

# BİNALARDA PASİF SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN TASARIM KRİTERLERİ

Dr. İbrahim ÇAKMANUS

## Özet

Bu çalışmada, binalar için pasif ve düşük enerjili soğutma sistemlerinin konfor havalandırması, gece konvektif soğutma, radyant soğutma, direkt ve indirekt soğutma ve soğutma kaynağı olarak toprağın kullanılması durumları incelenmiştir. Farklı bina tipleri ve iklim koşulları için her soğutma sisteminin tasarımını etkileyen faktörler konu edilmiştir. Ülkemizin krizde olduğu ve dışarıya ödenecek her miktardaki dövizin çok değerli olduğu bir ortamda, düşük enerji kullanan bina tasarımı çok daha önemlidir. Ülkemizde bina sektöründe yılda kullanılan enerjinin tutarı yaklaşık 2 milyar \$'dır ve burada yapılabilecek her tasarruf ülke kalkınması için son derece değerlidir. Bu gibi önlemlerle sağlanacak tasarruflar, başka alanlarda, örneğin gelecek kuşakların eğitiminde, kullanılabilir.

## 1. Giriş

Ekonomik krizlerin ard arda geldiği ülkemizde enerji maliyetler de giderek artmaktadır. Ayrıca çevre tahribatının daha az olması bakımından daha az fosil yakıt kullanımının azaltılması son derece önemlidir. Bizim gibi gelişmekte olan ülkelerde hiç değilse binalarda kullanılan enerjinin tasarruf tedbirleri alınarak bir miktar azaltılması, mekanik

soğutma tasarlanan binalarda bu sistemlerin kapasitelerinin düşürülmesi (döviz de pahalılaştığı için ithal olan soğutma ekipmanlarının kapasitelerini düşürmeye yarayan her türlü çaba değerlidir) önemlidir. Mekanik soğutma sistemi olmayan binalarda da pasif soğutma ile daha rahat çalışma koşulları sağlamak mümkündür. Burada kullanılan pasif terimi, doğal soğutma kaynaklarını, ısı kuyularını, COP'si yaklaşık 4'den büyük mekanik soğutma sistemlerini kapsamaktadır. Binaların pasif ve düşük enerjili sistemlerle soğutulması, değişik doğal ısı kuyuları çevre havası, yüzeyin altındaki toprak vb vasıtasıyla sağlanabilir. Bu soğutma sistemleri;

- Konfor havalandırması; gün içinde doğru insan konforunu sağlar,
- Gece havalandırması; bina gövdesini geceleyin soğutmayı amaçlar,
- Gece radyant soğutma; gündüz kullanımı için soğu depolar,
- Direkt evaporatif soğutma; havalandırma havasını mekanik olmayan yoldan soğutur,
- İndirekt evaporatif soğutma; çatıya havuz vb. yaparak soğutma sağlar,

- Binalar için soğutma kaynağı olarak toprağın kullanılması; sıcak iklimlerde çevre sıcaklığının altındaki toprak soğu kaynağı olarak kullanılabilir.

### Dr. İbrahim ÇAKMANUS

1960 Giresun doğumlu Dr. İbrahim ÇAKMANUS, Makina Bölümünde olmak üzere KTÜ'de lisans, ODTÜ'de Yüksek lisans ve GÜ'de doktora eğitimini tamamlamıştır. 1983-1991 yılları arasında Demiryollar, Limanlar, Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü'nde çalışmış, 1992 yılından bu yana T.C. Merkez Bankası A.Ş.'de çalışmaktadır. Evli ve iki kızı bulunmaktadır.

arasındaki fark, farklı uygulamaları binalarda etkin biçimde uygulanabilir olmalarından kaynaklanmaktadır. Konfor havalandırması ve direkt evaporatif soğutma gibi bazı yöntemler, uygulandığı binalarda ani soğutma etkisi yapar. Konvektif ve radyant soğutma gibi diğer pasif sistemlerde çoğu kez, soğutma enerjisi gece bina kütlelerinde depolanır. Soğutulmuş bina kütlesi ertesi gün bir ısı kuyusu görevi üstlenir. Günümüzde bazı soğutma sistemlerinin verimliliğini ve uygulanabilirliğini kısıtlayan en önemli faktörlerden birisi de bina kütlelerinde kullanılan malzemelerin termal enerji depolama kabiliyetlerinin sınırlı oluşudur. Bu problemi gidermek için bazı imkanlar bu çalışmanın daha sonraki bölümlerinde verilmiştir. Verilen bir pasif soğutma sisteminin uygulanabilirliği binanın tipine ve bölgenin iklimine bağlıdır. Bazı soğutma sistemleri sadece belli bina yapısında ve belli iklimsel koşullarda uygulanabilir. Her sistemin uygulanabilme şartları ilgili bölümlerde verilmiştir. İklim koşullarının, uygulanan sistemler için sınır şartı olma özelliği ülkeden ülkeye değişmektedir. Örneğin sıcak bölgelerde yaşayan insanlar nispeten yüksek sıcaklıklara daha kolay uyum sağlayabilirken soğuk iklim bölgelerinde yaşayanlar için ise bunun tam tersi geçerlidir. Bu nedenle soğutma sistemlerinin uygulanabilirliğinin üst sınırı sabit bir değer olarak değil, bir aralık olarak alınması daha uygundur [1].

## 2. Konfor havalandırması

Konfor havalandırması ile konvektif soğutma arasında farklar vardır. Çünkü binanın inşa edildiği malzemelerin ısı iletkenliği, özgül ısısı ve yoğunluğu seçimi etkileyebilmektedir. Fakat diğer bina tasarım faktörleri, örneğin açıklıkların detay ve yerleşimleri, her iki seçenek için de aynı olabilir. Dış havanın

arasındaki değişimler de diğer ısı transferi soğutma etkisi yapabilir. Dolayısıyla günlük havalandırma konfor hissini artırabilir ve buna "konfor havalandırması" adı verilir. Bu, nemli iklimler için son derece yararlı bir çözüm şeklidir ve özellikle hava hızı da yüksek ise deriden olan terleme buharlaşması artar. Böylece terli derinin konforsuzluk hissi azaltılmış olur. Dış hava akışının günlük iç sıcaklıklar üzerindeki etkisi, binanın tasarım şekline, kullanılan malzemelere, bina içinde üretilen ısıya ve güneş enerjisi girişine (örneğin doğal aydınlatma vb) bağlıdır. Güneş radyasyonundan iyi korunmuş, çok iyi izole edilmiş ve yüksek termal kütleyle sahip binalarda günlük iç mahal sıcaklıkları; hiç mekanik soğutma sistemi kullanılmadan, dış hava sıcaklığının epey altında tutulabilir. Böylesi durumlarda gündüz saatlerindeki havalandırma, özellikle iç ısı üretimi olmayan binalarda, iç mahal sıcaklıklarını ve yüzey sıcaklıklarını artırabilir. Bu durumda bile hava hızlarını yüksek tutarak havalandırma yapmak mümkün olabilmektedir. Günlük havalandırmanın yapılabileceği iklim şartlarında ve bina tiplerinde verimin nasıl artırılacağı aşağıda özetlenmiştir.

Eğer bina açık pencerelerle doğal olarak havalandırılmak isteniyorsa ve rüzgar hızı yüksek ise, iç hava sıcaklığı dış hava sıcaklığına yaklaşır (Ülkemizde bu tür uygulama için uygun olabilecek iklim bölgeleri; Karadeniz bölgesi, Doğu Anadolu Bölgesi ve yaylalardır). Bina içindeki yüksek hava hızları, iç hava ile bina kütlesi arasındaki ısı transferini artırır. Rüzgarın olmadığı zamanlarda iç ve dış sıcaklıklar arasındaki fark daha fazla olmaktadır. Bu nedenle, pencereler açıkken iç hava hızı, geceleri daha düşüktür ve ayrıca iç-dış hava sıcaklıkları arasındaki fark gün-düze göre daha fazladır. Bina yapı malzeme

leri, gündüz sıcak havalandırma havasından ısıyı absorbe eder. Absorbe edilen enerji miktarı; çapraz havalandırılan binadaki gündüz iç hava hızının fonksiyonu olan ısı transfer katsayısının artmasına bağlıdır. Geceleyin de bina yapısında soğuk depolaması halinde, öğleden önce iç duvar yüzey sıcaklık-

yöntem; iç hava hızının 1.5-2.0 m/s olarak kabul edilmesi ve insanların iklime alışık olmalarına bağlı olarak, dış hava sıcaklığının 28-32°C'yi ve gün içindeki sıcaklık farklarının 10°C'yi geçmediği bölge ve mevsimlerde başarı ile uygulanabilir [1]. Bu şartlar tipik olarak sıcak ve nemli iklimlere (örneğin Ege ve Akdeniz bölgeleri) uygulanabilir. Diğer taraftan

ları, iç hava sıcaklığından daha düşük olur. Öğleden sonra ve akşam saatlerinde ise bu sıcaklıklar daha yüksektir. Bu nedenle ısı de polama özelliği yüksek olan binalarda iç hava sıcaklığı maksimum değerine akşam saatlerine doğru ulaşır. Dolayısıyla bina gece ve gündüz sürekli havalandırılmış olsa bile, konfor havalandırmasında iç hava sıcaklığı iklim ve eldeki malzeme uygunsa, konfor gün boyunca dış hava sıcaklığına yaklaşır - ken, akşam ve geleceği dış hava sıcaklığından daha yüksektir. Havalandırma yapılmazsa düşük hava hızı ve yüksek sıcaklık sonucu, iç çevre koşulları akşama doğru çok daha az konforlu olmaya başlar.

### 2.1. Konfor havalandırmasının iklimselinde uygulanabilirliği

Bu yöntem, nemli ve sıcak iklimler için en basit yöntemdir. Ancak binada mekanik sistemlerle de soğutma yapılacaksa ve sabit iç sıcaklık değerleri isteniyorsa, bu yöntem uygun değildir. Çünkü böylesi sistemlerde pencerelerin açılması sistemin dengesini bozar, istenilen şartlara gelmeyi engeller (ancak iç ve dış sıcaklıklar sürekli bir bina otomasyon sistemi ile izlenerek uygun gün ve saatlerde mekanik sistem devre dışı bırakılarak, bu yöntemle enerji tasarrufu sağlanabileceği unutulmamalıdır). Bu nedenle bu yöntem daha çok soğutma sistemi kurulmayacak bir yapı için düşünülmelidir. Yukarıda da belirtildiği üzere, nispeten yüksek iç hava hızlarında gündüzleri iç ve dış hava sıcaklıkları birbirine yaklaşır. Bu nedenle konfor havalandırması için uygulanabilecek sıcaklık limitleri hava hızına bağlı olarak genişletilebilir. Bu

Akdeniz iklimi) karşılık gelmektedir. Böylesi iklimlerde gün içinde sıcaklıklardaki değişimler azdır.

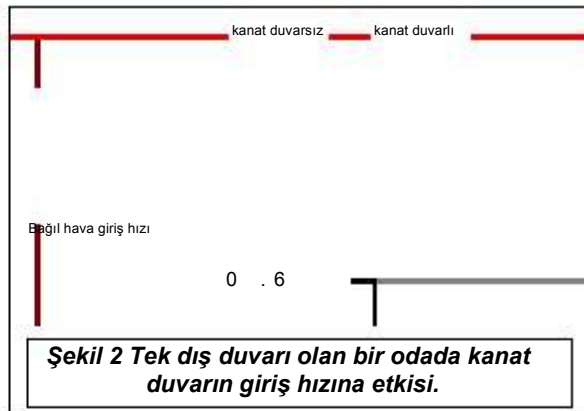
### 2.2. Konfor havalandırmasına yönelik bina tasarımı

konfor havalandırması tasarımı ana strateji olarak seçilebilir. Bu takdirde binanın tasarımı, insanlar üzerinde yüksek hava hızlarını ve akşam saatlerinde mahallerde hızlı soğutma etkisi sağlamayı amaçlamalıdır. Bu durum, büyük ve iyi gölgelendirilmiş pencereleri gerektirir. Kullanılan malzemeler gündüz saatte çok fazla ısıyı absorbe edecek ve de polayacak nitelikte olmamalıdır. Bu amaca uygun olarak tercih edilebilecek malzemeler; ahşap, delikli tuğla, hafif beton vb olabilir. Konfor havalandırması tüm bina tiplerine uygulanabilir. Ortalamadan yüksek rüzgar hızlarında doğal havalandırma yapılabilir. Yeterli rüzgar olmayan yerlerde ve/veya binanın iç yapısı ve tasarımı nedeniyle çapraz havalandırmanın mümkün olmadığı durumlarda iç egzost havası fanla atılabilir ve yaratılan basınç farkından dolayı da dış hava kontrollü açıklıklardan (menfez vb) ve açık pencerelerden içeriye alınabilir. Bina içindeki hava akımları konfor havalandırması için tasarlanırsa, pencereler rüzgarın geliş yönüne göre uygun bir biçimde konumlandırılmalıdır [2].

### 2.3. Konfor havalandırması için açıklık ölçü ve

#### detayları

Binalarda etkili bir konfor havalandırması yalnızca çapraz havalandırma ile ulaşılabilir. Bu, havalandırılan binanın (örneğin bir ev veya bir apartman), hava giriş ve çıkışı için en azından karşılıklı iki duvarında pencere veya açıklıkların olması gerektiği anlamına gelir. Eğer bina, bu yönde birden fazla odaya sahipse veya hava birden fazla mahalli geçecekse, havanın bu mahallerde minimum dirençle geçebileceği kapı vb. açıklıklar bulunmalıdır. Konfor havalandırmasının ana



hızlı hava akımları oluşturur; ancak bu du

strateji olarak seçildiği bölgelerde, duvarlardan en az birisi hakim gündüz rüzgar yönüne yüzeyi olmalıdır. Ancak bu duvar, rüzgara dik olmamalı ve hakim rüzgar ile 30° ile 60° açı yapacak şekilde yerleştirilmelidir. Bu durum dik yerleştirmeye göre daha iyi bir havalandırma sağlayabilir [3]. Tek dış duvara sahip odalarda da çapraz havalandırma yapılabilir; ancak odaların en az iki pencereye sahip olmaları gerekir. Bu tür tasarımlarda çapraz havalandırmayı sağlamak üzere "kanat duvar" öngörülür (yani pencelerin yanında duvara dik çıkıntılar oluşturulur (ki bunlar işin başında mimaride öngörülmelidir)[4]. Şekil 1, tek dış duvarlı bir odada kanat duvarlı ve duvarsız durumlar için rüzgar tüneline iç hava hızlarının dağılımını gösterilmektedir [2]. Şekil 2'de ise ortalama bağıl hava giriş hızının (dış rüzgar hızına oranla) giriş açısına göre değişimi görülmektedir. Her iki şekil de tek dış duvarlı olan bir odada kanat duvar kullanılmasının verimli olduğunu göstermektedir.

Açıklıklar (kapı, pencere veya menfezler) dış duvar yüzey alanlarına oranı şeklin ifade edilebilir ve giriş-çıkış açıklıklarının aynı büyüklükte olması yüksek hava hızı sağlar. Fakat bazen farklı ölçülerdeki giriş ve çıkış açıklıkları daha iyi havalandırma şartları temin edebilir. Küçük giriş ve büyük çıkışlar, giriş açıklıkları yakınlarında daha

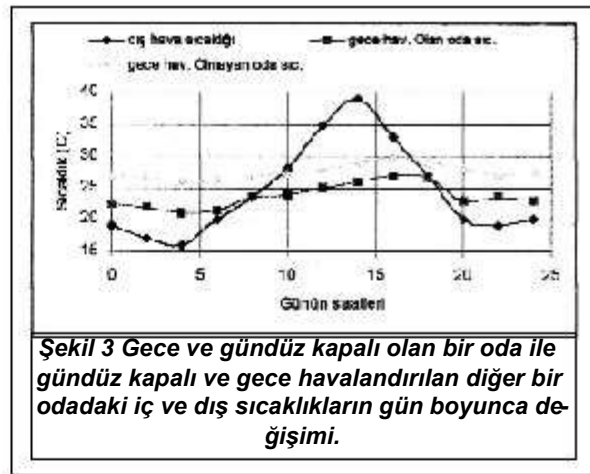
rumda, giriş ve çıkış açıklıkları doğrultusunun dışında kalan yerlerde, eşit açıklık boyutlarına nazaran, daha düşük hava hızları oluşur. İnsanların bulunduğu yerler giriş açıklığına daha yakın ise bu tasarım tercih edilmelidir. Diğer yandan büyük giriş ve küçük çıkışlar, giriş yakınlarında daha düşük hava hızlarına sebep olurken diğer yerlerde daha yüksek ve nispeten homojen bir hava dağılımı sağlayabilir. İnsanların mahal içinde rastgele oturmaları halinde bu durum daha uygundur (örneğin oturma odaları ve okullar da sınıflar). Giriş açıklıklarının şekil ve detayları, hava akımlarını insanlara doğru veya onlardan uzaklaşacak tarzda etkilemektedir.

Diğer yandan yatay uzunluğu daha büyük olan bir pencere veya açıklık (örneğin h=0.9 m'de sabit iken), yüksekliği daha fazla olan bir pencereye göre insanların bulunduğu alanlarda daha iyi bir hava dağılımı sağlayabilir. Herhangi bir nedenle pencere tavana yakın yerleştirilmişse, hava akışının bir kısmı aşağı doğru (insanların bulunduğu yere) yönlendirilmelidir. Öte yandan, çıkış açıklıklarının şekil ve detaylarının mahal içindeki hava akımları üzerinde belirgin bir etkisi bulunmadığı söylenebilir [5].

### 3. Gece konvektif soğutma

Binalar geceleyin bina kütlelerinde soğuk polamak amacıyla havalandırılabilir. Eğer bi

na yapısının kütlesi fazla (taş veya beton yapı) ise veya dış taraftan yalıtılmış ise, gündüz saatlerinde soğutulmuş kütle, radyasyon ve doğal dolaşım ile bir ısı kuyusu olarak vazife görebilir ve binanın soğutma enerjisi ihtiyacının aşağı çekilmesinde önemli rol oynayabilir. Bu etkinin artırılabilmesi için gündüz saatlerinde pencere veya açıklıklar kapalı tutulmalıdır. Havalandırılmayan binalarda gün içinde konfor şartlarının sağlanmasında konvektif soğutma yapılabilmesi, iklim şartlarına ve binanın tasarımına bağlıdır. İklim açısından konvektif soğutmayı etkileyen ana faktörler; dış havanın gün içindeki sıcaklık değişim aralığı ve en sıcak ay süresince maksimum dış hava sıcaklığıdır. Yüksek günlük sıcaklık farkları (ve



Şekil 3 Gece ve gündüz kapalı olan bir oda ile gündüz kapalı ve gece havalandırılan diğer bir odadaki iç ve dış sıcaklıkların gün boyunca değişimi.

gibi, mevcut veya yeni binalara uygulanabilir. Bu konu ile ilgili olarak İsrail'de deneysel bir çalışma yapılmıştır [6]. Söz konusu çalışmada; 4 m x 4 m x 2.5 m boyutlarında açık renk bovanmış esit büyüklükteki iki odada

dış sıcaklık maksimum değerlerde olduğun -  
da) minimum iç sıcaklıkların elde edilmesin -  
de arzu edilen bir durumdur. Böylesi amaca  
yönelik bina tasarımı yüksek yoğunluklu, iyi  
izole edilmiş ve gölgelendirilmiş olmalıdır.  
Geceleri mahallerin havalandırılması, iç sı -  
caklıkları düşürür. Konvektif soğutma; gün -  
lük sıcaklık farklarının 15°C'den büyük oldu -  
ğu ve yazın gece sıcaklığının gündüz sıcak -  
lığından 20°C'ler civarında daha düşük ol -  
duğu kuru (karasal veya çöl) iklimler için uy -  
gundur. Bu tür iklimlerde, dış havanın soğu -  
ğu geceleri bina kütlelerinde depolanır. Gece -  
leri bu bölgelerde dış hava binaya, eğer rüz -  
gar hızı 2-3 m/s'den büyükse doğal yoldan,  
değilse bir fan ile mekanik yoldan sağlanabi -  
ler. Ertesi gün boyunca bina kütlesi iç hava sı -  
caklıklarını dış hava sıcaklığının altında tut -  
maya yönelik olarak bir ısı kuyusu şeklinde  
hizmet görecektir. Ancak iç sıcaklıkların bu  
şekilde düşürülmesi, eğer bina dıştan çok  
iyi yalıtılmış ise mümkündür. Bu tür uygula -  
malarda bina, gündüz saatlerinde sıcak dış  
hava ile havalandırılmamalıdır (açıklıklar ka -  
pali tutulmalıdır). Bu tür bir uygulama bina -  
nın mimari tasarımını fazla etkilemeyeceği

sıcaklıklar ölçülmüştür. Odaların duvarları  
ve çatısı 20 cm kalınlığında betondan yapı -  
lmış ve 5 cm kalınlığında izolasyon malze -  
mesi ile izole edilmiştir. Odalardan birisi ge -  
ce ve gündüz kapalı tutulmuş, diğer oda ise  
gündüz kapalı tutulmuş ve geceleyin ise 0.8  
m x 2.0 m ölçülerindeki bir kapıdan doğal ha -  
valandırma yapılmıştır ve elde edilen so -  
nuçlar Şekil 3'de gösterilmiştir.

Görüldüğü üzere sürekli kapalı tutulan  
odadaki sıcaklık, günün tüm saatlerinde, ge -  
ce havalandırılan odaya göre 5-8°C arasın -  
da daha yüksektir. Çok sıcak günlerde ise sı -  
caklıklardaki farklılıklar 10°C'lere kadar çıka -  
bilmektedir. Diğer bir ifade ile gece boyunca  
binanın havalandırılması mahal sıcaklıkları -  
nı, kapalı bina durumundaki sıcaklıklara gö -  
re oldukça düşürebilmektedir. Bu gibi uygu -  
lamalarla (çok iyi analiz yapılırsa), eğer bina  
da mekanik soğutma sistemi de kurulacaksa  
bu sistemin kapasitesi düşük tutularak hem  
ilk yatırımdan hem de işletme masrafların -  
dan tasarruf yapılabilir. Böylesi bir uygulama  
da, iç hava sıcaklığını dış hava sıcaklığına  
yaklaştıracığından, gündüz havalandırması  
tavsiye edilmez. Yüksek yoğunluklu kütleyle

sahip bir binada pencerelerden düşük rüz -  
gar hızlarında yapılan havalandırma; kapalı  
mahal sıcaklığı ile dış hava sıcaklığı ara -  
sındaki farkın yarısına yakın iç sıcaklıkları  
azaltabilir. İklim bölgesine göre bu tür bir uy -  
gulamanın verimli olabileceği hesaplanması  
durumunda giydirmeye cephe yerine açılabilir  
pencereli bir yapı tercih edilebilir (veya mo -  
dern binalarda otomasyonla kontrol edilebi -  
len açıklıklar öngörülebilir). Bunun yanında  
gölgelendirme gibi önlemler de alınabilirse,  
konvensiyonel binalara göre iç sıcaklıklar  
önemli derecede düşürülebilir. Gece soğuğu  
ile konveksiyonla soğutma, yaz aylarında  
gün içindeki dış hava sıcaklık farklarının  
yüksek olduğu durumlar için uygun bir çö -  
zümdür. İklim yönünden bakıldığında bu tür  
bir uygulama; günlük sıcaklıkların konfor ha -  
valandırması yapılamayacak kadar yüksek  
( $T_{dış} > 32-36^{\circ}\text{C}$ ) ve gece dış hava sıcaklık -  
larının 20°C'nin altında olduğu bölgeler için  
oldukça uygundur. Gün içindeki yüksek sı -

ğuk depolayacak kütleyle sahip olmak kaydı  
ile, uygulanabilir. Ancak hafif yapılar gece ha -  
valandırılabilirse bile yeterince soğuk depolaya -  
maz ve gündüz saatlerinde sıcaklıklar hızlı  
artar. Bu tür bir bina tasarlanırken bina yerle -  
şimi ve yönlendirilmesi, konfor havalandır -  
masında bahsedildiğine benzer şekilde ya -  
pılmalıdır. İnsan olan binalarda gece hava -  
landırmasında konforsuzluk olmaması için  
hava akışının tavana yönlendirilmesi uygun  
olacaktır. Gece saatlerinde rüzgar hızı dü -  
şük olan yerlerde yeterli bir çapraz havalan -  
dırma sağlamak mümkün olmayabilir. Bu du -  
rumlarda bir pencere veya açıklıktan içeriye  
dış havanın girmesine yardımcı olmak üze -  
re bir egzost fanı kullanılabilir. Çok sıcak  
günlerde iç sıcaklıklar konfor sıcaklıklarının  
üstüne çıkarsa konfor, hava sirkülasyonunun  
artırılması ile artırılabilir. Pencerelerin açıla -  
rak havalandırılması, yalnızca dış sıcaklık -  
ların iç sıcaklığın altına düştüğü durumlarda  
yapılmalıdır. Daha önce, soğuk depolamak

ısı kayıplarını ve yazın da ısı kazançlarını azaltmak amacıyla) çatılar çok iyi yalıtılmalıdır. Ancak çatının dış yüzeyinde radyant ısı kayıpları meydana geldikçe yalıtım, binadan olan ısı transferini engelleyecektir. Radyant soğutmanın en basit biçimi, ağır ve iletkenliği yüksek bir kütlenin (örneğin yüksek yoğunluklu beton) geceleyin gökyüzüne açık olarak bırakılması ve gündüz saatlerinde ise hareketli bir yalıtım malzemesi ile örtülmesidir. Bu yöntem bir çok ülkede başarı ile uygulanabilmektedir. Böylece bina çatısı geceleyin soğutulmuş gündüz saatleri için bir avantaj sağlamaktadır. Dıştaki hareketli yalıtım

malzemesi, güneş ışınlarını yansıtarak ısıyı dışarıya atarak, soğuk depolanması için kalın ve yüksek yoğunluklu malzeme kullanılması gerektiği belirtilmişti. Ancak bu, ne kadar kalın malzeme kullanılırsa o kadar iyi olur anlamına gelmemektedir ve ne kadar enerji depolanacağına ve yüzey alanına bağlıdır. Günlük ısı kapasitesinin hesabı literatürde, örneğin Balcomb tarafından, verilmiştir[7]. Yüksek ısı transfer katsayısı, yapı yüzey alanı ile iç ve dış hava sıcaklıkları arasındaki fark arttıkça ısı transferi de artmaktadır. Isı transfer katsayısı da geceleyin havalandırma havası hızının yüksek tutulması ile artırılabilir. Açıklıkların yer, şekil ve büyüklükleri de depolanan soğuk miktarını önemli derecede etkilemektedir.

#### 4. Radyant soğutma

Gök yüzüne bakan her hangi bir yüzey bir radyatör gibi düşünülebilir. Yazın gündüz radyant ısı kazancı, gece ısı kaybı söz konusudur. Bina konforunu artırmak için (kışın

ısı kayıplarını ve yazın da ısı kazançlarını azaltmak amacıyla) çatılar çok iyi yalıtılmalıdır. Ancak çatının dış yüzeyinde radyant ısı kayıpları meydana geldikçe yalıtım, binadan olan ısı transferini engelleyecektir. Radyant soğutmanın en basit biçimi, ağır ve iletkenliği yüksek bir kütlenin (örneğin yüksek yoğun



luklu beton) geceleyin gökyüzüne açık olarak bırakılması ve gündüz saatlerinde ise hareketli bir yalıtım malzemesi ile örtülmesidir. Bu yöntem bir çok ülkede başarı ile uygulanabilmektedir. Böylece bina çatısı geceleyin soğutulmuş gündüz saatleri için bir avantaj sağlamaktadır. Dıştaki hareketli yalıtım

torbaların üzeri açılarak suyun soğuması sağlanmakta, gündüz ise üzerleri kapatılarak depolanan soğunun binada kullanılması sağlanmaktadır. Diğer yandan çatı renkleri de soğutma için faktör olabilmektedir. Şekil 4'de gri ve beyaz yatay yüzeylerde, sıcak ve nemli bir iklimde günlük sıcaklık değişimleri verilmiştir.

Şekilde görüldüğü üzere radyant soğutma ile yüzey sıcaklıkları önemli ölçüde düşürülebilmektedir. Dış sıcaklık ile yüzeyler arasındaki sıcaklık farkları gündüz saatlerinde yüksektir ve bu bir avantajdır. Bu konudaki diğer bir yöntem de çok iyi yalıtılmış çatı uygulamaları olup böylece kışın ısı kayıpları, yazın ise ısı kazançları minimize edilebilir. Burada yalıtımın 5-10 cm üzerine dış yüzeyi boyanmış metal levha monte edilir (arada ki boşlukta ise hava sirkülasyonu sağlanır). İzolasyon malzemesinin üzerindeki bu metal tabaka üzerindeki sıcaklık geceleyin çevre sıcaklığına yaklaşır. Gündüz ise bu metal levha ısı kazanmaya başlar. Bu tip sistemlerin uygulaması tek katlı binalarda daha kolay ve verimlidir. Çok katlı binalarda ise en üst kat kullanılabilir. Bu sistemler geceleri az bu

ıaj sağlanmaktadır. Dışarı hareketli yalıtım ayrıca gündüz saatlerinde güneşten olan ısı kazancını azaltıcı rol oynamaktadır. Diğer bir pasif radyant soğutma sistemi Hay tarafın - dan "Skytherm" adı ile geliştirilmiştir [8]. Bu sistem kışın ısıtma amaçlı olarak da kulla - nılmakta olup, çatı metalden yapılmaktadır. Metal örtünün üstünde içi su dolu plastik tor - balar ve bunların üstünde de hareketli yalı - tım malzemeleri bulunmaktadır. Örneğin kı - şın gündüz saatlerinde su dolu torbaların üzerindeki izolasyon açılarak torbaların içi - ndeki suyun ısınması sağlanmaktadır. Gece - leyin ise torbaların üzeri izolasyon malzeme si ile kapatılarak torbalarda biriken ısı enerji si binaya aktarılmaktadır. Yazın ise bu işle - min tam tersi yapılmaktadır. Yani geceleyn

itulu ve az nemli iklimleri için uygun seçenektir. Burada cebri çekişli fanlar da kullanılarak binada hava sirkülasyonu sağlanmak suretiy le soğuk bina kütlelerinde depolanabilir.

## 5. Direkt evaporatif pasif soğutma

Bu yöntemde dış hava binaya girmeden bir su kütle ile temas ettirilir ve suyun bu - harlaşması ile soğutulabilir. Hava akımı ba - sınç ve sıcaklık farkı yardımı ile doğal, fan yardımı ile de mekanik olarak sağlanabilir. Böylece hava ıslak yastıkların içine emilir. Burada havanın kuru termometre sıcaklığı (DBT) düşerken, sabit yaş termometre sı - caklığı (WBT) eğri boyunca su miktarı artar ve havanın DBT ve WBT sıcaklıkları arasın - daki fark %70-80 oranında azalabilir. Konfor

şartlarına göre düşük sıcaklıklardaki nemli ve kurak iklim bölgelerinde evaporatif soğut - ma, ilk yatırım ve işletme maliyetleri yönün - den oldukça ekonomik olabilir ve psikolojik olarak da uygun bir çözümdür. Özellikle öğle den sonra yeterince hızlı esen rüzgara sahip kurak iklim bölgelerinde küçük binaları pasif evaporatif soğutma cihazları ile soğutmak mümkündür. Cihazın yatakları fiberden, daha büyük sistemlerde selülozdan yapılabilir. Bu rada pencereler de rüzgara karşı yerleşti - rilirse, doğal direkt evaporatif soğutma sağla - nabilir. Soğutma etkinliğinin artırılması için yataklar olabildiğince fazla yüzey alanına sa - hip olmalıdır, ancak rüzgara karşı da çok fazla direnç göstermemelidir. Binanın hakim rüzgar tarafında bir sundurma yapılabilirse, evaporatif soğutma yatakları bu sundurma - nın önüne konulabilir. Daha büyük binalar için binanın yanında pasif soğutma kulesi in - şa edilebilir. Burada buharlaşma suyu yukarı - dan aşağı doğru akarak aşağıda toplan - maktadır ve su sirkülasyonu ise bir pompa ile sağlanabilmektedir. Cunningham ve Thomp - son; Arizona-Tuscon'da böyle bir yapı inşa etmişlerdir [9]. Söz konusu sistemde hava sirkülasyonunu artırmak için binanın arka ta - rafında bir de güneş bacası inşa etmişler - dir (güneş bacası, basınç farkını ve dolay - sıyla hava sirkülasyonunu, artırmak için fan yerine kullanılabilen doğal bir yöntemdir).

maksimum limitleri de sırasıyla 22-24°C ve 42-44°C'dir. Bu sistemler kaliteli ve büyük miktarda su kullanımını gerektirir ki bu, su - yun bol ve ucuz olmadığı yerler için uygun ol - maz.

## 6. İndirekt evaporatif soğutma

Binaya giren havayı su ile soğutmak yeri - ne, çatıdaki bir suyu evaporatif yöntemlerle soğutmak veya çatıyı ıslatmak da mümkün - dür. Bu durum yazın geceleri yağın yağmu - run yarattığı soğutma etkisine benzetilebilir. Böylece bina, çatıdan iletimle ısı transferi va - sıtasıyla soğutulabilir ve bu tür yöntemler in - direkt soğutma yöntemidir. Örneğin klimanın çok yaygın olmadığı dönemlerde Japonya'da çatılara saman konularak yağmurdan tutulan su, gündüz saatlerinde buharlaştırılarak so - ğutma etkisi sağlanabilmekteydi. Bu gibi yön - temlerle dış hava sıcaklığı 33°C'ler civarın - da iken iç hava sıcaklığının 25°C'lerde tutu - labildiği tespit edilmiştir [10]. Diğer bir uygu - lama şekli de çatıda üzeri açılıp kapanabilir havuz yapılmasıdır. Bu uygulamalar bir çok gelişmiş ülkede de (özellikle ABD'de) ba - şarı ile uygulanmaktadır. Bu tür yöntemler yazın yağmurlu ve kışın ılıman bölgeler ve WBT'nin 25°C, DBT'nin 46°C'ye kadar oldu - ğu yerler için daha uygundur. Çatıda havuz tesis edilmesi yerine bina yakınlarında, top - rak altında, bir havuz inşa edilerek de soğut

Burada dış hava sıcaklığı DBI = 40.6°C ve WBT = 21.6°C iken kuleden çıkan ve binaya giden havanın sıcaklığının 23.9°C'ye kadar düştüğü belirlenmiştir (bu ölçümde hava hızı 0.75 m/s gibi çok düşük değerlerdedir). Bu tür sistemlerin uygulanabilirliği yaşı termometre sıcaklığındaki değişimlere bağlıdır. Bu sistemler, yazın WBT'nin konfor limitlerinden 4°C civarında daha düşükse tavsiye edilebilir ve bu değer iyi yalıtılmış binalar için geçerlidir. Yalıtımı iyi olmayan bina için bu değer 6°C civarındadır. WBT ve DBT'nin

ma yapılabilir. Bu uygulamalarda çevre yaşı termometre havasının altına kadar soğutma suyu sıcaklıkları elde edilebilir.

## 7. Toprağın soğuk kaynak olarak kullanılması

Bir çok iklim bölgesinde binanın altında, yanında bazen de üstündeki toprak kütlesi bina için doğal bir soğutma kaynağı olarak hizmet verebilir. Çoğu yerlerde yüzeyin 2-3 m derinliklerindeki toprak soğutucu kaynak olacak durumdadır. Ancak çok sıcak bölge-

lerde toprak soğutucu kaynak olarak hizmet göremeyecek kadar sıcak olabilir. Bu durumlarda toprak yüzeyi çimlendirilebilir veya gündüz saatlerinde sulanabilir.

### Toprakla soğutma metodları

Bunun için Givoni tarafından yüzeyden olan buharlaşmayı engellemeyecek şekilde gölgelendirmeyi içeren iki yöntem geliştirilmiştir [6]. Burada; a) toprak yüzeyi yazın en az 10 cm kalınlığında ağaç, çakıl taşı gibi malzemelerle örtülmekte ve bunlar sulanmaktadır, b) sulama veya yaz yağmurları ile toprak yüzeyinden su buharlaşması sağlanarak yüzey sıcaklığı ve alttaki toprak sıcaklığı düşürülebilmektedir (Örneğin İsrail ve Kuzey Floarida'da yapılan çalışmalarda bu yöntemlerle toprak yüzey sıcaklığı, çevre sıcaklığından 10-16°C arasında düşük tutulabilmiştir) [6]. Bu sıcaklık farkları sayesinde toprak, bir bina için (özellikle sirkülasyon havasının soğutulmasında) ısı kuyusu olarak görev yapabilmektedir. Eğer toprak sıcaklığı yeterince düşükse, bu enerji, çeşitli şekillerde binanın soğutulmasında kullanılabilir: a) bina mümkün olduğunca toprakla çevrelenilirse, iletimle ısı transferi vasıtasıyla (duvarların ısı iletkenliği yüksek, yani duvarlar yalıtımsız olmalıdır) pasif soğutma yapılabilir. Bu uygulama sıcak yaz ve ılıman kış iklimlerine sahip bölgeler için çok uygundur; ancak kışları soğuk olan iklimlerde ısı kayıplarını artıracığından bu yöntem tercih edilmez. b) diğer bir yöntem de binanın çok iyi izole edildikten sonra, PVC boruların ısıya geçirilmesini

hava sıcaklığından 10°C daha düşük seviyelere getirilebilir. Çok yüksek dış hava sıcaklıklarına sahip bölgelerde ise verim daha da artmaktadır. Bu konuya ilişkin bir çalışma Sodha ve arkadaşları tarafından Hindistan'ın Yeni Delhi kenti yakınlarında yapılmıştır[11]. Söz konusu çalışmada yerin epey altında bulunan mevcut bir tünel kullanılmıştır. Tünelin test bölümünün uzunluğu 80 m ve kesit alanı da 0.528 m<sup>2</sup>'dir. Çalışmada hava sirkülasyonunu sağlamak için her biri 500 W olan iki adet fan kullanılmıştır. Toplam hava debisi 10000 m<sup>3</sup>/h, hava hızı ise 4.9 m/s olarak alınmıştır. Testler 1983 yılının Temmuz ayında ve birbirini takip eden 10 gün süresince yapılmıştır. Bu süre içinde dış hava sıcaklıkları 36.5- 42.5°C, tünelden dönen hava sıcaklıkları ise 25.7- 28.2°C arasında ölçülmüştür. Bu sistemden elde edilen günlük ortalama soğutma tasarrufu 512 kWh/gün olarak hesaplanmıştır. Bu tür bir sistem soğuk bölgelerde dış havanın ön ısıtılmasında da yararlı olabilmektedir. Örneğin dış hava sıcaklığı -10°C ise 6-7°C'lik toprak sıcaklığı bu havayı bir miktar ısıtarak enerji tasarrufu sağlayabilmektedir.

### 8. Sonuç

Ülkemizde iklim açısından bakıldığında pasif sistemlerin yaygınlaşmasının yararlı olacağı söylenebilir. Ancak detayların henüz gelişmemiş olması ve dışarıya bağımlılık gibi nedenler, ilk yatırımı pahalı kılmaktadır. Eğer mekanik tesisata sahip bir bina yapılacaksa, yalıtım ve pasif güneş enerji



dir. Bu borularda binanın sirkülasyon havası dolaştırılarak soğutulması sağlanabilir. Hava sirkülasyonu kapalı devre olabileceği gibi, dış havanın içeri alınması şeklinde de olabilir. İç havanın, toprağa gömülü bu borulardan dolaştırılmasıyla hava sıcaklığı, dış

sistemleri için yapılan yatırımlardan kaçınmak; kazan, boru, cihaz, vana vb. kapasite ve ebatlarını büyüterek, sağlandığı zannedilen ilk yatırım kazancını daha baştan ortadan kaldırmaktadır. Bu nedenle, bir projede bu hususların ortaya konulması; kaliteli,

pasif soğutma önlemleri alınmış durum ile bunların dikkate alınmadığı durum arasındaki maliyet karşılaştırılarak fizibilite etüdü yapılmalıdır.

c) Uzun vadede son derece yararlı, ülke ekonomisine, çevre kirliliğinin önlenmesine önemli katkılar sağlayabilecek pasif uygulamalarının ülkemizde yaygınlaşması için koşulların uygun olmaması bu yöndeki çabaları engellememelidir; aksine, mimar, mühendis ve diğer ilgililerin konu hakkında bilgi sahibi olmasının sağlanması gerekir. Ayrıca yetnetmelik, şartname vb. hazırlanarak ve ilgililerin bunlara uymaya teşvik edilmesi gerekmektedir.

## KAYNAKÇA

1. Givoni, B., 1994, "Climate analysis and building design guidelines", *Energy and Buildings*.
2. Givoni, B., 1976, "Climate and architecture", *Applied Science Publ., London*.
3. Chandra, S., Fairey P. and Houston M, 1983, "Handbook for designing ventilated buildings", FSEC-CR-93-83, Florida Solar Energy Center, Cape Canaveral, FL.
4. Chandra, S., 1989, "Ventilative cooling", *Passive Cooling*, MIT Press.
5. Sobin, H., J., 1981, "Window design for

*passive ventilative cooling; an experimental model scale-study", Int. Passive and Hybrid Cooling Conf., Miami Beach.*

6. Givoni, B., 1987, "Passive cooling-state of the art", *Proc. 12th Passive Solar Conf. Orlando.*

7. Balcomb, J. D., 1983, "Heat storage and distribution inside passive solar buildings", *Report LA 9694 M.S., Los Alamos Laboratory.*

8. Hay, H., 1978, "A passive heating and cooling system from concept to commercialization", *Proc. Annual Meeting Am. Section. Int. Solar Energy Society.*

9. Cunningham, W. A. and Thomson, T. L., 1986, "Passive cooling with natural draft cooling towers in combination with solar chimneys", *Proc. Conf. Passive and Low Energy Architecture, Hungary.*

10. Kimura, K. and Yamazaki, K., 1982, "Passive cooling performance of thatched roofs in traditional Japanese vernacular houses", *Pergamon Press, Bermuda.*

11. Sodha, M. S., Sharma, A. K., Bansal, N.K. and Kumar, A., 1985, "Evaluation of an earth-air tunnel system for cooling/heating of a hospital complex", *Building Environment.*

