4	6	48	31,2	28	3780	2210	0,02425	0,01525	0,3	28	461,52	2438
5	8	49	31,2	28	3780	2227,88	0,02425	0,014	0,3	28	461,52	2438
6	10	48	30,8	28	3780	2133,6	0,02425	0,0135	0,3	28	461,52	2438
7	12	50	30,8	28	3780	2222	0,02425	0,014	0,3	28	461,52	2438
8	14	50	31	28	3780	2247	0,02425	0,01425	0,3	28	461,52	2438
9	16	51	31	28	3780	2292	0,02425	0,0145	0,3	28	461,52	2438
10	18	50	31	28	3780	2247	0,02425	0,01425	0,3	28	461,52	2438
11	20	51	31	28	3780	2292	0,02425	0,0145	0,3	28	461,52	2438
12	22	48	31	28	3780	2157,6	0,02425	0,0148	0,3	28	461,52	2438
13	24	49	30,7	28	3780	2165,55	0,02425	0,0137	0,3	28	461,52	2438
14	26	47	30,7	28	3780	2077,65	0,02425	0,0132	0,3	28	461,52	2438
15	28	47	30,7	28	3780	2077,65	0,02425	0,0132	0,3	28	461,52	2438
16	30	48	30,7	28	3780	2121,6	0,02425	0,0135	0,3	28	461,52	2438
17	32	47	30,8	28	3780	2089,4	0,02425	0,0133	0,3	28	461,52	2438
18	33	46	30,8	28	3780	2045,2	0,02425	0,013	0,3	28	461,52	2438

Çizelge 7. 12 "D" noktaları h:50cm.'deki birim ve toplam yüzeyden buharlaşma miktarları

No	Ölçüm nokt.	VDI 2089	ASHRAE	RECKNAGEL	M.M. Shah Fu: 0,77 (Birim yüzeyden)	521,40 m ²	VDI 2089	ASHRAE	RECKNAGEL	M.M. Shah Fu: 0,77 (Toplam yüzeyden)
		(Birim yüzeyden)	(Birim yüzeyden)	(Birim yüzeyden)	(Birim yüzeyden)		(Toplam yüzeyden)	(Toplam yüzeyden)	(Toplam yüzeyden)	(Toplam yüzeyden)
	Md.buh	Md.buh	Md.buh	Md.buh	Md.buh		Md.buh	Md.buh	Md.buh	Md.buh
	m	kg/h.m ²	kg/h.m ²	kg/h.m ²	kg/h.m ²		kg/h	kg/h	kg/h	kg/h
1	0 m	0,282	0,233	0,284	0,196		147,112	121,586	148,065	102,185
2	2 m	0,273	0,225	0,272	0,193		142,223	117,545	141,662	100,745
3	4 m	0,264	0,218	0,259	0,191		137,438	113,591	135,259	99,336
4	6 m	0,315	0,260	0,276	0,206		164,123	135,556	144,063	107,162
5	8 m	0,311	0,257	0,315	0,204		162,254	134,012	164,072	106,612
6	10 m	0,330	0,273	0,330	0,210		172,223	142,153	172,075	109,512
7	12 m	0,313	0,258	0,315	0,205		162,976	134,520	164,072	106,793
8	14 m	0,307	0,254	0,307	0,203		160,308	132,362	160,070	106,024
9	16 m	0,298	0,246	0,299	0,201		155,602	128,476	156,068	104,639
10	18 m	0,307	0,254	0,307	0,203		160,308	132,362	160,070	106,024
11	20 m	0,298	0,246	0,299	0,201		155,602	128,476	156,068	104,639
12	22 m	0,325	0,269	0,290	0,209		169,657	140,080	151,266	108,774
13	24 m	0,324	0,267	0,324	0,208		168,909	139,394	168,874	108,529
14	26 m	0,342	0,282	0,339	0,213		178,106	146,984	176,877	111,233
15	28 m	0,342	0,282	0,339	0,213		178,106	146,984	176,877	111,233
16	30 m	0,333	0,275	0,330	0,211		173,507	143,189	172,075	109,881
17	32 m	0,339	0,280	0,336	0,213		176,847	145,969	175,276	110,872
18	33 m	0,348	0,287	0,345	0,215		181,471	149,785	180,079	112,232



Şekil 7. 4 "D" noktalarındaki buharlaşma ifadeleri grafikleri

KÜTLE TRANSFERİ HESAPLARI ile TAŞINIMIN HESAPLANMASI

Havuz üzerindeki hava hareketini incelediğimizde havuzun kenar bölümlerinden üflenen nemi alınmış ve ortam şartlarına kadar ısıtılmış havanın su yüzeyi üzerinden transfer olan nem kütlesini bünyesine katarak havuzun orta bölümünden emildiğini gözlemleriz. Bu durumda su yüzeyi üzerindeki hava hareketi için iki farklı durum oluştuğunu düşünebiliriz. Yüzey alanını 3 eşit parçaya ayırdığımızda kenarlardaki 5,27mx33m'lik 2 alan ortada ise 5,27mx33m'lik 1 alan oluşur.

Kenarlardaki alanda yüzey üzerindeki hava hareketi göreceli olarak yatay olarak kabul edilebilir. Kenarlardaki bu harekete karşın orta bölümde ise hava katmanlar halinde yükselerek birbirine yüzeyden almış olduğu nem kütlesini iletir ve toplayıcı nozullarından emilerek cihaza geri döndürülmektedir. Hava hareketini bu şekilde yorumladığımızda kütle transferi hesaplarından kenar bölümlerde yüzey üzerinden dış akış ile orta bölümlerde doğal taşınım ile kütle transferini havuz yüzeyi için modellemiş oluruz.

8.1 Doğal Taşınım ile Havuz Ortasından Oluşan Kütle Transferinin Hesaplanması

Doğal taşınım ile kütle transferinin hesabında karışımın homojen olmadığı düşünülerek sıcaklıklar yerine yoğunluklar kullanılacak ve Grasof sayısı hesaplanarak ifadelerde kullanılacaktır. Grashof sayısı ile birlikte karakteristik bir uzunluk tayin edilmesi gerekeceği için ifadelerde ,

$$Lc = \frac{A_s}{P} \quad (8.1)$$

As : Hesaba esas yüzey alanı

P : Hesaba esas yüzey alanının çevresi

değeri kullanılacaktır.

Bu durumda Grashof sayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Gr = \frac{g(\rho_{\infty} - \rho_s)L_c^3}{\rho v^2} \quad (8.2)$$

Grashof sayısını hesaplamak için havuz holündeki T_{∞} sıcaklığındaki havanın yoğunluğu ile su yüzeyindeki havanın yoğunluklarını hesaplamamız gereklidir. Bilindiği gibi yoğunluk hava ile suyun kısmi basınçlarına göre hesaplanacak ve kısmi yoğunlukları toplanarak havanın toplam yoğunluğu hesaplanmış olacaktır.

Su sıcaklığında havanın içindeki su buharının basıncı aynı sıcaklıkta ($28^{\circ}\text{C} = 301^{\circ}\text{K}$) doymuş suyun basıncına eşit olacaktır . Böylelikle ,

$$P_{v,sat,301^{\circ}\text{K}} = 0,03767 \text{ bar} = 3,767\text{kPa} ;$$

bulunur.

Su yüzeyinden uzakta havanın içindeki buhar basıncını bulmak için öncelikle suyun termofiziksel özellikleri tablosundan su yüzeyinden uzaktaki sıcaklıkta ($30^{\circ}\text{C} = 303^{\circ}\text{K}$) doymuş suyun basıncını okumalıyız.

$$P_{v,sat,303^{\circ}\text{K}} = 0,0424 \text{ bar} = 4,24\text{kPa} ;$$

Su yüzeyinden uzakta havanın bağıl nemi ortalama değer olarak %50 alındığında ;

$$P_{v,\infty} = \phi P_{T_{\infty},sat} = (\%50) (4,24\text{kPa}) = 2,12\text{kPa}$$

bulunur.

Aşağıdaki ideal gaz denklemi kullanılarak yoğunluk hesaplamaları yapılır.

$$\rho = \frac{P}{R T} \quad (8.3)$$

Su yüzeyindeki havanın içindeki su buharının özgül kütlesi

$$\rho_{v,s} = \frac{P_{v,s}}{R_v T_s} = \frac{3,767\text{kPa}}{0,4615\text{kPa}\cdot\text{m}^3/\text{kg}\cdot\text{K} \cdot 301^{\circ}\text{K}} = 0,02712\text{kg}/\text{m}^3$$

Aynı formül ile su yüzeyindeki kuru havanın özgül kütlesi

$$\rho_{a,s} = \frac{P_{a,s}}{R_a T_s} = \frac{(101,67-3,767)kPa}{0,287kPa\cdot m^3/kg^{\circ}K \cdot 301^{\circ}K} = 1,133kg/m^3$$

Bu durumda su yüzeyinde toplam özgül hacim

$$\rho_s = \rho_{v,s} + \rho_{a,s} = 0,02712kg/m^3 + 1,133kg/m^3 = 1,160 kg/m^3$$

Su yüzeyinden uzakta su buharının özgül kütlesi

$$\rho_{v,\infty} = \frac{P_{v,\infty}}{R_v T_{\infty}} = \frac{2,12kPa}{0,4615kPa\cdot m^3/kg^{\circ}K \cdot 303^{\circ}K} = 0,015kg/m^3$$

Su yüzeyinden uzakta kuru havanın özgül kütlesi

$$\rho_{a,\infty} = \frac{P_{a,\infty}}{R_a T_{\infty}} = \frac{(101,67-2,12)kPa}{0,287kPa\cdot m^3/kg^{\circ}K \cdot 303^{\circ}K} = 1,144kg/m^3$$

Bu durumda su yüzeyinden uzakta toplam özgül hacim

$$\rho_{\infty} = \rho_{v,\infty} + \rho_{a,\infty} = 0,015kg/m^3 + 1,144kg/m^3 = 1,159$$

Grashof sayısı ;

$$Gr = \frac{g(\rho_{\infty}-\rho_s)L_c^3}{\rho v^2} = \frac{9,81(1,160-1,159)2,27^3}{\frac{1,160+1,159}{2}(1,589 \times 10^{-5})^2} = 3,9 \times 10^8$$

olarak bulunur.

İkili yayılım katsayısı sudan havaya olmak üzere tablolardan $2,6525 \times 10^{-5}$ olarak okunur.

$$Sc = \frac{v}{D_{AB}} = \frac{1,589 \times 10^{-5}}{2,6525 \times 10^{-5}} = 0,6 \quad (8.4)$$

Elde ettiğimiz veriler ile Sherwood sayısını hesaplayıp oradan kütle transfer hızı $h_{k\ddot{u}tle}$ değerini elde edeceğiz.

$$Sh = 0,15 (Gr. Sc)^{1/3} \quad (8.5)$$

$$Sh = 0,15 \times (3,9 \times 10^8 \times 0,6)^{1/3} = 92,4$$

$$Sh = \frac{h L_c}{D_{AB}} \Rightarrow h_{k\ddot{u}tle} = \frac{Sh D_{AB}}{L_c}$$

$$h_{k\ddot{u}tle} = \frac{92,4 \times 2,6525 \times 10^{-5}}{2,27} = 1,0796 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$\dot{m}_v = h_{k\ddot{u}tle} \cdot A_s \cdot (\rho_{v,s} - \rho_{v,\infty})$$

$$\dot{m}_v = 1,0796 \times 10^{-3} \text{ m/s} \times (5,27 \times 33) \text{ m}^2 \times (0,02712 - 0,015) \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{m}_v = 2,27 \times 10^{-3} \text{ kg/s} = 8,17 \text{ kg/h}$$

8.2 Düz Levha Üzerinden Dış Akışla Oluşan Kütle Transferinin Hesaplanması

Havuz yüzeyinin kenar kısımlarındaki hava hareketinin yüzeye paralel dış akış olarak kabul edildiğini varsayarak hesaplamaları gerçekleştireceğiz. Bu durumda öncelikle akışın laminer , karışık yada türbülanslı akım olup olmadığına karar vereceğiz. Bunun için öncelikle Reynolds sayısını bulmalıyız. Reynolds sayısı hesaplanırken yine karakteristik uzunluk L_c kullanılacaktır.

Bu durumda ;

$$Re = \frac{U_\infty L_c}{\nu} = \frac{0,3 \times 2,27}{16,19 \times 10^{-6}} = 4,2 \times 10^4 < 5 \times 10^5 ;$$

Yani akım laminerdir. Bu durumda Isı ve Kütle transferi benzeşiminden ;

$$Sh = \frac{h_m L_c}{D_{AB}} = 0,664 Re^{1/2} Sc^{1/3}$$

$$Sc = \frac{\nu}{D_{AB}} = \frac{16,19 \times 10^{-6}}{2,6525 \times 10^{-5}} = 0,6 , \text{ olur.}$$

Schmidt sayısı 0,6'ya eşit olduğu için yukarıdaki Sherwood benzeşim ifadesi kullanılabilir.

$$Sh = 0,664 \times 4,2 \times 10^4 \times 0,6^{1/3} = 114,77$$

$$h_{k\u00fctle} = \frac{Sh D_{AB}}{L_c} = \frac{114,77 \times 2,6525 \times 10^{-5}}{2,27} = 1,3411 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$\dot{m}_v = h_{k\u00fctle} \cdot A_s \cdot (\rho_{v,s} - \rho_{v,\infty})$$

$$\rho_{v,s} = 0,0268 \text{ kg/m}^3 \text{ (Y\u00fczey sıcaklığı } T_s = 28^\circ\text{C} = 301^\circ\text{K'de doymu\u015f suyun basıncı)}$$

$$\rho_{v,s} = 0,0298 \text{ kg/m}^3 \text{ (Mahal sıcaklığı } T_s = 30^\circ\text{C} = 303^\circ\text{K'de doymu\u015f suyun basıncı)}$$

$$\rho_{v,\infty} = \rho_{v,s} \times \phi = 0,0298 \times \%50 = 0,0149 \text{ kg/m}^3 \text{ (Mahal sıcaklığında havanın i\u00e7indeki su buharının kısmi basıncı)}$$

$$\dot{m}_v = 1,3411 \times 10^{-3} \text{ m/s} \times (5,27 \times 33) \text{ m}^2 \times (0,0268 - 0,0149) \text{ kg/m}^3 = 2,775 \times 10^{-3}$$

$$\dot{m}_v = 2,775 \times 10^{-3} \text{ kg/s} = 9,99 \text{ kg/h}$$

bulunur .

K\u00fctle transferine esas olan y\u00fczey alanını \u00fc\u00e7e b\u00f6lm\u00fc\u015f idik. Bu b\u00f6l\u00fcmlerden orta b\u00f6l\u00fcm\u00fcn doğal ta\u015fınım ile kenar b\u00f6l\u00fcmlerinin laminer dı\u015f akı\u015f ile ger\u00e7ekle\u015ftiğini d\u00fc\u015f\u00fcnerek hesapları ger\u00e7ekletirdik. Bu durumda toplam k\u00fctle transferini bulmak i\u00e7in bu b\u00f6l\u00fcmlerden olan k\u00fctle transferi miktarlarını toplarız.

$$\dot{m}_{toplam} = \dot{m}_{doğal\ ta\u015fınım} + \dot{m}_{laminer\ dı\u015f\ akı\u015f} \times 2$$

$$\dot{m}_{toplam} = 8,17 \text{ kg/h} + 9,99 \text{ kg/h} \times 2 = 28,15 \text{ kg/h}$$

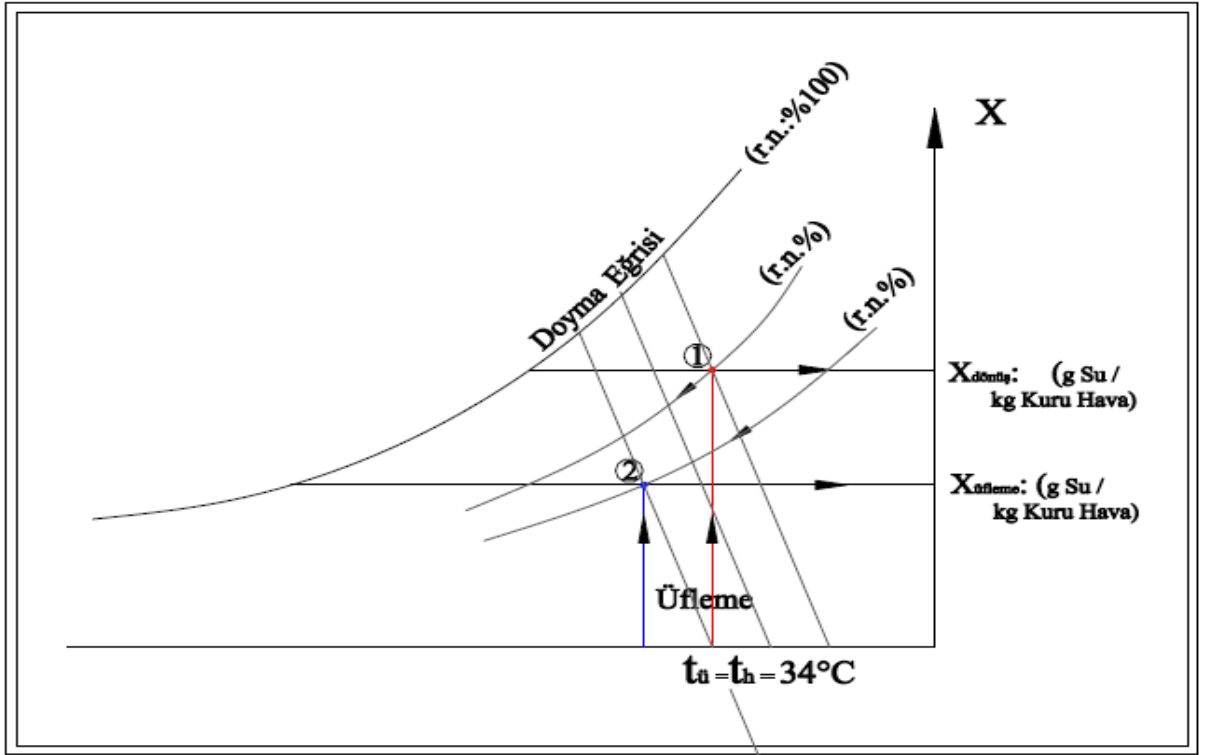
Birim y\u00fczeyden olu\u015fan k\u00fctle transferini bulmak i\u00e7in havuzun toplam y\u00fczey alanına bulduğumuz değerini b\u00f6leriz.

$$\dot{m}_{toplam} \text{ (kg/h.m}^2\text{)} = 28,15 \text{ kg/h} / 521,4 \text{ m}^2 = \mathbf{0,054 \text{ kg/h.m}^2}$$

NEM ALMA SANTRALİ ÜZERİNDEN BUHARLAŞMA MİKTARININ HESAPLANMASI

Nem alma santrali havuz mahalindeki havayı üfleme ve emiş kanalları vasıtasıyla şartlandırmaktadır. Böylelikle santrale dönen hava ve üfleme havası cihazın öncelikle fan hücrelerinin olduğu bölüme döndürülmektedir. Yöntem olarak bu havaların şartlarını ölçerek psikometrik diagram üzerinden özgül nem kütleleri bulunursa fan debileri belli olduğu için mahalden çekilen nem miktarının hesaplanması hedeflenmiştir.

Havuzda saat 10:00 – 12:00 saatleri arasında ölçümler gerçekleştirilmiştir. Cihazın üfleme ve emiş havaları havuzda insan yok iken 8 farklı günde ölçülerek veriler elde edilmiştir. Aynı ölçümler 5 farklı günde havuzda insanlar var iken tekrar edilmiştir. Bu verilere göre psikometrik diagramdan ölçülen özgül nem değerleri okunarak bir tablo oluşturulmuştur. Santral toplam ortalama çalışma debisi belli olduğu için özgül nem kütlelerinin üfleme ile dönüş havası arasındaki farkı ile toplam hava kütlesi çarpıldığında santral tarafından alınan nem miktarı da net bir biçimde hesaplanmış olacaktır.



Şekil 9. 1 Psikometrik diagramdan üfleme ve emiş havalarının özelliklerinin okunması

Şekil 9.1 yardımıyla okunan değerler ve sahadan alınan veriler ışığında buharlaşma miktarı

$$m_{\text{toplam}} = \frac{(x_{\text{dönüş}} - x_{\text{üfleme}}) [\text{gr./kg.Kuru hava}] V [\text{m}^3/\text{h}]}{v \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right] 1.000}$$

ifadesiyle hesaplanır.

Çizelge 9. 1 Havuz kullanımda değilken santral üfleme ve emiş havalarının özgül kütleleri ve toplam buharlaşma miktarları ile ortalama buharlaşma miktarları

Santral Üzerinden Ölçümler ile Nem Miktarı (İnsanlar yok iken)						
Havuz Suyu Sıc: 28 , Ortam Sıc:30						
Ölçüm No		Bağıl Nem	Sıcaklık	Özgül Nem	Özgül Kütle	13.250 m³/h
1	Üfleme	45	29,5	11,6	0,873	25,80 kg/h
	Dönüş	55	28,3	13,3		
2	Üfleme	44	29,4	11,5	0,874	29,56 kg/h
	Dönüş	56	28,5	13,45		
3	Üfleme	45	29,9	11,85	0,872	26,59 kg/h
	Dönüş	56	28,4	13,6		
4	Üfleme	45	29	11,7	0,874	31,84 kg/h
	Dönüş	57	28,6	13,8		
5	Üfleme	44	29,1	11,3	0,873	34,91 kg/h
	Dönüş	56	28,7	13,6		
6	Üfleme	44	30,1	11,7	0,872	19,75 kg/h
	Dönüş	54	28,7	13		
7	Üfleme	44	29,6	11,45	0,875	31,04 kg/h
	Dönüş	55	28,8	13,5		
8	Üfleme	44	30,1	11,8	0,874	27,29 kg/h
	Dönüş	56	28,5	13,6		

Ortalama Buharlaşma Miktarı	28,35 kg/h
-----------------------------	------------

Birim yüzeyden oluşan kütle transferini bulmak için bulduğumuz değeri havuzun yüzey alanına bölersek ;

$$m_{\text{hareketsiz}} = 28,35 / 521,4 = 0,054 \text{ kg / h.m}^2$$

bulunur.

Bu hesapların aynısını havuz kullanımında iken yani insanların havuzu kullandığı günlerde alınan ölçümler ile tekrar edersek aşağıdaki tabloyu elde ederiz.

Çizelge 9. 2 Havuz kullanımında iken santral üfleme ve emiş havalarının özgül kütleleri ve toplam buharlaşma miktarları ile ortalama buharlaşma miktarları

Santral Üzerinden Ölçümler ile Nem Miktarı (İnsanlar var iken)						
Havuz Suyu Sıc: 28 , Ortam Sıc:30						
Ölçüm No	Bağlı Nem	Sıcaklık	Özgül Nem	Özgül Kütle	13.250 m ³ /h	
1	Üfleme	41	30,1	11	0,876	45,38 kg/h
	Dönüş	58	28,3	14		
2	Üfleme	41	29,9	10,9	0,877	49,86 kg/h
	Dönüş	58	28,5	14,2		
3	Üfleme	40	30	10,7	0,875	42,40 kg/h
	Dönüş	56	28,1	13,5		
4	Üfleme	40	30,1	10,75	0,877	56,66 kg/h
	Dönüş	59	28,6	14,5		
5	Üfleme	42	30	11	0,876	40,84 kg/h
	Dönüş	56	28,2	13,7		

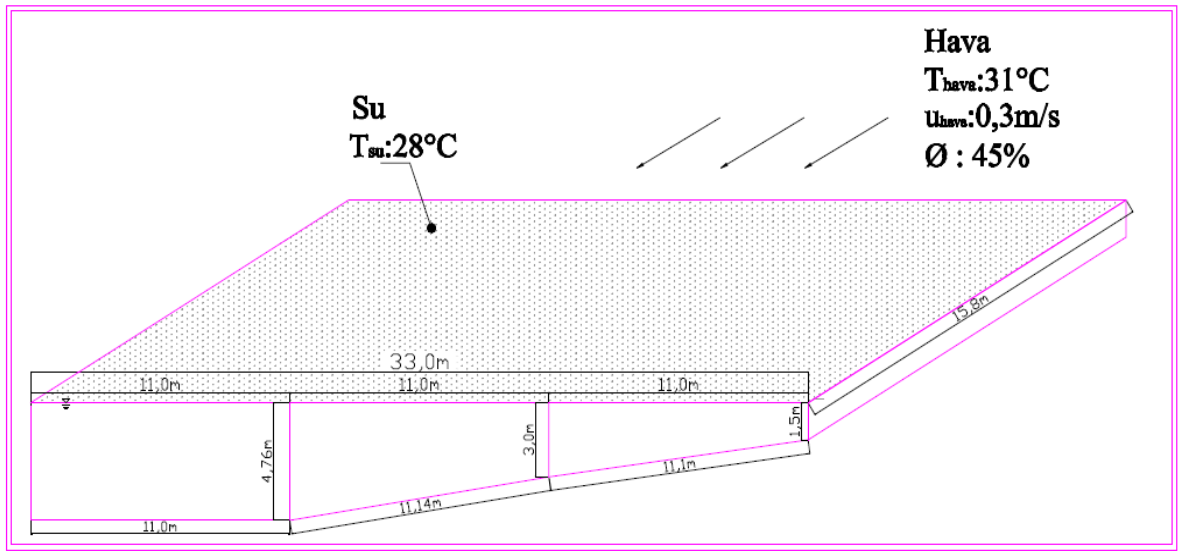
Ortalama Buharlaşma Miktarı	47,03 kg/h
-----------------------------	------------

Birim yüzeyden oluşan kütle transferini bulmak için bulduğumuz değeri havuzun yüzey alanına bölersek ;

$$m_{hareketli} = 47,03 / 521,4 = 0,090 \text{ kg / h.m}^2$$

bulunur.

ISI TRANSFERİ HESAPLARININ YAPILMASI



Şekil 10 .1 Ölçüm alanı fiziksel özellikleri

10.1 Isı Kaybı Hesaplarının Yapılması

Buharlaşma etkisiyle oluşan ısı kaybı (5.2) nolu denklemde değerler yerine konarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$Q_b = E \cdot r$$

$$Q_b = 0,332 \text{ kg / m}^2 \cdot \text{h} \cdot [(694 \text{ W} \cdot \text{h / kg} + 0,53 \text{ W} \cdot \text{h / kg}^\circ \text{K} \times 28^\circ \text{C}) - (1 \text{ kcal / kg}^\circ \text{C} \cdot 28^\circ \text{C})]$$

$$Q_b = 0,332 \text{ kg / m}^2 \cdot \text{h} \cdot 680,84 \text{ W} \cdot \text{h / kg} = 226,04 \text{ W / m}^2$$

E değeri havuz üzerinde yapılan A,B,C ve D noktalarında 3 ayrı ifade ile bulunan değerlerin aritmetik ortalaması olarak alınmıştır.

Taşıma yoluyla ısı kaybı ;

Kapalı ve ortam havası ısıtılan bir havuz olduğu için taşıma yoluyla ısı kaybı yoktur

Su yüzeyinden ışıma yoluyla ısı kaybı ;

Kapalı havuzlarda ışıma yoluyla ısı kaybı yoktur.

Buharlaştırılan suyun geri beslenmesi ile oluşan ısı kaybı (5.8) nolu denklem vasıtasıyla aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$Q_e = E \cdot C_p \cdot (t_h - t_b) \quad (\text{W} / \text{m}^2)$$

$$Q_e = 0,332 \text{ kg} / \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot 1,16 \text{ W} \cdot \text{h} / \text{kg}^\circ\text{C} \cdot (28-10^\circ\text{C})$$

$$Q_e = 6,9 \text{ W} / \text{m}^2$$

Besleme suyu sıcaklığı şebekeden gelen suyun ortalama sıcaklığı olarak 10°C alınmıştır.

Kayıp suyun geri beslenmesi ile oluşan ısı kaybı (5.9) nolu denklem vasıtasıyla aşağıdaki gibi hesaplanır.

Tesiste 14 günde bir filtre sistemi ters yıkama yapılarak temizlenmektedir. Ters yıkama sırasında 40 ton su filtreleme elemanı üzerinden dışarı atılmaktadır.

Bu durumda ,

$$E_{\text{kayıp}} = \frac{40.000 \text{kg}}{14 \text{gün} \times 24 \text{h} \times 521,4 \text{m}^2} = 0,228 \text{ kg} / \text{h} \cdot \text{m}^2$$

$$Q_s = E_{\text{kayıp}} \cdot C_p \cdot (t_h - t_b)$$

$$Q_s = 0,228 \text{kg} / \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot 1,16 \text{ W} \cdot \text{h} / \text{kg}^\circ\text{C} \cdot (28-10) ^\circ\text{C}$$

$$Q_s = 4,76 \text{ W} / \text{m}^2$$

Besleme suyu sıcaklığı şebekeden gelen suyun ortalama sıcaklığı olarak 10°C alınmıştır.

Havuz çanağından olan iletim yoluyla oluşan ısı kayıpları ;

Öncelikle ısı kaybına esas yüzey alanını hesaplamalıyız.

$$A_{yanal} = [(1,5 + 3 + 3 + 4,76) / 2 \times 11 + 4,76 \times 11] \times 2 + (1,5 + 4,76) \times 15,8 = 338,48 \text{ m}^2$$

$$A_{taban} = (11,1 + 11,14 + 11) \times 15,8 = 525,2 \text{ m}^2$$

Bu durumda iletim yoluyla oluşan ısı kaybı (5.4) nolu denklem vasıtasıyla düzenlenerek aşağıdaki hali alır.

$$Q_i = A_{taban} \times U_{taban} \times \Delta T + A_{yanal} \times U_{yanal} \times \Delta T \quad (10.1)$$

Taban malzemesi sırasıyla seramik (0,015m) , çimento harçlı düzeltme şapı (0,02m) , 350 doz beton (0,30m) ,

Tabanın ısı transfer katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\alpha_i = 0,611 \text{ W /m}^2\text{K}$$

$$\lambda_1 = 0,23 \text{ W/m}^2\text{K} - \text{Seramik Yüzey}$$

$$\lambda_2 = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K} - \text{Şap}$$

$$\lambda_3 = 2,2 \text{ W/m}^2\text{K} - \text{Beton}$$

$$\alpha_d = 0 \text{ W /m}^2\text{K} - \text{Toprak teması nedeniyle "0" alınmıştır.}$$

$$1/ K_{taban} = 1/0,611 + 0,015/0,23 + 0,02/1,4 + 0,3/2,2 + 0$$

$$K_{taban} = 0,54 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Yan duvarların malzemesi sırasıyla seramik (0,015m) , çimento harçlı düzeltme şapı (0,03m) , 350 doz beton (0,25m) ,

Yan duvarların ısı transfer katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\alpha_i = 0,611 \text{ W /m}^2\text{K}$$

$$\lambda_1 = 0,23 \text{ W/m}^2\text{K} - \text{Seramik Yüzey}$$

$$\lambda_2 = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K} - \text{Şap}$$

$\lambda_3 = 2,2 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ - Beton

$\alpha_d = 7 \text{ W /m}^\circ\text{K}$ – Isitilmayan mahal olan galeri boşluğundaki hava

$$1/ K_{taban} = 1/0,611 + 0,015/0,23 + 0,03/1,4 + 0,25/2,2 + 1/7$$

$$K_{yanal} = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q_i = 525,2 \text{ m}^2 \times 0,54 \text{ W/m}^2\text{K} \times 18^\circ\text{K} + 338,48 \text{ m}^2 \times 0,5 \text{ W/m}^2\text{K} \times 18^\circ\text{K}$$

$$Q_i = 8.151 \text{ Watt}$$

Havuz yüzey alanına oranladığımızda

$$Q_i : 8.151 / 521,4 = 15,63 \text{ W/m}^2$$

10.2 Isı Kazancı Hesaplarının Yapılması

Su Yüzeyinden Taşınım Yoluyla Isı Kazancı

Ölçüm alanında ortam ısıtması yapıldığı için ısı kazancı oluşmamaktadır.

Güneş Işınımı Yoluyla Isı Kazancı

Kapalı yüzme havuzu olduğu için güneş ışınımı ile ısı kazancı oluşmamaktadır.

10.3 İlk Isıtma Isı İhtiyacı Hesabı

İlk ısıtma için gereken enerji (5.10) nolu denklemde değerler yerine yazılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$Q_d = Q_i + 1000 \times V \times C_p \times (t_h - t_b) / h_d$$

Havuz hacmi ;

$$V = (1,5 + 3 + 3 + 4,76 + 4,76) / 2 * 15,8 \text{ m} * 11 \text{ m} = 1479 \text{ m}^3$$

$$Q_d = 8151 \text{ W} + 1000 \text{ kg/m}^3 \times 1479 \text{ m}^3 \times 1,16 \text{ W.h /kg}^\circ\text{C} \times (28-10) / 72 \text{ h}$$

$$Q_d = 8151 + 428910 = 437.061 \text{ W}$$

Havuz yüzey alanına oranladığımızda

$$Q_i : 437.061 \text{ W} / 521,4 \text{ m}^2 = 838,24 \text{ W/m}^2$$

Göze çarpan bir konu iletim yoluyla oluşan ısı kaybının toplam kaybın %1,8'i kadar küçük bir oranda olduğudur. Bu nedenle iletim yoluyla oluşan ısı kaybının ihmal edilmesi durumunda ilk ısıtma süresi %1,8 düzeyinde oluşacaktır. Örnek olarak 72 saatte ilk ısıtması düşünülen yüzme havuzunda ilave 1,5 saat ısıtma süresine denk gelecektir.

Çizelge 10. 1 İşletme süresince oluşan ısı kayıp ve kazançları

Isı Kayıpları	Miktar	Birim	Isı Kazançları	Miktar	Birim
Buharlaşma Etkisiyle	226	W /m ²	Su Yüzeyinden Taşınım Yoluyla	0	kcal/m ² .h
Taşınım yoluyla	0	W /m ²	Güneş Işınımı Yoluyla	0	kcal/m ² .h
Su yüzeyinden ışıınım yoluyla	0	W /m ²			
Buharlaşan suyun geri beslenmesi	6,9	W /m ²			
Kayıp suyun geri beslenmesi	4,76	W /m ²			
Havuz çanağından iletim yoluyla	15,63	W /m ²			
Toplam	253,29	W /m ²	Toplam Fark Qt	0	kcal/m ² .

Bu çizelge yardımıyla toplam ısı kaybı ve kazancı farkı elde edilir. İşletme süresince oluşan ısı kaybı ile ilk devreye alma sırasında gereken ısıtma ihtiyacından hangisi büyükse tesisatın kapasite hesapları daha yüksek olan bu değere göre hesaplanır.

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Buharlaştırma ifadeleri kendi içinde farklı kabullere göre değişkenlik göstermekte ve bu nedenle yapılan hesaplamalarda farklı değerler aldığı görülmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken bir tesis tasarlanıyorsa ve nem alınması sorunu ile karşılaşıldıysa tesisin çalışma şartları , kullanım maksadı , kullanım yoğunluğu ve sürekliliği , yılın hangi zamanlarında çalıştığı , hatta önceden belirlenebiliyorsa hangi mevsimlerde daha sık kullanılacağı gibi veriler doğru şekilde tahlil edilmelidir. Bazı ifadelerde görüleceği gibi kullanım yoğunluğu , insan sayısı gibi faktörler değişkenler olarak hesaplamalara katılmıştır.

Tesisin çalışma şartlarında yapılan ölçümlere göre her 14 günde bir kez ters yıkama yapılmakta ve bu filtre temizleme işlemi sırasında kaybedilen 40 ton suya ilave olarak yaklaşık 10 ton su ilave edildiği tesbit edilmiştir. Bu da buharlaşan su debisinin 10m^3 olduğunu göstermektedir. Tesisde denge havuzu üzerinden dolun ve seviye kontrolü işlemi gerçekleştirilmektedir. Denge havuzu taban alanı 200m^2 olduğu için seviye ölçümlerindeki her 1cm. lik değişim 2m^3 su hacmine dolayısıyla 2.000kg. suya denk gelmektedir. Buharlaştırma hesaplamalarında buharlaşan su debileri 50 – 200kg /h olduğu için 1 saat sonunda denge havuzunda ölçülecek yükseklik farkı sadece 0,05cm – 0,1cm olmaktadır. Bu da saatlik ölçümlerin gözle ölçülememesine neden olmaktadır.

10.000kg. buharlaşan su havuzun hem kullanımda olduğu hem de kullanımda olmadığı anlardaki toplam miktar olduğu için her iki durumdaki buharlaştırma miktarlarını ayrı ayrı hesaplamalıyız. Böylelikle diğer ifadeler ile karşılaştırma yapılması mümkün olacaktır.

9. bölümde yapılan hesaplamalar neticesinde aktivite olan yani havuz suyunun hareketli olduğu anlardaki buharlaşma miktarı ile aktivite olmayan yani havuz suyunun durgun hareketsiz olduğu anlardaki buharlaşma miktarlarını hesaplamış idik. Bu iki değeri birbirine oranladığımızda

$$47,03 / 28,35 = 1,66 \text{ bulunur.}$$

Buradan aktivite olduğunda buharlaşmanın 1,66 katına çıktığını görmüş oluruz. Böylelikle aşağıdaki gibi bir denklik sağlanabilir.

$$1,66 \dot{M}_{hareketsiz} = \dot{M}_{hareketli}$$

Havuzda hafta içi 09:00-12:00 ile 13:00-16:00 saatleri arası 90 kişilik öğrenci grupları ile ders yapılmakta , bu saatler dışında ve hafta sonları su yüzeyi hareketsiz olmaktadır. Su yüzeyinin 14 günlük periyotta hareketsiz olduğu saatler ;

$$\text{Hareketsiz Saat Sayısı} = 2 \times (5 \text{ gün} \times 18 \text{ h} + 48 \text{ h}) = 276 \text{ h.}$$

$$\text{Hareketli Saat Sayısı} = 2 \times (5 \text{ gün} \times 6 \text{ h}) = 60 \text{ h.}$$

$$10.000 \text{ kg} = \text{Hareketsiz Saat Sayısı} \cdot \dot{M}_{hareketsiz} + \text{Hareketli Saat Sayısı} \cdot \dot{M}_{hareketli}$$

$$\dot{M}_{hareketli}$$

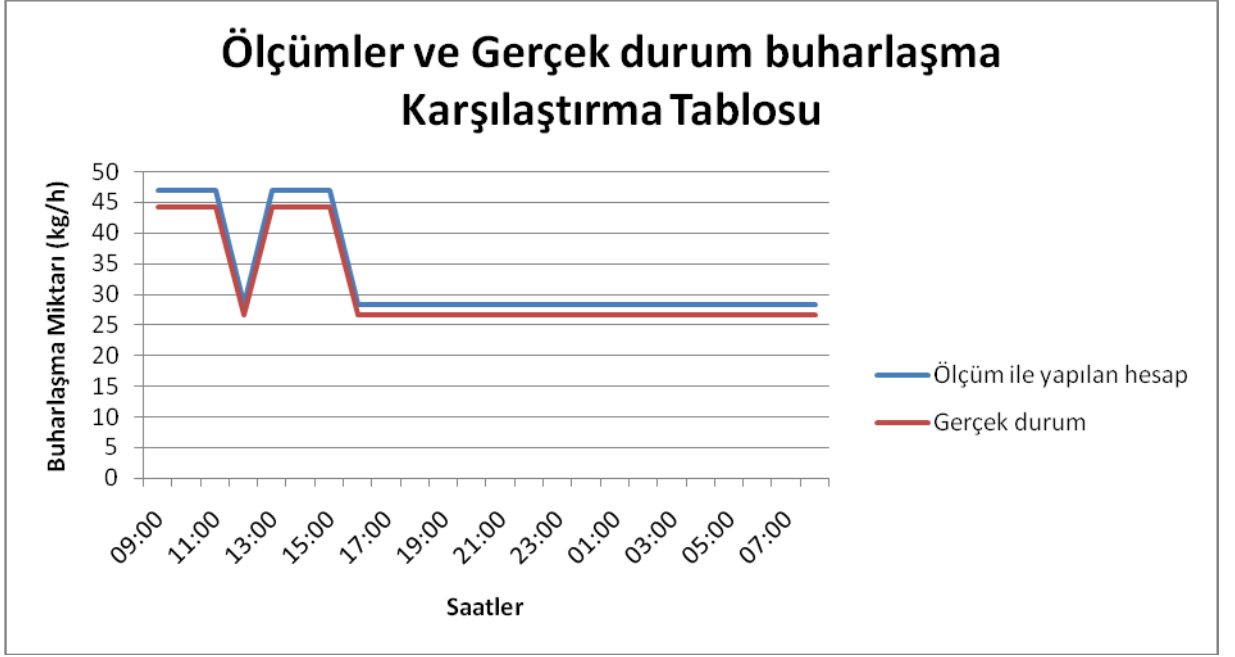
$$10.000 \text{ kg} = 276 \text{ h} \times \dot{M}_{hareketsiz} + 60 \text{ h} \times 1,66 \dot{M}_{hareketsiz}$$

$$\dot{M}_{hareketsiz} = 26,62 \text{ kg/h}$$

$$\dot{M}_{hareketli} = 1,66 \dot{M}_{hareketsiz} = 44,18 \text{ kg/h bulunur.}$$

bulunur.

Hafta içindeki bir gün için santral üzerinden alınan veriler ile 9. bölümde yapılan hesap ile yeni bulduğumuz buharlaşma miktarlarını karşılaştırırsak ne kadarlık bir sapma olduğunu görmüş oluruz.



Şekil 11 .1 Ölçümler ile gerçek durumda gün içindeki buharlaşma miktarlarının karşılaştırılması

Ölçüm metodu ile gerçek durum arasında havuzda aktivite olduğu saatlerde %6,45 lük bir sapma görülmektedir. Aktivite olmayan saatlerde yine %6,49 'luk bir sapma ile ölçümler ile yapılan hesap sisteminin doğruluğunu ölçmüş oluruz.

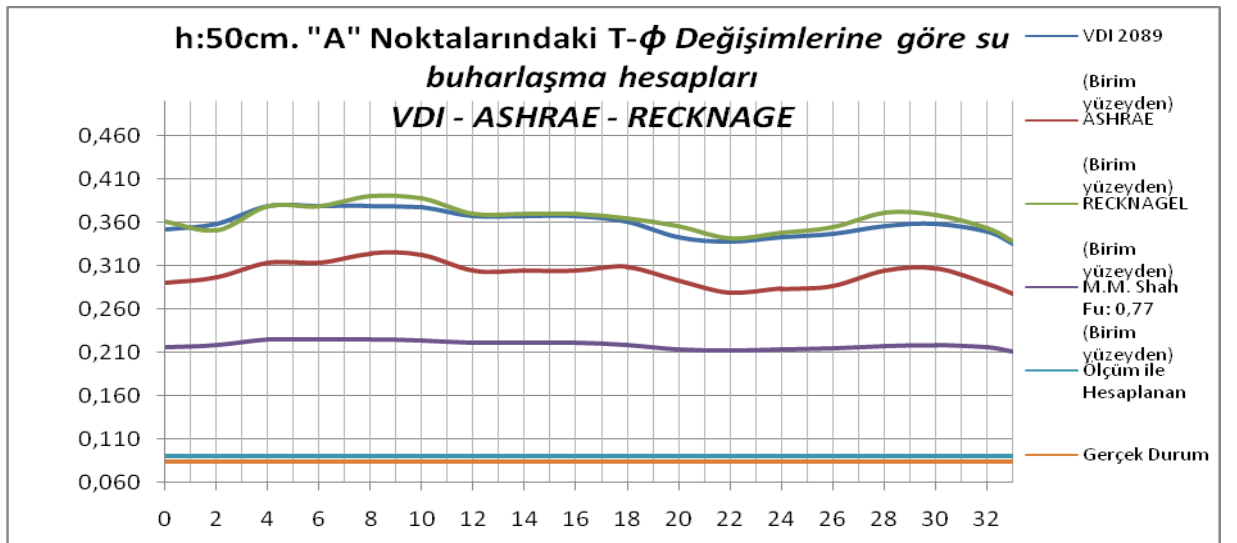
8. Bölümde kütle transferi hesapları yapabilmemiz için havuza uygun bir model ele alarak hesaplamalar yapmış, aktivite bulunmayan durgun su yüzeyi halinde iken oluşan buharlaşma miktarını hesaplamış ve $m_{toplam} = 28,15$ kg/h olarak bulmuştuk. Şimdi ise aktivite olmayan durum için hesapladığımız iki değere daha ulaşmış durumdayız. Böylelikle durgun su yüzeyi üzerinden oluşan buharlaşma miktarı için bu değerleri karşılaştırdığımızda gerçek durumdan sapmalarını görebiliriz.

Çizelge 11. 1 Durgun su yüzeyinde hesapların gerçek durum ile karşılaştırılması

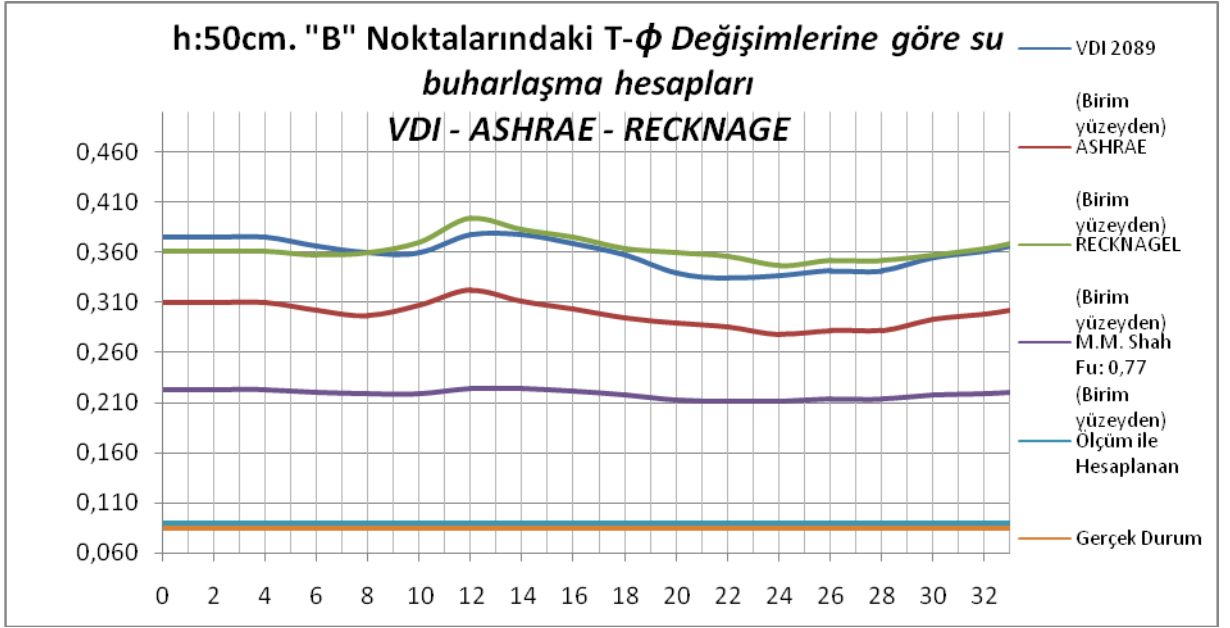
Durgun su yüzeyinde buharlaşma miktarları			
	Gerçek Durum	Kütle Transferi Hesapları ile	Ölçümler ile yapılan hesap
Buharlaşma Miktarı [kg/h]	26,62	28,15	28,35
Sapma [%]		5,75 %	6,50 %

Oluşturulan modelin gerçek duruma çok yakın olduğu görülmektedir. Bu da havuz üzerinde oluşan kütle transferi mekanizmalarının bu çalışmada öngörüldüğü biçimde olduğunu doğrular niteliktedir.

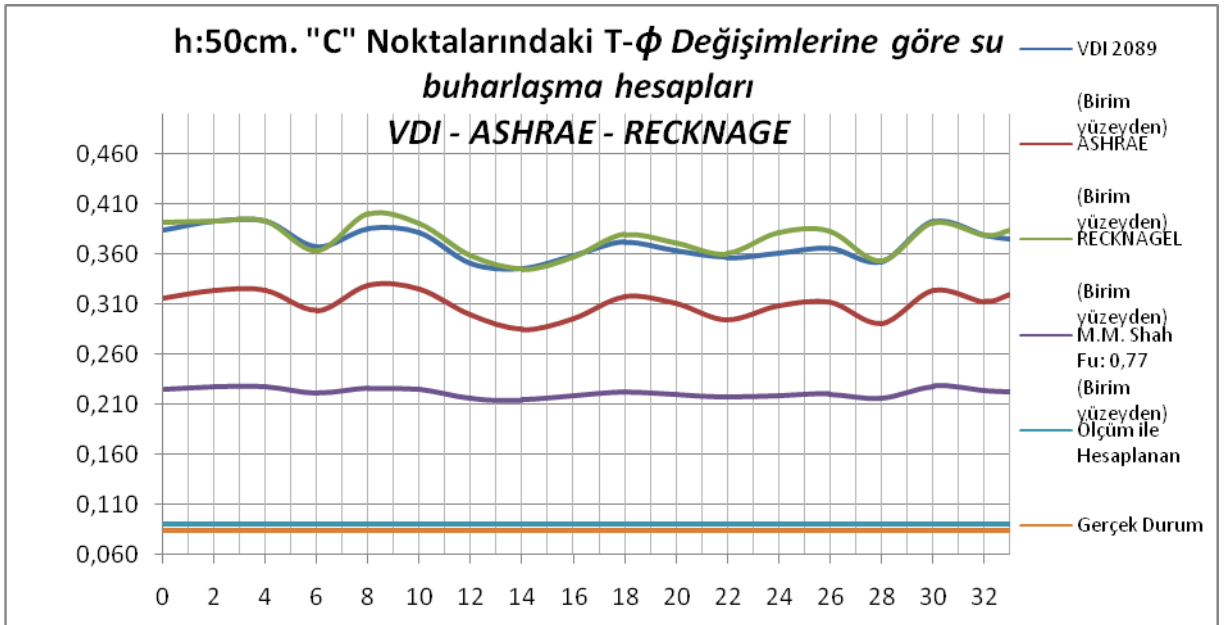
Daha önce değindiğimiz korelasyonları havuz üzerindeki çeşitli noktalar için grafiklerde göstermiştik. Şimdi bu grafiklere bu iki sonucu ekleyerek korelasyonlar için hata oranlarını gözlemlemiş olacağız.



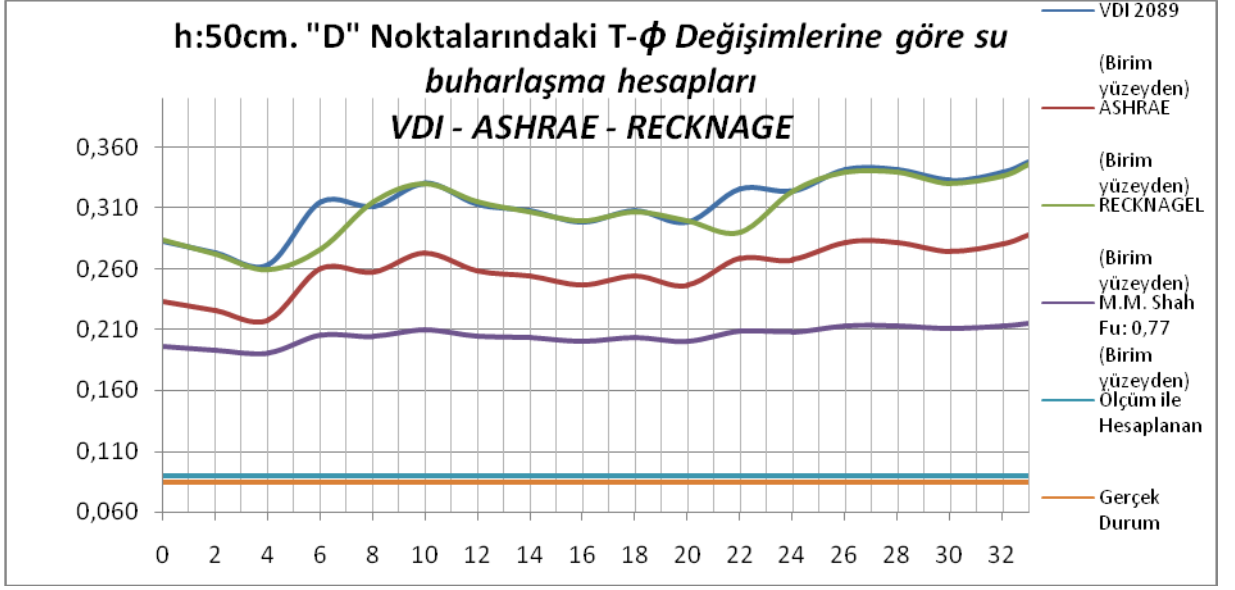
Şekil 11 .2 Korelasyonlar ile gerçek durumun ve ölçüm ile yapılan hesabın "A" noktaları içinde buharlaşma miktarlarının karşılaştırılması



Şekil 11 .3 Korelasyonlar ile gerçek durumun ve ölçüm ile yapılan hesabın "B" noktaları için buharlaşma miktarlarının karşılaştırılması



Şekil 11 .4 Korelasyonlar ile gerçek durumun ve ölçüm ile yapılan hesabın "C" noktaları için buharlaşma miktarlarının karşılaştırılması



Şekil 11 .5 Korelasyonlar ile gerçek durumun ve ölçüm ile yapılan hesabın "D" noktaları için buharlaşma miktarlarının karşılaştırılması

Görüleceği üzere buharlaşma ifadelerinin tamamında gerçek durumunun %200'ün üzerinde olduğu görülmektedir. Ölçümlerin ve yapılan hesaplamaların korelasyonlardan bu denli farklı olması dikkat çekicidir. Ölçümlerdeki hata payını araştırdığımızda ölçüm saatlerinin geneli yansıtabilecek zamanlarda olmayabileceği ihtimali üzerinde durulabilir. Örneğin ölçümler saat 10:00 – 12:00 aralığında yapılmıştır. Bu saatler ile ilerleyen saatler arasında en önemli fark güneş ışınımı olabilir. Güneş ışınımı nedeniyle öğlen saatleri ve sonrasında ısı kazancı artacak ve bu da buharlaşma miktarını etkileyebilecektir.

Literatürdeki korelasyonlarda emniyetli hesap yapılması için katsayıların yüksek tutulduğu öngörülsede buharlaşma miktarının hesap değerinin yüksek seçilmesinin maliyeti yükselteceği kesindir. İlk yatırım maliyetlerinin yanında gereğinden yüksek cihazların ve kanal kesitlerinin seçilmesi aynı zamanda işletme maliyetlerini de yükseltecektir. Yüksek kapasiteli kompresör seçilmesi halinde şalt sayısı artacak , bu da cihaz ömrünü düşürecektir. Fanın debi ve basınç değerlerinin yüksek seçilmesi nedeniyle harcanan güç artacak , elektrik sarfiyatı da bu oranda yükselecektir.

Isıl hesaplar ile ilgili değerlendirmemizde ilk göze çarpan ortam ısıtması yapılan kapalı yüzme havuzları için ısıtma ihtiyacında ilk ısıtma için gereken enerji miktarının işletme

sirasında oluşan ısı kayıplarının çok üstünde olduğu gerçeğidir. Bu durum açık havuzlarda tam tersi de oluşabilmektedir. Tesisatın büyüklüğü de ilk ısıtma enerjisine göre hesaplanarak yapılacaktır. Bu nedenle ilk ısıtma için seçilecek sürenin önemi artmaktadır. İlk ısıtma süresinin optimizasyonu için tesisin havuz suyunun ısıtılmasının yıl içinde hangi süreklilikte olduğuna dikkat edilmelidir. Havuz suyu ısıtması devre dışı bırakılsa dahi yapı elemanlarının zarar görmemesi için nem alma sisteminin sürekli çalıştırılacağı da unutulmamalıdır. Havuz suyu ısıtılmadığı durumlarda nem alma sisteminde üflenen hava ile daha soğuk olan yada soğumakta olan havuz suyu sıcaklığı arasında bir ısı transferi oluşacağı için santralde ilave ısıtma enerjisi harcanmaya başlanacaktır.

KAYNAKLAR

-
- [1] ASHRAE, (1999) , “ASHRAE Handbook HVAC Applications”, Atlanta, USA
 - [2] Smith, C.C. (1999) , C.O.G. Lof, R.W. Jones, “Rates of evaporation from swimming pools in active use”, ASHRAE Transactions
 - [3] Asdrubali , F. (2008) , A scale model to evaluate water evaporation from indoor swimming pools , Energy and Buildings
 - [4] Hanssen , S.O. (1990) , Mathisen H.M., “Evaporation from swimming pools, in: Proceedings of Roomvent” , Oslo
 - [5] İşbilen , İ. , (1995), “Kapalı Yüzme Havuzları, Klima ve Nem Alma Tesisatları”, II. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi , MMO Bildirisi ,İzmir ,1995
 - [6] Shah, M.M. (2002) ,”Prediction of evaporation from occupied indoor swimming pools, Energy and Buildings”
 - [7] Özyaman , C. , (2003) “Isıtılan Yüzme Havuzlarında Isıtma Yüğü Hesabı ve Isıtıcı Seçimi” , VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi , MMO Bildirisi ,İzmir , 2003
 - [8] Recknagel Sprenger, (1992) , “Heizung und Klimatechnik”
 - [9] VDI2089, Blatt 1, (1978)
 - [10] VDI , Waermeatlas, (1963)
 - [11] Incropera , Frank P. ; DeWitt , David P. “ Fundamentals of Heat and Mass Transfer”

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Hasan KESİCİOĞLU
Doğum Tarihi ve Yeri : 30.12.1980 / İSTANBUL
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta :hasankes@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik. Üniversitesi	2005
Lise	Fen - Matematik	Beşiktaş Atatürk Anadolu Lisesi	1999

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2005 ~2011	Be-Ce Mühendislik İnş. Taah. San. ve Tic. Ltd. Şti.	Proje Sorumlusu