

BİNALARIN DOĞAL SOĞUTULMASI

Edvin ÇETEGEN
Ahmet ARISOY

ÖZET

Binalarda ısı sistemleri için kullanılan fosil tabanlı yakıtların daha az tüketilmesiyle, hem bu değerli yakıtların korunması, hem de yanma sonucunda oluşan hava kirliliğinin minimum düzeye indirilmesi amaçlanmaktadır. Bu noktada çözüm olarak, doğal soğutma büyük bir potansiyele sahiptir. Söz konusu amaç doğrultusunda birinci grup önlemler binalardaki ısı kazançlarının azaltılmasını içerir. Pencere tipleri, bina yönlendirmesi, pencere yüzey alanları, duvarların konstrüksiyon tipleri, binanın ısı ataleti ve gölgelendirme bu ısı kazançları etkileyen başlıca faktörler olarak sıralanabilir. İkinci etkin önlem ise, gece rüzgar kuvvetlerinden faydalanarak yapılan doğal soğutmadır. Doğal soğutmanın binalar üzerindeki ısı etkisini inceleyebilmek için bir bilgisayar programı ile binanın ısı simülasyonunun oluşturulması gereklidir. Bu gereksinimi karşılamak için tarafımızdan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Geliştirilen program kullanılarak çeşitli tipte binalar için saatlere göre değişen iç ortam sıcaklıkları hesaplanmıştır. Yukarıda bahsedilen faktörler birer parametre olarak göz önüne alınıp, binalar üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Önlem alınmamış ve doğal soğutmadan yararlanmayan, sıradan bir bina ve tipik bir yaz günü için iç ortam sıcaklığı 33 °C 'ye kadar ulaşmaktadır. Halbuki doğal soğutma önlemlerinin alınması durumunda bu sıcaklığın 25 °C civarına kadar inebileceği hesaplanmıştır.

1. GİRİŞ

Günümüzde bina tasarımının asıl amacı ısıtma, soğutma ve havalandırma için kullanılan mekanik sistemlerinin minimum düzeye indirilmesidir. Sürekli değişen dünya şartları bina teknolojisini de değişmesini sağlamıştır. Günümüzdeki en etkili ve önemli kavramlarından biri sürdürülebilirlik kavramıdır. Bu kavramın bina teknolojisi üzerindeki yansıması, fosil tabanlı yakıtların ve elektrik enerjisinin binalardaki kullanımının azaltılması olarak algılanabilir. Binaların HVAC sistemlerinde kullanılan fosil tabanlı yakıtların kullanımının azaltılması hem bu değerli yakıtların korunmasına hem de yanma ürünlerinin çevre kirliliğine olan etkisinin azalmasına neden olacaktır.

Mekanik soğutma sistemleri ortaya çıkmadan önce binaların soğutulması bazı doğal yöntemlerle sağlanıyordu; pencerelerden giren rüzgar, fiskiye ve çeşmelerden akan suyun buharlaşması, büyük hacimlerdeki çakıl taşı ve toprağın ısı depolaması vb. Bu yöntemler uzun yıllar boyunca bina tasarımlarında etkili olmuştur. Günümüzde doğal soğutma yöntemleri, çok karmaşık olan mekanik soğutma sistemlerine bir alternatif olarak ele alınmaktadır. Doğal soğutma yöntemlerinin modern bina tasarımlarına uygulanması ile mekanik sistemlerin kullanımı ortadan kaldırılabilir veya minimum düzeye indirilebilir.

Bu çalışmada tipik bir binanın İstanbul iklim şartları altında doğal soğutma olasılığı araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda binanın bilgisayar yardımıyla sayısal modellemesi gerekmektedir. Konuyla ilgili bir bilgisayar programı tarafımızdan hazırlanmıştır. Bu program bina için tek zon öngörmektedir. Program ASHRAE'nin ısı kazanç/kayıp hesabı algoritmasından yararlanmaktadır, sayısal yöntem olarak sonlu farklar implicit yöntemini kullanmaktadır. Tüm parametrelerin zamana bağımlılığı simülasyonda göz önünde tutulmuştur. Hesaplamalarda binanın ısı ataleti ihmal edilmiştir. Bu

bakımdan Temmuz ayının 21'i tipik bir gün seçilip bu günün bütün Temmuz ayını temsil ettiği kabulü yapılmıştır. İstanbul iklimi için 24 saatlik dış ortam sıcaklıkları, güneş ışınımı değerleri, aydınlatmadan gelen ısı kazançları, iç kaynaklardan gelen ısı kazançları ve bina içinde oturan insan sayısı ile ilgili bilgiler saatlik veri olarak program içinde kullanılmıştır.

Hazırlanan program yardımıyla çeşitli binalar için iç ortam sıcaklıkları saatlik olarak hesaplanmıştır. Bina tasarımı parametrik olarak her defasında değiştirilerek bu parametrelerin iç ortam sıcaklığı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

2. TİPİK BİNA MODELİ

Bina tasarım farklarının doğal soğutma üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla, tipik bir bina seçilmiş ve hesaplarda bu bina baz alınmıştır. Binanın mimari ve fiziksel özellikleri sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Tipik binanın mimari özellikleri

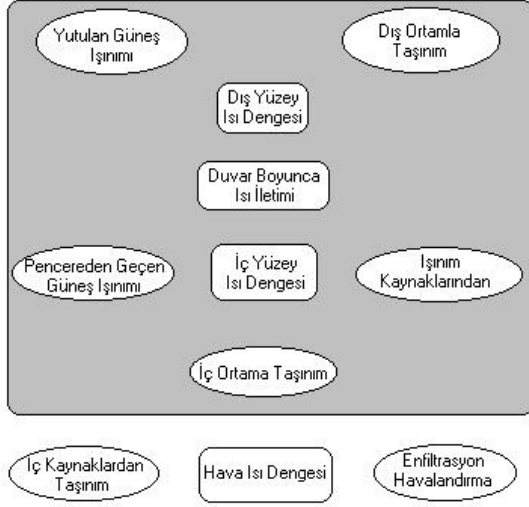
Mimari özellikler	Birim	Değer
Kalınlık		
- Dış Duvarlar	cm	20
- İç Duvarlar	cm	20
- Çatı ve Döşeme	cm	20
Bina Oturma Alanı	m ²	400
Bina Yüksekliği	m	12
Kat Sayısı	-	3
Net Duvar Alanı		
- Kuzey Yönünde	m ²	200
- Doğu Yönünde	m ²	200
- Güney Yönünde	m ²	200
- Batı Yönünde	m ²	200
Toplam Pencere Alanı		
- Kuzey Yönünde	m ²	40
- Doğu Yönünde	m ²	40
- Güney Yönünde	m ²	40
- Batı Yönünde	m ²	40
Toplam İç Duvar Alanı	m ²	3000
Binada Oturan İnsan Sayısı	-	20

Tablo 2. Tipik binanın fiziksel özellikleri

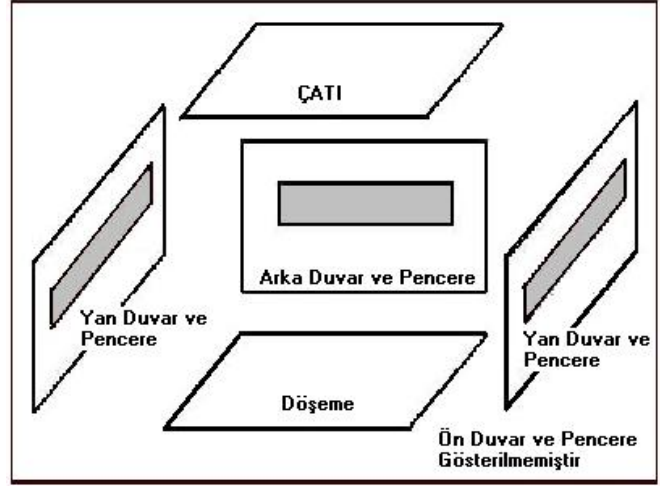
Fiziksel Özellikler	Birim	Değer
Yoğunluk		
- Dış Duvarlar	kg/m ³	1000
- İç Duvarlar	kg/m ³	1000
- Çatı ve Döşeme	kg/m ³	1000
Isı İletim Katsayısı		
- Dış Duvarlar	W/m.K	0.3
- İç Duvarlar	W/m.K	0.3
- Çatı ve Döşeme	W/m.K	0.3
Özgül Isı		
- Dış Duvarlar	kJ/kg.K	0.85
- İç Duvarlar	kJ/kg.K	0.85
- Çatı ve Döşeme	kJ/kg.K	0.85
Isı Taşınım Katsayısı		
- External wall surfaces	W/m ² .K	23
- Internal wall surfaces	W/m ² .K	8
Enfiltrasyon Oranı	Hacim/h	1
Pencerelerin		
- Gölgeleme Faktörü	-	0.4
- Isı İletim Katsayısı	W/m.K	3.5

Bu çalışmada tipik bina için aşağıdaki parametreler incelenmiştir;

- Duvarların kalınlığı ve yoğunluğu
- İç duvar alanı
- Pencerelerin gölgeleme faktörü ve ısı iletim katsayıları
- Enfiltrasyon ve havalandırma oranı
- İç ortam ısı taşınım katsayısı



Şekil 1. Bir bina yapı elemanı için ısı dengesi



Şekil 2. Modellemede kullanılan örnek zon

3. MATEMATİK MODEL

İç ortam sıcaklığı, binanın ısı kazanç ve kayıplarını tanımlayarak tahmin edilebilir. Isı kazanç ve kayıplarının hesaplanması doğrultusunda yüzey sıcaklıklarının bilinmesi gereklidir. Duvar içindeki sıcaklık dağılımı hem dış hava sıcaklığına, hem de güneş ışınımına bağlıdır. Bundan dolayı bina için seçilen modelin duvar içindeki sıcaklık dağılımını hesaplaması gereği kaçınılmazdır.

Kesinlikle, seçilen model bir takım kabulleri de beraberinde getirecektir. Model içindeki detayların yoğunluğu, modelin amacına uygun olmalıdır. Bazı kabullerin yapılması ve gereksiz detaya inilmemesi modeli kurma aşamasında çok önemlidir.

Matematiksel modelin ana ilkesi "iki adımlı hesaplama" olarak adlandırılıp şu şekilde açıklanabilir: Çevreden ve ısı kaynaklarından bina içine giren ısı, ilk olarak bina kütlesi tarafından depolanır. Belli bir zaman gecikmesi sonunda bu ısı binadan uzaklaştırılır. Böylece bina içinde soğutma yükü oluşmuş olur. Soğutma yükünü hesaplamak için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan ısı dengesi yöntemi, ağırlık faktörleri yöntemi, CLTD/CLF ve TETD/TA yöntemleri örnek olarak verilebilir [2].

Çalışmada bilimsel olarak en uygun görülen ısı dengesi yöntemi kullanılmış ve açıklanmıştır. Dört ayrı işlemde oluşan bu yöntem şematik olarak Şekil 1. de görülebilir. Bu işlemler sırasıyla;

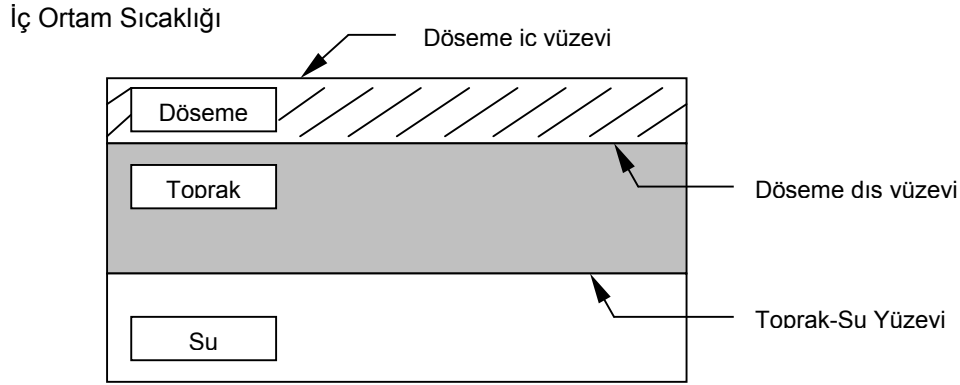
- Dış yüzey ısı dengesi
- Duvar içindeki ısı iletimi
- İç yüzey ısı dengesi
- Havanın ısı dengesi

Şekil 1'de tek bir bina elemanı için ısı dengesi detaylı olarak gösterilmiştir [3]. Şekilde görünen gri kutu bir bina yapı elemanını temsil etmekte ve her yapı elemanı için kutu içinde görünen işlemler yapılmaktadır. Bu çalışmada öngörülen yapı elemanları dört ana yön için dış duvarlar, çatı, düşeme ve iç duvarlardır.

Şematik olarak iki yönlü ısı geçişi iki yönü oklarla, tek yönlü ısı etkileşimi ise tek yönlü oklarla gösterilmiştir. Beyaz kutular içindeki işlemler, ısı dengesi için gerekli olan dört genel işlemin matematiksel tanımını ifade etmektedir.

Soğutma yükünün hesaplanması için kullanılan ısı dengesi yönteminin, çeşitli geometrilere uygulanabilmesi için yeterince esnek olması gereklidir. Bununla birlikte, yöntem bütün bir ısıl zonu da tanımlayabilmelidir. Bina yapı elemanları arasındaki etkileşimden dolayı ısıl zonu mükemmel bir şekilde kurmak ve tanımlamak mümkün olmayabilir. Gerekli esnekliği sağlamak amacıyla genelleştirilmiş bir yedi yüzeysel zon baz alınarak model oluşturulabilir. Bu zon dört ana yöndeki duvarlar, çatı, döşeme ve iç duvarlardan oluşmaktadır ve Şekil 2’de şematik olarak gösterilmiştir.

Döşemenin matematiksel modeli prensip olarak Şekil 1’deki yöntemle benzenmesine rağmen biraz farklı modellenmiştir. İç tarafta iç ortam havasıyla taşınım ve ışınım ile ısı dengesi oluşturduğu kabul edilmiştir. Dış tarafta ise döşemenin altında bir miktar kuru toprak tabakasının bulunduğu ve bu toprak tabakasının altında ise yaş toprak (su) bulunduğu düşünülmüştür. Bu şekilde döşemenin altında buharlaşan su, bir ısı kuyusu gibi davranacak ve soğutma etkisi yaratacaktır. Oluşturulan döşeme modeli Şekil 3’te gösterilmiştir. Bu yaklaşım orijinaldir ve ASHRAE modelinde yer almamaktadır.



Şekil 3. Oluşturulan döşeme modeli

Zamana bağlı problemler için çeşitli yöntemler kullanılarak çözüme gidilebilir. Kullanılan bazı yöntemler aşağıda sıralanmıştır;

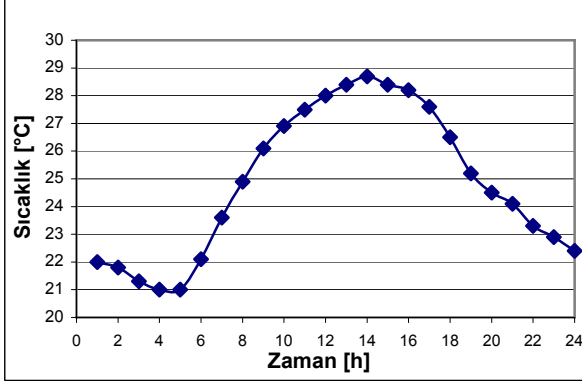
- Sonlu Farklar Yöntemi
- Sonlu Elemanlar Yöntemi
- Dönüşüm Metodu
- Zaman Serileri Metodu

Yapılan çalışmada, denklemleri sayısal olarak çözebilmek için sonlu farklar yönteminin İmplicit Çözüm Tekniği kullanılmıştır. Bu denklemler daha önce bahsedilen program ile iteratif olarak çözülmüştür. Bahsedilen program C++ programlama dilinde yazılıp Borland Turbo C++ 3.0 ile derlenmiştir.

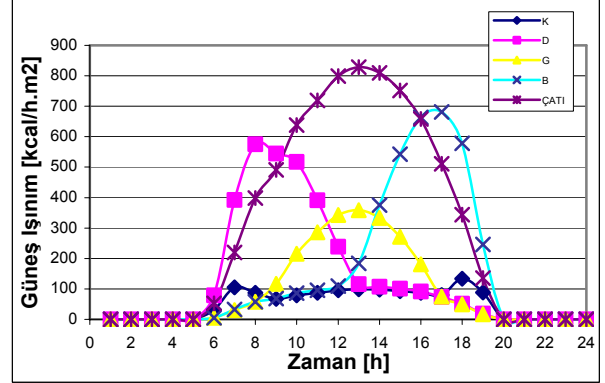
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Daha önceki bölümlerde açıklandığı gibi tipik binadan türetilen, çeşitli alternatif binalar için hesaplamalar yapılmıştır. Karşılaştırma olarak da tipik bina baz olarak alınmıştır. İstanbul iklimi için dış hava sıcaklıkları ve güneş ışınımı değerleri TTMD’nin bu konuyla ilgili araştırma raporundan alınmıştır [4]. Temmuz ayının 21. günü için alınan değerler Şekil 4 ve Şekil 5’te sırasıyla verilmiştir. Güneş ışınımı değerleri öncelikle yatay yüzey için ölçülmüş, K,G,D ve B yönleri için ise bu değerler baz alınarak hesaplanmıştır.

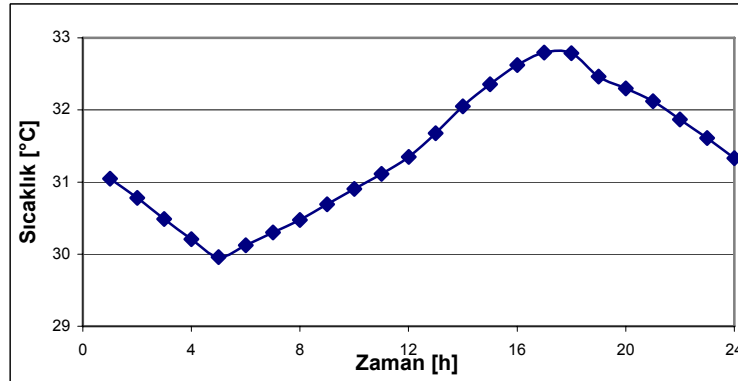
Tipik bina için elde edilen sıcaklık değerleri Şekil 6 da verilmiştir. Buradan da görüldüğü gibi elde edilen sıcaklık değerleri yüksektir ve bu sıcaklık değerlerin gün boyunca değişimi fazladır. Sabah saat 5.⁰⁰ civarlarında ortam sıcaklığı minimum olup 29.7 °C değerine inmektedir. Bu saatten sonra sıcaklık değeri pik noktaya (saat 17.⁰⁰) ulaşmaya kadar yükselmeye devam etmektedir. İlerleyen saatlerde güneş ışınımının etkisini kaybetmesi ve gece saatleri boyunca hakim olan soğuk havanın etkisini göstermesiyle, sistem soğumaktadır. Sonuç olarak; ortamda oluşan yüksek sıcaklık değerleri ve yüksek sıcaklık farkı, tipik binanın ısı konfor açısından yetersiz olduğunu ortaya koymaktadır



Şekil 4. 21 Temmuz günü, İstanbul iklimi için dış ortam sıcaklıkları



Şekil 5. 21 Temmuz günü, İstanbul iklimi için güneş ışınımı değerleri.



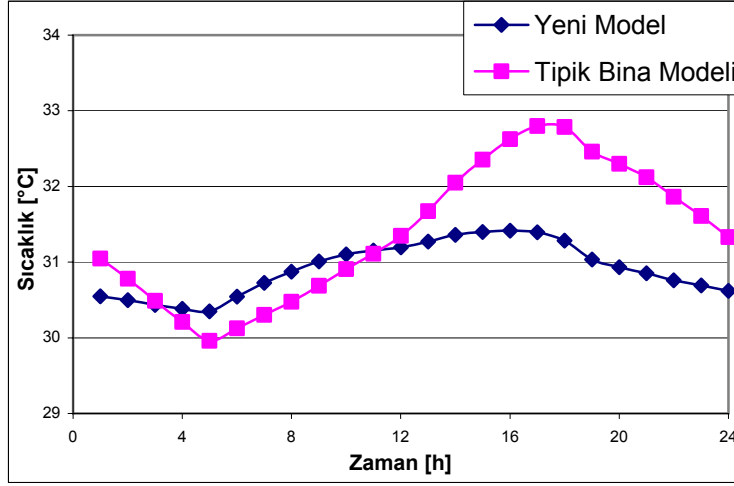
Şekil 6. Tipik Bina için İç Ortam Sıcaklık Değerleri

4.1. Yapı Elemanlarının Etkisi

Isıl kütlelerin iç hava sıcaklığı üzerindeki etkilerinin incelenebilmesi amacıyla yapı elemanlarının ve iç duvar yüzeylerinin özellikleri değiştirilmiştir. Tipik bina üzerinde aşağıdaki değişiklikler yapılmıştır:

- İç ve dış duvar kalınlıkları 20cm'den 35cm'ye yükseltilmiştir.
- Duvarların yoğunlukları 1000 kg/m^3 'den 2500 kg/m^3 'ye artırılmıştır.
- İç duvarlar tarafından kaplanan bölge, duvarlardan havaya olan ısı transferini arttırmak amacıyla 3000m^2 'den 5000m^2 'ye yükseltilmiştir.

Değiştirilen özellikleri taşıyan bina için elde edilen sonuçlar Şekil 7'de verilmiştir. İç ortam sıcaklıklarındaki gün boyu değişim, binanın artan kütlelerine bağlı olarak azalmıştır. Bununla birlikte iç sıcaklıklar 31 °C civarında dalgalanmaktadır ki, bu değer konfor şartları için kabul edilebilir değildir.



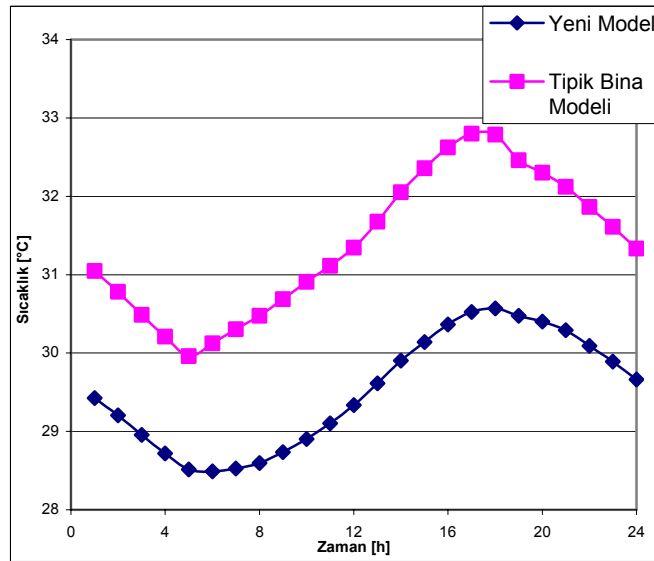
Şekil 7. Bina yapı özelliklerinin ortam sıcaklığı üzerindeki etkisi

4.2. Pencere Etkisi

Pencerelerin iç hava sıcaklığı üzerinde büyük bir etkisi vardır. İncelenen zon için pencerelerden geçen güneş ışınımının toplam ısı kazancına etkisi gözardı edilmemelidir. Güneş ışınımını fazla yansıtan ve ısı iletim katsayısı daha düşük olan pencere camları daha az ısı geçirmektedir. Bu etkiyi gözlemleyebilmek için aşağıdaki pencere camı özellikleri gözönüne alınmıştır;

- Pencere camı gölgeleme faktörü 0.4'dan 0.15'e azaltılmıştır. Güneş ışınımının sadece %15'i pencerelerden direkt olarak içeri girmektedir.
- Pencere camı ısı geçirgenlik katsayısı 0.35 W/mK'den 0.25 W/mK'e düşürülmüştür.

Bu çalışmanın sonuçları Şekil 8'de verilmiştir. Cam tipinin değiştirilmesi sıcaklığı yaklaşık olarak 1.5 °C düşürmektedir. En büyük sıcaklık farkı ise (2°C) saat 17:00'de, güneş ışınımından gelen ısı kazancı en fazla olduğu anda gözlemlenmiştir. Diğer bir önemli sonuç ise mekanik havalandırma sisteminin sadece pik yük saatlerinde çalışması koşulu ile konfor şartlarının sağlanıyor olmasıdır.



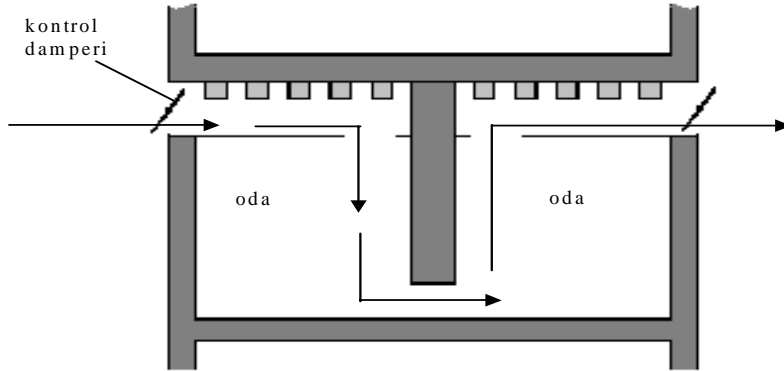
Şekil 8. Pencere özelliklerinin ortam sıcaklığı üzerindeki etkisi

4.3. Enfiltrasyon Etkisi

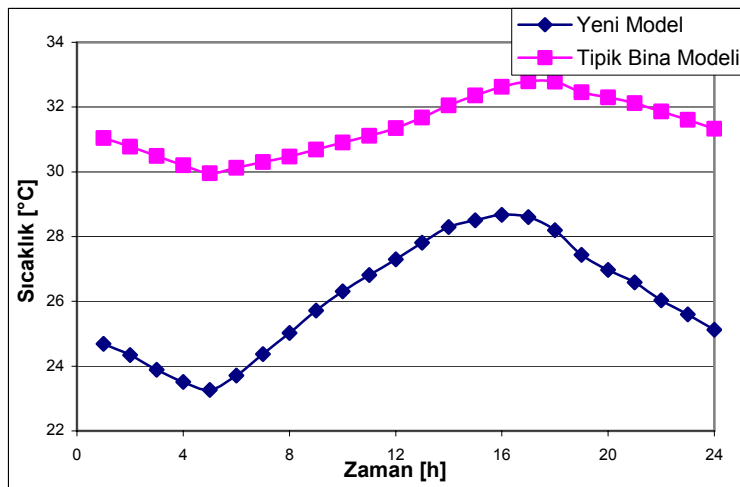
İç hava sıcaklığına etki eden en önemli faktör infiltrasyon miktarıdır. İklim koşulları gözönüne alınarak yapılan uygun bina yapısal değişiklikleri ile doğal soğutma için gerekli olan uygun havalandırma değerlerine ulaşılabilir. Doğal havalandırmada en önemli parametreler rüzgar yönü ve rüzgar hızıdır. Bu nedenle tasarlanan binanın yerleşimi ve iklim koşulları uygun olmalıdır. Enfiltrasyonun etkisinin incelenmesi amacıyla tipik bina üzerinde aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Havalandırma oranı $n=1$ 1/h değerinden, $n=10$ 1/h değerine yükseltilmiştir. Yeni bina, infiltrasyonla yeterli miktarda havalandırılabilir şekilde tasarlanmalıdır. Yukarıda da belirtildiği gibi, binanın doğal olarak havalandırılabilmesi ile iklim ve bina yapısı arasında kuvvetli bir ilişki vardır.
- Doğal soğutma için tasarlanan bina Şekil 9'da gösterilmiştir. Dış duvar yüzeylerinde havayı asma tavana yönlendirerek odalara dağıtılmasını sağlayan damper kontrollü özel açıklıklar bulunmaktadır. Tavan genişletilmiş yüzeylere sahip olup, buradan geçen havanın hızı rüzgar hızına yakın alınabilir. Artan hava hızına bağlı olarak ısı taşınım katsayısı $8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ 'den $23 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ 'e yükseltilmiştir.

Sonuçlar Şekil 10'da verilmiştir. Bina içindeki yüksek hava akışına bağlı olarak, yeni bina modeli için elde edilen sıcaklık değişimi dış sıcaklık değerlerinkine yakındır. İç sıcaklıklar gece ve akşam süresince konfor şartlarına uymaktadır. Fakat saat 9:00 - 14:00 saatleri arasında dış hava sıcaklığı iç hava sıcaklığından daha fazladır. Dış havanın ortama verilmesi halinde iç ortam sıcaklığı artacak ve bu olay bir dezavantaj yaratacaktır. Çözüm olarak, dış havanın bu saat aralığında içeri girmesinin önlenmesinin önerilebilir.



Şekil 9. Doğal havalandırma için tasarlanan bina yapısı



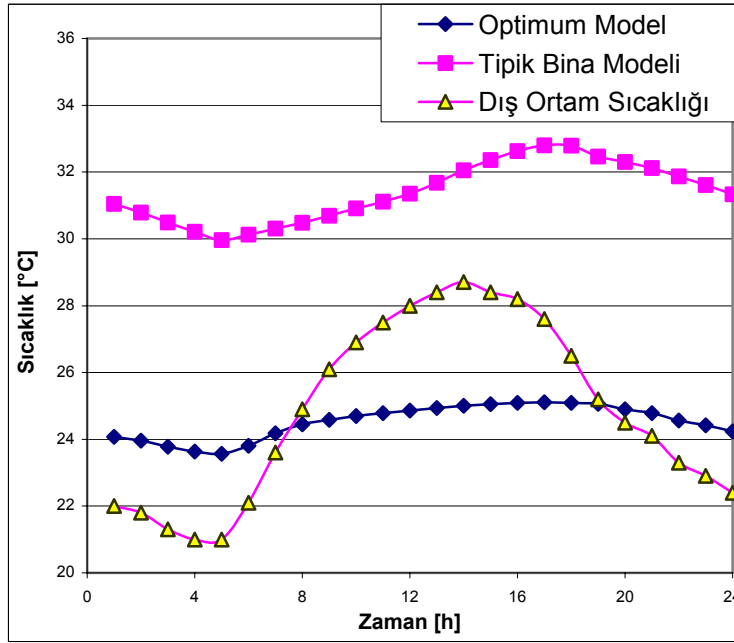
Şekil 10. Enfiltrasyonun ortam sıcaklığı üzerindeki etkisi

4.4. Optimize Edilmiş Bir Binanın Simülasyonu

Önceki hesaplamalardan elde edilen tüm veriler göz önünde bulundurularak yeni bir bina modeli geliştirilmiştir. İç hava sıcaklığı üzerinde olumsuz etki yapan tüm faktörler minimize edilmiştir:

- Duvar elemanlarının kalınlığı 0.20cm'den 0.35cm'ye arttırılmıştır.
- Duvar elemanlarının yoğunlukları 1000 kg/m^3 'ten 2500 kg/m^3 'e arttırılmıştır.
- Toplam iç duvar yüzey alanı 3000m^2 'den 6000m^2 'ye çıkarılarak iki katına arttırılmıştır. Burada iç duvar yüzeylerinin arttırılması, yüzeylerin kanatlardaki gibi genişletilmesi gibi düşünülebilir.
- Hava değişim sayısı, dış hava sıcaklığının iç hava sıcaklığından düşük olduğu zamanlarda, $n=10$ 1/h değerine yükseltilmiştir. Diğer zamanlarda hava değişim sayısı, $n=1$ 1/h alınmıştır. Binanın içine ve dışına yerleştirilebilecek olan entalpi sensörler ile bu kontrol gerçekleştirilebilir. Böylece iç ve dış hava sıcaklıklarının arasındaki farka bağlı olarak hava akışı kontrol edilebilir.
- İç hava taşınım katsayısı 8 W/m^2 'den $23 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'e yükseltilmiştir.
- Pencere gölgeleme faktörü 0.15'e düşürülmüştür.

Optimum tasarlanmış binadan elde edilen sonuçlar Şekil 11'da verilmiştir. Yukarıda sözedilen tüm faktörlerin etkisi ile, sıcaklık değişimi gün boyunca belirgin olarak azalmakta ve en fazla 2°C olmaktadır. Sıcaklık değerleri saat 5:00'dan 17:00'a, pik yük elde edilene kadar yavaşça artmaktadır. Pik noktadan başlayarak saat 5:00'a kadar soğuma devam etmektedir.



Şekil 11. Doğal soğutma için tasarlanan optimum modelin sıcaklık değişimleri

5. SONUÇ

Bütün önlemlerin alınması durumunda, iç hava sıcaklığı 26°C 'nin altında tutulabilmektedir. Bu da doğal havalandırmanın, uygun tasarım şartları ile tipik bir İstanbul yaz gününde tek başına kabul edilebilir konfor şartlarını sağlayabileceği anlamına gelmektedir. Bu çalışmada incelenen ve doğal havalandırmanın etkinliği üzerinde büyük etkisi olan parametreler yapı elemanları, havalandırma ve bina yapısıdır.

Bu çalışmada maliyet analizi yapılmamıştır. Özel olarak sistemin yaz günlerinde çalışabildiği ve konfor için yeterli havalandırma sağladığı görülmüştür. Maliyet analizi göz önüne alınmazsa, doğal havalandırmanın sürdürülebilirlik ve çevre etkisi bakımından önemli bir parametre olduğu açıktır.

KAYNAKLAR

- [1] Arısoy, A. and Ayabakan, T.Ö., 2000. Natural Ventilation by Wind Energy in High Buildings and Economical Aspects. IVth International Building Installation, Science and Technology Symposium . pp 163. Istanbul, Turkey.
- [2] ASHRAE 1997. ASHARE HANDBOOK – Fundamentals, “Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations”, Chapter 28
- [3] Pedersen, C.O., Fisher D.E., Spitler J.D., Liesen R.J., 1998. “Cooling and Heating Load Calculations Principles”, ASHRAE, pp. 2-24, pp. 153-204
- [4] TTMD Project Report – Outside Air Temperatures and Solar Heat Radiation Values for ISTANBUL, 1998, Istanbul , Turkey

ÖZGEÇMİŞLER

Edvin ÇETEGEN

1977 Köstence doğumlu olup, İTÜ Makina Fakültesini 2000 yılında bitirmiştir. Aynı sene İTÜ Makina Fakültesi'nde Yüksek Lisansa başlamış ve Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır. Halen aynı yerde görev yapmaktadır.

Ahmet ARISOY

1950 Ankara doğumlu olup, İTÜ Makina Fakültesini 1972 yılında bitirmiştir. 1979 yılında doktor, 1984 yılında doçent ve 1991 yılında profesör ünvanı almıştır. Çalışma konuları Yanma, Isı Tekniği ve Enerji olarak sayılabilir. Meslek hayatı İTÜ Makina Fakültesinde öğretim üyesi olarak geçmiştir. Halen aynı yerde görev yapmaktadır.