



# Yüksek Konut Yapılarında İç Ortam Kalitesinin İncelenmesi

## An Investigation For Indoor Environmental Quality In High-Rise Residential Buildings

Dinçer AYDIN, Esmâ MIHLAYANLAR

### ÖZ

Yüksek yapılar ortaya çıktığı ilk dönemden bu yana her zaman değişim ve gelişim içerisinde. Çok katlı yapıların gelişimi incelendiğinde fonksiyon bakımından daha çok ofis işleviyle kullanılmaktadır. Fakat çağımız kent yaşamının değişen ekonomik, sosyal ve kültürel gereksinimlerine göre bu oran giderek azalmakta ve çok katlı yüksek yapılarda ofis kullanımının yerini konut kullanımına bıraktığı görülmektedir. Dünya genelinde yüksek yapıların %45'inin ofis yapısı olarak kullanıldığı görülürken Türkiye'de ise bu yapılar %50'den fazla oranda konut işlevindedir. İnsanlar zamanlarının büyük bir kısmını konutlarda geçirmekte olup, yüksek yapıların da kullanıcılarına standart bir konut konforunu sunması gerekmektedir. Bu çalışmada, giderek yaygınlaşma eğilimi gösteren yüksek konut yapılarındaki fiziksel iç çevre koşullarını oluşturan parametrelerin iç ortam konforu üzerindeki etkisi incelenmiştir. Seçilen ulusal ve uluslararası yüksek konut örnekleri, iç ortam kalitesini belirleyen parametrelere göre karşılaştırılmıştır. Yeni yüksek konut yapı üretiminde; tasarım, planlama, teknoloji, malzeme ve uygulama alanlarında; fiziksel çevre koşullarının, kullanıcı sağlığını olumsuz yönde etkilemeyen ve onların performansını/verimliliğini artırırken enerji verimliliği de sağlayan yöntemler belirlenmeye çalışılmıştır. Yüksek yapılar çevreye saygılı, enerji verimli ve sürdürülebilir olarak tasarlanabilmektedir. Ancak yüksekliğin arttığı her metrede bu niteliklerin etkin olarak yapıda uygulanabilirliği de azalmaktadır. Çalışmanın sonucunda, yüksek bir konut yapısında ideal iç ortam kalitesini sağlamakta en etkili öğenin yapı kabuğu olduğu görülmüştür. Yapı kabuğunun tek cidarlı olarak tasarlanması, iç ortam kalitesinin kullanıcı güvenliğiyle birlikte sürdürülebilirliğini kısıtlayabilmektedir. Fakat çift cidarlı olarak tasarlanan yapı kabuğunun katmanlı yapısıyla ısı konforun, doğal havalandırma olanağıyla temiz iç hava kalitesinin, ses yalıtımı özelliğiyle akustik konforun ve güneş kontrol elemanlarıyla aydınlatma konforunun iç ortam kalitesini ve kullanıcı güvenliğini daha kolay ve sürdürülebilir şekilde sağlayabileceği belirlenmiştir.

**Anahtar sözcükler:** İç ortam kalitesi; yapı kabuğu; yüksek konutlar; yüksek yapılar.

### ABSTRACT

High-rise buildings are constantly changing and developing since they first began to be constructed. When the development of high-rise buildings is examined, most are found being used as offices. However, according to the changing economic, social and cultural requirements of contemporary urban life, this function has been declining, and high-rise office buildings have been replaced with residential apartments. Although high-rise buildings are still primarily used as offices around the world (45%), more than 50% are used as residential buildings in Turkey. As people spend a considerable amount of time in residential spaces, high-rise buildings must also offer standard residence comforts to their users when functioning residentially. In this study, the influence of physical indoor environment parameters in high-rise residential buildings on their indoor environmental quality (IEQ) is examined. Selected national and international buildings are compared in terms of IEQ-determining parameters. To construct new high-rise residential buildings, methods—design, planning, technology, material, and application—that do not affect user health negatively and enhances the user productivity and energy efficiency have been determined. High-rise buildings can be designed to be environment friendly, energy efficient, and sustainable. However, the applicability of these factors decreases with per-meter increases in the building height. The study result indicates building skin as the most important component for obtaining an ideal IEQ. The design of the building envelope as a single façade can hamper the IEQ sustainability as well as occupant safety. However, designing the building envelope as a double skin façade offers thermal comfort with layered structure, fresh indoor air quality with opportunities for natural ventilation, acoustic comfort with noise absorption, and illumination comfort with sun control elements and can easily and sustainably ensure IEQ and occupant safety.

**Keywords:** Indoor environmental quality (IEQ); building envelope; high-rise residences; high-rise buildings.

Trakya Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı, Edirne

**Başvuru tarihi: 24.06.2016 - Kabul tarihi: 20.04.2017**

**İletişim:** Esmâ MIHLAYANLAR. e-posta: emihlayanlar@trakya.edu.tr

© 2017 Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi - © 2017 Yıldız Technical University, Faculty of Architecture

## Giriş

Yapılar, kullanıcıların gereksinimleri doğrultusunda şekillenen yapma bir çevre olup, zamanla değişim göstermiştir. Bu değişim ve farklılaşma süreci yeni bir yapı tipolojisi olan yüksek yapıları/gökdelenleri ortaya çıkarmıştır. Sürekli gelişim içerisinde olan yüksek yapılar, öncelikle merkezi alanların verimli bir şekilde iş ve barınma alanı olarak kullanılması için tasarlanmış, 20. yüzyılın sonlarından başlayarak, özellikle ikonik amaçlı olma ve en yükseğe çıkma yarışı için bir güç ve prestij aracı olarak kullanılmıştır. Türkiye’de ise 21. yüzyılda ekonomik değişim ve küreselleşmenin sonucu ortaya çıkan yeni kentli elit üst sınıf için “yeni yaşam” alanı olarak kendini göstermektedir. Dünya genelinde yüksek yapıların %45’inin ofis yapısı olarak kullanıldığı görülürken Türkiye’de ise bu yapılar %50’den fazla oranda konut ve buna ek olarak %25 oranında içerisinde konut fonksiyonunun da bulunduğu karma yaşam alanları olarak kullanılmaktadır.<sup>1</sup>

Yapının amacı; insanın temel gereksinimlerini karşılayarak yaşamını sağlıklı bir biçimde sürdürmesini sağlamaktır.<sup>2</sup> Giderek doğal çevreden uzaklaşan insanlar, kentlerde yapılardan ve iç mekân donanımlarından oluşan yapay çevrede hayatlarını sürdürmeye başlamışlardır.<sup>3</sup> Bu durum zamanla insanlarda, yapay çevrede yaşamaktan dolayı sağlık sorunları oluşmasına neden olmuştur.

İnsanlar yaşamlarının %90’ını kapalı alanlarda geçirmekte olup kapalı alanlardaki kirliliğin açık alanlardan 2 ile 5 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir.<sup>4</sup> Bu ortamlarda iç hava kalitesinin yanında sıcaklık, ışık, gürültü gibi etmenlerin de kullanıcıların sağlık, konfor ve verimlilikleri üzerine etkileri bulunmaktadır. EPA (The Environmental Protection Agency)’nın “Sağlıklı Yapılar, Sağlıklı İnsanlar” konulu raporunda da insan sağlığı üzerinde yapı içinin etkisinin olduğu ve iç ortamdaki kirlilik düzeyinin çoğu zaman dış ortamdan daha yüksek olduğu açıklanmıştır. Yine bu raporda, yapı içi hava kirliliklerinin solunum yolu hastalıkları ve kanser ölümlerine neden olduğu belirtilmektedir.<sup>5</sup> Bunun yanında insanlarda verim düşüklüğüne ve ağır hastalıklara neden olan Hasta Bina Sendromu (HBS) ve Bina İlişkili Hastalıklar (BIH) gibi sağlık sorunlarının gün geçtikçe arttığı da görülmektedir. İç hava kalitesinin neden olduğu problemler sadece insan sağlığı üzerine etkili olmanın yanında, tedavi masrafları ve iç hava kalitesini geliştirme yönünde yapı sahiplerinin iyileştirme çalışmaları gibi maddi etkileri de bulunmaktadır. Fisk ve Rosenfeld tarafından yapılan çalışmada, iç ortam kalitesinin neden olduğu problemler için 100 milyar dolar harcandığı görülmüştür (Tablo 1).<sup>6</sup> Ayrıca

**Tablo 1.** ABD’de iç ortamda yapılacak iyileştirmeye sağlanacak ekonomik kazanç<sup>7</sup>

Verimlilik kazancı kaynağı	Etkisi	Yıllık tasarruf ve verimlilik kazancı
Solunum hastalıkları	Çok	6 – 14 milyar \$
Alerjiler ve astım	Orta	1 – 4 milyar \$
Hasta Bina Sendromu (HBS)	Orta	10 – 100 milyar \$
Çalışan performansı	Orta	20 – 200 milyar \$
Toplam etki		37 – 318 milyar \$

EPA verilerine göre Amerika’da iç hava kalitesinin neden olduğu hastalıkların tedavisi için harcanan miktar 140 milyar dolardan fazladır.<sup>7</sup> 1998 yılı itibariyle elde edilen verilere göre; solunum hastalıkları, alerji ve astım için harcanan miktar yaklaşık 18 milyar dolardır. 2007 yılı verilerine göre bu hastalıkların doğrudan tedavisi için 4.9 milyar dolar, bu hastalıkların neden olduğu dolaylı maliyetin ise 4.7 milyar dolar olmak üzere toplam ekonomik etkisinin 9.6 milyar dolara gerilediği görülmektedir.<sup>8</sup> İç hava kalitesinin ekonomik boyutunun yarattığı farkındalıkla kullanıcı sağlığına yönelik iyileştirmeler artsa da yeterli düzeye ulaşabilmiş değildir. Bu nedenle insanların kaliteli ideal bir iç ortamda yaşamaları sadece sağlık sorunlarının önlenmesinin yanında ekonomik olarak tasarruf ve kazanç da sağlamak için oldukça önemlidir.

İnsanların zamanlarını en çok geçirdiği yapıların konutlar olması nedeniyle konutların sağlıklı ve konforlu olarak tasarlanması ve işletim süresince de devamlılığının sağlanması oldukça önemlidir. Kullanıcıların konforlu ve sağlıklı bir şekilde yaşamlarını sürdürmeleri yapının iç ortam kalitesine (Indoor Environmental Quality) bağlıdır. Bu nedenle yapıların tasarımında ve planlamasında; iç ortam kalitesini belirleyen yapının konumu ve dış çevre koşulları (güneşlenme, rüzgâr, gürültü vb.), kullanıcı profili ve tercihleri, iç mekânda kullanılan malzemeler, ısı konforu, iç hava kalitesi, akustik ve aydınlatma konforu gibi tüm parametrelere ve yapı fonksiyonuna da dikkat edilmelidir. Bu bağlamda yüksek yapıların geleneksel yapı tasarımından farklı iç ve dış etkilere maruz kalması, tasarımlarının da farklı olmasına sebep olmaktadır.

Enerji tüketiminde %40’lık paya sahip olan yapılar, tüm fiziksel çevre koşullarını sağlık ve konfor içerisinde enerji verimliliğinden ödün vermeden elde etmelidir.<sup>9</sup> Yüksek yapılar; yüksek işletme enerji ihtiyacı, yapay aydınlatma ve iklimlendirme gerekliliği, yüksek gömülü enerji ve artan bakım maliyetleri sebebiyle 21. yüzyılda anti-çevreci yapılar olarak değerlendirilmektedir.<sup>10</sup>

<sup>1</sup> Sayısal veriler CTBUH veri bankası olan <http://skyscrapercenter.com/interactive-data> üzerinden 2016 yılına kadar inşası tamamlanmış yapılar dikkate alınarak elde edilmiştir.

<sup>2</sup> Vural ve Balanlı, 2005.

<sup>3</sup> Akman, 2005.

<sup>4</sup> Hess-Kosa, 2011.

<sup>5</sup> Esin, 2004.

<sup>6</sup> Fisk ve Rosenfeld, 1998.

<sup>7</sup> Kibert, 2008.

<sup>8</sup> Eriksen ve Chaloupka, 2007.

<sup>9</sup> URL-1.

<sup>10</sup> Roaf, 2005.

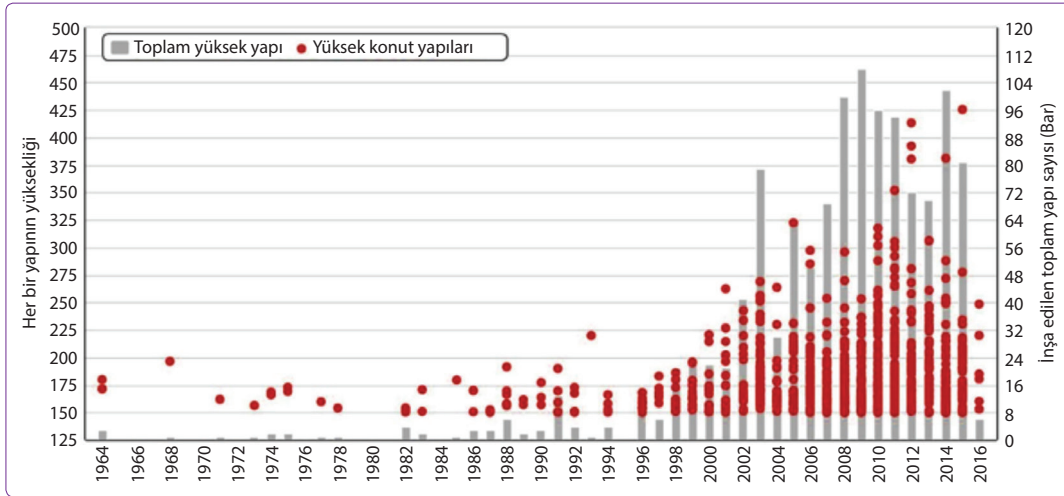
Dünyanın her yerinde üretilmekte olan yüksek konut yapılarındaki iç ortam kalitesinin kullanıcı sağlığına uygunluğu araştırılması gereken önemli bir konudur. Kullanıcı sağlığı ve sürdürülebilirlik konusunda geri dönüşün uzun vadede alınabileceği düşünüldüğünde bu konuda yapılan analizler yeni yapılacak olan tasarım ve uygulamalara yön vermede yardımcı olacaktır. Bu çalışmada, öncelikli olarak yüksek yapıların konut endekslili dönüşüm sürecinin tarihsel gelişimi ve işlevlerin oransal dağılımı grafik ve diyagramlarla incelenmektedir. Yüksek konutlar için iç ortam kalitesini etkileyen parametreler ve yapı özellikleri literatürdeki 2000 yılından itibaren yapılmış çalışmalar doğrultusunda, seçilen ulusal ve uluslararası örnek yapılar üzerinden oluşturulan tablolar yardımıyla karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

### Yüksek Yapılar ve Dönüşüm Süreci

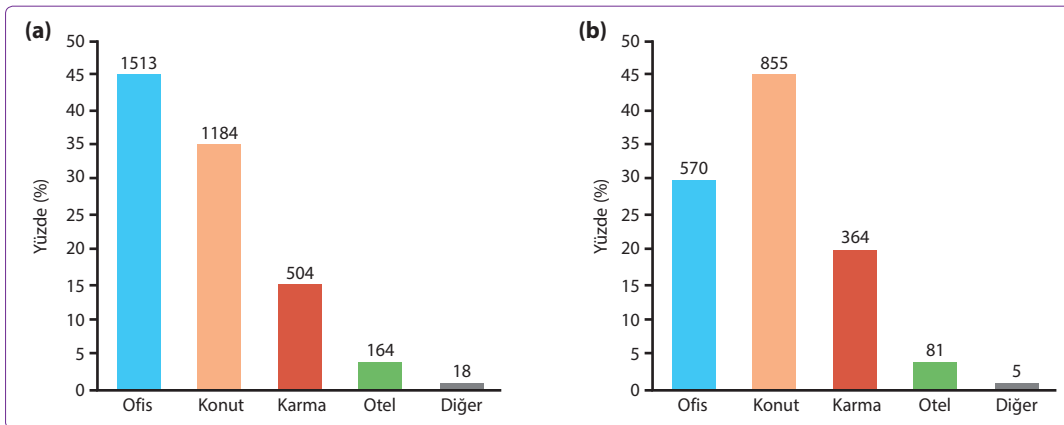
Yüksek yapılarla ilgili olarak uzman kişilere, sözlüklere, kuruluşlara ve yönetmeliklere göre farklı tanımlar bulunmakla birlikte sınırları kesin çizgilerle belirlenmemiş olan gelişmiş bir terminoloji vardır. Bu durumun nedeni yükseklik kavramının göreceli olup yer ve zaman içinde tutarlı ol-

mamasıdır. 21. yüzyılda ise yapı yüksekliği, açık-hava yaya girişinden itibaren, anten ve bayrak direğini ihmal ederek, yapı tepesine kadar olan mimari/taşıyıcı sistem yüksekliğiyle belirlenmektedir. Yüksek yapılarla ilgili uluslararası kuruluş olan CTBUH'a (The Council on Tall Buildings and Urban Habitat) göre yüksek yapı, yüksekliğin planlamayı, tasarımı ve kullanımını önemli ölçüde etkilediği ve yüksekliğinin belli bir bölge ve zaman dilimindeki diğer yapılardan farklı tasarım, yapım ve kullanım koşulları olan yapı şeklinde tanımlanmaktadır.

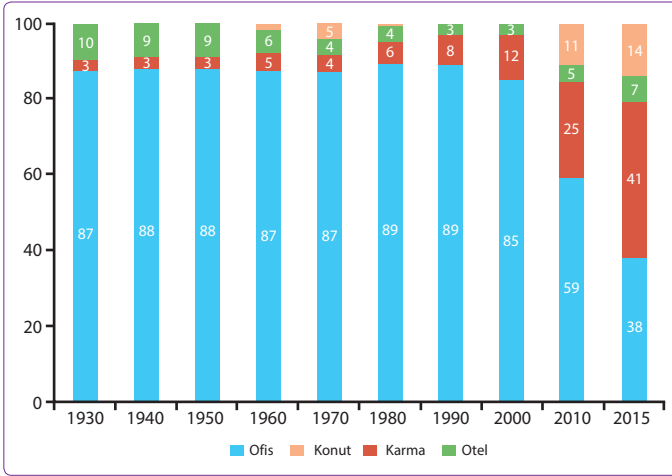
İlk olarak merkezi kent alanlarında inşa edilen yüksek yapılar genel olarak ofis veya otel işleviyle kullanılmışlardır. 21. yüzyılda yaşanan teknolojik gelişmeler paralelinde yüksek yapıların işlevleri, daha fazla konaklama amaçlı otel ve konut kullanımının yanında eğitim, kamu vb. diğer çeşitli hizmet alanları gibi yeni işlevleri de içermektedir. 2016 yılına kadar inşa edilmiş olan CTBUH verilerine göre tüm yüksek yapılar incelendiğinde gelişmemiş ve gelişmekte olan toplumlarda hızla artan nüfusun barınma ihtiyacını karşılamak için konut olarak kullanım eğilimi giderek artmaktadır (Şekil 1 ve 2).



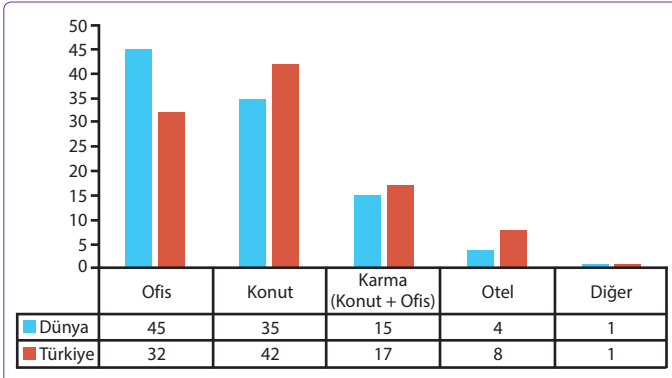
Şekil 1. Yüksek konut yapılarının yıllara göre sayısal değişimi.



Şekil 2. 2016 yılına kadar inşa edilmiş yüksek yapıların (a) ve son 10 yılda inşa edilmiş olan yüksek yapıların (b) işlev dağılımı.



Şekil 3. En yüksek 100 yapının yıllara göre işlev dağılımı, 2015.

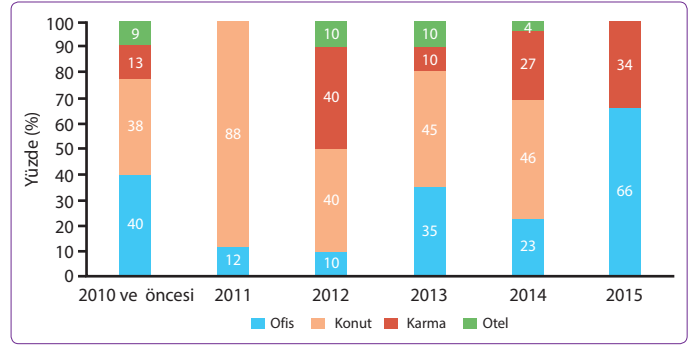


Şekil 4. Dünya ve Türkiye'deki yüksek yapıların karşılaştırmalı işlev dağılımı.

1960'dan 2000 yılına kadarki süre içerisinde inşa edilmiş en yüksek 100 yapının %88'i ofis yapısı iken sadece %1'lik bir oranda bu yapılar konut olarak kullanılmaktaydı.<sup>11</sup> 2010 yılı sonunda ofis olarak kullanılan yapı sayısı azalarak %47'ye gerilerken konut kullanımı %15'e yükselmiştir. 2015 yılında ise ofis kullanımı %38'e kadar düşmüş olup, konut kullanımı ve karma kullanım %14 ve %41 olmak üzere toplamda ofis kullanımının üstüne çıkmıştır<sup>12</sup> (Şekil 3).

Türkiye'de yüksek yapıların ilk gündeme geldiği dönem 1950 sonrasıdır ve yapı üretimi içindeki payı oldukça düşüktür. Dünyada olduğu gibi Türkiye'de de yüksek yapılar merkezi ticaret ve iş alanlarında yaygın olarak ofis işlevinde kullanılmıştır. 2000'lere kadar yaygın olarak ofis işleviyle kullanılırken 2000 yılından sonra bu eğilim farklılaşarak daha çok yüksek konut yapıları olarak devam etmiştir. Özellikle 2000 yılından sonraki süreç incelendiğinde Türkiye'de yüksek yapıların daha çok konut işleviyle kent merkezlerinde yaygınlaştığı görülmektedir (Şekil 4).

Türkiye'de Dünya'ya göre daha hızlı gerçekleşen konut endeksli dönüşüm yerini karma işlevli yüksek yapılara bı-



Şekil 5. Türkiye'de yüksek yapıların son 5 yıllık işlev dağılımı.



Şekil 6. İç ortam kalitesini belirleyen temel parametreler.

rakmaya başlamıştır (Şekil 5). Türkiye'de son yıllarda "yeni yaşam" alanları olarak tanımlanan yüksek konut yapıları, kullanıcılarına kaliteli yaşam ortamını sunduğu düşüncesiyle pazarlanmaktadır. Fakat kullanıcılarını doğal ortamdan izole eden bu yapıların kapalı birer kutu yaşamı sunduğu da bir gerçektir.

### Yüksek Konut Yapılarında İç Ortam Kalitesi

İç ortam kalitesi, yapı içerisindeki hava kalitesini, ısı, aydınlatma ve akustik konfor koşullarını, koku ve ortam titreşimleri gibi diğer ergonomi koşulları ile bunların kullanıcı üzerindeki etkilerini kapsamaktadır<sup>13</sup> (Şekil 6). İyi bir iç ortam kalitesi kullanıcıların sağlığını geliştirirken, yapının gayrimenkul değerinin artmasını ve yapı sahibinin sorumluluklarının da azalmasını sağlamaktadır.

Yapıların tasarımları, kullanılan malzemeler, teknolojiler ve uygulamaların etkisinin yanında kullanıcıların tercihleri ve davranışları da iç ortam kalitesini etkilemektedir. Özellikle yüksek yapıların tasarımı düşünüldüğünde yükseklikle birlikte ortamın değişen fiziksel ve psikolojik et-

<sup>11</sup> CTBUH, 2010. <sup>12</sup> Gabel, 2015.

<sup>13</sup> Kim, de Dear, 2012 ve URL-2.

kileri kullanıcıların farklı davranışlar göstermesine neden olabilmektedir. Ayrıca her kullanıcının bireysel olarak iç ortam kalitesini etkileyen parametrelere verdiği önem de farklılık göstermektedir. İç ortam kalitesini belirleyen parametrelerin önemi üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. Bu bağlamda Hong Kong'da kamu ve özel sektörün inşa ettiği yüksek konut yapılarında, belirlenen dört temel nitelik olan; ısı konforu, iç hava temizliği, koku ve gürültünün bu yapılarda algılanan performansları ile kullanıcıların önem algıları araştırılmıştır. Bunlar arasında ısı konforu büyük çoğunluk tarafından en önemli nitelik olarak görülmektedir. Buna göre iç ortam kalitesi için ısı konforunun %34, gürültünün ve iç hava temizliğinin %23, ortam kokusunun ise %20 oranında önemli olduğu kullanıcılara uygulanan anketle tespit edilmiştir.<sup>14</sup>

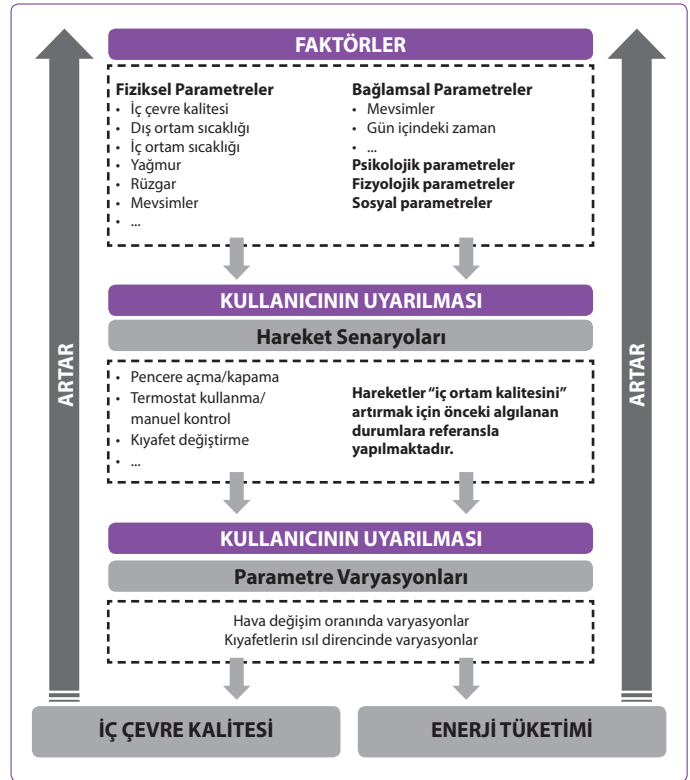
İç ortam kalitesi artırılırken yapılarda enerji tasarrufunun da sağlanmasına dikkat edilmelidir. Yapılarda enerji tüketiminde kullanıcılar da etkin bir role sahiptir. Schweiker, kullanıcı davranışlarının etkisini "insanların yapılı çevrenin fiziksel parametrelerini kontrol etmek için bilinçli ya da bilinçsiz hareketleri, onların algıladıkları çevreyle geçmiş deneyimlerinin karşılaştırmasına dayanır" şeklinde değerlendirmiştir.<sup>15</sup> İç ortam kalitesinde kullanıcıların fiziksel ortam koşulları, bağlamsal koşullar, kişilerin psikolojik ve fizyolojik durumları belirleyici rol oynamaktadır<sup>16</sup> (Şekil 7). Kullanıcıların yapının iç ortam kalitesini arttırmak için yaptığı her harekette tüketilen enerjinin de artmasına neden olmaktadır.

Corgnati ve arkadaşlarının yapmış olduğu iç ortam kalitesi sınıfları ve yapının ısıtma-soğutma enerji ihtiyacının değerlendirilmesi konulu çalışmasına göre kullanıcı konfor gereksinimleri açısından ısı konforu ve iç hava kalitesi en yüksek enerji giderlerini oluşturmaktadır.<sup>17</sup>

Bu çalışma kapsamında yüksek konut yapılarında iç ortam kalitesini belirleyen ısı konforu, iç hava kalitesi, akustik, aydınlatma konforu ve ortam titreşimi parametreleri incelenmiştir. İç ortam kalitesini belirleyen diğer bir parametre olan koku kalitesi kaynaklarda yeterli bilgilerin bulunmaması ve her bir yapının yerinde yapılmış inceleme sonuçlarına ihtiyaç duyulması nedeniyle bu çalışma kapsamında değerlendirmeye alınmamıştır. Her bir parametre için yüksek konutlar üzerine yapılan literatürdeki çalışma sonuçları üzerinden, seçilen örnek yapılar karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir.

### Isıl Konfor Kalitesi

Isıl konfor; ASHRAE (The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) - 55 "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy" ve ISO (International Organization for Standardization) - 7730



Şekil 7. İç ortam kalitesi ve enerji tüketiminde kullanıcı etkisi akış diyagramı.

"Ergonomics of the Thermal Environment"da "insanın bulunduğu ortamın ısı koşullarından hoşnut olması" olarak tanımlanmaktadır.<sup>18</sup> Bir yapma çevredeki kullanıcı ısı konforunun belirlenmesinde; hava sıcaklığı, bağıl nem, hareket hızı ve ortalama radyan sıcaklık gibi iç ortama ait parametreler ile kıyafetlerin yalıtım direnci ve metabolizma hızı gibi kullanıcıya ilişkin parametreler etkilidir. Temel olarak ısı konforu, vücut ile çevre arasında meydana gelen ısı değişiminin bir sonucu olup, ısı konforunun sağlandığı yerde bu değişim minimum düzeydedir.<sup>19</sup>

Yapı kabuğu; iç ortamı dış ortamdaki ayırarak iç ortamın kullanıcı konforuna uygun koşullarda olmasını sağlamaktadır. Dış ortamda görülen sıcaklık, rüzgâr, güneş ışınları ve iklim olaylarına karşı yapıyı koruma görevi olan yapı kabuğunun iç ortamın ısı konforunu belirlemede de önemli yeri bulunmaktadır. Yüksek yapılarda yapı kabuğunun miktarı normal bir yapıdan daha fazla olduğundan geleneksel bir yapıdan farklı tasarım yaklaşımları, malzeme seçimi ve uygulamalar gerekmektedir. Isı kaybı/kazançlarının ortalama %75'lik kısmı yapı kabuğundan olurken diğer kayıp ve kazançların büyük bir kısmı da yapının yönlenmesi ve yapı kabuğunda bulunan havalandırma açıklıklarından kaynaklanmaktadır.<sup>20</sup> Ayrıca, yapılardaki ısı kaybı/kazançları iç

<sup>14</sup> Laj, vd., 2009.

<sup>16</sup> Fabi, vd., 2012.

<sup>15</sup> Schweiker, 2010.

<sup>17</sup> Corgnati, vd., 2011.

<sup>18</sup> Mirrahimi, vd., 2016; ASHRAE 55, 2013 ve ISO 7730, 2005.

<sup>19</sup> Parsons, 2002.

<sup>20</sup> Mirrahimi, a.g.e.



**Tablo 2.** Camlar, ısı ve aydınlatma performansları

Cam Tipi	Katman sayısı	Işık geçirgenliği	Gölgeleme katsayısı	Güneş ısı kazancı katsayısı	U-değeri (W/m <sup>2</sup> /K)
Tek cam (6 mm)	1	0.88	0.95	0.81	6.4
Renkli tek cam (6 mm)	1	0.65	0.73	0.62	6.0
Çift cam (6/12/6 mm)	2	0.78	0.81	0.70	2.74
Low-e çift cam (6/12/6 mm)	2	0.74	0.65	0.56	1.78

ortamın ısı konforunu belirlemede önemli rol oynasa da yapıyı ısıtmak ve soğutmak için harcanacak olan enerji tüketimini de etkilemektedir.

Özellikle 21. yüzyılda inşa edilen yüksek yapıların şeffaf yüzey oranı fazla olmakla birlikte bu oran giderek artmaktadır. Yüksek yapılar gelişen yapı sistemleri ve malzemeleriyle birlikte giderek daha hafiflemiş durumdadır. Bu nedenle yapı kabuğunun ısı direnci de düşmektedir. Geliştirilen yalıtımlı U-değeri (ısı geçirgenliği) daha düşük cephe malzemeleriyle ve cam özelliklerinin iyileştirilmesiyle yüksek yapılardaki fazla ısı kayıp/kazançlarının önüne geçilmeye çalışılmaktadır. Fakat sadece camların ısı direncinin artırılması ısı kayıp/kazancını kontrol etmek için yeterli değildir. Yapının saydam yüzeylerinin güneşlenmeyle birlikte iç ortam konforunu düzenleyici gölgeleme elemanlarına ya da camın yapısında ışığın kontrollü geçişine izin veren katmanların bulunması da gerekmektedir. Bu sebeple geliştirilen farklı camların ısı ve aydınlatma performansları Tablo 2’de verilmiştir. Tek cidarlı olarak tasarlanan yüksek konutlar için maksimum ısı direnç film katmanlı veya katmanlı camlarla sağlanmaya çalışılmaktadır.<sup>21</sup>

Şeffaf yüzeylerin dışında opak yüzeylerin de yalıtımı yapılarak gerekli ısı konfor elde edilmelidir. Böylelikle yüzey sıcaklıkları artırılarak ısı konfora katkı sağlanacaktır. Mirrahimi vd.’nin çalışması sonucunda yüksek yapıların ısı konforunu etkileyen parametrelerin; yapının yönelmesi, yapı formu ve en/boy/yüksek ilişkisi, dış duvar, çatı, kullanılan cam ve gölgeleme elemanları olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu parametrelerin yine yapının enerji tüketiminde de etkili olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Optimal cephe saydamlık oranı, uygun katmanlı camların kullanımı ve doğru gölgeleme elemanlarının seçimiyle yapının ısı konforu artarken enerji tüketen mekanik sistemlere olan bağlılık azalacaktır.<sup>22</sup>

Bunların dışında yüksek konutlarda tek cidarlı cephe sistemleri yerine çift cidarlı cephelerin kullanımı ısı konforu artırıcı etkiye sahiptir. Çift cidarlı sistemlerde cam cidarları arasındaki hava tabakası aşırı ısınmaya, rüzgâra ve sese karşı önlem olarak yalıtım sağlar. Güneş kontrol bileşenleri ise genellikle bu tabakalar arasındaki boşlukta bulunur. Ara

boşluk; geniş hacimli hava kanalları gibi bir tampon bölge oluşturarak kullanım alanlarını çevreler ve yapma çevreye gerçek dış ortam koşullarından daha faydalı yeni bir dış ortam oluşturur.<sup>23</sup> Poirazis’in çift cidarlı cephelerin karşılaştırılmalı literatür incelemesinde bu cephe sisteminin ısı açıdan kış ve yaz dönemleri için bir tür yalıtım işlevi gördüğü ve iç ortamın ısı konforunu sağlamaya yardımcı olduğu belirlenmiştir.<sup>24</sup> Ayrıca, çift cidarlı giydirmeye cephelerin ısı yalıtımı sağlamasıyla ısı kayıp/kazanç miktarını azaltmak ve iç ortam sıcaklığını konforlu kılmak için iç ve dış cephe yüzeyleri arasındaki boşluğunun az olması gerekmektedir. Çünkü sistemin verimli çalışması boşluğun derinliğine bağlıdır ve boşluk arttıkça çift katmanın yalıtım değeri düşmektedir. Cephenin etkin performansı için yüzeyler arasındaki boşluğun 75 cm’yi geçmemesi belirtilmektedir.<sup>25</sup>

### İç Hava Kalitesi

Sağlıklı bir iç hava kalitesi ASHRAE - 62 “Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality” standardına göre; içinde bilinen kirleticilerin, yetkili otoriteler tarafından belirlenen zararlı konsantrasyonlar seviyelerinde bulunmadığı ve bu ortam içinde bulunan insanların en az %80’inin, havanın kalitesiyle ilgili herhangi bir memnuniyetsizlik hissetmediği hava olarak tanımlanmaktadır.<sup>26</sup> Yapılarda iç hava kalitesi sabit değildir. Çünkü yapının hava kalitesi, kirletici kaynağına olan uzaklığa ve havalandırmaya bağlı olarak değişmektedir.<sup>27</sup> Bu bağlamda bir ortamdaki iç hava kalitesi, o ortamdaki kirlilik ve temizlik (iyileştirme, havalandırma) durumunun bir sonucu olarak özetlenebilir. Ayrıca kapalı bir mekânın hava kalitesini belirleyen en önemli parametreler dış ortam hava kalitesi ve iç hava kirleticilerin türleri ve yoğunluklarıdır.

Dış ortamın hava kirliliği de iç ortamın hava kalitesini etkilemektedir. Yüksek yapılarda enerji verimliliği açısından ve daha sağlıklı konfor koşullarını elde etmeye yardımcı olan doğal havalandırma olanağına sahip cepheler hava kirliliği yüksek bölgelerde ise dezavantaj yaratmaktadır. Bu bölgelerde iç ortamı havalandırmak için açılan pencereler ortamın kontrolsüz olarak daha da kirlenmesine ne-

<sup>21</sup> Hassan ve Al-Ashwal, 2015.

<sup>22</sup> Mirrahimi, a.g.e.

<sup>23</sup> Örkmez ve Çetiner, 2012.

<sup>26</sup> ASHRAE, 2013.

<sup>24</sup> Poirazis, 2004.

<sup>27</sup> European Collaborative Action, 1992.

<sup>25</sup> Özgen ve Sev, 2003.

den olabilmektedir. Bu nedenle yüksek konutlarda yaygın olarak mekanik havalandırma sistemleri kullanılmaktadır. Fakat bu sistemlerin iç ortamdaki havayı filtreleyerek tekrar ortama geri vermesi ve genellikle temiz hava beslemesi olmaması sebebiyle iç hava kalitesini artırıcı etkisi bulunmamaktadır. İç ortamın en büyük nem kaynağının dış hava olduğu düşünüldüğünde, HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning) sistemlerde havanın sadece filtrelemeyle mekân içinde deviniminin sağlanması özellikle kış döneminde HVAC sistemine nem takviyesi yapılması ihtiyacına neden olmaktadır.

Yüksek konutlar, tasarımları ve yükseklikleri gereği, ideal iç hava kalitesini geleneksel yapılardaki gibi kolay olarak sağlayamamakta ve bu durum enerji verimliliğini azaltmaktadır. Yüksek yapıların tasarımında tercih edilen cephe sistemine bağlı olarak yapının doğal havalandırma olanağına sahip olması değişiklik göstermektedir. Bu yapıların tümünde doğal havalandırmaya sahip olma olanağı yoktur. Yapı yükseldikçe ona etki eden rüzgâr yükünün ve hızının artması pencerelerin açılmasını engellemektedir. Dubrul'un çalışmasına göre 8 m/sn hız ve üzerindeki rüzgârda yüksek yapılarda pencere açmanın, ortamın konforu ile yapısal olarak basınç ve yük etkisini olumsuz etkilemesinden dolayı, mümkün olmadığı belirlenmiştir.<sup>28</sup> Buna rağmen yapının yükselmesi dış ortamdaki kirlilikten olumsuz etkilenmeyi azaltmaktadır. Dış ortam kirliliğin fazla olduğu bölgelerde yer alan konutlar için alt katlardaki mekânların kontrollü doğal havalandırma planlanması gerekmektedir. İsviçre'deki Bern Üniversitesi'nde yapılan bir araştırma ise bu yaklaşımı doğrulamaktadır. Çalışmaya göre 8. kattan daha yüksek katlarda yaşayan kişilerde akciğer hastalıklarının %40 oranında daha az görüldüğü tespit edilmiştir.<sup>29</sup>

Sezer'in yüksek yapılarda yaşayan kullanıcılarla yaptığı anket çalışmasında ise kullanıcılar mekanik olarak ortamın iklimlendirilmesi ve havalandırmasından memnun iken doğal havalandırma ve pencere açma isteklerinin de olduğu görülmektedir. Buna göre kullanıcıların %55'i doğal temiz hava isteğiyle pencere açmak isterken %32'si psikolojik rahatlık, %13'ü ise elektrik kesintisinde HVAC sisteminin yerine alternatif olması için pencerelerin açılabilir olmasını tercih etmektedir.<sup>30</sup> Aynı çalışmada %27'si havalandırma dengesinin bozulacağı düşüncesiyle doğal havalandırmaya gerek olmadığı, %23'ünün pencerenin açık unutulması durumunda tehlikeli olabileceğini düşünmesi, %19'u psikolojik etkiyle intihar tehlikesi yaratması, %16'sı rüzgârın olumsuz etkilemesi ve %10'u ortamın ısı konforunu olumsuz etkileyebilmesi nedenleriyle pencerelerin açılmamasının gerektiğini düşünmektedir.<sup>31</sup>

Sürdürülebilir şekilde temiz hava kaynağının sağlanabilmesi için yüksek konutların cepheleri çift cidarlı olarak

tasarlanması daha avantajlıdır. Böylece havalandırma kanalları yardımıyla doğrudan dış ortama açılan pencereler olmaksızın hem yapı kullanıcılarının hem de yapının güvenliği sağlanarak havalandırma gerçekleştirilebilir.

### Akustik Kalite

Yapılar için akustik konforun belirlenmesinde yapı ve hacim akustiği olmak üzere iki parametre etkilidir. ISO 16283-3 "Acoustics -- Field Measurement Of Sound Insulation In Buildings and Of Building Elements" standardının normal saydığı gürültü düzeyi 58 dB'dir.<sup>32</sup> Bu değer üzerindeki sesler kullanıcıların akustik açıdan konforsuz hissetmelerine neden olmaktadır. Yapı içerisindeki akustik konforu belirleyen gürültü kaynakları üç grupta sınıflandırılabilir. Dışarıdan gelen gürültüler, birimler arasındaki aktiviteler ve yapı servis sistemleri (asansörler, HVAC, vb.) bu kaynakları oluşturmaktadır.

Her yapının kullanıcılarına yönelik gürültü önleyici tedbirlerin alınmasına dikkat edilirken tüm yapıların bir araya gelmesiyle oluşan dış çevrenin gürültü kontrolüne de dikkat edilmelidir. Yüksek yapıların kent merkezlerinde inşa edilmesinin bir nedeni olan kolay ve geniş bir ulaşım ağına sahip olma, trafiğin yarattığı gürültü nedeniyle yapıların konfor seviyesinin düşmesine de neden olmaktadır. Yapıların gürültü açısından tasarımını etkileyen parametreler; yapının yönelmesi, gürültü kaynağına olan uzaklık, gürültü kaynağı ve çevresindeki diğer yapılara göre konumu ve formudur.<sup>33</sup> Bu parametreler doğrultusunda yüksek konutların tasarlanmasında yapı ve hacim akustiği açısından farklı önlemler alınmalıdır.

Ses yalıtımı sağlamak için yapı kabuğunun kütesinin fazla olması gerekirken ses dalgalarını emmek için de esnek olmalıdır. Yüksek yapılarda kullanılan giydirme cephelerin bu performansı artan yükseklikler karşısında elde etmesi zordur. Bu nedenle cephe sisteminde kullanılan camların standart camlardan farklı olması gerekmektedir. Normal tek camlı pencerelerle karşılaştırıldığında çok katmanlı pencere üniteleri daha yüksek ses yalıtım özelliğine sahiptir. Ancak bu değer ortalama olarak 32 dB üzerine çıkamaz. Bu durumda pencerelerden gelecek gürültülere karşı yeterli yalıtımın sağlanması için cam kalınlıklarının veya iki cam arasındaki mesafenin artırılması gerekir.<sup>34</sup>

Tablo 3'de görüldüğü üzere, cam kalınlıklarındaki artışın, laminasyon ve çift cam kullanımlarının, gürültü kontrolünde sınırlı katkıları olurken, cam aralığının 20 cm ya da daha fazla bir genişliğe ulaşması ses yalıtımında önemli gelişmelere yol açabilmektedir. Her iki camdan birinin kalınlığı diğerine nazaran %33 oranında artırılması durumunda ise ses geçirgenliği bir miktar daha azalabilmektedir.<sup>35</sup>

<sup>28</sup> Dubrul, 1998. <sup>29</sup> URL-3. <sup>30</sup> Sezer, 2004. <sup>31</sup> Sezer, a.g.e.

<sup>32</sup> ISO 16283-3, 2016.

<sup>33</sup> Oral, vd., 2004.

<sup>34</sup> Güzel ve Sönmez, 2002.

<sup>35</sup> Güzel ve Sönmez, a.g.e.

**Tablo 3.** Çeşitli camların gürültü yalıtım değerleri

Cam türü	Yalıtım değeri
12 mm tek cam	31 dB
10 mm tek cam	30 dB
6 mm tek cam	27 dB
6+12+6 düzeninde oluşturulmuş çift cam	29 dB
6+200+6 düzeninde yerleştirilmiş aralıklı cam	41 dB
6 mm laminasyonlu cam	29 dB

Yüksek konutlarda iç ortamın hava kalitesini artırmak için kullanılan HVAC sistemler bir iç gürültü kaynağı olarak mekânın akustik konforu için dezavantaj oluşturabilmektedir. Ofis olarak kullanılan yüksek yapıların gürültü seviyesi eşik değerinin konuta göre daha yüksek olması bu sistemlerin konutlarda kullanımı durumunda kullanıcı konforunu daha çok etkilediği görülmektedir. Gelişen teknolojiyle birlikte yüksek yapılardaki taşıyıcı elemanlar hafiflerken kanal hava hızları artmış, makine odaları daha küçük planlanırken sistemlerin çalışma hızı artmıştır. Bu durum mekanik ve HVAC sistemlerden kaynaklı olan gürültüyü çoğaltmıştır.<sup>36</sup> Sistemin kendisinin gürültü kaynağı olmasının yanında havalandırma kanallarının sürekliliği sebebiyle bir ortamdaki sesin başka bir ortama bu kanallar yoluyla iletilmesiyle iç ortamın akustik konforu olumsuz etkilenmektedir. Bu durumu önlemenin yolu ise iklimlendirmenin mekanik olmaksızın mümkün olduğu kadar doğal havalandırma sağlanmasıdır. Bu doğrultuda çift cidarlı olarak tasarlanan yüksek konutlarda cephe sisteminin sağladığı ısı konforu ve iç hava kalitesi akustik konforun da sağlanmasına yardımcı olabilmektedir. Eğer HVAC sistem kullanılıyorsa gürültülerin önüne geçmek için uygun yalıtımların sistem boyunca yapılması gerekmektedir.

### Aydınlatma Kalitesi

Günişliği doğru ve uygun bir şekilde kullanıldığı zaman, yapı kullanıcılarının konforlu bir görüş alanı içinde kolaylıkla ve verimli olarak eylemlerini gerçekleştirmelerini sağlayan etkin bir doğal aydınlatma tasarlanmış olur. İç hacmin aydınlatılması için yeterli ve uygun günişliği, sadece kullanıcıların çevreyi rahat görmesini değil, aynı zamanda herhangi bir yorgunluk ve görsel rahatsızlık olmadan eylemlerini verimli ve etkin bir şekilde gerçekleştirilmesini de sağlamalıdır.<sup>37</sup>

Görsel konfor, ısı konforu ve enerji tüketimi birbiriyle bağlantılı üç kavramdır. Yapının iç ve dış ortam ile görsel bağı kurması için yeterli saydam yüzeyin yaz döneminde aşırı ısınmayı kış döneminde ise gereksiz ısı kayıplarını önleyici ısı konforu da sağlaması gerekmektedir. Böylece mekânın

aydınlatılması ve ısıtma-soğutma için harcanacak olan enerjiden tasarruf edilerek enerji verimliliği de sağlanır.

Yüksek yapılarda aydınlatma seviyesini ve kalitesini etkileyen parametreler; yapının yönelmesi, plan formu ve en/boy oranı, çekirdeğin konumu, cephe sistemi ve malzemesi, cephedeki saydam yüzey miktarı ve güneş kontrol elemanlarıdır.

Yapı kabuğu, genellikle giydirme sistem olup yapının bulunduğu çevre ve iç ortam konfor koşullarına bağlı olarak tek ya da çift cidarlı olabilmektedir. Şeffaflık oranı yüksek olan bu cephelerde, cam yüzey alanındaki artış doğal aydınlatma imkânını arttırmaktadır. Mekân derinliğinde sağlanan artışla birlikte, günişliğinden maksimum derecede yararlanılarak yapay aydınlatma maliyetlerinin azaltılması da mümkün olmaktadır.<sup>38</sup> Tek ya da çift cidarlı cam giydirme cephe sistemlerinde kullanılan, çoğunlukla yatay ya da düşey olarak seçilen ve açılı otomasyona ve/veya kullanıcı kontrolüne bağlı olarak değiştirilebilen güneş kırıcı bileşenler sayesinde günişliği kontrollü olarak sağlanmaktadır. Ayrıca, kamaşmanın önlenmesiyle iç ortamdaki görsel konfora katkı sağlanması da söz konusudur.<sup>39</sup>

Xue vd.'nin yüksek konutlarda yaptığı bir çalışmada kullanıcıların aydınlatma konforu ve davranışlarında gün ışığının etkisi araştırılmıştır. Buna göre; ışığın aynı seviyede algılanması, ısı rahatsızlık, dış ortamla görsel bağın engellenmesi, yazın fazla güneşlenme zamanları, kışın ise beklenen güneşlenme zamanı ve yapı yönelmesi günişliği memnuniyetini etkileyen parametrelerdir. Işığın aynı seviyede algılanması kullanıcıların psikolojik olarak gün ışığına karşı duygularını etkilerken, dış ortamla görsel bağın kesilmesi görsel konfor için en önemli parametredir.<sup>40</sup>

### Ortam Titreşimi Kalitesi

Yüksek yapılar için ortam titreşim kalitesini belirleyen en önemli parametre yapının bulunduğu çevredeki rüzgâr hareketleridir. Rüzgâr yükünün etkisinin az katlı yapılar için statik, çok katlı yüksek yapılar için ise dinamik özellikte olduğu görülmektedir. Bu nedenle artan her yükseklikte bu yapıların rüzgârdan etkilenmesi de artmaktadır. Bu durum bazen yapının iç ortamında titreşime, bazen de yapının yatay olarak hareket etmesine neden olmaktadır. Tüm bu etkiler yapı kullanıcılarının konfor koşullarını olumsuz etkilemektedir. Yüksek yapılarda ortam titreşim kalitesini belirleyen parametreler; yapının hâkim rüzgâr yönüne göre konumu, yüksekliği, kütlesi, rijitliği ve narinlik oranıdır.<sup>41</sup>

Ortam titreşim kalitesi için yapılan araştırmalarda kullanıcıların psikolojileri önemli bir parametre olarak göz önüne alınmaktadır. Kullanıcı algı düzeyleri yapının ivmelenme değerlerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Tablo 4).<sup>42</sup> Yüksek yapıların ivmelenmelerine neden olan

<sup>36</sup> URL-4. <sup>37</sup> Fontoynt, 2002.

<sup>38</sup> Arons, 2000.

<sup>40</sup> Xue, vd., 2014.

<sup>42</sup> Mendis, vd., 2007.

<sup>39</sup> Compagno, 2002.

<sup>41</sup> Tozan, 2013.



**Tablo 4.** Yapı ivmelenmesine bağlı olarak değişen kullanıcı algıları

Seviye	İvme (m/sn <sup>2</sup> )	Etki
1	<0.05	İnsanlar hareketi hissedemez.
2	0.05 – 0.10	• Hassas insanlar hareketi hisseder. • Asılı objeler yavaş şekilde hareket edebilir.
3	0.10 – 0.25	• İnsanların çoğu hareketi hissedebilir. • Hareket masada iş yapmayı etkileyebilir. • Uzun süreli maruz kalma hastalığa neden olabilir.
4	0.25 – 0.40	• Masada çalışma zor duruma ya da imkânsız hale gelir. • Yürümek mümkündür.
5	0.40 – 0.50	• İnsanlar güçlü bir şekilde hareketi algılar. • Normal yürümek zorlaşır. • Ayaktaki kişiler dengelerini kaybedebilir.
6	0.50 – 0.60	Çoğu insan harekete tahammül edemez ve normal yürüyemez.
7	0.60 – 0.70	İnsanlar yürüyemez ya da harekete tahammül edemez.
8	>0.85	Nesneler düşmeye başlar ve insanlar yaralanabilir.

en temel etki rüzgârdır. Rüzgâr kaynaklı ivmelenmeler kabul edilebilir değerlerin üzerinde ise rüzgâr anında yapıyı kullanmak güvenli olmamakla birlikte mümkün de değildir. Yapının ters rüzgâr yönünde hareket etmesi, rüzgâr yönünde eğilim hareketi ve burulma hareketinden daha önemlidir.<sup>43</sup> Yüksek yapılarda yaşayan insanlar üzerinde yapılan araştırmalarda yapı sakinlerinde mide bulantısı ve fırtına boyunca yapıyı terk etme en çok görülen şikâyetlerdir. Bunun yanında fırtına süresince görsel ve işitsel olarak da konforsuz bir ortam oluşmaktadır. Rüzgârın şiddeti artkça tuvaletlerdeki suyun taşması ve duvar gibi yapı elemanlarından gıcırtiların duyulması da mümkündür.<sup>44</sup>

Yüksek konut yapılarında iç ortam kalitesine etki eden tüm parametreler üzerine yapılan araştırmalar değerlendirildiğinde yapı özelliklerinin bu parametrelerle olan ilişkisi (doğrudan, dolaylı etkili ve etkisiz olarak) Tablo 5’de yer alan matrisle özetlenmiştir.

İç ortam kalitesini etkileyen tüm parametreler incelendiğinde yüksek bir konut yapısında ideal iç ortam kalitesini sağlamakta en etkili öğenin yapı kabuğu olduğu görülmüştür. Konut konforunu elde edebilmek için yapı kabuğunun çift cidarlı olarak tasarlanması; kullanıcıların güvenliği, iç ortam kalitesini daha kolay elde etmek ve sürdürülebilirlik için daha avantajlıdır. Çünkü yapı kabuğunun çift cidarlı olarak tasarlanması; katmanlı yapısıyla ısıl konforun, doğal havalandırma olanağıyla temiz iç hava kalitesinin, ses yalıtımı özelliğiyle akustik konforun, güneş kontrol elemanlarıyla aydınlatma konforunun ve kontrollü havalandırma ile ideal ortam titreşim konforunun elde edilebilmesine yardımcı olmaktadır (Şekil 8).

## Değerlendirme

Bu çalışmada literatürde elde edilen sonuçlar doğrultusunda seçilen beş ulusal ve beş uluslararası toplam on adet yüksek konut örneği ısıl konfor, iç hava kalitesi, akustik, aydınlatma ve ortam titreşimi kalitesi açısından karşılaştırılmıştır. Belirlenen parametreler doğrultusunda yapıların enerji verimliliği ve kullanıcı konforu üzerindeki etkileri de değerlendirilmiştir.

Ulusal yüksek konut örneklerinde yüksek konutların sayıca en çok bulunduğu İstanbul’daki yapılar seçilmiştir. Türkiye’nin en yüksek konut yapısı olan Sapphire Tower, Maslak Spine Tower, Varyap Meridian Tower A, Trump Tower-1 ve Dumankaya Icon bu kapsamda incelenen yapılar dır (Şekil 9).

Uluslararası yüksek konut örneklerinin seçiminde ise farklı coğrafyalarda yer alan ve buldukları bölgenin en yüksek konut yapıları olmasına dikkat edilmiştir. Bu kapsamda Princess Tower, Highcliff Tower ve Eight Spruce Street Tower seçilmiştir. Ayrıca sürdürülebilir yaklaşımla tasarlanmış ve konut konforunu insan ölçeğinde sunabilen yüksek konutlar olan Bosco Verticale Torre ile One Central Park incelenen diğer yapılar dır (Şekil 10).

Seçilen yapılar önce tek tek ayrıntılı incelenerek yapı künyeleri hazırlanmış ve daha sonra bu bilgiler Tablo 6 ve Tablo 7’de özetlenerek yapıların iç ortam kaliteleri ve enerji verimliliklerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Yapıların buldukları çevrenin fiziksel dış ortam (rüzgâr hızı, gürültü vb.) koşullarının değerlendirmesinde; konumlarına bağlı olarak meteoroloji verileri ile yönetmelik sınır değerleri alınmıştır. Yapı kabuğu sistemi ile yapının iç ve dış ortamında kullanılan malzemelerle birlikte kullanılan mekanik ya da pasif sistemlerin her bir iç ortam kalitesi parametresine

<sup>43</sup> Sarkisian, 2012.<sup>44</sup> Sarkisian, a.g.e.

**Tablo 5.** Yüksek konut yapılarında iç ortam kalitesi parametrelerini etkileyen yapı özellikleri (konum, tasarım, malzeme ve mekanik) ilişkisi matrisi (Yazarlar tarafından oluşturulmuştur)

		İÇ ORTAM KALİTESİ PARAMETRELERİ	Isıl konfor kalitesi	İç hava kalitesi	Akustik kalite	Aydınlatma kalitesi	Ortam titreşimi kalitesi
YAPI ÖZELLİKLERİ							
Konum	Güneşlenmeye göre yapının yönlenmesi	●	⊘	○	●	○	○
	Hakim rüzgara göre yapının yönlenmesi	●	●	⊘	○	●	●
	Dış ortam hava kirleticilerine göre konum	○	●	○	○	○	○
	Dış ortam gürültü kaynağına göre konum	○	○	●	○	○	○
Tasarım	Yapının plan şekli	●	⊘	⊘	●	●	●
	Yapının en /boy oranı	●	⊘	○	●	●	●
	Yapı derinliği	⊘	●	⊘	●	⊘	⊘
	Yapının cephe sistemi	●	●	●	●	⊘	⊘
	Cephe saydamlık oranı	●	○	⊘	●	○	○
	Açılır pencereye sahip olma	●	●	●	○	●	●
	Güneş kontrol elemanına sahip olma	●	⊘	⊘	●	○	○
Malzeme	Cephe yalıtımı	●	⊘	●	○	○	○
	Saydam elemanların özellikleri	●	○	●	●	○	○
Mekanik	İklimlendirme (ısıtma ve soğutma sistemi)	●	●	⊘	○	○	○
	Havalandırma (doğal ve/veya mekanik)	⊘	●	●	○	⊘	⊘
		● Doğrudan etkili	⊘ Dolaylı etkili	○ Etkisiz			

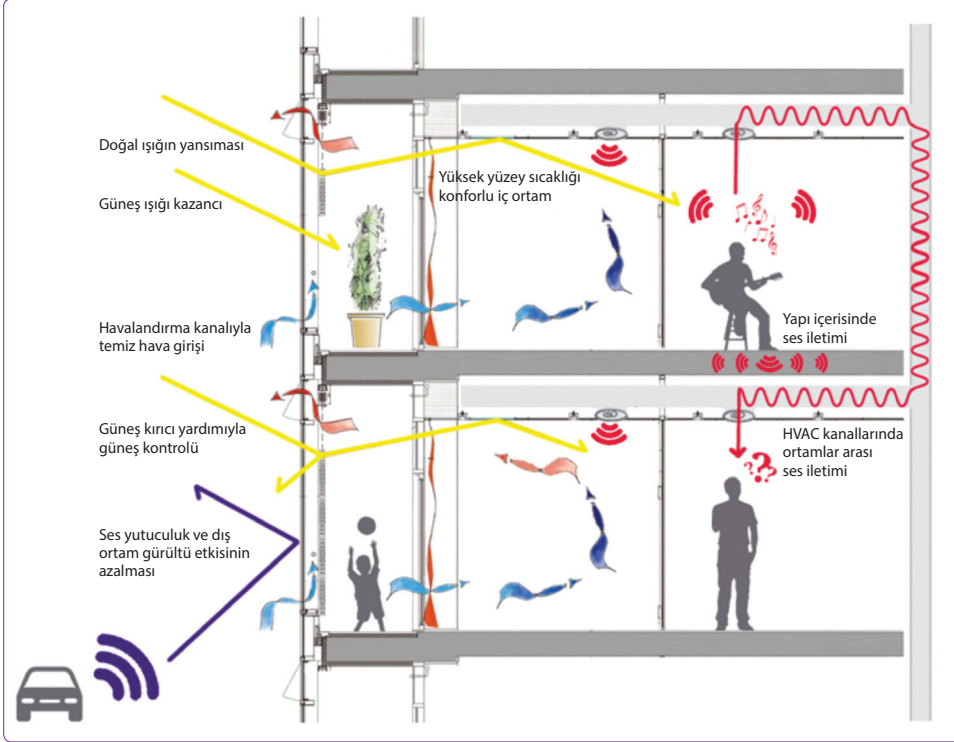
olan olumlu ya da olumsuz etkileri de literatürdeki veriler doğrultusunda değerlendirilmiştir. Tüm bu değerlendirme sonucunda enerji tasarrufu potansiyeli ile iç ortam kalitesi “yüksek, orta ya da düşük”, sağlık koşulları etkisi ise “iyi, orta ya da kötü” olarak sınıflandırılmıştır.

İncelenen farklı özelliklerdeki yüksek konutlarda, cephe

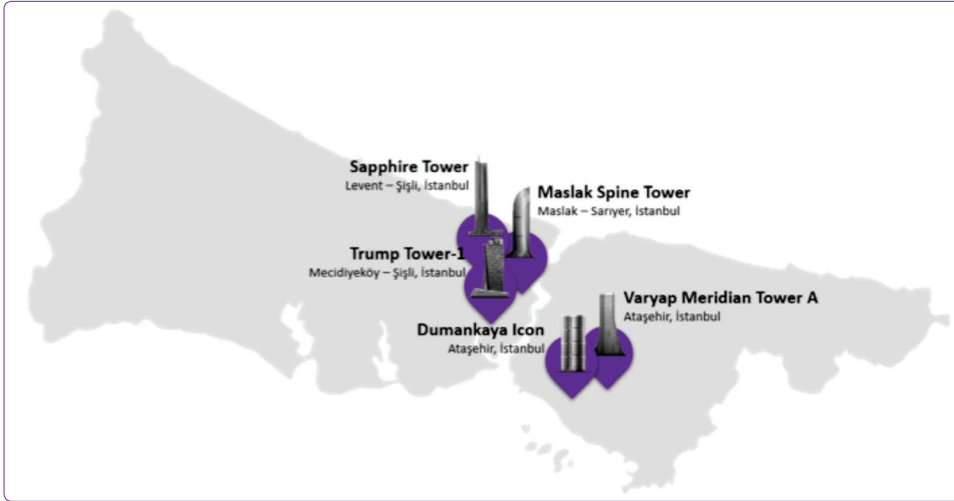
sistemi dışında tasarım ve malzeme özellikleriyle de enerji verimliliği ve kullanıcı konforunu farklı seviyelerde sağlayabildikleri görülmüştür.

### Bulgular ve Tartışma

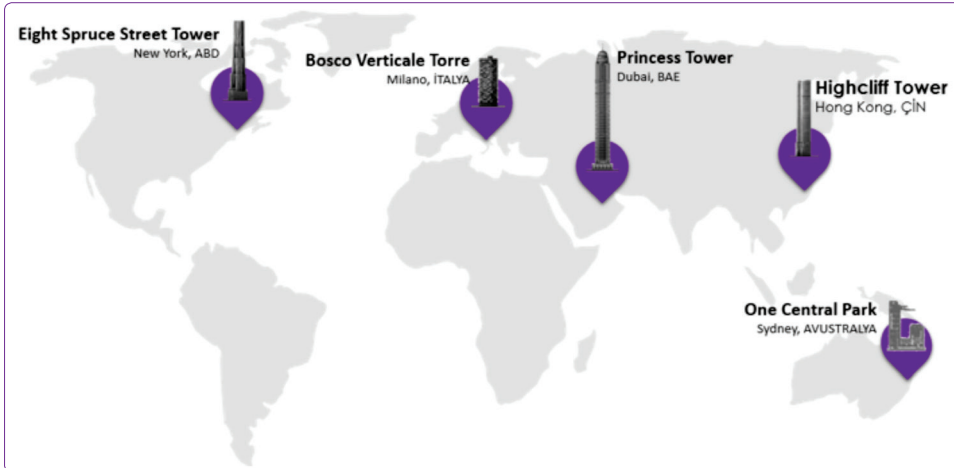
Çalışma sonucunda, yüksek konut yapılarında ideal iç



Şekil 8. Çift cidarlı cephede iç ortam kalitesi parametreleri (Yazarlar tarafından oluşturulmuştur).








Şekil 9. İncelenen ulusal yüksek konutların İstanbul'daki konumu (Yazarlar tarafından oluşturulmuştur).



Şekil 10. İncelenen uluslararası yüksek konutların Dünya'daki konumları (Yazarlar tarafından oluşturulmuştur).






**Tablo 6.** İncelenen ulusal yüksek konut yapılarının karşılaştırılması (Yazarlar tarafından oluşturulmuştur)

YAPI GENEL BİLGİLERİ		Yapı Adı	SAPPIRE TOWER	MASLAK SPINE TOWER	VARYAP MERIDIAN TOWER A	TRUMP TOWER-1	DUMANKAYA ICON
		Yapı Görseli					
		Mimarı	Tabanlıoğlu Mimarlık	İki Design Group	RMJM ve Dome Mimarlık	Brigitte Weber Architects	TAGO Architects
		Konum	İstanbul, TR	İstanbul, TR	İstanbul, TR	İstanbul, TR	İstanbul, TR
		Fonksiyon	Konut	Konut + Ofis	Konut	Konut	Konut
		Yapım Yılı	2010	2014	2013	2011	2012
		Yükseklik	261 m	202 m	188.4 m	156.3 m	149 m
		FİZİKSEL DIŞ ORTAM KOŞULLARI	Yapı Şekli ve Yönlenmesi	Plan Şekli	Dikdörtgen	Daire	Kümelı
En/Boy Oranı	1:1.4			1:1	1:1.7	1:1.7	1:1.3
Yönlenme	D – B			–	D-B / KB-GD	D – B	–
Rüzgâr	Rüzgâr Yönü		Kuzeydoğu	Kuzeydoğu	Kuzeydoğu	Kuzeydoğu	Kuzeydoğu
	Ort. Rüz. Hızı		3.2 m/sn	3.2 m/sn	3.2 m/sn	3.2 m/sn	3.2 m/sn
Hava Kirliliği	Kaynak		Trafik	Trafik	Trafik	Trafik	Trafik
	Yoğunluk		Orta	Orta	Düşük	Orta	Düşük
Gürültü	Alanı		İş + Yerleşim	İş + Yerleşim	Yerleşim	İş + Yerleşim	Yerleşim
	Seviyesi		≥ 70 dB	≥ 70 dB	≤ 68 dB	≥ 70 dB	≤ 68 dB
İÇ ORTAM KOŞULLARI	Isıl Konfor Kalitesi		Cephe Sistemi	Hava Koridorlu	Tek Cidarlı	Tek Cidarlı	Tek Cidarlı
		Kullanılan Cam Yalıtımı	Yüksek Yalıtımlı	Orta Yalıtımlı	Yüksek Yalıtımlı	Orta Yalıtımlı	Orta Yalıtımlı
		İklimlendirme	Merkezi HVAC	Merkezi HVAC	Merkezi HVAC	Bireysel HVAC	Merkezi HVAC
	İç Hava Kalitesi	Hav. Sistemi	Doğal + HVAC	Doğal + HVAC	Doğal + HVAC	HVAC	Doğal + HVAC
		Temiz Hava Beslemesi	Yok	Var	Yok	Yok	Yok
		Açılır Pencere	Yok	Var	Var	Yok	Var
	Akustik Kalite	Gürültü Kaynağı	HVAC	HVAC	HVAC	HVAC	HVAC
		Ses Yalıtımı	Maksimum	Optimum	Optimum	Düşük	Optimum
	Aydınlatma Kalitesi	Saydamlık Oranı	%75 – 85	%90 - 100	%40 – 50	%75 – 85	%75 – 85
		Yapı Derinliği	İdeal	İdeal	İdeal	İdeal	Orta
		Güneş Kont. Elemanı	Var	Yok	Yok	Yok	Yok
	Ortam Titreşimi Kalitesi	Narinlik Oranı	5	5.3	7.5	4.5	5
Sönümleyici		Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	
ENERJİ VERİMLİLİĞİ	Enerji Tasarrufu	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta	Düşük	
	Sertifika Sistemi	Yok	LEED Gold	LEED	Yok	Yok	
KULLANICI KONFORU	İç Ortam Kalitesi	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta	Orta	
	Sağlık Koşulları	İyi	İyi	İyi	Orta	Orta	

\*Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, T.C. Resmi Gazete, Sayı: 29536, 18/10/2015



**Tablo 7.** İncelenen uluslararası yüksek konut yapılarının karşılaştırılması (Yazarlar tarafından oluşturulmuştur)

YAPI GENEL BİLGİLERİ		Yapı Adı	PRINCESS TOWER	8 SPRUCE STREET TOWER	HIGHCLIFF TOWER	ONE CENTRAL PARK	BOSCO VERTICALE TORRE	
		Yapı Görseli						
		Mimarı	Adnan Saffarini	Gehry Partners	Dennis Lau & Ng Chun	Ateliers Jean Nouvel	Boeri Studio	
		Konum	Dubai, AE	NY, ABD	Hong Kong, CN	Sydney, AU	Milano, IT	
		Fonksiyon	Konut	Konut	Konut	Konut	Konut	
		Yapım Yılı	2012	2011	2004	2014	2014	
		Yükseklik	414 m	271 m	252.3 m	117 m	116 m	
		FİZİKSEL DIŞ ORTAM KOŞULLARI		Yapı Şekli ve Yönlenmesi	Plan Şekli	Kare	Kümelı	Kümelı
En/Boy Oranı	1:1				1:1.3	1:2.5	1:1.7	1:1.7
Yönlenme	KD – GB				K – G	K – G	K – G	K – G
Rüzgâr	Rüzgâr Yönü			Kuzeybatı	Kuzeybatı	Doğu ve GD	Kuzeydoğu	Güneybatı
	Ort. Rüz. Hızı			4.4 m/sn	1.5 m/sn	5.1 m/sn	5.6 m/sn	2 m/sn
Hava Kirliliği	Kaynak			Trafik + Atm.	Trafik	Trafik + Atm.	Trafik	Trafik
	Yoğunluk			Orta	Orta	Orta	Düşük	Düşük
Gürültü	Alanı			Yerleşim	İş + Yerleşim	Yerleşim	İş + Yerleşim	Yerleşim
	Seviyesi			≤ 68 dB	≥ 70 dB	≤ 68 dB	≥ 70 dB	≤ 68 dB
İÇ ORTAM KOŞULLARI				Isıl Konfor Kalitesi	Cephe Sistemi	Tek Cidarlı	Tek Cidarlı	Tek Cidarlı
		Kullanılan Cam Yalıtımı	Orta Yalıtımlı		Yüksek Yalıtımlı	Orta Yalıtımlı	Yüksek Yalıtımlı	Yüksek Yalıtımlı
		İklimlendirme	Merkezi HVAC		Merkezi HVAC	Merkezi HVAC	Merkezi HVAC	Merkezi HVAC
		İç Hava Kalitesi	Hav. Sistemi	Doğal + HVAC	Doğal + HVAC	Doğal + HVAC	Doğal + HVAC	Doğal + HVAC
			Temiz Hava Beslemesi	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
			Açılır Pencere	Var	Var	Var	Var	Var
		Akustik Kalite	Gürültü Kaynağı	HVAC	HVAC	HVAC	HVAC	HVAC
			Ses Yalıtımı	Optimum	Optimum	Optimum	Maksimum	Maksimum
		Aydınlatma Kalitesi	Saydımlık Oranı	%40 – 50	%50 – 60	%75 – 85	%75 – 85	%50 – 60
			Yapı Derinliği	İdeal	İdeal	İdeal	İdeal	İdeal
Güneş Kont. Elemanı	Yok		Var	Yok	Var	Var		
Ortam Titreşimi Kalitesi	Narinlik Oranı	7	4.7	8	4.7	3		
	Sönümleyici	Var	Yok	Var	Yok	Yok		
ENERJİ VERİMLİLİĞİ		Enerji Tasarrufu	Orta	Yüksek	Orta	Yüksek	Yüksek	
		Sertifika Sistemi	Yok	Yok	Yok	Green Star 5	LEED Gold	
KULLANICI KONFORU		İç Ortam Kalitesi	Yüksek	Yüksek	Orta	Yüksek	Yüksek	
		Sağlık Koşulları	İyi	İyi	Orta	İyi	İyi	

ortam kalitesinin yapı kabuğunda alınacak aşağıdaki tasarım, planlama, malzeme, teknoloji ve uygulamalarla sağlanabileceği görülmüştür:

- Yüksek yapılarda ısı konforu belirleyen en önemli etkenler yapı kabuğunda kullanılan malzemeler, sistem ve yapının saydamlık oranıdır. Buna göre yüksek yalıtım performanslı camların kullanılmasıyla ısı kayıp/kazançları azaltılarak konforlu ortam sağlanmaktadır. Ayrıca yapının çift cidarlı olarak tasarlanması da ısı konforu artırıcı etkiye sahiptir. Fakat cephenin etkin performansı yüzeyler arasındaki boşluğun 75 cm'yi geçmemesine bağlıdır.
- Isıl konforu etkileyen diğer bir parametre ise yapıda kullanılan HVAC sistemdir. Yaygın olarak kullanılan merkezi sistem her kullanıcıya aynı ısı konfor seviyesi sunarken kullanıcıların hepsi aynı memnuniyete sahip olmayabilmektedir. Bireysel kontrollü HVAC sistemlerin kullanılması hem kullanıcı memnuniyeti hem de enerji tasarrufunu arttırmaya yardımcı olmaktadır.
- Yüksek konutlar için pencere açılma olanağının kısıtlı olması nedeniyle temiz hava daha çok mekanik havalandırma ile sağlanabilmekte ama bu havalandırma sisteminin temiz hava kaynağına sahip olması gerekmektedir.
- Pencere açılması yapının statik dayanımını etkilemesinden dolayı kontrollü bir şekilde yapılmalıdır. Çünkü açılır pencereye sahip olmak temiz hava sağlarken psikolojik rahatsızlıklara bağlı intihar riski ve çocuk güvenliği açısından ise olumsuzdur. Bu nedenle aktif doğal havalandırma güvenli bir şekilde sadece çift cidarlı ve kanallı havalandırma sistemiyle sağlanabilmektedir.
- Yapı kabuğunun hafif ve yeterli esnekliğe sahip olması dış gürültü için yalıtımı sağlayamamaktadır. Bu nedenle katmanlı camlar kullanılmalı ya da yapı çift cidarlı olarak tasarlanmalıdır.
- Akustik iç konfor kalitesinde, kullanılan HVAC sistemin yalıtım düzeyi belirleyicidir. Diğer iç gürültü kaynağı ise teknik tesisat alanları ve asansörlerdir. Bu alanlarda yeterli ve uygun ses yalıtım önlemi alınmalıdır.
- %50'den fazla saydamlığa sahip olan yüksek konutlarda doğal aydınlatma verimli olarak gerçekleşmektedir. Fakat saydamlık oranı arttıkça yapıda güneş kontrol elemanlarının kullanılması, kullanıcı konforu ve enerji verimliliği açısından önemlidir. Bu kapsamda gölgeleme ve ışık kontrolü için yapı cephesinde güneş kırıcılar, kendinden gölgelendirilmiş camlar ya da bitkiler kullanılabilir.
- Güneş kontrol elemanlarının yapının havalandırmasını olumsuz yönde etkilemeyecek şekilde tasarlanması iç hava kalitesini arttırmak için önemlidir.

- Kullanılan tüm sistemlerin enerji tasarrufu sağlayacak pasif sistemlerle yapılması, her alanda geleneksel bir yapıdan fazla enerji tüketen bu yapıların daha sürdürülebilir olmalarını sağlamaktadır.

### Sonuç

Yüksek yapılar çevreye saygılı, enerji verimli ve sürdürülebilir olarak tasarlanabilmektedir. Fakat yüksekliğin arttığı her metrede bu niteliklerin etkin olarak yapıda uygulanabilirliği ise azalmaktadır. Tüm fiziksel çevre verilerine göre yüksek yapıların etkin bir şekilde tasarımı, inşası ve ideal iç ortam kalitesini kullanıcı konforu ve sağlığına uygun enerji verimli şekilde detaylandırılması yapılmalıdır. Yapılan inceleme sonucunda standart bir konut konforunun yüksek yapılarda; kullanıcıların güvenliğini de olumsuz etkileden sağlanabildiği görülmüştür. Yapı kabuğunun tek cidarlı olarak tasarlanmasıyla iç ortam kalitesini sağlamak mümkünken çift cidarlı cephe sistemleriyle bunu elde etmenin daha kolay ve avantajlı olabildiği düşünülmektedir. Konut işlevine sahip yüksek yapılar hızlı bir artış içerisinde. Bu yapıların kullanıcı sağlığını ve konforunu sağlayacak iç ortam kalitesine sahip olması önemlidir. Özellikle Türkiye'deki yüksek yapılarının %50'den fazlasının konut işlevinde kullanılması nedeniyle bu yapıların iç ortam kalitelerinin uygunluğunun araştırılması da gerekmektedir.

### Kaynaklar

- Akman, A. (2005) "İnsan Sağlığı, Sağlıklı Yapı ve Yapı Biyolojisi", Yapı Dergisi, Sayı 279, s.89-92.
- Arons, D.M.M. (2000) "Properties and Applications of Double-Skin Building Facades", Master Thesis, MIT.
- ASHRAE 55 (2013) "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy".
- ASHRAE 62 (2013) "Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality".
- Compagno, A. (2002) Intelligent Glass Facades: Material, Practice, Design, Basel, Birkhäuser-Verlag.
- Corgnati, S.P., Fabrizio E., Raimondo, D. and Filippi, M. (2011) "Categories of Indoor Environmental Quality and Building Energy Demand for Heating and Cooling", Building Simulation, vol. 4, p. 97-105.
- CTBUH (2010) "Tall Buildings in Numbers, Structural Systems and Materials", CTBUH Journal, Issue II, p. 40-41.
- Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, T.C. Resmi Gazete, Sayı: 29536, 18/10/2015.
- Dubrul, C. (1998) "Inhabitant Behavior with Respect to Ventilation" - A summary report of IEA Annex VIII, Technical note AIVC 23.
- Eriksen, M., Chaloupka, F. (2007) "The Economic Impact of Clean Indoor Air Laws", CA Cancer J Clin, vol. 57, 367-378.
- Esin, T. (2004) "İnsan Sağlığını Etkileyen İç Hava Kalitesinin Oluşumunda Yapı Malzemelerinin Rolü", Yapı Dergisi, Sayı 275.
- European Collaborative Action (1992) "Indoor Air Quality and Its Impacts on Man; Guidelines for Ventilation Requirements in Buildings", Report No-11, EUR 14449 EN, Brussels, Luxembourg.

- Fabi, V., Andersen, R.V., Corgnati, S.P. and Olesen, W. (2012) "Occupants' Window Opening Behaviour, A Literature Review of Factors Influencing Occupant Behaviour and Models", *Building and Environment*, vol. 58, p. 188-198.
- Fisk, W.J. and Rosenfeld, A.H. (1998) "Potential Nationwide Improvements in Productivity and Health from Better Indoor Environments", in *Proceedings of ACEEE Summer Study'98*, 8, p. 85-97.
- Fontoynt, M., (2002) "Perceived Performance of Daylighting Systems: Lighting Efficacy and Agreeableness", *Solar Energy*, vol. 73, p. 83-94.
- Gabel, J., (2015) "The Skyscraper Surge Continues in 2015, The 'Year of 100 Supertalls'", *CTBUH 2015 Year in Review Report*.
- Güzel, N.O. ve Sönmez, A. (2002) "Giydirme Cephelerin Performans Özellikleri", *Ege Mimarlık*, Sayı 44, s. 12-17
- Hassan, A.S. and Al-Ashwal, N.T. (2015) "Impact of Building Envelope Modification On Energy Performance of High-Rise Apartments in Kuala Lumpur, Malaysia", *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*.
- Hess-Kosa, K. (2011) *Indoor Air Quality - The Latest Sampling and Analytical Methods*, USA, CRC Press, p. 3
- ISO 7730 (2005), "Ergonomics of the Thermal Environment".
- ISO 16283-3 (2016), "Acoustics -- Field Measurement Of Sound Insulation In Buildings and Of Building Elements".
- Kibert, C.J. (2008) *Sustainable Construction - Green Building Design and Delivery*, USA, John Wiley & Sons, p. 277-278
- Kim, J. and de Dear, R. (2012) "How does occupant perception on specific IEQ factors affect overall satisfaction?", *Proceedings of 7th Windsor Conference: The changing context of comfort in an unpredictable world Cumberland Lodge, Windsor, UK, 12-15 April 2012*, London, Network for Comfort and Energy Use in Buildings.
- Lai, J.H.K. and Yik, F.W.H. (2009) "Perception Of Importance And Performance Of The Indoor Environmental Quality Of High-Rise Residential Buildings", *Building and Environment*, vol. 44, p. 352-360.
- Mendis, P., Ngo, T., Haritos, N., Hiro, A., Samali, B. and Cheung, J., (2007) "Wind Loading on Tall Buildings", *Electronic Journal of Structural Engineering*, *EJSE Special Issue: Loading on Structures*, 2007, 41-54.
- Mirrahimi, S., Mohamed, M.F., Haw, L.C., Ibrahim, N.L.N., Yusoff, W.F.M. and Aflaki, A. (2016) "The Effect of Building Envelope on the Thermal Comfort and Energy Saving for High-Rise Buildings in Hot-Humid Climate", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 53, p. 1508-1519.
- Oral, G.K., Yener, A.K., Bayazit, N.T. (2004) "Building Envelope Design With The Objective To Ensure Thermal, Visual And Acoustic Comfort Conditions", *Building and Environment*, vol. 39, p. 281-287.
- Örkmaz, A.S. ve Çetiner, İ. (2012) "Çift Kabuk Cephe Sistemlerinin İç Mekân Isıl Konforuna Etkisi", 6. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, 12-13 Nisan 2012, Bursa, s. 213-224.
- Özgen, A. ve Sev, A. (2003) "Yüksek Binalarda Sürdürülebilirlik ve Doğal Havalandırma", *Yapı Dergisi*, Sayı 262, s. 92
- Parsons, K. (2002) *Human Thermal Environments*, USA, CRC Press, p. 257.
- Poirazis, H. (2004) "Double Skin Façades for Office Buildings – Literature Review", *Report EBD-R-04/3*, Lund University.
- Roaf, S., Crichton, D., Nicol, F. (2005) *Adapting Buildings and Cities for Climate Change: A 21st Century Survival Guide*, Oxford, Architectural Press.
- Sarkisian, M. (2012) *Designing Tall Buildings Structure As Architecture*, New York, Routledge.
- Schweiker, M. (2010) "Occupant Behaviour and The Related Reference Levels for Heating and Cooling", *PhD dissertation*, Tokyo City University.
- Sezer, F.S. (2004) "Giydirme Cephe Sistemi Kullanıcılarının Sistemin Konfor Koşullarına İlişkin Görüşlerini İçeren Bir Anket Çalışması ve Değerlendirmesi", 1. Ulusal Çatı & Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu, 1-3 Nisan 2004, İstanbul.
- Tozan, S., (2013) "Yüksek Binalarda Rüzgar Etkisi ve Konfor Şartlarının Çeşitli Yönetmeliklere Göre İncelenmesi", *Basılmamış Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi
- Vural, S. M., Balanlı, A., (2005) "Yapı Ürünü Kaynaklı İç Hava Kirliliği ve Risk Değerlendirmede Ön Araştırma", *Megaron YTÜ Mimarlık Fakültesi e-Dergisi*, Cilt:1, Sayı: 1, 28-39.
- Xue, P., Mak, C.M., Cheung, H.D. (2014) "The Effects Of Daylighting And Human Behavior On Luminous Comfort In Residential Buildings", *Building and Environment*, vol. 81, p. 51-59.

### İnternet Kaynakları

- URL-1: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings> [Erişim Tarihi 28 Mart 2017]
- URL-2: [http://www.healthyheating.com/Defintion\\_of\\_indoor\\_environmental\\_quality.htm#.WDAYufmLRPY](http://www.healthyheating.com/Defintion_of_indoor_environmental_quality.htm#.WDAYufmLRPY) [Erişim Tarihi 19 Kasım 2016]
- URL-3: <http://www.dailymail.co.uk/health/article-2328400/The-secret-long-healthy-life-A-HIGH-rise-flat-People-live-eighth-floor-22-likely-die-early.html#ixzz2ZqXPUBe9> [Erişim Tarihi 21 Haziran 2016]
- URL-4: <http://www.vibrationdata.com/tutorials2/m206content.pdf> [Erişim Tarihi 21 Haziran 2016]