

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK YAPILAR VE SÜRDÜRÜLEBİLİR ENERJİ

NAZLI DEMİR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
YAPI BİLGİSİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. CANAN GİRGIN**

İSTANBUL, 2011

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK YAPILAR VE SÜRDÜRÜLEBİLİR ENERJİ

NAZLI DEMİR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
YAPI BİLGİSİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. CANAN GİRGİN**

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK YAPILAR VE SÜRDÜRÜLEBİLİR ENERJİ

Nazlı DEMİR tarafından hazırlanan tez çalışması 29.03.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Canan GİRGIN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Canan Girgin
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Görün ARUN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Oğuz Cem Çelik
İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi'nde gerçekleştirilen bu Yüksek Lisans Tezi kapsamında, her geçen gün sayısı ve önemi artan yüksek yapılar ve bu yapılarda kullanımı artık gereklilik halini alan yenilenebilir (sürdürülebilir) enerji kaynakları ve enerji etkin sistemler incelenmiştir. Bu çalışma ile aynı zamanda, ülkemizde sürdürülebilir yüksek yapı tasarımı için bir kaynak oluşturulması amaçlanmıştır.

Bu tezi tamamlamam konusunda büyük özveriyle çalışarak bana destek olan ve yol gösteren tez danışmanım Doç. Dr. Canan GİRGIN'e teşekkürü bir borç bilirim.

Tüm desteğini ve sevgisini her zaman hissettiğim sevgili anneme, bu çalışmayı bitirmem konusunda da manevi gücünü hissettirdiği ve inandığı için, yürekten teşekkür ederim. Çalışmada görsel unsurların düzenlenmesi ve hazırlanmasında yardımcı olan kardeşim, Grafiker Yeşim DEMİR'e içtenlikle teşekkür ederim. Varlıklarıyla hep yanımda olan ve beni destekleyen kardeşlerime ve dostlarıma çok teşekkür ederim.

Tezimi hazırlarken gösterdikleri anlayış için Proplan Proje Yön. ve San. Tic. A.Ş' deki, başta Sayın Serdar ODABAŞ olmak üzere tüm yöneticilerime ve teknik konularda yardımlarına başvurduğum çalışma arkadaşlarıma ve Sayın Tanyeli GÜNEŞ'e çok teşekkür ederim.

Akademik çalışmalara destek olan, her türlü uygulama bilgisini paylaşan Çuhadaroğlu Alüminyum'dan Sayın Nurcan MARAŞ'a, Sapa Building System'den Sayın Arzu ÖZDER'e, Aygün Alüminyum San. ve Tic. AŞ.'den Sayın İlker GÜNEYSEL'e teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca Şişecam AŞ, Biskon İnşaat, Hydro Building Systems International ve Sayın Bayram KARACA' ya teşekkür ederim.

Mart, 2011

Nazlı Demir

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	ix	
KISALTIMA LİSTESİ	x	
ŞEKİL LİSTESİ	xii	
ÇİZELGE LİSTESİ	xvii	
ÖZET	xix	
ABSTRACT	xxi	
BÖLÜM 1		
GİRİŞ		
1.1 Literatür Özeti	1	
1.2 Tezin Amacı	3	
1.3 Bulgular	3	
BÖLÜM 2		
YÜKSEK YAPILAR		5
2.1 Yüksek Yapı Tanımı	5	
2.2 Yüksek Yapılarda Yapı Yüksekliği	6	
2.2.1 Yapı Yüksekliği Ölçme Teknikleri	8	
2.3 Yüksek Yapıların Gelişimi ve Nedenleri	8	
2.3.1 Sosyal, Kültürel ve Ekonomik Nedenler	11	
2.3.2 Taşıyıcı Sistem Tasarımlarındaki Gelişmeler	12	
2.4 Yüksek Yapılarda Form	15	
2.5 Yüksek Yapılarda Fonksiyon	18	
2.6 Kent ve Yüksek Yapılar	19	
BÖLÜM 3		
YÜKSEK YAPILAR VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK		21
3.1 Yenilenebilir Kaynaklar Ve Önemi	21	
3.2 Yenilenebilir Kaynakların Dünyada Kullanımı	23	

3.3	Yenilenebilir Kaynakların Yüksek Yapılarda Kullanımı ve Sürdürülebilir Enerji	24	
BÖLÜM 4			
RÜZGAR ENERJİSİ VE YÜKSEK BİNALARDA KULLANIMI			26
4.1	Rüzgar Enerjisine Genel Bakış	26	
4.2	Rüzgar Enerjisi Tarihçesi	27	
4.3	Rüzgar Enerjisi Kaynağı	32	
4.4	Rüzgar Enerjisinin Özellikleri	33	
4.5	Rüzgar Türbinleri	33	
4.5.1	Rüzgar Türbinleri ve Çevresel Etkileri	41	
4.5.2	Yapılara Göre Rüzgar Türbini Sınıflandırılması	42	
4.5.2.1	Bina Bağımsız Rüzgar Türbinleri	43	
4.5.2.2	Bina Monte Rüzgar Türbinleri (Building Mounted Wind Turbines- BUWT)	44	
4.5.2.3	Bina Entegre Rüzgar Türbinleri (Building Integrated Wind Turbines)	46	
4.6	Rüzgar Türbinleri ve Yüksek Binalarda Kullanımı	47	
BÖLÜM 5			
GÜNEŞ ENERJİSİ VE YÜKSEK BİNALARDA KULLANIMI			65
5.1	Fotovoltaik Pillerin Tarihçesi	67	
5.2	Fotovoltaik Pillerin Yapısı ve Özellikleri	70	
5.3	Yapılarda Fotovoltaik Pil Kullanımı	75	
5.4	PV Panellerin Verimliliği	81	
5.5	Türkiye Ve Dünyada PV Teknolojisinin Durumu	83	
BÖLÜM 6			
JEOTERMAL ENERJİ VE ISI POMPALARI			94
6.1	Jeotermal Enerji Teknolojileri	95	
6.1.1	Kuru Buhar Santralleri	95	
6.1.2	Flash Buhar Santralleri	95	
6.1.3	Binary Cycle Buhar Santralleri	96	
6.2	Jeotermal Sistem	96	
6.3	Isı Pompası	97	
6.3.1	Toprak Kaynaklı Isı Pompaları	98	
6.3.2	Su Kaynaklı Isı Pompaları	99	
6.3.3	Hava kaynaklı Isı Pompası	100	
BÖLÜM 7			
İKLİMLE DENGELİ TASARIM VE BİYOKLİMATİK YAPILAR			105
7.1	Doğal Havalandırma	109	
7.2	Çift Cepheler	113	

7.2.1	Çift cephelerin sınıflandırılması	115
7.2.1.1	Tampon Bölge Oluşturarak Yapılan Doğal Havalandırma (Buffer System)	115
7.2.1.2	Havanın Emilerek Sirkülasyonunu Sağlayan Sistem (Extractes System).....	116
7.2.1.3	Çift Katmanlı Sistem	117
7.3	Rüzgar Duvarları	117
7.4	Isı Bacaları	118

BÖLÜM 8

YÜKSEK YAPILARDA CEPHE SİSTEMLERİ	129	
8.1	Isı yalıtımı ve güneş kontrolü	130
8.2	Su geçirimsizlik	132
8.3	Hava geçirimsizlik	133
8.4	Yoğuşma kontrolü	133

BÖLÜM 9

YÜKSEK YAPILAR VE CAM	137	
9.1	Camın Tanımı	137
9.2	Camın Tarihçesi	137
9.3	Cam Çeşitleri	140
9.3.1	Üretim Şekline Göre Camlar	141
9.3.1.1	Levha Camlar	141
9.3.1.2	Çekme Camlar.....	141
9.3.1.3	Float Camlar.....	142
9.3.2	Kullanım Amaçlarına Göre Camlar	142
9.3.2.1	Güvenlik Camları	142
9.3.2.2	Lamine Cam	143
9.3.2.3	Temperli Cam	143
9.3.2.4	Gürültü Kontrol Camı	143
9.3.2.5	Güneş ve Isı Kontrol Camları	144
9.3.2.6	Kaplamalı Cam	145
9.3.2.7	Renkli Camlar	146
9.3.2.8	Low-e (Düşük Emisiviteli) Cam	146
9.3.2.9	Yansıtıcı (Reflektif) Cam	147
9.3.3	Gelişmiş Cam Teknolojileri	148
9.3.3.1	Termokromik Camlar	148
9.3.3.2	Fotokromik Camlar.....	149
9.3.3.3	Elektrokromik Camlar.....	149
9.3.3.4	Gazokromik Camlar	151
9.4	Sürdürülebilir Mimarlıkta Cam Kullanımı	152
9.5	Yüksek Yapılarda Cam Kullanımı ve Tarihçesi	153

BÖLÜM 10

YÜKSEK YAPILARDA ENERJİ DERECELENDİRME SİSTEMLERİ	160
10.1 LEED Sistemi	160
10.1.1 Sürdürülebilir Alanlar Oluşturulması.....	161
10.1.2 Suyun Etkin Kullanımı	161
10.1.3 Enerji Verimliliği	161
10.1.4 Malzeme	161
10.1.5 İç Hava Kalitesi	162
10.2 BREEAM Modeli (Building Research Establishment Environmental Assessment Method).....	163
10.2.1 Küresel Sorunlar ve Kaynak Kullanımı	164
10.2.2 Yerel Sorunlar	164
10.2.3 Yapı İçi Sorunlar	164
10.3 CASBEE Modeli	165

BÖLÜM 11

SONUÇ VE ÖNERİLER.....	177
KAYNAKLAR	180
EK- A	
KAT SAYISI BELLİ OLAN OFİS BİNASI YÜKSEKLİĞİ HESAPLAMA.....	193
EK- B	
KAT SAYISI BELLİ OLAN KONUT VE OTEL BİNALARI İÇİN YÜKSEKLİK HESAPLAMA	194
EK- C	
KAT SAYISI BELLİ OLAN KARMA FONKSİYONLU YA DA FONKSİYONU BİLİNMEYEN YAPILARIN YÜKSEKLİKLERİNİ HESAPLANMASI.....	195
ÖZGEÇMİŞ	196

SİMGE LİSTESİ

A	Havanın temas ettiği alan
f	Döşemeden döşemeye yükseklik
P	Güç (kW, MW, GW, TW)
P_w	Pencerede oluşan basınç farkı
Q	Toplam hava geçirgenliği (m ³ /saat)
U	Isı geçirim katsayısı (W/m ² K)
V_w	Rüzgar hızı
V	Volt, Elektrik akım ölçüsü
ρ	Havanın yoğunluğu
λ	Kanat ucu hız oranı

KISALTMA LİSTESİ

ASTM	American Society For Testing and Materials
BIWT	Building Integrated Wind Türbines (Bina entegre rüzgar türbini)
BMS	Building Monitoring System
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
BUWT	Building Mounted Wind Turbines (Bina monte rüzgar türbini)
BWTC	Bahrain World Trade Center
CASBEE	Comprehensive Assessment System For Built Environment Efficiency
CFD	Computational Fluid Dynamics
CTBUH	Council on Tall Buildings and Urban Habitat
DOE	United States Department of Energy
DSSC	Dye-sensitized solar cell
EEG	Renewable Energy Law (Yenilenebilir Enerji Yasası)
EIE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
EWTMS	Extended Wind Turbine Monitoring system
GSHP	Ground Source Heat Pump (Toprak kaynaklı ısı pompaları)
HAWT	Horizontal Axis Wind Turbine (Yatay eksenli rüzgar türbini)
HVAC	Heating Ventilating and Air Conditioning
HYTIPVE	Hybrid Thermal Insulating PV Facade
IBEC	Institute for Building Environment and Energy Conservation (Japonya Bina Çevre ve Enerji Koruma Enstitüsü)
JGC	Japan Gasoline Corporation
JQA	Japan Quality Assurance
JSBC	Japan Sustainable Building Consortium (Japon Sürdürülebilir Binalar Konseyi)
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
NASA	National Aeronautics and Space Administration (Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi)
NREL	National Renewable Energy Laboratory
NSF	National Science Foundation
OPVC	Organic Photovoltaic Cell(Organik Fotovoltaik Hücre)
PV	Photovoltaic (Fotovoltaik)
REA	Rural Electric Administration (Kırsal Elektrik İdaresi)
TIPVE	Thermal Insulating PV Facade

USGBC	U.S Green Building Council
VAWT	Vertical Axis Wind Türbine (Düşey eksenli rüzgar türbini)
WEB	Wind Energy For The Built Environment
WTCS	Wind Turbine Control System
ZED	Towards Zero Emissions Urban Development

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Yapıların mimari bitiş noktasına göre dünyanın en yüksek 10 binası6
Şekil 2.2	Yapıların kullanılabilen en son kat durumuna göre dünyanın en yüksek 10 binası7
Şekil 2.3	Yapıların en üst bitiş elemanı dahil olarak ölçülen dünyanın en yüksek 10 binası7
Şekil 2.4	2009 yılında yapımı tamamlanmış olan 38 adet yüksekliği 200 m ve daha fazla olan yüksek yapıların bölgelere göre dağılımı7
Şekil 2.5	Chrysler Binası 9
Şekil 2.6	IBM Binası, Illinois Center10
Şekil 2.7	Diagrid sistemle yapılan günümüz yüksek yapılarına örnekler11
Şekil 2. 8	Bazı yüksek yapı örnekleri12
Şekil 2.9	Yüksek yapılarda tarihlere göre yükseklik artışı13
Şekil 2.10	Monadnock Binası, Park Row Binası14
Şekil 2.11	Fazlur Khan'ın betonarme ve çelik malzemeli taşıyıcı sistem sınıflandırması14
Şekil 2.12	John Hancock Center15
Şekil 2.13	Petronas Kuleleri, Kuala Lumpur ; Taipei 101, Taipei16
Şekil 2.14	Plan şemaları açısından çokgenlerden türetilen simetrik formlar16
Şekil 2.15	Zemin ve bitiş durumuna göre formlar17
Şekil 2.16	Bazı yüksek yapı örnekleri17
Şekil 2.17	Bazı yüksek yapıların plan şemaları18
Şekil 2.18	2009 yılında tamamlanmış olan yüksekliği 200 m ve daha üzerinde olan 38 tane yüksek binanın fonksiyonlarına göre oranları19
Şekil 2.19	Hong Kong, New York şehir silüeti20
Şekil 2.20	İstanbul şehir silüeti, Sokak ölçeğinden algılanan gökdelen20
Şekil 3.1	2005 yılı verilerine göre dünyada üretilen elektrik enerjisinin kaynak dağılımı23
Şekil 3.2	Sürdürülebilirliğin sağlanabileceği sistem ve alt sistemler25
Şekil 4.1	2001 yılında dünyada mevcut rüzgar enerjisi üretim kapasitesinin toplam enerji üretim kapasitesi içindeki yüzdesi27
Şekil 4.2	C.F. Brush tarafından yapılan rüzgar türbini28
Şekil 4.3	NASA/DOE tarafından Washington'da kurulan 7.5 MW kapasiteli MOD-2 türbinleri (1981)29

Şekil 4.4	1970-1980 dönemi türbinlerin karşılaştırması (NASA).....	30
Şekil 4.5	Enercon firmasının 2007’de ürettiği türbin (E-126) ve Maglev rüzgar türbini.....	31
Şekil 4.6	Günümüzde tasarım ve estetikle geliştirilen türbinler	31
Şekil 4. 7	Rüzgar türbinlerinin farklı kullanımına örnekler	32
Şekil 4.8	Avrupa rüzgar atlası	32
Şekil 4.9	Yatay eksenli rüzgar türbinini oluşturan mekanik elemanlar	34
Şekil 4.10	Yatay eksenli, Darrieus , H-rotor düşey eksenli rüzgar türbinleri	34
Şekil 4.11	Freedom Tower, New York	35
Şekil 4.12	Türbin kanatlarında oluşan sapmaların şematik gösterimi	35
Şekil 4.13	Rüzgar türbinlerinin, rüzgar hızına göre çalışmaya başladığı ve otomatik olarak kapandığı hız aralığının güç ile bağlantısı	36
Şekil 4.14	Rüzgar türbini ile ilgili bazı tanımların şematik olarak gösterimi	37
Şekil 4.15	Farklı kesit ve malzeme kullanılmış kanatların detayları	37
Şekil 4. 16	Rüzgar Türbin tiplerinin Cp katsayılarına göre güç eğrileri	39
Şekil 4. 17	Farklı kanat sayılarına göre Cp katsayısının kanat ucu hız oranı (λ) ile bağlantısını gösteren grafik	39
Şekil 4.18	Kanat sayısı ve λ ile Cp’nin değişimi	39
Şekil 4.19	Kanatların farklı hızlarda dönmeleri ile elde edilen güç ve rüzgar hızı bağlantısını gösteren grafikler.....	40
Şekil 4.20	Kanat ile yerleştirildiği yüzey arasındaki açı değiştikçe elde edilen enerji değişimi	40
Şekil 4.21	Seri bağlanmış olan nano fiber takviyeli polimerden yapılan yatay eksenli rüzgar türbini, karbon-fiberglas Darrieus tipi rüzgar türbinleri ..	42
Şekil 4.22	Türbini etkileyen rüzgar yükleri.....	42
Şekil 4.23	Binalara rüzgar enerjisi entegrasyon sistemleri	43
Şekil 4.24	Gray County Wind Farm, Kansas’taki en geniş rüzgar çiftliği	43
Şekil 4.25	Rüzgar türbini temel sistemi	44
Şekil 4.26	Bina monte rüzgar türbinleri için entegrasyon yöntemleri	44
Şekil 4.27	Bina monte rüzgar türbini Windcube	45
Şekil 4.28	a) Bina monte rüzgar türbini Windcube	45
Şekil 4.29	CIS Tower, Londra.....	45
Şekil 4.30	Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi	46
Şekil 4. 31	Bina mesnetsiz rüzgar türbinleri ve bina ilişkileri	46
Şekil 4.32	WEB Projesi kapsamında testler için kullanılan binalar.....	47
Şekil 4.33	Rüzgar türbinlerin 2 katlı prototipler üzerinde test edilmesi	48
Şekil 4.34	İki yapı kütleli arasına kanallı ve kanalsız yapılan testlerle elde edilen güç eğrileri	48
Şekil 4.35	Rüzgarı türbine doğru yönlendiren bina biçimlenişi	49
Şekil 4.36	WEB Projesi kapsamında kullanılan modeller.....	50
Şekil 4.37	Rüzgar enerjisini en etkin şekilde kullanılmasını sağlayan plan düzlemindeki biçimlenişler	50
Şekil 4.38	Castle House Binası ve rüzgar tüneli testi.....	51
Şekil 4.39	Çok yönlü çalışabilen rüzgar türbinli yapı örneği	52
Şekil 4.40	Rüzgar yönü değişken olan bölgelerde yapılabilecek olan türbin tasarımları	53

Şekil 4.41	Rüzgar türbinleri için alınan güvenlik önlemleri	53
Şekil 4.42	ZED Projesi, Londra	54
Şekil 4.43	Düşey eksenli rüzgar türbini kullanılmış yapılar	54
Şekil 5.1	Güneş enerjisinin pasif sistemlerle kullanımlarına ait örnekler	66
Şekil 5.2	Havalı düzlemsel güneş kolektörü ,Sıvılı düzlemsel güneş kolektörü	66
Şekil 5.3	Güneş kollektörü uygulamalarına ait şematik örnekler	67
Şekil 5.4	Güneş pilinin genel gösterimi	67
Şekil 5.5	Güneş pillerinin kullanıldığı uçak (Pathfinder, 1980)	68
Şekil 5.6	Fotovoltaiklerin yapı cephesinde ve çatısında kullanılması.....	69
Şekil 5.7	Fotovoltaik kullanılan bir sokak lambası	69
Şekil 5.8	Fotovoltaik piller çeşitli tekstil ürünlerinde ve aletlerde kullanılabilmektedir	70
Şekil 5.9	Fotovoltaik kullanılarak, güneş enerjisiyle çalışan araçlar	70
Şekil 5.10	4 Ağustos 2007 tarihinde Florida'daki Cape Canaveral üssünden Mars'a gönderilen, güneş enerjisiyle çalışan sistemleri içeren Phoenix adlı uzay aracı.....	70
Şekil 5.11	Fotovoltaik hücreden enerji üretim şeması	71
Şekil 5.12	Organik fotovoltaik hücrenin şematik gösterimi	72
Şekil 5.13	Boya ile ışığa hassaslaştırılan solar hücrenin şematik kesiti	72
Şekil 5.14	Tek kristalli güneş pili kesiti ve Amorf silisyum (a-Si) güneş pili kesiti	73
Şekil 5.15	Mono kristalli ve polikristalli PV paneller	73
Şekil 5.16	PV hücreler ve birbirine bağlanması.....	74
Şekil 5.17	PV sistemin şematik gösterimi	74
Şekil 5.18	PV modülün arkadan görünüşü b) bağlantı kutusu detayı	75
Şekil 5.19	Çatılarda PV uygulaması	75
Şekil 5.20	Yapıların cephesinde kullanılan PV' ler	76
Şekil 5.21	PV'lerin yapılarda kullanım çeşitleri	76
Şekil 5.22	Yapılarda kullanılan PV kollektör detayı	77
Şekil 5.23	Çatılarda PV uygulaması	78
Şekil 5.24	Cephede kullanılan PV detayları.....	78
Şekil 5.25	PV montaj detayı	79
Şekil 5.26	Pasif havalandırılan ve Isı yalıtımlı PV cephe sistemi detayları.....	79
Şekil 5.27	Aktif havalandırılan PV cephe sistemi ve Hibrid ısı yalıtımlı PV cephe sistemi.....	80
Şekil 5.28	Farklı PV sistemlerin 700 W/m ² ışınım değerinde gösterdiği sıcaklık değişimi	81
Şekil 5.29	Fotovoltaik panellerin verimleri güneş ışınlarının açısı, geldiği doğrultu ve gölge durumuyla ilgilidir.....	82
Şekil 5.30	Güneş pili kullanımının ülkelere göre dağılımı	84
Şekil 5.31	Güneş pili kullanımının Avrupa ülkeleri bazında durumu.....	84
Şekil 6.1	Kuru buhar santrali sistemi	95
Şekil 6.2	Flash Buhar santralleri çalışma prensibi	96
Şekil 6.3	Binary cycle buhar santrali	96
Şekil 6.4	Güneş enerjisi tarafından tutulan ve yansıyan enerji miktarları.....	97
Şekil 6.5	Isı pompasının şematik gösterimi	97
Şekil 6.6	Yatay toprak kolektörleri veya dikey sondajlarla enerji sağlanan	

	toprak kaynaklı ısı pompaları	98
Şekil 6.7	Şematik olarak ısı pompası ve bileşenleri	99
Şekil 6.8	Su kaynaklı ısı pompalarının şematik çizimi	100
Şekil 6.9	Çevre havasından Enerji Çekilmesi	100
Şekil 7.1	Bina formu ve enerji kayıplarının şematik gösterimi	106
Şekil 7.2	Bazı bölgelerdeki uygun bina yönleri	106
Şekil 7.3	Ken Yeang'ın tasarladığı Editt Tower, bioklimatik yapıdaki sistemlerin şematik olarak gösterimi	107
Şekil 7.4	Editt Tower, yağmur suyu toplama ve kullanma sistemi.....	107
Şekil 7.5	Skyfarm, Toronto-Kanada	108
Şekil 7.6	Manera Mesiniaga Binası ve güneş kırıcıları	109
Şekil 7.7	Manera Mesiniaga Binası; tasarım ilkelerinin şematik çizimleri	109
Şekil 7.8	Farklı bina tiplerine etkiyen pozitif (+) ve negatif (-) rüzgar basınçları	110
Şekil 7.9	Çapraz havalandırma ilkesini gösteren şematik çizim ve Isı farkı kullanılarak baca/emme etkisiyle yapılan doğal havalandırma	111
Şekil 7.10	Commezbank Binası.....	111
Şekil 7.11	D ve C çapraz havalandırma prensiplerinin şematik çizimi	112
Şekil 7.12	Doğal havalandırma tipleri.....	112
Şekil 7.13	Yüksek yapılarda açıklık bırakılarak uygulanan havalandırma yöntemlerinin şematik çizimi	112
Şekil 7.14	Doğal havalandırma ve hibrid sistemlerin şematik karşılaştırması	114
Şekil 7.15	a) Tampon bölge oluşturulan havalandırma sistemi, b) Mekanik sistemlerle havanın emilmesini sağlayan sistem, c) Çift katmanlı (twin face) sistemler	115
Şekil 7.16	Business Promotion Center (Almanya).....	116
Şekil 7.17	Helicon Building (Londra) cephe görünüşü.....	117
Şekil 7.18	Helicon Building (Londra) cephe detayları.....	117
Şekil 7.19	Ken Yeang'ın Manera Umno Binası'nda kullandığı rüzgar duvarı ve detayları	118
Şekil 7.20	Isı bacaları ile yapılan doğal havalandırma ilkelerini ve hava hareketini gösteren şematik çizim	118
Şekil 8.1	Fransa'da termal kameralarla çekilen bu görüntüler ısı kayıplarının en fazla pencere sistemlerinde olduğunu göstermektedir.....	131
Şekil 8.2	Isı yalıtımlı doğrama sistemi.....	132
Şekil 9.1	1877'da William Jenney'in tasarladığı Leither Building.....	139
Şekil 9.2	Crystal Palace, 1851.....	139
Şekil 9.3	Mentmore Tower	139
Şekil 9.4	Kimyasal bileşimlerine göre cam tipleri.....	141
Şekil 9.5	Kullanım amaçlarına göre cam tipleri	141
Şekil 9.6	Güvenlik camlarının kullanımına örnek	142
Şekil 9.7	Lamine cam, kırılma halinde parçaları yerinde tutarak yaralanma risklerini azaltır.	143
Şekil 9.8	Gürültü önleyici endüstriyel camlar	144
Şekil 9.9	Low-e kaplamalı cam kesiti	146
Şekil 9.10	Güneş (Solar) Low-e kaplamalı cam ve ısı yalıtımını gösteren	

	şematik çizim	147
Şekil 9.11	Termokromik özellikteki bir camın kesiti	148
Şekil 9.12	800 µm hidrojel katmanlı, termokromik camın dalga boyuna göre geçirgenlik değeri ve sıcaklıklarını gösteren grafik	148
Şekil 9.13	Fotokromik camın tayfsal geçirgenliği	149
Şekil 9.14	Şematik olarak elektrokromik cam kesiti.....	149
Şekil 9.15	Elektrokromik camın çalışma prensibi	150
Şekil 9.16	Çeşitli dalga boylarında elektrokromik camların iletim değeri ve renk değişimi	150
Şekil 9.17	Gazokromik cam kesiti	151
Şekil 9.18	Hindistandaki Wipro Technologies Gurgaon Development Centre	153
Şekil 9.19	Home Insurance Binası ve Monadnock Binası	154
Şekil 9.20	Equitable Binası ve Empire State Binası.....	154
Şekil 9.21	Chicago Tribune Binası ve Friedrichstrasse Binası.....	155
Şekil 9.22	Seagram Binası, 1958 ve Toronto Dominion Bank Tower	156
Şekil 9.23	Commerzbank Binası ve GSW Headquarters	157

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2. 1	CTBUH' ın geliştirdiği kat yüksekliği belirlemede yapılan kabuller	8
Çizelge 3. 1	Yenilenebilir kaynak kullanımı ve yarattığı çevresel etkiler	22
Çizelge 3. 2	Farklı sürdürülebilir teknolojilerin derecelendirilmesi	23
Çizelge 3. 3	Enerji üretim teknolojilerinin ortalama fiyat ve CO2 emisyon miktarı ...	24
Çizelge 3. 4	Elektrik enerjisi üretim teknolojilerinin üretim verimleri	24
Çizelge 4. 1	Kurulu rüzgar gücünün yıllara göre karşılaştırılması	26
Çizelge 4. 2	Düşey eksenli rüzgar türbini tipleri.....	28
Çizelge 4. 3	Rüzgar türbinlerinin karşılaştırılması	38
Çizelge 4. 4	Castle House Binası için yapılan rüzgar türbini ile aynı özelliklerde bağımsız rüzgar türbini karşılaştırması	51
Çizelge 4. 5	Rüzgar türbini kullanılan farklı bina tipleri ve özellikleri	55
Çizelge 4. 6	Bahrain Worl Trade Center	57
Çizelge 4. 7	Dubai Light House.....	60
Çizelge 4. 8	Pearl River Binası örneği	62
Çizelge 4. 9	Castle House örneği	63
Çizelge 4. 10	Burj al-Taqa ve Miami COR örneği.....	64
Çizelge 5.1	Farklı PV uygulanmalarının karşılaştırılması	80
Çizelge 5.2	Güneş pillerinin malzemelerine göre verimlilikleri	83
Çizelge 5.3	PV tipleri ve verimlilikleri	83
Çizelge 5.4	Türkiye'de yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı	85
Çizelge 5.5	Almoayyed Tower	86
Çizelge 5.6	CIS Tower örneği	88
Çizelge 5.7	Korean Tower örneği	90
Çizelge 5.8	Light House örneği	91
Çizelge 5.9	Park Gate Binası örneği	93
Çizelge 6.1	Toprak özelliklerine bağlı olarak spesifik ısı çekme kapasitesi	98
Çizelge 6.2	Jeotermal sistemin kullanıldığı Manitoba Hydro Place	101
Çizelge 7.1	Commerz Bank binası örneği	119
Çizelge 7.2	RWE Tower Örneği	121
Çizelge 7.3	Hoctief Prizma Building örneği	123
Çizelge 7.4	Menara Umno Binası örneği	124
Çizelge 7.5	İstanbul Sapphire binası örneği.....	126

Çizelge 8.1	Marina Bay Sands Binası ve cephe detayları.....	135
Çizelge 9.1	Gürültü kontrolü için kullanılan yöntemler	144
Çizelge 9.2	Cam kombinasyonlarının ısı geçirgenlik katsayıları	147
Çizelge 9.3	Bazı yüksek binalarda kullanılan cam tipleri	158
Çizelge 10.1	LEED sistemindeki kriterle göre puanlar ve yüzdeleri	162
Çizelge 10.2	BREEAM derecelendirme sisteminde değerlendirilen kriterler, puanları ve yüzdeleri	164
Çizelge 10.3	CASBEE sisteminde konulara göre puan yüzdeleri.....	165
Çizelge 10.4	LEED sertifikalı yüksek binalar	166
Çizelge 10.5	BREEAM sertifikalı yüksek yapı örneği.....	168
Çizelge 10.6	CASBEE sertifikalı yüksek binalar.....	170

YÜKSEK YAPILAR VE SÜRDÜRÜLEBİLİR ENERJİ

Nazlı Demir

Mimarlık Anabilim Dalı Yapı Programı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Canan Girgin

Günümüzde, fosil bazlı enerji kaynakları tükenmekte ve bu kaynaklardan bazıları yapı malzemelerinin üretiminde de kullanılmaktadır. Söz konusu üretimlerde enerji kaynağı olarak sürdürülebilir alternatif çözümler geliştirilmeye çalışılırken, yapı üretim sektörü içinde hızla sayıları artan yüksek yapılarda da enerji ihtiyacı için önlem alınması gerekli hale gelmiştir. Rüzgar, güneş, jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının, az katlı ya da ufak ölçekli yapılarda enerji üretimi amaçlı kullanılması mümkün iken; kat adedi gittikçe artan, az katlılara göre daha karmaşık sistemleri içeren çok yüksek yapılarda uygulanmaları zorlaşmaktadır.

Bu çalışmada, yenilenebilir kaynakların yüksek yapılarda uygulanabilirliği, örneklerle gösterilmiştir. Yapıya entegre sistemler ile yenilenebilir kaynakların etkin kullanımı ya da yapının form ve detay tasarımında alınabilecek önlemler ile yüksek yapının daha az mekanik enerji harcaması mümkündür.

Bu çalışmanın Birinci Bölümünde çalışmanın amaç ve kapsamı belirtilmiştir.

İkinci Bölümde; yüksek yapıların tanımı ve gelişim nedenleri ortaya konulmuştur. Yapı yüksekliği ölçüm teknikleri ile ilgili bilgi verilmiş; form, fonksiyon, şehir içindeki konumları ve yarattığı etkiler üzerinde durulmuştur.

Üçüncü Bölümde; sürdürülebilirlik kavramı ve gelişimi ile yenilenebilir kaynakların özellikleri ortaya konulmuş; yüksek yapılarda sürdürülebilir enerji kullanımı konusunda alınacak önlemlerden bahsedilmiştir.

Dördüncü Bölümde; rüzgar enerjisi kullanımının önemi vurgulanarak; rüzgar türbinlerinin gelişimi, yüksek yapılarda kullanım ilkeleri ve etkinlikleri konu edilmiştir.

Beşinci Bölümde; güneş enerjisinin yapılarda genel kullanım alanları irdelenmiştir. Güneşten elektrik enerjisi üretmeye yönelik güneş pili (PV) teknolojileri, tipleri ve enerji verimlilikleri ile yüksek yapılardaki örneklere ait montaj ve uygulama detayları ortaya konmuştur.

Altıncı Bölümde; jeotermal uygulamalar ve ısı pompaları anlatılmıştır. Isı pompası tipleri, yöntemleri ve yapılarda uygulaması detaylandırılmıştır.

Çalışmanın Yedinci Bölümünde yüksek yapılar için enerji ihtiyacının en fazla olduğu iklim-lendirne sistemleri açısından, doğal havalandırmanın sağlanması ve yöntemleri anlatılmış; iklimle dengeli tasarım ilkeleri, yüksek bina örnekleriyle verilmiştir.

Sekizinci Bölümde, cephe sistemleri için yapılan ön çalışmalar, testler ve yüksek yapı cephelerinden beklenen performanslar belirtilmiştir.

Dokuzuncu Bölümde; cam seçimi, mevcut ve yeni teknolojilerle geliştirilen cam tipleri, çalışma esasları ve detayları değerlendirilmiştir. Yüksek yapılarda cam kullanımının gelişimi ve günümüzde tercih edilen cam tipleri ortaya konmuştur.

Onuncu Bölümde; yapıların çevresel etkilerini; tasarım, uygulama, sistem içerikleri gibi pek çok açıdan değerlendirerek sertifikalandıran LEED, BREEAM, CASBEE gibi sistemler açıklanarak; yüksek yapılarda bu belgeleri almış yapıların özellikleri tanımlanmıştır.

Onbirinci Bölüm; çalışmada incelenen konulardan varılan sonuçları içermektedir.

Anahtar Kelimeler: Yüksek Yapı, Sürdürülebilirlik, Rüzgar Türbini, Güneş Pili, PV, Isı Pompaları, Cam, Doğal Havalandırma, LEED, BREEAM, CASBEE

TALL BUILDINGS AND SUSTAINABLE ENERGY

Nazlı Demir

Department of Architecture
MSc. Thesis

Advisor: Assoc.Prof. Dr. Zehra Canan Girgin

In response to exhausting fossil fuel sources, intensive researches on alternative renewable energy have been continued all over the world. Alternative sources instead of fossil energy sources on the production of construction materials have been investigated nowadays. Preventions are necessary not only for construction materials but also for increasing high rise buildings. It is possible to use sun light, wind etc. as renewable energy sources on low-story buildings; but it is more difficult to use these sources in super high and more complicated buildings which contain complex systems.

The purpose of this thesis is to demonstrate the compatibility and applicability of renewable energy sources to tall buildings. The building integrated systems using advanced technology enables buildings to save energy via the usage of renewable energy or precautions taken during the design and detailing of the building.

The First Section presents the purpose and scope of this study.

Definition of tall buildings and development needs are depicted in the Second Section. Measurement techniques of building height are briefly explained. Moreover, form, function, the positioning of the buildings over the urban areas and their effects on the on city planning and society is presented.

In the Third Section, description of sustainability and its development is given. By presenting the state of art of renewable resources and systems used in tall building requiring energy consumption; the precautions that can be taken in the scope of sustainability are explained.

Through the Fourth Section, the importance of usage of wind energy is enlightened together with the development of wind turbines, principles, effectiveness and methods of their integration with tall buildings.

The objectives of utilization of solar energy in tall buildings are represented in the Fifth Section. Developed photovoltaic technologies converting solar energy into electrical energy, types and energy efficiency of PV's, mounting and application details on tall buildings are illustrated.

The Sixth Section denotes geothermal energy applications and heat pumps. Types of heat pumps, installation methods and utilization of heat pumps in tall buildings are detailed.

Throughout the Seventh Section of the thesis, it is explained that the ventilation, heating and cooling systems consumes the largest share of energy in tall buildings. Regarding the effective usage of energy, methods of natural ventilation and principles of bioclimatic designs are exemplified.

Preliminary studies on cladding systems, tests and anticipated performance of façade systems are presented in the Eighth Section.

The selection of glass type and the smart glazing developed by the recent technological methods and working principle of smart glazing are evaluated. The usage of glazing in tall buildings and most preferred glass types are presented through the Ninth Section.

The Tenth Section explains LEED, BREEAM; CASBEE certifications which evaluate the environmental impacts of structures in terms of design, application, content of systems. Features of the certified buildings are detailed.

Conclusions of the study are illuminated in the last section.

Keywords: Tall buildings, Sustainability, Wind turbine, Solar energy, Photovoltaic cells, Heat Pumps, Smart glazing, Natural ventilation, LEED, BREEAM, CASBEE

1.1 Literatür Özeti

Bu araştırma ile yenilenebilir enerji kaynaklarının yapı üretiminde kullanılabilirliği incelenmiştir. Çağımızda çok katlı yapılar, yeni yöntem ve tekniklerle uygulanmaya devam etmektedir. Az katlı yapılara uygulanabilen tasarım stratejileri ya da entegre sistemlerle daha az enerji harcanması sağlanırken, yüksek yapılarda daha karmaşık sistemler karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışma ile yenilenebilir enerji kaynakları ve sistemleri incelenerek, yüksek bir yapıya montajı-uygulama detayları üzerinde durulmuş ve yapı üretim sektörüne katkıda bulunması hedeflenmiştir.

Yüksek yapılar, sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kent tasarımları ile ilgili gelişmeleri içeren çalışmalar hazırlayarak yapı sektörüne yön veren CTBUH'ın (1) (Council on Tall Buildings and Urban Habitat) çalışmalarından faydalanılmıştır.

Özgen, A. ve Sev, A. (2000) [8], yüksek yapıların tarihsel süreç içerisindeki gelişimlerini ortaya koyarak, kullanılan taşıyıcı sistem tiplerini örnek yapılarla tanımlamıştır.

Ali, M.M. ve Armstrong, P.J. (2006) [35], yüksek yapılarda sürdürülebilir tasarım ilkelerini ortaya koymuştur.

Ali, M. ve Moon, S.K. (2007) [7], yüksek yapılarda gelişim ve gelişim nedenlerinden bahsederek; taşıyıcı sistemlerdeki geçmişten bugüne değişimleri, bölgelere göre yüksek yapı oran ve fonksiyonlarını ortaya koymuştur.

Sev, A. (2009) [5], sürdürülebilir mimarlık yöntemlerini ortaya koymuş; yüksek yapılarda sürdürülebilirlik kavramını; yapı tasarım yöntemleri, cephe sistemleri ve taşıyıcı sistem tasarımı ile ele almıştır.

Yenilenebilir kaynak ve enerji korunumunu sağlayan sistemlerin, aşağıdaki araştırmalardan faydalanılarak yüksek yapılarda uygulanabilirliği açıklanmıştır.

Georg vd. (1998) [194], renkleri istenilen konfor şartlarına göre değişebilen akıllı cam tiplerini ve çalışma prensiplerini anlatmıştır.

Campbell vd. (2001) [64], yapılarda türbin kullanımı ve uygulama esasları için gerçekleştirilen araştırma Project WEB'in (Wind Energy For The Built Environment) içeriğini ve sonuçlarını tanımlamaktadır.

Acherman, T. ve Sder, L. (2002) [39], Reeves A. ve Beck, F. (2003) [40] ve Dutton vd. (2005) [56], rüzgar enerjisinin önemi, rüzgar türbinlerinin kullanımı, tipleri ve gelişimini ortaya koymuştur. Elde edilen elektrik enerjisi miktarının rüzgar türbini tipi, kanat sayısı, kanat malzemesi ve türbin boyutuna göre değişimini vermiştir.

AWEA (American Wind Energy Association) [41] tarafından rüzgar enerjisi kullanımı, ülkelere göre dağılımı-gelişimi için çalışmalar yapılmakta ve güncel bilgiler hazırlanmaktadır.

Sev, A. ve zgen, A. (2003) [155], yapılarda doğal havalandırma stratejilerini anlatmış; böylece yüksek yapıların mekanik sistemlerinde harcanan enerjinin minimuma indirilebileceği belirtilmiştir.

Stenzel vd. (2003) [189] ve Vondrak vd. (2006) [187], elektrokromik camların çalışma prensiplerini ve kullanım alanlarını açıklamıştır.

Varınca, K.B ve Varank, G. (2005) [96], güneş enerjisinin kullanımı ve teknolojilerini konu etmiştir.

zbalta, T.G. (2005) [101], fotovoltatik sistemlerin tarihsel gelişimini, PV hücre tipleri ve verimlilikleri ile yapılardaki uygulamalarını anlatmıştır.

Günel, M.H. ve Ilgın, H.E. (2008) [37], rüzgar enerjisinin kullanım ve evre üzerindeki etkilerini açıklamış; Dünya ve Türkiye'de rüzgar enerjisi potansiyelinden bahsederek, yapılara entegrasyon yöntemlerini anlatmıştır.

Etheridge, D.G. (2008) [159], doğal havalandırma stratejilerini açıklayarak, yüksek yapılarda kullanımını anlatmıştır.

Stankovic vd. (2009) [69], rüzgar enerjisinin önemi, avantajları ve çevreye etkilerini anlatmış; yüksek yapılara uygulama teknikleri ve kullanılacak tipler irdelemiştir. Ayrıca rüzgar türbinlerinin yapı ve yapı tasarımına etkilerini açıklamıştır.

Bu araştırma, yukarıda belirtilen çalışmaların ışığında, yüksek yapıların enerji etkin tasarımını kapsamaktadır. Az katlı yapılara göre çok daha karmaşık sistemleri içeren yüksek binalarda, yapıya entegre sistemler ve tasarım aşamasında alınacak kararlarla harcanan enerji miktarının en etkin şekilde nasıl azaltılacağı anlatılmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Doğadaki değişimler, global ısınma, çevre kirliliği, tükenen enerji kaynakları gibi sorunlar dünyada gittikçe daha çok tartışılan ve çözüm bulunması gereken sorunlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Dünyada harcanan enerjinin yaklaşık olarak % 50'sinin yapı sektörü kaynaklı olması; bu oran içinde daha büyük payı olan ve daha karmaşık ısıtma-soğutma sistemleri içeren yüksek bina uygulamalarının enerji planlaması açısından önemini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmanın amacı, dünyada giderek tükenmekte olan fosil bazlı enerji kaynaklarının yerini almak üzere, geliştirme çalışmaları devam eden, yenilenebilir kaynak kullanım teknolojilerinin, yapı sektörü içinde önemli ve farklı bir konumu olan yüksek binalardaki kullanım biçimleri ve etkinliklerini ortaya koymaktır. Yapı üretim sektöründe sıkça kullanılan 'yeşil bina', 'sürdürülebilir yapı', 'enerji verimli yapı' ya da 'sıfır enerjili bina' kavramlarının temelinde yer alan enerji kaynaklarının (rüzgar, güneş, jeotermal) yüksek yapılardaki kullanım biçimleri ve alınabilecek bazı önlemlerle bu yapılarda tüketilen enerjinin en aza indirgenebilirliği güncel örneklerle birlikte incelenmiştir.

1.3 Bulgular

Bu araştırmada yüksek yapı kavramı ve gelişimi, yenilenebilir enerji kaynaklarının (rüzgar, güneş, jeotermal) gelişimi ve özellikleri ile yüksek yapılarda yenilenebilir enerji teknolojilerinin havalandırma, cephe sistemleri ile birlikte etkin kullanım teknikleri ortaya konmuştur.

Yenilenebilir kaynaklarının kullanılacağı, ilk yapım maliyetleri fazla olan sistemler yapıya entegre edilirken, gerekli verimi alabilmek için, yapı formu ve mimari çözümler değişebilmektedir. Çalışma kapsamında yapı entegre rüzgar türbinleri; türbinlerin konumlandırılması, yapı biçimlenişinin mimari ve statik çözümler ile mekanik ve elektrik sistemlere olan katkısı değerlendirilmiştir. Ayrıca fotovoltaik panellerde, enerji verimliliği ve

yapıya entegrasyon yöntemleri tanımlanmıştır. İlave olarak, yapı üretiminde kullanılan malzemelerin özellikleri, mekanik sistemlerde harcanan enerjiyi azaltacak havalandırma sistemleri, enerji kayıplarının en fazla olduğu cam ve cephelerdeki gelişim ve seçim teknikleri ele alınmıştır. Tüm doğru seçimler ile, yapının kullanım ömrü boyunca harcadığı tükenebilir enerji miktarını en aza indirmek ve yapıyı yenilenebilir enerjinin etkin kullanımı açısından sertifikalandırmak (LEED, BREEAM, CASBEE) mümkündür.

YÜKSEK YAPILAR

2.1 Yüksek Yapı Tanımı

Yüksek Yapılar ve Kentsel Yerleşimler Konseyi'ne (CTBUH) göre, on kat ve üzeri yapılar yüksek yapı olarak tanımlanmaktadır. Bu yükseklik New York'ta gökdelenler oluşmaya başladığı dönemdeki itfaiyenin ulaşabileceği maksimum yüksekliktir [1]. Günümüzde ülkelerin geçerli yönetmeliklerine göre yüksek yapı için, kat sayısı ya da yapının toplam yüksekliğine göre farklı tanımlar mevcuttur. ABD için 6 kat ve fazlası yüksek yapı, 150 m'den yüksek binalar ise gökdelen olarak adlandırılmaktadır [2]. Almanya'da ise zeminden 22 m ve daha fazla yükseklikteki binalar yüksek yapı olarak tanımlanmaktadır [3]. Bu anlamda 22 metre ve üzeri yapılar için yüksek yapı, 60 kat ve üzeri için de gökdelen tanımı yapmak uygun olacaktır [4].

Bina türleri açısından yüksek bina; taşıyıcı sistem, tesisat, cephe sistemleri, düşey sirkülasyon çözümleri, yangın önlemleri açısından karmaşık sistemleri gerektiren yapı türüdür [3]. Teknolojik açıdan bakıldığında yüksek bir yapı; düşey ve yatay yüklere karşı dayanım sağlayarak daha yükseğe daha geniş kiralanabilir alanlar ile ulaşmayı hedefleyen yenilikçi taşıyıcı sistem tasarımları, yeni kazı yöntemleri ve temel sistemleri, daha hızlı asansörler, yenilikçi iklimlendirme sistemleri, geniş cam yüzeyler, iç aydınlatma, haberleşme, görüntüleme ve güvenlik sistemleri ile temizlik robotları gibi bir dizi yeniliğin ortaya çıkardığı yapı türüdür [5].

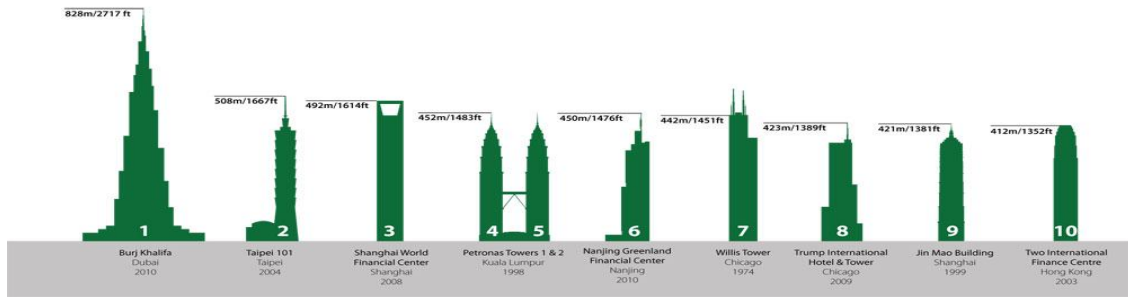
Yüksek binalar 19.yüzyıl sonlarında ABD'de çok fazla uygulama imkânı bulmuştur. Günümüzde bütün dünyada, hızlı bir şekilde ve değişik formlarda, gittikçe artan kat

yükseklikleriyle; özellikle Kore, Çin, Japonya ve Malezya gibi Asya ülkelerinde ve Arap Emirlikleri'nde yapımına devam edilmektedir.

2.2 Yüksek Yapılarda Yapı Yüksekliği

CTBUH* (Council on Tall Buildings and Urban Habitat), yüksek yapılarda, yapı yüksekliğini; yapının mimari olarak sonlandığı tepe noktası, yapıda kullanılan en son kat ve yapının en üst noktasında bulunan elemanların sonlandığı kota göre belirlemektedir. Bu kavramlar aşağıda kısaca tanımlanmıştır :

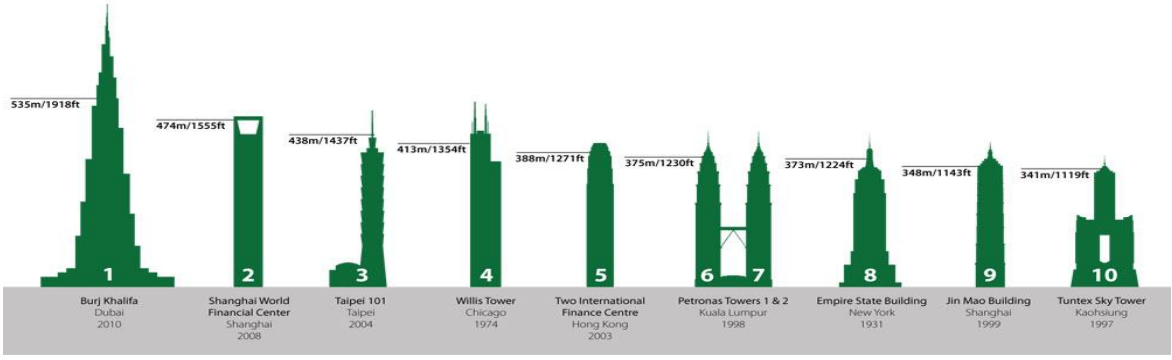
Yapının mimari olarak bittiği tepe noktası: Yapı yüksekliğinin belirlenmesinde en yaygın kullanılan yöntemdir. Yapı, zemin kat (yaya girişi yapılan ilk açıklığın bulunduğu kat) başlangıç noktası olarak alınarak, anten gibi elemanların dikkate alınmadan yapıldığı ölçümdür (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Yapıların mimari bitiş noktasına göre dünyanın en yüksek 10 binası [6]

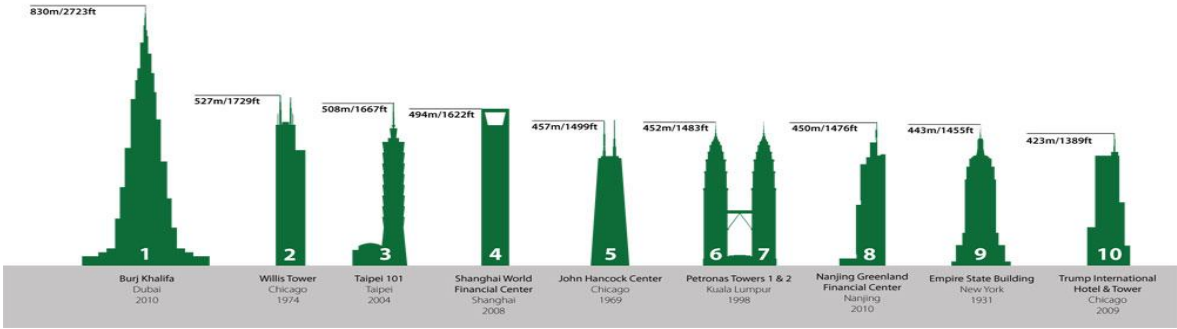
Kullanılan en son kat: Zemin kattan yaya girişinin yapıldığı, ilk açıklığın olduğu en alt bölge referans alınıp kullanıma açık olan kata kadar yapılan ölçümdür (Şekil 2.2).

* CTBUH (Council on Tall Buildings and Urban Habitat) 1969 yılında Pennsylvania Lehigh University'de 'Joint Committee on Tall Buildings' adıyla kurulmuştur. 1976 yılında CTBUH ismini almıştır. Kuruluş, yüksek binalar ve sürdürülebilir kentsel mekanlarla ilgili araştırmalar yaparak uzmanlara sektördeki gelişmeleri takip edebilecekleri uluslararası bilgilendirme platformu oluşturmuştur.



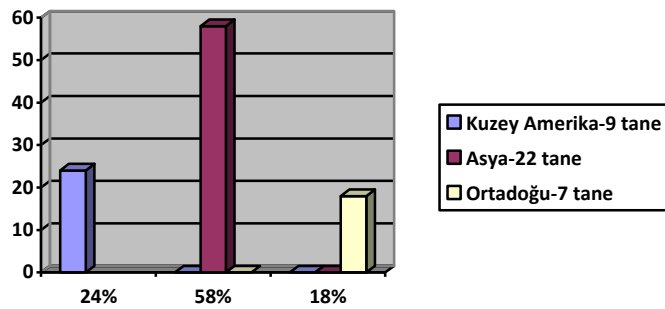
Şekil 2.2 Yapıların kullanılabilen en son kat durumuna göre dünyanın en yüksek 10 binası [6]

Yapının en üst noktası: Yapıda, giriş ya da ilk açıklığın bulunduğu kattan itibaren tepesindeki anten, kule gibi mimari elamanların bitiş noktasına kadar alınan ölçüdür. (Şekil 2.3)



Şekil 2.3 Yapıların en üst bitiş elemanı dahil olarak ölçülen dünyanın en yüksek 10 binası [6]

Son yıllarda dünyada inşa edilen yüksek yapıların ülkelere göre dağılımına bakıldığında (Şekil 2.4) Asya ülkeleri % 58, Kuzey Amerika ülkeleri ise % 24 oranındadır [7].



Şekil 2.4 2009 yılında yapıyı tamamlanmış olan 38 adet yüksekliği 200 m ve daha fazla olan yüksek yapıların bölgelere göre dağılımı [6]

2.2.1 Yapı Yüksekliği Ölçme Teknikleri

CTBUH sadece kat sayısı bilinen yüksek yapılarda, yapı yüksekliğini belirlemede yardımcı yöntem ve kabuller geliştirmiştir (Çizelge 2.1). Bu yöntemle ölçüm yapmak için yapılar üç kategoriye ayrılır. (Bu yapı türlerinin yükseklik belirlemesine ilişkin çizelgeler Ek 1, 2 ve 3' te yer almaktadır.)

- Ofis binaları
- Konut ve otel binaları
- Karma ya da fonksiyonu bilinmeyen yapılar

Bu yöntemle ölçülen ve CTBUH veri sisteminde yer alan yapılarda yükseklik hesaplanırken yapıların çatılarında yer alan anten vb. elemanlar dikkate alınmaz. Kat sayısı, zemin kattan itibaren zemin üzerindeki katları kapsar.

Çizelge 2.1 CTBUH' ın geliştirdiği kat yüksekliği belirlemede yapılan kabuller [6]

Yükseklik hesaplama kabulleri	Ofis binaları	Konut-otel binaları	Karma fonksiyonlu
Döşemeden döşemeye yükseklik (f)	3.9 m	3.1 m	3.5 m
Giriş kat yüksekliği	2 f = 7.8 m	1.5 f = 4.65 m	1.75 f = 6.125 m
Mekanik sistemlerin yer aldığı kat aralığı (zemin ve çatı katı hariç)	s/20 -20 katta bir-	s/30	s/25
Mekanik kat yüksekliği	2 f = 7.8 m	1.5 f = 4.65 m	1.75 f = 6.125 m
Çatı yüksekliği (mekanik alan seviyesi/parapet)	2 f = 7.8 m	2 f = 6.2 m	2 f = 7 m

f: Döşemeden döşemeye yükseklik, s: Kat sayısı

2.3 Yüksek Yapıların Gelişimi ve Nedenleri

İnsanlık tarihinin en yüksek yapısı, M.Ö 2600 yılında Mısır'da firavun Keops için yapılan Keops Piramidi' (başlangıçtaki ilk yükseklik 147 m, günümüzde 137 m) dir. M.Ö 600'lerde inşa edilen Babil Kulesi, yüksekliği 90 m olan bir mabettir [8]. Roma İmparatorluğu'ndan itibaren kilise ve bazilikalar yapılmaya başlanmış, 12. yüzyılın ikinci yarısından itibaren büyüklük ve

sivrilik temalarıyla Gotik mimarinin yaygınlaşmasıyla da özellikle kilise ve katedrallerde çok yüksek yapı örnekleri ortaya çıkmıştır. İlk yüksek yapı örneklerinin dini inançlar doğrultusunda, Tanrı'ya yakın olma arzusuyla yapıldığını söylemek mümkündür.

Çelik çerçeve sistemlerin kullanılmaya başladığı dönemlerden itibaren, yüksek yapıların gelişimini 4 gökdelen çağı olarak sınıflandırmak mümkündür [9].

1.Gökdelen Çağı: Taşıyıcı sistemlerin gelişimi, asansör ve çelik çerçevenin kullanılmaya başladığı dönemdir. Bu dönem, 10 katlı çelik çerçeveli Home Life Insurance Company binası (1892-1894, Chicago) ile başlar. Sullivian'ın "form, fonksiyonu takip eder" ilkesiyle, bu dönemin yüksek yapılarında yapı boşlukları, çekirdek, kat yükseklikleri gibi gereklilikler yapının fonksiyonundan doğar.

2. Gökdelen Çağı: Geleneksel yapılar ve tarihi öğelerin estetikle buluştuğu, özellikle Gotik ve Art Deco stiline kullanıldığı dönemin ilk örnekleri New York'ta görülmeye başlar. Metropolitan Life Insurance Binası (1909), Woolworth Binası (1913), Chrysler Binası (1929) (Şekil 2.5) ve Empire State Binası (1931) bu dönemde yapılan yüksek yapı örnekleridir.



Şekil 2.5 Chrysler Binası [10]

3. Gökdelen Çağı: Bu dönem; Mies, Gropius, Le Corbusier'in tasarımlarında tarihi öğeler yerine teknolojik gelişmelerin yapılara yansıdığı dönemdir. Mies Van Der Rohe 1920'de cam gökdelen projelerini açıklamıştır. IBM Binası (1969) ve Illinois Center (1967) cam ve çeliğin birleştiği bu dönemin yüksek yapı örnekleridir (Şekil 2.6).



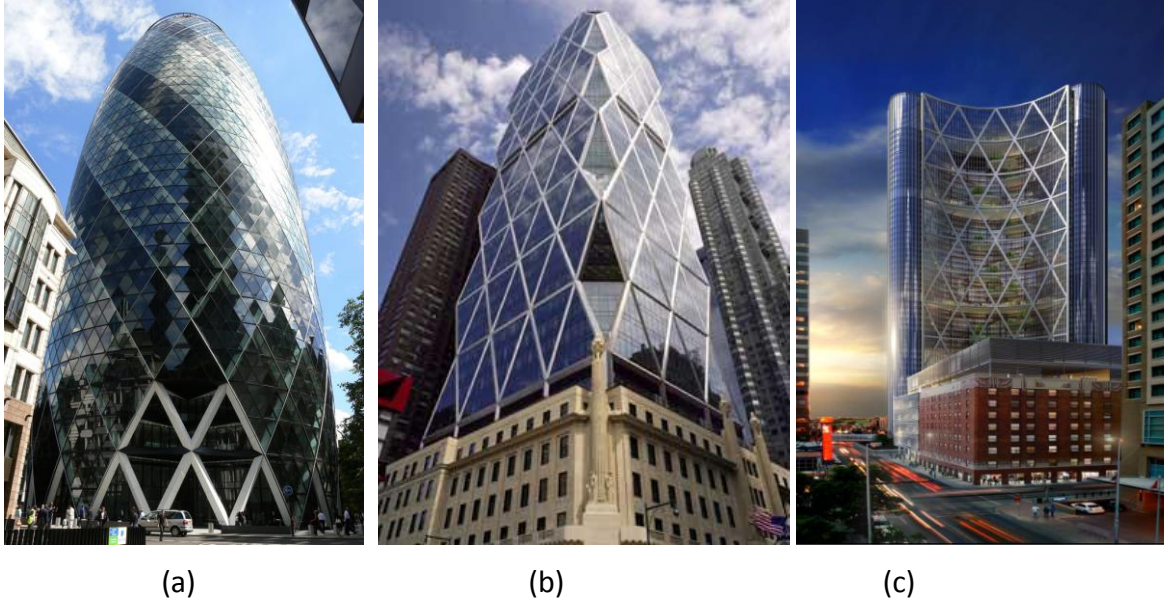
(a)



(b)

Şekil 2.6 (a) IBM Binası [11], (b) Illinois Center [12]

4. Gökdelen çağı: 1970'lerden başlayarak günümüze dek uzanan geç-modern ya da post-modern dönemde; yeni taşıyıcı sistem tasarımları, yeni cephe sistemleri ve daha ince, şeffaf, ısı etkileri planlanan cam cephe kaplamaları geliştirilmiştir. Bu dönemin öncü örneklerinden; Norman Foster'ın tasarladığı, farklı bir taşıyıcı sistem tasarımının yanısıra cam ve alüminyum kullanımının vurgulandığı Shanghai Bank Headquarters (1980-1986) Hong Kong'da yapılmıştır. Günümüzde taşıyıcı sistemlerdeki gelişmelerle birlikte; düşey ve yatay yüklerin daha çok aksenal kuvvetlerle aktarıldığı; eğilmeye daha az çalışan, böylece ekonomik kesit tasarımına imkan veren; ortada çekirdek dışta çelik çaprazlı taşıyıcı cephe sistemli tasarımların (Diagrid sistem) yaygın olarak kullanılmaya başladığı görülmektedir. Söz konusu sistemler, yükseklik/genişlik oranına göre yapıların yanal rijitliğini arttırırken, farklı formların tasarımı da mümkün olmaktadır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Diagrid sistemle yapılan günümüz yüksek yapılarına örnekler a) Swiss Re Tower [13]
b) Hearst Tower [14] c) The Bow Tower [15]

Yüksek yapılar; ekonomik, teknolojik, sosyal ve kültürel nedenlerle gelişim göstermişlerdir [3][8].

2.3.1 Sosyal, Kültürel ve Ekonomik Nedenler

18. ve 19. yüzyıllarda Endüstri devrimiyle birlikte önce demir daha sonra çelik, yapı malzemesi olarak kullanılmaya başlamıştır. Bu da hızlı artan nüfusun barınma ihtiyacını düşey çözümlerle karşılamayı olanaklı kılmıştır. 1850'li yıllarda asansörün yapılarda kullanılmaya başlaması, yüksek yapılar için dönüm noktası olmuş, böylece düşey sirkülasyon için de çözüm getirilmiştir.

Sosyal, kültürel ve teknolojik alanlardaki gelişmeler açısından aşağıdaki dönemlerden bahsetmek mümkündür [8]:

- 1985-1930; asansörün icadı ve yangına karşı korunma sorununun çözülmesi
- 1930-1960; ekonomik kriz ve 2. Dünya Savaşı sonrası ekonomik yapım yöntemlerinin geliştirilmesi, klima ve aydınlatma tekniklerinin geliştirilmesi
- 1960 sonrası; ekonomik gelişmelere paralel olarak taşıyıcı sistem, yapım yönetimi, bilgisayara dayalı yapı tasarım yöntemleri geliştirilmiştir.

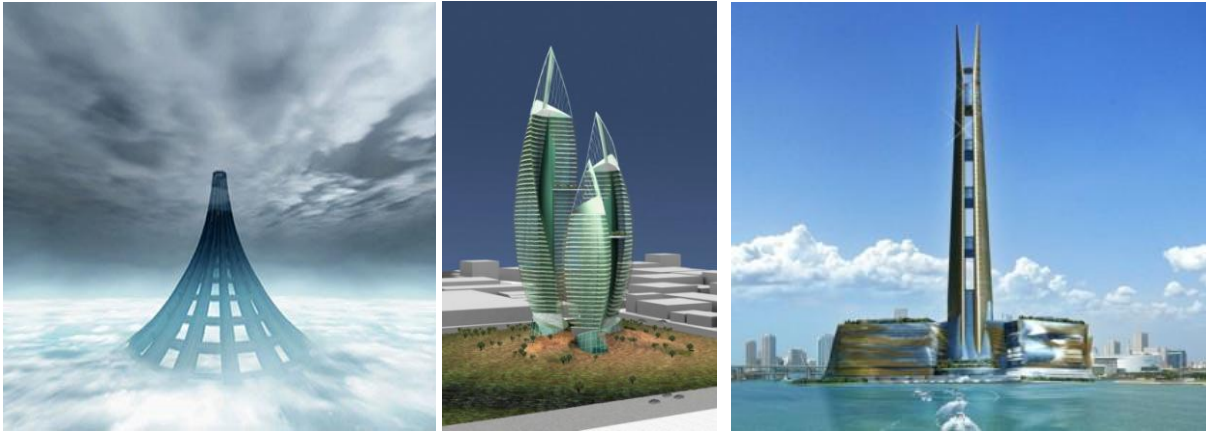
2000'li yıllardan itibaren yüksek yapıların; şehirlerin prestij, güç ve ekonomik simgesi olarak birbirinden farklı tasarımlarla yapılmakta olduğu görülmektedir (Şekil 2.8). 11 Eylül saldırısıyla ikiz kulelerin hedef olması da bu yapıların simgesel önemini göstermektedir.



(a)

(b)

(c)



(d)

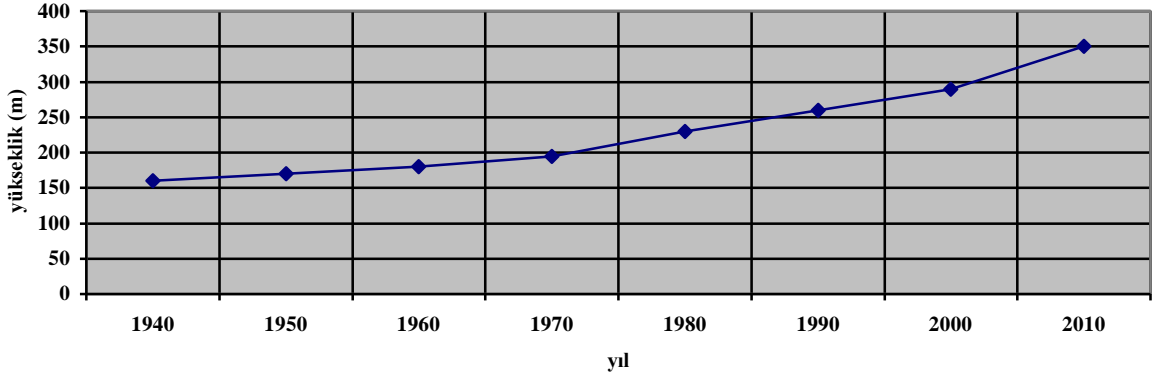
(e)

(f)

Şekil 2. 8 Bazı yüksek yapı örnekleri a) Burj Khalifa, Dubai [13], b)Biomorphic Skyscraper [14], d)Tokyo'da yapılması planlanan X-Speed 4000 Tower [15], e)West Athens Tower (WAT) [16], e) Kobi Karp tarafından geliştirilen Miami Miapolis Tower [15]

2.3.2 Taşıyıcı Sistem Tasarımlarındaki Gelişmeler

Yüksek yapılarla ilgili gölge, trafik, güneşlenme durumu, yapım maliyeti gibi pek çok eleştiriye rağmen, teknolojik gelişmelerin yansıması olarak, kat yüksekliklerinin artmaya devam ettiği görülmektedir (Şekil 2.9). Yüksek yapıların gelişiminde, kutu görüntüsünden amorf biçimlere ve yüzlerce kat yüksekliği ulaşılmasında, teknoloji ve buna bağlı olarak da taşıyıcı sistemlerdeki gelişmeler etkili olmuştur.



Şekil 2.9 Yüksek yapılarda tarihlere göre yükseklik artışı [6]

Tarihsel sürece bakıldığında, 19. yüzyıla kadar taşıyıcı taş duvarlı sistemler kullanılmıştır. Kat yüksekliği arttıkça duvar kalınlığının da arttığı görülmektedir. Betonarme döşemenin kullanılmaya başlaması 19.yüzyılın ortalarına rastlar ve dökme demirin de yapı malzemesi olarak kullanılmaya başlamasıyla çok katlı kagir yapılar Monadnock Binası (1891, Chicago) ile 16 kat yüksekliğe ulaşabilmiştir (Şekil 2.10-a).

19. yüzyıl başlarında dökme demir ile birlikte çelik de kullanılmaya başlamış; böylece taş duvarlı taşıyıcı sistemlerdeki pencerelerin küçük olması ve büyük açıklıkların geçilememesi sorunu çözülmeye başlamıştır. Demir/çelik hafif sistemler ile büyük cam yüzeyler yapılabilmiş ve önemli bir taşıyıcılık özelliği olmayan tuğla ve terracotta, kaplama malzemesi olarak kullanılabilmiştir. 1852’de İngiliz İmparatorluğu’nun ekonomik güç simgesi olan Crystal Palace ilk çelik çerçeveli yapıdır. 1899 yılında New York’taki Park Row Binası 119.2 m yüksekliğinde yapılmış ve 1908 yılına kadar dünyanın en yüksek ofis binası unvanını taşımıştır (Şekil 2.10-b).

20. yüzyılın ilk dönemlerinde rijit çelik çerçeveler, taşıyıcı sistem olarak kullanılmıştır. 1931’de 55 kat yüksekliğinde Woolworth Tower (New York), 1930’da 77 katlı Crysler Binası (New York) ve 1931’de açılışı yapılan 102 katlı Empire State Binası bu sistemle yapılmış binalardır.

İkinci Dünya Savaşı sonrasında yüksek bina ihtiyacı artmıştır. Ancak, taşıyıcı sistemlerdeki gelişmelere rağmen, savaş sonrası ekonomisi yüksek yapıların yapımında önemli bir sorun haline gelmiştir. 1960’lı yıllardan itibaren betonarme sistemlerdeki gelişmeler ile, çeliğin yanında betonarme sistem kullanılan yüksek yapı örnekleri görülmeye başlanmıştır.



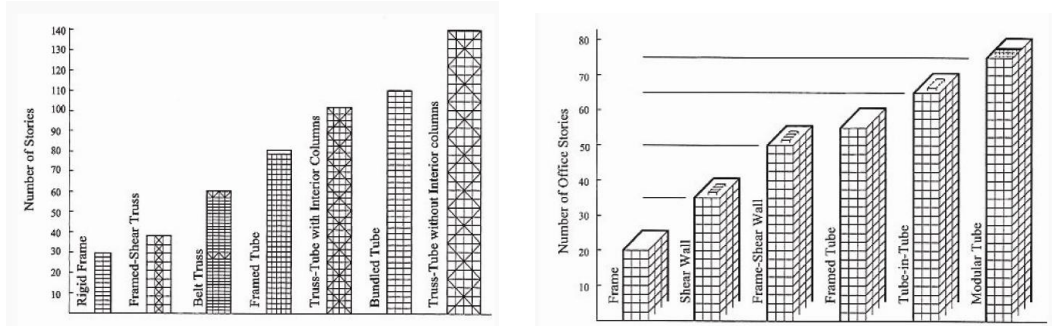
(a)



(b)

Şekil 2.10 (a)Monadnock Binası [17], 1891; (b) Park Row Binası, 1899 [18]

Savaş öncesi yüksek yapılarda kullanılan çerçeve sistem, kolon kesitlerini ve yapı maliyetini artırmaktaydı. Çözüm olarak, beton ve çeliğin daha etkin kullanılmasına yönelik araştırmalarla çelik ve betonarme yeni taşıyıcı sistemler geliştirildi. Fazlur Khan'ın kendi geliştirdiği "tüp sistem" tasarımı ile, taşıyıcı sistemde malzeme kullanımı azaltılmıştır. Yatay yükleri dışta oluşturulan tüp sistem karşılamakta, iç kısımdaki taşıyıcı eleman ihtiyacı büyük ölçüde azaltılmaktadır. 1969'da Khan, yüksekliklerine göre yapıların taşıyıcı sistemlerini sınıflandırmış, 1972 yılında bu şemayı betonarme ve çelik sistemler için yenilemiştir [7]. (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 Fazlur Khan'ın betonarme ve çelik malzemeli taşıyıcı sistem sınıflandırması (sağ : çelik sistemler – sol : betonarme sistemler) [7]

1969 yılında Chicago'da yapılan John Hancock Center 344 m yüksekliği ile Khan tarafından tüp sistemle yapılmıştır*. 1973'de 410 m yüksekliği ile New York'taki World Trade Center ve 1974'te 443.5 m yüksekliği ile Chicago'daki Sears Tower, 1960 sonrası yapılan diğer çelik yapı örnekleridir.

* 2.Dünya Savaşı öncesinde yapıların yüksekliklerinde önemli gelişmeler olurken savaş sonrası ekonomik krizle beraber bir duraklama görülmektedir. Bu yapı, aynı zamanda duraklama döneminin sonu olmuştur.

2.4 Yüksek Yapılarda Form

Yüksek yapılar, şehirlerde geniş alanlardan algılandıkları için sembolik bir takım kaygılarla tasarlanır ve şehir için ikon haline gelebilir. Gökyüzüne doğru çeşitli formlarda, değişik cephe kaplama malzemeleri ve farklı görüntüleri ile şehrin sembolü olabilmekte, ekonomi, güç bazen de kültürel birtakım değerleri yansıtmaktadırlar. Bir kent için bu kadar önemli bir yapının/yapıların tasarımı için mimar, mühendis ve pek çok farklı alandan uzman kişilerin bir arada çalışması gerekir.

Yüksek yapıların formu; fonksiyonları, taşıyıcı sistem seçimi ve planda geometrik biçimlerin kullanılmasına göre belirlenir. Genel olarak yüksek yapılarda form, mimari bakış açısına göre; plan, kesit, dış görünüm, denge ve sadelik, oran ve ölçek, mekanların birbiri ile ilişkisi, görsel etki, stil ve süsleme olarak strüktürel bakış açısına göre; şekil ve büyüklük, boyutlar, dayanıklılık, stabilite, etkinlik ve ekonomi, sadelik ve açıklık, hafiflik ve incelik özelliklerine göre ele alınır [3].

Form seçiminde; birçok mimari akım, bölgesel özellikler ve ortak kültür, taşıyıcı sistem özellikleri ve teknolojileri, çekirdek sistemler ve çözümleri etkili olmuştur.

Bazı yapılarda, John Hancock Center örneğinde olduğu gibi, taşıyıcı sistem görsel olarak kullanılmakta, dışarıdan algılanabilmektedir (Şekil 2.12). Yüksek yapıların formlarının gelişimi taşıyıcı sistem ve teknolojinin ilerlemesiyle yakından ilgilidir.



Şekil 2.12 John Hancock Center [19]

Petronas Tower (Kuala Lumpur), Landmark Tower (Yokohama), Taipei 101 (Taipei) gibi çoğu yüksek yapı, ülkelerin kalıplaşmış mimari ve kültürel değerlerine göre yapılmıştır ve form açısından benzerlik gösterir [7] (Şekil 2.13).

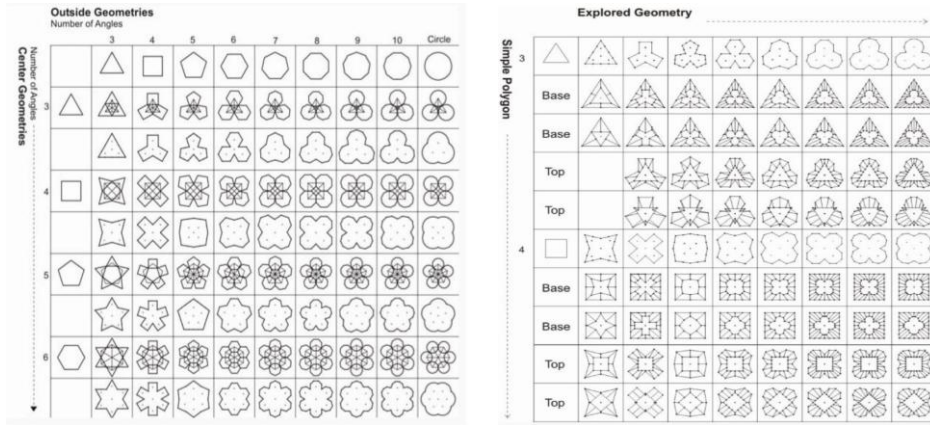


(a)



(b)

Şekil 2.13 (a) Petronas Kuleleri, Kuala Lumpur [20]; (b) Taipei 101, Taipei [20]

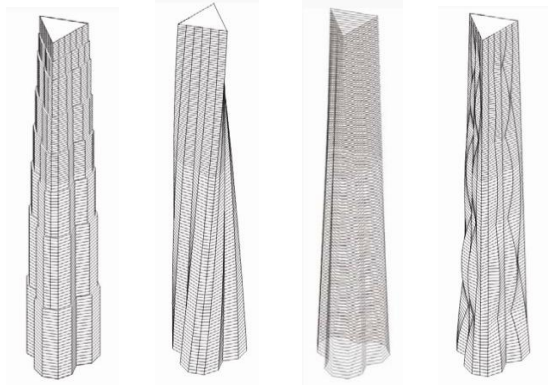


Şekil 2.14 Plan şemaları açısından çokgenlerden türetilen simetrik formlar [21]

Yüksek yapılar, temel geometrik biçimler ve bunların çeşitli kombinasyonlarıyla simetrik planlı olabilmekte ve bu da yapının dengeli, stabil olmasını sağlamaktadır (Şekil 2.14). Yüksek yapılar düşeyde oluşturdukları kütle biçimine göre prizmatik, gittikçe daralan veya yükseldikçe içe çekilen yapılar olarak tanımlanabilir.

Yapının düşey eksenini etrafında, 4 ana form (Şekil 2.15) sözkonusudur [21]:

- Yükseldikçe daralan formlar
- Bir eksen etrafında dönen formlar
- Eğrisel biçimler
- Değişken kesitli formlar



Şekil 2.15 Zemin ve bitiş durumuna göre formlar [21]

Günümüzdeki yüksek yapılarda kullanılan bu gelişmiş formların, modern mimarinin kutu biçimli yapılarına tepki olarak ortaya çıktığı görülmektedir [7] (Şekil 2.16).

Geçmişte serbest formlar ve düzensiz biçimler, Peter Eisenman ve Frank Gehry gibi mimarlar tarafından kullanılmıştır. Günümüzde taşıyıcı sistemlerin gelişmesi ve bilgisayarlı tasarım yöntemleri ile uzaktan simge olarak algılanabilen serbest formlu yüksek yapılar tasarlanmaktadır (Şekil 2.17).



(a)



(b)

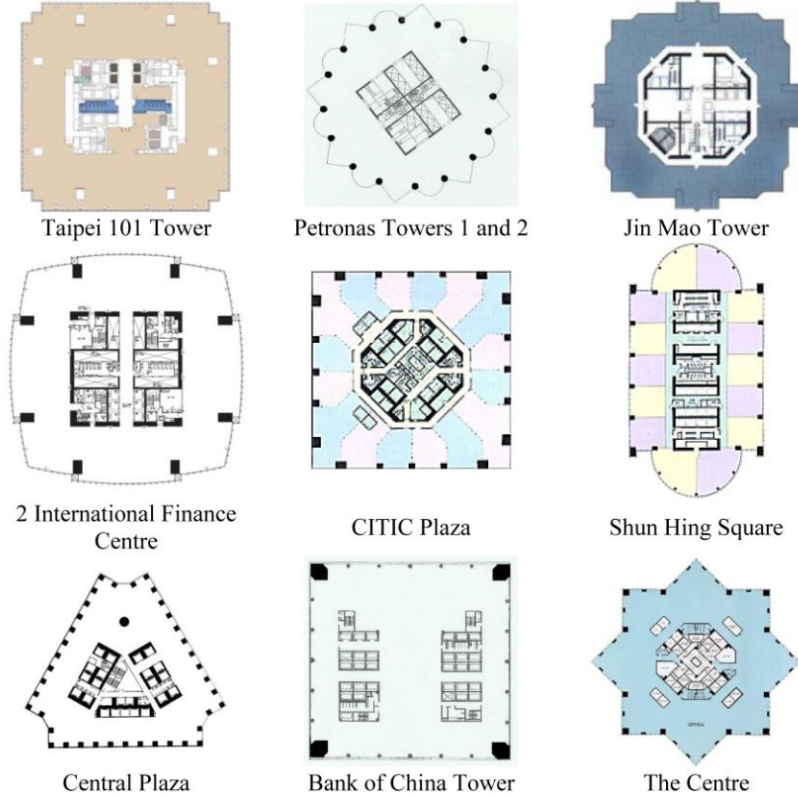


(c)



(d)

Şekil 2.16 (a)Turning Torso [14], (b) Milenium Tower [17], c) Capital Gate [22] Abu Dhabi
d) Aldar Headquarters, Abu Dhabi [23]

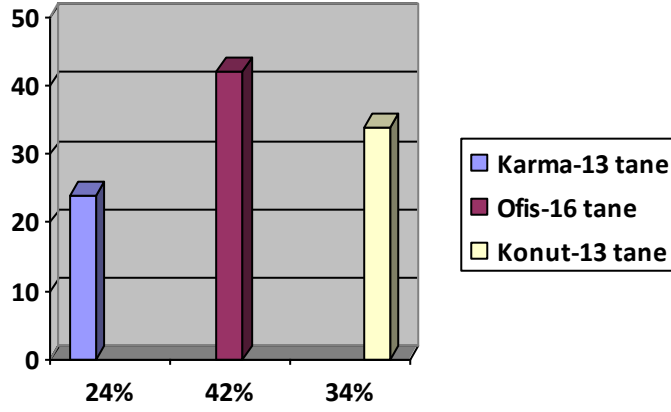


Şekil 2.17 Bazı yüksek yapıların plan şemaları [24]

2.5 Yüksek Yapılarda Fonksiyon

Yüksek binalar, ilk zamanlarda büro binası olarak yapılmıştır. Günümüzdeki yüksek binaların çoğunu yine ofis binaları oluşturmaktadır. Teknolojinin getirdiği yenilikler, toplumun ihtiyaç ve beklentilerinin değişmesi, yüksek binada yaşama arzusunu arttırmış, yüksek konut binalarına talepler artmıştır (Şekil 2.18). Yüksek yapılardaki fonksiyonlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Konut binaları
- Ofis binaları
- Otel binaları
- Karma işlevli binalar



Şekil 2.18 2009 yılında tamamlanmış olan yüksekliği 200 m ve daha üzerinde olan 38 tane yüksek binanın fonksiyonlarına göre oranları [6]

Bu fonksiyonlar, genellikle yüksek yapının formunu ve taşıyıcı sistemini binadan beklenen işlev açısından etkilemektedir. Konut binalar, genellikle, çok büyük açıklıkların geçilmediği binalardır ve betonarme olarak tasarlanabilmektedir. Otel binaları, turistik amaçlı ve günümüzde toplantı, seminer amaçlı kullanılmaktadır ve tasarımında esas olan oda büyüklükleridir. Ofis binaları, açık ve kapalı ofisler olarak tasarlanmakta ve genellikle geniş, kolonların görülmediği mekanlar olarak tasarlanmaktadır.

2.6 Kent ve Yüksek Yapılar

Yüksek yapı tasarlanırken topoğrafyası, zemin durumu, jeolojik veriler önemle ele alınmalı ve doğayı bozmadan peyzaja da önem veren tasarımlar oluşturulmalıdır.

Yüksek yapılar yakın ve uzak fiziksel çevresini, kent dokusunu, kentsel altyapıları büyük oranda kullanan yapılardır [25]. Yüksek yapılar kırsal alanlara kıyasla, şehirlerde yoğun olarak yapılmaktadır ve o şehrin silüetini, altyapı kaynaklarını, doğal dokuyu etkilemektedir. Buldukları kentin gelişmişlik düzeyi, sosyal değerleri ve ekonomisinin görsel ifadesidir (Şekil 2.19 ve Şekil 2.20), bu nedenle şehirdeki konumları çok önemlidir. Yüksek yapıların dev boyutları ile çok baskın olması, tarihi önem taşıyan binaların yakınında konumlandırılmaması, kıyı alanları içinde yapılmaması doğal çevre ve manzara anlamında önemlidir.

Yüksek yapıların şehircilik anlamında getirdiği sorunlar; altyapı sistemlerinin çözümsüz kalması, yapıların birbirini gölge ve güneş açısından olumsuz etkilemesi, karanlık sokakların oluşması, sirkülasyon ve trafik sorunudur.



(a)



(b)

Şekil 2.19 a) Hong Kong [26], b) New York şehir silüeti [27]



(a)



(b)

Şekil 2.20 a) İstanbul şehir silüeti [28], b) New York; Sokak ölçeğinden algılanan gökdelen [29]

YÜKSEK YAPILAR VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

3.1 Yenilenebilir Kaynaklar ve Önemi

17. yüzyıldan itibaren bilim ve teknolojinin gelişmesi ile doğa, artan nüfusun çeşitli ihtiyaçlarını karşılamak için kaynak olarak kullanılmıştır. 18. Yüzyılda sanayi devrimi ve hızla sanayileşme, gelişen toplum ve artan ihtiyaçlar ile birlikte çevre kirliliği ve beraberindeki sorunlar belirgin hale gelmiştir. Günümüzde doğal kaynakların sorumsuzca kullanılması ve giderek tükenmesi; doğal afetler, çevre kirliliği, global ısınma gibi olumsuz sonuçlara neden olmaktadır. 1970’li yıllardaki enerji krizi ile birlikte bilinçlenme dönemi başlamış ve ülkeler ortak hareketlerle çözüm arayışlarına girmişlerdir.

1972 yılında Stockholm’deki 1. Dünya Çevre Konferansı’nda “sürdürülebilirlik” kavramı tartışılmaya başlanmıştır. Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu’nun 1987’de “Ortak Geleceğimiz” başlığıyla yayınladığı Brutland Raporu’nda sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma kavramları önem kazanmıştır. Bu raporda sürdürülebilirlik “bugünün gereksinmelerini, gelecek kuşakların kendi gereksinimlerini karşılama yetisinden yoksun bırakmadan karşılamak” olarak açıklanmıştır [30]. 1992 Rio Çevre ve Kalkınma Konferansı’nda, çevre kirliliğinin önlenmesi ve enerji kaynaklarının kullanımında devletlerin rolü açıklanmıştır. Bu konferans ile 172 ülke; kendi sınırları içindeki ekolojik dengenin sağlanması, kaynakların verimli kullanımı ve alternatif enerji kaynaklarına yönelimlerin artırılmasıyla ilgili olarak *Gündem 21 (Agenda 21)*, *Rio Deklarasyonu (The Rio Declaration on Environment And Development)* ve *Orman Prensipleri Raporu (Ministerial Conference on The Protection Of Forests In Europe)* anlaşmalarına imza atmışlardır. 1997 Kyoto’da yapılan konferansta sera gazı üretiminin azaltılması, enerjinin daha verimli kullanılması ve yeni

kaynaklara yönelimlerin artması gibi konularda Kyoto Protokolü imzalanmıştır. 2002 yılında Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesinde hükümetler; su, enerji, sağlık, tarım ve biyolojik çeşitlilik konularında alınacak önlemler ve yapılacaklar konusunda kararlar almışlardır.

Yapılarda yaşam döngüsünün (life-cycle) her aşamasında enerji kullanılmaktadır. Worldwatch Enstitüsü verilerine göre yapılaşma faaliyetleri, her yıl küresel olarak kullanılan enerjinin %40'ını tüketmektedir [31]. Bu oran sürdürülebilirlik kavramı içinde sürdürülebilir mimarlığın önemini göstermektedir. Yapı sektöründe fosil yakıtlar yerine daha fazla temiz ve yenilenebilir enerji kullanmak; bu amaçla doğayla uyumlu, çevreye zarar vermeyen enerji etkin yapılar üretmek gereklidir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 Yenilenebilir kaynak kullanımı ve yarattığı çevresel etkiler [32]

Teknoloji	Parametre	Etki
Fotovoltaik	Toksinler	Değişken
	Görsel	Önemsiz
Rüzgar	Kuşlara etkisi	Önemsiz
	Gürültü	Önemsiz
	Görsel	Önemsiz
Su	Yer değiştirme	Değişken
	Tarımsal	Değişken
	Nehirlere etkisi	Değişken
Jeotermal	Sismik hareket	Önemsiz
	Koku	Önemsiz
	Kirlilik	Değişken
	Gürültü	Önemsiz

Çevreye olan etkileri ve tükenebilirlik açısından enerji kaynakları yenilenebilir (hidroelektrik, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, biyokütle enerjisi, jeotermal enerji vb.) ve yenilenemeyen (petrol, nükleer enerji, kömür, doğal gaz) enerji kaynakları olarak ikiye ayrılır [33]. Yenilenebilir enerji teknolojileri, teknoloji etkinliği bakımından Çizelge 3.2'de değerlendirilmiştir.

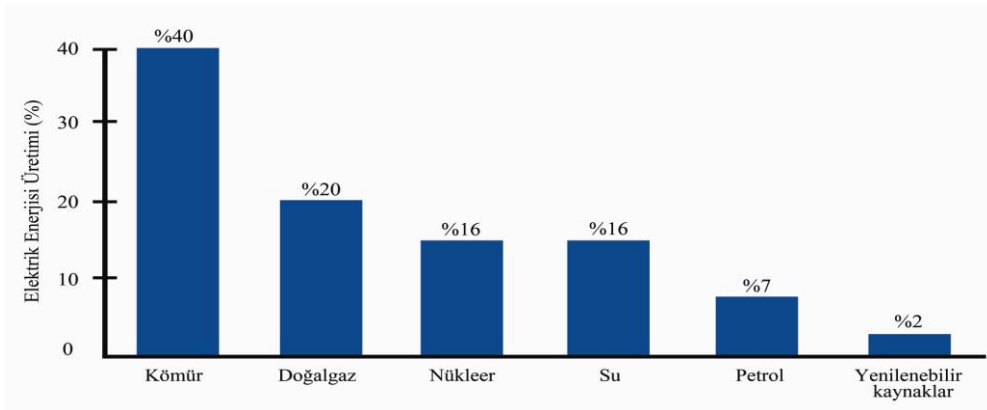
Çizelge 3.2 Farklı parametrelere göre sürdürülebilir teknolojilerin derecelendirilmesi [32]

Parametre	Fotovoltaik	Rüzgar	Su	Jeotermal
Fiyat	4	3	1	2
CO ₂ emisyonu	3	1	2	4
Kullanılabilirlik ve limit	4	2	1	3
Verim	4	2	1	3
Alan kullanımı	1	3	4	2
Su tüketimi	2	1	3	4
Sosyal etkiler	2	1	4	3
Toplam	20	13	16	21

Her teknoloji için 1-4 arasında derecelendirme yapılmıştır.1 en iyi teknolojiyi ifade eder.

3.2 Yenilenebilir Kaynakların Dünyada Kullanımı

Yenilenebilir enerji, doğanın kendi evrimi içinde, bir sonraki gün aynen mevcut olabilen enerji kaynağıdır [33]. Bu kaynakların kullanımından elde edilen elektrik enerjisi maliyetleri de güneş pilleri hariç fosil yakıtlarla yarışabilir durumdadır (Çizelge 3.3). 2005 yılı itibarı ile dünyadaki elektrik üretimi 17 450 TWh'dır [32] ve bu enerjinin sadece % 2'lik kısmı güneş, rüzgar gibi yenilenebilir kaynaklıdır (Şekil 3.1). Yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımında ortaya çıkan CO₂ emisyonları fosil yakıtlara oranla çok daha azdır (Çizelge 3.4).



Şekil 3.1 2005 yılı verilerine göre dünyada üretilen elektrik enerjisinin kaynak dağılımı

Çizelge 3.3 Enerji üretim teknolojilerinin ortalama fiyat ve CO₂ emisyon miktarı [32]

	Enerji kaynağı	\$/kWh	gCO ₂ /kWh
Yenilenebilir Kaynaklar	Fotovoltaik	0.24 \$	90
	Rüzgar	0.07 \$	25
	Su	0.05 \$	41
	Jeotermal	0.07 \$	170
Fosil Yakıtlar	Kömür	0.042 \$	1004
	Gaz	0.048 \$	543

Çizelge 3.4 Elektrik enerjisi üretim teknolojilerinin üretim verimleri [32]

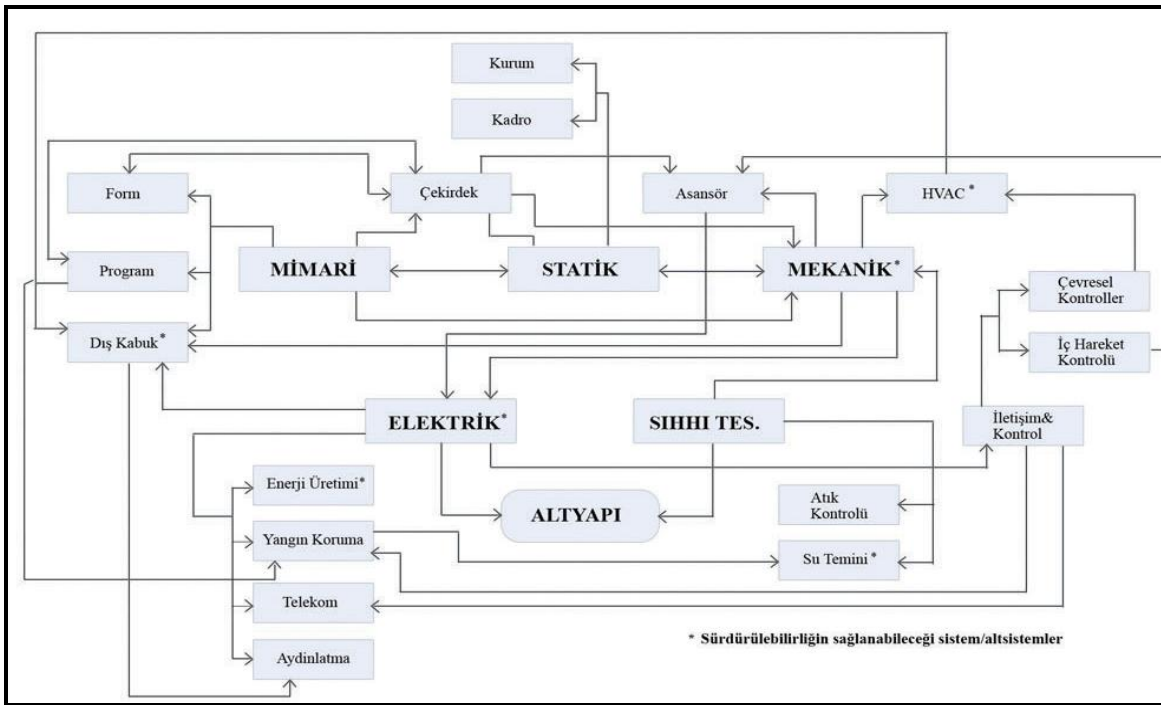
Elektrik üretimi verimi		
Yenilenebilir kaynaklar	Fotovoltaik	% 4-22
	Rüzgar	% 24-54
	Su	% 90
	Jeotermal	% 10-20
Fosil yakıtlar	Kömür	% 32-45
	Gaz	% 45-53

3.3 Yenilenebilir Kaynakların Yüksek Yapılarda Kullanımı ve Sürdürülebilir Enerji

Dünyada kullanılan enerjinin % 40'ının yapı sektörü tarafından kullanılması ve yüksek yapıların hem yükseklik, genişlik ve yoğunluk hem de kent içindeki konumu, tasarımı ve teknolojik yeniliklerden faydalanması açısından diğer yapı türlerinden farklı bir biçimde ayrılmaktadır. Yükseklikleri itibarıyla taşıyıcı sistemleri, sirkülasyon çözümleri, servis sistemleri, aydınlatma, ısıtma, havalandırma ve soğutma sistemleri az katlı yapılara oranla çok daha fazla enerji kullanımını gerektirir [34]. Bu enerjinin % 94.4'ü kullanım sırasında

HVAC (ısıtma/havalandırma/iklimlendirme) sistemleri için tüketilmektedir [30]. Bir yapının sürdürülebilirliğinden bahsetmek için, o yapıdaki sistem ve alt sistemlerin de sürdürülebilirliği sağlanmalıdır (Şekil 3.2).

Enerjinin etkin kullanımı için, yenilenebilir doğal kaynaklardan aktif ve pasif olarak faydalanmak, önemli bir adımdır. Yapının kullanım ömrü boyunca ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemleri için harcanan enerjinin, aktif yöntemlerle (güneş toplacıları, fotovoltaik sistemler, rüzgar türbinleri) üretilmesi ve kullanılması mümkündür. Bu sistemler yapı boyutlarının çok fazla olduğu yüksek yapılarda dezavantaj gibi görünse de, aslında güneşlenme durumu ve rüzgarın kat yüksekliğine göre gösterdiği değişkenlik açısından avantajlı olabilmektedir.



Şekil 3.2 Yapı üretiminde sürdürülebilirliğin sağlanabileceği sistem ve alt sistemler [35]

Pasif sistemler ise, malzeme ve iklim verilerine göre doğal kaynaklardan etkin bir şekilde faydalanıp, yapının kendisinin etkin olması olarak açıklanabilir. Genel olarak enerji etkin pasif sistem tasarım parametreleri [36];

- İklimle dengeli tasarım, güneş kontrol ve doğal havalandırma
- Binanın yeri ve diğer binalara göre konumu
- Bina formu ve bina kabuğu' dur.

RÜZGAR ENERJİSİ VE YÜKSEK YAPILARDA KULLANIMI

4.1 Rüzgar Enerjisine Genel Bakış

Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelen rüzgar enerjisi; Danimarka, Almanya ve İspanya başta olmak üzere Avrupa ve ABD’da dev bir enerji sektörüne dönüşmüştür. CO₂ emisyonu düzeyi çok düşük olduğundan, küresel ısınmayı engellemeye yardımcı olan rüzgar enerjisi, en hızlı büyüyen ve en ekonomik alternatif enerji kaynağı olarak bugün konvansiyonel enerji kaynaklarıyla yarışabilir durumdadır [37]. Rüzgar teknolojilerinin kullanımı gittikçe yaygınlaşmakta ve kurulu güç artmaktadır (Çizelge 4.1).

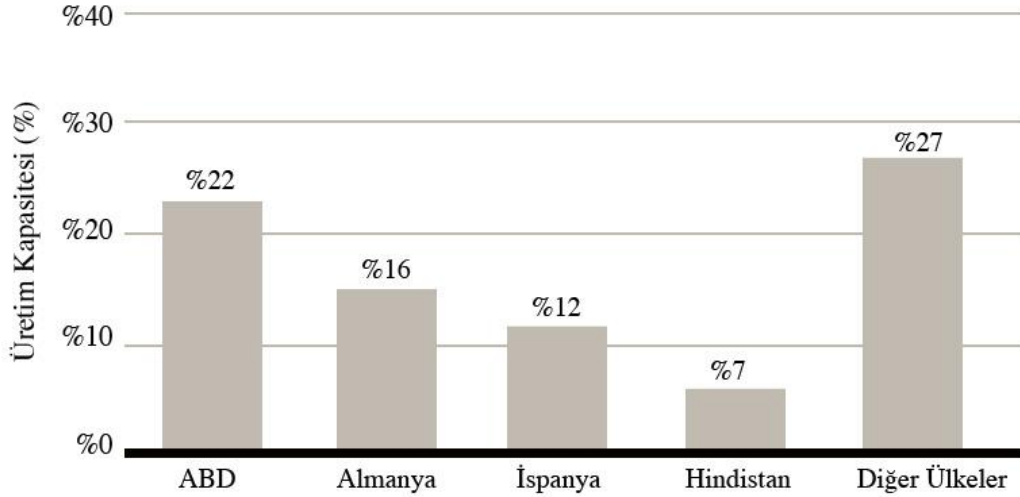
Çizelge 4.1 Kurulu rüzgar gücünün yıllara göre karşılaştırılması [38] *

Bölge	Kurulu Güç (MW)**		Artış(%)
	1999 yılı	2009 yılı	
Avrupa ve Avrasya	9 756	76 581	685
Kuzey Amerika	2 573	38 933	1 413
Güney ve Orta Amerika	95	1418	1 393
Asya ve Pasifik	1 426	4 237	197
Orta Doğu ve Afrika	82	1 115	1 260
Toplam	13 932	160 084	1 050

* (BP Statistical Review Of World Energy, June 2010 verilerinden üretilmiştir.)

** W, kW, MW güç birimidir (1 W= 1 Joule/sn, Watt= Volt*amper)
Wh, kWh, MWh ise üretilen veya tüketilen enerji miktarıdır.

Dünyada üretilen toplam elektrik enerjisi 2009 yılında 20 093 TWh olup rüzgar enerjisi ile üretilen elektrik güç miktarı ise sadece 160 GW'dir. 2008 yılında toplam üretilen enerjinin %0.4'ü rüzgar enerjisi kaynaklıdır [39], [40]. Ancak dünyada rüzgar enerjisi ile elektrik üretimi yılda ~% 30 hızla artmaktadır. Bu güçten en fazla yararlanan ülke % 22 'lik payı ile ABD'dir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 2009 yılında dünyada mevcut rüzgar enerjisi üretim kapasitesinin toplam enerji üretim kapasitesi içindeki yüzdesi [41]

Yapılarda rüzgar enerjisi, rüzgar türbinleri ile elektrik üretmek ve doğal havalandırma için kullanılmaktadır.

4.2 Rüzgar Enerjisi Tarihçesi

Geçmişten günümüze rüzgar enerjisi yel değirmenleriyle su pompalamak, buğday öğütme gibi amaçlarla kullanılmıştır.

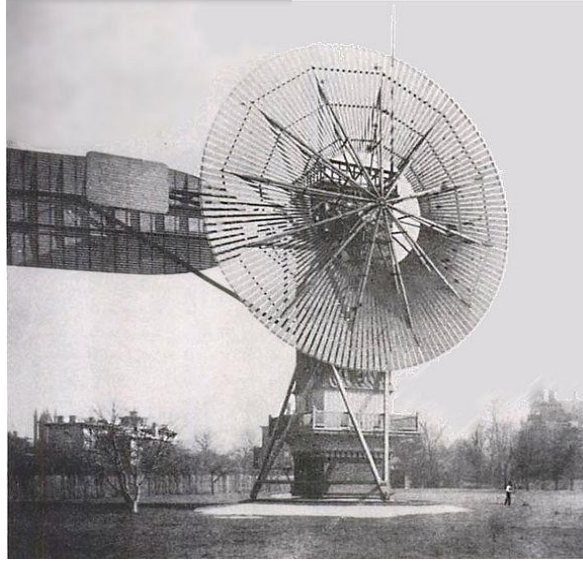
M.Ö 900 yıllarında ilk yel değirmeni (düşey eksenli) Persler tarafından geliştirilmiştir [42].

Ortaçağ'da yatay eksenli yel değirmenleri su pompalama ve buğday öğütme gibi amaçlarla Avrupa'da kullanılmaya başlandı.

XX. yy başına dek Danimarka ve ABD'de su pompalarını çalıştırmak için tarlalara çok sayıda yel değirmenleri yapılmıştır.

1887'de İskoçya'da yazlık bir evin bahçesine 10 m yüksekliğinde yel değirmeni yapılmış ve türbinden elde edilen elektrik enerjisi, akümülatörler yardımıyla *ilk defa bir evin aydınlatmasında* kullanılmıştır.

1888'de Cleveland (Ohio)'da C.F.Brush tarafından 17 m rotor çaplı, 144 kanatlı, 12 kW kapasiteli türbin üretilmiş ve 18 m yüksekliğinde bir kuleye monte edilmiştir (Şekil 4.2). XX. yy başında şebekeden elektrik dağıtımı yapılana dek kullanılmıştır.



Şekil 4.2 C.F. Brush tarafından yapılan rüzgar türbini [43]

1891'de Danimarka'da Poul la Cour, rüzgar çiftliği kurmuştur. 1908 yılına kadar 72 adet 5-25 kW kapasiteli türbinler geliştirmiştir. 23 m rotor çaplı en büyük türbin 24 m yüksekliğinde kuleye yerleştirilmiştir.







1922'de S.J. Savonius, kendi adıyla anılan düşey eksenli türbini geliştirmiştir (Çizelge 4.2).

1931 yılında Georges Darrieus, Savonius türbinlerini yatay eksenli olarak kullanarak patent almıştır [44], [45].

1925'de ABD'de elektrik üreten, iki-üç pervaneli türbinler ile çok sayıda rüzgar çiftliği kurulmuştur [46]. Bu türbinlerle çiftliklere elektrik sağlanmış, depolama pillerini doldurmada, radyo alıcılarını çalıştırmada kullanılmıştır.

1936'da Kırsal Elektrik İdaresi (*Rural Electric Administration-REA*) kurulmuş ve kırsal bölgelerde yaşayan insanların rüzgar türbinleri kurması teşvik edilmiştir [46].

Çizelge 4.2 Düşey eksenli rüzgar türbini tipleri

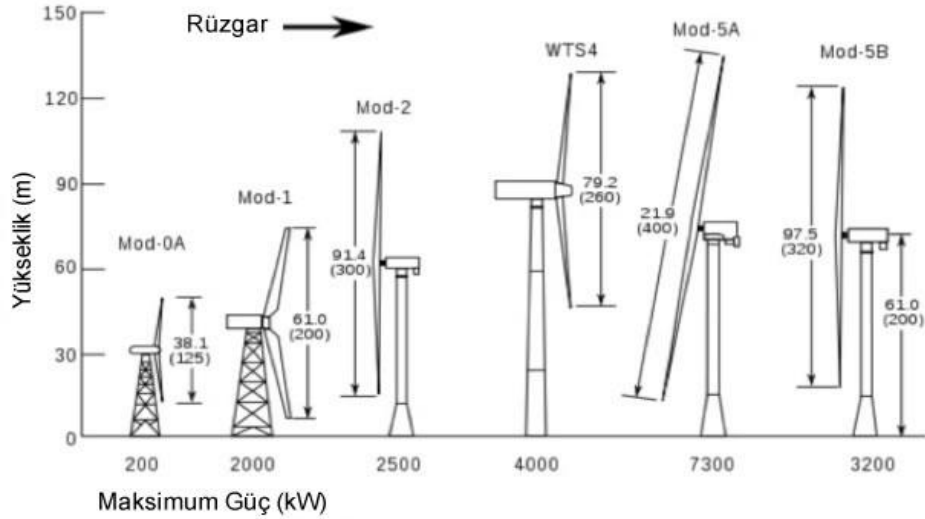
Savonius tipli rüzgar türbini	Darrieus tipli rüzgar türbini	H-rotorlu rüzgar türbini
		
		

1970-1980 döneminde Darrieus rüzgar türbinlerinin ABD ve Kanada'da çok sayıda prototipi üretilmiştir. Bu dönemde, düşey eksenli türbinler yaygın olarak kullanılmış, düşey eksenli en büyük rüzgar türbini ECOLE C (Kanada) 4200 kW kapasiteyle bu dönemde yapılmıştır [39].

1975-1985 döneminde NASA; NSF (*National Science Foundation*) ve DOE (*United States Department of Energy*)'nin mali desteğini kullanarak [45], rüzgar türbini teknolojilerini geliştirmek amacı ile, 4 tip tasarımla 13 farklı türbin üretmiş ve denemelerini Cleveland (Ohio)'da gerçekleştirmiştir (Şekil 4.3, 4.4). Türbinler; çap, enerji verimliği, gürültü düzeyi vb. bir çok açıdan değerlendirilmiş ve günümüzde kullanılan türbinlerin prototiplerini oluşturmuşlardır.



Şekil 4.3 NASA/DOE tarafından Washington'da kurulan (1981) 7.5 MW kapasiteli MOD-2 türbinleri [47]



Şekil 4.4 1970-1980 dönemi türbinlerin karşılaştırması (NASA) [47]

1989'da en büyük H-rotorlu türbin 500 kW kapasiteli olarak yapılmıştır.

1990'larda estetiğin de ön plana çıkması ile türbinler çelik ya da betonarme tasarlanmış kulelere yerleştirilmiştir.

Özellikle petrol krizini izleyen dönemlerde alternatif enerji kaynaklarına yönelim, rüzgar enerjisinin yapılarda kullanımını önemli hale getirmiştir. 2007'de Enercon firmasının geliştirdiği rüzgar türbini (*E-126*), 198 m yükseklik ve 126 m rotor çapı ile dönemin en büyük türbini olmuştur (Şekil 4.5-a).

Geleneksel rüzgar türbinlerinin dönmeye başlaması için mil yataklarında oluşan sürtünmeyi, yüksek rüzgar hızını kullanarak yenmeleri gereklidir. Bu zorunluluğu yenmek için, mıknatıslarla oluşturulan manyetik alandan yararlanan, sürtünmesiz Maglev türbinleri üretilmiştir (Şekil 4.5-b). Türbin, 1.5 m/sn düzeyindeki çok düşük rüzgar hızlarında da çalışabilmektedir. İlk kez *Wind Power Asia Expo 'da (2007)* tanıtılan Maglev türbini, tek başına, 750 000 evin elektrik enerjisi ihtiyacına karşı gelen 5 GWh kayıpsız temiz enerji üretebil-mektedir. İşletme ömrü giderleri de klasik türbinlere kıyasla % 50 az olup, hizmet süresi 500 yıl olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.5 a) Enercon firmasının 2007’de ürettiği türbin (E-126) [48], (b)Wind Power Asia Expo (2007)’da tanıtılan, hava akımını manyetik olarak arttıran *Maglev* rüzgar türbini [49]

Enercon, Nordex, Vestas, Siemens gibi türbin üreticileri de daha fazla elektrik enerjisi üreten türbin yapmak için araştırmalarına, deniz ve karada uygulamalarıyla devam etmektedir. Rüzgar türbini kullanımının artması ile türbin üreticileri de daha estetik, farklı form ve biçimlerde türbin üretmeye devam etmektedir (Şekil 4.6).

Arizona State Üniversitesi tarafından geliştirilen, araç hareketiyle oluşan hava akımından faydalanan türbinler 9600 kWh enerji sağlamaktadır (Şekil 4.7-a).

Yüksek yapıların elektrik enerjisi ihtiyacının, tamamen veya kısmen sürdürülebilir şekilde karşılanması, rüzgar türbinlerinin yeni kullanım alanını oluşturmuştur. Ayrıca rüzgar türbininin yapı ile oluşturduğu görsel bütünlük, türbinlerin dışarıdan algılanması da dikkat çekmekte ve gittikçe kullanımları artmaktadır (Şekil 4.7-b).



(a)



(b)

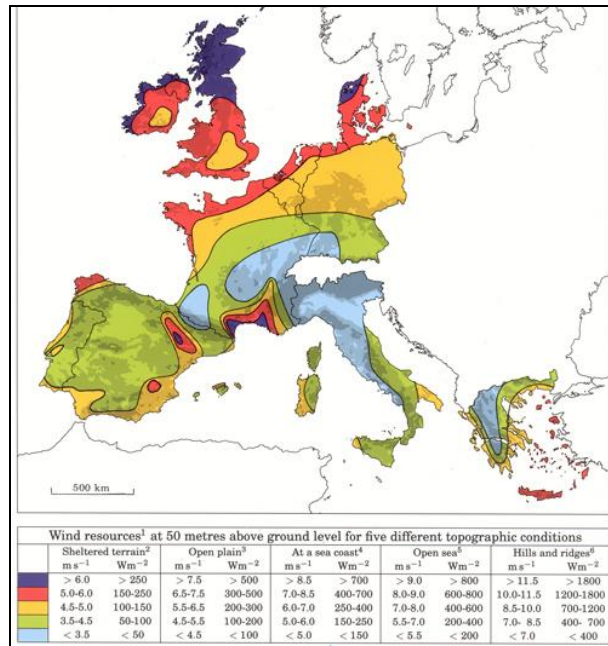
Şekil 4.6 Günümüzde tasarım ve estetikle geliştirilen türbinler
(a) Jellfish düşey eksenli rüzgar türbini (b) Heliks düşey eksenli rüzgar türbini [50]



Şekil 4.7 Rüzgar türbinlerinin farklı kullanımına örnekler
a) Arizona State University tarafından geliştirilen rüzgar türbinleri [50], (b) Bahrain World Trade Center [49]

4.2 Rüzgar Enerjisi Kaynağı

Rüzgar, yeryüzünün her tarafının aynı miktarda ısınmamasından dolayı meydana gelir. Yeryüzünün farklı ısınması, hava sıcaklığının, nemin ve basıncın farklı olmasına, farklı basınç da hava hareketine neden olur. Rüzgar enerjisi; dağ, tepe, orman, yerleşim merkezi gibi belirgin yer şekillerine de bağlıdır, çünkü hareketli havanın taşıdığı kinetik enerjiyle ilişkilidir. Küçük ölçekte rüzgardan faydalanmak için bütün bu özellikler göz önünde bulundurulmalıdır. Rüzgar enerjisi kullanımı son yıllarda oldukça hızlanmıştır; en verimli ve etkin sonucu alabilmek için ülke ve bölge bazında rüzgar atlasları oluşturulmuştur (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 Avrupa rüzgar atlası (h= 50 m'de ölçülmüştür) [48]

4.3 Rüzgar Enerjisinin Özellikleri

Rüzgar enerjisi kullanımını cazip hale getiren birçok olumlu özelliği vardır. Bunlar,

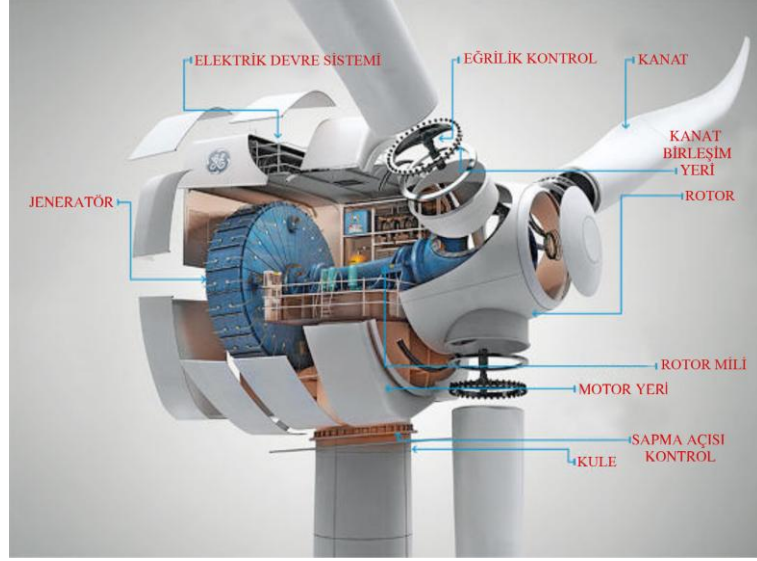
- Ham maddenin atmosferdeki hava olması,
- Kurulumun diğer enerji santrallerine göre daha hızlı oluşu,
- Temiz ve sürdürülebilir enerji kaynağı olması,
- Enerjide dışa bağımlılığı azaltması,
- Fosil yakıt tüketimini azaltmaları sonucu sera gazı etkisinin azalmasına katkısı,
- Maliyetinin gün geçtikçe düşmesi
- Modüler ve değiştirilebilir teknolojiye sahip olması (büyük rüzgar çiftlikleri kurulabilir, dağıtılmış halde kullanılabilir ya da tek başlarına kullanılabilir)
- Bağımsız türbinlerin kurulduğu arazilerin aynı zamanda tarım alanı olarak kullanılması.

1 MW gücünde bir rüzgar türbini bir yılda 1500 t CO₂, 6.5 t SO₂, 3.2 t NO gaz salınımının önüne geçmektedir [41].

4.4 Rüzgar Türbinleri

Rüzgar türbini, rüzgardaki kinetik enerjiyi önce mekanik enerjiye daha sonra da elektrik enerjisine dönüştüren sistemdir. Yatay eksenli bir rüzgar türbini başlıca şu parçalardan oluşur; (Şekil 4.9)

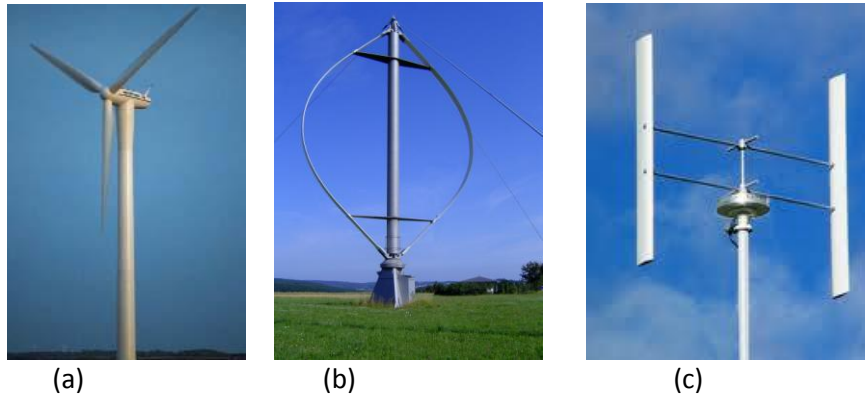
1. Rotor: Rüzgarın kinetik enerjisini mekanik enerjiye çevirir.
2. Dişli Çark: Rotor'un hızını arttırır.
3. Jeneratör: Mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirir.
4. Fren: Türbini yavaşlatır ve durdurur.
5. Yönlendirici: Rüzgar doğrultusuna göre türbini yönlendirir.
6. Transformatör: Jeneratör voltajını şebeke voltajına yükseltir.
7. Kule: Türbini taşır.



Şekil 4.9 Yatay eksenli rüzgar türbinini oluşturan mekanik elemanlar [48]

Genellikle şebekenin olmadığı, ulaştırmanın ekonomik olmadığı ya da sorunlu bölgelerde küçük ölçekte rüzgar türbinleri kullanılır. En fazla dört hareketli parçadan oluşan bu türbinlerin güçleri 20-50 W düzeyindedir [51].

Rüzgar türbinleri *yatay eksenli* (HAWT-Horizontal Axis Wind Turbine) ve *düşey eksenli* (VAWT-Vertical Axis Wind Turbine) olabilir. Söz konusu türbin tipleri Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

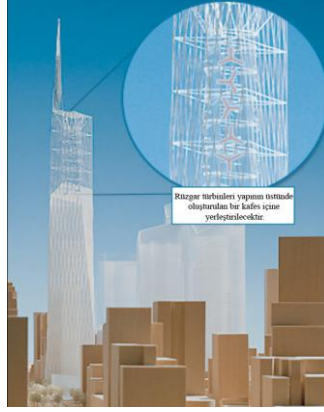


Şekil 4.10 (a) Yatay eksenli [52] ,(b) Darrieus [53], (c) H-rotor düşey eksenli rüzgar türbinleri [54]

Yatay ve düşey eksenli türbinler, olumlu ve olumsuz özellikleri açısından aşağıda karşılaştırılmıştır :

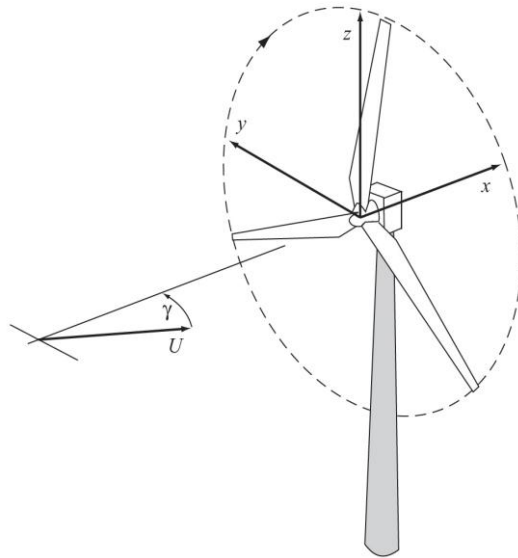
- Yatay ve düşey eksenli türbinler arasındaki en belirgin fark, düşey eksenli türbinlerin, her yönden gelen rüzgarı kullanabilmesidir [44].

- Düşey eksenli türbinler yere daha yakın konumlandırılabilir, yatay eksenliler ise kuleye yerleştirilir.
- Yatay eksenli türbinler, kule ve kanat büyüklüğüne bağlı olarak, daha hızlı çalışır. Düşey eksenli türbinlerin ise, yatay eksenlilere göre daha az ses çıkarması, çatılarda kullanımını teşvik eder (Örneğin, Freedom Tower, Şekil 4.11).



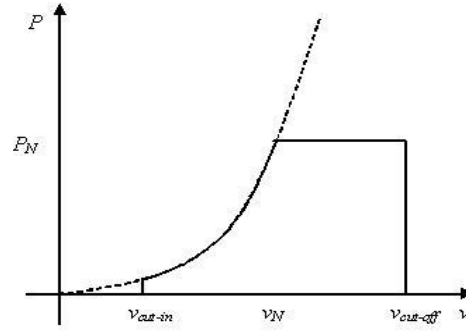
Şekil 4.11 Freedom Tower, New York [55]

- Yatay eksenli türbinlerde; rüzgardan kaynaklanan, kanatlarda meydana gelen sapma ve yön değiştirmeyi kontrol edebilen sistemler mevcuttur. Bu sistemler pahalı ve kullanım sırasında bozulabilen, değiştirilmesi gereken sistemler olması açısından maliyeti etkiler (Şekil 4.12). Düşey eksenli türbinlerde ise böyle bir kontrol sistemine ihtiyaç yoktur. Düşey eksenli türbinler dağlık, rüzgarın yoğun olduğu ve yön değiştirdiği alanlarda kullanılabilir.



Şekil 4.12 Türbin kanatlarında oluşan sapmaların şematik gösterimi [56]

- Rüzgar türbinleri, türbin tipine de bağlı olarak, rüzgar hızının 3-4 m/s olduğu durumda çalışmaya başlar (cut-in speed), maksimum güç üretimine 10-15 m/s'lik rüzgar hızında ulaşır. Yatay eksenli türbinlerde rüzgar hızının 25-30 m/s olması durumunda sistem, türbini korumak için otomatik olarak kapanır (cut-out speed) (Şekil 4.13); sistemin içinde bulunan rotor bu evrede türbine zarar gelmemesi için çalışmaya mekanik olarak devam eder. Düşey eksenli türbinlerin bazıları ~40 m/s (~140 km/saat) gibi çok yüksek rüzgar hızlarında bile çalışabilmektedir. Ancak, maksimum güce ulaştıkları 10-15 m/s 'nin üzerindeki hızlarda, üretilen elektrik enerjisi sabit kalır.



Şekil 4.13 Rüzgar türbinlerinin, rüzgar hızına göre çalışmaya başladığı ve otomatik olarak kapandığı hız aralığının güç ile ilişkisi [44]

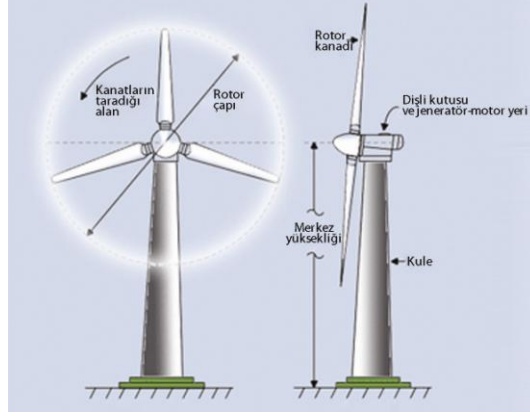
- Rüzgar türbinin kullanım ömrünü ve oluşan enerji miktarını etkileyen bir başka parametre de tork* değeridir. Tork değeri; kanat sayısı, türbinin tipi, türbine temas eden rüzgarın hızı ve açısına göre değişkenlik gösterir.

Kanat imalatı ve etkinliği açısından,

- Darrieus ve yatay eksenli türbinlerin kanatları kıvrıktır ve üretimi H-rotorlu türbinlere göre daha zordur. Genellikle kanatların taradığı alan, aynı enerji için, H-rotorlu türbinlerde yatay eksenliye göre daha fazladır [39].
- Yatay eksenli rüzgar türbinlerinin kanatları kendini taşıyabilir. H-rotorlu türbinlerin kanatları, destekleyici bir kol tarafından taşındığı için daha hafiftir.
- Yatay eksenli rüzgar türbinleri; 2 veya 3 kanatlı olarak elektrik enerjisi üretmek, 20 ya da daha fazla kanatlı olanlar da su pompalamak için kullanılır.

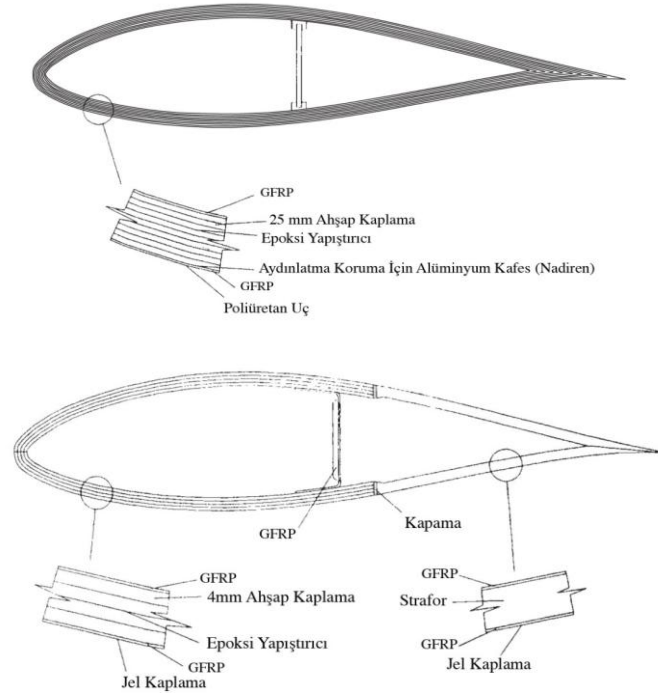
* Rüzgar türbininin harekete geçmesi için mekanik anlamda uygulanması gereken güçtür. Tork ($T = P/\omega$) birim açısal hızda gerekli olan mekanik güçtür, birimi Nm/rad veya kısaca Nm'dir.

- Aynı enerji üretimi için tasarlanan türbinlerden yatay eksenli olanların kanatlarının taradığı alan diğerlerinden daha fazladır. Kanatların taradığı alan sayısı, tüm rüzgar türbini tipleri için, kanat sayısına eşittir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14 Rüzgar türbini ile ilgili bazı tanımların şematik olarak gösterimi [57]




Türbin kanatlarının aerodinamik ve strüktürel olarak tasarımı, türbinlerin performansları açısından önemlidir. Kanat formu, kalınlığı, kesiti, malzemesi, maliyeti ve kullanım ömrü gibi özellikler türbin performansını doğrudan etkilemektedir. Kanat malzemesi olarak, cam lifi takviyeli plastik (GFRP), preslenmiş ince tabakalı ahşap (laminated wood), karbon lif takviyeli plastik (CFRP) kullanılır [56] (Şekil 4.15).



Şekil 4.15 Farklı kesit ve malzeme kullanılmış kanatların detayları [56]

Rüzgar türbinlerinin toplu olarak karşılaştırılması (Kaynak [44]'ten değiştirilerek) Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 Rüzgar türbinlerinin karşılaştırılması

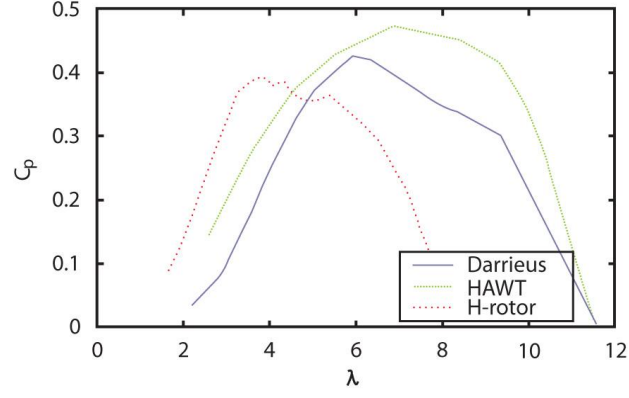
Rüzgar türbini tipleri	 Yatay Eksenli Rüzgar Türbini	 Darrieus Rüzgar Türbini	 H-Rotorlu Rüzgar Türbini
Kanat Profili	Karmaşık	Karmaşık	Basit
Sapma mekanizması gerekliliği	Gerekli	Gerekli Değil	Gerekli Değil
Kule	Evet	Hayır	Evet
Gürültü	Yüksek	Orta	Az
Kanat Alanı	Küçük	Geniş	Orta
Jeneratör konumu	Kule üzerinde	Zeminde	Zeminde
Kanat Ağırlığı	Orta	Az	Yüksek
Kendiliğinden başlayabilme	Evet	Hayır	Hayır

Rüzgar enerjisinden elde edilen güç* (P , watt); rüzgar hızı (V), havanın yoğunluğu (ρ), temas ettiği alan (A) ve ve rotor güç katsayısı (C_p) ile orantılıdır.

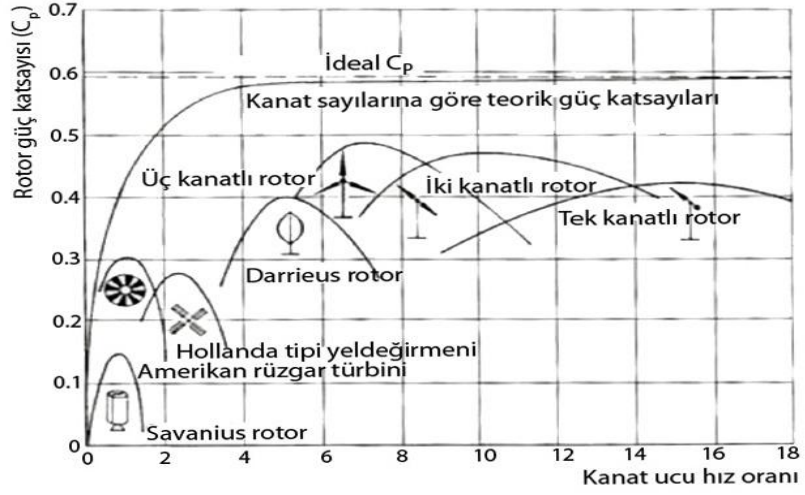
$$P = \frac{1}{2} \rho A C_p V^3$$

C_p katsayısı, rüzgar hızı, kanat dönüş hızı, kanat sayısı ve formuna bağlıdır (Şekil 4.16). Rüzgar türbini ile kayıp olmadan enerji elde etmek mümkün değildir ve rüzgar enerjisinin maks. %59'u ancak kazanılabilir. Yatay eksenli bir türbinde C_p 0.4-0.5 aralığında iken, Savenius tipi türbinde 0-0.15, Darrieus tipli türbinde 0.25-0.40 düzeyindedir (Şekil 4.17 ve 4.18).

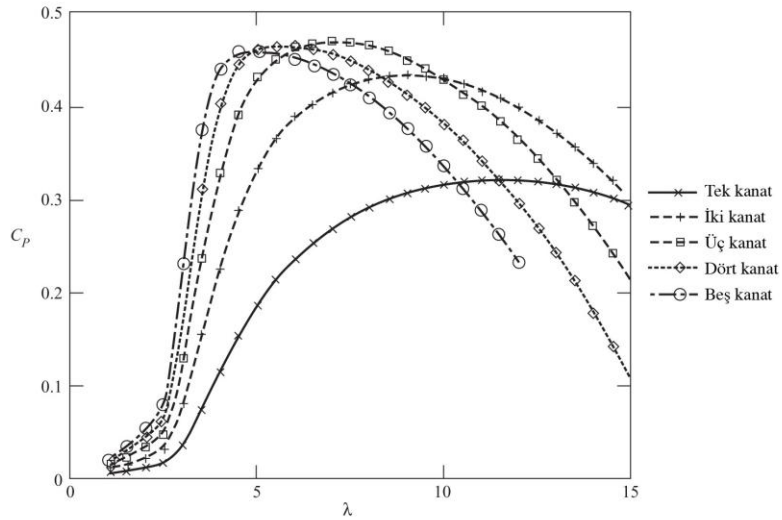
* Rüzgar enerjisinden optimum fayda sağlamak için hızını azaltmak gerekliliği ilk kez 1926 yılında Betz tarafından kuramsal olarak keşfedildi.



Şekil 4.16 Rüzgar Türbin tiplerinin C_p katsayılarına göre güç eğrileri [44] (λ : Rüzgar enerjisinin aerodinamik etkinliği ve kanat uçlarının hızlarının oranı)

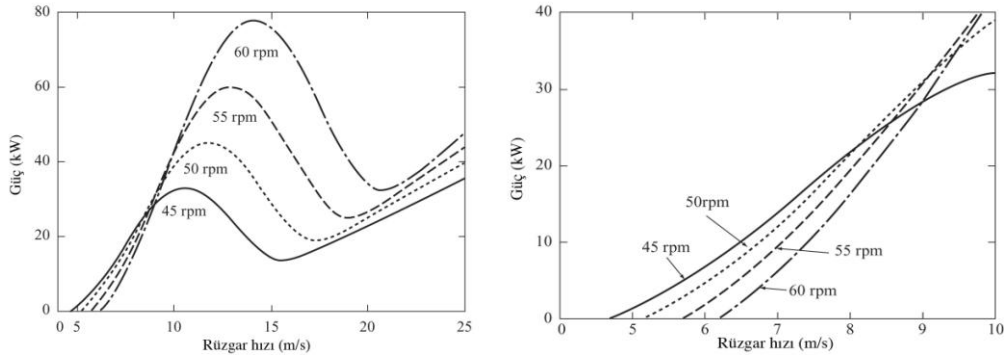


Şekil 4.17 Farklı türbin tipi ve kanat sayılarına göre C_p katsayısının, kanat uç hız oranı (λ) ile değişimi [39] (λ : Rüzgar enerjisinin aerodinamik etkinliği ve kanat ucu hız oranı)



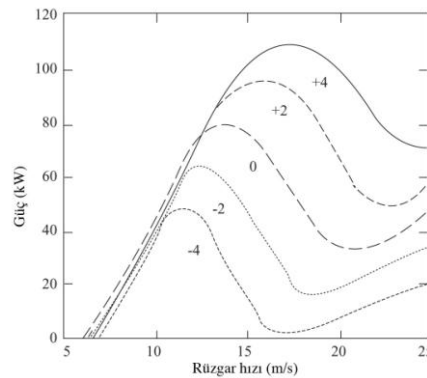
Şekil 4.18 Kanat sayısı ve λ ile C_p 'nin değişimi [56]

Rüzgar türbinlerinin performansı, rüzgar hızı ve türbinin kanatlarının dönme hızlarıyla değişkenlik göstermektedir. Düşük rüzgar hızlarında, kanatların düşük dönme hızlarıyla (rüzgar hızı ve türbinin dönme hızına göre) maksimum enerji elde etmek mümkündür. Uygun hız aralıkları kullanılarak türbinlerin çalışmaya başlaması için gerekli hız azaltılırken enerji kazançları da artmakta ve ek mekanik sistemlerin kullanılmaması da maliyetleri azalmaktadır (Şekil 4.19).



Şekil 4.19 Kanatların farklı hızlarda dönmeleri ile elde edilen güç ve rüzgar hızı bağlantısını gösteren grafikler [56]

Yatay eksenli bir rüzgar türbini için kanatların motor sistemine bağlantısının belirli bir açıyla yapılması performansını arttırmaktadır [56] (Şekil 4.20). Kanatların sabitlendiği merkez ile aralarındaki açı 90° değil de küçük eğimlerle yerleştirilmesi elde edilen enerji miktarını artırmaktadır. Bu eğim arttıkça dönmeye başlama momenti artmakta ve rotorun çalışmasını sağlamaktadır. Eğimin 90° olduğu konum genellikle (rotor hızı bu konumda minimum olduğu için) türbinin durmaya başladığı durumdur.



Şekil 4.20 Kanat ile yerleştirildiği yüzey arasındaki açı değiştikçe elde edilen enerji değişimi [56]

4.4.2 Rüzgar Türbinleri ve Çevresel Etkileri

Büyük ölçekli rüzgar türbinleri genellikle yol ve binalardan uzak bölgelere yapılmaktadır. Rüzgar türbinlerinin bazı çevresel etkileri aşağıda verilmiştir:

- Rüzgar türbinlerinden kaynaklı ses, mekanik ve aerodinamik (kanat uçlarında meydana gelen) bazlı olmak üzere iki şekilde oluşur. Teknolojik gelişmelere bağlı olarak, ilk dönem rüzgar türbinlerine göre, ses problemi gittikçe azaltılmıştır (Yine de yatay eksenli rüzgar türbini içindeki ses, gelişmiş türbinlerin bulunduğu ortamda bile 85 dB düzeyindedir)* [37]. Aerodinamik kaynaklı ses, kanat hızları arttıkça artar. Mekanik gürültü; dişli kutusunun ve mekanizmanın iyi tasarlanmış ve eşleşmiş olması, motora ses yalıtımı yapılması ve titreşim önleyen ekipman montajları ile azaltılabilmektedir.
- Düşey eksenli türbinlerde kanatlar, yatay eksenlilerin yarısı kadar hızla çalıştıkları için, aerodinamik ses düzeyi daha az olmaktadır. Şekil 4.21'de nanofiber takviyeli polimerden yapılmış ve birbirine seri bağlanmış rüzgar türbinlerinin her biri 1.5 kW kapasitelidir. Rüzgar hızının 2.3 m/sn olduğu durumda çalışırken oluşturduğu ses düzeyi 35 dB'dir. Şekil 4.21'de görülen türbinlerin malzemesi karbon ve fiberglasdır. Bu rüzgar türbini 11 m/sn rüzgar hızında 3 kW enerji üretebilmekte, 6 m/sn rüzgar hızında 50 dB, 10 m/sn rüzgar hızında 55 dB gürültü çıkarmaktadır.
- Yatay eksenli türbinler, hızlı kanat çalışması ile kuş ve yarasaların pervaneye doğru sürüklenmesine, çarparak ölümlerine neden olabilmektedir [44], [58]. Ama yine de rüzgar türbinlerinin neden olduğu kuş ve yarasa ölümleri insan kaynaklı olanlara göre daha düşük bir seviyededir [37].
- Yatay eksenli türbinlerin kanatlarındaki buz oluşumu, kanat aerodinamiğini ve yük miktarını dolayısı ile türbinin performansını etkilemektedir [39]. Türbinin çalıştığı durumda oluşan buzların etrafa düşebilmesi çevredeki canlılar için tehlikeli olabilmektedir. Düşey eksenli rüzgar türbinlerinin dönüş hızı yatay eksenlilere göre daha yavaş olduğu için buz oluşma durumu da daha azdır [44].
- Rüzgar türbinleri elektromanyetik alan oluşturarak radyo, tv gibi bazı alıcılarda parazit yapabilir. 1997 yılında ETSU (East Tennessee State University) hazırladığı raporda; rotor çapı

* Araba içerisindeki gürültü 80-90 dB, insan konuşma seviyesi 60 dB kadardır [19].

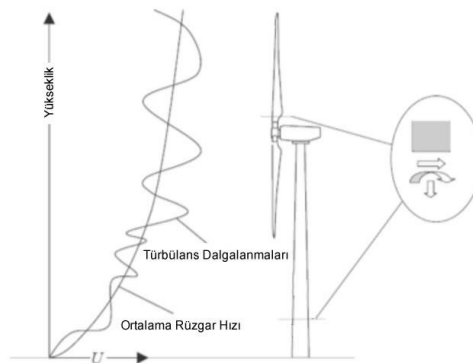
ve dönme hızı, kanat sapma açısı, merkez yüksekliği, kanat malzeme ve detayı, taşıyıcı (kule) malzemesi gibi özelliklerin elektromanyetik alan üzerinde etkisi olduğu ortaya konmuştur. Düşük bir maliyetle elektromanyetik etkiler azaltılabilmektedir.



Şekil 4.21 (a) Seri bağlanmış olan nano fiber takviyeli polimerden yapılan yatay eksenli rüzgar türbini (b) Karbon-fiberglas Darrieus tipi rüzgar türbinleri [59]

4.4.3 Yapılara Göre Rüzgar Türbini Sınıflandırılması

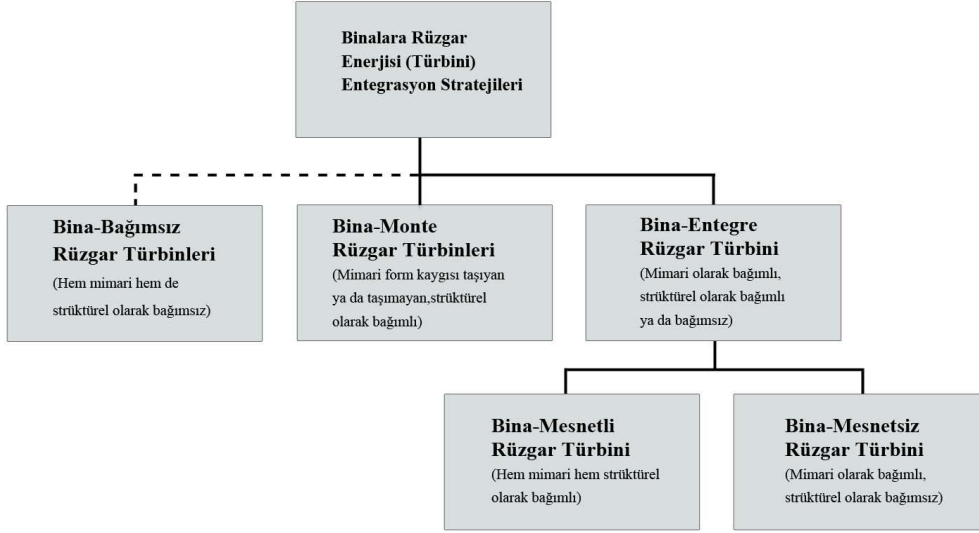
Rüzgar hızı yükseklikle doğru orantılı olarak artmakta ve bu özelliği ile yüksek yapılarda türbinden yararlanılarak çok önemli miktarlarda elektrik enerjisi üretmek mümkün olmaktadır. Türbinin en etkin şekilde çalışması ve yerleştirileceği noktaların belirlenmesi açısından, rüzgar hızı ve akışı, iklimsel veriler, türbin boyutları, türbine etkiyen rüzgar kuvveti ve yapıda uygulama şekli önceden belirlenmelidir. Montajın yapılacağı yerdeki türbülans yoğunluğunun; malzeme hasarı, enerji kazancı, türbin yükü ve ömrünün olumsuz etkilenmemesi açısından, 0.25'den büyük olmaması gereklidir, aksi durumda türbin yapılmamalıdır [51] (Şekil 4.22). Binanın formu; etrafındaki ağaç, dağ gibi etkenler rüzgarın hızını ve akışını değiştirdiği, bu engeller etrafında türbülans oluştuğu için önemlidir.



Şekil 4.22 Türbini etkileyen rüzgar yükleri [60]

Yapılara göre rüzgar türbinleri [37] (Şekil 4.23);

- Bina- bağımsız
- Bina monte
- Bina entegre olarak üç grupta incelenebilir.



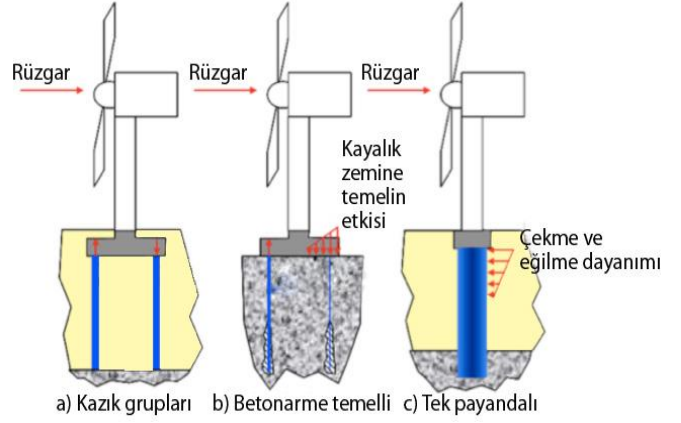
Şekil 4.23 Binalara rüzgar enerjisi entegrasyon sistemleri [37]

4.4.3.1 Bina Bağımsız Rüzgar Türbinleri

Bina bağımsız rüzgar türbinleri; bunlar genellikle yapıdan bağımsız olarak düşünülen sistemlerdir. Bu tür sistemlere örnek olarak rüzgar çiftlikleri verilebilir. 2001 yılında 170 adet rüzgar türbini kurulan Kansas' taki en büyük rüzgar çiftliği olan Gray Country Wind Farm 112 MW kapasite ile 33 000 ev için gerekli olan elektrik enerjisini üretebilmektedir (Şekil 4.24). Bağımsız rüzgar türbini temel sistemi Şekil 4.25' te gösterilmiştir.



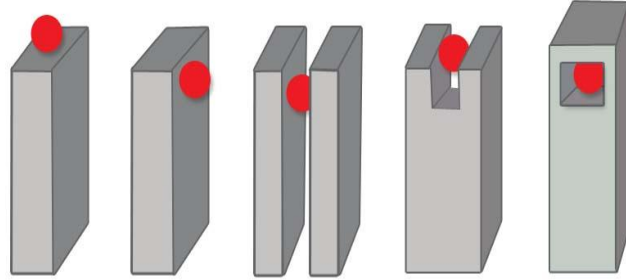
Şekil 4.24 Gray County Wind Farm, Kansas'taki en geniş rüzgar çiftliği [61]



Şekil 4.25 Rüzgar türbini temel sistemi [62], [63]

4.4.3.2 Bina Monte Rüzgar Türbinleri

Bina monte rüzgar türbinleri (*Building Mounted Wind Turbines-BUWT*); yeni yapılan veya mevcut bir yapıya uygulanabilir. Bina monte rüzgar türbinleri yapıyı kule olarak kullanmaktadır ve yapıya farklı şekillerde monte edilebilmektedir (Şekil 4.26). Türbinin monte edileceği yapı taşıyıcı sisteminin; türbin kaynaklı dinamik yükleri ve titreşimi karşılayabilmesi, ayrıca yapıda ses yalıtımının sağlanması gereklidir.



Şekil 4.26 Bina monte rüzgar türbinleri için entegrasyon yöntemleri [64]

Çeşitli firmaların yenilenebilir kaynaklara yönelimi, rüzgar türbini üretiminde yeni ve daha çok enerji üreten teknolojilerle sektörü geliştirmektedir. Kanat uzunluğu 4.5 m olan *Windcube*[®] (Şekil 4.27) ($b=9.1$, $h=9.1$ m ve derinlik = 4.9 m) her türlü yapıya monte edilebilir (Şekil 4.28). Türbin, 2.2 m/sn düzeyindeki düşük hızlarda da çalışabilmektedir; maks. güç (75 kW) rüzgar hızının 14 m/sn değerinde elde edilmektedir. Ortalama 7 m/sn hız ile 160 MWh/yıl düzeyinde elektrik üretir.

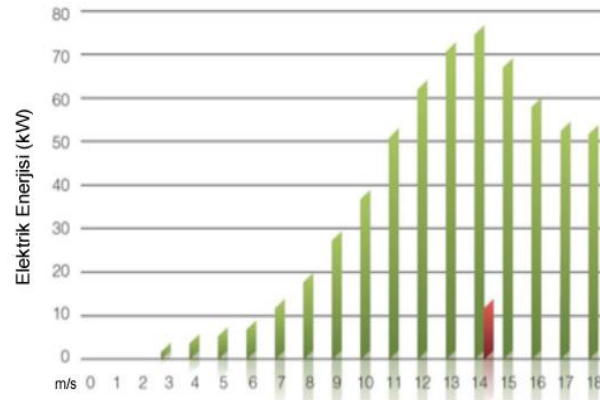
Bina monte rüzgar türbinlerine örnek olarak CIS Tower verilebilir. Yapının çatısı rüzgar çiftliği gibi düzenlenerek, 3 m yüksekliğinde 24 adet rüzgar türbini monte edilmiştir. Yapının elektrik enerjisi ihtiyacının % 10'u bu türbinlerden sağlanmaktadır (Şekil 4.29).



Şekil 4.27 Bina monte rüzgar türbini Windcube® [65]



(a)



(b)

Şekil 4.28 a) Bina monte rüzgar türbini Windcube®'ın binaya yerleşimi b) Windcube® verimini gösteren grafik (kırmızı ile gösterilen kısım aynı çapta klasik bir bağımsız rüzgar türbininin verimini ifade eder.) [65]



Şekil 4.29 CIS Tower, Londra [66]

4.4.3.3 Bina Entegre Rüzgar Türbinleri

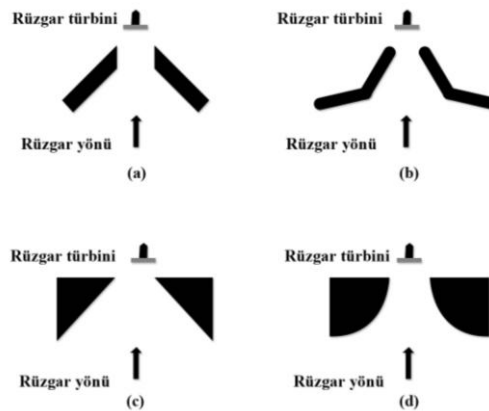
Bina entegre rüzgar türbinleri (*Building Integrated Wind Turbines*); tasarım aşamasına dahil edilip, yapının rüzgardan faydalanma kaygısıyla oluşturulduğu sistemlerdir. Mimari açıdan ele alındığında bina monte ve bina entegre rüzgar türbinleri arasındaki fark, bina entegre sistemlerde rüzgar enerjisi etkin tasarım fikridir [37], [51]. İki grupta incelenir :

- **Bina Mesnetli Rüzgar Türbinleri;** Bina mesnetli rüzgar türbinleri, binanın taşıyıcı sistemine mesnetlenerek; binanın kendisini, mevcut rüzgar potansiyelinden maksimum faydalanmak için, kule olarak kullanmaktadır. Bu sistemle yapılmış ilk yüksek yapı 29 m kanat çaplı, 3 adet yatay eksenli rüzgar türbini uygulamasıyla Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi'dir (Yapının rüzgar türbinleri ilk kez 8 Nisan 2008'de çalıştırılmıştır.). (Şekil 4.30).



Şekil 4.30 Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi [66], [67]

- **Bina Mesnetsiz Rüzgar Türbinleri;** Bina mesnetsiz rüzgar türbinleri henüz uygulamaya geçmemiştir. Bina ya da bina gruplarına yakın bir noktaya monte edilir ve binanın yaratacağı rüzgar akışını kullanabilen türbinlerdir (Şekil 4.31). Bu tip türbinler kendi mesnetleriyle taşınmakta ve yapının tasarımını etkilememektedir.

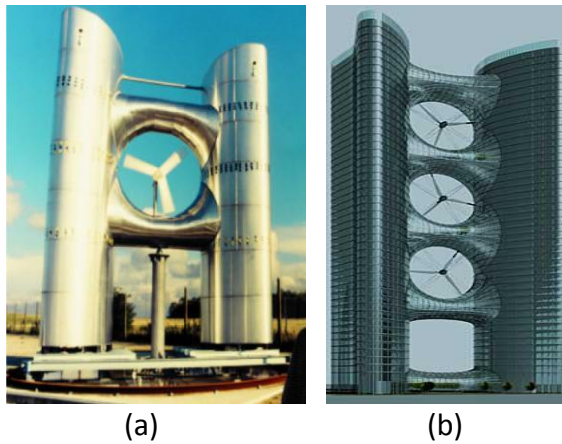


Şekil 4.31 Bina mesnetsiz rüzgar türbinleri ve bina ilişkileri [37]

4.5 Rüzgar Türbinleri ve Yüksek Binalarda Kullanımı

Yüksek binalarda, yatay ve düşey eksenli ya da yeni rotor teknolojili türbinler kullanılmaktadır. Yapı yüksekliği arttıkça rüzgar, doğrudan kesintisiz olarak yapıya temas eder; bu açıdan yapı, rüzgar türbinlerinin oturduğu kule işlevi görür. Bu tip yapılarda türbinler yapıların çatı kotunda, bina cephelerine ya da bina grupları arasına yerleştirilmektedir. En verimli sonucu alabilmek için bina formu ve taşıyıcı sistem, enerji etkin tasarım ilkelerine göre şekillenebilmekte ve estetik kaygılar bazı binalarda göz ardı edilebilmektedir [68]. Bu tür tasarımlarda, hakim rüzgar yönü / yönleri ve hızı, kullanılacak rüzgar türbini tipi ve konumu gibi bir çok etken, bina formunu doğrudan etkilemektedir. Köşeli ya da kare formlu yapılarda, rüzgarın türbine temas edemeden yapı kütesine çarpması, türbinin enerji etkinliğini azaltmakta ve türbülans etkisi yaratmaktadır. Bu nedenle yeni, yapıyla bütünleşen aerodinamik tasarım kavramı (düz köşeler yerine kıvrımlı ya da rüzgarı tutan, yönlendiren kanalların tasarlanması) türbinin etkinliğini arttırırken, türbülans etkisini de azaltmaktadır [69].

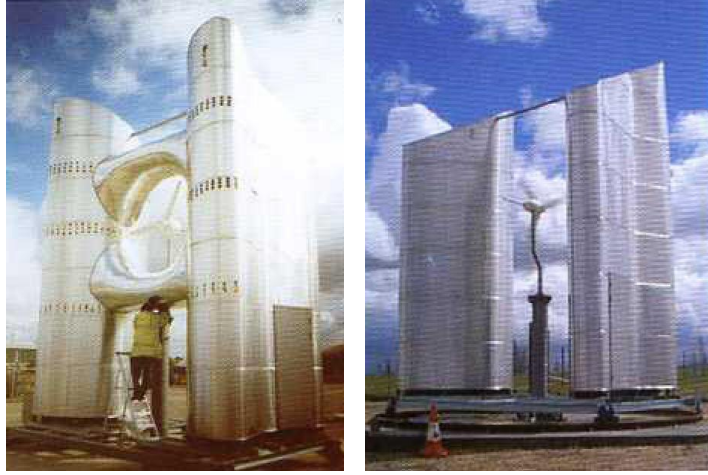
2000 yılında WEB projesi (*Wind Energy For The Built Environment*) kapsamında bina entegre türbin tekniklerini geliştirmek ve bu kapsamda rüzgarın enerji etkinliğini arttırmak için prototip yapılar üzerinde teorik (Şekil 4.32-b) ve uygulamalı testler yapılmıştır (Şekil 4.32-a). Bu araştırma ile görsel etki, aerodinamik şartlar, mimari uyum, taşıyıcı sistem detaylarının seçimi ve çevresel etkilerin birlikte ele alınmasının gerekliliği ortaya konulmuş, gelecekte yapılacak rüzgar türbini entegre edilmiş yapılar için bir kaynak oluşturmuştur*.



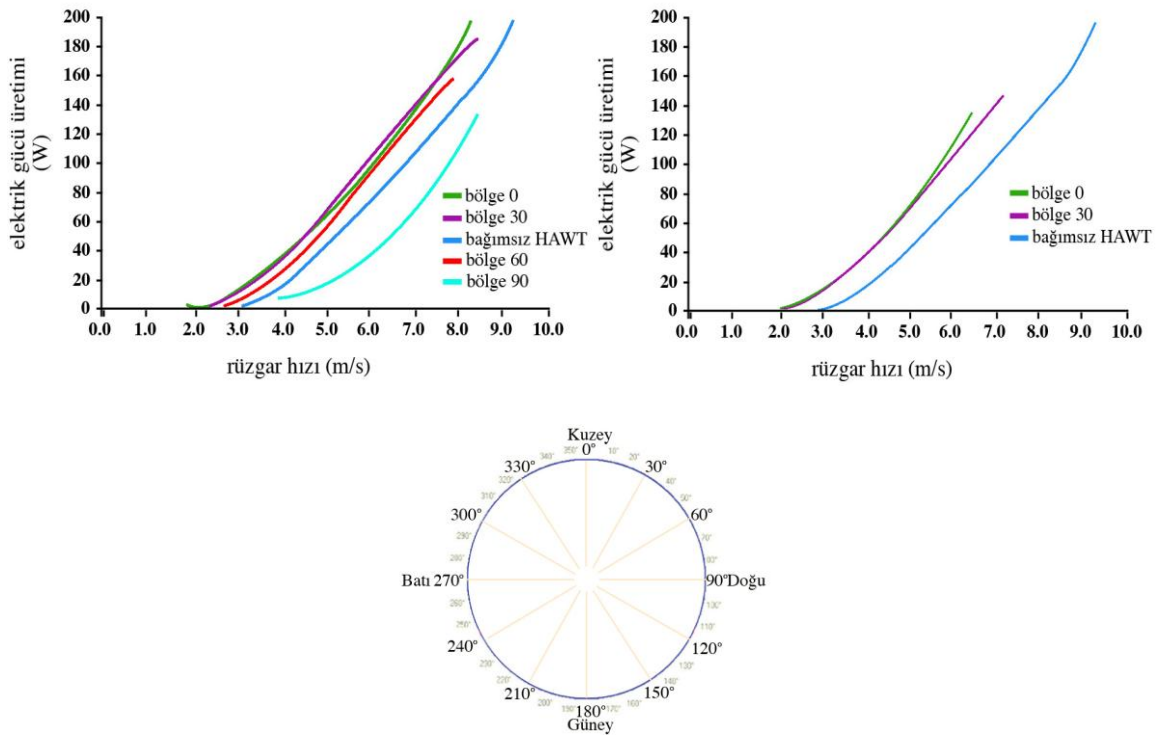
Şekil 4.32 WEB Projesi kapsamında test edilen prototip yapılar [70]

* Bu tasarımın ilk uygulaması Bahrein World Trade Center (2008) olmuştur [69].

WEB Projesi kapsamında; konsept mimari tasarım 35 m çaplı, 250 kW kapasiteli 3 adet yatay eksenli türbinin entegre edildiği ikiz kuleden oluşmaktadır. Saha testi için oluşturulan prototip ise 7 m yükseklik, 1.5 m genişlik ve 2.3 m derinliğinde simetrik ikiz kuleden oluşmaktadır (Şekil 4.32-a) .



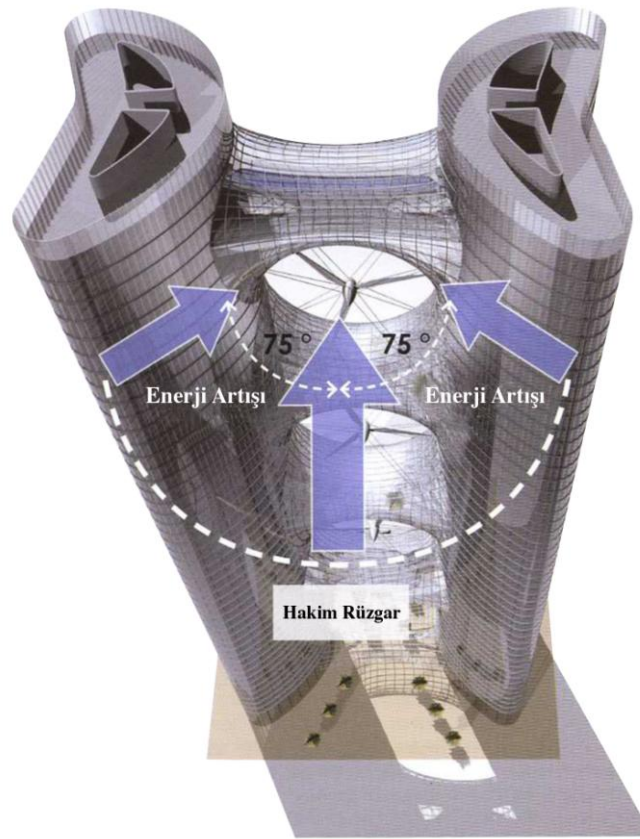
Şekil 4.33 Rüzgar türbinlerin 7 m yüksekliğinde prototipler üzerinde test edilmesi [69]



(Rüzgarın yönü için 12 eşit açıyla bölünen daire kullanılmıştır. Her bölge bu açılara göre adlandırılmıştır)

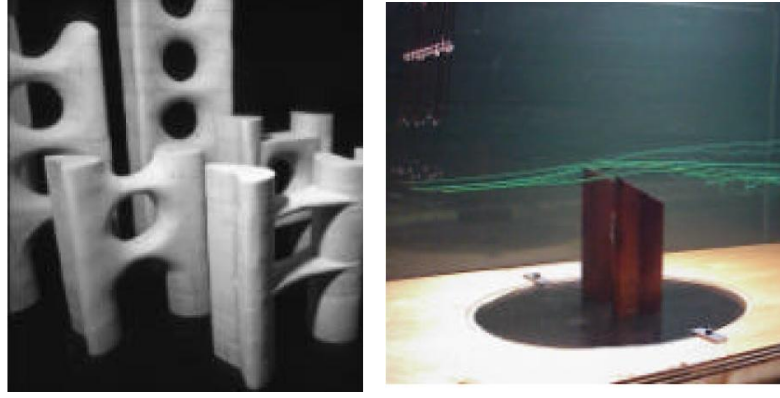
Şekil 4.34 İki yapı kütleleri arasında kanallı ve kanalsız yapılan testlerle elde edilen güç eğrileri [69]

Türbinler iki yapı bloğu arasında oluşturulan köprüler arasında; daire, dikdörtgen gibi geometrik biçimlerdeki boşluklara veya kanal olmadan doğrudan iki blok arasına monte edilen yatay eksenli ve dikey eksenli rüzgar türbinleri aynı kotta ayrı ayrı test edilmiştir (Şekil 4.33 ve 4.34). Türbinin yerleştiği boşluğun keskin dönüşler yerine kıvrımlı dönüşlerle oluşturulduğu form en etkili sonucu vermiştir (Şekil 4.35) [69]. Bu tasarım, hakim rüzgar etkisi ve doğru bina yönlendirmesi ile, 150°'lik bir alandan rüzgarın türbine doğrudan temasını sağlamaktadır.

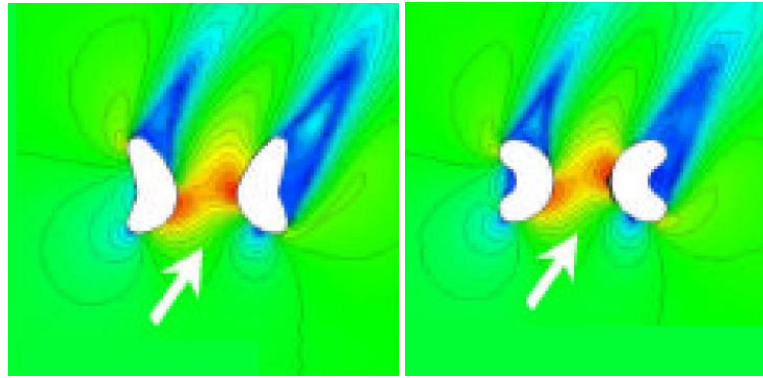


Şekil 4.35 Rüzgarı türbine doğru yönlendiren bina biçimlenişi [69]

WEB Projesi ile rüzgar enerjisinden maksimum ölçüde yararlanabilecek çeşitli formlar denenmiştir. Aerodinamik olmayan kare blok formdan başlayarak; rüzgarı toplayan, hızını arttıran formlar üç boyutlu modeller ile belirlenmiştir (Şekil 4.36). Bina kütlelerinde düz köşeler yerine eğrisel dönüşlü dairesel form, plan düzleminde de bumerang formu en uygun tasarım olarak ortaya çıkmıştır [64] (Şekil 4.37).



Şekil 4.36 WEB Projesi kapsamında kullanılan modeller [71]



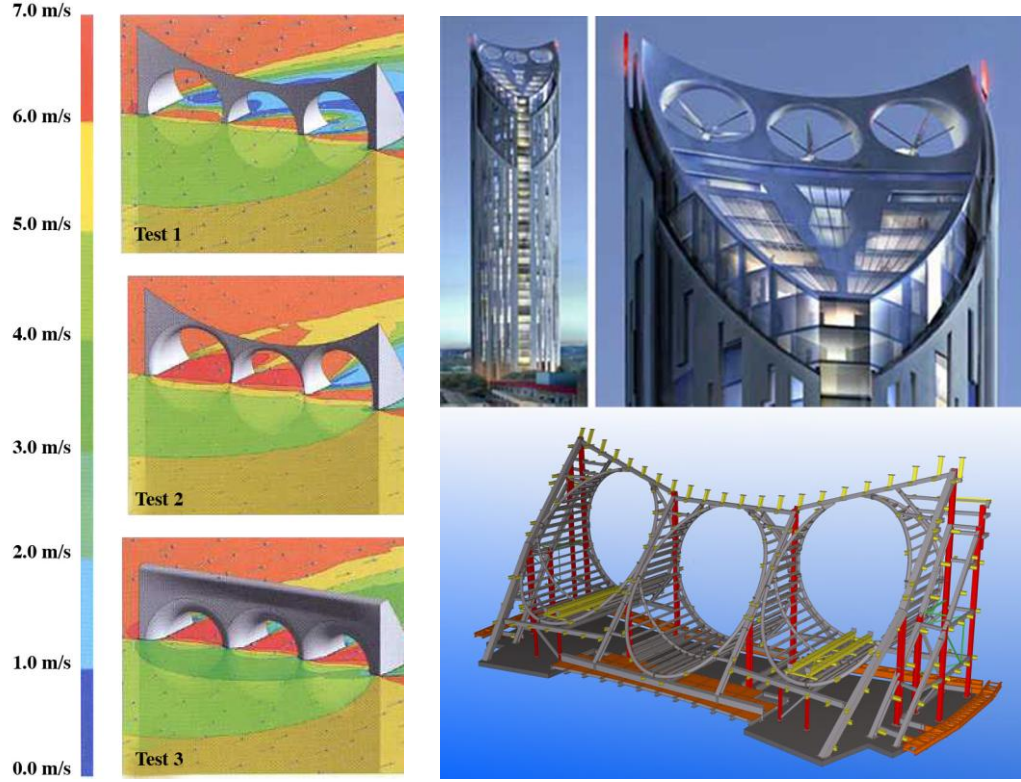
Şekil 4.37 Rüzgar enerjisini en etkin şekilde kullanılmasını sağlayan plan düzlemindeki biçimlenişler [71]

Türbinin yerleştirileceği bölgenin tasarımıyla ilgili *Castle House* (2010) binası için de testler yapılmıştır. İklimsel verilere göre, kuzeyden esen ve 210°'lik açı ile yapıya etkiyen rüzgar durumunda türbinlerden maksimum verim alınacağı belirlenmiştir. Bu rüzgar esas alınarak çeşitli geometrik formlar test edilmiştir (Şekil 4.38). Bunlar;

- Orijinal tasarımdaki türbinin yerleşeceği boşluk çapı 9 m olan form (Test 1)
- 9 m çapında, kenarları 1 m yarıçapla yuvarlatılmış dairesel form (Test 2)
- 7 m çapında, kenarları 2 m yarıçapla yuvarlatılmış dairesel form (Test 3)

olarak belirlenmiştir.

Castle House için yapılan çalışmalar sonucunda; Test 3'te, 7 m çapında, kenarları 2 m çapla yuvarlatılmış dairesel kanal ile rüzgardan en yüksek verim elde edilmiştir. Türbinin taradığı alanın azalmasına rağmen doğru yönlendirme, bina formu, türbinin yerleşeceği alanın tasarımı ile rüzgardan daha fazla enerji üretmek mümkündür (Çizelge 4.4).



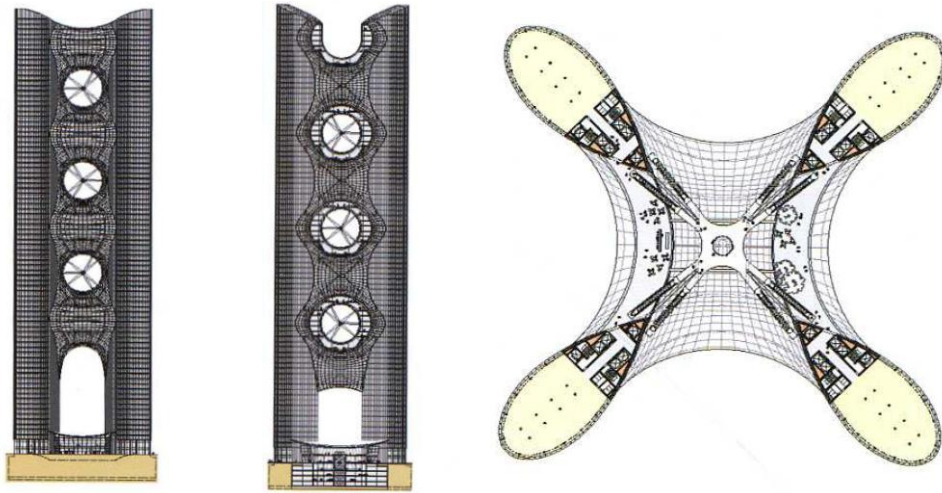
Şekil 4.38 Castle House Binası ve rüzgar tüneli testi [69], [72], [73]

Çizelge 4.4 Castle House Binası için yapılan rüzgar türbini ile aynı özelliklerde bağımsız rüzgar türbini karşılaştırması (oran olarak) [69]

	Rüzgar Yönü (kuzeyden gelen)			
	180	210	240	30
Test 1	0.8	0.9	0.7	1.3
Test 2	1.1	1.4	1.0	1.4
Test 3	1.3	1.3	1.1	1.0
Test 3*	2.2*	2.2*	1.8*	1.7*

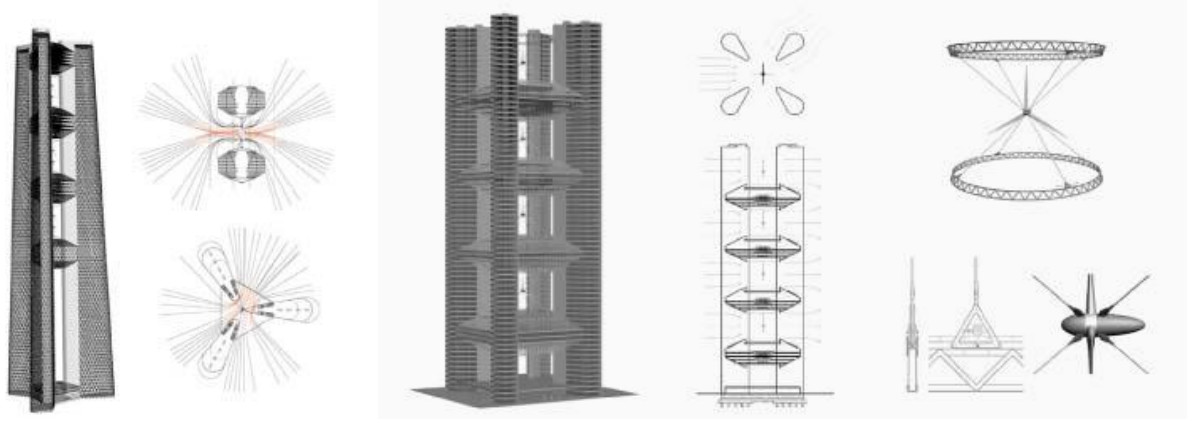
* Çizelgedeki değerler serbest halde konumlanmış, aynı yükseklikte, eşdeğer 9 m çapında türbine göre kıyaslamadır. Örneğin 0.5 değeri serbest haldeki türbinin ürettiği enerjinin yarısı demektir. Test 3* eşdeğer 7 m çapındaki bağımsız rüzgar türbini ile kıyaslamayı göstermektedir.

Rüzgar yönü değişken olan bölgeler için, WEB projesi kapsamında yapılan diğer bir test de her yönden gelebilecek rüzgarı kullanan çok yönlü rüzgar türbinidir. 360 m yüksekliğinde 4 kuleden oluşan yapıya 6 adet rüzgar türbini yerleştirilmiştir (Şekil 4.39). Kuleleri birbirine bağlayan kıvrımlı dönüşler, aerodinamik form olarak yapıya farklı bir mimari tasarım olarak yansırken, türbinlere temas eden rüzgar gücünü de arttırmaktadır. 90° açıyla çapraz olarak birbiri üzerine monte edilen türbinler, birbirinin alternatifi olarak çalışmaktadır. Örneğin, bir grup türbin kuzey-güney yönünde, diğer grup da doğu-batı yönünde yerleştirilerek her yönden gelebilecek rüzgara karşı tüm türbinlerin çalışması sağlanmıştır. Rüzgar tüneli ve CFD (Computational Fluid Dynamics) çalışmaları sonucunda en etkin rüzgarın yapıya 45° açıyla temas eden rüzgardan elde edildiği belirlenmiştir [69].



Şekil 4.39 Çok yönlü çalışabilen rüzgar türbinli yapı örneği [69]

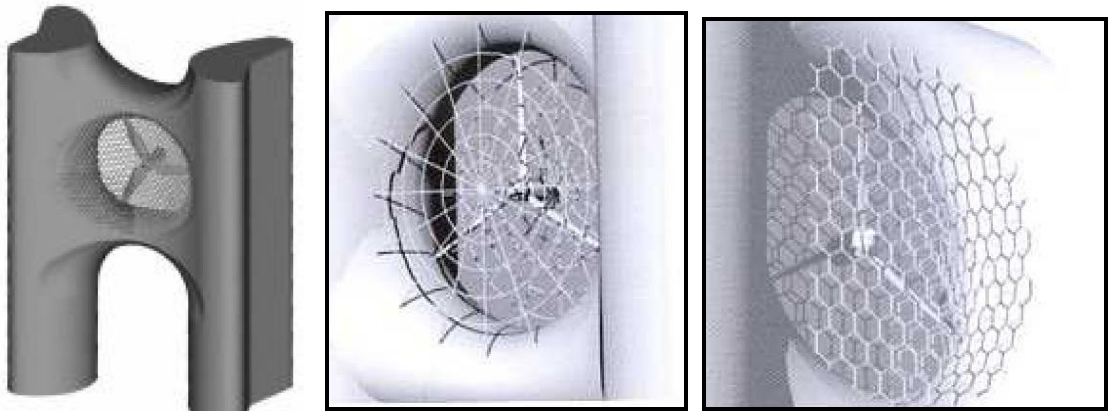
Bazı bölgelerde rüzgar, tek yönden ve belirli doğrultuda hareket ederken bazı bölgelerde birçok yönden hareket edebilir ya da değişkenlik gösterebilir. Bu durumda, rüzgar türbini, rotor bıçakları her yönden gelen rüzgardan faydalanabilecek şekilde tasarlanmalıdır (Şekil 4.40). Türbin ve kuleden oluşan bağımsız sistemlerde bu sağlanabilirken, bina ya da bina gruplarına yerleştirilecek olan türbinler açısından; taşıyıcı sistem ve mimari mekanın organizasyonunda; türbinin titreşim etkisi, elektro-manyetik alan oluşumu ile bilgisayar sisteminin etkilenmesi ve ses izolasyonu gerekliliği dikkate alınmalı, türbinlere komşu olan bölümler; genel sirkülasyon alanları (merdiven, asansör, servis alanları vb) olarak değerlendirilmelidir. Yapılar arasında türbinleri bağlayan köprüler de geçiş alanları ya da iç bahçe gibi düzenlenebilir.



Şekil 4.40 Rüzgar yönü değişken olan bölgelerde yapılabilecek olan türbin tasarımları [68]

Yapı entegre türbinler için genel problemler şunlardır :

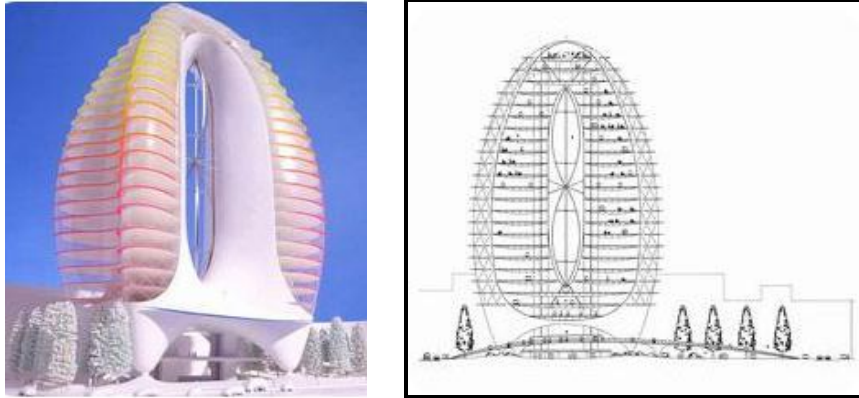
- Türbinin yaratacağı dinamik yük ve titreşimin, yapı taşıyıcı sistemine etkisinin belirlenmesi ve gerekli detayların oluşturulması
- Türbinin yarattığı elektro-manyetik alanın insana ve elektronik aletlere olan negatif etkisi.
- Türbinde çevresinde güvenlik kafesi oluşturmak (Şekil 4.41)



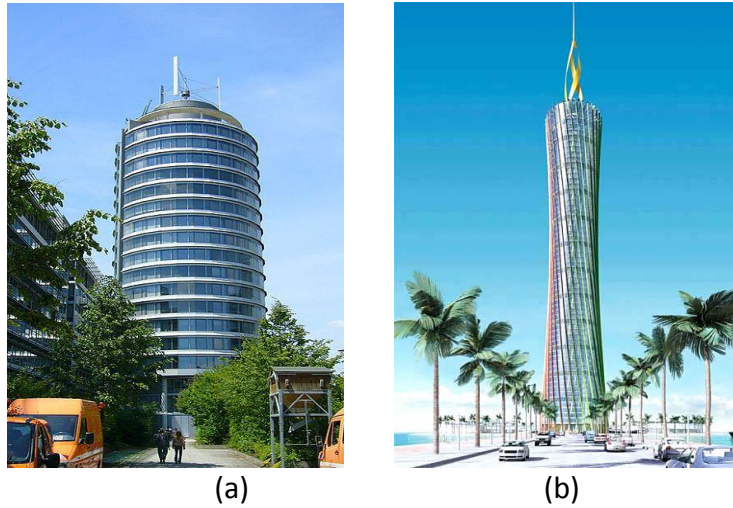
Şekil 4.41 Rüzgar türbinleri için alınan güvenlik önlemleri [69]

Yapılarda kullanılan yatay ve düşey eksenli rüzgar türbinlerinden daha fazla enerji elde etmek için, aerodinamik çözümlerle yapı formu, türbinin tasarımına göre şekillenmektedir. Çizelge 4.5' te farklı yapı tiplerinde uygulanan türbinler ve özellikleri gösterilmiştir. Yapılarda, yatay

eksenli türbinler, daha fazla enerji ürettiği için tercih edilmektedir. *Project ZED*^{*}, aerodinamik formu ve yapının merkezinde konumlandırılmış düşey eksenli rüzgar türbini ile sıfır enerjili bina^{*} tasarımı ilk konsept projelerdendir (Şekil 4.42). Düşey eksenli türbin kullanımına örnek olarak Almanya’da 3 katlı H-Darrieus tipli rüzgar türbini kullanılan Technisches Rathous Binası ve Dubai’de 68 katlı 322 m yüksekliğindeki Burj al-Taqa Binası verilebilir (Şekil 4.43).



Şekil 4.42 ZED Projesi, Londra [74]



Şekil 4.43 Düşey eksenli rüzgar türbini kullanılmış yapılar
(a) Technisches Rathous Binası, Almanya [75], (b) Burj al-Taqa, Dubai [76]

^{*} ZED (*Towards Zero Emissions Urban Development*) Projesi sıfır CO₂ emisyonlu yapı araştırması kapsamında EU APAS (European Commission DG XII) Sponsorluğunda 1995 yılında başlayarak 1997 yılında tamamlanmıştır.

^{*} Sıfır enerjili bina yaklaşımı, yapının ihtiyaç duyduğu tüm enerjiyi dış kaynaklardan almayıp; rüzgar, güneş gibi doğal enerji kaynaklarından üretebilmesidir.

Çizelge 4.5 Rüzgar türbini kullanılan farklı bina tipleri ve özellikleri [69]

Yapı Tasarımı	Özellikleri
	<ul style="list-style-type: none"> • Bina üzerine konumlandırılan rüzgar türbininin doğrudan rüzgarla temas etmesi ve türbülans etkilenmemesi avantajlarındandır. • Yapının üzerine konumlandırılan bu türbinler için kule yüksekliği, rüzgarın hızının düz köşelerden kayıp vermeden kanatlara ulaşabilmesi için önemlidir. • Titreşim, müdahalenin zor olması, görsel olarak dışarıdan algılanması gibi dezavantajları vardır.
	<ul style="list-style-type: none"> • Bina formu rüzgarın türbine doğru geçişini sağlayacak şekilde kavisli olan bu tipte, türbin boyu daha kısa olabilir. Yapıya bu formu verebilmek için hem cephe sistemi hem de taşıyıcı sistem maliyeti fazla olacaktır. • Türbinin daha kısa olması sesin yapıya daha çok iletilmesine neden olur. • Türbinin görsel olarak algılanması daha azdır.
	<ul style="list-style-type: none"> • Yapı formu rüzgarın toplanarak türbine iletilmesi açısından önemlidir. • Sapma açıları problem olabileceği için düşey eksenli türbin kullanmak ya da yatay eksenli türbinin sapma açısını karşılayacak şekilde sabitlemesiyle kullanılması uygundur. • Türbin yüksekliği az olacağından yapıya ilettiği ses, titreşim gibi taşıyıcı sistemi de etkileyen sorunlar oluşmaktadır.
	<ul style="list-style-type: none"> • Yüksek binalarda kullanılan yapı içinde boşluk bırakılan bu yöntem, yüksek bölgelerdeki yüksek hızlarda rüzgarı kullanabilmektedir. • Boşluk formunun kare olması nedeniyle (kanatların dönüşü düşünülerek) düşey eksenli türbin kullanmak daha uygundur. • Mimari tasarımda kullanımı zor olan alanlar oluşturması dezavantajdır. Bu alan bahçe, servis alanları oluşturularak değerlendirilebilir. • Türbinin yerleştiği alan yakınında titreşim, manyetik alan etkisi, gürültü oluşturması dezavantajdır.

	<ul style="list-style-type: none"> • Yapı içindeki boşluğun dairesel, kıvrımlı olması maliyet açısından kare formlu olana göre daha fazladır. • Sapma yönünü kontrol eden mekanizmanın sabitlenmesi ve iki yönden gelen rüzgarda etkin olarak kullanılabilmesi özelliği ile yatay eksenli türbinler düşey eksenlilere göre daha fazla enerji üretmektedir. • Yüksek binaların çoğunda bu tasarımla yatay eksenli türbinler kullanılmaktadır.
	<ul style="list-style-type: none"> • Türbin çalışırken yönünde meydana gelebilecek sapma nedeniyle düşey eksenli türbin kullanımı daha uygundur. • Yapının akustik izolasyonu iyi yapılmalıdır. • Düşeyde birden fazla türbin kullanımı ile üretilen enerji miktarı artırılabilir. • Güvenlik önlemlerinin alınması gereklidir.
	<ul style="list-style-type: none"> • İki kule bloğu arasına monte edilecek türbinler için sapma yönleri sorun olabileceğinden düşey eksenli türbin kullanılmalıdır. • Binalar arasındaki boşluk ve yapı formları rüzgar hızını etkileyeceğinden, türbinlerin enerji üretimini etkilemektedir. • Düşeyde birden fazla türbin kullanılabilir. • Türbinlerin müdahale alanlarına rahat ulaşılabilir olmalı, güvenlik sağlanmalı ve türbinlere yakın bölgeler için ses yalıtımı olmalıdır.

Çizelge 4.6 Bahrain Worl Trade Center*

Bahrain World Trade Center, Manama, Bahrain



Kat sayısı: 50

Bitiş tarihi: 2008

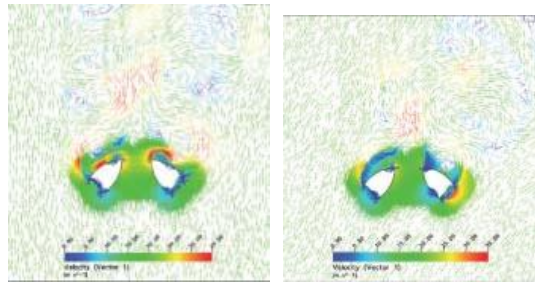
Yapı Yüksekliği: 240 m

Bahrain World Trade Center, yelken formunda yükselen iki kuleden oluşmaktadır. Yapı, İran Körfezi'nden gelen rüzgardan daha etkin yararlanmak üzere kuzeye yönlendirilmiştir. Binanın elektrik enerjisi ihtiyacının %11-15'ini karşılamak üzere, 3 adet 29 m rotor çapında türbin yerleştirilmiştir. Türbinler 1100-1300 MWh/yıl enerji üretebilmektedir.

Bu projede kullanılan rüzgar türbinlerinin özellikleri;

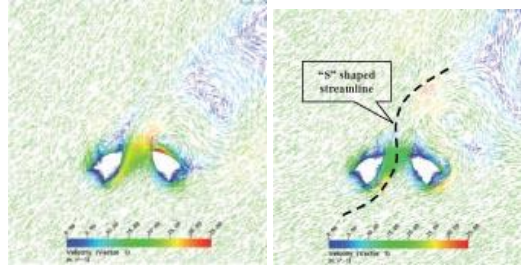
- Minimum güç: 225 kW (hava şartlarına göre değişken)
- Rotor hızı (en etkin anda): 38 rpm (kanat uçlarındaki çizgisel hız: 57.67 m/s)
- Rotor çapı: 29 m
- Çalışmaya başladığı rüzgar hızı: 4 m/s
- Durduğu rüzgar hızı: 20 m/s (ort. 5 dk)
- Kanat tasarımı için maksimum hız: 80 m/s

* Bu çizelge Kaynak [6], [17], [49], [75], [77-79], [81-84] değerlendirilerek oluşturulmuştur.



(a)

(b)



(c)

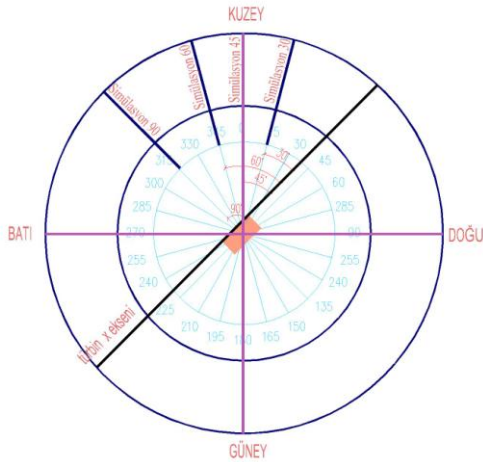
(d)

(a) Rüzgar Yönü 315° (simülasyon 90°)

(b) Rüzgar Yönü 345° (Simülasyon 60°)

(c) Rüzgar Yönü 360° (Simülasyon 45°)

(d) Rüzgar Yönü 15° (Simülasyon 30°)



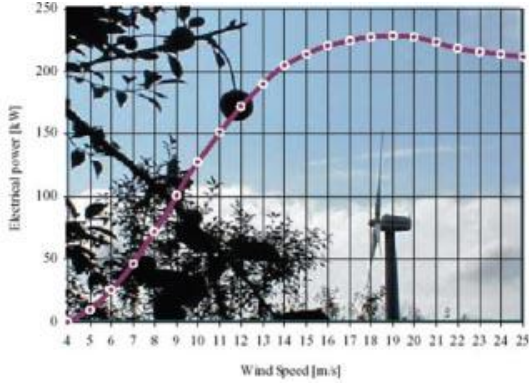
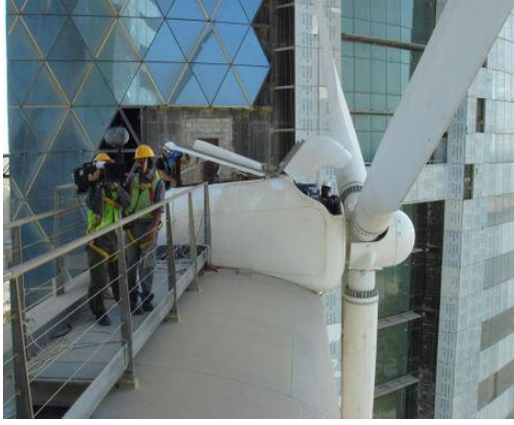
Rüzgar Türbinlerinin Seçimi ve Konumlanmasına Etki Eden Faktörler;

Tasarım aşamasında düşey eksenli rüzgar türbini benimsenmiş, ancak yapılan testler sonucunda, düşey eksenli türbinlerin çok yönlü rüzgarı karşılamasına rağmen, daha önceden test edilmiş olan büyük ölçekli, düşey eksenli rüzgar türbininin bina uygulamasına elverişli olmaması nedeniyle yatay eksenli rüzgar türbini kullanmaya karar verilmiştir. Bina formu da, gelen rüzgarı kulelerin arasından maksimum düzeyde alabilmek için özel geliştirilmiştir. Çeşitli açılarla gelen ve yapı formuyla sapan rüzgarlar çeşitli testlerle araştırılmıştır. Rüzgarın en etkin kullanılabildiği durum, yapının aerodinamik biçimlenişiyile saptırılan rüzgarın 'S' biçimli yönelimi ile yapının arasından türbine doğru hareket ettiği durumdur. Türbinler rüzgar yönünün 285-345° arasında olduğu durumlarda çalışabilecektir, bu aralığın dışındaki rüzgarda türbinler sabit konumunda kalacaktır.

Yapının üst kısımlarına doğru rüzgar hızı artacak biçimde bina formu seçilmiştir. Ortadaki türbinin % 100 verimli olduğu durumda, en üstteki türbin % 109 ve en alttaki türbin % 93 verimle çalışabilmektedir.

Rüzgar türbinlerinin kontrol, görüntüleme ve güvenliği 3 sistemle denetlenmektedir;

- Rüzgar türbini kontrol sistemi (WTCS); doğrudan türbinleri izleyen ve kontrol eden sistem
- Genişletilmiş rüzgar türbini izleme sistemi



Rüzgar hızına göre üretilen elektrik enerjisi



(EWTMS) (bu proje için özel yapılmıştır)

- Bina izleme sistemi (BMS)

Bu binadaki rüzgar türbin ve türbin ile ilgili sistemler;

- Motor
- Vites kutusu, jeneratör, soğutma sistemi ve kontrol sistemleri içeren kapalı motor yeri
- Rotor
- Kontrol, görüntüleme ve güvenlik sistemleri
- Bina elektrik kontrol sistemleri
- Türbini kulelere bağlayan köprü 'den oluşmaktadır.

Köprü Tasarımı ve Özellikleri

Yapının taşıyıcı sisteminin ve detaylarının belirlenmesi için, rüzgar türbininden kaynaklanacak dinamik yükler de dikkate alınarak, bilgisayar programları ile kapsamlı analizler uygulanmıştır. Yapı ve köprü etkisini de dikkate alarak her türbin için 199 farklı yük durumuna göre modelleme yapılmıştır. Köprü, aerodinamik etkiler düşünülerek 173°'lik 'V' formunda tasarlanmıştır. Böylelikle türbin kanatlarının yapıya çarpması önlenmiş ve en hızlı çalıştığı andaki kanat sapmaları için yapıyla arasında gerekli boşluk sağlanabilmiştir (1.12 m). Köprünün yapıyla birleştiği bölgede, türbinden kaynaklanacak titreşimin (çalışma durumu veya hareketsiz konum) yutulabilmesi için hareket derzi oluşturulmuştur. Böylelikle kulelerin 0.50 m hareket edebilmesi sağlanmıştır. Köprü uzunluğu 31.7m olup, 11 t'lık türbin motorunu, ayrıca rüzgar ve motordan kaynaklanacak dinamik yükü karşılayabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Çizelge 4.7 Dubai Light House*

Dubai Lighthouse Tower



Kat sayısı : 64

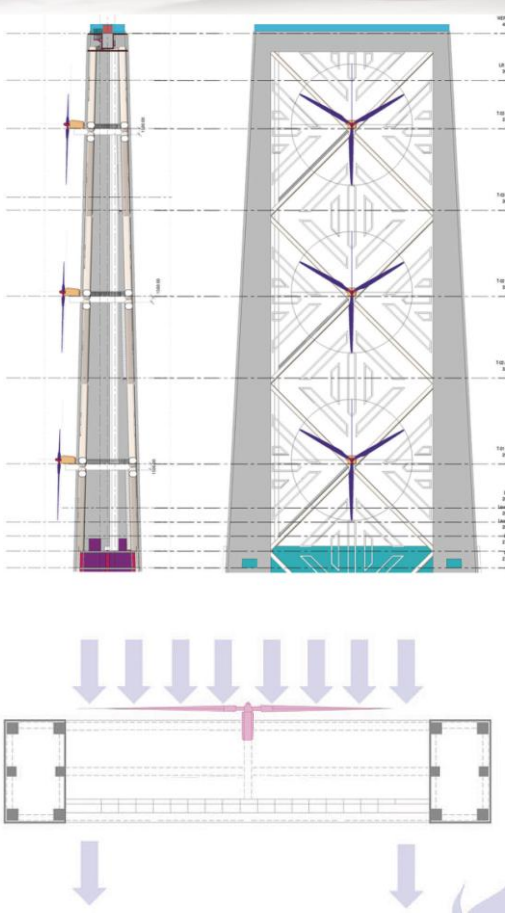
Tarih : 2011

Yapı Yüksekliği : 402 m

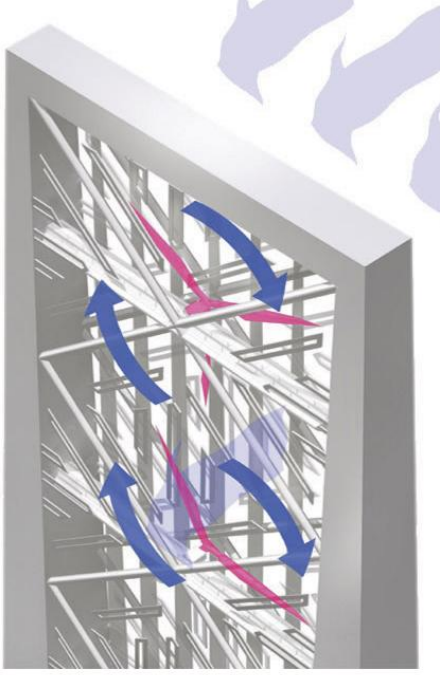
Yapı boyutları düşünüldüğünde, düşük CO₂ tüketimi ve enerji etkin tasarımı ile ön plana çıkan *Dubai Lighthouse Tower*, dünyada LEED Platinyum sertifikalı *ilk projedir*.

Yapının uzun ve narin formu ile elektrik enerjisinin tamamını güneş ve rüzgardan sağlaması hedeflenmektedir. Ayrıca, yapı gün ışığından da maksimum düzeyde faydalanmaktadır.

Yapı yüksekliğinin son 120 m'sine, 3 adet yatay eksenli rüzgar türbini monte edilecektir. Cepheye entegre türbinler, körfez rüzgarından etkin bir biçimde yararlanabilmek için bina formunu etkilemiştir. Türbinler bölgedeki hakim rüzgar olan kuzeybatı rüzgarına göre yönlendirilmiştir. Rüzgar türbinlerinin her biri 29 m çapında olup 225 kW kapasite ile dünyadaki ikinci örnek olma özelliğindedir. Rüzgar enerjisi ve PV kullanımı ile yapının toplam enerji tüketimini % 65, su tüketimini de % 40 oranında azaltması beklenmektedir. Ayrıca yapının güney cephesinde 4000 adet PV panel kullanılacaktır.



* [17], [37], [75], [78], [82], [85-87] kaynaklarından yararlanılarak oluşturulmuştur.



Yapıdaki rüzgar türbinlerinin özellikleri;

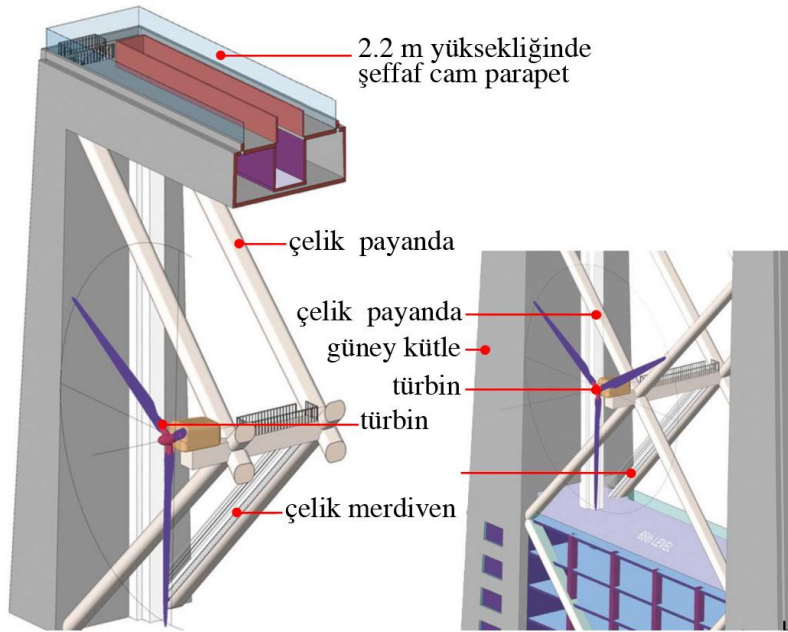
Rüzgar türbin parçaları (kanatlar, jeneratör ve vites kutusu) bedeli : 560 000 €

Binanın toplam enerji ihtiyacı : 37 832 MWh

Rüzgar türbininden sağlanan enerji: 700-900 MWh/türbin

Enerji etkin tasarlanmış yapının entegre sistemlerden elde ettiği toplam enerji kazancı : 17 866 MWh

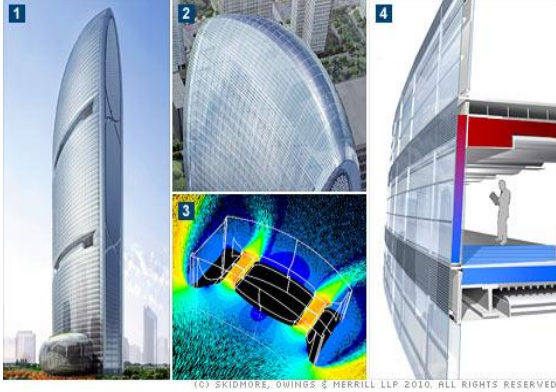
Rüzgar türbinlerinin yapıya katkısı: % 3.9-5 enerji etkinliği



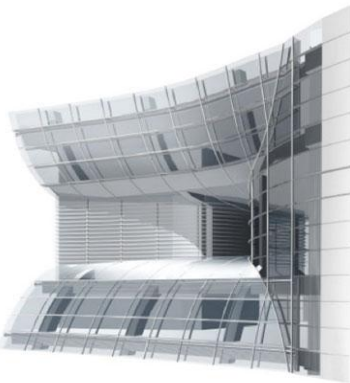
Yapıda uygulanan türbinin yerleşimini gösteren şematik çizim

Çizelge 4.8 Pearl River Binası Örneği *

Pearl River Tower, Guangzhou, Çin



1. Pearl River Tower, 2. Çatıdaki güneş paneli,
3. Rüzgar türbininden enerji üretimi, 3. Güneşten ısı kazancını gösteren şematik çizimler



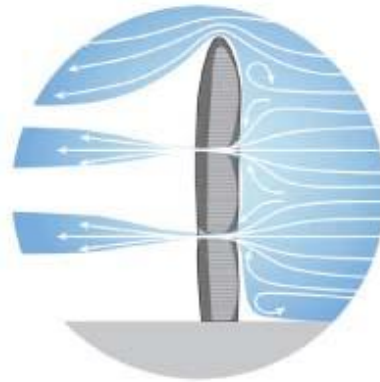
Kat sayısı: 71 kat

Bina yüksekliği: 309.60 m

Bitiş tarihi: 2011

Pearl River Tower, dünyada uygulanmış en yeşil bina olarak tanımlanmaktadır. PV paneller ve Darrieus tipi düşey eksenli rüzgar türbinlerinin kullanıldığı yapı minimum enerji harcamakta, kendi enerji ihtiyacından daha fazlası üretilmekte ve bu enerjinin bir kısmı depolanabilmektedir.

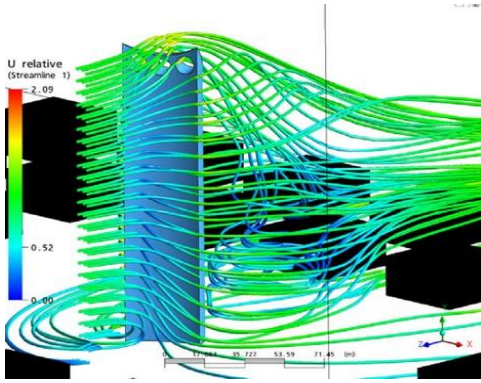
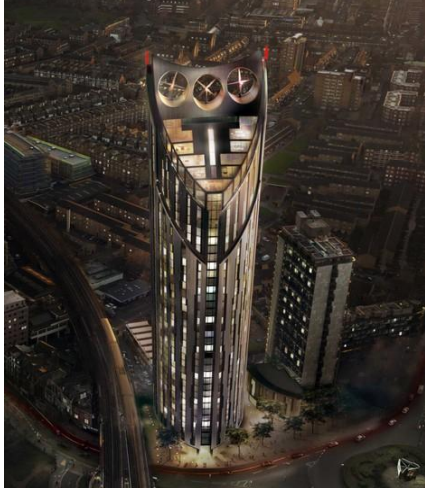
71 katlı olan yapı, düşeyde iki mekanik bölge ile, rüzgardan en etkin şekilde yararlanacak biçimde tasarlanmış ve rüzgarın geçişine olanak sağlayacak açıklıklar bırakılmıştır. Söz konusu açıklıklar doğu batı doğrultusunda hava sirkülasyonuna göre tasarlanmıştır.



* [28], [59], [80], [82], [88-90] kaynaklarından faydalanılarak oluşturulmuştur.

Çizelge 4.9 Castle House örneği *

Castle House, Londra



Kat sayısı: 43

Yapı yüksekliği: 147.90 m

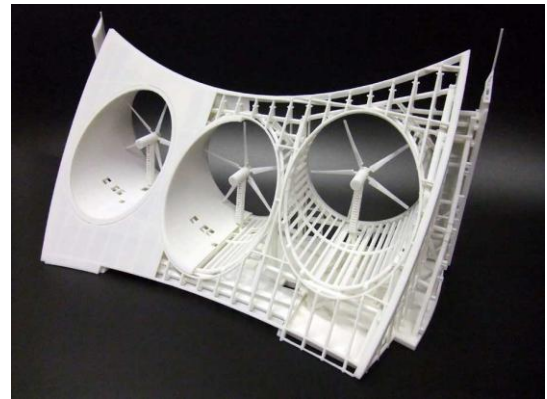
Bitiş tarihi: 2011

Toplam kat alanı: 22 947 m²

Londra'nın en yüksek binası olarak tasarlanan *Castle House*'da toplam 408 dairenin elektrik enerjisi ihtiyacı, yapının son 20 katındaki 9 m çapında 3 adet rüzgar türbini ile karşılanacaktır.

Rüzgar türbinleri, yapının taşıyıcı sistemi ile bütünleşmiş olması açısından, Bahrein World Trade Center türbinlerinden farklı ve ilk örnektir. Her türbin 3 kanat yerine, gürültüyü daha aza indirmesi açısından, 5 kanatlı ve 19 kW güç kapasitelidir.

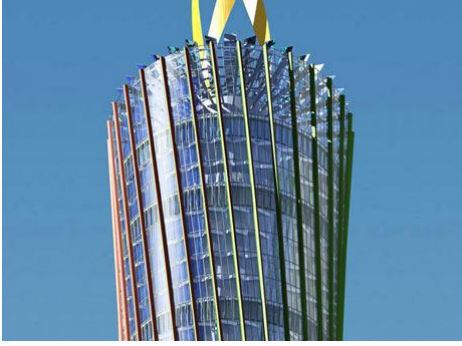
Türbinler, yapıdaki üç asansörün ısıtma, soğutma, aydınlatma için gerekli elektrik enerjisi ihtiyacının da % 8'ini karşılayacaktır



* Bu çizelge, [17], [69], [72], [73], [82] kaynaklarından yararlanılarak oluşturulmuştur.

Çizelge 4.10 Burj al-Taqa ve Miami COR örneği

Burj al-Taqa, Dubai [76], [91]



Kat sayısı: 68

Yapı yüksekliği: 322 m

Başlayacağı varsayılan tarih: 2009

Gökdelenin çatısına 60 m' lik Darrieus tipli rüzgar türbini ve PV modülleri içeren iki kütle yerleştirilerek yapının ihtiyacı olan tüm enerjiyi kendisinin üretmesi hedeflenmiştir.

Yapı, silindirik formu sayesinde, rüzgarı iç mekana alıp serinlemeyi sağlamaktadır. Körfezden gelen serin hava, merkezi bir iç atrium ile yapıda dağılmaktadır. Havalandırma sisteminde deniz suyundan yararlanılmaktadır; ilave olarak, döşeme ve tavandan geçen soğuk su taşıyan kanallar mevcuttur.

Miami COR, Miami [92], [93]



Yapı Yüksekliği: 121 m

Kat sayısı: 25

Bitiş tarihi: 2011

Toplam alan: 2369 m²

COR; rüzgar türbinleri, güneş pilleri, güneş enerjili su ısıtma sistemi ile ekolojik tasarlanmış bir yapıdır.

Yapının cephesi, estetik olmasının yanı sıra, ısı yalıtımı ve gölgelemeyi sağlamakta, ayrıca, türbinlerin yerleştiği kütle işlevini de görmektedir. Yapıda kullanılan rüzgar türbini yatay eksenlidir.

GÜNEŞ ENERJİSİ VE YÜKSEK BİNALARDA KULLANIMI

Güneş enerjisi; yapıların ısıtılması, soğutulması ve elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanmasında, aktif ve pasif sistemler olarak iki yöntemle kullanılmaktadır.

Pasif sistemlerde, güneşin dünyaya geliş açısının, tasarım aşamasında mimariye yansıtılması, güneş ışınlarından etkin faydalanma ilkesiyle gerçekleşir. Güneşin kışın yatık, yazın daha dik olarak yeryüzüne ulaşması ve kuzey yarımkürede güney cephelerinin daha fazla günışığı alması gibi özelliklerin mimari tasarımda değerlendirilmesi ile yapılar, güneşten daha fazla yararlanmakta ve enerji harcamaları azaltılmaktadır. Pasif sistemlerde temel ilke, yapının tasarım özelliklerinden faydalanarak, güneşin yapıya girmesinin sağlanması ve mekanda soğurulan enerjinin ısı olarak dağıtılmasıdır (Şekil 5.1).

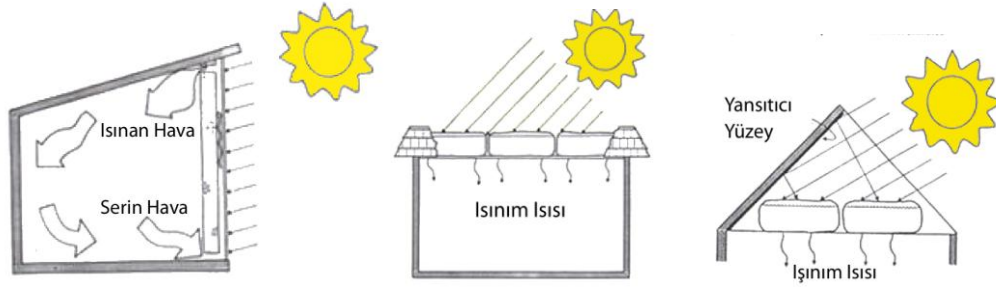
Pasif sistemlerdeki temel kavramlar şunlardır [94] :

Güneş Isısının Toplanması: Yapıda açılan pencereler, atriumlar, güneş duvarları, trombe duvarları*, kış bahçeleri, seralar sayesinde güneş enerjisinin mekana alınmasını sağlamaktır.

Depolama: Mekana alınan ısının bir kısmının kullanıldıktan sonra zemin ve duvarlarda daha sonra kullanılmak üzere depolanmasıdır.

Dağıtma: Depolanan ısının ışınlım ve taşıma yoluyla bazen de fanlar yardımıyla mekanlara iletilmesidir.

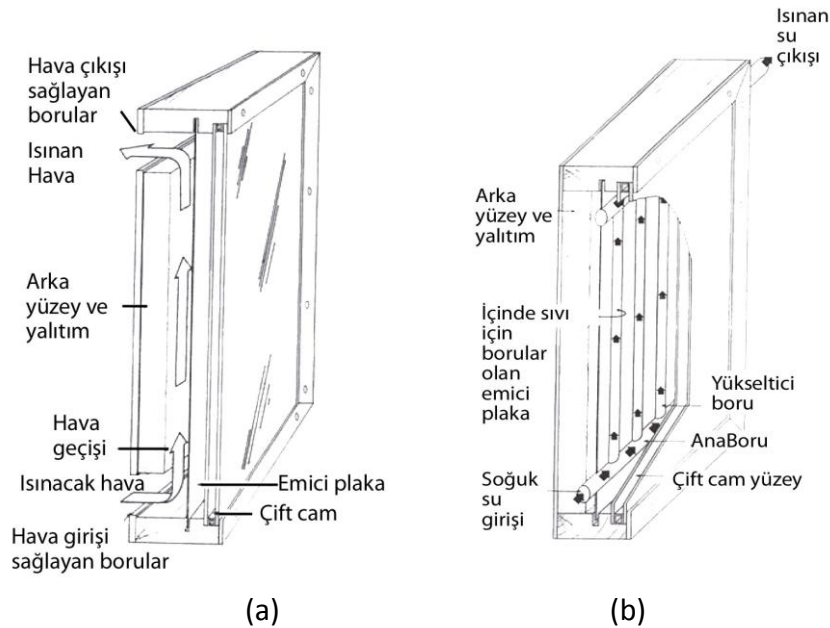
* Trombe duvarı, 1967 yılında Felix Trombe tarafından geliştirilmiştir. Cam bir yüzey ve 10-15 cm arkasına yerleştirilen masif duvardan oluşan sistemde havalandırma açıklıkları mevcuttur. Aradaki hava boşluğu yalıtım özelliği göstererek ısı kayıp ve kazançlarını dengelemekte yardımcı olmakta ve ısının taşınmasında kolaylık sağlamaktadır.



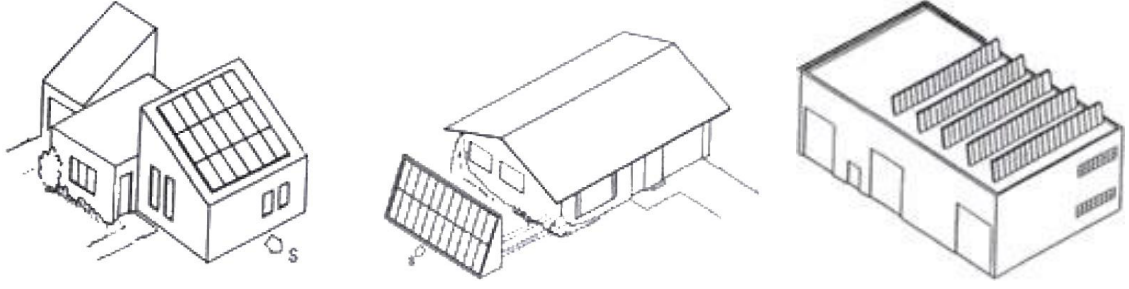
Şekil 5.1 Güneş enerjisinin pasif sistemlerle kullanımına ait şematik örnekler [95]

Aktif sistemler; yapıya güneş kolektörü ve fotovoltaik malzeme gibi teknolojik malzemelerin entegre edilmesiyle; güneş enerjisinin toplanması, depolanması ve dağıtılması ilkeleriyle yapılır. Bu toplama işlemi, güneş kolektörleri ve güneş pilleri (fotovoltaik piller) ile doğrudan ve dolaylı olarak iki şekilde yapılır [96], [97].

Güneş kolektörü, güneş enerjisini toplayan ve bir akışkana ısı olarak aktaran, çeşitli tür ve biçimlerdeki cihazlardır (Şekil 5.2). Konumlandığı yerin enlemine bağlı olarak, güneşten maksimum yararlanacak şekilde, sabit bir açıyla yerleştirilir [98] (Şekil 5.3). Kolektör yardımıyla güneş enerjisi, ısı enerjisine dönüştürülür. Bu sistem ile genellikle sıcak su elde edilerek, kullanım suyu ya da radyatörler aracılığıyla yapının ısınması için kullanılır. Ulaşılan maksimum sıcaklık 70°C'dir. Güneş kolektörleri; yapıların çatıları, cepheleri, sistemin kurulması için gerekli alan olmadığı durumlarda da, yapı dışına sundurma biçiminde uygulanabilmektedir.

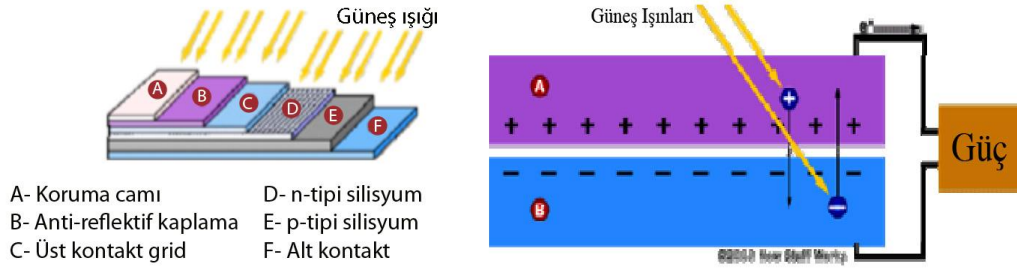


Şekil 5.2 a) Havalı düzlemsel güneş kolektörü b) Sıvılı düzlemsel güneş kolektörü [95]



Şekil 5.3 Güneş kolektörü uygulamalarına ait şematik örnekler [95]

Güneş pillerinde (fotovoltaik piller), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren, genellikle anorganik, yarı iletken maddeler kullanılır. Fotovoltaik hücreler, biri (+), diğeri (-) yüklü iki katmandan oluşur; üzerine ışık tanecikleri (fotonlar) geldiğinde, güneş pilinin uç noktalarında güç çıkışı oluşturur (Şekil 5.4). Bu teknoloji ile temiz ve yenilenebilir enerji elde etmek mümkündür. Yeni ve ekonomik yarı iletken malzemeler ile üretim tekniklerinin geliştirilmesi, maliyetlerin azaltılması ve yaygın kullanıma imkan verecektir.



Şekil 5.4 Güneş pilinin genel gösterimi [99]

5.1 Fotovoltaik Pillerin Tarihçesi

Fotovoltaik (photovoltaic, PV) Yunanca'da ışık anlamında gelen *phos* ve elektriğin öncülerinden Alessandro Volta'nın *voltaj* anlamına gelen voltaik kelimelerinin birleştirilmesiyle oluşmuştur [100].

1839'da güneş enerjisinden elektrik üreten PV, ilk kez Fransız fizikçi A.E. Becquerel tarafından araştırıldı. Elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilimin, elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğunu gözlemleyerek fotovoltaik etkiyi bulmuştur [101], [102], [103] .

1876 yılında, W.G. Adams ve öğrencisi R.E. Day tarafından PV'lerin içeriğini oluşturan silisyum kristalleri keşfedildi, katılardaki fotovoltaik etki, ilk kez, selenyum kristaller üzerinde denenmiştir [103].

1914'de PV verimliliği % 1 değerine ulaşmıştır.

1954'de ilk kez gerçek anlamda güneş enerjisini % 6 verimlilikle elektrik enerjisine dönüştüren PV'ler, Chapin tarafından silikon kristali üzerinde gerçekleştirilmiştir [103].

1954 yılında PV'lerin ilk teknik uygulaması olarak; ABD'de Vanguard 1 uydusunda, güç kaynağı olarak kimyevi pil sistemi ile birlikte kullanılmıştır [100].

1973'teki petrol krizine kadar PV'lerin kullanımı sınırlı kalmıştır. Enerji krizi ile birlikte çevre duyarlılığı ve ekonomik nedenler, tükenen enerji kaynaklarına yeni çözümler bulmayı hızlandırmıştır. ABD, Almanya ve Japonya, değişik programlarla Yenilenebilir Enerji Yasası (*Renewable Energy Law-EEG*) ile geniş çaplı araştırma ve geliştirme projeleri hazırlayarak önemli teşvikler sunmuşlardır [103].

1980 sonrasında, saat ve hesap makinalarında da kullanılan güneş pilleri, en ileri teknoloji ürünü olarak bir uçakta (*Pathfinder*) kullanılmıştır. Kanatları güneş pilleriyle kaplı olan uçak, tamamen güneş enerjisiyle çalışan ilk uçaktır [100] (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 Güneş pillerinin kullanıldığı uçak (Pathfinder, 1980) [104]

1981 yılından itibaren teknolojik gelişmeler, üretimdeki endüstrileşme ve talepteki artışla birlikte, binalara entegre olarak kullanılmaya başlanmıştır. PV paneller önce çatılara ek sistem olarak ilave edilmiş, daha sonraları doğrudan çatı kaplaması olarak kullanılmaya başlanmıştır [102].

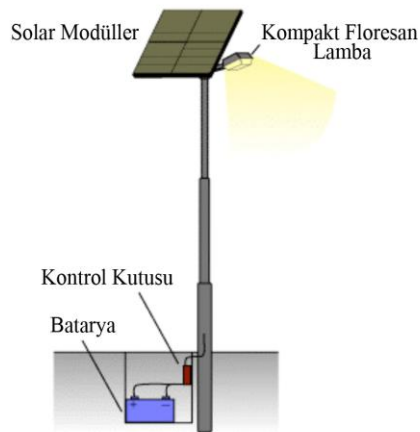
1992’de güneş ışınımının panel üzerindeki etkileri, gölgeleme, ısı geçirgenlik değeri ve sızdırmazlık üzerine yapılan Ar-Ge çalışmaları sonucu yapıların cephesinde de kullanılmaya başlanmıştır (Şekil 5.6).



Şekil 5.6 Fotovoltaiklerin yapı cephesinde ve çatısında kullanılması [105]

Cephede, cam üzerinde kullanılan PV’lerde renk, boyut, ağırlık açısından kısıtlamalar mevcuttur. Bu anlamda daha özgür tasarımlar için nanoPV’ler geliştirilmiştir. NanoPV’lerde kullanılan Titanyum (Ti)’lu ince filmler ile, güneş enerjisinden en etkin biçimde yararlanan, daha ince, esnek ve hafif paneller geliştirilmiştir [106].

Günümüzde fotovoltaik teknolojiler yeni nesil araç üretiminde; sokak lambaları ve trafik sinyalizasyonunda; kumaş, giysi, çanta gibi tekstil ürünlerinde; özellikle taşınabilir cep telefonu, i-pod, dizüstü bilgisayarlarda enerji sağlamak üzere kullanılmaktadır (Şekil 5.7-5.9).



Şekil 5.7 Fotovoltaik kullanılan bir sokak lambası [107], [108]



Şekil 5.8 Fotovoltaik piller çeşitli tekstil ürünlerinde ve aletlerde kullanılabilmektedir [109]



Şekil 5.9 Fotovoltaik kullanılarak, güneş enerjisiyle çalışan araçlar [110]

Günümüzde GaAs (Galyum Arsenit) esaslı güneş pilleri, uzay çalışmaları için de kullanılmaktadır (Şekil 5.10).

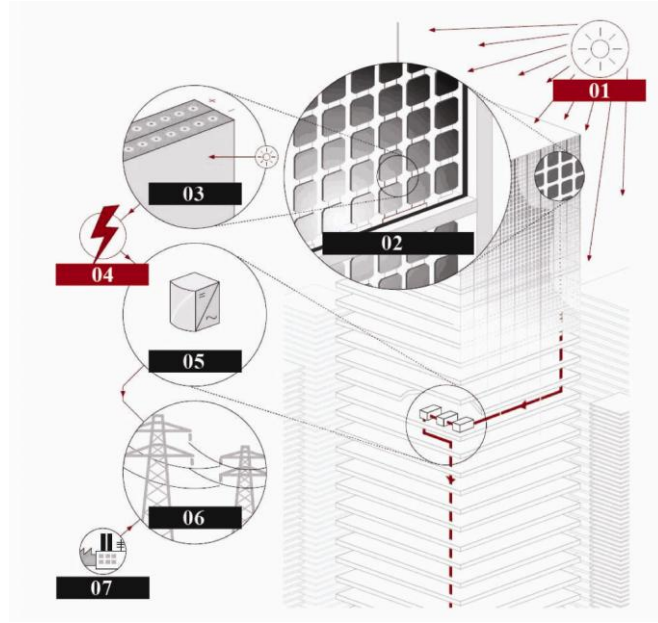


Şekil 5.10 4 Ağustos 2007 tarihinde Florida'daki Cape Canaveral üssünden Mars'a gönderilen, güneş enerjisiyle çalışan sistemleri içeren Phoenix adlı uzay aracı [111]

5.2 Fotovoltaik Pillerin Yapısı ve Özellikleri

Güneş (fotovoltaik) pilleri yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerdir (Şekil 5.11). Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde

biçimlendirilen güneş pillerinin alanları genellikle 100 cm^2 civarında, kalınlıkları ise 0.2-0.4 mm arasındadır [103].

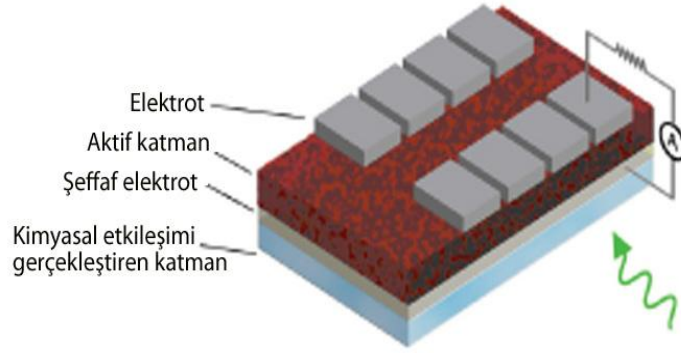


01: Güneş, 02: Fotovoltaik kullanılan yapı, 03: Fotovoltaik hücre, 04: Elektrik, 05: İnverter, 06: Şebeke, 07: Enerji

Şekil 5.11 Fotovoltaik hücreden enerji üretim şeması [112]

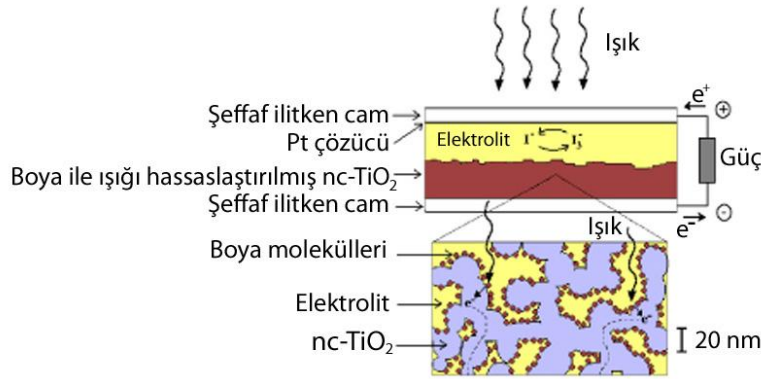
Deniz seviyesinde, güneşli bir günde güneş ışınımının şiddeti 1000 W/m^2 civarındadır. PV yapısına bağlı olarak % 5-30 verimle, bölgede elektrik enerjisi üretimi yılda $800\text{-}2600 \text{ kWh/m}^2$ arasındadır.

Güneş pilleri, yapısında kullanılan malzemelere göre çok çeşitli üretilebilmektedir. Hücre üretiminde doğada en çok bulunan malzemeler silisyum (Si), galyum arsenik (GaAs), kadmium sülfür (CdS) ve kadmium tellür (CdTe)'dir. Üçüncü jenerasyon teknolojiler olarak değerlendirilen nanoteknoloji ve organik teknolojilerdeki gelişmeler, güneş pilleri üzerindeki çalışmalara da yansımıştır. Organik fotovoltaik hücre (Organic Photovoltaic Cell-OPVC) üzerine düşen ışığı tutabilmek ve elektrik enerjisine çevirmek için yarıgeçirgen polimerler ve küçük organik moleküllerden oluşur [113] (Şekil 5.12). İlk OPVC, 1958 yılında kullanılmış, fakat kısa ömürlü olması ve veriminin az olması kullanım alanı bulamamasına neden olmuştur [114]. Verimlilikleri \sim %6 olan OPVC'lerin, üzerine düşen ışığı etkin olarak kullanabilmesi için, aktif tabaka kalınlığının 100-200 nm olması gereklidir [113], [114].



Şekil 5.12 Organik fotovoltaik hücrenin şematik gösterimi [113]

Diğer bir nanoteknoloji ürünü olan, boyayla ışığa hassaslaştırılmış PV hücrede (dye-sensitized solar cell- DSSC) üzerine düşen ışığın elektrik enerjisine dönüşebilmesi için bazı kimyasal maddeler kullanılır. DSSC, yapısal olarak üzeri TiO_2 ile kaplanmış transparan cam, elektrot ve boya molekülleri içerir (Şekil 5.13). 1990'lı yıllara kadar katmanlarla ilgili çalışmalar olumlu sonuç vermemiştir. 1991 yılında %7 verim, 1993' te % 10 verim elde edilmiş olup, DSSC çalışmaları yeni malzeme ve kombinasyonlarla gelişmeye devam etmektedir [115].

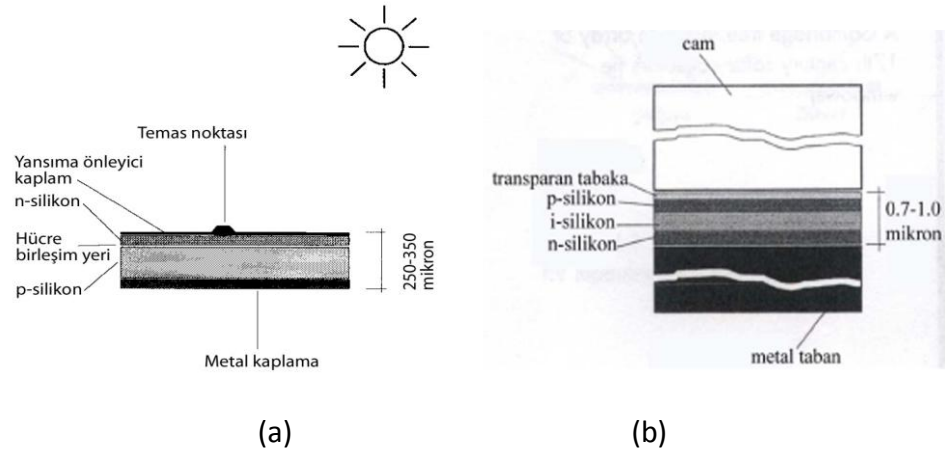


Şekil 5.13 Boya ile ışığa hassaslaştırılan PV hücrenin şematik kesiti [115]

Güneş pilleri genel olarak; monokristal (tek kristalli), polikristal (çok kristalli) ve ince film teknolojileri olarak üç farklı yöntemle üretilmektedir (Şekil 5.13, 5.14 ve Çizelge 5.1).

- Tek kristalli güneş pilleri, elektrik enerjisi üretmesi açısından yüksek verimlilikte ve genellikle renkleri koyu gri-siyah tonlardadır [98]. Enerji verimlilikleri ~ %20' dir. Tek kristalli güneş pillerinde Silisyum ve GaAs esaslı malzemeler kullanılır.

- Çok kristalli güneş pilleri yapısal olarak damarlıdır ve tek kristallilere göre daha az verimle çalışır. Renkleri gri-mavi tonlarındadır [98]. Üretimleri tek kristalli güneş pillerine göre daha kolaydır, bu da malzemenin daha ekonomik olmasını sağlamaktadır.
- İnce film tabakalı güneş pilleri, kullanılan elementlere göre üçe ayrılır. Bunlar; Kadmium Tellür (CdTe), Bakır İridyum ve yapısı tek kristalli ya da çok kristalli güneş pilleri gibi düzgünlük göstermeyen amorf silisyum güneş pilleridir [115]. Son yıllardaki ince film tabakalı güneş pili çalışmaları, kristal silikonlu olanlara göre üretiminde daha az enerji harcanması ve harcanan enerjiyi geri kazanma süresinin daha kısa olması nedeniyle amorf Silisyum (a-Si) üzerinde yoğunlaşmıştır.

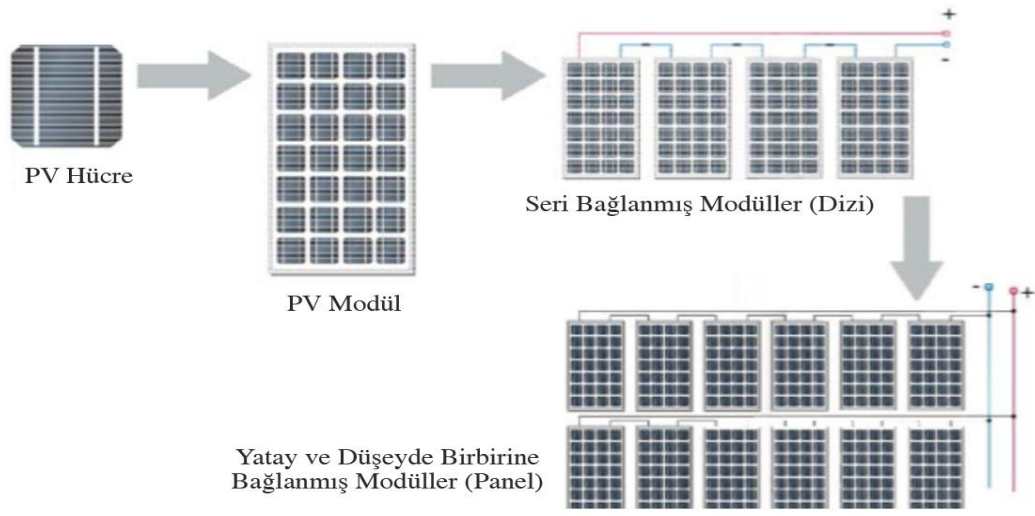


Şekil 5.14 a) Tek kristalli güneş pili kesiti b) Amorf silisyum (a-Si) güneş pili kesiti [115]

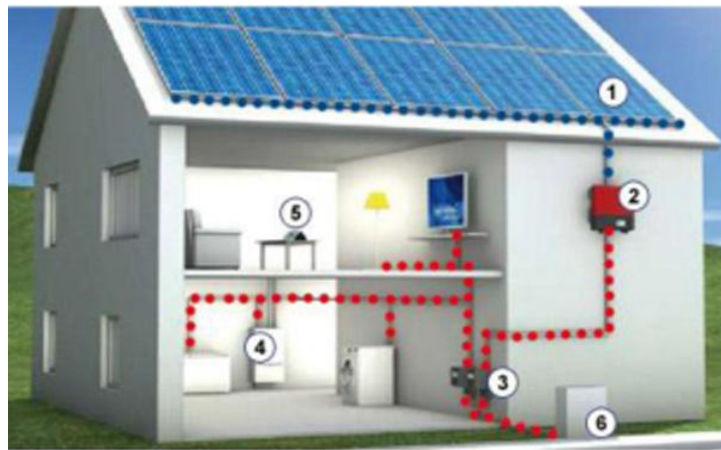


Şekil 5.15 Tek kristalli (a) ve çok kristalli (b) PV paneller [116]

Bir PV hücreden elde edilen gerilim ~ 0.5 V'dur [102]. Oluşacak gerilim, güneş ışığının düştüğü alanla doğru orantılı olarak artar*. Güç çıkışını arttırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri olarak bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir. Bu yapıya güneş pili modülü (*PV modül*) adı verilir. Gerekirse bu modüller birbirine seri ya da paralel olarak bağlanarak bir dizi oluşturulabilir (Şekil 5.16). Modüllerin fiziksel ve elektriksel olarak bir araya getirilmesiyle oluşan yapıya ise panel adı verilir ve bu şekilde gerilimi 12 V, 24 V, 48 V gibi değerlere çıkarmak mümkün olmaktadır. Güneş pili panelleri, uygulamaya bağlı olarak; akümülatörler, invertörler (dönüştürücüler), akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak, bir güneş pili sistemi oluşturur (Şekil 5.17 ve 5.18).



Şekil 5.16 PV hücreler ve birbirine bağlanması [112]



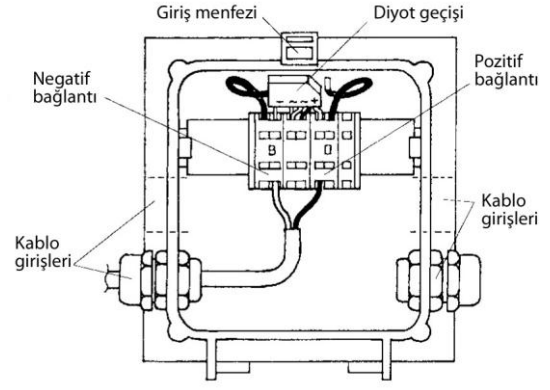
1) PV modül 2) PV invertör 3) Besleme kontrol 4) Güç 5) Enerji kontrol 6) Şebeke bağlantısı

Şekil 5.17 PV sistemin şematik gösterimi [117]

* Açık bir günde öğlen vakti 10 cm yarıçaplı tek kristalli silikon güneş pili, 0.5 V gerilim ve 2 A lik bir akım oluşturulması ile 1 W (P) güç çıkışı sağlar ($P = V \times A$).



(a)



(b)

Şekil 5.18 a) PV modülün arkadan görünüşü b) bağlantı kutusu detayı [98]

5.3 Yapılarda Fotovoltaik Pil Kullanımı

PV modüller güneş, yağmur ve her türlü dış ortam şartlarında kullanılabilir. Yapılarda da kullanılan bu hücreler, güneşten maksimum faydalanabilen bina kabuğuna doğrudan entegre edilebilir; cam yüzeyler, hareketli parçalar üzerine yatayda veya düşeyde monte edilebilir (Şekil 5.19-5.21). Bu hareketli parçalar güneşten optimum faydalanabilmek için gün ışığına göre yön değiştirebilmektedir.

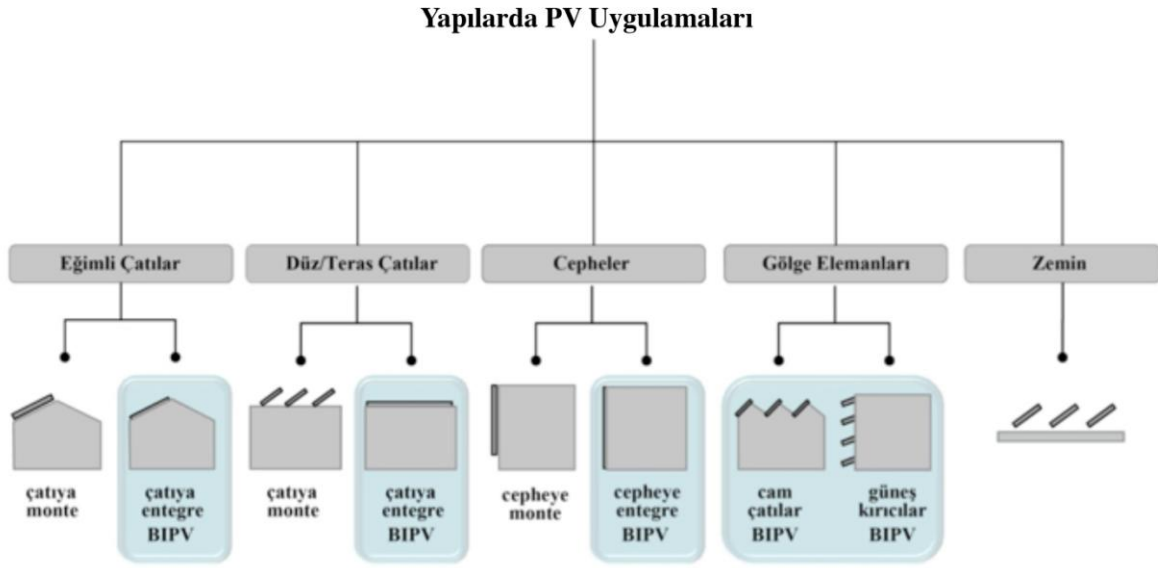
Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere genellikle sistemde akümülatör bulundurulur. Güneş pili modülleri, gün boyunca elektrik enerjisi üreterek bunu akümülatörde depolar ve gerekli olan enerji buradan sağlanır. Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için, kullanılan denetim birimi, akünün durumuna göre, ya güneş pillerinden gelen akımı ya da yükün çektiği akımı keser.



Şekil 5.19 Çatılarda PV uygulaması [49], [118], [119]



Şekil 5.20 Yapıların cephesinde kullanılan PV' ler [120]

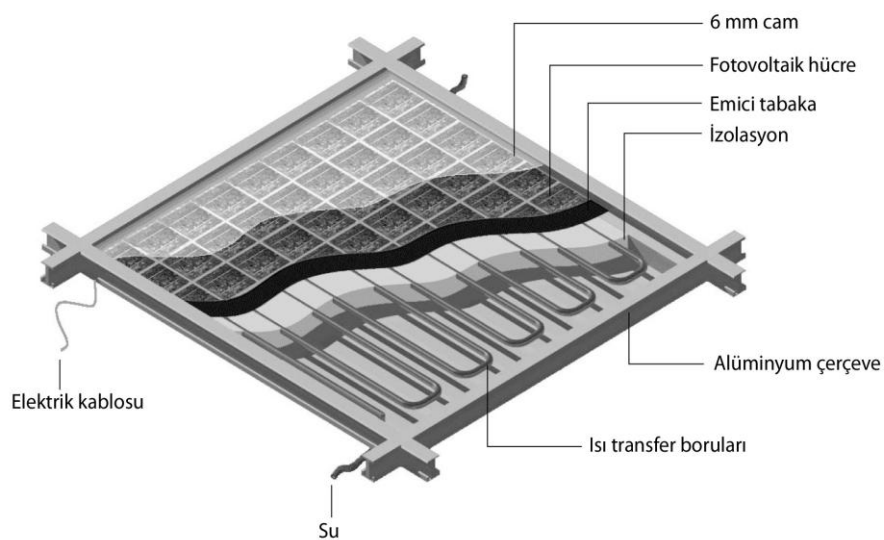


Şekil 5.21 PV'lerin yapılarda kullanım çeşitleri [112]

Yapılarda kullanılacak PV panel uygulamaları üç temel faktörün değerlendirilmesini içerir;

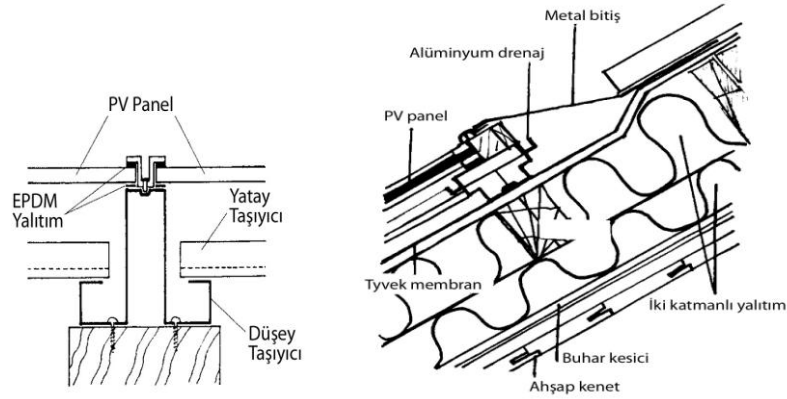
- **Bölgesel veriler:** Bölgenin enlemi, iklimsel verileri, ortalama sıcaklık değerleri, nem oranı, rüzgar yükleri ve sismik özellikleri, o bölgeye uygulanacak olan PV' lerin tasarımı ve maliyetini etkilemektedir. PV uygulanacak yapının etrafında güneşi engelleyen yapılar olması ya da dağ tepe gibi topoğrafik oluşumlar, güneşin panele ulaşmasını etkiler. Panel havalandırması, PV verimini etkilemektedir. Bu nedenle bölgesel rüzgar verileri tasarımda ele alınması gereken önemli bir iklimsel değişkendir. PV paneller, yapıların güney cephesine, bölgenin enlemine eşit açıyla yerleştirildiğinde en verimli sonuç alınmaktadır.

- **Bina Tipi/Fonksiyonu:** PV paneller otel, ofis binası, okul, konut gibi her türlü yapı tipine uygulanabilmektedir. Yapı türüne göre gerekli olan enerji miktarı; PV panel miktarını, türünü ve yerleşimini etkileyeceği için önemlidir. Örneğin; sanayi yapılarının geniş çatı alanları PV panellerin buralara yerleşimi için uygundur.
- **Tasarım ve Konstrüksiyon:** PV paneller, renk, şeffaflık, yapıya yerleşimi ve modüllerin geometrileri açısından kullanıldığı yapıların görselliğini etkilemektedir. Tek kristalli hücreler gri-siyah tonlarındayken, çok kristalliler gri-mavi tonlarındadır. Yarı şeffaf olarak üretilen modüllerde, ışığın iç mekanlara iletilebilmesi için PV hücreler arasındaki boşluk artırılabilir. Amorf silikon hücreler, metal, cam ya da plastik filmlerle birlikte uygulanarak modüllerde farklılıklar oluşturabilmektedir. Bu panellerin renkleri genellikle koyu kahve renklerde dir. Kullanılan malzemelerin ömrü, ısı hareketi, ısı farkları, kablo alanları gibi konular üzerinde durulması gereken hususlardır. Üzerine gelen güneş ışınları ile ısınma süresinin fazla olduğu durumlarda PV panellerin verimi düşer. Bu nedenle, ısıyı uzaklaştıracak havalandırma sistemleri tasarlanmalıdır. Bu sistemler, panel ve taşıyıcısı arasında genellikle 100 mm boşluk bırakılarak ya da yapının kendi havalandırma sistemine dahil edilerek yapılır. Bazı paneller, su boruları içermekte ve panel üzerine düşen fazla ısıyı bu akışkanla merkezi sıcak su sistemine iletilebilmektedir (PV kollektör) (Şekil 5.22).

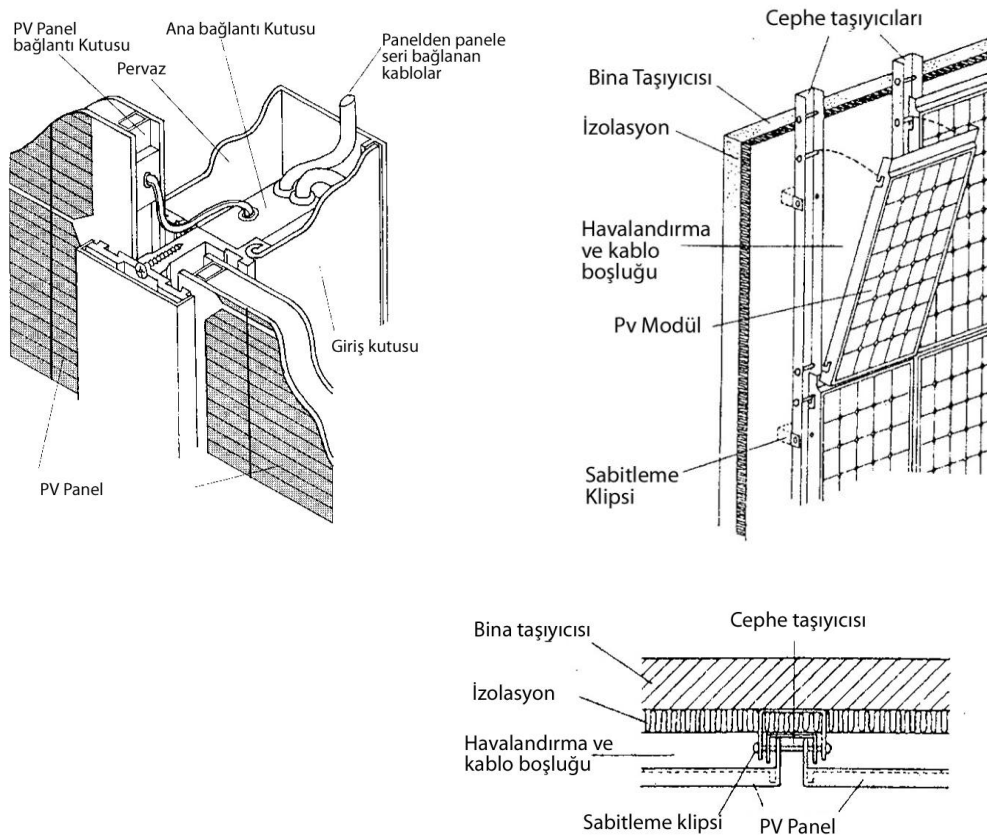


Şekil 5.22 Yapılarda kullanılan PV kollektör detayı [98]

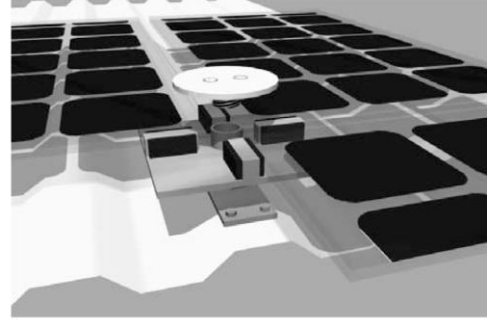
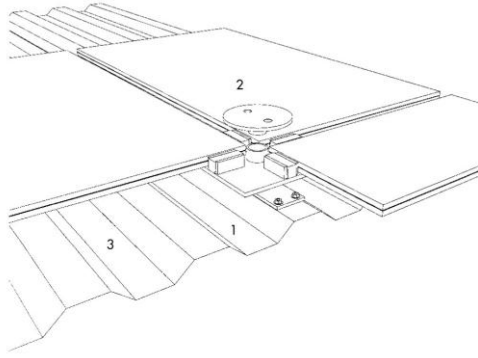
Yapıda kullanılacak PV uygulama detayları, yapı ve panelden beklenen performans karşılanacak şekilde çözülmelidir. Çatı ve cephede kullanılabilen PV'ler mevcut taşıyıcıya monte edilebildiği gibi, kendi taşıyıcısına da monte edilmektedir (Şekil 5.23-5.25). Cephede kullanılan paneller çerçevesiz ya da çerçevesiz uygulanabilmektedir. Suya maruz kalacak bölgelerde, su yalıtım önlemleri alınması gereklidir.



Şekil 5.23 Çatılarda PV uygulaması [98]



Şekil 5.24 Cephede kullanılan PV detayları

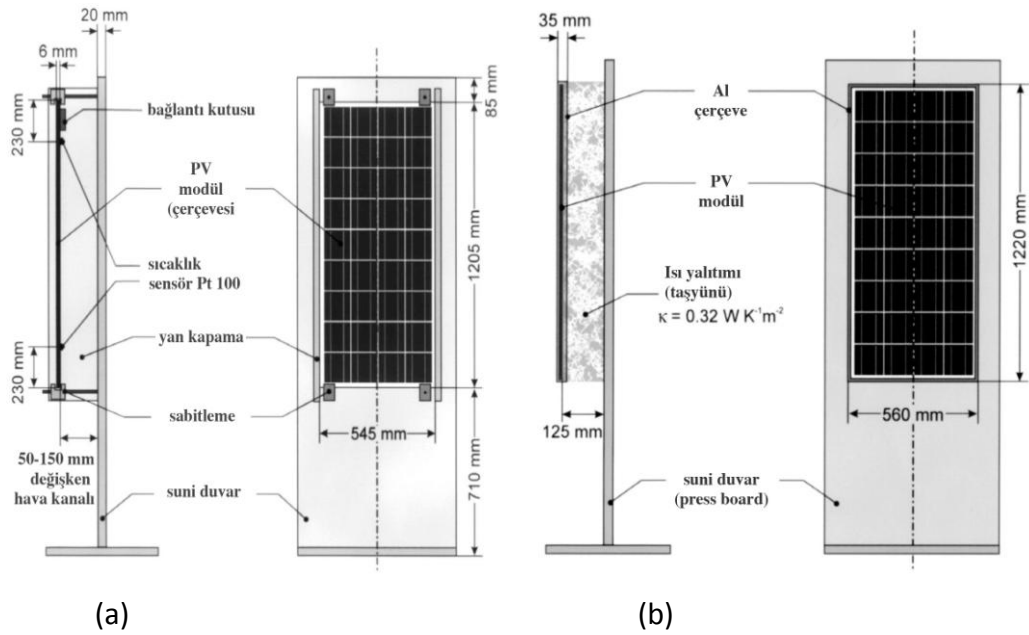


- 1 Ana taşıyıcıya sahiplenmiş braket
- 2 Panel
- 3 Havalandırma boşluğu

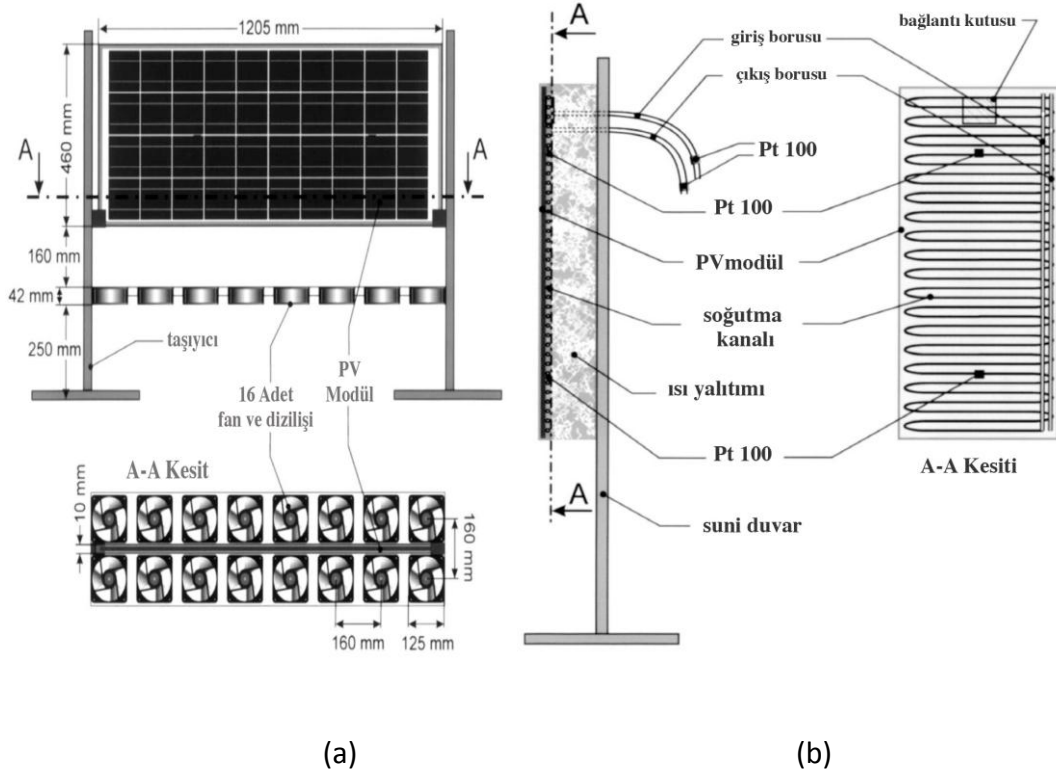
Şekil 5.25 PV montaj detayı [98]

Yapılarda güneş panelleri, genellikle, ısı yalıtımı yapılmış cephelerin önüne perde gibi uygulanmaktadır. Yapılan bir araştırmada [51]; ısı yalıtımı, pasif ya da aktif soğutma sisteminin kullanıldığı farklı tip PV modüllü cephelerin, sıcaklık-enerji üretme performansları karşılaştırılmıştır (Şekil 5.26 ve 5.27). Bu amaçla,

- 2 mx 2 m boyutunda ve 20 mm kalınlığındaki sunta malzemedен bir test düzeneği 32x16 m boyutlarında ve 6 m yüksekliğinde beyaz renkli bir duvara kurulmuştur.
- Güneş simülatörü tungsten-halojen lambalardan oluşmaktadır, cephe açısına göre aydınlatma değeri de 700 W/m^2 'dir.



Şekil 5.26 a) Pasif havalandırılan PV (PVE) b) Isı yalıtımlı PV (TIPVE) cephe sistemi detayları [121]

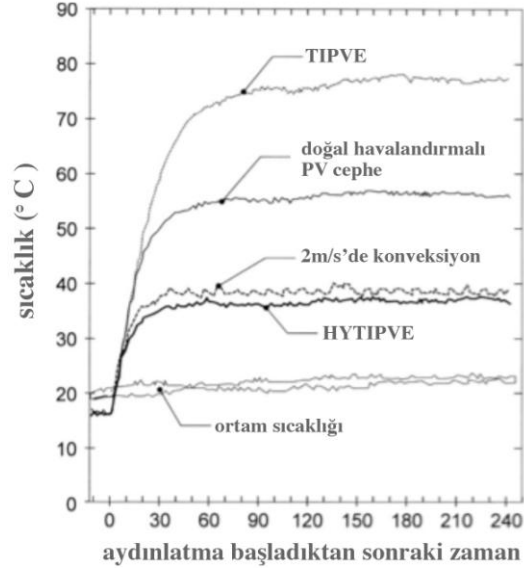


Şekil 5.27 (a) Aktif havalandırılan PV (AVE) cephe sistemi, (b) Hibrid ısı yalıtımlı PV (HYTIPVE) cephe sistemi [121]

Perde sistem PV uygulamalarında kullanılan aktif havalandırmanın (hava akımının 2 m/sn olduğu durumda) hücrelerin çalışma sıcaklığını düşürerek elde edilen enerji miktarını % 8 artırdığı gözlemlenmiştir. Havalandırma kullanılmayan ısı yalıtımlı (TIPVE, *Thermal Insulating PV Facade*) PV uygulamalarında hücre sıcaklığı artmakta bu da enerji kazancında % 9.3 oranında kayba neden olmaktadır. Hibrid PV (HYTIPVE, *Hybrid Thermal Insulating PV Facade*) uygulamalarında su kaynaklı soğutma/ısıtma sistemiyle beraber kullanıldığında azalan hücre çalışma sıcaklığı % 9'luk bir enerji kazancı sağlamaktadır (Çizelge 5.1 ve Şekil 5.28).

Çizelge 5.1 Farklı PV uygulamalarının karşılaştırılması [121]

	HYTIPVE	AVE (2 m/sn hava akımı)	150 mm hava boşluklu PVE	TIPVE (125 mm ısı yalıtımlı)
Hücre sıcaklığı (°C)	36.8	39.6	55.9	77.1
Ortalama sıcaklık (°C)	23.1	24	22.2	22.8
Elektrik kazancı	%9	%8.1	%0	- % 9.3



Şekil 5.28 Farklı PV sistemlerin 700 W/m^2 ışınım değerinde gösterdiği sıcaklık değişimi [121]

PV teknolojisinin avantajları;

- Kullanılacak enerji kaynağı sonsuz ve ücretsizdir.
- Sistemi yıpratıcı veya sistemin bozulmasına neden olabilecek hareket eden parçalar yoktur.
- Sistemi çalışır halde tutmak için kolay yapılabilecek bakım gereklidir.
- Sistem modülerdir ve her yere kolayca monte edilebilir.
- Çalışırken gürültü, zararlı emisyonlar ve zararlı gazlar atılmaz.

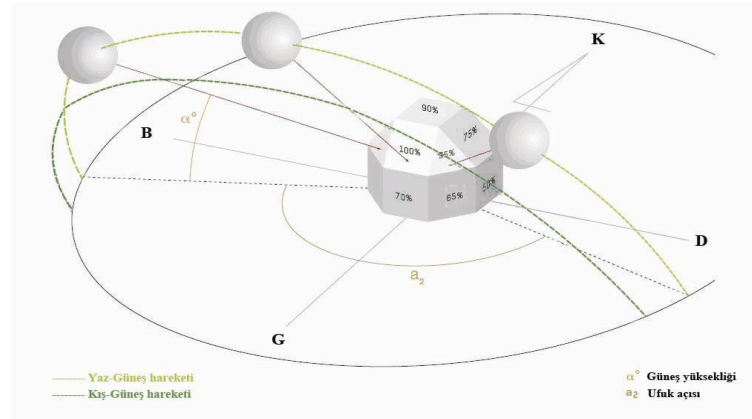
dezavantajları;

- Enerji kaynağı dağınık durumda ve sabit değildir.
- Ekonomik enerji depolama sistemleri yoktur.
- Kurulum maliyeti yüksektir.
- Fosil yakıtlara göre enerji birim maliyeti yüksektir.

5.4 PV Panellerin Verimliliği

PV panellerin etkinliğine etki eden belli başlı faktörler şunlardır:

- PV panellerin yapı kabuğunda kullanılması için, tasarımı etkileyen en önemli faktör, güneş ışınlarının paneller üzerine düşüş açısıdır [122]. Kuzey yarım kürede güneş, kış aylarında yeryüzüne daha yakın ve daha eğiktir (Şekil 5.29). Bu nedenle düşey kabuk, kış günlerinde güneş ışınımından daha fazla kazanç sağlamaktadır. PV panellerden en iyi verimin alınabilmesi için panel güneş ışınımından en fazla yararlanabileceği açı ile yönlendirilmelidir.
- PV panellerin her 10°C sıcaklık artışında verimi % 1 düşmektedir [102]. Buna önlem olarak paneller havalandırmaya imkân sağlayacak biçimde tasarlanmalıdır.
- Güneş pillerinin üzerine gelen ışınların bir kısmı yarı iletken içine girmeden yüzey tarafından yansıtılır. Yansıma miktarı ile ters orantılı olan verimlilik, pilin yapıldığı malzemeye göre değişkenlik gösterir. Yansımanın azaltılması için yüzeyleri desenli güneş pili oluşturmak ya da silisyum tabakalarının yüzeylerinde birbirlerine yansıtıp pilin içine girmesine imkan sağlayan küçük piramitler oluşturmak gibi özel yöntemler kullanılmaktadır [123] (Çizelge 5.2 ve 5.3).
- Yüzey kirliliği sonucu PV panellerin performansı % 3.5 oranına kadar düşebilmektedir [102]. Güneş ışınımının gelişini önleyen toz ve pisliklerin birikmesi, rutubetli bölgelerde yansıma önleyici kaplamanın çürümesi, morötesi ışınlar, meteorolojik etkiler nedeniyle kaplama malzemesinin kararması, yarı iletken tabakanın oksitlenmesi gibi çevresel etkiler önlenmeli, panel, yüzey temizliğine olanak verecek şekilde yerleştirilmelidir.






Şekil 5.29 Fotovoltaik panellerin verimleri güneş ışınlarının açısı, geldiği doğrultu ve gölge durumuyla ilgilidir [112]

Çizelge 5.2 Güneş pillerinin malzemelerine göre verimlilikleri [124]

Fotovoltaik hücrenin cinsi	Alan (cm ²)	Verimlilik %	Test Merkezi ve Tarih
CdTe (polikristal ince film)	1.00 (A)	16.0 (±2)	JQA (1997)
GaAs (çok kristalli)	4.001 (TA)	18.2 (±5)	NREL (1995)
Si (çok kristalli)	1.09 (A)	19.8 (±5)	Sandia (1998)
InP (kristal)	4.02 (TA)	21.9 (±5)	NREL (1990)
GaAs (ince film)	4.00 (A)	23.3	NREL (1990)
Si (tek kristalli)	4.0 (SA)	24.4 (±5)	Sandia (1998)
GaAs (kristal)	3.91 (TA)	25.1 (±8)	NREL (1997)

(A): aktif alan, (TA) : toplam alan, (SA): seçilmiş aydınlanma alanı
JQA: Japan Quality Assurance, NREL: National Renewable Laboratory.

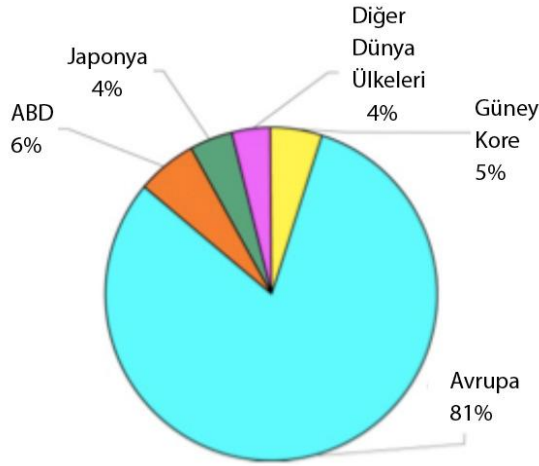
Çizelge 5.3 PV tipleri ve verimlilikleri [112]

PV Tipleri					
Boyut (birim)	576x976	156x156 125x125	125x125	156x156 125x125	125x125
Verim	%4	%16	%17	%18	%22
W/m ²	50	120	105	130	155
W/hücre	27	1.46-3.85	1.90-2.20	1.46-3.85	2.90-3.11

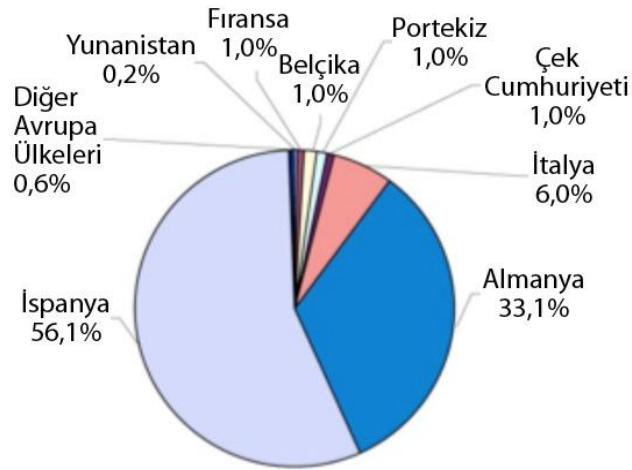
5.5 Dünyada ve Türkiye’de PV Teknolojisinin Durumu

Dünya genelinde PV kullanımı çeşitli teşviklerle artmakta ve gelişmeye devam etmektedir. Geçtiğimiz son beş yılda dünya genelinde PV üretimi yıllık bazda ~%30 artmıştır. 2007 yılı dünya fotovoltaik güç kullanımı 2 826 MW’a ulaşmıştır. Dünya genelinde Avrupa, %81 oranı

ile güneş pili kullanımında birinci durumdadır. Avrupa'yı % 6 ile ABD, % 5 ile Güney Kore izlemektedir (Şekil 5.30 ve 5.31).



Şekil 5.30 Güneş pili kullanımının ülkelere göre dağılımı (2008 verileri) [125]



Şekil 5.31 Güneş pili kullanımının Avrupa ülkeleri bazında durumu (2008 verileri) [125]

Türkiye’de enerji üretimi ise daha çok fosil kaynaklardan sağlanmaktadır, yenilenebilir kaynak kullanımı oldukça azdır. 2007 yılında yürürlüğe giren 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu ile yenilenebilir kaynak kullanımı ve araştırılmasına hız verilmiştir.

EIE (Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü) tarafından yapılan araştırmaya göre; Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7.2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m²/yıl, 3.6 kWh/m²/gün) [126] düzeyindedir (Çizelge 5.4). Güneş enerjisi potansiyeli 380 Milyar kWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu

potansiyel, toplam 56 000 MW kurulu güce sahip doğal gaz çevrim santrali elektrik enerjisi üretimine eşdeğerdir. Türkiye için kış dönemi panel eğimi 60° olarak benimsenmiştir.

Çizelge 5.4 Türkiye’de yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [125]

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/yıl)
G.Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Türkiye’de güneş pilleri, orman gözetleme kuleleri ve su pompalama sistemlerinde, haberleşme istasyonlarında, deniz fenerlerinde, trafik ikaz ışıkları ve yol aydınlatmasında; ayrıca Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü ve bazı üniversitelerde (Muğla Üniversitesi, Ege Üniversitesi gibi) elektrik enerjisinin sınırlı temini veya araştırma amaçlı olarak kullanılmaktadır. Elektrik güç üretme kapasiteleri 1 MW/yıl civarındadır.

Çizelge 5.5 PV'lerin etkin kullanımı üzerine yapılmış bir çalışmada Bahrain-Manama'da yer alan Almoayyed Tower kullanılmıştır. (Kaynak [127] değerlendirilerek oluşturulmuştur)

Almoayyed Tower (2004)



Yapı yüksekliği: 172 m

Kat sayısı: 42

Tamamlandığı yıl: 2004

Toplam alan: 48 400 m²

Bahreyn elektrik tüketiminin %5'lik kısmını kullanan binanın, cephe ve çatısına PV panel yerleştirilmesi ile, kendi enerjisini üretebilen bir bina olarak yenilenebileceği düşünülmüştür. Bu amaçla, öncelikle, paneller çeşitli açılarla yerleştirilerek elde edilebilecek enerji miktarları ortaya konmuştur. Sonuçta elde edilen değerler Kuzey yarımkürede aynı enlemde olan tüm binalar için temel verileri oluşturmuştur.

Tasarım verileri ve kabulleri :

- Günlük gereken güç 2 MW (ya da 48 MWh'lık enerji *) 'dır.
- Her bir cephede PV yerleştirilecek alan 5000 m²dir. Doğu, güney, batı cephelerine ve çatıya (900 m²) yerleştirilecek toplam PV panel alanı ~16 000 m² olacaktır.
- Her bir panel 1.43 m x 0.99 m boyutlarında olup 54 PV hücreden oluşmaktadır; panel ağırlığı 18.5 kg olarak kabul edilmiştir. PV hücre verimi %20 ve enerjinin depolandığı pillerin kapasitesi 200 Ah**'dir.
- Bahreyn'deki ortalama gün ışığı süresi 10 saat, bölgeye düşen günlük ısı miktarı 400 W/m²'dir.

Bu veriler kullanılarak;

* Gerekli enerji miktarı $Wh = n \text{ (panel sayısı)} \times 1 \text{ (gün ışığı yoğunluğu)} \times n \text{ (PV modüllerin verimliliği)} \times A \text{ (panel/modül alanı)} \times N \text{ (güneşlenme saati)}$

** Akünün kapasitesi olup, şarj işlemiyle kazandığı ve deşarj işleminde verebildiği enerjiye denir. Birimi Amper Saat'tir. Kısaca 'Ah' ile gösterilir.

- Her biri 6 V ve 1368 Ah kapasiteli 5848 adet pil* kullanılmalıdır. Toplam maliyeti ~500 000 £, işçilik ve aksesuar maliyetleri ise 1.5 milyon £'dur.
- Her biri 1.43 m x 0.99 m boyutunda 42254 modül yerleştirilmelidir (Toplam ağırlık: 782 t) Ulaşım dahil modül maliyeti 200 £, toplam maliyet ise 8.5 milyon £ 'dur.

Verimlilik testleri

- Bahreyn'de gün içinde en yüksek ve en düşük ışık şiddeti 980 W/m^2 ve 150 W/m^2 olarak ölçülmüştür. Bu çalışmada PV paneller, cephe yüzeylerine $\alpha = 0, 10, 20$ ve 30° açılarla yerleştirilmiş ve güney cephesine de $16, 26, 36^\circ$ yerleştirilerek PV verimliliği belirlenmiştir.
- Çatıya entegre olan PV paneller $0, 10, 20, 30^\circ$ eğimle yerleştirilerek ölçümler yapılmış ve 16° (yaz mevsimi için kabul), 36° (kış mevsimi için kabul) ve 26° (yıl geneli) ile ölçülmüştür. En verimli sonuç, güneye doğru 26° ile yönlendirildiği konumda elde edilmiştir (279.2 kWh/m^2).
- Yapının güney cephesi, Bahreyn enlemine (26°K) eşdeğer açıyla güneye yönlendirildiğinde yıllık 279.2 kW/m^2 kazanç sağlarken, 0° ile yerleştirilen PV panellerin 262.5 kW/m^2 kazanç sağladığı görülmüştür. Güney cephesinde, yazın 16° açı ile yerleştirilen panellerden en yüksek verim elde edilmiştir (277.8 kW/m^2). Kış şartlarında ise 36° açıyla yerleştirilen paneller (275 kW/m^2) en etkin sonuç vermiştir.

Sonuç

Yapı yüzeyi	Elde edilen yıllık elektrik enerjisi(kWh)
Batı Cephesi	876 500* (175.3 kWh/m^2 yıllık enerji miktarı x 5000)
Güney Cephesi	819 500
Doğu Cephesi	624 500
Kuzey Cephesi	445 00
Çatı Yüzeyi	252 000
Toplam	3 017 500

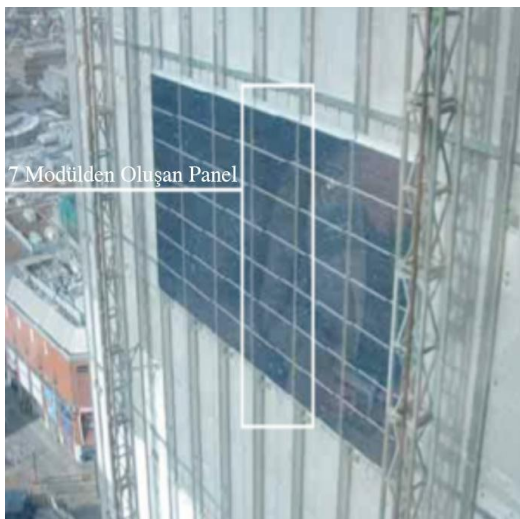
* $=175.3 \text{ kWh/m}^2 \times 5000 \text{ m}^2$

Bu binanın toplam yüzeylerinden elde edilen yıllık enerji miktarı 3 017 500 kWh olarak ölçülmüştür. Bu miktar 171 evin ihtiyacı olan elektrik enerjisine denk gelmektedir. (Avrupa standartlarına göre bir evin günlük elektrik gücü ihtiyacı 1.2 Kw.)

* Gerekli olan pil miktarı= [Gerekli enerji miktarı (Wh) / pillerin kapasitesi (Ah)] x pil voltajı (V)

Çizelge 5.6 CIS Tower örneği *

Manchester CIS Tower



Kat sayısı: 25

Yapı Yüksekliği: 118 m

Tarih: 1962

Yenilenme tarihi:2006

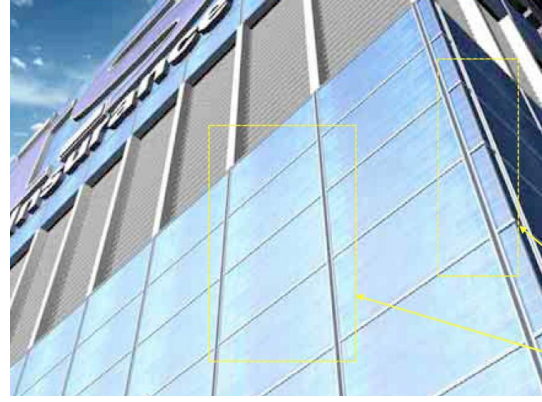
1962 yılında yapılan binanın cephesindeki mozaikler zamanla yıpranıp düşmeye başlayınca 40. yılında yapının üç cephesi PV paneller kullanılarak yenilenmiştir.

Cepheye yerleştirilen her bir panel, 7 modülden oluşmaktadır. Yapıya 4898 adet 80 W gücünde 0.64 m²'lik modüller ile, 870 adet 0.537 m x 1.2 m'lik tam, 109 adet 0.537 m x 0.82 m'lik orta boy ve 1367 adet 0.537 m x 0.82 m'lik köşe modülleri yerleştirilmiştir. Toplam 7244 adet 80W'lık PV panel, 183 015 kWh enerji üretebilmektedir.

Yapının cephesine yerleştirilen PV paneller, bina enerjisinin 390 kW'lık kısmını üretmektedir. Yapının çatısında 3 m yüksekliğinde ve herbiri 1 kW enerji üreten 19 adet rüzgar türbini yerleştirilmiştir. Bu türbinler yılda, yapı ihtiyacının % 3'lük kısmına denk gelen 44.000 kWh enerji sağlamaktadır. Rüzgar türbinleri ve PV paneller ile binanın ihtiyacı olan enerjinin %10'u karşılanmaktadır.

CO₂ emisyonu açısından koruduğu miktar, 141 ağacın absorbe ettiği CO₂ miktarına denktir.

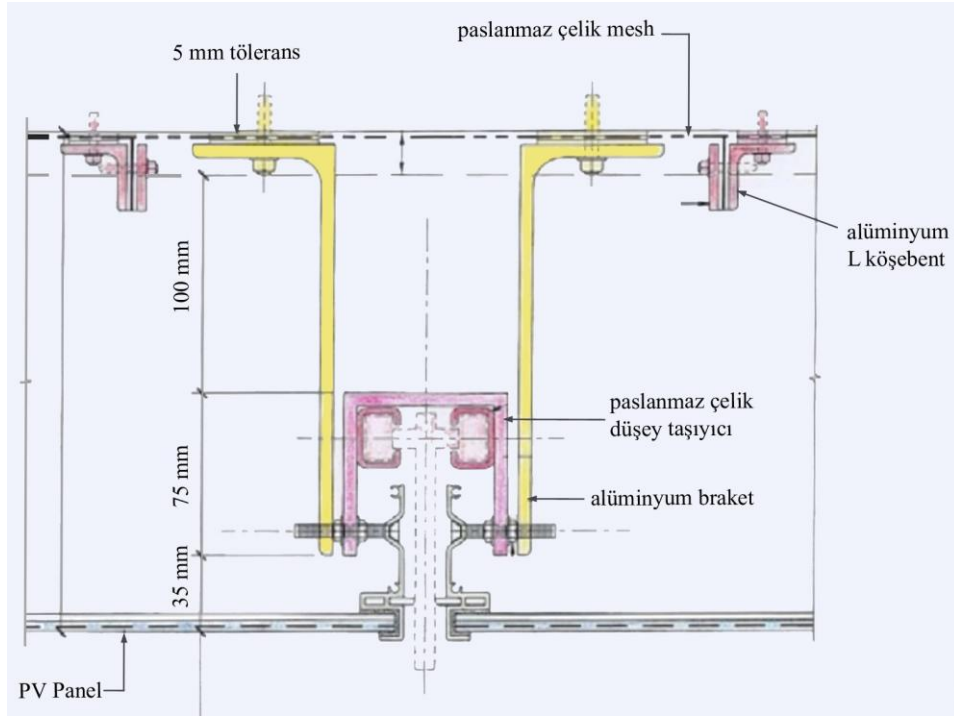
* Bu çizelge Kaynak [49], [81], [128-130] değerlendirilerek oluşturulmuştur.



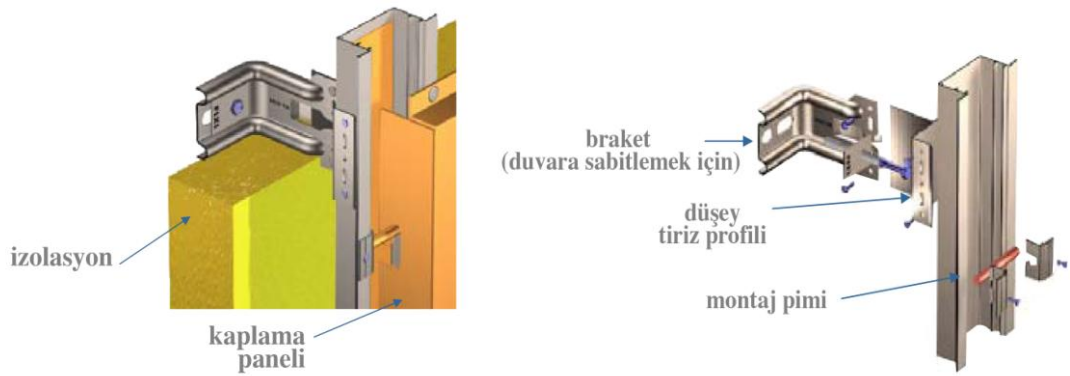
köşe modülü

tam modül

Yapıda kullanılan PV modüller



Uygulanan PV detayı




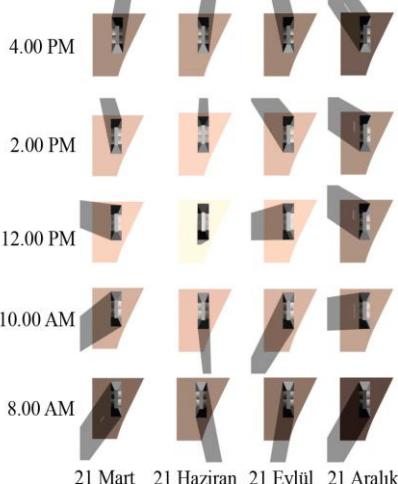
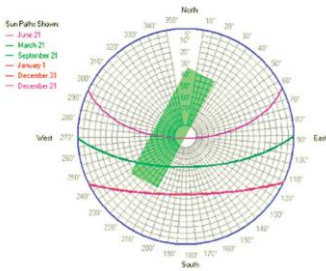
Panel uygulama detayı

Çizelge 5.7 Korean Tower örneği *

Korean Tower, Seoul, Güney Kore	
	<p>Bitiş Tarihi: 2013</p> <p>Yapı Yüksekliği: 240 m üzeri</p> <p>2013 yılında tamamlanması öngörülen yapı Güney Kore'nin en yüksek binası olacaktır. Yapı kabuğu sayesinde ısıtma ve soğutma yükleri azaltılırken, PV panellerin kullanımıyla enerji üretmesi de sağlanacaktır. Yapının cephesinde 30° açı ile, güneşe doğru yönlendirilmiş spandrel alanlar PV'lerden oluşmaktadır. Vizyon kısımlar da iç mekanlara gelen ışık ve ısıyı yönlendirebilmek için, zemine doğru 15° açıyla yerleştirilmiştir.</p>
	
	

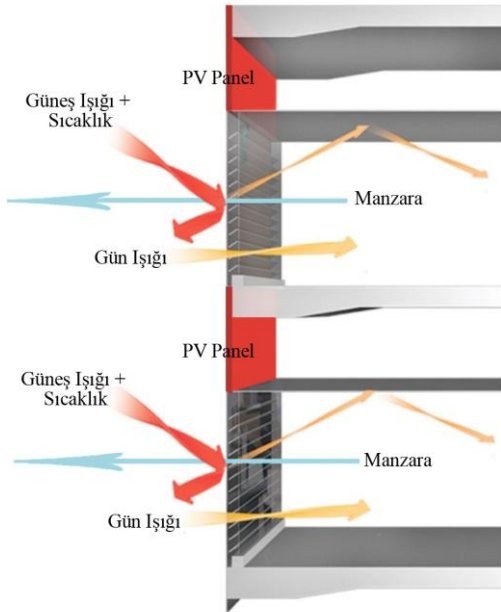
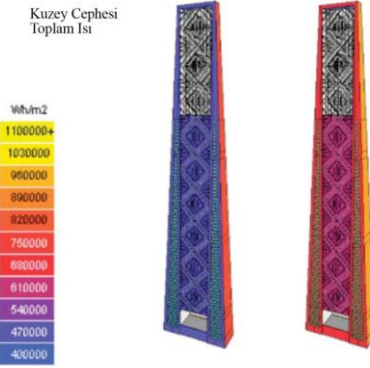
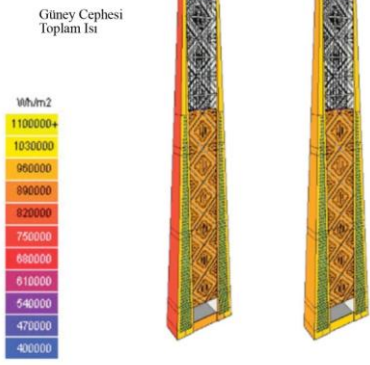
* Bu çizelge Kaynak [6] ve [49] değerlendirilerek oluşturulmuştur.

Çizelge 5.8 Light House örneği *

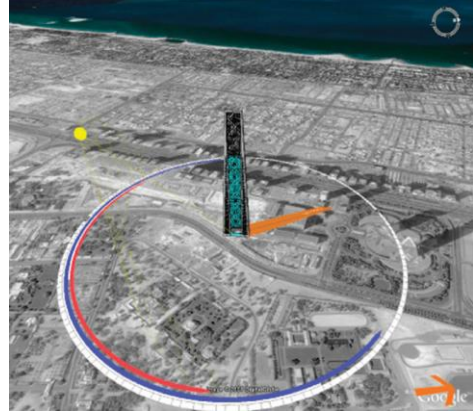
Lighthouse Tower, Dubai	
	<p>Kat sayısı: 64</p> <p>Tarih: 2011</p> <p>Yapı Yüksekliği: 402 m</p> <p>Düşük karbon tüketimi ve enerji etkin tasarımıyla, yapı yüksekliği ve büyüklüğü açısından, Dünya'da LEED Platinyum sertifikalı ilk projedir.</p> <p>Yapıda kullanılan PV'ler hibrid** ve amorf biçimli PV hücrelerdir. Lighthouse Tower'da kullanılan PV tipleri, kapasite ve binadaki konumlarına göre şöyledir :</p> <ul style="list-style-type: none">• Kuzey cephede, spandrel alanlarda: 245 MWh kapasiteli hibrid sistem PV'ler ve 306 MWh kapasiteli amorf PV'ler• Güney cephesinde spandrel alanlarda: 504 MWh kapasiteli hibrid, 464 MWh kapasiteli amorf PV'ler• Güneş kırıcılarında kullanılan hibrid PV'lerin kapasitesi (sadece güney-doğu cephesi) 349 MWh ve amorf olanların kapasitesi 272 MWh'tır.• Yapının çatısındaki PV kapasitesi 139 MWh'tır.
 <p>4.00 PM</p> <p>2.00 PM</p> <p>12.00 PM</p> <p>10.00 AM</p> <p>8.00 AM</p> <p>21 Mart 21 Haziran 21 Eylül 21 Aralık</p> <p>Yılın belli dönemlerindeki güneşlenme durumu</p>  <p>Yapının güneş ışınlarına göre yönlendirilmesi</p>	

* Bu çizelge Kaynak [17], [37], [75], [78], [83], [85-87] değerlendirilerek oluşturulmuştur.

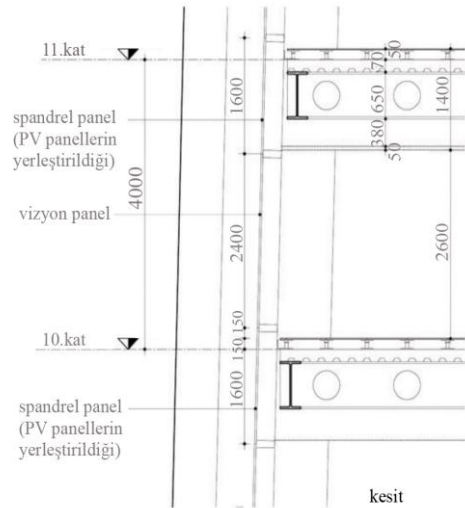
** Hibrid sistemler, PV sistemlere ek olarak şarj ünitesi ya da doğru akım ünitesi eklenmesiyle oluşan sistemlerdir. Hibrid sistemde birbirinden farklı yenilenebilir kaynaklar (rüzgar, güneş, su gibi) birlikte kullanılabilir.



Yapıda güneş enerjisi kullanımını gösteren şematik çizim



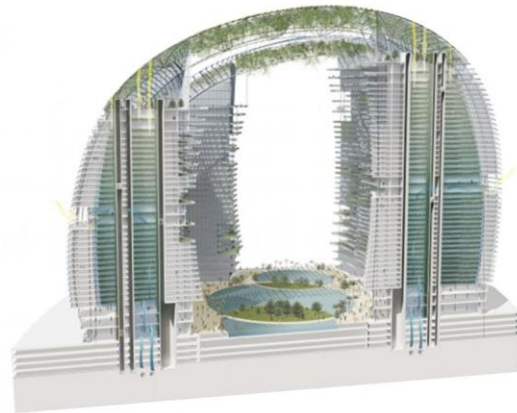
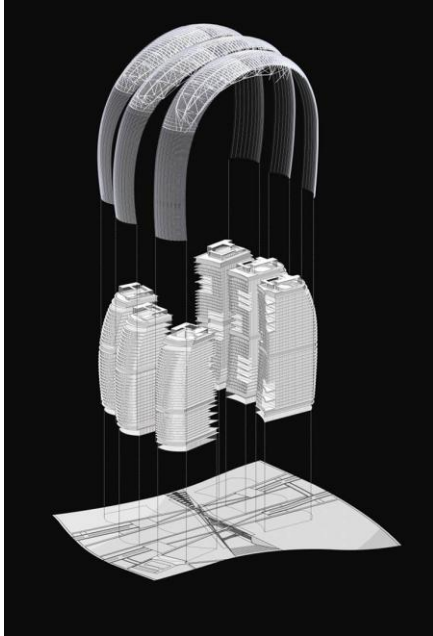
Lighthouse projesi tasarımında, enerji eldesinde en etkin sistemi ve yerleşimi belirleyebilmek için, 50 farklı kombinasyonda teknik analiz yapılmıştır. Cephe sisteminde yer alan düşey spandrel PV paneller de bunlardan biridir. 27 farklı enerji modellemesi yapılmış ve 7 farklı teknoloji; mevsimler, açılar, yapı yönlendirme açısından değerlendirilmiştir.



PV uygulamasını gösteren sistem kesiti

Çizelge 5.9 Park Gate Binası örneği *

Park Gate, Dubai

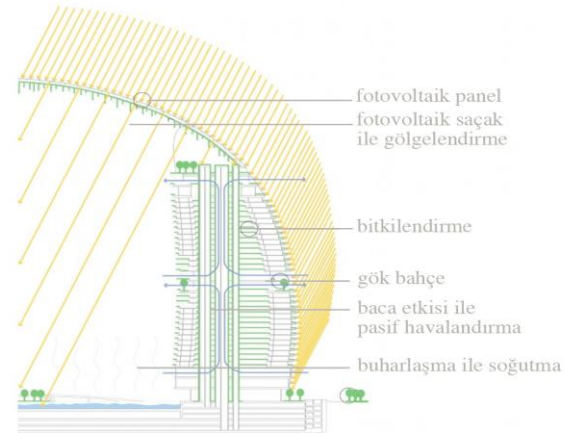


Kat sayısı: 37 ve 34 katlı 6 tane kule

Tarih: 2013

Toplam alan: 436 500 m²

Yapı 6 adet kuleden oluşmaktadır. Kuleler bir tarafta 37 katlı, diğer tarafta 34 katlıdır. Çatıları eğrisel bir kanopi ile birleşen 3 halka gibi görünmektedir. Bu kanopiler % 70 kapalı, % 30 açık alan oluşturan yarı geçirgen yapıdır ve üzerine PV modüller yerleştirilmiştir. Kubbe görümlü çatı; çöl güneşinden gelen fazla ısıyı tutarak, gölgelik alan oluşturmaktadır. Çatı, altındaki yarı açık alanın ısısını 10-15°C azaltabilen bir asma bahçe görünümünde düzenlenmiştir.



Yapının 360°lik bahçeyi andıran peyzaj düzenlemesinde, ısı değiştirici gibi çalışan havuz ve çeşitli bitkiler yerleştirilmiştir. Yansıtıcı gibi çalışan havuz, tuzlu su sayesinde ısıyı tutarak, geceleri dağıtmaktadır.

* Bu çizelge Kaynak [14], [49], [131] ve [132] değerlendirilerek oluşturulmuştur.

JEOTERMAL ENERJİ VE ISI POMPALARI

Jeotermal enerji, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklıkları sürekli olarak bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su, buhar ve gaz olarak tanımlanabilir. Genellikle tektonik levha sınırları diye bilinen ve depremlerin sık ve şiddetli olmasıyla ya da volkanik faaliyetlerin gerçekleştiği bölümler olarak da tanımlanan bölgelerde, yer kabuğunda kırıklar olduğundan bu bölgeler genellikle jeotermal enerji açısından zengin bölgelerdir.

Jeotermal enerji teknolojileri, dünyanın iç ısıyla* ilgili bir enerji teknolojisidir. Jeotermal enerjinin temeli de ısının yapısal olarak sıcak bölgeden soğuk bölgelere doğru hareket etmesi ilkesine bağlıdır.

Jeotermal araştırmaların amacı [133];

- Jeotermal olayını ortaya çıkarmak
- Yararlanılabilir jeotermal sahasının bulunduğunu belirlemek
- Kaynağın alanını tahmin etmek
- Jeotermal sahanın tipini belirlemek
- Üretim zonlarının yerlerini öğrenmek

* Dünyanın iç sıcaklığı çekirdeğe doğru artmakta ve çekirdekte 4200°C' ye ulaşmaktadır.

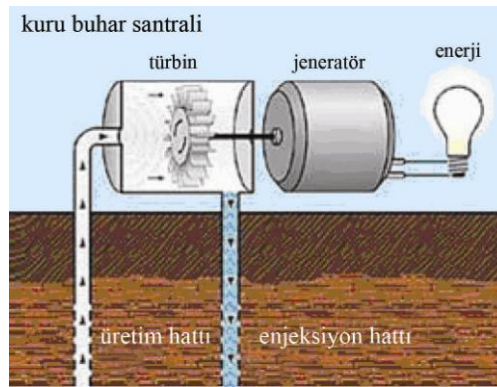
- Jeotermal saha içerisinde üretim kuyularından çıkan suyun ısı içeriğini belirlemek
- Gelecekte yapılacak gözlem sonuçlarındaki değişimleri belirlemeye yönelik temel verileri derlemek
- Çevresel hassas parametrelerin ilk ölçüm sonuçlarını elde etmek
- Saha gelişimi sırasında herhangi bir probleme sebep olabilecek karakteristik bilgileri elde etmek

6.1 Jeotermal Enerji Teknolojileri

Jeotermal enerji, sıcaklığa ve jeotermal kaynağın basıncına bağlı olarak değişen üç ana teknoloji yöntemiyle kullanılmaktadır [133].

6.1.1 Kuru buhar santralleri

Türbini döndürmek için jeotermal kuyudan üretilen kuru buhar kullanılır (Şekil 6.1). Genellikle jeotermal rezervden az miktarda su ve buhar (>235 °C) ile çalışır. Bu teknoloji jeotermal enerji teknolojileri arasında en eski olanıdır. İlk kez Lardarello tarafından 1904 yılında İtalya’ da kullanılmıştır [133]. Bu sistemde buhar, bir boru yardımıyla doğrudan türbine bağlanarak elektrik enerjisi üretir.

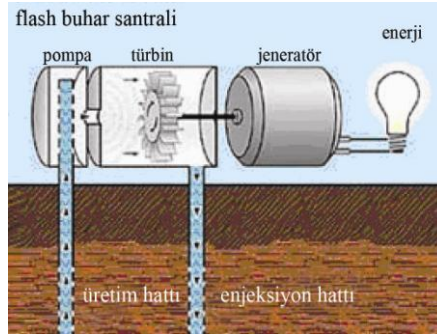


Şekil 6.1 Kuru buhar santrali sistemi (NREL-National Renewable Energy Laboratory [134])

6.1.2 Flash Buhar Santralleri

Bu sistemde, jeotermal rezervden sıcak suyun (>182 °C) kullanıldığı sistemdir. Su jeneratöre pompalandığında, rezerv derinlerinde bir basınç oluşur, bu basıncın ani

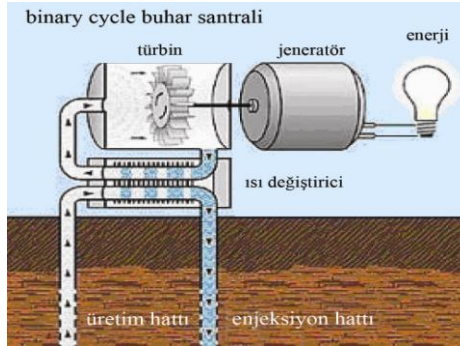
düşüşüyle suyun bir kısmı buharlaşmaya başlar ve türbine doğru hareket ederek burada enerjiye dönüşür. (Şekil 6.2).



Şekil 6.2 Flash Buhar santralleri çalışma prensibi (NREL-National Renewable Energy Laboratory) [134]

6.1.3 Binary Cycle Buhar Santralleri

Bu sistem, jeotermal kaynaktaki su sıcaklığının 107-182 °C olduğu durumlarda etkin olarak kullanılır. Su bir ısı değiştiriciden geçerken, sıcaklığı artırılarak elektrik enerjisi üretir (Şekil 6.3). Bu sistem, diğerlerine göre % 20-40 daha verimlidir ve maliyeti daha azdır [133].



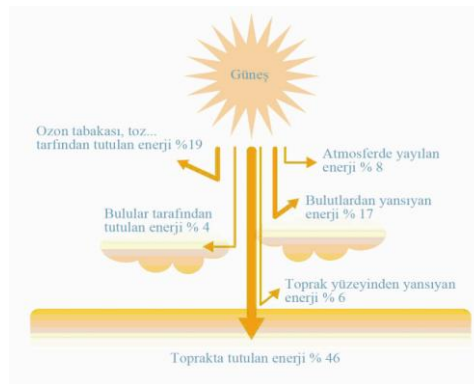
Şekil 6.3 Binary cycle buhar santrali (NREL-National Renewable Energy Laboratory)[134]

6.2 Jeotermal Sistem

Jeotermal sistemlerin yapılarda kullanım amacı, ısıtma ve soğutmada kullanılan elektrik enerjisini azaltmaktır [135]. Yapılarda ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılan bu sistemlerde jeotermal akışkan doğrudan ve dolaylı olarak kullanılır. Güneş enerjisi hava, su ve toprak tarafından yutulmaktadır (Şekil 6.4). Güneş enerjisinin dünya atmosferi ve yeryüzünde tutulması, dünyadaki bulunan ortamların ısı enerjisi içinde bulunmasını sağlar. Jeotermal enerji birikimi 40-380 °C arasında olup, 3000 m'ye kadar

olan derinliklerde geçirimsiz kayalar altında yer alan geçirimli hazne kayalar içinde bulunmaktadır [136]. 2005 yılı itibariyle, dünyadaki jeotermal elektrik üretimi 72.6 Milyar kWh/yıl, kurulu güç ise 8912 MW 'dır.

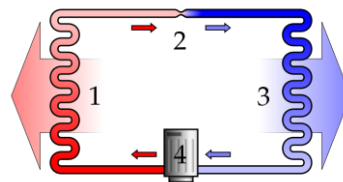
Doğrudan kullanım yöntemi, jeotermal enerjiden faydalanmanın en eski, çok yönlü ve çok genel kullanım alanlarından biridir. Yer ve bölge ısıtmacılığı, tarımsal uygulamalar, balneolojik uygulamalar (termal havuzlar ve kaplıcalar kullanımı) gibi ve endüstri uygulamaları, jeotermal enerjiden faydalanmanın en çok bilinen yönüdür. 1980'li yıllardan itibaren ısı pompalarının gelişimiyle Jeotermal ısıtma ve soğutma sisteminin kullanımı yaygınlaşmıştır.



Şekil 6.4 Güneş enerjisi tarafından tutulan ve yansıyan enerji miktarları [137]

6.3 Isı Pompası

Isı pompası; hem ısıtma hem soğutma için kullanılabilen, farklı ortamlar arasında ısı taşıyabilen sistemlerdir. Yoğuşturucu (kondansör), genişleme vanası, buharlaştırıcı (evaporatör) ve kompresörden oluşan ısı pompalarının çalışma ilkesi olarak bir ısı çukuruna gerek vardır (Şekil 6.5). Bu ısı çukurunun toprak, su ya da hava olması durumuna göre, ısı pompalarının uygulama sistemleri değişkenlik gösterir.



1. Yoğuşturucu (kondansör) 2. Genişleme vanası 3. Buharlaştırıcı (evaporatör) 4. Kompresör

Şekil 6.5 Isı pompasının şematik gösterimi [138]

Isı pompaları, kullanılan enerji kaynağı bakımından;

- Toprak kaynaklı
- Hava kaynaklı
- Su kaynaklı olarak üç şekilde kullanılır.

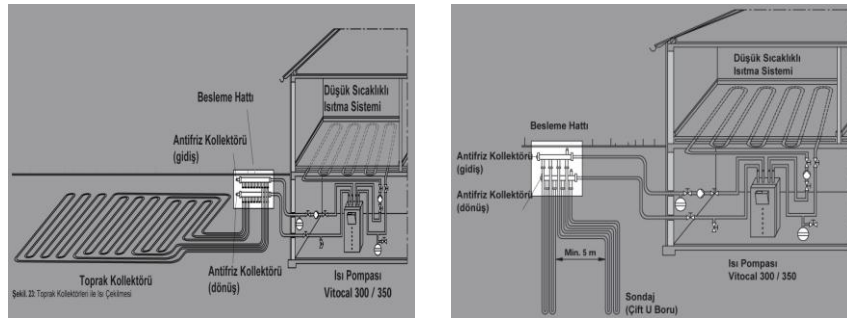
6.3.1 Toprak Kaynaklı Isı Pompaları

2 m' lik bir derinlikte toprak, tüm yıl boyunca 7 ile 13°C arasında sabit bir sıcaklık aralığına sahiptir. Toprak kaynaklı ısı pompalarında, toprağın türüne göre kazanılan enerji değişkenlik gösterir (Çizelge 6.1).

Yatay toprak kolektörleri veya dikey sondajlar, bu depolanan enerjiyi antifriz-su karışımı ile ısı pompasının buharlaştırıcısına getirir (Şekil 6.6).

Çizelge 6.1 Toprak özelliklerine bağlı olarak spesifik ısı çekme kapasitesi [140]

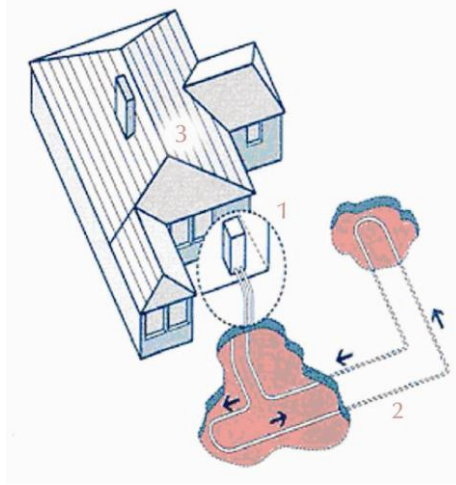
Zemin –Toprak Kalitesi	Spesifik ısı çekme kapasitesi
Kuru, kumlu zemin	10 – 15 W/m ²
Nemli, kumlu zemin	15 – 20 W/m ²
Kuru, balçıklı zemin	20 – 25 W/m ²
Nemli, balçıklı zemin	25 – 30 W/m ²
Yeraltı suyu bulunan zemin	30 – 35 W/m ²



Şekil 6.6 Yatay toprak kolektörleri (sol) veya dikey sondajlarla (sağ) enerji sağlanan toprak kaynaklı ısı pompaları [139]

Toprak kaynaklı ısı pompaları (Ground Source Heat Pump-GSHP) üç bileşenden oluşur [137] (Şekil 6.7);

- Isı pompası
- Toprak bağlantısı
- Yapı içinde ısıtma soğutma dağıtımı yapan sistem



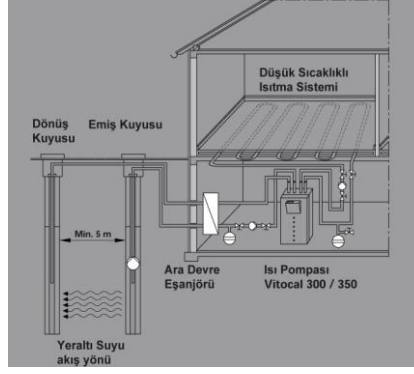
Şekil 6.7 Şematik olarak ısı pompası ve bileşenleri [137]

1: Isı pompası, 2: Toprak bağlantısı, 3: Isıtma soğutma sistemi

6.3.2 Su Kaynaklı Isı Pompaları

Su da toprak gibi güneş enerjisini çok iyi depolayan bir kaynaktır. En soğuk kış şartlarında bile yeraltı sularının sıcaklığı 7 ile 12 °C arasındadır. Yeraltı suyu bir kaynaktan alınır ve su/su ısı pompasının buharlaştırıcısına getirilir ve daha sonra su soğuyarak kaynağa geri döner (Şekil 6.8).

Toprak ve su kaynaklı ısı pompaları, toprağın ya da yeraltı suyunun yaz ve kış aylarında sabit denebilecek 7-22°C arasında değişken olması sayesinde, yazın soğutma kışın da ısıtma amacıyla kullanılabilir.



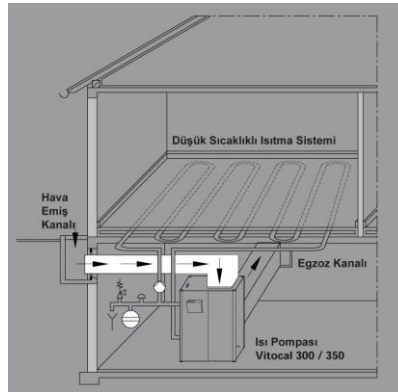
Şekil 6.8 Su kaynaklı ısı pompalarının şematik çizimi [139]

Yazın mekandan alınan ısı, ısı pompası yardımıyla toprağa ya da yeraltı suyuna aktarılırken kışın da toprak veya sudan bu ısıyı çekmek mümkündür.

Isı pompası ısıtma durumunda, buzdolabı çalışma ilkesi gibi çalışır. Termodinamik ilkelere göre ısı sıcak olduğu ortamdan soğuk ortama doğru hareket eder. Buzdolabı çalışma ilkesi gibi, topraktan alınan ısı evaporatöre doğru hareket eder. Isı değiştiricinin diğer tarafında soğuk akışkan yer almaktadır. Dolayısıyla topraktan gelen akışkan buraya hareket eder ve sıvının buharlaşmasına neden olur, fakat evaporatördeki ısı değişimi çok fazla değildir. Buradaki düşük basınç ve sıcaklıktaki gazlar kompresörden geçerek basıncı ve sıcaklığı artmış olarak soğutucuya iletilir. Buradaki basıncı ve sıcaklığı artmış olan gazlar ekspansiyona iletilir ve ısıtma-soğutma döngüsü devam eder [137].

6.3.3 Hava kaynaklı Isı Pompası

Dış hava en ucuz enerji kaynağıdır. Hava bir kanal yardımıyla evaporatöre gelir, ısıyı alındıktan sonra dışarı atılır (Şekil 6.9).

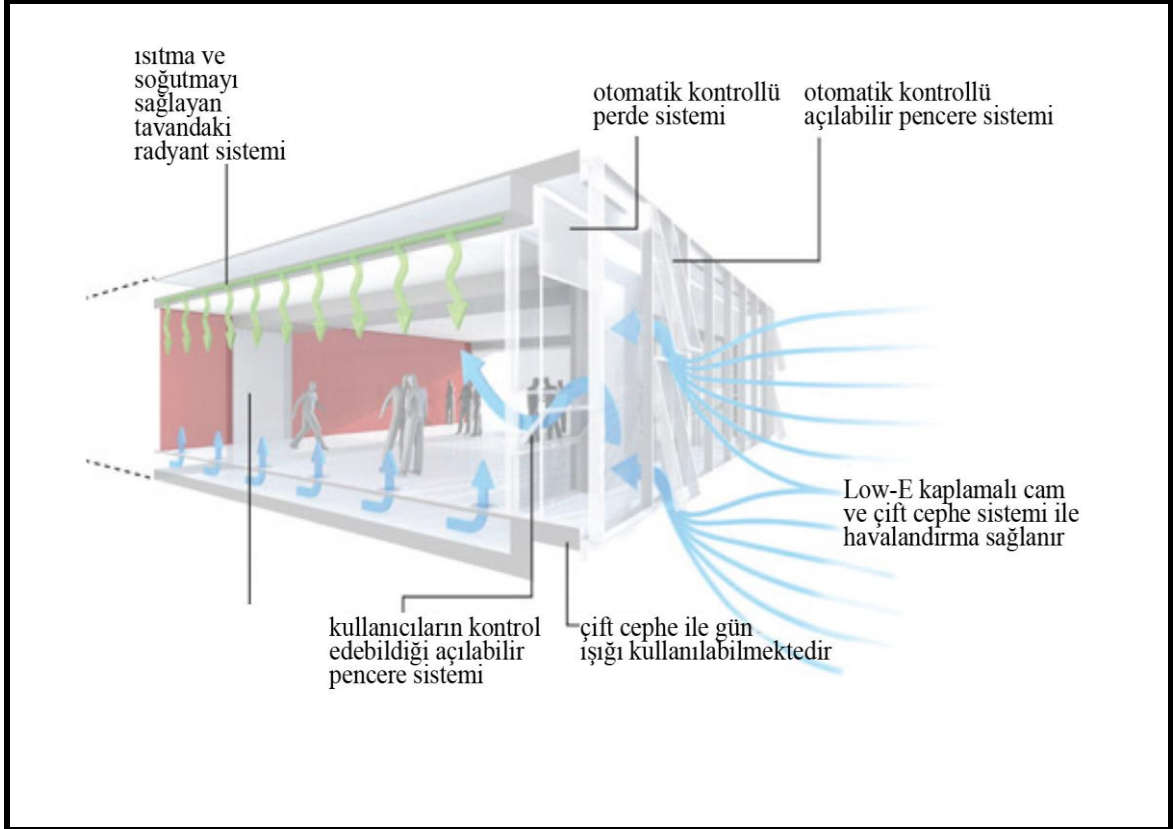
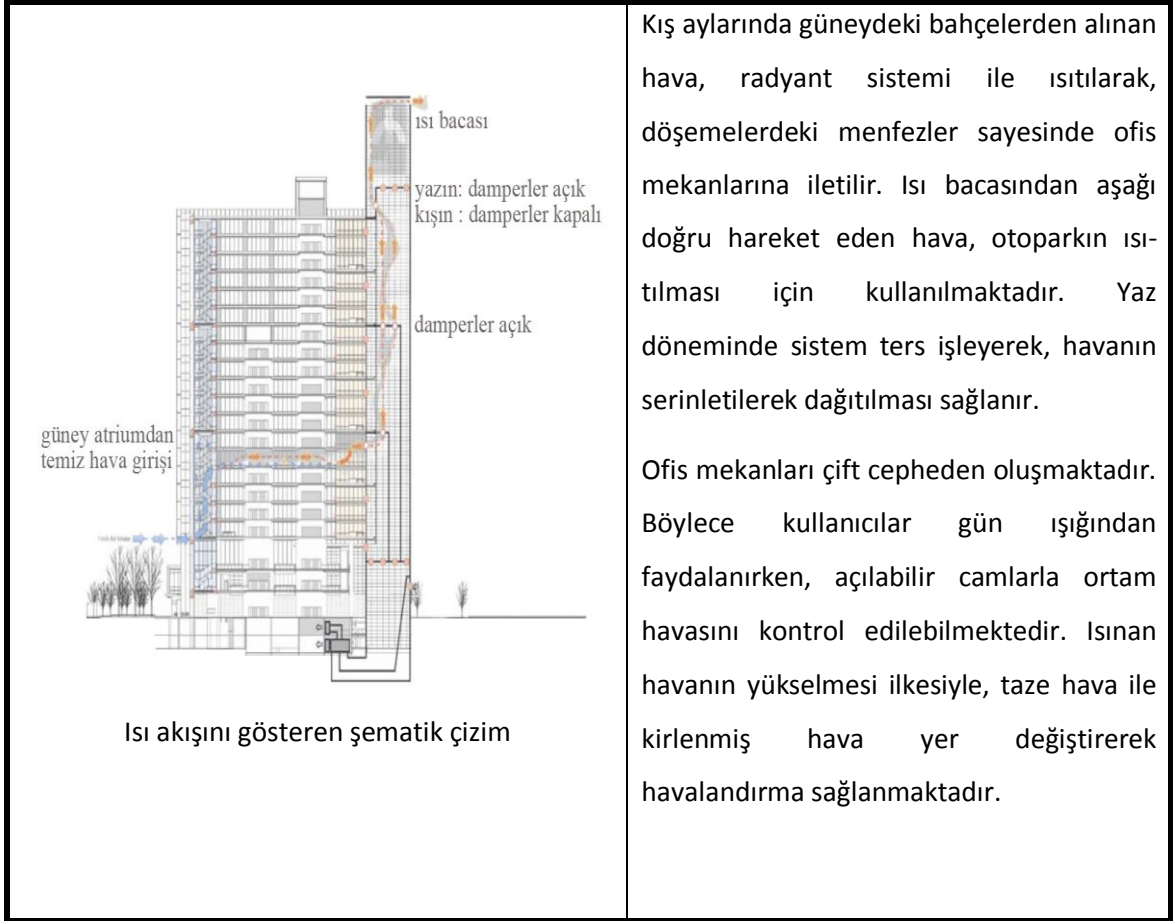


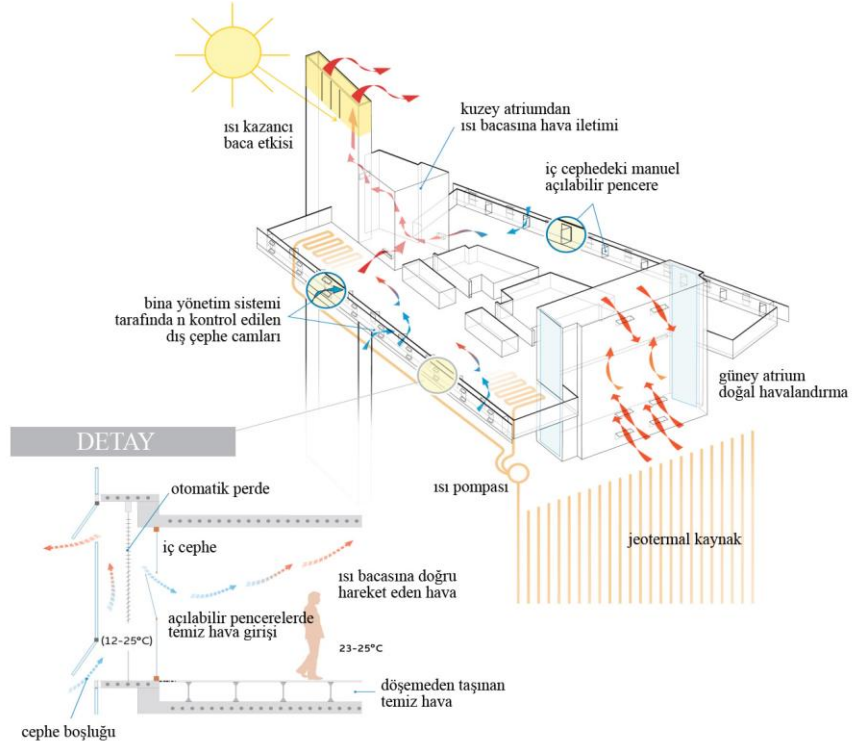
Şekil 6.9 Çevre havasından Enerji Çekilmesi (Dış Hava) [139]

Çizelge 6.2 Jeotermal sistemin kullanıldığı Manitoba Hydro Place *

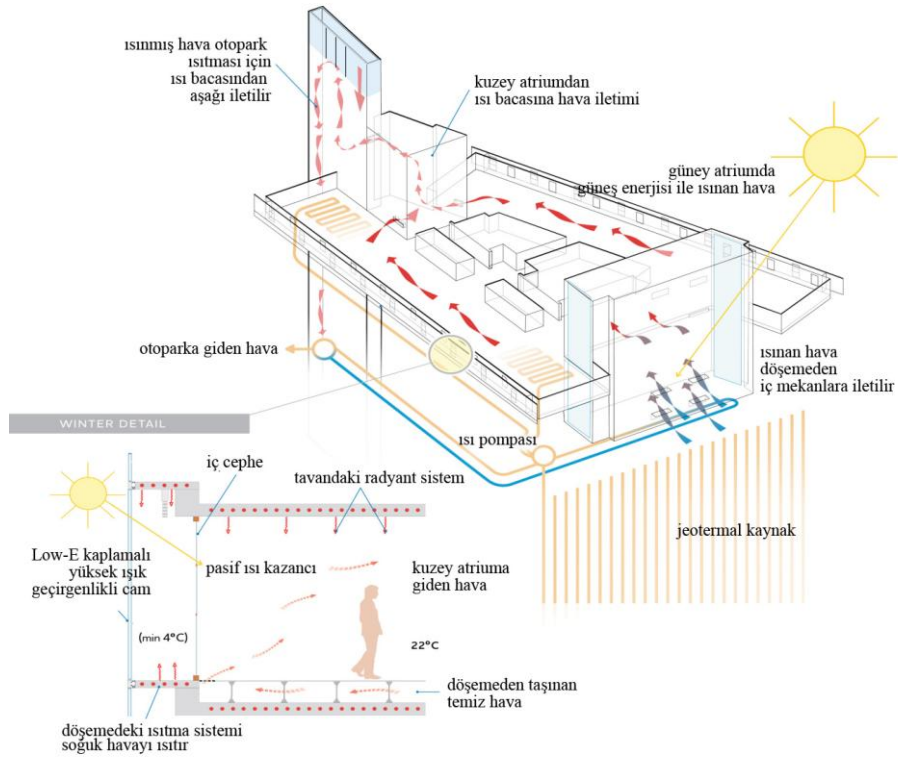
Manitoba Hydro Place	
	<p>Kat Sayısı: 23</p> <p>Yapı Yüksekliği: 112.5 m</p> <p>Bitiş Tarihi: 2009</p> <p>Yapının, jeotermal ısıtma ve soğutma sistemi vardır. Sistem; ısı pompaları, ısı değiştiriciler ve ısıyı dağıtan, sondajla açılan 150 mm çaplı, 125 m derinliğinde 280 tane borudan oluşmaktadır. Herbir sondaj glikol ile doldurulmuş borular içermektedir. Isıtma ve soğutma sistemi, ısınmış havanın toprak ve yapı arasında iletimi esasına dayanır. Yaz aylarında betonarme döşeme içinden geçen borularla, yapının ısısı toprağa iletilerek soğutma sağlanır. Aynı ısı, kış aylarında yapıyı ısıtmak için kullanılır.</p> <p>Yapının kuzeye bakan tarafına 115 m yüksekliğinde ısı bacası ve güneye bakan cephesinde her biri 24 m yüksekliğinde üç adet kış bahçesi yer almaktadır. Doğal havalandırmanın etkin olarak sağlanabilmesi için, yapı güneyden gelen rüzgara göre tasarlanmıştır. Hava güneyden kuzeye doğru yatayda hareket ederek, fanlar yardımıyla ısı bacasından emme (baca) etkisiyle dışarı atılmaktadır.</p>
	
<p>Plan şeması</p>	

* Bu çizelge Kaynak [6], [49], [59], [141-148]'den faydalanılarak oluşturulmuştur.

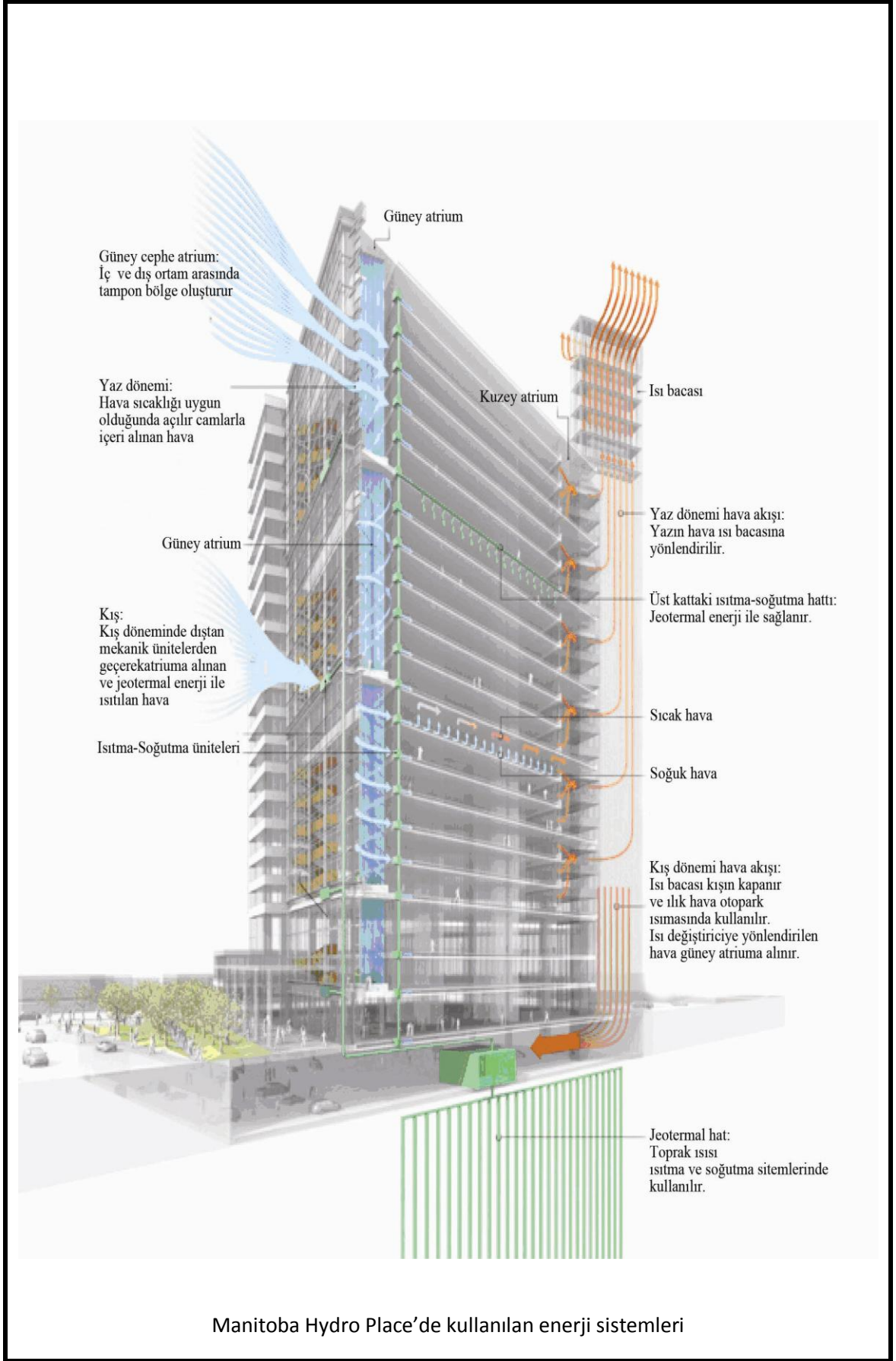




Yaz dönemi hava sirkülasyonu ve jeotermal enerji kullanımı



Yaz dönemi hava sirkülasyonu ve jeotermal enerji kullanımı



Manitoba Hydro Place'de kullanılan enerji sistemleri

İKLİMLE DENGELİ TASARIM VE BİYOKLİMATİK YAPILAR

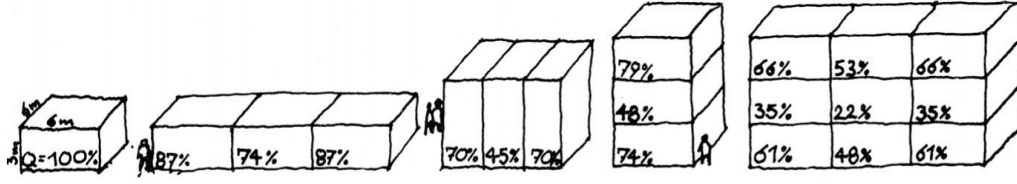
İklimsel veriler bir tasarım için en önemli parametrelerden biridir. Sıcak iklim ve soğuk iklim bölgesinde yapılacak yapılardan farklı performanslar beklenir.

Yapı tasarımlarının, mevcut iklim kuşağına göre olması ve tasarımda mekan organizasyonunun bu şekilde yapılması, enerjinin etkin kullanılmasını sağlayacak etkenlerdendir. Güneş ışınımı, gölgeleme, hava hareketi gibi veriler dikkate alınarak, enerji harcamaları minimuma indirilebilir.

Biyoklimsel tasarım ilkeleri [149];

- Bina yönü
- Bina formu ve şekli
- Cephe tasarımı
- Güneş koruma
- Rüzgar kullanımı ve doğal havalandırma
- Renk seçimleri
- Ağaç ve bitki kullanımı

Yapı formu ve yerleşiminin doğru yapılmasıyla, enerji kayıpları % 30-40 azaltılabilmektedir [150]. Yapılan çalışmalarla, ısı kayıp ve kazançlarının bina formu ile ilişkili olduğu görülmüştür (Şekil 7.1).



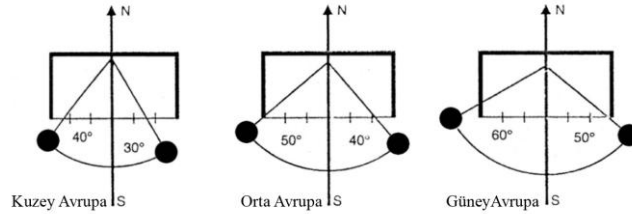
Şekil 7.1 Bina formu ve enerji kayıplarının şematik gösterimi [150]

Yapı tasarımında, farklı iklim bölgelerinde farklı verilerin dikkate alınması önemlidir. Yapının etkileneceği güneş miktarı, rüzgar hızı ve yönü ile topoğrafik özellikleri dikkate alınarak, yapıdan beklenen performansa göre yönlendirme yapılması gereklidir. İklim bölgelerine göre [150];

Tropikal bölgelerde; yapı ana kütlesi ve yapı çekirdeğinin, gün içerisinde gölgelendirmeyi sağlamak için yapının doğu ve batı tarafında konumlandırılması

Kurak bölgelerde; yapı ana kütlesi ve çekirdek, yaz aylarında gölge sağlayabilecek şekilde doğu ve batıda konumlandırılması;

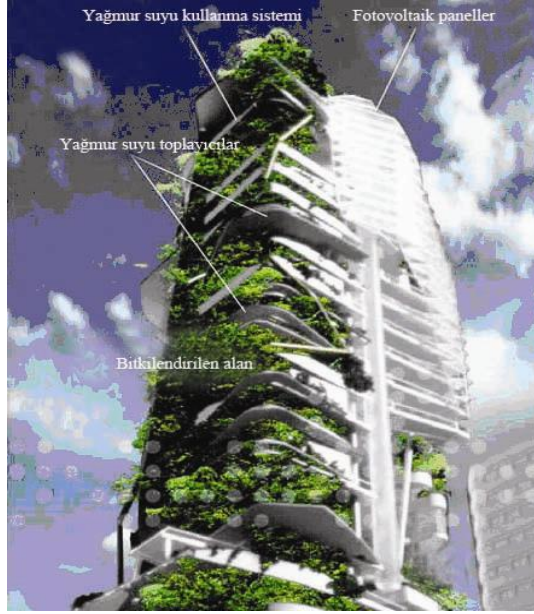
Sıcak bölgelerde; kış aylarında güney ısısından faydalanmak için ana kütlein kuzeye yönlendirilmesi ısı kazançları açısından çözüm olabilmektedir (Şekil 7.2).



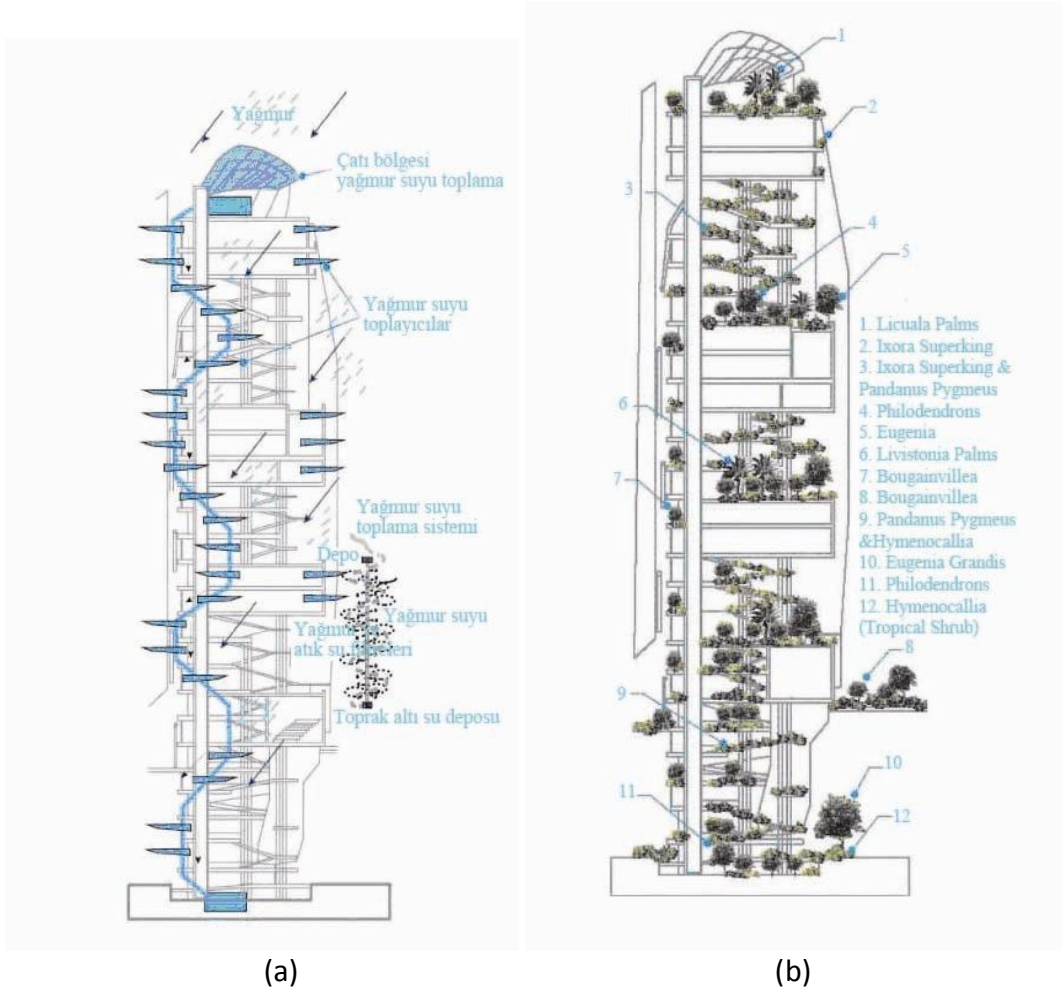
Şekil 7.2 Bazı bölgelerdeki uygun bina yönleri [150]

Günümüzde yapılar, düşeyde ve yatayda bitkilendirilmekte; yeşil duvarlar, iç bahçeler, yeşil çatılar kullanılmakta ve bu yöntemle ses yalıtımı sağlanabildiği gibi, ısı kayıp ve kazançları da kontrol edilebilmektedir. Yapı yüksekliği ve iklim şartlarının yükseklik arttıkça değişmesi, bölgesel iklim özellikleri, taşıyıcı sistemin getirdiği zorluklar ve bitkilerin yaşayabilme şartları düşeyde bitkilenmeyi zorlaştırmaktadır.

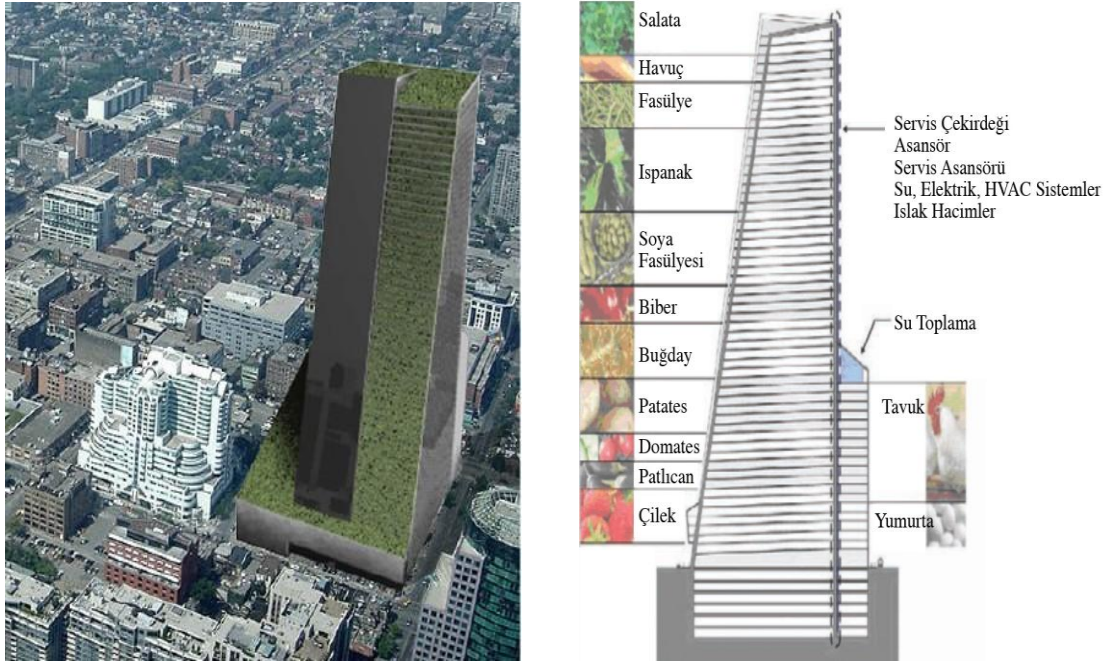
Biyoklimatik tasarım özellikleri, Ken Yeang'ın tasarladığı Editt Tower (Şekil 7.3 ve 7.4) ve Toronto'da yapılması planlanan *Skyfarm* (Şekil 7.5) örneklerinde olduğu gibi gökdelenlere de uygulanmaktadır.



Şekil 7.3 Ken Yeang'ın tasarladığı Editt Tower, bioklimatik yapıdaki sistemlerin şematik olarak gösterimi [151]



(a) Şematik olarak yağmur suyu toplama ve kullanma sistemi
 (b) Kat yüksekliğine göre yetişebilen bitki grupları [151]



Şekil 7.5 Skyfarm, Toronto-Kanada [49] ve [152]

Ken Yeang, yapılarda enerji tasarrufu sağlayan biyoiklimsel tasarımların, yüksek yapılarda da uygulanabileceğini ve gerekli olduğunu başta kendi yapılarında kullanarak göstermiştir.

Ken Yeang'a göre biyoklimatik gökdelen tasarımı;

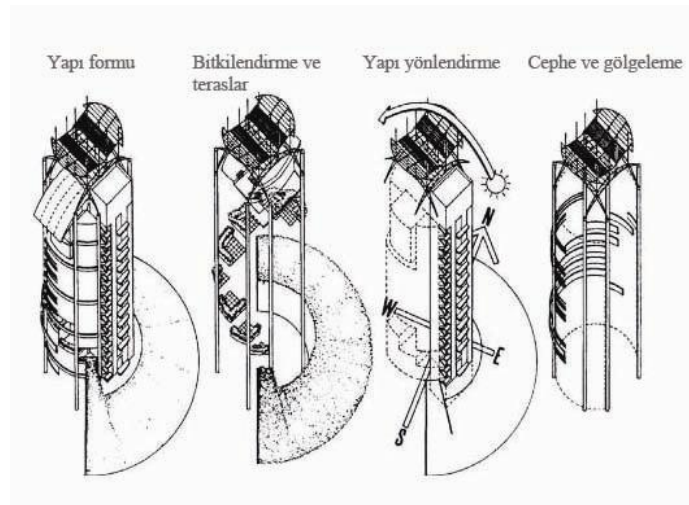
- İklim ve bölge verileri ile uyumlu cephe tasarımı
- Güneşe göre yönlendirilmiş yapı
- Yıl boyunca değişen iklimsel gereklilikleri karşılayabilecek esneklik
- Doğal aydınlatma ve havalandırma koşullarını sağlayabilme
- Malzeme seçimlerinin ekolojik olması ile gerçekleştirilebilir.

Biyoklimatik yüksek yapılarda, hem akademik çalışmaları hem de çeşitli uygulamaları olan Ken Yeang'ın, 1992 yılında Kuala Lumpur'da tasarladığı *Manera Mesiniaga* binası biyoklimatik olarak adlandırılan ilk modern gökdeldendir (Şekil 7.6 ve 7.7). Yapının doğu ve batı cephesi güneşin geliş açısına göre, gölgeleme ve ısı kazancı sağlayacak şekilde güneş kırıcılar yerleştirilmiştir (Şekil 7.6). Servis hacimleri cepheye yerleştirilmiş böylelikle doğal havalandırma sağlanmıştır. Yapının cephesine, Ken Yeang'ın 'gök bahçeleri' oluşturma fikriyle, spiral şeklinde zeminden çatıya uzanan atriumlar

yerleştirilmiştir. Bu yeşil bahçeler, yapının alüminyum ve çelik olan yüzeyleriyle zıtlık oluştururken, gölgeleme etkisi ve organik cephe imajıyla, görsel olarak da etkileycilik sağlamaktadır.



Şekil 7.6 Manera Mesiniaga Binası ve güneş kırıcıları [153]



Şekil 7.7 Manera Mesiniaga Binası; tasarım ilkelerinin şematik çizimleri [154]

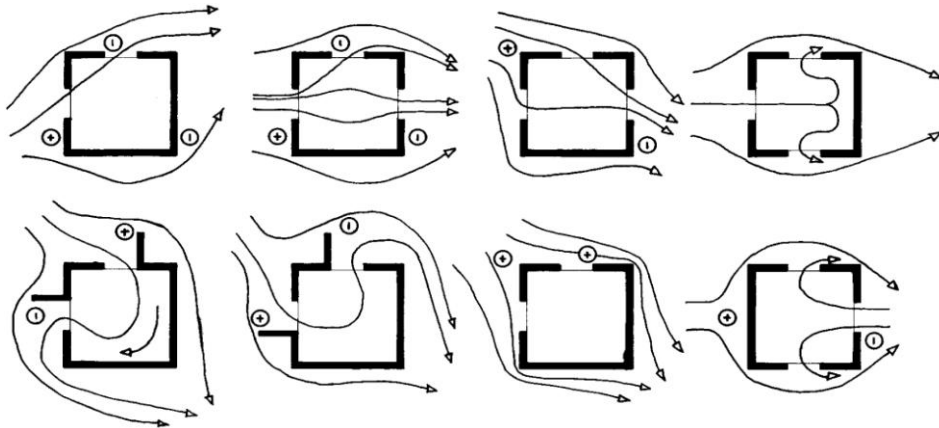
7.1 Doğal Havalandırma

Yüksek yapılarda; ısıtma, soğutma ve havalandırma sağlamak için çok büyük enerji harcanmaktadır. Son yıllarda yüksek yapılarda, yapının tasarımını etkileyebilen doğal havalandırma yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır. Doğal havalandırma, mekanik araçlar kullanmadan, hava hareketiyle kapalı mekanlara temiz hava iletilmesi olarak tanımlanabilir [5], [155]. Doğal olarak havalandırılan binalar atriumlar, gökavlular,

açılabilen pencereler, havalandırma bacaları, hava giriş-çıkış kanalları ve fanlar içermelidir.

Doğal havalandırma, hava hareketini kullanarak iki şekilde sağlanabilir [156];

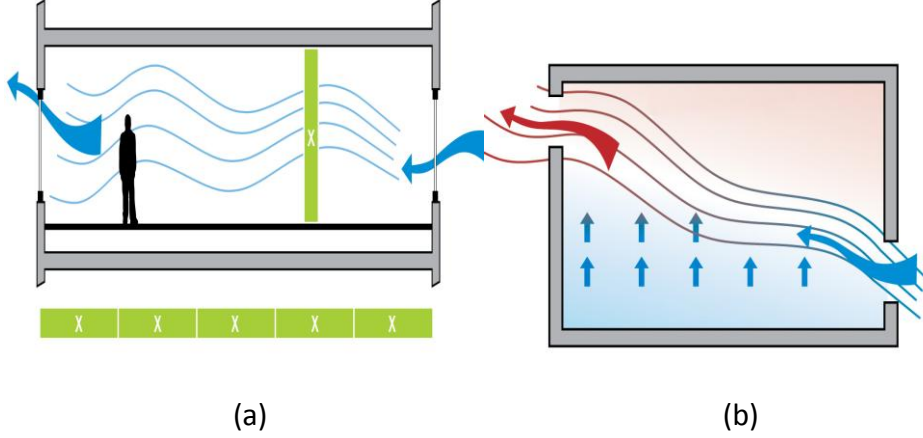
- Isı farkı ile; ısınan hava yükselir, soğuyan hava alçalır ve hava sirkülasyonu başlar.
- Basınç farkı ile; hava, yüksek basınçtan alçak basınca doğru hareket eder. Rüzgarın direkt geldiği yönde yüksek basınç alanı oluşacak, rüzgarın etkimeydiği alanlar da alçak basınç oluşturarak yapı içine doğru rüzgar hareket edecektir (Şekil 7.8).



Şekil 7.8 Farklı bina tiplerine etkiyen pozitif (+) ve negatif (-) rüzgar basınçları [157]

En genel anlamda doğal havalandırma için iki strateji mevcuttur :

- **Özel açıklıklar oluşturmak;** Bazı yapılarda bir mekan ya da binanın bir bölümünde küçük açıklıklar bırakılarak çapraz havalandırma ya da ısınan havanın yükselmesi prensibiyle (baca etkisi) oluşturulur (Şekil 7.9 ve 7.11). *Menara Umno* binası buna örnektir (Çizelge 7.4). Çapraz havalandırma, açıklık/kat yüksekliği oranının en az 5 olduğu durumlarda verimli olmaktadır. Emme etkisi (baca etkisi), genellikle, çapraz havalandırmanın uygun olmadığı ve kat yüksekliğinin fazla olduğu durumlarda verimli olarak kullanılır.



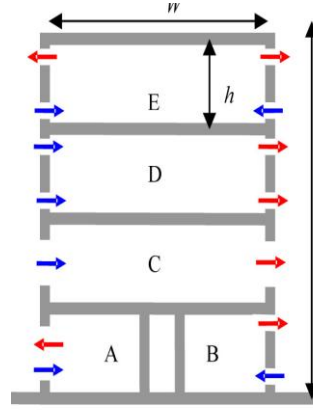
Şekil 7.9 a) Çapraz havalandırma ilkesini gösteren şematik çizim b) Isı farkı kullanılarak baca/emme etkisiyle yapılan doğal havalandırma [158]

- **Yapıda şaft alanı oluşturmak;** Tüm açıklıklardan gelen havanın toplandığı ve başka bir ana açıklıktan dışarı atıldığı sistemlerdir (Şekil 7.12 ve Şekil 7.13), yüksek binalarda çok sık kullanılmaktadır. Bu tür sistemlere *Commerzbank* (Şekil 7.10) ve *Menara Mesiniage* (Şekil 7.6) binaları örnek olarak verilebilir. Bu sistemin en gelişmiş örnekleri iç bahçeler, iç avlu düzenlemeleridir [159].

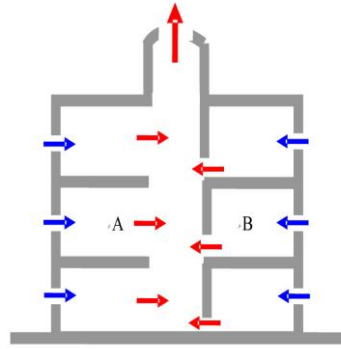


Şekil 7.10 Commerzbank Binası [49]

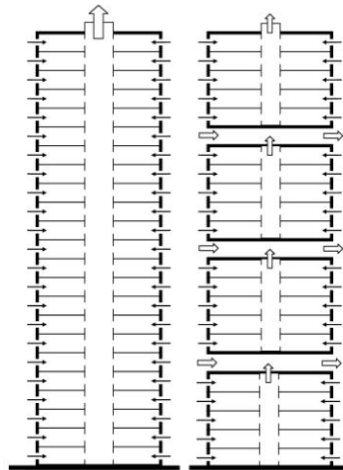
Doğal havalandırmanın sağlanması için; iklimsel veriler, hakim rüzgar yönü ve şiddeti gibi veriler tasarımın da temel çıkış noktası olmalıdır. Yapı yüksekliği arttıkça, rüzgarın yapıya etkileri de artacağından pencere açılması olanaksız hale gelmektedir. Yüksek binalarda akıllı cephe sistemleri, çift cepheler, rüzgar duvarları gibi yöntemlerle doğal havalandırma sağlanabilmektedir.



Şekil 7.11 D ve C çapraz havalandırma prensiplerinin şematik çizimi, E havanın fizik kurallarına göre ısınıp yükselen havanın sirkülasyonunu ifade eder [160].



Şekil 7.12 A kısmı atrium oluşturularak iç hava ve dış hava sıcaklık farkıyla tüm katlara temiz hava yayılır. B kısmı da mekanik olarak basınç farkından havanın dağılımını ifade eder [160].



Şekil 7.13 Yüksek yapılarda açıklık bırakılarak uygulanan havalandırma yöntemlerinin şematik çizimi [159]

Enerji kullanımını azaltmak için bina tasarımlarında kullanılan doğal havalandırma yöntemleri; pasif, yönlendirilmiş pasif ve aktif sistemler olarak sınıflandırılabilir [161].

Ken Yeang'a göre doğal havalandırmanın işlevi;

- Kullanıcı sağlığını koruma
- Isısal konforun sağlanması
- Strüktürel soğutmanın sağlanması olarak tanımlanmıştır.

Etkin bir doğal havalandırmanın sağlanabilmesi için [162];

- Sıcak-nemli bölgelerde hava hızını maksimum tutarak tamamen soğutmaya yönelik, sıcak-kurak bölgelerde ise hava akımını yapıya doğru arttırarak soğutma sağlamak
- Binalarda rüzgardan maksimum düzeyde faydalanacak yüzeyler oluşturmak
- Yapıların uzun cepheleri ve kapı, pencere açıklıklarını hakim yaz rüzgarlarına göre düzenlemek
- Pencereleri ters basınç bölgelerine göre konumlandırmak (Yatayda devam eden pencereler daire ya da kare formu pencerelere göre daha fazla hava akımı iletir.)
- Topografya, peyzaj, çevre binalar gibi rüzgarı hızını ve yönünü etkileyecek parametrelere dikkat edilmesi
- Rüzgarı yapıya yönlendirecek rüzgar duvarları, parapet gibi mimari elemanlar kullanılması
- Düşey hava şaftları ya da merdiven boşlukları ile emme etkisi yaratılarak doğal havalandırmanın sağlanması
- Bina yüzeyinin arttırılması gereklidir.

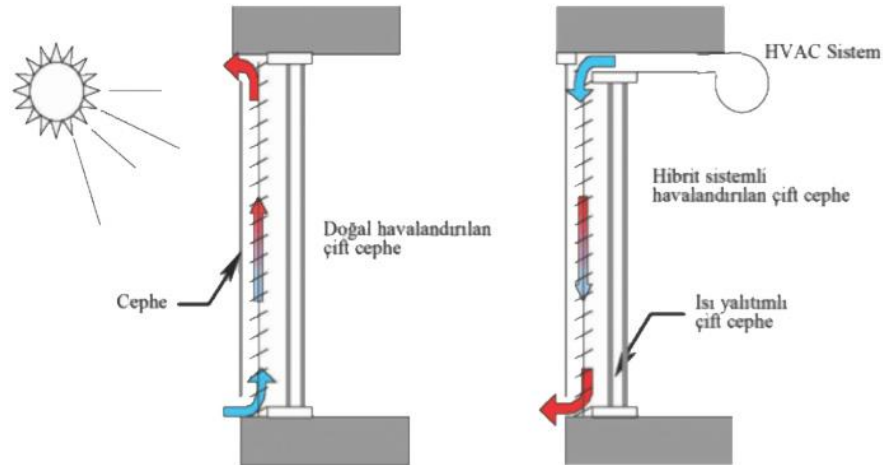
7.2 Çift Cepheler

Çift cepheler, iki tabakanın aralarında hava boşluğu kalacak şekilde yerleştirilmesiyle oluşturulur [163]. Aradaki boşluk, enerji kayıplarını azaltmak üzere, iç mekan ve dışarı arasında tampon bölge olarak kullanılır. Bu tampon bölge kış aylarında ısı kaybını

azaltırken, yaz aylarında gerek doğal havalandırma gerekse de güneş kontrol elemanları vasıtası ile fazla ısınmayı engeller. Özellikle çok katlı yapılarda çok sık rastlanan bu sistem, her kat seviyesinde kesilebilir ya da yapı yüksekliğince devam edebilir.

Çift cephe sistemlerinde doğal havalandırma, rüzgar basıncı ve baca etkisi olarak iki yolla sağlanır. Bazı çift cephe uygulamalarında, ısınan havanın yükselmesi ilkesiyle doğal şartlardan faydalanılarak, bazı durumlarda küçük fanlar ve mekanik sistemlerin birlikte kullanılması esasıyla hibrid sistemlerden de faydalanılabilir.

Hibrid sistemler; hava akışı doğal yollardan sağlanabilirken aynı zamanda cephe boşluğuna doğru havanın akışını kolaylaştıran HVAC sistemlerin de kullanılmasıdır (Şekil 7.14). Bu sisteme örnek olarak Commerzbank Binası gösterilebilir.



Şekil 7.14 Doğal havalandırma ve hibrid sistemlerin şematik karşılaştırması [164]

Çift cephe sisteminde, rüzgar hızı, yoğunluğu ve hakim rüzgar yönü etkin bir havalandırma için önemli hale gelmektedir. Çift cephe sistemlerinin kullanılma nedenleri [164];

- Enerji korunumu ve ekolojik gereklilik
- Doğal havalandırma
- Maliyet
- Ses yalıtımı

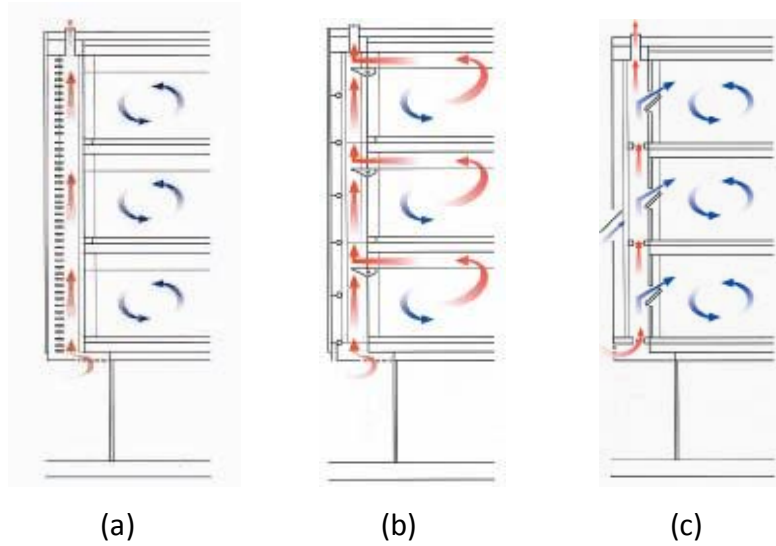
- Kullanıcı kontrol ve konforunu sağlayabilmesi
- Sosyal etki-kullanıcılara doğayı ve manzarayı gösterebilmesi
- Güvenlik

olarak özetlenebilir.

7.2.1 Çift cephelerin sınıflandırılması

Çift cephe sistemleri, havalandırma yöntemleri ve harcanan enerji durumuna göre dört tipe ayrılır: (Şekil 7.15)

- Tampon bölge oluşturarak yapılan havalandırma sistemi (buffer system)
- Mekanik sistemlerle havanın emilmesini sağlayan sistem (extractes system)
- Çift katmanlı (twin face) sistemler



Şekil 7.15 a) Tampon bölge oluşturulan havalandırma sistemi, b) Mekanik sistemlerle havanın emilmesini sağlayan sistem, c) Çift katmanlı (twin face) sistemler

7.2.1.1 Tampon Bölge Oluşturarak Yapılan Doğal Havalandırma Sistemi (Buffer System)

Bu sistem ısıcamın uygulanmaya başlamasından daha öncelerde gün ışığından yararlanmak, ısı ve ses yalıtımı sağlamak amacıyla kullanılırdı [155]. Aralarında 250-900 mm boşluk bulunan iki kat tek camlı doğramadan oluşur. Taze hava, çift katmanlı cephenin iç yüzeyinden açılan pencerelerle alınmaktadır. Çift katmanlar arasındaki

boşluğa gölgeleme elemanları yerleştirilebilir. Yaz aylarında yüzeyler arasındaki boşluk ısıyı uzaklaştırmakta, kış aylarında ise ısı kütlesi gibi davranarak ısınan havanın açılabilir iç camlarla iç mekanlara dağıtılmasını sağlamaktadır.

Bu sistemle yapılmış olan binalara örnek olarak, Almanya'daki *Business Promotion Center* gösterilebilir (Şekil 7.16). Dışarıda tek camlı doğrama ve içte açılan Low-E kaplamalı çift cam panellerden oluşmaktadır, iki katman arasında 200 mm boşluk vardır. Boşluğa giren hava, emme etkisiyle üstten dışarı verilir. Bu bölge yazın sıcaklığı azaltırken, kış şartlarında ısının korunmasını sağlar.



Şekil 7.16 Business Promotion Center (Almanya) [165]

7.2.1.2 Havanın Emilerek Sirkülasyonu Sağlayan Sistem (Extractes System)

Çift katmanlı ana cephenin iç yüzüne uygulanan tek camlı havalandırma sistemidir. İki katman arasındaki boşluk 150-900 mm arasında olup gerekli olan havaya göre değişkenlik gösterebilmektedir. Havanın emilimi, fanlar sayesinde yapılmaktadır. Katmanlar arasındaki boşluk, HVAC sisteminin parçası gibi çalışmaktadır. Isınan hava fanlarla boşluğa iletilir, böylelikle dış cephe ısı kayıplarını azaltırken, iç cephede ısı dengede kalabilmektedir. Bu tür sistemlere örnek olarak *Londra Helicon Building* gösterilebilir (Şekil 7.17 ve Şekil 7.18).



Şekil 7.17 Helicon Building (Londra) cephe görünüşü [166]



Şekil 7.18 Helicon Building (Londra) cephe detayları [166]

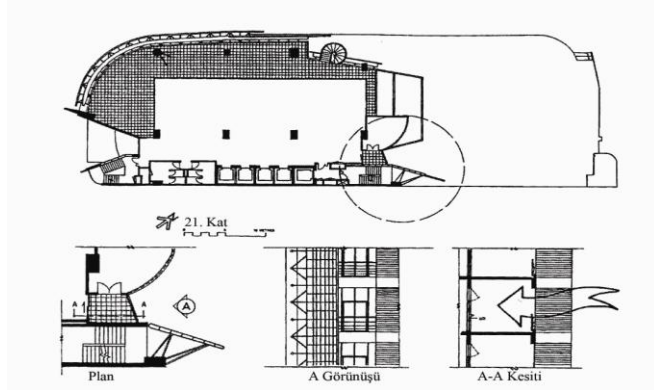
7.2.1.3 Çift Katmanlı Sistem

Günümüzde yüksek yapılarda çok sık kullanılan sistemdir. İkinci bir cephe sisteminin, ana cephenin dışına, arada 500-600 mm boşluk kalacak şekilde yapılmasıyla oluşur. Bu sistemin yukarıda bahsedilen sistemlerden farkı iç yüzeydeki camların açılabilir olmasıdır. Dıştaki cephe camları; güvenlik camları, lamine cam ya da ısı yalıtım camı gibi farklı özelliklerde olabilir. Bu dış kabuk yüksek yapılarda rüzgar hızını azaltarak ya da keserek iç kabuktaki camların açılmasına olanak sağlamaktadır. Bu sistemle yapılmış yapılara örnek olarak *RWE Building* gösterilebilir (Çizelge 7.2).

7.3 Rüzgar Duvarları

Rüzgar duvarı uygulaması yapının hakim rüzgarın en etkin olduğu açıklığına rüzgarı toplayan ve yapı içine yönlendiren bir yüzey oluşturan sistemdir. Rüzgar duvarları ile ilgili olumsuz olabilecek olan tek durum gün ışığını kesmeleridir. Bununla ilgili şeffaf elemanlar kullanarak hem rüzgardan hem de doğal gün ışığından yararlanılabilir [156],

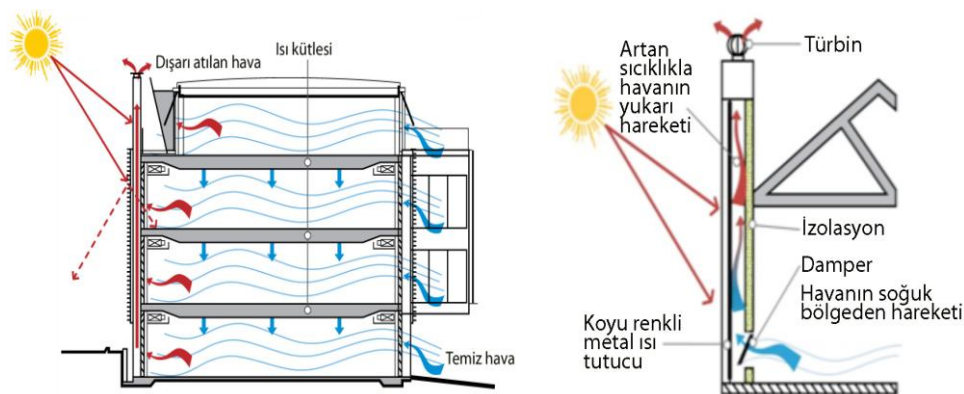
[161]. Rüzgar duvarı uygulamasına Ken Yeang'ın tasarladığı *Manera Umno* Binası örnek olarak gösterilebilir (Şekil 7.19).



Şekil 7.19 Ken Yeang'ın *Manera Umno* Binası'nda kullandığı rüzgar duvarı ve detayları [156]


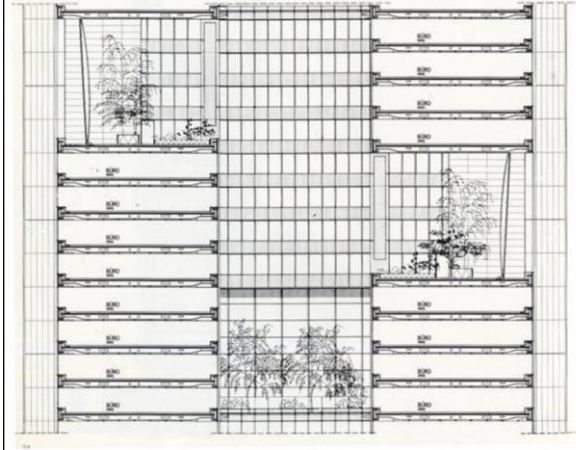
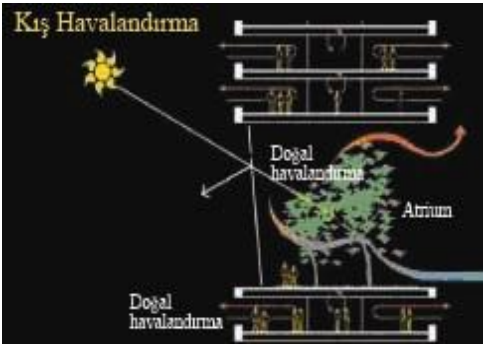
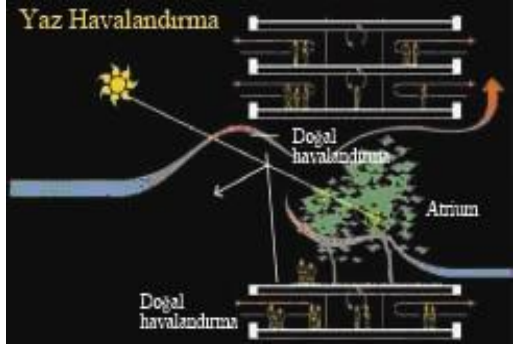
7.4 Isı Bacaları

Isı bacaları; havanın doğru yönlendirme ile toplandığı, bacanın alt ve üst kotlarında basınç ve ısı farkları oluşturarak hava sirkülasyonun sağlandığı doğal havalandırma yöntemidir. Isı bacaları dış ortam ısısının iç ortama göre daha serin olduğu durumlarda verimli olarak kullanılır. Bacanın üst noktalarının cam ya da koyu renkli ısı emici malzeme ile kaplanması, bacadan hava akışının verimli olarak yapılabilmesi için alınacak önlemlerden biridir (Şekil 7.20).

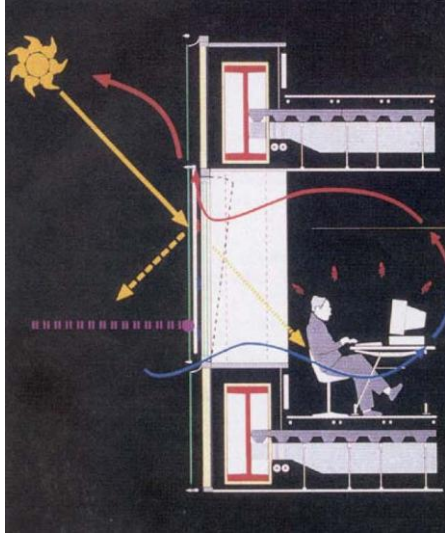


Şekil 7.20 Isı bacaları ile yapılan doğal havalandırma ilkelerini ve hava hareketini gösteren şematik çizim [158]

Çizelge 7.1 Commerz Bank binası örneği *

Commerz Bank, Almanya	
	<p>Kat Sayısı: 56</p> <p>Yapı Yüksekliği: 259 m</p> <p>Bitiş Tarihi: 1997</p> <p>Norman Foster imzalı bu yapı, üçgen bir formla yükselmekte, üçgenin kenarları 4 katta bir tekrarlanan toplam 9 adet iç bahçe oluşturmaktadır. İç bahçelerin cephesi, cam ile kapatılarak, yapıda sera etkisiyle güneş ısısından faydalanılmakta ve gün ışığının ofis bölümlerine tamamen ulaşması sağlanmaktadır.</p> <p>Yapının merkezinde yer alan 160 m yüksekliğinde düşey atrium, yapıyı ayrı parçalara bölmektedir. Düşey atriumun da üzerinin şeffaf olması nedeni ile, gün ışığı yapıya tamamen ulaşmakta, yaz aylarında üstü açılabilmekte ve yapının havalandırması buradan sağlanmaktadır.</p>
	
	

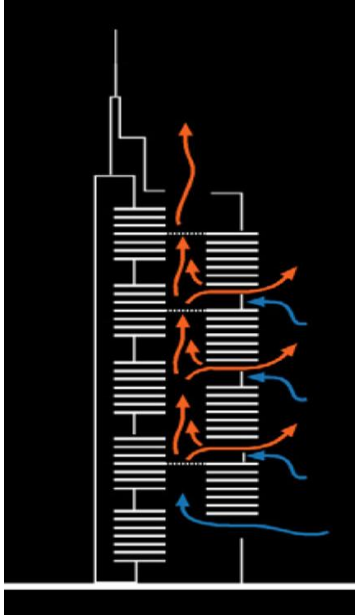
* Bu çizelge Kaynak [166-170] değerlendirilerek oluşturulmuştur.



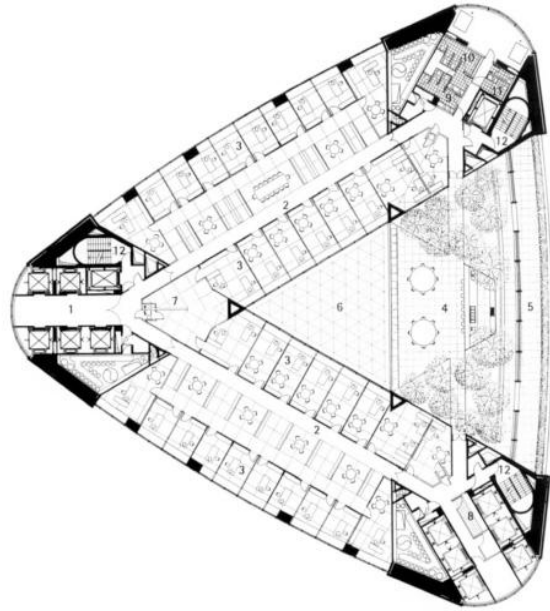
Çift cepheden hava sirkülasyonunu gösteren şematik çizim

Yapıda doğal havalandırmaya ek olarak, mekanik sistemler de kullanılmaktadır. Ortam ısısının fazla soğuk olduğu, hava şartlarının uygun olmadığı durumlarda camlar açılmadığında, mekanik sistemler kullanılmaktadır.

Yapının cephe sistemi çift cidarlıdır. İçte yer alan pencereler açılabilen ve ofislerin havalandırması doğrudan cepheden yapılırken, doğal aydınlatma da sağlanabilmektedir.



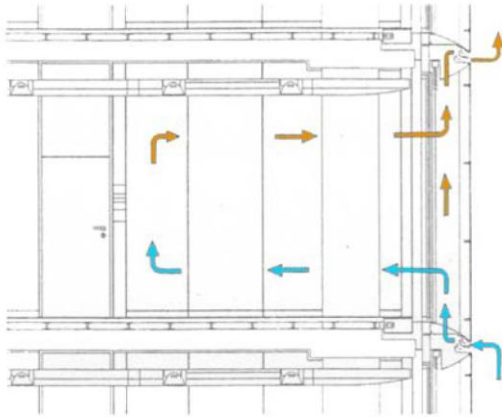
Düşey atrium ve yatay kış bahçelerinden hava sirkülasyonunu gösteren şematik çizim



Commerzbank Binası plan şeması

Çizelge 7.2 RWE Tower Örneği *

RWE Tower, Almanya



Balık ağı formundaki cephe profillerinden geçen havanın dağıtılmasını gösteren şematik çizim

Kat sayısı: 31

Yapı yüksekliği: 120 m

Bitiş tarihi: 1996

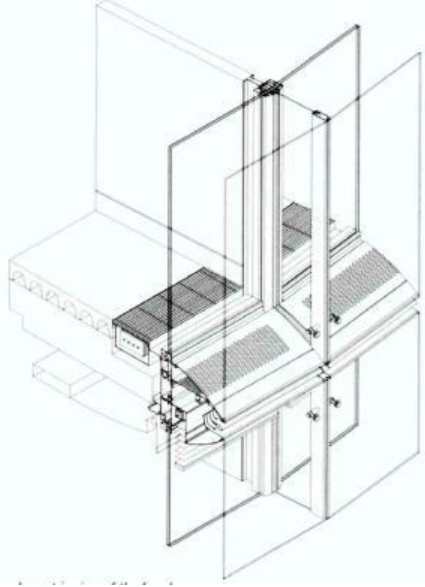
Çift cidarlı cephe sistemli binada, 3 katmanlı cam kullanılmış, böylelikle daha şeffaf ve gün ışığının kullanımı optimum olabilmıştır. Cephede yer alan cam modüller 2 m x 3.6 m boyutlarındadır. İki cep-he arasında 50 cm olan boşluk, yatay açılabilir (maksimum 15 cm) pencerelerle havalandırılmaktadır. Cepheler arasındaki boşlukta, 80 mm genişliğinde alüminyum şeritlerden oluşan kontrol edilebilir bir panjur sistemi yer almaktadır.

Yapının aerodinamik silindirik formu, rüzgar hızını arttırmakta, havanın düşey hareketi ve çapraz havalandırmayı kolaylaştırılmaktadır. Yapıya etkiyen hakim rüzgar hızı 4 m/sn olup; güney, güney batı ve batı yönlerinden gelmektedir.

Yapılan rüzgar testleri sonucunda, pozitif ve negatif basınç farkları çapraz havalandırmanın mümkün olduğu +1.0 ve -2.3 arasındadır.

Çapraz havalandırma yapılırken karşılıklı açılır kapılar ya da pencerelerden içeri giren rüzgarın hızından kaynaklı aerodinamik

* Bu çizelge kaynak [49], [168], [171] değerlendirilerek oluşturulmuştur.

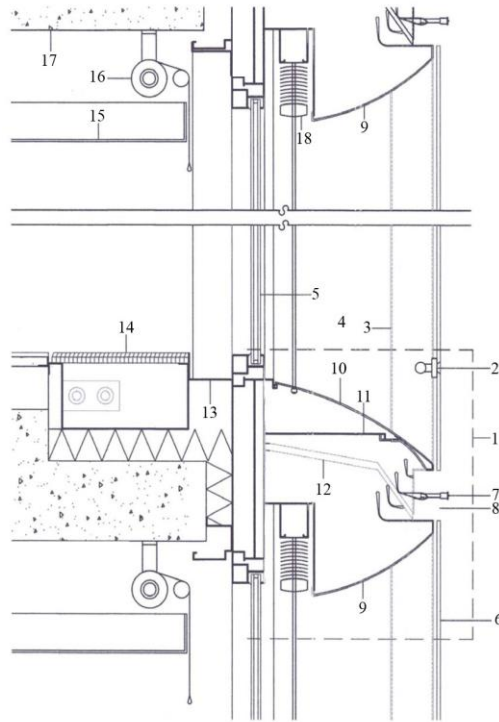


Çift cidarlı cephe modülü

gürültü oluşturmaması, kullanıcıların konforunu etkilememesi için kontrol sistemleri olarak limitatör (kapı/pencere açılmasını sınırlandıran sistemler) kullanılmıştır.

Açılan pencereden içeri gelen rüzgarın hızı limitlere ulaştığında, sistem uyarı vermektedir.

Cephe profilleri 'balık ağzı' şeklindedir. 16.kat üzerindeki profillerde boyut değişmektedir. Profil yüzeyi yer yer boşluklardan oluşmakta ve bu boşluklar, havanın iç mekanlara ya da dış ortama iletilmesinde doğal havalandırmaya katkı sağlamaktadır. Cephe profilleri aynı zamanda güneş ışınlarının içeri yansımaya da olanak sağlamaktadır.

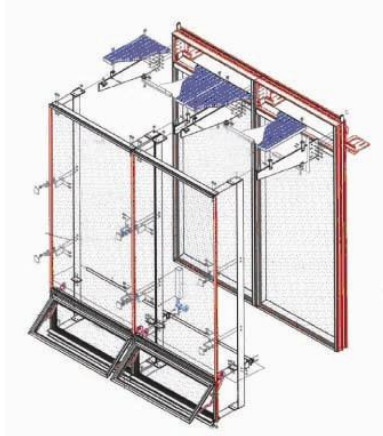


1. Balık-ağzı profil
2. Paslanmaz çelik sabitleme noktası
3. 50/ 120 alüminyum cephe taşıyıcı
4. Hava boşluğu
5. Çift ısı yalıtım camlı iç cephe
6. Dış cephe 10mm cam
7. Sabitleme
8. Yatay havalandırma
9. 4 mm alüminyum levha
10. 4 mm alüminyum levha
11. Temizlik için yürütme alanı
12. Bağlantı yeri
13. Döşeme kapama (alüminyum)
14. Konvektör
15. Perfore metal tavan kaplama
16. Perde
17. Betonarma döşeme
18. Alüminyum güneş kırıcı

Yapının cephe detayı

Çizelge 7.3 Hochtief Prizma Building örneği *

Hochtief Prizma Building



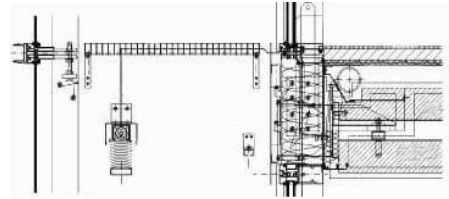
Yapının çift cephe modülü

Kat Sayısı: 11

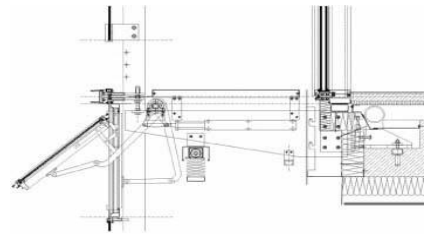
Yapı Yüksekliği: 44 m

Bitiş Tarihi: 2001

Yapının 160 m genişliğinde ve 41 m yüksekliğindeki cephelerinden, güneydoğu cephesi çift cephe sistemiyle yapılmıştır. Çift cephe sistemi, doğal havalandırmayı sağlarken ısıtma ve soğutma yüklerini de azaltmaktadır. Yapıda çift cephe sistemiyle birlikte HVAC sistem de temiz havayı ofis kısımlarına alırken kirli havayı da uzaklaştırmak için kullanılmaktadır. Yapının cephelerinde kullanıcı konforunu etkileyen; CO₂ miktarını, nemi, hava akımı, sıcaklığı kontrolünü sağlayan sensörlerle yerleştirilmiştir.



İki cephe arasındaki boşluğun sistem detayı



Çift cephe sistemi üstten açılabilen sistem motor sistemiyle kontrol edilmektedir

*Bu çizelge Kaynak [72] ve [90] değerlendirilerek oluşturulmuştur.

Çizelge 7.4 Menara Umno Binası örneği *

Menara Umno Binası, Malezya



Kat sayısı: 21

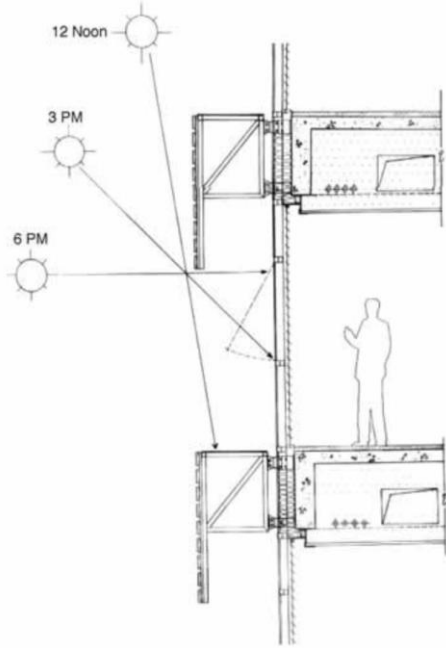
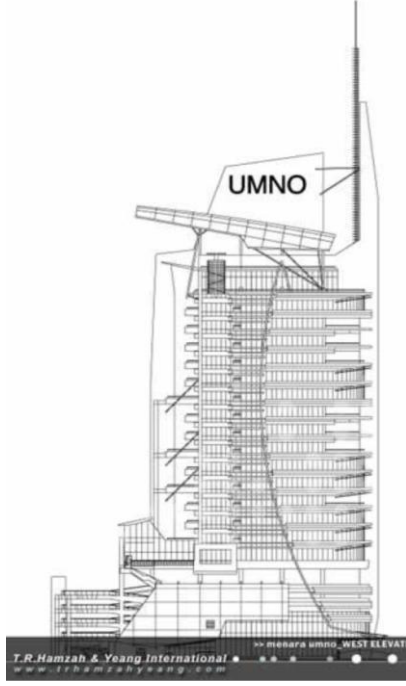
Yapı yüksekliği: 93.6 m

Bitiş Tarihi: 1999

21 katlı olan yapının batı cephesine güneşten korunmayı sağlamak amacıyla güneş kırıcılar yerleştirilmiştir. Doğu cephesi güneş ışığından korunmak amacıyla sağır duvar olarak bırakılmıştır. Batı cephesi alüminyum, cam, çelik gibi cephe elemanlarıyla oluşturulurken doğu cephesi sağır bırakılmıştır.

Bu yapı doğal havalandırma prensipleriyle tasarlanmış olup, değişken hava akımı ile doğal hava sirkülasyonu sağlanırken, iç mekânlarda ısı kontrolü ile kullanıcı konforu sağlanmaktadır. Ken Yeang, bölgesel hakim rüzgarları değerlendirerek rüzgarı, özel tasarlanmış bölgelerde tutup, belirlenen kanallarla yapı içine alabilmeye imkan tanıyan, düşeyde yükselen rüzgar duvarı önermiştir. Rüzgar duvarı, hakim rüzgarın etkili olduğu bölgeye yerleştirilerek, pencere ve balkon camlarının açılabilir olması sağlanmıştır.

* Bu çizelge Kaynak [75], [72] ve [153] değerlendirilerek oluşturulmuştur.



Güneş ışığının yapıya girişini gösteren şematik çizim

Yapı, açık ofis olarak tasarlanmıştır. Her çalışma mekanında camlar açılabilmekte, doğal ışıktan faydalanılabilmektedir. Ana açıklık, bölgesel rüzgar yönleri değerlendirilerek güneybatı-kuzeydoğu kesitlerine yerleştirilerek çapraz havalandırma sağlanmıştır. Bu yapı, rüzgar duvarı prensiplerinin kullanıldığı ilk yüksek yapıdır.

Bu yapı için enerji tüketim değerleri:

Soğutma yükleri 6 000 773 BTU *(500 RT)

Klima sisteminde harcanan enerji yıllık 126 kWh/m²

Bir yılda toplam harcanan enerji 244 kWh/m²

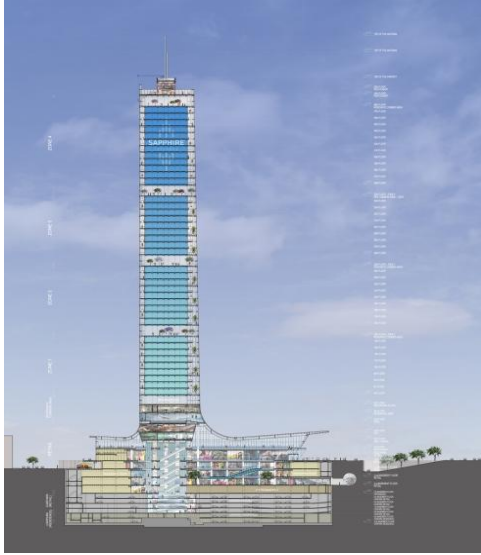
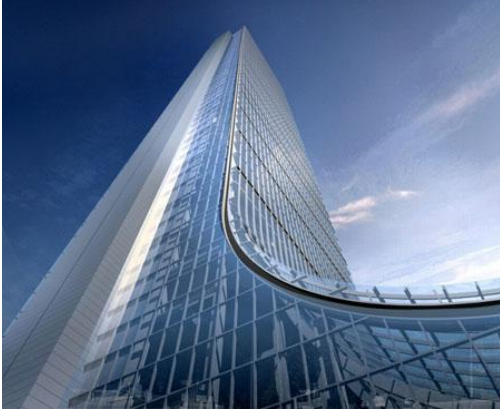
Doğal havalandırma kullanıldığında bir yılda harcanan enerji (klimasız)118 kWh/m²



* BTU (British Thermal Unit) soğutma enerjisi birimidir. 1 BTU =0.000293 kWh' dir.

Çizelge 7.5 İstanbul Sapphire binası örneği*

Sapphire Binası, İstanbul



Kat Sayısı: 64

Yapı yüksekliği: 261 m

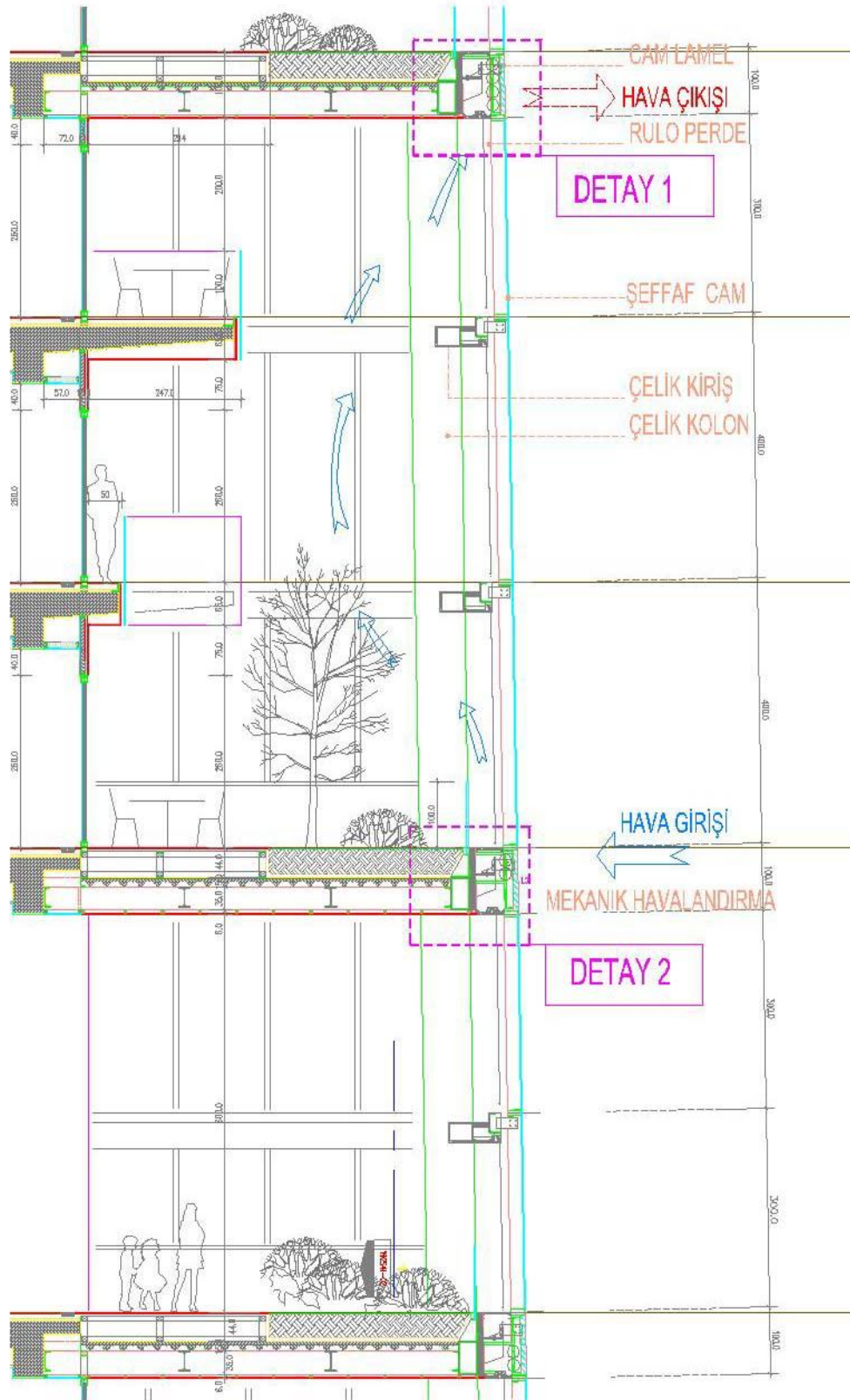
Bitiş Tarihi: 2010

Avrupa ve İstanbul'un en yüksek yapısı olan Sapphire binasının cephesi tamamen camdır. Çift cephe sistemiyle doğal havalandırma sağlanabilmektedir. Her 3 katta bir, gök-bahçe yapılmış olup, hava sirkülasyonu bu alanlarda mekanik sistemlerle birlikte sağlanmaktadır. Taze hava, giriş ve cephenin birleştiği, spandrel alanlara yerleştirilen kontrol edilebilir menfezler sayesinde yapıya alınarak 3 kat boyunca dağıtılmakta, ısınarak yükselen kirli hava aynı yöntemle dışarı atılmaktadır.

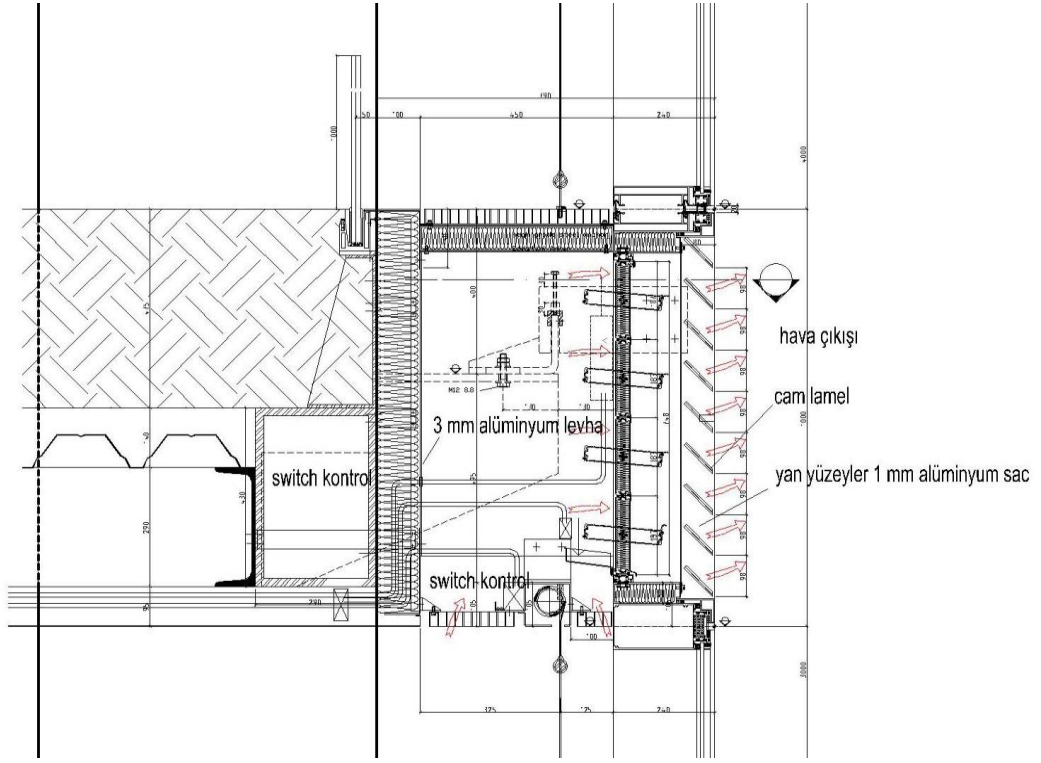
Kullanıcılara, bir kulede yaşamalarına rağmen pencere, balkon ve bahçe kullanımı sağlayarak doğal havalandırılan mekanlar yaratılmış, şeffaf cam kullanımı ile manzaranın her yönden algılanması sağlanmıştır.

Yapı cephesinin aşağı doğru eğriselleşen formu alt kata doğru şeffaf bir saçak oluştururken, bu kotta yer alan alışveriş merkezinin tamamen gün ışığından faydalanması sağlanmıştır. Yapıda çift cephe sistemi ile %25 enerji tasarrufu sağlamaktadır.

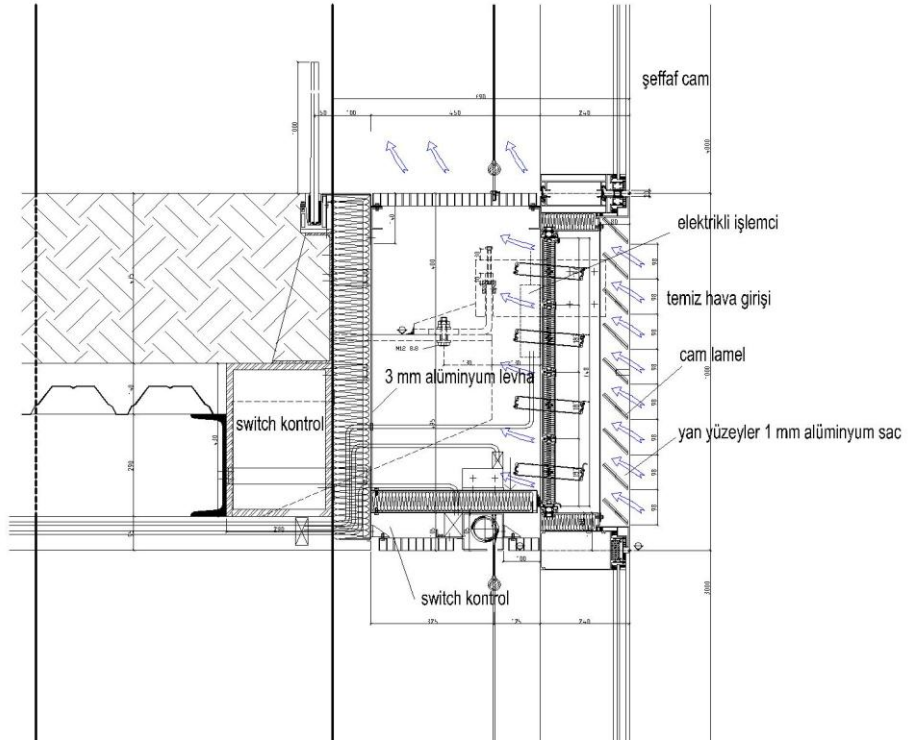
* Biskon Yapı' dan alınan uygulama detaylarıyla oluşturulmuştur.



Sapphire Binası, her 3 katta bir yapılan gökbağçe ve doğal havalandırılmanın sağlandığı bölgenin sistem kesiti



Detay 1 Kirlenmiş havanın mekanik sistem yardımı ile cepheden dışarı alınması



Detay 2 Taze havanın mekanik sistem yardımı ile cepheden yapı içine alınması

YÜKSEK YAPILARDA CEPHE SİSTEMLERİ

Yüksek yapılarda cephe sistemi üç şekilde oluşturulabilir [5].

- Kolon ve kirişlerden oluşan taşıyıcı sistemin arasında kalan cephe boşluklarını panellerle kapatmak
- Tüm yapıyı taşıyıcı sistemden bağımsız olarak dıştan örtmek
- Dıştaki taşıyıcı sistem elemanlarını cephe sistemi olarak kullanmak

Giydirme cephe, iç mekan bitişleri hariç, tüm dış duvar sistemini kapsamaktadır. Genellikle zeminden çatıya kadar alüminyum çerçeveli, konstrüksiyonlu, vizyon ve spandrel panelden oluşan bir sistemdir [172].

Metalurji alanındaki gelişmeler ile yapı dış kabuğunu oluşturan bileşenlerden beklenen çevresel faktörlerin kontrol altına alınıp, yapı içinde gerekli yaşam konforunun en iyi şekilde yaratılmasıdır.

Bunun için yapı kabuğunda [173],

- Her türlü iklim koşullarına karşı gerekli fiziksel ortamın iç mekanda sağlanması,
- Isı transferine karşı yalıtım sağlayarak ısıtma giderlerinden, güneş radyasyon ısısına karşı yalıtım sağlayarak soğutma giderlerinden tasarruf sağlanması,
- Kullanıcı isteğine bağlı olarak görüntü kontrolünün sağlanması, mekan kullanımına göre istenilen yerde mahremiyet sağlanması,

- Binanın her türlü saldırı ya da hırsızlığa karşı güvenli olması,
- Gürültü geçirgenliğinin denetlenmesi gerekmektedir.

Cam ve alüminyumdan ya da farklı malzemelerden oluşan cephe sistemi rüzgar ve deprem yüküne dayanıklı, hava sızdırmaz, su buharını kontrol eden, yağmur sızıntısını engelleyen, boşluk ya da yüzeyde oluşabilecek yoğuşmayı engelleyen, aşırı ısı kaybı ve kazancını sınırlandıracak şekilde tasarlanmalıdır.

Giydirme cephe sistemi üretimi projelendirme, testler ve ölçümler, uygulama gibi üç aşamadan oluşur. Yapılan testler, yangın dayanımı, rüzgar yükü, su geçirimsizlik, hava geçirimsizlik, U değeri gibi bilgilerin elde edilmesi ve sistemin kullanılabilirliği açısından önemlidir. Bu testler genellikle yurtdışında tarafsız test merkezleri tarafından yapılmakta ve belgelenmektedir.

Türkiye de henüz cephe sistemleriyle ilgili standartlar mevcut değildir fakat dünyada kullanılan ASTM (American Society For Testing and Materials), BS İngiliz Standartları ve DIN normlarına uygun yapılabilmektedir. Bu normlara göre yapılan testler [174], [175]:

- Hava infiltrasyon deneyi
- Su geçirimsizlik deneyi
- Dinamik su basınç değeri
- Rüzgar dayanım değeri
- Strüktürel dayanım deneyi

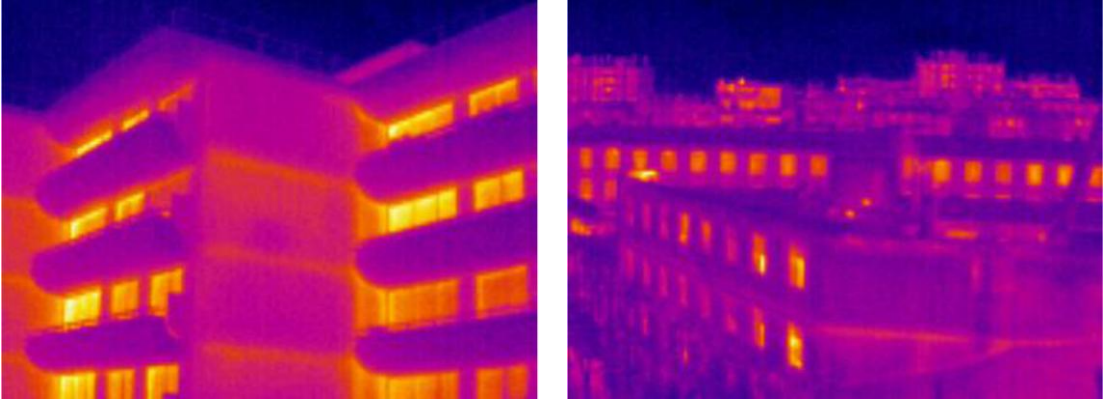
8.1 Isı yalıtımı ve güneş kontrolü

Isı yalıtımının sağlanması, iletim, tasınım ve ısınım yolu ile transfer edilen ısı miktarının azaltılması anlamına gelmektedir. Kapı, pencere ve giydirme cephelerden kaynaklanan ısı transferinde ayrıca infiltrasyon (içeriden dışarıya hava akışı) ve exfiltrasyon (dışarıdan içeri hava akışı) yolu ile ısı transferi de önem taşımaktadır [176].

Bir cephe sisteminin ısı yalıtım değerini ölçmek ve karşılaştırmak için ısı transferinin ölçüsü olan ısı geçirim katsayısı (U) dikkate alınır. Bu değer ısı transferinin ölçüsüdür.

Enerji tüketimini, standart doğramalara ($U=5.2 \text{ W/ m}^2\text{K}$) kıyasla, % 70 oranında azaltan, U değeri $\leq 1.7 \text{ W/ m}^2\text{K}$ veya geçirim değerleri $\leq 0.37 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ olan doğrama serileri, enerji tüketiminin azaltılmasına ciddi bir katkı sağlamaktadır. Yapılardaki ısı kayıpları, büyük ölçüde cam ve doğrama yüzeylerinde gerçekleşmektedir (Şekil 8.1). Isı yalıtımlı cam ve ısı yalıtımlı alüminyum profillerden oluşan doğrama sistemlerinin, binalarda kullanımı ile enerji tüketimi kaynaklı çevresel zarar büyük ölçüde azaltılabilmektedir [176](Şekil 8.2).

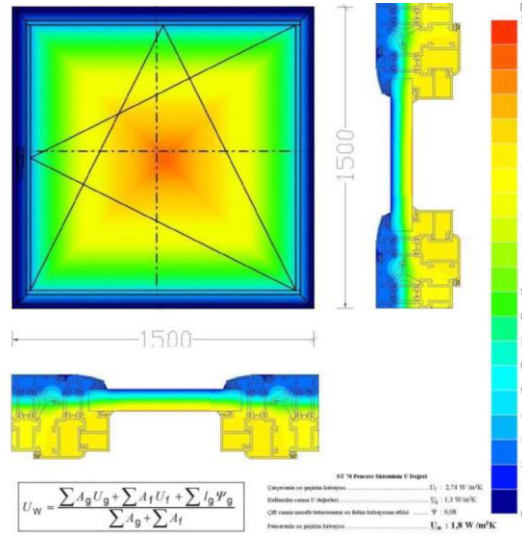
"Yüksek Oranda Cam İçeren Yapılar ile İlgili Özel Hüküm"; ısı kaybeden, düşey dış yüzeylerinin toplam alanının % 60'ı ve üzerindeki oranlarda camlama yapılan binalarda, pencere sisteminin ısı geçirgenlik katsayısının (U_p) $2.1 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ * olacak şekilde tasarlanması ve diğer ısı kaybeden bölümlerinin ısı geçirgenlik katsayılarının tavsiye edilen U değerlerinden % 25 daha küçük olmasının sağlanması durumunda, bu binalar standarda uygun olarak kabul edilir.



Şekil 8.1 Fransa'da termal kameralarla çekilen bu görüntüler ısı kayıplarının en fazla pencere sistemlerinde olduğunu göstermektedir **

* $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ısı yalıtım değeridir. Paralel iki yüzeyin sıcaklıkları arasındaki fark $1 \text{ }^\circ\text{C}$ olduğund, birim zamanda (1 saat) birim alan (1 m^2) ve bu alana dik yöndeki birim kalınlıktan (1 m) geçen ısı miktarıdır.

** Çuhadaroğlu Alüminyum firmasından edinilmiştir.



Şekil 8.2 Isı yalıtımlı doğrama sistemi *

Yapılarda ısı kaybı ve yüksek oranda enerji kaybının en fazla olduğu yerler, pencere ve kapı boşluklarıdır. 1998 DİE (Devlet İstatistik Enstitüsü) verilerine göre Türkiye’deki konut sayıları dikkate alındığında, sadece konut pencerelerinden kaybedilen ısının parasal karşılığı ~500 000 000 TL’dir [176].

8.2 Su geçirimsizlik

Bir cephe sisteminden beklenen, kullanıcıların dış koşullardan etkilenmemesi ve konfor şartlarının sağlanmasıdır. Giydirme cephe sistemini oluşturan tüm bileşenlerin (cam, fitil, silikon, izolasyon) tek başlarına su geçirimsizlik özelliği vardır ancak bunların sistem bütününde su geçirimsiz olmaları önemlidir. Bu da doğru detaylandırma ve uygulama ile gerçekleşebilir [172]. Sistem olarak cephenin su geçirimsizliğini ölçen testler yapılır ve sistemin beklenen konforu sağlaması için bu testlerden geçmesi gereklidir. Bu testler, genellikle, yurtdışında tarafsız test merkezleri tarafından yapılmakta ve belgelenmektedir.

Giydirme cephe su sızdırma problemlerinin belirlenmesi için yapılan analizler üç ana sonuç göstermiştir [172]:

1. Duvar panel bağlantıları boyunca doğru olmayan sızdırmazlık,
 - Kaplama malzemesinin düşeyde sızdırmazlığı,

* Çuhadaroğlu Alüminyum firmasından edinilmiştir.

- Panelden panele bağlantı sızdırmazlığı, yatayda sızdırmazlık,
 - Panelden destek elemanına olan sızdırmazlık,
2. Farklı hava basınçları,
 3. Su

Katsayısı arttıkça yapı yüksekliğine bağlı olarak iklimik özellikler de değişmektedir. Basıncın artması suyun iç mekanlara alınmasına neden olabilmektedir. Giydirme cepheler farklı malzemelerden oluşan sistemlerdir ve su en fazla bu birleşim noktalarından ilerlemektedir.

8.3 Hava geçirimsizlik

Havanın süzülmesi ya da sızması giydirme cephe aracılığı ile dışarıdan bina içine havanın geçmesidir. Yapılardaki enerji kaybına neden olan hava geçirimsizliği* EN 12207'ye göre ölçülür**. Bitmiş binanın tümünde hava sızdırma $10 \text{ m}^3/\text{saat}/\text{m}^2$ den az olmalıdır [175]. Hava yatay ve düşey profiller arasındaki hatalı bağlantılardan ya da fitillerden süzülür. Hava sızma oranı proje alanının her ünitesinde $\text{m}^3/\text{saat}/\text{m}^2$ olarak ifade edilir.

Güneş enerjisi geçirgenliği, kullanılan cama göre değişkenlik gösterirken, hava geçirimsizlik cephe sistemine bağlı olarak değişiklik gösterir.

Sistemin hava geçirgenlik değerlerinin düşük olması, hava sızdırmazlığının daha az olmasını dolayısıyla, kışın sıcak iç ortam havasının dışarı kaçışının azalmasını, yazın ise sıcak dış ortam havasının içeri girişinin azalmasını sağlayacaktır.

8.4 Yoğuşma Kontrolü

Gaz halinde bulunan su (buhar), yoğun ortamdan daha düşük ortama doğru sürekli geçmek ister. Su buharı hareket halindeyken malzemeye zarar vermesi için yoğuşmanın

* Toplam hava geçirgenliği (Q), pencerede oluşan basınç farkı (p)' nin yarattığı, kasa ve kanat arasından geçen hava akımını anlatır. Birimi m^3/saat 'tir.

** Ölçme prEN1206' ya göre yapılır. Test için pencere bir odacığa monte edilir. Dış ve iç basınç farkı oluşturmak için kompresör ile odacık içine hava basılır. Bu şekilde pencerenin her iki yanında farklı basınçlar elde edilecektir. Bir cihaz ile farklı basınç değerlerinde kasa ve kanat arasından geçen, yani pencereden kaçan hava miktarı ölçülür.

olması gerekir, bunu önlemek için cephe detaylarında buhar bariyeri oluşturmak gereklidir.

Bütil sızdırmaz ile korunan yalıtımlı cam ünitelerinin iç yüzeylerindeki silikon malzeme hariç giydirme cephe sistemi, aynı zamanda yüzey yoğuşmasına dayanıklı şekilde tasarlanmalıdır. Sistemi oluşturan bağlantılar ve bağlantı elemanları ısı köprüsü oluşturabilir. Kışın alüminyum giydirme cephe sisteminin yoğuşma dayanımı, iç mekandaki sıcaklık koşulları ve bağıl nemi ile dış ortam sıcaklığı tarafından, yazın ise dış ortam sıcaklığı ve bağıl nemi ile iç ortam sıcaklığı tarafından yönlendirilmelidir [172] .

Çizelge 8.1 Marina Bay Sands Binası ve cephe detayları*



Singapur-Marina Bay Sands Binası

- Toplam alan 25 000 m²
- 3 adet 54 katlı otel bloklarından oluşur
- Bu üç kuleyi 200 m yükseklikte birbirine bağlayan 8000 m²'lik bir platform 'Gökyüzü Bahçesi' olarak tasarlanmıştır.

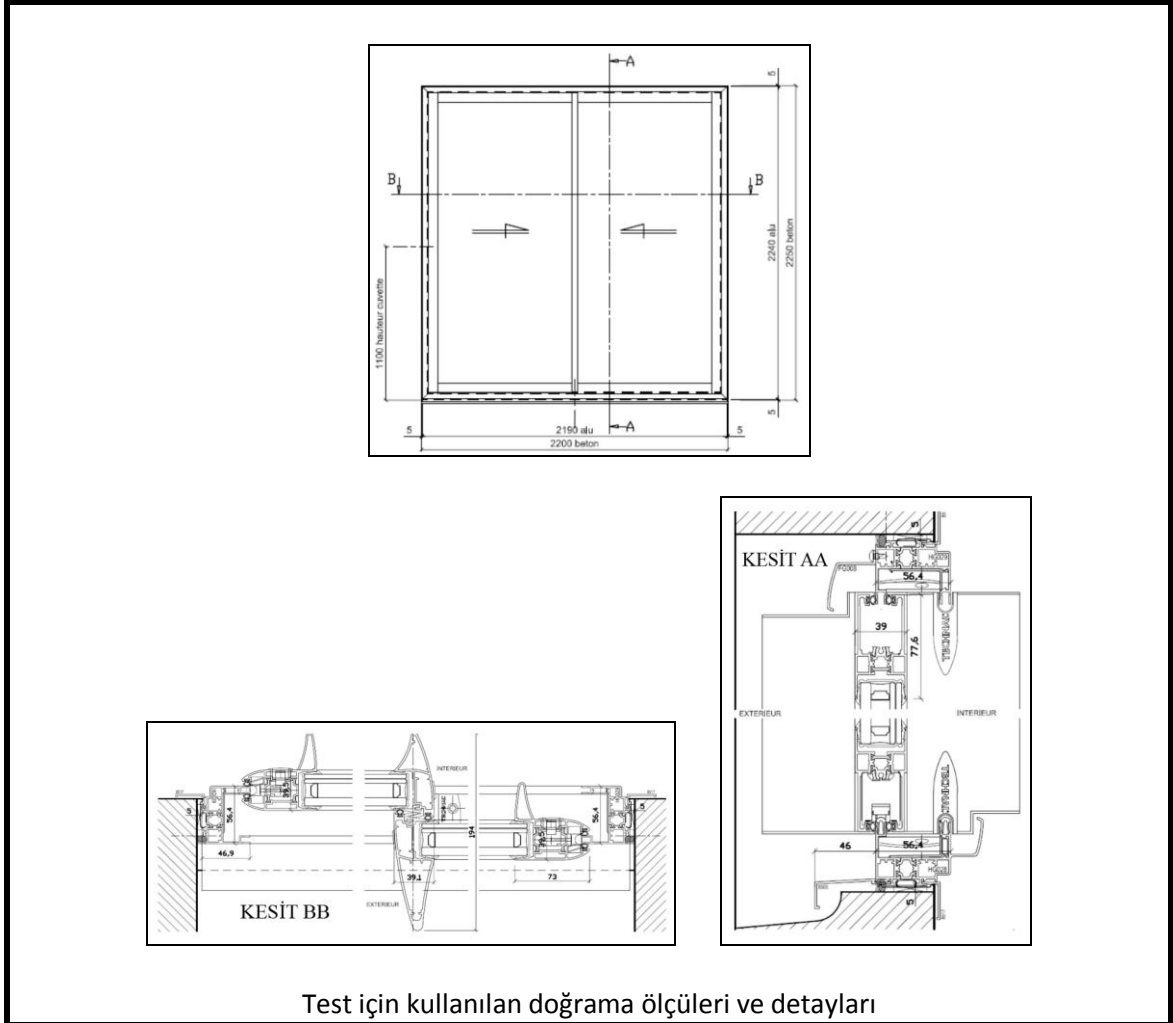
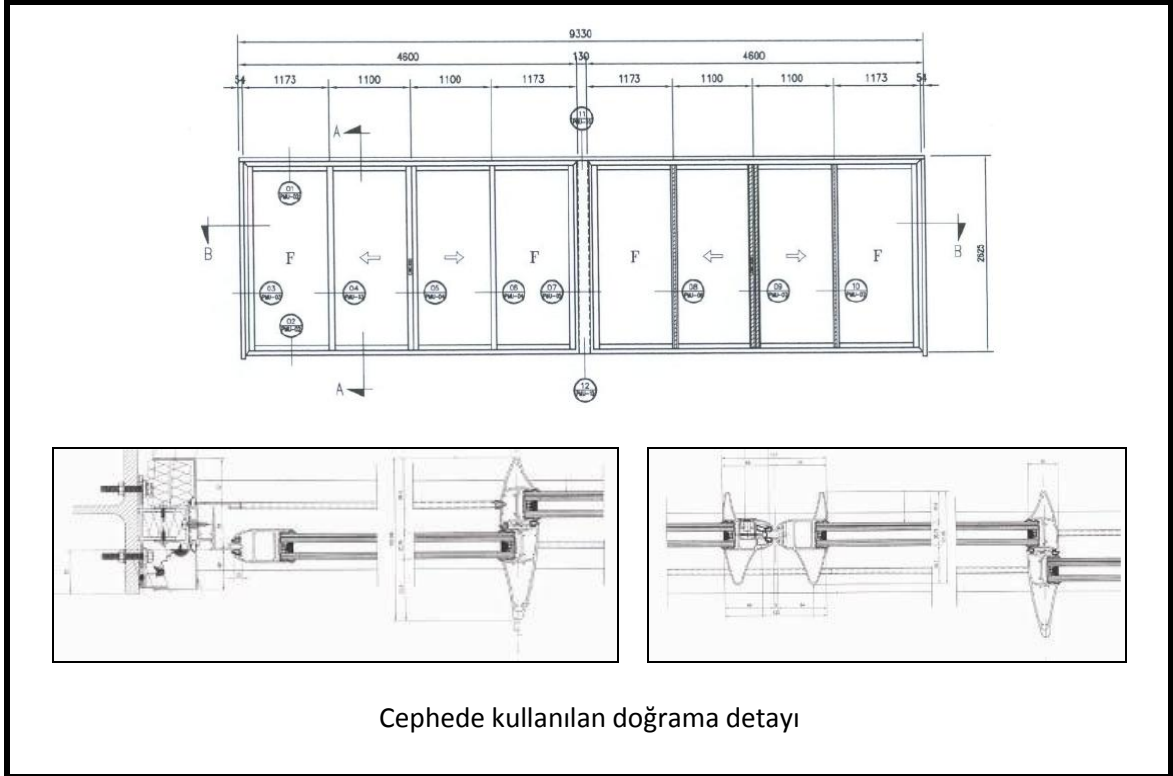


- Yapının bir cephesindeki doğramalar sabit diğer cephesinde ise sürgülü açılabilir doğramalar kullanılmıştır.
- Doğramalarda bölgenin özelliklerinden dolayı ısı yalıtımı gerekli görülmemiştir.

Cephe için yapılan testler

- 150 Pa basınçta hava geçirim 4 m³/h
- 1200 Pa basınca kadar su geçirimsiz
- Çelik takviyesi olmadan 2250 Pa rüzgar basıncına dayanıklı
- Çelik takviyeli doğramalar 3000 Pa rüzgar basıncına dayanıklı
- Cam kalınlığı: 8 mm ısı yalıtım camı+ 12 mm hava boşluk+8,76 mm şeffaf lamine cam

* Hydro Building Systems International ve Akyapı İnşaat firmalarından alınan bilgilerle oluşturulmuştur.



YÜKSEK YAPILAR VE CAM

9.1 Camın Tanımı

Cam, aşırı soğumuş alkali ve toprak alkali metal oksitleriyle, diğer bazı metal oksitlerin çözülmesinden oluşan bir sıvı olup, ana maddesi (SiO_2) silistir [177]. Cam, normal sıcaklıklarda kristalleşme göstermeden hızla katılaşır, katı maddelerin mekanik özelliklerini de taşıyabilen bir silikat sistemdir.

9.2 Camın Tarihçesi

Genç jeolojik zamanlarda dünyanın çeşitli yerlerinde volkanik patlamalar sonucunda oluşan lavların kristalleşmeden aniden soğumasıyla oluşan ilk obsidyen ya da volkanik camın tarihi 4000 yıl öncesine dayanmaktadır. İnsanoğlu doğal camı işleyerek silah, ok ucu, silah süsleme ve mücevher olarak kullanmıştır.

Romalı bir tarihçi olan Pliny, camı ilk olarak Finikeli denizcilerin bulduğuna işaret eder.*

Arkeolojik kazılarda bulunabilen en eski cam parçaları **M.Ö 3500**'lerde Mısır ve Mezopotamya'da bulunmuştur. Üzerinde tarihi yazılı en eski cam, **M.Ö 1551-1527** yıllarında yaşayan Firavun Amen Hatep'e ait bir boncuktur.

M.Ö 9-7. yüzyıllarda cam işçiliği tekrar artış göstermiş, yarı küresel kalıba döküm cam kaseler görünmeye başlar.

* Hikayeye göre denizciler, Suriye'nin Prolemais bölgesindeki sahilde bir kamp kurarlar ve ateş yakarak kaplarını, aynı zamanda yükleri olan soda blokları üzerine koyarlar. Ertesi gün uyandıklarında, ateşin sıcaklığından dolayı kum ve sodanın camı oluşturduğunu görürler.

M.Ö 6-1 yy döneminde üretilmiş cam eserler arasında iç kalıplama yöntemi ile kokulu yağları, parfümleri vb. koymak için üretilmiş kaplar çoğunluktadır.

M.Ö 5. yy'da balmumu tekniği kullanılan yeni bir cam endüstrisi geliştirilmiştir. Bu dönemde, modellerini madeni eşyalarından esinlenerek taklit eden; değişik biçimli eserler, lüks sofrta takımları, süs ve takı gibi sanatsal değeri yüksek olan eserlerle karşılaşmaktadır.

Camın gelişimi, üfleme tekniğinin kullanılmasıyla başlar, tarihçiler bu tekniğin **M.Ö 1.** yüzyılda Fenikeliler tarafından kullanıldığını söylemektedir.

M.Ö 1-M.S 4.yy döneminde cam endüstrisi, Roma İmparatorluğu sınırları içinde büyük gelişim göstermiştir. Camı, yalnızca gündelik eşyaların üretiminde değil, aynı zamanda mozaik, pano ve dış cephe kaplaması gibi dekoratif amaçlarla da kullanmışlardır. Camı, örneğin pencere camı olarak veya arkasını metal folyo (altın veya gümüş) ile sırlayıp aksedici bir malzeme olarak da ilk kullanan yine Romalılar'dır. Üretilen camlar, bu dönemde Mısır'dan Avrupa'ya ihraç edilmiştir. Romalılar'ın geliştirdiği üretim teknikleri, Ortaçağ'da Venedikliler tarafından bir sanat haline getirilmiş ve yine Venedikliler tarafından 13. yüzyılda ayna yapımı keşfedilmiştir.

17. yy'da üfleme yöntemiyle elde edilen cam camlar yassılaştırılarak düz cam üretilmiştir.

18 ve 19. yy'da Sanayi Devrimi ile birlikte camın, dökme ve dövme demirin yapılarda kullanılmaya başlanmasıyla, geniş cam yüzeyli yapılar inşa edilmeye başlamıştır.

1870-1880'lerde Chicago'daki yapılarda büyük cam cepheler kullanılmıştır. William Jenney'in tasarladığı Leither Building bu dönem yapılarına örnek olarak verilebilir. Yapı, 7 katlı ofis binasıdır ve mekana fazla ışık alabilecek şekilde cephesinde büyük camlar kullanılmıştır (Şekil 9.1).

1880'lerde asansörün yapılarda kullanılmaya başlamasıyla birlikte kat yükseklikleri artmış, yüksek yapılar ilk örneklerini vermeye başlamıştır. Çelik ve camın mimarideki ilk örneği, J. Paxton'un tasarımı *Crystal Palace* (1851) olmuştur (Şekil 9.2). 33 m yüksekliğindeki yapıda Chance firmasının 7.3 m x 1.25 m boyutlarındaki cam panelleri kullanılmıştır.



Şekil 9.1 1877'da William Jenney'in tasarladığı Leith Building [178]



Şekil 9.2 Crystal Palace, 1851 [179]

Fransız ve İngilizler **19. yy** ortalarında büyük boyutlu cilalı dökme plak cam üretmeye başladılar.

1852'de J.Paxton bu defa, Buckinghamshire'de *Mentmore Tower*'ın zemin döşemesinde büyük cam levhalar kullandı (Şekil 9.3)



Şekil 9.3 Mentmore Tower [180]

Özellikle dükkanların büyük cephe boşluklarında cam kullanma fikri ana caddede dükkanları olanlar için çok cazip hale geldi. Birmingham'da 6m yüksekliğinde, 2.44 m x 1.22 m boyutlarında cam levhalar yaygın olarak kullanılmaya başladı [181].

19. yy'da üç boyutlu üflemler levha yapım yöntemiyle düz cam üretimi ve kullanımı, seri imalat ile yaygınlaşmıştır. İngiltere'de, Chance&Hartleys, 1832'de Avrupa'ya ihraç etmek için büyük boyutlu üflemler levha üretmeye başladı.

20. yüzyılda cam, hem estetik açıdan hem de mimarlara sağladığı tasarım özgürlüğü açısından tercih edilen bir malzeme olmuştur. Teknolojik gelişmeler cam sektörünü de etkilemiş, artık ısı kayıpları ve kazançlarını kontrol edebilen, istenilen konfor şartlarını sağlayabilen camlar yapılmaya başlanmıştır. Bu özellikler cam yüzeyine yapılan kaplamalar, cam kalınlıkları ve film tabakaları ile sağlanmaktadır. Camın yapıya tespit yöntemleri ve kimyasal yapıdaki gelişmeler de cam kullanımını arttırmıştır. Akıllı camlar, pasif ve aktif olarak yapılardaki enerji kazanç ve kayıplarını kontrol edebilen sistemler olarak önemli gelişmeler göstermiştir. Gün geçtikçe daha çok belirgin hale gelen sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir mimarlıktaki gelişmelerin cam sektörüne etkisi çok önemli gelişmelerdir.

1959 yılında Pilkington firması float teknolojisi kullanılmaya başlamış, böylelikle kaliteli düz cam üretiminde dünya standardı haline gelmiştir.

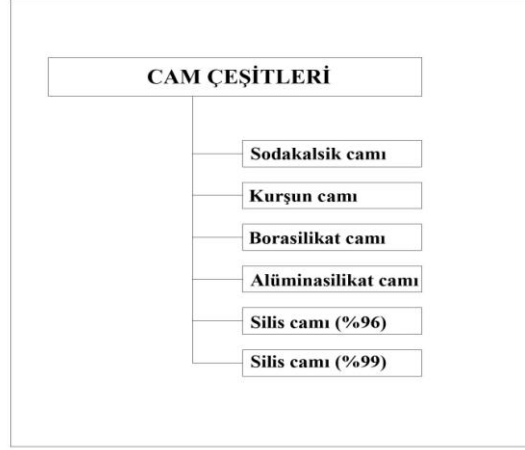
1963 yılında soğutma enerjisinden tasarruf etmek amacıyla reflektif kaplamalı güneş kontrol camlarının üretimi gerçekleştirildi.

1978'de camın ısı geçirgenlik değerini düşüren ilk düşük dayanımlı Low-e kaplamalı cam üretimi yapılabildi.

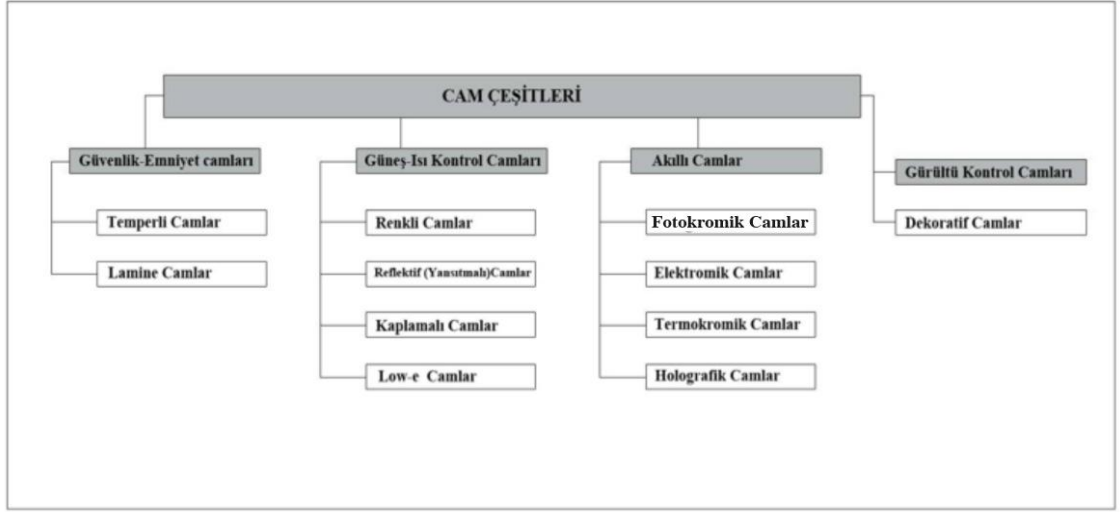
Cam, yapılarda yarattığı muhteşem görsel etkiyle beraber günümüz sorunlarına cevap verebilen yapı malzemesi olarak hala gelişim göstermektedir. Sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda üreticiler akıllı camlar olarak adlandırılan aktif ya da pasif olarak gerekli konfor şartlarını sağlayan camlar yapılarda kullanılabilir. Bu camlar üzerine düşen ısı, ışık miktarına göre renkleri, yansıtma ya da geçirgenlik özellikleri değişmekte ve ısı kayıp/ kazançlarını kontrol edebilmektedir.

9.3 Cam Çeşitleri

Camları sınıflandırılırken çeşitli kriterlere göre farklı tablolar elde etmek mümkündür. Camlar kullanım amaçları, üretim şekilleri ve kimyasal bileşimlerine göre üç farklı şekilde sınıflandırılabilir (Şekil 9.4 ve 9.5).



Şekil 9.4 Kimyasal bileşimlerine göre cam tipleri



Şekil 9.5 Kullanım amaçlarına göre cam tipleri

9.3.1 Üretim Şekline Göre Camlar

9.3.1.1 Levha Camlar

Binalarda kullanılan camların büyük bir kısmı levha camlarıdır. Levha camlar, doğrudan levha olarak üretilmiş olabileceği gibi, ikinci bir işleme tabii tutulması ile tabakalı ya da hava tabakalı türleri olabilir [176].

9.3.1.2 Çekme Camlar

Herhangi bir işleme tabii tutulmayan, erimiş cam hamurunun düşey olarak merdaneler arasından çekilmesi ile üretilen levha camlardır. Normal pencere camı olarak da bilinir, 2-7 m açıklıkta ve eşit kalınlıklarda üretilir [181].

9.3.1.3 Float Camlar

Cam hamurunun yatay olarak çekilmesi ile elde edilen tabakaların, eriyik haldeki kalay dolu ikinci bir havuz üzerinden yüzdürülerek geçirilmesi ile üretilen levha camlardır [181]. Yüzeyleri son derece düzgün, dalgasız ve parlaktır; herhangi bir parlatma vb. işleme gerek yoktur.

9.3.2 Kullanım Amaçlarına Göre Camlar

9.3.2.1 Güvenlik Camları

Bir camın güvenli olması can ve mal güvenliğini sağlamasıyla, kazalar veya saldırılar sonucu camdan beklenen gereksinimleri sağlamasıyla gerçekleşir. Kaza sonucu oluşabilecek cam kırılmaları veya yüksekte düşen cam parçacıklarının kesici, yaralayıcı etkisini azaltmak ya da saldırılar sonucu i mekanlara girişin önlenebilmesi amacı ile kullanılan güvenlik camları lamine ya da temperli camlardır.

Kullanım yerleri (şekil 9.6);

- Baş st camlamalar (işıklıklar gibi)
- Bitmiş döşeme kotundan 90 cm ykseklie kadar olan düşey camlamalar,
- Cam ve camlı kapılar,
- Trafiğin yoğun olduğu geçitler,
- Yaşlı ve çocukların topluca bulunduğu yerler,
- Özel cam uygulamaları

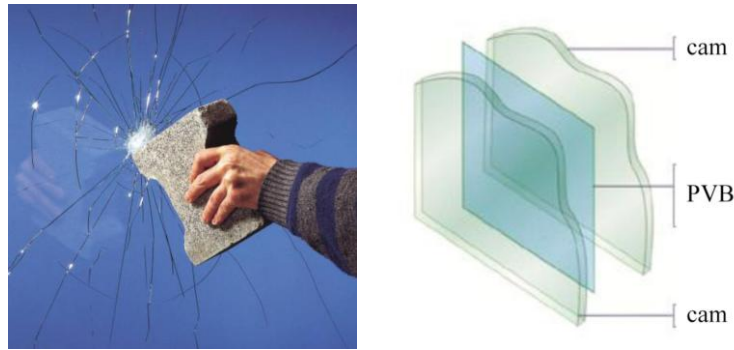


şekil 9.6 Güvenlik camlarının kullanımına örnek, vitrin camı ve otobüs durağı *

* Çuhadaroğlu Alüminyum firmasından edinilmiştir.

9.3.2.1.1 Lamine Cam

Lamine cam renkli veya renksiz özel bağlayıcı polivinil butiral (PVB) tabakalar yardımıyla iki veya daha fazla cam plakanın ısı ve basınç altında birleştirilmesi ile üretilir. Kırılma halinde parçaları yerinde tutarak yaralanma risklerini azaltır. Bu özelliği nedeniyle lamine güvenlik camı olarak kabul edilir. Lamine cam, bir taraftan diğer tarafa istenmeyen geçişleri önlemesi veya geciktirmesi açısından da doğru bir seçimdir. Laminasyon, eğimli veya başüstü camlamaların iç camları için standart ve tipik bir çözümdür. Kurşun geçirmez ve kurşuna dayanıklı camlar, PVB veya polikarbonat ara katmanlı laminasyonlu birleşimlerdir. Gerektiğinde cam plakalar temperli olarak da kullanılabilir (Şekil 9.7).



Şekil 9.7 Lamine cam, kırılma halinde parçaları yerinde tutarak yaralanma risklerini azaltır.*

9.3.2.1.2 Temperli Cam

Temperleme işlemi, yatay hat üzerinde camın dış yüzeylerine basınç gerilmesi, cam ortasına ise dolaylı bir çekme gerilmesi kazandıran ısıtma ve soğutma aşamalarını içerir. Temperli cam işlemsiz cama göre yaklaşık beş kat daha dayanıklı olup; kırıldığı zaman zar büyüklüğünde parçalara ayrılarak yaralanma riskini azalttığından güvenlik camı olarak kullanıma uygundur. Temper işleminden sonra camlara, kumlama hariç, herhangi bir kesim, delik delme, kenar ve yüzey işlemi yapılamaz.

9.3.2.2 Gürültü Kontrol Camı

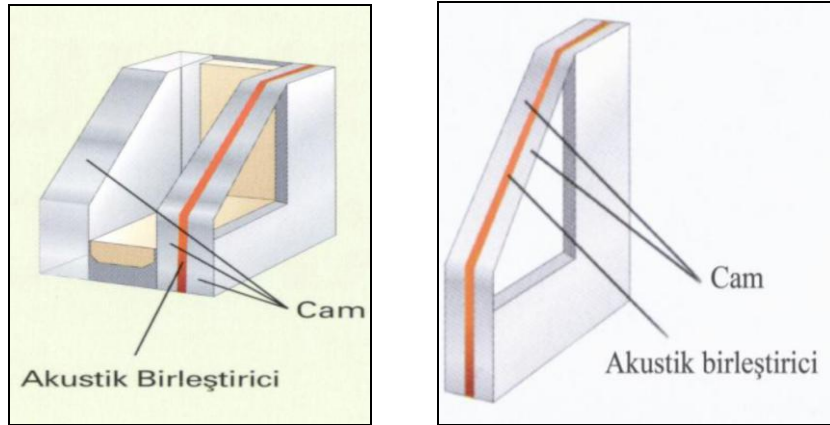
Gürültü kontrol camları istenmeyen, insan konforunu olumsuz etkileyen sesleri iç mekanlara almayan camlardır. Gürültü kontrolü için cam kalınlığını artırmak çözüm

* Şişecam Firmasından edinilmiştir.

olmaktadır (Çizelge 9.1). Bazı cam firmalarının ses yalıtımı için özel ürettiği akustik laminasyonlu cam; tek pano halinde kullanılabilceği gibi, yalıtım camı ünitelerinde de kullanılarak pencerelerin gürültü kontrol performansını artırır. Akustik laminasyonlu camlar, iki cam plakanın ses emici bağlayıcı bir tabaka ile ısı ve basınç altında birleştirilmesi ile elde edilir (Şekil 9.8).

Çizelge 9.1 Gürültü kontrolü için kullanılan yöntemler *

Mimari Çözümler	Etki
Cam kalınlığını artırmak	+1 dB / 1 mm kalınlık artışı
Standart PVB'li laminasyon	+2 dB
Çift camlı yalıtım üniteleri	+2 dB
Farklı kalınlıklı çift camlı yalıtım üniteleri	+1 dB
Çift doğramalı camlama	+10-15 dB



Şekil 9.8 Gürültü önleyici endüstriyel camlar **

9.3.2.3 Güneş ve Isı Kontrol Camları

Türkiyede enerji tüketiminin % 33'ü binalarda gerçekleşmektedir. Isı kayıplarının % 30'luk kısmı pencerelerden kaynaklanmakta ve camın da bu kombinasyon içindeki

* Şişecam Firmasından edinilmiştir.

** Çuhadaroğlu Alüminyum Firmasından edinilmiştir.

payının % 70-80 olması yalıtımın enerji korunumu açısından önemini ortaya koymaktadır [182]. Doğal ışığı iç mekanlara taşıması, gürültü kontrolü, ısı ve güneş kontrolü gibi özellikleri sürekli gelişim göstermektedir. Cam; önce standart çift cam, daha sonra da kaplamalı cam teknolojisindeki gelişmeler sonucu Low-e kaplamalı özel çift camların üretilmeye başlamasıyla, önemli bir yapı malzemesi haline gelmiştir.

Camlarda güneş kontrolünün amacı, güneş ısısının iç mekana kontrollu olarak alınması ile soğutma giderlerinin, dolayısıyla da enerji tüketiminin azaltılması ve bina içi konfor şartlarının sağlanmasıdır. Camlarda güneş kontrolü; cam hamuruna renk veren bazı maddelerin (Mangan dioksit, Arsenik, Sülfür, Potasyum nitrat gibi) ilave edilmesiyle elde edilen harmandan, renkli veya renksiz float cam üzerine yapılan kaplamalarla sağlanabilir. Bu kaplama işlemi kimyasal ya da fiziksel işlemlerle gerçekleştirilmektedir.

Isı yalıtımın amacı, kışın bina ısısının dışa kaçışını yavaşlatmak, ısıtma enerjisi tüketimini azaltmak ve iç mekanda dengeli bir sıcaklık sağlamaktır [177]. Camlarda ısı yalıtımı cam plakalar arasında tutulan kuru ve durgun hava ile ya da Argon, Kripton, Xenon gibi ağır gazlarla sağlanmaktadır. Isı yalıtımını etkileyen faktörler, çift cam arasındaki boşluk, ara boşluk gaz dolgusu, camın yayınım değeridir*. Camın yayınım değerinin azaltılması, cam yüzeyine yapılan Low-e kaplamalar ile sağlanır (Bu camlarla ilgili ayrıntılı bilgi Bölüm 9.3.2.6'da verilmiştir).

9.3.2.4 Kaplamalı Cam

Yalıtım camı bünyesindeki iki düz camdan birinin bir yüzeyinin, metal ve metal oksitinin farklı kombinasyonlarla kaplanması sonucunda oluşur.

Metaller, iyi iletken olmaları; metal oksitler ise ısı geçirimsizliğini azaltarak yüksek yansıtma özelliğine sahip olmaları nedeniyle tercih edilirler.

Kaplamalı camla oluşturulan yalıtım camı ünitesinin ısı kontrol ve/veya güneş kontrol performansı arttırılmış olur. Kaplamalı yalıtım camı üniteleri, özel cam kombinasyonları ile gürültü kontrolü, kaza ve hırsızlığa karşı güvenlik sağlar.

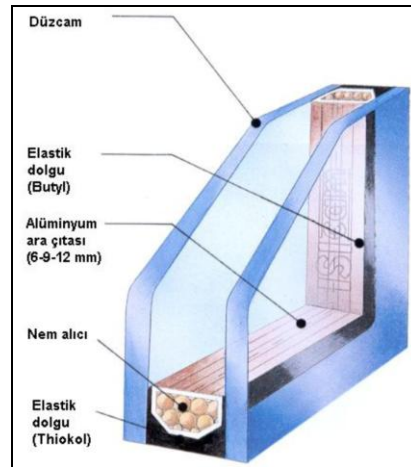
* Camın yayınım değeri, yüzeyinden elektromanyetik yolla enerji transferinin ölçüsüdür. Yayınım değeri 0 ile 1 arasında değişir. Düşük yayınım daha iyi yalıtım demektir.

9.3.2.5 Renkli Camlar

Camlarda renklendirme cam eriyik haldeyken içine ilave maddeler katılmasıyla elde edilir. Renkli cam güneş ışığının çoğunu emdiği için oldukça sıcaktır. Cam yüzeyine gelen güneş ışınlarının büyük bir kısmı emilir, daha sonra emilen güneş ışınlarının bir kısmı dışarı verilirken bir kısmı da içeri alınır. Bu da renksiz cama göre içeri alınan güneş ısı miktarının azalmasını sağlar.

9.3.2.6 Low-e (Düşük Emissiviteli) Cam

Low-e kontrol kaplamalı çift cam üniteleri güneş enerjisinin büyük bir bölümünü içeri geçirir, ayrıca odadaki ısıyı tekrar içe yansıtarak bina sıcaklığının dışa kaçışını, klasik çift cama kıyasla, yarı yarıya azaltabilir (Şekil 9.9).



Şekil 9.9 Low-e kaplamalı cam kesiti*

İç ortamdan dışa ısı kaybı; klasik çift camlarda % 70 oranında ışınlama, % 30 oranında iletimle olmaktadır [181]. Low-e kaplamalar, ısı kaçışının % 70'lik bölümünü denetleyebildiği için ısı kontrolünde etkili olmaktadır. Ilık nemli iklim bölgelerinde tek başına, sıcak nemli iklim bölgelerinde güneş kontrol kaplamalı ya da önlemleriyle birlikte kullanılmaları, sıcak bölgelerde ise çok amaçlı özel Low-e kaplamalı cam kullanılması uygundur. Yüksek performanslı Low-e kaplamalı yalıtım camı üniteleri; ısı kayıplarını tek cama göre 5 kat, standart yalıtım camı ünitelerine göre 2.5 kat azaltmaktadır (Çizelge 9.2).

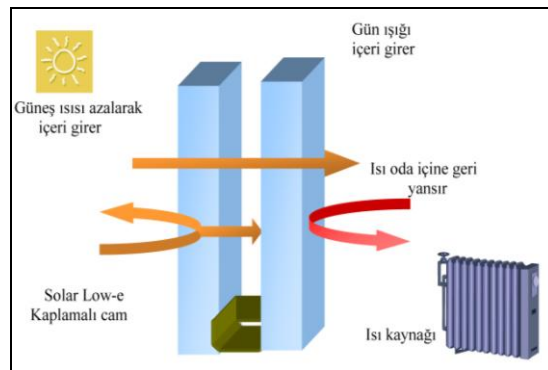
* Şişecam firmasından edinilmiştir.

Çizelge 9.2 Cam kombinasyonlarının ısı geçirgenlik katsayıları *

Cam tipi	Argon	Kuru hava
4 mm tek cam	5.8	5.8
4+12+4 standart cam	2.6	2.7
4+12+4 mm Low-e cam	1.2	1.6
4+16+4 mm Low-e cam	1.1	1.4

Yüksek Performanslı Güneş Low-e cam ünitelerinde; yalıtım camlarının ikinci yüzeyinde hem Low-e hem de güneş kontrol özelliği olan özel bir kaplama vardır (Şekil 9.10). Bu tip camların;

- Gün ışığı geçirgenliği yüksektir.
- Yazın içeri giren güneş ısısını azaltarak soğutma giderlerinden tasarruf sağlar.
- Kışın ısıyı içerde tutarak ısıtma giderlerinden tasarruf sağlar.
- Renksiz düz cama yakın görüntüdedir.



Şekil 9.10 Güneş (Solar) Low-e kaplamalı cam ve ısı yalıtımını gösteren şematik çizim *

9.3.2.7 Yansıtıcı (Reflektif) Cam

Yansıtıcı camlar, üretim hattında veya üretim hattı dışında çeşitli metal ve metal oksitlerle yüzeyleri kaplanarak yüksek yansıtıcılık özelliği kazandırılmış camlardır. Reflektif camlar güneş ışığını büyük ölçüde yansıtmakta, bu da güneş kontrol performansı

* Şişecam firmasından edinilmiştir.

anlamına gelmektedir. Gün ışığını içeri çok fazla almamaları, mekanın boyutlarına da bağlı olarak kullanıcılar açısından rahatsız edici olabilmektedir.

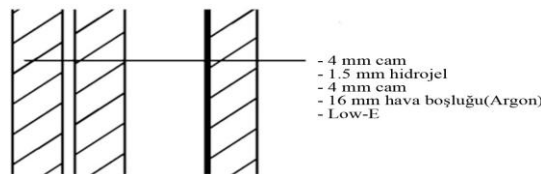
9.3.3 Gelişmiş Cam Teknolojileri

Sürdürülebilirlik ilkeleri cam teknolojisinin de bu yönde gelişmesini sağlamıştır. Kullanıcının kendi konfor şartlarına göre kontrol edebildiği teknolojiler akıllı camlar olarak gelişmeler göstermiştir. Akıllı camları pasif sistemler; termokromik (ısıya duyarlı), fotokromik (ışığa duyarlı) olarak ve aktif sistemler; elektrokromik ya da gazokromik gibi bir ihtiyaca göre açılıp kapanabilen ayarlı sistemlerdir [183], [184].

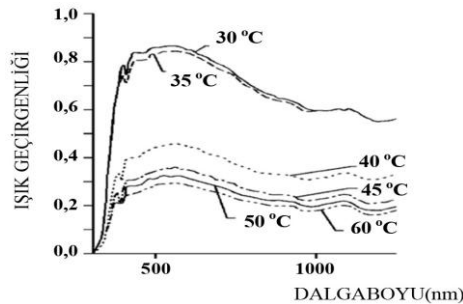
9.3.3.1 Termokromik Camlar

Termokromik camlar, cam yüzeyine düşen ısı miktarıyla optik özelliklerini değiştiren camlardır (Şekil 9.11). Cam katmanları arasında termokromik malzemelerden oluşan özel jeller bulunmaktadır. Bu termokromik maddelerden en çok kullanılanı VO^{2+} dir (Vanadium dioxide) [185], [186].

Kış aylarında sıcaklık $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altında iken, termokromik camlar şeffaf haldedir ve görüntü oldukça nettir. Sıcaklığın $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den fazla olduğu yaz aylarında termokromik camın saydamlığı azalmakta, görüntü bulanıklaşmakta fakat yansıtıcı özelliği artmaktadır (Şekil 9.12).



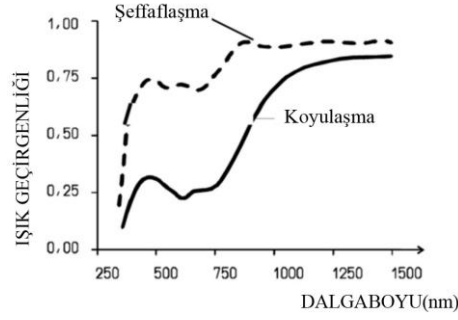
Şekil 9.11 Termokromik özellikteki bir camın kesiti [187]



Şekil 9.12 800 µm hidrojel katmanlı, termokromik camın dalga boyuna göre geçirgenlik değeri ve sıcaklıklarını gösteren grafik [187]

9.3.3.2 Fotokromik Camlar

Işık geçirgenliği, üzerine gelen ışık miktarıyla değişim gösteren camlardır (Şekil 9.13). Işık miktarı arttığında yutuculuk özelliği artmakta, ancak görüntü bulanıklaşmaktadır [186]. Fotokromik camlar ısı kontrolü sağlamadıkları için mimaride çok fazla kullanım alanı bulamamıştır.

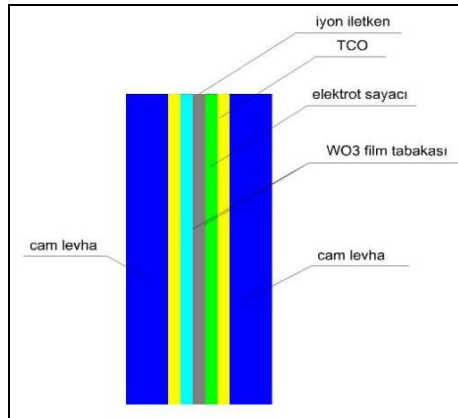


Şekil 9.13 Fotokromik camın tayfsal geçirgenliği [187]

9.3.3.3 Elektrokromik Camlar

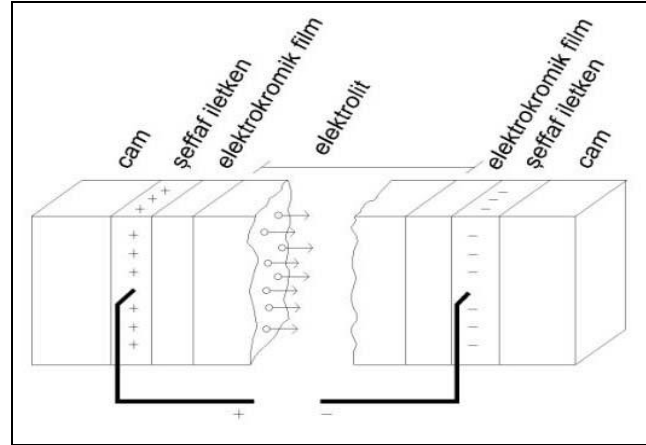
Elektrokromik camlar, cama belirli bir voltaj uygulamasıyla güneş ışınlarını tutabilme ya da yansıtma özelliği kazanan ve bu özelliği de değişen renkleriyle sağlayan camlardır. Tipik bir elektrokromik cam [188-190] (Şekil 9.14);

- Renk pigmentleri içeren bir elektrot katman
- İyon hareketlerine olanak sağlayan ara katman
- İki şeffaf film tabakası arasında elektrot sayaç içerir.

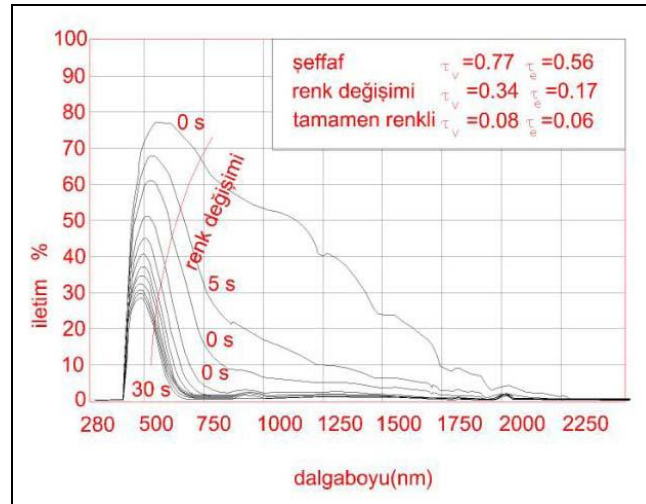


Şekil 9.14 Şematik olarak elektrokromik cam kesiti

Elektrokromik camlar DC voltaj monitörü uygulamasıyla ayarlanabilir hale gelmektedir. Kutuplaşma özelliğiyle koyu mavi halden renksizleşene kadar, cam rengi ve buna bağlı olarak da iletim, geçirimsizlik, ısı yansıtma/tutma gibi özellikler sağlanabilmektedir. Sistem prensip olarak kendi kendine şarjı bitmeyen pil özelliği göstermekte, ulaşılan renk ancak voltajın kapatılmasıyla sabit tutulabilmektedir (Şekil 9.15 ve Şekil 9.16).



Şekil 9.15 Elektrokromik camın çalışma prensibi [191]



Şekil 9.16 Çeşitli dalga boylarında* elektrokromik camların iletim değeri ve renk değişimi [192]

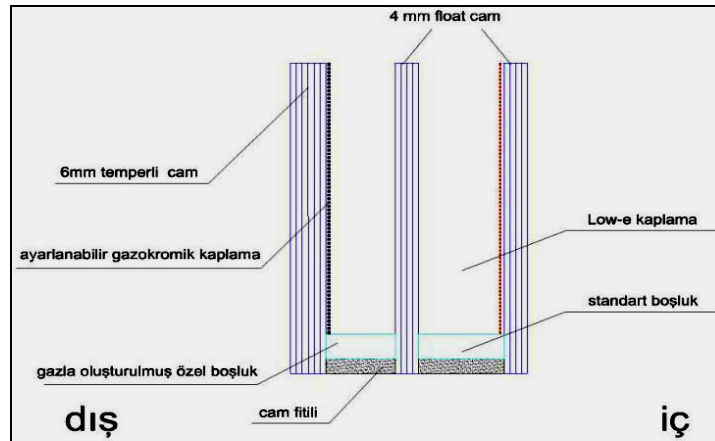
* (Her ışın dalgalar halinde yayılır ve belli enerjilere sahiptir. İki dalganın en yüksek noktaları arasındaki fark dalga boyu olarak adlandırılır. 380-750 nm dalga boyları gözle ışık olarak görülebilir.)

Bu camlar ışık geçirgenliğini ve ısı kayıp/kazançlarını kontrol edebilmesi, değişen iklim şartlarına uyum sağlayabilmesi, her türlü iklim bölgesi için kullanılabilmesi gibi avantajlarla enerji sorunuyla karşı karşıya olduğumuz günümüzde ve yakın gelecekte geniş kullanım alanı bulacaktır.

Elektrokromik camlar iki yöntemle yapılabilmektedir. İyon iletken katman kullanılacaksa iki cam arasına lamine camlar gibi uygulanır ya da tek cam yüzeyine bir çok kaplama işlemi sonrasında uygulanabilir. İki TCO (*transparent conductive oxide*) arasına voltaj uygulandığında lityum ya da hidrojen iyonları, renk koyulaşması durumunda (elektrik akımının süresi uzadığında) WO_3 (*tungsten oxide*) tabakasına hareket ederler ve şeffaflık durumu için de bu bölgeden uzaklaşırlar [192].

9.3.3.4 Gazokromik Camlar

Gazokromik pencere sistemleri teknik olarak renk değiştirme işlevlerini yapabilmeleri, WO_3 film tabakası, gaz temin eden bir sistem ve kontrol sistemiyle mümkündür [193]. Borularla gaz sağlayan bu sistem, yapının dış cephesine saklanabilir. 1 μm kalınlığında olan bu film tabakası dış camın iç yüzeyine uygulanır [194] (Şekil 9.17).



Şekil 9.17 Gazokromik cam kesiti [193]

Üç cam levhanın laminasyonu ile oluşan gazokromik yalıtım camları, hidrojen ya da oksijen gazlarıyla etkileşime geçmesiyle renk değiştirebilmektedir. Katalizör görevini gören WO_3 film kaplamasıdır. WO_3 film tabakası belirli bir yoğunlukta hidrojen gazıyla temas geçtiğinde rengi mavileşmekte, oksijen gazı ile temas geçtiğinde de şeffaflaşmaya başlar.

9.4 Sürdürülebilir Mimarlıkta Cam Kullanımı

Son 25 yılda sürdürülebilir mimarlık kavramlarının tartışılmaya başlanmasıyla binalarda enerji etkinliği ön plana geçmiş ve yapılarda estetik görünümü, şeffaf, kullanıcıların psikolojik olarak rahat ettikleri yapı malzemesi olarak kullanılan camın da bu yönde gelişmesine neden olmuştur. Bir binanın ya da yapının 'sürdürülebilir' ya da 'yeşil' bina olması çeşitli örgütler tarafından denetlenmekte ve birtakım derecelerle bu özellikleri ortaya konmaktadır. Bu planmalardan bir tanesi USGBC (U.S Green Building Council) in çalışmalarıyla geliştirilen LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) sistemidir. LEED, bir yapının sürdürülebilir ya da yeşil yapı olması için gereken kriterleri bir yönetmelik gibi maddeler halinde belgelemiş ve bu kriterlere sahip olma durumuna göre binaların yeşil olma özelliklerini derecelendirmektedir. LEED programının içerdiği altı ana kriter [195];

1. Sürdürülebilir mekanlar
2. Suyun etkin kullanımı
3. Enerji ve atmosfer
4. Malzeme ve kaynaklar
5. Yapıların iç konfor koşullarının uygunluğu
6. Yenilikçi tasarımlar

Bu maddelerden son dördü cam performansı ile yakından ilgilidir.

Enerji ve atmosfer; uygun cam kombinasyonlarıyla ısı kazançları ve kayıpları optimumda tutularak istenen miktarda gün ışığını alabilme açısından da aydınlatma enerjisi kullanımını minimumda tutarak yüksek oranda enerji kayıplarını azaltır.

Malzeme ve kaynaklar; geleneksel malzemelerden olan cam üretim yeriyle uygulanacak yer arasında ulaştırma açısından kolaylık sağlayan malzemedir.

İç konfor şartları; kullanıcılara doğal günışığı sağlayarak, manzara ve dış dünyayı gösterebilmekte bu da kullanıcıları psikolojik açıdan rahat ve sağlıklı kullanım sağlamaktadır.

Yenilikçi tasarımlar; uygun cam kullanımıyla gürültü kontrolü, gün ışığının etkin kullanımı, enerji kayıplarını büyük ölçüde önlemesiyle ve geri dönüşümlü malzeme olmasıyla farklı ihtiyaçlara cevap veren malzeme özelliğindedir. Mimarlar tasarımcılar camın kendini sürekli geliştiren bir malzeme olmasıyla birlikte tasarımlarında artık daha çok şeffaf yüzeyler kullanabilmekte hem estetik hem de beklenen performansları sağlaması açısından cam önemli bir yapı malzemesi haline gelmektedir.



Şekil 9.18 Hindistandaki Wipro Technologies Gurgaon Development Centre [196]

Hindistan'daki *Wipro Technologies Gurgaon Development Center*, LEED platinyum derecesiyle Asya'daki 57 özelliğiyle en yeşil bina olarak sertifikalandırılmıştır (Şekil 9.18). Cam seçimi ve kullanımının bu yapıya getirdiği özellikler ile kullanıcıların % 90'ı gün ışığından faydalanabilmektedir. Bu özellik, iç çevre koşulları kriteri açısından yapıya 2 puan kazandırmış, malzeme ve kaynaklar açısından cam imalatının şantiyeye yakın bir yerde yapılması 1 puan, camın yapı bütününe oranla % 15'lik geri dönüşümü ve camın kendisinin % 100 geri dönüşümlü olması 2 puan kazandırmıştır. Bu yapı gerekli olan enerjiyi % 51 azaltmakta ve kullanılan cam da gerekli olan enerjiyi % 5.6 oranında azaltmaktadır.

9.5 Yüksek Yapılarda Cam Kullanımı ve Tarihiçesi*

19. yy ortalarında önce dökme demirin daha sonra da çeliğin kullanılması ve asansörün de icadıyla çok katlı kagir yapılar yapmak mümkün hale gelmiştir. Bu dönemde özellikle Kuzey Amerika teknolojik gelişmelerin başarı ögesi olarak ve ekonomik gücün simgesi olarak yüksek yapı inşasında başı çeken ülkelerden olmuştur. *Home Insurance Binası*

* Bu bölüm Kaynak [197] değerlendirilerek oluşturulmuştur.

(1884-1885, Chicago), *Monadnock Binası* (1891, Chicago) gibi zemin katta duvar kalınlıkları 180 cm' i bulan yapılar, o dönemin teknolojileri ile yapılan ilk yüksek bina örnekleridir (Şekil 9. 19). Bu yapılar geleneksel sistemlerle inşa edilmiş ve cephenin % 20-30 gibi bir kısmında camlar küçük boşluklar halinde ancak yapılabilmıştır. Havalandırma ve aydınlatma sistemlerinin henüz gelişmediği dönemlerin ilk örnekleri olan bu yapılarda havalandırma, açılır pencerelerle sağlanırken doğal aydınlatma oldukça az miktardadır. Pencerelerin tek camlardan oluşması hava geçişine olanak vermemekte, ısı yalıtımı sağlanamamaktadır.



(a)



(b)

Şekil 9.19 (a) Home Insurance Binası, (b) Monadnock Binası (198)

Masif kütleli biçimlenişlerden daha komplike formlara geçiş açısından *Equitable Binası* (New York, 1915) önemlidir (Şekil 9.20a). Plan düzleminde H formlu ve kat yüksekliği 40 olan bu yapının % 25'ini cam yüzey oluşturmaktadır. Bu yapıyla birlikte New York' ta yeni bir çağ başlamış ve ışığın daha çok alınabilmesi için arttırılan cephe alanları ile büyük kütleli yapılar oluşmuştur.



(a)



(b)

Şekil 9.20 (a) Equitable Binası (b) Empire State Binası [49]

Bu dönemde benzer yapılar, Manhattan bölgesinde ardi ardına yükselmeye başlamıştır. Birbirinin ışığını kesen, birbiri üzerine gölge etkisi yapan ve sokak ölçeğinde rahatsızlık veren şehirler olmaya başlamıştır. New York'ta bunun önlenmesi için binaların kütlesine sınırlandırmaların getirilmesi daha narin yüksek yapıların oluşmasında etken olmuştur. Bu sınırlandırma, yapı kabuğu alanının yapı hacmine bölünmesiyle elde edilen orana göre yapılmaktadır ve oranı yüksek olan çok enerji tüketen/gereken yapılardır. *Empire State Binası* (1931) için bu oran $0.09 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 'tür (Şekil 9.20b). Bu dönemde, klima tesisatları da yapılarda çok kullanılmaya başlamıştır. *Chicago Tribune* (1925) tamamlandığında, pencerelerin açılabilmesiyle doğal havalandırma sağlanmıştır. (Şekil 9.21a).



(a)



(b)

Şekil 9.21 (a) Chicago Tribune Binası [198], (b) Friedrichstrasse Binası [199]

Mies Van Der Rohe'in, 1921 yılında Berlin'de yaptığı *Friedrichstrasse* gökdelen projesi ilk cam cepheli gökdelen olma özelliğindedir (Şekil 9.24). İkinci Dünya Savaşına kadar yüksek yapıların cephelerinin % 25-30'luk kısmı cam iken (Equitable Binası, New York, 1915, % 25 cam; Chrysler Binası, New York, 1930, % 32 cam) savaş sonrası teknolojik gelişmelerle birlikte Mies Van Der Rohe'un cam gökdeleni örnek alınarak bu oran artmaya başlamıştır. Enerji kullanımı açısından üçüncü jenerasyon binalara *Lake Shore Drive* apartmanı (Chicago, 1951) cam kullanımının % 72 olması, *Lever House* (New York, 1952) % 53 cam kullanım oranına sahip olması ile örnek olarak gösterilebilir. *Lever House* yapısı renkli ve tek cam kullanılmış perde duvarlı bir yapıdır. *Lever House* (U değeri: $3.3 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$), ikinci jenerasyon olarak tanımlanan binalardan *Empire State* ile

karşılaştırıldığında (U değeri: 2.6 W/m²K), ağır cephe sistemlerinin o dönemki teknolojilerle daha iyi yalıtım sağladığından bahsedilebilir.

Bu yıllarda, koyu renkli binalar istenmeyen ısıyı yapı dışında tutarak iç mekânlarda rahat ortam sağladığı için pek çok ülkede, Mies Van Der Rohe'un yeni bir tasarım stili olarak ortaya çıkardığı 'siyah gökdelenler' den (*Seagram Binası* ve *Toronto Dominion Bank Binası*) de etkilenerek koyu renkli gökdelenler yapılmaya başlanmıştır (Şekil 9.22).



(a)



(b)

Şekil 9.22 (a) Seagram Binası, 1958 (b) Toronto Dominion Bank Tower, 1967 [90]

1970'li yıllarda enerji kriziyle birlikte cam teknolojileri gelişmiş, yüksek yapılarda enerji korunumu önemli hale gelmiştir. Bu dönem enerji kullanımı açısından dördüncü jenerasyon dönemi olarak tanımlanabilir. Bir önceki dönem yapılarında U değerleri 3.0–4.2W/m²K olan yapılar bu dönemde 1.0–1.5 W/m²K U değerlerindeki yapılar yapılabilmektedir. Bu dönem yapılarına örnek olarak tüm ofisin doğal gün ışığından yararlanmasını sağlayacak nitelikte ve ısı yalıtım camının kullanıldığı yüksek yapı olarak *Tour Elf Binası* kendini göstermektedir.

1997 Yılından itibaren enerji konularının gittikçe yükselen bu yapılarda daha belirgin olarak ortaya çıktığı beşinci enerji jenerasyonu olarak tanımlanabilir. Bu dönem yapılarından en belirgin olanı *Commerzbank Binası*'dir (Şekil 9.27). Cephe yüzeyinin hacme oranı açısından narin bir bina sayılmamasına rağmen geniş atriumlar, ya da

derin olmayan mekanlar tasarlanarak gün ışığı yapı içine alınabilmekte, doğal havalandırmaya olanak sağlanmakta ve ısı kayıpları önlenmektedir.

GSW Headquarters Binası ile (Berlin) çift cephe sistemi kullanılarak yapının batı cephesinde pencerelerinin açılabilir olması ile doğal havalandırma sağlanabilmiştir (Şekil 9.28).



(a)



(b)

Şekil 9.23 (a) Commerzbank Binası, (b) GSW Headquarters [49]

Çizelge 9.3 Bazı yüksek binalarda kullanılan cam tipleri*



The Ritz Carlton Otel-İstanbul
Renksiz üzeri gümüş + Low-e



Park Plaza-İstanbul
Renksiz üzeri Turkuvaz + Low-e



Kanyon-İstanbul
Renksiz üzeri güneş + ısı kontrol



Azrieli Tower-İsrail
Mavi üzeri güneş + ısı kontrol



İş Kuleleri-İstanbul
Renksiz üzeri turkuvaz+Low-e



Tekfen Tower-İstanbul
Füme üzeri güneş + ısı kontrol

* Bu çizelge Şişecam, Çuhadaroğlu, Aygün Alüminyum firmaları tarafından yapılan uygulamalardan oluşturulmuştur.



RWE Tower, Almanya

Extra şeffaf yalıtım camı; 10 mm güvenlik camı, 19 mm hava boşluğu, 17 mm lamine güvenlik camı ve üzerinde ısı reflekte kaplama



Plot 9, Moskova

Vizyon kısımlar: dış yüzeyi reflekte ısı cam, 16 mm hava boşluğu, iç yüzey lamine cam
Spandrel kısımlar: dış ve iç yüzey ısı yalıtım camı



RWE Headquarters Tower, *

Dışta güçlendirilmiş güvenlik camı, içte gün ışığından yararlanmak için beyaz ısı yalıtım camının aralarında 50 cm boşlukla çift cam sistemi kullanılmıştır.



Burj Khalifa, Dubai

828 m ile dünyanın en yüksek binası olan Burj Khalifa'nın dış cepesinde 26 000 reflekte cam panel kullanılmıştır.



Hearst Tower, Manhattan

Yapıda Low-E kaplamalı cam kullanılarak gün ışığından faydalanarak, dışta güneş ışınlarını tutarak yapıda fazla ısınmayı engellenmiştir.



Comcast Center, Philadelphia

LEED Gold sertifikalı binada, gün ışığını %70 içeri alan, fazla ısının %60'ını tutan Low-E kaplamalı cam kullanılmıştır.

* Tall Buildings and Sustainability, The Corporation Of London, February 2002, Pank, W., Girardet H., Cox, G.

YÜKSEK YAPILARDA ENERJİ DERECELENDİRME SİSTEMLERİ

10.1 LEED Sistemi

Bir binanın ya da yapının '*sürdürülebilir*' ya da '*yeşil*' bina olması çeşitli örgütler tarafından denetlenmekte ve birtakım derecelerle bu özellikleri ortaya konmaktadır. Bu planlamalardan bir tanesi USGBC (*U.S Green Building Council*) in çalışmalarıyla geliştirilen 1998'de hazırlanan LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) sistemidir. LEED, bir yapının sürdürülebilir ya da yeşil yapı olması için gereken kriterleri bir yönetmelik gibi maddeler halinde belgelemiş ve bu kriterlere sahip olma durumuna göre binaların yeşil olma özelliklerini derecelendirmektedir. LEED programının içerdiği altı ana kriter;

1. Sürdürülebilir mekanlar
2. Suyun etkin kullanımı
3. Enerji ve atmosfer
4. Malzeme ve kaynaklar
5. Yapıların iç konfor koşullarının uygunluğu
6. Yenilikçi tasarımlar

Bu altı kriterin sağlanması için yapılarda kullanılacak sistemler ve alınabilecek önlemler aşağıda sıralanmıştır.

10.1.1 Sürdürülebilir Alanlar Oluşturulması

- Binaların tarım alanlarına yapılmaması, sulak alanlardan daha uzak yerlere yapılması
- Toplumsal olarak ihtiyaç duyulan banka, postane gibi yakın olması
- Endüstriyel atıklarla kirlenmiş bölgelere yapılar yaparak bölgenin temizlenmesi
- Toplu taşıma araçlarına yakın olması ve trafik yükünü azaltması
- Açık alanların kullanılması ve yeşillendirilmesi
- Aydınlatma kirliliğinin önlenmesi
- Doğal aydınlatmanın sağlanabilmesi

10.1.2 Suyun Etkin Kullanımı

- Peyzaj için iklime göre uygun bitkilerin seçilmesi, damlama sulama kullanma
- Mümkün olduğunca şebeke suyu kullanılmaması
- Tuvaletlerde iki kademeli sifon sistemi su kullanımını azaltmaktadır.
- Yağmur sularının toplanıp kullanılabileceği sistemler kullanmak
- Suyun geri dönüşümlü kullanımı, lavabolardan arındırılmış su kullanımı
- Yağmur suyunu toplayabilme ve kullanma

10.1.3 Enerji Verimliliği

- İklimlendirme, aydınlatma, havalandırma gibi enerji gerektiren sistemlerin minimum enerji kullanımını sağlamak; kullanılacak elemanların buna göre seçilmesi
- Rüzgar, güneş gibi yenilenebilir kaynakların kullanımı

10.1.4 Malzeme

- Geri dönüşümlü ve yenilenebilir malzeme kullanımı
- Yerel malzeme kullanımı
- Malzemenin uygulanacak sahaya mesafesinin az olması

10.11.5 İç Hava Kalitesi

- İyi bir yalıtımın yapılması
- Uygun pencere seçimleri
- Uygun havalandırma sistemleri

LEED sisteminde bina tipolojilerine göre gruplandırma yapılmış ve yapılacak sertifikalandırma için yeni yapılar, mevcut yapılar, ticari mekanlar, kabuk-çekirdek, okullar, satış yapan mekanlar, sağlık yapıları, konutlar, kentsel gelişim alanları olmak üzere 9 farklı seçenek oluşturulmuştur. Her tipoloji için oluşturulan değerlendirme sisteminde sertifika verebilmek için gereken puanlar birbirinden farklıdır (Çizelge 10.1).

- LEED sertifikası: 29-32 puan
- Gümüş (silver) düzey: 33-38
- Altın (gold) düzey: 39-52
- Platin düzey: 52-69 puan

Çizelge 10.1 LEED sistemindeki kriterle göre puanlar ve yüzdeleri [200]

Bölümler	Puan	Yüzde(%)
Sürdürülebilir yerleşim yeri tasarımı	14	20
Suyun etkin kullanımı	5	7
Enerji etkinlik	17	25
Malzeme seçimi	13	19
İç hava kalitesi	15	22
Tasarım-yenilik	5	7
Toplam	69	100

LEED sertifikalandırma sistemi ile 1998 yılından bu yana; ABD’de 50 eyalette, dünyada 30 ülkede toplam 99 km²’yi bulan 14 000 proje değerlendirilmiştir.

LEED sertifikasıyla onaylanmış yapıların genel özellikleri;

- Sağlıklı ve konforlu
- Uzun süre dayanıklı
- Enerji verimli ve çevreye karşı duyarlı olmalıdır.

10.2 BREEAM Modeli (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)

BREEAM İngiltere’de British Research Establishment tarafından geliştirilen bir sistemdir. ilk kuruluşunda ofis ve evler değerlendirilirken günümüzde farklı bina türlerini değerlendirmektedir. BREEAM ofis, endüstri, hapisane, sağlık, konut, eğitim yapıları gibi kategorilerde yapıların çevresel etkilerini değerlendirmektedir (Çizelge 10.2).

BREEAM değerlendirme sisteminde ana konular;

- Enerji
- Ulaşım
- Kirlilik
- Malzeme
- Arazi kullanımı ve ekoloji olarak beş madde halinde sıralanabilir.

BREEAM düzeyleri;

- Geçer: 30-44 puan
- İyi: 45-54 puan
- Çok iyi: 55-69 puan
- Mükemmel:70-84 puan
- Seçkin: 85 üzeri

BREEAM tarafından dikkate alınan sorunlar;

- Küresel atmosfer ve kaynakların kullanımı
- Yerel sorunlar

- İç ortam ve sağlık
- Çevrenin binalara etkisi

Çizelge 10.2 BREEAM derecelendirme sisteminde değerlendirilen kriterler, puanları ve yüzdeleri [200]

Bölümler	Puan	Yüzde
Yönetim	10	12
Sağlık ve konfor	14	15
Enerji	21	19
Ulaşım	10	8
Su	6	6
Malzeme	12	12.5
Atık	7	7.5
Arazi kullanımı ve	10	10
Kirlilik	12	10
Toplam	102	100

10.2.1 Küresel Sorunlar ve Kaynak Kullanımı

- Enerji tüketimine bağlı CO₂ üretimi
- Ozon tabakası incelmesi
- Doğal kaynaklar ve geri kazanılmış malzemeler
- Geri dönüştürülebilir malzemelerin depolanması

10.2. 2 Yerel Sorunlar

- Soğutma kuleleri kaynaklı lejyoner hastalığı vakaları
- Yerel rüzgar etkileri, diğer binaların ve arazinin gölgelenmesi
- Gürültü
- Su tasarrufu

10.2.3 Yapı İçi Sorunlar

- Bina su tesisatından kaynaklı lejyoner hastalığı vakaları

- Zararlı maddeler
- Aydınlatma

10.3 CASBEE Modeli

İlk kez 2002 yılında Japonya Bina Çevre ve Enerji Koruma Enstitüsü (*IBEC*) tarafından yayınlanan ve Japon Yeşil Binalar Konseyi (*JGC*) ile Japon Sürdürülebilir Binalar konsorsiyumu (*JSBC*) tarafından desteklenen, binaların çevresel etkinliğini değerlendiren bir sertifika sistemidir (Çizelge 10.3).

CASBEE modeli dört değerlendirme aracından oluşur:

1) Tasarım öncesi için CASBEE

- Projenin temel çevresel etkileri ve uygun arsa seçimi gibi konuları ele alır.
- Tasarım öncesi evrede projenin çevresel performansını değerlendirir.

2) Yeni yapım için CASBEE

3) Mevcut binalar için CASBEE

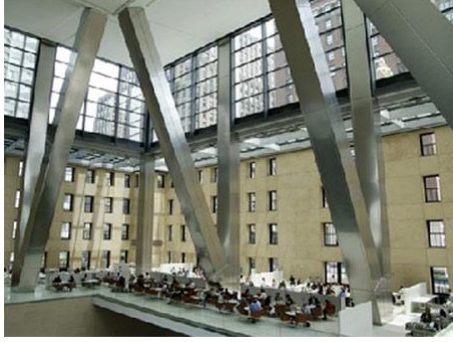
4) Renovasyon için CASBEE

Çizelge 10.3 CASBEE sisteminde konulara göre puan yüzdeleri

Bölümler	Yüzde
Q1 İç mekan Çevresel şartlar	Q puanının %40
Q2 Servis kalitesi	Q puanının %30
Q3 Dış çevre şartları	Q puanının %30
L1 Enerji	L puanının %40
L2 Kaynak ve Malzemeler	L puanının %30
L3 Yerleşim dışı çevresel şartlar	L puanının %30
Toplam	100

Çizelge 10.4 LEED sertifikalı yüksek binalar

The Hearst Tower, Manhattan [6], [15], [49], [201]



Kat sayısı: 46

Yapı yüksekliği: 182 m

Bitiş Tarihi: 2006

Sertifika: LEED Gold

Yapı üçgen formlu diagrid çerçevelerden oluşmaktadır ve klasik çerçeve uygulamalarına göre % 20 daha az malzeme kullanılmıştır. Yapının diagrid strüktürü için % 85 geri dönüşümlü çelik kullanılmıştır. Dış cephesi paslanmaz çelikten oluşturulmuştur. Ortak mekanlar olarak doğal aydınlatılan ve havalandırma sistemi iyi olan gök bahçeler tasarlanmıştır. Yapıda akıllı asansör sistemi kullanılmıştır. Low-e kaplamalı cam kullanımı ile iç mekanın aydınlık olması sağlanırken, güneş ışınlarını tutarak fazla ısınma engellenmiştir.

The Bank of America Tower [6], [15], [49], [200]



Yapı Yüksekliği: 366 m

Kat sayısı: 54

Bitiş Tarihi: 2009

Sertifika: LEED Platinium

Çelik ve cam konseptli yapıda, betonun % 55'i çimento, % 45'i yüksek fırın cürüfundan oluşmuş böylelikle CO₂ salınımı azaltılmıştır. Yapının cephelerinde yalıtım camları kullanılmıştır. Yapıya havalandırma yoluyla optimum CO₂ miktarından fazlası girse CO₂ sensörleri sinyal vermektedir.

340 On The Park, Chicago [49], [199], [201], [202]



Kat sayısı: 62

Yapı Yüksekliği: 205

Tarih: 2007

Sertifika: LEED Silver

62 katlı yapı transparan ve modern tasarımıyla LEED Silver sertifikalı gökdelenlerdendir.

Estetik ve şeffaf malzemelerden oluşan cephe, manzanın her yönden algılanabilmesini sağlamıştır.

Kullanıcı sağlığı ve kaliteli yaşam şartları için spor merkezi, ortak kullanım için iç bahçeler, 24. katta bir kış bahçesi düzenlenmiştir. Havalandırma sistemi, kanal malzemeleri, klima santralleri ve fan-coil sistemleri, şantiye aşamasında yapı içine toz almamak için korunmuştur.

Şantiye sahası uygulama boyunca temiz tutularak çevrenin temiz kalmasına özen gösterilmiştir.

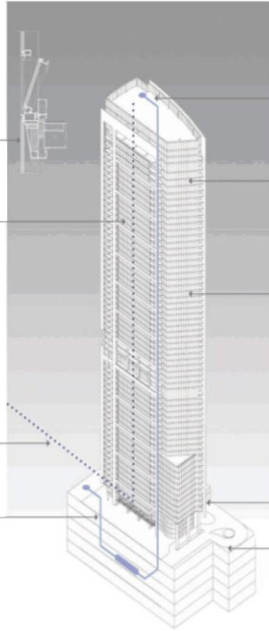
Yerel, lokal üretilen malzeme kullanımı

Maksimum gün ışığı kullanımı

Ünitelendirilmiş cephe sistemleri

Etkin su kullanımı soğutma metodları

Çatı yağmur suyu toplama sistemi



Geri dönüşümlü malzeme kullanımı

Reflektif, açık renkli çatı ile su etkisi azaltma

Low-E yalıtım camı ve reflektif cam kullanımı

İç hava kalitesi

Bisiklet alanı

Yeşil çatı

Çizelge 10.5 BREEAM sertifikalı yüksek yapı örneği

Heron Tower, Londra [17], [81], [203], [204]



Kat Sayısı: 46

Yapı Yüksekliği: 230 m

Bitiş Tarihi: 2010

Sertifika: BREEAM Excellent

Heron Tower, 46 kat ve 230 m yüksekliğiyle Londra'nın en yüksek binası özelliğindedir. Çevresel faktörler kullanılarak sürdürülebilirlik bu tasarımın temel ilkesi haline gelmiştir. BREEAM excellent sertifikalı bina; yönetim, enerji, sağlık koşulları, arazi kullanımı, su kullanımı, malzeme, ekolojik alan ve hava kirliliği açısından değerlendirilmiştir. Yapı fotovoltaik paneller sayesinde enerji üretebilmekte ve ısı kazancı sağlamak için 3 katmanlı cephe sistemiyle yapılmıştır.

Anthill Residence, İstanbul [28], [203]



Kat sayısı: 54

Yapı Yüksekliği: 200 m

Toplam Alan:150 000 m²

Sertifika: BREEAM Bespoke

İstanbul Şişlide iki kuleden oluşan yapı sürdürülebilir arazi kullanımı, çalışan sağlığı, su ve enerji verimliliği konularındaki çalışmalarla BREEAM Bespoke sertifikası almıştır.

Lakeview, Bucharest, Romania [203]



Kat sayısı: 15

Toplam Alan: 28 000 m²

Romanya'nın ilk BREEAM sertifikalı binası olan yapı, sağlık ve konfor, ulaşım ve arazi kullanımı, ekolojik sistemler açısından BREEAM 'very good' sertifikası almıştır. Yapıya % 80 gün ışığı sağlayabilmesi, arazinin yeniden kullanımı sağlayarak ekolojik dengenin düzenlenmesini sağlaması, kurulduğu yer olarak havaalanı ve şehir merkezine yakın olması yapının kredisini artırmıştır.

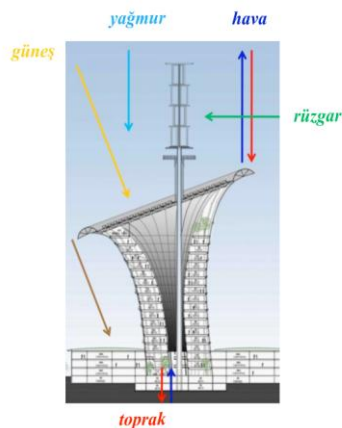
Wuhan New Energy Center, Çin [49], [203]



Yapı Yüksekliği: 140 m

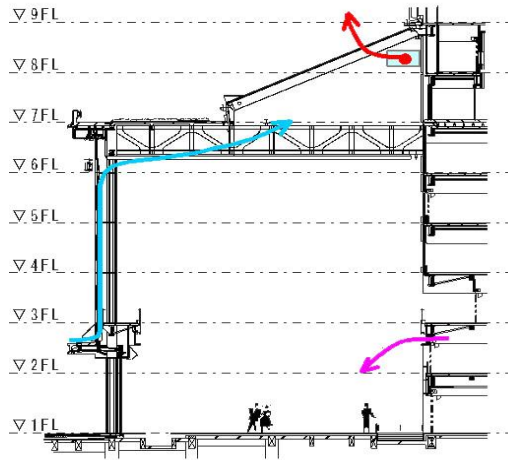
Sertifika: BREEAM Outstanding

Yapının çiçek formundaki çatısındaki PV paneller ve düşey eksenli rüzgar turbini ile elektrik enerjisi üretmektedir. Bina formu sayesinde gölgelik alan oluşturmakta ve doğal havalandırmaya olanak sağlamaktadır. Ayrıca yağmur suyunun toplanması ve kullanılmasını sağlayan sistem kullanılmıştır



Çizelge 10.6 CASBEE sertifikalı yüksek binalar

Marunouchi Building, Tokyo [205-207]



Kat Sayısı: 37

Yapı Yüksekliği: 179 m

Tamamlandığı Tarih: 2002

Sertifika: CASBEE (S)

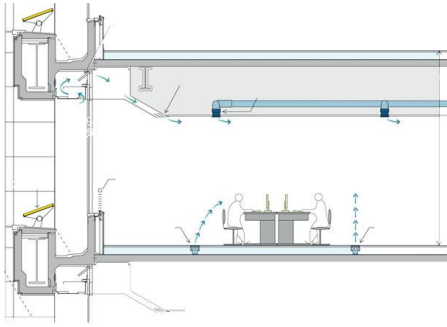
Yapı enerjinin verimli kullanımı ve yönetimini daha etkin hale getirmek için enerji tasarrufu sağlayacak ekipmanlar, geri dönüşüm sistemlerini içeren bir yenileme projesi sonucunda 4.1 puanla CASBEE sertifikası alabilmiştir.

Yapının cephesindeki düşey kanopiler güneş kontrolünü sağlarken, rüzgarı yönlendirmesi ve ısı yüklerinin azaltılması doğal havalandırmaya olanak sağlamaktadır.

Yapı 40 m yüksekliğinde bir atriuma sahiptir. Isınan hava atriumun üstünden dışarı atılırken giriş kotundan alınan taze hava ile yer değiştirerek hava sirkülasyonunu sağlanmaktadır.



Kansai Electric Power Building, Osaka, Japonya [75], [205]



Doğal havalandırma şeması



Yapının cephe sistemi



Yapıda kullanılan solar panel

Kat sayısı: 41

Bitiş Tarihi: 2004

Sertifika: CASBEE (S) (CASBEE For New Construction)

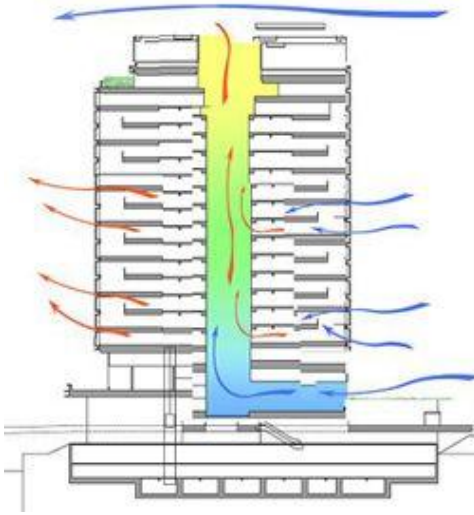
Yapıda pencere genişlikleri sayesinde doğal aydınlatmaya olanak sağlamanın yanı sıra, doğal havalandırma ve solar panel kullanımıyla yeşil yapı olma özelliğindedir. Yapıda üç kat yüksekliğinde bir atrium mevcuttur.

Yapıda kullanılan kolon-kiriş sistemi pencerelerden 1.8 m dışarıda olması hem gün ışığını yapı içine alması hem de yaz aylarında güneş kırıcı gibi çalışması (eco-frame) ve nehirden gelen güçlü rüzgarların hızını keserek doğal havalandırmayı sağlamsı açısından ekolojik sistem olarak değerlendirilmiştir.

CASBEE değerlendirme kriterlerinden diğerleri de sismik kontrol sistemi, yağmur suyu kullanımı, aydınlatma sensörleri kullanımıdır.



Nissan's Headquarters, Yokohama [205], [208]



Kat Sayısı: 22

Bitiş tarihi: 2009

Sertifika: CASBEE (S) (CASBEE For New Construction)

CASBEE Excellent(S) sertifikalı binadır. Doğal enerji kaynaklarının etkin kullanımı, gün ışığını etkin kulanma ve havalandırma, yağmur suyu kullanımı ve drenaj sistemi, yüksek dayanımlı ve geridönüşümlü malzeme kullanımı ile 5.6 puan ile değerlendirilmiştir.

Yapının merkezindeki kanal yardımıyla gün ışığı yapı içine alınırken havalandırma da bu kanal sayesinde yapılmaktadır. Yapının cephesine yerleştirilen damperler rüzgar hızını, nemi kontrol ederek yapı içine alınmasını sağlayarak havalandırma için harcanan enerjiyi azaltmaktadır. Cepheye yerleştirilen güneş kırıcılar gün ışığını yönlendirmekte, yapıya doğal aydınlatma sağlarken ısıtma ve soğutma sistemi için enerjiyi kazancı sağlamaktadır.



The Toranomon-Roppongi District Urban Redevelopment Project, Tokyo [17], [205]



Kat sayısı: 48

Yapı Yüksekliği: 206.69 m

Bitiş Tarihi: 2012

Sertifika: CASBEE Excellent (S)

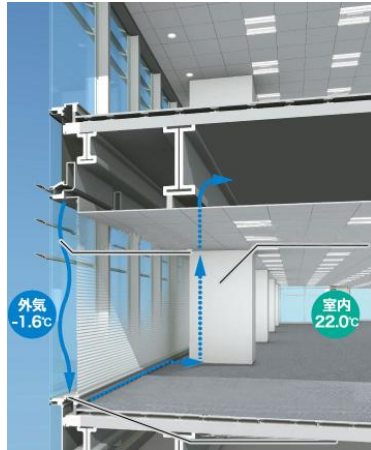
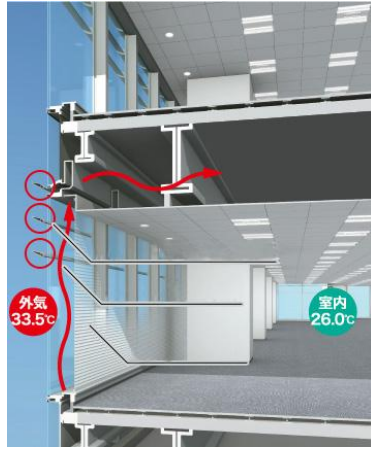
Yapı CASBEE Excellent (S) sertifikalıdır. Arazide bulunan mevcut bitkilere ve bölgenin bitki örtüsü özellikleri dikkate alınarak planlama yapılmıştır. Bu amaçla son 30 yılın verileri ile arazinin bitki örtüsü değerlendirilmiştir.

Etkin aydınlatma sistemi, ısı depolama ve havalandırma sistemi ile CO₂ salınımı azaltılmıştır. Yağmur suyu ve atık su dönüştüren ve kullanan sistemler kullanılmıştır.

Yapının çatısına ~30 kW kapasite ile yıllık 30 000 kWh enerji üreten, güneş enerjisi ile çalışan sistem kurulması planlanmaktadır.

Cephede, pencerelerin üzerinde saçak kullanımı, içte kalan balkon tasarımıyla ısı yükleri kontrol edilebilmektedir.

MinatoMirai Grand Central Tower, Yokohama [206], [209]



Kat Sayısı: 26

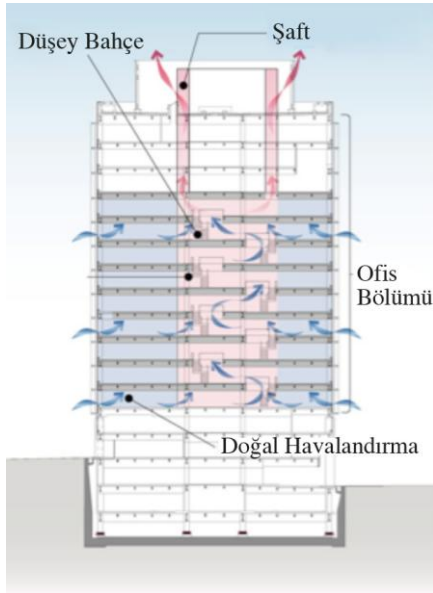
Yapı Yüksekliği: 123.60 m

Bitiş Tarihi: 2011

Sertifika: CASBEE Excelent (S)

Low-e kaplamalı çift camın kullanıldığı yapıda ısı kayıp-kazançlarını kontrol ederek havalandırma için harcanan enerjiyi azaltan çift cephe sistemi kullanılmıştır. Yaz aylarında, dış havanın daha sıcak olduğu durumlarda iç cephede bulunan ve yapının çatısında ışığa duyarlı kontrol sistemiyle ayarlanan perdeler, motor yardımıyla otomatik olarak kapanmaktadır. Kış şartlarında iç cephe altındaki menfezlerden emilen taze hava ile havalandırma sağlanmaktadır. Gün ışığına duyarlı sensörler kullanılarak aydınlatma için harcanan enerji minimumda tutulmuştur.

Toyota Motor Corporation Head Office, Toyota City [205]



Yapının iç bahçesi ve emme (baca) etkisiyle hava sirkülasyonunu gösteren şema

Kat Sayısı: 15

Yapı Yüksekliği:

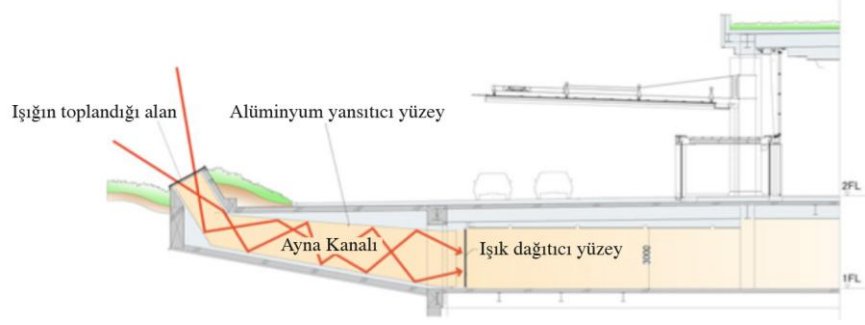
Bitiş Tarihi: 2005

Sertifika: CASBEE (S) (**CASBEE For New Construction**)

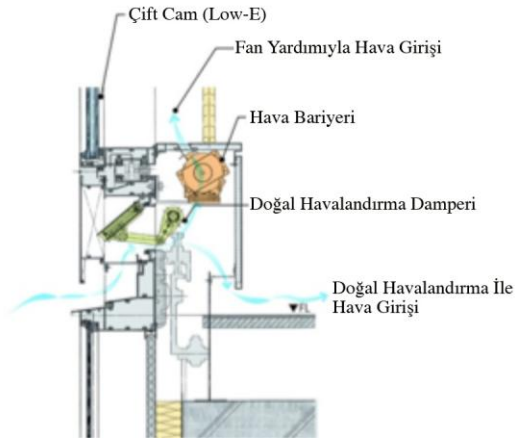
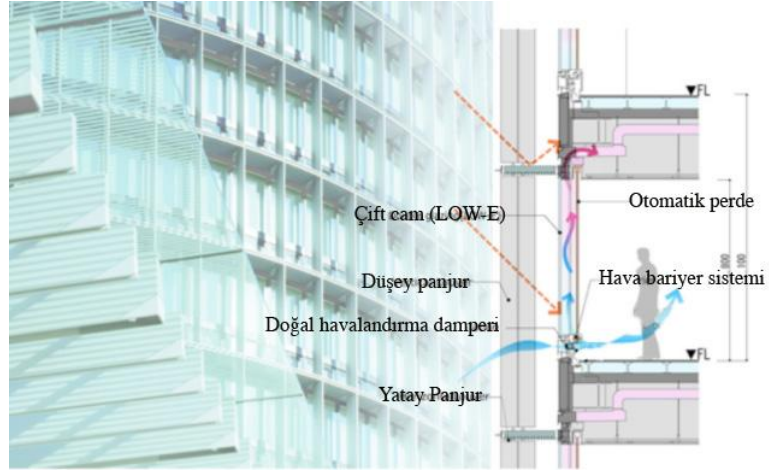
Çelik çerçeveli taşıyıcısı sistemi olan 15 katlı yapı, depreme karşı etkin şekilde tasarlanmıştır. Cephe sistemiyle doğal havalandırma sağlanırken, ısı yükleri kontrol edilebilmektedir. Plan düzleminde ofis bölümleri ve sirkülasyon alanları (asansör, merdiven gibi) düşeyde bir atriumla yapıyı ikiye bölmektedir. Yapı aşağıdaki özellikleriyle gerekli olan kredileri sağlayarak Casbee (S) sertifikası almıştır.

Zemin kotunun altındaki mekanlara gün ışığını iletebilmek için, zemin üstünden ışığı toplayarak iç mekanlara dağıtan bir sistem oluşturulmuştur.

Isı yüklerini azaltmak, gün ışığı ve rüzgarı gerekli durumlarda kullanabilmek (doğal havalandırma ve doğal aydınlatma) için çift cephe sisteminde; hava bariyer sistemi, stor ve havalandırma damperleri kullanılmıştır. Ayrıca yapının şeffaf olan cephesi de ofis mekanlarının gün ışığından faydalanmasında etkilidir. Yapı yüksekliği boyunca devam eden iç bahçe doğal havalandırmaya baca etkisi oluşturarak destek sağlamaktadır.



Ayna etkisiyle zemin altındaki mekanlara gün ışığının iletilmesi



Yapının cephe sistemi ve detayı

SONUÇ VE ÖNERİLER

17. yüzyıl'dan itibaren sanayileşmeyle birlikte artan enerji gereksinimini karşılamak üzere, doğanın tükenebilir enerji kaynakları giderek artan oranlarda kullanılmış; böylece günümüzde tehlikeli boyutlara ulaşan çevre kirliliği ve iklimsel değişimlerin temel sorumlusu haline gelmiştir. Tükenmeyen ve temiz enerji ihtiyacı arayışının sonucu olarak ortaya çıkan yenilenebilir enerji kullanımı, artık sadece bir kavram olmaktan çıkıp, geliştirilen yeni teknolojiler ve gittikçe azalan maliyetler ile günlük hayatımızın bir parçası haline gelmektedir. Mimarlık alanında da yeşil yapılar, ekolojik yapılar, enerji etkin yapılar gibi isimleri farklı, amaçları aynı olan tanımlarla yerini almıştır. LEED, BREEAM, CASBEE, yapı enerji kimlik belgesi gibi uygulamalar, enerjinin yenilenebilir olması ve etkin kullanımını teşvik etmektedir. Yüksek yapılar alanında da, yenilenebilir (sürdürülebilir) enerji kaynaklarının verimli kullanımını sağlayan teknolojiler geliştirilmekte ve yapının enerji ihtiyacının önemli bir bölümü, geliştirilen yeni sistemlerle karşılanabilmektedir.

Rüzgar enerjisi; elektrik enerjisi üretmek, havalandırmayı sağlamak, su pompalamak gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Yükseklik ile birlikte rüzgar hızının da artması avantajını kullanarak rüzgar türbinleri, yapıya sonradan monte edilebildiği gibi yapı tasarım aşamasında yapıyla birlikte şekillenerek bina entegre olarak da kullanılmaktadır. Bina entegre türbinlerde tasarım, fonksiyona göre değil, çoğu zaman türbin özelliklerine göre şekillenmekte, türbinin gürültü oluşturması ya da manyetik alan oluşturması gibi nedenler mekan organizasyonunu etkilemektedir. Bina entegre türbinlerde enerji

kazancını etkileyen en önemli unsurlar; bölgedeki hakim rüzgarlar ve hızları, yapıda türbin/türbinlerin yerleştirileceği alanın rüzgar etkin tasarımı, kanat sayısı ve hızıdır.

Rüzgar türbinleri, türbin tipine de bağlı olarak, rüzgar hızının 3-4 m/s olduğu durumlarda çalışmaya başlar ve maksimum güç üretimine rüzgar hızının 10-15 m/s olduğu durumlarda ulaşır. Rüzgar türbinlerinin kanat formları, kalınlığı, kesiti, malzemesi, maliyeti ve kullanım ömrü gibi özellikleri türbin performansını etkilemektedir. Yatay eksenli ve 3 kanatlı türbinler, uygulanmış yapı örneklerinde, yapının toplam enerji ihtiyacının %11-15'ini karşılayabilmektedir.

Rüzgar enerjisi doğal havalandırma amaçlı olarak da kullanılmaktadır. Doğru yönlendirme, çift cephe sistemleri ve yapıda açıklıklar oluşturulması ile sağlanan doğal havalandırma, mekanik sistem bağımlı enerji ihtiyacını azaltmaktadır. Yapılarda rüzgar duvarları ile yapıya gelen rüzgar; iç mekanlara doğru yönlendirilirken, güneş bacaları oluşturarak yapı içinde sağlanan hava sirkülasyonu; havanın, basınç ve ısı farkı ile toplanıp bir kanaldan dışarı atılması sağlanmaktadır.

Güneş enerjisi aktif ve pasif sistemler olarak yapıda ısıtma, soğutma ve enerji elde etmek için kullanılmaktadır. Güneş pili (PV) panelleri; yapılarda çatı, cephe, saçak, güneş kırıcı gibi elemanlar üzerine yerleştirilmekte; farklı renk, kombinasyon ve dokularla görsel olarak da tercih edilmektedir. Ayrıca PV paneller; araçlarda, sokak lambaları, tekstil ürünleri ve uzay çalışmalarında da kullanılmaktadır. Tek kristalli GaAs esaslı PV hücreler % 25'e varan verimlilikle çalışmakta, buna karşılık ince film tabakalı güneş pilleri 5 µm kadar düşük kalınlıklarda, üretimlerinin daha az enerji harcanarak yapılabilmesi ve % 16 verimlilikle çalışabilmesi gibi özellikleriyle tercih edilmektedir. Günümüzdeki nanoteknoloji ve organik teknolojideki gelişmelerin sonucu olarak, Organik Fotovoltaik Hücre (OPVC) % 6 verimle çalışabilmektedir. Diğer nanoteknoloji ürünü olan DSSC (Dye Sensitized Solar Cell), kimyasal boyalar yardımıyla ışığa karşı hassaslaştırılmıştır, üzerine düşen güneş ışınlarını % 10 verimle elektrik enerjisine çevirmektedir. Yüksek bir yapı, PV panel uygulama alanının fazla olması açısından önemli hale gelmekte ve yapı yüzeylerinin etkin kullanımı ile ~3 000 000 kWh enerji üretilebilmektedir PV panellerin uygulanmasında dikkate alınacak parametreler, gün ışığı süresi, bölgenin enlemine göre belirlenecek yerleşim açısı, ortam sıcaklığı, akülerin kapasitesi ve panellerin havalandırma koşullarıdır.

Jeotermal enerji kaynaklarının yüksek yapılarda kullanımı diğer sistemlere göre daha azdır. Isı pompaları kullanımı ile yapı sıcaklığı bir akışkan yardımıyla zemine aktararak yapıda soğutma sağlanırken, sistemin ters çalışması ile yapı ısıtılmaktadır.

Yapı yüksekliği arttıkça, yapılarda en fazla enerji kaybı olan cepheler için; basınç, su ve hava geçirimsizlik özelliklerini sağlayacak profil kesitleri ve cephe sistemleri geliştirilmiştir. U değeri $1.7 \text{ W/m}^2\text{K}$, içeriden dışarıya hava akışı (infiltrasyon) $0.37 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ olan doğrama serileri, enerji tüketiminin azaltılmasına önemli katkıda bulunmaktadır. Havalandırma amaçlı enerjiyi azaltabilmek için profiller, doğal havalandırma sağlayacak formda olmalıdır. Kullanıcıların konfor şartlarını sağlayabilmek üzere akıllı camlar, aktif (elektrokromik, gazokromik) ve pasif sistemler (termokromik, fotokromik) olarak geliştirilmektedir. Aktif cam sistemlerinde, camların yapısında kullanılan özel jöleler ile ısıya ya da ışığa bağlı olarak; pasif sistemlerde ise, voltaj uygulaması ile renk değişimi sağlanmakta, böylelikle camların ısı tutma ya da yansıtma özellikleri kontrol edilebilmektedir. Isınmayı, aydınlatmayı kontrol edebilen etkin cam sistemlerinin geliştirilmesi sonucu, yüksek yapılarda tercih edilen cam tipi, ısı kayıplarını tek cama göre 5 kat, standart yalıtım camlarına göre 2.5 kat azaltan yüksek performanslı Low-E kaplamalı camlardır. Yüksek yapılarda, çift cephe sistemi ve uygun cam seçimi ile ~%25 oranında enerji tasarrufu sağlanabilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Ciravoğlu, A., (2007). "Yüksek Yapılar Ve İzdüşümleri: Ekonomi, Toplum Ve Çevre", Mimarist Dergisi, 24: 38-43.
- [2] Hasol, D., (2007). "Yüksek Daha Yüksek En Yüksek!", Mimarist Dergisi, 24: 44-45.
- [3] Kırcan, S., (2005). Çok Katlı Yapıların Tasarımına Etki Eden Faktörlerin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [4] Eren, Ç., (2007). "Yüksek Binalar ve İstanbul", Mimarist Dergisi, 24: 51.
- [5] Sev, A., (2009). Sürdürülebilir Mimarlık, YEM, İstanbul.
- [6] Council on Tall Buildings and Urban Habitat resmi web sitesi, <http://www.ctbuh.org>, 15 Mart 2011.
- [7] Ali, M. Ve Moon, S.K., "Structural Developments İn Tall Buildings: Current Trends And Future Prospects", Architectural Science Review, 50.3: 205-223.
- [8] Özgen, A. ve Sev, A., (2000). Çok Katlı Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [9] Cho, J.S., (2002). "Design Metodology For Tall Office Buildings: Design Measurement and Integration With Regional Character", Ph.D. Thesis, Illinois Institute Of Technology, Chicago, Illinois.
- [10] Dünyadaki şehirleri tanıtan gezi sitesi, <http://www.planetware.com>, 15 Mart 2011.
- [11] Chicago mimarisi ve kentsel yerleşimine dair Geoff Hoffma'a ait fotoğrafları içeren internet sitesi sitesi, <http://www.chicagolens.net>, 15 Mart 2011.
- [12] Chicago mimarisine, şehirdeki eski ve yeni yapılara ait bilgileri içeren internet sitesi, <http://www.chicagoarchitecture.info>, 15 Mart 2011.
- [13] A2 Mimarlı firmasına ait resmi web sitesi, <http://a2ltd.co.uk/offices.html>, 15 Mart 2011.
- [15] Mimarlık, yüksek yapılar, çeşitli binalar ve kentsel yerleşim projelerini tanıtan web sitesi, <http://www.architecturelist.com>, 15 Mart 2011.

- [14] Mimarlık uygulama ve yöntemleri ile ilgili bilgiler içeren web sitesi, <http://www.architecture-view.com>, 15 Mart 2011.
- [16] Yüksek yapılara ait bilgiler içeren web sitesi, <http://www.skyscraperlife.com>, 15 Mart 2011.
- [17] Yüksek yapılara ait bilgiler içeren web sitesi, <http://www.skyscrapercity.com>, 15 Mart 2011.
- [18] New York şehri mimarisi, yapıları ve kentsel yerleşisi ile ilgili bilgileri içeren web sitesi, <http://www.nyc-architecture.com>, 15 Mart 2011.
- [19] Chicago şehrine ait bilgileri içeren web sitesi, <http://www.chicagonow.com>, 15 Mart 2011.
- [20] Dünyadaki tüm yüksek yapılara ait bilgileri içeren web sitesi, <http://www.tallestbuildingintheworld.com>, 15 Mart 2011.
- [22] Yapılara ait uygulama bilgileri ve fotoğraflarını içeren web sitesi, <http://www.constructionweekonline.com>, 15 Mart 2011.
- [21] Park, S.M., Elnimeiri, M., Sharpe, D.C. and Krawczyk, R.J, (2004). "Tall Building Form Generation by Parametric Design Process", CTBUH 2004 Seoul Conference, Korea.
- [23] Arup firmasına ait resmi, web sitesi, <http://www.arup.com>, 15 Mart 2011.
- [24] Ho, P.H.K, (2007). "Economics Planning of Super Tall Buildings in Asia Pacific Cities", Strategic Integration of Surveying Services FIG Working Week 2007, China.
- [25] İzmir Büyükşehir Belediyesi, Yüksek Yapı Yönetmeliği, 2-Tanımlar, Değ. 09.12.2003.
- [26] Terim ve açıklamalara yer veren web sitesi, <http://www.itusozluk.com>, 15 Mart 2011.
- [27] Çeşitli fotoğrafların yer aldığı web sitesi, <http://www.buyutec.net>, 15 Mart 2011.
- [28] Mimarlıkla ilgili, makale, fotoğraf, malzeme gibi her türlü bilgiyi içeren resmi web sitesi, <http://www.arkitera.com>, 15 Mart 2011.
- [29] Yurtdışı eğitim ve bilgileri içeren web sitesi, <http://www.teoremedu.com>, 15 Mart 2011.
- [30] Göksal, T., (2003). "Mimaride Sürdürülebilirlik-Teknoloji İlişkisi", Arredamento Mimarlık, 01: 76-80.
- [31] Esin, T., (2006). "Yapılarda Pasif Tasarım Yöntemleriyle Yenilenebilir Enerji Kullanımı", İzolasyon Dergisi, 61: 68-72.
- [32] Evans, A., Strezov, V. ve Evans, T. J., (2009). "Assesment of Sustainability Indicators for Renewable Energy Technologies", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13.5: 1082-1088.
- [33] Uyar, T. S., (2007). "Yenilenebilir Enerji" ,Yapı Dergisi, 312: 6-9.

- [34] Asiltürk, N.E., “Çok Katlı Yapılarda Yenilenebilir Enerji Kullanımı”, Hacettepe Üniversitesi İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, <http://www.nilufer.bel.tr>, 29 Mart 2011.
- [35] Ali, M.M. ve Armstrong, P.J., (2006). “Strategies For Integrated Design of Sustainable Tall Buildings”, AIA Report On University Research, University of Illinois at Urbana-Champaign School of Architecture.
- [36] Yılmaz, Z., (2006). “Akıllı Binalar ve Yenilenebilir Enerji”, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 91: 7-15.
- [37] Günel, M. H. ve Iğın, H. E., (2008). “Bir Mimari Tasarım Kriteri Olarak Rüzgar Enerjisinin Kullanımı”, Ege Mimarlık Dergisi, 2 (65): 6-15.
- [38] BP enerji ve teknoloji bilgilerini içeren resmi web sitesi, <http://www.bp.com>, 15 Mart 2011.
- [39] Achermann, T. ve Söder, L., (2002). “An overview of wind energy –status 2002”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 6: 6-128.
- [40] Reeves, A. ve Beck, F., (2003). “Wind Energy for Electric Power, A REPP Issue Brief”, Renewable Energy Policy Project, <http://www.repp.org>, 29 Mart 2011.
- [41] AWEA Global Wind Energy Market Report, (2002). <http://www.awea.org>, 29 Mart 2011.
- [42] Manwell, J.F, McGowan J.G, Rogers A.L., (2002). Wind Energy Explained-Theory, Design and Application, John Wiley and Sons Ltd, England.
- [43] Rüzgar enerjisi, sistem ve uygulamalarını açıklayan web sitesi, <http://guidedtour.windpower.org>, 15 Mart 2011.
- [44] Ericson, S., Bernhoff, H. ve Leijon, M., (2008). “Evolution of Different Wind Turbine Concepts for Wind Power”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 12(2008): 1419-1434.
- [45] Johnson, G.L., (2001). Wind Energy Systems, Electronic Edition, Manhattan, <http://eece.ksu.edu>, 29 Mart 2011.
- [46] Gipe, P., (1995). Wind Energy Comes of Age, J.Wiley & Sons, Canada.
- [47] National Aeronautics and Space Administration (NASA) resmi web sitesi, <http://www.nasa.gov>, 15 Mart 2011.
- [48] Rüzgar enerjisi, uygulama ve yöntemlerini açıklayan web sitesi, <http://www.wind-energy-the-facts.org>, 15 Mart 2011.
- [49] Mimarlık haberleri, kentsel yerleşimler, çeşitli yapılar ve uygulamaları hakkında bilgiler içeren web sitesi, <http://inhabitat.com>, 15 Mart 2011.
- [51] Kıyak, İ., Oral, B. ve Topuz, V., (2009). “Yerleşim Bölgelerinde Rüzgar Enerjisi Kullanımının Yaygınlaştırılması: Bina Montajlı Rüzgar Türbinleri” , Türkiye 11. Enerji Kongresi, İzmir.
- [50] Rüzgar enerjisi sistemlerine ait bilgilerin olduğu web sitesi, <http://www.mywindpowersystem.com>, 15 Mart 2011.

- [52] Güneş enerjisi ve uygulama yöntemlerine ait bilgilerin olduğu web sitesi, <http://www.solarnavigator.net>, 15 Mart 2011.
- [53] Bazı yapılara ait Computational Fluid Dynamics (CFD) modellerinin bulunduğu web sitesi, <http://www.symscape.com>, 15 Mart 2011.
- [54] Dünyadaki rüzgar enerjisi kullanımı ve sektördeki gelişimine ait bilgilerin bulunduğu web sitesi, <http://www.wind-energy-market.com>, 15 Mart 2011.
- [55] Triton College ait akademik çalışmaların bulunduğu resmi web sitesi, <http://academics.triton.edu>, 15 Mart 2011.
- [56] Dutton, A.G., Halliday, J.A. and Blanch, M.J., (2005). "The Feasibility of Building Mounted/Integrated Wind Turbines (BUWTS): Achieving Their Potential For Carbon Emission Reductions", Final Report of Carbon Trust Contract 2002-07-028-1-6, UK.
- [57] Bilim, astronomi, uzay çalışmaları, yenilenebilir enerji ve kaynaklara ait çalışmaların bulunduğu web sitesi, <http://www.daviddarling.info>, 15 Mart 2011.
- [58] Varınca, K.B. ve Gönüllü, T.M., (2006). "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımının Çevresel Olumlu Etkileri", VI. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, Isparta.
- [59] Yeşil yapılar ve yenilenebilir enerji ile ilgili çalışmaların yer aldığı web sitesi, <http://www.buildinggreen.com>, 15 Mart 2011.
- [60] Sten Tronaes Frandsen, S.T., (2007). "Turbulence and Turbulencegenerated Structural Loading In Wind Turbine Clusters", January 2007, Technical University of Denmark, Denmark.
- [61] Kansas'a ait bilgilerin olduğu web sitesi, <http://www.kansastravel.org>, 15 Mart 2011.
- [62] Çeşitli konularda fotoğrafların olduğu paylaşım sitesi, <https://picasaweb.google.com/mark.steffen>, 15 Mart 2011.
- [63] Alternatif enerji kaynakları, yeni ürünler, gelişmelerle ilgili bilgilerin paylaşıldığı resmi web sitesi, <http://www.altenergymag.com>, 15 Mart 2011.
- [64] Campbell, N., Stankovic, S., Graham, M., Parkin, P., Dujvendik, M. V., Gruiter, T. D., Behling, S., Hieber, J. And Blanch, M., (2001). "Wind Energy For The Built Environment (Project WEB) ", European Wind Energy Conference 8 Exhibition, Copenhagen.
- [65] Yenilenebilir enerji kaynakları, rüzgar enerjisi ve rüzgar türbinleri ile yapılarda uygulamalarına ait bilgilerin olduğu resmi web sitesi, <http://www.getsmartenergy.com>, 15 Mart 2011.
- [66] Ekolojik ürünlerin ve gelişmelerin tanıtıldığı web sitesi, <http://www.talkgreen.ca>, 15 Mart 2011.
- [67] Sürdürülebilir tasarımların, ürünlerin ve çözümlerin bulunduğu resmi web sitesi, <http://www.treehugger.com>, 15 Mart 2011.

- [68] Land, P., (2008). "Innovations in Sustainability at Height: Experimental Tall Buildings", CTBUH 8th World Congress 2008,3-5 March 2008, Dubai.
- [69] Stankovic, S., Campbell, N. and Harries, A., (2009). Urban Wind Energy, Earthscan, London.
- [70] Ekolojik teknoloji ürünleri ve uygulamalarına ait bilgilerin paylaşıldığı web sitesi, <http://techknownerd.com>, 15 Mart 2011.
- [71] UCD Energy Research Group School of Architecture resmi web sitesi, <http://erg.ucd.ie>, 15 Mart 2011.
- [72] Çeşitli makale ve akademik çalışmaların olduğu web sitesi, <http://aedesign.wordpress.com>, 15 Mart 2011.
- [73] Tekla Structures resmi web sitesi, <http://www.tekla.com>, 15 Mart 2011.
- [74] ZED Projesine ait bilgilerin ve fotoğrafların olduğu resmi web sitesi, <http://www.ohames.lu/dreamreal/research.html>, 15 Mart 2011.
- [75] Mimarlık haberleri, yapılar ve yapılara ait bilgilerin olduğu web sitesi, <http://www.emporis.com>, 15 Mart 2011.
- [76] Mimarlık haberleri, dünya çapında ünlü mimarlar ve yapılarına ait bilgilerin yer aldığı web sitesi, <http://www.architects24.com>, 15 Mart 2011.
- [77] Killa, S. and Smith, R.F., (2008). "Harnessing Energy in Tall Buildings : Bahreyn World Trade Center and Beyond", CTBUH 8th World Congress 2008, 3- 5 March 2008, Dubai.
- [78] Foster, N., Luff, S. and Visco, D., (2008). "Green Skyscrapers What is Being Built and Why?", A Report For CRP 3840: Green Cities, December 4.
- [79] Smith, R.F. and Killa, S.(2007). "Bahreyn World Trade Center (BWTC): The First Large Scale Integration Of Wind Turbines In a Building",The Structural Design Of Tall And Special Buildings 16: 429-439.
- [80] Scaff, J.H., (2007). "Levka Ori Venturi Towers", 12th Annual Levka Ori Creative Encounters Artists Meeting Crete, Greece, August 2007.
- [81] Mimarlık haberleri ve çeşitli yapılara ait bilgilerin olduğu web sitesi, <http://www.e-architect.co.uk>, 15 Mart 2011.
- [82] Güneş enerjisi ve kullanımlarına ait verilerin olduğu web sitesi, <http://www.green-planet-solar-energy.com>, 15 Mart 2011.
- [83] Mimarlık haberleri ve çeşitli yapılara ait bilgilerin olduğu web sitesi, <http://www.worldarchitecturenews.com>, 15 Mart 2011.
- [84] Bahrain World Trade Center resmi web sitesi, <http://www.bahrainwtc.com>, 15 Mart 2011.
- [85] Mimarlık haberleri ve uygulamalarına ait bilgilerin paylaşıldığı web sitesi, <http://www.bustler.net>, 15 Mart 2011.
- [86] Sürdürülebilir yapıların ve uygulamaların paylaşıldığı resmi web sitesi, <http://www.holcimfoundation.org>, 15 Mart 2011.

- [87] Mimarlık haberleri ve uygulamalarına ait bilgilerin paylaşıldığı web sitesi, <http://architecturelab.net>, 15 Mart 2011.
- [88] Çeşitli yapılara ait fotoğraf ve uygulama bilgilerinin paylaşıldığı; Glass, Steel and Stone Architecture resmi web sitesi, <http://www.glasssteelandstone.com>, 15 Mart 2011.
- [89] Skidmore, Owings and Merrill LLP (SOM) resmi web sitesi, <http://www.som.com>, 15 Mart 2011.
- [90] Yapıların strüktür ve uygulama özelliklerinin anlatıldığı mühendislik bilgilerini içeren web sitesi, <http://en.structurae.de>, 15 Mart 2011.
- [91] Ekoloji, sürdürülebilir teknolojiler ile ilgili bilgilerin yer aldığı web sitesi, <http://www.100ambiente.it>, 15 Mart 2011.
- [92] Mimarlık haberleri ve uygulamalarına ait bilgilerin paylaşıldığı web sitesi, <http://www.mimaristil.com>, 15 Mart 2011.
- [93] Mimarlık haberleri ve uygulamalarına ait bilgilerin paylaşıldığı web sitesi, <http://news.architecture.sk>, 15 Mart 2011.
- [94] Bekar, D., (2007). Ekolojik Mimarlıkta Aktif Enerji Sistemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [95] Bozdoğan, B., (2003). Mimari Tasarım ve Ekoloji, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [96] Varınca, K.B. ve Varank, G., (2005). "Güneş Kaynaklı Farklı Enerji Üretim Sistemlerinde Çevresel Etkilerin Kıyaslanması Ve Çözüm Önerileri", Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, 24-25 Haziran 2005, İçel.
- [97] Koçu, N. ve Dereli, M., (2004). "Yapılarda Güneş Enerjisinin Önemi Ve Kullanımı", II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi, 26-28 Mayıs 2004, Kütahya.
- [98] Thomas, R., (2003). Photovoltaics and Architecture, Taylor & Francis Group, London.
- [99] Yıldız Teknik Üniversitesi resmi web sitesi, <http://www.yildiz.edu.tr>, 15 Mart 2011.
- [100] Odaman, H., (2010). "Fotovoltaik Sistem Uygulamalarının Tarihsel Gelişim Sürecinde İncelenmesi ve Sürdürülebilir Tasarımdaki Etkin Rolü", YTÜ Yapı Fiziği ve Sürdürülebilir Tasarım Kongresi, 4-5 Mart 2010, İstanbul.
- [101] Özbalta, T.G., (2005). "Fotovoltaik Teknolojisi ile Bina Kabuğunun Değişen İşlevleri ve Yüzeyleri", Anadolu Üniversitesi, II. Ulusal Çatı ve Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu, 25-26 Mart 2005, Eskişehir.
- [102] Çelebi, G., (2002). "Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri", Gazi Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. Dergisi, 17 (3): 17-33.
- [103] Karamanav, M., (2007). Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

- [104] Pakistan şehrine ait fotoğraf ve bilgilerin paylaşıldığı web sitesi, <http://ashfaqueshah-pakistani.blogspot.com>, 15 Mart 2011.
- [105] Yenilenebilir enerji kaynakları ve yöntemleri ile ilgili bilgileri içeren web sitesi, <http://gotpowered.com>, 15 Mart 2011.
- [106] Ayçam, İ. ve Kanan, N.Ö., (2009). “Ekolojik Mimarlık Kapsamında Bina Bütünleşik Nano-PV Malzemenin İncelenmesi”, V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 19-21 Haziran 2009, Diyarbakır; 73-77.
- [107] Güneş panelleri, uygulamaları ve entegre sistemleri ile ilgili bilgilerin paylaşıldığı web sitesi, <http://www.rmsolarpanel.com>, 15 Mart 2011.
- [108] Güneş panelleri, uygulamaları ve entegre sistemleri ile ilgili bilgilerin paylaşıldığı web sitesi, <http://fullgreensolar.en.made-in-china.com>
- [109] Çeşitli fotoğrafların paylaşıldığı web sitesi, <http://www.britishblogs.co.uk>, 15 Mart 2011.
- [110] Güneş enerjisi sistemleri ve uygulama alanları ile ilgili gelişmelerin paylaşıldığı web sitesi, <http://solar-powered-cars.net>, 15 Mart 2011.
- [111] The University of Arizona resmi web sitesi, <http://www.uanews.org>, 15 Mart 2011.
- [112] Sapa Group resmi web sitesi, <http://www.sapagroup.com>, 15 Mart 2011.
- [113] Giridharagopal, R., Shao, G., Groves, C. and Ginger, D.S., New Scanning Probe Techniques for Analyzing Organic Photovoltaic Materials and Devices, Department of Chemistry, University of Washington, USA.
- [114] Uddin, M.A., Chan, H.P. and Rahman, B. M.A., (2010). “Structural Improvement Of Organic Photovoltaic Cell (OPVC) Towards Higher Efficiency”, Rev. Adv. Mater. Sci. 26(2010): 58-66.
- [115] Halme, J., (2002). Dye-Sensitized Nanostructured And Organic Photovoltaic Cells: Technical Review And Preliminary Tests, Helsinki University Of Technology, Master of Science in Technology, Espoo.
- [116] Güneş enerjisi ve uygulamalarına ait bilgilerin paylaşıldığı web sitesi, <http://www.solenerji.com.tr>, 15 Mart 2011.
- [117] Enerji sistemlerine ait bilgilerin yer aldığı web sitesi, <http://www.calonteifi.org>, 15 Mart 2011.
- [118] Yeşil enerji, yeşil enerji teknolojileri, yeni ürün ve yöntemlerin paylaşıldığı web sitesi, <http://www.buildaroo.com>, 15 Mart 2011.
- [119] Güneş enerjisi ve uygulamalarına ait bilgilerin paylaşıldığı web sitesi <http://www.solarserver.com>, 15 Mart 2011.
- [120] Ministry of Economic Development resmi web sitesi, <http://www.med.govt.nz>, 15 Mart 2011.

- [121] Krauter, S., Araujo, R.G., Schroer, S., Hanitsch, R., Salhi, M.J., Triebel, C. and Lemoine, R., (1999). "Combined Photovoltaic And Solar Thermal Systems For Facade Integration And Building Integration", Solar Energy, 67: 239-248.
- [122] Rezaie, B., (2009). Analysis of Alternative Energy Options for Buildings, Phd. Thesis, The Faculty Of Engineering and Applied Science Mechanical Engineering Program, University of Ontario Institute of Technology, Canada.
- [123] K peli, A. ., (2005). Güneş Pilleri Ve Verimlilikleri, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi FBE, Eskişehir.
- [124]  zdoğan, H.P., (2005). Ekolojik Binalarda Bina Kabuğunda Kullanılan Fotovoltaik Panellerin Tasarım Bağlamında İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [125] Elektrik İşleri Etüt İdaresi resmi web sitesi, <http://www.eia.org>, 15 Mart 2011.
- [126] Varınca, K.B. ve Gönüllü, T.M., (2006). "Türkiye'de Güneş Enerji Potansiyeli Ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yönetimi Ve Yaygınlığı  zerine Bir Araştırma", I. Ulusal Güneş Ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, 21-23 Haziran 2006, Eskişehir.
- [127] Alnaser, N.W. and Flanagan, R., (2008). "Potential Of Making-Over To Sustainable Buildings In The Kingdom Of Bahrain", Energy And Buildings 40 (2008): 1304-1323.
- [128] Yüksek yapılar ve uygulamaları ile ilgili bilgilerin paylaşıldığı web sitesi, <http://www.skyscrapernews.com>, 15 Mart 2011.
- [129] Yenilenebilir enerji kaynakları ve sistemleri ile uygulama detaylarına ait bilgilerin paylaşıldığı resmi web sitesi, <http://www.arbeitundklimaschutz.de>, 15 Mart 2011.
- [130] Güneş enerjisi ve kullanım alanlarına ait bilgilerin paylaşıldığı web sitesi, <http://www.solarcentury.co.uk>, 15 Mart 2011.
- [131] Mimarlık haberleri, makaleler, bilfiriler ve fotoğrafların olduğu web sitesi, <http://www.mimdap.org>, 15 Mart 2011.
- [132] Yenilenebilir enerji sistemleri ve uygulamalarının anlatıldığı web sitesi, <http://www.energy-film.com>, 15 Mart 2011.
- [133] Shibaki, M., (2003). "Geothermal Energy for Electric Power", A REPP Issue Brief, Renewable Energy Policy Project, Washington.
- [134] National Renewable Energy Laboratory (NREL) resmi web sitesi, <http://www.nrel.gov>, 15 Mart 2011.
- [135] Bull, S.R., (2001). "Renewable Energy Today and Tomorrow", Proceedings Of The IEEE, 89 (8): 1216-1226.
- [136] T rkan, S.A., (2003). B ro Binalarının Tipolojik  zellikleri  zerine Karşılaştırmalı Bir Araştırma: Enerji Kullanımı, Yapım, Bilişim Teknolojileri ve Mimariye Yansımaları, Yüksek Lisans Tezi, YT  Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [137] "Ground Source Heat Pump Project Analysis", Minister of Natural Resources Canada 2001-2005, www.retscreen.net, 29 Mart 2011.
- [138] Ülkeler ve şehirlere ait fotoğrafların paylaşıldığı web sitesi, <http://www.globus.al>, 15 Mart 2011.
- [139] Viessmann resmi web sitesi, <http://www.viessmann.com.tr>, 15 Mart 2011.
- [140] Isı pompaları detay ve uygulamalarına ait bilgilerin bulunduğu web sitesi, <http://www.isipompasi.net>, 15 Mart 2011.
- [141] Carter,S.,(2010). "Case Study Manitoba Hydro Place", <http://www.smithcarter.com>, 29 Mart 2011.
- [142] Kuwabara, B., Auer, T., Gouldborough, T. and Klym, G., (2009). "Manitoba Hydro Place Integrated Design Process Exemplar", 22-24 June 2009, 26th Conference On Passive And Low Energy Architecture, Canada.
- [143] Berman, R., (2010). "Manitoba Hydro Place", ENVS-664-660 Sustainable Design, <http://www.greendesignetc.net>, 29 Mart 2011.
- [144] Manitoba Hydro Place resmi web sitesi, <http://www.manitobahydroplace.com>, 15 Mart 2011.
- [145] Yapı sektörü ve uygulamaları ile ilgili güncel bilgilerin paylaşıldığı web sitesi, <http://dcnonl.com>, 15 Mart 2011.
- [146] Smith Carter resmi web sitesi, <http://www.smithcarter.com>, 15 Mart 2011.
- [147] Brute Force Collaborative resmi web sitesi, <http://bruteforcecollaborative.com>, 15 Mart 2011.
- [148] AMM (Association of Manitoba Municipalities) resmi web sitesi, <http://www.amm.mb.ca>, 15 Mart 2011.
- [149] Puvannant, C., (1999). "Bioclimatic Design; The Vital Approach To Sustainable Environment and Pollution Control of Asian Cities", Sustainable Environment Policies and Pollution Control Strategies In Cities, 18-30 October 1999, China.
- [150] Tönük, S. ve Kayıhan, K.S., (2006). "Architecture and Environment Ecological Building Design Recommendations For One Family Passive House Design", 1st International CIB Endorsed METU Postgraduate Conference Built Environment & Information Technologies, March 16-18, 2006, Ankara.
- [151] Yeang, K. and Powell, R., (2007). "Designing The Ecoskyscraper: Premises For Tall Building Design", The Structural Design Of Tall and Special Buildings 16, 411-427
- [152] Sanat, mimarlık, fotoğrafçılık alanlarında bilgi ve paylaşımları içeren web sitesi, <http://weburbanist.com>, 15 Mart 2011.
- [153] T. R. Hamzah ve Ken Yeang resmi web sitesi, <http://www.trhamzahyeang.com>, 15 Mart 2011.
- [154] Ekolojik araştırmaların bulunduğu, bilgi ve paylaşımlarının yapıldığı web sitesi, <http://www.ecofuture.net>, 15 Mart 2011.

- [155] Sev, A. ve Özgen, A., (2003). "Yüksek Binalarda Sürdürülebilirlik Ve Doğal Havalandırma", Yapı Dergisi, 262: 92-93
- [156] Tsai, C.H., (2002). Natural Ventilation in The High Rise Buildings in Taipei, Phd. Thesis, Faculty of The School of Architecture University of Southern California, California.
- [157] Roaf, S., Fuentes, M. and Thomas, S., (2001). Ecohouse: A Design Guide, Reed Educational and Professional Publishing Ltd, Oxford.
- [158] Sürdürülebilirlik alanında bilgi ve paylaşımların bulunduğu web sitesi, <http://www.sustainability.vic.gov.au>, 15 Mart 2011.
- [159] Etheridge, D.G. ve Ford, B., (2008). "Natural Ventilation of Tall buildings – Options and Limitations", CTBUH 8th World Congress 2008, Dubai.
- [160] Boake, T.M., "The Tectonics of The Double Skin: What Are Double Façades and How Do They Work?", <http://www.architecture.uwaterloo.ca>, 29 Mart 2011.
- [161] Khan, N., Su, Y. ve Riffat, S.B., (2008). "A Review On Wind Driven Ventilation Techniques", Energy and Buildings, 40: 1586-1604.
- [162] Rofail, T., (2006). "Natural Ventilation in Buildings", NEERG Seminar, Australia.
- [163] Eşsiz, Ö. ve Özgen, A., (2004). "Büro Yapılarında Enerji Tüketimini Azaltan Çift Kabuklu Cam Cephe Sistemleri", Yapı, 279: 97.
- [164] Bayram A., (2003). Energy Performance of Double Skin Façades in Intelligent Office Buildings: A Case Study, MSc Thesis, Middle East Technical University, Ankara.
- [165] Çeşitli fotoğrafların paylaşıldığı web sitesi, <http://viewpictures.co.uk>, 15 Mart 2011.
- [166] Mimarlık haberleri, yapılar ve kentsel yerleşim bilgileri ve çeşitli fotoğraflara yer verilen web sitesi, <http://www.architecture.uwaterloo.ca>, 15 Mart 2011.
- [167] Sürdürülebilirlik, uygulama ve teknolojilerinin anlatıldığı wen sitesi, <http://sustainablecities.dk>, 15 Mart 2011.
- [168] Doğal havalandırma yöntemleri, araştırmaları ve örneklerinin bulunduğu web sitesi, <http://cmiserver.mit.edu>, 15 Mart 2011.
- [169] The University of Tennessee resmi web sitesi, <http://web.utk.edu>, 15 Mart 2011.
- [170] Technischen Universität Hamburg-Harburg (TUHH) resmi web sitesi, <http://www.tu-harburg.de>, 15 Mart 2011.
- [171] Commerzbank Building'e ait uygulama detaylarının yer aldığı web sitesi, <http://space-modulator.jp>, 15 Mart 2011.
- [172] Tekin, Ç.Ç., (2006). "Giydirme Cephe Tasarımındaki Kriterler", 4. Ulusal Çatı Ve Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme Ve Teknolojiler Sempozyumu, 17 -18 Ekim 2006, İstanbul.

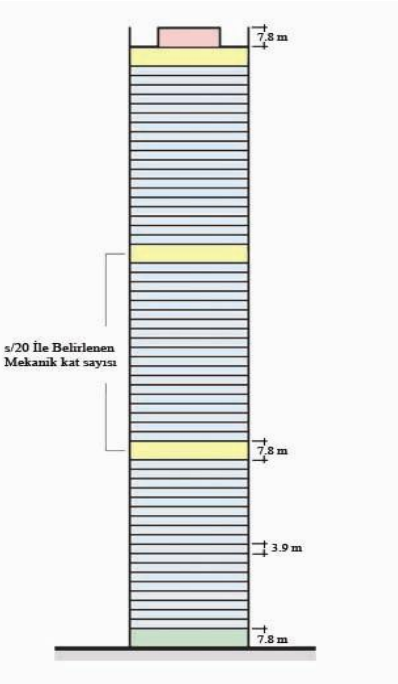
- [173] Çelik, Ç., (2005). "Cam Yapı Kabuğunda Yapım Teknolojisi", Çatı Cephe Fuarı, 25-26 Mart 2005 CNR, İstanbul.
- [174] Şenkal, F. S., (2005). "Türkiye'de Metal Çerçevesiz Giydirme Cephe Sistemlerinin Üretim Uygulaması", Çatı Cephe Fuarı, 25-26 Mart 2005, İstanbul.
- [175] Çiğdem, Ç.T., "Giydirme Cephe Sistemlerinde Test Metodları", 4. Ulusal Çatı Ve Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme Ve Teknolojiler Sempozyumu, 17-18 Ekim 2006, İstanbul.
- [176] Gökdemir, H. ve Yılmaz, M., "Sürdürülebilir Gelecek İçin Isı Yalıtımlı Alüminyum Sistemlerin Önemi", İzolasyon Dünyası, 68: 48-49.
- [177] Aksoy, F., (2007). "Farklı Cam Türlerinin Isıtma-Soğutma ve Aydınlatma Yüklerine Etkisi", <http://www.batul.deu.edu.tr>, 29 Mart 2011.
- [178] Lynn Becker'a ait mimarlık haberleri ve araştırmaların yer aldığı resmi web sitesi, <http://lynnbecker.com/repeat/jenney/jenney.htm>, 15 Mart 2011.
- [179] Çeşitli yapı fotoğraflarının bulunduğu web sitesi, <http://designhistorylab.com>, 15 Mart 2011.
- [180] Mentmore Towers resmi web sitesi, <http://thejudgement.net/mentmore.html>, 15 Mart 2011.
- [181] Eşsiz, Ö., (2004). "Teknolojinin Cam Cephe Panellerine Getirdiği Yenilikler", 2-3 Nisan 2004 Çatı Cephe Fuarı, CNR, İstanbul.
- [182] Trakya Cam AŞ., (2006). "Yapıda Cam", Mimarlıkta Malzeme Dergisi, Temmuz 2006.
- [183] Wolf, A.T., "Sustainability Driven Trends and Innovation in Glass and Glazing", <http://www.dowcorning.com>, 29 Mart 2011
- [184] Manav, B., Kutlu, R. ve Küçüköğlü, M.Ş., (2009). "Mimaride Kullanılan Cam Türlerinin Aydınlatma Açısından İncelenmesi", V. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu Ve Sergisi Programı, 7 Mayıs 2009, İzmir.
- [185] Markova, T.S., Halopenen, I.Y., Maksimov, I.K. and Yanush O.V., (2003). "Thermochromic Glazing For Zero Net Energy House", Glass Processing Days 2003, 8th International Glass Conference In Tampere, Finland.
- [186] Chamberlain, H., (2008). "Nanotechnologies Expand Glazing Options and The Complexity of Specifications", Best One Conference 2008, June 10, Minneapolis Convention Center, Minnesota.
- [187] Vondrak, J., Sedlarikova, M., Vlcek, M., Mohelnikova J. and Macalik, M., (2006). "Electrochromic Glazings for Window Applications", Solid State Phenomena, 113: 507-512.
- [188] Rottmann, M. and Kraft, A., (2007). "Electrochromic Safety Glass From Wet Deposition Process To An All Solid State Product" Glass Performance Days 2007, Finland.
- [189] Stenzel, H., Kraft, A., Heckner, K.H., Rottmann, M., Steuer, M. and Papenfuhs, B., (2003). "Electrochromic Glazing With An Ion Conducting PVB Interlayer",

Glass Processing Days 2003, 8th International Glass Conference In Tampere, Finland.

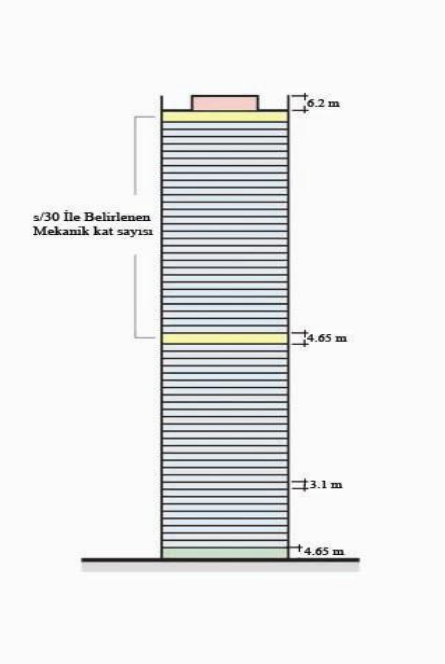
- [190] Bahaj, A.S., James, P.A.B. and Jentsch, M.F., (2008). "Potential Of Emerging Glazing Technologies For Highly Glazed Buildings in Hot Arid Climates", *Energy and Buildings*, 40(2008): 720-731.
- [191] Granqvist, C.G., (2006). "Electrochromics: Finally A Technology For Large-Scale Applications?", SPIE Newsroom, <http://www.spie.org>, 29 Mart 2011.
- [192] Kraft, A. and Rottmann, M., (2006). "Electrochromic Safety Glass For Smart-Window Applications", SPIE Newsroom, <http://www.spie.org>, 29 Mart 2011.
- [193] Wilson, H.R., Blessing, R., Hagenström, H., Hutchins, M.G., Dvorjetski, D. and Platzer, W.J., (2002). "The Optical Properties Of Gasochromic Glazing", 4.th International Conference on Coatings on Glass, 3-7 November, Braunschweig, Germany.
- [194] Georg, A., Graf W., Schweiger, V., Nitz, P. and Wilson H.R, (1998). "Switchable Glazing With A Large Dynamic Range In Total Solar Energy Transmittance", *Solar Energy* 1998.
- [195] LEED Green Building Rating Systemtm Version 2.0, Leadership in Energy and Environmental Design, March 2000, U.S. Green Building Council.
- [197] Oldfield, P., Trabucco, D. and Wood, A., (2008). "Five Energy Generations of Tall Buildings: A Historical Analysis Of Energy Consumption In High Rise Buildings", CTBUH 8th World Congress 2008, Dubai.
- [200] Yener, A. K., Uyan, F. ve Şener, F., (2009). "Binaların Sürdürülebilirliklerinin Belirlenmesinde Aydınlatma Sistemlerinin Değerlendirilmesi", V. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi Programı, 7 Mayıs 2009, İzmir.
- [196] Yeşil yapılar ve fotoğraf paylaşımlarının bulunduğu web sitesi, http://www.glazette.com/features_view-28.html, 15 Mart 2011.
- [198] Chicago'da mimarlık ve şehirde bulunan yapılarla ilgili bilgilerin bulunduğu web sitesi, <http://www.chicagoarchitecture.info>, 15 Mart 2011.
- [199] Yüksek yapılar ve bu yapılara ait örneklerin ve fotoğrefların bulunduğu web sitesi, <http://www.eikongraphia.com>, 15 Mart 2011.
- [201] LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) resmi web sitesi, <http://www.leed.net>, 15 Mart 2011.
- [202] Mimari tasarımlar, fotoğraf ve örneklerin bulunduğu web sitesi, <http://www.topboxdesign.com>, 15 Mart 2011.
- [203] BREEAM (BRE Environmental Assessment Method) resmi web sitesi, <http://www.breem.org>, 15 Mart 2011.
- [204] Heron Tower resmi web sitesi, <http://www.herontower.com>, 15 Mart 2011.
- [205] CASBEE resmi web sitesi, <http://www.ibec.or.jp>, 15 Mart 2011.

- [206] Takenaka Corporation resmi web sitesi, <http://www.takenaka.co.jp>, 15 Mart 2011.
- [207] AIA Japan (A Chapter of The American Institute of Architects) resmi web sitesi, <http://www.aiajapan.org>, 15 Mart 2011.
- [209] JFC (Japan for Sustainability) resmi web sitesi, <http://www.japanfs.org>, 15 Mart 2011.
- [208] Nissan resmi web sitesi, <http://www.nissan-global.com>, 15 Mart 2011.

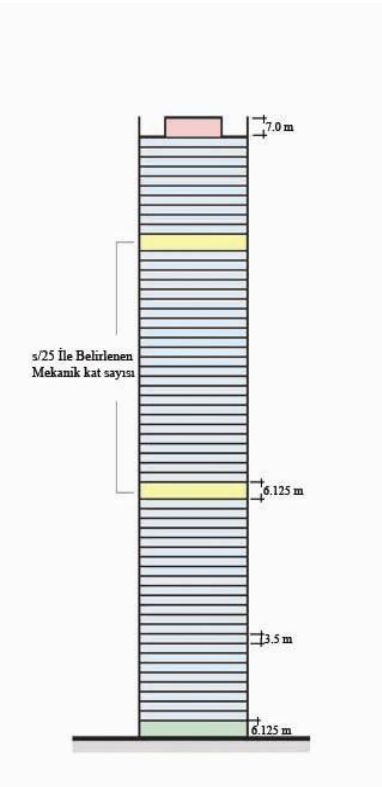
KAT SAYISI BELLİ OLAN OFİS BİNASI YÜKSEKLİĞİ HESAPLAMA

 <p>60 katlı ofis binası</p>	<p>Bilinen kat sayısı: s</p> <p>Kabul edilen katlar arası yükseklik: 3.9 m.</p> <p>Giriş lobisi katlar arası yükseklik faktörü: 7.8 m. Formülde 3.9 m kabul edilip kalan yarısı ek olarak verilir.</p> <p>Mekanik kat döşemeler arası yükseklik faktörü: 7.8 m. (kat sayısı belirtilirken bu kat da dahil edildiği için 3.9 m kabul edilip kalan 3.9 m formüle eklenir Mekanik kat sayısı s/20 olarak belirlenir).</p> <p>Çatı yüksekliği faktörü: 7.8 m. (burası kat olarak sayılmadığı için ek olarak formülde gösterilir)</p> <p>Yapı yüksekliği : kat sayısı x döşemeden döşemeye yükseklik</p> <p>Kat yüksekliği: 3.9 m.</p> <p>Zemin kat yüksekliği artış faktörü: 3.9 m.</p> <p>Mekanik kat yüksekliği artış faktörü: 3.9 m. x s/20</p> <p>Çatı seviyesi yükseklik faktörü: 7.8 m.</p> <p>Formül:</p> $H_{\text{bina}} = 3.1 s + 7.75 + 1.55 (s/20)$
--	---

KAT SAYISI BELLİ OLAN KONUT VE OTEL BİNALARI İÇİN YÜKSEKLİK HESAPLAMA

 <p style="text-align: center;">60 Katlı konut/otel binası</p>	<p>Bilinen kat sayısı: s</p> <p>Kabul edilen katlar arası yükseklik (f) : 3.1 m.</p> <p>Giriş lobisi katlar arası yükseklik faktörü: 4.65 m., formülde 3.1 m kabul edilip 1.55 m ek olarak verilir.</p> <p>Mekanik kat döşemeler arası yükseklik faktörü: 4.65 m. (kat sayısı belirtilirken bu kat da dahil edildiği için 3.1 m. kabul edilip, kalan 1.55 m formüle eklenir. Mekanik kat sayısı s/30 olarak belirlenir.)</p> <p>Çatı yüksekliği faktörü: 6.2 m. (burası kat sayılmadığı için ek olarak formülde gösterilir)</p> <p>Yapı yüksekliği: kat sayısı x döşemeden döşemeye yükseklik</p> <p>Kat yüksekliği: 3.1 m.</p> <p>Zemin kat yüksekliği artış faktörü: 1.55 m.</p> <p>Mekanik kat yüksekliği artış faktörü: 1.55 m. x s/30</p> <p>Çatı seviyesi yükseklik faktörü: 6.2 m.</p> <p>Formül:</p> $H_{\text{bina}} = 3.9 s + 11.7 + 3.9 (s/30)$
---	--

KAT SAYISI BELLİ OLAN KARMA FONKSİYONLU YA DA FONKSİYONU BİLİNMEYEN YAPILARIN YÜKSEKLİKLERİNİN HESAPLANMASI

 <p style="text-align: center;">60 katlı karma fonksiyonlu / fonksiyonu bilinmeyen yapı</p>	<p>Bilinen kat sayısı: s</p> <p>Kabul edilen katlar arası yükseklik (f) : 3.5 m.</p> <p>Giriş lobisi katlar arası yükseklik faktörü: 6.125 m., formülde 3.5 m kabul edilip 2.625 m. ek olarak verilir.</p> <p>Mekanik kat döşemeler arası yükseklik faktörü: 6.125 m (kat sayısı belirtilirken bu kat da dahil edildiği için 3.5 m kabul edilip kalan 2.625 m formüle eklenir. Mekanik kat sayısı s/25 olarak belirlenir.)</p> <p>Çatı yüksekliği faktörü: 7 m. (burası kat olarak sayılmadığı için ek olarak formülde gösterilir)</p> <p>Yapı yüksekliği: kat sayısı x döşemeden döşemeye yükseklik</p> <p>Kat yüksekliği: 3.5 m.</p> <p>Zemin kat yüksekliği artış faktörü: 2.625 m.</p> <p>Mekanik kat yüksekliği artış faktörü: 2.625 m. x s/25</p> <p>Çatı seviyesi yükseklik faktörü: 7 m.</p> <p>Formül:</p> $H_{\text{bina}} = 3.5 s + 9.625 + 2.625 (s/25)$
---	---

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Nazlı DEMİR
Doğum Tarihi ve Yeri: 23.07.1980 - İstanbul
Yabancı Dili: İngilizce
E-posta: demir_naz@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Mimarlık	YTÜ	2011
Lisans	Mimarlık	Trakya Üniversitesi	2006
Lisans	Fen Fakültesi	İstanbul Üniversitesi	2001
Lise	Fen Bilimleri	YDA Şişli Kurtulu Lisesi	1998

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2010	Proplan Proje Yön. Ve Dan. Ak-Asya Şantiyesi	İnce İşler Sorumlusu
2008	Okyanus Grup Forum İstanbul Şantiyesi	Design Ofis Mimarı
2006	Taş Yapı- MM Proje Maslak Mashattan Şantiyesi	Design Ofis Mimarı

2006	Üç-er Mühendislik-Mimarlık LTD Şti Edirne (Part-time)	Teknik Uzman
2006	Es Yapı Şehircilik, Proje, Restorasyon Ltd Şti. Edirne Demirtaş Camii (Part-time) II. Beyazıt Külliyesi (Part-time)	Teknik Uzman