

GEÇMİŞTEN GELECEĞE ENERJİ ETKİN YÜKSEK YAPILAR VE UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Ayşin SEV
Bahar BAŞARIR

ÖZET

Geleneksel yaklaşımla tasarlanan yüksek binalar enerji ve doğal kaynakların kitlesel tüketicilerindedir. Ancak ilk yüksek yapılardan günümüze kadar geçen yaklaşık 120 yıllık bir süre içinde, bu yapı türünün çevresel etkilerini azaltmaya yönelik olarak, sürekli modeller ve metotlar geliştirilmiş, yasa ve yönetmeliklerde değişiklikler yapılmış, malzeme ve teknoloji alanında olduğu kadar mimari düşüncede de yenilikler kaydedilmiştir.

Bu çalışmada yüksek yapılarda enerji tasarrufunun önemi vurgulanmakta, ilk örneklerinden günümüze kadar yüksek yapılar enerji performanslarına göre değerlendirilmektedir. Daha sonra çağdaş uygulama örneklerinden yola çıkarak, yüksek yapılarda enerji etkinliği sağlamaya yönelik tasarım stratejileri ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma yöntemleri açıklanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yüksek binalar, enerji etkinliği, yapı kabuğu, mekanik sistemler, yenilenebilir enerji sistemleri

ABSTRACT

The traditional tall buildings are mass consumers of energy and natural resources. Over the past 120 years, various developments in design methods and models, materials and construction technologies, changes in laws and specifications, were accomplished in order to minimize the environmental impact of this building type.

This paper tends to emphasize the significance of energy efficiency in tall building design, construction and operation. Initially, This building type will be evaluated according to their energy performance through a historical perspective. Then the design strategies for energy efficiency and utilization of renewable energy systems will be described, as well as presenting a number of contemporary tall buildings, which utilize these strategies and technologies.

Key Words: Tall buildings, energy-efficiency, cladding, mechanical systems, renewable energy systems

1. GİRİŞ: YÜKSEK BİNALAR VE ENERJİ TÜKETİMİ

Yapı sektöründe enerji ve kaynak tüketimi söz konusu olduğunda, yüksek binaların ön plana çıktığı açıktır. Yüksek bir bina kendine özgü tasarım koşulları içermekte, yüksekliğinden kaynaklanan bir dizi sorunu beraberinde getirmektedir [1]. Günümüzde hızla büyüyen ve gelişen şehirlerin vazgeçilmez unsurları olan yüksek binaların yaşam döngülerinde enerji tüketimini azaltarak çevresel etkilerini en aza indirmenin yolu, enerji etkin tasarım ilkelerinin pasif ve aktif anlamda uygulanmasıyla mümkündür.

Bu yaklaşımın enerji tasarrufu açısından doğrudan yararı olacağı gibi, çevre kirliliğini azaltma ve kullanıcı memnuniyeti gibi dolaylı yararları da olmaktadır.

Başta çok katlı büro binaları olmak üzere, yüksek binaların büyük bir çoğunluğu yaşam döngüsü boyunca enerjiyi ısıtma, soğutma ve mekanik havalandırma, iç mekan aydınlatma, düşey ulaşım sistemleri, ile büro ekipmanlarının kullanımında tüketmektedir. Yapılan araştırmalara göre yüksek binalarda metrekare başına harcanan enerji miktarı, az katlı yapılarla karşılaştırıldığında daha yüksektir [2]. Bu durum cephe yüzeyi / kat alanı oranının az katlı yapılara oranla fazla olması ve bu nedenle istenmeyen ısı kayıp ve kazançlarının fazla olması, ticari amaçlar doğrultusunda cephe ve çekirdek arasındaki derinliğin fazla olması ve yapay aydınlatma yükünün artması, çok sayıdaki kat arasında düşey ulaşım gereksinimleri, vb. gibi nedenlere bağlanabilmektedir. Bu durumda yapılması gereken, pasif anlamda enerji tüketimini azaltacak önlemleri aldıktan sonra, gelişen teknolojiye yararlanarak enerji etkin sistemler kullanmak ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma yollarını aramaktır.

Son yıllarda yüksek binaların enerji performansını artırmak ve karbon ayak izini azaltmaya yönelik bir dizi gelişme kaydedilmiştir. Ancak günümüz ve gelecek için stratejiler geliştirilirken, öncelikle geçmişteki uygulamalardan ders almak, başka bir deyişle yüksek binaların ilk örneklerinden günümüze kadar enerji performansının nasıl değiştiğini ve bu değişikliğe neden olan faktörler ortaya koymak gerekmektedir.

2. GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE YÜKSEK BİNALARIN ENERJİ PERFORMANSI

Yüksek binalar tarihsel süreç içinde fonksiyonel gelişimleri, mimari stilleri, yükseklikleri ve strüktürel formlarının yanısıra, enerji performansı açısından da çeşitli aşamalardan geçmiştir. 19. yy ortalarında çelik çerçevenin geliştirilmesinden, ileri teknoloji mega strüktürlerin yapıldığı günümüze kadar bu yapı türünün enerji performansında da dönemlere göre önemli değişiklikler olmuştur. Aşağıda yüksek binalar enerji performansları ve bunu etkileyen faktörler açısından dönemlere ayrılarak değerlendirilmiştir.

2.1. I. Dönem (1885 – 1916)

Yüksek Binalar ve Kentsel Yerleşimler Konseyi [3] tarafından dünyanın ilk yüksek binası olarak kabul edilen Home Insurance Binası (1885) ile başlayan bu dönemin yapılarında, henüz havalandırma ve yapay aydınlatma teknolojileri geliştirilmediği için, işletme enerjisi oldukça düşük seviyelerdedir. Havalandırma açılabilir pencerelerden yapılmaktadır ve enerji büyük oranda ısıtma ile düşey ulaşım sistemlerinde tüketilmektedir. Yapay aydınlatma teknolojisinin yetersiz olması nedeniyle aydınlatma standartları da günümüze oranla oldukça düşüktür [4].

Bu ilk yüksek bina örneklerinde çoğunlukla, çelik çerçeve gibi dönemin en gelişmiş strüktürü kullanılmasına rağmen, kabuk tasarımı geleneksel taşıyıcı duvarlı uygulamaların etkisindeydi; dolayısıyla dış duvarlar taşıyıcılık görevinden kurtulmuşsa da, genellikle kalın ve masif kagir duvarlar şeklinde yapılıyor ve iç yüzeyler alçı sıva ile kaplanıyordu. Pencere boşlukları cephe yüzeyinin %20-30'unu oluşturacak kadar azdı [5]. Tek camlı doğramalar nedeniyle pencere yüzeyinden ısı kayıplarının fazla olmasına rağmen, kagir cephe duvarının ısı depolama kapasitesi nedeniyle mekanlar yazın serin, kışın ılık oluyordu.

1916 New York İmar Yönetmeliği'ne kadar süregelen bu dönemde yapıların mimari ve strüktürel formu enerji performansında olumlu yönde etkili olmuştur. Geniş kat planlarına sahip, hantal kütleli bu yapıların en önemli sorunu dar cephe boşluklarından cephe derinliği fazla olan çalışma alanlarına yeterli gün ışığı sağlanamaması, bundan dolayı yapay aydınlatma yükünün artmasıdır. Giderek büyüyen kat planlarına sahip yüksek binaların bu dönemde geldiği en ileri nokta Equitable Life Insurance Binası (1915) ile açıkça ortaya çıkmaktadır. Gün ışığından olabildiğince yararlanmak amacıyla tasarlanan H plan formuna sahip, 40 katlı bina, kat alanı açısından o tarihte dünyanın en büyük yapıydı ve komşu binaların ışığını ve manzarasını büyük oranda engelliyordu [6, 7].

Bu dönemden günümüze kadar gelmiş olan birçok yüksek binada, daha fazla gün ışığı almak amacıyla cephe boşluklarının artırılması ve cam performansının geliştirilmesi, mekanik havalandırma sistemlerinin düzenlenmesi gibi bir dizi renovasyon çalışması yapıldığı görülmektedir. Her ne kadar doğal aydınlatma konusunda yetersiz kalarak yapay aydınlatmaya dayalı olarak işletilse de, bu dönemin yüksek binalarının enerji performansı masif kütleleri ve cephe konstrüksiyonu nedeniyle oldukça yüksek düzeydedir.

2.2. II. Dönem (1916 – 1951)

Equitable Life Insurance Binası ile en üst seviyeye tırmanan, komşu binaları gölgeleme sorunu gerçekte bir süredir yaşanıyordu ve bunun başlıca nedeni bunu engelleyecek bir yönetmeliğin olmamasıydı. 1916 New York İmar Yönetmeliği'nin yürürlüğe girmesiyle yüksek binalara boyutsal ve kütsel sınırlamalar getirilmiştir. Bu yeni yönetmeliğe göre tüm yapılar belirli bir yükseklikten sonra geri çekmelerle daralacak, bu daralma zemin kat planının ¼'üne ulaştıktan sonra sona erecekti. Yeni yapıların kütle formunu büyük ölçüde değiştiren bu yönetmelikle "Düğün Pastası" formu giderek yaygınlaşmaya başlamıştır.

Yapılan araştırmalara göre 1916 yönetmeliğinden sonra yapılan yüksek binalarda cephe yüzeyinin birim hacime oranının artması, enerji tüketimi açısından olumlu ve olumsuz sonuçlar ortaya çıkarmıştır [8]. Isı kayıplarına neden olan cephe yüzeyindeki artış, enerji performansını olumsuz etkilerken, narin formlar ve üst katlarda daralan kat planları sayesinde yapay aydınlatma yükü azalmıştır. Cephelerdeki saydam yüzey oranı bir önceki dönemle benzerlik taşımakla birlikte, doğal ışıktan yararlanma olanağı daha fazladır. Ancak bu dönemde enerji şirketlerinin de baskısıyla yapay aydınlatma düzeyinin yönetmelikle yükseltilmesi, bu alandaki enerji tüketimini artırmıştır [6].

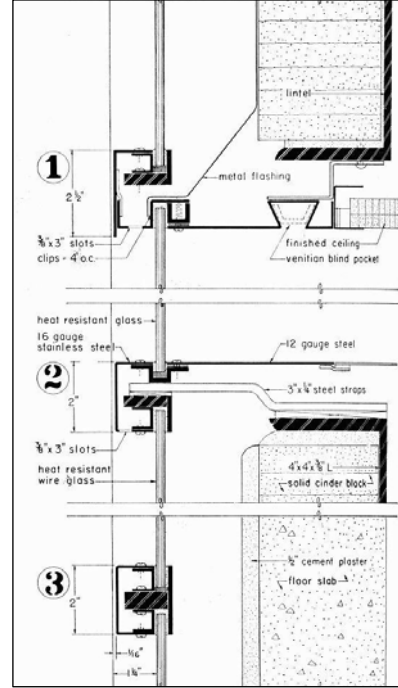
Bu durumda 1916 New York İmar Yönetmeliği'nin yüksek binaların enerji performansını önemli ölçüde etkilediği sonucu ortaya çıkmaktadır. Yönetmelik öncesinde, büyük ve hantal formlara sahip yüksek binalar, yönetmelikten sonra daha narin, daha dar kat planlarına sahip, doğal aydınlatma açısından avantajlı olmuş, ama bununla birlikte ısıtma yükü artmıştır. Bu yönetmelik sadece New York'taki yüksek binaların sorunlarına çözüm getirmekle kalmamış, 1920'lerin sonunda Kuzey Amerika'daki bir çok şehrin kendi imar planını geliştirmesinde de örnek oluşturmuştur. Chicago'daki Palmolive Binası (1929) ve Board of Trade (1930), Detroit'teki Penobscot Binası (1928) ve Cincinnati'deki Carew Tower (1931), birbirinden farklı bölgesel yönetmeliklerin benzerlikler taşıdığını ve mimari açıdan aynı sonuçları ortaya koyduğunu açıkça gözler önüne sermektedir.

Bu dönem aynı zamanda yüksek binalarda mekanik havalandırmanın icat edilerek, giderek yaygınlaştığı bir dönemdir. 1939 yılında Willis Carrier tarafından icat edilen mekanik havalandırma sistemlerinin uygulanması 1950li yıllara gelindiğinde standart bir uygulama halini almıştır. Örneğin Chicago'daki Tribune Tower (1925) açılan pencerelerle havalandırılırken, 1931 yazının rekor düzeydeki sıcaklığı nedeniyle sonradan mekanik havalandırma sistemiyle donatılmıştır. Bu bir taraftan kullanıcıların konforunun artırmış, diğer taraftan yapının gayrimenkul değerini yükseltmiştir [5].

2.3. III. Dönem (1951 – 1973)

II. Dünya Savaşı sonrasında binalarda estetik kaygılardan uzaklaşarak, fonksiyonelliğe önem verilmesi ile yaygınlaşan modern mimari akımın yüksek bina örneklerinde, taşıyıcı sistem ve cephe birbirinden ayrılmış, böylece hafif giydirmeye cephe sistemleri yaygınlaşmaya başlamıştır. Gerçekte Mies van der Rohe Berlin'de Friedrichstrasse için tümüyle cam giydirmeye cepheli bir gökdelen tasarlamış, bu tasarımı gerçekleştirebilecek teknoloji ancak II. Dünya Savaşı'ndan sonra geliştirilmiştir. Bu döneme rastlayan giydirmeye cephe teknolojisinin geliştirilmesi, yüksek bina tipolojisini önemli ölçüde değiştirmiştir. II. Dünya Savaşı öncesinde yüksek binalarda %20–35 arasında olan cephedeki saydam yüzey oranı, bu dönemde %50–75 mertebelerine ulaşmıştır. Chicago'da Mies van der Rohe'nin tasarladığı Lake Shore Drive Apartmanları cam giydirmeye cepheli uygulamaların ilk örneği olarak kabul edilmektedir. Bundan sonra bu kübik formlu, cam giydirmeye cepheli yüksek bina örnekleri, arsa ve iklim koşullarını, güneşe göre yönelme gereksinimlerini dikkate almaksızın, ekonomik gelişmenin de birer simgesi olarak, dünyanın birçok yerinde giderek çoğalmaya başlamıştır [9].

New York'ta Gordon Bunshaft (SOM) tarafından tasarlanan Lever House (1952), giydirme cephe teknolojisinin uygulandığı ilk örneklerden biridir. Yangın dayanımı için tasarlanan beton parapet panellerinin cephesi renkli, tek katmanlı camla kaplanmış olup, görüş alanları ısıya dayanıklı tek katmanlı camdan oluşmaktadır (Resim 1). Bu tek camlı hafif cephe konstrüksiyonunun ısıl performansı I. ve II. Dönem'e ait yüksek binaların kagir, masif duvarlı cepheleriyle karşılaştırıldığında oldukça düşüktür. Örneğin Lever House'un U-değeri yaklaşık $3.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ iken, 20 yıl önce yapılan Empire State Binası'nın cephesinin U-değeri $2.6 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'dir. Dönemin cam giydirme cephe binalarında cephe performansının giderek azaldığı, yazın iç mekanların çok ısındığı, kışın ısı kaybının fazla olduğu, bunun sonucunda da enerji tüketiminin arttığı görülmektedir [5, 10].



Resim 1. Lever House, New York, 1952 (Solda) Genel Görünüş, (Sağda) Cephe Kesiti.

Bu dönemde yapılan bir çok yüksek binanın ortak özelliklerinden biri de, cephelerinin siyah veya koyu renkli kaplamalarla giydirilmesidir. Mies van der Rohe'nin Lake Shore Drive Apartmanları'nda (1951) olduğu gibi "Uluslararası Stil"den etkilenen New York'taki Seagram Binası (1958) ve Toronto'daki Dominion Bankası (1967) gibi siyah gökdelenler sadece K. Amerika ile sınırlı kalmamış, Paris ve Tokyo gibi dünya şehirlerinde de yapılmıştır. Siyah ve koyu renkli yüzeylerin güneş ışınımını yutma özelliğinden dolayı, bu yapılar yaz aylarında, tuğla ve açık renkli cephe binalara oranla daha fazla ısınyordu. Bunun sonucunda da iç mekanlarda gerekli konfor seviyesini koruyabilmek için mekanik havalandırma sisteminin yükü artıyordu.

Koyu renkli kaplamaların yanısıra, bu dönemin yüksek binalarının çoğunda koyu veya bronz renkli camlar da kullanılıyordu. Büyük cam yüzeyler gün ışığı açısından avantaj sağlıyor gibi görünse de, renklendirmek için kullanılan demiroksit ve selenyum gibi katkıları, cam günışığı geçirgenliğini azaltıyor, bu da yapay aydınlatma yükünü artırıyor. Bununla birlikte 1916 Yönetmeliği de zaman içinde etkisini kaybetmişti ve gayrimenkul ekonomisine cevap olarak, binalarda cephe-çekirdek arasındaki derinlik tekrar artmıştı. Bir çok şirket, 1920ler'in az derinlikli büro mekanlarını ticari hedefler açısından yetersiz buluyordu [7]. Dolayısıyla bu dönemin yapılarında kat planlarının büyümesi, cephe-çekirdek arasındaki derinliğin artması, koyu renkli cephe camlarıyla yapay aydınlatma yükünün ve enerji tüketiminin yükselmesi kaçınılmazdı [4].

Willis'e göre [6], 1950ler'in mimari ideolojilerindeki değişiklik ve teknolojik gelişmeler, yüksek binaları doğa ve arsa koşullarına bağımlı olmaktan kurtarmış, II. Dünya Savaşı sonrasında flüoresan ampullerin ve mekanik havalandırmanın geliştirilmesi, 19. yy'da asansör ve çelik çerçevenin

geliştirilmesi kadar etkili olmuştur. Geleneksel masif, taşıyıcı duvarlı cephe konstrüksiyonundan hafif cam giydirmeye cepheli binalara geçiş, yüksek binaların enerji performansına olumsuz yönde etki etmiştir. Stein [11] tarafından, 1950–70 yılları arasında yapılan 86 yüksek bina üzerindeki bir araştırma, bu dönemin yüksek binalarında enerji tüketiminde önemli bir artış olduğunu gözler önüne sermektedir. Bu çalışma sonuçlarına göre, 1960lar'da yapılan yüksek binaların enerji tüketimi, 1950ler'de yapılanların iki katından fazladır.

2.4. IV. Dönem (1973 – 2011)

1973 ve 1979 yıllarında yaşanan büyük enerji krizi, sadece yapı sektöründe değil, tüm alanlarda enerji tüketiminin kontrol altına alınması gereğine dikkat çekmiştir. Bu döneme kadar mekanik havalandırma ve yapay aydınlatmaya dayalı olarak işletilen yüksek binalarda enerji tüketimi önemli bir sorun oluşturmazken, bu krizlerden itibaren, enerji tasarrufunun gerektirdiği önlemler ön plana çıkmaya başlamıştır. Birçok gelişmiş ülke, yapı yönetmeliklerini enerji tasarruf önlemlerini ön plana çıkararak halde değiştirmiş, ya da yeni enerji performans yönetmelikleri geliştirmiştir. Bu yönetmeliklerin ortak şartlarından biri çift camlı doğramaların kullanılması zorunluluğudur [12]. Bu sayede birçok mimar ve mühendis, ısı yalıtımlı ve güneş kontrol camları geliştirmeye yönelik çalışmalar başlatmış, bunun ötesinde renkli ve yansıtıcı camlara olan talep de giderek azalmış, saydam, ışık geçirgenliği yüksek, ısı geçirgenliği düşük camlara yönelme olmuştur.

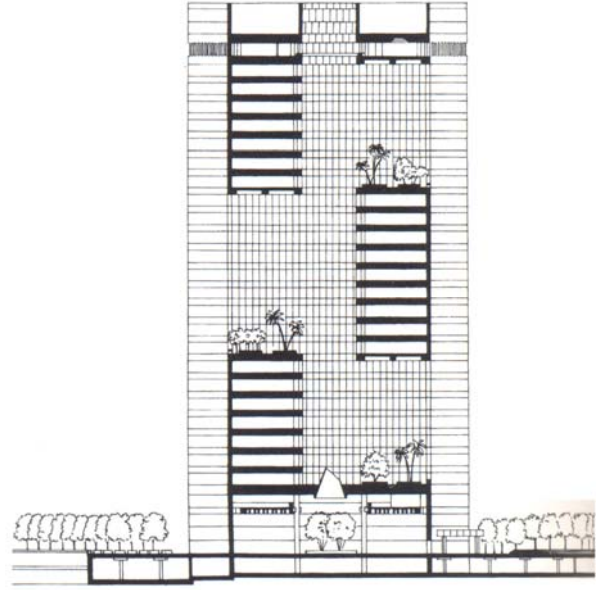
Bu dönemde giderek yaygınlaşan ofis ekipmanları ve teknolojik gelişmeler yüksek binaların enerji tüketimine olumsuz yönde etki etmiştir. Örneğin bilgisayar kullanımının yaygınlaşması bir taraftan elektrik enerjisine ihtiyacı artırırken, bilgisayarların yaydığı ısı mekanlardaki sıcaklık seviyesinin de artmasına neden olmuştur. Mekanlardaki sıcaklık artışının dengelenmesi ise, mekanik soğutma sistemlerine ek yük getirmiş, böylece dolaylı olarak enerji tüketiminde artış olmuştur.

2.5. V. Dönem (1979 – Günümüze Kadar)

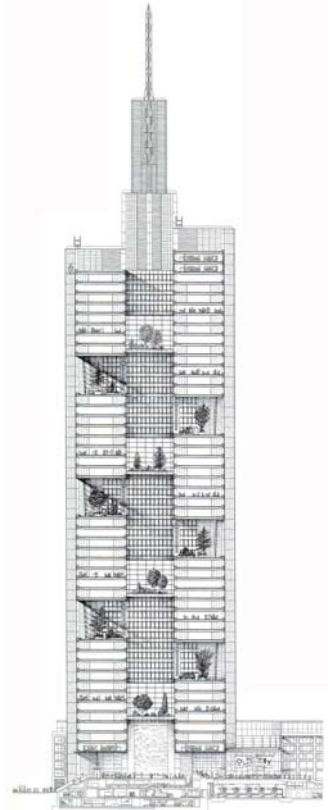
1970ler'deki enerji krizinden günümüze yaklaştıkça geçen sürede yapılan yüksek binaların büyük bir çoğunluğu enerji performans kriterleriyle uyumluluk gösterse de, bu performansı daha ileriye taşıdıkları söylenemez. Buna rağmen son yıllarda yapılan bazı örneklerin bu açıdan dikkat çekici özellikleri vardır. Örneğin çevreye duyarlı yaklaşımın uygulandığı yüksek binaların ilk örneklerinden biri Gordon Bunshaft'ın Cidde için tasarladığı National Commercial Bank'tir (1982) (Resim 2). Gordon Bunshaft bu ofis yapısında Arap Yarımadası'nın avlulu evlerini üçgen bir plan şemasına uyarlamıştır. Dönemin modası olan cam giydirmeye yerine, iklimsel verilere uygun olarak dış cepheyi taş kaplı masif duvarlar şeklinde tasarlamış, içte bina yüksekliğindeki atriuma bakan cepheler ise doğal aydınlatma etkisini artıracak şekilde camla giydirilmiştir. Bu atrium aynı zamanda doğal havalandırma yoluyla serinletme etkisini de güçlendirmektedir.

Bu örneği Ken Yeang'ın bioklimatik gökdelenleri, Norman Foster'ın Frankfurt'taki Commerzbank Binası (1997) (Resim 3) ve bir dizi ekolojik yüksek bina örneği izlemektedir. Bir çok ekolojik ve enerji etkin stratejiyi bünyesinde barındıran Commerzbank'ta enerji tasarrufu sağlayan tasarım yaklaşımları aşağıdaki şekilde özetlenebilir [1]:

- Doğal havalandırma ve aydınlatma etkisini güçlendirmek üzere, bina yüksekliğinde merkezi bir atrium tasarlanması,
- Ofis mekanlarına daha fazla gün ışığı sağlamak için geniş ve aydınlık gökbahçeler,
- Ofis katlarında açılabilir pencerelerle doğal havalandırma sağlayan çift katmanlı cephe tasarımı,
- Tavandan soğutma sistemi uygulaması.



Resim 2. National Commercial Bank, Cidde (1982); (Solda) Genel Görünüş, (Sağda) Atriumdan Geçen Kesiti.



Resim 3. Commerzbank, Frankfurt (1997); (Solda) Genel Görünüş, (Sağda) Atriumdan Geçen Kesiti.

Bu binada uygulanan bir çok enerji etkin tasarım stratejisi, bu dönemin çevreye duyarlı diğer yüksek binalarında da büyük oranda uygulanmıştır. Mimari form ve cephe açısından bakıldığında, bu dönemin yüksek binalarında cephe yüzey alanı / kat alanı oldukça yüksek, cephe-çekirdek arası derinlik ise daha azdır. Geniş kat planlarında ise atrium alanlarıyla doğal ışık etkisi güçlendirilmektedir. Bu tür yaklaşımlar yapay aydınlatma ve havalandırma yükünü azaltsa da, özellikle soğuk iklim bölgelerinde

ısıtma yükünü artırmaktadır. Yapay aydınlatma yükünü azaltmanın etkin bir yolu harekete duyarlı algılayıcılar kullanmaktır. Örneğin New York'taki One Bryant Park'ta (2008) (Resim 4) bu yaklaşımla aydınlatma enerjisi %25 oranında azaltılmıştır [13].

Bu dönemin özelliklerinden biri de tümüyle mekanik havalandırmaya bağımlılığın azaltılarak, hava koşullarının el verdiği zamanlar için, doğal ve/veya karma havalandırma stratejilerinin uygulanmasıdır. Yaklaşık 60 yıllık bir süreden sonra yüksek binalarda ilk defa açılabilir pencereler kullanılmaya başlanmıştır. Örneğin GSW Genel Merkezi'nde batıya bakan ve termal baca şeklinde çalışan çift katmanlı cephe sistemi uygulanmıştır (Resim 5). Binanın cephe boşluğunda güneş etkisiyle ısınan hava yükselmekte, ofis pencereleri açıldığında kullanılan havayı da beraberinde sürüklemektedir. Ofislerden boşalan kirli havanın yerini ise diğer cepheden alınan taze hava doldurmaktadır. Bu strateji yapının yılın %70'inde doğal olarak havalandırılmasını sağlamakta ve mekanik havalandırma yükünü de azaltmaktadır [5].

Günümüze yaklaştıkça, yüksek binalarda yerinde yenilenebilir enerji üretim teknolojilerinin uygulanması da yaygınlaşmaktadır. Aşağıdaki bölümde, bu teknolojilere ve uygulama örneklerine yer verilmiştir.



Resim 4. One Bryant Park, New York (2008); (solda) genel görünüş, (sağda) cephenin kesit perspektifi.



Resim 5. GSW Genel Merkezi, Frankfurt (1999).

3. YÜKSEK BİNALARDA YENİLENEBİLİR ENERJİ TEKNOLOJİLERİ

Enerji etkin yüksek bir binanın en önemli hedefi bir yıl boyunca mümkün olan en büyük oranda kendi enerjisini üretebilmesidir. Yüksek binalarda, enerji ihtiyacı pasif tasarım yaklaşımlarıyla en aza indirildikten sonra yapılması gereken, gerekli enerji yükünün yapı alanında yenilenebilir kaynaklardan karşılanmasıdır. Henüz deneysel aşamada olarak değerlendirilecek bu tür uygulamalar dünya genelinde giderek yaygınlaşmaktadır. Bu alandaki güçlük gerekli enerji miktarının mümkün olan en büyük oranda bu kaynaklardan karşılanmasıdır. Bu yaklaşım çeşitli ölçeklerdeki rüzgar türbinlerinin, PV pillerin/panellerin, güneş kolektörlerinin, birleşik ısı ve güç sistemlerinin ve yakıt hücrelerinin yapıya entegre edilmesini gerektirir ki, bu sadece mimarın alabileceği bir karar olmayıp, yatırımcı ve mühendislerin birlikte çalışmasıyla sonuca ulaşabilecek bir yaklaşımdır. Aşağıda bu teknolojilere ve uygulandıkları yüksek bina örneklerine ilişkin bilgi verilmektedir.

3.1. Güneş Enerjisinden Yararlanma

Yapılarda güneş ışığından elektrik ve ısı enerjisi üretme amacıyla yararlanılmaktadır. Bu açıdan bakıldığında, özellikle güneş ışınlarından elektrik elde etme etkinliği düşük olsa da, bilimsel çalışmalarla, bu teknolojinin giderek geliştirilmesi beklenmektedir [14].

Yapılarda güneş enerjisinden güneş kolektörleri, fotovoltaiik (PV) paneller ve binaya entegre PV (BIPV) gibi ekipmanlar kullanarak, ısı ve elektrik enerjisi üretmek mümkündür. PV panellerin uygulanma potansiyeli az katlı yapılara oranla yüksek yapılarda daha fazladır; çünkü komşu binalardan daha yüksek olarak, doğrudan güneş ışınımı alma olanağı daha fazladır. PV lerin yapılarda kullanımına ilişkin en önemli sorun estetik ve yüksek verimlilik almak için çok miktarda PV panelinin düzenlenmesi gerekliliğidir.

Bu sorunlara yönelik olarak Center for Architecture Science and Technology (CASE) önderliğinde, Rensselaer Politeknik Enstitüsü, Skidmore, Owings ve Merrill ile diğer mühendislik ve mimarlık firmalarının biraraya gelerek geliştirdikleri Dinamik Güneş Cehesi (Dynamic Solar Facade) bu konudaki en son gelişmelerden biridir (Resim 6). Bu cephe sistemi, güneş ışınlarını kendi merkezlerine yönlendiren piramidal formda saydam camların petek düzeninde birbirine monte edilmesiyle oluşmaktadır. Her cam piramidin merkezine yerleştirilen lensler güneş ışığını 500 kat yoğunlaştırarak, bir pul büyüklüğünde ve Spectrolab adı verilen, galyum arsenidden üretilmiş güneş hücresine yönlendirmektedir. Aynı zamanda saydam bir cephe oluşturan bu teknoloji ile güneş ışığından ve ısısından %60-80 verimlilikle yararlanmak mümkün olmaktadır [15].



Resim 6. CASE Tarafından Geliştirilen Dinamik Güneş Cehesi [15].

3.2. Rüzgar Enerjisinden Yararlanma

Rüzgardan enerji üretmek amacıyla yüksek binalara rüzgar türbinlerinin yerleştirilmesi yaklaşımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu yöntem bir taraftan yüksek bir binanın karbon ayakizini azalttığı gibi, diğer taraftan da bu yapı türünün görsel açıdan çevresel bir göstergesi olup, kamu üzerinde de olumlu bir etki yaratmaktadır. Rüzgar hızının yerden yükseldikçe artmasından dolayı, yüksek binalar az ve orta yükseklikteki binalara oranla bu konuda daha avantajlıdır. Ancak rüzgar enerjisinden yararlanma kararı alınmadan önce dikkat edilmesi gereken bazı konular vardır. Bunların en başında yerel rüzgar düzeni gelmektedir. Rüzgar gücü potansiyelinin değerlendirilmesinde günlük ve yıllık ortalama rüzgar hızı dikkate alınmalıdır. Ancak bu da tek başına yeterli bir istatistik değildir. Örneğin bazı iklim bölgelerinde yılın sınırlı dönemlerinde mevsimsel fırtınalar görülmekte, bunun dışındaki dönemler sakin, rüzgarsız geçmektedir. Benzer şekilde, bazı bölgelerde gün boyunca çok değişken bir rüzgar hızı görülebilmektedir. Rüzgar gücü potansiyeline ilişkin en güvenli veri bölgenin yıllık ortalama rüzgar hızı yoğunluğudur. Rüzgar hızı yoğunluğu, sadece rüzgar hızının değil, rüzgar hızı dağılım frekansının da dikkate alınarak tespit edildiği yıllık ortalama rüzgar gücü miktarıdır [16].

Dikkat edilmesi gereken bir diğer konu da hakim rüzgar yönüdür. Binanın kütleli formu ve türbinlerin binadaki yerleşimi hakim rüzgar yönü dikkate alınarak tasarlanmalıdır. Yapılan çalışmalar rüzgar türbinlerinin hakim rüzgar yönüyle 45° açı yapacak şekilde yerleştirilmesinin maksimum verimlilik sağlayacağını ortaya koymuştur.

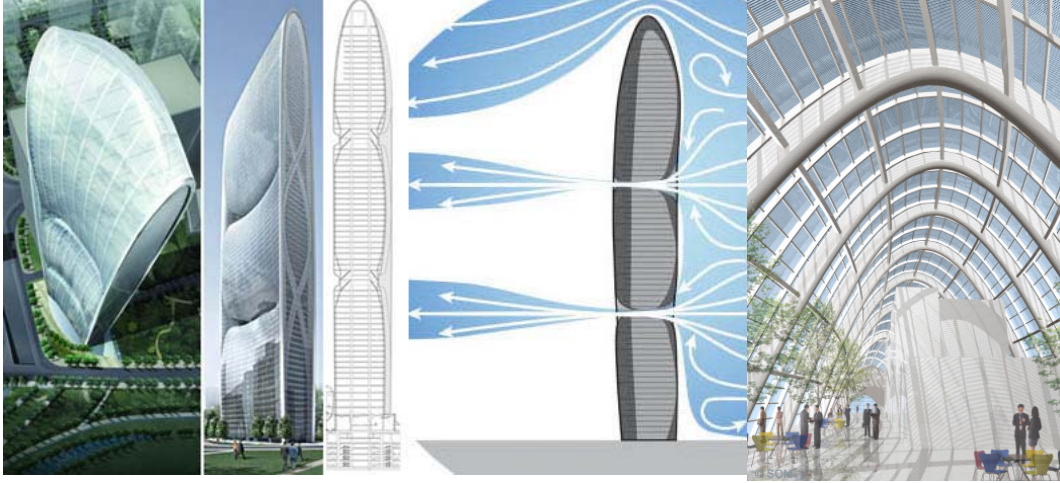
Yüksek bir binada rüzgar enerjisinden en etkin şekilde yararlanmak için bu kararın tasarım aşamasında alınması ve bina geometrisi ile kütleli formu bu doğrultuda tasarlanması gerekmektedir. Dünya genelinde performansı en yüksek uygulamalar bu şekilde yapılmış tasarımlardır. Örneğin Bahreyn'deki Dünya Ticaret Merkezi (2008) (Resim 7), Guangzhou'daki Pearl River Kulesi (2010) (Resim 8) gibi bazı yapıların kütle ve cephe tasarımında öncelikli etken bu rüzgar türbinlerinin bina ile bütünleştirilmesidir. Skidmore, Owings ve Merrill de, Shanghai'da tasarlamış olduğu Dünya Ticaret Merkezi'nin tepesinde daha sonra yerleştirilmesi ön görülen bir rüzgar türbini için dairesel bir boşluk bırakmış, ancak bazı ekonomik ve teknik sorunlardan dolayı bu türbin henüz yerleştirilememiştir.



Resim 7. Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi, Bahreyn (2008); (Solda) Genel Görünüş, (Sağda) Rüzgar Türbinlerinin Binayla İlişkisi.

Güney Afrikalı mimar Shaun Killa tarafından tasarlanan, 240 m yüksekliğindeki Bahreyn Ticaret Merkezi de rüzgar türbinleriyle elektrik enerjisinin bir kısmını üreten çarpıcı bir örnektir. Yapı yelken formunda simetrik iki kuleden oluşmakta olup, kuleler birbirine 29 m çapında üç rüzgar türbiniyle bağlanmaktadır. Yapının elektrik enerjisinin %10-15'inin bu türbinler tarafından karşılanması beklenmektedir [17, 18].

71 katlı ve 309.6 m yüksekliğindeki Pearl River Kulesi'nin (2010) dünyadaki en enerji etkin yapıları arasında ön plana çıkmaktadır. Skidmore, Owings ve Merrill firmasından Gordon Gill tarafından tasarlanan yapının pasif yöntemlerle enerji tasarrufu sağlamasının yanısıra, aktif olarak da enerji üretebilmesi ilk bakışta göze çarpan özellikleridir. Yapının kütlesi üzerindeki yarıklara yerleştirilmiş 10 000 kWh/y gücünde, 4 adet küçük ölçekli, düşey eksenli rüzgar türbinleri ile elektrik enerjisinin %1'ini üretmesi beklenmektedir. Guangzhou'da rüzgar hızının ortalama 4 m/s olması ve bu hızın rüzgar türbinlerini etkin bir şekilde çalıştırmasının mümkün olmamasından dolayı, rüzgara paralel doğrultudaki güney cephesinde oluşan negatif basınçla hava akımı 8m/s'ye yükseltilmiştir. Modelleme ve rüzgar tüneli testlerinin sonuçlarına göre, bu yöntemle türbinler tek başına duran, eşdeğer büyüklükte geleneksel bir türbine kıyasla 15 kat daha fazla elektrik enerjisi sağlayacaktır.



Resim 8. Pearl River Kulesi, Guangzhou (2010).

Yapıda rüzgar gücünün yanısıra bir dizi aktif enerji stratejilerinden de yararlanılmıştır. Kütlelerin tepesinde, 1500 m² cama entegre edilmiş ince film PV hücrelere ek olarak, batı cephesindeki sabit güneş ekranına yerleştirilen 1500 m² PV hücreler, toplam 300 000 kWh kapasiteyle gerekli elektrik enerjisinin %2'sini üretecektir. Tropikal güneşin etkilerine maruz bu ofis kulesinde, mekanik sistemlerin soğutma yükünü ve enerji tüketimini azaltmak üzere çift kabuk bir cephe sistemi de tasarlanmıştır. Dış katman low-E kaplamalı ve yalıtımlı çift camdan, iç katman tek camdan yapılmış olup, ara katmandaki hava güneş etkisiyle fazla ısındığında, iç mekanları etkilemeden, her kat seviyesindeki boşluklardan fanlarla dışarı atılmaktadır. Normal koşullar altında, ara boşluğa alınan doğal hava, mekanik katlara yönlendirilmekte, burada koşullandırılarak iç mekanlara verilmektedir. İç mekanlarda doğal ışıktan yararlanmanın yanısıra, güneşin ısıtma etkisini ve kamaşmayı önlemek amacıyla, çift kabuk cepheye entegre edilen ve güneş ışığına duyarlı hareket eden otomatik gölgeleme elemanları bulunmaktadır.

Yüksek binalarda güneş ve rüzgar enerjisinden yararlanan bir diğer örnek de, 2009 yılında yapımı askıya alınan Dubai'deki Lighthouse Kulesi'dir. Atkins Middle East tarafından tasarlanan bu 66 katlı kule, zeminden yükselen iki ayrı kulenin 11. katta bir köprüyle birleşmesinden oluşmaktadır. Kulenin güney cephesine entegre edilen 4000 adet güneş paneli ve 3 adet 29 m çapındaki rüzgar türbini ile elektrik ihtiyacının %65'ini karşılaması beklenmektedir.

3.3. Birleşik Isı ve Güç Sistemleri

Birleşik ısı ve güç sistemleri enerjinin hem elektrik hem de ısı formunda, aynı sistem içinde birlikte üretilmesini sağlamakta olup, kojenerasyon ve trijenerasyon sistemleri olarak da bilinmektedir [19]. 20 yılı aşkın bir süredir dünyada başarıyla uygulanan ve özellikle son 10 yılda daha fazla yaygınlaşan bu yöntemle aynı miktarda kaynak girdisiyle daha yüksek verimlilikte enerji üretilmektedir. Başka bir deyişle, her iki enerji formunun ayrı ayrı üretilmesi için gereken kaynak miktarıyla, bu sistem kullanıldığında daha fazla enerji üretilmektedir. Sadece elektrik üreten bir gaz türbini ya da motoruyla kullanılan enerjinin %30-40'ı elektriğe dönüştürülürken, bu sistemlerde dışarı atılan ısı enerjisi de kullanılır ve verimlilik %70-90 mertebelerine çıkar. Enerji verimliliğinin yanısıra bu sistemlerde CO₂ yayımı daha düşüktür (Resim 9).

Kojenerasyon sistemlerinin kullanımı Avrupa şehirlerinde oldukça yaygındır. Örneğin Stockholm, Helsinki ve Kopenhag elektrik ve ısıtma ihtiyaçlarının önemli bir kısmını bu sistemlerle karşılamaktadır. Yoğun kentsel yerleşimlerde enerji tasarrufu sağlamak amacıyla geliştirilen bu teknoloji tasarım esnekliğine sahip olduğu için tek bir yüksek bina için veya enerji ihtiyaçları eşdeğer olan yüksek bina grupları için de kullanılabilir [20].



Resim 9. Bir Kojenerasyon Santralinden Örnek.

Kojenerasyon sistemlerinin yüksek binalarda kullanıldığı ilk örnek New York'ta Cook + Fox Architects tarafından tasarlanan One Bryant Park Kulesi'dir (2009) (Resim 4). 58 katlı 366 m yüksekliğindeki bu ofis binası elektrik enerjisinin önemli bir kısmını 4.6 megaWatt gücündeki kojenerasyon sistemiyle elde etmektedir. Bu bina kojenerasyon sisteminin yanısıra bir çok ekolojik özelliğiyle ABD'nin platin LEED sertifikası alan ilk gökdeleni olmuştur. Örneğin döşemeden tavana kadar ısı yalıtımlı camlar maksimum gün ışığı sağlarken, otomatik gün ışığı ayarlama sistemiyle ofislerdeki kamaşma sorunu yok edilmiştir. İçeri filtrelenerek alınan taze hava, dışarı bırakılırken de büyük oranda arındırılmaktadır. Yapı sadece enerji performansı açısından değil, iç mekan çevre kalitesi, su ve malzeme kullanımındaki etkinliği açısından da dikkat çekicidir. İç mekamlarda CO₂ oranı yükseldiğinde sinyal veren sensörler bulunmaktadır. Döşeme altından havalandırma sistemi ve her mekandaki termostatlar ile kullanıcılar istedikleri gibi buldukları mekanın ısı düzeyini ayarlayabilmektedir. Tuvaletlerde kullanılan susuz pisuvarlar önemli ölçüde su tasarrufu yapmakta ve 4 ara katta düzenlenen büyük boyutlu su tanklarından birisinde yağmur suyu depolanmaktadır. Buna ek olarak yerin 27 m altına gömülen 54 adet dev boyuttaki su tankı, buz pilleri olarak adlandırılmakta ve bu tanklar gece boyunca toprak ısısından yararlanarak buz üretmekte, buzlar HVAC sisteminde soğutma amaçlı kullanılmaktadır [21].

3.4. Yakıt Hücreleri

Sürekli sağlanan bir yakıttan elektromanyetik yolla elektrik üreten araçlar olan yakıt pilleri çevreye zararlı atık oluşturmamaları, sessiz çalışmaları ve yüksek enerji etkinliği açısından büyük yarar sağlamaktadır. Elektrik enerjisi üretmelerinin yanısıra, sıcak su veya mekan ısıtma için gerekli ısı enerjisi için termal enerji kaynağı olarak da kullanılabilirler. Bu araçlarda kullanılan yakıt genellikle hidrojen olup, hidrojen elde etmenin en etkin yolu ise doğal gazdan yararlanmaktır. Çevresel yararları fazla, sessiz ve temiz araçlar olan yakıt hücreleri, doğal gazdan elde ettiği hidrojen ve oksijeni birleştirerek, elektrik, ısı ve su üretmektedir [20]. Bu araçların kullanımında en önemli sorun hidrojen kaynağının ekonomik yolla elde edilebilmesi olduğundan ve günümüz şartlarında yüksek maliyetli olduklarından, gelecekte üretimlerinin yaygınlaşmasıyla maliyetlerinin de düşmesi beklenmektedir. New York'taki Conde Nast Binası'nın (Resim 10) 4. katına yerleştirilen 2 adet 200kW/s gücündeki yakıt hücresi, doğal gaz kullanarak gereken enerjinin bir kısmını üretmektedir. Bunun yanısıra elektrik enerjisinin %5 oranındaki kısmı da üst katlardaki parapetlere yerleştirilen PV panellerle sağlanmaktadır [22, 23].



Resim 10. Conde Nast Binası, New York (2000).

4. YÜKSEK BİNALARDA GELİŞMİŞ CEPHE TEKNOLOJİLERİ

Yüksek bir yapıda enerji etkinliği, başka bir deyişle ısıtma ve soğutma enerjisinden tasarruf, iç mekanların doğal olarak aydınlatılması ve havalandırılması, bunların yanısıra, güneşin istenmeyen etkilerinden kaçınmak açısından cephe tasarımı önem taşımaktadır. Cephe yüzeyleri yüksek bir yapının kabuğunun yaklaşık %90-95'ini oluşturmaktadır; dolayısıyla çatı yüzeyi cepheye oranla daha az önem taşımaktadır [20]. Yüksek bir yapıda enerji tasarrufu ve kaybı, cephe sisteminde kullanılan malzeme ve uygulanan detaylarla yakından ilişkilidir. Cephe sadece yapının mimari kimliğini ve estetiğini belirlemekle kalmayıp, iç mekan çevre koşullarının kontrol edilmesinde de önemli bir görev üstlenmektedir.

Bu alandaki en güncel eğilimlerden biri, doğal havalandırma sağlamanın yanısıra ısıtma ve soğutma enerjisinden tasarruf sağlamaya yönelik olarak tasarlanan çift kabuk cephe sistemleridir. Ingenhoven Overdiek Architects tarafından tasarlanan, Münih'teki Hochhaus Uptown Münih (Resim 11), bu alandaki ilk uygulamalardan biri olup, kat yüksekliğinde tasarlanan çift katmanlı cephe panelleri ve bu panellerin üzerinde, bina otomasyon sistemi tarafından çalıştırılan dairesel vantilatörlerle, çalışanlarına doğal hava ve dış gürültüye karşı yalıtım sağladığı gibi, ısıtma ve soğutma için gerekli enerjiyi de azaltmaktadır [22]. Norman Foster tarafından tasarlanan Londra'daki Swiss Re Kulesi de (Resim 12) bu teknolojinin uygulandığı en güncel örneklerden biridir. Çift kabuk cephe teknolojisinin yanı sıra, argon dolgulu çift camlar, üçlü camlar ve çeşitli kaplamalar ile camın ışık geçirgenliği önlenmeden, ısı geçirgenlik değerleri azaltılabilmektedir [24].

SONUÇ

Tarih boyunca değişen mimari eğilimlerin, teknolojik gelişmelerin ve yapı yönetmeliklerindeki değişikliklerin yüksek binaların enerji performansında etkili olduğunu söylemek mümkündür. İlk yüksek bina örneklerinde enerji büyük oranda mekanların ısıtılmasında ve düşey ulaşım sistemlerinde tüketilirken, yapıların masif taşıyıcı duvarlı cepheleri ve termal kütleleri istenmeyen ısı kayıp ve kazançlarını engelliyor, enerji performansını artırıyor.



Resim 11. Hochhaus Uptown Münih Binası, Münih (2004).



Resim 12. Swiss Re Kulesi, Londra (2004).

İkinci dönem yüksek binalar, 1916 New York İmar Planı'nın doğal bir sonucu olarak giderek narinleşmeye başlamış, bununla beraber cephedeki hareketlenme istenmeyen ısı kaybı ve kazançlarına neden olmuştu. Ancak bu durum bir taraftan da doğal ışıktan yararlanmayı kolaylaştırıyordu.

Üçüncü dönemin yüksek binaları ise büyük oranda cam giydirme cephe tasarımının etkisi altında gelişmiş, binalarda şeffaflık ve gün ışığından yararlanma olanağı artmış, buna karşılık enerji performansında düşme görülmüştür. Cephe derinliği fazla olan kullanım alanları ancak mekanik havalandırma ve yapay aydınlatma sistemlerinin desteği ile işletilebiliyor, bu da enerji tüketimini artırıyordu. Bu dönemde yönetmeliklerle konfor koşulları da geliştirilmiş, örneğin ofislerdeki aydınlık düzeyleri artırılmıştı.

Dördüncü dönemin yüksek binaları da, ısıcamlı doğramaların avantajıyla, şeffaflık oranı değişmeksizin, enerji performansında yükselme görülmüştür. Mekanik havalandırmaya dayalı olarak işletilseler de, cephede istenmeyen ısı kaybı ve kazançlarının önlenmesine ilişkin teknolojik gelişmeler enerji performansının yükselmesinde büyük avantaj sağlamıştır.

1973 ve 1979'daki enerji krizinden günümüze kadar geçen dönemde yapılan yüksek binaların çağdaş örneklerinde doğal aydınlatma ve havalandırmaya, bunun beraberinde getireceği çevresel yararlar ve kullanıcı sağlık/konforuna büyük önem verilmiştir. Günümüzün çağdaş yüksek binaları artık teknolojinin de yardımıyla "net-sıfır enerjili bina" olma yolunda büyük yol katetmiştir. Geçmişte enerji ve doğal kaynakların kitlesel tüketicileri olarak bilinen yüksek binalar, günümüzde gelişen teknolojinin de yardımıyla yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma konusunda ilerleme kaydetmiştir. Bu konudaki yenilikler ve uygulamalar henüz deneysel aşamada olsa da, yüksek binaların gelecekte sadece enerji performansı açısından çok iyi bir noktaya gelmekle kalmayıp, çevre ve insan sağlığına yararlı bir bina türü olması da mümkündür.

KAYNAKLAR

- [1] SEV, A., Sürdürülebilir Mimarlık, YEM Yayın, İstanbul, 2009.
- [2] LAM, J. C., CHAN, R. Y. C., TSANG, C. L., LI, H. D. W., “Electricity Use Characteristics of Purpose-built Office Buildings in Sub-tropical Climates”, Energy Conservation and Management, 46 (6) s. 829-839, 2004.
- [3] COUNCIL ON TALL BUILDINGS AND URBAN HABITAT, www.ctbuh.org, (erişim: Ocak 2011).
- [4] OSTERHAUS, W. K. E., “Office Lighting: A Review of 80 Years of Standards and Recommendations”, Proceedings of the IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, 2-8 Kasım, Toronto, s. 345-355, 1993.
- [5] OLDFIELD, P., TRABUCCO, D., WOOD, A., “Five Energy Generations of Tall Buildings: A Historical Analysis of Energy Consumption in High Rise Buildings”, CTBUH 8th World Congress, Tall and Green: Typology for a Sustainable Urban Future, 3 - 5 March, Dubai, s. 300-310, 2008.
- [6] WILLIS, C., Form Follows Finance: Skyscrapers and Skylines in New York and Chicago, Princeton Architectural Press, New York, 1995.
- [7] WEISS, M. A., “Skyscraper Zoning: New York’s Pioneering Role”, Journal of the American Planning Association, 58 (2), s. 201-212, 1992.
- [8] DEPECKER, P., MENEZO, C., VIRGONE, J., LEPERS, S., “Design of Buildings Shape and Energetic Consumption”, Building and Environment, 36 (5), s. 627-635, 2001.
- [9] SCHITTICH, C., STAIB, G., BALCOW, D., SCHULER, M., SOBER, W., Glass Construction Manual, 2nd Edition, Birkhäuser Verlag AG, Basel, 2007.
- [10] ARNOLD, D., “Air Conditioning in Office Buildings after World War II”, ASHRAE Journal, July, s. 33-41, 1999.
- [11] STEIN, R. G., “Observations on Energy Use in Buildings”, Journal of Architectural Education, 30 (3), s. 36-41, 1977.
- [12] JOHNSON, T. E., Low-E Glazing Design Guide, Butterworth Architecture, Stoneham, Massachusetts, 1991.
- [13] ASTON, A., “A Skyscraper Banking on Green”, Business Week, 28 Şubat, 2007.
- [14] SEV, A., ÖZGEN, A., “Can Tall Buildings Be Sustainable? / Yüksek Binalar Sürdürülebilir Olabilir mi?” Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Gazi Üniversitesi, Ankara, s. 6-11, s. 232-237, 26-28 Mayıs 2010.
- [15] Integrated Concentrating (IC) Dynamic Solar Facade, Center for Architecture Science and Technology, <http://www.case.rpi.edu/projects/ICsolar.html> (erişim: Ocak 2011).
- [16] DENOON, R., COCHRAN, B., BANKS, D., WOOD, G., “Harvesting Wind Power from Tall Buildings”, CTBUH 8th World Congress, Tall and Green: Typology for a Sustainable Urban Future, 3 - 5 Mart, Dubai, s. 320-327, 2008.
- [17] KILLA, S., SMITH, R. F., “Harnessing energy in tall buildings: Bahrain World Trade Center and beyond”, CTBUH 8th World Congress, Tall and Green: Typology for a Sustainable Urban Future, 3 - 5 March, Dubai, s. 144-150, 2008.
- [18] GUTHRIE, A., “Tall buildings sustainability from the bottom up”, CTBUH 8th World Congress, Tall and Green: Typology for a Sustainable Urban Future, 3 - 5 March, Dubai, S. 95-101, 2008.
- [19] KOJENERASYON NEDİR?, <http://www.kojenerasyon.com/htmls/kojensayfa.htm> (erişim: Ocak 2011).
- [20] ALI, M. M., ARMSTRONG, P. J., “Overview of Sustainable Design Factors in High-Rise Office Buildings”, CTBUH 8th World Congress, Tall and Green: Typology for a Sustainable Urban Future, 3 - 5 March, Dubai, s. 282-291, 2008.
- [21] THE BANK OF AMERICA – Megastructure of One Bryant Park, <http://www.archinomy.com/case-studies/285/the-bank-of-america-megastructure-at-one-bryant-park.pdf> (erişim: Ocak 2011).
- [22] WELLS, M., Skyscrapers, Structure and Design, Yale University Press, New Haven, 2005.
- [23] CONDE NAST TOWER, NEW YORK, http://www.wirednewyork.com/skyscrapers/4xsq/images/conde_nast_top_teligent.jpg (erişim Ocak 2011).
- [24] PANK, W., GIRARDET, H., COX, G., Tall Buildings and Sustainability, The Corporation of London, Londra, 2002.

ÖZGEÇMİŞ

Ayşin SEV

1971 yılı İstanbul doğumludur. 1994 yılında MSÜ Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü'nden 1997 yılında Yüksek Mimar ve 2001 yılında Doktor ünvanını almıştır. MSÜ Mimarlık Bölümü Yapı Bilgisi Bilim Dalı'nda 1996–2002 yılları arasında Araştırma Görevlisi, 2002–2010 yıllarında Yardımcı Doçent olarak görev yapmıştır. 2010 yılında Doçent ünvanı almış olan yazar, halen aynı Bilim Dalı'nda görev yapmakta olup, yapı teknolojileri, yüksek yapılar, sürdürülebilir mimarlık ve yeşil bina değerlendirme sistemleri üzerinde çalışmalarına devam etmektedir.

Bahar BAŞARIR

1986 yılı İstanbul doğumludur. Suat Terimer Anadolu Lisesi'nden okul birincisi olarak mezun olmuştur. Mimarlık eğitimi sırasında, 2007 yılında Erasmus Programıyla Instituto Superior Tecnico (Portekiz, Lizbon)'da bulunmuştur. 2010 yılında MSGSÜ Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nü bitirmiş; aynı üniversitenin Yapı Bilgisi Programı'nda Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır. 2011 yılı itibarıyla MSGSÜ Mimarlık Bölümü Yapı Bilgisi Bilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak görev yapmak olup, yüksek yapılar ve sürdürülebilir mimarlık üzerine çalışmalarda bulunmaktadır.