

# Kapalı Yüzme Havuzlarının Nem Kontrolü ve Ekonomik Olarak İklimlendirilmesi

Müslüm ARICI\*

Mustafa SEÇİLMİŞ\*\*

## Özet

Kapalı yüzme havuzlarını farklı şekillerde iklimlendirmek mümkündür. En basit, fakat aynı zamanda en anlamsız olan uygulama, dönüş havasının herhangi bir işleme tabi tutulmadan dışarı atılması gibi enerji geri kazanımı uygulanmayan sistemlerdir. Enerji maliyetlerinin yüksek olduğu günümüzde, kapalı yüzme havuzlarının iklimlendirilmesinde enerji geri kazanımı sağlayan sistemler üzerinde durulması gerekmektedir. Özellikle kullanılacak olan iklimlendirme cihazları dönüş havasından ısı geri kazanımı sağlamalı, dış hava ihtiyacı iç ve dış ortam sıcaklıklarına ve nem değerlerine bağlı olarak otomatik olarak ayarlanmalıdır. Bu çalışmada kapalı yüzme havuzlarının iklimlendirilmesinde ekonomik çözümler ve teknik önlemler incelenmiştir. Ayrıca, kapalı yüzme havuzlarında nem kontrolü sağlamak amacıyla kullanılan klima santrallerinin hacimsel debi ve mevsimlere bağlı olarak oluşan nem miktarına göre gerekli olan dış hava miktarının hesabı üzerinde durulmuştur.

**Anahtar Sözcükler:** Yüzme havuzu, buharlaşma, ısı geri kazanımı, enerji tasarrufu, ısı pompası, enerji bilançosu

## 1. GİRİŞ

Yüzme havuzlarında sürekli olarak büyük miktarda su buharlaşmaktadır. Bunun sonucu havadaki nem miktarı istenilmeyen bir seviyeye yükselmektedir. Havadaki yüksek nem oranına bağlı olarak, pencere ve duvarlarda terleme olmakta ve bu da yapı bileşenlerinde korozyon ve mantar oluşumuna neden olmaktadır. Yapı bileşenlerinin tahrip olmasının yanında, insanlarda kan dolaşımının azalması ve sportif kapasitenin düşmesi gibi rahatsızlıklara da sebep olmaktadır. Bu tür sakıncaları olan su yüzeyindeki buharlaşmayı önlemek mümkün değildir. Verimli ve doğru nem

alma sisteminin boyutlandırılması, uygun bir yapı konstrüksiyonu ve havuz suyu ile hava sıcaklıklarının doğru tayini suyun buharlaşmasını azaltabilir ve havanın nemini optimum bir seviyeye indirgeyebilir. Enerji sarfiyatı para kaybına neden olduğu gibi çevreyi de olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle günümüzde verimli bir ısı geri kazanım sistemi oldukça önemlidir. Yüzme havuzlarının enerji tüketiminde bir çok fiziksel olay önemli rol oynamaktadır. Havuz yüzeyinde suyun buharlaşması sonucu sudan büyük miktarda enerji çekilmektedir. Havuz suyu sıcaklığının sabit kalabilmesi için sürekli olarak ısı ilavesi yapılmalıdır. Su bu

\* Araş. Gör., KOÜ, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Termodinamik ve Isı Tekniği Anabilim Dalı.

\*\* Yrd. Doç. Dr., Kocaeli Üniversitesi Asım Kocabıyık MYO Yapı Tesisat Teknolojisi Programı.

hazları ile yardımcı enerji (elektrik) kullanarak tekrar ortam havasına veya havuz suyuna verilebilir. Buna rağmen suyun buharlaşması yüzme havuzlarında enerji ihtiyacında belirgin bir paya sahiptir. Yüzme havuzlarında suyun buharlaşmasını ve nem kontrolünü sağlamak için iklimlendirme işleminin değişik şekillerde yapılması mümkündür ( [7], [8], [10], [11]). En basit fakat aynı zamanda en anlamsız olan uygulama, dönüş havasının herhangi bir işleme tabi tutulmadan dışarı atılması gibi enerji geri kazanımı uygulanmayan sistemlerdir. Günümüzde, özellikle Avrupa'da enerji tasarrufu nedeniyle ısı geri kazanımlı sistemler vazgeçilmez hal almıştır. Yeni yapılan ve yenilenen kapalı yüzme havuzlarında dönüş havasından ısı geri kazanım uygulamaları standart olarak uygulanmaktadır. Bu çalışmada kapalı yüzme havuzlarındaki genel esaslara değinildikten sonra, ısı geri kazanım olanakları karşılaştırmalı olarak incelenecek ve kapalı yüzme havuzlarının havalandırma ihtiyacının hesaplanmasında kullanılan önemli bağıntılar hakkında bilgi verilecektir.

## 2. KAPALI YÜZME HAVUZLARINDA GENEL ESASLAR

Kapalı yüzme havuzlarının konfor şartlarını sağlamak önemli iklimlendirme faktörleri su sıcaklığı, ortam sıcaklığı ve nem miktarıdır. Ayrıca havuzu çevreleyen hacimler, ısıtma yüzeyleri ve hava dağıtım sistemi de kapalı yüzme havuz iklimlendirmesini etkileyen önemli faktörlerdendir. Havuz içerisine havalandırma sistemiyle üflenen havanın hızı, üfleme sıcaklığı (maks. 45°C), havuzun su yüzeyi üzerindeki ve çevrelerdeki havanın hızı (0.15 – 0.3 m/s) ve ayrıca toplam hacim içerisindeki hava sirkülasyonu ihmal edilmemelidir. Çünkü çıplak insan vücudu hava sirkülasyonuna oldukça hassas olarak tepki vermektedir. Havalandırma sisteminin görevleri arasında yüzme havuzunda buharlaşan suyun emilerek taşınması da bulunmaktadır. Ayrıca koku ve zararlı maddelerin (kimyasalların) uzaklaştırılması ve havuz hacminin yaklaşık %70 oranında ısıtılması da havalandırma sistemiyle sağlanmaktadır. Havuzdaki diğer %30'luk ısı kaybı statik ısıtma yüzeyleri (radyatörler, konvektörler, yerden ısıtma) ile karşılanır. Havuzu çevreleyen hacmin

zeylerine (mesela pencerelerin) sıcak (veya ılık) hava üflenmesi, insan vücudunun yüksek ısı kaybını önlemek için tavsiye edilebilir. Ayrıca ısı korumalı çift camlı ısı cam uygulamaları da zorunluluk arz etmektedir.

### 2.1 Yüzme Havuzlarında Sıcaklık Dağılımı

Su sıcaklığının seçiminde, insan vücudunun suyun hareketinden etkilenmesi dikkate alınmalıdır. Spor havuzlarında 24 °C sıcaklık tamamen yeterli olarak görülürken, serbest havuzlarda 28 °C, çocuk havuzlarında ise 32 °C sıcaklık gereklidir. Ayrıca suyun buharlaşması sonucu vücudun ısı kaybını azaltabilmek için yüzme havuzunun hava sıcaklığı 2 ila 4 °C havuz suyu sıcaklığının üzerinde olması gerekmektedir (ortam sıcaklığı maksimum 34 °C olmalıdır).

**Tablo 1. VDI 2089'a göre Yüzme Havuzlarında Hava Sıcaklıkları İçin Kılavuz Değerleri [7].**

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

### 2.2 Yüzme Havuzlarında Nem Miktarı

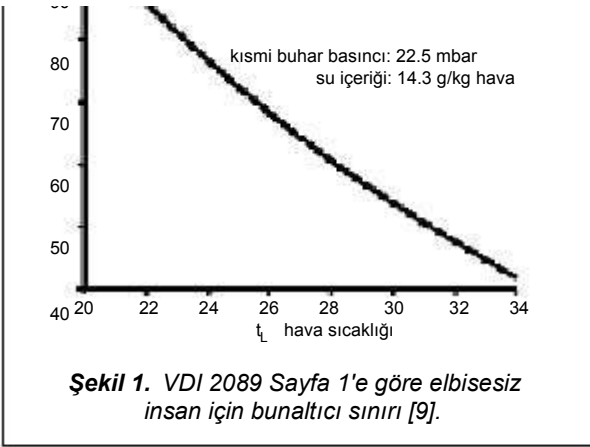
Ortam havasının neminin tayininde insanın rahatlık hissi yanında, yapı fiziği (çiğ noktası) de dikkate alınmalıdır. Yüzme havuzu salonunda ve özellikle duşlarda kısmi buhar basıncının düşük olması (yüksek dış hava etkisi) deri yüzeyindeki su damlacıklarında hızlı bir buharlaşmaya neden olmaktadır. Çünkü buharlaşma ısısı büyük oranda vücuttan çekilmektedir. Dolayısıyla istenilen rahatlık hissi için ortam sıcaklığı yükseltilmelidir. Maksimum mutlak nem miktarı 14.4 g/kg kuru hava değerini (bunama sınırını) aşmamalıdır. 30 °C'lik bir salon sıcaklığında maksimum %55'lik bir bağıl nem sağlanmalıdır (bkz. Şekil 1).

Düşük hava sıcaklıkları insanlarda rahatsızlığa ne



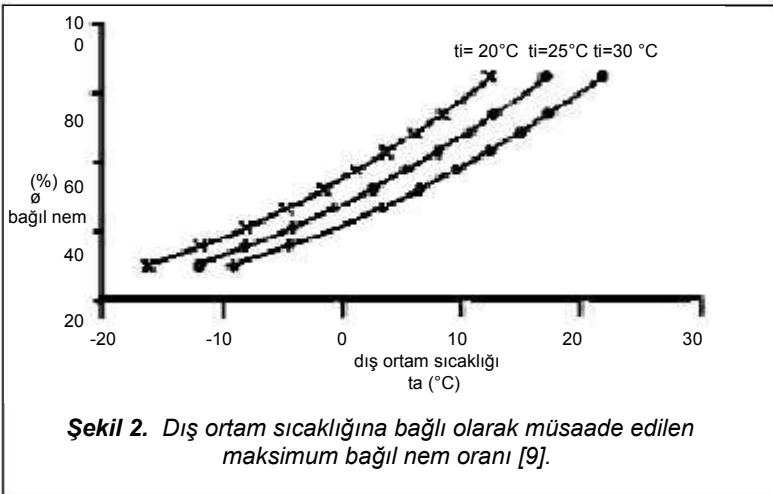
### 2.3 Minimum Hava Değişimi ve Havanın Dağıtılması

Kapalı havuzlarda klor kokusu, karbondioksit (CO2) gibi sınırlanması istenilen zararlı maddeler için, bugünkü şartlara göre havuz işler durumdayken kişi başına minimum taze hava ihtiyacı  $20 \text{ m}^3 / (\text{h} \times \text{Kisi})$  'dir.



Şekil 1. VDI 2089 Sayfa 1'e göre elbisesiz insan için bunalıcı sınırı [9].

den olmaktadır. Havadaki yüksek nem oranı ise bunalıcı 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 (ısı iletkenliği yüksek) durumunda, ortam havasını düşük bir dış ortam sıcaklığında (taze hava) sınır değerleri altında neminin alınması gerekir. Bu da enerji sarfiyatına neden olmaktadır. Şekil 2'de dış ve iç ortam sıcaklığına bağlı olarak müsaade edilen maksimum bağıl nem oranı verilmektedir.



Şekil 2. Dış ortam sıcaklığına bağlı olarak müsaade edilen maksimum bağıl nem oranı [9].

Havuz yüzey alanına ve doluluk oranına (0.5 Kişi/m<sup>2</sup> havuz yüzey alanı) bağlı olarak hijyenik hava değişim oranı 10 m<sup>3</sup>/(h x m<sup>2</sup>)'dir. Termal veya mineral içerikli kaplıcalar için hava debisinin hesaplanması MAK (MAK-değeri: sağlığa zararlı maddelerin maksimum çalışma ortamındaki konsantrasyon değeri) tablosuna göre yapılır.

Yüzme havuzlarında ziyaretçiler tarafından dışarı atılan CO<sub>2</sub> oranının etkisi fazla büyük değildir. Çünkü uygun bir havalandırma ve gerekli olan dış hava oranına göre CO<sub>2</sub> konsantrasyonu %0.08'in üzerine çıkmaması gerekmektedir. %0.1'in üzerinde CO<sub>2</sub> 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 altlarından, dış duvarlarda kafa yüksekliklerinden, tribünlerde merdiven basamak altlarından v.s. gerçekleştirilmelidir. Spesifik olarak daha hafif olan su buharının ve koku 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 önlenir. Bu şekilde ısı ışınımı belli ölçüde önlenir, fakat jaluzilerden yutulmuş ısı konveksiyonla ortam havasına aktarılır.

## 2.4 Suyun Buharlaşması

Ortam havasında bulunan su buharının kısmi basıncı doyma basıncından düşük ise, havuz su yüzeyinde buharlaşma meydana gelir. Buharlaşma miktarı suyun hareket hızına bağlı olarak 0.1 ila 0.2 kg/(m<sup>2</sup>xh) (t<sub>havuzsuyu</sub> = 26 °C, t<sub>ortam</sub> = 28 °C, %60 bağıl nemde) arasında değişir. Dalga havuzlarında daha yüksek değerler söz konusudur.

## 3. YÜZME HAVUZLARINDA ISI GERİ KAZANIMSIZ / KAZANIMLI VE ISI POMPALI KLİMA SANTRAL KONFIGÜ-RASYONLARI İÇİN ENERJİ BİLANÇOLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

### 3.1 Isı Geri Kazanımsız Saunalı Bir Kapalı Yüzme Havuzunun Enerji Bilançosu

Isı geri kazanımsız saunalı kapalı yüzme havuzları için ortalama enerji bilançosu Şekil 3'te verilmektedir.

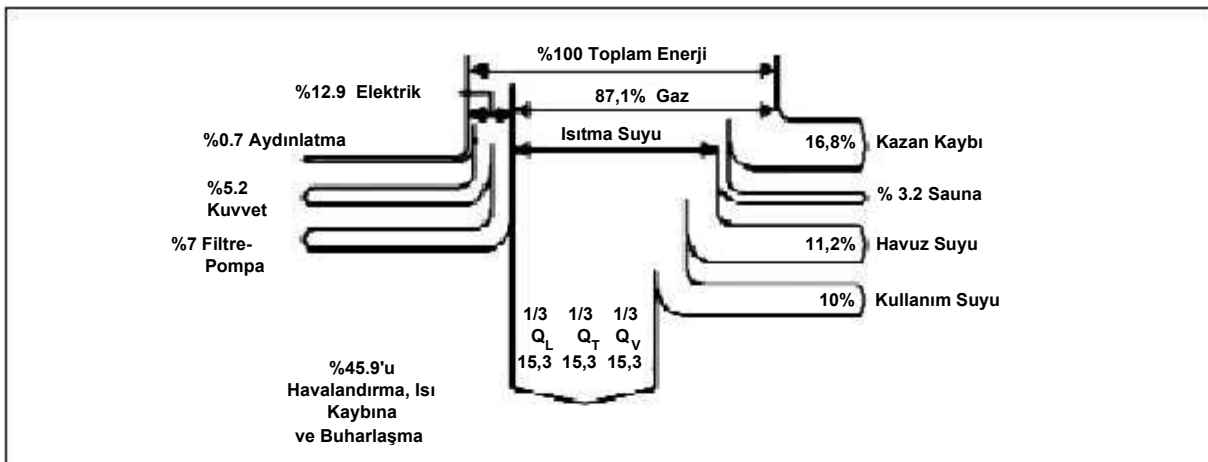
Suyun buharlaşması ile su sıcaklığı, su ile ortam havası arasındaki sıcaklık farkı ve ortamın bağıl nemi arasında direkt bir ilişki söz konusudur. Su sıcaklığı ne kadar düşük ve bağıl nem ne kadar yüksek ayarlanırsa, buharlaşma derecesi, gerekli olan taze hava miktarı, havalandırma hava miktarı ve bunlara bağlı olarak ortam havasının nemini almak için harcanacak enerji miktarı o kadar azalacaktır. Hava sıcaklığının havuz sıcaklığından 2 °C daha yüksek olduğu bir havuz ile, sıcaklık farkının olmadığı bir havuz karşılaştırıldığında (%50 bağıl neme göre), ikinci hal için yaklaşık %13 daha fazla su buharlaşması gerçekleştiği görülür (bkz. Tablo.2). Havuz yüzeyindeki hava hareketi düşük tutulmak istenmektedir. Çünkü hava hareketi ile buharlaşan su miktarı oldukça artmaktadır. Hava hızı 0.15 m/s olarak tavsiye edilmektedir.

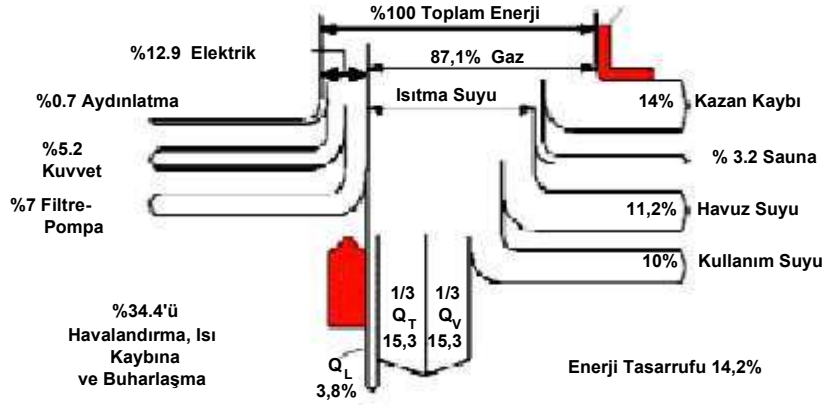
Yaklaşık olarak toplam enerjinin % 87'si ısı üretimi için kullanılmaktadır, %13'ü ise kuvvet üretimi (elektrik ile) için tüketilmektedir. Elektrik tüketiminden, işletme zamanının ayarlanması ve yüksek verimli cihazların kullanılması ile tasarruf sağlanabilir. Elektrik enerjisinin de ulaşılabilir tasarruf potansiyeli sahip olduğu toplam enerji sarfiyatındaki pay dikkate alındığında küçükmektedir. Bu nedenle ısı enerji tüketimine yoğunlaşmamız daha doğru olacaktır. Toplam enerji tüketiminin %46'sı yüzme havuz hacminin ısıtılması ve havalandırılması için harcanmakta, %21'i sıcak su üretimi için kullanılmakta, %17'si ise birincil enerji kaynağının kazanda yanma sonucu ısıya dönüşmesi ile kaybolmaktadır. Geriye kalan %3'lük enerji ise sauna ve benzeri yerlerde tüketilmektedir.

Isıtma ve havalandırma için harcanan enerji üç kısımda değerlendirilebilir:

**Tablo 2. Kapalı yüzme havuzlarında buharlaşma miktarı ( [3], [7] ).**

Su Sıcaklığı °C	Buharlaşma Miktarı ( g / m <sup>2</sup> * h )													
	Hava Sıcaklığı [ °C ] / Bağıl Nem [ % ]													
	24		25		26		27		28		29		30	
	50	60	50	60	50	60	50	60	50	60	50	60	50	60
22	204	192	197	174	190	165	182	156						
23	217	194	209	187	203	178	194	169	187	158				
24	230	208	223	200	216	191	208	182	118	172	192	162		
25			235	213	229	204	221	195	213	185	205	175	196	164
26					244	219	236	210	228	200	220	190	211	179
27							250	223	243	215	235	205	226	194
28									259	230	250	221	241	209
29											268	238	259	227
30													277	244





Şekil 4. Saunalı bir kapalı yüzme havuzunda ısı geri kazanımlı hal için enerji bilançosu [8].

- Bina Isı Kaybı  $Q_T$ ,
- Havalandırma Isı İhtiyacı  $Q_L$ ,
- Buharlaşma Isı İhtiyacı (Havuz Suyu Yüzeyinde Buharlaşan Su Miktarının Isı İçeriği)  $Q_V$ .

Dışarı atılan egzoz havasından yararlanarak ısı geri kazanım cihazı ile ulaşılabilen toplam enerjiye oranla kapalı yüzme havuzunda enerji tasarrufu Şekil 4'te verilmiştir. Havalandırmaya harcanan ısının %11,5'lik kısmı ısı geri kazanım cihazı ile geri kazanılmaktadır.

### 3.2 Isı Geri Kazanımlı Saunalı Bir Kapalı Yüzme Havuzunun Enerji Bilançosu

Yeni yapılan ve yenilen birçok kapalı yüzme havuzlarında uygulama yeri bulan enerji tasarruf önlemlerinden biri de kullanılmış olan dönüş havası ile dışarıdan alınan taze ve soğuk havanın ısıtılmasıdır. Bura da kullanılan ısı geri kazanım sistemlerinin (Çapraz akışlı plakalı ısı değiştirgeçleri, ısı boruları, kapalı çevrimli sistemler-ısı pompaları) piyasada kullanılan tipleri %50 oranında bir ısı geri verme değerine sahiptir. Kapalı yüzme havuz uygulamalarında bu değer %70'lere kadar çıkabilmektedir.

Geri kazanılan ısı sayesinde kazan enerji üretimi azaldığından, dolaylı olarak kazan kaybı azalmakta ve sonuçta ısı geri kazanım cihazı ile sağlanan toplam enerji tasarrufu %14,2'ye ulaşmaktadır. Böyle bir ısı geri kazanım cihazı ile sadece dönüş havasının ısısında bulunan, hissedilebilir ısı miktarından ısı geri kazanılabilir. Dönüş havasında bulunan gizli ısı miktarı olan suyun buharlaşması sonucu (0,68 kWh/kg<sub>SU</sub>) depolanan enerji bu uygulamada direkt olarak çevreye atılmaktadır.

### 3.3 Isı Geri Kazanımlı ve Isı Pompalı (Nem Almalı) Saunalı Bir Kapalı Yüzme Havuzu İçin Enerji

TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ, Sayı 9 8, 2007

#### Bilançosu

Isı pompası uygulamalarının ekonomiklik açısından değerlendirilmelerinde tereddüt edilmektedir. Fakat kapalı yüzme havuz uygulamalarında oldukça cazip sıcaklık oranları ortaya çıkmaktadır. Yüzme havuzunun havalandırılmasında nem alma işlemi esnasında kullanılan ısı pompası ve geri kazanım cihazı ile yüzme havuzunun dönüş havasından ısı geri kazanımı sonucu performans katsayısı (COP değeri) 4 ile 5 arası artmaktadır. Şekil 5'te ise ısı pompalı ve ısı geri kazanım cihazlı bir klima cihazının kapalı yüzme havuzuna uygulanması ile oluşan enerji bilançosu verilmektedir. Isı pompasının tahrik enerji ihtiyacı vardır. Bu da elektrik sarfiyatının enerji bilançosu içerisinde artmasına neden olmaktadır. Fakat bu tahrik enerjisi kaybolmamakta, aksine ısıya dönüştürülmekte ve yüzme havuzunun ısıtılmasında kullanılmaktadır. Isı pompası ve

ısı kazanımları sağlanmaktadır. Özellikle %100 taze hava ile çalışan klima santrallerinde bu değerlere ulaşılmaktadır. Karışım havalı cihazlarda toplam kazanç düşmekle birlikte yine gözardı edilemeyecek oranlara ulaşmaktadır. Bu kazançların net değerleri mahal hava sıcaklığı, egzoz hava debisi, taze hava giriş sıcaklığı ve taze hava debisi miktarlarına bağlı olarak belirlenmektedir. Sudan havaya ve havadan hava ısı geri kazanımı seçenekleri mevcuttur.

#### Sudan Havaya Isı Geri Kazanım Üniteli Klima Cihazları (Bataryalı Tip Isı Değiştirgeçleri):

Sudan havaya ısı geri kazanım sistemlerinde cihaz üzerinde egzoz tarafında iç mahalden atılan havanın enerjisinin alınması amacı ile bir adet bakır boru/alüminyum kanatlı batarya tesis edilir. Bunun yanında taze hava tarafında da ikincisi bir batarya tesis edilir. İkinci

zunun ısıtılmasında kullanılmaktadır. Isı pompalı ve ısı geri kazanım cihazlı klima cihazının kullanılarak yüzme havuzu neminin alınması ve dönüş havasından geri kazanılan ısı ile toplam olarak %37.8'lik bir enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Bu tasarrufa karşılık ısı pompasından çekilen enerji yaklaşık %4.2 civarındadır. Bu sistemde bileşik güç (performans) artışı oranı 9 seviyesine kadar çıkabilmektedir.

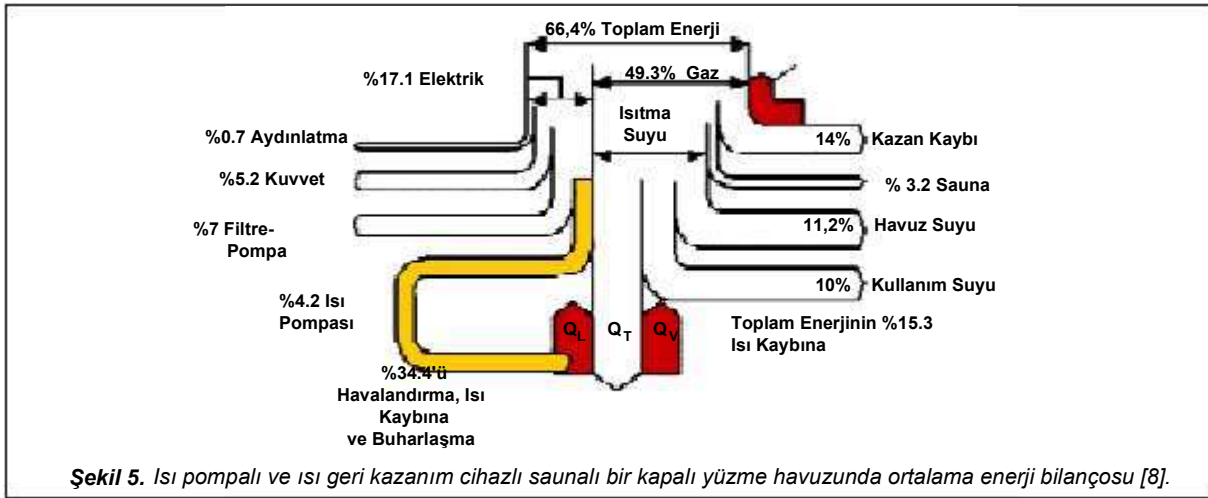
#### 4. ISI GERİ KAZANIM ÜNİTELİ KLİMA SANTRALLERİ

Bu bölümde farklı tip ısı geri kazanım üniteli klima santralleri hakkında bilgi verilecektir. Klima santrallerinde yaz ve kış şartlarında dışarıya atılan egzoz havasından faydalanılarak taze havanın bir miktar ısıtılması veya soğutulması yolu ile %65'lere varan ener-

ze nava tarafında da ikinci bir batarya tesis edilir. İkinci bataryanın amacı egzoz tarafında elde edilen enerjinin taze havaya aktarılmasıdır. İki batarya arasında tesis edilen bir adet pompa su sirkülasyonunu sağlamak için kullanılır. Yukarıda tarif edilen işlem ısıtma şartlarındaki işlemi anlatmaktadır. Soğutma şartlarında ise işlem sırası tersine çalışır.

#### Havadan Havaya Isı Geri Kazanım Üniteli Klima Cihazları (Çapraz Akışlı Plakalı Isı Değiştirgeçleri):

Havadan havaya ısı geri kazanım sistemlerinde ise prensip biraz farklıdır. Bu kez enerji aktarımı aracı akışkan kullanılmadan direkt olarak egzoz havasından taze havaya (soğutma şartlarında tersi olmak kaydı ile) yapılmaktadır. %100 taze havalı cihazlarda normal şartlarda olduğu gibi çift beden imalat yerine



ısı geri kazanım ünitesini de içinde barındıran tek beden cihaz imalatı yapılmaktadır. Gerektiğinde karışım havalı cihazlarda da ısı geri kazanım ünitesi kullanılabilir. Çapraz akışlı plakalı ısı değiştirgeçlerin bakım gerektiren herhangi bir mekanik parçası bulunmamaktadır.

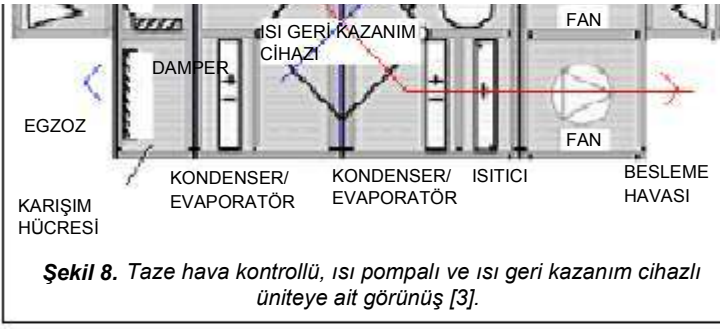
Kapalı yüzme havuz uygulamalarında genellikle ısı pompalı/pompasız ısı geri kazanım üniteli cihazlar veya sadece ısı geri kazanımsız basit bir ısı pompalı cihaz kullanılır. Isı pompasının avantajı daha az yer kaplamasıdır. Özellikle eski tesisler ve ufak otel yüzme havuz uygulamaları için uygundur. Büyük genel amaçlı yüzme havuzları için ise çapraz akışlı ısı değiştirgeci ve ısı pompası takviyeli üniteli cihazlar tercih edilmektedir. Bu ünitelerde özellikle %100 taze hava ile işletme olanağı bulunmaktadır. Özellikle kış mevsiminin kritik (çok soğuk) dönemlerinde iyi bir nem alma kapasitesi ve yaz mevsimi için de serbest soğutma imkanı sunmaktadır.

maktadır. Bu ısı, kompresör yardımıyla daha yüksek sıcaklıktaki besleme havasına verilmektedir. Dönüş havasının artık ısısının yanında kompresörün elektriksel etki sonucu yaymış olduğu ısı da besleme havasına verilmektedir. Yoğuşma ısısının bir kısmı havuz suyunun ısıtılmasında kullanılmak isteniyorsa, su soğutmalı bir kondenser ilave edilmelidir.

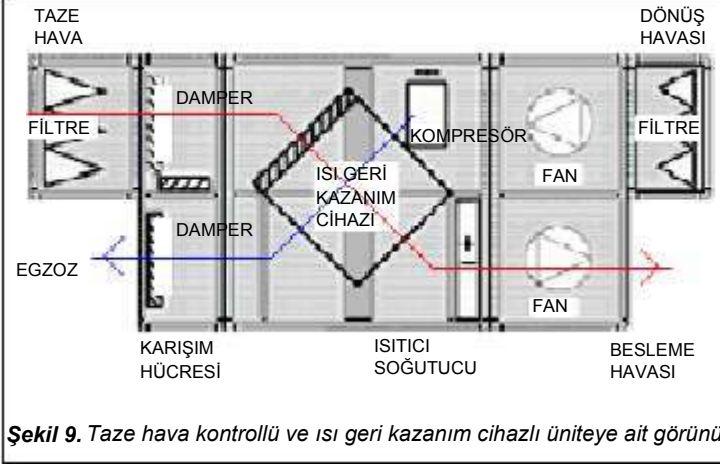
#### Isı Geri Kazanım Üniteli ve Isı Pompalı Cihazın Yaz İşletmesinde İlave Soğutma Avantajı:

Yazın genellikle, iç hacme beslenen dış havanın soğutulması gerekmektedir ve serbest soğutma bunun için yeterli olmamaktadır. Isı pompası monte edilmiş dört yollu vana ile soğutma çevrimi tam tersine dönerek, taze hava girişine monte edilmiş olan yüzey buharlaştırıcı olarak çalışabilmektedir. Taze havadan alınan enerji ise kondensatörler yardımıyla dönüş havasına aktarılmaktadır. Besleme havasının kontrolü konfor uygulamalarında önemli rol oynadığından, büyük soğutma cihazları iki kompresör ile donatılmaktadır ve bunlar





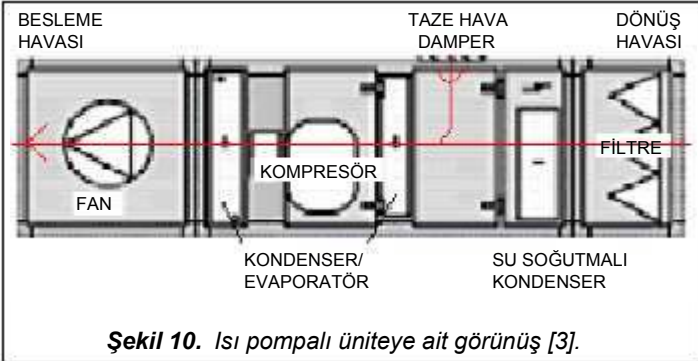
Şekil 8. Taze hava kontrollü, ısı pompalı ve ısı geri kazanım cihazlı üniteye ait görünüş [3].



Şekil 9. Taze hava kontrollü ve ısı geri kazanım cihazlı üniteye ait görünüş [3].

figürasyon, ilave bir taze hava damperi ile donatılabilir. Bu şekilde yüzme havuzunda hijyenik bir ortam istenildiğinde gerekli olan taze hava miktarı (VDI 2089'a göre yaklaşık  $10 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ) ortama iletilebilir. Ayrıca ilave bir fonksiyon olarak ısı pompası bir su soğutmalı kondensatör ile donatılabilir. Bu şekilde kompresörden ortam havasına verilen fazla ısı havuz suyunun ısıtılması için kullanılabilir (Şekil 10).

Yüzme havuzlarında kullanılan konfigürasyonlarda ısı pompası, ısı geri kazanımı için kullanılabilir gibi nem alma işlemi için de kullanılabilir. Dışarı atılan dönüş havası yüzme havuzundan gelen nemli hava olduğundan, buharlaştırıcıda çığ noktasına kadar soğutulmaktadır. Bunun sonucu yoğunlaştırılmış su elde edilmektedir. Karışım damperi ile nemi alınmış dönüş havası belli bir oranda taze



Şekil 10. Isı pompalı üniteye ait görünüş [3].

gulamalar için %0 bağıl nemli verim diyagramı seçilmelidir (bkz. Şekil 11). Ancak dönüş havası belirgin oranda nem içeriyorsa (yani çığ noktasının altına soğutulduğu takdirde yoğunlaşma meydana geliyorsa) yüzme havuzlarında olduğu gibi %50 bağıl nemli verim çizelgesi kullanılmalıdır. Dış ortam sıcaklığı ve dönüş havası sıcaklığı bilindiğinden aşağıdaki denklem kullanılabilir:

$$T_3 = T_2 + h(T_1 - T_2) \quad (1)$$

$T_3$  = Isı geri kazanım cihazı çıkış sıcaklığı

$T_2$  = Dış Ortam Sıcaklığı

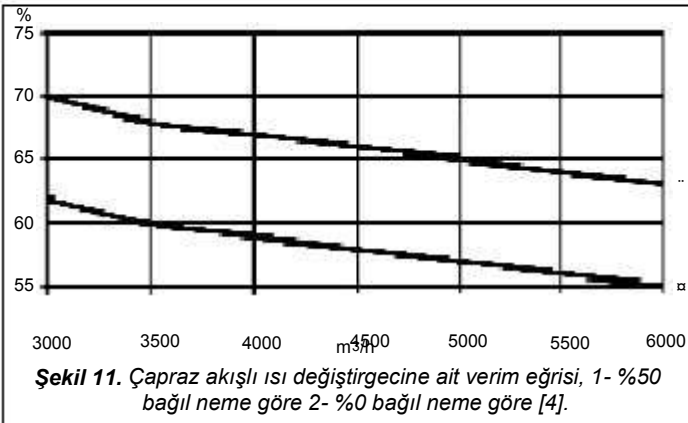
$T_1$  = Dönüş Havası Sıcaklığı

$h$  = Isı değiştirgeci verimi

Çapraz akışlı plakalı ısı değiştirgeçlerinde kuru verim (yoğuşmasız verim) değeri konfor uygulamalarında yaklaşık olarak %60 civarındadır. Dönüş havasında yüzme havuzlarında olduğu gibi yoğunlaşma meydana geliyorsa ıslak verim (yoğuşmalı verim), nem ve sıcaklığa bağlı olarak %70' in üzerine çıkabilmektedir.

hava ile karıştırılarak yüzme havuz hacmine geri verilmektedir. Gece işletmesinde normal olarak kapalı çevrimli hava dolaşımı sağlandığından, nem alma kapasitesi ısı pompasının nem alma damperi ile yükseltilebilir. Damperin açılması ile buharlaştırıcı üzerinde ki hava miktarı kısılmaktadır. Bunun sonucu hava bu

Şekil 11'den çapraz akışlı plakalı ısı değiştirgeçleri



Şekil 11. Çapraz akışlı ısı değiştirgecine ait verim eğrisi, 1- %50 bağıl neme göre 2- %0 bağıl neme göre [4].



harlaştırıcı üzerinde daha kuvvetli bir şekilde soğutulabilir. Bu şekilde nem alma işlemi optimize edilmiş olunur ve yoğunlaşan su miktarı yükseltilebilir. İlave fonksiyon olarak ısı pompası yüzme havuz tesislerinde su soğutmalı bir kondensatör ile donatılarak havada bulunan fazla ısı, havuz suyunun veya kullanım suyunun ısıtılması için kullanılabilir.

## 5. KAPALI YÜZME HAVUZLARINDA HAVALANDIRMA İHTİYACININ HESAPLANMASI

### 5.1 Çapraz Akışlı Isı Geri Kazanım Cihazlarında Sıcaklık Tayini

Nominal hava miktarında üfleme (basma) tarafındaki hava sıcaklığını yaklaşık olarak hesaplayabilmek için ısı değiştirgeçlerinin verimlerinin bilinmesi gerekmektedir. Çapraz akışlı bir ısı geri kazanım cihazı için iki farklı verim çizelgesi mevcuttur. Konfor/endüstriyel uy-

nin %50 (veya üzeri) bağımlı nemli ortamlarda daha yüksek randıman verdiği görülmektedir.

### 5.2 Buharlaşmanın Hesaplanması

Nem alma ihtiyacı, havuz yüzeyinde bir buharlaşma meydana geldiği zaman doğmaktadır. Buharlaşmaya etki eden fiziksel faktörler havanın ve havuz suyunun sıcaklığı, ortamın bağımlı nemi ve havanın hareket miktarıdır. Nem alma miktarını hesaplayabilmek için bir çok denklem mevcuttur ([1], [5], [6], [12],[13], [14]). Bu denklemlerin çoğunun ortak yönü, gerçek nem oluşum miktarına göre daha büyük değerler vermeleridir. Bunun nedeni, istenmeyen bir havalandırmanın kapı, pencere vb. yerlerden sızıntı sonucu olması veya yüzme havuzunun kullanım veriminin (doluluk oranının) beklenenden daha az olmasıdır. Ortam içerisinde iyi bir hava dağılımı mevcut ve çevresine göre su yüzeyinde daha düşük ise nem alma ihtiyacı azalmaktadır.

15

TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ, Sayı 9 8, 2007

Ayrıca verilen taze hava miktarının ortamın koşullarından bağımsız olarak nem azaltıcı bir etkisi vardır. Kullanılan denklemler yüksek bir emniyet değeri içerdiklerinden, hesaplama esnasında en kötü şartları düşünerek tekrar gözden geçirmeye gerek yoktur. Aşağıda verilen denklemler buharlaşma ihtiyacının hesaplanmasında en sık kullanılan denklemlerdir.

### VDI 2089 göre,

Buharlaşma şu şekilde hesaplanır:

$$W = e \times A \times (P_B - P_L) \text{ (g/h)} \quad (2)$$

Burada,

A: Havuzun Yüzey Alanı (m<sup>2</sup>)

P<sub>B</sub>: Su Sıcaklığında Doymuş Buhar Basıncı (mbar)

P<sub>L</sub>: Hava Sıcaklığında Kısmi Buhar Basıncı (mbar)

E: Ampirik Faktör [g/(mbar\*m<sup>2</sup>\*h)]

Havuz durumuna bağımlı olarak "e" değeri aşağıdaki gibi seçilir.

0,5	üstü örtülü havuzlar
5	durgun yüzeye sahip havuzlar
15	az kullanılan özel havuzlar
20	normal kullanım seviyeli havuzlar
28	eğlence havuzları
35	dalgalı havuzlar

VDI 2089'a göre işletilen yüzme havuzları için havuzun birim yüzey alanı (m<sup>2</sup>) başına minimum 10 m<sup>3</sup>/h'

Gündüz işletme halinde kullanılan denklem:

$$W = [0,118 + (0,01995 \times a \times (P_B - P_L)/1,333)] \times A \text{ (Kg/h)} \quad (4)$$

A = Havuzun Yüzey Alanı (m<sup>2</sup>)

P<sub>B</sub> = Su Sıcaklığında Doymuş Buhar Basıncı (mbar)

P<sub>L</sub> = Su Sıcaklığında Doymuş Buhar Basıncı (mbar)

a = Ampirik Faktör,

0,5	genel amaçlı yüzme havuzları
0,4	hotel havuzları için
0,3	özel yüzme havuzları için

Gece işletme durumu için kullanılan denklem ise aşağıdaki gibidir.

$$W = [-0,059 + (0,0105 \times (P_B - P_L)/1,333)] \times A \text{ (Kg/h)} \quad (5)$$

Taze hava ile elde edilen bu nem alma kapasitesi, buharlaşma miktarından (2 no'lu denklemden) çıkartılması gerekmektedir. Bunun sonucu, taze hava alımı ile azaltıldıktan sonra tesisat tarafından alınması gereken nem miktarı ortaya çıkmış olur.

### 5.3 Taze Hava İhtiyacının Hesaplanması

#### Gündüz İşletme Durumunda:

Minimum dış ortam hava ihtiyacı, buharlaşmayı uzaklaştırabilmek için şu şekilde hesaplanabilir:

lik taze hava ön görülmüştür. Bu taze hava ihtiyacına göre nem alma kapasitesi aşağıdaki formül ile hesaplanabilir:

$$W_{\text{Taze Hava}} = A \times 10 \times 1,2 \times (x_i - x_u) \quad (3)$$

A : Havuzun yüzey alanı (m<sup>2</sup>)  
 10 : Dış ortam havası m<sup>3</sup>/h  
 1,2 : Havanın yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)  
 x<sub>u</sub> : mutlak nem, dış ortam havasının (g/kg)  
 x<sub>i</sub> : mutlak nem, iç ortam havasının (g/kg)

$$V = w / [(x_i - x_u) \times 1,2] \quad (6)$$

w : buharlaşma miktarı (g/h)  
 x<sub>u</sub> : mutlak nem, dış ortam havasının (g/kg)  
 x<sub>i</sub> : mutlak nem, ortam havasının (g/kg)  
 1,2 : havanın yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)

Dış ortamın mutlak nemi (x<sub>u</sub>) yazın maksimum 11-12 g/kg arasında değişmektedir. Kışın ise 2- 3 g/kg arasında değişmektedir. Pratik uygulamalarda x<sub>u</sub> 9 g/kg olarak alınabilir. Bu değer bir sezon içerisinde yaklaşık olarak %15 oranında aşılmaktadır ve VDI 2098

#### Biasin & Krumme Denklemi [14]:

TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ , Sayı 98, 2007

16

göre kabul edilebilir bir değerdir. Bunun dışında yaz döneminde nadiren yağışma problemi ile karşılaşmaktadır. Bu nedenle biraz daha yüksek bir değerde su miktarına ortam havasında x<sub>i</sub> müsaade edilebilir. Tablo 3' te VDI 2089'a göre mutlak nem için tasarım değerleri verilmektedir.

#### Gece İşletme Durumunda:

Gece işletilmesi durumunda yüzme havuzu ortamına dış ortam havasının verilmesine gerek yoktur. Bu durumda havalandırma sistemi kapalı bir çevrim olarak sadece ortam havasını dolaştırmaktadır. Gece şartlarında buharlaşma yaklaşık olarak 22.9 kg/h kadar gerçekleşmektedir ve bu değer gündüze göre daha düşüktür. Bu nedenle ısı pompası yardımıyla nem alma işlemi yeterli olmaktadır.

**Tablo 3. VDI 2089' a göre mutlak nem için tasarım değerleri [7].**

	x (g/kg)	p <sub>D</sub> (mbar)
Ortam Havası	14,3	22,7
Dış Hava	9	14,4

Buharlaşan su miktarının yanında koku ve zararlı konsantrasyonlar, gerekli olan dış ortam hava debisinin belirlenmesinde önemlidir. Yükseltilmiş spesifik gaz içeriği ile müsaade edilen zararlı gaz konsantrasyonu MAK-değeri yardımıyla kontrol edilmelidir. Yüksek değerlere genellikle termal ve mineral banyolarda rastlanılır. Aşağıdaki denkleme göre dış hava debisinin hesaplanması klasik bir yüzme havuzu için ikinci derecede bir önem taşımaktadır [7].

$$\dot{V}_L = \frac{\dot{C}}{[m^3/h]} \quad (7)$$

$$C_{\text{MAK}} - C_{\text{FL}}$$

burada:

$\dot{C}$  = Zararlı madde etkisi (mg/h)

C<sub>MAK</sub> = MAK-değeri (mg/m<sup>3</sup><sub>Hava</sub>)

C<sub>FL</sub> = Dış havada bulunan zararlı madde konsantrasyonu (mg/m<sup>3</sup><sub>Hava</sub>)

Kapalı yüzme havuzlarında yüzme salonu dışında ikilendirilmesi gereken başka hacimler de mevcuttur. Havuz holü içerisindeki sporcular ve (varsa) seyirciler için konfor şartlarının gerektirdiği miktarda taze hava alınması gerekir. Tablo 4'de farklı bölgeler için gerekli olan taze hava debisi verilmiştir.

Eğer taze hava aynı zamanda içerideki nem seviyesinin düşürülmesi için de kullanılıyorsa, bu durumda ihtiyaç duyulan taze hava miktarı Denklem (6)'ya göre hesaplanır.

Tablo 4 ve Denklem (6)'ya göre ayrı ayrı hesaplanan değerlerden hangisi yüksek çıkıyorsa, o değer dikkate alınır. Genellikle Denklem (6) sonucunun daha yüksek çıkacağı bellidir.

Eğer tesisat ısı pompası olarak çalışacaksa, havadaki nem evaporatör yüzeyindeki yağışma ile alınacağından, taze hava sadece Tablo 4'e göre (yani konfor şartlarına göre) hesaplanır. Bu durumda Denklem (6)'nın kullanılmasına gerek kalmayacaktır.

#### SONUÇ

Bir yüzme havuzunda havadaki yüksek nem oranı havuzun pencere ve duvarlarında terlemeye sebep olmaktadır. Terleme ise korozyon ve mantar oluşumuna neden olmakta ve vanı hilesenlerini tahrik

Tablo 4. VDI 2089'a göre farklı bölgeler için dış hava ihtiyacı [7].	
Mahal Türü	Gerekli olan Taze Hava Debisi
Gözetleme Hacimleri	25 m <sup>3</sup> /h brüt temel kesit alan (m <sup>2</sup> ) başına
Duş Hacimleri	220 m <sup>3</sup> /h duş başına
Tuvaletler	100 m <sup>3</sup> /h tuvalet başına
Toplu Soyunma Odaları	20 m <sup>3</sup> /h brüt temel kesit alan (m <sup>2</sup> ) başına
Tekli Soyunma Odaları	15 m <sup>3</sup> /h brüt temel kesit alan (m <sup>2</sup> ) başına
Seyirci Tribünü	20-25 m <sup>3</sup> /h kişi başına

neden olmaktadır ve yapı enerjilerinin talep etmektedir. Ayrıca insanlar için yüksek bir nem oranı rahatsız edici olmakta, kan dolaşımını zorlaştırmakta ve sportif kapasiteyi düşürmektedir. Nem artışına sebep olan su yüzeyindeki buharlaşmayı önlemek mümkün değildir. Verimli ve doğru nem alma tesisinin boyutlandırılması, uygun bir yapı konstrüksiyonu, su ve hava sıcaklıklarının doğru tayini buharlaşmayı

azaltılmaktadır. Bu şekilde havanın nem oranı düşük işletme maliyetlerinde optimum bir ölçüye indirgenmiştir. Her enerji kaybı para harcanmasına neden olduğu gibi çevreyi de olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle verimli bir ısı geri kazanımı oldukça önemlidir. Yeni yapılan ve yenilenen kapalı yüzme havuzlarında dönüş havasından ısı geri kazanım uygulamaları Avrupa'da standart hal almıştır. Özellikle kapalı yüzme havuzlarında ısı pompalı ve ısı geri kazanım cihazları ünitenin kullanılması ile yaklaşık %40'lık enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Bu enerji geri kazanım miktarı küçümsenmeyecek bir değerdir. Ayrıca bu tip cihazların ekonomik işletilmesi için çok fonksiyonlu bir hassas kontrol sistemi gerekmektedir [2]. Bu klima cihazlarının kullanımı dışında, yüzme havuzlarında buharlaşma miktarı havuz yüzeyinin bir örtü ile kaplanması ile de azaltılabilir. Ayrıca ortam sıcaklığı su sıcaklığının 2-3 °C üzerinde olması sağlanmalıdır. Özellikle yüksek seviyede ısı ve neme karşı yalıtılmış yapılar da havanın bağıl nemi, yoğuşmaya neden olmadan %70'e varan değere kadar yükseltilebilir [10]. Gerekliliği olan ısı yalıtımının kalınlığı çatı, tavan ve duvar yapı parçalarının yapısı ile ilgilidir. Kışın yoğuşmanın önlenmesi için, havanın nem oranına bağlı olarak yüzeylerin ısı geçirgenlik katsayıları belli değerlerin altına düşmemelidir. Dış duvarlarda ve havayla temasta olan tavanlarda buhar geçemeyecek şekilde nem izolasyonu yapılmalıdır. Böylece buharın duvar içine girmesi, dolayısı ile rutubet probleminin oluşması önlenmiştir.

Yukarıda bahis konusu olan enerji tasarrufuna yönelik önlemlerin uygulanması ile, ekonomik bir kapalı yüzme havuzu işletimi sağlanmasının yanında, pahalı olan birincil enerji kaynak tüketimi azaltılmakta ve çevreye yayılan emisyon değerleri düşürülmektedir.

#### KAYNAKLAR

- [1] A/S Dantherm, "Projektierung und Auslegung", Denmark.
- [2] A/S Dantherm, "Steuerungen", Denmark.
- [3] A/S Dantherm, "Waermerückgewinnung Waerme pumpen- Luftentfeuchter in Schwimmhallen", Denmark.
- [4] A/S Dantherm, "Waermetauscher und Waerme pumpe", Denmark.
- [5] IHLE, C., "Grundlagen der Raumlufentfeuchtung", Teil 1, IKZ-HAUSTECHNIK, Seite 54 ff, Ausgabe 19/2000.
- [6] IHLE, C., "Grundlagen der Raumlufentfeuchtung", Teil 2, IKZ-HAUSTECHNIK, Seite 58 ff, Ausgabe 20/2000.
- [7] RÖBEN, J., "Klimatisierung von Hallenbädern", Teil 1, IKZ-HAUSTECHNIK, Seite 38 ff., Ausgabe 12/1999.
- [8] RÖBEN, J., "Klimatisierung von Hallenbädern", Teil 2 IKZ-HAUSTECHNIK, Seite 51 ff., Ausgabe 14/15/1999.
- [9] CLASEN, E., "Wirtschaftliche Energieversorgung von Hallenbädern", Teil 1 IKZ-HAUSTECHNIK, Seite 48 ff., Ausgabe 7/1998.
- [10] CLASEN, E., "Wirtschaftliche Energieversorgung von Hallenbädern", Teil 2 IKZ-HAUSTECHNIK, Seite 60 ff., Ausgabe 8/1998.
- [11] JOHANSSON, L., WESTERLUND, L., "Energy savings in indoor swimming-pools: comparison between different heat-recovery systems", Applied Energy 70, 281-303, 2001.
- [12] SHAH, M. M., "Prediction of evaporation from occupied indoor swimming pools", Energy and Buildings 35, 707-713, 2003.
- [13] SHAH, M. M., "Evaporation Calculating From Indoor Water Pools", HPAC Engineering, • March 2004
- [14] BIASIN, K., KRUMME, W., "Die Wasserverdunstung in einem Innenschwimmbad", Electrowaerme International, 32 (A3), A115-A129, 1974.

