

152230

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇİFT KABUKLU CEPHELERİN ISI KAYIPLARININ
HESAPLANMASINDA KULLANILABİLECEK YENİ BİR
YAKLAŞIM**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mimar Kemal Ferit Çetintaş
502021365**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 Nisan 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 17 Mayıs 2004**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Zerrin Yılmaz
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Vildan Ok (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Ahmet Arısoy (İ.T.Ü.)**

Vildan Ok
Z. Yılmaz
A. Arısoy

MAYIS 2004

152230

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmamın hazırlanması süresince, değerli bilgi ve yardımlarıyla bana her türlü desteği sağlayan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Zerrin Yılmaz'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her döneminde olduğu gibi yüksek lisans eğitimim sırasında da beni destekleyen aileme sonsuz teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım. Tez döneminde destek ve katkılarından dolayı arkadaşlarım Lütfi Özdemir'e ve Timuçin Budak'a teşekkürü borç bilirim.

Mayıs, 2004

Kemal Ferit Çetintaş

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	III
TABLO LİSTESİ	IV
ŞEKİL LİSTESİ	V
SEMBOL LİSTESİ	VIII
ÖZET	X
SUMMARY	XIV
1. GİRİŞ	1
1.1. Enerjinin Tanımı	2
1.2. Enerji Sorununa Genel Bakış	3
2. ENERJİ ETKİN TASARIM	6
2.1. Yapılarda Enerji Kullanımı	7
2.2. Yapılarda Enerji Kullanımını Zorunlu Kılan Nedenler	8
2.3. Yapılarda Enerji Korunumunu Zorunlu Kılan Nedenler	9
2.4. Yapılarda Enerji Etkin Tasarım Parametreleri	9
3. YAPI KABUĞUNDA ENERJİ KORUNUMU SAĞLAYAN SİSTEMLER	13
3.1. Akıllı Kabuk	14
3.1.1. Çift Kabuklu Cepheler	16
3.1.1.1. Çift Kabuklu Cephelerin Gelişme Süreci	17
3.1.1.2. Çift Kabuklu Cephelerin Özellikleri	21
3.1.1.3. Çift Kabuklu Cepheyi Oluşturan Bileşenler	25
3.1.1.4. Çift Kabuklu Cephelerin Olumlu ve Olumsuz Yönleri	28
3.1.1.5. Çift Kabuklu Cephe Uygulama Örnekleri	28
3.2. Bölümün Sonuçları	48
4. ÇİFT KABUKLU CEPHELERİN ISITMA ENERJİSİ TASARRUFUNA ETKİSİNİ BELİRLEMEDE KULLANILAN YÖNTEMLER	49
4.1. Çift Kabuklu Cephelerin Isı Kayıplarının Hesaplanmasında Kullanılan Yöntemler	49
4.1.1. Her İki Kabuğu da Saydam Bileşenden Oluşan Çift Kabuklu Cephelerin Isı Kayıplarının Hesaplanması	50
4.1.2. İç Kabuğu Saydam ve Opak Bileşenden Oluşan Çift Kabuklu Cephelerin Isı Kayıplarının Hesaplanması	51
4.1.2.1. Ara Boşluk Sıcaklığı	52
4.1.2.2. Çift Kabuklu Cepheyi Oluşturan Bileşenlerin Isıl Denge Denklemleri	53

5. ÇİFT KABUKLU CEPHELERİN ISI KAYIPLARININ HESAPLANMASINDA KULLANILABİLECEK YENİ BİR YAKLAŞIM	62
5.1. Yaklaşımın Amacı	62
5.2. Yaklaşımın Tanıtılması	62
5.2.1 Yaklaşımın Adımları	63
5.2.1.1 Birinci Aşama	63
5.2.1.2. İkinci Aşama	65
5.2.1.3. Üçüncü Aşama	66
6. YENİ YAKLAŞIMIN UYGULANMASINA İLİŞKİN ÖRNEK	72
6.1. Uygulama Çalışmasının Amacı	72
6.2. Uygulama Çalışmasında İzlenen Yol	72
6.2.1. Birinci Aşama	73
6.2.2. İkinci Aşama	79
6.2.3. Üçüncü Aşama	80
7. BULGULAR	81
8. SONUÇLAR	89
KAYNAKLAR	92
EKLER	94
ÖZGEÇMİŞ	129

KISALTMALAR

IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
HVAC	: Isıtma, soğutma ve havalandırma sistemleri
SHGC	: Güneş ışıınımı kazancı
WIS	: Windows Information System



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Dünya fosil yakıtları rezervleri tahmini tükenme süresi.....	3
Tablo 1.2. Fosil kaynaklı yakıtların açığa çıkardığı CO ₂ miktarı.....	4
Tablo 1.3. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı konutlarda tahmini enerji tüketim değerleri.....	5
Tablo 2.1. Büro binalarında enerji kullanımı dağılımı.....	7
Tablo 2.2. Isıl konfor verimlilik ilişkisi	8
Tablo 3.1. Tek ve çok katlı yapılarda ortalama ısı kaybı oranları	13
Tablo 6.1. Yapı kabuğundaki katmanlaşma alternatifleri	76

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1 : İklimle dengeli cephe	15
Şekil 3.2 : Sıkıştırılmış cephe	16
Şekil 3.3 : Steiff fabrika binası cephe sistem kesiti.....	18
Şekil 3.4 : Hooker büro binası cephe kesiti.....	20
Şekil 3.5 : Konstrüksiyon tipine göre çift kabuklu cepheler.....	21
Şekil 3.6 : Ara boşluğu doğal yolla havalandırılan çift kabuklu cephe kesiti.....	23
Şekil 3.7 : Ara boşluktaki havanın akış şekli.....	24
Şekil 3.8 : Stuttgart'taki bir büro binasının cephesinin ses yalıtım değerleri.....	25
Şekil 3.9 : Deutsche Messe Ag yönetim binası.....	29
Şekil 3.10 : Deutsche Messe Ag binası giriş kat ve tipik kat planı.....	30
Şekil 3.11 : Cephe sistem kesiti.....	32
Şekil 3.12 : Çift kabuklu cephenin ara boşluğundan görüntü.....	33
Şekil 3.13 : Arag binası.....	34
Şekil 3.14 : Arag binası zemin kat planı.....	35
Şekil 3.15 : Arag binası kat planları.....	36
Şekil 3.16 : Mekanik sistem çalışma zamanları.....	37
Şekil 3.17 : Havalandırma sistemi çalışma prensibi.....	37
Şekil 3.18 : Kabuklar arası boşluk.....	38
Şekil 3.19 : Duisburg teknoloji parkı binası.....	40
Şekil 3.20 : Duisburg teknoloji parkı binası tip kat planı.....	41
Şekil 3.21 : Duisburg teknoloji parkı binası kesiti.....	42
Şekil 3.22 : Duisburg teknoloji parkı binası cephe sistem kesiti.....	42
Şekil 3.23 : Commerzbank binası genel görünüm.....	44
Şekil 3.24 : Commerzbank tip kat planı.....	45
Şekil 3.25 : Commerzbank binası kesiti.....	45
Şekil 3.26 : Commerbank binası merkezi atrium havalandırma konsept şeması.....	46
Şekil 3.27 : Commerzbank binası cephe kesiti.....	47
Şekil 4.1 : WIS Programını oluşturan modüller ve ilişkileri.....	50
Şekil 4.2 : Çift kabuklu cephe sistem kesiti.....	52
Şekil 4.3 : Dış kabuğun ısı dengesi.....	54
Şekil 4.4 : İç kabuktaki opak bileşenin ısı dengesi.....	58
Şekil 4.5 : Ara boşluğun ısı dengesi.....	60
Şekil 5.1 : İklimsel konfor grafiği.....	64
Şekil 5.2 : Opak bileşenin şematik kesiti.....	67

Şekil 6.1	: Uygulama çalışmasındaki örnek büro binasının tip kat planı.....	74
Şekil 6.2	: Çift kabuklu cephenin kesiti.....	74
Şekil 6.3	: Tek kabuklu cephe sistem kesiti.....	75
Şekil 7.1	: D1 alternatifi Güney yönü yalıtımlı tuğla duvar kesintisiz çalışma şeklinde ara boşluk ve bileşenlerin yüzey sıcaklıkları.....	81
Şekil 7.2	: Güney yönü A alternatifi için Tek ve çift kabuklu cephe saydam bileşen (iç kabuktaki saydam bileşen) iç yüzey sıcaklığı değişimi.....	82
Şekil 7.3	: Güney yönü A ve A1 alternatifi tek kabuklu ve çift kabuklu cephe opak bileşen iç yüzey sıcaklığı değişimi	83
Şekil 7.4	: B&B1 alternatifi güney yönü tek kabuk ve çift kabuk opak bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi.....	83
Şekil 7.5	: Güney yönü çift kabuklu cephede C1 ve A1 alternatifleri için iç kabuktaki opak bileşen iç yüzey sıcaklığı değişimi.....	84
Şekil 7.6	: Güney yönü çift kabuklu cephe A1 alternatifi ve tek kabuklu cephe C alternatifi opak bileşen iç yüzey sıcaklığı değişimi.....	85
Şekil 7.7	: Güney yönü A alternatifi tek kabuk ve çift kabuklu cepheye sahip hacmin iç hava sıcaklığı değişimi.....	85
Şekil 7.8	: A&A1 alternatifi tek kabuk ve çift kabuk ortalama ısınsal sıcaklık değişimi.....	86
Şekil 7.9	: Tek kabuklu ve çift kabuklu alternatiflerin günlük toplam ısı kaybı.....	87
Şekil 7.10	: A1 ve C1 alternatifleri günlük ısı kaybı&kazancı değişimi.....	88
Şekil A.1	: A1 alternatifi için güney yönü tuğla duvar kesintili çalışma şeklinde ara boşluk ve bileşenlerin yüzey sıcaklıkları.....	95
Şekil A.2	: A1 alternatifi için batı yönü tuğla duvar kesintili çalışma şeklinde ara boşluk ve bileşenlerin yüzey sıcaklıkları.....	96
Şekil A.3	: B1 alternatifi için güney yönü tuğla duvar kesintisiz çalışma şeklinde ara boşluk ve bileşenlerin yüzey sıcaklıkları.....	97
Şekil A.4	: B1 alternatifi için batı yönü tuğla duvar kesintisiz çalışma şeklinde ara boşluk ve bileşenlerin yüzey sıcaklıkları.....	98
Şekil A.5	: C1 alternatifi için batı yönü yalıtımlı tuğla duvar kesintili çalışma şeklinde ara boşluk ve bileşenlerin yüzey sıcaklıkları.....	99
Şekil A.6	: C1 alternatifi için güney yönü yalıtımlı tuğla duvar kesintisiz çalışma şeklinde ara boşluk ve bileşenlerin yüzey sıcaklıkları.....	100
Şekil A.7	: D1 alternatifi için batı yönü yalıtımlı tuğla duvar kesintisiz çalışma şeklinde ara boşluk ve bileşenlerin yüzey sıcaklıkları.....	101
Şekil A.8	: A&A1 alternatifi için batı yönü tek kabuk ve çift kabuk saydam bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi.....	102
Şekil A.9	: B&B1 alternatifi için güney yönü tek kabuk ve çift kabuk saydam bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi.....	103
Şekil A.10	: B&B1 alternatifi için batı yönü tek kabuk ve çift kabuk saydam bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi.....	104
Şekil A.11	: C&C1 alternatifi için güney yönü tek kabuk ve çift kabuk saydam bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi.....	105
Şekil A.12	: C&C1 alternatifi için batı yönü tek kabuk ve çift kabuk saydam bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi.....	106
Şekil A.13	: D&D1 alternatifi için güney yönü tek kabuk ve çift kabuk saydam bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi.....	107

Şekil A.14 : D&D1 alternatifi için batı yönü tek kabuk ve çift kabuk saydam bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi.....	108
Şekil A.15 : A&A1 alternatifi için batı yönü tek kabuk ve çift kabuk opak bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi.....	109
Şekil A.16 : B&B1 alternatifi için batı yönü tek kabuk ve çift kabuk opak bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi.....	110
Şekil A.17 : C&C1 alternatifi için güney yönü tek kabuk ve çift kabuk opak bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi.....	111
Şekil A.18 : C&C1 alternatifi için batı yönü tek kabuk ve çift kabuk opak bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi.....	112
Şekil A.19 : E&E1 alternatifi için güney yönü tek kabuk ve çift kabuk opak bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi.....	113
Şekil A.20 : E&E1 alternatifi için batı yönü tek kabuk ve çift kabuk opak bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi.....	114
Şekil A.21 : D&D1 alternatifi için güney yönü tek kabuk ve çift kabuk opak bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi.....	115
Şekil A.22 : D&D1 alternatifi için batı yönü tek kabuk ve çift kabuk opak bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi.....	116
Şekil A.23 : F&F1 alternatifi için güney yönü tek kabuk ve çift kabuk opak bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi.....	117
Şekil A.24 : F&F1 alternatifi için batı yönü tek kabuk ve çift kabuk opak bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi.....	118
Şekil A.25 : B&B1 alternatifi için tek kabuk ve çift kabuk iç hava sıcaklık değişimi.....	119
Şekil A.26 : C&C1 alternatifi için tek kabuk ve çift kabuk iç hava sıcaklık değişimi.....	120
Şekil A.27 : D&D1 alternatifi için tek kabuk ve çift kabuk iç hava sıcaklık değişimi.....	121
Şekil A.28 : B&B1 alternatifi için tek kabuk ve çift kabuk ortalama ışınsal sıcaklık değişimi.....	122
Şekil A.29 : C&C1 alternatifi için tek kabuk ve çift kabuk ortalama ışınsal sıcaklık değişimi.....	123
Şekil A.30 : D&D1 alternatifi için tek kabuk ve çift kabuk ortalama ışınsal sıcaklık değişimi.....	124
Şekil A.31 : A&A1 alternatifi için güney yönü tek kabuk ve çift kabuk ısı kaybı değişimi.....	125
Şekil A.32 : B&B1 alternatifi için güney yönü tek kabuk ve çift kabuk ısı kaybı değişimi.....	126
Şekil A.33 : C&C1 alternatifi için güney yönü tek kabuk ve çift kabuk ısı kaybı değişimi.....	127
Şekil A.34 : D&D1 alternatifi için güney yönü tek kabuk ve çift kabuk ısı kaybı değişimi.....	128

SEMBOL LİSTESİ

v_o	: Ara boşluktaki hava akış hızı (m^3/h)
v	: Dış ortamdaki hava akış hızı (m^3/h)
t	: Dış ortam sıcaklığı ($^{\circ}C$)
α_i	: Bileşenin yüzeyinin ısı transfer katsayısı ($W/m^2^{\circ}C$)
D	: Kabuklar arasındaki boşluk (m)
Q_{as}	: Dış kabuğun güneş ışıınımı kazancı (W)
a_s	: Kabuğun güneş ışıınımına karşı yutuculuğu
F_s	: Dış kabuk alanı (m^2)
I	: Dış kabuğu etkileyen güneş ışıınımı yeğinliği (W/m^2)
Q_s	: Camın depoladığı ısı miktarı (W)
D_s	: Dış kabuğun kalınlığı (m)
t_s	: Dış kabuğun iç yüzey sıcaklığı ($^{\circ}C$)
t_s'	: Bir önceki periyotta dış kabuğun iç yüzey sıcaklığı ($^{\circ}C$)
C_c	: Siyah cisim ışıınımı ($c_c=5,67 W/m^2K^4$)
t_o	: Dış ortam hava sıcaklığı ($^{\circ}C$)
t_m'	: Bir önceki periyotta ara boşluk sıcaklığı ($^{\circ}C$)
t_i	: İç hava konfor sıcaklığı ($19^{\circ}C$)
β_{s1}, β_{s2}	: Dış kabuğun dış ve iç yüzeylerinin ısı ışıınım katsayısı
$\varepsilon_{s1}, \varepsilon_{s2}$	: Dış kabuğun dış ve iç yüzeylerinin ısı yayılım katsayısı
ρ	: Havanın yoğunluğu ($\rho=1,25 kg/m^3$)
α_{s1}	: Dış kabuğun dış yüzeyinin ısı transfer katsayısı ($W/m^2^{\circ}C$)
α_{s2}	: Dış kabuğun iç yüzeyinin ısı transfer katsayısı ($W/m^2^{\circ}C$)
ρ_p	: Pencere içindeki havanın yoğunluğu ($\rho=1,25 kg/m^3$)
α_{p1}	: Pencere dış yüzeyinin ısı transfer katsayısı ($W/m^2^{\circ}C$)
α_{p2}	: Pencere iç yüzeyinin ısı transfer katsayısı ($W/m^2^{\circ}C$)
t_p	: İç kabuktaki pencerenin iç yüzey sıcaklığı ($^{\circ}C$)
D_p	: Pencerenin kalınlığı (m)
d_s	: Dış kabuğun güneş ışıınımı geçirgenliği
t_w	: Duvarın dış yüzey sıcaklığı ($^{\circ}C$)
F_w	: Duvar alanı (m^2)
A_w	: Duvarın yutuculuk katsayısı
δ	: Duvarın kalınlığı (m)
λ	: Duvarın ısı iletim katsayısı ($W/m^{\circ}C$)
α_{w1}	: Duvar dış yüzeyinin ısı transfer katsayısı ($W/m^2^{\circ}C$)
α_{w2}	: Duvar iç yüzeyinin iç yüzey ısı transfer katsayısı ($W/m^2^{\circ}C$)
F_s	: Dış kabuğun alanı (m^2)
F_p	: Pencere alanı (m^2)
F_w	: Duvar alanı (m^2)
t_m	: Ara boşluk sıcaklığı ($^{\circ}C$)
Q_{asr}	: Yaygın ışıınım kazancı (W)
Q_{asR}	: Direkt ışıınım kazancı (W)
a_R	: Direkt ışıınım yutuculuk katsayısı
a_r	: Yaygın ışıınım yutuculuk katsayısı
I_r	: Yaygın ışıınım yeğinliği (W/m^2)

I_R	: Direkt ışıının yeğınlığı (W/m^2)
t_M, t_{M+1}, t_{M-1}	: Herhangi bir T anında, M, M+1 ve M-1 katman sınırındaki sıcaklıklar ($^{\circ}C$)
t_M'	: M noktasında, ($T+\Delta T$) anındaki sıcaklık, ($^{\circ}C$)
a	: Bileşenin m. katmanını oluşturan malzemenin ısı yayınıın katsayısı
t_1'	: Bileşenin iç yüzeyinde ($T+\Delta T$) anındaki sıcaklık, ($^{\circ}C$)
t_{wi}'	: Opak bileşen iç yüzey sıcaklığının herhangi bir T anındaki değeri
a_1	: Bileşenin iç yüzeyindeki malzemenin ısı yayınıın katsayısı
b	: Bileşenin iç yüzeyinin hacmin saydam bileşenlerden geçen güneş ışıınıı yutuculuk katsayısı
S_i	: Hacimdeki tüm saydam bileşenlerden geçen güneş ışıınıının, ele alınan kabuk elemanın iç yüzeyini etkileyen yeğınlığı (W/m^2)
t_2	: Bileşen içerisinde bileşen iç yüzeyinden (Δx) m kadar içerideki noktanın ($T+\Delta T$) anındaki sıcaklığı ($^{\circ}C$)
t_{p2}	: Saydam bileşenin herhangi bir andaki iç yüzey sıcaklığı ($^{\circ}C$)
d_R	: Saydam bileşenin direkt ışıınııa karşı geçirgenliği
d_r	: Saydam bileşenin yaygın ışıınııa karşı geçirgenliği
F_p	: Saydam bileşenin engeller tarafından gölgelenmiş alanının tüm cam alanına oranı
U_p	: Saydam bileşenin toplam ısı geçirme katsayısı ($W/m^2 \text{ } ^{\circ}C$)
t_i'	: İç hava sıcaklığının herhangi bir T anındaki değeri ($^{\circ}C$)
m	: Hacimdeki havanın kütlesi (kg.)
Q_{in}	: Hacimdeki açıklıklardan hava değışimi ve hava sızıntısı ile ΔT zaman aralığında geçen ısı miktarı (W)
Q_h	: Hacimdeki ısı kaynaklarından ΔT zaman aralığında kazanılan ısı (W)

ÇİFT KABUKLU CEPHELERİN ISI KAYIPLARININ HESAPLANMASINDA KULLANILABİLECEK YENİ BİR YAKLAŞIM

ÖZET

Günümüzde insan yaşamı teknolojiye ve onun yakıtı olan enerjiye bağımlı hale gelmiştir. Dünyada tüketilen enerji gün geçtikçe artmakta ve tüketilen enerjinin büyük bölümü fosil yakıtlarından karşılanmaktadır. Fosil yakıt rezervlerinin gelecekte tükenecek oluşu ve fosil yakıtlarının kullanımının neden olduğu çevre kirliliği gibi nedenlerden dolayı, enerji konusu toplumlar için ciddi bir sorun haline gelmiştir. Enerji sorunun çeşitli ülkelerde çeşitli platformlarda tartışılmış ve çeşitli çözüm önerileri ortaya konmuştur. Bu bağlamda, sürdürülebilirlik ve ekoloji gibi kavramlar ön plana çıkmış, enerji tasarrufunun önemi artmıştır. Ülkeler enerji üretimi için ihtiyaç olan fosil yakıtlarına bağımlılığı azaltmak için doğal enerji kaynaklarının kullanımına ağırlık vermişlerdir.

Sürdürülebilirlik, ekoloji ve enerji tasarrufu gibi kavramlar tüm endüstri ve üretim dallarında olduğu gibi bina endüstrisinde de önem kazanmıştır. Konut ve işyerlerinde tüketilen enerji miktarı ülkenin tükettiği toplam enerji miktarı içinde önemli bir pay almaktadır. Bina endüstrisi bu duruma kayıtsız kalamamış ve bu alandaki çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bu çalışmaların sonucu olarak, binalarda doğal enerji kaynaklarının doğrudan ve dolaylı kullanıldığı sistemler ve enerji tasarrufu sağlayan sistemler bu alanda önemli teknolojik gelişmeler olarak göze çarpmaktadır. Binalarda tüketilen toplam enerjinin %40'ını ısıtma enerjisi giderleri oluşturmaktadır. Bilindiği gibi, binalarda ısıtma enerjisi açısından enerji kaybının en yüksek olduğu yapı elemanı yapı kabuğudur. Bina endüstrisi binalardaki yaşanan bu sorunu çözmek üzere yaptığı çalışmaların sonucu olarak yapı kabuğundan kaynaklanan enerji kayıplarını azaltan sistemler ve bileşenler geliştirilmiştir. Akıllı bina kabuğu bu teknolojik gelişmeler içinde en yaygın olarak kullanılan sistemdir.

Akıllı yapı kabuğu literatürde, iç ortam ve dış ortam arasında bir dengeleyici olarak hizmet veren, aydınlatma, havalandırma ve ısısal konfor gibi birbiriyle çelişkili ihtiyaçları karşılamak üzere tasarlanmış çok işlevli bir eleman olarak tanımlanmaktadır. Çift kabuklu cepheler bu bağlamda tasarlanmış akıllı yapı kabuğu örneklerinden biridir. Günümüzde özellikle yüksek binalarda sıkça karşılaştığımız çift kabuklu cepheler, sağladığı akustik yalıtım ve ısıtma enerjisi tasarrufu gibi nedenlerden dolayı tercih edilmektedir.

Bu çalışmada, çift kabuklu cephelerin ısı kayıplarının hesaplanmasında kullanılabilecek yeni bir yaklaşım ortaya konmaktadır. Çalışmanın birinci bölümünde konunun daha iyi anlatılabilmesi için konuya geniş bir perspektiften bakılarak konu ile ilgili temel kavramlar ve enerji sorunu global ölçekte anlatılmaktadır. Birinci bölümde anlatılanları takiben ikinci bölümde enerji etkin tasarım anlayışının ortaya çıkış süreci anlatılmaktadır. Yine bu bölümde yapılarda enerji kullanımını ve korunumunu zorunlu kılan etmeler ile binalarda enerji etkin tasarım parametrelerine yer verilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, yapı kabuğunda enerji korunumu sağlayan sistemler içinde akıllı yapı kabuğu anlatılmaktadır. Bu bölümde bu çalışmanın da konusu olan çift kabuklu cepheler ayrıntılı olarak anlatılmaktadır. Çift kabuklu cephelerin özellikleri, gelişme süreci, bileşenleri ve çift kabuklu cephelerin uygulama örnekleri bu bölüm içerisinde incelenmiştir.

Çift kabuklu cephelerin ısıtma enerjisi tasarrufuna etkisi çalışmanın dördüncü bölümünde anlatılmaktadır. Bu bölümde çift kabuklu cephelerin ısı kayıplarının hesaplanmasında kullanılan yöntemlere yer verilmiştir. Bu yöntemlerden birincisi, çift kabuklu cam cephelerin ısı kayıplarının hesaplanmasında kullanılan WIS programıdır. İkinci yöntem ise B. Todorovic tarafından geliştirilen ‘iç kabuğu saydam opak bileşenden oluşan çift kabuklu cephelerin ısı kayıplarının ara boşluk sıcaklığına bağlı olarak hesaplanması’ adlı yöntemdir. Bu çalışmada geliştirilen yeni yaklaşımda Todorovic tarafından geliştirilen yöntem bazı değişiklikler yapılarak kullanılmıştır. B. Todorovic tarafından geliştirilen yöntem kabuklar arasındaki boşluğun sıcaklığının hesaplanmasına dayanmaktadır. Ara boşluk sıcaklıklarının hesaplanması için bir saat aralıklarla matematiksel simülasyonlar yürütülmektedir. Bu matematiksel simülasyonlar, çift kabuklu cepheyi oluşturan modüllerin ısı denge

denklemleri yazılarak elde edilmektedir. Ara boşluk sıcaklığı dış ortam sıcaklığı kabul edilerek çift kabuklu cephenin ısı kayıpları hesaplanmaktadır.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen, çift kabuklu cephelerin ısı kayıplarının hesaplanmasında kullanılabilecek yeni bir yaklaşım çalışmanın beşinci bölümünde anlatılmaktadır. Yaklaşım üç ana aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama, hesaplamalarda gerekli olan binaya ilişkin ve iklimsel elemanlara ilişkin verilerin belirlendiği aşamadır. İkinci aşamada ara boşluk sıcaklıkları hesaplanmaktadır. Bu aşamada Todorovic tarafından geliştirilen yöntem bazı değişiklikler yapılarak kullanılmıştır. Todorovic'in yönteminde çift kabuklu cepheyi oluşturan bileşenlerin ısıl denge denklemlerinde güneş ışıınımı kazancı doğrudan ve yaygın ışıınım olarak ayrı ayrı kabul edilmediği görülmüştür. Yapı kabuğundaki saydam bileşenlerin her iki ışıınım türüne karşı farklı davranış gösterdiği bilinmektedir. Saydam bileşenlerin üzerine düşen yaygın ve doğrudan ışıınım miktarları farklı olduğu gibi saydam bileşenlerin bu ışıınımları geçirgenlik oranı da farklıdır. Bu nedenle bileşenlerin ısıl denge denklemleri yazılırken, bileşenlerin güneş ışıınımı kazancı kısmında bu kabulün yapılması daha doğru olacağı düşünülerek denklemlerde yapılan bazı düzeltmelerle bu eksiklikler giderilmiştir. Üçüncü aşamada ise, ikinci aşamada hesaplanan ara boşluk sıcaklıkları dış ortam sıcaklığı olarak kabul edilerek, iç kabuktaki opak bileşenden geçen ısı miktarı, iç kabuğu oluşturan bileşenlerin iç yüzey sıcaklıkları ve hacmin iç hava sıcaklığı zamana bağlı rejimde sonlu farklar yaklaşımı ile hesaplanmaktadır.

Çalışmanın altıncı bölümünde, geliştirilen yeni yaklaşım örnek bir büro binası üzerinde uygulanmıştır. Uygulama çalışmasının amacı, uygulama çalışması yapılan hacmin tek kabuklu veya çift kabuklu cepheye sahip olması durumundaki ısısal performansını ortaya koymaktır. Yedinci bölümde, bir önceki bölümde yapılan uygulama çalışmasından elde edilen bulgulara yer verilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, çift kabuklu cephe tek kabuklu cepheye göre çok daha iyi bir ısısal performans göstermektedir.

Çalışmanın sekizinci bölümünde, çalışmaya ilişkin genel sonuçlara yer verilmiştir. Yedinci bölümde verilen bulgulardan da görüldüğü gibi, çift kabuklu cepheler tek kabuklu cephelere göre çok daha iyi bir ısısal performans göstermektedir. Çift kabuklu cephelerin yapıya getirdiği ek maliyet ve sağladığı ısıtma enerjisi tasarrufu göz önüne alınarak uzun dönem yaşam maliyeti analizi yapılmalıdır. Sonuç olarak, çift kabuklu cepheler yeni uygulanacak binalar için iyi bir alternatif olduğu kadar mevcut binaların enerji etkin yenilenmesi için de iyi bir alternatif olduğu görülmüştür. Henüz Türkiye de uygulanmamış olan çift kabuklu cephelerin ülkemizde de uygulanması gerekliliği ortaya konmuştur.



A NEW APPROACH FOR DOUBLE SKIN ENVELOPE'S HEAT LOSS CALCULATION

SUMMARY

Nowadays human life become independent to technology and its fuel which is energy. Amount of energy supply has been increasing and most of the amount has been provided from fossil fuels. Energy become an important issue for human life because of limited amount of fossil fuels and environmental pollution. Energy issue has been discussed in many countries and many solutions to the issue has been developed. As a result of these discussions importance of some terms such as sustainability and energy save have been increased. Countries give importance to using natural energy sources to avoid from using fossil fuels.

Sustainability and energy saving terms take place in building construction industry too. Energy consumption in dwellings and offices has a great rate in country's total energy consumption. Therefore, building industry focus on this point. As a result of this interest, many technologies which is used natural energy source and materials which provides energy save, have been developed. As it is known heating energy demand of a building has a great rate in building total energy consumption. In addition to that, most of the heating energy has been loosed from building envelope. That is why building industry gave importance to develop new envelope technology. Intelligent building envelope systems are the most common technology in these area.

Intelligent building envelope systems are identified as a component which serve as a balance element between outer space and inner space. Moreover, it provides different requirements such as ventilating, lighting and inner climatic conditions. Double skin envelope systems are the most common systems in intelligent building skin systems. Nowadays double skin envelope is preferred because of its acoustic insulation and thermal performance.

In this study, a new approach was proposed for double skin façade's heat loss calculation. In first chapter, general concepts of the subject are given. Energy terms and energy issue are explained from global perspective to understanding the subject better. In second chapter, history of energy conscious design, relationship between energy using and building, energy conscious design parameters are given.

In the third chapter of the study, the systems which provide energy saving at building envelope are explained. Double skin envelope systems are mentioned in this chapter. Properties of double skin envelope, their components, history and examples are explained in detail.

Effects of double skin envelopes to heating energy saving, is explained in chapter four. In this chapter, the methods which calculate double skin envelope's heat loss, are given. The first method is WIS computer program, which calculates double skin glass facades heat loss. The second method is 'double skin façade's heat loss calculation based on inter-space temperatures' which is developed by B. Todorovic. In this study Todorovic's method is used with some modifications. The method is based on calculation of inter-space temperatures. Inter-space temperatures are calculated with mathematical simulations. These mathematical simulations are obtained according to component's heat loss and gain. Inter-space temperatures are accepted as outdoor temperatures and then heat loss of the double skin are calculated according to this acceptance.

A new approach for double skin façade's heat loss calculation is explained in the fifth chapter. The approach is formed of three main steps. The first step is, determination of climatic and building data which are used in calculations. The second step is, calculation of inter-space temperatures. In Todorovic's method solar gain is not accepted as direct and diffuse separately. As it is known transparent component's behavior against to direct and diffuse radiation is significantly different. Moreover, amount of direct and diffuse solar radiation, which effect transparent components, is different. Direct and diffuse solar radiation transmissivity of transparent component is also different. Therefore in heat balance equations these properties are considered and equations are developed. The third step, inter-space temperatures, which are calculated in previous step, are accepted as outdoor

temperature and heat flux in opaque component, inner surface temperature and indoor air temperature are calculated in unsteady-state conditions.

In sixth chapter new approach is applied on example office building. The aim of this chapter is to compare double skin and single skin envelope performance in same building. The results of sixth chapter are given in seventh chapter. According to the results, double skin envelopes shows better thermophysical performance than single skin envelope can be said.

In eight chapter, general results of the study are given. As it is seen in chapter seven, double skin façade has better thermophysical performance than single skin. In order to see the energy efficiency of the office buildings renovation with the proposed method the life cycle economical analysis of the double skin façade should be done. Finally, Although double skin façade is a good alternative for buildings which is not be constructed, it is a good alternative in energy efficient renovation of existing buildings. This study shows that double skin façade, which is not be applied in Istanbul, should have applied in Turkey.

1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler, insan hayatını kolaylaştırmasının yanı sıra insanları teknolojiye ve onun yakıtı olan enerjiye bağımlı hale getirmiştir. Enerji kaynaklarının giderek azalması ve aşırı yakıt tüketiminin neden olduğu çevre kirliliğinin ciddi boyutlara ulaşması dünyadaki tüm ülkeler için ciddi bir problem oluşturmıştır. 1970’li yıllarda yaşanan enerji krizi ile enerji maliyetleri önemli ölçüde artmıştır. Bu nedenlerden dolayı enerjinin verimli kullanılması ve doğayla dost doğal enerji kaynaklarına yönelmek bir zorunluluk haline gelmiştir. Bina endüstrisinde de enerjinin etkin kullanılmasına ilişkin çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar arasında yapı kabuğunda enerji denetimi sağlayan sistemler önemli yer tutmaktadır.

Yapı kabuğunda enerji korunumu sağlayan sistemler, özellikle çok katlı binalar için önem taşımaktadır. Çok katlı binalarda toplam ısı kaybının %40’ı yapı kabuğu aracılığı ile gerçekleşmektedir. Bu binalarda kabukta enerji denetimini sağlayacak sistemler, kışın binanın ısı kayıplarının azalmasına, yazın ise güneş ışıını kazançlarının kontrol altına alınarak soğutma yüklerinin azaltılmasına olanak sağlamaktadır. Bu sistemler arasında akıllı yapı kabuğu ve çift kabuklu cepheler ön plana çıkmaktadır. Çift kabuklu cepheler ilk yatırım maliyetinin çok yüksek olmasına karşın, binanın ısı kayıplarını önemli ölçüde azaltarak enerji tüketiminin denetim altına alınmasını sağlamaktadır.

Bu çalışmada, çift kabuklu cephelerin ülkemizde uygulanması halinde enerji tüketimi açısından getireceği avantaj irdelenmiş ve ülkemizdeki mevcut büro binalarında enerji etkin kabuk yenilenmesi için çift kabuklu cephelerin bir alternatif olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda iç kabuğu saydam ve opak bileşenden oluşan çift kabuklu cephelerin ısı kayıplarının belirlenmesine yönelik yaklaşımlar incelenmiş ve mevcut yaklaşımın eksik yönlerinin olması sebebiyle yeni bir yaklaşım geliştirilerek uygulanmıştır.

Tez kapsamında giriş kısmında konuya en geniş perspektiften bakılarak enerji kavramının ne ifade ettiği ve enerji sorunun genel durumu hakkında bir

değerlendirme yapılmıştır. İkinci kısımda ise enerji etkin tasarımın gelişme süreci, binalarda enerji kullanımı gibi kısımlarla binalar ile enerji arasındaki ilişki vurgulanmıştır. Yine bu kısımda binalarda enerji etkin tasarım parametreleri de kısaca özetlenmiştir. Üçüncü kısımda bina kabuğunda enerji korunumu sağlayan sistemler incelenmiş ve çift kabuklu cepheler detaylı olarak anlatılmıştır. Dördüncü ve beşinci kısımda çalışmanın ana amacı olan çift kabuklu cephelerde ısı kayıplarını belirlemeye yönelik yöntemler incelenmiş ve geliştirilen yeni yaklaşım anlatılmıştır. Altıncı bölümde geliştirilen yaklaşımın uygulaması ve uygulama sonunda elde edilen bulgulara yer verilmiştir. Yedinci ve son kısımda ise yaklaşım ile ilgili genel sonuçlar vurgulanmıştır.

1.1. Enerjinin Tanımı

Enerji, iş yapabilme yeteneği yada sığası olarak tanımlanmaktadır [1]. Başlıca enerji türleri, ısı, ışık, elektrik, kimyasal, atom, kinetik ve potansiyel enerjidir. Bir işi meydana getirebilmek için gerekli olan enerji, enerji kaynaklarının kullanımı ile mümkündür. Günümüzde enerji kaynakları toplumların var olabilmesi için yaşamsal derecede önem taşımaktadır. Enerji kaynaklarını yenilenebilir ve yenilenemez olmak üzere iki grupta toplamak mümkündür.

Yenilenebilir enerji kaynakları doğal sürecin bir parçası olması nedeniyle yenilenebilen enerji kaynaklarıdır. Başlıca yenilenebilir enerji kaynakları güneş, rüzgar, su ve biyolojik kütledir. Bunlar arasında kullanımı en yaygın olan su ve güneş enerjisidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemli avantajları doğal sürecin parçası olması nedeniyle tükenmez olması ve çevreye zararlı olmamalarıdır.

Yenilenemeyen enerji kaynakları ise, doğal sürecin bir parçası olmayışları nedeniyle yenilemeyen enerji kaynaklarıdır. Bu kaynakların en yaygın kullanılanları kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil nitelikli kaynaklardır. Yenilenemeyen enerji kaynaklarının en önemli nitelikleri, rezervlerinin sınırlı oluşundan dolayı tükenir olmaları ve kullanımları sırasında veya sonrasında açığa çıkartıları çevreye zararlı maddeler nedeniyle ciddi boyutlarda çevre kirliliğine neden olmalarıdır. Günümüzde enerji, üretimi, tüketimi ve neden olduğu sorunlardan dolayı dünya gündeminde önemli bir yer almaktadır.

1.2. Enerji Sorununa Genel Bir Bakış

Endüstri devrimi ile başlayan sürecin toplumsal açıdan en önemli sonuçlarından biri de enerji üretimi ve talebinin büyük ölçüde artması olmuştur. Artan enerji ihtiyacı önemli ölçüde fosil yakıtlarından karşılanmış ve fosil yakıtlarının neden olduğu çevre kirliliği gibi sorunlar 1970'li yıllara dek göz ardı edilmiştir. 1972 yılında Clubs of Rome'da yayınlanan The Limits to Growth adlı raporda, enerji tüketimi, enerji kaynakları ve neden oldukları çevre sorunları net bir biçimde dile getirilmiştir [2]. Yine 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizi enerji maliyetlerinin ciddi boyutlarda artmasına neden olmuştur. Bu kriz, bir çok ülkenin konu ile ilgili önlemleri almasına vesile olmuştur. Bu konuda verilecek en çarpıcı örnek, petrol krizin çıktığı 1973 yılından beri itibaren uyguladığı enerji politikaları sayesinde petrole olan bağımlılığını yılda 120.000.000 TEP'den (TEP: Milyon ton petrol eşdeğeri) 60.000.000 TEP'e indiren Fransa'dır. Dünyanın enerji tüketimi her on yılda iki kat artmaktadır. Bu artış göz önüne alındığında fosil yakıt rezervlerinin ömrünün çok uzun olmayacağı tahmin edilmektedir. Tablo 1.1'de dünyadaki fosil yakıt rezervlerinin tahmini tükenme süresi verilmektedir.

Tablo 1.1 Dünya Fosil Yakıtları Rezervleri Tahmini Tükenme Süresi (yıl) [3]

Bölge	Petrol	Doğalgaz	Kömür
K. Amerika	14	11	239
Orta ve Güney Amerika	38	68	474
Avrupa	8	18	161
Eski SSCB Ülkeleri	24	82	500
Ortadoğu	87	100	175
Afrika	28	98	268
Asya ve Okyanusya	16	40	164
Dünya Ortalama	41	62	230

Dünya Enerji Konseyinin 1999 yılı raporuna göre, dünya enerji tüketiminde önemli ölçüde bir değişiklik olmadığı takdirde dünyadaki petrol rezervlerinin 41, doğalgaz rezervlerinin 62 ve kömür rezervlerinin 230 yıl içerisinde tükeneceği öngörülmektedir.

Dünya fosil yakıtlarına bağımlı hale gelmiştir. Son elli yılda bu bağımlılık katlanarak artmıştır. Dünyada fosil yakıt tüketimi 1950’de 1.7 milyar TEP iken bu rakam 1999’da 8 milyar TEP’e ulaşmıştır. Günümüzde dünya enerji gereksiniminin %85’i fosil yakıtlarından karşılanmaktadır.

Enerji sorununun önemli bir diğer boyutu da, enerji üretimi ve tüketimi sırasında oluşan çevre kirliliğidir. Fosil yakıtlarının kullanımı sonunda açığa çıkan çevreye zararlı maddeler, ciddi boyutlarda çevre kirliliğine neden olmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA)’nın 1995 ve 2020 yılları arasını gözetten çalışmasında enerjinin etkin kullanımını içeren politikaların yaşama geçirilmemesi halinde global enerji talebinin %65 artacağı ve buna bağlı olarak CO₂ emisyonlarında %70 civarında bir artış olacağı tahmin edilmektedir. Tablo 1.2’de çevre kirliliğine neden olan CO₂ emisyonları ile fosil yakıtları arasındaki ilişki verilmektedir.

Tablo 1.2 Fosil Kaynaklı Yakıtların Açığa Çıkardıkları CO₂ Miktarı [4]

Fosil Kaynaklı Yakıtlar	CO ₂ Emisyonları (kg/GJ)
Doğal gaz	55.0
Petrol Ürünleri	77.0
Siyah Kömür	91.7
Kahverengi Kömür	95.3
Elektrik (kömür ateşli santral)	286.0

Ülkemizdeki durum da dünyadaki genel durumdan farklı değildir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın yaptığı çalışmaya göre Türkiye’nin enerji tüketimi her yıl önemli ölçüde artmaktadır. Aşağıdaki tablo 1.3’de ülkemizin 1990 ve 2010 yılındaki konutlardaki enerji tüketim miktarları verilmektedir.

Tablo 1.3 Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Konutlarda Tahmini Enerji Tüketim Değerleri [5]

	1990	2010
Konut sayısı	11 Milyon	17 Milyon
Konut eşdeğeri iş yeri sayısı	1 Milyon	3 Milyon
Toplam	12 Milyon	20 Milyon
Enerji tüketimi	50 TEP	200 TEP
Enerji üretimi	20 TEP	75 TEP
İthal enerji	22 TEP	125 TEP
Konutlarda ısıtma amaçlı harcanana enerji	15 TEP	34 TEP

TEP: Milyon ton petrol eşdeğeri

Günümüzde Türkiye’de üretilen enerji miktarı tüketilen miktarın oldukça altındadır. Ülkemiz 2010 yılındaki tahmini verilere göre ürettiği enerji miktarının yaklaşık üç katını yurtdışından ithal edecektir. Halen Türkiye’de birim hacmi ısıtmak için harcanan enerji Fransa’dan %46 İsveç’ten %230 fazladır [5]. Bu bağlamda enerjinin verimli kullanılması, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek 1970’li yıllardan itibaren giderek önem kazanmıştır. Bina endüstrisinde enerji etkinliğini ön plana alan tasarımlar gitgide önem kazanarak enerji etkin tasarım gibi tasarım anlayışlarının ortaya çıkmasına neden olmuştur.

2. ENERJİ ETKİN TASARIM

Zamanla enerji kaynaklarının giderek azalması, aşırı derecede fosil yakıtı kullanımı sonucu CO₂ emisyonlarının artması, malzeme üretimi, bina yapım ve işletim sürecinde ortaya çıkan kirletici maddelerin havaya, suya ve toprağa karışarak insan sağlığını tehdit edici boyutta çevre kirliliğine neden olmaları; enerji ihtiyacına ve çevresel isteklere ilişkin konuların bina tasarımında dikkate alınması gerektiğini ortaya çıkarmıştır. 1970'li yıllarda ivme kazanan bu görüşler mimarlara önemli sorumluluklar yüklemiştir. Mimarlar enerji tüketimi en alt seviyede olan ve enerjiyi verimli kullanan tasarım yaklaşımlarını benimsemişlerdir. Günümüzde yaşanan çevre sorunları ve yenilenemez enerji kaynaklarının tükenecek oluşunun belirlenmesi bu yaklaşımı bir zorunluluk haline getirmiştir. 1993'de Dünya Mimarlık Kongresi'nde sözü edilen gelişmelerin değerlendirilmesi sonucunda enerji etkin tasarım yaklaşımının yapıların doğal çevre ve enerji tüketimi üzerindeki etkilerini önemli ölçüde azalttığı kabul edilmiştir [6 s.5]. Enerji etkin tasarım literatürde çeşitli şekillerde tanımlanmıştır. Kapsamlı olarak enerji etkin tasarım yaklaşımı, yapıyı oluşturan tüm malzeme, bileşen ve sistemlerin üretimi, yapının tasarımı, üretimi, kullanımı, işletimi, bakım-onarımı, tüm bina sistemleri yanı sıra elektro mekanik sistemlerin tasarım ve işletimi, bina ömrünü tamamladığında binayı oluşturan girdilerin dönüştürülerek yeniden kullanılabilirliğinin sağlanmasına kadar uzanan bir alanda, enerji girdilerinin bireysel ve toplumsal yarara yönelik olarak miktar ve maliyetin en aza indirilmesi çabaları enerji etkin tasarım yaklaşımı olarak tanımlanabilir [7]. Temel olarak enerji etkin tasarım, performans, sağlık ve konfor için en az seviyede enerji girdisine ve en az seviyede enerji harcamasına sahip olan tasarım olarak tanımlanabilir. Twinn'e göre bir binanın enerji etkin bir bina olabilmesi için, binanın en fazla enerji tüketen alt sistemlerinin belirlenerek bunların en az seviyede enerji tüketecek şekilde tasarlanması gerekmektedir [8]. Bu bağlamda yapılarda enerji kullanımının dağılımının ve nedenlerinin bilinmesi yapıların enerji etkin tasarlanabilmesi için önemli bir unsur haline gelmiştir.

2.1. Yapılarda Enerji Kullanımı

Yapıların özel koşulları içinde bulunduğu bölgenin iklimsel koşulları, kullanıcı ve tercihleri, konfor ölçütleri, kabul edilen standartlar yapının toplam enerji yükünü belirleyen unsurlardır. Yapılarda enerjinin kullanıldığı alanların bilinmesi enerji etkin tasarım anlayışının uygulanmasında en önemli öğelerden biridir. Yapının muhtemel enerji yükünün tasarım aşamasında belirlenmesi, enerjinin fazla tüketildiği alt sistemlerin az enerji tüketecek şekilde tasarlanmasına olanak sağlar. Genel olarak yapılarda ısıtma, soğutma ve havalandırma için harcanan enerji yapının tüm enerji giderinin 40%'ı kadardır. Tablo 2.1'de görüldüğü gibi enerji kullanımına ofis binaları açısından bakıldığında HVAC sistemlerinin enerji harcaması toplam enerji giderlerinin yaklaşık 50%'si kadardır.

Tablo 2.1 Büro binalarında enerji kullanımı dağılımı [9]

Kullanım yeri	Elektrik tüketimi KWh/ay	Yüzde %
Aydınlatma	16305	5,4
HVAC sistemleri	150420	49,6
Asansörler	41370	13,6
Diğer	95259	31,4
Toplam	303354	100

Büro binalarında ısıtma soğutma ve havalandırmada doğal yöntemlerden yararlanılması mekanik sistemlere duyulan ihtiyaç süresini azaltacağından önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanacaktır. Her yapı konfor koşullarının sağlanması için belirli sürede enerji girdisine ihtiyaç duymaktadır. Yapılarda enerji kullanımı zorunlu kılan sebepler olduğu gibi enerji korunumunu zorunlu kılan sebepler de mevcuttur.

2.2. Yapılarda Enerji Kullanımını Zorunlu Kılan Nedenler

Yapıların en önemli fonksiyonu insanlara dış mekanlardan daha konforlu mekanlar yaratmaktır. Bu nedenle yapılarda enerji kullanımını zorunlu kılan nedenlerin başında konfor gereksinimleri gelmektedir. Konfor durumu, fizyolojik açıdan insanın çevresine minimum düzeyde enerji harcayarak uyum sağlayabildiği ve psikolojik açıdan hoşnut olduğu koşullar takımı olarak tanımlanabilir. Bina içinde konfor koşullarının gerçekleştiği durumlarda insanın performansı maksimum düzeye ulaşır [10]. İngiltere'den Hoare Lea & Partners'in yaptığı bir araştırmaya göre ofis binalarında çalışanların verimlilikleri ısı konforuna göre aşağıdaki gibi değişiklik göstermektedir. Her 5%'lik verimlilik düşüşü saat başına 1 pound maliyete eş olarak değerlendirilmiştir [4]. Konfor koşullarının sağlanamamasının sonucunda çalışanların azalan verimliliği mali açıdan ciddi boyutta kayıplara neden olmaktadır.

Tablo 2.2 Isıl konfor verimlilik ilişkisi [4]

Verimlilik %	Sıcaklık
95-100	20-24
90-95	19-20,24-25
80-90	18-19,25-26
70-80	17-18,26-27
60-70	16-17,27-28
50-60	15-16,28-30

Konfor koşulları, kullanılmakta olan binanın sağlanması gereken optimal iç iklim durumunu ve görsel konfor koşulları tanımlar. Bu koşulların gerçekleştirilebilmesi için binaların yılın belirli dönemlerinde (ısıtmanın istendiği dönem) yapma olarak ısıtılması ve iklimlendirilmesi, günün belirli dönemlerinde de yapay olarak aydınlatılması gerekmektedir. Binalarda enerji tasarrufu, yenilenemez enerji kaynaklarının kullanılarak binanın konfor koşullarının sağlandığı sürelerin kısaltılması ve binanın doğal enerji kaynaklarından daha fazla yararlanacağı pasif ısıtma ve iklimlendirme sistemleri ile donatılması ile mümkündür.

2.3. Yapılarda Enerji Korunumunu Zorunlu Kılan Nedenler

Teknolojik gelişmeler ışığında insanların konfor koşullarına ilişkin beklentileri önemli ölçüde gelişmiştir. Konfor koşullarının kullanıcı performansı ve iş verimi açısından öneminin anlaşılması nedeniyle konfor koşulları için gerekli olan enerji gereksinimindeki önemli artışa karşın,

- Yapma ısıtma ve iklimlendirmede kullanılan yenilenemez enerji kaynaklarının (kömür, petrol ve doğalgaz) azalması dolayısıyla bu tür kaynakların maliyetinin artması
- Fosil yakıtlarının yapma ısıtma ve iklimlendirmede kullanılmasıyla açığa çıkan maddelerin insan sağlığını tehdit edici boyuta ulaşması
- Hava kirliliğini azaltıcı önlemlerin yükleyeceği maliyet ve
- Elektrik enerjisi üretim maliyetinin ulaştığı boyutlar

Yapma ısıtma ve iklimlendirme enerjisi harcamalarının minimum düzeye indirgenmesini zorunlu kılmaktadır [10]. Bu nedenle yapıların, yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanacağı pasif ısıtma ve iklimlendirme sistemleri ile donatılmalıdır. Yapı elemanlarının pasif sistem ögesi olarak tasarlanabilmesi için yapılarda enerji korunumunu etkileyen tasarım parametrelerinin dikkate alınması gerekmektedir.

2.4. Yapılarda Enerji Korunumunu Etkileyen Tasarım Parametreleri

Tüm binalarda iklimsel konfor koşullarının sağlanabilmesi için yılın belirli dönemlerinde mekanik sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Enerji korunumu açısından bu sistemlerin yükünün en alt seviyeye indirilmesi binanın güneş enerjisi gibi doğal enerji kaynaklarından faydalanması ile mümkündür. Binanın güneş enerjisinden doğrudan kazanç sağladığı pasif sistemler binanın, konfor koşullarının sağlanması için mekanik sistemlere ihtiyaç duyduğu süreyi oldukça kısaltmaktadır. Şehir dokusu içerisinde yer alacak olan binanın güneş enerjisinden pasif sistemler ile optimum derecede yararlanabilmesi için gerekli tasarım parametreleri aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Binalar arası uzaklıklar ve birbirlerine göre konumlandırılış durumu

Binanın pasif iklimlendirilebilmesi için, binanın güneş ışınlamından optimum şekilde yararlanabilmesi gerekmektedir. Bina kabuğunun termofiziksel özelliklerini etkileyen faktörlerden biri de bina kabuğunun dış yüzeyine gelen güneş ışınlamı şiddetidir. Bu nedenle binaların arasındaki uzaklıklar ve birbirlerine göre konumlandırılış durumu, binaların birbirlerinin güneş ışınlamı kazançlarını olumsuz yönde etkileyecek şekilde olmamalıdır. Ayrıca binalar arasındaki uzaklıklar, binaların doğal havalandırılmasında da önemli rol oynayan rüzgar etkilerini engellemeyecek şekilde belirlenmelidir. Binalar arasındaki optimum uzaklıklar güneşin profiline, azimut açıları ve hakim rüzgar yönü verilerinden yararlanılarak belirlenmelidir.

Binanın yönlendiriliş durumu

Binanın şehir dokusu içindeki konumu binayı çevreleyen yapı kabuğunun termofiziksel özelliklerini etkileyen en önemli değişkendir. Güneş ışınlamı şiddeti yönlerle göre farklılık göstermektedir. Binanın yönlendiriliş durumu binayı çevreleyen yapı kabuğunun dış yüzeyindeki güneş ışınlamı şiddetini etkilemektedir. Yapı kabuğunun dış yüzeyindeki güneş ışınlamı şiddeti, kabuğun birim alanından geçen ısı miktarına tesir eden en önemli değişkendir. Bu nedenle binanın yönlendiriliş durumu, yapı kabuğunun termofiziksel özelliklerini dolayısıyla binanın pasif iklimlendirilmesini etkilemektedir.

Binanın boyutları ve biçim faktörü

Biçim faktörü yapı planında genişliğin derinliğe oranı olarak tanımlanmaktadır. Binanın eni, boyu ve yüksekliği yapı kabuğunun alanını etkileyen değişkenlerdir. Binanın boyutları ve biçim faktörü yapı kabuğundan vuku bulan ısı kayıplarını, dolayısıyla iç hava sıcaklığını ve ortalama ışınlımsal sıcaklığı etkileyen değişkenlerdir.

Ele alınan hacmin bina içerisindeki konumu

Hacmin bina içerisindeki konumu, hacmi çevreleyen yapı kabuğu sayısını belirlemektedir. Yapı kabuğu sayısı, hacmin kabuk elemanları aracılığı ile kazanılan veya kaybedilen ısı miktarını etkileyen en önemli değişkenlerden biridir. Hacmin yapı kabuğundan kaybettiği ısı miktarı, hacmin sahip olduğu yapı kabuğu sayısı ile orantılıdır. Bu nedenle hacmin bina içerisindeki konumu, hacmin pasif iklimlendirilmesini etkileyen en önemli yapma çevre değişkenidir.

Bina kabuğunun termofiziksel ve optik özellikleri

Hacmin pasif iklimlendirilmesinde en önemli tasarım parametresi hacmi çevreleyen ve bina içi çevreyi bina dışı çevreden ayıran bina kabuğudur. Bina kabuğunun özellikleri iki başlık altında toplanabilir bunlar,

- Kabuğun termofiziksel özellikleri ve
- Kabuğun optik özellikleridir.

Saydamlık oranı, kabuğun ısı geçirme katsayısı, saydam ve opak kabuk bileşenlerinin özellikleri, zaman geciktirmesi ve genlik küçültme faktörü bina kabuğunun termofiziksel özelliklerini oluşturur. Saydamlık oranı, yapı kabuğundaki saydam bileşenlerin alanlarının tüm kabuk alanına oranı olarak tanımlanmaktadır. Saydam ve opak bileşenleri oluşturan malzemelerin güneş ışınımına karşı davranışları ve termofiziksel özellikleri farklı olduğundan, kabuğun saydamlık oranı yapı kabuğunun ısı performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Bina kabuğundaki opak bileşenin ısı geçirme katsayısı, opak bileşeni oluşturan malzemelerin kalınlıkları ve ısı iletim katsayılarına bağlı bir değişkendir. Kabuğun ısı geçirme katsayısı hacmin kabuk aracılığı ile kaybettiği ısı miktarı üzerinde önemli rol oynamaktadır. Opak kabuk bileşenleri, ısı depolama kapasiteleri ihmal edilemeyecek maddelerden olduğundan, zaman gecikmesi ve genlik küçültme faktörü gibi kavramlar da opak bileşeni oluşturan malzemelerin ısı iletim katsayıları, özgül ağırlıkları ve özgül ısılarına bağlı olarak, opak bileşenden geçen ısı miktarını etkilemektedir. Zaman geciktirmesi, kabuğun dış yüzeyindeki maksimum sol-air sıcaklığın kabuğun iç yüzeyine iletildiğinde maksimum iç yüzey sıcaklığının oluşumuna kadar geçen süredir. Genlik küçültme faktörü, bileşenin iç yüzeyindeki sıcaklık değişiminin genliğinin, dış yüzeyine oranıdır.

Saydam bileşenin ısı geçişini etkileyen termofiziksel özellikleri ise, saydam bileşenin toplam ısı geçirme katsayısı ve saydamlık oranıdır.

Bina kabuğundaki saydam bileşenlerin optik özellikleri, güneş ışınımına karşı yutuculuk, geçirgenlik ve yansıtıcılık katsayılarıyla tanımlanmaktadır. Optik özellikleri ifade eden katsayılar boyutsuzdur. Yutuculuk, geçirgenlik ve yansıtıcılık katsayıları sırasıyla, bileşen tarafından yutulan, geçirilen ve yansıtılan güneş ışınımı miktarlarının bileşen dış yüzeyine gelen güneş ışınımına oranlarıdır. Dış kabuğun dış yüzeyindeki güneş ışınımı, kabuğun optik özelliklerine bağlı olarak güneş ısısı

kazancına dönüşür. Bu değişkenler, bileşenin birim alanından geçen ısı miktarını etkilemektedir.

Bina kabuğunun enerji etkin tasarım parametreleri içinde en önemli parametre olmasının bir diğer nedeni de kabuğun her koşulda mimar tarafından tasarlanabilir olmasıdır. Mevcut şehir dokusu içinde inşa edilecek binalarda, binalar arası uzaklıklar ve binanın yönlendiriliş durumu gibi parametreler mimari tasarımda müdahaleye açık durumda olamayabilmektedir. Ancak bina tasarımı sürecinde bina kabuğunu ve kabuk alternatiflerinin tasarımı mimarın inisiyatifindedir.



3. YAPI KABUĞUNDA ENERJİ KORUNUMU SAĞLAYAN SİSTEMLER

Enerji etkin tasarımlara duyulan ihtiyacın gitgide artması, bina endüstrisi alanındaki teknolojik gelişmelerin ivme kazanmasına ve yeni kabuk sistemlerinin geliştirilmesine neden olmuştur. Bina araştırmacılarına göre; iç ve dış iklim arasında ilişki kurma görevini yüklenmiş olan kabuk elemanına binanın enerji etkinliğinin artırılmasında önemli bir görev yüklenmektedir.

Tablo 3.1 Tek ve çok katlı binalarda ortalama ısı kaybı oranları [11]

Yapı elemanı	Tek katlı Yapılar	Çok katlı Yapılar
Dış duvar	%25	%40
Çatı	%22	%7
Bodrum	%20	%6
Pencere	%20	%30
Hava kaçakları	%13	%17
Toplam	%100	%100

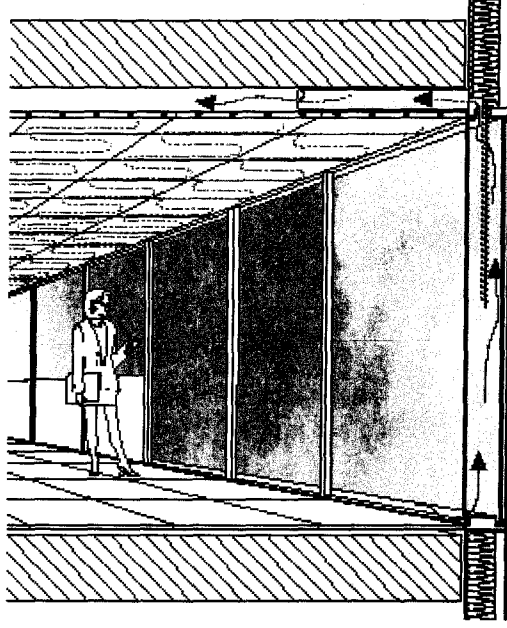
Yukarıdaki tablodan da görüldüğü gibi özellikle yüksek binalarda kabuktan kaynaklanan ısı kayıpları binanın toplam ısı kaybının 40%'ını oluşturmaktadır. Yüksek binalarda kabuğun binanın enerji etkinliği için ne kadar önemli olduğu görülmektedir. Bu durum, enerji etkin kabuk tasarımı adı altında yeni cephe sistem ve malzemelerinin geliştirilmesine neden olmuştur. Akıllı kabuk sistemleri, İklimle dengeli cepheler ve çift kabuklu cepheler bu bağlamda geliştirilen sistemlerin en önemlileridir.

3.1. Akıllı Kabuk

Bina Endüstrisi alanındaki gelişmelerin en önemlilerinden biri de akıllı binalardır. Akıllı Binalar ile ortaya konan dinamik sistemler, binayı oluşturan tüm bileşenlerin akıllı olarak tasarlanabileceğini göstermektedir. Akıllı kabuk, binalarda enerji kullanımını azaltırken, iç mekan konfor seviyesinin korunmasını da amaçlamaktadır. Akıllı kabuk, havalandırma, aydınlatma ve ısısal konfor gibi birbiriyle çelişen ihtiyaçları sağlamak üzere çok işlevli bir eleman olarak düşünülmektedir. Başlangıçta iç ve dış iklim arasındaki ilişki; kullanıcı tarafından kepenkler, jaluziler ve açılan pencereler aracılığıyla sağlanırken, akıllı binalar ile bu görevi otomatik olarak hareket etme yeteneğine sahip sistemler yüklenmişlerdir. G. Battle ve C. McCortey akıllı bir kabuğun enerji akışını düzenlemek, doğal enerjiyi toplamak ve istenen yere dağıtmak, enerjiyi depolamak, iç ve dış iklim arasında bir dengeleyici olarak hizmet görmek zorunda olduğunu ifade etmektedir [6 s.22].

Akıllı kabuk sistemlerinin en önemli dezavantajı binaya getirdiği ek maliyettir. Ancak konfor koşulları için mekanik sistemlerin daha az süre çalışması gibi nedenlerden dolayı binanın işletme maliyeti ve aynı zamanda mekanik sistemin yatırım maliyetini önemli ölçüde azalmaktadır. Bu nedenle, mekanik tesisat için ayrılan bütçenin bir kısmı enerji etkin kabuk tasarımına yönlendirilebilmektedir. Teknolojik gelişmelere bağlı olarak insanların konfor koşullarından beklentileri önemli ölçüde artmış hem yaz hem kış şartlarında istenen ısıtma ve soğutmanın bir arada istenebileceği düşünülerek yapılan iklimle dengeli cephe tasarımları kabul görmeye başlamıştır.

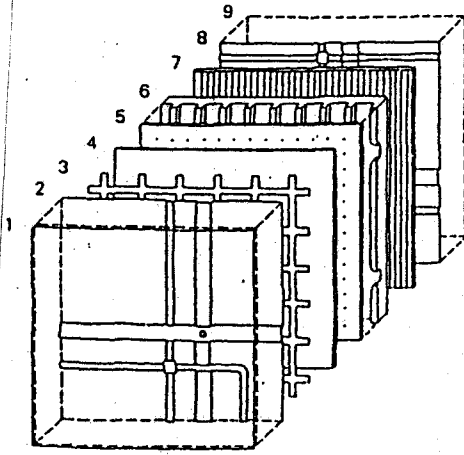
İklimle dengeli cepheler, minimum enerji tüketerek iç mekanda optimum konfor koşullarının sağlanabilmesi için geliştirilmiştir. İlk iklimle dengeli cepheler iç kabuğunda bir tek cam panel, dış kabuğunda çift cam panel ve kabuklar arasında binanın mekanik tesisatına bağlı olarak havalandırılan hava boşluğundan oluşan yapı kabuğudur (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 İklimle dengeli cephe [12]

Kabuklar arasına yerleştirilen güneş kontrol elemanları sayesinde iç mekanda güneş ışınlamayı kontrol edilebilmektedir. İç kabuktaki cam panelin açılabilmesi kabuğun bakım-onarım ve temizliğine olanak sağlamaktadır. Kabuklar arasındaki boşluğun binanın mekanik tesisatına bağlı olarak havalandırılması mekanik sisteme ek yük getirmektedir. Bu tür yapı kabuğu çift kabuklu cam cepheler olarak da tanımlanmaktadır.

Bir diğer iklimle dengeli cephe tasarımı ise, tüm kontrol imkanlarının birkaç tabakadan oluşan bir paket içerisinde toparlandığı sıkıştırılmış cephelerdir (Şekil 3.2). İlk olarak Mike Davis tarafından tanımlanan bu cepheler, değişen tüm iklim şartlarına göre rengini, ısısal ve optik özelliklerini değiştirebilen ve bu fonksiyonları gerçekleştirebilmek için gerekli olan enerjiyi üretebilen kontrol cihazlarına sahip çok tabakalı bileşenlerdir [6 s.10].



1. Dış cam kabuk
2. Dış algılayıcı tabaka
3. Foto elektrik ızgara
4. Seçici ısı emici tabaka
5. Elektrik enerjisi depolayan tabaka
6. Gazla doyurulmuş tabaka
7. Elektrik enerjisi depolayan tabaka
8. İç algılayıcı tabaka
9. İç cam kabuk

Şekil 3.2 Sıkıştırılmış cephe [6 s.10]

Sonuç olarak iklimle dengeli cepheler değişen iklim şartlarına göre hareket ederek konfor şartlarının sağlanması için gerekli enerjiyi en alt seviyeye indiren cephelerdir.

Bu çalışmada çift kabuklu cephelerin ısıtma yükleri üzerindeki etkisini saptamak için yeni bir yaklaşım geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Bu nedenle, çift kabuklu cephelerin özellikleri, gelişme süreci, olumlu ve olumsuz yönleri, uygulamaları hakkında daha ayrıntılı açıklama yapılması gerekli görülmüştür.

3.1.1. Çift Kabuklu Cepheler

Çift kabuklu cepheler, kullanıcı ihtiyaçlarına cevap vermek üzere iç ve dış iklim arasında bir düzenleyici olarak hizmet görmesi gerekliliğinden yola çıkılarak tasarlanmışlardır. Çift kabuklu cepheler adından da anlaşıldığı gibi iki ayrı kabuk ve bu kabuklar arasında bırakılan boşluk neticesinde elde edilen tüm yapı kabuğu olarak tanımlanabilir. Kabuklar arasındaki boşluk çift kabuklu cephelerin en önemli kısmıdır. Kabuklar arasındaki boşluğun dış ortam hava dolaşımına açık şekilde tasarlanması yazın binanın soğutma yükünün önemli ölçüde azalmasını sağlar. Kışın ise dış hava dolaşımına kapatılan ara boşluk yalıtım tabakası görevi yaparak binanın ısı kayıplarını önemli ölçüde azaltmaktadır. İç kabuktaki pencerelerin açılması binanın doğal olarak havalandırılmasına olanak sağlamaktadır.

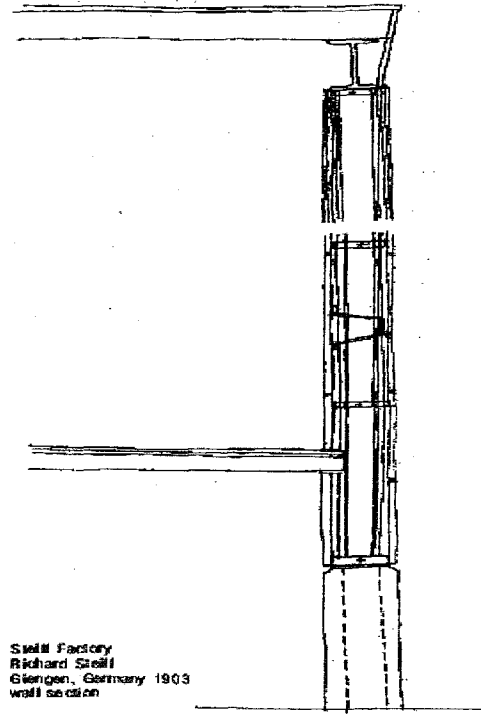
Çift kabuklu cepheler farklı şekillerde oluşturulabilir. Her iki kabuğu sadece saydam ya da opak bileşenden oluşabileceği gibi dış kabuğu saydam, iç kabuğu hem saydam

hem de opak bileşenden oluşabilir. Her iki kabuğu saydam bileşenden oluşan çift kabuklu cepheler ‘çift kabuklu cam cepheler’ olarak tanımlanmaktadır ve bu cepheler günümüzde inşaat sektöründe uygulaması en fazla yapılan çift kabuklu cephe şeklidir.

Saydam ve opak bileşenden oluşan mevcut bir yapı kabuğuna ikinci bir saydam kabuk eklenmesi suretiyle de çift kabuklu cephe elde etmek mümkündür. Mevcut binaların enerji giderlerinin azaltılmasında bu seçenek ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmanın uygulama kısmında iç kabuğu saydam ve opak bileşenden oluşan bir çift kabuklu cephenin ısı kayıplarının belirlenmesine yönelik yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Fakat konunun daha iyi kavranması açısından tüm çift kabuklu cephe tiplerinin özelliklerinin anlatılması uygun görülmüştür.

3.1.1.1. Çift Kabuklu Cephelerin Gelişme Süreci

Yöresel mimari dışında çift cidarlı cephe sistemlerinin uygulandığı ilk yapı Almanya’nın Giengen kentinde inşa edilen Steiff fabrika binasıdır. Yapı 1903 yılında fabrika sahibi Richard Steiff’in oğlu tarafından oyuncak fabrikası olarak tasarlanıp uygulanmıştır. Yapı tasarımını etkileyen faktörler gün ışığından maksimum derecede faydalanma isteği, yörenin sahip olduğu iklim koşulları ve yöredeki güçlü rüzgarlardan yapıyı koruma isteğidir. Yapı depo olarak kullanılan zemin katı, çalışma alanı olarak kullanılan ikinci ve üçüncü katlar olmak üzere toplam üç kattır. Yapının strüktürüne entegre edilmiş çelik kafesler çift cidarlı cephe sisteminin strüktürünü oluşturmaktadır. Yapı kabuğunu oluşturan elemanlar bu kafes üzerine monte edilerek sistem oluşturulmuştur. Kabuğun iki yüzeyi arasındaki boşluk şekil 3.3’de görüldüğü gibi 25 cm. genişliğindedir. Yapı kabuğu üzerinde sistemin bakım ve onarımı için çeşitli yerlerde açılmış müdahale kapakları bulunmaktadır. Sistem başarılı bir performans göstererek kendini kanıtlamıştır. 1904 ve 1908 yıllarında yapıya aynı sistem kullanılarak iki ek bina daha inşa edilmiştir. Fakat ek binalarda ekonomik nedenlerden dolayı cephe sisteminin strüktürü ahşap yapılmıştır. Ana bina ve ek binalar hala kullanılmaktadır [13]



Şekil 3.3 Steiff Fabrika Binası Cephe Kesiti [13]

1903 yılında Viyana da Post Bank binasının projelerinin elde edilmesi için açılan yarışmayı Otto Wagner kazanmıştır. Yapı 1904 – 1912 yılları arasında iki aşamada inşa edilmiştir. Binanın ana holü üzerinde buluna çatı ışıklığı çift kabukludur. Çatı ışıklığının strüktürü çelik makaslardan oluşmaktadır. Bu makasların alt ve üst kısımlarına cam paneller alüminyum profiller yardımıyla oturtulmuştur. Çatı ışıklığı kendinden olabilecek ısı kayıplarını en aza indirmek için çift cidarlı yapılmıştır. Bina hala aynı fonksiyonla kullanılmaktadır. Yapı 1970 yılında büyük bir tadilattan geçtiyse de çatı ışıklığı aynen korunmuştur [13].

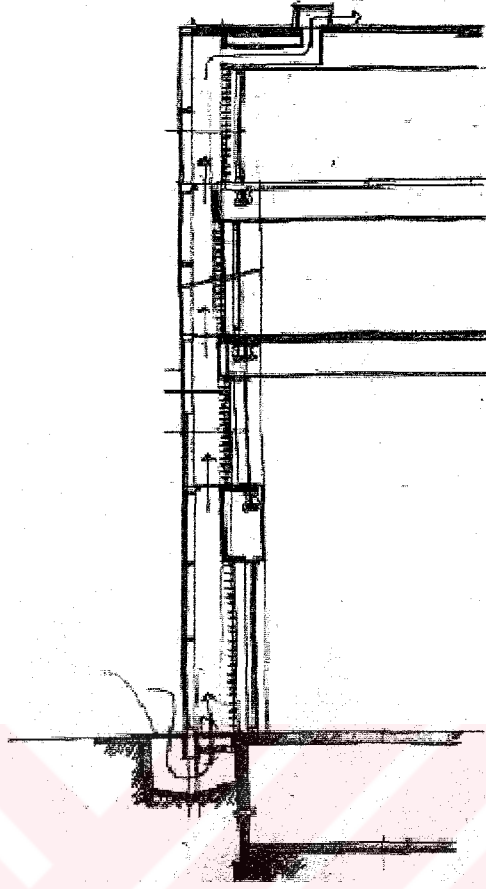
1920'lerin sonlarına doğru çift cidarlı cephe sistemlerinde gelişmeler devam etmekteydi . Bu süreçte öne çıkan yapılardan biride Narkomfin binasıdır. Yapı 1928 yılında Rusya da bir toplu konut projesinin parçası olarak inşa edilmiştir. Yapı Moisei Ginzburg tarafından tasarlanmıştır. Yapının ana cephesi çift kabuktan oluşmaktadır. Bu kabukları biri birine ve yapıya bağlayan çelik bir kafes bulunmaktadır. Bu çelik kafes yatay ve düşey çelik ' I ' profillerin biri birine kaynakla bağlanmasından oluşmuştur. Diğer uygulamalardan farklı olarak bu yapıda sistemin her iki yüzeyine pencere eklenmiştir. Bu yapıda sistemin kullanılmasındaki amaç yapının ısı kayıplarını en aza indirmektir. Yapının pencerelerden olan ısı kayıplarını en aza indirmek için sistemin her iki yüzeyine de pencere eklenerek

sistem geliştirilmiştir. Yapı yıllar içerisinde büyük oranda tahrip edilmesine rağmen hala kullanılmaya devam edilmektedir [13].

Le corbusier de bu sistemin gelişmesine öncülük eden mimarlardan biridir. Mimarın tasarladığı Cite de Refuge (1920) ve Immeuble Clarte (1930) projelerinin cephelerinde çift kabuklu cephe sistemlerini kullanmıştır. Bu projedeki sistemi diğerlerinden farklı kılan en önemli fark yapı yüzeyleri arasındaki boşluğun doğal yolla havalandırılmasıdır. Sistemin maliyetinden dolayı uygulama aşamasında bu sistemin uygulanmasından vazgeçilmiştir.

Yetmişli yılların sonları seksenli yılların başları arasındaki süreçte çift kabuklu cephe sistemleri modern mimarideki yerini almıştır. Bu süreçte inşa edilen en önemli yapı Canon ve Hook tasarım şirketleri tarafından tasarlanan New York'taki Hooker ofis binasıdır. Bu binada Le corbusier'in Cite de Refuge projesinde kullandığı sistem kullanılmıştır. Şekil 3.4'de görüldüğü gibi yapı kabuğu dış cam yüzey, iç cam yüzey ve yüzeyler arasında kalan boşluktan oluşmaktadır. Yüzeyler arasındaki boşluğun genişliği 30 santimetredir. İç mekanları güneşin yakıcı etkisinden korumak için iç cam yüzeyin önüne metal jaluziler yerleştirilmiştir. Cephe sisteminin en üst kısmında buluna havalandırma bacası ısınan havanın yükselerek bu baca yardımıyla dışarı atılmasını sağlar. Bu doğal hava hareketi sayesinde yüzeyler arasındaki boşluk doğal yolla havalandırılmaktadır.

Çift kabuklu cephe sistemlerinin yapılarda ısıtma ve soğutma enerjisi açısından önemli tasarruf sağlaması sistemin kullanımı yaygınlaştıran en önemli özelliktir. Yetmişli yılların sonuna doğru enerji maliyetlerinin yükselmesi mimarları enerji maliyeti düşük binalar tasarlamaya yöneltmiştir. Bu noktada bina cepheleri yapının enerji kayıp ve kazançları açısından en önemli yeri haline gelmiştir. Mimarlar ve mühendisler çalışmalarını cephe sistemlerinde ve malzemelerde odaklandırmıştır. Bilgisayar yazılımlarındaki gelişmeler sayesinde yapı kabuğunun performansının en ince ayrıntısına kadar hesaplanabilmesi ve simüle edilebilmesi yapıların optimum performansa ulaşmasında bir başka önemli etkidir. Bu faktörler çift kabuklu cephe sistemlerine özellikle yüksek yapılar için gerekli bir sistem imajını vermiştir.

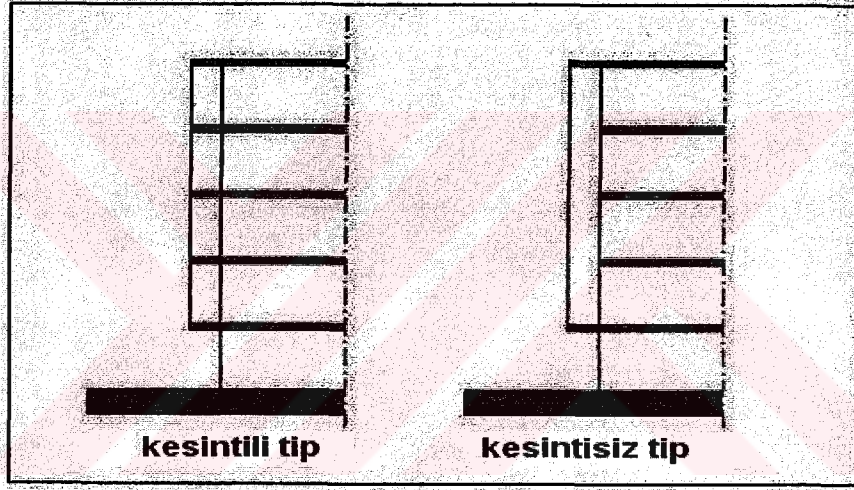


Şekil 3.4 Hooker Büro Binası Cephe Kesiti [13]

Seksenli yıllarda Avrupa ve Amerika da yapılarda enerji tasarrufuna devlet desteği gelmesiyle çift kabuklu cephelerin tercih edilmesine ivme kazandıran bir başka faktördür. Doksanlı yıllara gelindiğinde özellikle yüksek yapıların enerji giderleri Avrupa'nın bazı ülkelerinde yönetmeliklerle sınırlandırılmıştır. Bu ülkelerdeki yüksek yapılara bakıldığında istisnasız hepsinde çift kabuklu cephe sistemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Bu yapılar arasında en öne çıkan bina Norman Foster tarafından tasarlanan Frankfurt'taki Commerz Bank binasıdır. Yapı enerji maliyeti düşük olan yüksek yapıların en güzel örneklerinden biridir. Yirminci yüzyılda ise durum değişmemiştir çift kabuklu cephe sistemleri gelişmeye devam etmektedir. Avantajlarından dolayı çift kabuklu cephe sistemleri özellikle yüksek yapılar için bir zorunluluk haline gelmiştir .

3.1.1.2. Çift Kabuklu Cephelerin Özellikleri

Çift kabuklu cepheler tek kabuklu geleneksel cephelere nazaran daha küçük ısı geçirme katsayısına sahiptir. Yapı kabuğuna ikinci bir kabuk eklenmesi ile elde edilen çift kabuklu cephelerde ara boşlukta bulunan hava üzerine düşen güneş ışınımı sayesinde ısınmakta ve ısınan hava tabakası yalıtım görevini yapmaktadır. Bu nedenle çift kabuklu cephelerden vuku bulan ısı kayıpları tek kabuklu cephelere nazaran daha düşük seviyededir. Çift kabuklu cepheleri konstrüksiyon tipine, ara boşluğun havalandırılma şekline ve boşluktaki havanın akış şekline göre gruplamak mümkündür. Konstrüksiyon tipine göre çift kabuklu cepheler,



Şekil 3.5 Konstrüksiyon tipine göre çift kabuklu cepheler

- Kesintili tip çift kabuklu cepheler
- Kesintisiz tip çift kabuklu cepheler

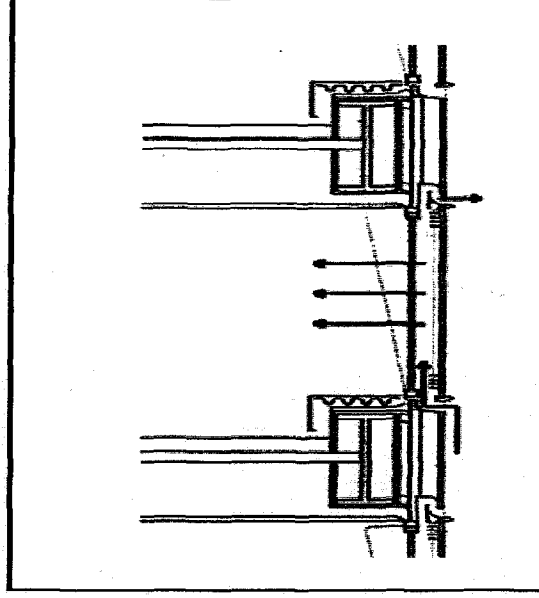
Kesintili tip çift kabuklu cepheler, kabuklar arasındaki boşluğun her kat seviyesinde bölündüğü cephelerdir. Kesintisiz tip çift kabuklu cepheler ise ara boşluğun tüm katlar boyunca devam ettiği cephelerdir (Şekil 3.5). Çift kabuklu cephelerde konstrüksiyon tipi yapı kabuğundan beklenen ses yalıtım performansı ve ara boşluğun havalandırılma şekline göre seçilmelidir.

Çift kabuklu cephelerde ara boşluğun havalandırılma şekli kabuğun termofiziksel performansını etkileyen en önemli unsurdur. Ara boşluğun havalandırılma şekline göre çift kabuklu cepheler,

- Doğal yolla havalandırılan
- Mekanik sistemlerle havalandırılan
- Hem doğal yolla hem de mekanik sistemlerle havalandırılan

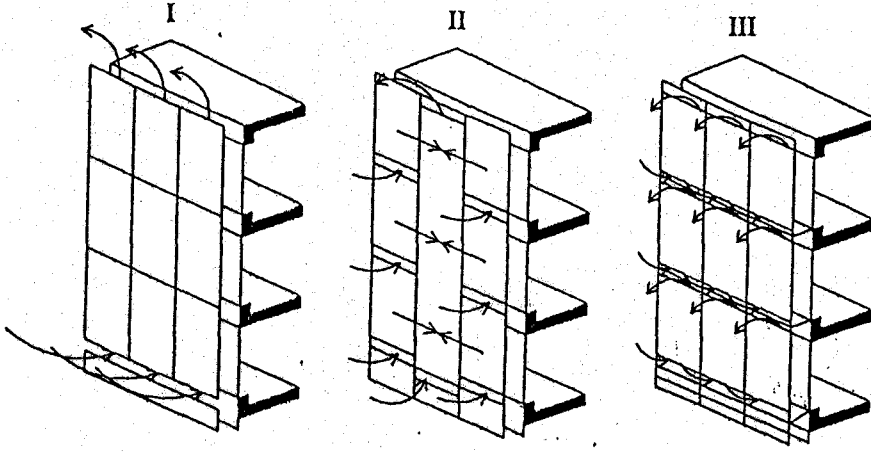
olmak üzere üç grupta toplanabilir. Yaz aylarında kabuklar arasındaki boşluğun havalandırılması sayesinde binanın soğutma yükü önemli ölçüde azalmaktadır. Ara boşluğun doğal yolla havalandırılmasının en önemli avantajı mekanik sistemlere ek yük getirmemesidir. Ara boşluğun doğal yolla havalandırılması, ısınan havanın yükselmesi ve baca yardımı ile dışarı atılması (baca etkisi) ve rüzgarın kabuklar arasındaki boşluğa alınması ile mümkündür. Fakat her iki yöntemde de bazı riskler vardır. Ara boşluk doğal yolla havalandırılacaksa boşluktaki havanın akış yönü sistemin performansı için en önemli unsurdur. Isınan havanın yükselip bir havalandırma bacası ile yardımı ile dışarı atılabilmesi için havanın izleyeceği yolun uzun olmaması gerekir. Eğer ara boşluğu doğal yolla havalandırılan çift kabuklu cephe yüksek bir binaya uygulanacaksa binanın cephesi zonlara bölünmelidir. Isınan havanın hareket edeceği boşluk üzerinde girinti ve çıkıntı olmamalıdır. Aksi takdirde ısınan hava hareketi sırasında bu bölgelerde birikerek ara boşluğun bazı bölgelerinde sıcaklığın artmasına ve sistemin performansının olumsuz yönde etkilenmesine neden olur [14].

Rüzgarın ara boşluğa alınarak doğal havalandırılma yapılması dış kabukta açılacak kanallar ile mümkündür (Şekil 3.6). Doğal havalandırmada rüzgardan optimum şekilde yararlanmak için dış kabuktaki kanallar hakim rüzgar yönünde yerleştirilmelidir. Kanallar, rüzgarın yapı strüktüründe probleme neden olmayacak şekilde tasarlanıp boyutlandırılmalıdır. Rüzgarın ara boşluk içine alınması için açılan kanallar infiltrasyon ile ara boşluktan dış ortama ısı transferine neden olurlar. Bu nedenle kanallar, kapalı iken hava sızdırmayacak şekilde tasarlanmalıdır. Rüzgarın şiddeti ve yönü gibi veriler güneş ışıınımı verileri gibi önceden tahmin edilemediği için kanalların rüzgarın ara boşluğu havalandıracak hıza ulaştığı zaman açık olması, rüzgarın aşırı şiddetli olduğu zamanlarda ise kapalı olması gerekir. Bu nedenle kanalların hareketi bina otomasyon sistemi ile kontrol edilmelidir.



Şekil 3.6 Ara boşluğu doğal yolla havalandırılan çift kabuklu cephe kesiti [14]

Çift kabuklu cephelerde ara boşluk sadece mekanik sistemler yardımı ile havalandırılabilir. Ara boşlukta ısınan hava mekanik sistemler ile emilip dışarı atılır. Bu tip havalandırma şeklinin en önemli dezavantajı binanın mekanik sistemlerine getireceği ek enerji yüküdür. Havalandırma için mekanik sistemler tercih edildiğinde bu sistemleri barındıracak tesisat hacimleri ve bunların elemanları tasarım aşamasında ele alınmalıdır. Ara boşluktaki havanın akış hızı bu sistemler yardımı ile kontrol edilebilir. Hava akış hızının azaltılması ve ara boşluktaki havanın sıcaklığının artması sonucunda iç kabuktaki camın dış yüzeyindeki taşınım katsayısının düşmesine neden olmaktadır. Bu nedenle iç ortamdan ara boşluğa ısı transferi azalmaktadır. Isı transferinin azalması camın iç yüzey sıcaklığının iç ortam sıcaklığına yakın seviyede olmasına neden olur. Bu durum, artan ısı konfor şartlarının bir sonucu olarak pencere yakındaki alanlardan daha fazla yararlanılmasını sağlamaktadır [15 s.25-27]. İklimsel koşullar ve çift kabuklu cepheden beklenen termofiziksel performansa göre ara boşluk hem doğal yolla hem de mekanik sistemlerin entegre edilmesiyle de havalandırılabilir.



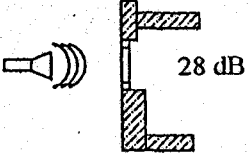
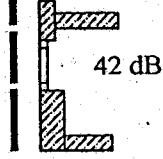
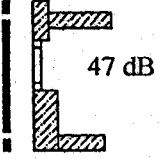
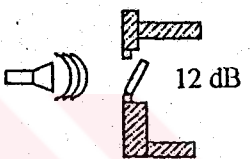
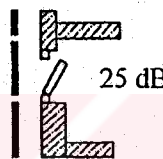
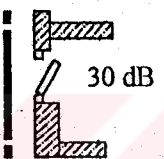
Şekil 3.7 Ara boşluktaki havanın akış şekli

Çift kabuklu cepheler şekil 3.7’de görüldüğü gibi ara boşluktaki havanın akış şekline göre de gruplanabilir. Ara boşluktaki hava akışı üç şekilde gerçekleşir. Birincisi, hava akışının tüm cephe boyunca sağlandığı havalandırma şeklidir. Bu cephelerde, en alttaki açıklıktan ara boşluğa giren hava, en üstteki açıklıktan dışarı çıkmaktadır. İkincisi, havanın her kat seviyesindeki açıklıklardan ara boşluğa alındığı ve yine en üstten dışarı verildiği hava akış biçimidir. Üçüncü ise, havanın her kat seviyesinde ara boşluğa alınıp üstten dışarı verildiği hava akış biçimidir. Her üç sistemde de dış kabuktaki kanallar, yaz aylarında soğutma amacıyla gece boyunca açık bırakılabilmektedir [6 s.12].

Çift kabuklu cephelerin en önemli özelliklerinden biri de yüksek binaların en üst katlarında dahi pencere açılmasına olanak tanınması ve iç mekanların doğal yolla havalandırılmasını sağlamasıdır. Bu özellik sayesinde, yüksek binalarda iç mekanların tamamen mekanik sistemler ile iklimlendirilmesinden kaynaklanan ‘hasta bina sendromu’ gibi sağlık sorunları da önlenmektedir.

Çift kabuklu cephelerin bir diğer avantajı da sağladığı ses yalıtımıdır. Aşağıdaki şekilde Stuttgart Löwentorzentrüm büro binasının çift kabuk cephesindeki havalandırma açıklarının iki farklı düzenleme biçimi için, açıklıkların açık ve kapalı olduğu durumdaki ses yalıtım değerleri tek kabuklu cephe ile karşılaştırılmaktadır. Şekilden de görüldüğü gibi çift kabuklu cephe her durumda tek kabuklu cepheye göre daha iyi ses yalıtımı sağlamaktadır. Dış kabuktaki havalandırma açıklıklarının kat seviyesinde düzenlenmesi daha iyi bir ses yalıtımı sağlamaktadır. İç kabuktaki

pencere kanatlarının içeri doğru açılması sesin mekanlar arasında dağılmasını kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle, sesin ara boşluk içinde dağılmasını önlemek için ara boşluk yatayda ya da dikeyde bölünmelidir. Ara boşluğun yatayda bölünmesi ses dağılmasını önlediği gibi yangın esnasında dumanın yayılmasını da önler [6 s.13].

TEK KABUK	ÇİFT KABUK	ÇİFT KABUK
	Açıklıkların pencere yüksekliğinde düzenlendiği durum	Açıklıkların kat yüksekliğinde düzenlendiği durum
 28 dB	 42 dB	 47 dB
 12 dB	 25 dB	 30 dB

Şekil 3.8 Stuttgart'taki bir büro binasının cephesinin ses yalıtım değerleri [6 s.13]

3.1.1.3 Çift Kabuklu Cepheyi Oluşturan Bileşenler

Çift kabuklu cepheyi oluşturan bileşenler genel olarak,

- Saydam bileşenler
- Opak bileşenler
- Taşıyıcı ve tespit bileşenleri
- Havalandırma boşluğu
- Güneş kontrol elemanları
- Yürüme yolu

olarak sıralanabilir. Çift kabuklu cephe tipine göre yukarıda sayılan bileşenlerden bazıları cephe sisteminde yer almayabilir. Örneğin, sadece opak bileşenlerden oluşan çift kabuklu cephelerde güneş kontrol elemanı ve yürüme yolu gibi bileşenler sistemde yer almaz.

▪ Saydam Bileşenler

İç yada dış kabukta kullanılan saydam bileşenler, tek cam, çift cam yada üç cam ünitelerdir. Bina kabuğundaki ısı kayıplarının önemli bir kısmı saydam bileşenlerden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle saydam bileşenden kaynaklanan ısı kayıplarının kontrol edilebilmesi farklı tiplerde cam kullanılması ile mümkündür. Günümüzde teknolojik gelişmeler sayesinde camların termofiziksel özellikleri önemli ölçüde geliştirilmiştir. Güneş ışınlamından kaynaklanan kazancı kontrol etmeye olanak tanıyan renkli camlar, üzerine düşen güneş ışınlarını geri yansıtan güneş kontrol camları, kısa dalga ışınlamı içeri geçirirken uzun dalga ışınlamın camdan dışarı çıkışını engelleyen düşük yayınlımlı (low-E) camlar bunlardan en önemli olanlarıdır. Bu camlar tek plaka ya da çift ünite şeklinde ülkemizde de üretilmektedir.

▪ Opak Bileşenler

Çift kabuklu cephelerde, iç kabuğun saydam ve opak bileşenlerden oluşması durumunda opak bileşenler saydam bileşeni taşıyan duvarı oluştururlar. Bu durumda bina kabuğundan beklenen performansa göre opak bileşen tuğla, gazbeton veya alçıblok gibi malzemeden oluşturulabilir. Bazı uygulamalarda mekanik sistemin elemanları (boru, kanal vb.) opak bileşen içinde açılan kanaldan geçirilmektedir. Bu çalışmada, yukarıda anlatılan tip çift kabuklu cephelerde ısı kayıpların belirlemeye yönelik bir yöntem geliştirilmiştir.

Opak bileşenler çift kabuklu cam cephelerde kat seviyelerinde bina taşıyıcı sistemini gizlemek amacıyla kullanılmaktadır. Genel olarak, iç tarafta galvanizli levhanın dışta tek cam tabakanın, ortada ısı yalıtım katmanının kullanılması ile oluşturulmuş ünite dir [6 s.22].

▪ Taşıyıcı ve Tespit Bileşenleri

Taşıyıcı bileşenler, çift kabuklu cephelerin ana taşıyıcı sisteme taşıtılmasını sağlayan yatay ve düşey çubuklardan oluşan bir ızgara sistemidir. Bu ızgara kimi zaman şantiyede kimi zamanda cephe sisteminin üretildiği fabrikada diğer bileşenler ile monte edilmekte ve yerine yerleştirilmektedir. Çift kabuklu cephelerin taşıyıcı sistemleri çubuk sistem, panel sistem ve yarı panel sistem olmak üzere üç şekilde oluşturulabilir.

Çubuk sistem, dikey ve yatay çubukların şantiyede taşıyıcı sisteme monte edilmesi ile oluşan ızgaraya saydam ve opak panellerin yerleştirildiği sistemdir.

Yarı panel sistem, çevresinde bir çerçeve profili olan saydam ve opak panellerin şantiyede kurulmuş taşıyıcı ızgaraya yerleştirildiği sistemdir.

Panel sistem, saydam ve opak panellerin taşıyıcı ızgara görevi gören bir çerçeve ile fabrikada bütün halinde üretilip cepheye bitmiş durumda yerleştirildiği sistemdir.

Çift kabuklu cephelerin tespit bileşenleri saydam ve/veya opak bileşenleri birbirine ve taşıyıcı ızgara sisteme birleştirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Izgaranın ana taşıyıcıya tespitinde kullanılan bileşenler; ankraj profilleri, baskı profilleri, kenetler, perçin, vida, dübel ve civatalardır. Saydam ve opak panellerin arasına rüzgar ve yağmura karşı sızdırmazlık sağlaması için macun ve silikon enjekte edilmektedir.

▪ Havalandırma Boşluğu

Havalandırma boşluğu çift kabuklu cephelerde temizlik, bakım-onarım, güneş kontrol elemanlarının yerleştirilmesi ve kabuğun havalandırılmasına olanak sağlayan bir boşluktur. Boşluk genişliği sistem seçimi ve sistemden beklenen performansa göre değişiklik göstermektedir. Yapılmış uygulamalar incelendiğinde, boşluğun 200mm'den 1500mm'ye kadar değişebildiği görülmüştür. Çift kabuklu cephelerin özellikleri kısmında da anlatıldığı gibi havalandırma boşluğu doğal, mekanik ve her iki yöntemin entegre edilmesiyle de havalandırılabilir.

▪ Güneş Kontrol Elemanları

Çift kabuklu cephelerde güneş ışıını kazancını kontrol edebilmek için boşluk içerisine yerleştirilmektedir. Güneş kontrol elemanları sabit, elle kumanda edilebilen ve bina otomasyon sistemi tarafından kumanda edilen olmak üzere üç çeşittir. Bu elemanlar sayesinde özellikle yaz aylarında istenmeyen güneş ışıını kazancı kontrol altına alınmakta ve binanın soğutma yüküne olumlu yönde etki edilmektedir. Binanın kullanım sürecinde cephede gerçekleşecek bakım-onarım ve temizlik gibi eylemlere engel olmaması için iç yada dış kabuğa yakın yerleştirilir. Genellikle alüminyum yada ahşaptan yapılırlar.

▪ Yürüme Yolu

Çift kabuklu cephelerin bakım-onarım, temizlik ve güneş kontrol elemanlarının boşluk içerisine monte edilmesine olanak sağlamaktadır. Yürüme yolu cephenin taşıyıcı sistemine entegre edilmektedir. Çelik yada ahşap panellerden oluşan bu yolun genişliği ara boşluğun boyutlarına bağlıdır.

3.1.1.4. Çift Kabuklu Cephelerin Olumlu ve Olumsuz Yönleri

Yapılan literatür taramasında elde edilen bilgilere göre çift kabuklu cephelerin olumlu ve olumsuz yönlerini aşağıdaki gibi özetlemiştir [16 s.330].

Olumlu yönleri,

- Cepheden kaynaklanan ısı kayıpları minimum düzeydedir.
- Cam iç yüzey sıcaklığı ortam sıcaklığına yakın olduğu için pencereye yakın alanlardan daha fazla yararlanılmaktadır.
- Özellikle yüksek yapıların üst katlarında pencere açma imkanı vardır.
- Havalandırma ile sağlanan iç ortamdaki taze hava, klima sistemlerinin maliyetinin ve enerji tüketiminin azalmasına neden olur.
- Boşluktaki hava akışı, dış kabukta yoğunlaşma riskini azaltmaktadır.
- Dış ortam gürültüsüne göre iyi derecede ses izolasyonu sağlamaktadır.
- Yaz döneminde dış kabuktaki kanallar açık bırakıldığında bina kütlesini soğutmak üzere gece havalandırmasına imkan sağlanmaktadır.

Olumsuz yönleri

- Yapıya önemli ölçüde ek maliyet getirmektedir.
- Kabuklar arasındaki boşluğun havalandırılmasında doğal havalandırmanın yetersiz kalma tehlikesi vardır.
- Kabuklar arası boşluk eğer bölünmez ise sesin mekanlar arasında dağılma riski vardır.
- Kabuklar arasındaki boşluğun mekanik sistemlerle havalandırılması binaya ek enerji yükü getirmektedir.

3.1.1.5. Çift Kabuklu Cephe Uygulama Örnekleri

Yapılan literatür taraması sonucunda çift kabuklu cepheler içinde uygulaması en çok yapılanın çift kabuklu cam cepheler olduğu görülmüştür. Bu çalışmada anlatıldığı

gibi mevcut bir yapı kabuğuna ikinci bir cam kabuk eklenmesi suretiyle elde çift kabuklu cephe uygulanmasına rastlanamamıştır. Aynı şekilde her iki kabuğu sadece opak bileşenden oluşan çift kabuklu cephe uygulamaları da yok denecek kadar azdır. Bu nedenle çift kabuklu cephe uygulamaları kısmında çift kabuklu cephelerin farklı tiplerini içeren uygulamalara ağırlık verilmiştir.

A) Deutsche Messe Ag Yönetim Binası

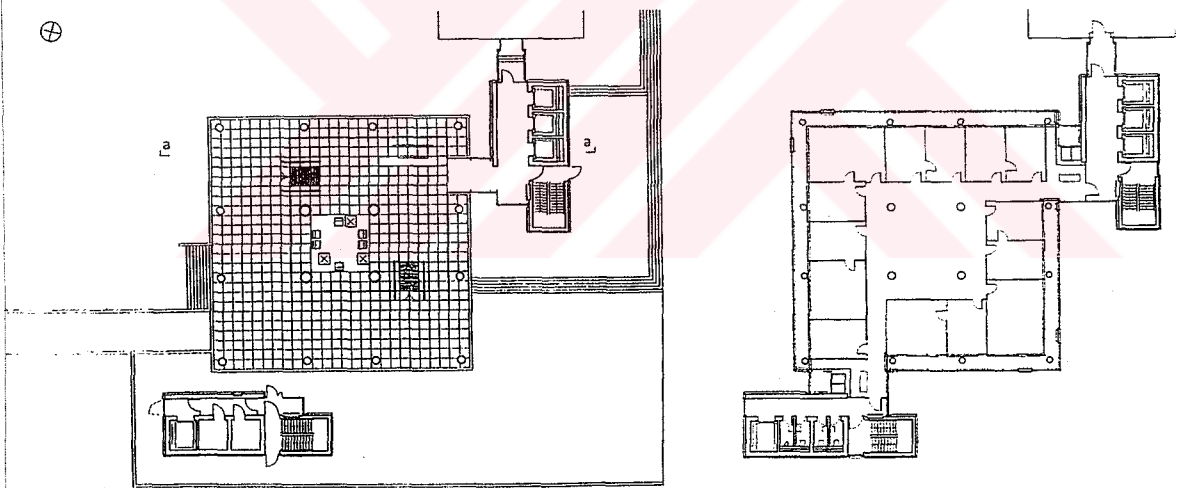
Deutsche Messe Ag fuarcılık firmasının yeni yönetim binası Thomas Herzog ve ortakları tarafından tasarlanmıştır. Yapı Hannover uluslar arası fuar alanında yer almaktadır. İşverenin yapıda kalitesi yüksek çalışma mekanları ve enerji maliyeti düşük bir bina isteği mimari tasarımı etkileyen en önemli faktörler olmuştur. Bu istekler doğrultusunda proje birbirinden farklı disiplinlerin bir arada uyumlu çalıştığı önemli projelerden biri olmuştur. Mimari, havalandırma ve binayı taşıyan konstrüksiyon en ideal şekilde birbirine uyumludur. Yapının hem işlevsel oluşu ve dışarıya karşı etkisi, hem de güneş ve rüzgar gibi yerel çevre enerjisini bilinçli şekilde kullanması yapıya kendi karakterini vermektedir(Şekil 3.9) [17].



Şekil 3.9 Deutsche Messe Ag yönetim binası [17]

Binanın yer aldığı arazi , fuar merkezinin kuzey girişiyle mevcut yönetim binasının arasında , kuzey-güney ekseninde 40 metreye yakın bir mesafeye yayılmaktadır. Binanın doğu sınırı ile batı sınırı arasında 1.80 metre , kuzey ve güney sınırı arasında 0.40 metre kot farkı vardır. Bina kuzeydoğu ve güneybatı ekseninde yönlendirilmiştir. Mimari tasarımın önemli faktörlerinden biri de , binanın şeffaf hacmi ve arazinin kuzey girişinden , güneydoğu düzlemindeki geniş manzaralı açık alana yayılan mekansal yönlendirilmesidir.

Yapının planı 24x24 metre ebadındaki kare kullanımı ve bu alanın dışında planlanan iki servis çekirdeğinden oluşmaktadır (Şekil 3.10). Yapı üç kat yüksekliğindeki giriş holü, 14 standart ofis katı, yönetim kurulu üyelerinin olduğu idare katı, 'Hermes Lounge' ve mekanik servislerin bulunduğu kat ile birlikte toplam yirmi kattan oluşmaktadır. Hem güneyden hem de kuzeyden erişilebilir camlı giriş holü, fuar merkezine ulaşımın ana girişi olarak planlanmıştır.



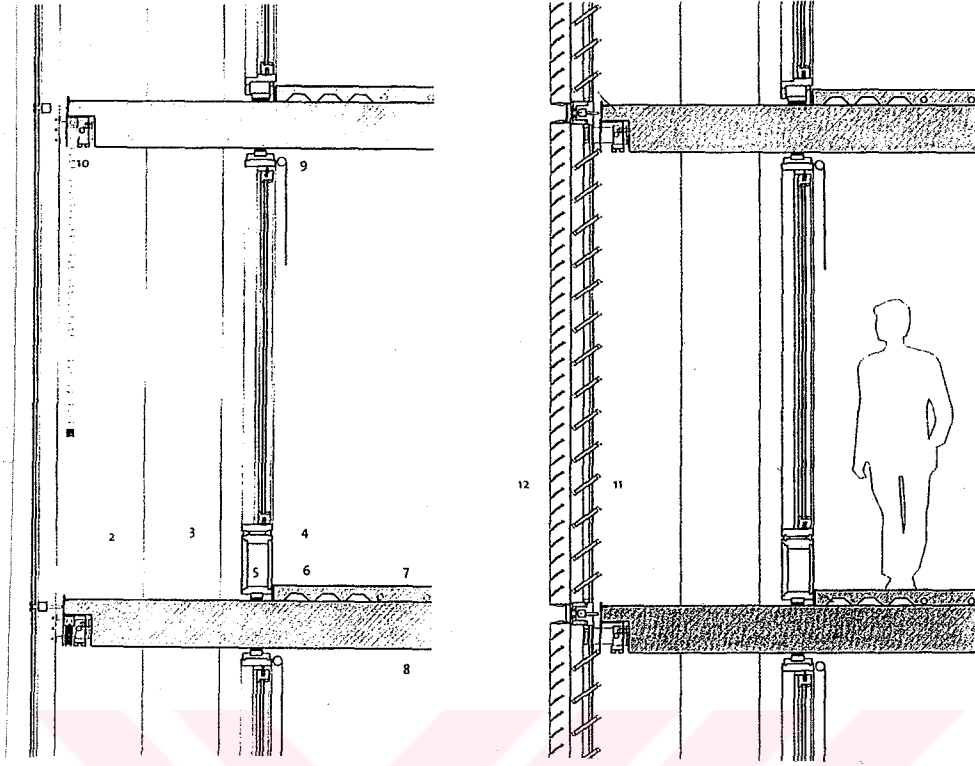
Şekil 3.10 Deutsche Messe Ag binası giriş kat ve tipik kat planı [17]

Mekanik servisler bodrum katında toplanmıştır. Servis çekirdeklerinin kullanım alanının dışında planlanması büro alanlarının iç mekanlarının tasarımı için önemli bir avantaj oluşturmaktadır. Ofisler açık kurgulanabildiği gibi bireysel üniteler ya da bunların kombinasyonları şeklinde kurgulanabilmektedir. İsteğe bağlı olarak cepheye yakın 15-20 ofis alanı yerleştirilebilmektedir. (Şekil 3.10) Her ofis katının merkezi ortak kullanımlar için düzenlenmiştir. Bu yönetim binası az katlı yüksek

bina sınıfına girer . Binanın taşıyıcı sistemi betonarme karkastır. Büro katlarının yükünü 30 cm kalınlığındaki düz döşeme ve 16 adet kolon taşımaktadır. Kolonların aks aralığı 6.30x7.80 metredir. Katlardaki bütün yükleri alarak aşağı inen kolonlar bodrum katında bulunan masif duvarlara yüklerini aktarmaktadır. Servis çekirdeklerinin taşıyıcı sistemini ise perde duvarlardan oluşmaktadır [17].

Yapının servisleri kare ofis alanının dışında yer alan dikdörtgen servis kulelerinde yer almaktadır. Kuzeydoğudaki servis çekirdeği dikey dolaşım amacıyla planlanmıştır. Asansörler ve merdiven bu çekirdekte yer almaktadır. Güneydoğu çekirdeğinde ise yapının sağlık donatıları, yük asansörü ve yangın merdiveni bulunmaktadır. Servis çekirdeklerinde yer alan merdivenler konumları itibarıyla bina kullanıcıları için en ideal kaçış yolunu sağlamaktadır. Kuzeydoğu çekirdeğinin toplam yüksekliği , havalandırma kulesi ve antenler gibi elemanlar dahil 85 metreyi bulmaktadır. Bu çekirdekte çatı seviyesinin üzerinde kalan havalandırma kulesine ulaşımı sağlayan spiral merdivenler bulunmaktadır. Güneydoğu servis çekirdeğinin yüksekliği ise 70 metredir [17].

Binanın yapısal özellikleri aynı zamanda ısıtma ve soğutma enerjisi giderlerinde tasarruf sağlamaktadır. Bu tasarrufu sağlayan en önemli yapı elemanı çift cidarlı cephe sistemidir. Bu binada kesintili tip (discontinuous), tüm katlarda bir bütün olarak devam etmeyen, çift kabuklu cephe tipi uygulanmıştır. Kabuklar arasındaki hava boşluğu hem doğal hem de mekanik sistemler yardımıyla havalandırılmaktadır. Dış cephe çelik konstrüksiyon üzerine oturan çok ince alüminyum profilli camdan oluşur. Cephenin iç kabuğu ise ahşap konstrüksiyonlu pencereler ve çift tabakalı camdan oluşmaktadır (Şekil 3.11). İçeriden dışarı doğru bakıldığında renk kaybını önlemek ve daha net bir görüntü elde etmek için cephede kristal cam kullanılmıştır. Isıtma ve soğutma sisteminin boruları iç cephedeki ahşap pencere konstrüksiyonlarının altına gizlenmiştir.



Şekil 3.11 Cepheler arasındaki boşluğun havalandırılması için kullanılan cephe sistemi kesiti [17]

Cepheler arasındaki boşluğun doğal yolla havalandırılması için rüzgarın içeri alınacağı hareketli şerit paneller bulunmaktadır. Dış cephedeki panel altı farklı pozisyona girebilir. Bu her kat için 720 farklı tüm bina için 14000 yeni olanak yaratır. Panellerin açılıp kapatılması bilgisayarlar aracılığıyla kontrol edilmektedir. Bilgisayara daha önce verilen bilgiler, dört mevsimdeki hava koşullarını ve rüzgar ile ilgili değerleri içerir. Cepheler arasında kalan boşluk için altı sıcaklık değeri belirlenir. Böylece cepheler arasındaki boşluğun en yüksek, en düşük ve ortalama sıcaklığı bilgisayarlarla ayarlanabilmektedir. Boşluğun sıcaklığı ayarlanırken en önemli faktör dış ortamın sıcaklığıdır. Günün içindeki değişken koşullara göre (güneş enerjisinin etkisi, rüzgar yönü ve şiddeti) farklı havalandırma stratejileri uygulanmaktadır. Boşluğun hangi yöntem ile havalandırılacağına bilgisayarlar karar vermektedir [18]

Binanın çevresinde dolaşan cepheler arasındaki boşluk hem büyük bir hava kanalı hem de ses yalıtımı için tampon bölge vazifesini görür (Şekil 3.12). İçeriye girmesi gereken dış hava, basınçla idare edilen ve dış cephede bulunan ince şerit panellerden içeri alınarak büro mekanlarına büro pencerelerinin üst kısmından sokulur. Isıtma ve

soğutma binada oluşan ısıyı aktive edilmesi ilkesine dayanır. Kalın ve çıplak kat döşemeleri ısıyı depo ederler [17]. Döşemelerin içinde ısıtma ve soğutma sisteminin elemanları yerleştirilmiştir. Böylece sistemden alınan performans optimum değerlere ulaşmıştır.



Şekil 3.12 Çift kabuklu cephenin ara boşluğundan görüntü [18]

Her ofiste havalandırmayı sağlayacak en az 1.80 metre genişliğinde ve oda yüksekliğinde sürgülü pencereler vardır. Ofisin büyüklüğüne göre pencerelerin sayısını arttırmak mümkündür. Böylece kullanıcılar, kişisel gereksinimlerine göre temiz hava miktarını ya da ortamın sıcaklığını ayarlayabilmektedir. Buna ek olarak ahşap pencerelerin altına yerleştirilen havalandırma kanalı sayesinde pencereler kapalı iken bile ortamı havalandırmak mümkündür. Pencereler sürekli açıkken havalandırma anındaki ısı kaybını azaltmak için mekanizma yoluyla bu kanallar kapatılır. Böylece doğal havalandırma ile mekanik havalandırma birbirini tamamlamaktadır. İçerideki kirli hava büro mekanlarının döşemelerine yatay olarak yerleştirilen kanallar yardımıyla mekanik sistemin merkezinde toplanır ve binanın en yüksek noktasından dışarıya atılır. Bu noktaya yerleştirilen ısı değiştiricisi , kışın dışarıya atılan havanın ısını içeriye pompalayarak içerideki havayı %85 oranında ısıtır [18].

B) Arag Binası

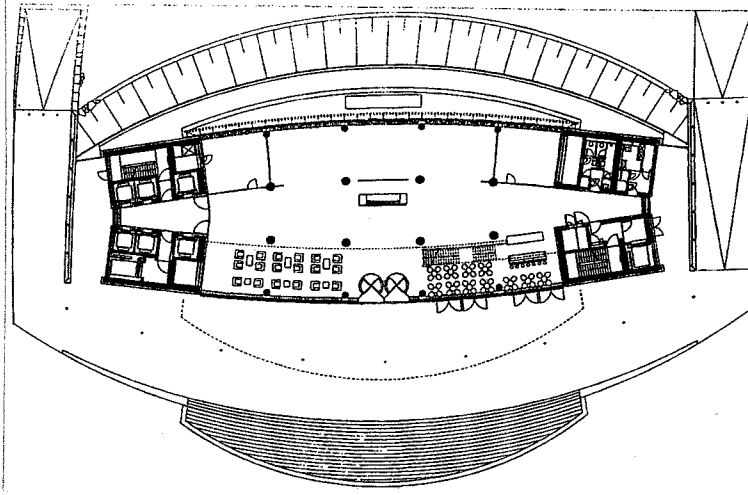
Bir sigorta şirketi olan Arag firmasının yeni yönetim binası Norman Foster ve ortaklarının R.K.W (Rhode Kellerman Wawrowsky) bürosuyla birlikte tasarladığı binadır. Yapı Düsseldorf'un kuzeyinde kent trafiğinin en yoğun olduğu Mörsenbroicher bölgesindedir.Yapının tasarımına 1992 yılında başlanmış, inşaatı ise 2001 yılında tamamlanmıştır. Yine aynı yıl içerisinde bina kullanılmaya başlanmıştır. Arag binası mimari, mekanik, strüktür ve diğer disiplinlerin koordineli çalışması sonucu ortaya çıkmıştır. Yapının kullanım biçimi ve firmanın felsefesi aynı zamanda mimari tasarım felsefesini oluşturmaktadır. Mimari tasarımın dört ana düşüncesi vardır : alan ekonomisi, yüksek derecede kullanım ve hareketlilik, motive eden ve iletişimi sağlayan çalışma çevresi ve yüksek derecede düzenleme kalitesidir [19]. Bina işverenin dinamiğini yansıtmaktadır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Arag binası [19]

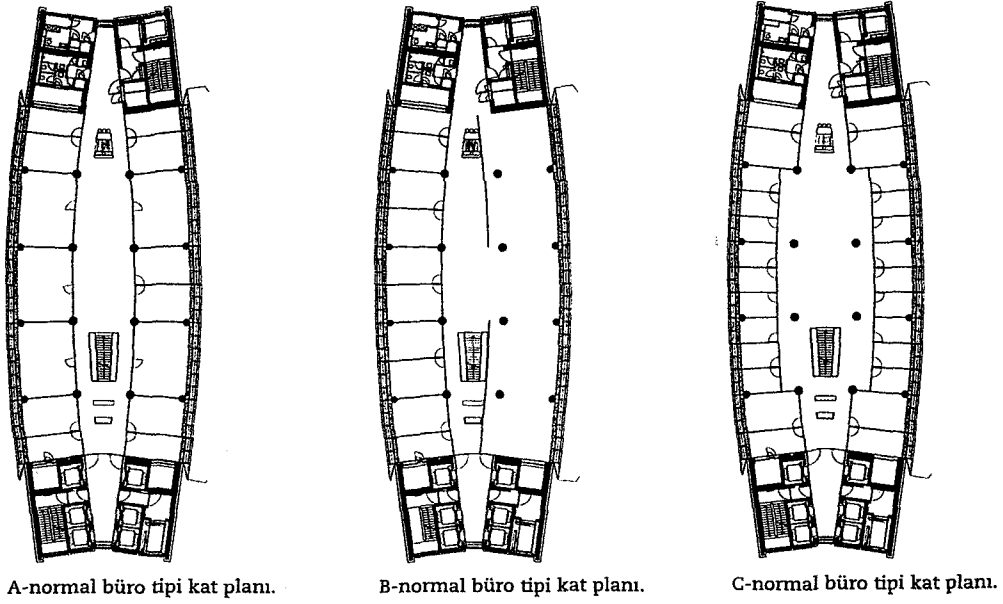
Arag binası uçları kırılmış elips formuna sahiptir (Şekil 3.14). Yapının formundaki sadelik iç mekan organizasyonuna da yansımıştır. Bina 2 bodrum katı, 3 kat yüksekliğindeki giriş katı, 28 kat yüksekliğindeki ofis katları ve çatı katında bulunan teknik servis katı ile beraber toplam 32 kattan oluşmaktadır. Yapı zemin kotundan itibaren 125 metre yüksekliğindedir. Yapının üç kat yüksekliğindeki giriş katında konferans salonu, sergi salonu ve lokantalar gibi farklı fonksiyonlar yer almaktadır.

Bodrum katlarda ise otopark ve teknik merkez bulunmaktadır. Binanın dış görünüşü katların tabakalar halinde üst üste gelmesiyle şekillenmiştir.



Şekil 3.14 Arag binası zemin kat planı [19]

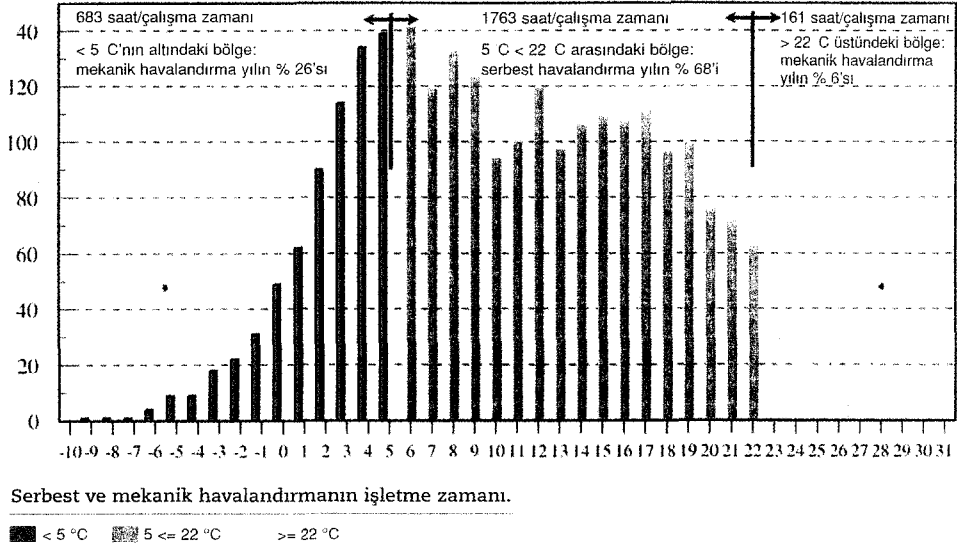
Arag binasındaki iç mekan organizasyonunun yeniliği, şimdiye kadar alışılmış klasik büro düzenlemelerindeki sonsuz koridorlardan geriye dönüştür. Bu nedenle yapıda saydam katlar oluşturulmuştur. Bütün koridor duvarları ve ofisler arasındaki duvarlar döşemeden tavana kadar camdır. Böylece çalışanlar arasında görsel ilişki sağlanmaktadır. Bu özellik işverenin mimari tasarımdaki en büyük beklentilerinden biridir [19]. Her katın kalbi sayılan göz merceği şeklindeki ortak mekanlar ofisler arası ortak toplanma mekanı olarak düzenlenmiştir. (Şekil 3.15) Bu ortak kullanım mekanlarında bulunan merdivenler sayesinde her üç büro katı birbirine bağlanmıştır. Böylece büyük bürolar arasında iç iletişim olanağı yaratılmıştır. Binada her yedinci kat bahçe katı olarak düzenlenip çalışanlar için ikinci bir buluşma noktası yaratılmıştır. Bina sahip olduğu plan tipi sayesinde iç mekan organizasyonlarında yapılacak değişikliklere olanak tanımaktadır. Büro alanlarının kullanımındaki esneklik için net mekan yüksekliği 2,75 m olarak gerçekleştirilmiştir. Çünkü yalnızca bu mekan yüksekliği iş yeri çalışma kurallarına uygun düzenlemeye olanak tanımaktadır [19].



Şekil 3.15 Arag binası kat planları [19]

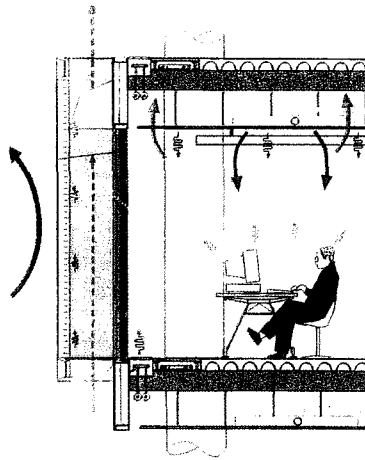
Yapının servisleri binanın her iki ucuna yerleştirilen servis çekirdekleri ile sağlanmıştır. Çekirdeklerden biri dikey dolaşım çekirdeği olarak planlanmıştır. Bu çekirdekte asansörler , yangın merdiveni ve yük asansörü yer almaktadır. Diğer çekirdek ise binanın diğer servislerini karşılamak üzere planlanmıştır. Bu çekirdekte ise sağlık donatıları, yangın merdiveni ve yük asansörü bulunmaktadır. Binada alışılmamış derecede yüksek olan 'etkinliğe' ulaşılmıştır. İşlevler, ulaşım, konstrüksiyonun kapladığı alanlar en aza indirgenir ve binanın dışında uçlarına doğru incelmeye sağlanır . Bina net bir strüktüre sahiptir. Yapının saydam oluşu strüktürünün uzaktan da algılanmasına olanak tanır. Bina strüktürünün düzenlenmesi, hem üst üste eklenmeler, hem de çeşitli işlevlerin iç içe geçmesiyle ortaya çıkar .

Bu yenilikçi bina, cephesindeki teknik , iklimlendirme ve strüktürüyle önem kazanır. Yapının enerji maliyeti oldukça düşük seviyededir (Şekil 3.16). Enerji maliyetini indirgeyen en önemli eleman yapının cephesidir. Akıllı bina tekniğinin ve çift kabuklu cephenin uygulanabilmesiyle hem yüksek seviyelerde enerji etkinliğine ulaşılır, hem de yapının etrafındaki trafiğin yarattığı gürültü düşük seviyelere indirilir.



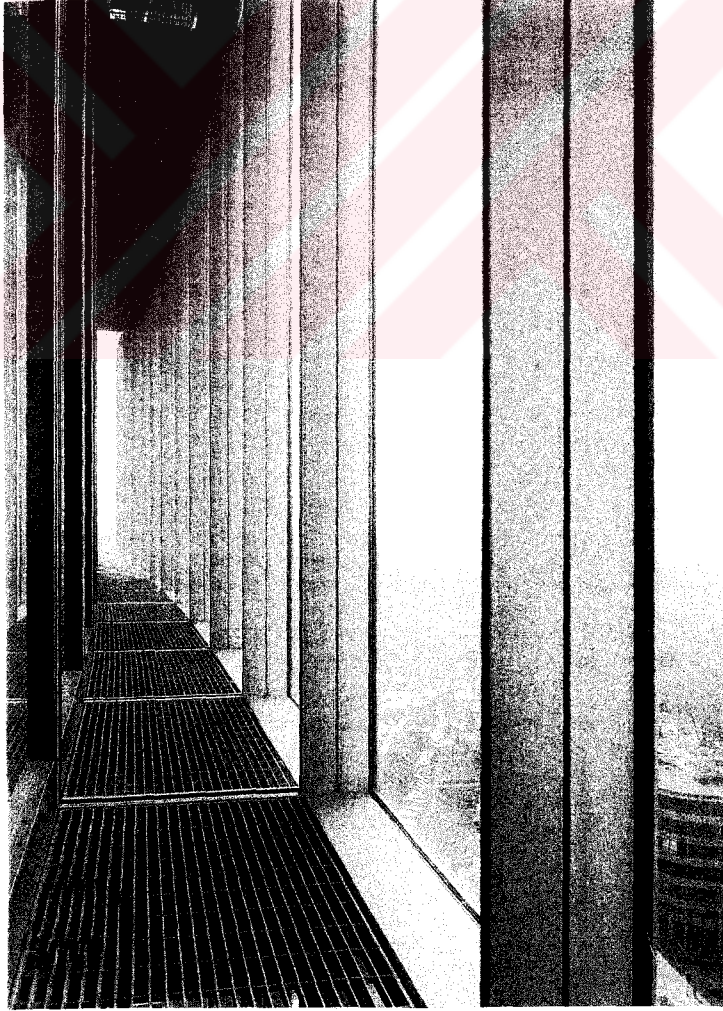
Şekil 3.16 Mekanik sistem çalışma zamanları [19]

Cephe anlayışı temelde 120 metre yüksekliğe kadar serbest pencere havalandırmasını sağlamak, kapalı cephe arkasındaki yatay büro atmosferinin dış hava ile ilişkisini mümkün olan en uzun zaman için canlı tutmak yarar [20]. Binanın cephesi çift kabuklu cam cephedir . Katların üst üste istiflenmesiyle ısı (termik) bir baca etkisi yaratılır. Binaın her katında pencereyle havalandırma bu şekilde mümkün olmaktadır. Yıllık çalışma zamanının %60'ında doğal havalandırma ile sağlıklı bir iklimlendirme yaratılır. Dışarıda hava koşulları değişince , örneğin sıcaklık 20°C'nin üzerinde veya 5°C'nin altında ise, döşemelerin altında bulunan kanallar yardımıyla mekanik havalandırma yapılır (Şekil 3.17). Bunun için her katta elle kontrol edilen kontrol panelleri bulunmaktadır.



Şekil 3.17 Havalandırma sistemi çalışma prensibi [19]

Çift cephe elemanları modüler bir sisteme göre bölünmüştür (genişlik : 1,41 m. , yükseklik : 3,67 m) [19]. İki kabuğun cam elemanları arasındaki boşluk 0,92 metre genişliğindedir . Dış kabuktaki cam elemanlara ayrı bir renk uygulanmıştır . İç cephedeki cam kabuğa ofisleri güneşten korumak için metal gölgeleme elemanları eklenmiştir. İç kabukta açılabilir pencereler bulunmaktadır ve bu kabukta hava sızdırmaz cam kullanılmıştır [19]. İki kabuğun arasındaki mekanın döşemesi yangına dayanıklı paslanmaz çeliktir . Bu döşeme ızgara şeklinde olup , altında merkezi sistem ile kontrol edilen havalandırma kapakları bulunmaktadır. (Şekil 3.18) Bu uzun tampon bölge mekanik sistem ve doğal yöntemin ortak kullanılmasıyla havalandırılmaktadır.



Şekil 3.18 Kabuklar arası boşluk [19]

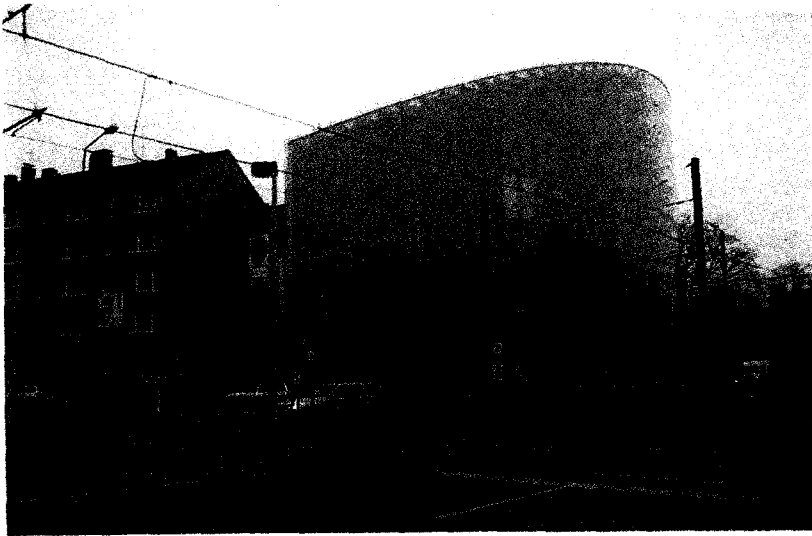
Kabuklar arasındaki kısımda bulunan açılıp kapanabilen havalandırma kapakları binanın işleyiş güvenliğini arttırırken , belirli sınır değerlerin aşılmasını engeller. Böylece açık pencere durumunda istenilmeyen çapraz hava akımının etkisi yok edilecektir . Yılın soğuk aylarında kapakların kapatılmasıyla pasif güneş enerjisi kazanımı ile binanın cepheden oluşan ısı kaybı azaltılacaktır. Böylece binanın kış aylarındaki ısıtma enerjisi giderlerinde önemli ölçüde azalma olmaktadır . Aynı özellik sıcak yaz günleri için de geçerlidir. Yazın bu kapakların açık tutulmasıyla kabuklar arasındaki bölge havalandırılıp, yapının sıcak havadan olumsuz yönde etkilenmesi en az düzeye indirgenecektir. Kabuklar arasındaki mekanda bulunan kapaklar üç farklı konuma getirilebilmektedir: tümüyle açık durum, yarı açık durum ve tam kapalı durum . Mekanik sistem, verilecek optik bir işaretle devreye girer . Binanın tepesinde iki yerden rüzgar ölçülür. Bilgisayarlar yarımıyla binanın çeşitli noktaları için hesaplar yapılır. Rüzgarın hızı 6m/sn oluncaya kadar kapaklar açık kalır. Rüzgarın hızı 8m/sn'yi geçerse kapaklar yarı açık konuma getirilir. Rüzgar hızı 10m/sn oluncaya kadar rahatlıkla pencereden havalandırma yapılabilir. Eğer rüzgar hızı 10m/sn'yi geçerse kapaklar tamamen kapatılır. Kapakların konumunu etkileyen bir diğer faktör de dış ortamın sıcaklığıdır . Dikkatle enerji tüketen bir tesis yaratabilmek için kapaklar, dışarıdaki sıcaklık 5°C veya altında ise (rüzgar hızına bakılmaksızın) kapatılır . Sıcaklık 5°C'nin üzerinde ise kapaklar açılır [19]. Kabuklar arasındaki havanın sıcaklığı 25°C'yi aştığında da mekanik havalandırma devreye girmektedir. Mekanik havalandırma, kapakların yönetimine paralel olarak yönetilmektedir. Esas olarak mekanik havalandırma eğer kapaklar kapalı ise çalıştırılmakta veya devreye girmektedir. Kapaklar ancak yangın durumunda kural dışı olarak açılabilir. Dış ortamdaki hava 5°C ile 22 °C arasında (yılın %60'ı) doğal havalandırma yapılır. Binanın enerji etkinliğini arttırmak için kışın mekanik havalandırma yapılır. Yüksek etkili (%80) bir ısı kazanım sistemi için, dışarıya atılacak havanın sıcaklığı filtrelenerek içeriye verilmektedir. Binanın ısıtma sistemine yalnızca çok soğuk kış günlerinde gereksinim duyulur. Diğer günlerde mekanların ısıtılmasında güneş enerjisinden yararlanılır . Çok sıcak yaz günlerinde ise yüksek etkili ısı kazanım sistemi yüksek etkili soğuk kazanım sistemine dönüştürülerek binanın enerji giderleri en alt düzeylere indirilir (Şekil 3.17). Mekanik havalandırma , ısıtma ve soğutma sistemi, kişilerce katlarda veya yarım katlarda kişisel gereksinimlere göre ayarlanabilmektedir. Örneğin binanın alt

katlarında açık pencere ile havalandırma yapılırken, üst katlarda rüzgar basıncı nedeniyle mekanik havalandırma yapılır. Binanın teknik anlayışındaki hareket noktası şudur: 125 metre yüksekliğindeki yapı kendine yeten pek çok enerji bölümlerine parçalanmıştır . Böylece , dört adet yedişer katlı istiflenmiş bloklar oluşur. Her yedi katın kullanımına teknik merkez ve bahçe katı verilir. Teknik merkez istifleme katların ortasında bulunmaktadır. Bu merkez alt ve üst katlara enerji sağlar. Buna karşılık binanın cephesi tek merkezden kontrol edilmektedir.

C) Duisburg Teknoloji Parkı Binası

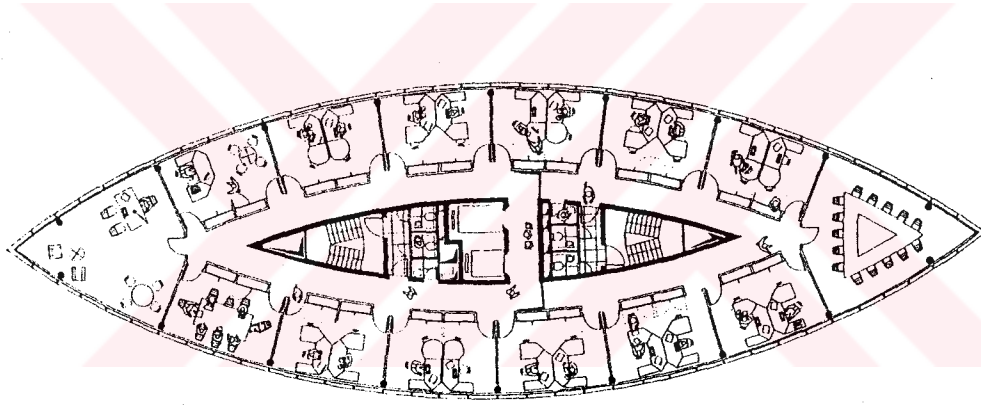
Duisburg teknoloji parkı Almanya’da bilişim teknolojileri üreten bir firmanın yeni yönetim binası olarak tasarlanıp inşa edilmiştir. Yapı 1988-1992 yılları arasında Sir Norman Foster ve ortakları tarafından tasarlanmış ve 1993 yılında inşası tamamlanarak hizmete girmiştir.

Yapı Almanya’nın Duisburg kentinde yer almaktadır. Yapının inşa edildiği arsa çeşitli konut blokları çevrilmiş ve kent trafiğinin en yoğun olduğu bir bölgededir (Şekil 3.19). Yapının tasarım süreci farklı disiplinlerin koordineli bir şekilde çalışması sonucu ortaya çıkmıştır. İşverenin mimari tasarımdan beklentileri, kurumun teknolojik yönünü yansıtacak ve işverenin mekan taleplerine optimum çözümleri sunabilen kompakt bir yapı şeklinde sıralanabilir. Mimari tasarımı etkileyen en önemli faktör yapının enerji giderlerini en alt düzete indirme isteğidir. Bu istek kurumun teknolojik kimliğine paralel olarak işveren tarafından gelmiştir [21]



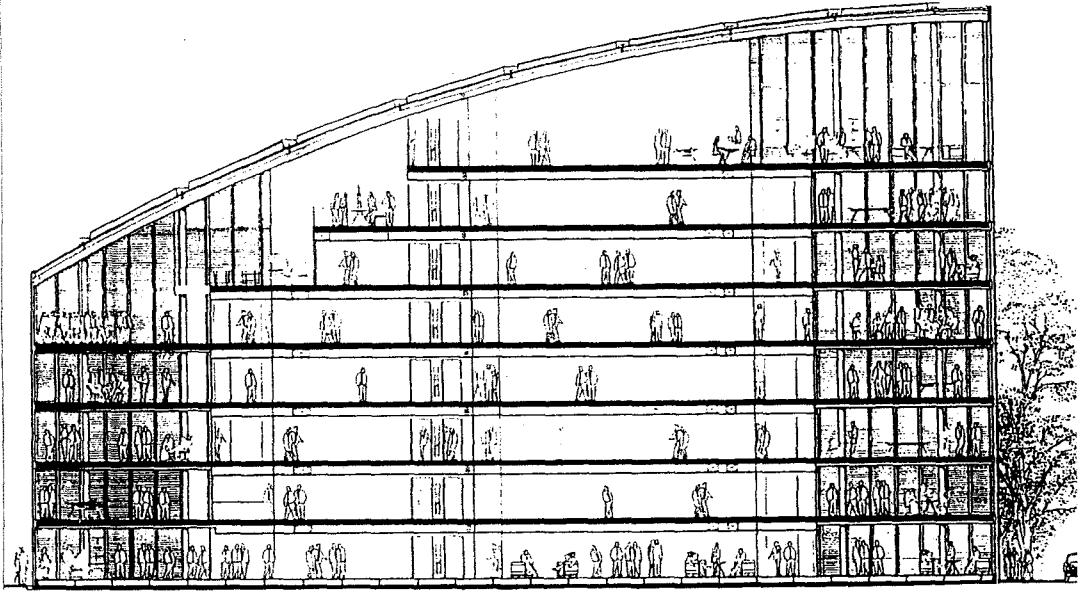
Şekil 3.19 Duisburg teknoloji parkı binası [21]

Yapı mevcut şehir dokusu içinde ele alındığında aykırı bir forma sahiptir. Uçları sivri olan bir elips şeklinde olan yapı hem mevcut doku içinde yarattığı mekansal etki ile hem de sahip olduğu sade form ile insan aklında kalan bir imaja sahiptir. Yapının çatısında da yapıda olduğu gibi eğrisel bir form kullanılmıştır (Şekil 3.20). Yapı bodrum katı, giriş katı ve yedi kat yüksekliğindeki ofis katı ile toplam dokuz kattan oluşmaktadır. Bodrum katında garaj ve yapının teknik servisleri bulunmaktadır. Yapının en üst katı ise kokteyl, seminer ve toplantı gibi ortak kullanım alanları için düzenlenmiştir. Servisler yapının ortasında bulunan servis çekirdeğinde çözülmüştür. Servis çekirdeği yapı gibi uçları sivri elips formuna sahiptir. Elips formunun sivri uç kısımlarına mekanik sistemin bacaları yerleştirilmiştir. Bu bacaların arkasında biri yangın merdiveni olmak üzere iki merdiven yerleştirilmiştir. İki adet asansör çekirdeğin orta kısmına yerleştirilmiştir. Sağlık donatıları ise biri asansörlerin arkasında diğeri de merdivenin ön kısmında çözülmüştür (Şekil 3.20).



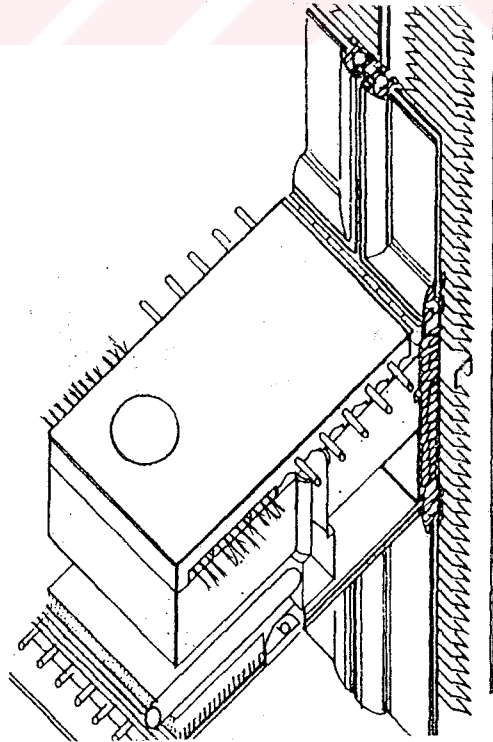
Şekil 3.20 Duisburg teknoloji parkı binası tip kat planı [21]

Ofisler binanın çeperlerinde yer almaktadır. Ofisler ile servis çekirdeği arasında kalan ise yapının yatay sirkülasyonunu oluşturmaktadır. Yapının altıncı katından itibaren an üst kata kadar döşemeler geri çekilerek sivri uçlardan birinde üç kat yüksekliğinde galeri boşluğu elde edilmiştir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21 Duisburg teknoloji parkı binası kesiti [22]

Yapının enerji sarfiyatını minimum düzeye inmesini sağlayan en önemli elemanı yapının cephesidir. Yapının cephesi, çift cidarlı cephe sistemli panellerin bir araya gelmesinden oluşmaktadır. Her bir cephe birbirine bağlanan 36 panelden oluşmaktadır. Paneller 1,5x3,3 metre boyutlarındadır [22]. Her panel çift kabuklu cam cepheden oluşmaktadır (Şekil 3.22). Cephe tasarımında Norman Foster Le Corbusier'in 'mur neutralisant ' fikrinden türetilmiştir.

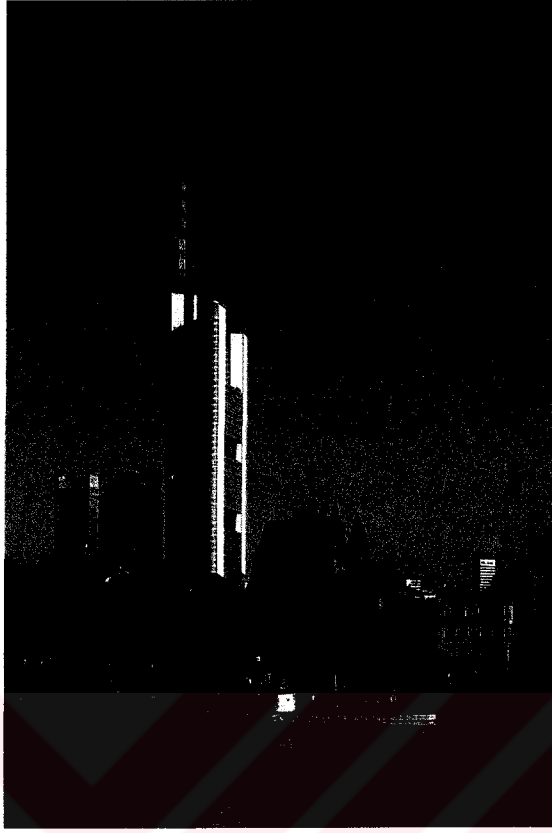


Şekil 3.22 Duisburg teknoloji parkı binası cephe sistem kesiti [22]

Yapı kabuğu dış yüzeydeki cam, hava boşluğu ve iç yüzeydeki cam olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Dış yüzeyde 6 mm kalınlığında berrak cam kullanılmıştır. Cam yüzeyler arasındaki hava boşluğu mekanik sistem ile havalandırılmaktadır. Bu hava boşluğu tüm katlarda kesintisiz devam etmektedir. İki cam yüzey arasındaki boşluk 20 cm dir. İç mekanları güneşin yakıcı etkisinden korumak için cam yüzeyler arasındaki boşlukta metal jaluziler yer almaktadır. Bu jaluziler elle kumanda edilmektedir. İç yüzeydeki cam ise çift tabakalı ve low e kaplamalı olup, tabakalar arasında boşlukta argon gazı bulunmaktadır. İç yüzeyde bulunan camlar hem sistemin temizliği hem de metal jaluzilerin kontrolü için açılabilir özelliğe sahiptir (Şekil 3.22). Cephe sisteminin toplam ısı geçirme katsayısı değeri 1,4 W/m² K dir [21]. Cephe sisteminin sahip olduğu düşük ısı iletkenliği değeri yapının cepheden kaynaklanan ısı kayıplarını minimum seviyeye indirmektedir. Yapının havalandırma sistemi ile kabuklar arasındaki boşluğu havalandırmayı sağlayan mekanik sistem birbirinden ayrı olarak planlanmıştır [22]. Fakat her iki sistemde birbirini destekleyecek şekilde çalıştırılmaktadır. Boşlukta bulunan havanın sıcaklığı dış ortam sıcaklığına göre ayarlanmaktadır. Mekanik sistemin kanalları ve elektrik sisteminin kanalları döşemeler ve asma tavan boşluğunda gizlenmiştir. Yapı bu özelliklerinden dolayı enerji maliyeti oldukça düşük bir binadır. Bu özelliklerinin yanı sıra çift cidarlı cephe sistemi sayesinde bölgedeki trafik gürültüsüne karşın iyi bir yalıtım sağlanmaktadır. Sonuç olarak yapı sahip olduğu özellikler sayesinde işverenin de istediği gibi kurumun teknolojik kimliğini en iyi şekilde yansıtmaktadır.

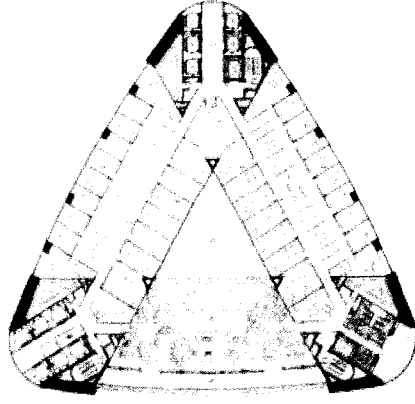
D) Commerzbank Binası

1991 yılında açılan uluslar arası yarışma sonucunda projeleri elde edilen Commerzbank Norman Foster ve ortakları tarafından tasarlanmıştır. Müşteri Commerzbank'ın ekolojiye verdiği önem doğrultusunda tasarımda yapının ekolojikliğine yapının fonksiyonu kadar önem verilmiştir. Yapı Avrupa'nın en yüksek ekolojik kulesidir. Commerzbank binası Frankfurt'un Kaiserplatz bölgesinde yer almaktadır. Bina Frankfurt silüetinde ayırt edici bir görünüme sahiptir; küçük ölçekli şehir dokusu içinde önemli bir referans noktası olmuştur (Şekil 3.23). Commerzbank binası 1997 yılının mayıs ayında inşaatı tamamlanarak hizmete girmiştir.



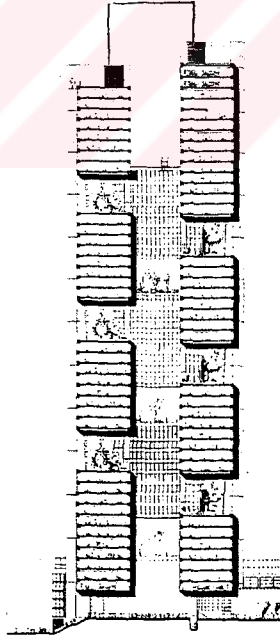
Şekil 3.23 Commerbank binası genel görünüm [23]

Bina üçgen formunda bir plan şemasına sahiptir (Şekil 3.24). Üçgenin sivri köşeleri, köşeleri daha verimli alanlar haline dönüştürmek ve gün ışığından doğal aydınlatma için daha fazla yararlanmak amacıyla eğrisel olarak tasarlanmıştır. Üçgen formun bir kenarının uzunluğu 60 metredir [24]. Binanın servisleri ve asansörleri üçgen formun uç kısımlarında toplanmıştır. Planın her iki kolunda ofis mekanları bulunmaktadır. Üçgen formun bir kolunu kaplayan kış bahçesi her dört katta bir dört kat yüksekliğinde dönüşümlü olarak üçgenin diğer bir koluna geçerek devam etmektedir (Şekil 3.25). Kış bahçeleri, doğal iklimlendirme açısından yapıya getirdiği avantajların yanı sıra ofis grupları için dinlenme ve yemek aralarında bir toplanma mekanı olarak işlev görmektedir. Norman Foster bu kış bahçelerini ‘ gökyüzündeki bahçeler ‘ olarak tanımlamaktadır [25]. Binada toplam dokuz adet kış bahçesi bulunmaktadır. Planın tam kalbinde ise tüm katlar boyunca devam eden atrium yer almaktadır.



Şekil 3.24 Commerzbank tip kat planı [23]

Binanın zemin katında halka açık restoran, kafeterya, sosyal ve kültürel etkinlikler için düzenlenmiş alanlar bulunmaktadır. Bina bodrum katları dahil toplam 53 katlıdır. Bina'nın servis ve sirkülasyon çekirdeğini çevreleyen kolon çiftleri binanın ana taşıyıcı kolonlarıdır. Bu kolon çiftleri 8 katlı serbest açıklıklıktaki ofis katlarını taşıyan Vrendel kirişlerini çevrelemekte ve desteklemektedir. Bina'nın mekanik ve elektrik tesisat boruları bu kirişler içinde açılan kanallardan geçmektedir.



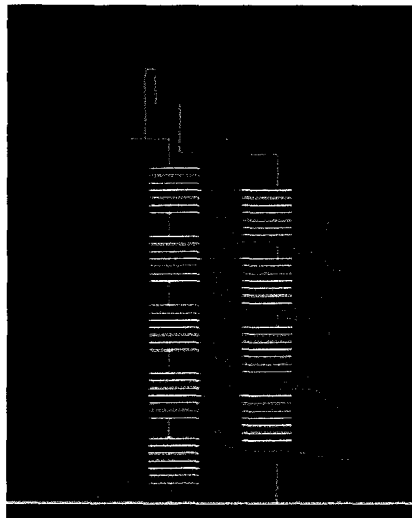
Şekil 3.25 Commerzbank binası kesiti [23]

Bina en az seviyede enerji tüketmesi için doğal havalandırma, aydınlatma ve iklimlendirme sistemlerinden optimum düzeyde performans alınması hedeflenmiştir. Binada enerji tüketiminin kontrol altında tutulması ve minimum enerji harcanması

için binanın tüm elektrik ve mekanik sistemleri otomasyon sistemi tarafından kontrol edilmektedir. Binanın enerji etkinliğinde atrium, kış bahçeleri ve yapı kabuğu önemli rol oynamaktadır.

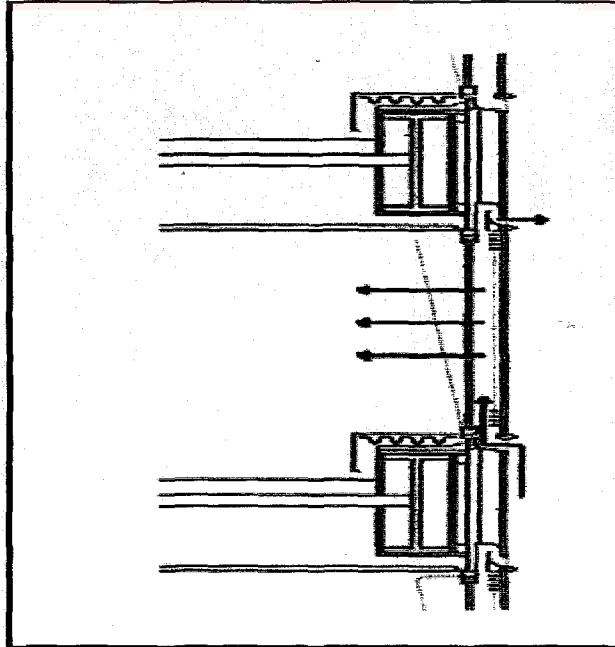
Kış bahçeleri gün ışığı ve temiz havayı merkezi atriuma ileterek ie dönük ofisler için doğal aydınlatma ve havalandırma olanağı sağlamaktadır. Taze hava dış ortamdan kış bahçelerinin cephesinin st tarafında bulunana açıklıklardan içeri alınmaktadır. Bu açıklıklar binanın otomasyon sistemi tarafından kumanda edilmektedir. Kış bahçelerinin cephesi istenmeyen güneş ışı nımı kazançlarını önlemek için eğrisel olarak tasarlanmıştır. Merkezi atrium binanın enerji etkinliğinde önemli rol oynayan bir diğer ögedir.

şekil 3.26'da görüldüğü gibi planın kalbinde yer alan merkezi atrium tüm katlar boyunca devam etmektedir. Kış bahçelerinin st kısmından içeri alınana taze hava atrium sayesinde ie dönük ofislerin ve kış bahçelerinin doğal olarak havalandırılmasında kullanılmaktadır. Merkezi atrium hava bacası şeklinde çalışarak kış bahçelerinde ısınan havanın yükselerek diğer kış bahçesinden yada atrium'un tepesinde bulunan açıklıktan dışarı atılmasını sağlamaktadır. Merkezi atrium her kış bahçesi seviyesinde cam paneller ile bölünmüştür. Bu sayede yangın esnasında atrium içerisine dolan dumanın tüm ofislere dağılması nlenmiştir. Bina kabuğu iklimsel verilere göre doğal havalandırma ve aydınlatmayı sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.



şekil 3.26 Commerbank binası merkezi atrium havalandırma konsept şeması [24]

Binanın kabuğunu oluşturan saydam bileşenler çift kabuklu olarak tasarlanmıştır. İçeride dönük ofislerin cephesindeki saydam bileşenler ise tek kabukludur. Kabuktaki opak paneller metal giydirme cephe kaplaması ve izolasyon tabakasından oluşmaktadır. Çift kabuklu saydam bileşen, dışta low-e kaplamalı 8mm kalınlığında çift cam içeride ise berrak çift camdan oluşmaktadır. Kabuklar arasında 252mm boşluk bulunmaktadır (Şekil 3.27) [24]. Boşluk içerisinde kullanıcı tarafından kontrol edilebilen metal jaluzi bulunmaktadır. Kabuklar arasındaki boşluk doğal yolla havalandırılmaktadır. Dış kabuktaki cam panelin alt ve üst kısımlarında binanın otomasyon sistemi tarafından kumanda edilen kanallar bulunmaktadır. Bu kanallar açılarak rüzgar ara boşluğa alınmakta ve kabuklar arasındaki boşluk havalandırılmaktadır. Rüzgar hızı iç mekanda problem yaratacak hıza ulaştığında bina kabuğundaki tüm kanallar binanın otomasyon sistemi tarafından kapatılmaktadır. Yaz döneminde bu kanallar gece açılarak binanın gece boyunca soğutulması sağlanmaktadır. İç kabuktaki cam ara boşluğun temizliği ve bakım-onarımı gibi nedenlerden dolayı açılabilir yapılmıştır. Bu sayede yüksek binanın üst katlarında dahi pencere açılarak doğal havalandırma yapılması söz konusudur. Kabuğun bir diğer avantajı da sağladığı ses yalıtımıdır. Binanın bulunduğu yer şehrin trafik yükünün en yüksek olduğu bölgelerden biridir. Özellikle alt katlarda bina kabuğu iyi bir ses yalıtımı sağlamaktadır.



Şekil 3.27 Commerzbank binası cephe kesiti [24]

Commerzbank binasında her ofis, gün ışığıyla aydınlatılmış ve doğal havalandırma imkanı sağlayan açılabilen pencerelere sahiptir. Ofis mekanları kullanıcıları kendi çevrelerini kontrol edebilme imkanı vermektedir. Binada mekanik sistemlere ihtiyaç duyulan sürecin azaltılması sayesinde binanın toplam enerji yükü önemli ölçüde azalmıştır. Sonuç olarak binanın enerji tüketimi kendine benzer konvansiyonel ofis kulelerinin yarısına eşittir [23].

3.2. Bölümün Sonuçları

Bu bölümde; enerji etkin tasarım anlayışı çerçevesinde yapı kabuğunda enerji korunumu sağlayan sistemler, akıllı kabuk, iklimle dengeli cepheler ve çift kabuklu cepheler incelenmiştir. Çift kabuklu cephelerin gelişim süreci, özellikleri, bileşenleri ve uygulamaları hakkında ayrıntılı şekilde bilgi örnekler üzerinde verilmiştir. Bu incelemeler sonucunda çift kabuklu cephelerin binaların enerji etkin davranmasındaki rolünün özellikle çok katlı binalarda çok önemli olduğu görülmüştür. Çalışmanın dördüncü bölümde ise sözü edilen çift kabuklu cephelerin ısı kayıpları üzerindeki etkisini ortaya konmasına yardımcı yöntemler incelenecektir.

4. ÇİFT KABUKLU CEPHELERİN ISITMA ENERJİSİ TASARRUFUNA ETKİSİNİ BELİRLEMEDE KULLANILAN YÖNTEMLER

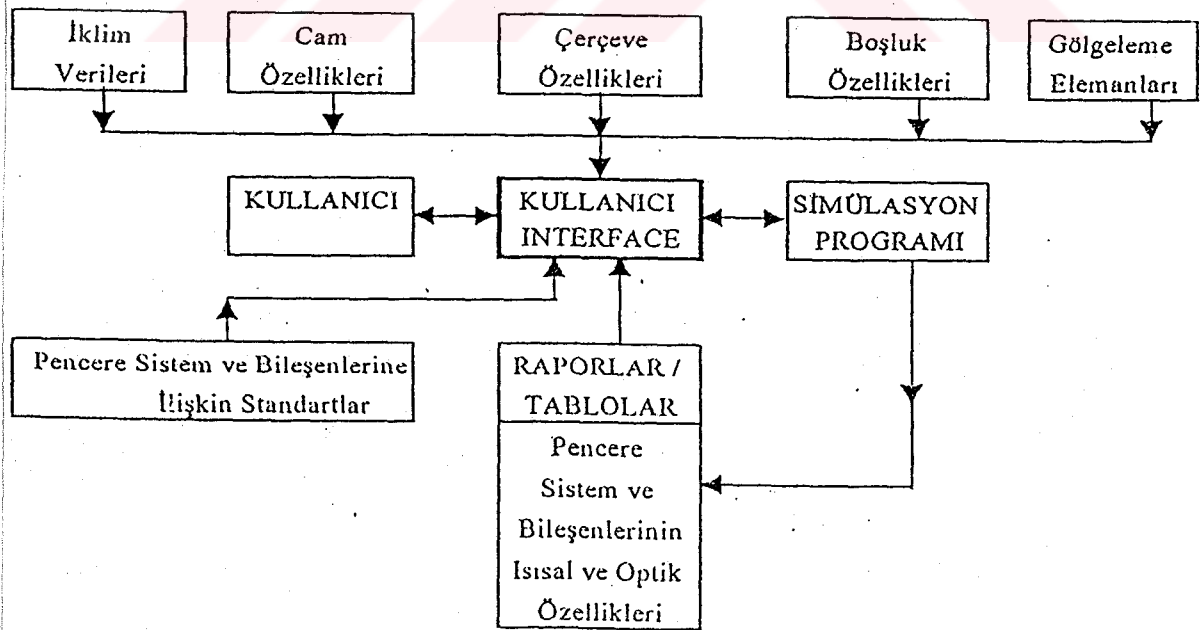
Çift kabuklu cephelerde ara boşluk cephenin enerji etkinliği üzerinde en önemli paya sahip bileşenidir. Kış aylarında güneş ışınimleri sayesinde kabuklar arasındaki boşlukta bulunan hava ısınır ve yalıtım tabakası gibi işlev görerek yapı kabuğundan vuku bulan ısı kayıplarını önemli ölçüde azaltır. Bu bölümde sözü edilen bu etkinin ortaya konmasına yarayan yaklaşımlar anlatılmaktadır.

4.1. Çift Kabuklu Cephelerin Isı Kayıplarının Hesaplanmasında Kullanılan Yöntemler

Çift kabuklu cephelerin ısı kayıplarının hesaplanmasında kullanılan yönelik yaklaşımlar cepheyi oluşturan bileşenlere göre değişiklik göstermektedir. Ancak bu yaklaşımların ortak noktası, kabuklar arasındaki boşluğun sıcaklığının hesaplanması ve ısı kayıplarının bu ara boşluk sıcaklığı temel alınarak hesaplanmasıdır. Çift kabuklu cepheler ile ilgili yapılan literatür taramasında tüm çift kabuklu cephe tiplerinde kullanılan hesaplama yöntemleri ara boşluk sıcaklığı hesaplanmasına dayanmaktadır. Yöntemler arasındaki farklar kabuğu oluşturan bileşenlere göre değişmektedir. Çift kabuklu cephelerde kabuğu oluşturan bileşenlere göre ara boşluk sıcaklığını hesaplanmasına yönelik yöntemler aşağıda verilmiştir. Ancak bu çalışmada iç kabuğu saydam ve opak bileşenden oluşan çift kabuklu cephelerin ısı kayıplarının belirlenmesine yönelik yeni bir yaklaşım geliştirildiğinden bu konuya daha fazla ağırlık verilmiştir.

4.1.1. Her İki Kabuğu Saydam Bileşenden Oluşan Çift Kabuklu Cephelerin Isı Kayıplarının Hesaplanması

Daha öncede anlatıldığı gibi her iki kabuğu saydam bileşenden oluşan çift kabuklu cepheler 'çift kabuklu cam cepheler' olarak tanımlanmaktadır. Çift kabuklu cam cephelerin ısı kayıplarının belirlenmesinde pencere bileşen ve sistemlerinin ısısal özelliklerini belirleyen WIS programından yararlanılabilir [6 s.118]. WIS programı, Avrupa Komisyonu desteğinde ve TNO Building and Construction Research Department (Delft, Hollanda) tarafından koordine edilen JOULE II programı çerçevesinde geliştirilmiştir. CSTB (Fransa), Fraunhofer Institut for Building Physics (Almanya), AICIA (Universidad de Sevilla, İspanya), EMPA (İsviçre), University College of Dublin (İrlanda), Conphoelous SCRL (İtalya) ve University of Athens (Yunanistan) çalışmada yer alan diğer gruplardır [6 s.118]. Program kullanıcı interface ve simülasyon programı olmak üzere başlıca iki modülden oluşmaktadır. Şekil 4.1'de programı oluşturan modüller ve modüller arasındaki ilişki görülmektedir.



Şekil 4.1 WIS Programını oluşturan modüller ve ilişkileri [6 s.118]

Programın hesaplamaları yapabilmesi için bazı verilerin program içindeki listelerden seçilmesi ve/veya belirlenmesi gerekmektedir. Bu veriler aşağıdaki gibi özetlenebilir.

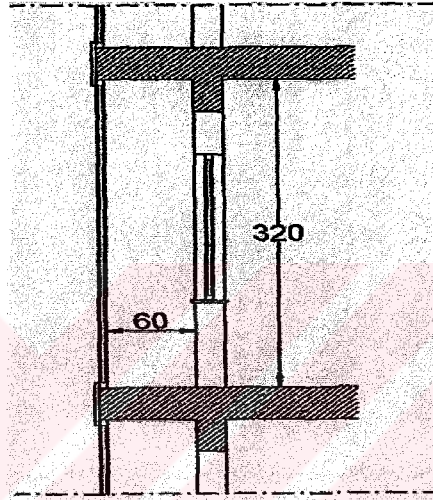
- İklimsel veriler
 - Dış ortam sıcaklığı
 - Güneş ışıınımı yeğinliğı
 - Rüzgar hızı
- Çerçeve sistemine ilişkin veriler
 - Malzeme tipi
 - Isı geçirme katsayısı
 - Boyutu
- Saydam bileşene ilişkin veriler
 - Geçirgenlik, yutuculuk katsayısı
 - Boyutları
 - Saydam bileşenler arasındaki gazın tipi (argon,kripton,hava)
- Güneş kontrol elemanı malzeme özellikleri

Oluşturulan saydam kabuk seçeneklerinin ısısal ve optik özellikleri cam kabuğı oluşturan bileşenlerin özelliklerine ve dış iklim değişkenlerine bağılı olarak hesaplanmaktadır. Bu doğrultuda, özelliklere ilişkin hesap değerlerinin belirlenmesi için gerekli olan iklim koşullarına, kabuğı oluşturan bileşenlerin özellik ve boyutlarına ilişkin girdiler WIS programı içinde tanımlanmaktadır. WIS programı pencere sistemini oluşturan katmanların belirlenerek, programa girilmesi sayesinde pencere sisteminin ısı geçirme katsayısı ve güneş ışıınımı kazanç katsayısını hesaplamaktadır [32]. Program tüm pencere sistemleri için geliştirilmiş olup, çift kabuklu cam cepheleri de birden fazla katmandan oluşan bir pencere sistemi gibi tanımlayarak çift kabuklu cam cephelerin ısısal özelliklerinin hesaplamalarını yapmaktadır.

4.1.2. İç Kabuğı Saydam ve Opak Bileşenden Oluşan Çift Kabuklu Cephelerin Isı Kayıplarının Hesaplanması

Yapılan literatür taramasında iç kabuğı saydam ve opak bileşenden oluşan çift kabuklu cephelerin ısı kayıplarının belirlenmesine yönelik yöntem olarak Branislav Todorovic tarafından geliştirilmiş ‘Çift kabuklu cephelerin ara boşluk sıcaklığına

bağlı olarak ısı kayıplarının hesaplanması' adlı metodu dışında başka bir yöntem bulunamamıştır. Branislav Todorovic tarafından geliştirilen yöntem aşağıdaki şekildeki gibi çift kabuklu cepheye sahip bir binanın ısı kayıplarını hesaplamaya yöneliktir [26]. Yöntem kabuklar arasındaki boşluğun sıcaklığını hesaplamaya yönelik matematiksel simülasyonlar içermektedir. Matematiksel simülasyonlar bir saatlik aralarla yürütülerek kabuklar arasındaki boşluk sıcaklıkları hesaplanmaktadır. Kabuklar arasındaki boşluk sıcaklığı dış ortam sıcaklığı olarak kabul edilerek kabuğun ısı kayıpları hesaplanmıştır.



Şekil 4.2 Çift kabuklu cephe sistem kesiti

4.1.2.1 Ara Boşluk Sıcaklığı

Ara boşluk sıcaklıkları, çift kabuklu cepheyi oluşturan saydam ve opak bileşenlerin ısı dengeleri yazılarak hesaplanmaktadır. Kabuğu oluşturan bileşenlerin ısı dengesi bileşenin ısı kazanç ve kayıplarına dayanılarak yazılmıştır. Dış kabuk cam olduğundan güneş ışınlamı iç kabuğu da etkilemektedir. Dıştaki ve içteki kabuk güneş ışınlamı şiddetiyle ısınmakta ve ısınlamın bir kısmı kabuklar arasındaki boşluğa aktarılmaktadır. Aktarılan ısınlamın miktarı iki yolla, her iki kabuğun önceki sıcaklıklarının bulunması ile veya soğurulan ve ara boşluğa aktarılan ısınlamın bilinmesi ile bulunabilir [26]. Her iki yol için bileşenlerin iç ve dış yüzeylerinin ısı transfer katsayılarının bilinmesi gerekmektedir. Kış koşullarında ara boşluk hava dolaşımına kapalıdır. Yazın ise kabuklar arasındaki boşluğun havalandırılması için kabuklar arası boşluk dış ortam hava dolaşımına açıktır. Bu nedenle, değişen boşluk

kalınlıkları için, hava akış hızlarına ve ortalama günlük sıcaklıklara uygun olarak bileşenin iç ve dış yüzeyinin ısı transfer katsayıları aşağıdaki denklemler yardımı ile hesaplanabilir [26].

$$v_o = v \cdot \frac{273}{273+t} \quad (4.1)$$

$$\alpha_i = 4,4 \cdot \frac{v_o^{0,75}}{D^{0,25}} \quad (4.2)$$

v_o : Ara boşluktaki hava akış hızı (m^3/h)

v : Dış ortamdaki hava akış hızı (m^3/h)

t : Dış ortam sıcaklığı ($^{\circ}C$)

α_i : Ara boşlukta bileşenin yüzeyinin ısı transfer katsayısı ($W/m^2^{\circ}C$)

D : Kabuklar arasındaki boşluk (m)

4.1.2.2. Çift Kabuklu Cepheyi Oluşturan Bileşenlerin Isıl Denge Denklemleri

Ara boşluk sıcaklığının hesaplanabilmesi için cepheyi oluşturan her bileşenin ısı denge denklemi ayrı ayrı yazılmıştır.

▪ Dış kabuk

Dış kabuk için kazanılan ve kaybedilen ısı miktarları yazılarak dış kabuğun ısı denge denklemi oluşturulmuştur. Şekil 4.4'de görüldüğü gibi dış kabuğun güneş ışımasını kazancı Q_{as} ile ifade edilmektedir.

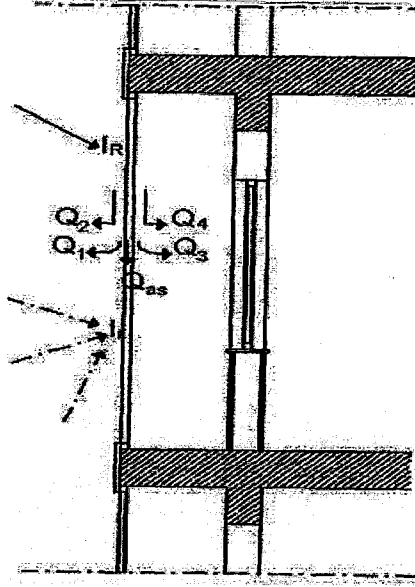
$$Q_{as} = a_s F_s I \quad (4.3)$$

Q_{as} : Dış kabuğun güneş ışımasını kazancı (W)

a_s : Kabuğun güneş ışımasına karşı yutuculuğu

F_s : Dış kabuk alanı (m^2)

I : Dış kabuğu etkileyen güneş ışımasını yeğinliği (W/m^2)



Şekil 4.3 Dış kabuğun ısı dengesi

Saydam bileşenin depoladığı ısı miktarı,

$$Q_s = F_s D_s c_p (t_s - t_s') \quad (4.4)$$

Q_s : Camın depoladığı ısı miktarı (W)

D_s : Dış kabuğun kalınlığı (m)

c_p : Havanın özgül ısısı ($c_p=1005 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$)

t_s : Dış kabuğun iç yüzey sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)

t_s' : Bir önceki zaman aralığında dış kabuğun iç yüzey sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)

Camdan dış ortama taşınım ile aktarılan ısı miktarı Q_1 , dış kabuktan ara boşluğa taşınım ile aktarılan ısı miktarı Q_3 , dış kabuktan uzun dalga ışınlama ile dış ortama aktarılan ısı miktarı Q_2 ve dış kabuktan ara boşluğa ışınlama ile aktarılan ısı miktarı Q_4 ile ifade edilmiştir.

$$Q_1 = \varepsilon_{s1} F_s C_c \beta_{s1} (t_s - t_o) \quad (4.5)$$

$$Q_2 = F_s \alpha_{s1} (t_s - t_o) \quad (4.6)$$

$$Q_3 = \varepsilon_{s2} F_s C_c \beta_{s2} (t_s - t_m') \quad (4.7)$$

$$Q_4 = F_s \alpha_{s2} (t_s - t_m') \quad (4.8)$$

t_s : Dış kabuğun iç yüzey sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

C_c : Siyah cisim ısı ışıınımı ($C_c=5,67 \text{ W/m}^2\text{K}^4$)

t_o : Dış ortam hava sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

t_m' : Bir önceki zaman aralığında ara boşluk sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

t_i : İç hava konfor sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

β_{s1}, β_{s2} : Dış kabuğun dış ve iç yüzeylerinin ısı ışıınım katsayısı

$\epsilon_{s1}, \epsilon_{s2}$: Dış kabuğun dış ve iç yüzeylerinin ısı yayılım katsayısı

ρ : Havanın yoğunluğu ($\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$)

α_{s1} : Dış kabuğun dış yüzeyinin ısı geçirme katsayısı ($\text{W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$)

α_{s2} : Dış kabuğun iç yüzeyinin ısı geçirme katsayısı ($\text{W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Hesaplamalara başlanılan ilk saat için t_m' , t_s' , t_p' ve t_m' dış ortam hava sıcaklığına eşit olarak kabul edilmiştir. Yukarıdaki denklemler referans alınarak dış kabuğun ısı ışıınım dengesi denklemleri yazılırsa,

$$Q_{as} = Q_s + Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (4.9)$$

Bileşenin ısı ışıınım dengesi denklemleri dış kabuğun iç yüzey sıcaklığını verecek şekilde düzenlenirse,

$$t_s = \frac{a_s I + \rho D C_p t_s' + (\epsilon_{s1} C_c \beta_{s1} + \alpha_{s1}) t_o + (\epsilon_{s2} C_c \beta_{s2} + \alpha_{s2}) t_m'}{\rho D C_p + \epsilon_{s1} C_c \beta_{s1} + \alpha_{s1} + \epsilon_{s2} C_c \beta_{s2} + \alpha_{s2}} \quad (4.10)$$

bağıntısı elde edilir.

Dış kabuk saydam bileşenden oluşmaktadır. Saydam bileşenlerden ara boşluğa ve dış ortama ışıınım ile aktarılan ısı miktarı ihmal edilebilecek düzeyde olduğu kabul edilerek denklem yeniden düzenlenirse,

$$t_s = \frac{a_s I + \rho D C_p t_s' + (\alpha_{s1}) t_o + (\alpha_{s2}) t_m'}{\rho D C_p + \alpha_{s1} + \alpha_{s2}} \quad (4.11)$$

elde edilir

▪ İç kabuk

Daha önce de anlatıldığı gibi iç kabuk saydam ve opak bileşenden oluşmaktadır. Dış kabuğun ısıl denge denkleminin oluşturulmasındaki yaklaşım iç kabukta da tekrarlanmıştır. Ancak iç kabukta saydam ve opak bileşenin ısıl denge denklemleri ayrı ayrı düzenlenmiştir.

▪ İç kabuktaki saydam bileşen

İç kabuğun güneş ışıını kazancı Q_{ap} ile ifade edilmiştir. Ancak güneş ışıını kazancında dış kabuktan iç kabuğa geçen güneş ışıını miktarı göz önüne alınmıştır. Sıydam bileşenin depoladığı ısı miktarı Q_p , sıydam bileşenden ara boşluğa taşıınımla aktarılan ısı miktarı Q_5 , iç ortama taşıınımla aktarılan ısı miktarı Q_6 , uzun dalga ışıınımla sıydam bileşenden ara boşluğa aktarılan ısı miktarı Q_7 ve uzun dalga ışıınımla iç ortama aktarılan ısı miktarı Q_8 ile ifade edilmiştir.

$$Q_5 = F_p \alpha_{p1} (t_p - t_m) \quad (4.12)$$

$$Q_6 = F_p \alpha_{p2} (t_p - t_i) \quad (4.13)$$

$$Q_7 = \varepsilon_{p1} F_p C_c \beta_{p1} (t_p - t_m) \quad (4.14)$$

$$Q_8 = \varepsilon_{p2} F_p C_c \beta_{p2} (t_p - t_i) \quad (4.15)$$

$$Q_{ap} = a_p F_p I_d \quad (4.16)$$

$$Q_p = F_p D_p c_p (t_p - t_p') \quad (4.17)$$

ρ_p : Havanın yoğunluğu ($\rho_p = 1,25 \text{ kg/m}^3$)

α_{p1} : Pencere dış yüzeyinin ısı geçirme katsayısı ($\text{W/m}^2\text{°C}$)

α_{p2} : Pencere iç yüzeyinin ısı geçirme katsayısı ($\text{W/m}^2\text{°C}$)

t_p : İç kabuktaki pencerenin dış yüzey sıcaklığı (°C)

t_p' : İç kabuktaki pencerenin bir önceki periyotta dış yüzey sıcaklığı (°C)

D_p : Pencerenin kalınlığı (m)

d_s : Dış kabuğun güneş ışıını geçirgenliği

β_{s1}, β_{s2} : İç kabuktaki sıydam bileşenin dış ve iç yüzeylerinin ısı ışıını katsayısı

$\varepsilon_{s1}, \varepsilon_{s2}$: İç kabuktaki sıydam bileşenin dış ve iç yüzeylerinin ısı yayımı katsayısı

Denklem sıydam bileşenin ara boşluğa bakan yüzeyinin sıcaklığını verecek şekilde düzenlenirse,

$$t_s = \frac{a_p d_s I + \rho D c_p t_p' + (\varepsilon_{s1} C_c \beta_{s1} + \alpha_{s1}) t_m + (\varepsilon_{s2} C_c \beta_{s2} + \alpha_{s2}) t_i}{\rho D c_p + \varepsilon_{s1} C_c \beta_{s1} + \alpha_{s1} + \varepsilon_{s2} C_c \beta_{s2} + \alpha_{s2}} \quad (4.18)$$

bağıntısı elde edilir.

Dış kabukta olduğu gibi iç kabukta da saydam bileşenin uzun dalga ışınlama aktardığı ısı miktarı ihmal edilerek denklem yeniden düzenlenirse,

$$t_p = \frac{a_p d_s I + \rho_p D_p c_p t_p' + \alpha_{p1} t_m' + \alpha_{p2} t_i}{\rho_p D_p c_p + \alpha_{p1} + \alpha_{p2}} \quad (4.19)$$

bağıntısı elde edilir.

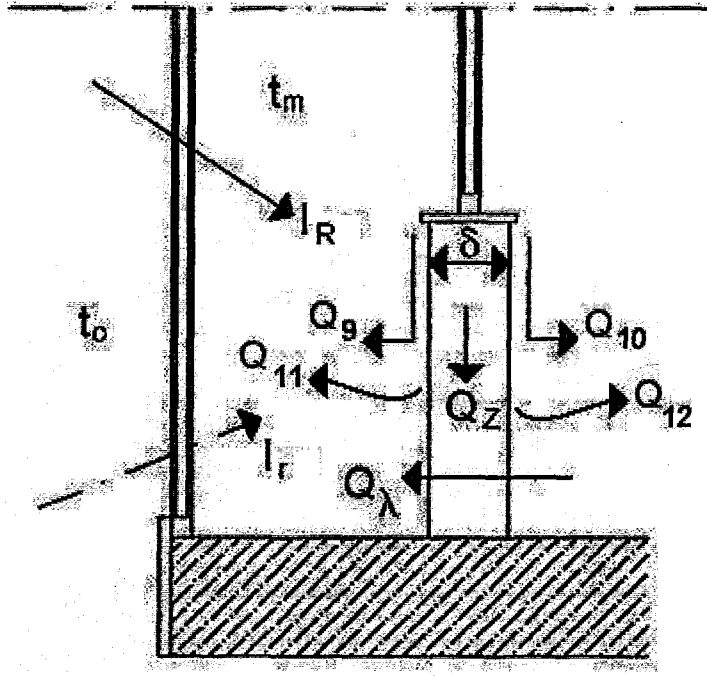
▪ İç kabuktaki opak bileşen

İç kabuktaki opak bileşenin ısı denge denklemi de bileşenin ısı kazanç ve kayıplarına göre düzenlenmiştir (Şekil 4.5). Buna göre, opak bileşenin üzerine düşen güneş ışınlamından kaynaklanan ısı kazancı Q_z , opak bileşenin ara boşluğa bakan yüzeyinden ara boşluğa taşınım ile aktarılan ısı miktarı Q_9 , opak bileşenin iç yüzeyinden iç ortama taşınım ile aktarılan ısı Q_{10} , opak bileşenin dış yüzeyinden ara boşluğa uzun dalga ışınlama ile aktarılan Q_{11} , iç ortama uzun dalga ışınlama ile aktarılan Q_{12} ve iç ortamdan ara boşluğa iletim ile aktarılan ısı miktarı Q_λ ile ifade edilmiştir. Opak bileşenin iç yüzey sıcaklığı ile iç ortam sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı küçük olduğundan opak bileşenin iç yüzeyinden iç ortama taşınım ve ışınlama ile aktarılan ısı miktarı ihmal edilmiştir (Q_{10} ve Q_{12}) [26].

Buna göre iç kabuktaki opak bileşenin ısı dengesi,

$$Q_z = Q_\lambda + Q_9 + Q_{10} + Q_{11} + Q_{12} \quad (4.20)$$

şeklinde ifade edilebilir.



Şekil 4.4 İç kabuktaki opak bileşenin ısı dengesi

$$Q_z = F_w a_w I d_s \quad (4.21)$$

$$Q_\lambda = F_w \left(\frac{1}{\delta} + \frac{1}{\lambda} \right) (t_i - t_w) \quad (4.22)$$

$$Q_9 = F_w \alpha_{w1} (t_w - t_m) \quad (4.23)$$

$$Q_{10} = F_w \alpha_{w2} (t_w - t_i) \quad (4.24)$$

$$Q_{11} = \varepsilon_{w1} F_w C_c \beta_{w2} (t_w - t_m) \quad (4.25)$$

$$Q_{12} = \varepsilon_{w2} F_w C_c \beta_{w2} (t_w - t_i) \quad (4.26)$$

t_w : Duvarın dış yüzey sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

F_w : Duvar alanı (m^2)

a_w : Duvarın yutuculuk katsayısı

δ : Duvarın kalınlığı (m)

λ : Duvarın ısı iletim katsayısı ($\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$)

α_{w1} : Duvar dış yüzeyinin ısı geçirme katsayısı ($\text{W}/\text{m}^2^{\circ}\text{C}$)

α_{w2} : Duvar iç yüzeyinin iç yüzey ısı geçirme katsayısı ($\text{W}/\text{m}^2^{\circ}\text{C}$)

β_{w1}, β_{w2} : İç kabuktaki opak bileşenin dış ve iç yüzeylerinin ısı ışıınım katsayısı

$\varepsilon_{w1}, \varepsilon_{w2}$: İç kabuktaki opak bileşenin dış ve iç yüzeylerinin ısıl yayınım katsayısı

Denge denklemi bileşenin ara boşluğa bakan yüzeyinin sıcaklığını verecek şekilde düzenlenirse,

$$t_w = \frac{F_w a_w I d_s + F_w \alpha_{w1} t_m + F_w \epsilon_{w1} c_c \beta_{w1} t_m + F_w \frac{\lambda}{\delta} t_m - F_w \frac{\lambda}{\delta} t_i}{F_w \alpha_{w1} + F_w \epsilon_{w1} c_c \beta_{w1}} \quad (4.27)$$

bağıntısı elde edilir.

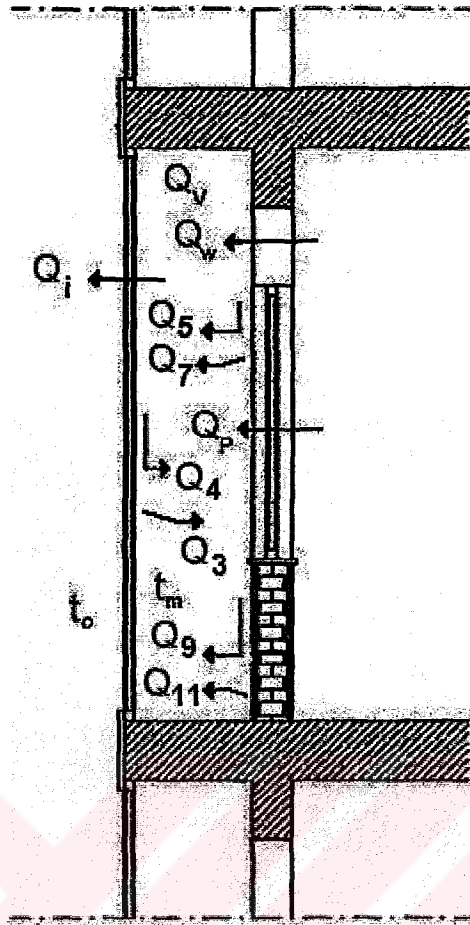
▪ Ara boşluk

Ara boşluğun ısı denge denklemi bileşenlerden ara boşluğa aktarılan ısı miktarı ve ara boşluktan dış ortama aktarılan ısı miktarına göre düzenlenmiştir. Buna göre iç kabuktaki saydam bileşenden ara boşluğa taşınılma aktarılan Q_5 , uzun dalga ışınlama aktarılan Q_7 , iç kabuktaki opak bileşenden ara boşluğa taşınılma aktarılan Q_9 , uzun dalga ışınlama aktarılan Q_{11} , dış kabuktan ara boşluğa taşınılma aktarılan Q_4 , uzun dalga ışınlama aktarılan ısı miktarı Q_3 ile ifade edilmiştir. Ara boşluktan dış ortama sıcaklık farkı nedeniyle aktarılan ısı miktarı Q_i , iç ortamdan ara boşluğa saydam bileşen vasıtasıyla geçen ısı Q_p , iç ortamdan ara boşluğa opak bileşen vasıtasıyla geçen ısı miktarı Q_w ve ara boşluktaki hava kütlesi içinde depolanan ısı miktarı Q_v ile ifade edilmiştir (Şekil 4.5).

Buna göre ara boşluğun ısı dengesi yazılırsa,

$$Q_v = Q_p + Q_w + Q_2 + Q_4 + Q_5 + Q_7 + Q_9 + Q_{11} - Q_i \quad (4.28)$$

bağıntısı elde edilir.



Şekil 4.5 Ara boşluğun ısı dengesi

$$Q_v = F_s D c_p \rho (t_m - t_m') \quad (4.29)$$

$$Q_p = F_p k_p (t_i - t_m) \quad (4.30)$$

$$Q_w = F_w k_w (t_i - t_m) \quad (4.31)$$

$$Q_4 = F_s \alpha_{s1} (t_s - t_o) \quad (4.32)$$

$$Q_3 = \epsilon_{s2} F_s C_c \beta_{s2} (t_s - t_m') \quad (4.33)$$

$$Q_5 = F_p \alpha_{p1} (t_m - t_i) \quad (4.34)$$

$$Q_7 = \epsilon_{p1} F_p C_c \beta_{p1} (t_m - t_i) \quad (4.35)$$

$$Q_9 = F_w \alpha_{w1} (t_w - t_m) \quad (4.36)$$

$$Q_{11} = \epsilon_{w1} F_w C_c \beta_{w2} (t_w - t_m) \quad (4.37)$$

$$Q_i = F_s k_s (t_m - t_o) \quad (4.38)$$

F_s : Dış kabuğun alanı [m²]

F_p : Pencere alanı [m²]

F_w : Duvar alanı [m²]

D : Kabuklar arasındaki boşluk [m]

t_m' : Bir önceki zaman aralığında ara boşluk sıcaklığı [°C]

t_m : Ara boşluk sıcaklığı [°C]

Çift kabuklu cephelyi oluşturan saydam bileşenlerin ısı depolama kapasitesi düşük seviyede olduğundan dolayı, saydam bileşenlerden ara boşluğa uzun dalga ışınlama aktarılan ısı miktarı ihmal edilerek denklem ara boşluk sıcaklığını verecek şekilde düzenlenirse,

$$t_m = \frac{F_s D c_p \rho t_m' + F_s \alpha_{s2} t_s + F_w \alpha_{w1} t_w + F_w \epsilon_{w1} c_c \beta_{w1} t_w + F_p \alpha_{p1} t_p + F_p k_p t_i + F_w k_w t_i + F_s k_s t_o}{F_s D c_p \rho + F_w \alpha_{w1} + F_w \epsilon_{w1} c_c \beta_{w1} + F_p \alpha_{p1} + F_p k_p + F_w k_w + F_s k_s}$$

(4.39)

bağıntısı elde edilir.

4.39 numaralı denklem yardımı ile hesaplanan ara boşluk sıcaklıkları dış ortam sıcaklığı kabul edilerek binanın ısı kayıpları hesaplanabilir. B.Todorovic'in bu çalışmasında ısı kaybı hesaplarında kabul ettiği varsayımlar hakkında bir bilgiye rastlanmamıştır [27]. Bu yöntemde saydam bileşenler için güneş ışınlama kazancı belirlenirken güneş ışınlamının doğrudan ve yaygın bileşenlerinin ayrı ayrı hesaba katılmaması ve iç kabukta zamana bağlı ısı geçişi hesaplamalarında kullanılan nümerik yaklaşımın bir saatlik aralıklarla olması sonuçların sağlıklı ve gerçeğe yakın olmasını engelleyecektir. O nedenle bu çalışmada iç kabuğu saydam ve opak bileşenden oluşan çift kabuklu cephelerin ısı kaybı hesaplamalarında kullanılmak üzere yeni bir yaklaşım önerilmiştir.

5. ÇİFT KABUKLU CEPHELERİN ISI KAYIPLARININ HESAPLANMASINDA KULLANILABİLECEK YENİ BİR YAKLAŞIM

Bir önceki bölümde anlatılan ve çift kabuklu cephelerde ara boşluk sıcaklıklarının hesaplanmasına dayanan Todorovic yönteminin, iç kabuğu saydam ve opak bileşenden oluşan çift kabuklu cephelerin ısı kayıplarının hesaplanmasında çeşitli yönlerinin eksik olması nedeniyle, bu konuda yeni bir yaklaşımın geliştirilmesi gerekli görülmüştür.

5.1. Yaklaşımın Amacı

Bu çalışmada geliştirilen yaklaşımın, iç kabuğu saydam ve opak bileşenden oluşan çift kabuklu cephelerin ısı kayıplarının zamana bağlı rejimde hesaplanmasıdır. Çalışmada geliştirilen yöntem aynı zamanda, saydam ve opak bileşenden oluşan tek kabuklu cepheye ikinci bir yapı kabuğu eklenmesi suretiyle yapılan enerji etkin yapı kabuğu iyileştirilmesinin ısısal performansının belirlenmesinde de kullanılabilir.

5.2. Yaklaşımın Tanıtılması

Bu çalışmada gerçekleştirilen yaklaşım, diğer yaklaşımlarda olduğu gibi, ara boşluk sıcaklıklarının dış ortam sıcaklığı olarak kabul edilmesiyle ısı kayıplarının zamana bağlı rejimde hesaplandığı bir yaklaşımdır. Yaklaşımı oluşturan aşamalar aşağıda özetlenmiştir.

5.2.1. Yaklaşımın Adımları

İç kabuğu saydam ve opak bileşenden oluşan çift kabuklu cephelerin ısı kayıplarının belirlenmesi için geliştirilen yaklaşım üç ana aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama, ikinci aşamada yapılacak hesaplamalarda gerekli olan bina verilerinin ve kabuğa

ilişkin ısı geçişini etkileyen fiziksel ve optik özelliklerin ve hesaplamaların yapılacağı döneme ilişkin iklim elemanı değerlerinin belirlenmesinden oluşmaktadır. İkinci aşamada çift kabuk cidarları arasındaki hava boşluğu sıcaklıkları hesaplanmakta, üçüncü aşamada ise, ikinci aşamada hesaplanan ara boşluk sıcaklığı dış dizayn sıcaklığı olarak kabul edilerek iç kabuktan zamana bağlı rejimde geçen ısı miktarı ve bunun sonucunda gerçekleşen kabuk iç yüzey ve iç hava sıcaklıkları hesaplanmaktadır.

5.2.1.1. Birinci Aşama

Bu çalışmada geliştirilen yaklaşım her türlü iklim koşulu ve her tür binaya uygulanabilir oluşundan dolayı binaya ve iklime ilişkin verilerin hesaplamalara başlamadan önce belirlenmesi gerekmektedir. Yöntemin ikinci ve üçüncü aşamasında ihtiyaç duyulacak veriler aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

▪ Binaya İlişkin Verilerin Belirlenmesi

Daha öncede değinildiği gibi geliştirilen yaklaşım her tür binaya uygulanabildiğinden hesaplamalara geçilmeden yaklaşımın uygulanacağı binanın seçilmesi gerekmektedir. Hesaplamalarda binanın taban alanı, kat yüksekliği, dış duvar sayısı, bina kabuğunu oluşturan saydam ve opak bileşenlerin alanları ve çift kabuklu sistemin tipi gibi verilerin belirlenmesi gerekmektedir.

▪ Dış Çevre İklim Elemanlarının Hesap Değerlerinin Seçilmesi

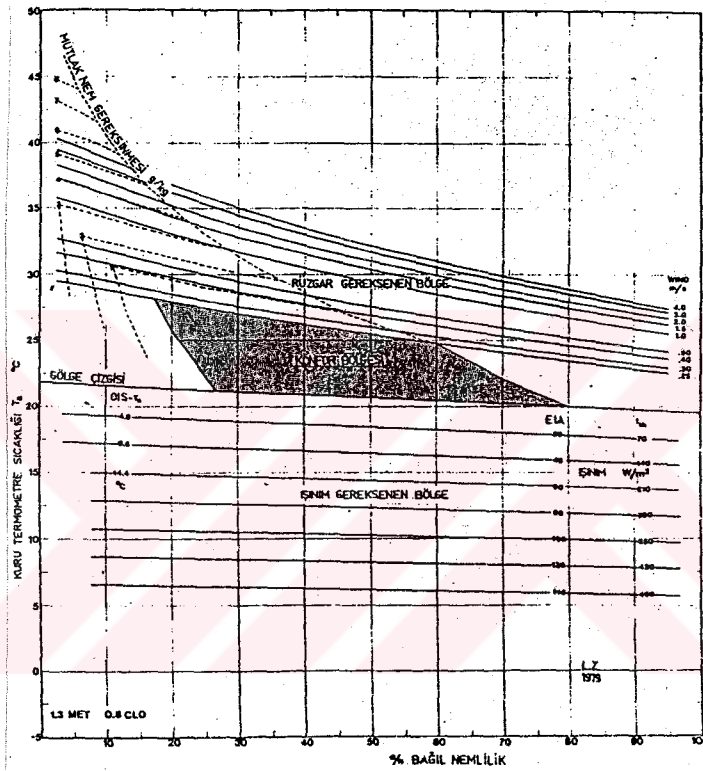
Hesaplamalarda güneş ışıınımı yeğlinliği ve dış ortam hava sıcaklığı gibi verilerin saatlik değişimine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, hesaplamalarda yılın hangi dönemine ait verilerin kullanılacağına karar verildikten sonra o döneme ait ortalama dış hava sıcaklığı ve güneş ışıınımı yeğninlikleri hesaplamalarda kullanılmak üzere temin edilmelidir.

▪ İç Çevre İklim Elemanlarının Hesap Değerlerinin (İklimsel Konfor Koşullarının) Belirlenmesi

İklimsel konfor açısından istenen kuru termometre sıcaklığı ve bağıl nemlilik değerlerinin hacmin işlevine bağlı olarak belirlenmesinde Şekil 5.1’de verilen iklimsel konfor grafiğinden ya da mevcut yönetmeliklerden yararlanılabilir. İç hava sıcaklığı ile ortalama ışıınımsal sıcaklık arasında iklimsel konfor açısından sınır fark değerlerinin belirlenmesinde ise (28) numaralı kaynak kullanılabilir.

▪ İç Çevre İklim Elemanlarının Hesap Değerlerinin (İklimsel Konfor Koşullarının) Belirlenmesi

İklimsel konfor açısından istenen kuru termometre sıcaklığı ve bağıl nemlilik değerlerinin hacmin işlevine bağlı olarak belirlenmesinde Şekil 5.1'de verilen iklimsel konfor grafiğinden ya da mevcut yönetmeliklerden yararlanılabilir. İç hava sıcaklığı ile ortalama ışıınımsal sıcaklık arasında iklimsel konfor açısından sınır fark değerlerinin belirlenmesinde ise (28) numaralı kaynak kullanılabilir.



Şekil 5.1 İklimsel konfor grafiği [29 s7]

▪ Kabuğun Isısal ve Optik Özelliklerinin Belirlenmesi

Ara boşluk sıcaklığı ve ısı kaybı hesaplarında gerekli olan yapı kabuğunu oluşturan saydam ve opak bileşenleri oluşturan malzemelerin yoğunlukları, özgül ısıları ve ısı iletim katsayıları, bileşenlerin ara boşluğa bakan yüzeylerinin ısı transfer katsayıları, saydam bileşenlerin ışıınım yutuculuk, yansıtıcılık ve geçirgenlik özelliklerinin, opak bileşenlerin ise ışıınım yutuculuk ve yansıtıcılık gibi özelliklerinin ve kabuğun saydamlık oranı gibi değerlerin belirlenmesi gerekmektedir.

bulunan partiküller, su buharı ve mikroskobik katı cisimlere çarparak dağılmış olarak yeryüzüne ulaşmaktadır. Bu tür güneş ışıını yaygın ışıını olarak tanımlanmaktadır. Güneşli bir günde yeryüzüne gelen ışıınıları % 80 i doğrudan ışıınıdır. Bulutlu bir günde ise yeryüzüne gelen ışıınıların tamamı yaygın ışıınıdır. Yapı kabuğundaki saydam bileşenlerin her iki ışıını türüne karşı farklı davranış gösterdiği bilinmektedir. Saydam bileşenlerin üzerine düşen yaygın ve doğrudan ışıını miktarları farklı olduğu gibi saydam bileşenlerin bu ışıınıları geçirgenlik oranı da farklıdır. Saydam bileşenlerin doğrudan ışıını geçirme katsayısı ışıının geliş açısına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bu nedenle bileşenlerin ısıl denge denklemleri yazılırken, bileşenlerin güneş ışıını kazancı kısmında bu kabulün yapılması daha doğru olacağı düşünülerek Todorovic yönteminde önerilen 4.3 numaralı denklem aşağıdaki gibi düzeltilmiştir.

$$Q_{as} = Q_{asR} + Q_{asr} \quad (5.1)$$

$$Q_{asR} = a_s F_s I_R \quad (5.2)$$

$$Q_{asr} = a_s F_s I_r \quad (5.3)$$

Q_{asr} : Yaygın ışıını kazancı (W)

Q_{asR} : Doğrudan ışıını kazancı (W)

a_s : ışıını yutuculuk katsayısı

I_r – Yaygın ışıını yeğniliği (W/m^2)

I_R – Doğrudan ışıını yeğniliği (W/m^2)

4.3 numaralı denklemde yapılan bu değişiklik çerçevesinde dış kabuğun iç yüzey sıcaklığını veren denklem 4.11 aşağıdaki gibi düzeltilmiştir.

$$t_s = \frac{a_{sR} I_R + a_{sr} I_r + \rho D c_p t_s' + (\alpha_{s1}) t_o + (\alpha_{s2}) t_m'}{\rho D c_p + \alpha_{s1} + \alpha_{s2}} \quad (5.4)$$

Dış kabuk için yapılan güneş ışıını kabulü iç kabuk için de yapılmıştır. Buna göre iç kabuktaki saydam bileşenin iç yüzey sıcaklığını veren 4.19 numaralı denklem aşağıdaki gibi düzenlenmiştir.

$$t_p = \frac{a_{pR} I_R d_R + a_{pr} I_r d_r + \rho_p D_p c_p t_p' + \alpha_{p1} t_m' + \alpha_{p2} t_i}{\rho_p D_p c_p + \alpha_{p1} + \alpha_{p2}} \quad (5.5)$$

Opak bileşenlerin doğrudan ve yaygın güneş ışınlamına karşı davranışı saydam bileşenler gibi farklı olmadığından opak bileşen için bu düzenlemesine gerek yoktur. Dolayısıyla B. Todorovic'in yönteminde ara boşluk sıcaklığının hesaplanması aşamasında yapılan değişiklikler denklem 5.4 ve 5.5 ile sınırlıdır. Bu çalışmanın birinci aşamasında hesaplamalar yukarıda anlatılan değişiklikler doğrultusunda yapılarak ara boşluk sıcaklıklarının saatlik değerlerinin Todorovic yöntemine göre belirlenmesi öngörülmüştür.

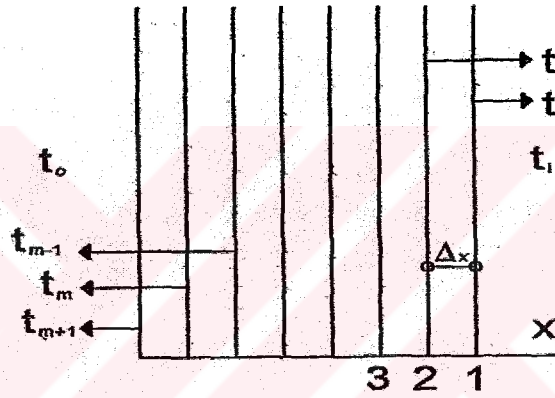
5.2.1.3. Üçüncü Aşama: Çift Kabuklu Cephenin İç Kabuğundan Zamana Bağlı Rejimde Geçen Isı Miktarının, İç Hava ve İç Yüzey Sıcaklıklarının Hesaplanması

Hesaplama yönteminin bu aşamasında birinci aşamada hesaplanan ara boşluk sıcaklıkları dış ortam hava sıcaklığı kabul edilerek çift kabuklu cephenin iç kabuğundan geçen ısı miktarı, saydam ve opak bileşenin iç yüzey sıcaklığı, iç hava sıcaklığı zamana bağlı rejimde Todorovic yönteminden farklı olarak sonlu farklar yaklaşımıyla hesaplanmaktadır [29,30]. Bu aşamada hesaplamaların daha hızlı yapılabilmesi için ISINEM adlı bilgisayar programından faydalanılmıştır [29]. Opak kabuk bileşeninin iç yüzey sıcaklığı, bileşeni etkileyen güneş ışınlamı şiddetine, dış ortam hava sıcaklığına ve iç ortamın hava sıcaklığını etkileyen ısıtma sisteminin çalışma periyoduna bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Gerek opak kabuk bileşeninin ısı depolama kapasitesinin ihmal edilemeyecek düzeyde oluşu gerekse yukarıda sözü edilen iklimsel değişkenlerden dolayı opak bileşenden ısı geçişi zamana bağlı rejimde incelenmelidir. Opak bileşenden zamana bağlı rejimde ısı geçişini hesaplamaya yönelik yöntemler, analitik ve sayısal yöntemler olmak üzere iki grupta toplanabilir. Birden fazla katmandan oluşan opak bileşenlerde ısı geçişinin hesaplanması belirli varsayımlar ve karmaşık hesaplamalar ile olanaklıdır. Bu nedenle, birden fazla katmandan oluşan opak bileşenlerde ısı geçişinin zamana bağlı rejimde hesaplanması için sayısal yöntemler daha uygun olmaktadır. Bu çalışmada opak bileşen içerisinde ısı geçişini ve iç yüzey sıcaklığını veren diferansiyel

denklemlerin sonlu farklar yaklaşımı ile çözümünü veren Schmidt sayısal yöntemi kullanılmıştır [30]. Opak bileşenden zamana bağlı sıcaklık değişimini ifade eden

$$\frac{\partial t}{\partial T} = a \frac{\partial^2 t}{(\partial x)^2} \quad (5.6)$$

diferansiyel denklem, Şekil 5.2’de görülen, iç ve dış ortamı birbirinden ayıran Δx kalınlığında M adet katmandan oluşan opak bileşenin x doğrultusundaki ΔT zaman aralıklarıyla sıcaklık değişimini belirlemek üzere, sonlu farklar yaklaşımıyla M noktasındaki $(T+\Delta T)$ anındaki sıcaklığı hesaplamak için çözülerek,



Şekil 5.2 Opak bileşenin şematik kesiti

aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$\frac{t_{M+1} + t_{M-1} - 2t_M}{(\Delta x)^2} = \frac{1}{a} \frac{t'_M - t_M}{\Delta T} \quad (5.7)$$

t_M, t_{M+1}, t_{M-1} : Herhangi bir T anında, sırasıyla $m, m+1$ ve $m-1$ katman sınırındaki sıcaklıklar, ($^{\circ}\text{C}$).

t'_M : m noktasında $(T+\Delta T)$ anındaki sıcaklık, ($^{\circ}\text{C}$).

a : Bileşenin m . katmanını oluşturan malzemenin ısıl yayılım katsayısı (m^2/sn).

Yukarıdaki bağıntıdan t'_M sıcaklığı çözülüp eşitlik yeniden düzenlenirse,

$$t'_M = \frac{a \cdot \Delta T}{(\Delta x)^2} \cdot (t_{M+1} + t_{M-1}) + \left(1 - \frac{2a \cdot \Delta T}{(\Delta x)^2}\right) \cdot t_M \quad (5.8)$$

bağıntısı elde edilir.

Bu bağıntının çözümünde , ΔT ve Δx zaman ve boyut aralıklarının, çözümün kararlı olması açısından

$$\frac{(\Delta x)^2}{a \cdot \Delta T} \geq 2 \quad (5.9)$$

koşulunu gerçekleştirecek şekilde seçilmiş olmaları gerekmektedir. Benzer şekilde, bileşenin yüzeyindeki ısı dengesi sonlu farklar cinsinden aşağıdaki bağıntıyla ifade edilebilir.

$$-\lambda \cdot \frac{t_1 - t_2}{\Delta x} = \frac{\Delta x}{2a} \lambda \frac{t'_1 - t_1}{\Delta T} - \alpha_i \cdot (t_i - t_1) \quad (5.10)$$

Buradan t'_1 yüzey sıcaklığı çözülüp eşitlik yeniden düzenlenirse,

$$t'_1 = \frac{a \cdot \Delta T}{(\Delta x)^2} \cdot \left(2 \frac{\alpha_i \Delta x}{\lambda} \cdot t_i + 2t_2 + t_1 \cdot \left(\frac{\Delta x^2}{a \Delta T}\right) - \frac{2 \Delta x \cdot \alpha_i}{\lambda} - 2\right) \quad (5.11)$$

bağıntısı elde edilir.

t'_1 : Bileşenin iç yüzeyinde ($T + \Delta T$) anındaki sıcaklık, ($^{\circ}\text{C}$).

a : Bileşenin iç yüzeyindeki malzemenin ısı yayılım katsayısı (m^2/sn).

α_i : İç yüzeyel ısı iletim katsayısı ($\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C}$).

λ : Bileşenin iç yüzeyindeki malzemenin ısı iletkenliği ($\text{W}/\text{m } ^{\circ}\text{C}$).

t_1, t_2 : Sırasıyla bileşenin iç yüzeyinin ve yüzeyden Δx M kadar içerideki tabakanın t anındaki sıcaklıkları ($^{\circ}\text{C}$).

Benzer şekilde, bileşenin (M+1). sınırında (dış yüzeyinde) (T+ΔT) anındaki sıcaklık, hesaplanabilir . Yüzey sıcaklıklarının hesaplanmasında Δx ve ΔT aralıklarının, çözümün kararlı olması açısından

$$\frac{(\Delta x)^2}{a \cdot \Delta T} \geq 2 \cdot \left(\frac{\alpha \cdot \Delta x}{\lambda} + 1 \right) \quad (5.12)$$

koşulunu sağlayacak şekilde seçilmiş olmaları gereklidir. Bu şekilde, sonlu farklar yaklaşımıyla geliştirilmiş bu yöntem kullanılarak, opak kabuk bileşeni içerisinde ve yüzeyinde x doğrultusunda, belirlenen zaman ve boyut aralıklarıyla, sıcaklığın zamana bağlı değişimini belirlemek olanaklıdır.

Saydam bileşenden geçerek iç kabuğun iç yüzeyini etkileyen güneş ışıını yeglinliği de göz önüne alınarak iç kabuktaki opak bileşenin iç yüzey sıcaklığı sonlu farklar yöntemi kullanılarak aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir [29].

$$t_{wi}' = \frac{a_1 \cdot \Delta T}{(\Delta x)^2} \cdot \left(2 \frac{\Delta x}{\lambda_1} \cdot b \cdot S_i + 2 \cdot \frac{\alpha_i \cdot \Delta x}{\lambda_1} \cdot t_1 + 2t_2 + t_{wi} \cdot \left(\frac{\Delta x^2}{a_1 \Delta T} - \frac{2\Delta x \cdot \alpha_i}{\lambda_1} - 2 \right) \right) \quad (5.13)$$

t_{wi}' : Opak bileşen iç yüzey sıcaklığının herhangi bir T +ΔT anındaki değeri (°C).

a_1 : Bileşenin iç yüzeyindeki malzemenin ısı yayılım katsayısı (m²/sn.).

λ_1 : Bileşenin iç yüzeyindeki malzemenin ısı iletkenliği (W/m°C).

b : Bileşenin iç yüzeyinin hacmin saydam bileşenlerinden geçen güneş ışıını yutuculuk katsayısı.

S_i : Hacimdeki tüm saydam bileşenlerden geçen güneş ışıını yutuculuğunun, ele alınan kabuk elemanın iç yüzeyini etkileyen yeglinliği (W/m²).

α_i : İç yüzey ısı iletim katsayısı (W/m² °C).

t_1 : İç hava sıcaklığı konfor değeri (°C).

t_2 : Bileşen içerisinde bileşen iç yüzeyinden (Δx) M kadar içerideki noktanın (T) anındaki sıcaklığı (°C).

t_{wi} : Opak bileşen iç yüzey sıcaklığının herhangi bir T anındaki değeri (°C).

İç kabuğu etkileyen güneş ışıını göz önüne alınarak iç kabuktaki saydam bileşenin iç yüzey sıcaklığı da aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanabilir [29].

$$t_{p2} = \frac{(U_p(t_{ep} - t_i) - (F_p \cdot I_R \cdot d_R + I_r \cdot d_r) + \alpha_i \cdot t_i)}{\alpha_i} \quad (5.14)$$

t_{p2} : Saydam bileşenin herhangi bir andaki iç yüzey sıcaklığı (°C).

d_R : Saydam bileşenin doğrudan ışıma karşı geçirgenliği.

d_r : Saydam bileşenin yaygın ışıma karşı geçirgenliği.

F_p : Saydam bileşenin engeller tarafından gölgelenmiş alanının tüm cam alanına oranı.

U_p : Saydam bileşenin toplam ısı geçirme katsayısı (W/m² °C).

Opak bileşenin iç yüzeyindeki ve içerisindeki sıcaklığın zamana bağlı değişimi hesaplanabildiği gibi, ısı geçişini doğrudan etkileyen hacim düzenindeki tüm değişkenlere bağlı olarak iç hava sıcaklığı da aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir [29].

$$t'_i = t_i + \frac{\Delta T}{m \cdot c_p} \cdot \left(\sum_1^n A_o \alpha_i (t_{oi} - t_i) + \sum_1^m A_p \cdot \alpha_i (t_{ci} - t_i) + b_h \cdot \sum_1^m (I \cdot A_p) + Q_{in} + Q_h \right) \quad (5.15)$$

t'_i : İç hava sıcaklığının herhangi bir T + ΔT anındaki değeri (°C).

t_i : İç hava sıcaklığının T anındaki değeri (°C).

m : Hacimdeki havanın kütlesi (kg).

Denklemden parantez içindeki terimler ΔT zaman aralığında havanın kazandığı veya yitirdiği ısı miktarlarını ifade etmektedir.

$\sum_1^n A_o \alpha_i (t_{oi} - t_i)$: Hacimdeki n adet opak bileşen yüzeyinden havaya veya havadan

bileşen yüzeyine ΔT zaman aralığında geçen toplam ısı miktarı (W).

$\sum_1^m A_p \cdot \alpha_i (t_{ci} - t_i)$: Hacimdeki m adet saydam bileşen yüzeyinden havaya veya

havadan bileşen yüzeyine ΔT zaman aralığında geçen ısı miktarı (W).

b_h : Havanın saydam bileşenlerden geçen güneş ışımasını yutuculuk katsayısı

$\sum_1^m (I \cdot A_p)$: m adet saydam bileşenden geçen güneş ışıınımi miktarlarının toplamı (W).

Q_{in} : Hacimdeki açıklıklardan hava değişimi ve hava sızıntısı ile ΔT zaman aralığında geçen ısı miktarı (W).

Q_h : Hacimdeki ısı kaynaklarından ΔT zaman aralığında kazanılan ısı (W).

İkinci aşamanın sonucunda elde edilen iç hava, kabuk iç yüzey sıcaklıkları ve ısı miktarlarına bağlı olarak çift kabuklu sistemin ısı kayıpları açısından ısı performansını değerlendirilebilir. Çift kabuklu sistemlerin tek kabuklu sistemler ile karşılaştırılması için, tek kabuklu cephenin de ısı performansının belirlenmesi gerekmektedir. Saydam ve opak bileşenden oluşan tek kabuklu cephenin ısı performansı, birinci aşamada anlatılan verilerin ışığında yöntemin üçüncü aşamasında öngörülen sonlu farklar hesaplama yöntemi kullanılarak belirlenebilir. Bu hesaplamalar sonunda elde edilen, kabuk iç yüzey sıcaklıkları, iç hava sıcaklığı ve ısı miktarları çift kabuklu cephe ile karşılaştırılabilir. Bu çalışmada önerilen yaklaşımın uygulanması İstanbul'da bir ofis binası için yapılmış ve uygulamada kullanılan varsayımlar bir sonraki bölümde açıklanmıştır.

6. YENİ YAKLAŞIMIN UYGULANMASINA İLİŞKİN ÖRNEK

Bu çalışmada geliştirilen yaklaşımın sonuçlarının irdelenebilmesi için, yaklaşımın bir örnek üzerinde uygulanması gerektiği düşünülmüştür. Bu nedenle beşinci bölümde çift kabuklu cephelerin ısı kayıplarının belirlenmesi için öngörülen hesaplama modeli İstanbul’da bir büro binasına uygulanmıştır.

6.1. Uygulama Çalışmasının Amacı

Bu uygulama çalışmasının amacı geliştirilen yaklaşımın örnek bir büro binası üzerinde uygulanarak bina cephesinin tek kabuklu veya çift kabuklu cepheli olması durumundaki ısı kayıplarını ortaya koymak ve karşılaştırmaktır. Uygulama çalışmasının sonuçlarıyla çift kabuklu cephelerin binaların enerji etkin tasarlanmasında veya yenilenmesinde en önemli seçeneklerden biri olduğunu vurgulanmıştır.

6.2. Uygulama Çalışmasında İzlenen Yol

Uygulama çalışmasında izlenen yol önerilen yaklaşımın adımlarına paralel olarak, üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada uygulama çalışmasının yapılacağı binanın özelliklerinin, hesaplamalarda kullanılacak dış, iç çevre iklimsel elemanların hesap değerlerinin ve bina kabuğunda ısı geçişini etkileyen fiziksel özelliklerin belirlenmesinden oluşmaktadır. İkinci aşama ise 5.2.1.2. bölümde anlatılan hesaplama yönteminin uygulanarak ara boşluk sıcaklıklarının hesaplandığı aşamadır. Üçüncü ve son aşamada ise, ikinci aşamada hesaplanan ara boşluk sıcaklıkları dış ortam sıcaklıkları olarak kabul edilerek 5.2.1.3. bölümde anlatılan hesaplama modeli ile çift kabuklu cephenin iç kabuğunun iç yüzey sıcaklıkları ve iç hava sıcaklıkları hesaplanmaktadır.

6.2.1. Birinci Aşama

Hesaplamaların yapılmasında gerekli olan binaya ve iklimsel çevreye ilişkin veriler aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

▪ Binaya İlişkin Özelliklerin belirlenmesi

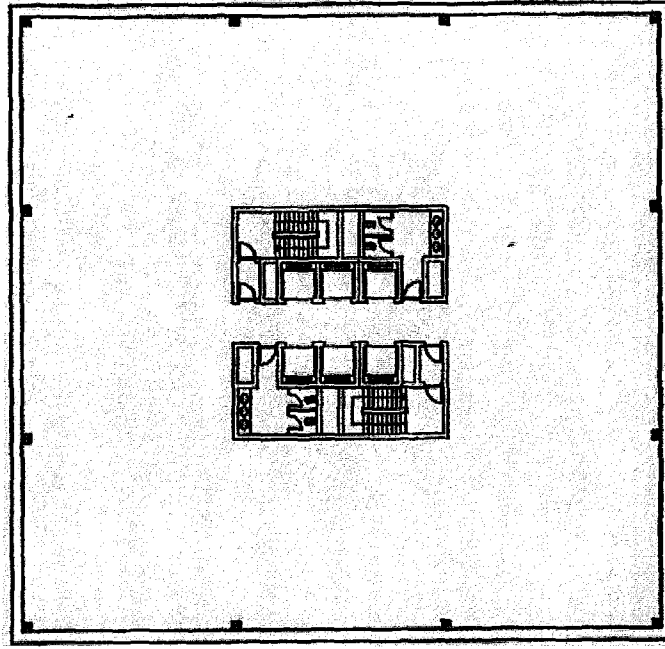
Uygulama çalışması her tür binaya uygulanabileceğinden hesaplamaların yapılabilmesi için uygulama yapılacak binanın kat planı, kesiti ve cephe çizimlerinin temin edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada geliştirilen yöntem, planı şekil 6.1’de verilen İstanbul’da uygulanmamış bir büro binasının tip kat planı üzerinde uygulanmıştır. Uygulama çalışmasının yapıldığı bina bodrum katları hariç 20 katlıdır. Ele alınan hacmin temiz tavan yüksekliği 3.2 metredir. Çift kabuklu cephe için kabuklar arasındaki mesafe ise 0.60m dir. Büro alanlarının toplamı 600m²’dir. Binanın genişliğinin derinliğine bölünmesi ile bulunan biçim faktörü 1’dir.

▪ Dış Çevre İklim Elemanlarının Hesap Değerlerinin Seçilmesi

Gerçekleştirilen yaklaşım her tür atmosfer koşulunda kullanılabilir olduğundan, dış çevre iklim elemanlarının hesap değerlerinin belirlenmesi için, öncelikle atmosfer koşullarının seçilmesi gerekir. Uygulama çalışması İstanbul’un en soğuk dönemini temsil eden Ocak ayının ortalama atmosfer koşullarına göre yapılmıştır. Günlük toplam güneş ışıınımı, saatlik dış hava sıcaklığı, günlük ortalama toprak sıcaklığının elde edilmesinde 1970-80 yılları arasında yapılan meteorolojik ölçümlerden yararlanılmıştır.

▪ İç Çevre İklim Elemanlarının Hesap Değerlerinin (İklimsel Konfor Koşullarının) Seçilmesi

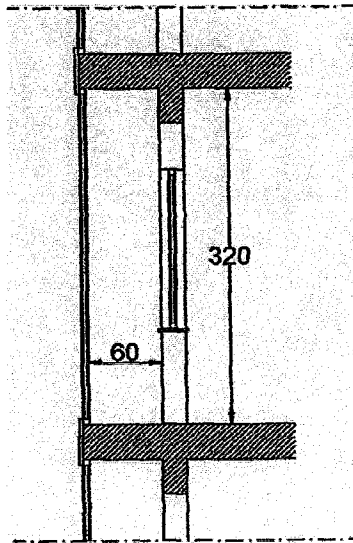
Hacimdeki iç hava konfor sıcaklığı değeri 19°C, iç havanın bağıl nemlilik değeri ise 0,50 olarak belirlenmiştir. İç hava sıcaklığı ile ortalama ışıınımsal sıcaklık arasında iklimsel konfor açısından izin verilebilir sınır fark değerinin $\pm 3^{\circ}\text{C}$ olduğu varsayılmıştır [31].



Şekil 6.1 Uygulama çalışmasındaki örnek büro binasının tip kat planı

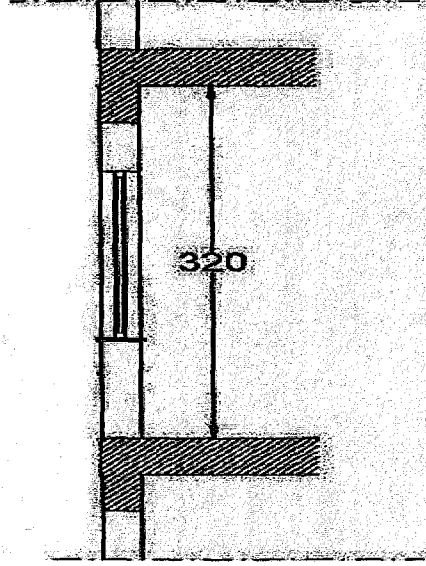
▪ Kabuktan Isı Geçişini Etkileyen Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi

Uygulama çalışması, planı belirlenen binanın tek kabuklu veya çift kabuklu cepheye sahip olması durumuna göre yapılmıştır. Binanın çift kabuklu cephesinin kesiti ise aşağıdaki gibidir (Şekil 6.2.). Binada kesintili tip, ara boşluğu doğal yolla havalandırılan çift kabuklu cephe olduğu düşünülmüştür.



Şekil 6.2. Çift kabuklu cephenin kesiti

Binanın tek kabuklu cepheye sahip olması durumunu gösteren şematik kesit ise aşağıdaki gibidir (Şekil 6.3.)



Şekil 6.3. Tek kabuklu cephenin kesiti

Çift kabuklu cephe için iç kabuğun saydamlık oranı 0,55, dış kabuğun ise 0,75 olarak kabul edilmiştir. Tek kabuklu cephenin saydamlık oranı ise 0,55 olarak kabul edilmiştir.

- Uygulama çalışması ısıtma sisteminin iki farklı çalışma şekline göre yapılmıştır. Isıtma sisteminin çalışma şekilleri aşağıdaki gibidir.

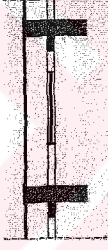
Kesintili çalışma şekli : İç hava sıcaklığı saat 07:00-21:00 arasında 19°C (İşletme şekli 1)

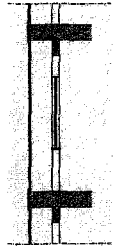
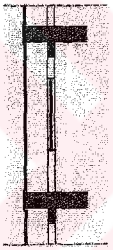
Kesintisiz çalışma şekli : İç hava sıcaklığı sürekli 19°C (İşletme şekli 2)

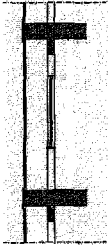
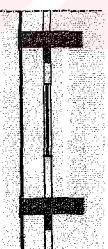
- Ele alınan hacimdeki saydam bileşenler 4mm kalınlığında çift camlı berrak pencere camı ve metal doğramalardan oluşmaktadır. Saydam bileşenlerin ısı geçirme katsayısı aşağıdaki gibidir.
- Çift kabuk için,
Dış kabuk 1,8 W/m²°C (argon dolgulu) (6+9+6)
İç kabuk 2,4 W/m²°C (hava dolgulu) (6+9+6)
- Tek kabuk için,
2,4 W/m²°C (hava dolgulu) (6+9+6)

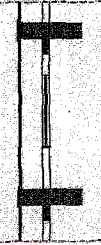
- Ele alınan hacimdeki kabuğun çift kabuklu veya tek kabuklu olması durumundaki katmanlaşma alternatifleri ve numaraları aşağıda verilmiştir.

Tablo 6.1 Bina kabuğu katmanlaşma alternatifleri

Alternatif No	Tek kabuk/Çift kabuk	Opak Bileşen Katmanları	Saydam Bileşen	Isıtma Sistemi Çalışma Şekli
A		1-Çimento harçlı sıva(3cm) 2-Düşey delikli tuğla(13cm) 3-Çimento harçlı sıva(2cm)	Çift camlı metal doğrama(2,4 W/m ² °C) hava dolgulu 6+9+6	kesintili çalışma şekli İşletme Şekli 1
A1		İç kabuk 1-Çimento harçlı sıva(3cm) 2-Düşey delikli tuğla(13cm) 3-Çimento harçlı sıva(2cm)	Dışta Çift camlı metal doğrama(1,8 W/m ² °C argon dolgulu) 6+9+6 İçte Çift camlı metal doğrama(2,4 W/m ² °C) hava dolgulu 6+9+6	kesintili çalışma şekli İşletme Şekli 1
B		1-Çimento harçlı sıva(3cm) 2-Düşey delikli tuğla(13cm) 3-Çimento harçlı sıva(2cm)	Çift camlı metal doğrama(2,4 W/m ² °C) hava dolgulu 6+9+6	kesintisiz çalışma şekli İşletme Şekli 2

B1		İç kabuk 1-Çimento harçlı sıva(3cm) 2-Düşey delikli tuğla(13cm) 3-Çimento harçlı sıva(2cm)	Dışta Çift camlı metal doğrama(1,8 W/m ² °C argon dolgulu) 6+9+6 İçte Çift camlı metal doğrama(2,4 W/m ² °C) hava dolgulu 6+9+6	kesintisiz çalışma şekli İşletme Şekli 2
C		1-Çimento harçlı sıva(3cm) 2-Düşey delikli tuğla(13cm) 3-Polistren köpük (3cm) 4- Çimento harçlı sıva(2cm)	Çift camlı metal doğrama(2,4 W/m ² °C) hava dolgulu 6+9+6	kesintili çalışma şekli İşletme Şekli 1
C1		İç kabuk 1-Çimento harçlı sıva(3cm) 2-Düşey delikli tuğla(13cm) 3-Polistren köpük (3cm) 4- Çimento harçlı sıva(2cm)	Dışta Çift camlı metal doğrama(1,8 W/m ² °C argon dolgulu) 6+9+6 İçte Çift camlı metal doğrama(2,4 W/m ² °C) hava dolgulu 6+9+6	kesintili çalışma şekli İşletme Şekli 1
D		1-Çimento harçlı sıva(3cm) 2-Düşey delikli tuğla(13cm) 3-Polistren köpük (3cm) 4- Çimento harçlı sıva(2cm)	Çift camlı metal doğrama(2,4 W/m ² °C) hava dolgulu 6+9+6	kesintisiz çalışma şekli İşletme Şekli 2

Alternatif No	Tek kabuk/Çift kabuk	Opak Bileşen Katmanları	Saydam Bileşen	Isıtma Sistemi Çalışma Şekli
D1		İç kabuk 1-Çimento harçlı sıva(3cm) 2-Düşey delikli tuğla(13cm) 3-Polistren köpük (3cm) 4- Çimento harçlı sıva(2cm)	Dışta Çift camlı metal doğrama(1,8 W/m ² °C argon dolgulu) 6+9+6 İçte Çift camlı metal doğrama(2,4 W/m ² °C) hava dolgulu 6+9+6	kesintisiz çalışma şekli İşletme Şekli 2
E		İç kabuk 1-Çimento harçlı sıva(3cm) 2- Polistren köpük (3cm) 3- Düşey delikli tuğla(13cm) 4- Çimento harçlı sıva(2cm)	Dışta Çift camlı metal doğrama(1,8 W/m ² °C argon dolgulu) 6+9+6 İçte Çift camlı metal doğrama(2,4 W/m ² °C) hava dolgulu 6+9+6	kesintili çalışma şekli İşletme Şekli 1
E1		İç kabuk 1-Çimento harçlı sıva(3cm) 2- Polistren köpük (3cm) 3- Düşey delikli tuğla(13cm) 4- Çimento harçlı sıva(2cm)	Dışta Çift camlı metal doğrama(1,8 W/m ² °C argon dolgulu) 6+9+6 İçte Çift camlı metal doğrama(2,4 W/m ² °C) hava dolgulu 6+9+6	kesintili çalışma şekli İşletme Şekli 1

F		İç kabuk 1-Çimento harçlı sıva(3cm) 2- Polistren köpük (3cm) 3- Düşey delikli tuğla(13cm) 4- Çimento harçlı sıva(2cm)	Dışta Çift camlı metal doğrama(1,8 W/m ² °C argon dolgulu) 6+9+6 İçte Çift camlı metal doğrama(2,4 W/m ² °C) hava dolgulu 6+9+6	kesintisiz çalışma şekli İşletme Şekli 2
F1		İç kabuk 1-Çimento harçlı sıva(3cm) 2- Polistren köpük (3cm) 3- Düşey delikli tuğla(13cm) 4- Çimento harçlı sıva(2cm)	Dışta Çift camlı metal doğrama(1,8 W/m ² °C argon dolgulu) 6+9+6 İçte Çift camlı metal doğrama(2,4 W/m ² °C) hava dolgulu 6+9+6	kesintisiz çalışma şekli İşletme Şekli 2

- Çift kabuklu cephe için dış yüzeysel ısı geçirme katsayısı 2.0 m/sn'lik ortalama bir rüzgar hızına göre 23,26 W/m²°C olarak kabul edilmiştir. İç yüzeysel ısı iletim katsayısının ise bu tür hesaplamalar için 8 W/m²°C alındığı bilinmektedir. Kabuklar arasındaki boşluğun dış ortam hava dolaşımına kapalı olduğu kabul edilmiştir. Kabuklar arasındaki boşluğa bakan yüzeylerin ısı geçirme katsayısı 4.1 ve 4.2 numaralı denklemler yardımı ile 12 W/m²°C olarak hesaplanmıştır.
- Tek kabuklu cephe için dış yüzeysel ısı geçirme katsayısı 2.0 m/sn'lik ortalama bir rüzgar hızına göre 23,26 W/m²°C olarak kabul edilmiştir. İç yüzeysel ısı geçirme katsayısının ise bu tür hesaplamalar için 8 W/m²°C alındığı bilinmektedir.

6.2.2. İkinci Aşama

Bu aşamada, bir önceki aşamada toplanan veriler ışığında 5.2.1.2. bölümde öngörülen yöntem ile ara boşluk sıcaklığı için hesaplamalar yapılmıştır.

6.2.3. Üçüncü Aşama

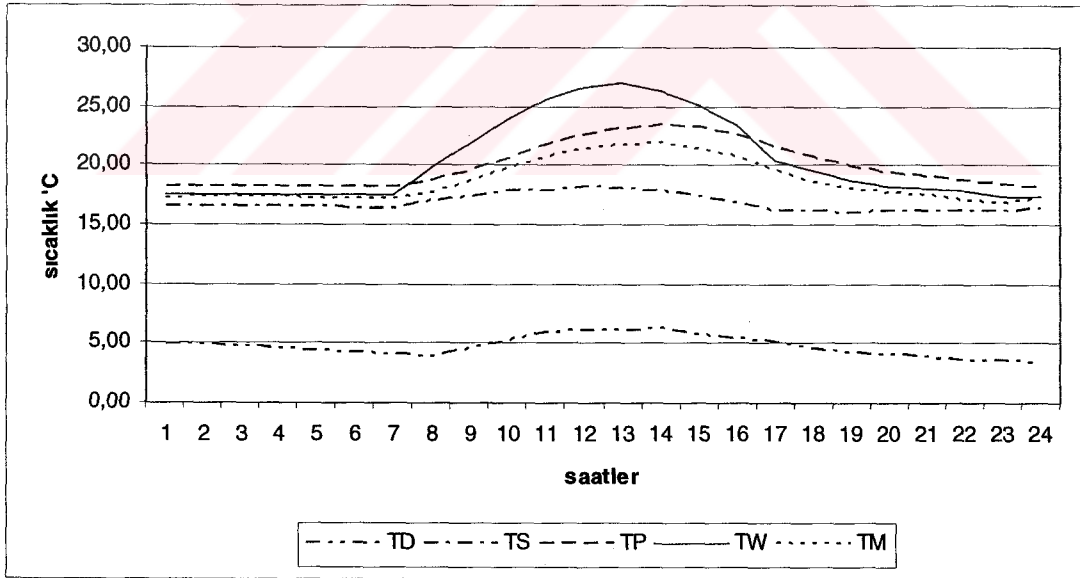
Bu aşamada ise ikinci aşamada hesaplanan ara boşluk sıcaklıkları dış ortam sıcaklığı olarak kabul edilerek, 5.2.1.3. bölümde öngörülen yöntem ile iç kabuktaki opak bileşenden zamana bağlı rejimde geçen ısı miktarı, iç kabuktaki saydam ve opak bileşenlerin iç yüzey sıcaklıkları ve hacmin iç hava sıcaklığı hesaplanmıştır. Yaklaşımın uygulanma çalışmasının sonuçları 'bulgular' bölümünde özetlenmiştir.



7. BULGULAR

Tezde geliştirilen yaklaşımın örnek bina üzerinde uygulanması ile elde edilen bulgular aşağıdaki gibi özetlenebilir.

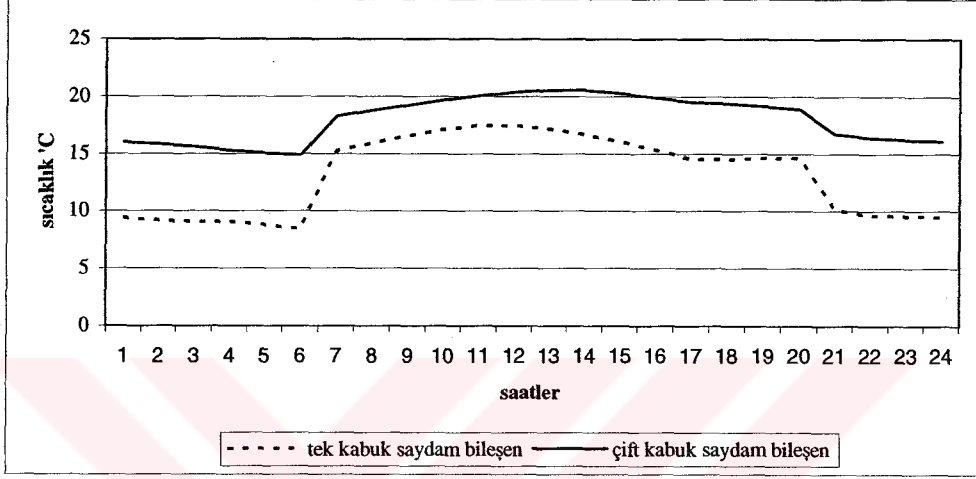
- Hesaplanan ara boşluk sıcaklıkları ortalama olarak dış ortam hava sıcaklığının 4 katı kadardır. Ara boşluk sıcaklıklarının günlük değişimini gösteren grafikler EK A 'da verilmiştir. Ara boşluk sıcaklığının yüksek olması çift kabuklu cephenin ısı kayıplarını olumlu yönde etkilemektedir. Çift kabuklu cephelerde ara boşluk sıcaklıklarının en yüksek değerleri D1 alternatifinde elde edilmiştir (Şekil 7.1.). Isıtma sisteminin kesintili ya da kesintisiz çalışmasının ara boşluk sıcaklığı üzerinde önemli bir etkisi olmadığı gözlenmiştir (Şekil A.1,A.3).



Şekil 7.1. D1 alternatifi Güney yönü yalıtımlı tuğla duvar kesintisiz çalışma şeklinde ara boşluk ve bileşenlerin yüzey sıcaklıkları (°C)

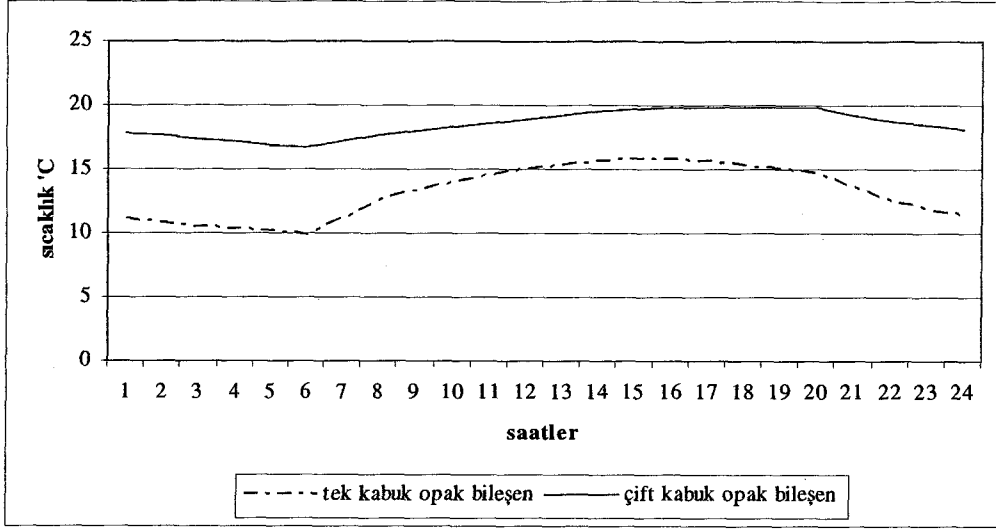
TD: Dış hava sic. TS:Dış kabuk iç yüz. sic. TP:İç kabuktaki saydam bil. dış yüz. sic. TW:İç kabuktaki opak bil. dış yüz. sic. TM: Araboşluk sic.

- Çift kabuklu cephelerin iç kabuğundaki saydam bileşenin iç yüzey sıcaklığı sadece ısıtma sisteminin devre dışı olduğu günün ¼'lük kısmında yüzey sıcaklıkları için konfor değeri olarak kabul edilen 16°C'nin altındadır (Şekil 7.2). Günün geri kalan kısmında konfor seviyesinde ve üzerindedir. Tek kabuklu cephelerde ise sadece ısıtma sisteminin devrede olduğu süreç içerisinde saydam bileşen yüzey sıcaklığının konfor seviyesinde olduğu görülmektedir.



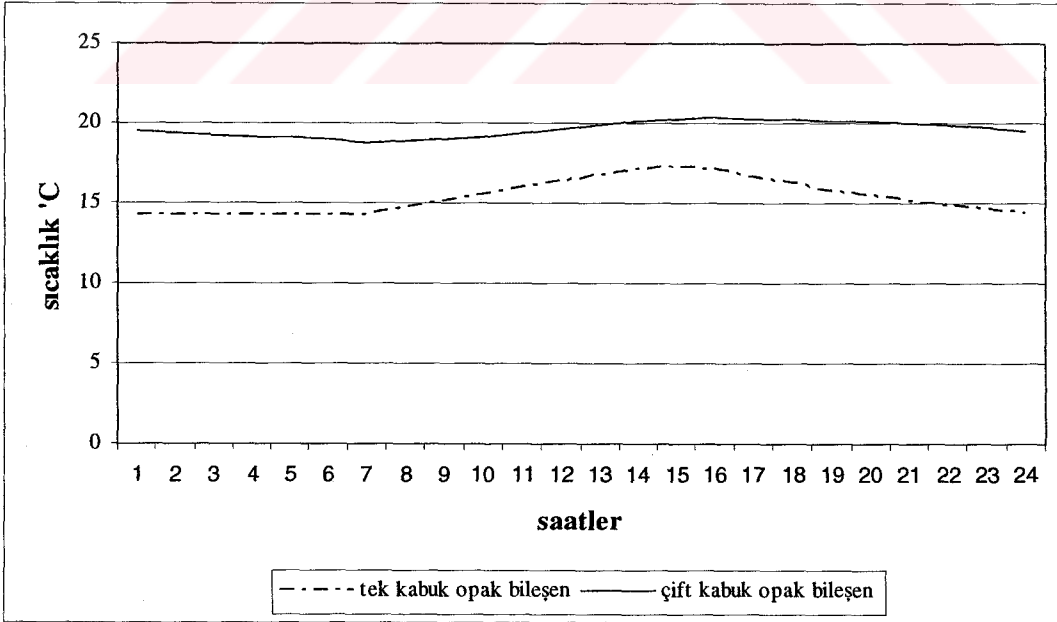
Şekil 7.2. A alternatifi için güney yönü tek ve çift kabuklu cephe saydam bileşen (iç kabuktaki saydam bileşen) iç yüzey sıcaklığı değişimi

- Saydam bileşende olduğu gibi opak bileşenin yüzey sıcaklığında da durum benzerdir. Çift kabuklu cephenin iç kabuğunda bulunan opak bileşenin iç yüzey sıcaklığının gün boyunca konfor değeri olan 16 °C'nin oldukça üzerinde olduğu görülmektedir (Şekil 7.3). Tek kabuklu cephede ise günün sadece küçük bir bölümünde opak bileşenin iç yüzey sıcaklığı konfor değerine ulaştığı, günün geri kalan kısmında ise konfor seviyesinin oldukça altında olduğu görülmektedir. Tek kabuklu cephede opak bileşenin iç yüzey sıcaklığı C ve D alternatiflerinde en iyi performansı göstermektedir.



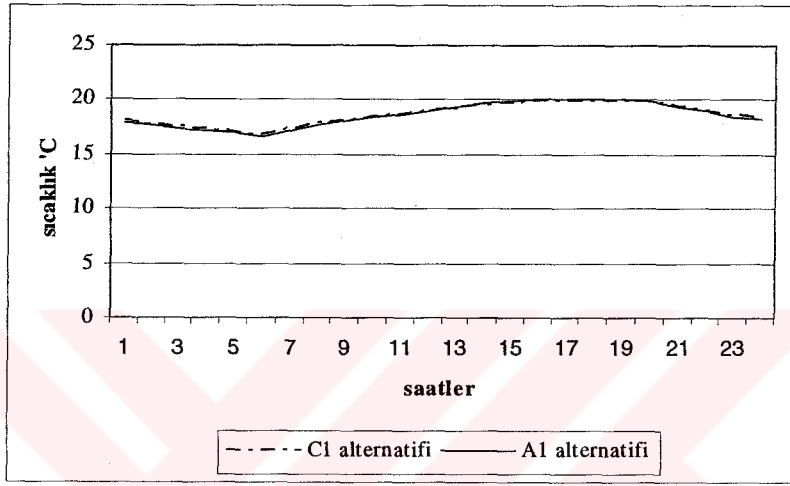
Şekil 7.3. AveA1 alternatifi güney yönü tek kabuklu ve çift kabuklu cephe opak bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi

- Tek ve çift kabuklu cephelerdeki opak bileşenlerin yüzey sıcaklıklarının ısıtma sisteminin kesintisiz çalıştırıldığı alternatiflerde daha kararlı bir davranış izlediği görülmüştür (Şekil 7.4.).



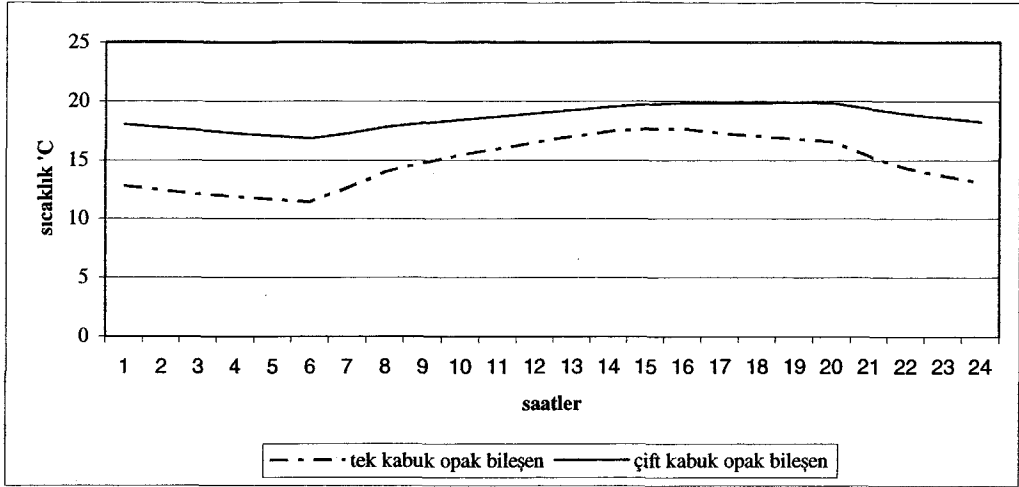
Şekil 7.4. B&B1 alternatifi güney yönü tek kabuk ve çift kabuk opak bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi

- Çift kabuklu cephelerin iç kabuğundaki opak bileşende yalıtım tabakasının kullanıldığı ve kullanılmadığı alternatiflerin iç yüzey sıcaklıkları arasında önemli bir fark görülmemiştir (Şekil 7.5.). Yalıtım tabakası kullanılmayan alternatifte de yüzey sıcaklıkları konfor seviyesinin altına düşmediğinden, çift kabuklu cephelerin iç kabuğundaki opak bileşende yalıtım tabakasının kullanılmasının gereksiz olduğu ortaya çıkmaktadır.



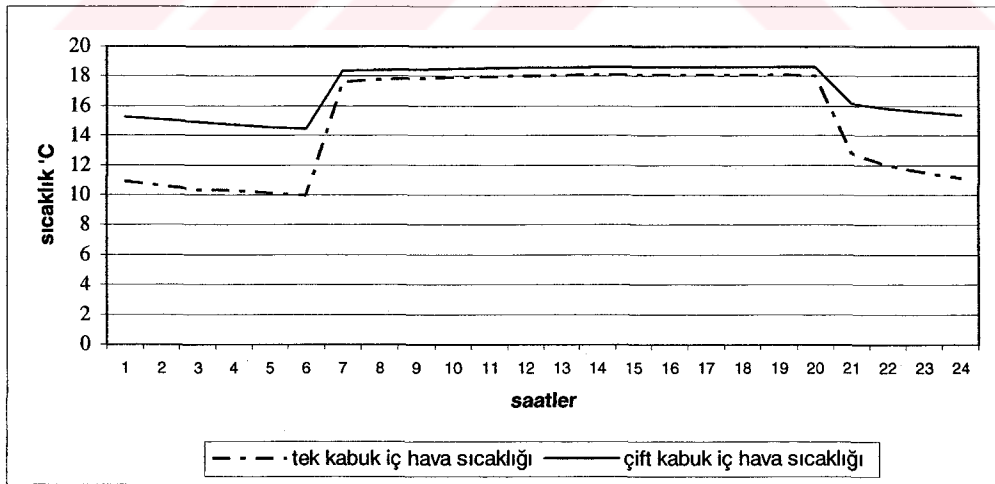
Şekil 7.5. Güney yönü çift kabuklu cephede C1 ve A1 alternatifleri için iç kabuktaki opak bileşen iç yüzey sıcaklığı değişimi

- Şekil 7.6'da görüldüğü gibi ısı yalıtım tabakası ile iyileştirilmiş tek kabuklu cephe ile iç kabuğunda ısı yalıtım tabakası olmayan çift kabuklu cephenin opak bileşenlerinin iç yüzey sıcaklıkları arasında önemli ölçüde bir fark vardır. Bu nedenle yapı kabuğu enerji etkin yenilenecek büro binalarında mevcut yapı kabuğuna ısı yalıtım tabakası eklemek yerine, mevcut yapı kabuğuna ikinci bir cam kabuk eklenmesinin ısıtma enerjisi tasarrufu açısından daha avantajlı olacağı görülmektedir.
- Şekil 7.7'de uygulama çalışması yapılan binanın iç hava sıcaklığı değişimi görülmektedir. Isıtma sisteminin devreye girdiği ve devre dışı kaldığı zaman aralıklarında tek kabuklu cepheye sahip hacmin iç hava sıcaklığının hızlı bir düşüş eğiliminde olduğu görülmektedir.



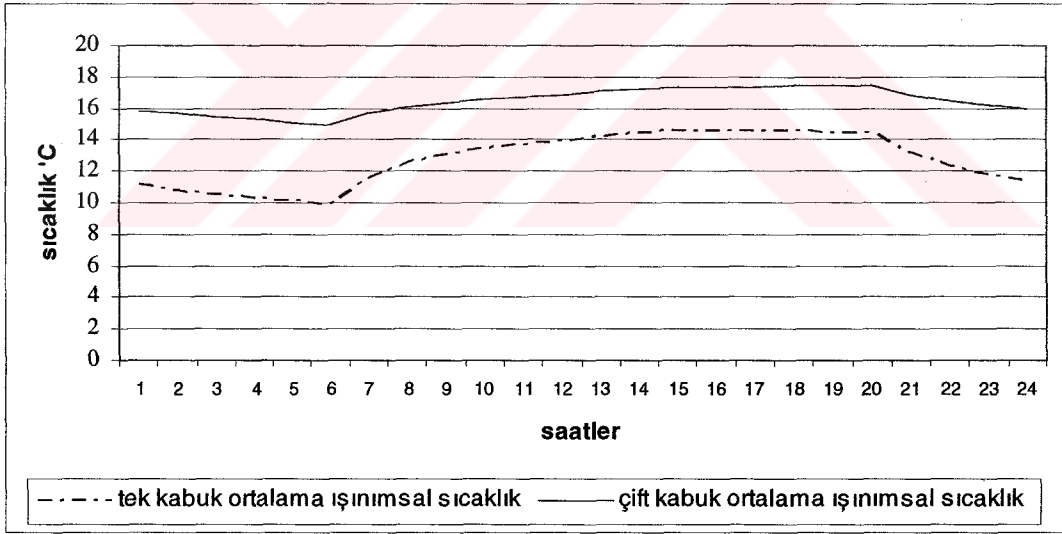
Şekil 7.6. Güney yönü çift kabuklu cephe A1 alternatifi ve tek kabuklu cephe C alternatifi opak bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi

Çift kabuklu cepheye sahip hacimde ise, çift kabuklu cephenin sağladığı yalıtım avantajından dolayı hacmin iç hava sıcaklığının gösterdiği düşüş sınırlı kalmaktadır. Isıtma sisteminin kesintisiz çalıştırıldığı alternatiflerde ise tek kabuklu ve çift kabuklu cepheye sahip hacimlerin iç hava sıcaklıklarının arasında önemli bir fark olmadığı görülmektedir.



Şekil 7.7. A alternatifi güney yönü tek kabuk ve çift kabuklu cepheye sahip hacmin iç hava sıcaklığı değişimi

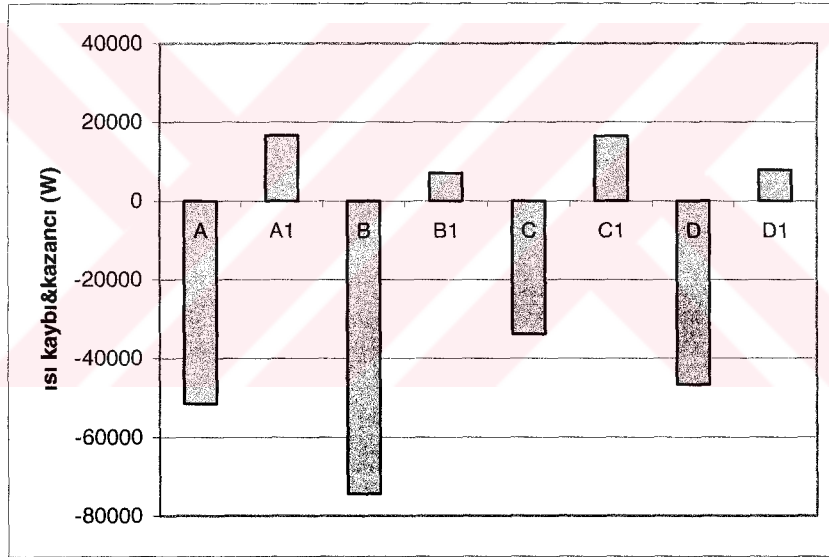
- Uygulama çalışmasından elde edilen sonuçlar hacmin ortalama ışımsal sıcaklıkları açısından irdelendiğinde, çift kabuklu cepheye sahip hacmin tek kabuklu cepheye sahip hacme göre daha konforlu olduğunu görülmüştür. Ortalama ışımsal sıcaklık değişim grafikleri EK A'da verilmiştir. Tek kabuklu cepheye sahip hacmin ortalama ışımsal sıcaklığın sadece D alternatifinde konfor değeri olarak kabul edilen 16°C' ye ulaştığı görülmektedir(Şekil 7.8.). Tek kabuklu cepheye sahip hacmin diğer alternatiflerde ortalama ışımsal sıcaklık açısından konfor değerine ulaşamadığı görülmektedir. Öte yandan çift kabuklu cepheye sahip hacimde ise, ısıtma sisteminin devre dışı olduğu saatlerin kısa bir bölümünde konfor değerinin altında olduğu ve günün geri kalanında ise konfor değerinde ve üzerinde olduğu görülmektedir. Isıtma sisteminin kesintisiz çalıştırıldığı alternatiflerde çift kabuklu cepheye sahip hacmin ortalama ışımsal sıcaklığının konfor değerinin çok üzerinde kararlı bir davranış izlediği görülmektedir. Bu nedenle, çift kabuklu cepheye sahip hacmin tek kabuklu cepheye sahip hacme göre ısısal açıdan daha konforlu olduğunu söylemek mümkündür.



Şekil 7.8. Güney yönü A&A1 alternatifi tek kabuk ve çift kabuk ortalama ışımsal sıcaklık değişimi

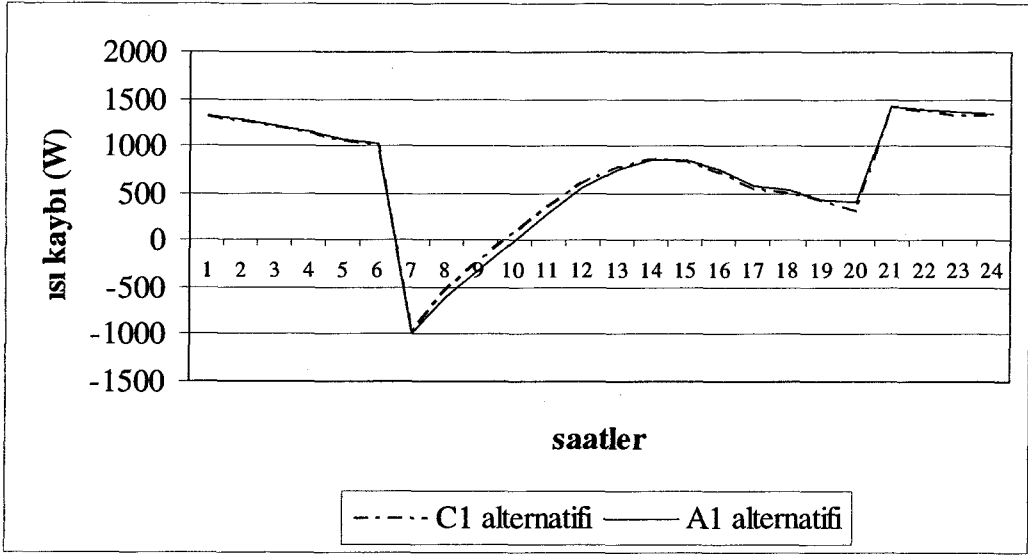
- Uygulama sonuçları ısı kayıpları açısından incelendiğinde çift kabuklu cephelerin tek kabuklu cepheye göre belirgin avantajı görülmektedir (Şekil 7.9). Alternatiflere göre ısı kayıp ve kazançlarının günlük değişimini

gösteren grafikler EK A da verilmiştir. Şekil 7.9'da tek kabuklu ve çift kabuklu cephelerin A,A1,B,B1,C,C1,D ve D1 alternatiflerine göre günlük toplam ısı kaybı miktarları verilmektedir. Çift kabuklu cephelerin ısı kaybı üzerindeki olumlu etkisi bu şekilde görülmektedir. Tek ve çift kabuklu cephelerin ısı kayıpları arasında belirgin bir fark mevcuttur. Yalıtım tabakasına sahip tek kabuklu cepheyi temsil eden C alternatifi ile yalıtım tabakasız çift kabuklu cephe olan A1 alternatiflerinin ısı kayıpları karşılaştırıldığında çift kabuklu cephenin daha iyi bir performans gösterdiği görülmektedir. Bu bağlamda tek kabuklu cepheye ikinci bir cam kabuk eklenmesi ile çift kabuklu cephe elde etmek, mevcut yapı kabuğuna yalıtım tabakası eklemek ile yapılan iyileştirmeden ısıtma enerjisi tasarrufu açısından çok daha olumlu sonuçlar vermektedir.



Şekil 7.9. Güney yönü tek kabuklu ve çift kabuklu alternatiflerin günlük toplam ısı kaybı

- Çift kabuklu cephelerin iç kabuğunda ısı yalıtım tabakası kullanılmasının ısı kayıpları üzerinde çok büyük bir etkisi olmadığı görülmüştür (Şekil 7.10.). Ara boşluktaki ısınan havanın yalıtım tabakası görevi yapması nedeniyle ısı kayıpları önemli ölçüde azalmaktadır. Bu nedenle çift kabuklu cephelerin iç kabuğundaki opak bileşende yalıtım tabakası kullanılmasının gereksiz olduğu kanısına varılmıştır.



Şekil 7.10 Güney yönü A1 ve C1 alternatifleri günlük ısı kaybı&kazancı değişimi

8. SONUÇLAR

Çift kabuklu cephelerin enerji etkinliğinin ortaya konması için geliştirilen yaklaşım ve uygulama çalışmasının bulgularından çıkarılan sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Çift kabuklu cephelerin ısı kayıpları ortalama olarak tek kabuklu cephelere göre 2 kat daha azdır.
- Yapılan örnek uygulamada, çift kabuklu cepheyi oluşturan saydam ve opak bileşenlerin yüzey sıcaklıkları 19°C'lik iç hava sıcaklığında konfor seviyesi olarak belirlenen 16°C'nin üzerinde olduğundan, tek kabuklu cephelerin aksine, bu yüzeylere yakın bölgeleri kullanan kullanıcılar için de konfor koşulları sağlanmaktadır.
- Mevcut yapı kabuğuna yalıtım tabakası eklenerek yapılan iyileştirmeye nazaran mevcut kabuğa ikinci bir cam kabuk eklenerek çift kabuklu cephe elde edilmesinin ısıtma enerjisi tasarrufu ve konfor koşulları açısından daha iyi bir çözüm olduğu ortaya konmuştur. Ancak sözü edilen bu sonucun ekonomik etkinliği araştırılmamıştır. Çift kabuklu cephenin yapıya ısıtma enerjisi tasarrufu açısından getirdiği avantaj göz önüne alınarak ekonomik etkinliği ayrıca araştırılmalıdır.
- Bu çalışmada geliştirilen yöntem yeni inşa edilecek çift kabuklu cepheye sahip büro binalarının ısı kayıplarının belirlenmesine yönelik olmasının yanı sıra büro binalarının enerji etkin kabuk yenilenmesinde performans değerlendirmesi amacıyla da kullanılabilir. Ancak bu kabuğun yaz koşullarında soğutma yükleri açısından değerlendirilmesi yapıp, yaz koşullarında ara boşluğun havalandırma ve güneş kontrolü detayları geliştirilmek zorundadır.

- Uygulama sonuçlarından görüldüğü gibi enerji etkin kabuk yenilenmesi ya da enerji etkin kabuk tasarımı için çift kabuklu cepheler önemli bir alternatiftir.
- İç kabuğu saydam ve opak bileşenden oluşan çift kabuklu cephelerde, opak bileşenin ısı depolama kapasitesi özelliğinden dolayı opak bileşenden ısı geçişi mutlaka bu çalışmada olduğu gibi zamana bağlı rejimde incelenmelidir. Dolayısıyla bu çalışmada önerilen yöntem çift kabuklu cephelerde ısı performans değerlendirme konusunda yeni bir yaklaşım sunmaktadır.
- Uygulama çalışmasında yapılan farklı kabullerin uygulama bulgularına farklı şekillerde etkileyeceği ve farklı sonuçlar türeteceği açıktır. Bu nedenle çalışmaların her bina tipine ve buna bağlı olarak istenen konfor şartlarına göre yeniden yapılıp sonuçların bu kriterlere göre değerlendirilmesi gerekmektedir.
- Çift kabuklu cephelerde ara boşluğun yalıtım tabakası gibi işlev görmesi nedeniyle, çift kabuklu cephenin çevrelediği hacmin dış ortamdaki ısısal değişikliklere geç tepki vermesi hacmin daha fazla süre konfor seviyesinde kalmasını sağlamaktadır.
- Uygulama çalışmasından elde edilen bulgular ışığında çift kabuklu cepheye sahip büro binalarında ısısal konfor seviyesi ısıtma sisteminin kesintili çalıştırıldığı durumlarda da sağlandığından ısıtma sisteminin kesintisiz çalıştırılması gereksizdir.
- Çift kabuklu cephelerin maliyetinin yüksek oluşuna karşın, ısıtma enerjisi tasarrufu açısından getirdiği avantaj, tükenen fosil yakıtları ve bu yakıtların neden olduğu çevre kirliliği göz önüne alındığında bu tür uygulamaların bir gereklilik olduğu ortaya konmuştur. Ancak daha önce de değinildiği gibi, bu tür uygulamalardan önce daha tasarım aşamasında binanın hem ısıtma hem soğutma yükleri açısından analizi yapılmalı ve nihai karar yaşam dönemi maliyetleri belirlendikten sonra verilmelidir. Bu karar aşamasında dünyadaki fosil yakıt kaynaklarının tükenmekte olduğu ve bu kaynakların tüketiminin

Çevreye verdiği zararları göz önüne alan fayda maliyet analizleri de yapılmalıdır.

- Ülkemizin enerji ithalatı gün geçtikçe artmakta ve fosil yakıtlarının neden olduğu evre kirliliği insan sağlığını tehdit eder boyuta ulaşmıştır. Bu nedenlerden dolayı ülkemizde uygulaması henüz yapılmamış olan çift kabuklu cephe sistemi gibi ısıtma enerjisi tasarrufu sağlayan sistemlerin, ülkemizde yapılan enerji etkin kabuk tasarımlarında veya yenilenmelerinde de uygulanmalıdır.



KAYNAKLAR

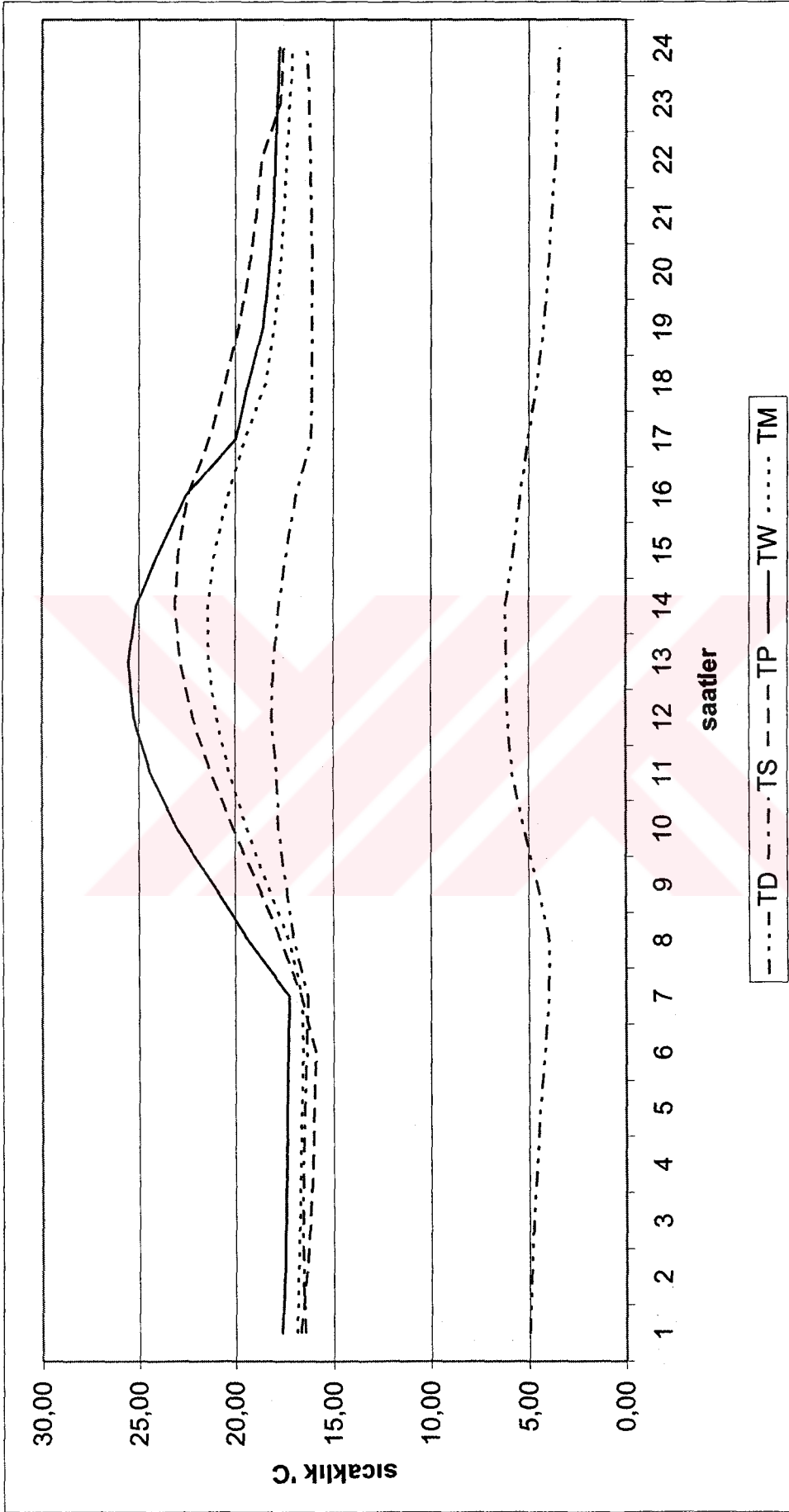
- [1] Anonim, 1976. Ana Britannica Ansiklopedisi
- [2] Wigginton, M., Haris, J., 2002. Intelligent Skins, Butterworth- Heinemann.
- [3] Anonim., 1999. 1999 Enerji Raporu. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komite, Ankara, Türkiye
- [4] Ayaz, E., 2002. Yapılarda Sürdürülebilirlik Kriterlerinin Uygulanabilirliği, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul.
- [5] Akkaya, A., 1996. Ekonomik Yapılabilirlik Çalışmaları Kapsamında Düşük Enerji Mimarlığı Yaklaşımının Maliyete Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul.
- [6] Çetiner, İ., 2002. Çift Kabuklu Cam Cephelerin Enerji ve Ekonomik Etkinliğinin Değerlendirilmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul.
- [7] Özler, M. E., 2003. Akıllı Binalarda Enerji Etkin Tasarım Parametreleri, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul.
- [8] Twinn, C., 1997. Sustainable Architecture and the Low-Energy Urban Office, European Directory of Sustainable and Energy Efficient Building, JamesJames Ltd.
- [9] Isısan çalışmaları, 1999. No:238, Mimarın Tesisat El Kitabı
- [10] Zeren, L., Berköz, E., Küçükdoğu, M., Ok, V., Yılmaz, Z., 1987. Türkiye’de Yeni Yerleşmeler ve Binalarda Enerji Tasarrufu Amacıyla Bir Mevzuat Modeli’ne İlişkin Çalışma. Araştırma Raporu. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [11] Dağsöz, Alpin K., 1999. Türkiye’de Yapıların Yalıtımı ve Yalıtım Sanayinin Durumu, Lebib Yalkın Yayınları ve Basım İşleri, İstanbul.
- [12] ---, 2002. www.buildingenvelopes.org/doubleskins
- [13] ---, 2002. www.buildingenvelopes.org/doubleskins/history
- [14] ---, 2002. www.buildingenvelopes.org/doubleskins/doubleskins
- [15] Harrison, A., Loe, E. And Read, J., 1998. Intelligent Buildings in South East Asia, E&FN SPON.

- [16] Lieb, R. D. And Oesterle, E., 1998. Das Dusseldorfer Stadttor – Exercising an Integrated Approach to Double Facade Planning, *A Proceeding at International Conference on Building Envelope Systems and Technology*, Ekim 1998, CWCT, University of Bath, UK.
- [17] Çimen B., 2001. Bir Büro Binası. *Yapı Dergisi* No:234, İstanbul.
- [18] Anonim, 2001. Nefes Alan Merkez. *Domus Dergisi* No:10, İstanbul
- [19] Anonim, 2001. Arag Binası. *Yapı Dergisi* No:239, İstanbul.
- [20] ---, 2002. www.fosterandpartners.com/projects/arag
- [21] Göksal T., 2000. Enerji Etkin Tasarım. *Arredemento Mimarlık Dergisi* No:2000/05, İstanbul
- [22] Wigginton, M., 2000. *Glass in Architecture*, Phaidon, New York
- [23] Anonim, 2000. Commerzbank. *Tasarım Dergisi* No:107, İstanbul.
- [24] ---, 2002. www.fosterandpartners.com/project/commerzbank
- [25] ---, 2002. www.web.utk.edu/~archinfo/a489_f02/PDF/commerzbank.pdf
- [26] Todorovic, B., Cvjetkovic, T., 2000. Binalarda Çift Kabuk: Isıtma ve Soğutma İçin Enerji Gereksinimi, *IV. Uluslar arası Yapıda Tesisat Bilim ve Teknolojisi Sempozyumu*, İstanbul, 17-19Nisan, s.23-33
- [27] Todorovic, B., Cvjetkovic, T., 2000. Double Facade Buildings Heat Losses and Cooling Loads Calculation Based on Inter-Space Temperature
- [28] Zeren, L. Ve diğerleri, 1980. New Bioclimatic Chart for Environmental Design, *Proc. Of International Congress on Building Energy Management*, Portekiz, Mayıs 1980.
- [29] Yılmaz, Z., 1983. İklimsel Konfor Sağlanması ve Yoğuşma Kontrolunda Optimum Performans Gösteren Yapı Kabuğunun Hacim Konumuna ve Boyutlarına Bağlı Olarak Belirlenmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul.
- [30] Hollman, J.,P., 1976. *Heat Transfer*, McGraw Hill Book Co., New York.
- [31] Givoni, B., 1969. *Man, Climate and Architecture*, Elsevier Co., London.
- [32] Van Dijk, D. And Goulding, J., 1996. WIS (Advanced Windows Information System) Reference Manual, TNO Building and Construction Research, Neterlands.

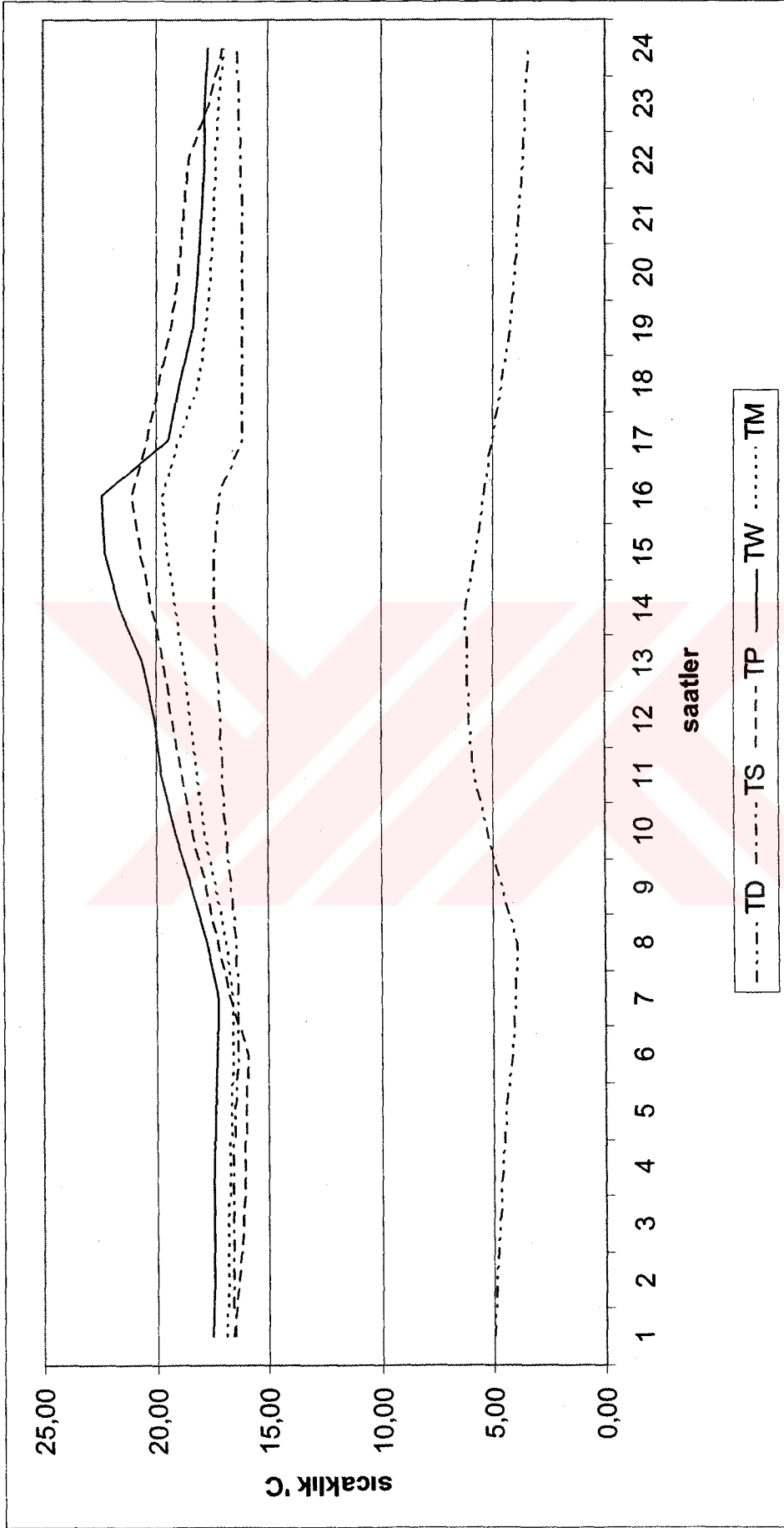
EK

UYGULAMA SONUÇLARINA İLİŞKİN GRAFİKLER

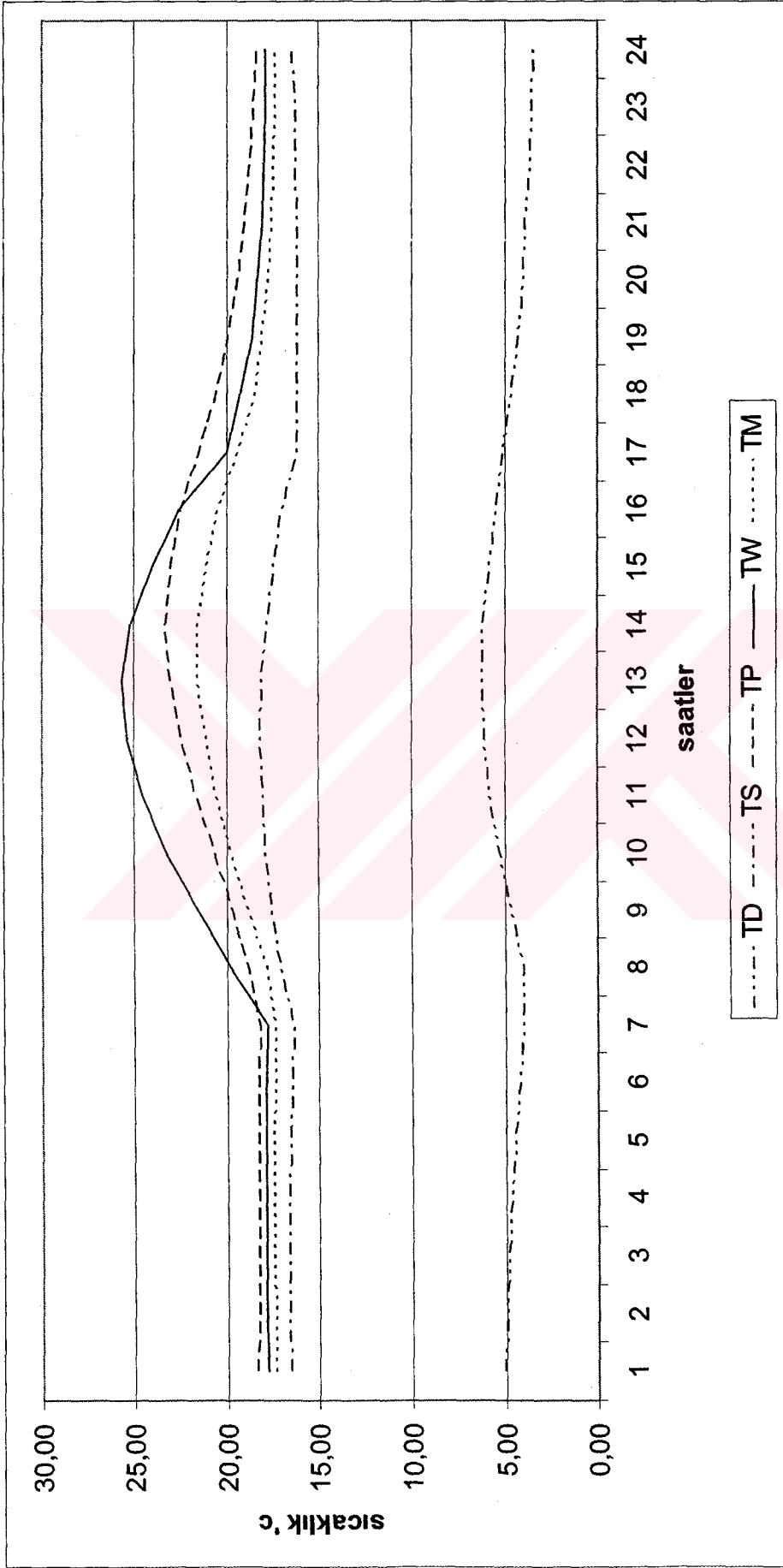




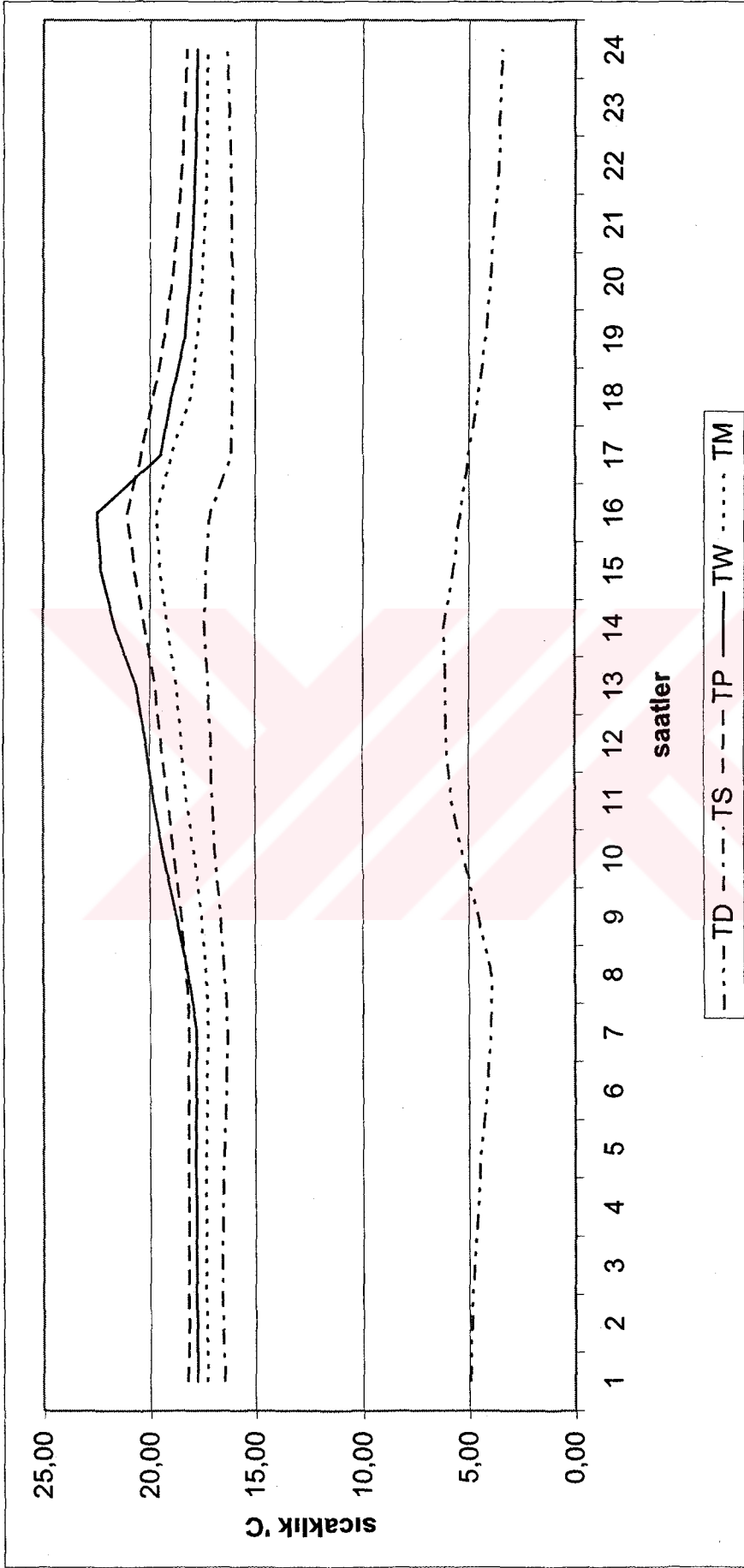
Şekil A.1. A1 alternatifi için güney yönü tuğla duvar kesintili çalışma şeklinde ara boşluk ve bileşenlerin yüzey sıcaklıkları
 TD: Dış hava sıcaklığı. TS:Dış kabuk iç yüz sıcaklığı. TP:İç kabuktaki saydam böl. dış yüz sıcaklığı. TW:İç kabuktaki opak böl. dış yüz sıcaklığı. TM: Araboşluk sıcaklığı.



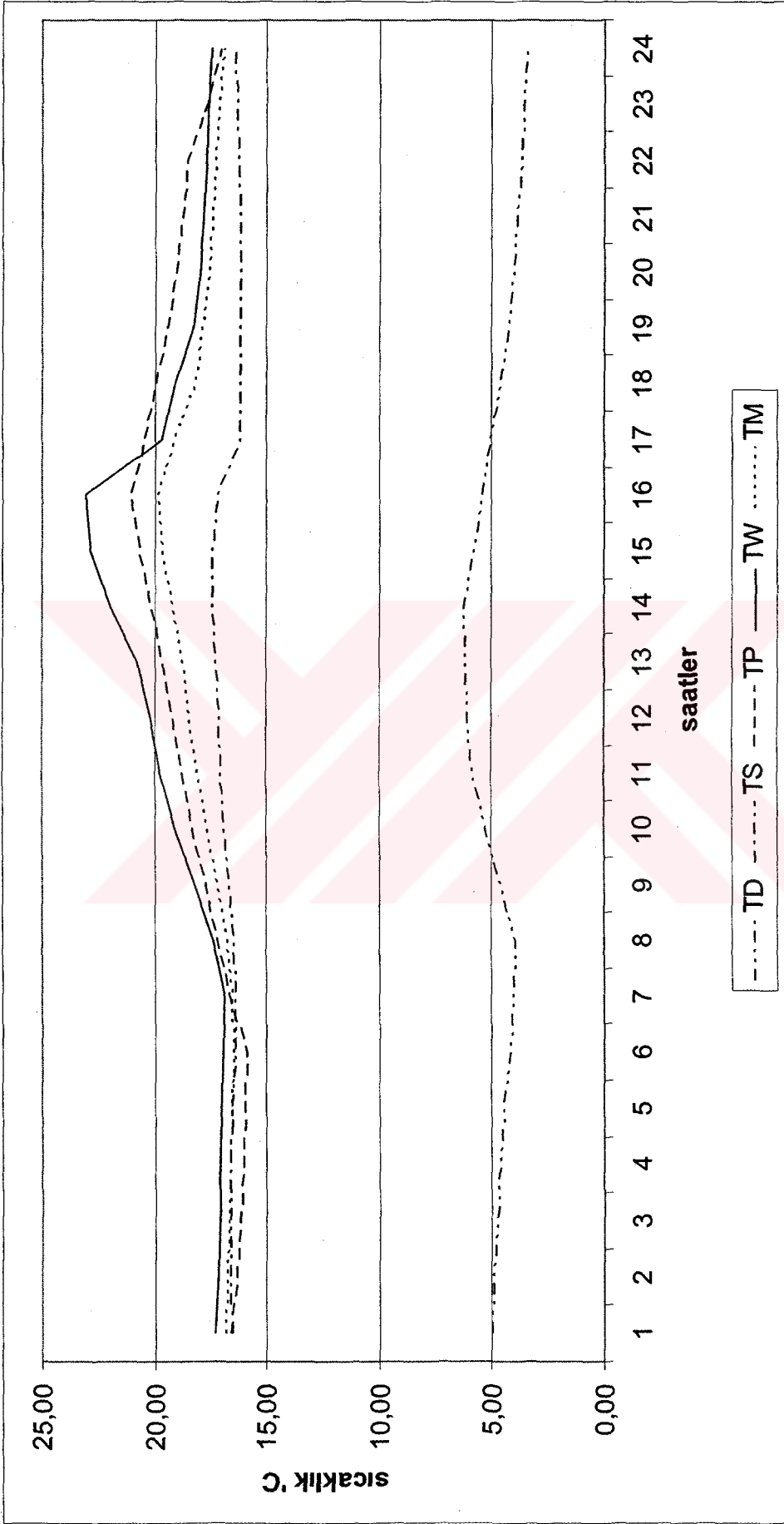
Şekil A.2. A1 alternatifi için batı yönü tuğla duvar kesintili çalışma şeklinde ara boşluk ve bileşenlerin yüzey sıcaklıkları
 TD: Dış hava sic. TS:Dış kabuk iç yüz. sic. TP:İç kabuktaki saydam bil. dış yüz. sic. TW:İç kabuktaki opak bil. dış yüz. sic. TM: Araboşluk sic.



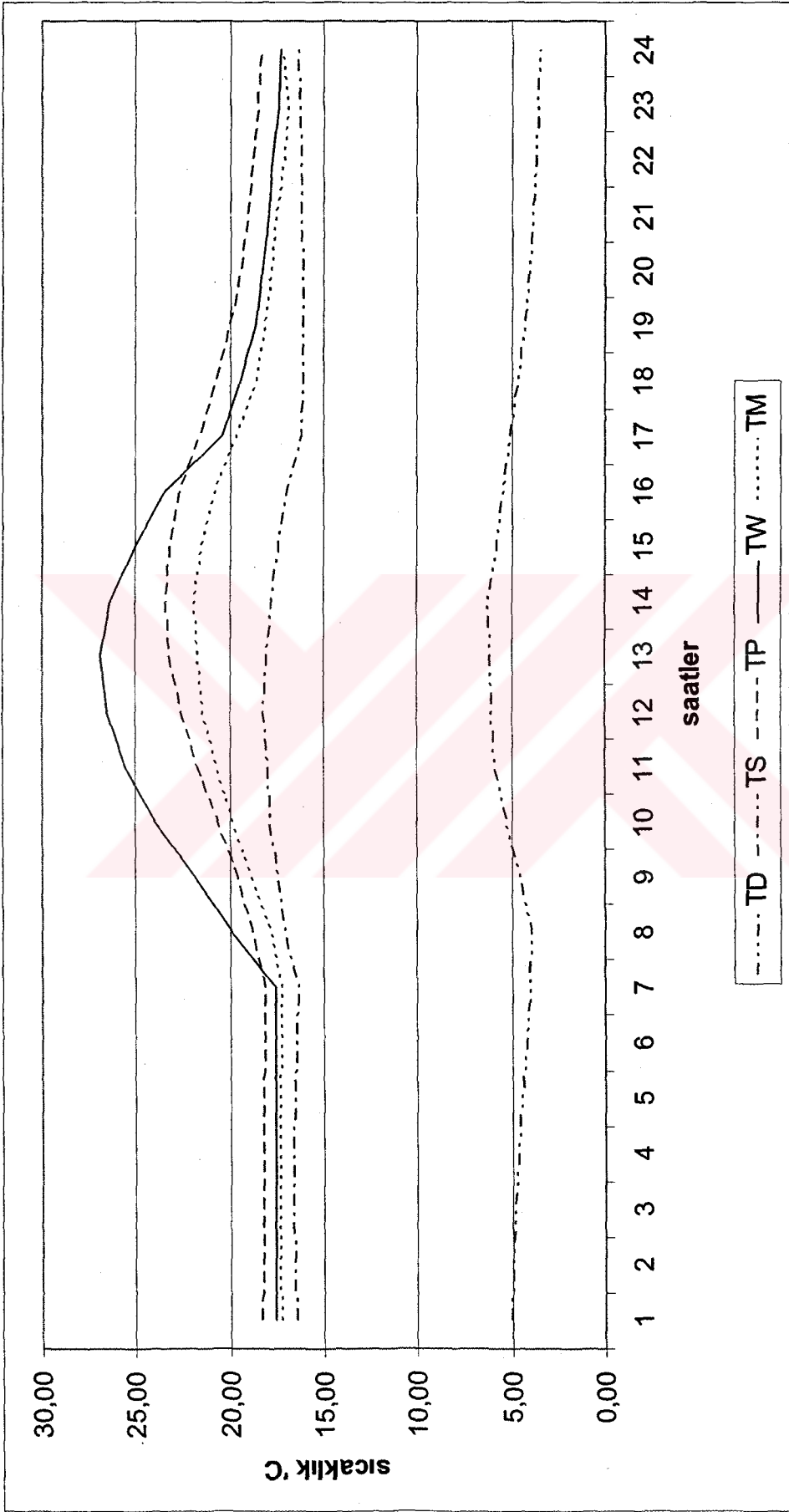
Şekil A.3. B1 alternatifi için güney yönü tuğla duvar kesintisiz çalışma şeklinde ara boşluk ve bileşenlerin yüzey sıcaklıkları
 TD: Dış hava iç. TS:Dış kabuk iç yüz. iç. TP:İç kabuktaki saydam bil. dış yüz. iç. TW:İç kabuktaki opak bil. dış yüz. iç. TM: Araboşluk iç.



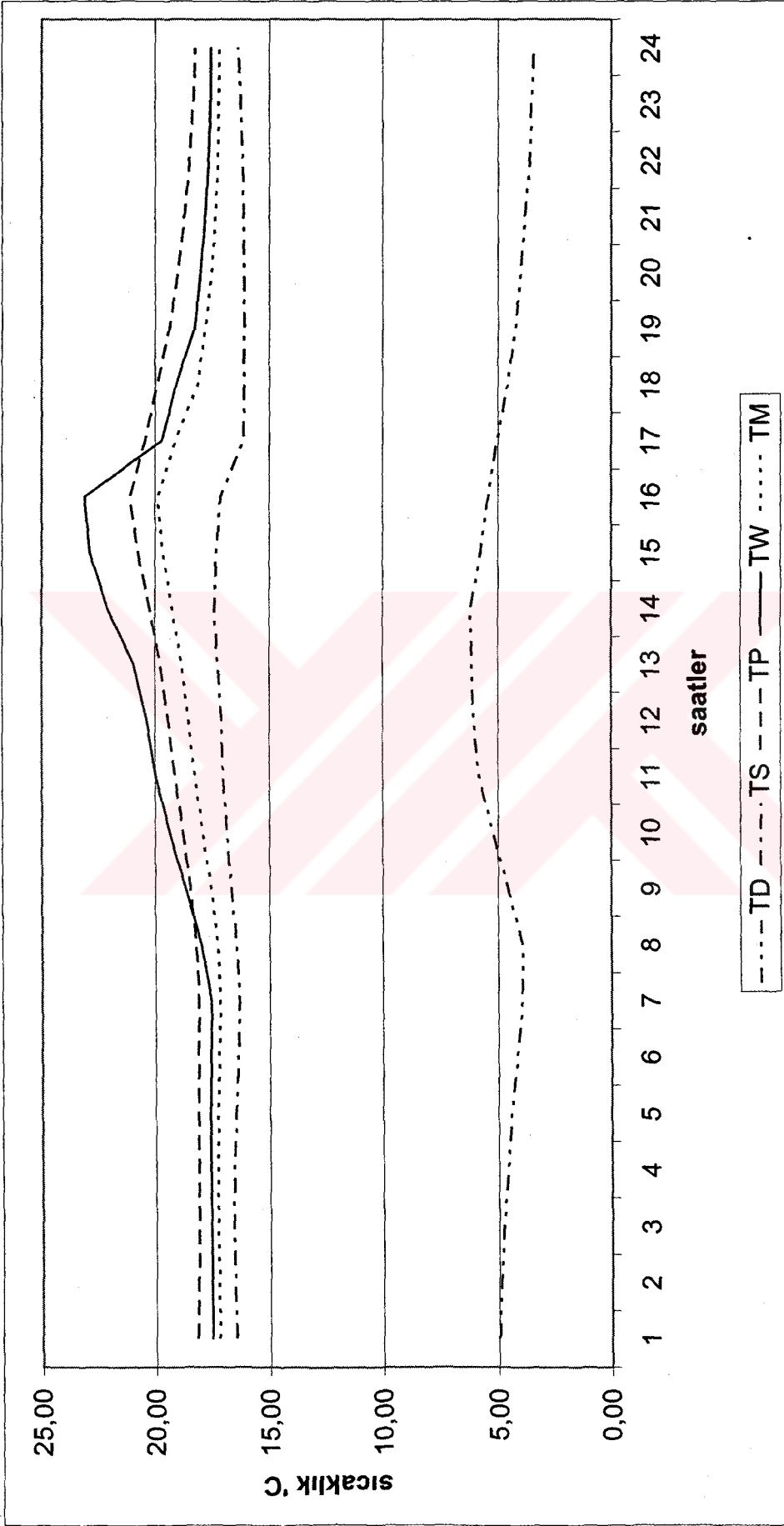
Şekil A.4. B1 alternatifi için batı yönü tuğla duvar kesintisiz çalışma şeklinde ara boşluk ve bileşenlerin yüzey sıcaklıkları
 TD: Dış hava sic. TS:Dış kabuk iç yüz. sic. TP:İç kabuktaki saydam bil. dış yüz. sic. TW:İç kabuktaki opak bil. dış yüz. sic. TM: Araboşluk sic.



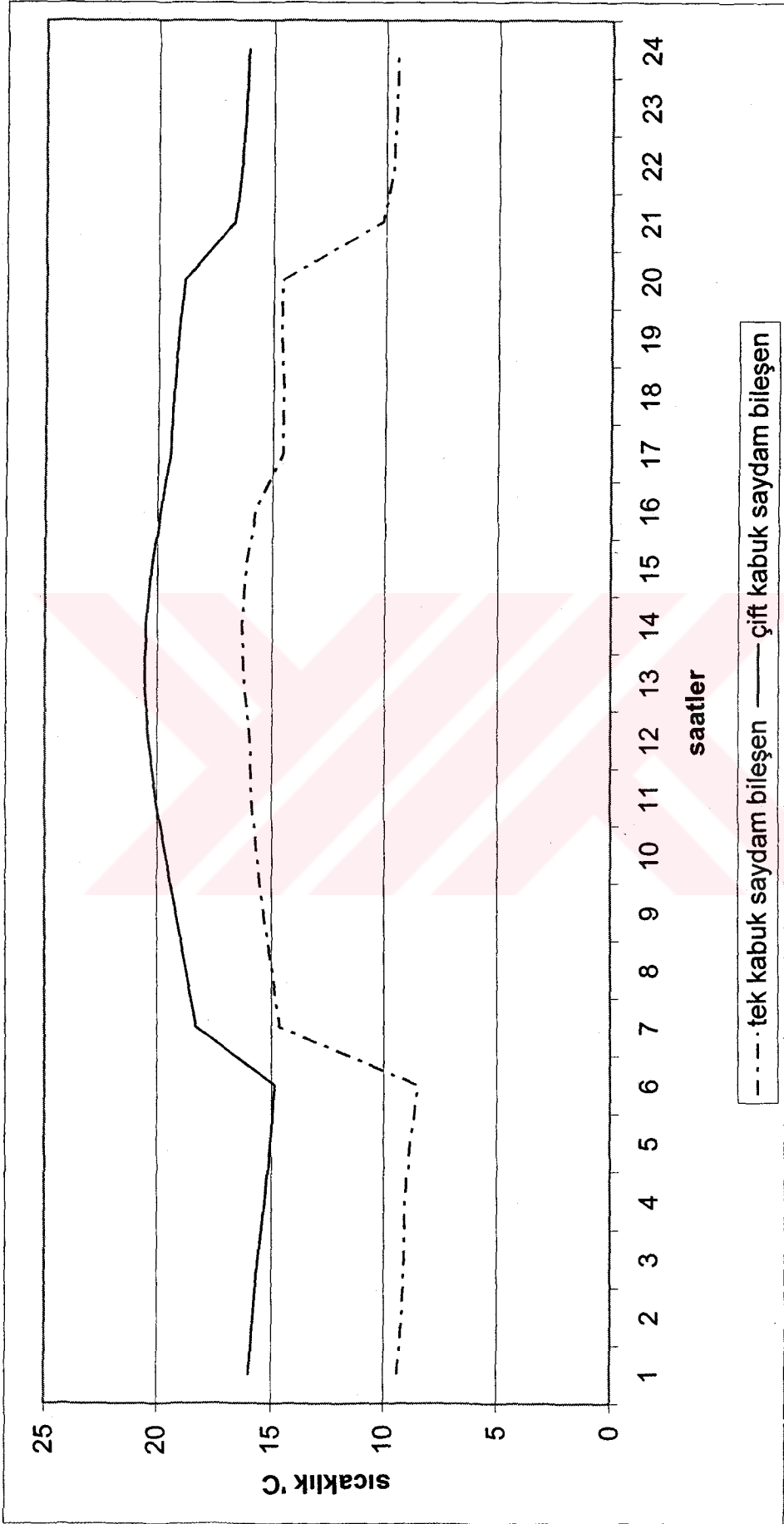
Şekil A.5. C1 alternatifi için batı yönü yalıtımlı tuğla duvar kesintili çalışma şeklinde ara boşluk ve bileşenlerin yüzey sıcaklıkları
 TD: Dış hava sic. TS:Dış kabuk iç yüz. sic. TP:İç kabuktaki saydam bil. dış yüz. sic. TW:İç kabuktaki opak bil. dış yüz. sic. TM: Araboşluk sic.



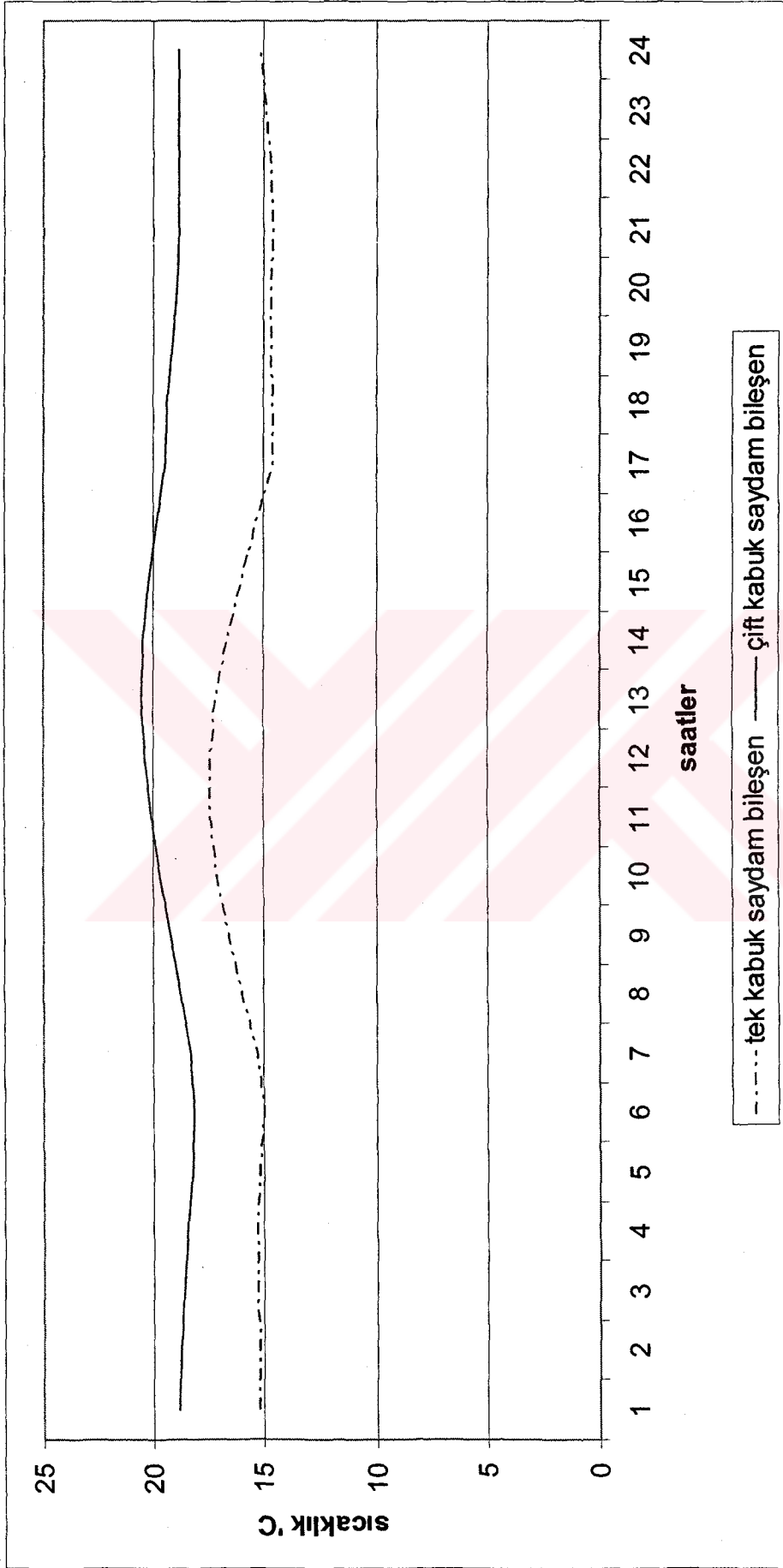
Şekil A.6. C1 alternatifi için güney yönü yalıtımlı tuğla duvar kesintisiz çalışma şeklinde ara boşluk ve bileşenlerin yüzey sıcaklıkları
 TD: Dış hava sıcaklığı. TS:Dış kabuk iç yüz sıcaklığı. TP:İç kabuk iç yüz sıcaklığı. TW:İç kabuktaki opak bil. dış yüz sıcaklığı. TM: Araboşluk sıcaklığı.



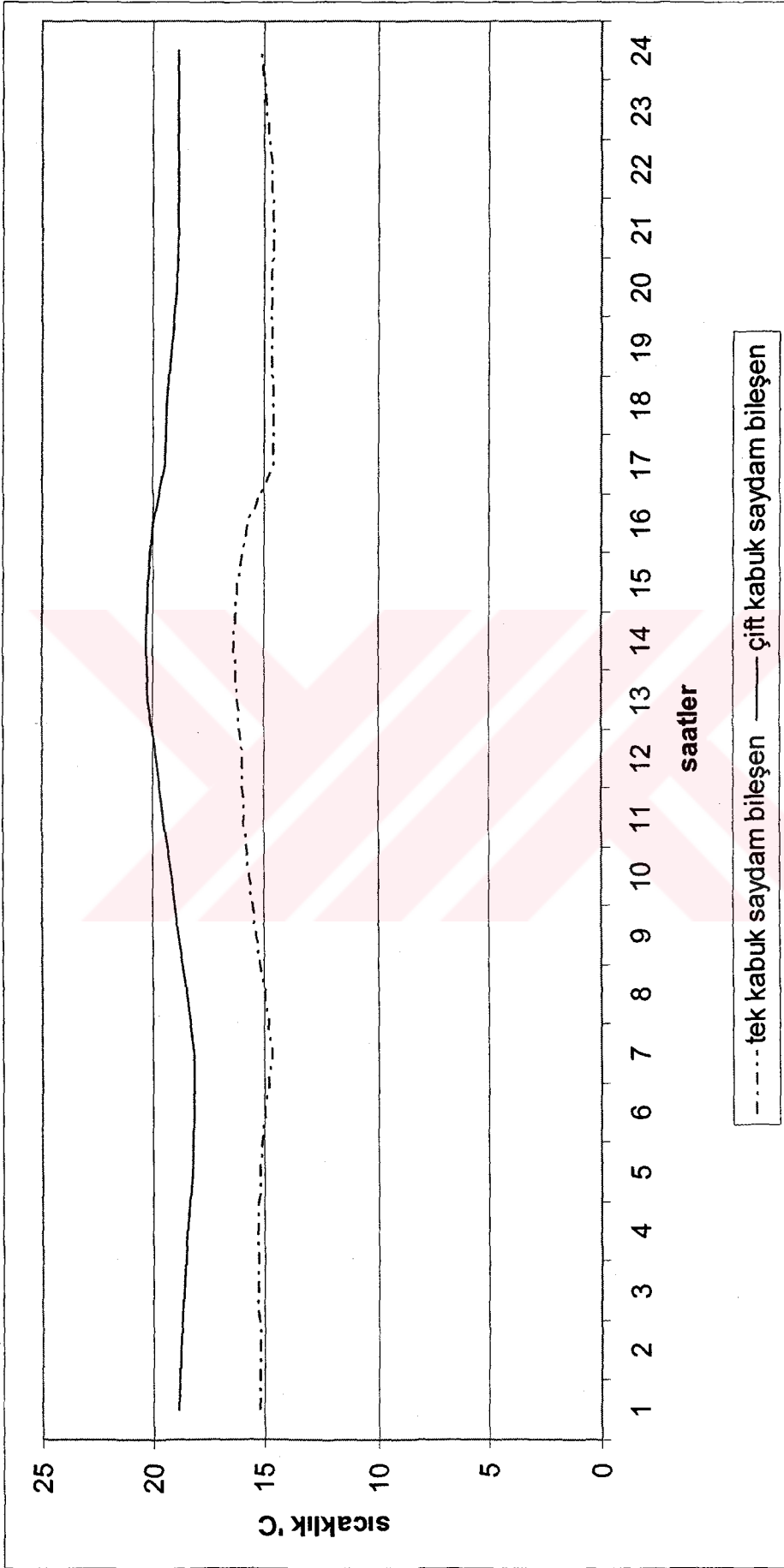
Şekil A.7. D1 alternatifi için batı yönü yalıtımlı tuğla duvar kesintisiz çalışma şeklinde ara boşluk ve bileşenlerin yüzey sıcaklıkları
 TD: Dış hava sic. TS:Dış kabuk iç yüz. sic. TP:İç kabuktaki saydam bil. dış yüz. sic. TW:İç kabuktaki opak bil. dış yüz. sic. TM: Araboşluk sic.



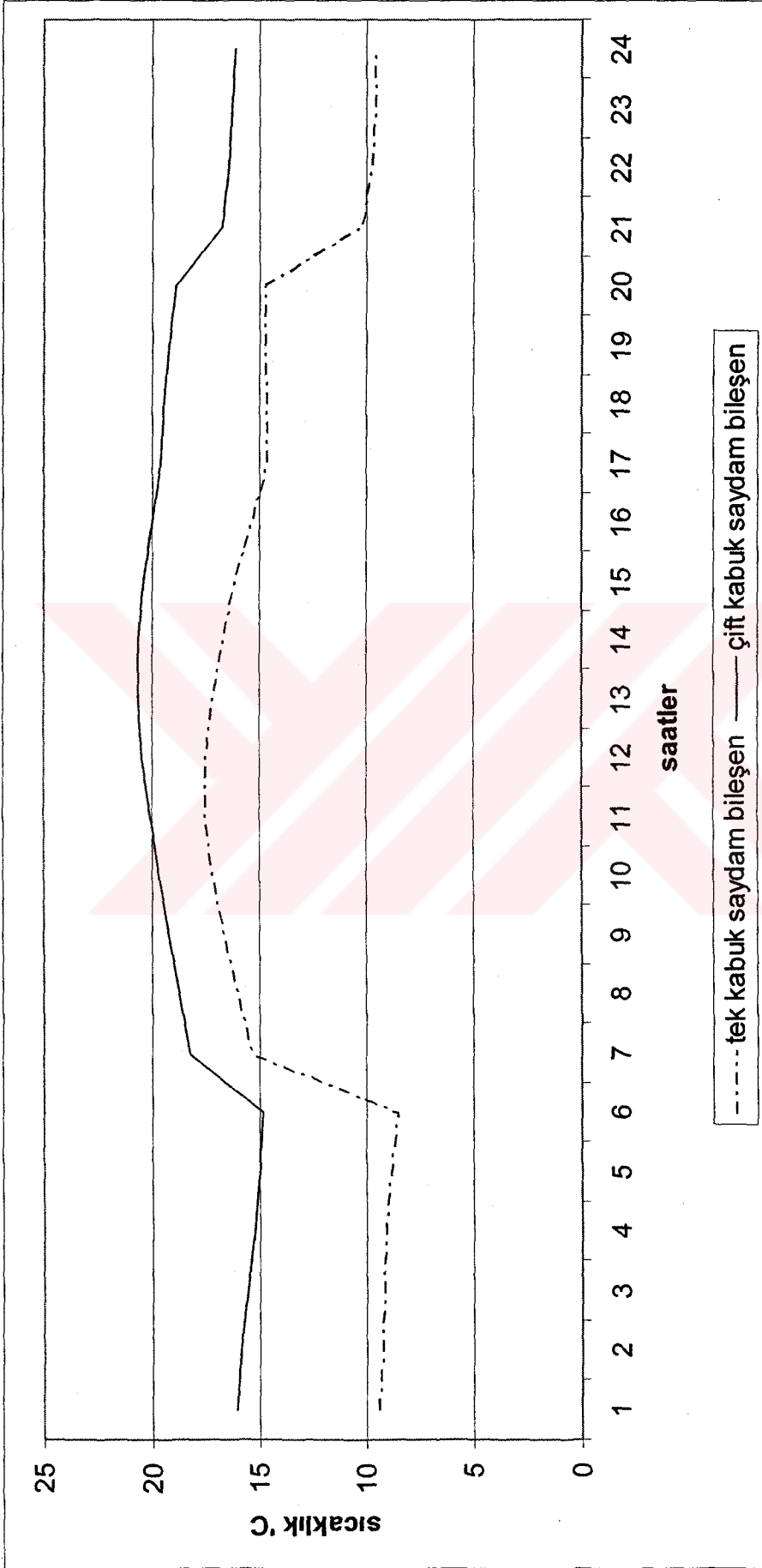
Şekil A.8. A&A1 alternatifi için batı yönü tek kabuk ve çift kabuk saydam bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi



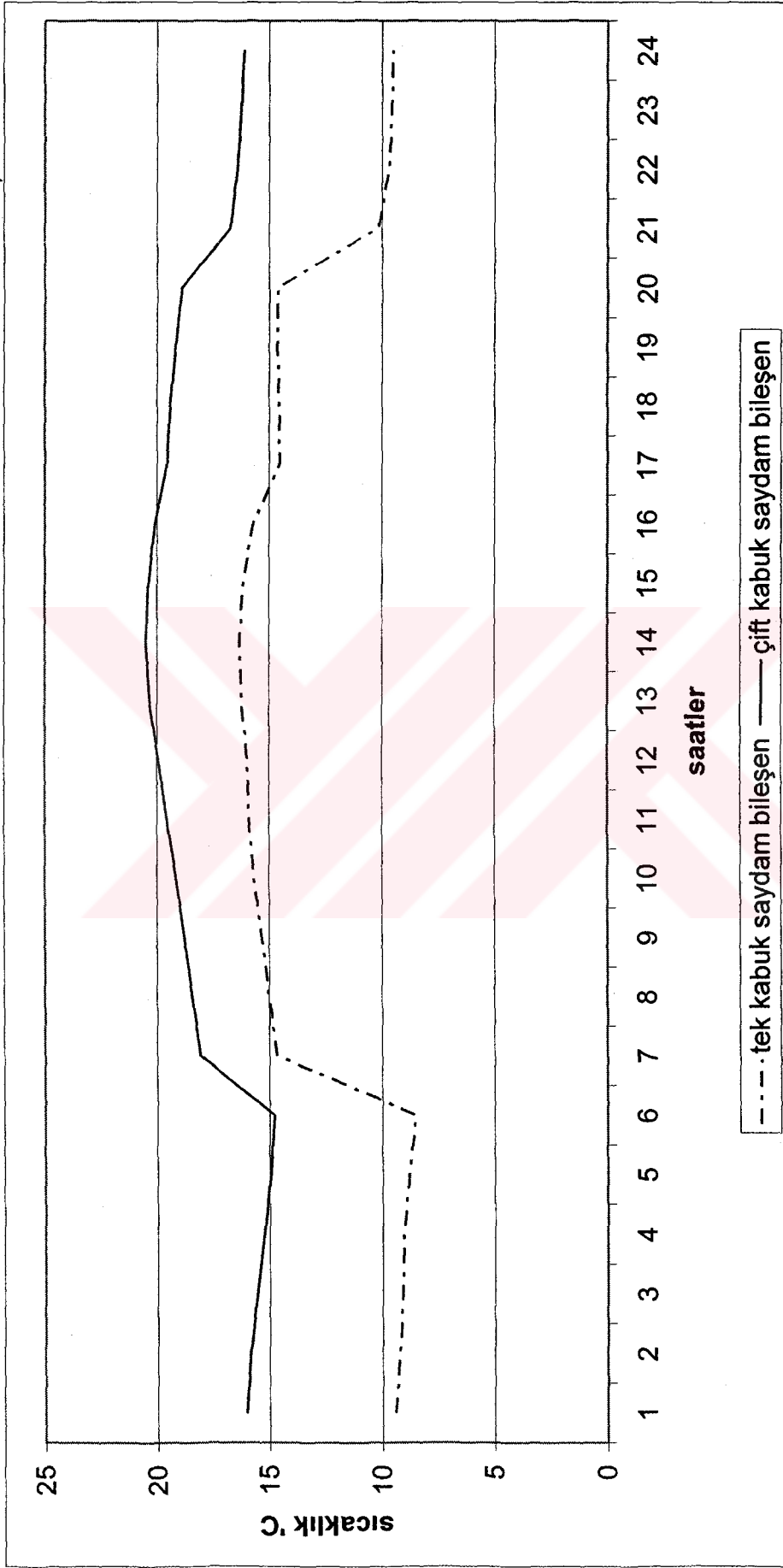
Şekil A.9. B&B1 alternatifi için güney yönü tek kabuk ve çift kabuk saydam bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi



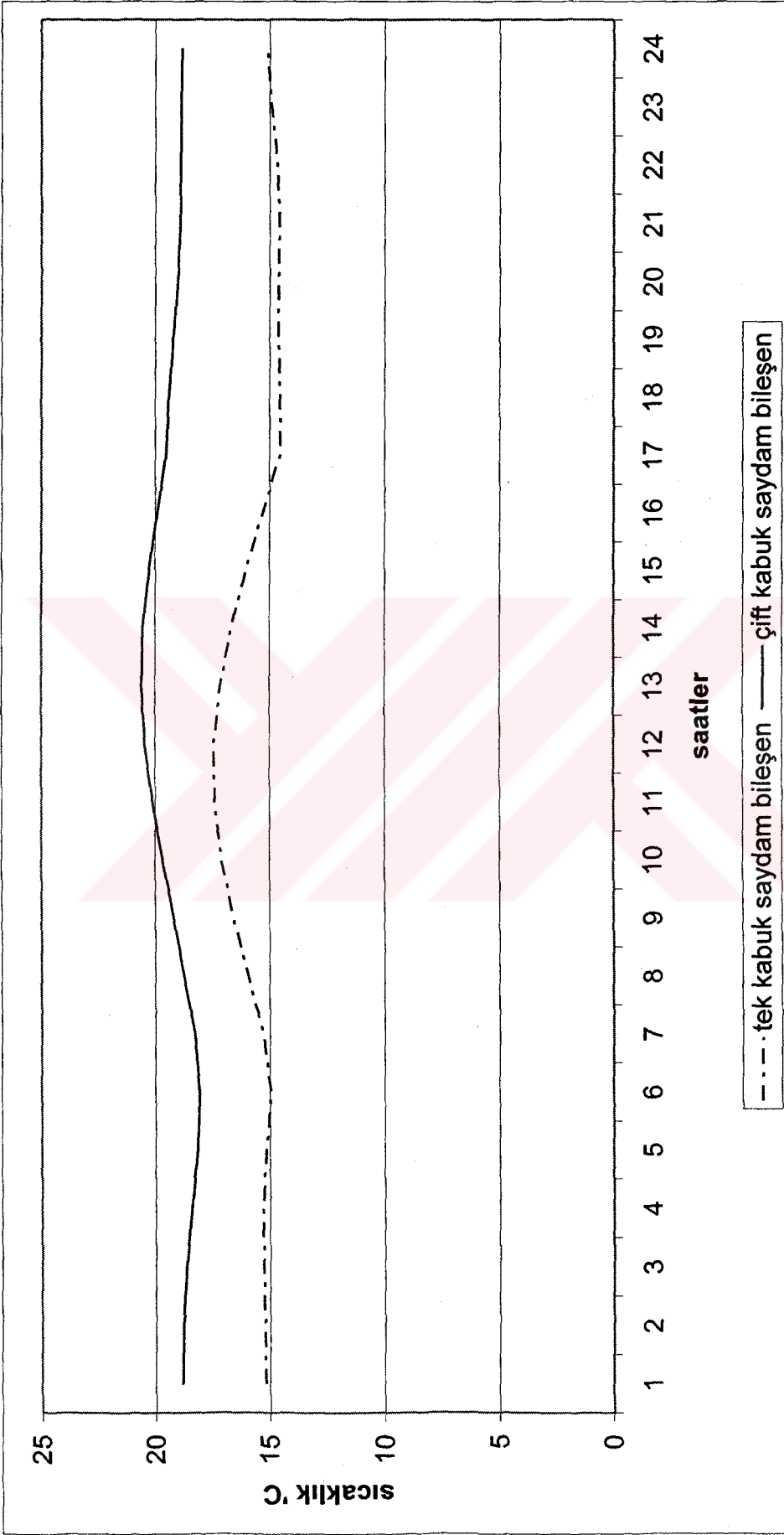
Şekil A.10. B&B1 alternatifi için batı yönü tek kabuk ve çift kabuk saydam bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi



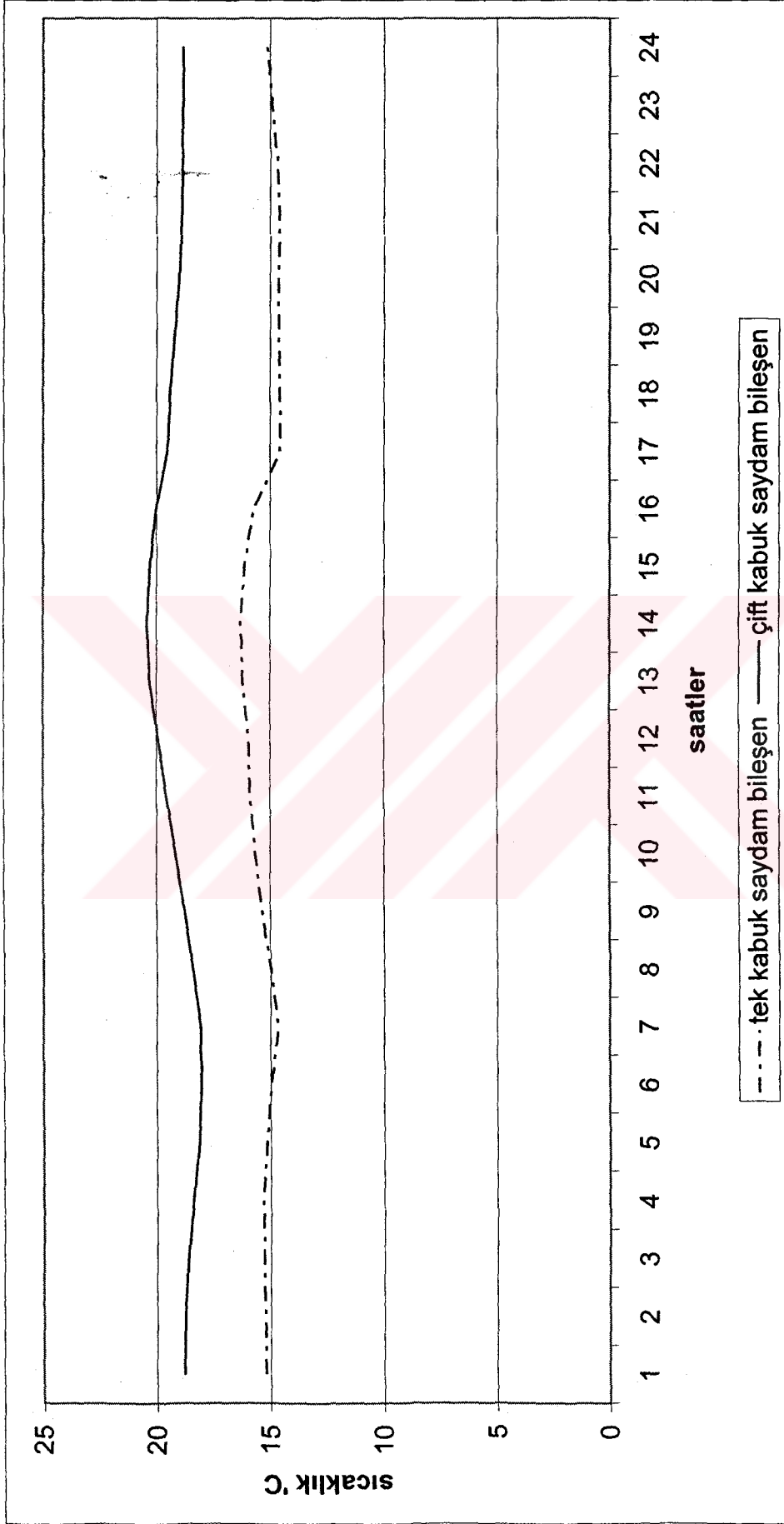
Şekil A.11. C&C1 alternatifi için güney yönü tek kabuk ve çift kabuk saydam bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi



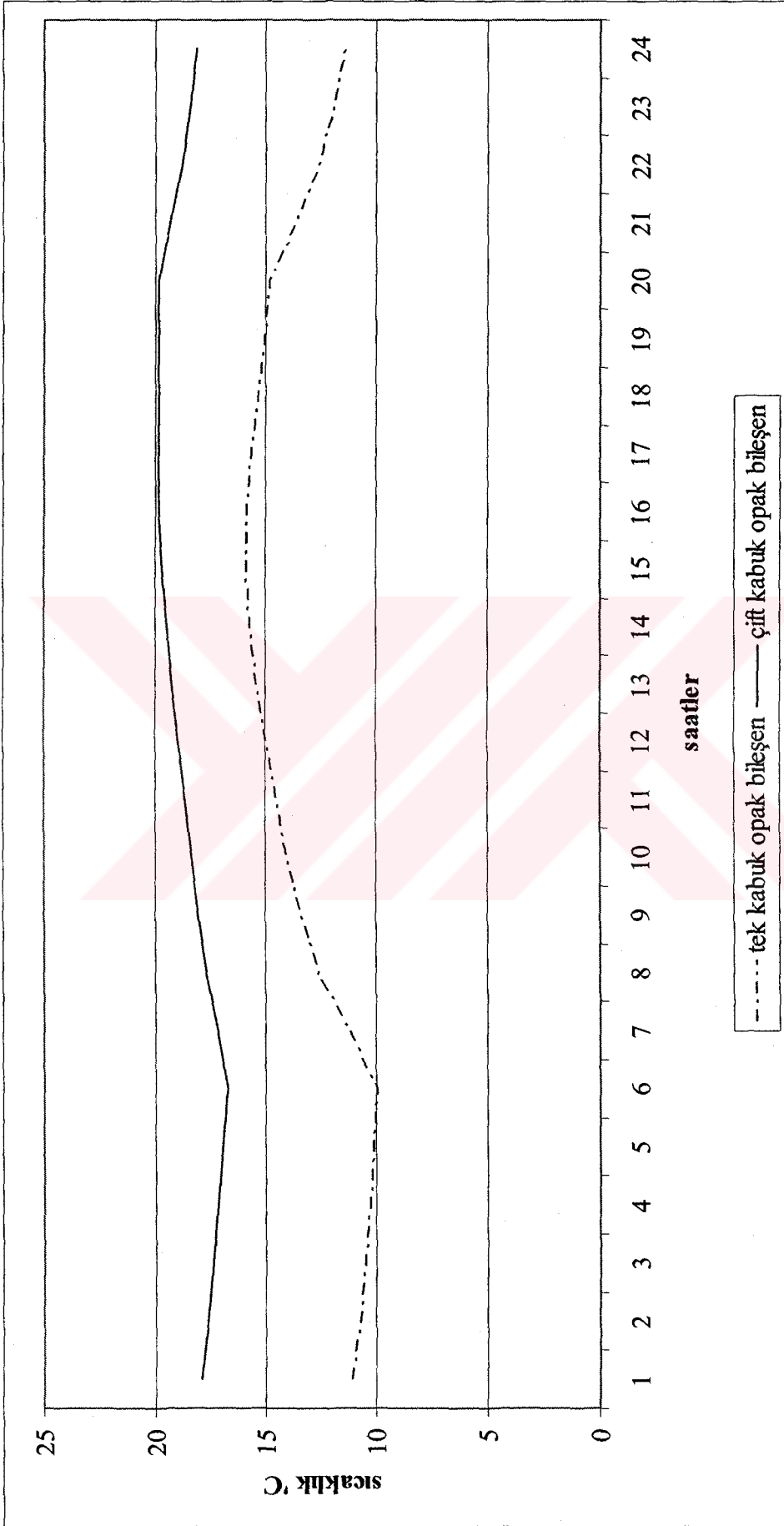
Şekil A.12. C&C1 alternatifi için batı yönü tek kabuk ve çift kabuk saydam bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi



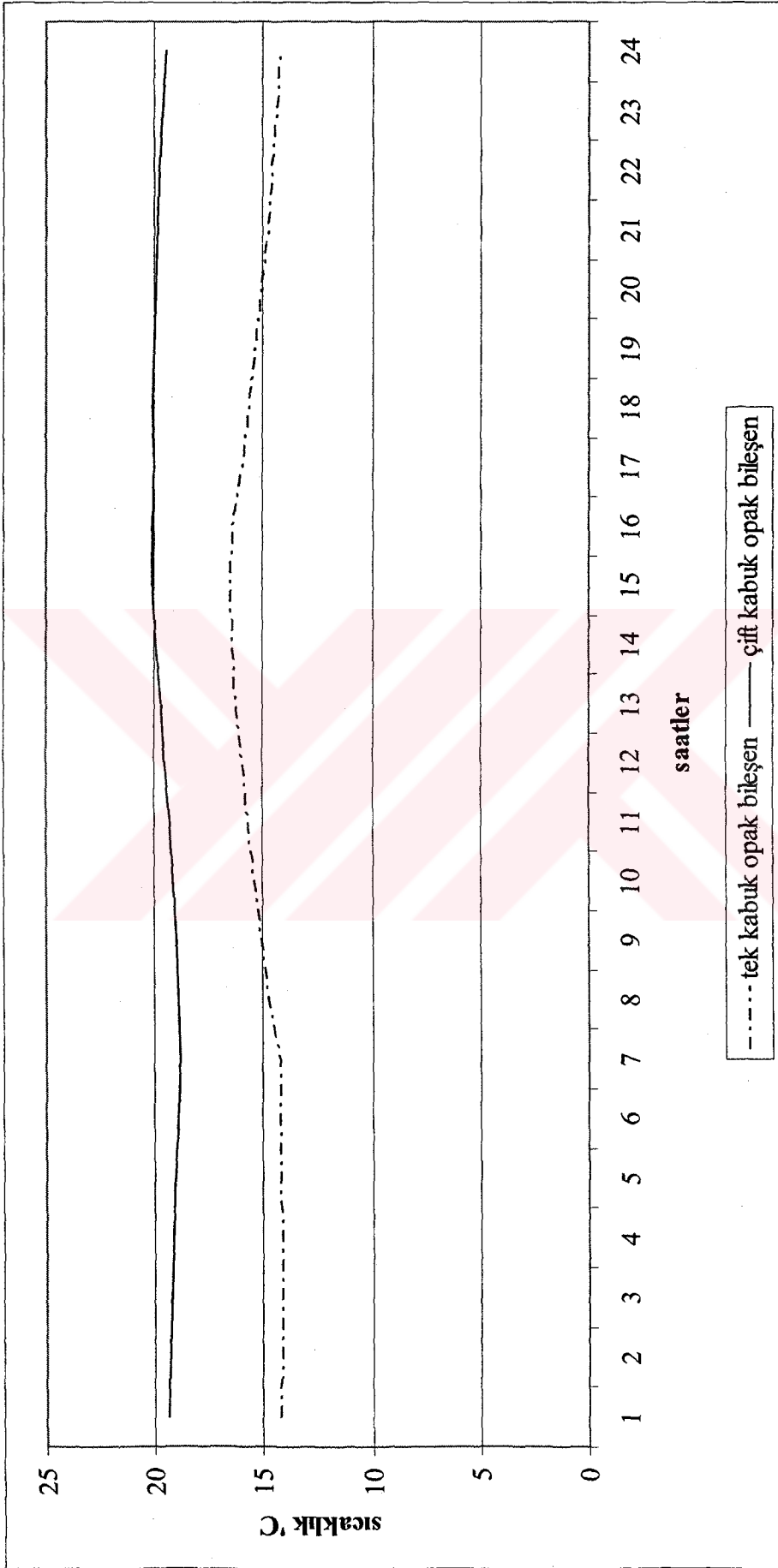
Şekil A.13. D&D1 alternatifi için güney yönü tek kabuk ve çift kabuk saydam bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi



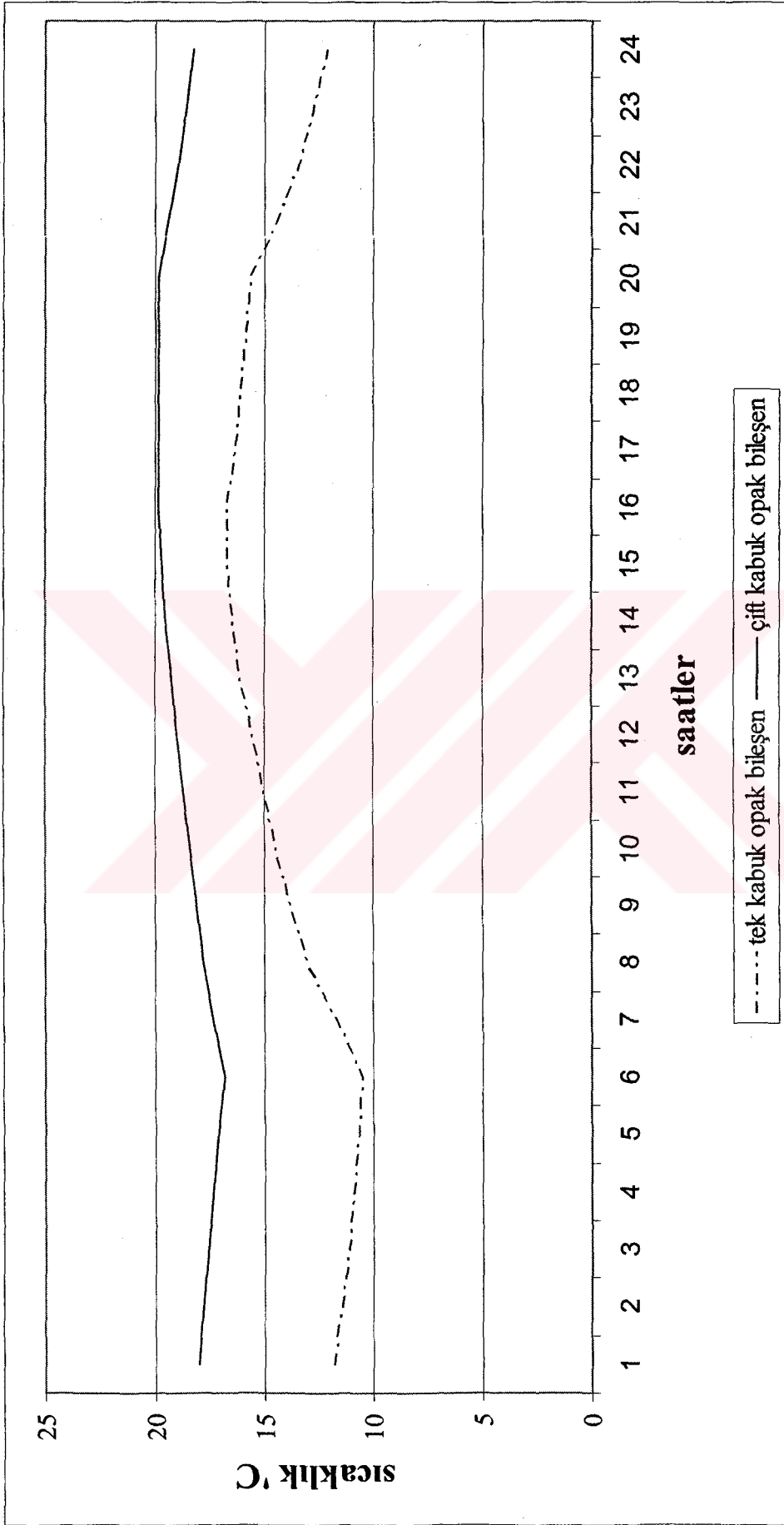
Şekil A.14. D&D1 alternatifi için batı yönü tek kabuk ve çift kabuk saydam bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi



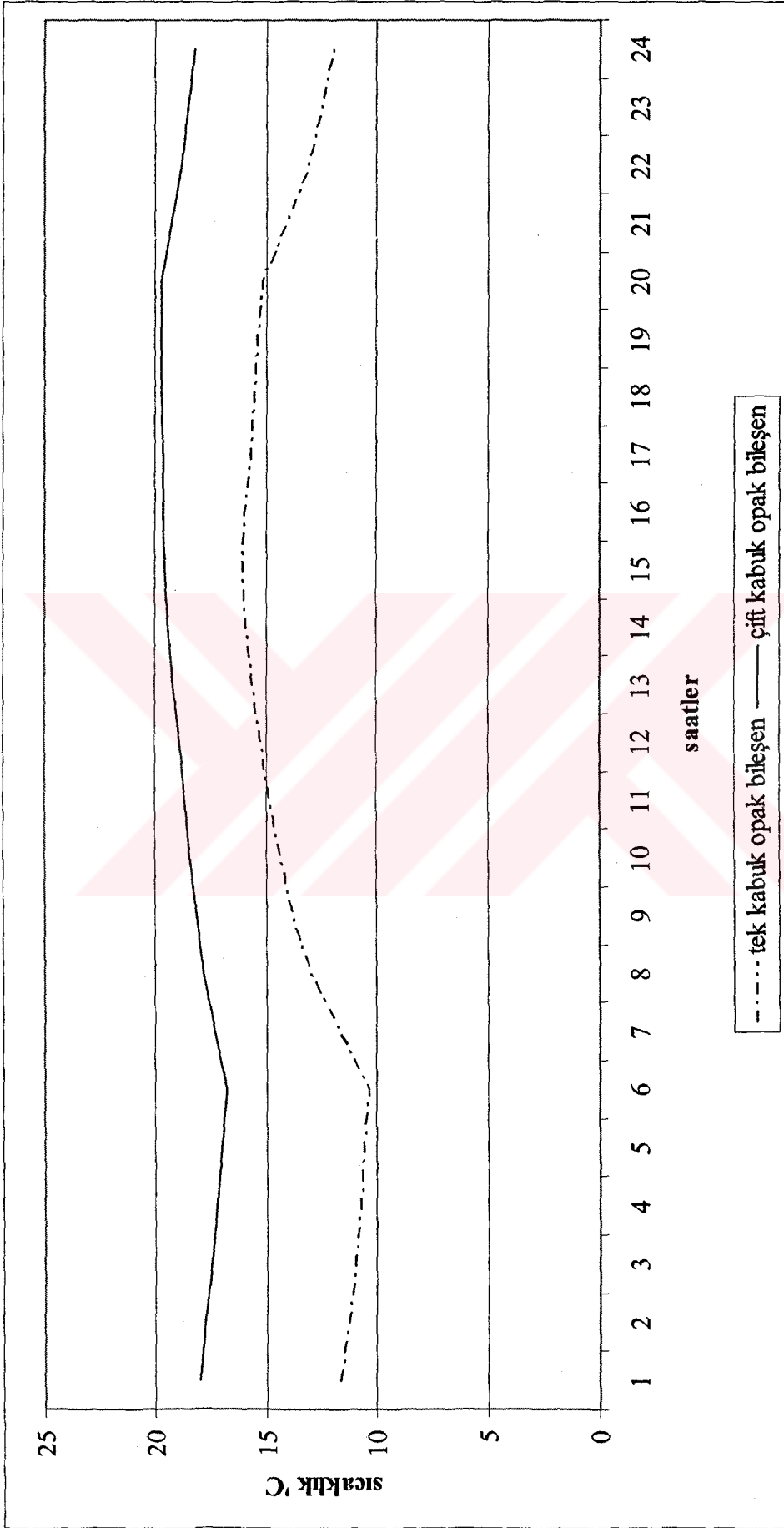
Şekil A.15. A&A1 alternatifi için batı yönü tek kabuk ve çift kabuk opak bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi



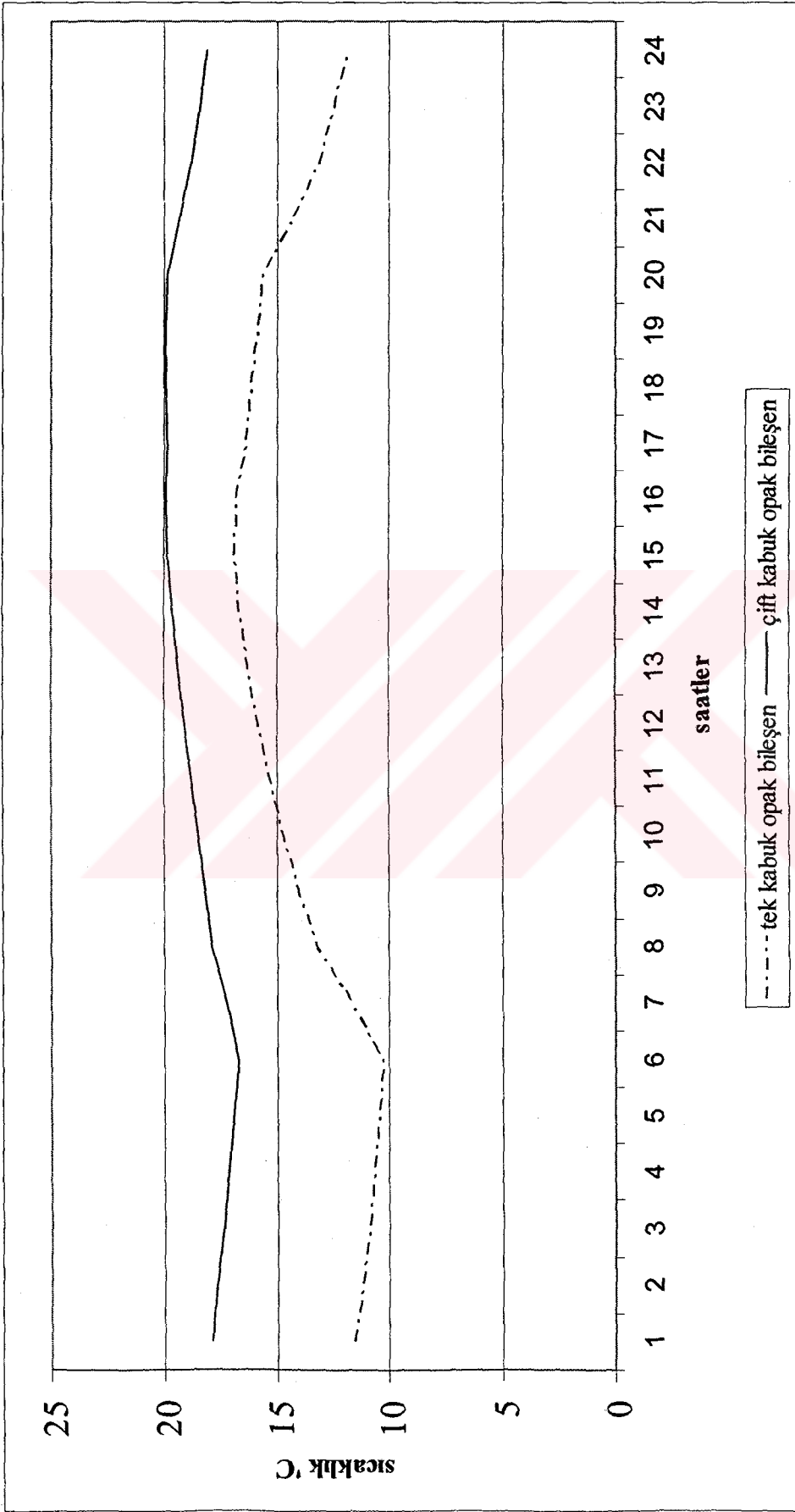
Şekil A.16. B&B1 alternatifi için batı yönü tek kabuk ve çift kabuk opak bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi



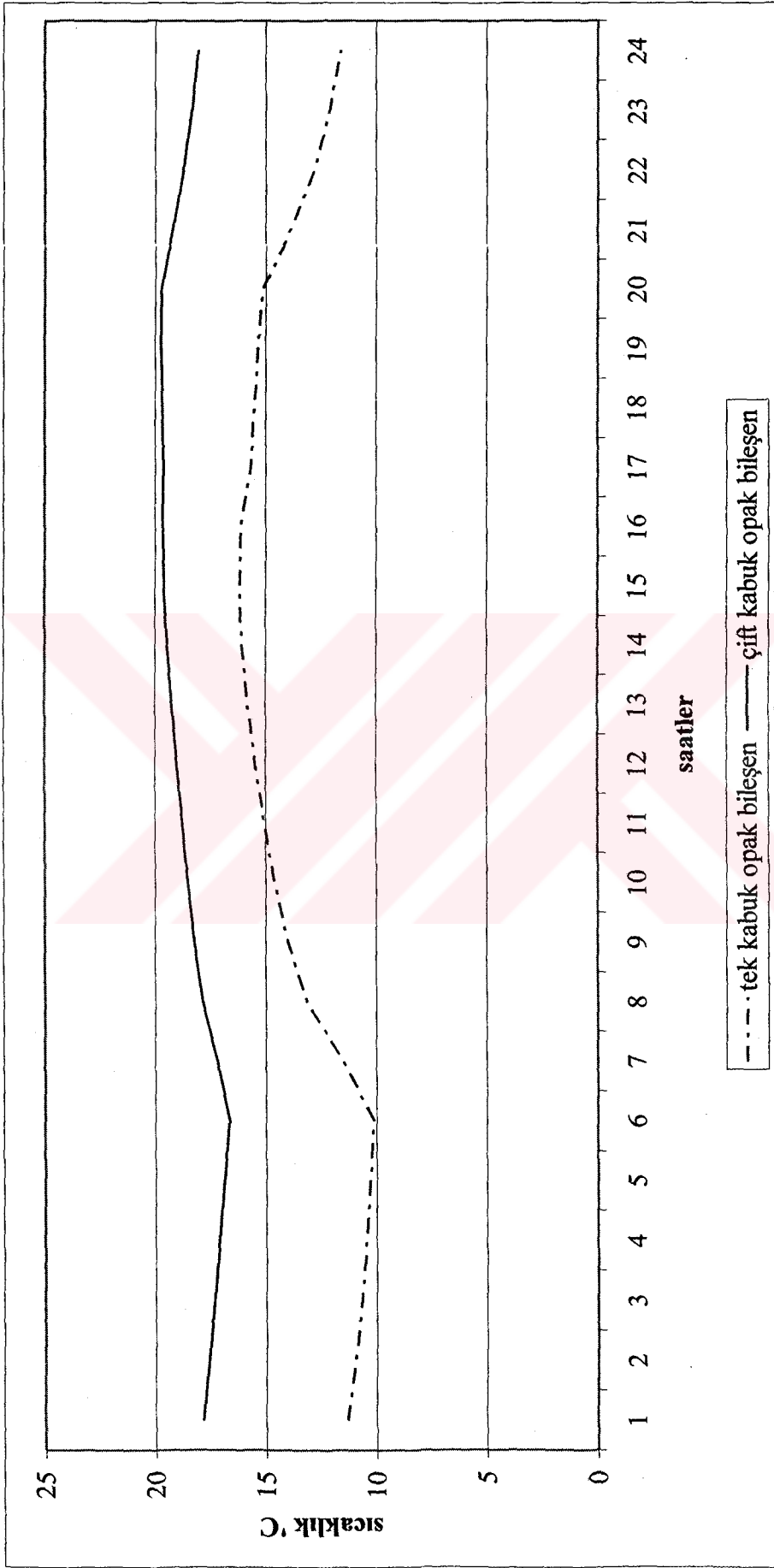
Şekil A.17. C&C1 alternatifi için güney yönü tek kabuk ve çift kabuk opak bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi



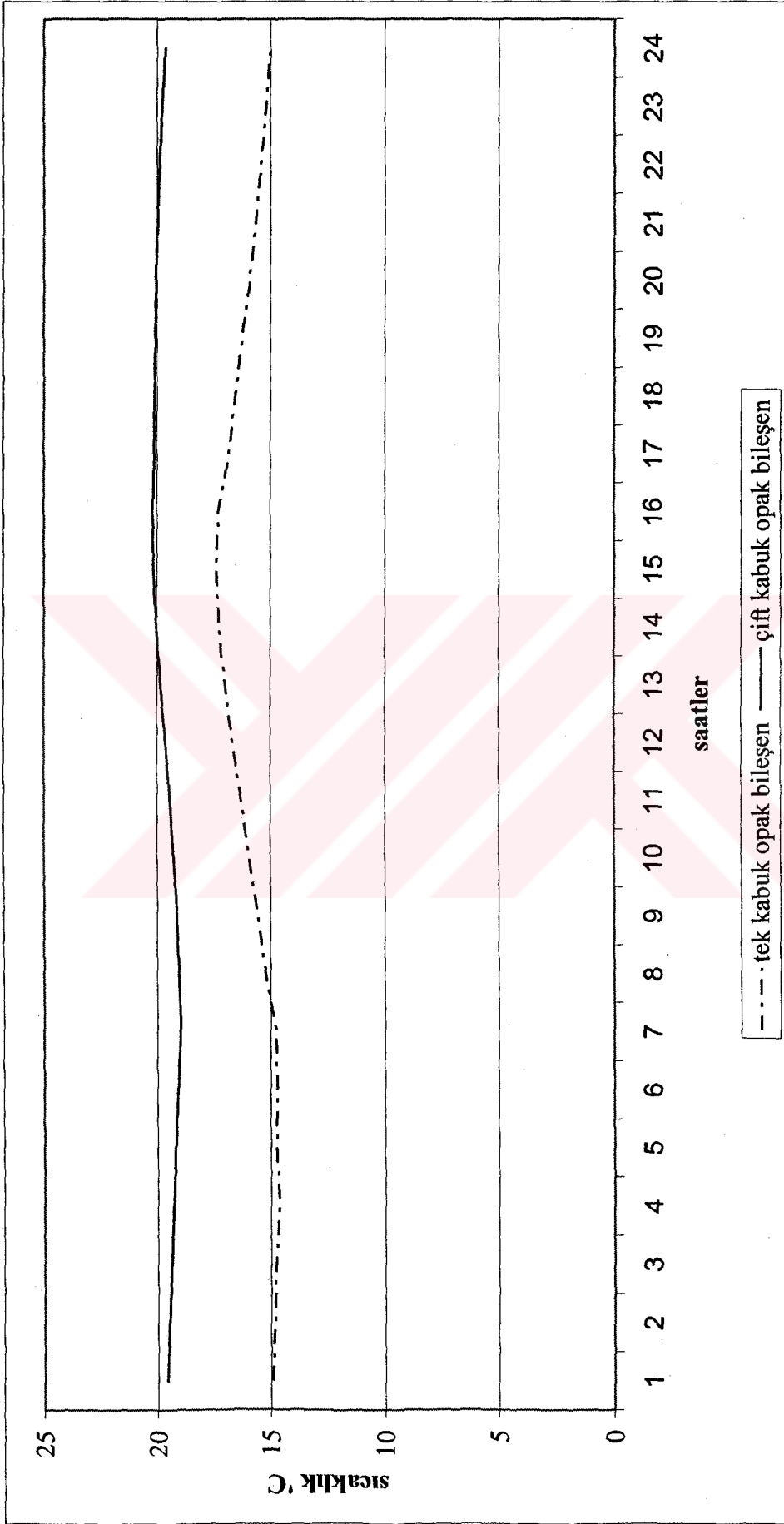
Şekil A.18. C&C1 alternatifi için batı yönü tek kabuk ve çift kabuk opak bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi

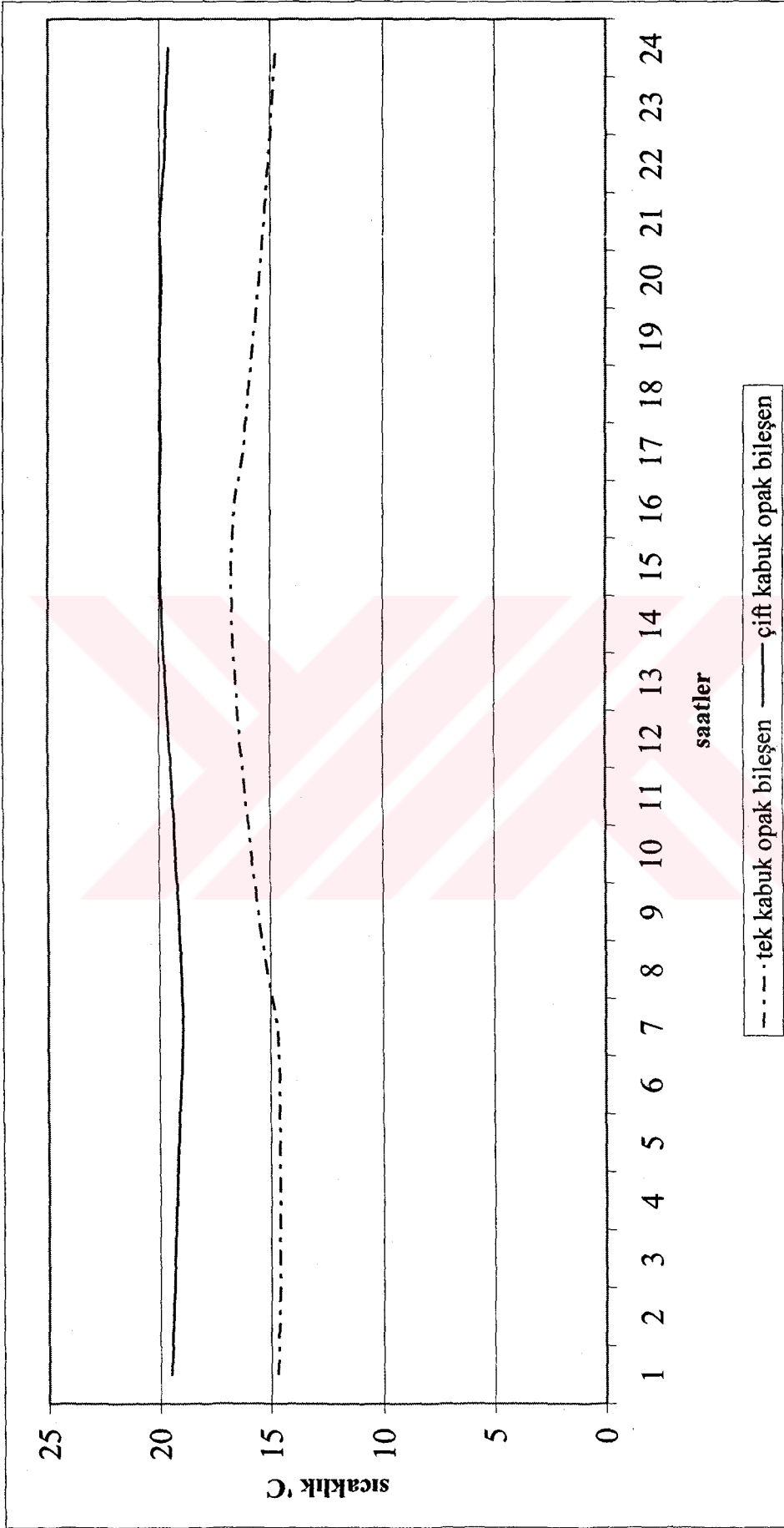


Şekil A.19. E&E1 alternatifi için güney yönü tek kabuk ve çift kabuk opak bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi

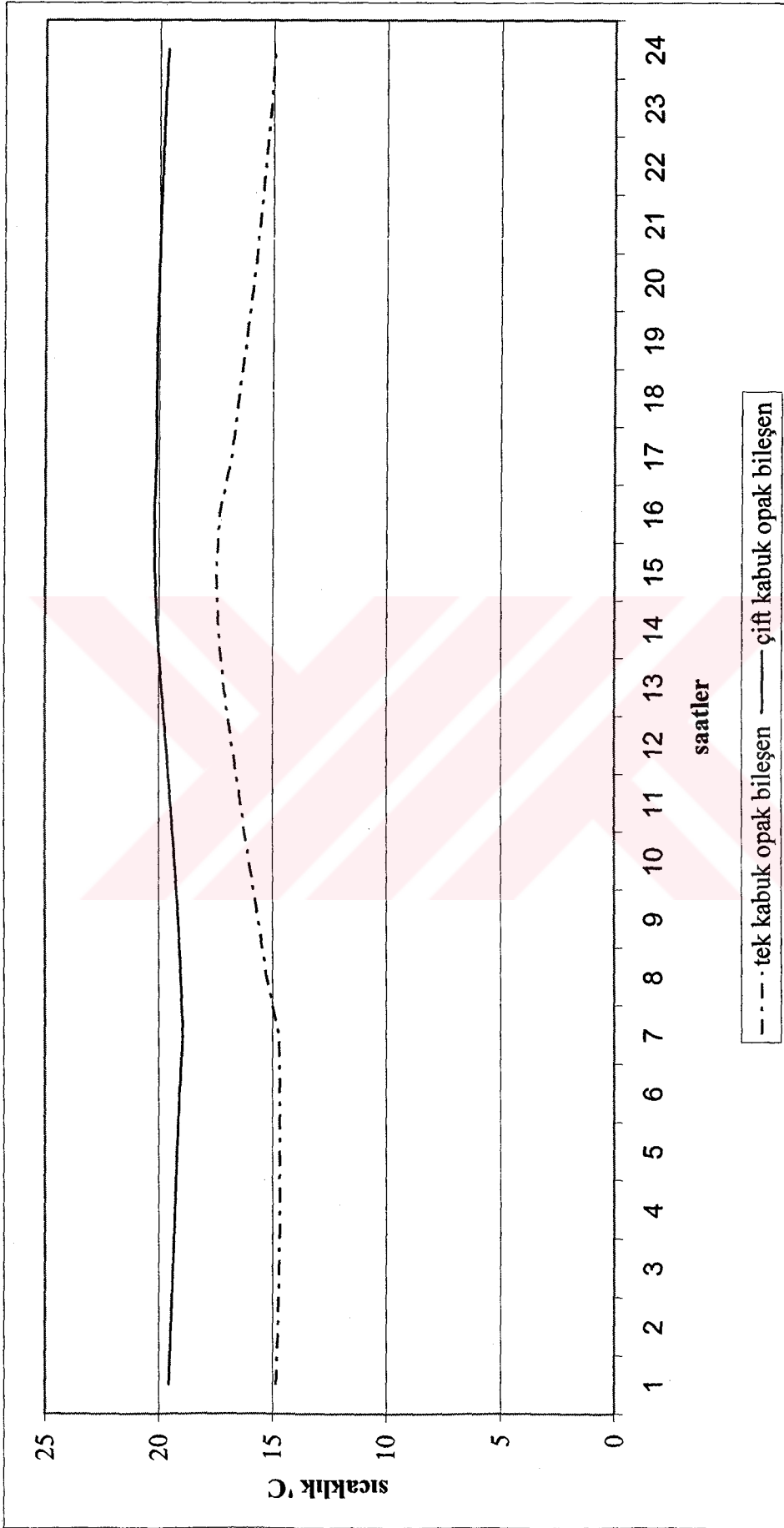


Şekil A.20. E&E1 alternatifi için batı yönü tek kabuk ve çift kabuk opak bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi

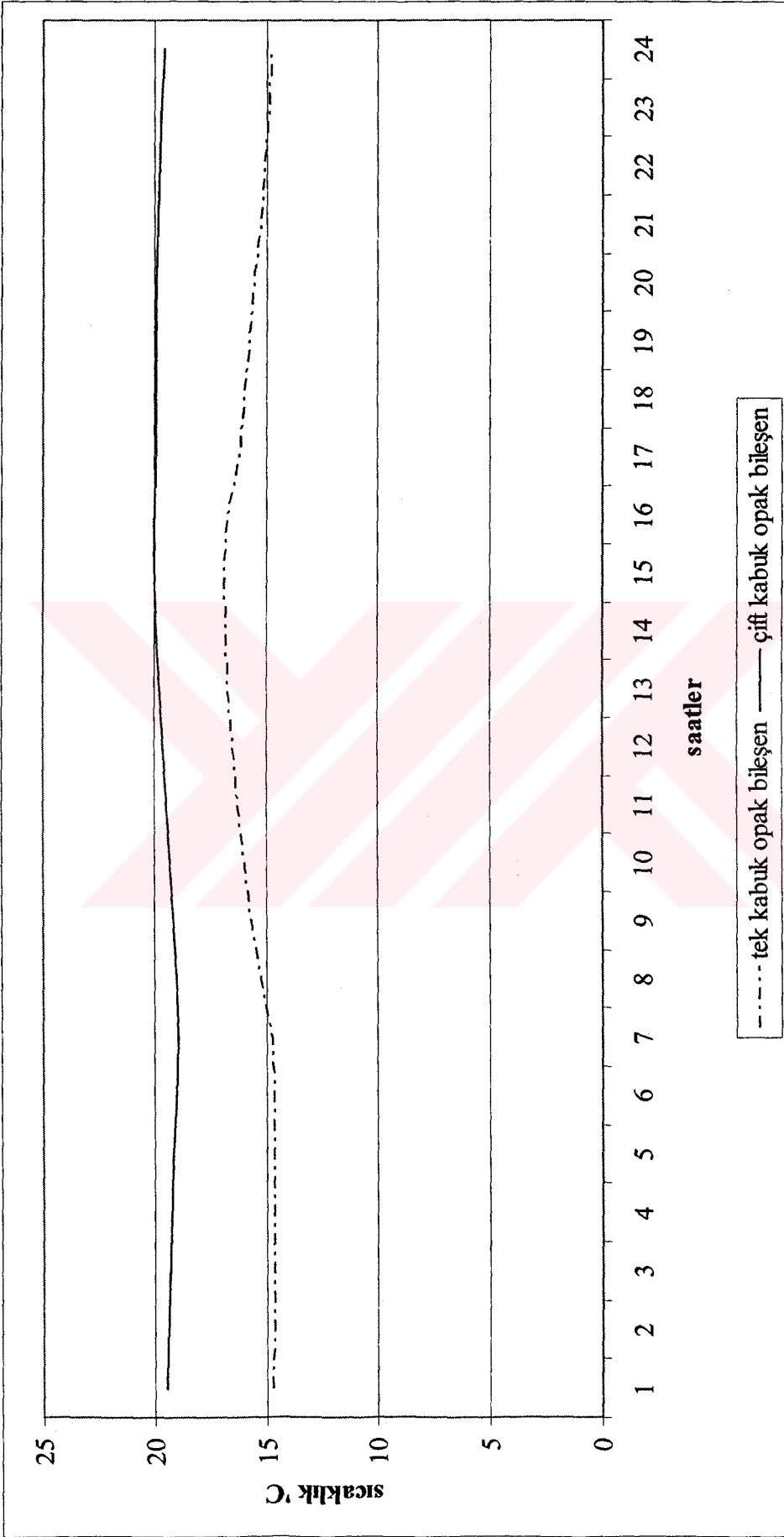




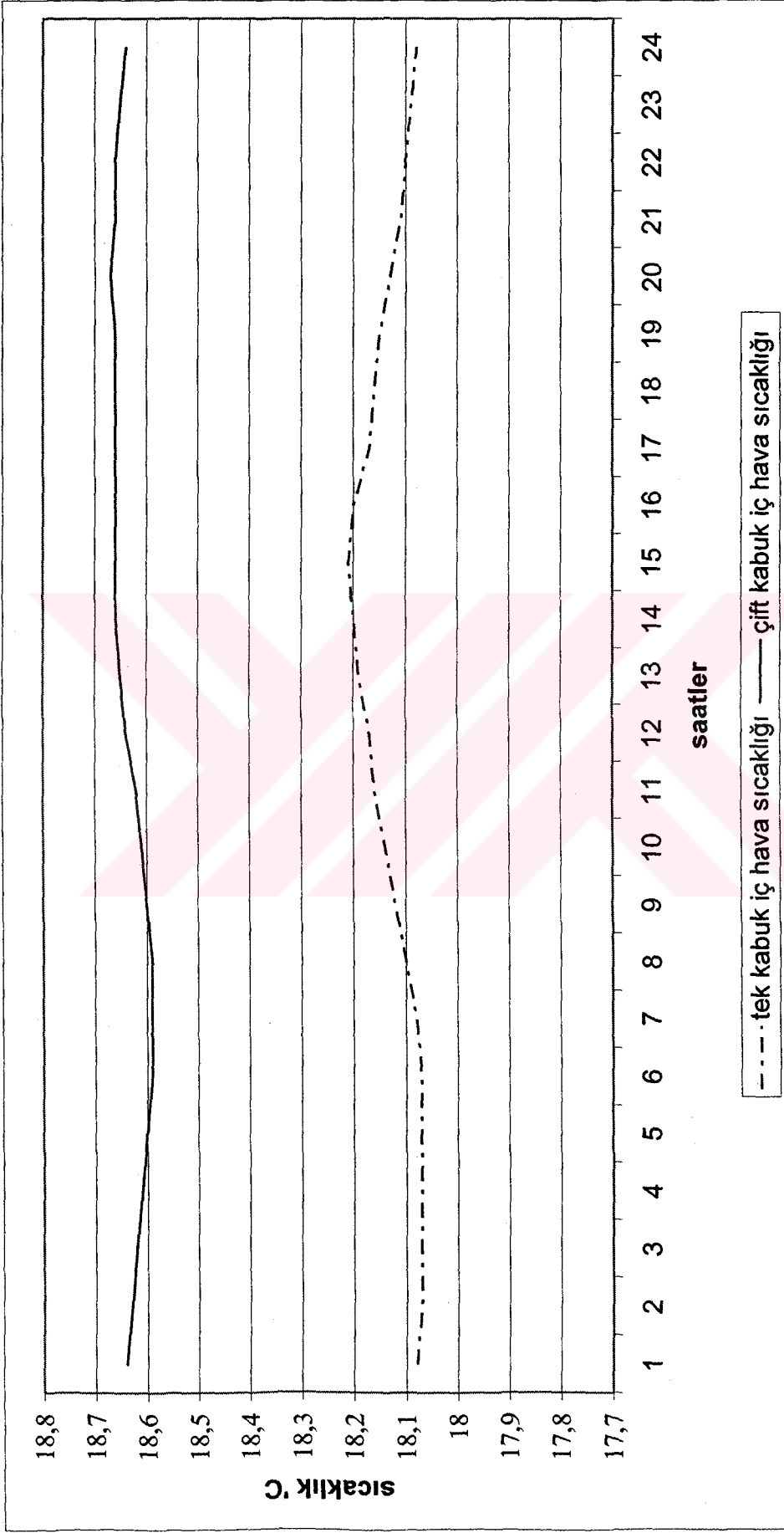
Şekil A.22. D&D1 alternatifii için batı yönü tek kabuk ve çift kabuk opak bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi



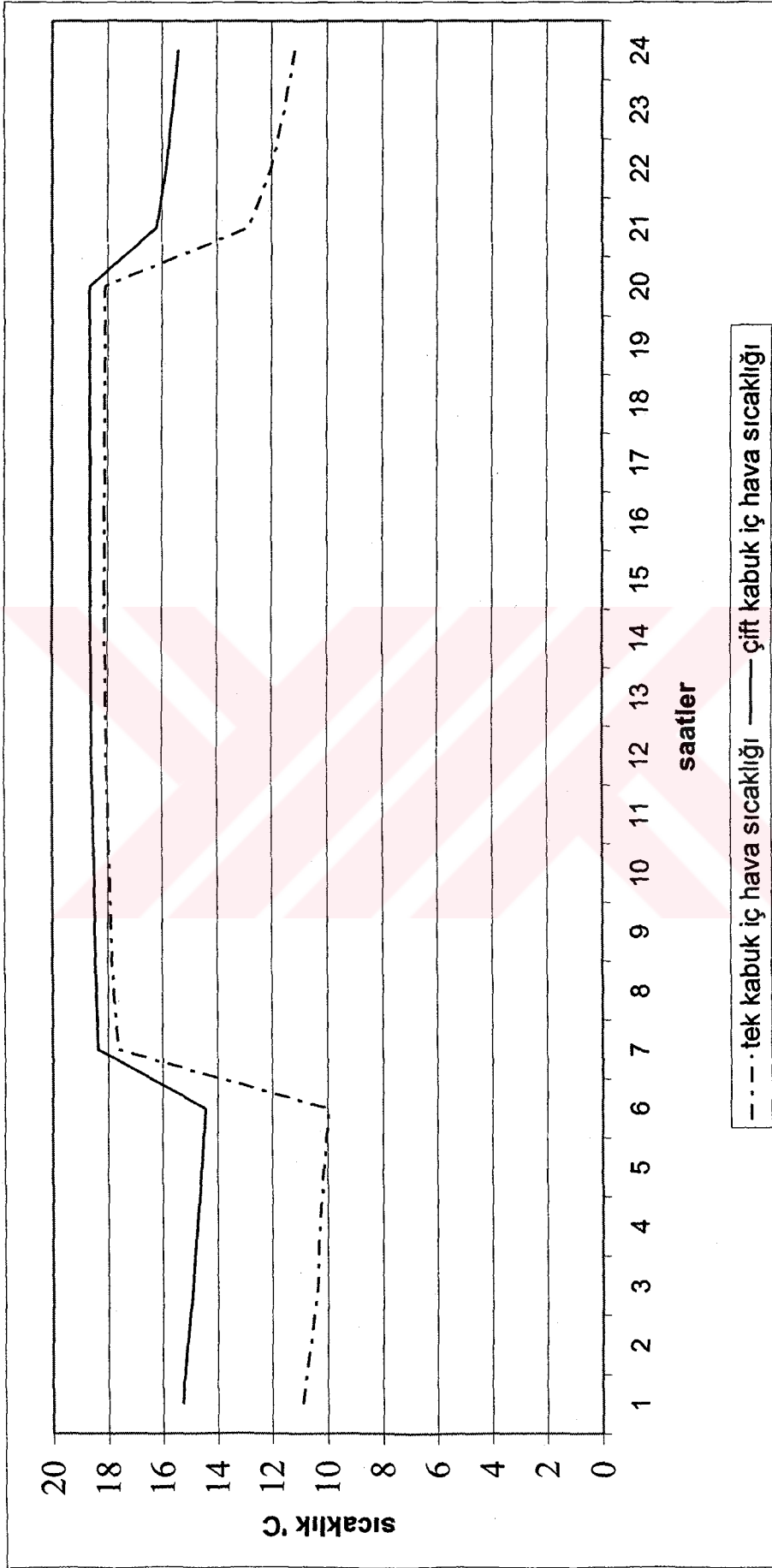
Şekil A.23. F&F1 alternatifi için güney yönü tek kabuk ve çift kabuk opak bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi



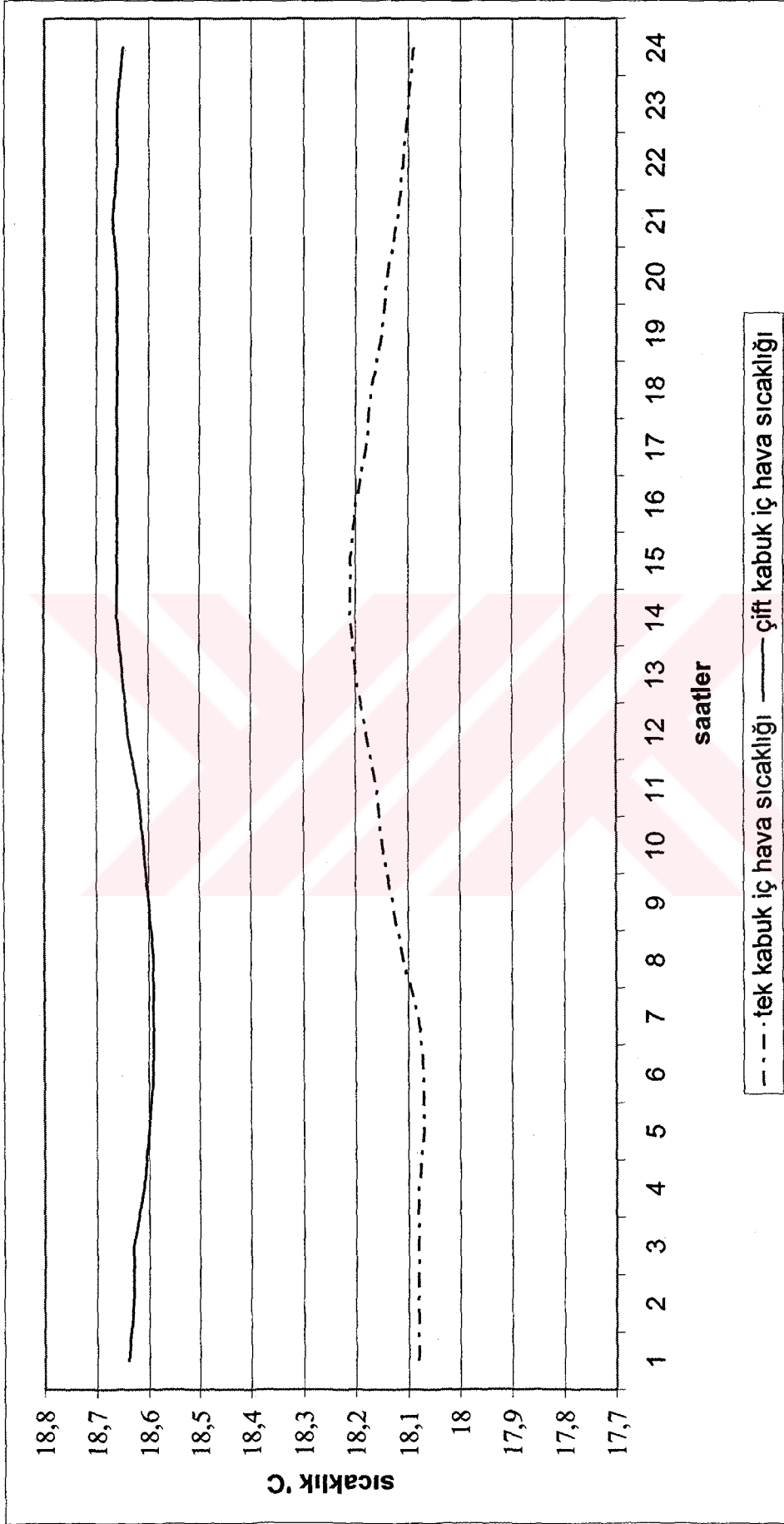
Şekil A.24. F&F1 alternatifi için batı yönü tek kabuk ve çift kabuk opak bileşen iç yüzey sıcaklık değişimi



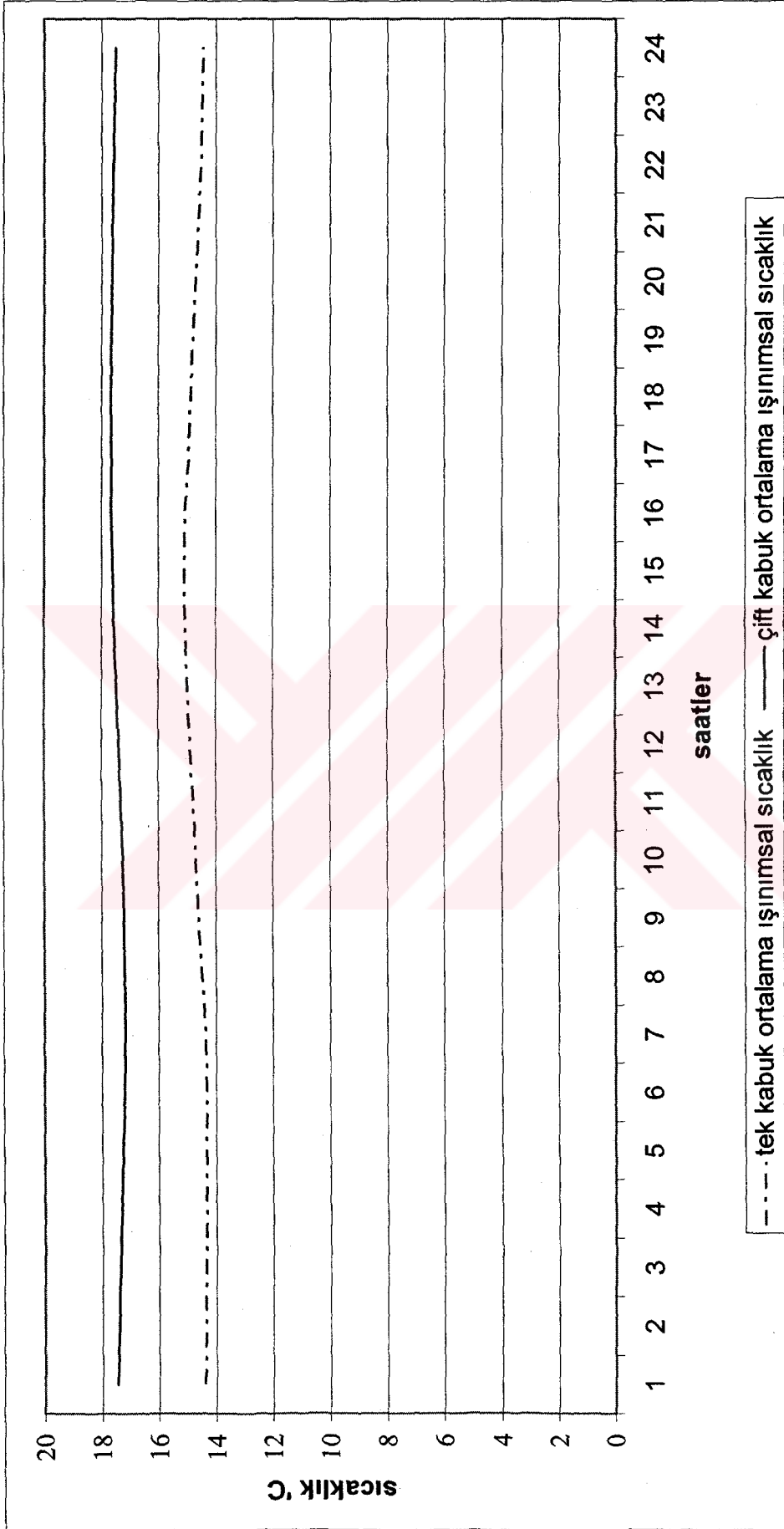
Şekil A.25. B&B1 alternatifi için tek kabuk ve çift kabuk iç hava sıcaklık değişimi



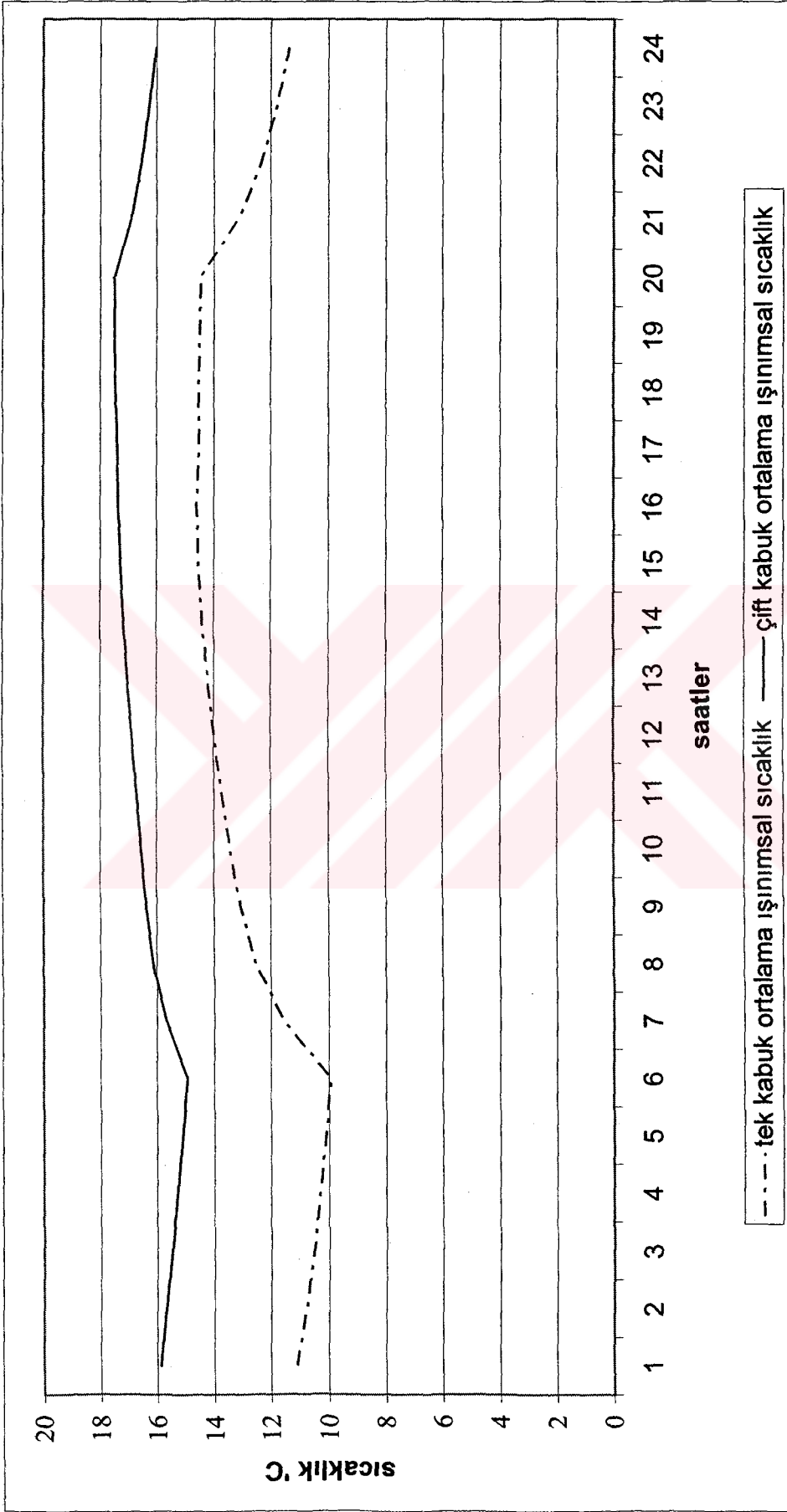
Şekil A.26. C&C1 alternatifi için tek kabuk ve çift kabuk iç hava sıcaklık değişimi



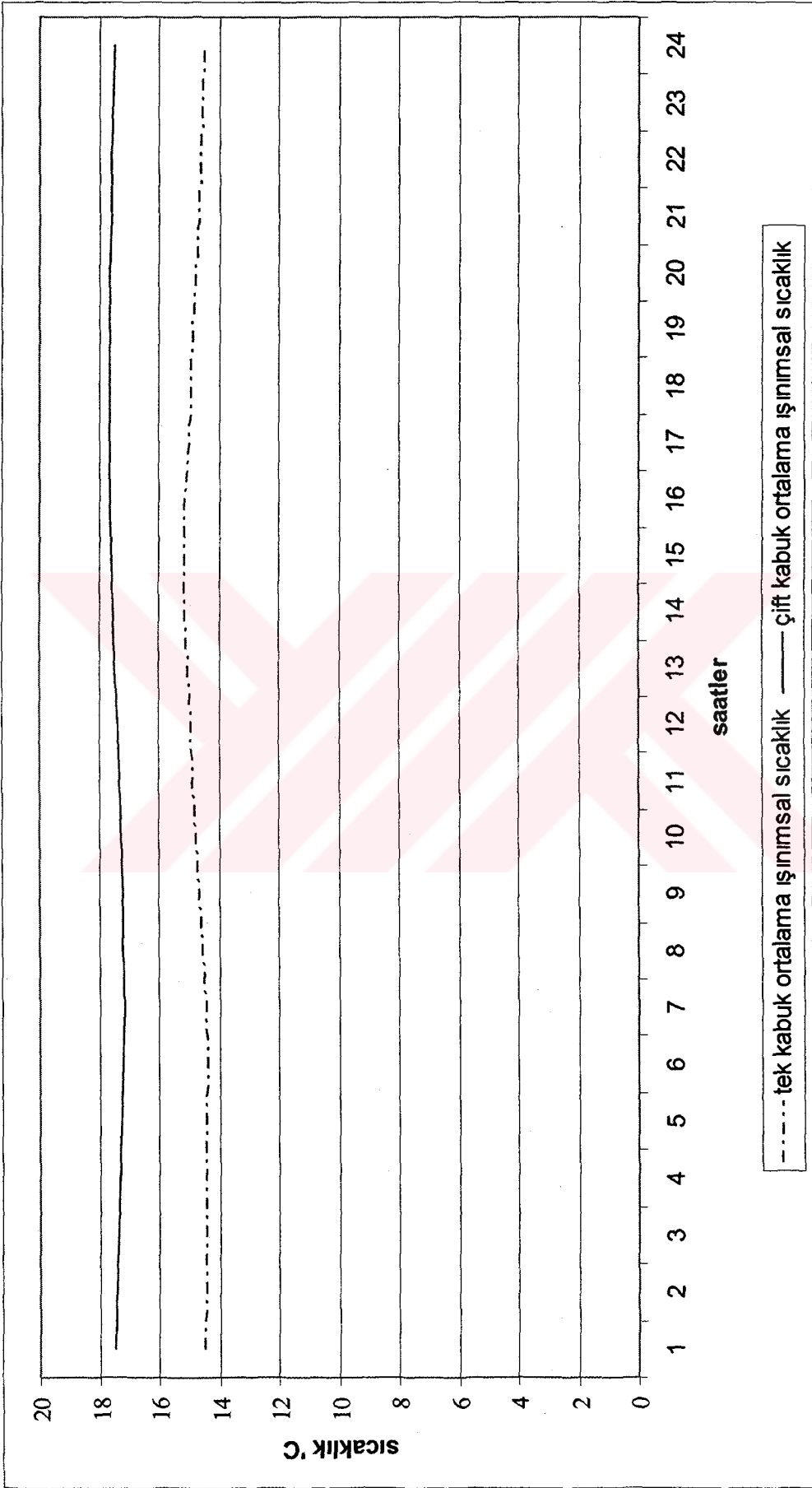
Şekil A.27. D&D1 alternatifi için tek kabuk ve çift kabuk iç hava sıcaklık değişimi



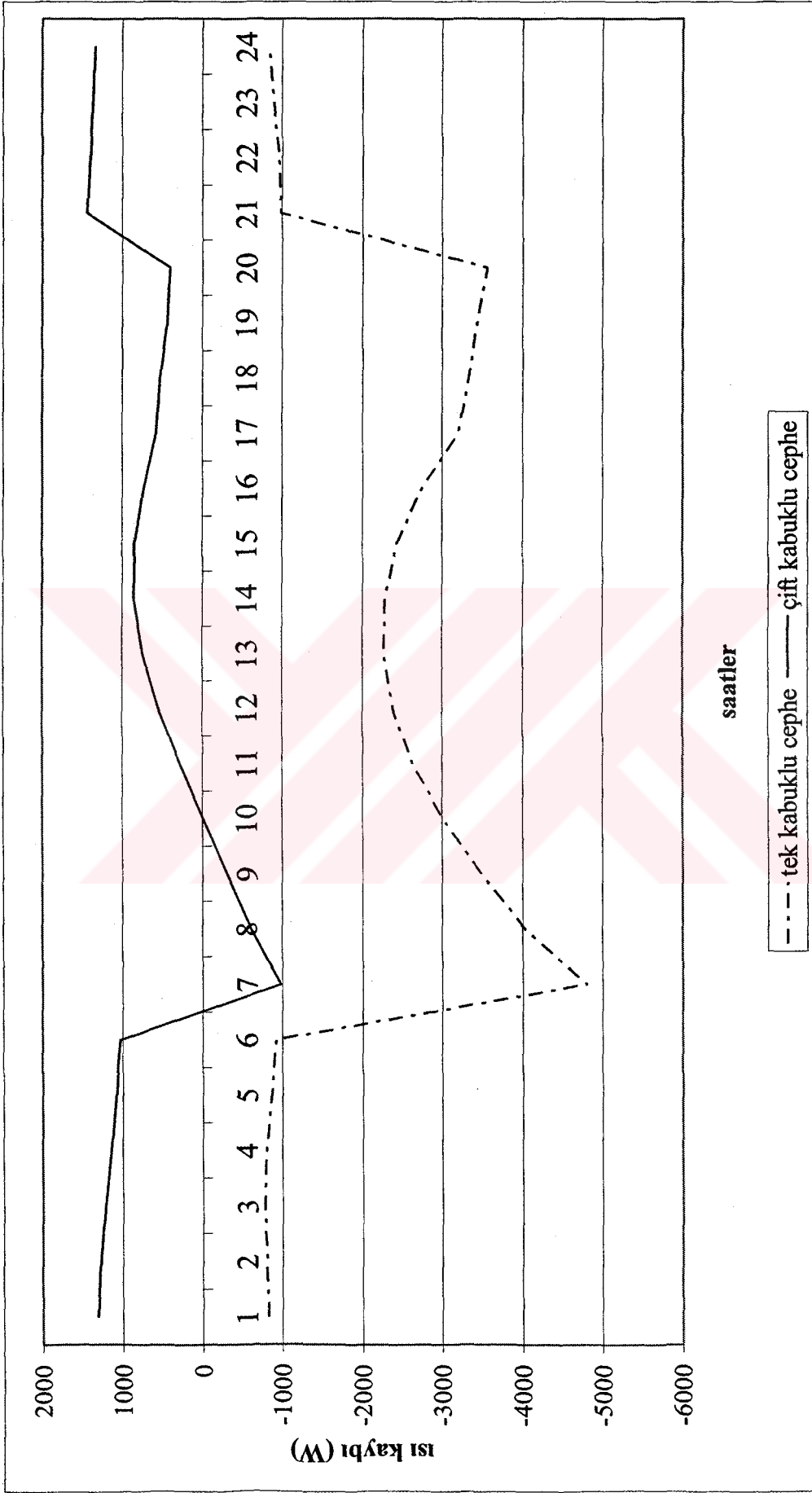
Şekil A.28. B&B1 alternatifi için tek kabuk ve çift kabuk ortalama ışımsal sıcaklık değişimi



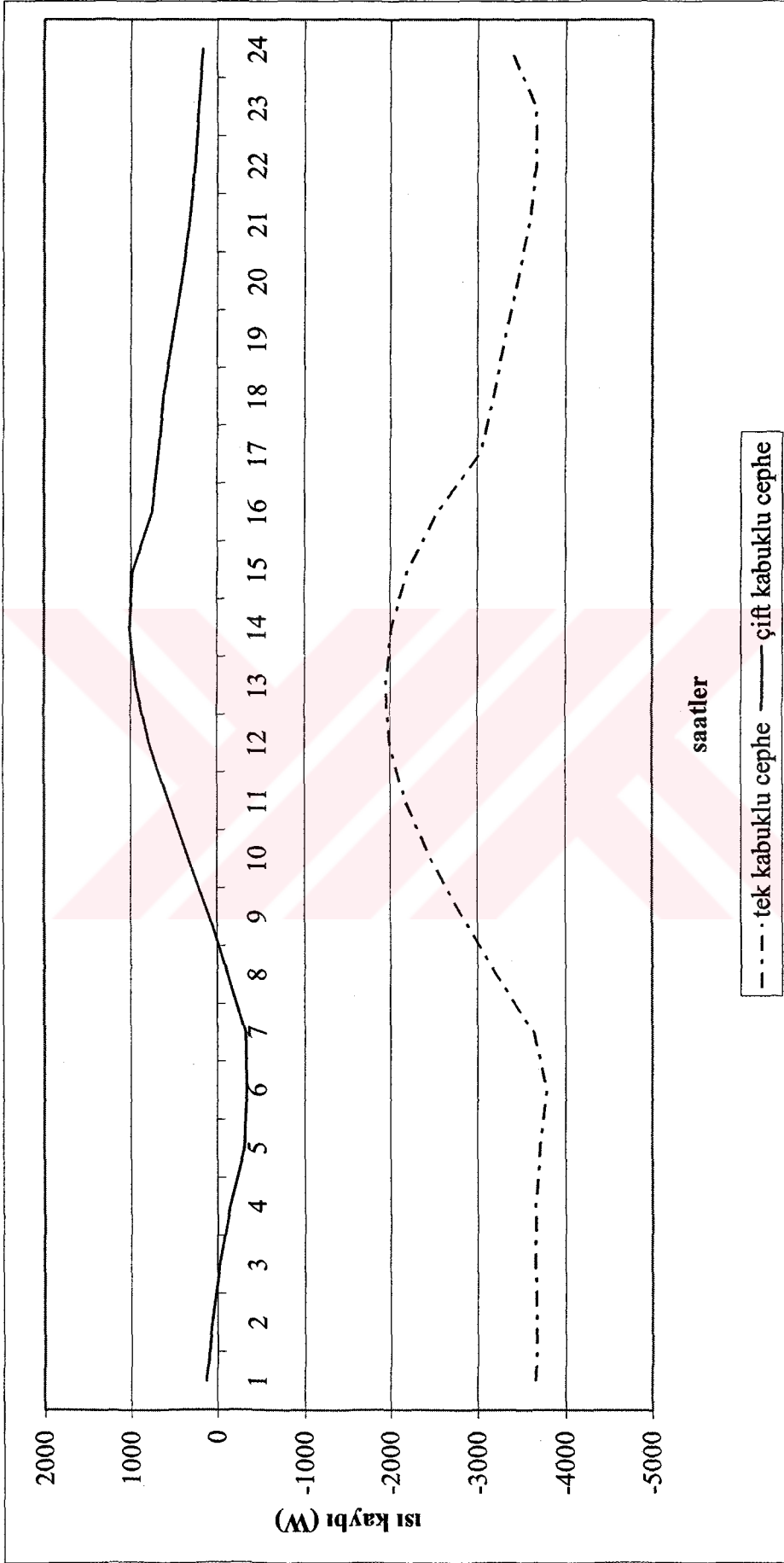
Şekil A.29. C&C1 alternatifi için tek kabuk ve çift kabuk ortalama ışımsal sıcaklık değişimi



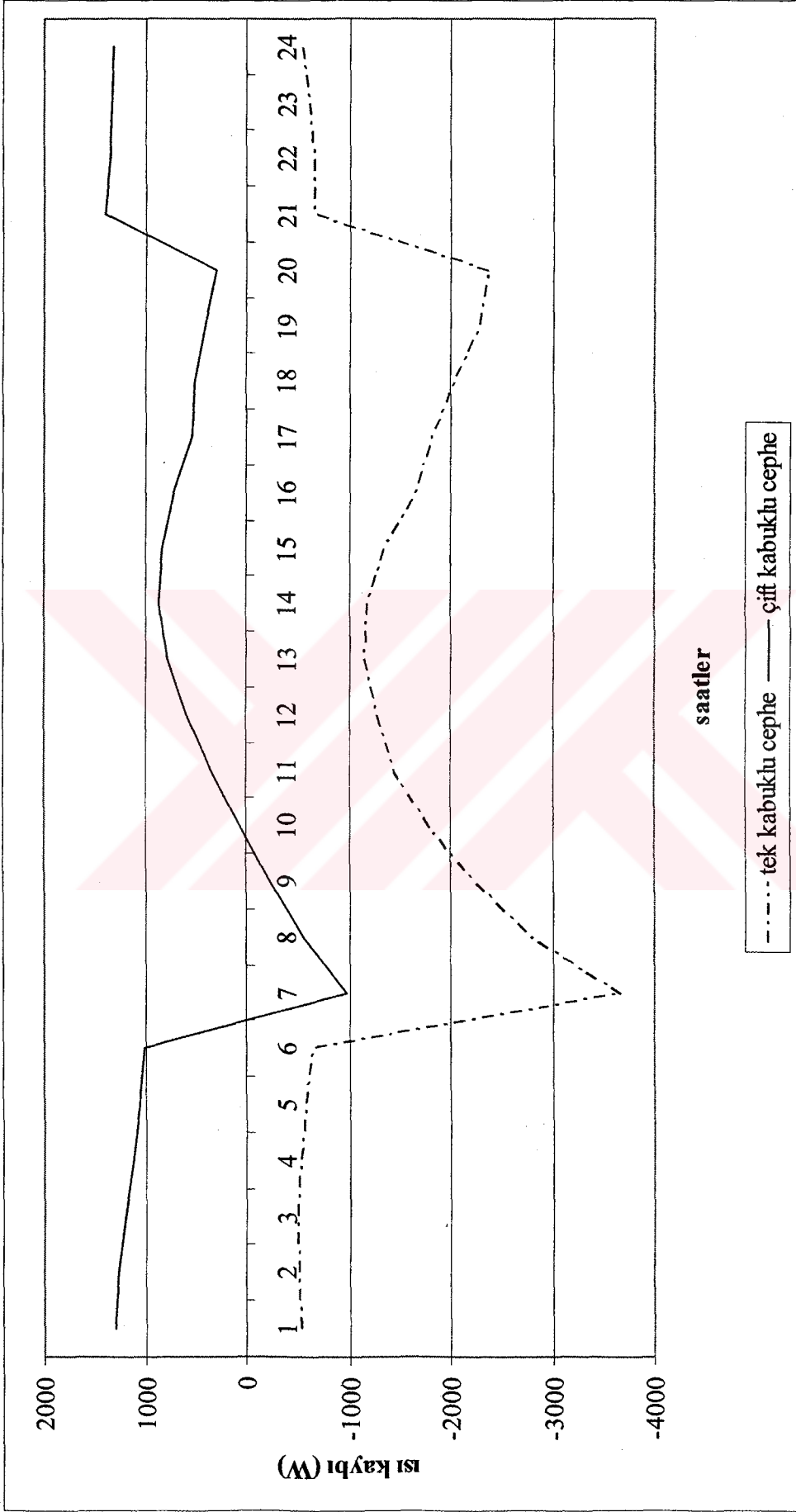
Şekil A.30. D&D1 alternatifi için tek kabuk ve çift kabuk ortalama ışımsal sıcaklık değişimi



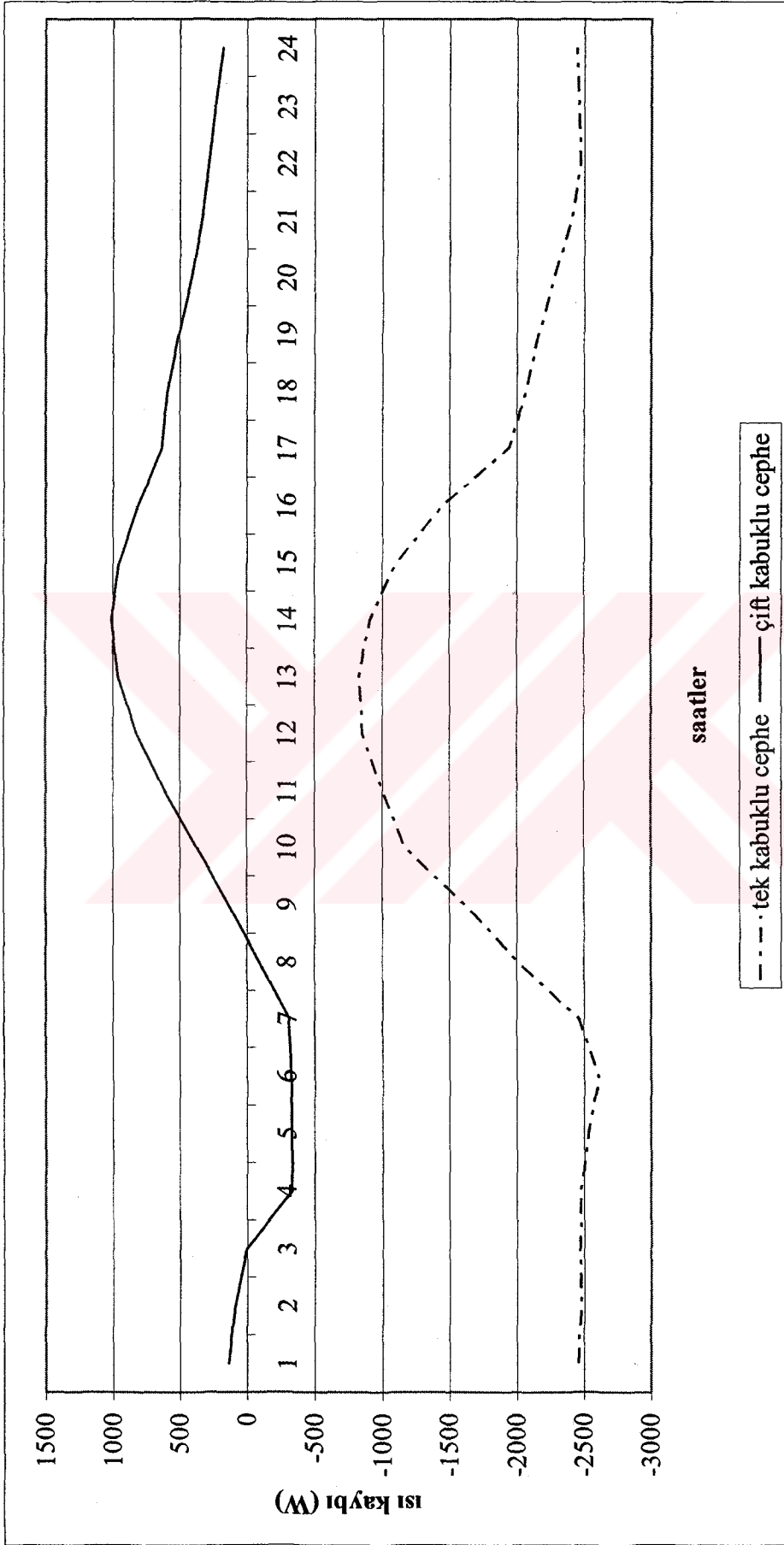
Şekil A.31. A&A1 alternatifi için güney yönü tek kabuk ve çift kabuk ısı kaybı değişimi



Şekil A.32. B&B1 alternatifi için güney yönü tek kabuk ve çift kabuk ısı kaybı değişimi



Şekil A.33. C&C1 alternatifi için güney yönü tek kabuk ve çift kabuk ısı kaybı değişimi



Şekil A.34. D&D1 alternatifi için güney yönü tek kabuk ve çift kabuk ısı kaybı değişimi

ÖZGEÇMİŞ

Kemal Ferit Çetintaş, 1978 yılında İstanbul'da doğdu. Orta öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 1998 yılında Beykent Üniversitesi Mimarlık Fakültesinde başladığı yüksek öğrenimini 2002 yılında bölüm ikinciliği derecesi ile tamamladı. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Kontrolü ve Yapı teknolojisi programında yüksek lisans eğitimine başladı.

