

KAPALI YÜZME HAVUZLARININ NEM KONTROLÜ VE EKONOMİK OLARAK İKLİMLENDİRİLMESİ

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

ABSTRACT

There are many possible ways for air-conditioning of indoor swimming pools. The easiest method is to ventilate directly without applying heat recovery system. Recently, energy costs are quite high. Therefore attention should be paid on systems which provide heat recovery system. Especially the device used in air-conditioning must provide heat recovery and the need for outside air must be adjusted automatically according to inside and outside temperature and humidity. In this study, economic solutions and technical precautions in air-conditioning of indoor swimming pools has been examined. In addition, calculations of required outside air in control air-conditioning units to provide humidity control according to volumetric flow rate and humidity occurred depending on seasons has been underlined.

Keywords : Swimming pool, evaporation, heat recovery, energy saving, heat pump, energy balance

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 kapasitelerinin 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 buharı olarak havada depolanmış olan ısı, nem alma cihazları 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 sağlamayacak 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 çevresindeki 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 ısı kayıplarına karşı yalıtılması, ayrıca soğuk dış yüzeylerine (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).

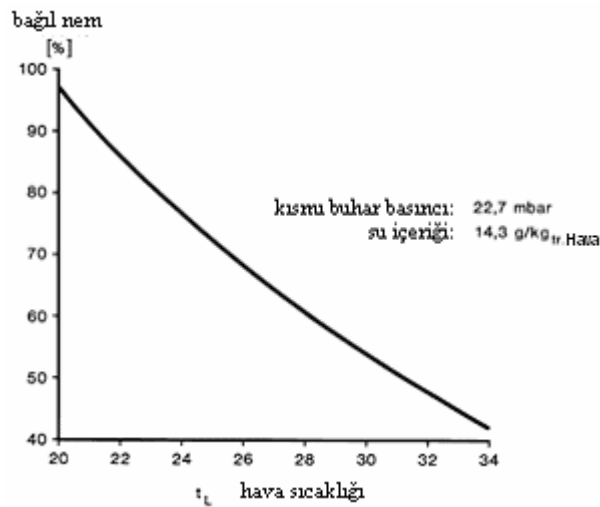
Tablo 1. VDI 2089'a göre Yüzme Havuzlarında Hava Sıcaklıkları İçin Kılavuz Değerleri [7].

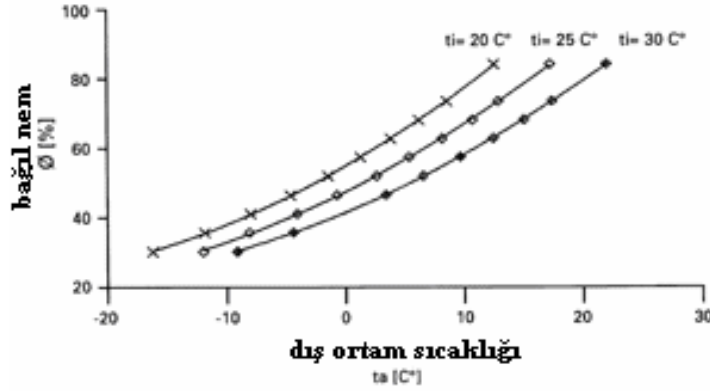
Mahal Türü	Hava Sıcaklığı (°C)	
	Minimum	Maksimum
Giriş Bölgesi, Yan Odalar ve Merdiven Boşlukları	18	22
Soyunma Odaları	24	28
Personel Odaları	22	26
Duşlar	27	31
Yüzme Havuzu	30	34

2.2 Yüzme Havuzlarında Nem Miktarı

Ortam havası 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 ısı büyük oranda vücuttan çekilmektedir. 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 (bkz. Şekil 1).

Düşük hava sıcaklıkları insanlarda rahatsızlığa neden 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 1.** VDI 2089 Sayfa 1'e göre elbisesiz insan için bunalıcı sınırı [9].



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

2.3 Minimum Hava Değişimi ve Havanın Dağıtılması

Kapalı havuzlarda klor kokusu, karbondioksit (CO₂) gibi sınırlandırılması istenilen zararlı maddeler için, bugünkü şartlara göre havuz işler durumdayken kişi başına minimum taze hava ihtiyacı 20 m³/(h x Kişi) 'dir. Havuz yüzey alanına ve doluluk oranına (0.5 Kişi/m² havuz yüzey alanı) bağlı olarak hijyenik hava değişim oranı 10 m³/(h x m²)' 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 CO₂ oranının etkisi fazla büyük değildir. Çünkü uygun bir havalandırma ve gerekli olan dış hava oranına göre CO₂ konsantrasyonu %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 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 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/(m²xh) (t_{havuzsuyu}=26 °C, t_{ortam}=28 °C, %60 bağıl nemde) arasında değişir. Dalga havuzlarında daha yüksek değerler söz konusudur.

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.

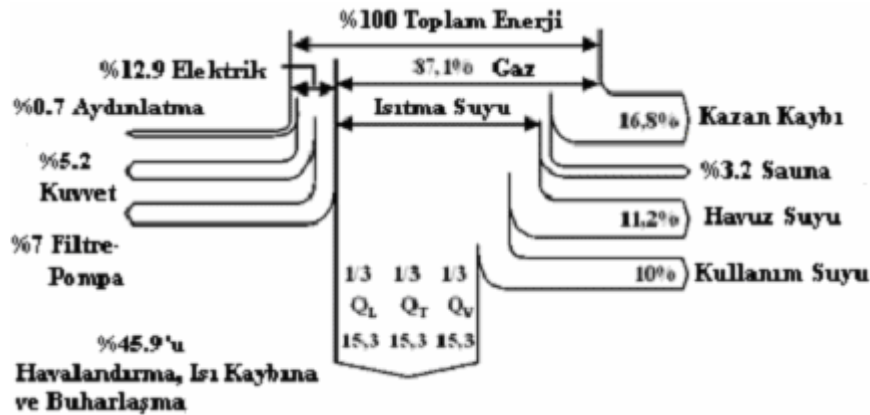
Tablo 2. Kapalı yüzme havuzlarında buharlaşma miktarı ([3], [7]).

Su Sıcaklığı °C	Buharlaşma Miktarı (g / m ² * 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

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 verilmiştir. 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 enerjisinde ulaşılabilir tasarruf potansiyeli sahip olduğu toplam enerji sarfiyatındaki pay dikkate alındığında küçük kalmaktadır. 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.



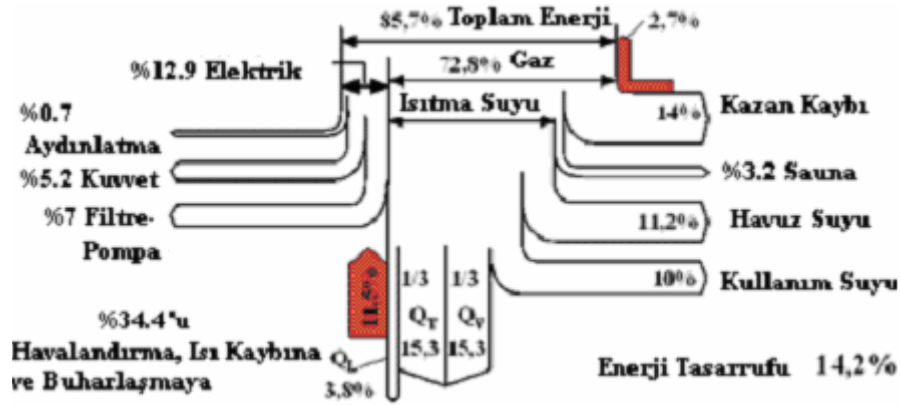
Şekil 3. Saunalı bir kapalı yüzme havuzunda ısı geri kazanımsız hal için enerji bilançosu [8].

Isıtma ve havalandırma için harcanan enerji üç kısımda değerlendirilebilir :

- Bina Isı Kaybı Q_T ,
- Havalandırma Isı İhtiyacı Q_L ,
- Buharlaştırma Isı İhtiyacı (Havuz Suyu Yüzeyinde Buharlaştıran Su Miktarının Isı İçeriği) Q_V .

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. Burada 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.

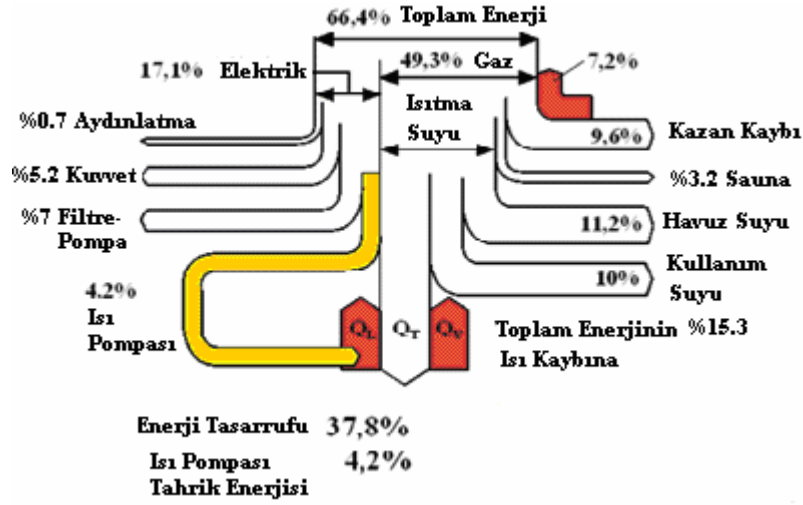


Şekil 4. Saunalı bir kapalı yüzme havuzunda ısı geri kazanımlı hal için enerji bilançosu [8].

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. Geri kazanılan ısı sayesinde kazan enerji üretimi azalacağından, 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 ($0,68 \text{ kWh/kg}_{\text{su}}$) 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 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 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.



Şekil 5. Isı pompalı ve ısı geri kazanım cihazlı saunalı bir kapalı yüzme havuzunda ortalama enerji bilançosu [8].

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 enerji kazanımları sağlanmaktadır. Özellikle %100 taze hava ile çalışan klima santrallerinde bu değerlere ulaşılmaktadır. Karışım havalı cihazlarda toplam kazanç düşmekle birlikte yine gözardı edilemeyecek oranlara ulaşılmaktadır. 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 havaya 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 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.

Isı Geri Kazanım Üniteli ve Isı Pompalı Cihazların Kış İşletmesinde Sağladığı İlave Enerji Tasarrufu:

Isı geri kazanım üniteli cihazlar ile normal şartlarda yaklaşık olarak %60 civarında verime ulaşılabilir. Yüksek iç ortam nem oranında ise daha yüksek verime ulaşılabilir. Kış mevsiminde ısı pompası ile maksimum bir ısı geri kazanımı sağlanmaktadır. Yani ısı geri kazanım üniteli cihaza bir soğutma çevrimi monte edilmiştir ve buharlaştırıcı dönüş havası üzerinde bulunmaktadır. Burada dönüş havasından arta kalan ısı geri kazanılmaktadır. 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.

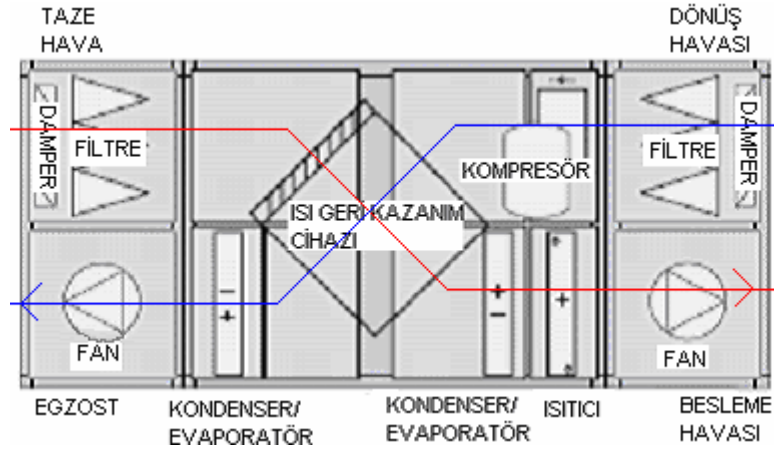
Isı Geri Kazanım Üniteli ve Isı Pompalı Cihazın Yaz İşletmesinde İlave Soğutma Avantajı:

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 sıralı olarak devreye girip çıkmaktadır.

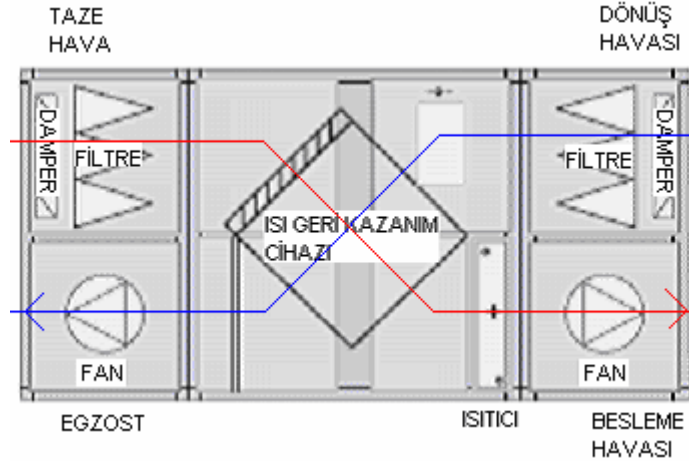
Cihaz tasarımları projenin ve iç-dış hava şartlarının durumuna göre farklı olabilmektedir. Bu farklı tasarımlardan önemlileri aşağıda gösterilmektedir.

4.1 Isı Geri Kazanım Üniteli, Isı Pompalı/Pompasız ve %100 Taze Havalı Çözüm:

Bu çözüm %100 taze dış hava ile çalışan yüzme havuzu uygulamalarında tercih edilir. Bu sistemde ısı değiştirgecinde basınç farkı sıfıra yakındır. Bu nedenle ısı değiştirgeçlerinde düşük bir basınç kaybı söz konusudur. Ayrıca her iki vantilatör (fan) direkt olarak kanala üfleyecek şekilde sıralanmıştır. Böylece vantilatörlerdeki dinamik basınç düşük kalmaktadır. Bu konfigürasyonda ayrı bir filtre modülüne gerek yoktur. Çünkü filtre, damper veya ön ısıtıcı serpantin üfleme fanın üzerine sıralanabilir (bak. Şekil 6. – 7.).



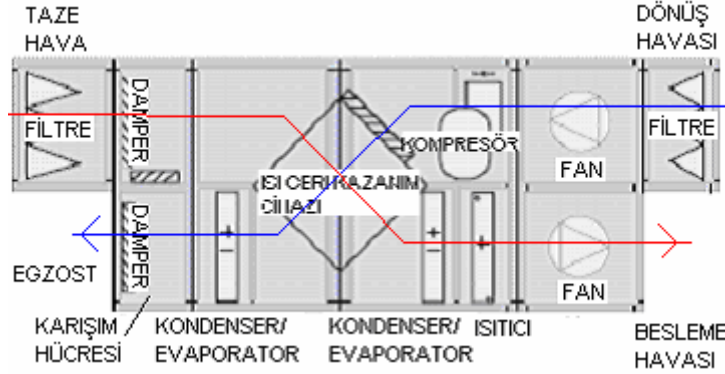
Şekil 6. %100 taze havalı, ısı pompalı ve ısı geri kazanım cihazlı üniteye ait görünüş [3].



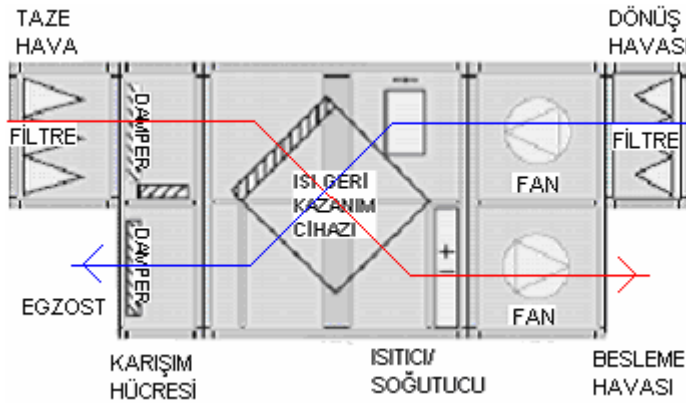
Şekil 7. %100 taze havalı ve ısı geri kazanım cihazlı üniteye ait görünüş [3].

4.2 Isı Geri Kazanım Ünitesi, Isı Pompalı/Pompasız ve Taze Hava Kontrollü Çözüm:

Bu çözüm ise taze hava miktarının kontrolü istenilen yüzme havuzu uygulamalarında tercih edilir. Isı pompalı seçenekte bir dönüş havası damperi ısı değiştirici modülüne takılabilir ve böylece özellikle gece işletmesinde dış havasız bir işletmeye olanak sağlayabilir. Bu durumda ısı pompası nem alma cihazı olarak çalışır. Dönüşüm havası damperi kısılarak hava debisi ayarlanabilir ve buharlaştırıcı ile nem alma işleminde, buharlaştırıcı yüzeyinde istenilen optimum bir üst yüzey sıcaklığına ulaşılabilir (Şekil 8.- 9).



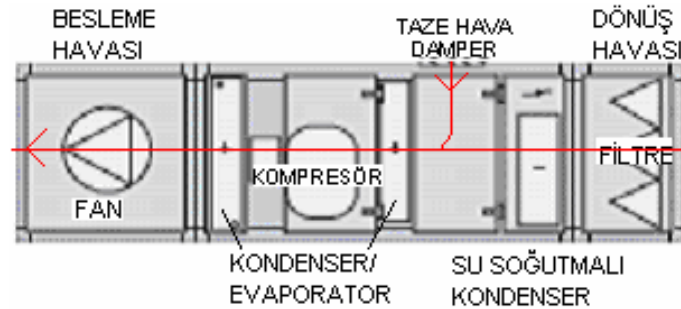
Şekil 8. Taze hava kontrollü, ısı pompalı ve ısı geri kazanım cihazlı üniteye ait görünüş [3].



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

4.3 Isı Geri Kazanım Ünitesiz ve Sadece Isı Pompalı Çözüm:

Bu ısı pompalı çözüm, sadece kapalı bir hava sirkülasyonlu çevrim ve nem alma işlemi için öngörülmüştür. Bu tip klima santral konfigürasyonlarında ortam havasının ısı ve nemi soğutma sisteminin buharlaştırıcısı tarafından emilmekte ve çığlenme noktasına kadar soğutulmaktadır. Hava içerisindeki su buharı bu esnada yoğunlaşmaktadır. Kurutulmuş, soğutulmuş hava kondensatöre iletilmekte ve burada tekrar ısıtılmaktadır. Su buharının yoğunlaşması sonucu alınan ısı ve kompresörün çalışmasından dolayı oluşan ilave ısı ile havaya daha fazla ısı verilmektedir (soğutma esnasında çekilen ısıdan daha fazla). Bu ısı aktarımı yaklaşık olarak 5°C 'lik sıcaklık artışına karşılık gelmektedir. Taze hava iletimi istenildiğinde bu konfigürasyon, 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).



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

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 yoğuşturulmuş su elde edilmektedir. Karışım damperi ile nemli alınmış dönüş havası belli bir oranda taze 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 üzerindeki hava miktarı kısılmaktadır. Bunun sonucu hava buharlaştırıcı üzerinde daha kuvvetli bir şekilde soğutulabilir. Bu şekilde nem alma işlemi optimize edilmiş olunur ve yoğuşan 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 uygulamalar için %0 bağıl nemli verim diyagramı seçilmelidir (bkz. Şekil 11). Ancak dönüş havası belirgin oranda nem içeriyorsa (yani çığ noktasının altına soğutulduğu takdirde yoğuşma meydana geliyorsa) yüzme havuzlarında olduğu gibi %50 bağıl nemli verim çizelgesi kullanılmalıdır. Dış ortam sıcaklığı ve dönüş havası sıcaklığı bilindiğinden aşağıdaki denklem kullanılabilir:

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

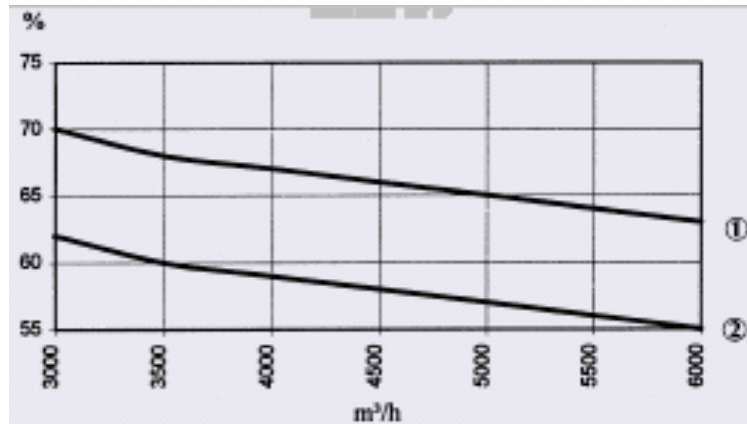
T_3 = Isı geri kazanım cihazı çıkış sıcaklığı

T_2 = Dış Ortam Sıcaklığı

T_1 = Dönüş Havası Sıcaklığı

η = 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 yoğuşma meydana geliyorsa ıslak verim (yoğuşmalı verim), nem ve sıcaklığa bağlı olarak %70' in üzerine çıkabilmektedir.



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

Şekil 11'den çapraz akışlı plakalı ısı değiştirgeçlerinin %50 (veya üzeri) bağıl 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 bağıl 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. 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 (m²)

P_B : Su Sıcaklığında Doymuş Buhar Basıncı (mbar)

P_L : Hava Sıcaklığında Kısmi Buhar Basıncı (mbar)

E : Ampirik Faktör [g/(mbar*m²*h)]

Havuz durumuna bağlı 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 (m²) başına minimum 10 m³/h' lik taze hava ön görülmüştür. Bu taze hava ihtiyacına göre nem alma kapasitesi aşağıdaki formül ile hesaplanır:

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

A : Havuzun yüzey alanı (m²)

10 : Dış ortam havası m³/h

1,2 : Havanın yoğunluğu (kg/m³)

x_u : mutlak nem, dış ortam havasının (g/kg)

x_i : mutlak nem, iç ortam havasının (g/kg)

Biasin & Krumme Denklemi [14]:

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 (m²)

P_B = Su Sıcaklığında Doymuş Buhar Basıncı (mbar)

P_L = 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:

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

w : buharlaşma miktarı (g/h)

x_u : mutlak nem, dış ortam havasının (g/kg)

x_i : mutlak nem, ortam havasının (g/kg)

1,2 : havanın yoğunluğu (kg/m³)

Dış ortamın mutlak nemi (x_u) yazın maksimum 11-12 g/kg arasında değişmektedir. Kışın ise 2- 3 g/kg arasında değişmektedir. Pratik uygulamalarda x_u 9 g/kg olarak alınabilir. Bu değer bir sezon içerisinde yaklaşık olarak %15 oranında aşılmaktadır ve VDI 2098 göre kabul edilebilir bir değerdir. Bunun dışında yaz döneminde nadiren yoğunlaşma problemi ile karşılaşmaktadır. Bu nedenle biraz daha

yüksek bir değerde su miktarına ortam havasında x_i müsaade edilebilir. Tablo 3.'de 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_D (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. Yükseltmiş 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].

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

burada:

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

$$C_{MAK} = \text{MAK-değeri (mg/m}^3_{\text{Hava}})$$

$$C_{FL} = \text{Dış havada bulunan zararlı madde konsantrasyonu (mg/m}^3_{\text{Hava}})$$

Kapalı yüzme havuzlarında yüzme salonu dışında iklimlendirilmesi 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 yoğuşma ile alınacağından, taze hava sadece Tablo 4'e göre (yani konfor şartlarına göre) hesaplanır. Bu durumda Denklem (6)'nin kullanılmasına gerek kalmayacaktır.

Tablo 4. VDI 2089'a göre farklı bölgeler için dış hava ihtiyacı [7].

Mahal Türü	Gerekli olan Taze Hava Debisi
Gözetleme Hacimleri	25 m ³ /h brüt temel kesit alan (m ²) başına
Duş Hacimleri	220 m ³ /h duş başına
Tuvaletler	100 m ³ /h tuvalet başına
Toplu Soyunma Odaları	20 m ³ /h brüt temel kesit alan (m ²) başına
Tekli Soyunma Odaları	15 m ³ /h brüt temel kesit alan (m ²) başına
Seyirci Tribünü	20-25 m ³ /h kişi başına

SONUÇ

Bir yüzme havuzunda havadaki yüksek nem oranı havuzun pencere ve duvarlarında terlemeye sebep olmaktadır. Terleme ise korozyon ve mantar oluşumuna neden olmakta ve yapı bileşenlerini tahrip 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 azaltmaktadır. Bu şekilde havanın nem oranı düşük işletme maliyetlerinde optimum bir ölçüye indirgenmiş olmaktadır. 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 cihazlı ünitelerin 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 cihazların 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 yapılarda havanın bağıl nemi, yoğuşmaya neden olmadan %70'e varan değere kadar yükseltilebilir [10]. Gerekli 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 önlenmiş olur.

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 Waermepumpen- Luftentfeuchter in Schwimmhallen”, Denmark.
- [4] A/S Dantherm, “Waermetauscher und Waermepumpe”, 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.

ÖZGEÇMİŞLER

Müslüm ARICI

1980 yılında Şanlıurfa'nın Birecik ilçesinde doğmuştur. 2000 yılında Kocaeli Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. Aynı üniversiteden 2004 yılında Yüksek Mühendis ünvanı almıştır. Halen aynı üniversitede doktora çalışmasına devam etmektedir. 2001 yılından beri KOÜ, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Termodinamik ve Isı Tekniği Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD), havalandırma ve klima konularında çalışmaktadır.

Mustafa SEÇİLMİŞ

1968 yılı Ankara doğumludur. 1991 yılında YTÜ. Kocaeli Mühendislik Fakültesi Makina Bölümünü bitirmiştir. Kocaeli Üniversitesi FBE'den 1994 yılında Yüksek Mühendis, 2003 yılında Doktor ünvanını almıştır. 1991-1992 yılları arasında TKİ Çanakkale-Çan Linyit İşletmelerinde Makine Bakım Mühendisi olarak çalışmıştır. 1992-2003 yılları arasında aynı üniversitede Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2003 – 2004 yılları arasında yedek subay olarak askerlik görevini tamamlamış ve 2004 yılından beri Kocaeli Üniversitesi Asım Kocacı MYO Yapı Tesilat Teknolojisi Programı'nda Yrd. Doç. Dr. olarak görev yapmaktadır. Isı tekniği, ısıtma sistemleri, havalandırma, klima, soğutma sistemleri, ısı ve kütle transferi, iki fazlı akışlar ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) konularında çalışmaktadır.