



**bu bir MMO
yayımdır**

MMO, bu makaledeki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan ve basım hatalarından sorumlu değildir.

Buharlaşmalı Serinletme Özellikleri ve Uygulaması

OSMAN F. GENCELİ

İTÜ Makina Fakültesi
GÜMÜŐSUYU- İSTANBUL

BUHARLAŞMALI SERİNLETME ÖZELİKLERİ VE UYGULAMASI

Osman F. GENÇELİ

ÖZET

Buharlaşmalı serinleticiler hava içine verilen suyun bu hava içinde buharlaşması prensibi-ne dayanır. Havaya verilen su sürekli devrettildiğinde bu tip cihazlardaki değişim yaş termometre doğrusu boyunca olur. Bu olay esnasında havanın yaş termometre sıcaklığı sabit kalmasına karşılık, kuru termometre sıcaklığında bir düşme görülür.

Buharlaşmalı serinleticilerin havanın kuru termometre sıcaklığını azaltması nedeniyle, bu tip cihazlar hem konfor iklimlendirilmesinde hem de tekstil fabrikaları gibi yerlerde işletme isteklerini, güç santralleri, değirmenler, dökümhaneler, fırınlar gibi yüksek sıcaklıkta çalışılan yerlerin çalışma koşullarını iyileştirmek için uygulama alanı bulur. Özellikle yaş termometre sıcaklığının 24°C değerinden küçük, kuru termometre sıcaklığının 32°C değerinden büyük olduğu havanın soğutulması problemlerinde buharlaşmalı serinletme yöntemi daima gözönünde tutulması gereken bir sistemdir.

1. GİRİŞ

Buharlaşmalı (evaporatif) serinleticiler, tanım olarak hava akımı içine verilen suyun bu hava içinde buharlaşması olayıdır. Termodinamik açıdan bakıldığında, havaya verilen suyun buharlaşması için gerekli gizli ısı, havanın dıyutulur soğuması ile sağlandığından bu olay, adyabatik olarak varsayılır ve teknik olarak "*adyabatik serinletme*" adını alır. Eğer havaya verilen su sürekli olarak devrettirilir ise, havanın bu tip cihaza giriş ve çıkışı, psikrometrik diyagramda havanın yaş termometre doğrusu boyunca olur. Bu esnada havanın yaş termometre sıcaklığının sabit kalmasına, bağıl ve özgül nemlerinin ise artmasına karşılık, havanın kuru termometre sıcaklığındaki azalma nedeniyle, bu olaya pratikte "*buharlaşmalı serinletme*" adı verilir.

Buharlaşmalı serinleticiler, insan tarafından bilinen en eski soğutma yöntemi olmasına rağmen, mekanik soğutma yöntemlerinin gelişmesi ile geçmiş yıllarda fazla tercih edilmemekteydi. Fakat son yıllarda enerji masraflarındaki artış, iç hava kalitesindeki iyileştirme istekleri, mekanik soğutmanın (kloroflorokarbonların) yarattığı ozon tabakasındaki inceltme problemleri, buharlaşmalı hava serinleticilerini güncel hale getirmiştir.

Pratikte buharlaşmalı serinleticiler iki grupta toplanabilir. "Doğrudan buharlaşmalı serinletici" adını alan birinci grupta su, doğrudan doğruya serinletilmek istenen hava içine püskürtme, damlama veya bu havanın ıslak yüzeylerden geçirilmesi ile verilir. "Doğrudan olmayan buharlaşmalı serinletici" adını alan ikinci grupta ise, serinletilme yapılmak istenen havaya nem verilmeyip, bu hava nemlendirilerek serinletilmiş ikinci bir hava akımı ile yüzeyli bir ısı değıştiricisinden geçirilerek, serinletilmesi yapılır.

Buharlaşmalı serinleticilerin sıcak ve kuru iklimlerde rahatlatıcı bir işlem yapabilmesine rağmen, gerçek bir iklimlendirme tesisatından beklenen fonksiyonları her zaman yerine getiremez. Havanın hem sıcaklığının hem de neminin kontrolü istenilen yerlerde bu cihazlar, mekanik soğutmalı sistemlerin bir ön kademesi olarak düşünülebilir. Bütün bu sakıncalarına rağmen, kurak ve sıcak iklimlerde buharlaşmalı serinleticiler başarı ile kullanılabilirler ve yaz aylarında bu cihazlarla konfor bölgesi içine düşmek mümkündür.

2. BUHARLAŞMALI SERİNLETİCİLERİN PSİKROMETRESİ

Havanın adyabatik serinletilmesi işleminde dışarı ile ısı alışverişi yoktur. Buharlaşmalı serinletici sistemlerde havanın kuru termometre sıcaklığının düşmesi nedeniyle serinler. Bu esnada havanın yaş termometre sıcaklığı sabit kalır. Pratik olarak psikrometrik diyagramda sabit entalpi doğrusu ile yaş termometre doğrusu aynı kabul edilebilir. Sistemde dışarı ile ısı alışverişi olmadığından serinletme işlemi cihazın içinde olur. Bu iç ısı transferi, suyun buharlaşması için gereken gizli ısının, havanın duyulur serinlemesi ile gerçekleşir. Havanın içine adyabatik olarak nem verme işlemi psikrometrik diyagramda Şek.1'deki gibidir. Adyabatik nemlendiriciye A şartlarında giren hava, nemlendiriciden pratikte B şartlarında çıkarken, teorik olarak C doyma şartlarında çıkmaktadır. Doyma şartlarına ulaşıldığı C durumu için olaydaki ısı transferi mekanizması 1 kg kuru hava için matematik olarak

$$c_p(t_1 - t') = r(x_1 - x_3)$$

şeklinde verilebilir. Burada

c_p : nemli havanın özgül ısısı. ($c_p = c_{ph} + x c_w$)

c_{ph} : kuru havanın özgül ısısı

x : havanın özgül nemi

c_w : su buharının özgül ısısı

t_1 : giriş havası kuru termometre sıcaklığı

t' : giriş havası yaş termometre sıcaklığı

r : su buharının gizli buharlaşma ısısı

anlamındadır.

Havanın kuru termometre sıcaklığında olabilecek maksimum düşme, giriş havasının kuru termometre ile yaş termometre sıcaklıkları farkı kadardır. Eğer hava yaş termometre sıcaklığına kadar serinletilebiliyor ise doymuş hale gelir ve bu işlem % 100 etkenlik ile oluşur. Pratikte gözönüne alınan buharlaşmalı serinletici bir cihazın etkenliği, cihazdan çıkan havanın kuru termometre sıcaklığı ile giriş havasının kuru termometre sıcaklığı arasındaki farkın, giriş havasının kuru ve yaş termometre sıcaklıklarına oranı olarak

$$\varepsilon = (t_1 - t_2) / (t_1 - t')$$

şeklinde tanımlanır. Pratikte doğrudan buharlaşmalı cihazlarda %85-90 etkenlik elde edilebilir.

Şek.1'deki psikrometrik diyagramda, havanın duyulur soğuması ile aynı anlamı olan, doğrudan olmayan buharlaşmalı serinletici cihazdaki değişim de gösterilmiştir. Literatürde doğrudan olmayan buharlaşmalı serinletici cihazların da etkenlikleri, doğrudan buharlaşmalı serinleticilerinkine benzer olarak verilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, doğrudan olmayan serinletme işlemi sabit özgül nem doğrusu boyuncaadır. Bu durumdaki etkenlik tanımı, birinci devredeki havanın giriş ve çıkış kuru termometre sıcaklıklarındaki farkın, ikinci devredeki havanın girişteki kuru ve yaş termometre sıcaklıkları farkına oranı olarak

$$\varepsilon = (t_1 - t_4) / (t_1 - t')$$

şeklinde verilir. Bu cihazlarda kullanılan ısı değişimcilerinin konstrüksiyonlarına, birinci ve ikinci devredeki havaların şartlarına bağlı olarak etkenlik, en fazla %85 olabilir.

Örnek 1. Kuru termometre sıcaklığı 35°C, yaş termometre sıcaklığı 24°C olan hava, (a) etkenliği %80 olan bir doğrudan buharlaşmalı serinleticiden, (b) etkenliği %60 olan doğrudan olmayan bir buharlaşmalı serinleticiden geçirildiğine göre, her iki durumdaki havanın kuru termometre çıkış sıcaklıklarını bulunuz.

Çözüm 1. Şek.2'deki psikrometrik diyagramdan $(t_1 - t') = 11^\circ\text{C}$ olduğundan, havanın doğrudan buharlaşmalı serinleticideki soğuma miktarı $11 \times 0,8 = 8,8^\circ\text{C}$ iken, doğrudan olmayan buharlaşmalı serinleticilerdeki soğuma miktarı ise $11 \times 0,6 = 6,6^\circ\text{C}$ değerindedir. Her iki halde çıkışlardaki havanın kuru termometre sıcaklıkları,

$$(a) \quad (35 - 8,8) = 26,2^\circ\text{C}, \quad (b) \quad (35 - 6,6) = 28,4^\circ\text{C}$$

olacaktır.

Dikkat edilirse bu örnekte birinci durumda havanın çıkışında yaş termometre sıcaklığı girişteki değeri olan 24°C olarak sabit kalırken, ikinci durumda yaş termometre sıcaklığı da 22,1°C gibi bir değere düşmüştür. Doğrudan olmayan buharlaşmalı serinleticilerde cihaza giren havanın hem yaş hem de kuru termometre sıcaklıkları düşmesi nedeniyle, bir çok uygulamada soğutma yükünün bir kısmının karşılanması için kullanılır.

3 DOĞRUDAN BUHARLAŞMALI SERİNLETİCİLER

Pratikte genelde doğrudan buharlaşmalı serinleticilerin üç tipi olan (1) su püskürtmeli tip hava yıkayıcı, (2) ıslatılmış yüzeyli tip ve (3) döner silindireli serinletici tip ile karşılaşılır.

3.1. Su Püskürtmeli Tip Hava Yıkayıcı

Bu tip buharlaşmalı serinleticiler korozyona dayanıklı çelik bir kasa içine yerleştirilmiş su püskürtücü memelerden oluşur. Bir aspiratör yardımıyla emilen hava, memelerden püskürtülen ince su zerciklerinin arasından geçerken serinler. Cihaz içindeki yönlendirici ve damla tutucu elemanlar, hava akımı ile su zerciklerinin sürüklenmesini önler. Suyu devrettiren pompanın debisi, suyun buharlaşma debisinden fazladır. İyi dizayn edilmiş su püskürtmeli yıkayıcılarda, havanın çıkıştaki kuru termometre sıcaklığı girişteki yaş termometre sıcaklığına 1°C fark olacak kadar yaklaşabilir. Bu tip cihazlar güvenilir, etkin ve ekonomiktir. Bunların ilk yatırım masraflarının fazla, ağırlıklarının ve boyutlarının büyük olması en büyük sakıncalıdır. Genel olarak büyük ticari ve endüstriyel uygulamalarda kullanılır. Bu tip cihazlar havanın serinletilmesi yanısıra özellikle tozlu, kirli ortamlarda havanın temizlenmesi için de başarı ile kullanılabilir.

Hava yıkayıcılar için bir standartizasyon yoktur, her imalatçı firma kendisine göre kapasite aralıklarını seçer ve her birinin hava hızı, su püskürtme yoğunluğu, püskürtme basıncı ve diğer dizayn faktörleri farklıdır. Pratikte 1 ila 120 m³/s kapasite aralığında imalatlara rastlanılabilir.

En basit bir dizayn su püskürtme memelerinin tek bir sıra halinde çoğunlukla 1 ila 2 m uzunluğundaki bir kasa içine yerleştirilmesi ile elde edilir. Cihazın serinletme ve temizleme etkenliğini artırmak için iki veya daha fazla sıra püskürtme memeleri konulmalıdır. İlk meme sırası, girişten 0,3 m öne konulurken, son meme sırası, çıkıştan 0,5 m geriye konulmalıdır.

Şek.3'de tek sıralı klasik bir su püskürtmeli hava yıkayıcının konstrüksiyonu görülmektedir. Bu tip cihazdan esas olarak istenen özellikler sırasıyla, (1) cihaz içinde hava düzgün bir şekilde dağılmalıdır, (2) yeterli miktardaki su zerrecikleri hava içine püskürtülmelidir, (3) su zerreciklerinin dağılımı düzgün olmalıdır, (4) ısı ve kütle transferinin oluşabilmesi için yeterli uzunluk olmalıdır ve (5) çıkışta hava içinde su zerrecikleri bulunmamalıdır. Hava yıkayıcının kesiti, hava debisi ve hava hızı yardımı ile bulunur. Özel damla tutucular kullanılması durumunda hava hızı 8 m/s değerine kadar çıkabilirse de genellikle hız için 1,5 ila 3 m/s değeri aşılmaz.

Su püskürtmeli hava yıkayıcılarda memelerden püskürtülen su miktarı tek sıralı memelerde 0,5 kg/(m³ hava debisi) değerinden, çok sıralı memelerde 10,5 kg/(m³ hava debisi) değerine kadar değişebilir. Memelerde istenen basınca, cihazın yüksekliğine, su borusu hattındaki basınç kayıplarına bağlı olarak, su püskürtmeyi sağlayan pompa basıncı 160 ila 300 kPa arasında değişir. Su buharlaştıkça gerideki su içindeki tuz derişikliğini azaltmak için, pompanın beslediği suyun %10 kadarı sürekli dışarı atılır. Bu şekilde ıslak yüzeylerde ve memelerde oluşabilecek kimyasal birikintilerin olumsuz etkileri azaltılabilir. Sert su kullanan cihazlarda dışarı atılan su yüzdesi bir miktar daha artırılabilir.

Suyun püskürtüldüğü memeler, havanın geçtiği bölünlerde düzgün olacak şekilde atomize su zerrecikleri sağlamalıdır. Memelerdeki basınç genelde 140 ila 180 kPa arasında değişir. Yüksek etkenliğin istendiği ince damlacıkların gerekli olduğu küçük çaplı memelerde basınç 280 kPa değerine kadar çıkabilirken, meme çapının nispeten büyük olduğu adi nemlendirme işlemlerinde kullanılan cihazlardaki memelerdeki basınç 170 kPa değerindedir. Kimyasal tuzların fazla olduğu sert suyun kullanılması durumunda, daha büyük bir pompa kapasitesi gerekse dahi büyük çaplı memeler kullanılmalıdır. Memelerden püskürtülen su kapasitesi, meme başına 60 ila 200 g/s arasında değişir. Su püskürtme yoğunluğu ise genel olarak meme sırası başına 11,7 ila 34 kg/(m² akışa dik kesit) olarak seçilebilir. Bir sıraya m² başına 8 ila 27 meme yerleştirilebilir. Meme yoğunluğunun küçük olduğu durumlarda havanın kısa devre yapmasını önlemek için küçük çaplı memeler kullanılmalıdır.

Su filtreleri genellikle ince delikli bakır veya pirinç eleklerden yapılır. Bunların delik çapları memelerin delik çaplarından daha küçük olmalıdır. Kontrolları ve değiştirilmeleri kolay olmalıdır. Tekstil fabrikaları gibi yüksek oranda tozlu ortamlarda çalışan cihazların filtreleri sürekli olarak otomatik temizlenmeye imkan verecek şekilde dizayn edilmelidir.

Hava tarafındaki yük kaybı, kenetlerin, damla tutucuların, ıslak yüzeylerin konstrüksiyonuna, meme sıra sayısına, hava hızına ve cihazda varsa hava ısıtıcısı, hava soğutucusu gibi elemanlara bağlı olarak değişmektedir. Yük kaybı 60 ila 250 Pa arasında değişmektedir.

Cihazın kontrolü için bir veya iki kapısı bulunmalıdır. Su tankı en az 400 mm yüksekliğinde su seviyesi ise en az 350 mm olmalıdır. Damla tutucular havayı yönlendirirken sağladığı ıslak yüzeyler ile su zerreciklerinin geçişine mani olmalıdır. Bunlar aralarında 20 ila 50 mm boşluk olacak şekilde yerleştirilir. Bazen yıkayıcı çıkışına delikli levha konularak havanın düzgün bir şekilde akması sağlanır.

3.2. Islatılmış Yüzeyle Tip Hava Serinleticiler

Bu tip serinleticilerde çoğunlukla ağaç yongaları, cam, plastik veya porselenden yapılmış ıslatılmış yüzeyler bulunur. Yüzeylerin ıslatma kabiliyetini artırmak ve bakteri yosun gibi mikro organizmaların üremesine mani olmak için, bu yüzeyler üzerine bazı kimyasal işlemler yapılır. Cihaz içindeki bir sirkülasyon pompası depodan aldığı suyu bu yüzeyler üzerine akıtarak ıslanmasını sağlar. Bir aspiratör yardımıyla emilen hava, bu ıslak yüzeyler arasından geçerken serinler. Bu tip cihazlar havalandırma kanallarına konulabildiği gibi, bina içine, çatıya veya pencereye de monte edilebilir. Bina dışına konulan tiplerin dış görüntüleri bina ile uyum içinde olacak şekilde yapılır. Şek.4'de karakteristik bir ıslatılmış yüzeyle hava serinletici görülmektedir.

Su püskürtmeli hava yıkayıcılara göre bu cihazların etkenliği biraz daha küçüktür. Genel olarak bunların etkenliği en çok %80 değerinde olup, bunlardan çıkan havanın kuru termometre sıcaklığı, giriş havasının yaş termometre sıcaklığına 2 ila 3°C yaklaşabilmektedir. Kapasiteleri 0,02 ila 10 m³/s arasında değişebilmektedir. Bina içindeki ıslak yüzeyle serinleticilerin kapasiteleri 0,02 ila 0,09 m³/s arasında değişirken, pencere ve çatı tipi olanlar 0,05 ila 2 m³/s arasında kanallara monte edilen tiplerde ise 2,5 ila 10 m³/s arasında değişir.

Bu tip cihazlara buharlaştırıcı yüzeye havanın alın giriş hızı 0,5 ila 1,3 m/s arasındadır. Bunlardaki yük kaybı 25 Pa civarındadır. Kullanılan ıslak yüzey elemanın 50 mm kalınlığı için yaklaşık ağırlığı 1,5 ila 2 kg/m² değerindedir. Bu elemanlar kolayca değiştirilebilecek, pompadan gelen suyu her tarafına düzgün olarak yayabilecek bir şekilde imal edilmelidir. Su içindeki kimyasal tuzların zamanla birikimini önlemek için, havaya geçen suyun yaklaşık %10 kadan sürekli olarak dışarı atılmalıdır. Havaya geçen su miktarı, hava debisine, cihazın etkenliğine ve giriş şartlarına bağlı olarak psikrometrik diyagramdan bulunabilir.

Aspiratörü içinde olan cihazlarda kullanılan fan, genellikle santrüfuj, öne kıvrık kanatlı ve komple motorlu olarak dizayn edilir. Sistemde V-kayış kasnak sistemi istenildiği gibi değiştirilerek, gerekli hava debisi ve basıncı ayarlanabilir. Kullanılan elektrik motoru neme karşı korunmuş olmalıdır.

Şek.5'de görüldüğü gibi, doğrudan havalandırma kanalı üzerine monte edilebilen ıslatılmış yüzeyle buharlaşmalı serinletici cihazlar da imal edilebilir. Bunlarda kullanılan yüzeyler tabakalar halinde sert ve dalgalı tipten selülöz veya cam yününden yapılmıştır. Serliliği sağlamak ve zamanla bozulmaları önlemek için bu yüzeylere bazı reçineler ile kimyasal işlemler yapılır. Hava ile suyun zıt yönde akışını sağlamak için tabakalara uygun açılar verilir. Tabaka kalınlığı 100 ila 600 mm arasında yapılabilmesine rağmen kalınlık için en çok 300 mm değeri kullanılır. Islatılmış yüzeylerin, hava akımına en az direnç göstermesi, yüksek etkenlik sağlayabilmesi ve kendi kendini temizleyebilme imkanının olması belli başlı karakteristik özellikleridir. Islak yüzeyin kalınlığına, konstrüksiyonuna ve hava hızına bağlı olarak cihazın etkenliği %70 ila 95 arasında değişebilir. 280 m³/s hava debisine kadar kullanılabilir.

Islatılmış yüzeyle buharlaşmalı hava serinleticilerinin diğer bir örneği, Şek.6'da görülen su sıratmalı paket tipi hava serinleticisidir. Bu cihazda kullanılan fan, genellikle öne

eğimli çift girişli, elektrik motorundan V-kayış kasnak sistemi ile tahrikli santrüfuj tiptendir. Bir elektrik motoru ile tahrik edilen ve su içine daldırılan bir disk yardımı ile hava akımı içine su sıçratılır. Pratik olarak elde edilebilen etkenlik, en fazla %80, hava debisi ise $14 \text{ m}^3/\text{s}$ değerine ulaşabilmektedir. Buharlaştırıcı ve nem tutucu dolgu elemanları kauçuk veya cam elyafı ile demir olmayan metal konstrüksiyondan 20 ila 50 mm kalınlıkta yapılabilir. Girişteki hava hızı 1,5 ila 3 m/s arasında seçilebilir. Bakteri ve yosun üremesine mani olmak, yangına karşı direnç ve ıslatma kabiliyetini artırmak için bu elemanlara kimyasal işlemler uygulanmaktadır.

3.3. Döner Silindirik Hava Serinletici

Bu tip serinleticilerde Şek.7'de görüldüğü gibi, esas olarak bir kısmı su içinde diğer kısmı serinletilmek istenen hava akımı içinde dönen silindirik gözenekli bir elemandan meydana gelir. Paket tipi olanlarda aspiratör ve bu aspiratörü tahrik eden elektrik motoru ve kayış kasnak mekanizması bulunur. Silindirik elemanın dönme eksenini hava akımına paralel veya dik olacak şekilde iki tipte konstrüksiyonu yapılabilir.

Her iki tipte de çıkış havası kuru termometre sıcaklığı, giriş havası yaş termometre sıcaklığının 2°C daha yukarısına kadar yaklaşabilir. Bunların hava kapasitesi 1 ila $6 \text{ m}^3/\text{s}$ arasında değişebilir. Girişteki hava hızı 0,5 ila 3 m/s, yük kaybı ise 120 Pa değerlerindedir. Su içindeki tuz derişikliğinin artmasını önlemek bakımından zaman ayarlı bir otomatik vana ile periyodik olarak depodaki su değiştirilir.

4. DOĞRUDAN OLMAYAN BUHARLAŞMALI SERİNLETİCİLER

Doğrudan olmayan buharlaşmalı serinleticilerde, dış hava veya şartlandırılmış salondan alınan egzoz havası yüzeyli bir ısı değiştiricinin bir tarafından geçilir. İkinci devre havası olarak adlandırılan bu hava, kısım 3'de incelenen doğrudan buharlaşmalı herhangi bir yöntem ile serinletilir. Isı değiştiricinin diğer tarafında ise birinci devre havası olarak adlandırılan (şartlandırılmak istenen) hava, dıyulur olarak serinletilir.

Görüldüğü gibi bu olayda birinci devredeki havanın soğutulması esas olarak buharlaşmalı bir serinletme işlemi yardımı ile olmasına rağmen, bu havanın özgül neminde hiçbir değişiklik olmamaktadır. Bu yüzden, bu işlem *doğrudan olmayan buharlaşmalı* olarak adlandırılır. Birinci devre havası istenirse iç hava veya dış hava ya da bu ikisinin karışımı olarak alınabilir. İşlem esasında birinci devre havasına nem girişi olmadığından ve bu havanın entalpisini azaldığından, bu işlem entalpinin sabit olduğu doğrudan buharlaşmalı işlemden prensip olarak farklıdır.

Bu tip cihazlar kendi başlarına kullanılabilirlikleri gibi, mekanik soğutmalı devrelerin bir ön kademesi olarak da kullanılabilir. Şek.8'de doğrudan olmayan buharlaşmalı bir paket tipi serinleticinin mekanik olarak soğutulan bir devrenin ilk kademesinde kullanışı görülmektedir. Şek.9'da ise aynı cihazın tam şartlandırma yapabilen bir iklimlendirme santralında ön kademe olarak kullanışı verilmiştir. Klasik mekanik soğutma devrelerine göre, bu devrelerdeki cihazların fazladan olan enerji ihtiyaçları, su pompası ve ikinci devrede kullanılan vantilatör motoru ile ilave yük kayıpları nedeniyle birinci devredeki vantilatör gücündeki bir miktar artma kadmıdır. Bunların ilavesi ile mekanik soğutma devrelerinde tasarımı edilen enerji, bu cihazların enerji sarfiyatları yanında çok küçüktür. Ayrıca birçok yerde doğrudan olmayan bu ön serinletici, yıllık soğutma yükünün büyük bir kısmını, mekanik soğutma devresini çalıştırmadan yalnız başına karşılayabilir. Örnek olarak Supple (1982), yaptığı çalışmada, değişik iklim koşullarında kullanılan konfor iklimlendirme tesisatlarında yıllık soğutma yükünün yaklaşık %50'sinin doğrudan olmayan ön serinleticiler ile karşılanabileceğini göstermiştir.

Tipik doğrudan olmayan buharlaşmalı serinleticilerin her iki hava devresindeki yük kaybı 50 ila 500 Pa arasında değişir. Etkenliğe bağlı olarak ikinci devredeki hava debisinin birinci devredeki hava debisine oranı 0,6 ila 1 arasındadır. Bu cihazların etkenlikleri ise, Kısım 2'deki tanıma göre, çeşitli firmalarca %40 ila %80 arasında verilmektedir.

5. BUHARLAŞMALI SERİNLETMENİN SINIRLARI

Teorik olarak %100 etkenliğe sahip bir buharlaşmalı serinleticide çıkış havasının ulaşabileceği en düşük kuru termometre sıcaklığı, giriş havasının yaş termometre sıcaklığı kadardır. Bu nedenle cihaza giren havanın yaş termometre sıcaklığı, buharlaşmalı serinleticilerin performansına etki eden en önemli değişkendir. Pratik olarak bu tip cihazlar, giriş havası yaş termometre sıcaklığının 21°C değerinin altında, kuru termometre sıcaklığının 35°C değerinin yukarısındaki ortamlarda etkin bir şekilde kullanılabilir. Türkiye'de yazın dış hava için yaş ve kuru termometre sıcaklıklarının dizayn değerlerine ait iki harita Şek.10a ve b'de gösterilmiştir. Bu haritalar bu tip uygulamaların seçiminde bir yol gösterici olmasına rağmen, bazı bölgesel değerlerin bu haritadan bir miktar sapabileceği unutulmamalıdır.

Kuru termometre sıcaklığı gözönüne alındığında, günde birkaç saat için dahi olsa, dış sıcaklığın 35°C değerinden fazla bir bölgede bulunan birçok insan, bu bölgede herhangi bir serinletme yapılmasını arzu etmektedir. Diğer taraftan, psikrometrik diyagramın incelenmesi ile %80 etkenliğe sahip bir buharlaşmalı serinletici yardımıyla, 32°C kuru, 24°C yaş termometre sıcaklıklarına sahip hava ancak birkaç derece serinletilebilmektedir. Bu nedenle genelde kuru termometre sıcaklığının 32°C değerinden fazla, yaş termometre sıcaklığının ise 24°C değerinden az olduğu ortamlar için buharlaşmalı serinleticiler önerilebilir.

Daha hassas bir inceleme Şek.11'de verilen konfor diyagramının gözönüne alınması ile yapılabilir. Bilindiği gibi efektif sıcaklık eğilimi, farklı yaş ve kuru termometre ortam sıcaklıklarında kendilerini konforlu hissettikleri durumları göstermektedir. Şekilde belirtilen yaz konfor bölgesi, deney yapılan insanların en az %50'sinin kendilerini konforlu hissettiği kısmı gösterir. Bu kısmın dış çizgisi ise deney yapılan insanların %98'inin kendilerini konforlu hissettiği yerdir ki bu da 22°C ES (Efektif Sıcaklık) değerine karşı gelmektedir. Genelde konfor bölgesinin dışında kalan şartlar konfor iklimlendirilmesi için düşünülmemelidir. Herne kadar bir kısım insanlar bu bölgenin dışında da kendilerini konforlu hissetebilmelerine rağmen, deney yapılan insanların %50'den fazlası kendilerini bu bölgede konforsuz hissetmektedir. Bu nedenle buharlaşmalı serinleticiler ile bir konfor iklimlendirmesi yapılırken, bu diyagram içine düşülüp düşülmediği kontrol edilmelidir. Şek.12'de bir psikrometrik diyagramda ortamdaki hava hızının değişmesinin konfor bölgesine etkisi görülmektedir. Bazı durumlarda ortamın hava hızı artırılarak bu bölgeler içine düşmek mümkün olabilir.

Diğer taraftan, dahili ısı kazançlarının çok büyük olduğu bazı fabrikalarda, özellikle yaz aylarında meydana gelen olumsuz koşulları, sadece dış hava ile havalandırma yaparak, azaltmak mümkün değildir. İstatistikler böyle olumsuz ortamlarda çalışan işçilerin verimlerinin %25 ila 40 düştüğünü göstermektedir. Bu gibi yerlerde konfor koşullarına inilmese de buharlaşmalı serinleticiler ile bir miktar serinletme yapmak, çalışma koşullarını oldukça iyileştirir. Şek.13'de hava hızlarının 0,1 ila 3,5 m/s arasında değiştiği bir Efektif Sıcaklık (ES) diyagramı görülmektedir. Bu diyagramda herne kadar en büyük hava hızı 3,5 m/s olarak verilmişse de yüksek sıcaklıkta imalattaki yapıldığı birçok fabrikada 20 m/s gibi

büyük hava hızlarına çıkılabilir. Konfor şartlarını karakterize edebilen ES'ye (Etkelil Sıcaklık) havanın kuru ve yaş termometre sıcaklıkları yaklaşık aynı etkiyi yapar. Kabaca kuru veya yaş termometre sıcaklıklarından birisindeki belirli bir miktar değişim, ES'da bu değişimin yarısı kadar etki eder.

Örnek olarak, Şek.13'de ED doğrusu ile gösterilen 35°C kuru, 24°C yaş termometre sıcaklıklarına sahip bir ortam gözönüne alınsın. Doğrudan buharlaşmalı bir serinletici ile bu ortamın yaş termometre sıcaklığı sabit kalırken, kuru termometre sıcaklığı 8°C azaltılarak CD doğrusu elde edilsin. Bu doğruların incelenmesi ile, doğrudan buharlaşmalı bir serinletici, ortamdaki hava hızının 0,1 m/s olması halinde ES değerinde 3°C, hava hızının 3,5 m/s olması halinde ise ES'de 5°C bir düşme sağlamaktadır. Bu arada ilave olarak, kuru termometre sıcaklığındaki azalma, havayı hareket ettiren vantilatör gücünde de bir miktar azalmaya neden olur. ED doğrusu üzerinde 0,1 m/s hız için ES değeri 28,5°C değerinden, 3,5 m/s hızda 26,5°C değerine kadar değişirken, CD doğrusu üzerinde 0,1 m/s hızda ES değeri 25,5°C, 3,5 m/s hızda ise 21,5°C değerindedir. İlk durumda hava hızındaki artma, ES değerinde sadece 2°C azalmaya neden olurken, doğrudan buharlaşmalı serinletmenin yapıldığı (CD doğrusu) ikinci durumda, hava hızındaki artma ES değerinde 4°C azalmaya neden olur. Doğrudan buharlaşmalı cihazlar yardımıyla, Etkelil Sıcaklıktaki bu düşme, coğrafik bölgelere bakılmaksızın birçok fabrikanın çalışma koşulunda iyileştirme sağlar.

6. ÇEŞİTLİ UYGULAMALAR

Bir salonun serinletilmesindeki ana gaye, bu salona dışarıdan giren veya bu salon içinde oluşan ısıların bu salondan uzaklaştırılmasıdır. Mekanik soğutmalı tesisatlarda genel olarak sistemde dolaşan havanın büyük bir bölümü iç hava olup, yalnızca havalandırmaya yetecek kadar dış hava kullanılır. Doğrudan buharlaşmalı serinletici ile çalışan tesisatlarda ise iç hava kullanılmayıp, %100 dış hava kullanılır. Salonla serinletme işleminin gerçekleşebilmesi için serinleticiden çıkan havanın kuru termometre sıcaklığı, salonun kuru termometre sıcaklığından küçük olmalıdır. Serin olarak giren hava, salondaki iç hava ile karışırken, salonun serinlemesine neden olur.

Bütün havalandırma tesislerinde olduğu gibi, burada da serinleticiden gelen hava miktarı kadar iç hava dışarı atılmalıdır. Eğer havanın salondan serbestçe çıkışı mümkün değilse, salon içinde zamanla artan statik basınç, serinleticiden geçen hava debisinin azalmasına neden olur. Bunun sonucunda da salondaki konfor şartları bozulur. Kapasitenin nispeten küçük olduğu evsel uygulamalarda, bu iç havanın dışarı atılmasını sağlayacak şekilde salonun pencere ve kapıları bir miktar açık tutulmalıdır. Bazı sistemlerde egzoz havası çatı arasından atılacak şekilde dizayn edilir. Böylece çatı arası sıcaklığı da bir miktar düşürülmüş olur. Kapasitenin nispeten büyük olduğu, dahili ısı üretiminin bulunduğu birçok ticari ve endüstriyel uygulamada doğal egzoz yanısıra zorlanmış egzoz devresine de gerek vardır.

Örnek 2. 15x24,4x3 m boyutlarındaki bir ofis binasında doğrudan buharlaşmalı serinletme sistemi kullanılmaktadır. Dış ortam 35°C kuru, 18,3°C yaş termometre sıcaklığındadır. Bu ofis için hesaplanmış ısı kazançları ise;

Duvarlar, çatılar ve kapılar	23,0 kW
Pencereler	1,7 kW
İnsanlardan olan toplam duyulur ısı kazancı	5,0 kW
Aydınlatma	18,4 kW

Toplam duyulur ısı kazancı	48,1 kW
İnsanlardan olan toplam gizli ısı kazancı	6,2 kW
Toplam ısı kazancı	54,3 kW

değerlerindedir. Doğrudan buharlaşmalı serinleticinin etkenliğinin %80, serinleticiden çıkan havanın kuru termometre sıcaklığının, ofis havası kuru termometre sıcaklığından 5°C daha küçük olduğu kabul edildiğine göre, ofise giren ve çıkan havaların debilerini, sıcaklıklarını ve bağıl nemlerini bulunuz.

Çözüm 2. Ofise giren ve çıkan havaların debileri;

$$V = Q_d / \rho c_p (t_f - t_g) = 48,1 / (1,2 \times 1 \times 5) = 8,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

bağıntısından bulunabilir. Burada,

V : ofise giren ve çıkan hava debisi, (m³/s)

Q_d: ofisin duyulur ısı kazancı, (kW)

ρ : havanın yoğunluğu, (1,2 kg/m³)

c_p: havanın özgül ısı, (1 kJ/kg °C)

t_f: ofisin kuru termometre sıcaklığı, (°C)

t_g: ofise giren havanın kuru termometre sıcaklığı, (°C)

anlamlandırılır.

Bu hava debisine göre ofisin havası saatte 26 defa değişecektir. Serinleticinin etkenliği %80 kabul edildiğine göre, Şek.14'den doğrudan buharlaşmalı serinleticiden çıkan havanın özellikleri için;

Kuru termometre sıcaklığı = 21,6 °C

Yaş termometre sıcaklığı = 18,3 °C

Bağıl nem = % 73

Özgül nem = 11,85 gr/kg

Çiğ noktası sıcaklığı = 16,6 °C

değerleri bulunabilir. Bu havanın ofise gönderilmesi halinde hava, ofisin duyulur ısı doğrusu boyunca hareket edeceğinden, psikrometrik diyagramda bu doğru çizilirse ve giren havanın duyulur olarak 5°C ısındığı gözönüne alındığında salon şartları için;

Kuru termometre sıcaklığı = 26,6 °C

Yaş termometre sıcaklığı = 20,1 °C

Bağıl nem = % 56

Özgül nem = 12,1 gr/kg

Çiğ noktası sıcaklığı = 17 °C

değerleri bulunabilir.

Son yıllarda iki kademeli buharlaşmalı serinletici uygulamalarına sıkça rastlanılmaktadır. Genelde bu sistemlerin birinci kademesinde doğrudan olmayan, ikinci kademesinde ise doğrudan buharlaşmalı serinleticiler kullanılır. Şek.15a'da Türkiye'deki bazı şehirlerde yaz aylarında yapılabilecek iki kademeli buharlaşmalı serinletici uygulamaları görülmektedir. Burada birinci kademe %60 etkenlikli doğrudan olmayan, ikinci kademe ise %90 etkenlikli doğrudan buharlaşmalı sistemler kabul edilmiştir.

Şek.15b'de ise aynı şehirlerde, salon duyulur ısı oranının (duyulur ısı kazancının toplam ısı kazancına oranının) %95 olması ve iç sıcaklığın 25,5°C kabul edilmesi durumundaki değişimler verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, yaş termometre sıcaklığının nispetten büyük olduğu yerlerde, bu yöntem ile serinletme sonunda konfor şartlarına ulaşmak zordur. Bu gibi yerlerde konfor şartlarının istenmesi durumunda, muhakkak mekanik soğutmaya gerek duyulmaktadır.

Birçok durumda minimum enerji ihtiyacı ile, bir salonda istenen kuru termometre ve bağıl nem şartlarının sağlanması, ancak üç kademeli serinletme sistemleri yardımıyla mümkündür. Bunlarda doğrudan, doğrudan olmayan buharlaşmalı serinleticilere ilave olarak bir de soğutucu serpantin bulunmaktadır.

Örnek 3. Salona gönderilen havanın debisinin 11,3 m³/s, kuru termometre sıcaklığının 16°C, dış havanın kuru termometre sıcaklığının 37°C, yaş termometre sıcaklığının 20°C olduğu bir sistem için üç kademeli serinletme tesisi yapılmak isteniyor. Doğrudan olmayan buharlaşmalı serinletici etkenliği %60, doğrudan buharlaşmalı serinletici etkenliği %90 olduğuna göre, soğutucu serpantin, (a) doğrudan olmayan buharlaşmalı serpantinden sonra, (b) doğrudan buharlaşmalı serpantinden sonra konulmaları, durumları için gerekli soğutma yüklerini bulunuz.

Çözüm 3. Şek.14'de görüldüğü gibi, doğrudan olmayan buharlaşmalı serinletici çıkışında havanın kuru termometre sıcaklığı 26,8°C, yaş termometre sıcaklığı 16,6°C değerlerindedir.

(a) Havanın bu noktada önce soğutucu serpantine girmesi durumunda, doğrudan buharlaşmalı serinletici çıkışında havanın kuru termometre sıcaklığı 17,6°C, yaş termometre sıcaklığı 16,6°C değerindedir. Soğutucu serpantin soğutma yükü,

$$Q=(h_2-h_1)V/v=(46,5-42,8)\times 11,3/0,838=49,9 \text{ kW}$$

olarak bulunur. Bu bağıntıda h havanın entalpisini, V hacimsel debisini, v ise özgül hacmini göstermektedir.

(b) Havanın bu noktada önce doğrudan buharlaşmalı serinleticiye girmesi durumunda, soğutucu serpantin soğutma yükü,

$$Q=(46,5-42,8)\times 11,3/0,86=48,6 \text{ kW}$$

elde edilir.

Görüldüğü gibi, enerji ekonomisi bakımından (b) seçeneği, soğutucu serpantin sonradan konulması durumu daha uygundur. Ayrıca bu iki sistemin, buharlaşmalı serinleticileri olmayan klasik tek kademeli soğutma sistemi ile karşılaştırılması yapılacak olursa; soğutucu serpantine girmeden önce, karışım havasının kuru termometre sıcaklığı 27°C, yaş termometre sıcaklığı ise 19,1°C kabul edilirse, bu havanın 16°C değerine kadar soğutulması için gerekli soğutma yükü,

$$Q=(54,1-42,9)\times 11,3/0,833=152 \text{ kW}$$

elde edilir. Görüldüğü gibi, buharlaşmalı serinleticilerin kullanılması durumunda,

$$(152-48,6)/152=\%68$$

kadar bir enerji tasarrufu sağlanabilir.

7. BUHARLAŞMALI SERİNLETİCİLERİN TESİSİ VE BAKIMI

Klasik soğutma sistemlerinde alınan önlemlerin benzerleri buharlaşmalı serinleticilerde de düşünülmelidir. Özellikle bu tesisatlarda hava debisinin fazla olması nedeniyle, hava besleme kanallarında oluşabilecek ses problemine çözüm aranmalıdır.

Serinletici doğrudan doğruya temiz dış havayı alacak şekilde tesis edilmeli, ısı kazançlarının fazla olabildiği koyu renkli çatı aralarından, dar geçitlerden ve kapalı hacimlerden hava emilmemelidir. Dışarıdan olabilecek ısı kazançlarına karşı, serinletici cihaz ısıya karşı yalıtılmalıdır. Su seviyesi dikkatli bir şekilde ayarlanmalı, ıslatılmış yüzeyli tip buharlaşmalı serinleticilerde bütün yüzeyin düzgün bir şekilde ıslatılması sağlanmalıdır.

Salonun tavandan olan ısı kazançlarını azaltmak bakımından, egzoz havasının çatı arasından atılabilmesi imkanları araştırılmalıdır. Bu şekilde çatı arası sıcaklığının 8 ila 11°C düşmesi sağlanabilir.

Buharlaşmalı serinleticilerde su tarafında en çok karşılaşılan problem, korozyon ve mineral parçacıkları yüzünden olan tıkanıklardır. Sezon sonunda serinleticinin suyu tamamen boşaltılıp, temizlenmeli ve korozyona karşı önlemler alınmalıdır. Kış aylarında sistem su geçirmez şekilde korunmalıdır.

Hava içindeki toz, kir, kurum ile sudaki kimyasal tuzların meydana getirdiği kirlenmeler nedeniyle, ıslatılmış yüzeyli cihazlardaki elemanlar zaman zaman değiştirilmelidir. Su dağıtım sistemi de periyodik olarak kontrol edilmelidir, nemlenmenin düzgün olmasına dikkat edilmelidir.

8. SONUÇ

Genel olarak buharlaşmalı serinleticilerin kullanıldığı sistemlerde, kaba bir yaklaşımla sonuca ulaşmak mümkün değildir, muhakkak bir mühendislik çalışması gerekir. Bunun için de sırası ile aşağıdaki hususlar incelenmelidir.

- 1) Dış ortamın yağ ve kuru termometre sıcaklıkları tespit edilmelidir.
- 2) Doğrudan buharlaşmalı serinletici ile ancak, kuru termometre sıcaklığı için garanti verilebilir, bağıl nem için garanti verilemez.
- 3) İmalatçı firmalar tarafından verilen etkenlik değerlerinin yeni cihazlar için olduğu unutulmamalıdır.
- 4) Salonun ısı kazancı duyulur ve gizli olarak aynı aynı hesaplanmalıdır. Eğer gizli ısı toplamısının 1/4'ünden fazla ise doğrudan buharlaşmalı serinletici önerilmez. Böyle durumlarda sistemde doğrudan olmayan buharlaşmalı serinletici ve soğutucu serpantin ilave edilmelidir.
- 5) Problem psikrometrik diyagramda analiz edilip, toplam hava debisi hesaplanmalıdır. Cihazdan çıkan havanın kuru termometre sıcaklığı ile salonun kuru termometre sıcaklığı arasında en az 3°C fark olmalıdır.
- 6) Kış aylarında salonun sıcak hava ile ısıtılması da düşünülüyor ise, hava besleme sistemi serin hava debisine göre hesaplanmalıdır.

7) Hava beslemede dengelemenin karmaşıklığı nedeniyle, zonlama problemi iki veya daha fazla serinletici ile çözülmelidir.

8) Buharlaştırma serinletici tipi, sayısı ve boyutları belirlenir.

9) Salona giren toplam hava miktarının egzoz yapılabilmesi sağlanmalıdır. Egzozun çatıdan olması tercih edilmelidir.

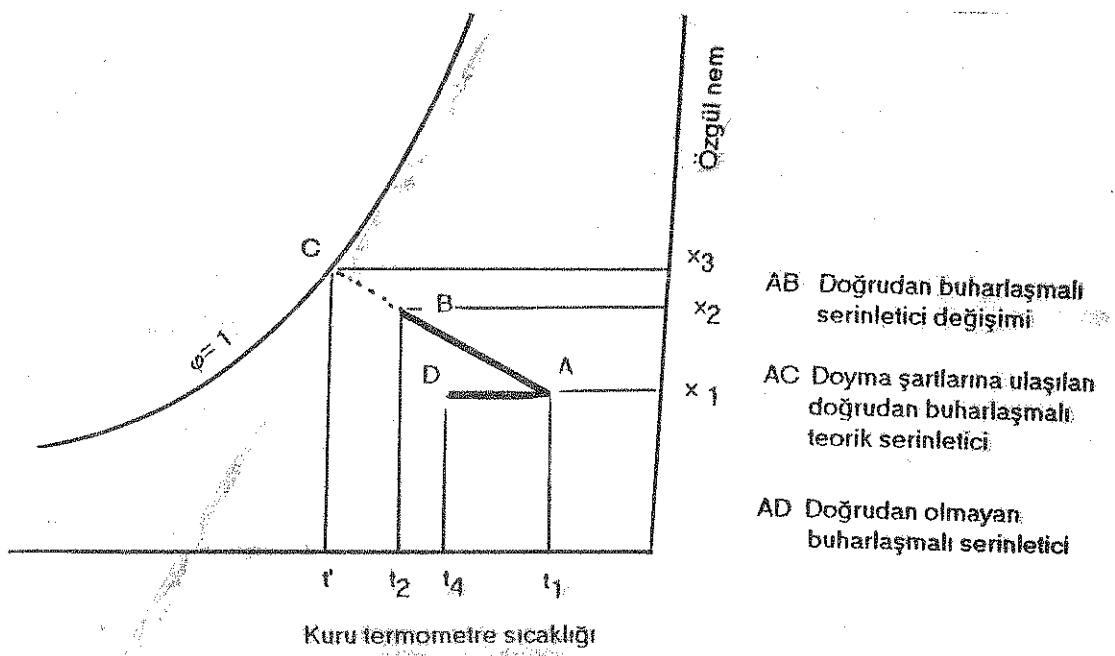
10) Sisteme ait çizim ve hesaplar geniş bir şekilde verilmelidir.

KAYNAKLAR

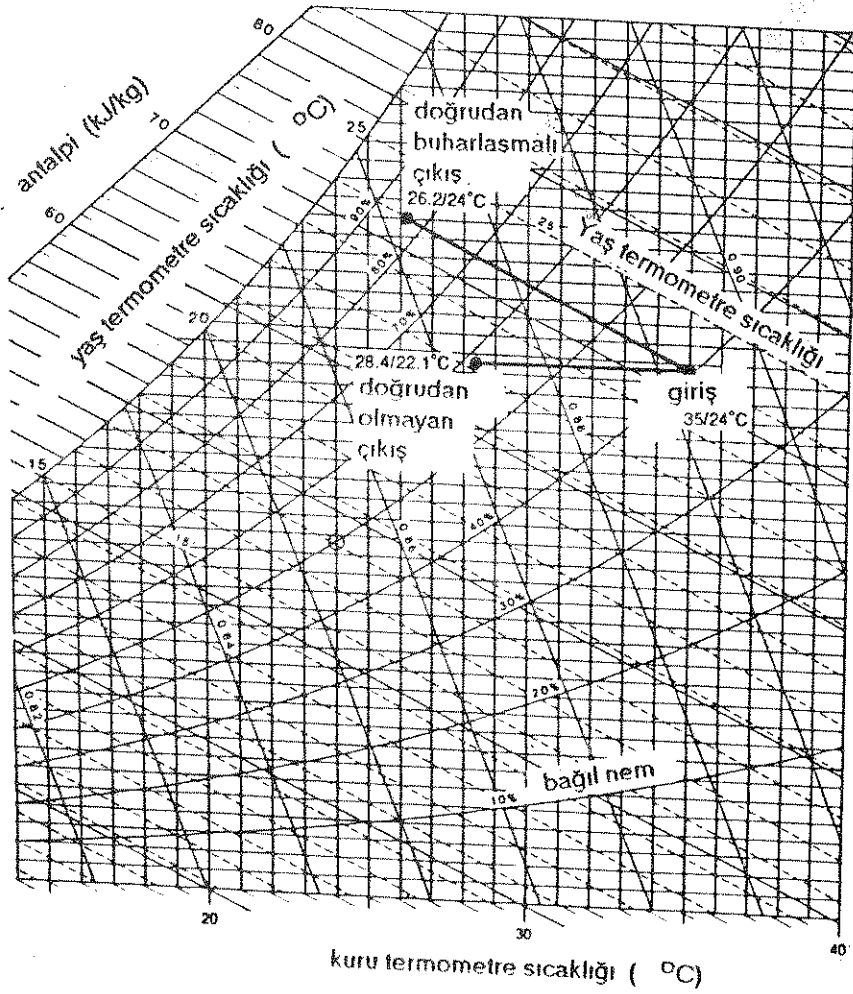
1. Harris,N.C., Conde,D.F. (1980) Modern Air Cond. Practice, McGraw-Hill Book Co.
2. ASHRAE Handbook-Fundamentals (1989).
3. ASHRAE Handbook- Refrigeration Systems and Applications (1990).
4. ASHRAE Handbook-HVAC Applications (1991).
5. ASHRAE Handbook-HVAC Systems and Equipment (1992).
6. Tamer,Ş. (1990) Klima ve Havalandırma. Metaksan Baskı Tesisleri.
7. Stoecker,W.F.'den O.F.Genceli tercümesi (1992) İklimlendirme Esasları, İTÜ Kütüphanesi Sayı:1503.
6. Supple, R.G. (1982) Evaporative Cooling for Comfort, ASHRAE Journal 24(8):42.

ÖZGEÇMİŞ

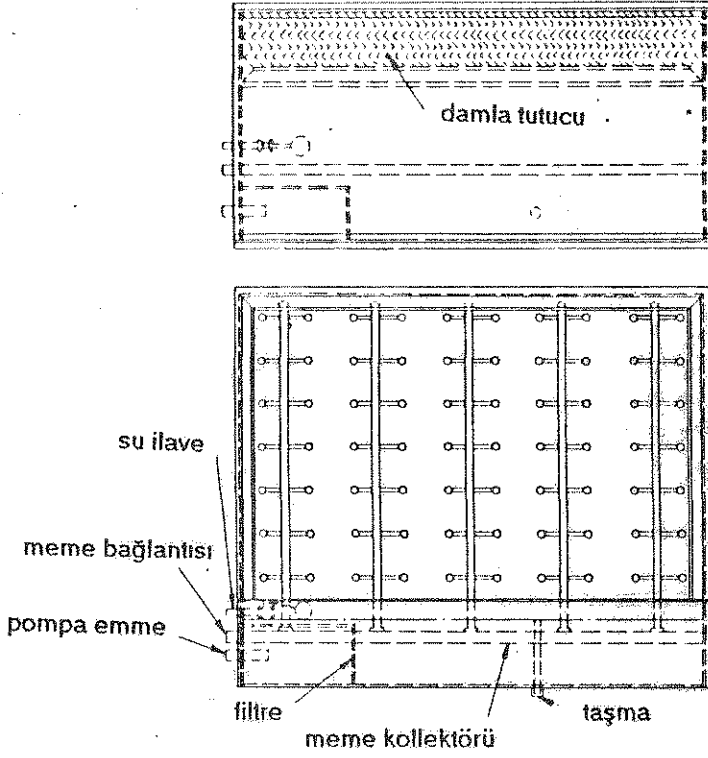
1966 yılında İTÜ Makina Fakültesi'nden mezun oldu. Aynı Üniversite'de, 1973'de doktora, 1980'de doçent, 1988'de ise profesör ünvanlarını aldı. 1977-79 arasında A.B.D. Michigan Üniversitesi'nde Misafir öğretim üyesi olarak bulundu. Isı Tekniği ve optik ölçmeler konusunda yayınları bulunan Osman F. GENÇELİ, halen İTÜ Makina Fakültesi, Termodinamik ve Isı Tekniği Anabilim Dalı öğretim üyesidir.



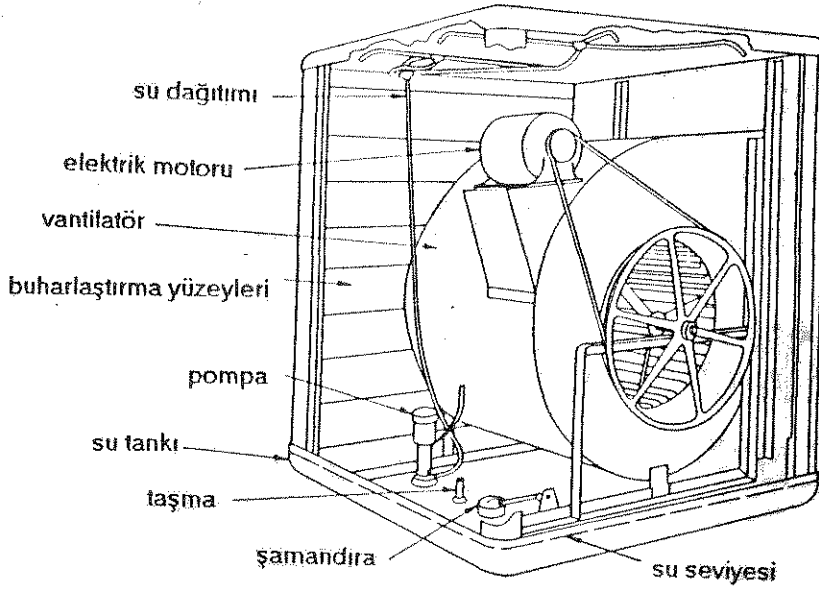
Şekil 1 Psikrometrik diyagramda doğrudan ve doğrudan olmayan serinletici değişimler.



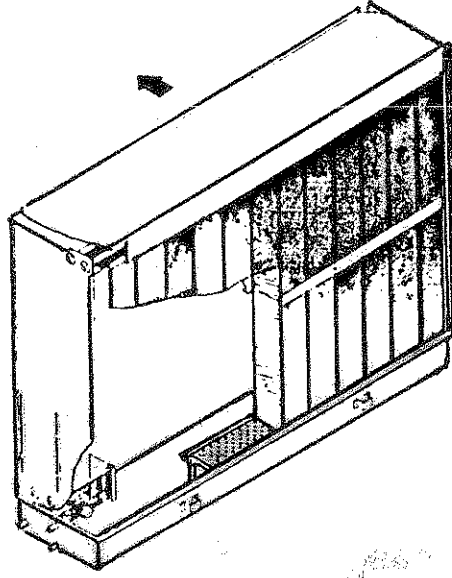
Şekil 2 Örnek 1'e ait psikrometrik diyagram.



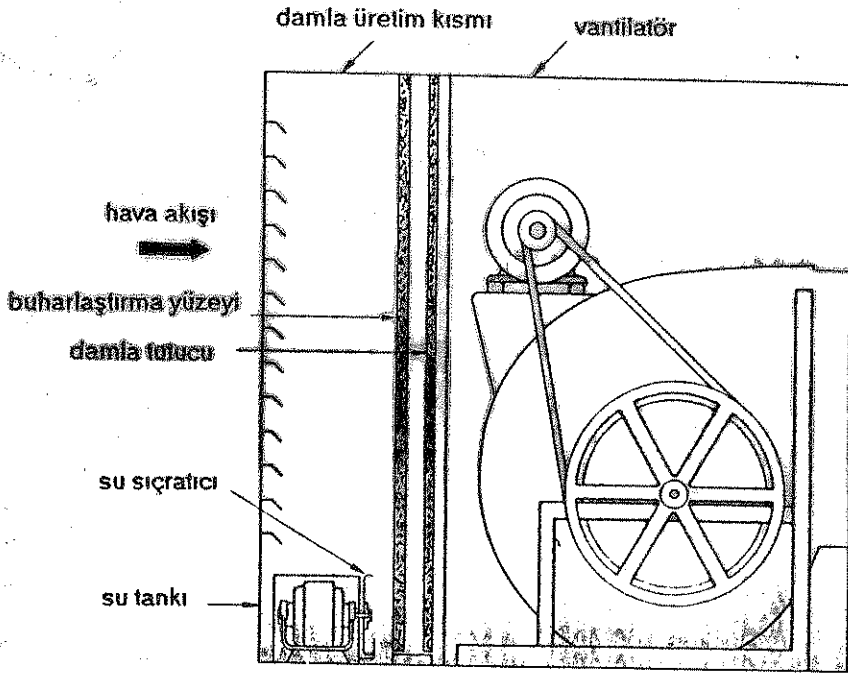
Şekil 3 Tek sıralı tipik bir su püskürtmeli hava yıkayıcı.



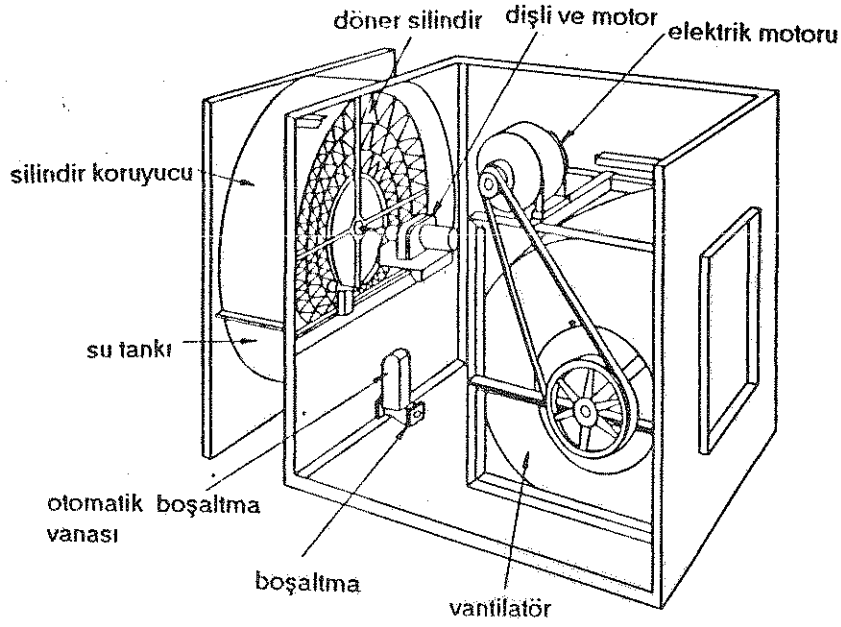
Şekil 4 Islatılmış yüzeyli buharlaşmalı hava serinletici.



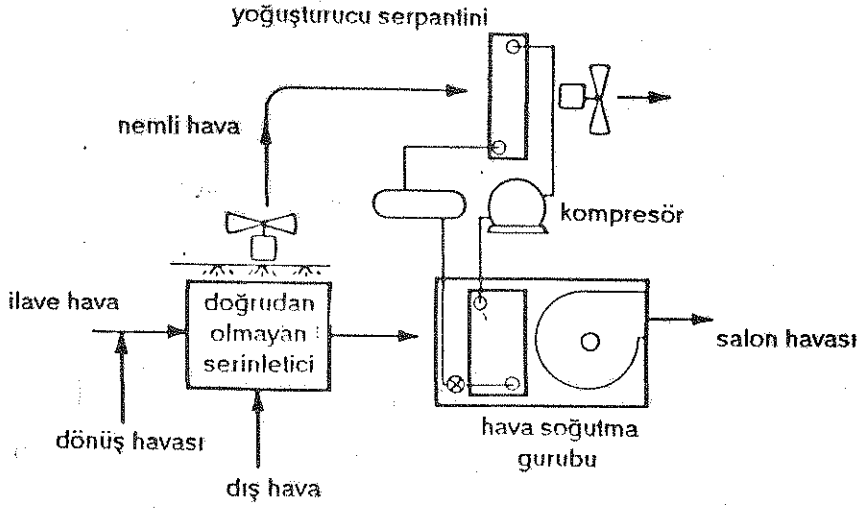
Şekil 5. Havalandırma kanalına monte edilebilen ıslatılmış yüzeyli buharlaşmalı hava serinletici.



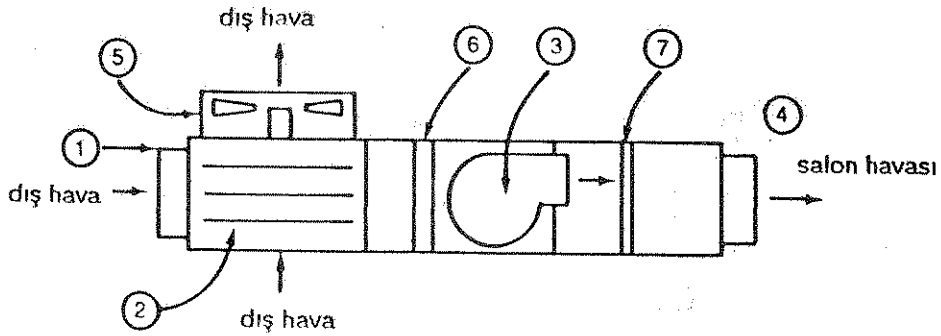
Şekil 6. Su sıçratmalı paket tipi buharlaşmalı hava serinletici.



Şekil 7 Döner silindiri buharlaşmalı hava serinletici.



Şekil 8 Doğrudan olmayan buharlaşmalı serinleticinin, ön soğutucu olarak kullanılması.



1 Hava girişi

2 Doğrudan olmayan buharlaşmalı serinletici

3 Kuru kısım vantilatörü

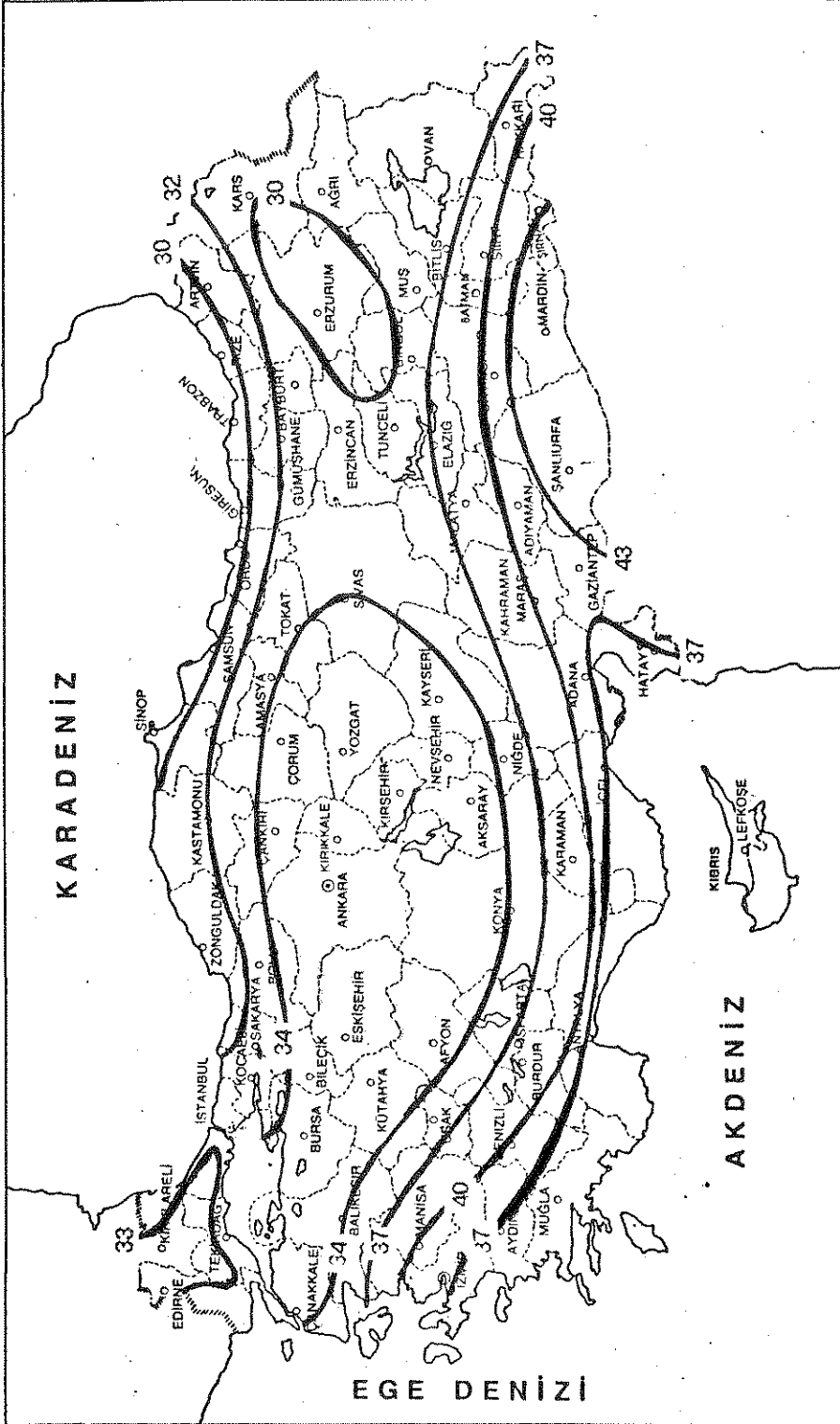
4 Salona giden hava kanal bağlantısı

5 Nemli kısım vantilatörü

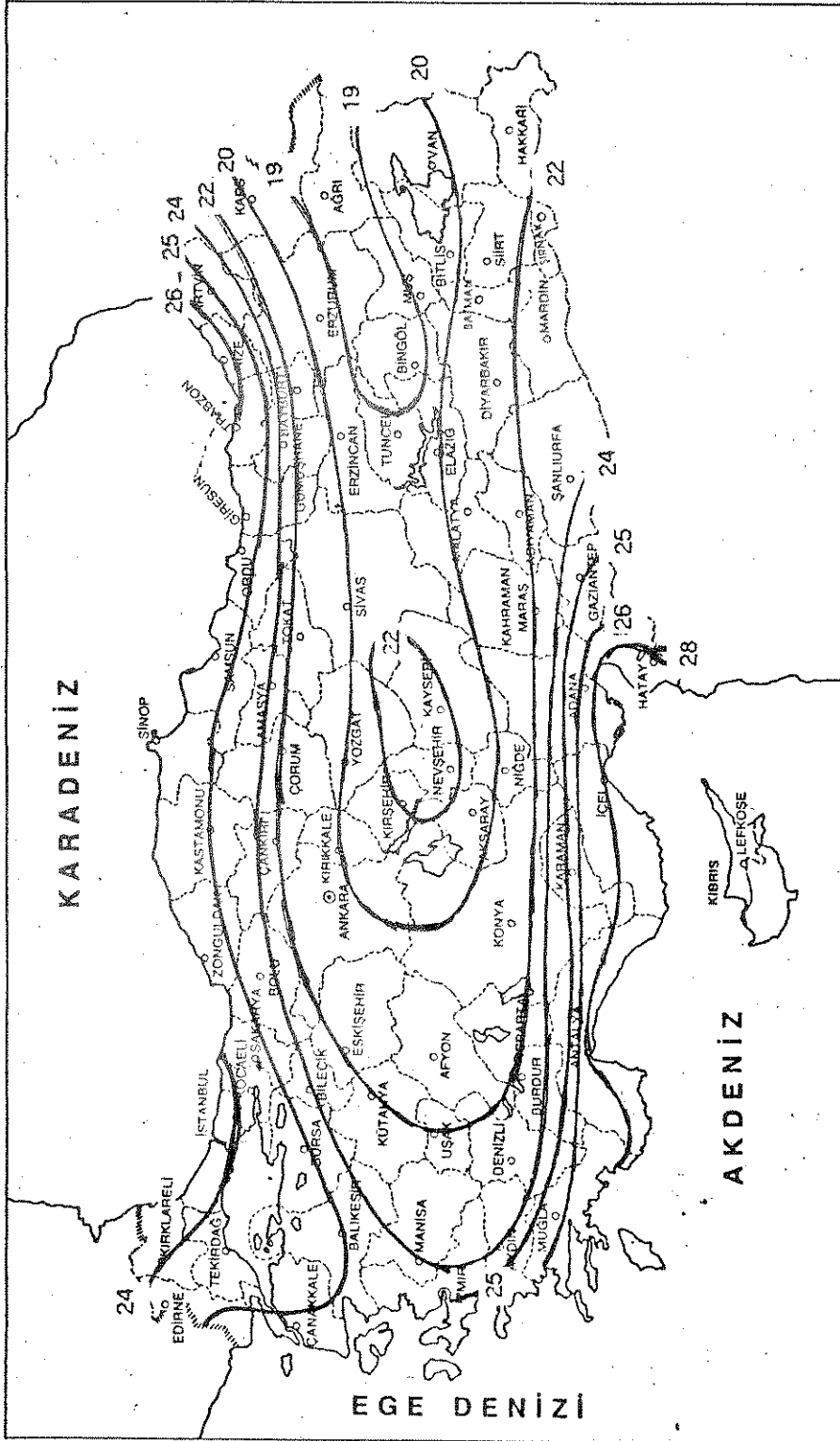
6 Soğutucu serpantin

7 Isıtıcı serpantin

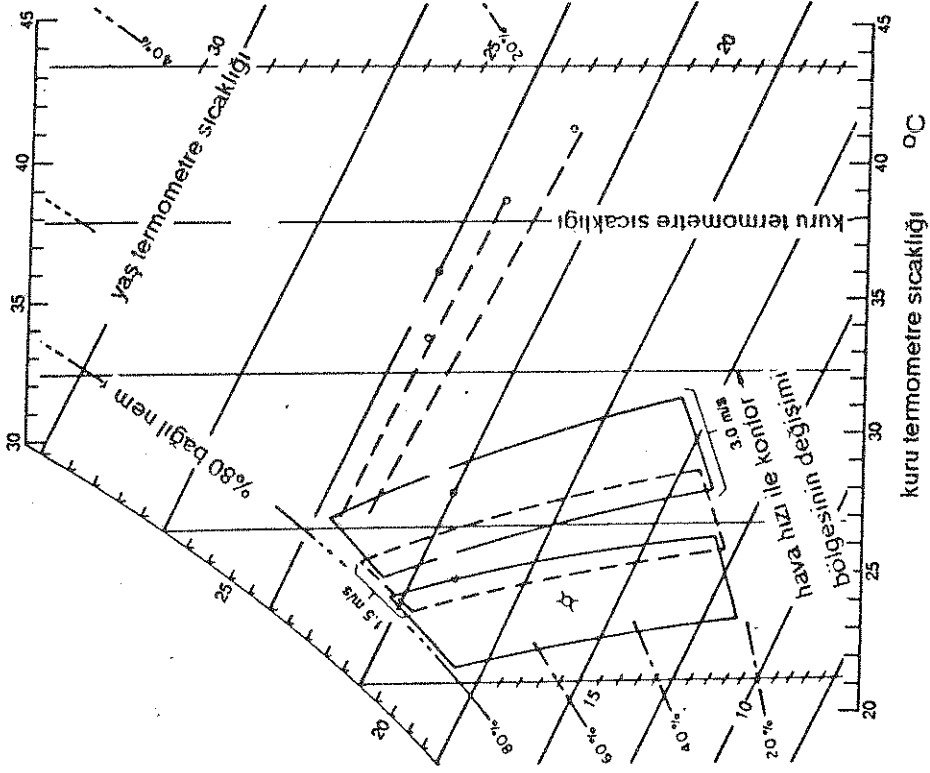
Şekil 9 Doğrudan olmayan buharlaşmalı serinleticinin, bir iklimlendirme santralının ön kademesi olarak kullanılması.



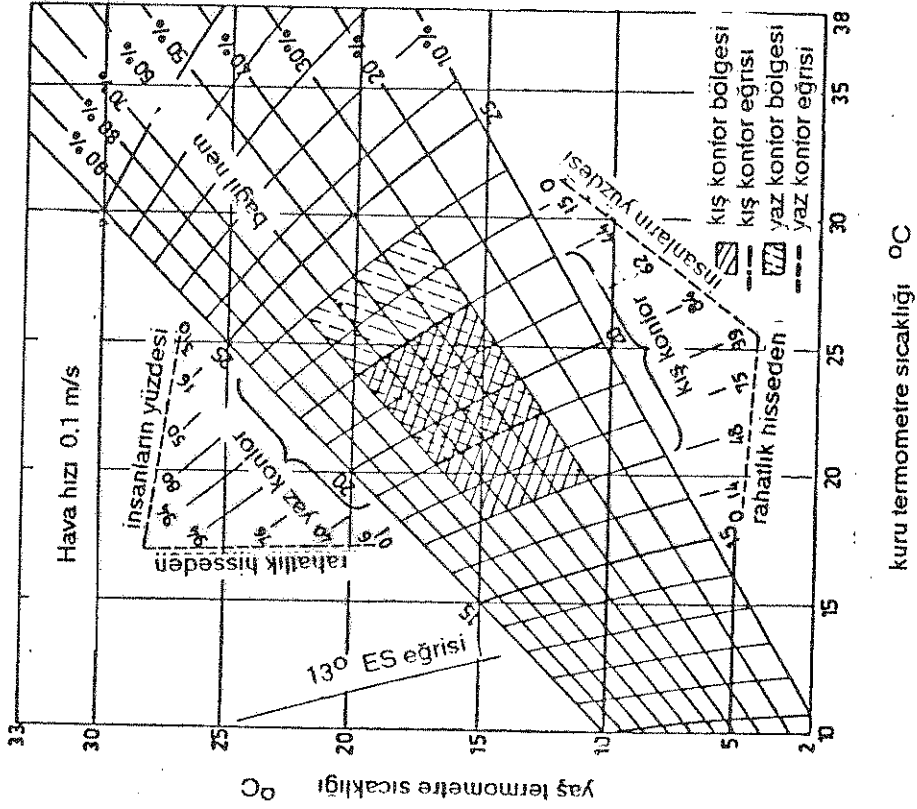
Şekil 10 a Türkiye'de yaz dış hava dizayn şartları için kuru termometre sıcaklığının değişimleri.



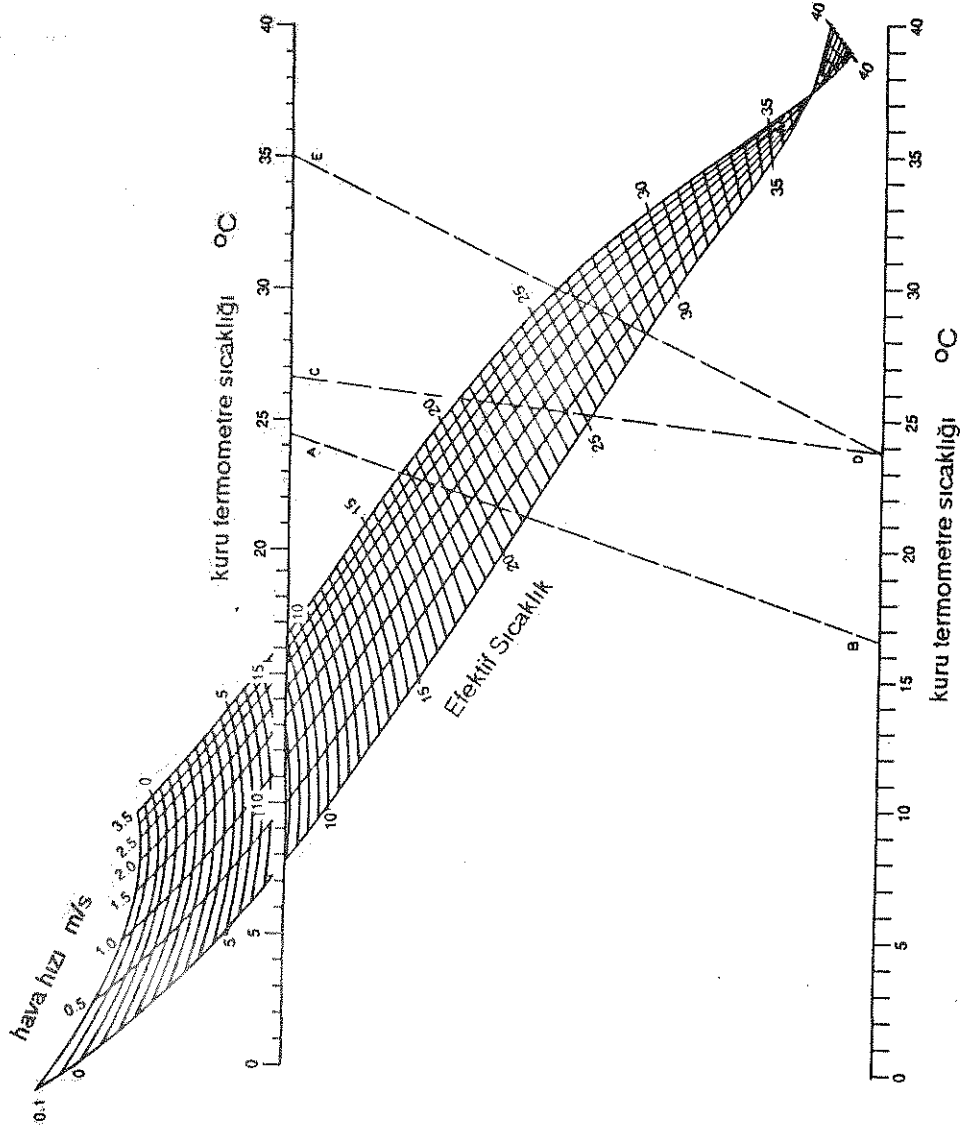
Şekil 10 b Türkiye'de yaz dış hava şartları için yaş termometre sıcaklığının değişimleri.



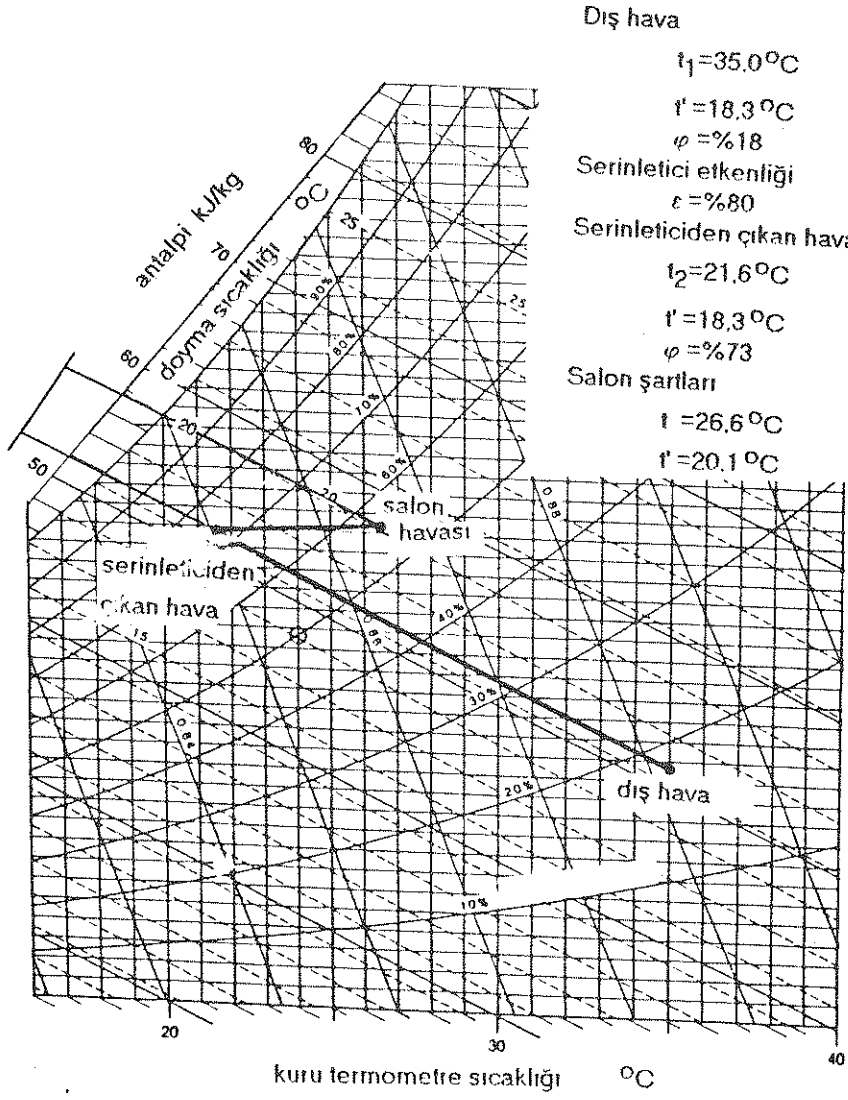
Şekil 12 Hava hızının konfor bölgesine etkisi.



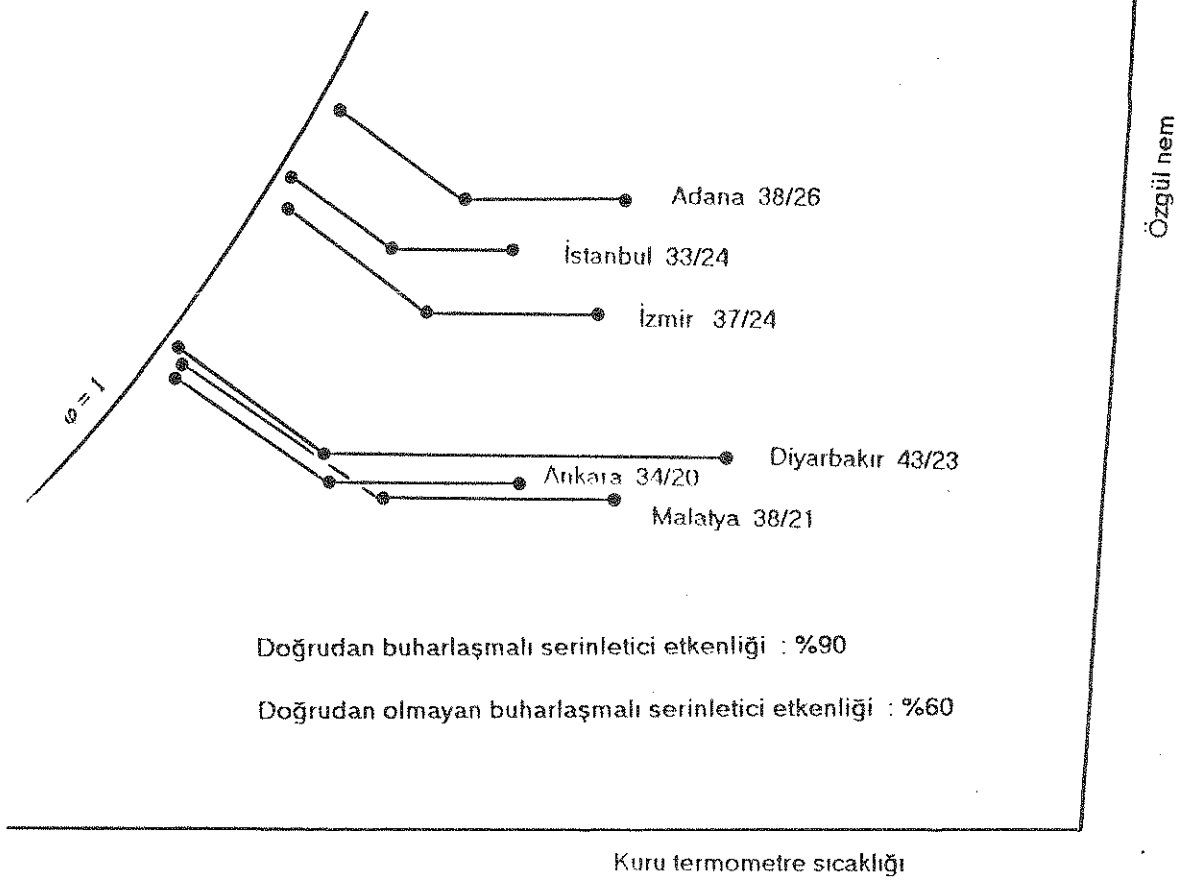
Şekil 11 Konfor diyagramı.



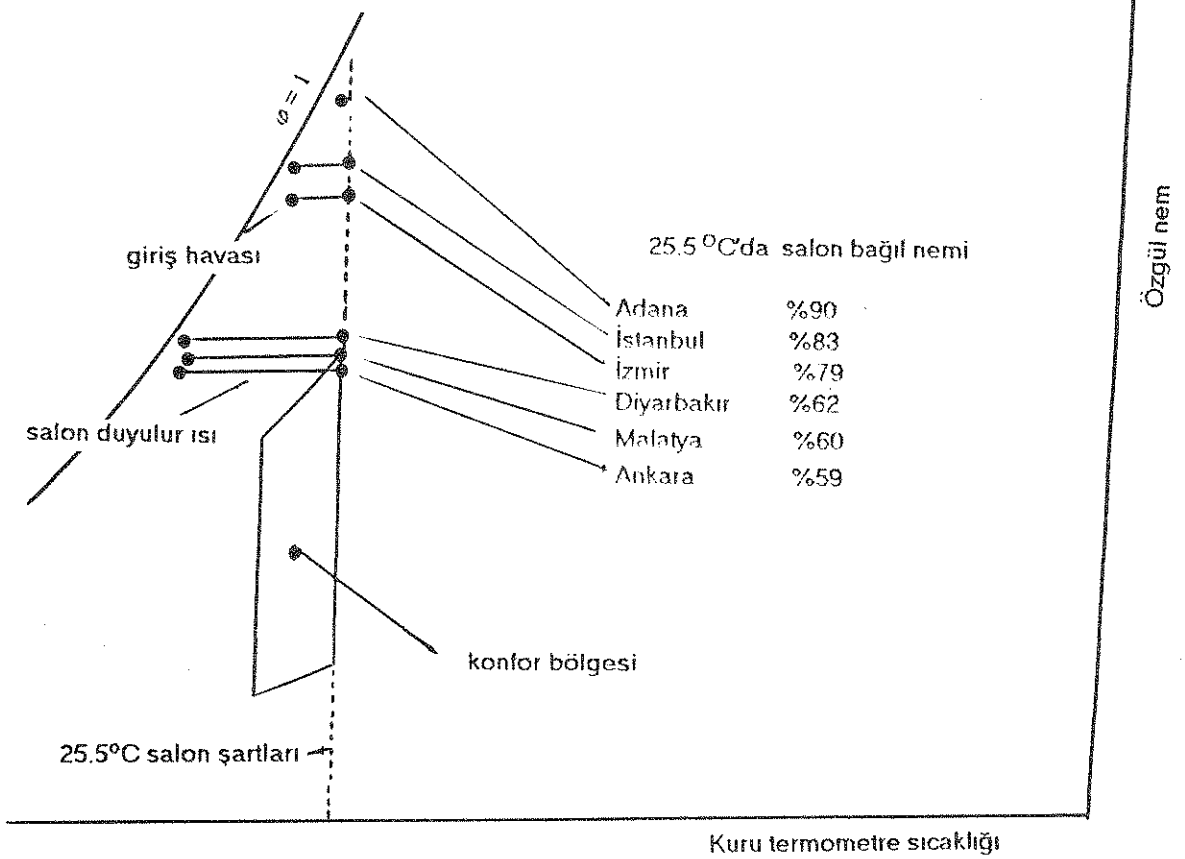
Şekil 13 Efektif sıcaklık (ES) diyagramı.



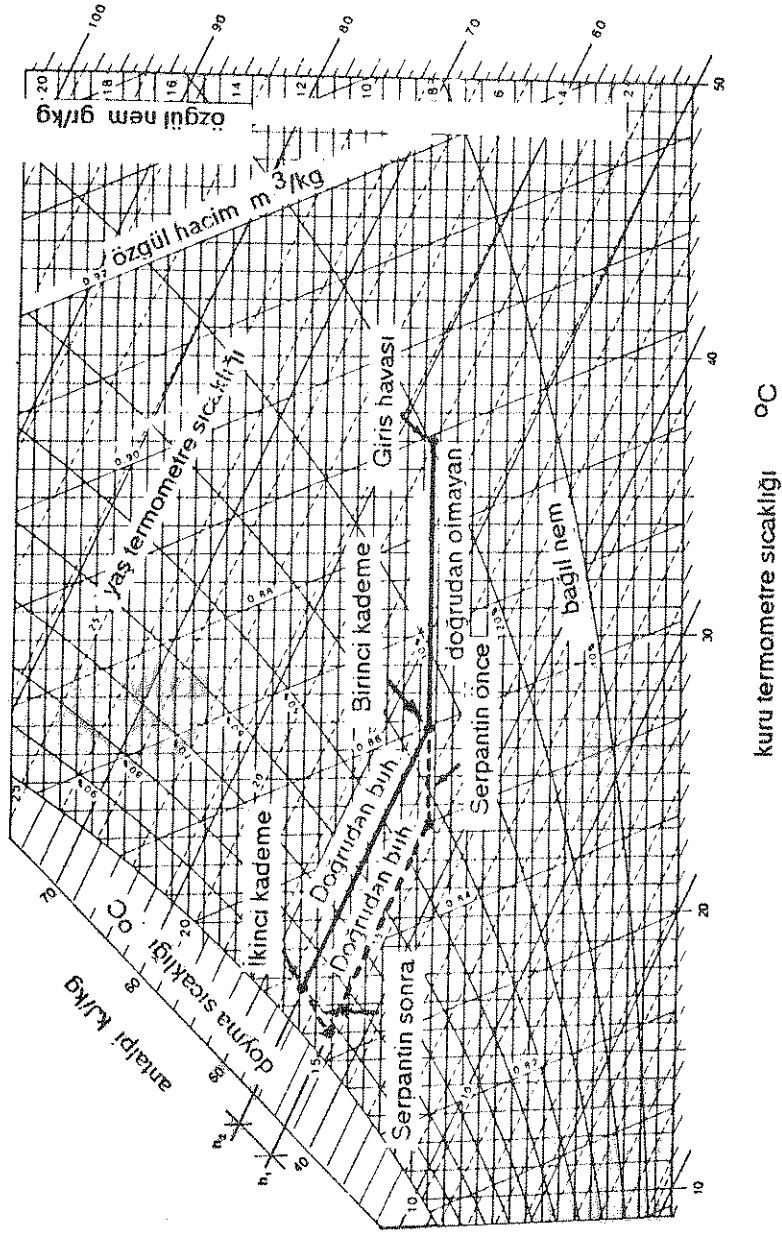
Şekil 14 Örnek 2'nin çözümü.



Şekil 15a Türkiye'de bazı şehirlerde yaz aylarında yapılabilecek iki kademeli buharlaşmalı serinletme sonunda serinleticiden çıkan hava şartları.



Şekil 15b Türkiye'de bazı şehirlerde salon duyulur ısı oranının %95 ve iç sıcaklığın 25.5°C olması durumunda ulaşılan salon şartları.



kuru termometre sıcaklığı °C

Şekil 16 Örnek 3'ün çözümü.