

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OPAK, İNORGANİK CEPHE KAPLAMA MALZEMELERİ VE UYGULAMA
YÖNTEMLERİNİN BİNA ENERJİ PERFORMANSINA ETKİLERİ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burçin BALIKÇI

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı

TEMMUZ 2020

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OPAK, İNORGANİK CEPHE KAPLAMA MALZEMELERİ VE UYGULAMA
YÖNTEMLERİNİN BİNA ENERJİ PERFORMANSINA ETKİLERİ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Burçin BALIKÇI
(502171522)**

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hülya KUŞ

TEMMUZ 2020

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü’nün 502171522 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Burçin BALIKÇI, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “OPAK, İNORGANİK CEPHE KAPLAMA MALZEMELERİ VE UYGULAMA YÖNTEMLERİNİN BİNA ENERJİ PERFORMANSINA ETKİLERİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Hülya KUŞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Gülten MANİOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Esmâ MIHLAYANLAR
Trakya Üniversitesi

Teslim Tarihi : 15 Haziran 2020
Savunma Tarihi : 16 Temmuz 2020





Aileme,



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimimin ilk gününden itibaren bana yol gösteren, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşıp tez çalışmamda büyük destek olan çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. Hülya KUŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez hazırlık sürecimde ihtiyacım olan bilgilerin temin edilmesi konusunda bana yardımcı olan İstanbul ili Beşiktaş, Beylikdüzü, Beyoğlu, Kadıköy, Kağıthane, Şişli, Zeytinburnu İlçe Belediyeleri İmar ve Şehircilik Müdürlükleri çalışan ve yetkililerine katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Hayatım boyunca yanımda olan, sevgi, fedakarlık ve sabırları ile bana destek ve güç veren sevgili annem Nazan BALIKÇI, babam Bekir BALIKÇI, ablam Ayçin BALIKÇI ÖZDENİZ, eniştem Ersen ÖZDENİZ, teyzem Doç. Dr. Neslihan BEYAZIT ve motivasyon kaynağım yeğenim Ada ÖZDENİZ'e sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca, bu süreçte bana destek olan tüm yakın arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu çalışmanın, cephe kaplama malzemeleri ve uygulamalarının bina enerji performansına etkisi konusunda ileride yapılacak çalışmalara örnek bir yaklaşım sunarak katkı sağlamasını dilerim.

Temmuz 2020

Burçin BALIKÇI
(Mimar)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xxi
ÖZET	xxiii
SUMMARY	xxvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç	2
1.2 Kapsam.....	3
1.3 Yöntem	4
1.4 Hipotez	5
2. BİNALARDA ENERJİ PERFORMANSI	7
2.1 Isıtma ve Soğutma Kaynaklı Enerji Tüketimi-Enerji Performansı İlişkisi	8
2.1.1 Enerji yükleri.....	8
2.1.1.1 Isıtma yükü.....	9
2.1.1.2 Soğutma yükü	9
2.1.2 Enerji Transferi	10
2.1.2.1 İletim (kondüksiyon).....	10
2.1.2.2 Taşınım (konveksiyon).....	11
2.1.2.3 Işınım (radyasyon)	11
2.2 Binalarda Enerji Performans Parametreleri.....	12
2.2.1 Kütlesel Tasarım Kararları.....	12
2.2.1.1 Bina formu	13
2.2.1.2 Bina yüksekliği	13
2.2.1.3 Bina yönelimi	13
2.2.1.4 Cephe kaplama boşluk-doluluk oranı.....	14
2.2.2 Yapısal tasarım kararları	15
2.2.2.1 Cephe kaplama malzemesi seçimi	16
2.2.2.2 Cephe kaplama malzemesinin uygulama yöntemi seçimi	16
2.2.3 Çevresel etmenler.....	18
2.2.3.1 Atmosferik etmenler	19
2.2.3.2 Biyolojik etmenler.....	21
2.2.3.3 Kimyasal etmenler	21
2.2.3.4 Mekanik etmenler	21
2.3 Design Builder Benzetim Programı ile Enerji Performans Değerlendirmesi... 21	
3. CEPHE KAPLAMA MALZEMESİ VE UYGULAMA YÖNTEMLERİ	23
3.1 Cephe Kaplama Malzemelerinin Sınıflandırılması	24
3.2 Cephe Kaplama Malzemelerinin Özellikleri	26

3.2.1 Karakteristik özellikler	26
3.2.1.1 İç yapı.....	26
3.2.1.2 Yoğunluk.....	27
3.2.1.3 Porozite.....	27
3.2.1.4 Isıl iletkenlik.....	28
3.2.1.5 Özgül ısı	29
3.2.1.6 Isıl geçirgenlik direnci.....	30
3.2.1.7 Buhar difüzyon direnci.....	31
3.2.2 Yüzey özellikleri	31
3.2.2.1 Pürüzlülük	31
3.2.2.2 Emicilik	31
3.2.2.3 Yüzey rengi	32
3.2.2.4 Yüzey dokusu.....	32
3.3 Cephe Kaplama Malzemelerinin Uygulama Yöntemleri	33
3.3.1 Sürekli temas ile uygulama	33
3.3.2 Noktasal tespit ile asılarak uygulama.....	34
3.3.2.1 Havalandırılarak asılan uygulama.....	34
3.3.2.2 Havalandırılmadan asılan uygulama	38
3.4 Opak, İnorganik Cephe Kaplama Malzemeleri ve Uygulama Yöntemleri	38
3.4.1 Doğal taş cephe kaplama malzemeleri.....	39
3.4.1.1 Sınıflandırma.....	39
3.4.1.2 Malzemeler.....	40
3.4.1.3 Uygulama yöntemleri.....	41
3.4.2 Metal esaslı cephe kaplama malzemeleri	44
3.4.2.1 Sınıflandırma	44
3.4.2.2 Malzemeler	45
3.4.2.3 Uygulama yöntemleri.....	46
3.4.3 Kil esaslı cephe kaplama malzemeleri	49
3.4.3.1 Sınıflandırma.....	49
3.4.3.2 Malzemeler.....	49
3.4.3.3 Uygulama yöntemleri.....	50
3.4.4 Çimento esaslı cephe kaplama malzemeleri.....	53
3.4.4.1 Sınıflandırma	53
3.4.4.2 Malzemeler.....	54
3.4.4.3 Uygulama yöntemleri.....	54
4. LİTERATÜR ÖZETİ	57
4.1 Benzetim Programı ile Hesaplama Çalışmaları.....	57
4.2 Sayısal Hesaplama Çalışmaları	65
4.3 Deneysel Ölçme Çalışmaları	68
4.4 Deneysel Ölçme ve Benzetim Programı ile Hesaplama Çalışmaları	76
4.5 Deneysel Ölçme ve Sayısal Hesaplama Çalışmaları	82
4.6 Literatür Derleme Çalışmaları.....	84
4.7 Genel Değerlendirme.....	85
4.7.1 Benzer Özellikler.....	87
4.7.2 Özgün sonuçlar.....	88
4.7.3 Ortak sonuçlar	89
5. OPAK, İNORGANİK CEPHE KAPLAMA MALZEMELERİ VE	
UYGULAMA YÖNTEMLERİNİN BİNA ENERJİ PERFORMANSINA	
ETKİLERİNİN BENZETİM PROGRAMI ARACILIĞI İLE İNCELENMESİ	
.....	91

5.1 Benzetim Çalışmalarına Ön Hazırlık	92
5.1.1 Bina modeli için referans veri tabanının oluşturulması	92
5.1.1.1 Proje incelemeleri	93
5.1.1.2 Programdaki bazı değişkenlerin kabulü ve tanımlanması.....	94
5.1.2 Kütlesel ve yapısal tasarım kararlarının verilmesi için ön benzetim hesaplamaları	96
5.1.2.1 Bina formu	97
5.1.2.2 Bina yüksekliği	99
5.1.2.3 Bina yönelimi	100
5.1.2.4 Cephe boşluk-doluluk oranı	101
5.1.2.5 Duvar ısı yalıtım katmanı.....	103
5.1.2.6 Havalandırma boşluğu genişliği.....	105
5.1.2.7 Cephe kaplama malzemesi kalınlığı.....	110
5.1.2.8 Ön benzetim çalışmalarının genel değerlendirilmesi.....	112
5.1.3 Cephe kaplama malzemelerinin özgün özelliklerinin derlenmesi	114
5.2 Benzetim Programının Çalıştırılması, Sonuçlar ve Değerlendirme	116
5.2.1 Doğal taş cephe kaplama malzemeleri.....	117
5.2.1.1 Sürekli temas (harç ile yüzeysel yapıştırma) ile uygulama.....	118
5.2.1.2 Havalandırılarak/havalandırılmadan asılan uygulama.....	120
5.2.1.3 Benzetim sonuçlarının değerlendirilmesi.....	121
5.2.2 Metal esaslı cephe kaplama malzemeleri.....	123
5.2.2.1 Metal kenet sistemi	124
5.2.2.2 Havalandırılarak asılan uygulama.....	125
5.2.2.3 Benzetim sonuçlarının değerlendirilmesi.....	127
5.2.3 Kil esaslı cephe kaplama malzemeleri	129
5.2.3.1 Sürekli temas (harç ile yüzeysel yapıştırma) ile uygulama.....	130
5.2.3.2 Havalandırılarak/havalandırılmadan asılan uygulama.....	131
5.2.3.3 Benzetim sonuçlarının değerlendirilmesi.....	133
5.2.4 Çimento esaslı cephe kaplama malzemeleri	134
5.2.4.1 Sürekli temas (doğrudan sürülerek) ile uygulama	135
5.2.4.2 Havalandırılarak/havalandırılmadan asılan uygulama.....	137
5.2.4.3 Benzetim sonuçlarının değerlendirilmesi.....	138
5.3 Benzetim Sonuçları ve Genel Değerlendirme	139
6. SONUÇ	143
KAYNAKLAR	147
EKLER	157
ÖZGEÇMİŞ.....	189



KISALTMALAR

ASHREA	: American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers
BES	: Building Energy Simulation
BS	: British Standards
CFD	: Computational Fluid Dynamics
CTP	: Cam Lifli Polimer Levha
EİGM	: Enerji İşleri Genel Müdürlüğü
EPS	: Genleştirilmiş Polistren Köpük
ESP-r	: Environmental Systems Performance-Research
ETICS	: Dıştan Isı Yalıtımlı Kompozit Sistemler
ETAG	: European Technical Approval Guideline
GBS	: Green Building Studio
HVAC	: Heating, Ventilating and Air Conditioning
IES-VE	: Integrated Environmental Solutions
ISO	: International Organization for Standardization
İMSAD	: İnşaat Malzemesi Sanayicileri Derneği
PC	: Polikarbonat
PMMA	: Polimetil Metakrilat
PP	: Polipropilen
PVA	: Polivinil Alkol
TRNSYS	: Transient System Simulation Tool
TS	: Türk Standartı
WCED	: World Commission on Environment and Development
XPS	: Haddeden Çekilmiş Polistren Köpük



SEMBOLLER

°C	: Santigrat
c	: Özgöl ısı
cm	: Santimetre
CoP	: Performans Katsayısı
CO₂	: Karbondioksit
kg	: Kilogram
kWh	: KiloWatt Saat
m	: Metre
m²	: Metrekare
m³	: Metreküp
mm	: Milimetre
U	: Isıl Geçirgenlik Katsayısı
U_D	: Dış Duvar Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı
U_T	: Tavan Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı
U_t	: Zemine Oturan Döşeme Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı
U_P	: Pencere Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı
R	: Isıl Direnç
SO₃	: Kükürt Tri Oksit
λ	: Isıl İletkenlik Katsayısı
μ	: Buhar Difüzyon Direnç Faktörü



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 :	İç yapılarına göre cephe kaplama malzemeleri sınıflandırması	24
Çizelge 3.2 :	Işık geçirgenliklerine göre cephe kaplama malzemeleri sınıflandırması	24
Çizelge 3.3 :	TS 825'e göre 2.bölge için en fazla U-değerleri	30
Çizelge 3.4 :	Çeşitli renklerin ışık yansımaları yüzdeleri	32
Çizelge 4.1 :	Araştırma yöntemlerine göre literatür çalışmaları.....	57
Çizelge 4.2 :	Benzetim programı ile hesaplama çalışmalarının kapsamı.....	58
Çizelge 4.3 :	Sayısal hesaplama çalışmalarının kapsamı	66
Çizelge 4.4 :	Deneysel ölçme çalışmalarının kapsamı	68
Çizelge 4.5 :	Deneysel ölçme ve benzetim programı ile hesaplama çalışmalarının kapsamı.....	76
Çizelge 4.6 :	Deneysel ölçme ve sayısal hesaplama çalışmalarının kapsamı.....	82
Çizelge 4.7 :	Literatür derleme çalışmalarında ele alınan konu başlıkları	84
Çizelge 4.8 :	Özgün çalışmalarda kullanılan cephe sistemlerinin prensip kesitleri	86
Çizelge 5.1 :	Doldurulmuş, örnek bir proje analiz formu.....	93
Çizelge 5.2 :	Bina formu çalışmasının model verileri	98
Çizelge 5.3 :	Bina formuna göre benzetim sonuçları	98
Çizelge 5.4 :	Bina yüksekliği çalışması model verileri	99
Çizelge 5.5 :	Bina yüksekliğine bağlı olarak benzetim sonuçları.....	100
Çizelge 5.6 :	Bina yönelimi çalışması model verileri.....	100
Çizelge 5.7 :	Bina yönelim çalışması benzetim sonuçları	101
Çizelge 5.8 :	Cephe boşluk-doluluk oranı çalışması model verileri	102
Çizelge 5.9 :	Cephe boşluk-doluluk oranı benzetim sonuçları	102
Çizelge 5.10 :	Duvar ısı yalıtımı katmanı çalışması model verileri	103
Çizelge 5.11 :	Binada ısı yalıtımı varlığı ve kalınlığına göre benzetim sonuçları... ..	104
Çizelge 5.12 :	Uygulamalarda kullanılan hava boşluğu genişlikleri	105
Çizelge 5.13 :	Hava boşluğu genişliği çalışmasında kullanılan benzetim modeli... ..	106
Çizelge 5.14 :	İstanbul ikliminde havalandırılarak ve havalandırılmadan asılan uygulamaların hava boşluğu genişliklerine göre enerji yükleri	107
Çizelge 5.15 :	Antalya ikliminde havalandırılarak ve havalandırılmadan asılan uygulamaların hava boşluğu genişliklerine göre enerji yükleri	109
Çizelge 5.16 :	Erzurum ikliminde havalandırılarak ve havalandırılmadan asılan uygulamaların hava boşluğu genişliklerine göre enerji yükleri	110
Çizelge 5.17 :	Cephe kaplama malzemesi kalınlığı çalışmasında kullanılan benzetim modeli.....	111
Çizelge 5.18 :	Seramik cephe kaplama malzemesinin farklı kalınlık uygulamaları enerji yükleri.....	112
Çizelge 5.19 :	Doğal taş malzemelerde programa tanımlanan özellikler	114
Çizelge 5.20 :	Metal malzemelerde programa tanımlanan özellikler	115
Çizelge 5.21 :	Kil esaslı malzemelerde programa tanımlanan özellikler	115
Çizelge 5.22 :	Çimento esaslı malzemelerde programa tanımlanan özellikler.....	116

Çizelge 5.23 : Opak, inorganik cephe kaplama malzemeleri benzetimlerinde kullanılan bina modeli verileri.....	116
Çizelge 5.24 : Doğal taş cephe kaplama malzemelerinin sürekli temas yöntemi ile uygulanması sonucu oluşan enerji yükleri.....	119
Çizelge 5.25 : Doğal taş cephe kaplama malzemelerinin havalandırılarak ve havalandırılmadan asılma yöntemi ile uygulanması sonucu oluşan enerji yükleri.....	120
Çizelge 5.26 : Doğal taş cephe kaplama malzemeleri yıllık en düşük ve en yüksek enerji yükleri, kWh.....	121
Çizelge 5.27 : Titanyum-çinko cephe kaplama malzemesinin kenet sistem ile uygulanması sonucu oluşan enerji yükleri.....	124
Çizelge 5.28 : Titanyum-çinko cephe kaplama malzemesinin havalandırılarak asılan uygulanması sonucu oluşan enerji yükleri.....	126
Çizelge 5.29 : Metal cephe kaplama malzemesi yıllık en düşük ve en yüksek enerji yükleri, kWh.....	127
Çizelge 5.30 : Kil esaslı cephe kaplama malzemelerinin sürekli temas yöntemi ile uygulanması sonucu oluşan enerji yükleri.....	130
Çizelge 5.31 : Kil esaslı cephe kaplama malzemelerinin havalandırılarak ve havalandırılmadan asılan uygulanması sonucu oluşan enerji yükleri	132
Çizelge 5.32 : Kil esaslı cephe kaplama malzemesi yıllık en düşük ve en yüksek enerji yükleri, kWh.....	133
Çizelge 5.33 : Çimento esaslı cephe kaplama malzemesinin sürekli temas ile uygulanması sonucu oluşan enerji yükleri.....	136
Çizelge 5.34 : Çimento esaslı cephe kaplama malzemelerinin havalandırılarak ve havalandırılmadan asılan uygulanması sonucu oluşan enerji yükleri	137
Çizelge 5.35 : Çimento esaslı cephe kaplama malzemesi yıllık en düşük ve en yüksek enerji yükleri, kWh.....	138
Çizelge 5.36 : Cephe kaplama malzemesi ve uygulama yöntemleri karşılaştırılmalı enerji yükü azalış oranları.....	141
Çizelge A : Proje verileri genel bilgiler	158
Çizelge B : Çatı ve döşeme katmanlaşmaları proje verileri.....	160
Çizelge C : Duvar katmanlaşmaları proje verileri.....	164
Çizelge D.1 : Granit malzeme özellikleri	166
Çizelge D.2 : Mermer malzeme özellikleri.....	168
Çizelge D.3 : Traverten malzeme özellikleri	170
Çizelge D.4 : Bazalt malzeme özellikleri	171
Çizelge D.5 : Kumtaşı malzeme özellikleri.....	172
Çizelge D.6 : Kireçtaşı malzeme özellikleri	173
Çizelge D.7 : Andezit malzeme özellikleri	174
Çizelge E.1 : Çinko ve alaşımları malzeme özellikleri	175
Çizelge E.2 : Titanyum-çinko malzeme özellikleri	176
Çizelge E.3 : Alüminyum malzeme özellikleri	177
Çizelge E.4 : Titanyum ve alaşımları malzeme özellikleri.....	178
Çizelge E.5 : Bakır ve alaşımları malzeme özellikleri	179
Çizelge E.6 : Çelik malzeme özellikleri	180
Çizelge E.7 : Paslanmaz çelik malzeme özellikleri	181
Çizelge F.1 : Prese tuğla malzeme özellikleri	182
Çizelge F.2 : Klinker kaplama tuğla malzeme özellikleri	183

Çizelge F.3 : Porselen malzeme özellikleri	184
Çizelge F.4 : Seramik malzeme özellikleri.....	185
Çizelge G.1 : Isı yalıtım sıvası malzeme özellikleri.....	186
Çizelge G.2 : Lifli çimento levha malzeme özellikleri.....	187





ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 :	Enerji transferleri.....	10
Şekil 2.2 :	Güneş ışıınımı etkisi.....	11
Şekil 2.3 :	Binalarda enerji performans parametreleri.....	12
Şekil 2.4 :	Farklı dönemlerde güneşin konumu.....	14
Şekil 2.5 :	Bina kabuğu ve çevresel etmenler.....	19
Şekil 3.1 :	Sürekli temas ile uygulama yöntemi	34
Şekil 3.2 :	Havalandırılarak asılan uygulama yöntemi.....	35
Şekil 3.3 :	Havalandırılmalı cephe çalışma prensibi.....	35
Şekil 3.4 :	Havalandırılmalı cephe hava giriş ve çıkış noktaları.....	36
Şekil 3.5 :	Kapalı derz (sürekli).....	36
Şekil 3.6 :	Açık derz (süreksiz).....	37
Şekil 3.7 :	Havalandırılmadan asılan uygulama yöntemi	38
Şekil 3.8 :	Doğal taş türleri sınıflandırması.....	39
Şekil 3.9 :	Cephede yaygın kullanılan taşlar	40
Şekil 3.10 :	Doğal taş kaplamaları metal alt konstrüksiyona asılma ile uygulama perspektifleri.....	42
Şekil 3.11 :	Metal türleri sınıflandırması.....	44
Şekil 3.12 :	Cephelerde yaygın kullanılan metaller.....	45
Şekil 3.13 :	Kenet sistem perspektifleri.....	47
Şekil 3.14 :	Metal esaslı malzeme örnekleri	48
Şekil 3.15 :	Asılarak uygulanan metal kaplama kesit ve uygulama örnekleri.....	48
Şekil 3.16 :	Cephelerde yaygın kullanılan kil esaslı malzemeler	49
Şekil 3.17 :	Prese tuğla havalandırma tuğlası.....	52
Şekil 3.18 :	Tuğla asılarak uygulama	52
Şekil 3.19 :	Kanallı levha üzerine geçme yöntemi kesit.....	52
Şekil 3.20 :	Çimento esaslı malzeme türleri	53
Şekil 3.21 :	Cephelerde yaygın kullanılan çimento esaslı malzemeler	54
Şekil 3.22 :	Dıştan ısı yalıtımlı sıvalı kompozit sistem (ETICS) uygulaması	55
Şekil 3.23 :	Lifli çimento levha perçinli sistem.....	56
Şekil 4.1 :	Çift hava boşluklu bir cephede hava boşluğunun yaz ve kış dönemlerinde çalışma prensipleri.....	63
Şekil 4.2 :	Havalandırılarak asılan çinko-titanyum ve seramik (terracotta) kaplamalı cepheler	73
Şekil 4.3 :	Havalandırma deliklerinin boyutları ve sayılarına göre havalandırılarak asılan tuğla kaplamalı cephe modelleri	78
Şekil 5.1 :	Kütlesel tasarım parametreleri için seçenekler.....	97
Şekil 5.2 :	Yapısal tasarım parametreleri için seçenekler.....	97
Şekil 5.3 :	Farklı uygulamalarla doğal taş cephe kaplama plan ve perspektif çizimler.....	118
Şekil 5.4 :	Sürekli temas ile uygulanan doğal taş cephe kaplama çalışması dış duvar kesit	118

Şekil 5.5 :	Asılarak uygulanan doğal taş cephe kaplama çalışması dış duvar kesit	120
Şekil 5.6 :	Doğal taş cephe kaplama benzetim sonuçları.....	122
Şekil 5.7 :	Farklı uygulamalarla metal cephe kaplama plan ve perspektif çizimleri.....	123
Şekil 5.8 :	Kenet sistem ile uygulanan metal cephe kaplama çalışması dış duvar kesit	124
Şekil 5.9 :	Havalandırılarak asılma ile uygulanan metal cephe kaplama çalışması duvar kesit	125
Şekil 5.10 :	Metal cephe kaplama benzetim sonuçları.....	128
Şekil 5.11 :	Farklı uygulamalarla kil cephe kaplama plan ve perspektif çizimler...	129
Şekil 5.12 :	Sürekli temas ile uygulanan kil esaslı cephe kaplama çalışması dış duvar kesit	130
Şekil 5.13 :	Sırasıyla havalandırılarak ve havalandırılmadan asılan kil esaslı cephe kaplama çalışması dış duvar kesit.	131
Şekil 5.14 :	Havalandırılmadan asılma ile uygulanan klinker tuğla cephe kaplama çalışması dış duvar kesit.....	132
Şekil 5.15 :	Kil esaslı cephe kaplama benzetim sonuçları.	134
Şekil 5.16 :	Farklı uygulamalarla çimento cephe kaplama plan ve perspektif çizimler.	135
Şekil 5.17 :	ETICS uygulaması plan ve perspektif çizimler.....	136
Şekil 5.18 :	Asılarak uygulanan çimento esaslı cephe kaplama çalışması dış duvar kesit	137
Şekil 5.19 :	Çimento esaslı cephe kaplama benzetim sonuçları	139
Şekil 5.20 :	Tüm çalışmanın en düşük ve en yüksek enerji yükleri.....	142

OPAK, İNORGANİK CEPHE KAPLAMA MALZEMELERİ VE UYGULAMA YÖNTEMLERİNİN BİNA ENERJİ PERFORMANSINA ETKİLERİ

ÖZET

Binalarda enerji korunumuna verilen önemin giderek artması, iç ve dış ortam koşulları arasında bir çevreleyici işlevi gören yapı kabuklarının genellikle en geniş yüzey alanına sahip olmasından dolayı binaların enerji tüketiminde önemli rol oynayan cephe sistemlerine odaklanmaya neden olmuştur. Cephe sistemlerinin pasif tasarım stratejileri ile doğal enerji akışlarından yararlanarak kurgulanması aktif sistemlere olan ihtiyacı azaltır. Bu bağlamda, enerji etkin çözümlerin öneminin giderek arttığı günümüzde, ısıtma ve soğutma kaynaklı enerji tüketimi için kullanılan aktif sistemlerin en aza indirgenmesi, yüksek enerji performanslı yapı kabuklarının oluşturulmasında büyük önem taşır.

Enerji etkin çözümler, bina ölçeğinde form, bina yüksekliği, yalıtım katmanı gibi kararlar; yapısal ölçekte malzeme, uygulama yöntemi kararları ve çevresel etmenlerin birlikte ele alınarak tasarlanmasıyla elde edilebilir. Özellikle, yapısal ölçekte cephe kaplama malzemeleri çevresel etmenlerle doğrudan temas halinde olarak enerji performansı ve uzun dönemde hizmet ömrünün şekillenmesinde etkin bir rol üstlenir. Bu bakış açısıyla yapılan tez çalışmasının amacı, cephe kaplama malzemeleri özellik ve uygulama yöntemlerinin binaların bütüncül enerji performansına olası etkilerinin araştırılmasıdır.

Tez çalışmasının kapsamı genel olarak; (i) referans kitaplardan konunun genel tanıtımı ve işlenmesi, (ii) cephe kaplama malzemeleri ve uygulama yöntemleri araştırmalarına odaklanan özgün literatür özeti ve derlemesi, (iii) mevcut bazı uygulanmış projelerden tipoloji çıkarılması, cephe malzemeleri ve özgün özelliklerinin araştırılması, (iv) benzetim çalışmaları ve değerlendirmeleri olarak özetlenebilir.

Özgün literatür derlemesi, özellikle, benzetim programları ile hesaplama ve deneysel ölçmeler olarak kullanılan araştırma yöntemleri ve cephe kaplama sistemi özelliklerine bağlı olarak sistematik bir şekilde ele alınmıştır.

Farklı coğrafi konumlarda yer alan cephe sistemlerinin; (i) havalandırma boşluklu asılan cephe kaplamaları sistem özellikleri dikkate alındığında havalandırma olup olmamasına göre, ve (ii) yüzeye sürülerek uygulanan sürekli temas eden cephe kaplama sistemlerinin davranışına bağlı olarak binaların enerji performansına etkilerinin araştırıldığı çalışmalarda benzer özellikler, özgün sonuçlar ve genellenen ortak sonuçlar irdelenmiştir. Yayınlar, genel olarak, hava boşluğunun boyutları, açık derzlerin varlığı ve hava deliklerinin özellikleri ile birlikte kaplama malzemelerinin özgün özelliklerinin etkinliğine dikkat çekilmiştir.

Referans kitaplar, standartlar ve firma kataloglarından yararlanılarak, cephe sistemleri öncelikle hava boşluklu ve hava boşluksuz olarak sınıflandırılmıştır. Cephe kaplama malzemelerinin uygulama yöntemleri, (i) noktasal tespit ile asılarak uygulananlar, ve

(ii) sürekli temas şeklinde sürülerek veya harç ile yapıştırılarak uygulananlar olarak ele alınarak incelenmiş, havalandırma olup olmamasına göre çalışma prensipleri açıklanmıştır. Opak, inorganik cephe kaplama malzemelerinin enerji performansı ile ilişkili karakteristik ve yüzey özellikleri (i) doğal taş, (ii) metal, (iii) kil, (iv) çimento esaslı malzemeler özelinde ayrıntılı olarak işlenmiştir.

Opak, inorganik cephe kaplama sistemleri ve uygulama yöntemlerinin bina enerji performansına etkilerini Türkiye'deki uygulamalar üzerinden çalışmak amacıyla öncelikle İstanbul ili için bir bina tipolojisi çalışması yapılmıştır. Bazı belediyelerden sağlanan belirli sayıdaki uygulanmış konut projeleri gözden geçirilerek, binaların kütleli tasarımı ve cephe sistemlerinin özellikleri belirlenmiş, benzetim programında kullanılacak bina modeli için referans veri tabanı oluşturulmuştur.

Benzetim çalışmalarında Design Builder programı kullanılmıştır. Programın etkin ve doğru kullanımı için çalışmada öncelikle bir hazırlık aşaması yer almıştır. Gerçeğe en yakın sonuçları verecek bazı kütleli ve yapısal kararları almak için ön benzetim çalışmaları yapılmış; bina formu, bina yüksekliği, bina yönelimi, cephe boşluk-doluluk oranı, duvar yalıtım katmanı, havalandırma boşluğu genişliği, cephe kaplama malzemesi kalınlığı gibi parametrelerin etkileri denenerek esas çalışma için en uygun bina modeline, en uygun parametrelere ve cephe sistem özelliklerine karar verilmiştir. Ayrıca, farklı havalandırma boşluğu genişliklerinde farklı iklimlerin havalandırılan ve havalandırılmayan cephelerdeki etkisini görmek ve tartışabilmek amacıyla ön benzetim çalışmaları yapılmıştır.

Ön denemeler sonucunda, dikdörtgen formda, 10 katlı, batı yönelimli, %40 cephe boşluk-doluluk oranlı ve 4 cm yalıtımlı bir model bina oluşturulmuştur. Yalıtım malzemeleri, uygulamalardaki kullanımlarına göre sürekli temas ile uygulanan sistemlerde EPS, asılarak uygulanan sistemlerde taşıyıcı olarak seçilmiştir. Çalışmada cephe kaplama malzemeleri ve uygulama yöntemlerinin bina enerji performansına etkisinin net görülebilmesi için referans kitaplar ve firma katalogları incelenerek, ısı yalıtım malzemelerinin ısıl iletkenlikleri eşdeğer olan örnekleri kullanılmıştır. Gerek literatür araştırmalarından edinilen bilgilere bağlı olarak gerekse yapılan ön benzetim çalışmalarıyla, hava boşluğu genişliğinin; havalandırılmadan asılan uygulamalar için 2,5 cm, havalandırılarak asılan uygulamalar için 10 cm olarak çalışılması uygun bulunmuştur. Benzetimde, yaygın kullanılan farklı tür ve özelliklerdeki cephe kaplama malzemeleri ve kalınlıklarının değerlendirilmesi ön görülmüştür.

Benzetim çalışmaları İstanbul ili iklim verileri ile yapılmış, model bina üzerinde yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri hesaplanmış, elde edilen sonuçlar farklı cephe sistemleri uygulamaları ve cephe kaplama malzemelerinin etkisine göre tartışılarak değerlendirilmiştir. Cephe sistemlerinde ısıl geçirgenliğin TS 825'te (Binalarda Isı Yalıtım Kuralları) verilen en fazla U-değerini sağlamış olmasına dikkat edilmiştir. Benzetimlerde, doğal taş malzemelerden; granit, mermer, traverten, bazalt, kumtaşı, kireçtaşı, andezit türlerinin düşük ve yüksek yoğunluklu çeşitleri; metal ve metal esaslı kaplama malzemelerinden alüminyum, titanyum, çinko, bakır, titanyum-çinko, çelik, paslanmaz çelik ve alüminyum kompozit levha; kil esaslı prese örme tuğla, klinker kaplama tuğla, seramik ve porselen; çimento esaslı kaplama malzemelerinden sıva (ETICS) ve lifli çimento levha çalışılmıştır.

Sonuç olarak, çalışmadaki iklim verilerine ve kabullere dayanarak, ayrıca, derlenen malzeme verileri kullanılarak; Design Builder ile yapılan benzetim hesaplamalarına göre; (i) doğal taş cephe kaplamaları uygulamalarında düşük yoğunluklu kireçtaşı ile havalandırılarak asılan uygulamalı sistemler; (ii) metal esaslı cephe kaplamaları

uygulamalarında düşük yoğunluklu alüminyum kompozit levha ile havalandırılarak asılan sistemler; (iii) kil esaslı cephe kaplamaları uygulamalarında düşük yoğunluklu örme tuğla duvar (prese tuğla) ile havalandırılarak asılan sistemler (iv) çimento esaslı cephe kaplamaları uygulamalarında düşük yoğunluklu lifli çimento levha ile havalandırılarak uygulanan sistemler, binaların ısıtma ve soğutmada toplam yıllık enerji tüketimleri karşılaştırıldığında, çalışma kapsamında değerlendirilen diğer alternatiflerine göre, enerji etkinlik açısından daha iyi performans göstermiştir.

Ayrıca, İstanbul ili iklim şartlarında, konut yapıları için enerji etkinlik açısından değerlendirilen cephe sistemleri arasında, havalandırılarak asılan cephe kaplama malzemelerinin, genel olarak, havalandırılmayan hava boşluklu sistemler ve sürekli temas ile uygulanan sistemlere göre daha iyi bir performans gösterdiği; cephe kaplama malzemelerinin ise, genel olarak, düşük yoğunluk, düşük ısıl iletkenlik, düşük güneş emicilik ve yüksek özgül ısı özgül özelliklerinin enerji performansında daha etkili olduğu görülmüştür.



EFFECTS OF OPAQUE, INORGANIC FACADE CLADDING MATERIALS AND APPLICATION METHODS ON BUILDING ENERGY PERFORMANCE

SUMMARY

Since building envelopes, which serve as a boundary between internal and external conditions, have the largest surface area, the increasing importance of energy savings in buildings has led to focus on facade systems that play an important role in energy consumption. The construction of facade systems by using passive design strategies utilizing natural energy flow reduce the need for active systems. In this context, while the importance of energy efficient solutions is increased day by day, minimization of active systems used for energy consumption arises from heating and cooling is of great interest for the constitution of high-performance building envelopes.

Energy efficient solutions can be obtained by approaching environmental factors, building scale parameters such as form, building height, insulation layer; structural scale parameters such as materials and application methods. Particularly, on a structural scale, the facade cladding materials play an important role in energy performance and in shaping the service life in the long-term since they are in direct contact with environmental factors. From this point of view, the aim of the thesis study is to investigate the possible effects of facade cladding material properties and application methods on the holistic energy performance of buildings.

The scope of this thesis study can be summed up as follows; (i) a general presentation and discussion of the subject by using the reference books, (ii) an original literature summary and review focused on facade cladding materials and application system researches, (iii) to obtain a typology by means of some existing applied projects, to research facade cladding materials and their characteristics, (iv) simulation studies and their evaluations.

The characteristic literature review has been approached systematically based on facade cladding system features and the calculations achieved by the use of simulation studies and the experimental measurements.

Similar features, unique results and generalized common results were examined by investigating the effect of the facade systems located in different geographical locations on the energy performance of the buildings, depending upon the variables as follows; (i) the availability of ventilation, considering the system features of ventilated/unventilated facade systems, and (ii) the behaviour of conventional facade cladding systems (applied the surface by coating). In general, the efficiency of the size of air gap (cavity), the existence of open joints, the features of air holes and the characteristics of facade cladding materials have been pointed out in the studies.

The facade systems were classified as wall with air gap and wall without air gap based on reference books, standards and company catalogues. The application methods of facade cladding materials were reviewed as (i) suspended applications, and (ii) those

applied by coating continuously or gluing with adhesive mortar. Furthermore, their working principles were explained according to the existence of ventilation. The characteristics and surface properties related to energy performance of opaque, inorganic facade cladding materials such as (i) natural stone, (ii) metal, (iii) clay, (iv) cement based were elaborated in detail.

In order to investigate the effects of opaque, inorganic facade cladding materials and the application methods on the building energy performance, primarily, a building typology study for Istanbul province was developed based on the applications using in Turkey. The mass design of the buildings and the speciality of facade systems have been determined by considering a definite number of housing projects providing from some municipalities and afterwards, a reference database was created for modelling the building to be used in the simulation program.

Design Builder was used for the simulation studies. For the effective and correct use of the program, firstly, a preparation step was involved in the study. Preliminary simulation studies have been carried out to make some mass and structural decisions that will give the most realistic results; the most suitable building model and the most suitable parameters were determined for the main study by examining the effect of the parameters such as building form, building height, building orientation, window to wall ratio, wall insulation layer, air gap width, facade cladding material thickness. In addition, preliminary simulation studies were conducted to obtain and discuss the effects of different climates on ventilated and unventilated facades with different air gap widths.

A 10-storey, west-oriented, rectangular shaped building with 40% facade window-to-wall ratio and 4 cm insulation was modelled as a result of the preliminary examinations. Insulation materials have been selected according to their use in applications as EPS for conventional facade cladding systems (applied by continuous contact), and rock wool for systems suspended applications (ventilated/unventilated facade systems). Depending on the literature research and the information obtained from the preliminary simulations, it has been found appropriate to study the width of the air gap as 2,5 cm for applications unventilated facade and 10 cm for ventilated facade. In simulation, it was proposed to evaluate commonly used facade cladding materials with different type and properties and their thickness.

Simulation studies have been made by using the climate data of Istanbul province; annual heating, cooling and total energy load have been calculated on the model building and the results have been evaluated by discussing the effects of different facade system applications and facade cladding materials. Careful attention has been paid to ensure that the thermal transmittance in facade systems provided the maximum U-value given in TS 825 standards. In simulation examinations, high and low density types of natural stone materials such as granite, marble, travertine, basalt, sandstone, limestone, andesite; metal and metal based cladding materials such as aluminum, titanium, zinc, titanium-zinc, steel, copper, stainless steel and aluminum composite sheet; clay based cladding materials such as brick, pressed brick, clinker brick, ceramic and porcelain; cement based cladding materials such as plaster (ETICS) and fiber cement board have been studied.

In conclusion, based on the climate data and assumptions in the study, also according to the simulation calculations by Design Builder using the compiled material data, comparing the total annual energy consumption of buildings for heating and cooling, the followings are the ones that performed better in terms of energy efficiency than the

other alternatives evaluated within the scope of the study; (i) the systems that ventilated with low density limestone in natural stone facade cladding applications, (ii) the systems that ventilated with low density aluminum composite sheet in metal-based facade cladding applications, (iii) the systems that ventilated with low density brickwork in clay-based facade cladding applications, (iv) the systems that ventilated with low density fiber cement board in cement-based facade cladding applications.

Furthermore, in the climatic conditions of Istanbul province, it has been observed that among the facade systems which is evaluated in terms of energy efficiency for residential buildings, ventilated facade cladding systems showed better performance than unventilated systems and conventional systems; in general, low density, the characteristics of facade cladding materials such as low thermal conductivity, low solar absorptivity and high specific heat have been found to be more effective in energy performance.





1. GİRİŞ

Günümüzde enerjinin her alanda yoğun bir şekilde kullanılması enerji kaynaklarının her geçen gün azalmasına ve sürdürülebilirlik kavramının ortaya çıkmasına neden olmuştur. 1972 yılında Stockholm’de düzenlenen Birleşmiş Milletler İnsan Çevresi Konferansı ve ardından 1987 yılında yayınlanan ‘Bizim Ortak Geleceğimiz (Our Common Future)’ Bruntland raporu ile sürdürülebilirlik küresel anlamda gündeme gelmiş ve bu raporda sürdürülebilirlik kavramı ‘gelecek kuşakların kendi ihtiyaçlarını karşılamayabilme özgürlüklerine engel olmadan, bugünün ihtiyaçlarını karşılayabilmek’ olarak tanımlanmıştır (WCED, 1987). Bu amaç doğrultusunda farklı disiplinlerde çözüm ve stratejiler üretmek günümüzde bir gereklilik haline gelmiştir. Bu anlamda, enerji kaynaklarının tüketiminde önemli bir paya sahip olan bina sektörüne büyük sorumluluklar düşmüştür.

Günümüzde, nüfusun artışı barınma ihtiyacının artmasına neden olmuş, teknolojiye gelişmeler ile artan ihtiyaçları karşılamak üzere bina üretimi hızlanmış, bina sektörü kaynaklı enerji tüketimi kontrolsüzce artmaya başlamıştır. Veriler ile incelenirse, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’na göre, bina sektörü enerji tüketimi Türkiye’de toplam enerji tüketiminin %35’ini oluşturmaktadır (İMSAD, 2014). Türkiye’de bu tüketimin %20’si ise konutlar tarafından gerçekleşmektedir (EİGM, 2017).

Mimari yapıların enerji verimliliğine yönelik çözüm ve stratejilerin geliştirilmesi, günümüz şartlarında enerji tüketiminde önemli bir yeri olması nedeniyle öncelikli bir araştırma konusu olarak karşımıza çıkmaktadır. Binalarda enerji tüketimi, kullanıcıların konforunu sağlamak için uygun iç ortam koşullarının oluşturulması amacıyla, ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma gereksinimleri doğrultusunda kullanılan aktif sistemlere bağlı olarak oluşmaktadır. Sürdürülebilirlik yaklaşımıyla, binalarda doğal enerji akışlarından yararlanılarak aktif sistemlerin yüklerinin azaltılması ile enerji verimliliği sağlanabilir. Bu açıdan, binalarda enerji tüketiminde büyük bir paya sahip olan ısıtma ve soğutma yüklerinin binalarda pasif tasarım stratejileriyle en aza indirilmesi günümüzde giderek daha önemli bir hale gelmiştir.

Binalarda ısıtma-soğutma yükleri, öncelikle maruz kalınan çevresel etmenlere ve şiddetine bağlı olarak, bina ölçeğinde alınan kütsel tasarım kararları ile birlikte yapısal ölçekte alınan kararların, özellikle dış kabukta kullanılan malzemelerin seçimi ve uygulama yöntemlerinin doğru kurgulanmasıyla elde edilebilir.

Dış ortamlar ve iç mekan arasında dengeyi sağlayan ve bir çevreleyici işlevi gören bina dış kabuğunun çoğunlukla en geniş yüzey alanına sahip olan cephe sistemleri bina enerji performansında en etkili alt sistemlerdendir. Bu sistemlerin, opak bölümünde yer alan ısı yalıtım katmanının bina enerji performansında en etkili bileşenler arasında olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte, cephe sistemlerinin en dış yüzeyinde konumlandırılmasıyla çevresel etmenlerle doğrudan temas halinde olarak iç ortam koşullarının şekillenmesinde etkili olan cephe kaplama malzemeleri, bu malzemelerin özellikleri ve uygulama yöntemleri cephenin, dolayısıyla, binanın enerji performansında etkilidir.

1.1 Amaç

Binalarda daha etkin enerji performansı, öncelikle maruz kalınan çevresel etmenlerin dikkate alınması ile birlikte, bina ölçeğinde alınan kütsel tasarım kararlarına ve özellikle dış kabukta kullanılan malzemeler ve uygulama yöntemleri olarak yapısal ölçekte alınan kararlara bağlı olarak; çevre, bina ve dış kabuğun birbirleriyle karşılıklı etkileşimlerinin doğru kurgulanması ile elde edilir. Bu doğrultuda ele alınan çalışmanın amacı, dış kabukta bulunan ve çevresel etmenlerle doğrudan temas halinde olarak iç ortam koşullarının şekillendirilmesinde önemli bir role sahip olan cephe kaplama malzemelerinin özgün özelliklerinin ve uygulama yöntemlerinin binaların ısıtma-soğutma kaynaklı enerji tüketimine ve dolayısıyla bina bütüncül enerji performansına etkilerinin araştırılmasıdır. Bu konu alanı içinde yapılan geniş literatür taramasında, mevcut araştırmaların sınırlı sayıda malzeme ve uygulama yöntemi ile, ve ağırlıklı olarak yurt dışında yapılmış oldukları görülmüştür.

Bu çalışmada farklı olarak, öncelikle ön bir araştırma ile uygulamalar açısından ülkemizdeki mevcut durumun gözden geçirilerek belirlenmesi ve malzeme çeşitliliğinin ayrıntıda derlenmesiyle geniş bir benzetim çalışmasına olanak sağlayarak daha etkin sonuçlar alınması ve böylece özgün ve gerçeğe yakın değerlendirmeler yapılması ön görülmüştür.

Çalışmanın sonuçları ile ulaşılmak istenen hedef, binalarda ısıtma-soğutma yüklerinin azaltılmasına yönelik enerji etkin cephe tasarımı sürecinde daha etkili çözümler elde edilmesinde örnek bir yaklaşım sunarak, özellikle cephe kaplama malzemeleri ve uygulama yöntemi seçiminin yapı fiziği açısından önemine vurgu yapmak ve dikkat çekmektir.

1.2 Kapsam

Tez kapsamında, inorganik esaslı opak cephe kaplama malzemelerinin özgün özellikleri ve uygulama yöntemlerinin bina enerji performansına etkileri çalışılmıştır. Bu amaç doğrultusunda yapılan tez; referans kitaplardan konunun genel tanıtımı ve işlenmesi, konu ile ilgili yapılan özgün literatür araştırması, uygulanmış projelerden bina tipolojisi çıkarılması, cephe kaplama malzemelerinin özgün özelliklerinin derlenmesi ve benzetim çalışmaları ile değerlendirme süreçlerini kapsamaktadır.

Tez konusunun genel tanıtımı kapsamında, referans kitaplardan yararlanarak, enerji ve bina performansı arasındaki ilişkilerin irdelenmesi, cephe kaplama malzemeleri ve uygulama yöntemlerinin sınıflandırılarak işlenmesi yer almaktadır. Özgün literatür özeti kapsamında, tezde ele alınarak işlenen cephe kaplama malzemeleri ve uygulama yöntemleri ile ilgili çoğunlukla yurtdışı araştırmalarını içeren 40 adet makale sistematik bir şekilde incelenerek derlenmiştir.

Benzetim çalışmalarında kullanılacak bina modelinin oluşturulması için yapılan tipoloji çalışması, İstanbul ili kapsamında uygulanmış toplam 31 adet konut projesinin incelemelerini içermektedir. Benzetimlere ön hazırlık olarak yapılan cephe kaplama malzemelerinin özgün özelliklerinin derlenmesi kapsamında referans kitaplar, standartlar ve firma katalogları gözden geçirilmiştir. Ön benzetim çalışmaları kapsamında, esas benzetim çalışmalarına veri oluşturmak amacıyla bazı kütle ve yapısal tasarım kararları alınmıştır.

Esas benzetim çalışmaları kapsamında, İstanbul ikliminde, konut işlevindeki bir binanın, ön benzetimlerle belirlenen bina modeli üzerinden, opak, inorganik cephe kaplama malzemeleri (doğal taş, metal, kil, çimento esaslı malzemeler) ve bu malzemelerin uygulama yöntemlerine (yapıştırılarak/sürülerek sürekli temas ve havalandırılarak/havalandırılmadan asılarak) bağlı olarak, yıllık ısıtma ve soğutma kaynaklı enerji tüketiminin benzetim programı ile hesaplamaları gerçekleştirilmiştir.

Benzetim çalışmalarında aydınlatma, havalandırma, araç-gereç kaynaklı enerji tüketimleri kapsam dışında tutulmuştur. Modellerde herhangi bir gölgendirme sistemi kullanılmamıştır. Benzetim sonuçları, opak inorganik cephe kaplama malzemelerinin farklı türleri ve özellikleri ile birlikte farklı uygulama yöntemleri karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

1.3 Yöntem

Opak, inorganik cephe kaplama malzemeleri ve uygulama yöntemlerinin bina enerji performansına etkilerinin incelendiği bu tez çalışmasında yer alan araştırma yöntemleri: (i) literatür araştırması, (ii) benzetimlere ön hazırlık kapsamında bina tipolojisi çalışması ve malzeme özgün özelliklerinin derlenmesi, (iii) enerji tüketimi hesaplamalarında benzetim programı kullanılması olarak özetlenebilir.

Literatür araştırması bölümünde, konunun tanıtımı referans kitaplardan yararlanarak işlenmiş, konu ile ilişkili özgün araştırmaları içeren makaleler derlenerek bir sistematik ile sunulmuştur.

Benzetimlere ön hazırlık sürecinde, bina modelinin oluşturulması için yapılan bina tipolojisi çalışması kapsamında izlenen yöntem, öncelikle belediyelerden izin alınarak uygulanmış (uygun) projelerin temin edilmesi, projelerin belirli bir sistematikte incelenmesi amacıyla bilgilerin toplanması ve derlenmesinde kullanılmak üzere inceleme formu ve excel tabloları oluşturulması olarak sayılabilir.

Enerji hesaplamaları ve değerlendirmeleri için Design Builder programı ile benzetim yöntemi kullanılmıştır. Ön benzetimde deneme çalışmaları yapılarak esas benzetim çalışmalarında kullanılacak en uygun bina modeline karar verilmiş, parametreler için en uygun alternatifler seçilmiştir. Ayrıca, esas benzetimlerde kullanmak üzere, ayrıntıda malzeme özgün özelliklerinin derlenmesi çalışmasında referans kitaplar, standartlar, ve firma kataloglarından yararlanılarak malzeme özgün özellik tabloları oluşturulmuştur.

Esas benzetim çalışmaları, cephelerde havalandırma boşluğu olup olmaması, havalandırma yapılıp yapılmaması, havalandırma boşluğunun genişliği, cephe kaplama malzemesi türü ve özgün özellikleri gibi sistem özelliklerinin etkilerinin "karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi" yöntemiyle gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar yorumlanarak tartışılmıştır.

1.4 Hipotez

Enerji kaynaklarının hızla tükendiği günümüzde bu kaynakların kullanımında büyük paya sahip olan inşaat sektörüne enerji korunumuna yönelik yeni çözümler üretme konusunda büyük sorumluluk düşmektedir. Enerji tüketiminin binalarda önemli bir kısmının bina dış kabukları ve bu kabukların alt sistemleri olan cephe sistemleri tarafından şekillendirildiği bilinmektedir.

“Cephe kaplama sistemlerinin, malzeme seçimi ve uygulama yöntemine bağlı olarak bina enerji performansına olası etkileri nelerdir?” sorusunun araştırıldığı bu çalışmada literatür araştırmaları ve benzetimlerle enerji hesaplamaları yapılarak yaz ve kış dönemlerinde etkiler incelenmiş ve konuya bu ayrıntıda dikkat çekilmeye çalışılmıştır.



2. BİNALARDA ENERJİ PERFORMANSI

Binalar, canlıların temel gereksinimlerinden olan barınma ihtiyaçlarını; sağlık, güvenlik, konfor koşulları içerisinde sağladıkları, doğal çevreden (çevresel etmenlerden) kapalı bir hacim ile ayrılan yaşama birimleridir. Bu açıdan, mekan ve daha büyük ölçekte bir bina oluşturmak, çevresel etmenlerden ayrılan, sınırları tanımlanmış dengeli bir iç ortam oluşturmak anlamına gelir. İç ortamda kullanıcılara uygun konfor koşullarının sağlanması için genellikle yararlanılan aktif sistemlerin kullanımından kaynaklı enerji tüketimine gereksinim duyulur.

Günümüzde enerji kaynaklarının tüketimi ve bu kaynaklara olan ihtiyaçlar hızla artmakta, bu artış geleceğin en önemli problemlerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır (Yang ve diğ, 2015). Enerji kaynaklarının kullanımında en büyük paya sahip olan inşaat sektörü, binalarda daha düşük enerji tüketimi ile daha yüksek enerji performansına yönelik çözümler üretmek konusunda önemli bir sorumluluğa sahiptir.

Binalarda yüksek enerji performansı (enerji etkinlik), enerji ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılmasına dair yönetmeliğe göre yaşam standardı ve hizmet kalitesinin düşüşüne neden olmadan birim hizmet veya ürün miktarı başına enerji tüketiminin azaltılmasıdır. Yang ve diğ. (2015), kısaca, daha az enerji kullanarak daha fazla çıktı üretmek olarak tanımlamaktadır.

Özetle, binalarda yüksek enerji performansı için en az düzeyde kaynak kullanımı ve enerji tüketimi hedeflendiğinde, maruz kalınan dış etmenlerin şiddetine bağlı olarak, sürdürülebilirlik yaklaşımıyla binaların enerji etkinliklerinin artırılarak; kullanıcılar için optimum konfor koşullarının sağlanması söz konusu olur. Binalarda enerji tüketimi; ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma ihtiyaçları doğrultusunda oluşmaktadır (Binalarda enerji performansı yönetmeliği, 2008). Ülkemizde, enerji tüketiminin büyük kısmı ısıtma amaçlı olarak meydana gelmektedir (TMMOB, 2012). Bu bağlamda, binalarda ısıtma ve soğutma kaynaklı enerji tüketiminde aktif sistemlerin kullanımının en aza indirilmesi istenir. Enerji etkin binaların tasarlanabilmesi için temelde dikkat edilmesi gereken birtakım kriterler vardır.

Enerji etkin binaların oluşturulabilmesi için dikkat edilmesi gereken kriterler:

- Çevresel etmenler dikkate alınarak oluşturulan mimari çözümler aracılığı ile binalarda istenmeyen ısı kazanç ve kayıplarının en az düzeyde tutulması,
- Düşük enerji gereksinimi ile aynı performansı sağlamak için dış kabuk tasarımı alternatiflerinin oluşturulması,
- Enerjiyi daha verimli şekilde kullanan aktif sistemlerin seçilmesi,
- Enerji kazanma stratejileri geliştirilmesi

olarak özetlenebilir (Binalarda enerji performansı yönetmeliği, 2008; Sassi, 2006).

2.1 Isıtma ve Soğutma Kaynaklı Enerji Tüketimi-Enerji Performansı İlişkisi

Bina iç mekanlarında uygun konfor koşullarının sağlanması bina dış kabukları ile doğrudan ilişkilidir. Bina kabuklarının iç ortam koşullarının dengeli bir şekilde oluşturulabilmesi için birtakım performansları karşılamaları gerekmektedir. Bu kabuklardan beklenen performans gereksinimleri; taşıyıcılık, ısı (enerji) kontrolü, nem kontrolü, havalandırma kontrolü, akustik kontrol, aydınlatma, yangın güvenliği, kullanım güvenliği, sızdırmazlık (hava, su, toz vb.), görsel ve dokunsal etki, sürdürülebilir kalkınmaya katkı, ekonomik etki, erişilebilirlik, temizlik ve bakım kolaylığı olarak sıralanabilir (ISO 19208, 2016). Bu tez çalışması kapsamında bina içerisindeki hacimlerin enerji (ısı) gereksinimleri incelenmektedir.

Binaların iç mekanlarında sıcaklık değerlerinin dengede olması gerekir. İç mekanlarda dengeli konfor şartlarının oluşturulabilmesi ve devamlılığının sağlanabilmesi için bu mekanların soğuk kış dönemlerinde ısıtılması ve sıcak yaz dönemlerinde soğutulması gerekmektedir. Çevresel etmenlerin sürekli değişim içinde olduğu farklı dönemlerde, bina dış kabuk tasarım özelliklerinin etkilerine de bağlı olarak, belirli düzeylerde ısıtma ve soğutma yükleri meydana gelir (Stern, 1985). İki mekan arasında sıcaklık farkı oluştuğunda ise ısı (enerji) transferleri gerçekleşir (Toydemir ve diğ, 2000).

2.1.1 Enerji yükleri

Konforlu iç mekan koşullarının sağlanması ve değişen dış ortam ikliminin istenmeyen etkilerinin dışarıda tutulması binalarda enerji yüklerini oluşturur. Binalardaki enerji tüketiminin büyük bir bölümü ısıtma ve soğutma kaynaklı olarak gerçekleşmektedir (Stern, 1985).

Yıllık ısıtma ve soğutma kaynaklı enerji tüketimi toplamı binanın toplam enerji yükünü verir (Stern, 1985). Düşük enerji yükü yüksek enerji performansını ifade eder.

2.1.1.1 Isıtma yükü

Yıllık ısıtma enerjisi (ısıtma yükü), ısıtma sisteminden ısıtılan ortama bir yıl içerisinde verilmesi gereken net ısı enerjisi miktarıdır (Binalarda enerji performansı yönetmeliği, 2008). Isıtma dönemlerinde uygun konfor koşullarının sağlanması için gerekli olan ısı miktarı olarak da ifade edilebilir. Binalarda ısıtma yükleri, ısı kayıplarının en aza indirilmesi ve pasif ısı kazanımları ile düşürülebilir (Hegger ve diğ, 2008). Kış döneminde bina enerji performansının iyileştirilmesi:

- Uygun bina dış kabuk geometrisinin oluşturulması,
- Güneş radyasyonunun pasif kullanımı,
- Havalandırma ısı kayıplarının en aza indirilmesi,
- Aktif tasarım stratejileriyle güneş enerjisi kazanımı,
- Isı iletimi ile oluşacak kayıpları önleyecek ısı yalıtımı

ile sağlanabilir (Hegger ve diğ, 2008; Stern, 1985).

2.1.1.2 Soğutma yükü

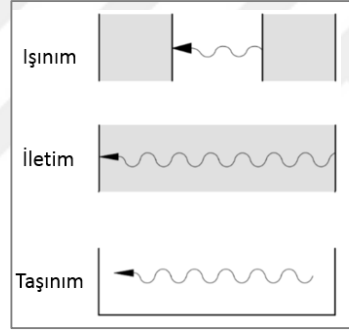
Yıllık soğutma enerjisi (soğutma yükü), soğutma sisteminin soğutulan ortamdaki bir yıl içerisinde atması veya çekmesi gereken net ısı enerjisi miktarıdır (Binalarda enerji performansı yönetmeliği, 2008). Sıcak dönemlerde soğutma yükleri; güneş radyasyonu, dışarıdan içeriye ısı iletim ve iç mekan hava değişimi kaynaklı olarak oluşur. İdeal sıcaklıktan sapmalar genellikle yazın, kışın olduğundan daha azdır. Ancak, kışın düşük sıcaklıklara karşı binaların korunması gerektiği gibi yazın da yüksek sıcaklıklara karşı koruma sağlanmalıdır (Hegger ve diğ, 2008). Yaz döneminde bina enerji performansının iyileştirilmesi:

- Dış ortamdan iç ortama ısı transferinin sağlanmasını önleyecek bina kabuğu tasarımlarının oluşturulması,
- Dış kaplamada düşük ısı emiciliğe sahip malzemelerin kullanılması veya kaplamanın arkasında bir hava boşluğunun oluşturulması

ile sağlanabilir (Hegger ve diğ, 2008).

2.1.2 Enerji Transferi

Enerji transferlerinin anlaşılabilmesi için öncelikle ısı ve sıcaklık arasındaki ilişkinin anlaşılması gerekmektedir. Sıcaklık, bir cisimdeki moleküler hareketin artmasıyla oluşan bir büyüklüktür. Bir cismi oluşturan atomlar ya da moleküller, ortam sıcaklığının artmasına bağlı olarak titreşimlerini artırır ya da ortam sıcaklığının azalışına bağlı olarak bu titreşimleri azaltır. Titreşimlerin artması fiziksel olarak cismin sıcaklığının artması olarak tanımlanır. Isı ise bir enerji türüdür (Toydemir ve diğ, 2000). Enerji kaynağı olduğu sürece, moleküllerin hareketi durdurulamaz ve sürekli çevreye yayılır. Yüksek sıcaklıktaki enerji seviyesinden düşük sıcaklıktaki enerji seviyesine doğru bir akım oluşur ve buna ısı (enerji) transferi denir (Nashed, 1995). Enerji transferi temel olarak iletim, taşınım ve ışıınım olarak üç farklı fiziksel olay ile gerçekleşir (Sodha ve diğ, 1986). Şekil 2.1’de enerji transferleri şematize edilmiştir.



Şekil 2.1 : Enerji transferleri (Herzog ve diğ, 2004, Şekil A 1.17’den üretilmiştir).

İletim, taşınım ve ışıınım yoluyla enerji bir bölgeden başka bir bölgeye aktarılır. Bu aktarımların gerçekleşmesi için iki sistem arasında veya bir sistem ile çevresi arasında sıcaklık farkı bulunmalıdır (Nashed, 1995).

2.1.2.1 İletim (kondüksiyon)

Isı iletimi, sıcak bölgeden soğuk bölgeye cismi oluşturan moleküllerin titreşimi sonucu moleküler seviyede ısı enerjisi transferini ifade eder. Sıcaklık farkı arttıkça ısı iletim hızı da artar. İletim, gazlarda ve sıvılarda olmakla beraber, önemli miktarda iletim sadece katı maddelerde gerçekleşir (Sodha ve diğ, 1986). İletim, malzemeler içinde tek tek atomlar/moleküller arasındaki etkileşime dayanır ve malzemelerin özelliklerine ve yapısal bileşimine bağlı olarak değişir. Tüm mineral yapıları malzemeler farklı boyutlarda gözenekler içerir ve bu gözenekler hava veya sıvı (çoğunlukla su) ile dolabilir (Peck, 2014).

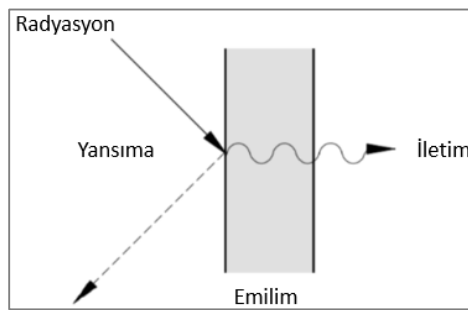
Bu durum ısı transferinin sadece iletimle değil diğer transfer mekanizmaları ile de gerçekleşmesini sağlar. Malzemenin gözeneklerinin geometrisi, gözenek dağılımı ve içeriği, yüzey özellikleri ısı iletiminde belirleyici faktörlerdir. Hava dolu gözenekler ısıya daha az iletmesini sağlar (Peck, 2014). Bir malzemenin serbest elektronlara sahip olması ise ısı iletimine önemli ölçüde katkı sağlar, bu duruma örnek olarak metaller verilebilir (Toydemir ve diğ, 2000).

2.1.2.2 Taşınım (konveksiyon)

Isı enerjisinin sıvı ve gazlardaki transfer şekli ısı taşınımı olarak tanımlanır. Bu olayda, sıcak bir katı cisme temas eden sıvı veya gaz bir ortam, sıcaklığı yüksek katı cisimle temas eden sıvı veya gaz moleküllerinin ısı titreşimleri nedeniyle bu yüzeylerden enerji alacaktır. Kazanılan enerji ile birlikte katı cisme temas eden moleküllerin kapladıkları alan artacak ve ortama göre daha hafif olacağından yükselecektir. Bu yükselmeye yer değişimi oluşacak, yükselen moleküllerin yerine geçen benzer moleküller de yüzeyden enerji alarak taşınım hareketini başlatacak ve devam ettirecektir. Bu olaylar ile birlikte yüksek seviyeden düşük seviyeye enerji taşınır ve yüksek enerjili cismin enerjisi azalarak soğur (Toydemir ve diğ, 2000). Taşınımlı ısı transfer oranları, sıcaklık farkına, akış yapısına ve akış hızına bağlı olarak değişir (Sodha ve diğ, 1986).

2.1.2.3 Işınım (radyasyon)

Işınım, bir ortamdan geçen elektromanyetik dalgalar aracılığıyla ısıya yüksek sıcaklıktan diğerine düşük sıcaklıkta aktarılmasıdır. Bir yüzeye çarpan güneş radyasyonunun bir bölümü Şekil 2.2’de gösterildiği gibi emilir ve ısı üretilir, bir bölümü iletilir, bir bölümü ise yüzey özelliklerine bağlı olarak dik açılı veya dağınık bir şekilde yansıtılır (Sodha ve diğ, 1986).



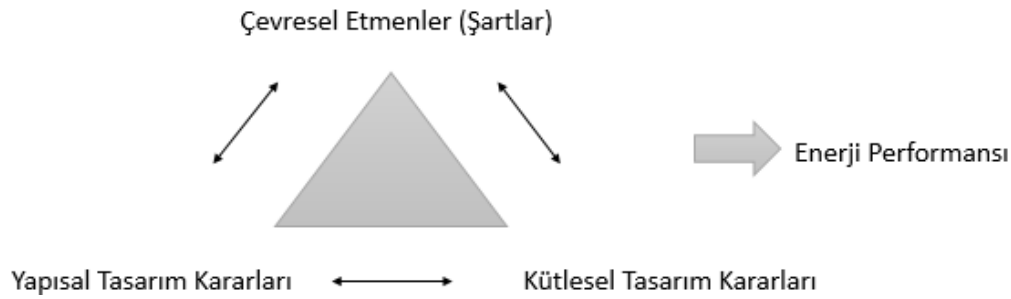
Şekil 2.2 : Güneş ışınımı etkisi (Herzog ve diğ, 2004, Şekil A 1.16’den üretilmiştir).

Bütün katı ve sıvı cisimler sürekli olarak yüzeylerinden ısınım, böylece ısı enerjisi yayarlar. Bu yayılım cismin yüzey sıcaklığı ve yüzey özellikleri ile değişir. Çevredeki nesnelerden tümüyle bağımsızdır ve boşlukta bile yayılabilme yeteneği göstererek bir taşıyıcı ortama ihtiyaç duymaz. Sıcaklığı yüksek cisimlerden daha düşük sıcaklıktaki cisimlere doğru bir ısı ışıınımı oluşur (Toydemir ve diğ, 2000).

Radyasyon yoluyla ısı transferi binalarda doğrudan ısı kazancı sağlar, çünkü güneş enerjisi saydam yüzeylerden geçer ve opak yüzeylerin sıcaklığını artırır. Bu kazancın mümkün olan en iyi şekilde kullanılabilmesi için, güneş radyasyonuna maruz kalan yapı elemanlarının yeterli ısı kapasitesine sahip olması gerekir. Ters durumda, iç sıcaklık konfor seviyesi gereğinden fazla yükselecek ve havalandırma (konveksiyon) ihtiyacı oluşacaktır (Stern, 1985).

2.2 Binalarda Enerji Performans Parametreleri

Binalarda ısıtma-soğutma kaynaklı enerji yükleri, maruz kalınan çevresel etmenlere bağlı olarak, bina ölçeğinde alınan kütleli tasarım kararları ile birlikte yapısal ölçekte alınan kararların doğru ilişkilendirilmesi ile elde edilebilir. Şekil 2.3'te binalarda enerji performans parametrelerinin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.3 : Binalarda enerji performans parametreleri.

Şekil 2.3'te belirtilen üçlü ilişkiler ağının eş zamanlı olarak düşünülmesi ve tasarımların bu doğrultuda yapılması binanın toplam enerji performansı için önem taşımaktadır.

2.2.1 Kütlesel tasarım kararları

Bina ölçeğinde alınan kütleli tasarım kararları; bina formu, bina yüksekliği, bina yönelimi, cephe boşluk-doluluk oranı ile ilgili verilen kararlardır (Hegger ve diğ, 2008; Aksamija, 2013; Nasrollahi, 2013).

2.2.1.1 Bina formu

Bir bina için form seçmek, güneş ışınımının kullanım potansiyeli ve enerji gereksinimleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Binanın hacmine genellikle iç mekan düzenlemeleri, estetik kaygı ve izin verilen toplam hacmi tanımlayan doluluk oranı dikkate alınarak karar verilir. Binalarda farklı boyutlardaki yüzey alanları, ısı kayıpları üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Belirli bir hacim için gerekli olan bina dış kabuğu alanı ne kadar az ise binanın ısıtma gereksinimi de o kadar az olacaktır (Hegger ve diğ, 2008). Bununla birlikte bina formu ile gölge alanlarının farklı şekillerde oluşması sağlanarak ısıtma-soğutma yükleri üzerinde farklı etkiler oluşturulabilir.

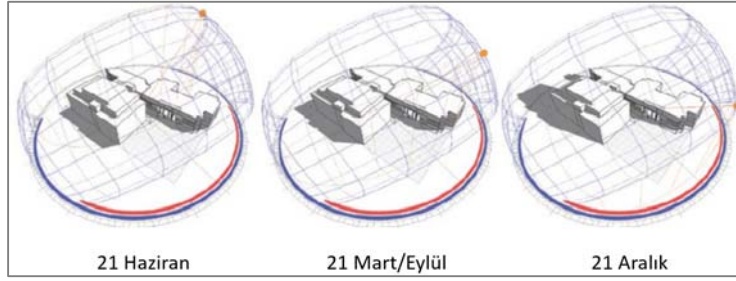
2.2.1.2 Bina yüksekliği

Bina dış yüzey alanlarını büyütmek, binadan dış ortama gerçekleşen ısı kaybını orantılı olarak arttırmaktadır. Çoğu durumda dış duvarlar bina kabuğunun en büyük alanını oluşturur. Bina yüksekliğindeki artış, kabuğun yüzey alanının artmasında etkili olmaktadır. (Hegger ve diğ, 2008). Böylece, binalarda dış duvarlarda oluşan ısı kaybı binanın yüksekliği (kat adedi) ile artar. Diğer bir deyişle dış yüzey ne kadar büyürse, ısı kayıpları da o ölçüde artmaktadır. Binalarda toplam ısıtmanın ortalama olarak %25'i dış duvarlar yoluyla kaybedilebilir (İzoder, 2013).

2.2.1.3 Bina yönelimi

Bir binanın planlanmasında, konumu, güneşin etkisinin analizi, hakim rüzgar yönü, çevre binalar ve bitki örtüsü tarafından oluşacak gölgelendirilmeler dikkate alınarak yönelime karar verilmelidir. Güneşin cepheler üzerindeki günlük ve yıllık etkisi dinamik ve değişkendir. Güneş radyasyonu yoğunluğu, güneş ısı kazanımlarını değerlendirmek için önemli parametrelerdir (Hegger ve diğ, 2008).

Binanın yönü güneş radyasyonuna maruz kaldığı süreyi belirler. Dünyanın güneşe göre açısı yıl boyunca ve güneşin gökyüzündeki konumu gün boyunca farklılaştığı için cephedeki güneş radyasyonuna maruz kalma durumu sürekli olarak değişmektedir. Bu değişiklikler ile oluşan radyasyon ve gölgelenmelerin durumunu Şekil 2.4'te görüldüğü gibi, 21 Aralık (güneş en düşük konumunda olduğunda), 21 Haziran (güneş en yüksek konumunda olduğunda), ekinokslar 21 Mart ve 21 Eylül'de güneşe maruz kalmayı analiz etmek için incelenebilir (Aksamija, 2013).



Şekil 2.4 : Farklı dönemlerde güneşin konumu (Aksamija, 2013, Şekil 2-1'den üretilmiştir).

Güneş ısısı kazanımını kontrol etme stratejileri bina yönelimine bağlıdır. Güneş ısısı kazancı kış aylarında daha soğuk iklimlerde binalara fayda sağlayabilir. Daha sıcak iklimlerde, yıl boyunca doğrudan cepheye gelen güneş radyasyonuna karşı önlemler geliştirilmelidir. Binanın optimum yönelimi kışın ısı kazanımları ve yazın güneş radyasyonundan korunum ile elde edilir. Çevre koşulları ve güneş radyasyonu kuzey, güney, doğu ve batı yönelimlerindeki cepheler için farklıdır. Kuzey-güney yönelimleri çoğunlukla cepheler için faydalıdır. Yazın güney yöneliminde güneş radyasyonu düşey yüzeylere keskin bir açıyla çarparak, radyasyonun azalmasına ve yansımanın yüksek olmasına neden olur; kışın ise neredeyse tüm gün boyunca radyasyondan yararlanılabilir. Güneş, doğu ve batıda genellikle düşük düzeylerde (doğuş ve batış) olduğundan, istenmeyen güneş radyasyonunu önlemek için cephenin mümkün olduğunca dar bölümleri bu yönelimde olmalıdır (Aksamija, 2013).

Bununla birlikte cephenin yaz için en uygun hale getirilmesi, kışın istenmeyen düzeyde güneş enerjisi kazanımına neden olabilir. Geniş cephelerin güneş radyasyonundan daha etkin yararlanılabilecek yöne yönlendirilmesi enerji performansını etkileyecektir (Hegger ve diğ, 2008). Kış döneminde düşük ısıtma enerjisi talebi, binalar genellikle güneye yönlendirildiğinde ortaya çıkar. Bina, doğu veya batı yönlerinde daha yüksek ısıtma yükleri oluşturur. Soğutma yüklerinde ise kuzey yönelimi en düşük yükleri gösterir (Nasrollahi, 2013).

2.2.1.4 Cephe kaplama boşluk-doluluk oranı

Cephe boşluk-doluluk oranı, yapı kabuğundaki pencere, kapı gibi açıklık alanların duvar alanlarına oranıdır. Bu orandaki artış ya da azalış ise iç mekan ve dış çevresel etmenler arasındaki ilişkiyi etkilediği için enerji performansında etkili olur. Binalarda güneş radyasyonu ile enerji kazanımları, saydam yüzeylerin boyut ve düzenlemesi ile ilişkilidir (Hegger ve diğ, 2008).

Özellikle cephedeki boşlukların, güneş radyasyonuna göre konumları enerji yüklerinde farklılıklar oluşturabilir. Çoğu durumda, saydam elemanlardan elde edilen ısı kazanımı, bir mekan için yaz döneminde ısı dengesindeki en önemli etkeni temsil eder. Saydam yüzeylerin fazla olması yaz döneminde oluşan enerji yüklerini arttırır. Gölgeleştirme araçları ile bile, ısı kazançları genellikle opak bir duvar için olanlardan daha yüksektir. Cephe boşluk-doluluk oranı güneye bakan cepheler için %50 olabilir, fakat doğu ve batı cephelerinde, %30'dan fazla cephe boşluk-doluluk oranı olumsuz etkiler oluşturabilir. Kuzey cephesi ise, yaz ısı performansında büyük bir etkiye sahip değildir (Hegger ve diğ, 2008).

En uygun cephe boşluk-doluluk oranı bir mekanın planına ve kullanım işlevine göre oluşturulmalıdır. Sıcak ve ılıman iklimler için artan cephe boşluk-doluluk oranı, artan güneş ısı kazancı nedeniyle soğutma yüklerinin de artmasına neden olur. Dış duvarlardaki ısı yalıtımı daha az olduğunda cephe boşluk-doluluk oranının artması enerji yükleri üzerinde daha büyük etkiler oluşturabilir. Bu oranın azaltılması ise enerji etkinliğinin artmasını sağlar. Örneğin, kullanıcıların pencerelerin yakınında bulunduğu ofis alanlarının tasarımında, bu oran %40'ı geçmemeli ve %25'e kadar düşük oranların kullanımı dikkate alınmalıdır. Kullanıcıların pencerelerin yakınında çok fazla zaman geçirmediği yerler veya koridorlar ve diğer dolaşım alanları için daha yüksek oranlar kullanılabilir (Aksamija, 2013).

2.2.2 Yapısal tasarım kararları

Binanın yapısal tasarım kararları dış kabukta bulunan malzemeler ve bunların uygulama yöntemleri ile ilgili alınan kararlardır. Yaşamımızı sürdürdüğümüz binaların dış ortamdaki ayrılmasını sağlayan çevreleyici olarak işlev gören bina kabukları; cephe (dış duvar) sistemleri, çatı sistemleri, zeminin altında bodrum duvarları, döşemesi ve temellerden oluşur. Çoğu binada cephe sistemleri, bina dış kabuğunun en geniş yüzey alanına sahiptir, bu durum bina enerji performansı ve kullanıcı konforunun da diğer tüm sistemlerden daha fazla etkili olmasına neden olur (Aksamija, 2013). Cephe sistemleri, süreç içerisinde zararlı dış etmenlere karşı iç ve dış mekan arasında etkili bir bariyer kurma ihtiyacı sonucunda ortaya çıkmıştır ve doğa ile iç mekan arasında ayırıcı ve filtreleyici sistemlerdir (Herzog ve diğ, 2004). Bu sistemler (dış duvarlar) temelde; dış kaplama, hava boşluğu (varsa), yalıtım, gövde ve iç kaplamadan oluşur (Toydemir ve diğ, 2000).

Cephe sistemlerindeki yalıtım katmanının bina enerji performansı üzerindeki etkisi bilinmektedir. Bununla birlikte dış cephe kaplamaları ve uygulama yöntemi seçimi; duvarın en dış katmanını oluşturması, çevresel etmenlerle doğrudan temasta olması ve bu etmenlere karşı vereceği tepkilerle içeride uygun ortam koşullarının sağlanmasında rol almasıyla bina enerji performansında etkilidir.

Bu doğrultuda tez çalışması kapsamında yapısal tasarım parametreleri, cephe kaplama malzemelerinin özellikleri ve uygulama yöntemleri özelinde incelenmiştir.

2.2.2.1 Cephe kaplama malzemesi seçimi

Cephe kaplama malzemelerinin özgün özellikleri, kalınlığı ve dış ortam koşullarındaki davranışları enerji performansında önem taşır. Kaplama malzemesi seçiminde bu ilişkilerin dikkate alınması, uygun ve doğru nitelikte malzeme seçimi cephenin enerji etkinliğinde ve hizmet ömrü boyunca bakım ve onarımları ile birlikte uzun dönemdeki performansında belirleyici olur. Cephe kaplama malzemeleri ışık geçirgenliklerine göre opak veya saydam, iç yapı oluşumlarına göre ise organik veya inorganik olmak üzere sınıflandırılabilir. Bu malzemeler 3.bölümde detaylı olarak işlenecektir.

2.2.2.2 Cephe kaplama malzemesinin uygulama yöntemi seçimi

Bir binanın oluşması için birtakım sistemler ve alt sistemler biraraya getirilir. Bu sistem ve alt sistemlerin hem birbirleriyle, hem de bina bütünü ile ilişkili olup, koordineli ve bütünleşmiş olmaları gereklidir (Toydemir ve diğ, 2000). Cephe kaplama malzemeleri temelde cephe sistemlerinde hava boşluklu veya hava boşluksuz olacak şekilde uygulanabilir. Bu uygulamalar, sürekli temas ile uygulama veya noktasal tespit ile asılarak uygulamayla gerçekleştirilir. Asılarak yapılan uygulamalarda, kaplama malzemelerinin arkası havalandırılabilir veya havalandırılmayabilir. Arkası havalandırılan uygulamalarda kaplama malzemeleri uygulanırken derzleri açık veya kapalı olacak şekilde oluşturulabilir. Bu sistemlerde yalıtım katmanının ve havalandırma boşluğunun etkisi enerji performansı üzerinde önem taşır.

Havalandırma boşluğu

Cephe kaplama malzemelerinin asılarak uygulanması yönteminde arkasında oluşturulan havalandırma boşluğu genişliği cephe sisteminin enerji performansının şekillenmesinde önemli bir role sahiptir.

En az boşluk genişliği, ısı yalıtım malzemesi olması durumunda 25-30 mm olabilirken, ısı yalıtım malzemesi olmaması durumunda en az 40 mm olmalıdır. Bununla birlikte, 50 mm havalandırma boşluğu uygun bir genişlik olarak kabul edilebilir (Türkçü, 1997). Boşluk 300 mm genişliğe kadar oluşturulabilir, ancak duvar gövdesi ya da cephe kaplamasından birinin kalınlığı 90 mm'den az olduğunda 75 mm'den fazla boşluk genişliği oluşturulmaması önerilir (BS 5628-1, 2005).

Literatür incelemeleri ve uygulayıcı firmalar ile görüşmeler sonucunda, havalandırma boşluğunun etkilendiği parametreler; statik hesaplamalar, rüzgar yükü hesaplamaları, ilgili standartlar, cephe yüksekliği, alt konstrüksiyon niteliği, ısı yalıtım malzemesi niteliği ve kalınlığı, tasarım gereklilikleri, kullanıcı ve uygulayıcı talepleri olarak nitelendirilebilir.

Yalıtım katmanı

Yapı bileşenleri üzerinden farklı sıcaklıktaki iç ve dış ortam arasında ısı kaybını veya ısı kazancını azaltmak amacıyla yapılan işlemlere ısı yalıtımı denir. Yalıtım katmanı, binalarda enerji yüklerinin düşürülmesine katkı sağlayarak iç ortamda kullanıcıların konforunun sağlanmasında görev alır. Binalar standart ve yönetmeliklere uygun yalıtım malzemeleriyle yalıtılmalıdır. Isı yalıtım katmanı duvar sistemlerine içten ya da dıştan uygulanabilir (Hegger ve diğ, 2006).

Dıştan uygulanan yalıtım, yapı elemanlarının atmosferik şartlara karşı korunmasına ve binaların daha uzun ömürlü olmasına katkıda bulunur. Isı yalıtım malzemesinin dış duvarın dış yüzüne uygulanması halinde, iç mekanın ısıtılması sırasında duvar geç ısınıp geç soğumakta ve iç mekanda sürekli yaşayanlar için duvarın ısı konforu artmaktadır. (Nashed, 1996; Toydemir ve diğ, 2000) Bu uygulamada cephe, çevresel etmenlerin etkilerinden korunmakta ve sıcak kalmaktadır. İç ortamda oluşan su buharı, duvar katmanlarından geçerken doyma sıcaklığının altında bir ara yüzey ile temas etmeyeceği için yoğuşma oluşma riski ortadan kalkacağı gibi cephenin tamamının korunması dolayısıyla ısı köprüleri de oluşmamaktadır. Dıştan yapılan uygulamalar ısı köprüsü ve yoğuşmadan kaynaklanan sorunları ortadan kaldırdığı için teknik olarak ideal bir çözümdür (İzoder, 2013). Yapısal ve işlevsel gereksinimlerle ısı yalıtım malzemesinin iç yüzeyde kullanılmasının zorunlu olduğu durumlar olabilir. Isı yalıtım katmanının duvara içten ya da dıştan uygulanması duvarın ısıl geçirgenlik katsayısında değişiklik oluşturmaz (Toydemir ve diğ, 2000).

İçten ısı yalıtım uygulaması kısa süreli ısıtmada yüksek bir performans gösterdiğinden, sürekli ısıtılması gerekmeyen konser salonu, oditoryum, sinema salonu vb. yerlerde daha iyi performans göstermektedir (Toydemir ve diğ, 2000). Bu uygulamalarda ısı yalıtım malzemesi duvarın iç tarafında yer aldığından cephe soğuk kalmakta ve iç ortamda üretilen su buharının soğuk duvara temas etmesi durumunda yoğuşma meydana gelmektedir. Bu nedenle kullanılan malzemelerin su buharı geçişine karşı dirençlerinin yüksek olması ya da su buharı geçişine karşı dirençleri düşük olan malzemelerin buhar kesici malzemeler ile birlikte kullanılarak duvara ulaşan su buharı miktarını sınırlamaları gerekmektedir. Ayrıca, ısı yalıtım malzemelerinin duvarların iç yüzeyine uygulanması nedeniyle cephenin tamamının korunamadığı bu detaylarda oluşan ısı köprülerine karşı özel önlemler alınması gerekmektedir (İzoder, 2013).

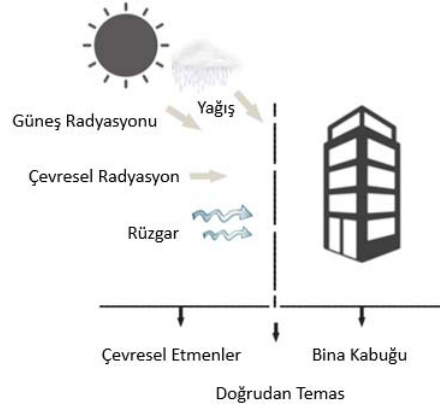
İçten ısı yalıtım uygulamalarında dış duvarlara bağlı olan kolon, kiriş gibi yapı elemanları ısı köprüsü oluşmaması için yalıtılmalıdır. Isı yalıtım malzemesinin özelliklerine, kalınlığına ve su buharı difüzyon direncine göre yoğuşma hesaplamaları ve kontrolü yapılmalıdır (Pfundstein ve diğ, 2008). Bu uygulamaların yapımı daha kolay olmakla birlikte binayı dış koşullardan korumamakta ve kış koşullarında duvarın ısı biriktirme kapasitesi azalmaktadır. Duvar tipleri ısıl genleşme yönlerinden karşılaştırıldığında, dışardan ısı yalıtımı uygulamalı duvar tiplerinin bu yalıtım malzemesinin varlığı nedeniyle yaz-kış ve gece-gündüz sıcaklık farklarından etkilenmediği ve aşırı bir genleşmeye uğramadığı, içten yalıtımlı uygulamalarda ise, çekirdeğin dış sıcaklıktan ve değişimlerinden önemli ölçüde etkilenerek genleşme ve daralma yapacağı söylenebilir (Toydemir ve diğ, 2000).

2.2.3 Çevresel etmenler

Bina kabuğunun yapısal ve kütsel tasarım kararlarının alınmasında çevresel etmenler etkilidir. Çevresel etmenler (Kocataşkın, 1966; Toydemir 2000; Moncmanova, 2007):

- Atmosferik Etmenler (İklim),
- Biyolojik Etmenler (Organizmalar),
- Kimyasal Etmenler,
- Mekanik Etmenler

olarak gruplandırılabilir. Çevresel etmenler ve bina kabuğu ilişkisi Şekil 2.5'te şematize edilmiştir.



Şekil 2.5 : Bina kabuğu ve çevresel etmenler.

Atmosferik etmenler, cephe sistemlerinin uzun dönem performansında, özellikle de cephe kaplama malzemeleri üzerinde en büyük etkiye sahip olanlardır.

2.2.3.1 Atmosferik etmenler

Atmosfer etkileri mimari biçimlendirmeyi büyük ölçüde etkiler. Atmosferdeki oksijen, azot, karbondioksit ve bol miktardaki su buharı güneşten aldığı enerjiyle atmosfer olaylarının oluşmasına neden olur. Bu olaylar yağış (kar, yağmur, dolu) sis, rüzgar ve sıcaklık değişiklikleri olarak meydana gelirler. Binaların tüm dış yüzeyleri bu olaylardan az ya da çok etkilenir. Dolayısıyla, mimari tasarımda atmosferin etkilerini göz önüne almak ve binaları bu bakış açısıyla tasarlamak gerekir (Toydemir ve diğ., 2000). İklim, uzun süreler boyunca bir bölgede oluşan güneş radyasyonu, sıcaklık, rüzgar, yağış ve diğer meteorolojik özelliklerin toplamını kapsar (Aksamija, 2013).

Güneş ışıınımı (Radyasyon)

Güneş ışıınımı, farklı dalga boylarında yayılır. Güneşten yayılan ve bilinen farklı dalga boylarının sıralı gösterimi elektromanyetik güneş spektrumu olarak adlandırılır. Elektromanyetik spektrumdaki manyetik dalgalar birbirine benzemekle birlikte, var oluş şekli nedeniyle farklı özellikler sergiler (Url-1).

Güneş, önemli bir enerji kaynağıdır. Atmosferden geçen güneş ışıınımının enerjileri çok yüksek ve dalga boyları kısa olur. Kısa dalga boyuna sahip güneş ışıınları dünyada herhangi bir yüzeye çarptıktan sonra enerjilerinin bir kısmını bulundukları yüzeye aktarırlar. Güneş ışıınımları cephe sistemine ulaşarak dış yüzeyinin sıcaklığını artırır. Cephe sistemini oluşturan bileşenlerin ısı ve optik özelliklerine bağlı olarak güneş ışıınımlarından elde edilen ısı enerjisi iç ortamda ısı kazanç ve kayıplarının oluşmasına neden olmaktadır (Rich ve Dean, 1977).

Sıcaklık

Dış havanın sıcaklığı mevcut güneş radyasyonuna ve yerin deniz seviyesinden yüksekliğine bağlıdır. Yükseklikteki her 200 m'lik artış için sıcaklık yaklaşık 1 C° düşer. Ortalama hava sıcaklığı, kışın iletim veya havalandırma ısı kayıpları ve yaz aylarında olası aşırı ısınma üzerinde belirgin bir etkiye sahiptir (Hegger ve diğ, 2008).

Yapıları çevreleyen atmosferdeki enerjinin doğal kaynağı güneştir. Mevsim ve gece-gündüz değişimlerinde bu enerji düzeyi farklılık gösterir. Bu enerji binanın güneşe göre açılmal konumuna, binanın yönüne ve bulunduğu coğrafi enleme bağlıdır. Bu nedenle binanın yönlendirilmesi, mevsime bağlı olarak en az ısı kaybı ve en fazla ısı kazancı sağlayacak şekilde yapılmalıdır (Toydemir ve diğ, 2000).

Ayrıca, sıcaklık değişimleri yapı malzemesi üzerinde hacimsel ve boyutsal uzama ve kısılmalara neden olmaktadır. Isıl genleşmenin bina ölçeğindeki tasarımda dikkate alınması, genleşmelere izin verecek konstrüksiyon detayları geliştirilmesi ve genleşme derzleri oluşturulması gereklidir (Moncmanova, 2007).

Rüzgar

Güneşten gelen ısı enerjisi ile atmosferin alt katmanlarında ısınan hava yükselir ve değişik bölgelerde atmosferde alçak ve yüksek basınç merkezleri oluşur. Yüksek basınç koşullarına sahip bölgelerden gelen hava, basınç farkları ortadan kalkıncaya kadar düşük basınç koşullarına sahip bölgelere akar.

Atmosferde oluşan hareketlerin hızına bağlı olarak farklı şiddette ve yönde rüzgarlar oluşur. Binaların ve yerleşimlerin tasarımında, düzenlenmesinde ve doğal havalandırma konseptlerinin geliştirilmesinde konuma göre hakim rüzgar yönleri dikkate alınmalıdır. Yüksek binalardaki rüzgar etkileri ve buna karşı alınması gerekli önlemler daha büyük bir öneme sahiptir (Hegger ve diğ, 2008; Toydemir ve diğ, 2000). Özellikle yağmur koşulları altındaki rüzgar, malzemenin içerisine yağmur suyunun girmesiyle malzemenin zarar görmesine neden olabilir (Moncmanova, 2007).

Su (Yağışlar)

Havadaki su buharı uygun koşullar oluştuğunda yağmur, dolu veya kar şeklinde yeryüzüne iner ve bina dış dış kabuklarını etkiler. Bu nedenle, yağmur suyunu bina bünyesine almadan yapıdan uzaklaştırmak temel amaçtır. Cephe sistemleri düşey konumda olmaları nedeniyle yağışlardan az etkilenir (Toydemir ve diğ, 2000).

Bununla birlikte, havaya karışan kirleticiler ve zehirli gazlar suyla birleşerek binaların dış kabuklarında zararlı etkilere yol açabilir (Toydemir ve diğ, 2000). Ayrıca yağış, birikmiş zararlı maddelerin açıkta kalan yüzeylerden temizlenmesini sağlayabilir (Moncmanova, 2007).

2.2.3.2 Biyolojik etmenler

Organik malzemeler organizmalardan olumsuz yönde etkilenir (Kocataşkın, 1966). Biyolojik etmenler, malzemede çürüme ve bozulmalara neden olup zaman içinde malzemelerin yapısında değişikliklere yol açarak, cephe sisteminin enerji performansına olumsuz yönde etki edebilir (Moncmanova, 2007).

2.2.3.3 Kimyasal etmenler

Havadaki CO₂ ve SO₃ gibi gazların etkileri çiçeklenme, korozyon ve çeşitli kimyasal maddelerin doğrudan etkileri yapı malzemeleri üzerinde olumsuz etkilere yol açabilir. Özellikle dış cephe kaplamalarının kimyasal etmenlerden olumsuz etkilenmemesi için bina tasarım aşamasında önlemler alınması gerekmektedir (Kocataşkın, 1966).

2.2.3.4 Mekanik etmenler

Bir binaya kendi yüklerinden kaynaklanan statik (ölü) yükler ve kar, rüzgar, deprem, insan, eşya gibi hareketli yükler etki eder (Toydemir ve diğ, 2000). Cephe sistemini oluşturan bileşenler, üzerlerine gelen yüklerin oluşturduğu mekanik gerilmelere karşı mukavemet gösteremedikleri zaman zarar görebilirler. Bununla birlikte, yüklerin oluşturduğu mekanik gerilmeler karşısında dış duvar sistemi bir bütün olarak dayanım ve denge gösteremediğinde sistemde olumsuz etkiler oluşabilir (Foster, 1996). Bina kabuklarında kullanılan malzemeler bu yüklerin etkileri göz önünde bulundurularak seçilmelidir.

2.3 Design Builder Benzetim Programı ile Enerji Performans Değerlendirmesi

Bina tasarımında enerji performansı değerlendirmeye yönelik araştırmalar; benzetim programı ile hesaplama, sayısal hesaplama, deneysel ölçme, literatür derlemeleri yöntemleri ile yapılabilir. Bununla birlikte birden fazla yöntem kullanılarak değerlendirmelerin yapıldığı; benzetim programı ile hesaplama ve deneysel ölçme, deneysel ölçme ve sayısal hesaplama çalışmaları da literatürde mevcuttur.

Enerji performansı hesaplamalarının yapılabilmesi için son yıllarda çok sayıda değerlendirme aracı geliştirilmiştir (Hegger ve diğ, 2006). Enerji performansı hesaplaması; Design Builder, Fluent, Transient System Simulation Tool gibi benzetim programları kullanılarak yapılabilmektedir. Tez çalışması kapsamında, cephe kaplama malzemeleri ve uygulama yöntemlerinin bina enerji performansına etkileri Design Builder benzetim programı aracılığıyla incelenmiştir. Design Builder benzetim programı yapı tasarımında enerji, karbon, aydınlatma ve konfor değerlendirmeleri için geliştirilmiş, tasarım alternatiflerinin performanslarını karşılaştırmaya yardımcı olan Energyplus tabanlı bir yazılımdır (Url-2).

Design Builder programı:

- Isıtma, soğutma, havalandırma sistemlerinin boyutlandırılması,
- Doğal havalandırma, gün ışığı, ısıl konfor analizi,
- Bina enerji tüketimi analizi,
- CO₂ salımı analizi,
- Maliyet analizi,
- Enerji optimizasyonu ve CFD (computational fluid dynamics) akışkanlar dinamiği analizi

yapan bir benzetim programıdır. Programda ASHRAE onaylı ‘ısı dengesi’ yöntemi kullanılarak ısıtma ve soğutma yükleri hesaplanır ve ASHRAE 90.1 standardına göre tanımlanan ASHREA tarafından yayımlanmış IWEC (International Weather Year for Energy Calculation) iklim verilerini kullanır. Bu veriler program üzerinden otomatik olarak seçilebileceği gibi programa iklim verisi dosyası tanımlanarak da eklenebilir. Isıtma ve soğutma yükleri hesaplanan benzetimlerde yıllık, aylık, günlük ve saatlik enerji yükleri kWh birimi ile oluşturulur. Sonuç verileri istenilen şekilde filtrelenebilir grafikler ya da tablolar halinde sunulabilir. Diğer uygulamalarda kullanılmak üzere başka bir programa aktarılabilir (Url-2).

3. CEPHE KAPLAMA MALZEMESİ VE UYGULAMA YÖNTEMLERİ

Cephe sistemleri; binaya ait diğer sistemler ile doğrudan ilişki içerisinde olan ve binanın iç mekan koşullarının şekillendirilmesinde önemli bir role sahip düşey veya düşeye yakın elemanlardır (Knaack ve diğ, 2007). Cephe kaplamaları, cephe sistemlerinin en dış katmanını oluşturmasıyla çevresel etmenlerle doğrudan temasta olarak iç ortam ile dış ortam arasındaki dengenin kurulmasında, uygun iç ortam koşullarının sağlanmasında, dışardan gelen zararlı etkilerin içeriye alınmasının engellenmesinde ve cephe sisteminin iç katmanlarının korunmasında etkili olan yapı bileşenleridir. Cephe kaplama malzemelerinin karşılaması gereken işlevler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Toydemir ve diğ, 2000):

- Isıl performans,
- Su ve nem ile ilişkili performans,
- Mekanik dayanım,
- Atmosferin kimyasal etkilerine karşı direnç,
- Güneş radyasyonunun zararlı etkileri ile bozulmama,
- Dış sıcaklık değişiklikleri ile oluşacak genleşme ve büzölmelerden zarar görmeme,
- Yağış sularından bozulmama ve suyu bünyesine almama,
- Don etkisi ile bozulmama,
- Temizlik ve bakım kolaylığı.

Yukarıda belirtilen performans gereksinimleri, cephe kaplama malzemelerinin karakteristik özellikleri, yüzey özellikleri ve uygulama yöntemleri ile doğrudan ilişkilidir ve genel olarak binaların enerji tüketiminde etkili olmaktadır. Bu bölümde, öncelikle cephe kaplama malzemeleri sınıflandırılarak malzemelerin özgün özellikleri tanımlanmaktadır. Cephe kaplama malzemelerinin uygulama yöntemleri ve bu yöntemlerin çalışma prensipleri açıklanmaktadır.

Özellikle tez kapsamında çalışılan opak, inorganik cephe kaplama malzemeleri ve uygulama yöntemleri ayrıntılı olarak işlenmektedir.

3.1 Cephe Kaplama Malzemelerinin Sınıflandırılması

Malzemeler, bir tasarımın bünyesine giren, tasarımın biçimlenişinde rol oynayan, her türlü işlenmemiş, yarı veya tam işlenmiş maddelerdir (Eriç, 2002). Cephe kaplama malzemeleri, cephe sistemlerinin en dış katmanı, binanın dışa bakan bileşenidir. Günümüz teknolojisindeki gelişmeler ile birlikte cephe tasarımında çok çeşitli kaplama malzemeleri kullanılmaktadır. Bu malzemeler doğadaki iç yapı oluşumlarına, kimyasal bileşimlerine, kullanım yerlerine, üretim süreçlerine, optik özelliklerine (ışık geçirgenlikleri) göre sınıflandırılabilir (Kakani, 2004).

Cephe kaplama malzemeleri iç yapı oluşumlarına göre; kalsiyum, silisyum ve metalik esaslı inorganik malzemeler ve karbon, hidrojen, azot esaslı organik malzemeler olmak üzere Çizelge 3.1’de gösterildiği gibi ikiye ayrılır (Eriç, 2002).

Çizelge 3.1 : İç yapılarına göre cephe kaplama malzemeleri sınıflandırması (Eriç, 2002).

Sınıflandırma Türü	İnorganik Malzemeler				Organik Malzemeler		
İç yapılarına göre	Doğal Taş	Metal	Çimento Esaslı	Kil Esaslı	Cam	Ahşap	Polimer Esaslı

7 temel grupta incelenen bu malzemeler aynı zamanda ışık geçirgenliklerine göre opak malzemeler ile yarı saydam ve saydam malzemeler olarak Çizelge 3.2’de gösterildiği gibi 2’ye ayrılırlar.

Çizelge 3.2 : Işık geçirgenliklerine göre cephe kaplama malzemeleri sınıflandırması (Kakani, 2004).

Sınıflandırma Türü	Opak Malzemeler				Yarı Saydam ve Saydam Malzemeler		
Işık geçirgenliklerine göre	Doğal Taş	Metal	Çimento Esaslı	Ahşap	Kil Esaslı	Polimer Esaslı	Cam

Doğal taş cephe kaplama malzemeleri, yer kabuğunu meydana getiren kayaların oluşturduğu, kristal iç yapıya sahip mermer, granit, kireçtaşı, kumtaşı vb. malzemelerdir.

Geçmişte kalın kesitlerle binalarda kullanılan doğal taşlar günümüzde cephe kaplama malzemesi olarak her türlü dış etmene karşı dayanıklılığı test edilmiş şekilde kullanılmaktadır (Eriç, 2002; Toydemir ve diğ, 2000).

Metal cephe kaplama malzemeleri, bir elementin atomlarından oluşan saf halde (alüminyum, çinko gibi) veya iki ya da daha fazla elementin bir araya gelmesi ile oluşan alaşımlar şeklinde (paslanmaz çelik gibi) kullanılırlar (Herzog ve diğ, 2004). Düz levha, profilendirilmiş levha, kompozit levha ve metal örgü levha olarak cephe sistemlerine dahil edilebilirler (Staib ve diğ, 2007).

Kil esaslı cephe kaplama malzemeleri kil, feldispat ve kuvarstan oluşur. Bu malzemeler, kil hamurunun presleme, ekstrüzyon ve sinterleme yöntemleri kullanılarak şekillendirilmesi ile üretilmektedir (Toydemir ve diğ, 2000). Cephelerde tuğla, seramik ve porselen olarak kullanılırlar (Li ve diğ, 2011).

Çimento esaslı cephe kaplama malzemeleri, çimentonun çeşitli katkı maddeleri eklenerek güçlendirilmesi ile üretilmektedir. Cephelerde cam lifli beton panel, lifli çimento levha ve sıva olarak kullanılırlar (Herzog ve diğ, 2004).

Ahşap cephe kaplama malzemeleri hammaddesi ağaç olan, çeşitli türde doğal polimerlerden oluşan, doğada bol miktarda bulunan ve kolay işlenebilen yapı malzemeleridir (Onaran, 1993). Ahşap esaslı malzemeler, özel reçinelerle yapıştırılmış ve dış yüzeyleri kaplı kompakt laminat paneller ve masif yalı baskı paneller olarak cephelerde yaygın kullanılır.

Polimer esaslı cephe kaplama malzemeleri hammaddesi petrol olan, ısı altında yumuşak durumda iken yapıdaki kullanımlarına uygun bir şekilde, basınç ile veya iki farklı bileşiğin polimerleşmesi sonucu üretimleri yapılan malzemelerdir (Eriç, 2002).

Plastik esaslı cephe kaplama malzemelerinin fazla türü olmasına rağmen güneş ışınımına dayanıklılık, eskime gibi etkenler nedeniyle, aralarında cephe kaplaması olarak kullanılabilenlerin sayısı sınırlıdır ve çoğunlukla kompozit olarak kullanılmaktadırlar (Toydemir ve diğ, 2000). Cam lifli polimer levhalar (CTP), polikarbonat levhalar (PC), akrilik levhalar (PMMA) günümüzde cephe kaplamalarında yaygın olarak kullanılan polimer esaslı malzemelerdir (Kaltenbach, 2004).

Cam cephe kaplama malzemeleri, katı cisimlerin mekanik özellikleri ile birlikte sıvı cisimlerin özelliklerini de gösteren malzemelerdir (Eriç, 2002).

Bu kaplamalar cephelerde genellikle bir alt konstrüksiyona tespit edilen cam yüzeylerden oluşan sistemler içerisinde kullanılır (Brookes ve diğ, 2008).

3.2 Cephe Kaplama Malzemelerinin Özellikleri

Binaların farklı bölümlerinde, işlevlerine bağlı olarak değişik nitelikte ve özellikte malzemelerin kullanılması gerekir. Bu nedenle, malzemelerin mekanik, fiziksel, ısı, fiziko-kimyasal, elektriksel ve optik özelliklerinin bilinmesi ve bu özelliklerin sayısal büyüklüklerle ifade edilebilmesi, amaç ve gereklilikler göz önünde bulundurularak uygun malzemenin belirlenmesi önemlidir (Toydemir ve diğ, 2000; Watts, 2016). Cephe kaplama malzemelerinin enerji performansı ile ilişkili özellikleri, malzeme ölçeğinde karakteristik özellikler ve yüzey özellikleri başlıkları altında ele alınabilir.

3.2.1 Karakteristik özellikler

Karakteristik özellik, malzemelerin tanımlanmasına ve sınıflandırılmasına yardımcı olan özelliklerdir (Hunt, 2007). Alt bölümlerde malzemelerin karakteristik özellikleri; iç yapı, yoğunluk, porozite, ısı iletkenlik, özgül ısı, ısı geçirgenlik direnci ve buhar difüzyon direnci başlıkları altında açıklanmaktadır.

3.2.1.1 İç yapı

Malzemenin yoğunluk, ısı iletkenlik gibi özellikleri atom yapısı ve atomlar arası bağları ile yakından ilişkilidir. Atomlar arası bağlar, kuvvetli ve zayıf olmak üzere iki türdür. Kuvvetli bağlar iyonik, kovalent ve metalik olmak üzere 3'e ayrılır, zayıf bağlar ise Van der Waals kuvvetlerini ifade eder (Onaran, 1993).

Katı maddelerin iç yapısı:

- Kristalli,
- Amorf,
- Karma (ikisinin kombinasyonu)

olmak üzere üç şekilde sınıflandırılır. Kristalli malzemeler genellikle çok sayıda kristalden, amorf malzemeler ise moleküllerden meydana gelmiştir. Yapı malzemeleri çoğunlukla kristallidir. Kristalli malzemelerde atomlar daha düzgün sıralar şeklinde dizildikleri için, bunların dayanıklılıkları ve ağırlıkları amorf malzemelere göre daha yüksektir (Kocataşkın, 1966).

Yapı malzemelerinden ahşap, polimer ve cam amorf yapılı, metal esaslı malzemeler kristal yapılıdır. Çimento, kil ve doğal taş gibi mineral esaslı inorganik malzemeler ikisinin kombinasyonu şeklinde karma iç yapıya sahiptir (Kocataşkın, 1966; Eriç, 2002).

3.2.1.2 Yoğunluk

Bir malzemenin yoğunluğu bileşenlerine ve iç yapısına bağlıdır. Malzemelerin iç yapısında gözle görülebilen (makro) veya görülemeyen (mikro) büyüklüklerde boşluklar vardır. Bu boşluklar çıkarıldıktan sonra malzemenin ağırlığının dolu hacmine oranı yoğunluğu verir ve birimi g/cm^3 veya kg/m^3 'tür (Li ve Ren, 2011). Birim hacim ağırlık ise ağırlığın tüm hacme oranıdır. Birim hacim ağırlık değerinin küçük olması o cismin gözenekli ve boşluklu bir yapıya sahip olduğunu gösterir (Kocataşkın, 1966).

Yoğunluğun diğer malzeme özellikleri ile ilişkileri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Malzemenin birim hacim ağırlığı arttıkça ısı iletkenliği de artabilmektedir (Kocataşkın, 1966).
- Malzemenin yoğunluğu arttıkça gözenekliliği azalabilmektedir (Li ve Ren, 2011).
- Düşük yoğunluklu katı bir malzeme genellikle hacimsel boşluklar/gözenekler içerir, yüksek poroziteye sahiptir ve ısı iletkenliği düşüktür (Hegger ve diğ, 2006).
- Metallerin yoğunlukları çoğunlukla yüksektir. Doğal taş ve kil esaslı malzemeler ise boşluk içerdiklerinden yoğunlukları görece daha düşüktür (Onaran, 1993).

3.2.1.3 Porozite

Bir malzemenin içinde bulunan boşlukların değeri, boşluk/gözenek hacminin malzemenin tüm hacmine oranı; doluluk değeri ise dolu bölümünün malzemenin tüm hacmine oranıdır (Toydemir ve diğ, 2000). Katı cisim olmalarına rağmen yapı malzemelerinin çoğu iç yapısında göz ile ayırt edilebilen veya ayırt edilemeyen, küçük veya büyük, sürekli veya süreksiz olmak üzere birçok boşluğa/gözeneğe sahiptir (Onaran, 1993).

Malzemedeki boşluklar/gözenekler büyüklüklerine göre aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Küçük boşluk 0,1 mikrondan küçük,
- Kılcal boşluk 0,1 mikron ile 2,5 mm arası,
- Büyük boşluk 2,5 mm üzerinde.

Malzemedeki boşluklar kılcal, dışa açık veya kapalıdır. Açık ve kılcal boşluklar su emicilik ve geçirimsizlik yönünden önemlidir (Onaran, 1993). Boşlukların özellikle iri ve süresiz olanları, malzeme içerisinde gaz veya sıvıların geçişine veya iç yüzeyleri tarafından gaz veya sıvıların absorbe edilmelerine neden olabilir. Bu durum birtakım bozulmalara da yol açabilir (Kocataşkın, 1966).

Porozitenin diğer malzeme özellikleri ile ilişkileri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Malzemedeki porozite (boşluk oranı) arttıkça ısı iletkenlik özellikleri düşebilir (Kocataşkın, 1966).
- Genel olarak iç gözeneklilik büyüdükçe, hacim yoğunluğu ve dayanıklılık azalabilir (Li ve Ren, 2011).
- En iyi ısı yalıtkan ortam kapalı hava boşluğudur, diğer bir ifadeyle vakumdur. Havanın ısı iletkenlik katsayısı 0,024 W/mK'dir. Ancak, malzemenin boşluklarının boyutu arttığında ısı taşınımı etkisiyle yalıtım değeri azalır (Onaran, 1993).
- Metal ve plastik esaslı malzemeler çoğunlukla boşluksuz, doğal taş, çimento ve kil esaslı malzemeler ise göreceli olarak boşlukludur (Onaran, 1993).

3.2.1.4 Isıl iletkenlik

Isıl iletkenlik, 1 m kalınlığındaki bir cismin paralel iki yüzeyi arasında 1 C°'lık sıcaklık farkı olduğunda 1m² alandan birim zamanda geçen ısı enerjisi miktarıdır (Kocataşkın, 1966). Aynı zamanda, bir malzemenin bir tarafından diğer tarafına ısıyı iletme yeteneği olarak da tanımlanabilir. Isı iletiminin oluşabilmesi için iki nokta arasında sıcaklık farkı bulunması temel şarttır ve iletimde ısının akış yönü daima yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru gerçekleşmektedir (Kocataşkın, 1966). Isıl iletkenlik katsayısı ' λ ' ile ifade edilir ve birimi W/mK'dir (Li ve Ren, 2011). Isıl iletkenlik katsayısının yüksek olması, ısının aktarılma hızının da yüksek olduğu anlamına gelir (Kakani, 2004).

Katı malzemelerin ısı iletkenlik katsayısı, gözeneklilik miktarına, gözeneklerin büyüklüklerine, gözeneklerin dağılım durumuna ve barındırdıkları nem miktarına bağlıdır. Gözeneklerin içinde bulunan durgun havanın ısı iletkenliği düşüktür. Bununla birlikte, malzemenin gözenek miktarı arttıkça birim hacim ağırlığı azalır. Bu azalış ise düşük ısı iletkenlik değeri ile sonuçlanır. Çok küçük gözenekleri olan ve bu gözenekler düzenli bir şekilde dağılmış olan malzemelerin ısı iletkenliği, düzensiz dağılmış büyük gözenekleri olan bir malzemeye göre daha düşük olmaktadır (Eriç, 2002).

Isı iletkenliğin diğer malzeme özgün özellikleri ile ilişkileri aşağıda verilmektedir:

- Malzemede nem oranının artması, ısı iletim katsayısını artırır. Küçük ısı iletkenlik (λ) değeri, malzemenin daha güçlü bir ısı yalıtımı ve korumasına sahip olduğunu gösterir. Genel olarak, inorganik, metal ve kristalli iç yapıya sahip malzemelerin ısı iletkenlik katsayısı, organik olan ve kristalli iç yapıya sahip olmayan malzemelerin ısı iletkenlik katsayısından daha büyüktür (Li ve Ren, 2011).
- Malzemelerde ısı enerjisi atomların ısı titreşimleri ve serbest elektron hareketi ile iletilir. Serbest elektronlar, ısı titreşimlere göre 10-100 kat daha fazla ısı enerjisi iletir. Metallerde serbest elektronlar fazla olduğu için genellikle ısı iletkenlik değerleri çok yüksektir. Ancak, her metal için bu geçerli değildir. Örneğin, paslanmaz çelik metal olmakla birlikte, ısı iletkenliği düşük bir malzemedir. Bununla birlikte, saf metallerin ısı iletkenliği alaşımlardan daha büyüktür. Seramik ve polimerlerin ısı iletkenlikleri düşük olmakla beraber, üretim sürecinde içlerinde küçük boşluklar oluşturularak iletkenlikleri daha fazla azaltılır (Onaran, 1993).

3.2.1.5 Özgül ısı

Bir maddenin birim kütledeki sıcaklığı 1 C° artırmak için gerekli enerji olarak tanımlanmaktadır (Toydemir ve diğ., 2000). Bir malzeme tarafından emilen ısı enerjisinin büyüklüğü olarak da ifade edilebilir (Onaran, 1993).

Birimi, J/gK, J/gC'dir. Özgül ısı 'c' ile ifade edilir. Bir malzemenin ısınma ve soğuma yeteneği, özgül ısı değeri ile belirlenir. Yapı malzemesinin özgül ısısı, sıcaklık değişimleri karşısındaki davranışını belirlemek açısından oldukça önemlidir.

Özgöl ısı değerinin diğer malzeme özgöl özellikleri ile ilişkisi ile ilgili olarak (Kocataşkın, 1966):

- Malzeme yüksek bir özgöl ısıya sahip ise sıcaklık değişimlerinden daha az etkilenir.
- Malzemede nem miktarı arttıkça özgöl ısı değeri de artar.

3.2.1.6 Isıl geçirgenlik direnci

Isıl geçirgenlik direnci, bir iletkenin iki noktası arasındaki sıcaklık farkı nedeni ile ısı akışı oluştuğunda meydana getirdiği dirençtir (Kakani, 2004). Aynı zamanda, malzemenin birim alanından, saat başına 1 birim hızı ile ısı akışına neden olmak için gerekli olan sıcaklık farkı olarak tanımlanmaktadır. “R” ile ifade edilir, birimi m^2K/W ’dır. Isıl geçirgenlik direnci malzemenin kalınlık değerinin, ısı iletkenlik değerine bölünmesi ile hesaplanmaktadır. Çok tabakaya sahip yapı elemanlarında ısıl geçirgenlik direnci, yapı malzemeleri kalınlıkları ve bu malzemelerin ısı iletkenlik değerlerinin tek tek kullanılması ile hesaplanır. Toplam ısıl geçirgenlik katsayısı, diğer bir deyişle U-değeri, ısıl geçirgenlik direnci (R değeri) ile ters orantılıdır (TS 825, 2013). R değeri arttıkça U-değeri azalmaktadır.

Düşük U-değerine sahip cephe sistemlerinin tasarlanması ısı kayıplarını engellemek için bir yöntemdir (Rich ve Dean, 1977). Yapı elemanı tasarımında, TS 825 yönetmeliğinde yer alan toplam ısıl geçirgenlik katsayılarının yapının bulunduğu bölge için istenilen en az U-değerini karşılaması sağlanmalıdır. TS 825’e göre İstanbul ilinin bulunduğu ikinci iklim bölgesi için önerilen en fazla U-değerleri Çizelge 3.3’te verilmektedir.

Çizelge 3.3: TS 825’e göre 2.bölge için en fazla U-değerleri (TS 825, 2013).

UD (W/m ² K)	UT (W/m ² K)	Ut (W/m ² K)	UP (W/m ² K)
0,57	0,38	0,57	1,8

UD: Dış duvar toplam ısıl geçirgenlik katsayısı

UT: Tavan (çatı) toplam ısıl geçirgenlik katsayısı

Ut: Zemin oturan döşeme toplam ısıl geçirgenlik katsayısı

UP: Pencere toplam ısıl geçirgenlik katsayısı.

3.2.1.7 Buhar difüzyon direnci

Yapı elemanlarında her zaman belirli miktar su buharı bulunur. Buhar difüzyon direnci, malzemenin buhar difüzyonuna karşı oluşturduğu dirençtir. Birimsiz bir değerdir ve ' μ ' ile ifade edilir. Buhar difüzyon direnci aynı kalınlıktaki bir hava tabakasına oranla yapı malzemesinin buhar yönünden geçirimsizlik değerini göstermektedir (Türkçü, 1997).

3.2.2 Yüzey özellikleri

Malzemelerin yüzey özellikleri; pürüzlü ya da pürüzsüz, sert ya da yumuşak, parlak ya da mat, açık ya da koyu renkli oluşları gibi özellikleri ile belirlenir (Toydemir ve diğ., 2000). Alt bölümlerde malzemelerin enerji performansı ile ilişkili yüzey özellikleri; pürüzlülük, emicilik, renk ve doku başlıkları altında açıklanmaktadır.

3.2.2.1 Pürüzlülük

Malzeme yüzeylerindeki farklı miktarlarda ve yüksekliklerde tepe ve çukurlar pürüzlülük özelliğini oluşturur. Malzemelerin çoğu az ya da çok olmak üzere yüzey pürüzlülüğüne sahiptir. Yüzey pürüzlülüğü ile artan yüzey alanı, dış ortam sıcaklığı yüzey sıcaklığından düşük olduğunda, binanın gece daha hızlı soğumasını sağlayan bir ısı taşınım katsayısı sağlamaktadır. Yüksek yüzey pürüzlülüğüne sahip malzemelerde yüzeylerin bir kısmında gölge oluşumu görülür (Sodha ve diğ., 1986). Ayrıca, pürüz miktarı fazla olduğunda havanın pürüzler arasındaki hareketi yüzeyden taşınım yoluyla olan ısı kaybını arttırabilir (Url-3).

3.2.2.2 Emicilik

Elektromanyetik veya radyasyon dalgaları belirli enerjilere sahiptir. Bu enerjiler, foton adı verilen küçük parçacıklar tarafından yayılır. Malzemelerde optik özellikler elektromanyetik dalgalarla malzemelerin elektronları arasında etkileşme sonucunda oluşur. Bu etkileşmenin 2 yönü vardır. İlki, gelen dalga ile oluşan yansıma, kırılma ve emilmedir. Etkileşmenin ikinci yönü, malzemeye çarpan fotonların çevreye yaydığı uyarılmış, radyasyon dalgalarıdır. Bazı durumlarda emilen radyasyon enerjisi ısı enerjisi dönüşür. Malzemenin emiciliği iç yapısına, nemlilik oranına ve yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır (Onaran, 1993). Emicilik; ısı emicilik, güneş emiciliği ve görünür emicilik olarak 3'e ayrılır.

Isıl Emicilik

Isıl emicilik, malzeme tarafından emilen uzun dalga boyu radyasyonunun bir kısmını temsil eder. Yüzeyler arasındaki uzun dalga boyu değişimi hesaplanırken kullanılır. Isıl emicilik 0 ile 1 arasında bir değer alır. 1 değeri ‘siyah cisim’ temsil eder (Url-3). Siyah cisim kendisine gelen görünür ya da görünmez bütün ışınları emen cisim anlamına gelir. Bu şekilde bir cisim mevcut olmamakla birlikte teorik olarak bu tür bir kavram ortaya konmuştur (Toydemir ve diğ, 2000).

Güneş emicilik

Güneş emicilik, malzeme tarafından emilen güneş ışınlamını temsil eder. Güneş ışınlamı, görünür dalgaların yanı sıra kızılötesi ve ultraviyole dalga boylarını içerir. Çeşitli yüzeyler tarafından emilen güneş radyasyonu miktarını hesaplarırken kullanılır. Güneş emicilik değerleri 0,0 ile 1,0 arasındadır (Url-3).

Görünür Emicilik

Görünür emicilik, malzeme tarafından emilen görünür dalga boyu ışınlamını temsil eder. Görünür dalga boyu ışınlamı elektromanyetik spektrumda güneş ışınlamından çok daha dar bir alan kaplar. Yüzeyler tarafından emilen görünür ışınlam miktarını hesaplarırken kullanılır ve 0 ile 1 arasında bir değer alır (Url-3).

3.2.2.3 Yüzey rengi

Bir cisimden emilmeden dışarı yayılan ışınlam, cismin rengini belirler. Açık renkli bir yüzeyden çoklu yansımaya ve sonuçta çoklu emilim meydana gelir. Yüzey renginin açık olması yansımaya oranını artırır ve emicilik değerini azaltır (Sodha ve diğ, 1986). Çizelge 3.4’te yüzey rengine bağlı olarak yaklaşık ışık yansımaya yüzdeleri verilmiştir.

Çizelge 3.4: Çeşitli renklerin ışık yansımaya yüzdeleri (Sodha ve diğ, 1986; Santamouris ve Asimakopoulos, 1996).

Yansımaya Oranı	Beyaz	Gri	Bej	Sarı	Turuncu	Mavi	Kırmızı	Siyah
Değer (%)	90	86	75	70	62	53	35	5

3.2.2.4 Yüzey dokusu

Malzemenin yüzey yapısı, deseni, sertlik ve yumuşaklığı yüzey dokusunu niteler. Farklı malzemeler yüzey dokularıyla insanlarda farklı duygular uyandırır. Bununla birlikte, malzemenin farklı yüzeyleri farklı dokular sergileyebilir (Li ve Ren, 2011).

3.3 Cephe Kaplama Malzemelerinin Uygulama Yöntemleri

Cephe kaplama malzemeleri, farklı uygulama yöntemleri kullanılarak cephe sistemlerine dahil edilebilmektedir. Uygulamalar cephe sisteminde kullanılacak malzemenin boyutları, birim ağırlığı, alt konstrüksiyonu gibi faktörlere bağlı olarak farklılık göstermektedir.

Cephe kaplama malzemelerinin literatür araştırmaları, referans kitaplar, firma katalogları ve firma internet siteleri taramaları ile yapılan incelemeler sonucunda, cephe sistemlerine hava boşluklu veya hava boşluksuz olarak dahil edildikleri belirlenmiştir. Cephe kaplama malzemelerinin uygulanmasında kullanılan yöntemler aşağıdaki şekilde gruplanmıştır:

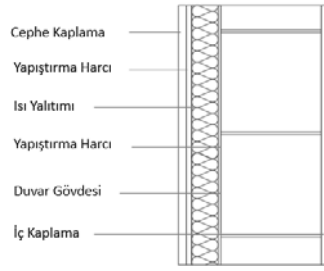
- Sürekli temas ile (yapıştırılarak veya sürülerek) uygulama yöntemi
- Noktasal (veya doğrusal) tespit ile boşlukta asılma yöntemi
 - Havalandırılarak asılma yöntemi
 - Açık derzli
 - Kapalı derzli
 - Havalandırılmadan asılma yöntemi

Aşağıdaki bölümlerde bu sistemler detaylı olarak açıklanmaktadır.

3.3.1 Sürekli temas ile uygulama

Sürekli temas ile uygulama yönteminde cephe kaplama malzemeleri duvar gövdesi veya bu gövde üzerine uygulanan yalıtım malzemeleri üzerine yapıştırıcı (harç) yardımıyla veya doğrudan sürülerek uygulanır. Bu sistemde, genellikle 30 cm×50 cm ebatlarından çok büyük olmayan cephe kaplama malzemeleri kullanılır. Kaplamaların yerinden ayrılması/düşmesi riski nedeniyle arka yüzlerinin harçla aderansı artırıcı şekilde yivli ya da dişli olarak üretilmiş olması gerekir. Düşey kaplamaların derzleri malzemenin genişlemesine olanak sağlayacak rijitlikte bir derz dolgusuyla doldurulmalıdır (Toydemir ve diğ, 2000).

Genellikle cephe sistemi içten dışa doğru Şekil 3.1'deki şematik kesitte gösterildiği gibi; iç kaplama, duvar gövdesi, yapıştırma harcı ve ısı yalıtımı (varsa), yapıştırma harcı, dış cephe kaplama malzemesi ile oluşturulur.



Şekil 3.1: Sürekli temas ile uygulama yöntemi.

Geleneksel yöntem olarak da adlandırılabilen bu uygulamada kaplama malzemesinin arkasında hava boşluğu bırakılmaz.

3.3.2 Noktasal tespit ile asılarak uygulama

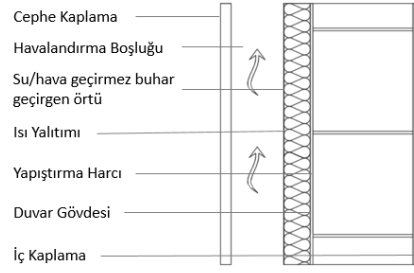
Duvar dış yüzeyine kuru olarak noktasal tespit ile asılma; arkası havalandırılarak veya havalandırılmayan yöntemler ile uygulanmaktadır. Arkası havalandırılarak asılan uygulamalar açık veya kapalı derzli olmak üzere 2 farklı şekilde oluşturulabilir. Vida, perçin veya klips gibi bağlantı elemanlarıyla sabitlenen bu sistemlerin temel amacı (Abbas ve Tan, 2014) :

- Dış hava koşullarına dayanıklı bir katman oluşturmak,
- Dekoratif bir dış katman oluşturmak,
- Kaplama ve duvar arasında bir boşluk bırakılarak ısı ve nemsel performansı iyileştirmek,
- Enerji tüketimini azaltarak enerji tasarrufu elde etmektir.

3.3.2.1 Havalandırılarak asılan uygulama

Bina dış kabuğunda ısı yalıtımı için artan gereksinimler, havalandırılmalı cephelerin geliştirilmesine büyük katkıda bulunmuştur. Bu sistemde, cephe kaplama malzemesi duvar gövdesini çevresel etmenlere karşı koruma görevi üstlenir (Bechthold ve diğ., 2015). Havalandırılarak asılan uygulamada kaplama malzemeleri Şekil 3.2'deki şematik kesitte görüldüğü gibi, duvar yüzeyiyle arasında hava boşluğu oluşturulacak şekilde bir kontrüksiyon sistemi yardımıyla harç kullanılmadan duvara tespit edilir (Toydemir ve diğ., 2000).

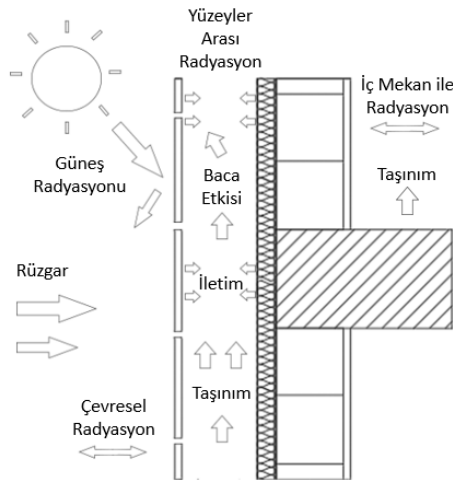
Bu yöntemde cephe sistemleri içten dışa doğru; iç kaplama, duvar gövdesi, ısı yalıtımı (varsa), hava/su geçirmez buhar geçirgen örtü (varsa), havalandırma boşluğu ve dış kaplamadan oluşur (Schaupp, 1967).



Şekil 3.2: Havalandırılarak asılan uygulama yöntemi.

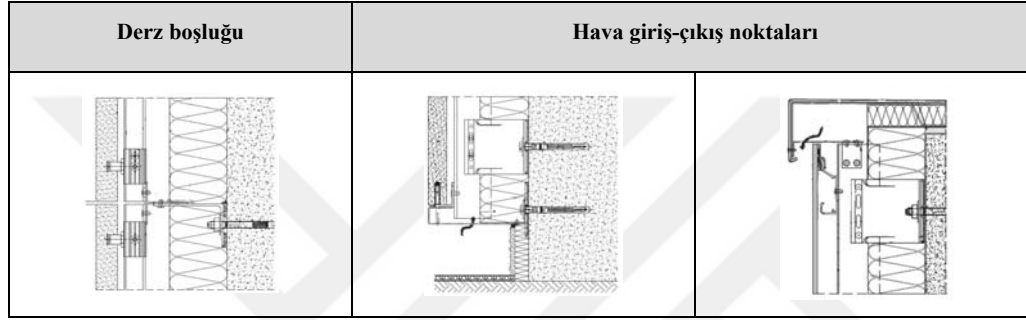
Havalandırılmalı cepheler sıcak ve soğuk iklim koşullarında farklı şekillerde çalışabilir. Sıcak koşullarda, güneş radyasyonuna maruz kalan cephe kaplama malzemeleri ısınarak, bu ısıyı hava boşluğuna iletim yoluyla aktarır. Hava alt bölgedeki açıklıklardan havalandırma boşluğuna girer, taşınım etkisiyle birlikte üst bölgedeki açıklıklardan ısıyı dışarıya çıkartarak cephede oluşan ısının iç mekana geçişini azaltır. Bu durum, hava baca etkisi olarak nitelendirilir. Soğuk dönemde, havalandırma boşluğunun ısı etkisi çoğunlukla azdır. Bu sistem, iklim koşullarına da bağlı olarak ısıtma yüklerine katkı sağlayabileceği gibi soğuk hava doğrudan bina yalıtımına/gövdesine bitişik olduğundan enerji yükleri üzerinde olumsuz etkiler de oluşturabilir (Bechthold ve diğ, 2015).

Havalandırma boşluğunda oluşan hava hareketi; güneş radyasyonu, çevresel radyasyon, boşluğu oluşturan iki katman arasındaki radyasyon, iletim, taşınım ile birlikte rüzgar kuvvetinden etkilenir (Gagliano ve diğ, 2016). Havalandırma boşluğundaki ısı geçişinin yaklaşık % 60'ı, cephe kaplama malzemesi yüzeylerinden gelen radyasyon ile gerçekleşir (Smith ve diğ, 1983). Şekil 3.3'te havalandırılarak asılan uygulamanın çalışma prensibi şematize edilmiştir.



Şekil 3.3 : Havalandırılmalı cephe çalışma prensibi (Ibañez-Puy ve diğ, 2017).

Etkili bir havalandırma en az 20 mm havalandırma boşluğu genişliğine sahip olmalı ve 1 m cephe uzunluğunda en az 50 cm² şeklinde oluşturularak yeterli hava giriş ve çıkışına izin vermelidir (Herzog ve diğ., 2004). Hava giriş ve çıkışı Şekil 3.4'te gösterildiği gibi sisteme göre derzler, cephenin alt ve üst bölümlerindeki bitişlerde perfore elemanlarla sağlanabilir. Bu perfore elemanlar aynı zamanda hava boşluğuna böcek vb. canlıların girişini önler. Bazı durumlarda hava giriş ve çıkışı kaplama malzemesi ile (örneğin havalandırma tuğlası) sağlanabilir (Hegger ve diğ., 2006).

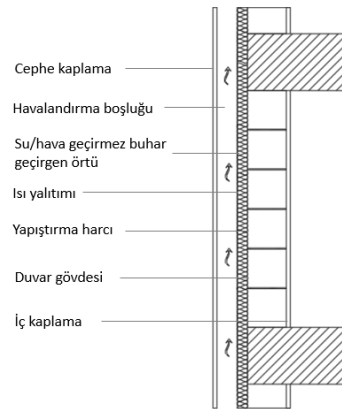


Şekil 3.4 : Havalandırmalı cephe hava giriş ve çıkış noktaları (Url-4).

Sistem açık ya da kapalı derzli olarak uygulanabilir.

Kapalı Derz

Havalandırmalı, kapalı derzli uygulamalarda, boşlukta havanın geçişini sağlamak için boşluk cephenin üst ve alt bölümlerinden havalandırılır (Watts, 2016). Hava, alt kısımda bulunan bir açıklık veya ızgaradan boşluğa girer ve ısınırken yükselmeye devam ederek üst kısımda bulunan bir açıklıktan dışarıya çıkar. Havalandırma açıklıklarının üst ve alt bölümlere yerleştirilmesi, hava boşluğu ile dış ortam arasında sabit, yavaş bir hava değişimi oluşturur. Kapalı derz uygulamasında dış kaplama sürekli (Schaupp, 1967). Şekil 3.5'te bu uygulama şematik kesitle gösterilmiştir.

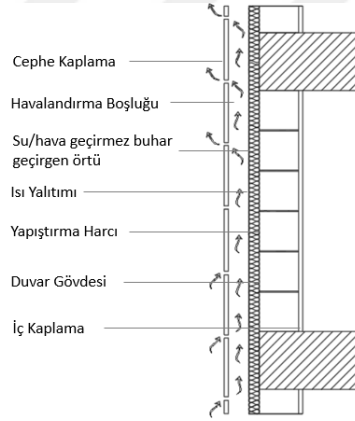


Şekil 3.5 : Kapalı derz (sürekli).

Derzler kapalıysa, ısı genleşme ile oluşan hareketlere direnç gösterebilecek elastik bir dolgu malzemesi kullanmak gerekmektedir (Staib ve diğ, 2008).

Açık Derz

Açık derzli havalandırılan cephelerde, hava boşluğu ve dış kaplama arasındaki derzlerin açık olması havanın bu açıklıklardan serbest dolaşımını sağlar. Derz açıklıklarından giren hava ısınırken yükselir, yeterli bir sıcaklığa (ortam sıcaklığından daha yüksek) ulaştığında, üst açıklıklardan çıkmaya başlar ve boşluktan ısı enerji çıkarır (Schaupp, 1967). Bu cephelerde dış kaplamalar, sıcaklık değişimlerinin neden olduğu genleşmeler nedeniyle yatay ve düşey derzlerle ayrılır. Açık derzler, ortalama olarak 8 ile 10 mm arasında bırakılabilir (Staib ve diğ, 2008). Şekil 3.6'da açık derzli havalandırılarak uygulanan cephe sistemi çalışma prensibi şematize edilmiştir.



Şekil 3.6: Açık derz (süreksiz).

Bu tip cephelerde, genellikle, hava dış kaplamanın alt yarısının derzlerinden girer ve üst derzlerden dışarıya çıkar (Gagliano ve diğ, 2016). Kaplama malzemeleri arasındaki açık derzler hava dolaşımına katkıda bulunarak iç mekanın soğutulması için enerji gereksinimini azaltabilir (Bechthold ve, 2015).

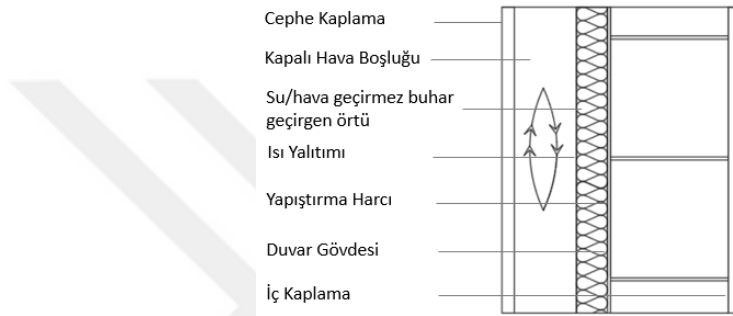
Havalandırılarak asılan uygulamalarda derzlerin boyutu binanın yüksekliğine göre (Abbas ve Tan, 2014):

- 5 kata kadar: 10 mm sürekli veya süreksiz,
- 5 ile 15 kat: 15 mm sürekli veya süreksiz,
- 15 kattan fazla: 20 mm sürekli veya süreksiz

olarak oluşturulabilir.

3.3.2.2 Havalandırılmadan asılan uygulama

Cephe kaplama malzemelerinin arkasında bir hava boşluğu bırakılarak havalandırılmadan asıldığı sistemlerdir. Bu yöntemde, cephenin arkasında bir boşluk vardır, ancak, bu boşluk havalandırılmamaktadır. Basitçe, boşluk ısı ve ses yalıtkanı olarak işlev görür. Tampon bölge olarak nitelendirilen boşluk Şekil 3.7'deki şematik kesitte gösterildiği gibi kapalıdır, ve bu nedenle, dış ve iç bölge arasında hava değişimi olmaz (Staib ve diğ, 2008).



Şekil 3.7 : Havalandırılmadan asılan uygulama yöntemi.

Havalandırılmadan asılan uygulamalarda iletim, taşınım ve ışınlım hava boşluğu boyunca yüzeyden yüzeye ısı geçişlerinde etkili olur. Havalandırılmayan boşluklar ısıtma döneminde, ortalama 25 mm hava boşluğu genişliğine kadar yalıtım görevi yaparak sisteme pasif kazanç (ısı) sağlar. Ortalama olarak 25 mm üzerindeki boşluk genişliklerinde boşluk içinde ısı taşınımı oluşarak ısı geçirenlik artar ve bu durum daha fazla enerji etkinliğini önler (Smith ve diğ, 1983).

Isı taşınımı oluşurken; güneş radyasyonu alan cephe kaplaması ısınır, hava boşluğundaki kaplama malzemesine yakın bölgede bulunan hava ısınarak yükselir, alt bölgede bulunan hava aynı etki ile ısınarak yükselme eğilimi gösterir ve bu hava hareketi taşınım döngü oluşturur (Toydemir ve diğ, 2000; Gagliano ve diğ, 2016).

3.4 Opak, İnorganik Cephe Kaplama Malzemeleri ve Uygulama Yöntemleri

Bu bölümde, opak ve inorganik cephe kaplama malzemeleri olan; doğal taş, metal, kil esaslı, çimento esaslı malzemeler ve bu malzemelerin farklı uygulamaları ele alınmaktadır. Malzemeler sınıflandırılarak, özellikleri hakkında genel bilgiler verilmekte, uygulama yöntemleri, derz oluşumları ve kullanım ebatları açıklanmaktadır.

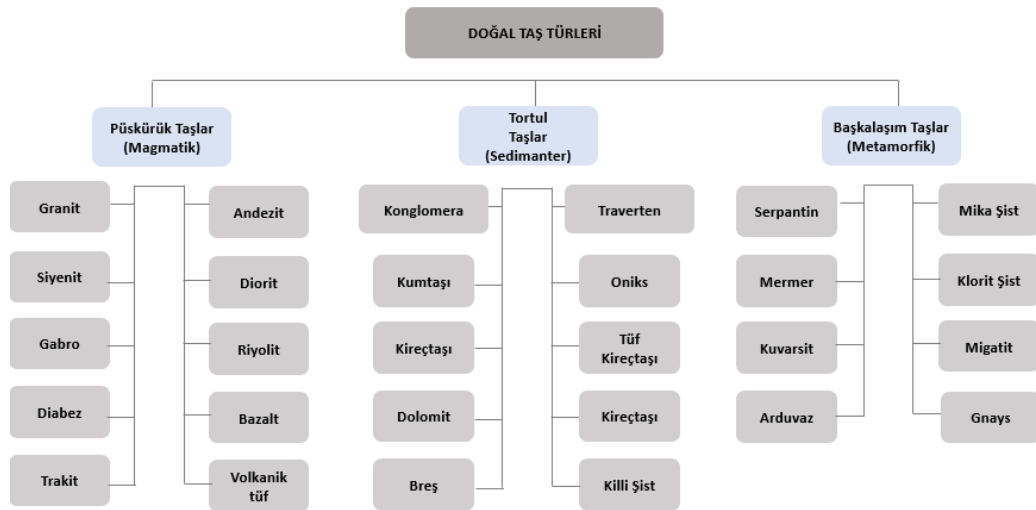
3.4.1 Doğal taş cephe kaplama malzemeleri

Doğal taşlar, yer kabuğunu meydana getiren kayaların çeşitli dış etmenler ile oluşturduğu doğal, kristal iç yapıya sahip malzemelerdir (Eriç, 2002). Bütünlüğü bir bağlayıcı ile sağlanan mineral toplulukları olarak da tanımlanabilir (Hugues ve diğ, 2005).

Doğal taşlar, dayanıklı, sert, taşıyıcı ve yalıtım sağlayan özellikleri ile binalar için kullanılan ilk malzemelerden biridir. 1800’lü yıllara kadar binalarda masif ve strüktürel eleman olarak kullanılıyor iken günümüzde kaplama malzemesi kimliği ön plana çıkmaya başlamıştır (Hegger ve diğ, 2006).

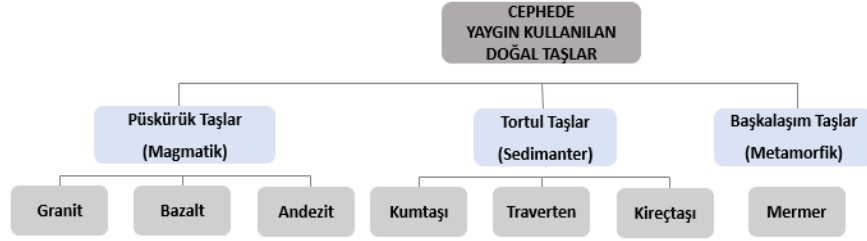
3.4.1.1 Sınıflandırma

Dünya çapında yaklaşık 5000 doğal taş türü mevcuttur. Doğal taşlar içerisindeki farklılaşmalar, yeraltındaki basınç veya sıcaklık koşullarındaki değişikliklerin malzemelerin kimyasal bileşimine etki etmesinden kaynaklanmaktadır. Bu değişikliklerle malzemeler oluşumlarına göre Şekil 3.8’de gösterildiği gibi tortul, püskürük ve başkalaşım taşları olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır (Hugues ve diğ, 2005).



Şekil 3.8: Doğal taş türleri sınıflandırması (Herzog ve diğ, 2004; Hugues ve diğ, 2005; Hegger ve diğ, 2006).

Şekil 3.8’de gösterilen doğal taş türleri içerisinde cephelerde yaygın kullanılan doğal taşlar Şekil 3.9’da gösterilmektedir.



Şekil 3.9 : Cepheye yaygın kullanılan taşlar (Herzog ve diğ, 2004; Hugues ve diğ, 2005; Hegger ve diğ, 2006).

Bu taşlar arasında cephe kaplama malzemesi olarak en yaygın kullanılanlar; granit, traverten ve mermerdir. TS 699’da belirtilen deneyler yapıldığında olumlu sonuçlar veren taşlar cephe kaplaması olarak kullanılabilir (Toydemir ve diğ, 2000).

3.4.1.2 Malzemeler

Doğal taşlar oluşumu nedeniyle, yüksek yoğunluğa, hava koşullarına dayanıklılığa ve su geçirmezlik özelliğine sahiptir (Schaupp, 1967). Ortalama olarak, doğal taş malzemelerin ısı iletkenliği 2,2-3,5 W/mK, özgül ağırlığı 2500-3000 kg/m³ ve su emmesi % 0-3 arasındadır (Hugues ve diğ, 2005; Herzog ve diğ, 2004).

Doğal bir taş malzemenin rengi ve dokusu, içerdiği minerallerin ve pigmentlerin karışımına bağlıdır. Fiziksel, kimyasal veya biyolojik kirlenme nedeniyle, taşlar doğal renklerini kaybedebilir. Yumuşak ve gözenekli taş türleri, özellikle dış cepheye kullanıldığında solmaya eğilimlidir (Hegger ve diğ, 2006).

Püskürük (Magmatik) taşlar

Magmanın çeşitli tektonik olaylar sonucu yeryüzüne çıkarak soğuması ile meydana gelen homojen yapılu taşlardır. Oluşum yerindeki soğuma hızına göre kristal yapısındaki değişiklikler ile farklılaşır (Eriç, 2002). Bu grupta granit, bazalt ve andezit cephelerde yaygın olarak kullanılan püskürük taşlardır.

Granit; sert, donmaya ve asitlere karşı dayanıklı, ısı iletkenliği göreceli olarak diğer taşlardan az ve özgül ısı yüksek olan bir taş türüdür. Bazalt, oluşumu sırasında hızlı katılaşma nedeniyle cam benzeri yapıya sahip bir taştır. Normalde koyu gri veya mavimsi bir siyah ve yeşil renktedir (Borch, 2004). Bazalt, taş türleri içerisinde yüksek yoğunluklu olanlar arasında, hava koşullarına dayanıklı, ancak çalışılması zor bir taştır. Andezit, kolay şekillenebilir ve ısı iletkenliği düşük bir taştır (Hugues ve diğ, 2005).

Tortul (Sedimanter) taşlar

Tortul taşlar, yer yüzeyinin yakınında bulunan yataklardaki eski kayaların aşınması, ayrışması ve çökmesi ile oluşur (Watts, 2016). Karakteristik özelliği, dalgalanmalardan veya malzeme değişikliklerinden kaynaklanan yatay tabakalaşmalardır (Hugues ve diğ, 2005). Tabakaların yönü ve bağlayıcının cinsi, dayanıklılığını ve su geçirimsizliğini etkileyen faktörlerdir. Heterojen, boşluklu ve fosil yapılı bu taşlar oluşum şekillerine göre farklılaşır (Eriç, 2002).

Bu gruptaki traverten, kireçtaşı ve kumtaşı cephelerde yaygın olarak kullanılan tortul taşlardır. Traverten, gözenekli ve ince taneli, yoğunluğu göreceli olarak diğer taşlardan düşük olan taşlardır. Kumtaşı, düşük ısı iletkenliğe sahip ve çalışılması kolay bir taş türüdür. İnce, orta veya kaba taneli olabilir (Hugues ve diğ, 2005). Kireçtaşı, neredeyse her alanda kullanılabilen bir taş türüdür, dirençleri gözenekliliklerine bağlıdır ve önemli ölçüde değişkendir (Herzog ve diğ, 2004).

Başkalaşım (Metamorfik) taşlar

Yüksek basınç, yüksek sıcaklık veya kimyasal etkiler orijinal taşı dönüştürür veya tamamen yeni türler oluşturur. Bu şekilde, başkalaşım taşları mevcut kayaların değişip dönüşmesi ile oluşur (Watts, 2016). Genellikle, farklı dokularından veya net katmanlaşma işaretlerinden arınmış yoğun yapılarından dolayı kolayca tanınır (Hegger ve diğ, 2006). Bu taşlar, orijinlerine göre püskürük veya tortul kütlelerin özelliklerini taşır. Başkalaşım yerlerine göre farklılaşır (Eriç, 2002).

Mermer cephelerde yaygın olarak kullanılan tortul taşlardır. Saf mermer beyazdır, damarları ve renkleri, orijinal taştaki kimyasal safsızlıklar ve metal tuzlarının varlığına bağlıdır. Mermer, güneş radyasyonuna ve asit yağmurlarına karşı hassastır (Borch ve diğ, 2004).

Doğal taşlar cephelerde kullanıldıklarında honlama, cilalama, kumlama, asitle yakma gibi çeşitli yüzey şekillendirme işlemleri uygulanarak kullanılabilir (Herzog ve diğ, 2004).

3.4.1.3 Uygulama yöntemleri

Doğal taşlar sürekli temas ile uygulama ve noktasal tespit ile asılma yöntemi kullanılarak cephe sistemlerine dahil edilir. Sürekli temas yöntemi ile uygulamaların az katlı binalarda kullanılması önerilmektedir.

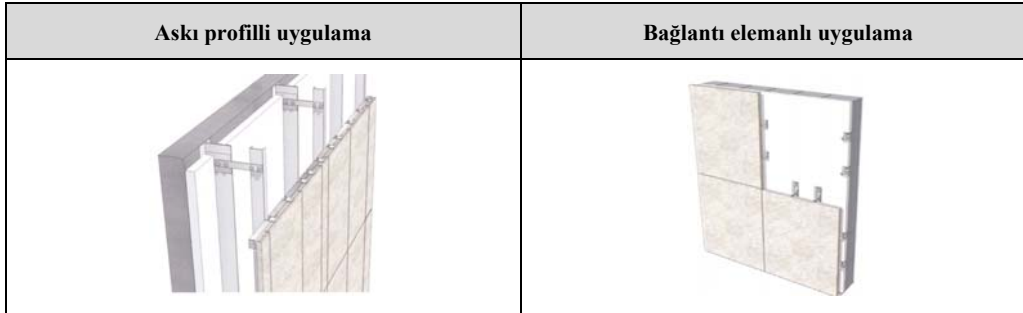
Sürekli temas ile uygulama yöntemi

Doğal taşlar, cephe yüzeyine özel yapıştırıcı malzeme veya çimento esaslı harç kullanılarak sürekli temas ile uygulanabilir. Yapıştırma harcı 3-25 mm arasında uygulanabilir (Hugues ve diğ, 2005). Taşlar, duvara bakan yüzeyleri harca iyi yapışması için pürüzlü, dış yüzeyleri ise cilalanmış olarak kullanılırlar. Harca yapışması açısından, su emmesi az olan taşlar her zaman iyi sonuç vermemektedir. Bu nedenle, doğrudan harç yardımıyla uygulanacak olan kaplamalar traverten ve kumtaşı gibi görece gözenekli doğal taşlardan yapılmalıdır (Toydemir ve diğ, 2000).

Doğal taş kaplamalar ağır malzemeler olduğundan bu uygulamayla harca yapışma ve dökülme sorunlarını beraberinde getirebilmektedir ve bu nedenle 20 metreden fazla yüksekliklerde önerilmemektedir (Herzog ve diğ, 2004). Yapıştırma uygulamalarında 10-13 mm kalınlığında ve küçük ebatlardaki taşların kullanılması önerilir (ASTM C1528/C1528M-20, 2020).

Noktasal tespit ile asılma yöntemi

Bir bina cephesinde kaplama yapılması tasarlandığında, öncelikle uygulama yöntemi seçilmeli ve kaplama levhalarının büyüklüğüne bağlı olarak detay çalışmaları yapılmalıdır (Toydemir ve diğ, 2000). Cephede doğal taş kaplamalar noktasal tespit ile duvar gövdesine Şekil 3.10'da görüldüğü gibi askı profilleri veya dübeller gibi özel bağlantı elemanları ile asılmaktadır.



Şekil 3.10 : Doğal taş kaplama metal alt konstrüksiyona asılma ile uygulama perspektifler (Watts, 2016).

Metal alt konstrüksiyona askı profilleriyle asma yönteminde duvar gövdesine ankraj elemanları belirli aralıklarda tespit edilmektedir. Ankraj elemanlarının üzerine yatay veya düşey metal profiller cıvata veya vida gibi elemanlarla tespit edilir. Taş levhalar, 3 veya 4 sabitleme ile alt konstrüksiyona tutturulur (Watts, 2016; Hegger ve diğ, 2016).

Cıvata ve vida ile uygulamada, taş kaplama levhaların yükleri taşıyıcı alt tabakaya aktarılır. Böylece, kaplama ve alt konstrüksiyon arasında daha büyük mesafeler sağlanır (Hugues ve diğ, 2005).

Duvar gövdesine bağlantı elemanları ile uygulamada, ankrajlar duvar gövdesine dübelleri ile tespit edilir ve taşlar ankraja tutturulur (Url-5). Bu uygulamada, önceden levhaların kesin pozisyonunun belirlenmesinin gerekli olmaması, dübellerin pratikte en yaygın kullanılan bağlantı elemanı olmasının nedenidir (Hugues ve diğ, 2005). Bu tür uygulamalarda, taşın cinsi kaplamanın taşıyıcı konstrüksiyonunu etkileyen önemli bir etmendir. Tortul taş kaplama levhaları, yapılarının işlenmeye daha elverişli olması ile lama ve kenetlerle tespit edilebilir. Başkalaşım taşları ise sert bünye yapıları ve işlenme zorlukları nedeniyle daha küçük delik, oyuk ve profil açmaya elverişlidir. Bu nedenle, daha çok tel kenet ve kancalarla tespit edilebilir (Toydemir ve diğ, 2000).

Uygulamalarda tüm bağlantı elemanları paslanmaz çelik olmalıdır. Doğal taş malzemenin kalınlığı ise taş türüne ve yapısal hesaplamalara bağlı olarak değişmektedir (Hegger ve diğ, 2006). Yapısal olarak daha zayıf taşlar daha güçlü taşlardan daha kalın kesilir (Nashed, 1995). Genel olarak levha kalınlıkları, 20-50 mm arasında olmaktadır. Bir levha uzunluğu 1,5 metreyi aşmamalı ve uzunluk genişliğin 2,5 veya 3 katından fazla olmamalıdır (Schaupp, 1967). Düşey levhalar ve düşeyden 60°'ye kadar eğime sahip olanlar için en az 30 mm kalınlık; 60°'den az açıda olanlar için ise en az 40 mm kalınlık önerilmektedir (Hugues ve diğ, 2005). Asılarak uygulanan sistemlerde doğal taş cephe kaplama malzemeleri 3 cm ve üzeri kalınlıklarda kullanılmalıdır (ASTM C1528/C1528M-20, 2020).

Üretici firmaya göre ebatlar değişebilmekle beraber, doğal taşlar yaygın olarak 30 cm×30 cm, 30 cm×45 cm, 40 cm×40 cm, 45 cm×45 cm, 30 cm×60 cm, 60 cm×60 cm ebatlarında üretilebilir (Url-6). Doğal taşlar ısı depolama kapasitesine sahiptir, bu nedenle yavaş ısınır ve yavaş soğurlar. Isıl gerilmeler karşısında taşların ısıl genişlemesine olanak sağlamak için yatay ve düşey derz bağlantıları sağlanmalıdır (Wilson, 1984). Asılma yöntemiyle uygulamada en az 5 mm ve standart olarak 8 mm genişliğinde eşit aralıklarda derzler bırakılmalıdır (Borch ve diğ, 2004). Hareketi sağlayan derzler levha boyutuna bağlı olarak 10 mm genişliğine kadar uygulanabilir. Doğal taşlar genellikle açık derzli olarak kullanılmaktadır. Kapalı derz tasarımı gerekliyse, kalıcı elastik sızdırmazlık malzemesi kullanılmalıdır (Herzog ve diğ, 2004).

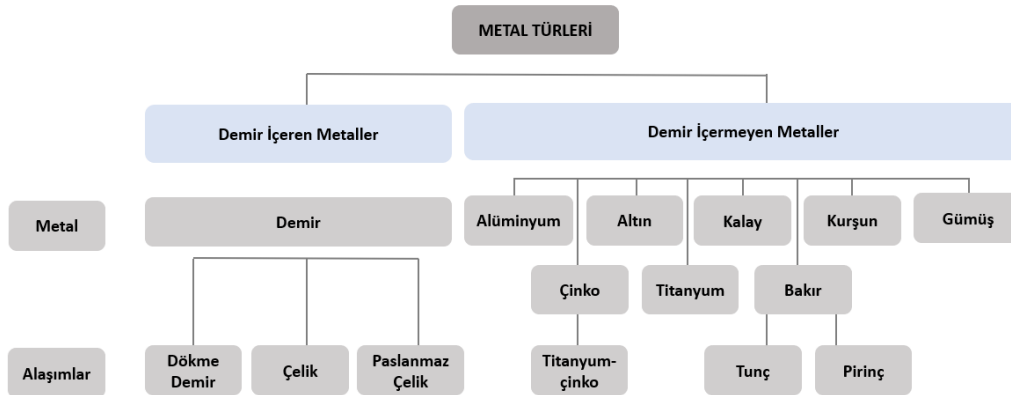
Derzler, cephenin alt ve üst kısımlarında bırakılan açıklıklar ile kaplamanın arkasındaki boşlukta havalandırma sağlayabilirken, havalandırılmayan bir kapalı boşluk oluşturulabilir (Watts, 2016).

3.4.2 Metal esaslı cephe kaplama malzemeleri

Metaller, yer kabuğundan cevher olarak elde edilen, serbest elektronlarla çevrili iyon-atomlardan meydana gelmiş kristal sistemlerdir. Çok eski tarihlerden beri bilinen metaller 20. yüzyılın başından itibaren yapı malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır (Eriç, 2002). Bir kimyasal elementin atomlarından oluşmuş saf halde veya iki ve daha fazla elementin kombinasyonlarından oluşmuş alaşım şekillerinde bulunur (Herzog ve diğ, 2004). 4500 kg/m^3 altındaki yoğunluklara sahip metaller hafif metaller, bu değerden yüksek yoğunluğa sahip metaller ağır metaller olarak nitelendirilir (Herzog ve diğ, 2004; Hegger ve diğ, 2006).

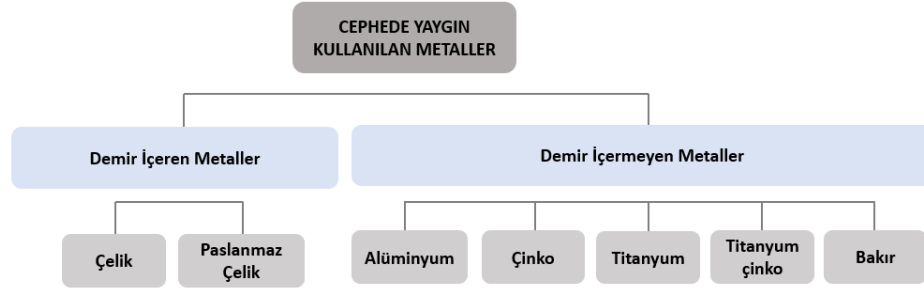
3.4.2.1 Sınıflandırma

Metaller demir içerenler ve içermeyenler olarak 2 gruba ayrılırlar. Demir esaslı metallerde ana madde demirdir, bununla birlikte karbon bir alaşım elemanı olarak yer alır. Demire karbondan başka maddeler de katılarak çeşitli alaşımlar elde edilebilir (Onaran, 1993). Şekil 3.11’de metal türleri gösterilmektedir.



Şekil 3.11 : Metal türleri sınıflandırması (Herzog ve diğ, 2004; Kaltenbach, 2004).

Şekil 3.11’de gösterilen malzemeler içerisinde cephelerde yaygın kullanılan metaller Şekil 3.12’de gruplanarak verilmiştir. Çelik, paslanmaz çelik, alüminyum ve bakır cephelerde en fazla kullanılan metallerdir (Staib ve diğ, 2008). Son yıllarda, cephede paslanmış çelik malzemenin kullanımı da giderek artmaya başlamıştır.



Şekil 3.12 : Cephelerde yaygın kullanılan metaller (Herzog ve diğ, 2004; Staib ve diğ, 2008).

3.4.2.2 Malzemeler

Metaller serbest elektronları olan, kristal yapıları oluşturmak için bir araya gelen kimyasal elementlerdir. Bu özel metalik bağ, yüksek yoğunluk ve dayanıklılık, yüksek ısı iletkenlik, kendine özgü parlaklık, şekillendirme kolaylığı gibi karakteristikleri bir araya getirmiştir (Hegger ve diğ, 2006).

Metaller, boşluksuz malzemelerdir ve özgül ağırlıkları ile birim hacim ağırlıkları birbirine eşittir. Genellikle, yansıtma oranları ile emicilik katsayıları yüksektir, böylece radyasyonu kuvvetle emer ve yansıtırlar. Bu özelliğe sahip metaller opak ve ışık geçirmezdir, ancak çok ince filmler halindeki metaller ışığı bir miktar geçirebilir (Onaran, 1993).

Demir içeren metaller

Demir esaslı metallerde ana eleman demirdir, bununla birlikte karbon daima bir alaşım elemanı olarak bulunur. Demire karbondan başka elemanlar katılarak üstün nitelikte çeşitli alaşımlı çelikler elde edilir (Onaran, 2014). Saf demir, düşük dayanıklılığı ve hızlı oksidasyonu (korozyon) nedeniyle neredeyse hiç kullanılmamaktadır. Ancak, demirin özellikleri karbon içeriğinin azaltılmasıyla geliştirilebildiğinden, esas olarak elik ve diğ er demir alaşımları oluşturmak için işlenir. Bununla birlikte demir, dünya çapında en çok kullanılan metaldir. elik, karbon içeriği %2'den az olan bir demir alaşımıdır. Paslanmaz elik, korozyona dayanıklı olan çeliklerdir. elikten farklı olarak, paslanmaz çelikler normal koşullar altında koruyucu, hasar gördüklerinde kendini yenileyen bir kaplama oluştururlar (Hegger ve diğ, 2006).

Demir içermeyen metaller

Demir dışı metaller demir esaslı metallere göre bazı üstün özellikleri nedeni ile endüstride önemli kullanım alanına sahiptir.

Bu özelliklerin başlıcaları hafiflik, korozyona dayanıklılık, yüksek ısı ve elektriksel iletkenlik ve kolay işlenebilmedir. Ancak, rijitlikleri oldukça düşüktür. Demirdışı metaller alüminyum, bakır, nikel, magnezyum, çinko, kalay ve kurşun olarak sıralanabilir (Onaran, 2014).

Alüminyum, titanyum gibi daha hafif demirsiz metaller düşük yoğunlukları, ağırlıklarına oranla yüksek dayanımları, rijitlikleri ve korozyona karşı iyi düzeydeki dirençleri nedeniyle, yaygın olarak kullanılmaktadır (Kaltenbach, 2004). Alüminyum metaller içerisinde görece yoğunlukları düşük, ısıyı iyi yansıtan, üzerinde çalışılması kolay ve cilalanabilir bir malzemedir, ancak, ısı genleşme katsayısı yüksektir (Hegger ve diğ, 2006).

Titanyum, korozyon direnci yüksek, ağırlığı düşük ve parlak bir malzemeldir. Metaller içerisinde ısı iletkenliği düşük olarak kabul edilebilir. Çinko, doğal olarak koruyucu bir tabaka oluşturduğu için ek bir korozyon koruması gerektirmeyen bir malzemedir. Titanyum-çinko alaşımları çinkonun ağırlıkta olduğu, hava koşullarına dayanıklı alaşımlardır (Hegger ve diğ, 2006).

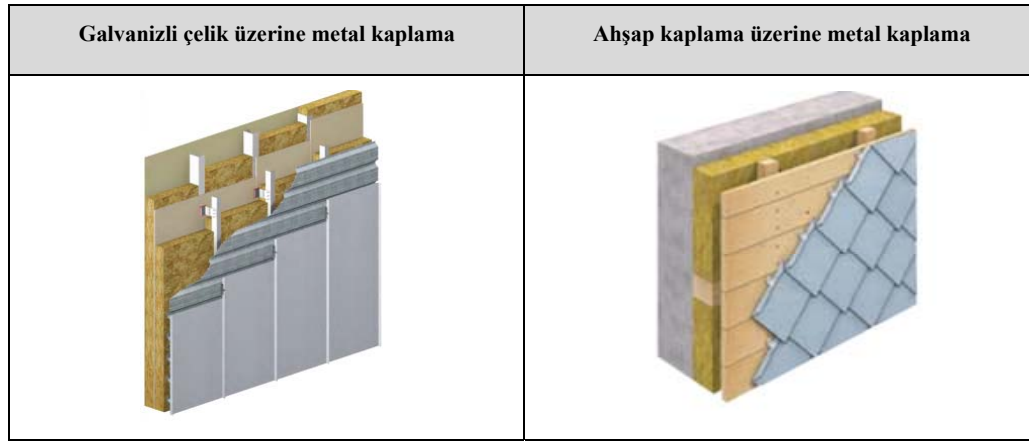
Bakır, ağır metaller arasındadır, yüksek ısı iletkenliğe sahip, kolay şekillenebilir bir malzemedir (Kaltenbach, 2004). Kırmızımsı altın rengine sahip olsa da, zamanla yavaş bir şekilde oluşan yeşil patina, malzemeye giderek daha belirgin bir karakter kazandırır (Brookes ve diğ, 2008). Kompozit metal kaplama, ortalama 3-6 mm kalınlığında, plastik veya mineral dolgu malzemesinin iki adet alüminyum veya çelik malzeme arasına yerleştirildiği kompozit elemanlardır (Staib ve diğ, 2008)

3.4.2.3 Uygulama yöntemleri

Metal ve metal esaslı malzemeler kenet sistem ve noktasal tespit ile asılma yöntemi kullanılarak cephe sistemlerine dahil edilir.

Kenet sistemi

Kenet sistemde, duvar gövdesine bağlı taşıyıcı strüktüre kontrplak/tahta veya galvanizli çelik levha, Şekil 3.13'te örnekleri görüldüğü gibi, asılır. Metal levhalar bükülerek birbirine kenetlenir. Levhanın arkasına korozyona karşı buhar dengeleyici veya mesafe tutucu bir malzeme konulur (Toydemir ve diğ, 2000; Url-7).



şekil 3.13 : Kenet sistem perspektif (Url-7; Url-8).

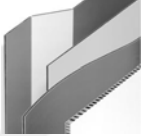
Bu sistemde, metal levha kalınlığı 0,7-0,8 mm, en geniş levha ebatları 430 mm×4000 mm, 530 mm×2000 mm, 600 mm×1000 mm, en az havalandırma genişliği 20 mm olmalıdır. Alt konstrüksiyonda ahşap kaplama kullanıldığında 18 mm, 24 mm kalınlıklarında olabilir. Kaplama arasındaki boşluklar 5-10 mm oluşturularak havalandırma sağlanmalıdır. Kontrplak veya galvanizli elik levha kullanıldığında bu malzemelerin kalınlıklarının 18 mm olması önerilir. Uygulamada derzler açık bırakılabilir, kapalı derz kullanıldığında kaplama tahtası, galvanizli elik, kontrplak arkasındaki hava boşluğunun cephenin st ve alt noktalarında perfore elemanlar kullanarak havalandırılması sağlanmalıdır (Url-7).

Asılarak uygulama yöntemi

Metal esaslı kaplamalar asılarak uygulama yöntemi ile düz levha, profilendirilmiş levha, kompozit levha ve metal örgüler şeklinde cephe sistemlerine dahil edilmektedir (Staib ve diğ, 2008). Düz metallerin deliklendirilmesi ile delikli ve yüzey dokusu oluşturulmasıyla kabartmalı olarak kullanılan levhalar genellikle 0,5 mm ile 6 mm kalınlıkları arasındaki hafif elemanlardır (Eriç, 2002). Uygulamadaki kural, deliğin büyüklüğünün metalin kalınlığından daha fazla olmamasıdır (Kaltenbach, 2004). Bu malzemeler, genellikle elik veya alüminyumdan yapılır. Profilendirilmiş levhalar sinüs eğrisi biçiminde veya trapez şeklinde preslenerek veya bükülerek şekillendirilir (Brookes ve diğ, 2008; TS 7677, 2014).

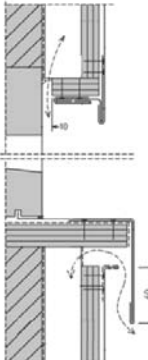
Sac levha kalınlıkları 0,5 mm ile 10 mm arasında değişir ve 5 m genişliğe kadar retilabilmektedir. En yaygın kullanılan metaller elik ve alüminyumdur (Borch ve diğ, 2004). Metal rgler, yuvarlak veya düz tellerden, iplik veya kablolardan oluşur (Kaltenbach, 2004).

Birçok farklı desen, boyut ve örgü yoğunlukları mevcuttur. Çelik, paslanmaz çelik veya alüminyum tel en yaygın kullanılan metallerdir (Borch ve diğ, 2004). Şekil 3.14'te düz levha, trapez levha, delikli levha, metal örgü, kabartmalı levha, kompozit levha örnekleri gösterilmektedir.

Düz levha	Trapez levha	Delikli levha	Metal örgü	Kabartmalı levha	Kompozit levha
					

Şekil 3.14 : Metal esaslı malzeme örnekleri (Herzog ve diğ, 2004).

Metal levhalar birbirlerine özel profillerle geçirilerek cephenin su geçirmezliği sağlanır. Bu levhalar özel şekilli kalıplara takılarak, duvara tespit edilmiş metal ya da ahşap taşıyıcılara bağlantı elemanlarıyla tespit edilir (Toydemir ve diğ, 2000). Şekil 3.15'te sırasıyla kenet kaplama sistemin şematik kesiti, ondüle levha, kompozit levha uygulama örnekleri verilmiştir.

Kenet kaplama sistemi şematik kesiti	Ondüle levha uygulama	Kompozit levha uygulama
		

Şekil 3.15 : Asılarak uygulanan metal kaplama kesit ve uygulama örnekleri (Url-7).

Levhaların ölçüsü, sacın dalgalanmasını ve bozulmasını önleyecek şekilde olmalıdır (Brookes ve diğ, 2008). Cephede sac levhalar 0,7 mm ile 1,5 mm aralığında kalınlıklarda ve 1000 mm ile 3000 mm ebatlarında kullanılabilir (Kaltenbach, 2004). Kompozit metal kaplamalar 1000 mm genişlikte, 8000 mm uzunluklarda kullanılabilir (Staib ve diğ, 2008).

3.4.3 Kil esaslı cephe kaplama malzemeleri

Kil esaslı cephe kaplama malzemeleri amorf ya da kristalli iç yapıya sahip, metal ve metal olmayan elemanların bileşiklerinden meydana gelen, ana maddesi kil olan malzemelerdir (Onaran, 1993).

Kilin farklı sıcaklıklarda pişirilmesiyle, pişirilme sırasında kilin yapısında meydana gelen değişiklikler sonucunda, bu malzemeler çeşitli özellikler kazanır. Kil esaslı malzemelerin üretimi kil hamurunun hazırlanması, şekillendirilmesi, pişirilmesi ve sırlanması olmak üzere 4 aşamada gerçekleştirilir (Eriç, 2002).

3.4.3.1 Sınıflandırma

Kil esaslı kaplama malzemeleri kullanım alanlarına, gözenekliliklerine, sırlı olup olmamalarına göre farklı sınıflandırılmalar ile ifade edilmektedir. Şekil 3.16'da cephede yaygın olarak kullanılan kil esaslı kaplama malzemeleri iç yapılarındaki gözenekliliklerine göre gruplandırılmaktadır.



Şekil 3.16 : Cephelerde yaygın kullanılan kil esaslı malzemeler (Eriç, 2002; Toydemir, 1976).

Bazı kaynaklara göre kil esaslı malzemeler gözenekli ve gözeneksiz olarak sınıflandırılmakta, bazılarına göre içerisinde bir miktar gözenek olan malzemeler yarı gözenekli olarak değerlendirilebilmektedir.

3.4.3.2 Malzemeler

Kil esaslı malzemelerin kovalent iyonik bağ oluşumları nedeniyle elektronları serbest değildir, bu özellik kil esaslı malzemeleri, ısı ve elektrik yalıtkanı yapmaktadır (Duggal, 2007). Gözenekli ve gözeneksiz yapıdaki pişmiş toprak malzemeler dokusu, sertliği, dayanıklılığı ve su emmesi açısından birbirinden farklı özellikler gösterir (Eriç, 2002).

Gözenekli malzemeler

Gözenekli malzemelerin ısı iletkenlikleri gözeneksiz malzemelere göre genellikle daha düşüktür ve pürüzlü bir dokuya sahiptir. Malzemenin boşluklu olmasının yanı sıra, delikli olarak yapılması (örneğin delikli tuğla) ısı iletkenliğini düşürür, deliklerin şaşırtmalı olarak düzenlenmesi ise ısı akışının yolunu uzatacağı için ısı iletkenlik değerini küçültür. Bu gruptan prese tuğlalar yüksek dayanıklılık, düşük su emicilik ve düzgün yüzey özelliklerine sahip, pres yöntemi ile üretilmiş tuğlalardır (Toydemir ve diğ, 2000).

Prese tuğla ile örülen duvarlarda isteğe bağı olarak iç ve dış yüzey sıvanmadan bırakılır. Klinker kaplama tuğlası, duvarı kaplamak üzere özel killerden yapılmış, gerekliliklere göre farklı renk ve yüzey dokularında elde edilebilen malzemelerdir (Watts, 2016). Klinker kaplama tuğla çok yüksek derecelerde fırınlanmış tuğlalardır. Bu durum, malzemeye yüksek dayanım ve yoğunluk özelliği kazandırır (Türkçü, 1997). Düşük yoğunluklu tuğlalar daha iyi ısı yalıtım özellikleri sergiler, deliklerin şekli ve düzeni buna katkıda bulunur (Hegger ve diğ, 2006).

Seramikler, doğal kil ve mineral katkı maddelerinin yüksek sıcaklıkta pişirilmesiyle ve ayrıca çeşitli metallerin oksitlerinin, yüksek erime noktasına sahip inorganik maddelerin sinterlenmesi ile meydana gelen malzemelerdir (Duggal, 2007). Seramik levhalar duvar kaplamalarında kullanılmak üzere sırlanabilir veya sırsız olarak üretilir. Sırlar, seramik malzemenin yüzeyinin pürüzlülüğünü, sertliğini ve rengini niteleyen camsı kaplamalardır (Hegger ve diğ, 2006).

Gözeneksiz malzemeler

Gözeneksiz malzemeler camlaşma derecesinde pişirilmiş oldukları için camsı bir bünye yapısına sahiptir. İç yapısında boşluk olmadığından ısı tutuculuk yetenekleri azdır. Bu gruptaki porselen malzeme, kil hamurunun preslenmesi ve ardından camlaşma derecesinde pişirilmesi yöntemi ile üretilen, boşluksuz ince seramik malzemedir (Toydemir, 1976). Bu malzemeler serttir ve su emicilikleri yaklaşık %4 olarak kabul edilir (Li ve Ren, 2011).

3.4.3.3 Uygulama yöntemleri

Cephe sistemlerinde kil esaslı malzemeler sürekli temas yöntemi ile (harç ile) yapıştırılarak ve noktasal tespit yöntemi ile duvar gövdesine asılarak uygulanabilir.

Sürekli temas ile uygulama yöntemi

Kil esaslı malzemelerden klinker kaplama tuğlası, seramik ve porselen levhalar sürekli temas yöntemi ile duvar yüzeyine yapıştırılarak cephe sistemlerine uygulanabilir. Cephelerde; seramik/porselen levhalar en fazla 30 metre yüksekliğe kadar yapıştırma yöntemi ile uygulanabilir. Bu yöntemde, cephe yüzeyi üzerinde, kireç katılmadan çimento esaslı kaba sıva ile düzlem oluşturulur. 2-10 mm arasında yapıştırma harcı taraklı mala ile uygulanır. Kaplama cephe yüzeyine yaklaşık 4 mm derz boşlukları ile uygulanır. Yaygın olarak kullanılan porselen levhalar 30 cm×60 cm (en fazla 30 metre yüksekliğinde uygulanabilir), 60 cm×60 cm ve 60 cm×120 cm ebatlarındadır (Url-9).

Klinker kaplama tuğlaları yüzeye harç ile 8-10 mm taraklı mala kullanılarak veya özel yapıştırıcılar ile uygulanır. En az 1 cm olarak bırakılan derz boşlukları derz dolgusuyla doldurularak kapatılır (Toydemir, 1976).

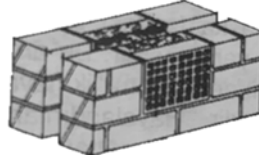
Yapıştırma yönteminde kaplamanın harç ile yapışması önemlidir. Bu nedenle, kaplamanın arka yüzünde yapışmayı arttırıcı nitelikte girinti-çıkıntılar yapılmalıdır (Toydemir, 1976). Klinker kaplama tuğlası 15 mm, 18 mm, 20 mm, 22 mm kalınlıklarda kullanılır. En yaygın kullanılan ebatlar 215 mm×65 mm×15 mm şeklindedir (Url-10).

Noktasal tespit ile asılma yöntemi

Kil esaslı malzemeler günümüzde destekleyici bir alt kontrüksiyon sistemine asılma ile uygulanabilir. Mekanik sistem olarak adlandırılan bu uygulamalarda levhaların arasında 10-20 mm arasında derz bırakılmalıdır (Herzog ve diğ, 2004).

Prese tuğlalar ekstrüzyon yöntemiyle üretildikten ve bir miktar kurutulduktan sonra bu kez presleme yöntemi ile sıkıştırılıp, yoğunlaştırılarak genellikle 5 cm×9 cm×19 cm boyutlarında cephede asılarak uygulama yöntemiyle kullanılmaktadır (Toydemir ve diğ, 2000).

Prese tuğlalar genellikle arkasında bir havalandırma boşluğu bırakılarak tuğla duvara asılır. Arkası havalandırılan uygulamalarda taşıyıcılığın etkilenmemesi için boşluk genişliğinin en fazla 12 cm olarak düzenlenmesi, ısı yalıtım malzemesinin görevini yerine getirebilmesi için ise yalıtım malzemesinden sonra en az 4 cm boşluk bırakılması önerilir. Boşluğun havalandırılacağı durumlarda alt kısımlarda Şekil 3.17’de görüldüğü gibi havalandırma tuğlaları yerleştirilebilir, alt ve üstte delikler ile hava akışı sağlanabilir (Türkçü, 1997).



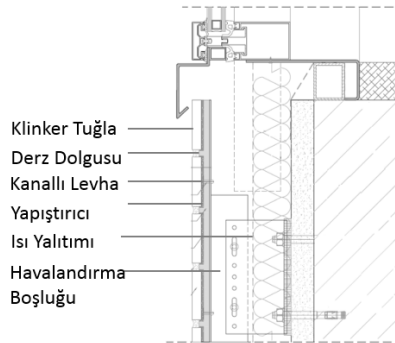
Şekil 3.17 : Prese tuğla havalandırma tuğlası (Türkçü, 1997).

Bu uygulamada Şekil 3.18’de gösterildiği gibi tuğla, taşıma destek ankrajları ile veya metal kenetler ile duvar gövdesine bağlantı sağlanır (Url-5).

Tuğla kaplama asılarak uygulama kesit	Tuğla kaplama asılarak uygulama perspektif

Şekil 3.18 : Tuğla asılarak uygulama (Herzog ve diğ, 2004, sırasıyla Şekil B 1.2.11 ve Şekil B 1.2.9’den üretilmiştir).

Klinker kaplama tuğlaları, duvar gövdesi üzerine metal konstrüksiyon ile tespit edilen kanallı levhalar üzerine yapıştırılma tekniği ile uygulanmaktadır. Uygulamada düşey akslar ile alüminyum konstrüksiyonun oluşturulmasının ardından kanallı levhalar alüminyum klipsler yardımı ile düşey profillerin üzerlerindeki deliklere asılır. Tuğlalar için özel oluşturulmuş kanallı levhalara yapıştırılan tuğlalar yüzeye sürekli temas ile uygulanmış olur, ancak, kanallı levhanın arkasında Şekil 3.19’da görüldüğü gibi hava boşluğu oluşur. Çok katlı binaların dış cephelerinde uygulanma olanağı sağlanan bu sistemde cephe kaplama tuğlalarının 10 mm derzle uygulanması önerilir. Uygulamanın sonunda derzler dolgu malzemesi ile kapatılır (Url-11).



Şekil 3.19 : Kanallı levha üzerine geçme yöntemi kesit (Url-11).

Porselen ve seramik levhalar duvar gövdesi üzerine tespit edilen düşey profillerden oluşan metal alt konstrüksiyona mekanik yapıştırma, klipsli, gizli kanallı, poliüretan askılı, çoklu klipsli yöntemlerle uygulanabilir. Mekanik yapıştırma sistemleri açık ya da kapalı derzli olarak oluşturulabilir (Url-11).

Klipsli sistemde, kaplama malzemesi düşey taşıyıcı profillere takılan klipslere monte edilir. Sistem ortalama olarak 4-8 mm olacak şekilde açık derzlidir. Gizli kanallı sistem, porselen levhalara açılmış olan kırılma kuyruğu şeklindeki 4 adet kanala takılan klipsler, düşey taşıyıcı profiller üzerine monte edilmiş yatay taşıyıcı profillere monte edilir. Bu yöntem çok katlı binaların dış cephelerinde uygulanabilir. Açık derzde en az 4 mm derz boşluğu kullanılır. Genellikle 60 cm×60 cm, 60 cm×120 cm, 50 cm×100 cm ebatlarındaki malzemelere uygulanır. Poliüretan askılı sistemde levhalar yatay taşıyıcı profillere poliüretan sıkılarak ve klipslenerek monte edilir. Sistem kapalı derz ile kullanılmaktadır. Çoklu klipsli sistemde levhalar düşey taşıyıcı profile monte edilen dörtlü klipslere takılır (Url-10).

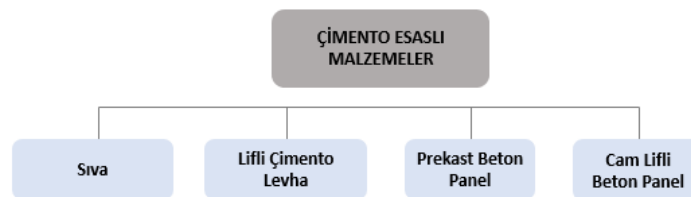
Cephelerde yaygın olarak porselen levhalar, 100 cm×300 cm, 120 cm×360 cm ebatlarında ve 3 mm, 5mm kalınlıklarında kullanılmaktadır (Url-9). Uygulamaları mekanik yapıştırma ve gizli klipsli sistem ile yapılabilmektedir (Url-10)

3.4.4 Çimento esaslı cephe kaplama malzemeleri

Çimento belirli oranlarda karıştırılan kil ve kalkerin farklı sıcaklık derecelerinde pişirilmesi ile oluşturulan, havada ve suda katılaşma yeteneği gösteren beyaz veya gri renge sahip bir bağlayıcı türüdür. Günümüzde çimento; sıva, harç, beton gibi malzemelerin üretimi ile kullanım alanı bulmuştur (Eriç, 2002).

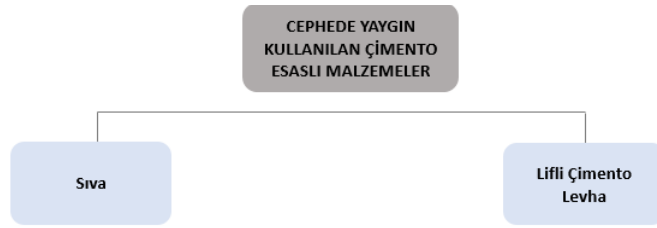
3.4.4.1 Sınıflandırma

Çimento esaslı malzemeler cephelerde, Şekil 3.20’de gösterildiği gibi sıva, lifli çimento levha, prekast beton panel, cam lifli beton paneller şeklinde bulunurlar.



Şekil 3.20 : Çimento esaslı malzeme türleri (Herzog ve diğ, 2004; Hegger ve diğ, 2006).

Şekil 3.21’de cephede yaygın olarak kullanılan çimento esaslı kaplama malzemeleri verilmiştir.



Şekil 3.21 : Cephelerde yaygın kullanılan çimento esaslı malzemeler.

Tez çalışması kapsamında çimento esaslı cephe kaplama malzemelerinden sıva ve lifli çimento levha ve bu malzemelerin uygulamaları açıklanmaktadır.

3.4.4.2 Malzemeler

Sıvalar bağlayıcı madde, ince agrega ve su bileşenlerinden oluşan, duvar gövdesine mala veya basınçlı sıva makinesi ile uygulanan ve birkaç tabakadan meydana gelen dış kaplamalardır. Çimento esaslı sıvalarda, agrega olarak çakıl, kuvars ve kuvars kumu, bağlayıcı olarak ise Portland çimentosu kullanılır. Dış sıvalar genellikle 3 katmandan oluşur. Bunlar astar, kaba sıva ve ince sıvadır (Toydemir ve diğ, 2000).

Dıştan ısı yalıtımlı kompozit sistemler (ETICS-External Thermal Insulation Composite Systems); uygulandıkları duvarda ısı yalıtımını sağlamak üzere duvara yapıştırılarak, mekanik bağlantılarla veya yapıştırıcı ve mekanik bağlantıların bir kombinasyonu ile sabitlenen bir ısı yalıtım malzemesi, herhangi bir hava boşluğu olmadan doğrudan ısı yalıtım malzemesinin üzerine yapıştırılan bir veya daha fazla katmandan meydana gelen sıva ile oluşturulur (ETAG 004, 2013).

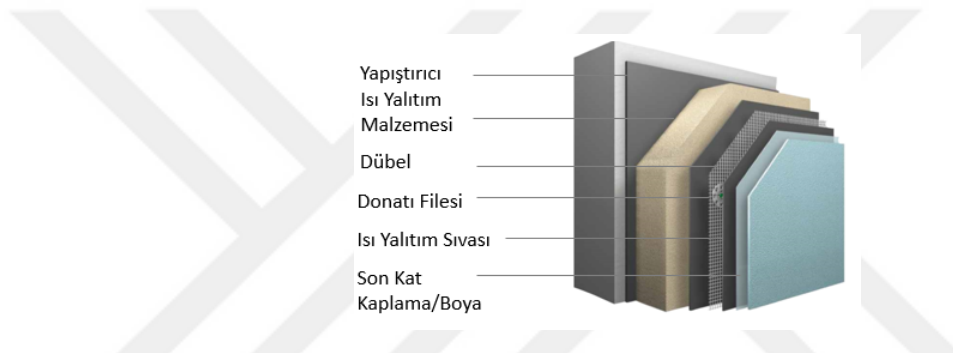
Selüloz ve PP (Polipropilen) veya PVA (Polivinil alkol) liflere sahip çimento esaslı levhaların günümüzde cephelerde de kullanımı söz konusudur. Bu hafif cephe elemanlarının bir avantajı, kolayca kesilmeleri ve karmaşık geometrik formatlarda bile kolayca kullanılabilmesidir. Lifli çimento levhalar iyi ses ve ısı yalıtım performansına sahiptir, ayrıca neme dayanıklıdır (Herzog ve diğ, 2004).

3.4.4.3 Uygulama yöntemleri

Cephe sistemlerinde çimento esaslı kaplama malzemelerinden sıvalar, yüzeyler üzerine sürülerek uygulanırken, lifli çimento levhalar havalandırılarak ve havalandırılmadan asılan yöntemlerle uygulanır.

Sürekli temas ile uygulama yöntemi

Cephelerde sıvalar 2-3 cm kalınlığında yüzeylere sürülme tekniğiyle uygulanmaktadır. Ancak, yüzey düzgün değil ise bu kalınlığın artırılması ve metal elemanlar ile takviye sağlanması gerekebilir (Eriç, 2002). ETICS uygulamasında kullanılan sıvalar polimer katkılı, esnek, yüksek stabiliteye sahip, akrilik veya çimento esaslıdır. (Url-12) Şekil 3.22’de dıştan ısı yalıtımlı kompozit sistemlerin (ETICS) dış yüzeyine ince bir kaç katmandan oluşan genellikle plastik sıva uygulaması görülmektedir. Yurt dışındaki bazı uygulamalarda daha kalın mineral esaslı sıva kaplamaların uygulandıkları bilinmektedir.



Şekil 3.22 : Dıştan ısı yalıtımlı sıvalı kompozit sistem (ETICS) uygulaması (Url-13).

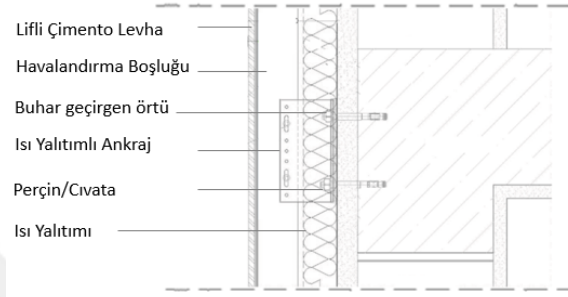
Dıştan ısı yalıtımlı sıvalı kompozit sistemde (ETICS), tuğla, brüt beton, gazbeton, çimento bazlı sıva gibi yüzeyler üzerine XPS, EPS veya taşyünü gibi ısı yalıtım levhaları taraklı mala ile yapıştırma harcı sürülerek uygulanır. Bu uygulamadan yaklaşık 24 saat sonra levhalar mekanik olarak dübellerle tutturulmalıdır (Url-12).

Astar püskürtme sıva harcı eşit kalınlıkta olacak şekilde uygulandıktan sonra donatı filesi sıvanın üzerine uygulanır. Bu uygulamada sıva bir kaç katmandan oluşur ve toplam yaklaşık 3-4 mm kalınlığındadır. Isı yalıtım sıvasında oluşabilecek gerilmeleri karşılamak ve çatlamasını önlemek amacı ile alkali dayanımlı cam elyaf sıva filesi kullanılır (Barreira ve diğ., 2013). Sıvanın üzerine sistemi dış ortam şartlarından korumak amacıyla organik veya inorganik esaslı son kat kaplama malzemeleri kullanılır (TS EN 13499, 2006).

Noktasal tespit ile asılma yöntemi

Lifli çimento levhalar dış duvarlara mekanik vidalı sistem veya perçinli sistem ile uygulanabilir. Mekanik vidalı sistemde ankrajlar çelik dübeller yardımı ile duvar yüzeyine monte edilir. Projeye uygun olarak ısı yalıtımı sağlamak için taş yünü ve nem bariyerinin tespiti yapılır (Url-11).

Ankraj kanallarına profiller takılır. Profiller üzerine lifli çimento levhalar paslanmaz vidalar kullanılarak sabitlenir. Şekil 3.23'te kesitte örneği görülen perçinli sistemde ise levhalar taşıyıcı alt konstrüksiyon üzerine özel perçinler aracılığıyla monte edilir (Url-11).



Şekil 3.23 : Lifli çimento levha perçinli sistem (Url-11).

Lifli çimento levhalar; 8 mm, 10 mm, 12 mm, 14 mm, 16 mm, 18 mm, 20 mm, 24 mm, 30 mm arasında değişen kalınlıklarda, 1250 mm genişliğinde ve 2500 mm, 2800 mm, 3000 mm uzunluklarında gri, siyah, beyaz, kırmızı, sarı, yeşil ve mavi gibi çok çeşitli renk tonlarında olmakla beraber, ihtiyaç duyulan ebatlarda özel olarak da üretilmektedir (Url-14).

Lifli levhaların standart boyutları 3100 mm×1250 mm ve kalınlıkları genellikle 12 mm ile 18 mm arasındadır. Lifli çimento levhalarda derzler kapatılabilir, açık bırakılabilir veya profillerin arkasına gizlenebilir. 10 mm kalınlığındaki levha uygulamalarında 8 ile 12 mm aralığında açık derzler tavsiye edilmektedir (Herzog ve diğ, 2004).

4. LİTERATÜR ÖZETİ

Literatür araştırmaları kapsamında, cephe kaplama malzemeleri ve uygulama yöntemlerinin bina enerji performansına (ısıtma ve soğutma yükü kaynaklı) etkileri ile ilgili yapılmış, ağırlıklı uluslararası dergilerde yayınlanmış makaleler olmak üzere, 40 özgün çalışma özetlenmiştir. Çalışmalar araştırma yöntemlerine göre; (i) benzetim programı ile hesaplama, (ii) sayısal hesaplama, (iii) deneysel ölçme, (iv) deneysel ölçme ile birlikte benzetim programında hesaplama, (v) deneysel ölçme ile birlikte sayısal hesaplama, ve (vi) literatür derleme çalışmaları olarak 6 gruba ayrılarak incelenmiştir. Çizelge 4.1’de bu bölümde gözden geçirilerek özetlenen yayınların araştırma yöntemlerine göre sayıları verilmektedir.

Çizelge 4.1 : Araştırma yöntemlerine göre literatür çalışmaları.

Benzetim Programı ile Hesaplama Çalışmaları	Sayısal Hesaplama Çalışmaları	Deneysel Ölçme Çalışmaları	Deneysel Ölçme ve Benzetim Programı ile Hesaplama Çalışmaları	Deneysel Ölçme ve Sayısal Hesaplama Çalışmaları	Literatür Derleme Çalışmaları
10	3	9	10	3	5

Bu alandaki incelenen çalışmalarda çoğunlukla benzetim programı ile hesaplama, deneysel ölçme, deneysel ölçme ve benzetim programı ile hesaplama yöntemleri kullanılmıştır. Bu konuda en çok çalışma yapılan ülkeler, genellikle Akdeniz ikliminin hakim olduğu, İtalya ve İspanya’dır.

4.1 Benzetim Programı ile Hesaplama Çalışmaları

Cephe kaplama malzemeleri ve uygulama yöntemlerinin ısıtma-soğutma kaynaklı olarak bina enerji performansına etkilerinin ilgili benzetim programları ile hesaplanarak değerlendirildiği 10 özgün çalışmada; Fluent, EnergyPlus, GBS (Green Building Studio), TRNSYS (Transient System Simulation Tool), Tas Engineering, STAR-CCM+, IES-VE (Integrated Environmental Solutions) yazılımları kullanılmıştır.

Çalışmaların her birinin kapsamı; iklim açısından coğrafi konumu, kullanılan benzetim programı, araştırılan cephe malzemesi ve uygulama yöntemi, değerlendirme kriteri olarak Çizelge 4.2’de listelenerek özetlenmiştir.

Çizelge 4.2 : Benzetim programı ile hesaplama çalışmalarının kapsamı.

No	Çalışma	Konum	Program	Cephe Kaplama Malzemesi	Uygulama Yöntemi	Değerlendirme kriteri
1	Maciel ve Carvalho (2019)	Brezilya	HBS benzetim programı	Doğal taş cephe kaplama malzemesi	-Havalandırılarak asılan granit cephe -Sürekli temas ile uygulanan granit cephe	Soğutma + Isıtma yükü
2	Lopez, F. ve diğ. (2015)	İspanya	TRNSYS benzetim programı	Metal esaslı cephe kaplama malzemesi	- Havalandırılarak asılan galvanizli çelik kaplama -Havalandırılmadan asılan galvanizli çelik kaplama	Isıtma yükü
3	Gagliano ve diğ. (2016)	İtalya	Fluent benzetim programı	Kil esaslı cephe kaplama malzemesi	- Havalandırılarak asılan tuğla -Havalandırılmadan asılan tuğla	Soğutma yükü
4	Sanjuan, C. ve diğ. (2011)	İspanya	Fluent benzetim programı	Kil esaslı cephe kaplama malzemesi	- Havalandırılarak asılan tuğla -Havalandırılmadan asılan tuğla	Soğutma + Isıtma yükü
5	Suárez ve diğ. (2012)	İspanya	Fluent benzetim programı	Kil esaslı cephe kaplama malzemesi	- Havalandırılarak asılan seramik (terracotta) -Havalandırılmadan asılan seramik (terracotta)	Soğutma + Isıtma yükü
6	Astorqui, J. S. C. ve diğ. (2017)	İspanya	STAR-CCM+ benzetim programı	Kil esaslı cephe kaplama malzemesi	- Çift hava boşluklu havalandırılarak ve havalandırılmadan asılan seramik	Soğutma + Isıtma yükü
7	Aksamij, A. ve diğ. (2016)	ABD	EnergyPlus benzetim programı	Kil, çimento esaslı cephe kaplama malzemesi	-Havalandırılarak asılan tuğla, seramik -Havalandırılarak asılan beton panel	Soğutma + Isıtma yükü
8	Patania, F ve diğ. (2010)	İtalya	Fluent benzetim programı	Kil, çimento esaslı cephe kaplama malzemesi	-Havalandırılarak asılan tuğla, seramik -Havalandırılmadan asılan tuğla, seramik -Havalandırılarak asılan lifli çimento levha -Havalandırılmadan asılan lifli çimento levha	Soğutma yükü
9	Planas, C. ve diğ. (2018)	İspanya	Tas Engineering benzetim programı	Çimento ve cam esaslı cephe kaplama malzemesi	-Beton panel kaplama -Cam lifi takviyeli beton -Çift kabuk cephe	Soğutma + Isıtma yükü
10	Adrian, C. ve diğ. (2013)	Singapur	IES-VE benzetim programı	Doğal taş, metal, çimento, cam esaslı cephe kaplama malzemesi	- Havalandırılarak asılan granit, alüminyum levha, kompozit levha, galvanizli çelik -Sürekli temas ile uygulanan sıva	Soğutma + Isıtma yükü

Maciel ve Carvalho (2019); havalandırılarak asılan ve sürekli temas şeklinde harç ile yapıştırılan iki farklı tipte granit kaplama uygulamalarının cephelerin bina enerji performansına etkisini incelemiştir. Sürekli temas ile alt yüzeye yapıştırılarak yapılan uygulamada cephe sistemi içten dışa doğru; 1,5 cm iç sıva, 14 cm duvar gövdesi, 1,5 cm yapıştırma harcı, 3 cm granit doğal taş plaka ile oluşturulmuştur. Havalandırılarak asılan uygulamada ise granit plakanın arkasına 10 cm genişliğinde havalandırma boşluğu eklenmiştir. Granit cephe kaplama malzemesinin yoğunluğu 2880 kg/m^3 , ısı iletkenliği $3,49 \text{ W/mK}$ ve özgül ısı $0,79 \text{ kJ/kgK}$ olarak verilmiştir. Model, Revit yazılımı ile hazırlanmış, GBS (Green Building Studio) benzetim aracına aktarılmış ve Brezilya'nın 16 bölgesine ait 9 farklı iklim verisi ile yıllık ısıtma ve soğutma yükleri hesaplanmıştır.

Çalışmada; havalandırılarak asılan cephelerde güneş radyasyonunun havalandırma boşluğunda baca etkisi oluşturduğu ve boşluktan ısı çıkışına yardımcı olduğu saptanmıştır. Böylece, tüm iklimlerde havalandırılarak asılan granit cephenin sürekli temas ile uygulanan granit cepheye göre daha düşük soğutma yükü oluşturduğu belirlenmiştir. Isıtma yükünde ise farklı iklimlerde farklı sonuçlar alındığı bildirilmiştir. Soğuk iklimin hakim olduğu bölgelerde havalandırılarak asılan cephenin ısıtma yükünün sürekli temas ile uygulanan cepheye göre daha düşük, sıcak-ılıman bölgelerde ise daha yüksek olabileceği görülmüştür. Çalışmanın enerji yükü sonuçları değerlendirildiğinde; bulundukları iklim şartlarına bağlı olarak, havalandırılarak asılan granit cephenin sürekli temas şeklinde harç ile yapıştırılan cepheden %8 ile %43 arasında daha yüksek enerji performansı gösterebileceği görülmüştür. Tüm çalışmadan elde edilen verilere göre; havalandırılarak asılan granit cephe uygulaması, yüksek güneş radyasyonu, yüksek sıcaklıklar ve düşük rüzgar hızı olan iklimlerde en etkili sonuca ulaşmıştır.

Lopez, F. ve diğ. (2015); havalandırılarak ve havalandırılmadan asılan galvanizli çelik kaplama cephelerin bina enerji performansına etkisini araştırmıştır. Çalışmada, İspanya'da bulunan 4 katlı, güney yönelimli bir ofis binasının kış mevsimindeki ısıtma yükleri TRNSYS benzetim programı aracılığıyla hesaplanmıştır. Hesaplamalar İspanya'da 12 farklı bölgenin iklim verileri ile gerçekleştirilmiştir. Cephe sistemi içten dışa doğru; 2 cm iç sıva, 7 cm tuğla, 3 cm poliüretan köpük, 2 cm hava boşluğu, 11,5 cm tuğla, 5 cm havalandırma boşluğu ve 1 mm galvanizli çelik kaplama ile oluşturulmuştur.

Cephe kaplaması olarak kullanılan galvanizli çeliğin emicilik değeri 0,70 ve rengi açık gridir. Sonuçlar, en etkili hava değişkeninin güneş radyasyonu olmasına rağmen, yüksek sıcaklıkların ve düşük rüzgar hızlarının da enerji performansında etkili olduğunu göstermiştir. Yapılan çalışmada, havalandırılarak asılan çeliğin havalandırılmadan asılan çeliğe göre ısıtma yükü daha az olmuştur. Hesaplamalar sonucunda, günlük ortalama ısıtma yüklerinin; havalandırılarak asılan cephede 3,53 kWh, havalandırılmadan asılan cephede ise 6,17 kWh olduğu belirlenmiştir. Böylece, havalandırılarak asılan galvanizli çelik kaplamalı cephe havalandırılmadan asılan cepheye göre %43 enerji tasarrufu sağlamıştır.

Hesaplamalar sonucunda; güneşli, ortalama rüzgar hızının düşük olduğu iklimlerde havalandırılarak asılan galvanizli çelik kaplamalı cephenin enerji performansının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, ılıman kışlara sahip iklimlerde havalandırılarak asılan cephelerin kullanımı önerilmiştir.

Gagliano ve diğ. (2016); havalandırılarak ve havalandırılmadan asılan tuğla cephelerin farklı rüzgar koşullarında bina enerji performansına etkisini araştırmıştır. Çalışmada, İtalya ikliminde, yaz döneminde ve doğu yöneliminde tuğla cephelerin bina soğutma yüklerine etkisi incelenmiştir. Cephe modelleri Fluent programının Gambit yazılımı ile üretilmiş ve incelemeler hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) yöntemi ile oluşturulmuştur. Cephe modeli içten dışa doğru; 1,5 cm alçı sıva, 18 cm tuğla, 1,5 cm yapıştırma harcı, 4 cm cam elyafı ısı yalıtımı, 15 cm havalandırma boşluğu (havalandırılan/havalandırılmayan) ve 4,5 cm tuğla katmanı ile tasarlanmıştır. Tuğla malzemenin yoğunluğu 800 kg/m^3 , ısıl iletkenliği ise $0,3 \text{ W/mK}$ olarak bildirilmiştir.

Çalışmada rüzgarsız, hafif rüzgarlı ve şiddetli rüzgarlı durumlar incelenmiştir. Rüzgarsız durumda, havalandırma boşluğundaki hava akımının güneş radyasyonu ile orantılı olarak arttığı belirlenmiştir. Rüzgarlı durumda ise havalandırma boşluğunda güneş radyasyonu ve rüzgar kuvvetlerinin etkili olduğu, fakat rüzgar şiddetinin artması ile enerji performansında olumsuz etkilerin oluşabileceği saptanmıştır. Bu durum, rüzgar kuvvetlerinin hava bacası etkisi ile havalandırılarak asılan cephenin enerji performansını önemli ölçüde değiştirdiğini göstermiştir. Ayrıca, havalandırılarak asılan uygulamalarda, tuğlanın düşük ısıl iletkenlik ve yüksek özgül ısı değerlerinde olması havalandırma boşluğunun daha az ısınmasını sağlamıştır. Böylece, tuğlanın karakteristik özelliklerinin cephenin enerji performansını arttırdığı bildirilmiştir.

Çalışmanın sonucunda, havalandırılarak asılan tuğla cephenin yaz döneminde doğru özelliklerde kurgulandığında havalandırılmadan asılan tuğla kaplamalı cepheye göre %51'e kadar daha yüksek enerji performansı sağlayabileceği bildirilmiştir.

Sanjuan, C. ve diğ. (2011); İspanya bölgesinde, kuzey ve güney yönelimlerinde, havalandırılarak (5 mm açık derzli) ve havalandırılmadan asılan cephelerin enerji performansını araştırmıştır. Cephe modeli Fluent 6.3 benzetim programı ile oluşturulmuş, tipik kış ve yaz günü verileriyle ısıtma ve soğutma yükleri hesaplanmıştır. Araştırma, (çalışılan iklim bölgesi için) ısıtma için gereken enerjinin, soğutma için gereken enerjiden yaklaşık üç kat fazla olduğu ve her iki durumda da aynı tür enerji (elektrik) kullanıldığı varsayımına dayanmaktadır. Çalışılan cephe modeli içten dışa doğru; 1 cm iç sıva, 11 cm tuğla duvar gövdesi, 3 cm ısı yalıtımı, 5 cm havalandırma boşluğu ve cepheye asılarak uygulanan 1 cm levha kaplama ile oluşturulmuştur. Hesaplamalarda, levha yoğunluğunun 2800 kg/m^3 , ısıl iletkenliğinin $3,5 \text{ W/mK}$, özgül ısısının 1000 J/kg/K ve ısıl emiciliğinin 0,9 alındığı bildirilmiştir.

Çalışmanın tipik yaz günü ve güney yönelimi sonuçlarına göre; havalandırılarak asılan cephe, radyasyonun yüksek olduğu öğlen saatlerinde, havalandırılmadan asılan cepheye göre %26 daha yüksek enerji performansı sağlamıştır. Kuzey yönelimde ise, iki uygulama arasında belirgin farklılıklar görülmemiştir. Tipik kış günü ve güney yönelimi sonuçlarına göre; havalandırılarak asılan cephe havalandırılmadan asılan cepheye göre %58 daha yüksek enerji performansı sağlamıştır. Ancak, kuzey yöneliminde %50 daha düşük enerji performansı göstermiştir. Sonuç olarak; güney yöneliminde havalandırılarak asılan cephelerin, sıcak yazlar ve ılıman kışlarda, havalandırılmadan asılan cephelere göre daha yüksek enerji performansı gösterebileceği, fakat sert kışlarda, özellikle kuzey yönelimlerde bu etkilerin daha az olabileceği belirlenmiştir. Havalandırılmadan asılan cephenin ise güneş radyasyonu olmadığında (kuzey ve gece) daha iyi performans sağlayacağı belirtilmiştir.

Suárez ve diğ. (2012); açık derzli havalandırılarak ve havalandırılmadan asılan seramik (terracotta) kaplamalı cephelerin güney ve kuzey yönelimlerdeki enerji performansını araştırmıştır. Çalışma; sıcak yaz ve soğuk kış iklimine sahip İspanya'da bulunan bir binanın 4 farklı mevsim için belirlenen 'tipik gün' verileriyle ısıtma ve soğutma yükleri hesaplanarak gerçekleştirilmiştir. Cephe modelleri Fluent 6.3 benzetim programı ile CFD yöntemi kullanılarak oluşturulmuş ve sonuçlar kızılötesi termometre ölçümleri ile doğrulanmıştır.

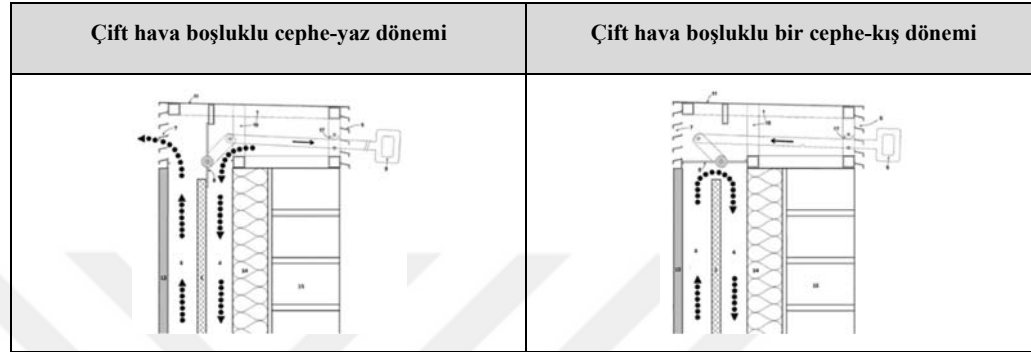
Araştırma; (çalışılan iklim bölgesinde) ısıtma için gereken enerjinin, soğutma için gereken enerjiden yaklaşık üç kat fazla olduğu ve her iki durumda da aynı tür enerji kullanıldığı varsayımına dayanmaktadır. Çalışılan cephe modeli içten dışa doğru; 2 cm alçı sıva, 30 cm tuğla duvar gövdesi, 6 cm taşıyünü, 5 cm havalandırma boşluğu ve 2,8 cm terracotta kaplama ile oluşturulmuştur. Terracotta malzemenin ısıl iletkenliğinin 0,20 W/mK ve ısıl emiciliğinin 0,85 olduğu bildirilmiştir. İncelemelerde, havalandırılarak ve havalandırılmadan asılan cephelerde hava boşluğu içerisindeki hava akışının birbirinden farklı olduğu görülmüştür. Havalandırılmayan cephede, akış taşınımlı bir döngü ile oluşurken, açık derzli havalandırılan cephede akışın her zaman yukarı doğru olduğu ve hızının havalandırılmayan cepheye oranla yaklaşık beş kat fazla olduğu belirlenmiştir.

Çalışmanın sonuçlarına göre; güney yöneliminde havalandırılarak asılan seramik (terracotta) kaplamalı cepheler havalandırılmadan asılanlara göre %9 daha iyi performans göstermiştir. Kuzey yönelimlerde ise havalandırılmadan asılan cephelerin havalandırılanlara göre %4 daha iyi performans gösterdiği bildirilmiştir. Böylece, havalandırılarak asılan cephelerin sıcak yazlar ve ılıman kışların olduğu iklimlerde daha enerji etkin bir performans sağlamaya yardımcı olabileceği bildirilmiştir.

Astorqui, J. S. C. ve diğ. (2017); asılarak uygulanan cephe sistemlerinde paralel ikinci bir hava boşluğunun eklenmesinin cephenin enerji performansına etkisini araştırmıştır. İspanya’da gerçekleştirilen araştırmada çift hava boşluklu bir cephe oluşturulmuş ve havalandırılarak asılan bir cephe ile enerji performansı karşılaştırılmıştır. Cephe sistemleri batı yönüne yönlendirilmiş ve STAR-CCM+ ile CFD yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Havalandırılarak asılan cephe sistemi içten dışa doğru; 1 cm alçı sıva, 12 cm tuğla, 7,5 cm ısı yalıtım katmanı, 5 cm havalandırma boşluğu, ve 1,5 cm seramik kaplamadan oluşmaktadır.

Çift hava boşluklu havalandırılarak asılan cephe sistemi katmanlaşması ise içten dışa doğru; 1 cm alçı sıva, 12 cm tuğla, 6 cm ısı yalıtım katmanı, 4,5 cm iç hava boşluğu, 1,5 cm ayırıcı katman, 5 cm havalandırma boşluğu ve 1,5 cm seramik cephe kaplama malzemesi ile oluşturulmuştur. Bu çalışmada, çift hava boşluğu elde etmek için mevcut hava boşluğu içine ayırıcı bir katman, cephenin üst bölgesine iki hava boşluğunu ayıran bir kapakçık ve bu kapakçığın açılıp kapanması için bir kontrol mekanizması yerleştirilmiştir.

Böylece, kontrol mekanizması binanın iç ve dış sıcaklığı arasındaki farka bağlı olarak sıcak dönemde hava boşlukları arasındaki kapakçığın açılmasını ve soğuk dönemde bu kapakçığın kapanmasını sağlamıştır. Şekil 4.1'de havalandırma boşluğunun çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Çift hava boşluklu bir cephede hava boşluğunun yaz ve kış dönemlerinde çalışma prensipleri (Astorqui ve diğ, 2017).

Çalışmanın sonuçlarına göre; (çalışılan iklim bölgesi için) önerilen çift hava boşluklu cephe sistemi, havalandırılarak asılan cepheye göre yaz döneminde %38 ve kış döneminde %333 daha iyi enerji performansı sağlamıştır. Çift hava boşluklu cephe sisteminin yaz döneminde soğutma yüklerini, kış döneminde ise ısıtma yüklerini azaltarak bina enerji performansının etkinliğini arttıracak ifade edilmiştir. Ayrıca, bu kullanımın havalandırılarak asılan cephe sisteminin zayıf yönlerini büyük ölçüde ortadan kaldıracak ifade edilmiştir. Önerilen cephenin kış dönemindeki performansına vurgu yapılarak bu alanda detaylı çalışmalar yapılması gerektiği bildirilmiştir.

Aksamija, A. ve diğ. (2016); havalandırılarak asılan metal çerçeveli tuğla, seramik, lifli çimento levha kaplamalı cepheler ve cam giydirme cephelerin bina enerji performansı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışmada, bir ofis binası modeli oluşturularak, Amerika Birleşik Devletleri'nde 15 farklı iklim seçilerek farklı cephe sistemlerinin benzetimleri yapılmıştır. Ofis modeli, THERM 6.3 programı aracılığıyla, 4 m yüksekliğinde ve 3,75 m genişliğinde oluşturulmuştur. Bu ofis modeli EnergyPlus benzetim programına aktarılmış, farklı cephe sistemleriyle yıllık ısıtma ve soğutma yükü hesaplamaları yapılmıştır. Çalışmada benzetim sonuçlarına göre; opak cephe sistemleri için analiz edilen tüm yönlerde benzer düzeyde enerji performansının olduğu, ılıman iklimlerde kuzey yönelimleri ve soğuk iklimlerde güney yönelimlerinin daha iyi enerji performans sonuçları verdiği bildirilmiştir.

Opak bina cephelerinin sıcak iklim bölgelerinde enerji tüketimi üzerinde benzer etkileri olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, opak bina cephelerinin düşük U-değerine sahip olmasının özellikle soğuk iklim bölgelerinde sıcak iklim bölgelerine göre enerji performansına daha büyük yarar sağladığı bildirilmiştir. Tüm yıl için düşük U-değerine sahip cephelerin tüm iklimlerde ve yönelimlerde daha iyi enerji performansına sahip olduğu görülmüştür. Cam giydirme cepheler için, daha büyük bir etki ile doğu ve batı yönelimleri en düşük enerji performansını göstermiştir. Cam giydirme cephelerde, soğuk iklimlerde güney yönelimi, diğer iklim bölgelerinin çoğunda kuzey yönelimi en yüksek performansı göstermiştir. Opak ve saydam cepheler karşılaştırıldığında; kış mevsiminde opak cephelerin tümü cam giydirme cephelerden daha iyi performans göstermiştir.

Patania, F ve diğ. (2010); tuğla, seramik ve lifli çimento levha kaplamasının havalandırılarak ve havalandırılmadan asılan uygulamalarının farklı güneş radyasyonu ve rüzgar koşullarındaki enerji performansını araştırmıştır. İtalya’da yapılan çalışmada, Fluent benzetim programı kullanılmış ve incelemeler hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, 3 cephe sisteminde de ısıl direnç değeri sabit tutulmuştur, ancak, cephe kaplama malzemeleri birbirinden farklı seçilmiştir.

Hesaplamalara göre; havalandırılarak asılan cephelerde tüm kaplamalar için yüksek güneş radyasyonunun, düşük dış hava sıcaklığının ve hafif rüzgarın soğutma yüklerini azalttığı belirlenmiştir. Tuğla, seramik ve lifli çimento levhalarla yapılan çalışmada, kaplamanın düşük ısıl iletkenlik, yüksek yoğunluk ve yüksek özgül ısı değerinde olmasının havalandırılarak asılan cephelerin enerji performansını arttırdığı ifade edilmiştir.

Sonuç olarak, havalandırılarak asılan cephenin doğru kurgulanmasıyla havalandırılmadan asılan cepheye göre soğutma yüklerinin yaklaşık %40 azaltılabileceği, güneş radyasyonunun düşük olduğu bölgelerde ise bu yüzdenin daha az olabileceği belirtilmiştir. Bu çalışmanın devamının, kış mevsiminde havalandırılmalı cephe performansının analiz edilmesi olacağı bildirilmiştir.

Planas, C. ve diğ. (2018); ofis binalarının enerji performansını incelemiştir. İspanya’da inşa edilen farklı ofis binalarının ısıtma ve soğutma yüklerini karşılaştırmak için Tas Engineering benzetim aracı kullanılmıştır.

Araştırmada, cam giydirme cephe, çift kabuk cephe, beton panel kaplamalı cephe ve cam lifi ile güçlendirilmiş beton kaplamalı cephe sistemleri incelenmiştir. Cephe sistemlerinin U-değerleri ve cephelerde kullanılan kaplama malzemeleri açıklanmış, ancak, cephe sistemlerinin katmanlaşmasına ait ayrıntıda bilgiler verilmemiştir. Sonuçlar, hem soğutma hem de ısıtma yükleri için en önemli çevresel etmenin güneş radyasyonu olduğunu göstermiştir. Farklı yönelimlerdeki cephelerin enerji yükleri incelendiğinde, soğutma yükleri kuzey cephesinde en az, batı cephesinde en fazla olmuştur. Isıtma yüklerinin ise ısı yalıtım malzemesi ile büyük ölçüde azaltılabileceği vurgulanmıştır.

Adrian, C. ve diğ. (2013); binaların dış kabuklarından kazanılan ve kaybedilen ısı miktarının binayı çevreleyen kentsel alanla ilişkisi üzerine çalışmıştır. Araştırmada, IES-VE yazılımı kullanılmıştır. Farklı cephe sistemleriyle yapılan çalışmada, düşük U-değerine sahip cephelerin enerji performanslarının daha yüksek olduğu, gölgelendirme sistemlerinin gündüz sıcaklıklarını azaltabilmesine rağmen, bina dış kabuğunun düşük ısıl dirence sahip olmasının düşük performansa yol açtığı belirtilmiştir.

Binalarda kazanılan veya kaybedilen ısı miktarının sadece bina dış kabuğu tasarımına ve kullanılan malzemelerin özelliklerine değil, aynı zamanda bina dış kabuğunu çevreleyen ortam koşulları (çevresel etmenler) ile birlikte kentsel morfolojiye de bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. Bu nedenle, yoğun kentsel alanlarda planlamacıların ve mimarların bina performansını optimize etmek için birlikte çalışması gerektiği vurgulanmıştır. Sürdürülebilir kentsel kalkınmaya daha fazla önem verilerek, binalar ve çevresindeki morfoloji arasındaki etkileşimin analiz edilmesi gerektiği bildirilmiştir.

4.2 Sayısal Hesaplama Çalışmaları

Cephe kaplama malzemeleri ve uygulama yöntemlerinin bina enerji performansına etkilerinin sayısal hesaplama ile çalışıldığı 3 araştırma incelenmiştir. Bu araştırmalarda hesaplamalar matematiksel hesap yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmaların ikisi yurtdışında, biri Türkiye’de yapılmıştır. Çizelge 4.3’te gözden geçirilen sayısal hesaplama çalışmalarının kapsamı, araştırma yöntemi, cephe kaplama malzemesi ve uygulama yöntemi ile değerlendirme kriterine göre listelenerek özetlenmiştir.

Çizelge 4.3 : Sayısal hesaplama çalışmalarının kapsamı.

No	Çalışma	Konum	Araştırma Yöntemi	Cephe Kaplama Malzemesi	Uygulama Yöntemi	Değerlendirme kriteri
11	Balocco, C. (2002)	İtalya	Sonlu farklar yöntemi	Doğal taş cephe kaplama malzemesi	-Havalandırılarak asılan granit -Havalandırılmadan asılan granit	Soğutma yükü
12	Ozel, M. (2012)	Türkiye	Sonlu farklar yöntemi	Çimento esaslı cephe kaplama malzemesi	-Sürekli temas ile uygulanan sıva	Soğutma + Isıtma yükü
13	Ciampi ve diğ. (2013)	İtalya	Maple 8 programlama yazılımı	Metal, kil, çimento, esaslı cephe kaplama malzemesi	-Havalandırılarak asılan bakır -Havalandırılarak asılan tuğla, seramik -Havalandırılarak asılan asbestli çimento levha, polyester	Soğutma yükü

Balocco, C. (2002); İtalya bölgesinde ve güney yönelimli, havalandırılarak ve havalandırılmadan asılan granit kaplamalı cephelerin, farklı havalandırma boşluğu genişliklerinde (7-35 cm) enerji performansını araştırmıştır. Analizler için bir model oluşturulmuş ve 'Ventilcam' adı verilen sonlu elemanlar kodu ile soğutma yükleri incelenmiştir. Cephe modeli içten dışa doğru; 27 cm tuğla, 4 cm polistiren, (değişken genişliklerde) havalandırma boşluğu, 3,5 cm granit levha ile oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan granit cephe kaplama malzemesinin ısı iletkenliği 1,5-2 W/mK olarak bildirilmiştir.

Bu çalışmada, hava boşluğu genişliği arttıkça hava bacası etkisinin arttığı ve soğutma yüklerinin düştüğü görülmüştür. 10-15 cm havalandırma boşluğu genişliklerinde hava baca etkisinin soğutma yükleri üzerinde dikkate değer farklar oluşturduğu, 20-30 cm boşluk genişliklerinin en iyi soğutma etkisini gösterdiği belirtilmiştir. Hesap sonuçlarına göre; soğutma yüklerinin 7 cm havalandırma boşluğu ile havalandırılarak asılan granit kaplamalı cephenin havalandırılmadan asılan granit kaplamalı cepheye göre %7 daha az olduğu, 35 cm genişliğindeki havalandırma boşluğunda ise %27,5 daha az olduğu bildirilmiştir.

Ozel, M. (2012); dış yüzeyin güneş emiciliğini dikkate alarak sürekli temas ile alt yüzeye uygulanan sıva kaplamalı cephenin ısı özelliklerini ve optimum yalıtım kalınlığını araştırmıştır. İncelemeler, Türkiye'nin Erzurum ili koşullarında güney yönelimli bir cephede, sonlu farklar sayısal yöntemi ile soğutma ve ısıtma yükleri hesaplanarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışmadaki cephe sistemi içten dışa; 2 cm iç sıva, 20 cm tuğla duvar gövdesi, 2 cm dış sıva ile oluşturulmuştur. Yalıtım malzemesi olarak ise çekme polistiren levha seçilmiştir. Kullanılan dış sıva katmanının 1865 kg/m^3 yoğunluğu, $0,72 \text{ W/mK}$ ısı iletkenliği, 840 J/kgK özgül ısı değeri ve 0 ile 1 arasında değişen güneş emicilik değeri olduğu bildirilmiştir. Değerlendirmelerde, yalıtımsız ve yalıtımlı duvarlar için güneş emiciliğinin yıllık enerji yüklerindeki etkisinin belirgin olduğu, ancak, optimum yalıtım kalınlığı üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Hesaplamalarda, güneş emicilik değeri attıkça, soğutma yükleri yaklaşık %66 ile %331 arasında artarken, ısıtma yüklerinin %6,7 ile %33,6 arasında ve toplam enerji yüklerinin de %2,6 ile %12,9 arasında azaldığı görülmüştür. Yalıtım levhası kalınlığı arttıkça, tüm güneş emicilik değerleri için enerji yüklerinde belirgin farklılıkların oluşmadığı görülmüş ve yalıtım levhasının optimum kalınlığının 4,8 cm olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, güneş emiciliğinin ısıtma yükü üzerindeki etkisinin soğutma yükü üzerindeki etkisinden daha az olduğu, böylece yaz aylarında güneş emiciliği etkisinin daha büyük olduğu sonucuna varılmıştır. En düşük güneş emiciliği değeri en düşük soğutma ve en yüksek ısıtma yükünü verirken, en yüksek güneş emiciliği en yüksek soğutma ve en düşük ısıtma yükünü vermiştir. Böylece, güneş emiciliği arttıkça ısı kazancının arttığı ve ısı kaybının azaldığı bildirilmiştir.

Ciampi ve diğ. (2013); havalandırmalı cephelerin enerji performansına etki eden havalandırma boşluğu genişliği, güneş radyasyonu, yalıtım malzemesi ve konumu, cephe kaplama malzemesi parametrelerini araştırmıştır. İtalya'da yapılan bu çalışmadaki tüm hesaplamalar, Maple 8 programlama yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Araştırma, iç duvar sabit kabul edilerek, hava boşluğu ve dış cephe kaplamasının optimizasyonu, dış cephe kaplamasının sabit kabul edilerek, hava boşluğu ve iç duvarın optimizasyonu, bazı özelliklerin değişiminin etkisinin incelendiği çalışmalar olmak üzere 3 bölüme ayrılarak sürdürülmüştür. İç duvarın sabit kabul edildiği çalışmalarda içten dışa duvar katmanlaşması, 1,5 cm kireç-çimento sıva, 25 cm tuğla gövde, 1,5 cm çimento yapıştırma harcı, 4 cm ısı yalıtım levhası, 15 cm havalandırma boşluğu ve cephe kaplama malzemesi (değişken) ile oluşturulmuştur.

Çalışmada kullanılan cephe kaplama malzemeleri ise, 6 mm bakır levha, 5 cm tuğla kaplama, 5,3 cm asbestli çimento levha, 1,45 cm seramik kaplama, 4 cm tuğla kaplama ve 4 mm polyester levhalardır. Dış cephe kaplamasının sabit kabul edildiği çalışmalarda ise sadece tuğla tipi ve özellikleri değiştirilmiştir.

Çalışmanın sonucunda; 15 cm'ye kadar havalandırma boşluğu genişliğinin, güneş radyasyonunun, yalıtım malzemesinin duvar çekirdeğinin dış tarafına konumlandırılmasının, uygun özellikteki kaplama ve ısı yalıtım malzemesinin kullanılmasının soğutma yüklerini belirli düzeyde azalttığı belirlenmiştir. Ayrıca, dış ve iç ortam arasındaki sıcaklık farkı azaldıkça binanın enerji performansının arttığı vurgulanmıştır. Sonuç olarak; bu şekilde dikkatlice kurgulanan cephelerin, binaların soğutma yüklerinde yaklaşık %40 azalma sağlayabileceği bildirilmiştir.

4.3 Deneysel Ölçme Çalışmaları

Cephe kaplama malzemeleri ve uygulama yöntemlerinin bina enerji performansına etkilerinin deneysel ölçme yöntemleri ile araştırıldığı, çoğunluğu İtalya'da yapılmış, 9 özgün çalışma incelenmiştir. Çizelge 4.4'te gözden geçirilen deneysel ölçme çalışmalarının kapsamı, araştırma yöntemi, cephe kaplama malzemesi ve uygulama yöntemi ile değerlendirme kriterine göre listelenerek özetlenmiştir.

Çizelge 4.4 : Deneysel ölçme çalışmalarının kapsamı.

No	Çalışma	Konum	Cephe Kaplama Malzemesi	Uygulama Yöntemi	Değerlendirme kriteri
14	Marinosci, C. ve diğ. (2013)	İtalya	Metal ve kil esaslı cephe kaplama malzemesi	- Havalandırılarak asılan porselen Havalandırılarak asılan alüminyum	Soğutma yükü
15	Dondi ve diğ. (2004)	İtalya	Kil esaslı cephe kaplama malzemesi	- Tuğla kaplamalı cephe	Malzeme özelliği
16	Stazi, F. ve diğ. (2011)	İtalya	Kil esaslı cephe kaplama malzemesi	- Havalandırılarak asılan tuğla	Soğutma yükü, hava hızı, hava boşluğundaki sıcaklık ve ısı akışları
17	Tavil, A. Ü. (1995)	Türkiye	Çimento esaslı cephe kaplama malzemesi	- Sürekli temas ile uygulanan sıva	Yüzey güneş radyasyon emiciliği ve sıcaklığı
18	Uygunoğlu, T. ve diğ. (2016)	Türkiye	Çimento esaslı cephe kaplama malzemesi	- Sürekli temas ile uygulanan sıva (ETICS)	Malzeme kalınlıkları- Soğutma yükü + Isıtma yükü
19	Stazi ve diğ. (2014)	İtalya	Metal ve kil esaslı cephe kaplama malzemesi	-Havalandırılarak asılan titanyum-çinko -Havalandırılarak asılan seramik kaplama	Soğutma yükü

Çizelge 4.4 (devam) : Deneysel ölçme çalışmalarının kapsamları.

No	Çalışma	Konum	Cephe Kaplama Malzemesi	Uygulama Yöntemi	Değerlendirme kriteri
20	Alonso, C. ve diğ. (2016)	İspanya	Kil, çimento esaslı cephe kaplama malzemesi	-Havalandırılmadan asılan tuğla - Havalandırılarak asılan seramik - Sürekli temas ile uygulanan sıva (ETICS)	Soğutma yükü + Isıtma yükü
21	Bougiatioti, F. ve diğ. (2009)	Yunanistan	Doğal taş, metal, kil, çimento, ahşap esaslı cephe kaplama malzemesi	-Havalandırılarak asılan mermer ve granit - Havalandırılarak asılan metal levha ve kompozit levha - Havalandırılarak asılan seramik - Havalandırılarak asılan ahşap kompozit paneller	Yüzey sıcaklıkları
22	Sanjuan, C. ve diğ. (2011)	İspanya	Doğal taş, metal veya kil esaslı cephe kaplama malzemesi	- Havalandırılarak asılan cephe -Havalandırılmadan asılan cephe	Hava baca etkisi

Marinosci, C. ve diğ. (2013); havalandırılarak asılan porselen levha ile alüminyum kaplamalı cephelerin farklı konfigürasyonlarının enerji performanslarını araştırmıştır. Akdeniz iklimine sahip İtalya’da, büyük ölçekli ve kuzey yönelimli test modülü ile yürütülen çalışmalar yaz koşullarında gerçekleştirilmiştir. Cephe kaplaması olarak kullanılan porselen karo; 1 cm kalınlığında, 2300 kg/m³ yoğunluğunda, 1,3 W/mK ısı iletkenliğinde 840 J/kgK özgül ısısında, 0,90 güneş emiciliğindedir. Alüminyum ise; 5 mm kalınlığında, 2800 kg/m³ yoğunluğunda, 160 W/mK ısı iletkenliğinde 840 J/kgK özgül ısısında, 0,30 güneş emiciliğindedir. Çalışmada kullanılan modülün havalandırma boşluğu genişliği 10 ve 24 cm genişliklerinde, derzler ise açık veya kapalı olarak değişmektedir.

Çalışmada ısı akışının, havalandırılarak asılan cephenin dış kaplama malzemesi, açık derzleri, havalandırma boşluğu varlığı ve havalandırma boşluğu genişliği ile güçlü bir şekilde ilişkili olduğu vurgulanmıştır. Havalandırma boşluğu boyunca hava akış hızını arttırmak için ise basınç kayıplarının azaltılması ve boşluk genişliklerinin optimum düzeyde oluşturulması önerilmiştir.

Çalışmanın sonucunda, havalandırılarak asılan bir cephenin enerji performansının dış kaplamanın güneş emicilik özelliğiyle doğrudan ilişkili olduğu belirtilmiştir. Güneş emicilik değeri düşük olan bir kaplamanın yazın soğutma yüklerini düşürerek enerji performansını arttırdığı vurgulanmıştır. Kaplamanın açık derzli olmasının ise, baca etkisini azaltarak yaz dönemi soğutma yüklerine olumsuz etki ettiği belirlenmiştir.

Havalandırılarak asılan taş kaplamalı cephenin enerji performansının, havalandırılarak asılan alüminyum levhalı cepheye göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir.

Dondi ve diğ. (2004); İtalya’da 21 farklı tuğla fabrikasından toplanan 29 adet tuğla örneğinin ısı iletkenliğini ölçmüş ve ısı performansın tuğlanın karakteristik özellikleriyle ilişkisini incelemiştir. Dynatech cihazı ile tuğlaların ısı iletkenliği ölçülmüş, ısı iletkenlik ve kütle yoğunluğu arasındaki karmaşık ilişkiyi belirleyebilmek için analizler yapılmıştır. Araştırmada, farklı tuğlaların ısı iletkenlik değerleri 0,39 ile 0,63 W/mK arasında bulunmuştur.

Çalışmanın sonucuna göre, literatürden elde edilen ısı iletkenlik verileri ile deneysel çalışmada elde edilen veriler karşılaştırıldığında yoğunluk parametresinin tek başına tuğlaların ısı performansını tanımlayamayacağı belirtilmiştir. Bazı durumlarda, aynı yoğunluğa sahip olan tuğla örnekleri, olasılıkla, malzemenin iç yapılarına bağlı olarak farklı ısı davranış göstermiştir. Ayrıca, daha yüksek toplam gözenekliliğe sahip bazı örneklerin, daha düşük ısı yalıtım özelliklerine sahip olduğu bildirilmiştir. Bu durumun farklı büyüklükteki gözeneklere ve gözenek oranlarına bağlı olabileceği belirtilmiştir. Açık gözenekliliğin ise, tuğlaların ısı performanslarını iyileştirmedeki etkisinin büyük olduğu, ancak çoğu durumda gözenek boyutu gibi değişkenlerin de dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır. Aynı zamanda, bazı mineralojik bileşenlerin, özellikle kuvars ve kalsiyum açısından zengin silikatların malzemenin ısı yalıtım özelliğine olumsuz etki edebileceği belirlenmiştir.

Stazi, F. ve diğ. (2011); farklı havalandırma boşluğu yüksekliği (6 m ve 12 m) ve yönelimlerinde (doğu, batı, güney) havalandırılarak asılan tuğla kaplamalı cephedeki hava hızı, havalandırma boşluğundaki sıcaklık ve ısı akışlarını izlemiştir. Çalışma; ılıman bir Akdeniz iklimine sahip İtalya’da yaz döneminde, güney yönelimli cephele ile gerçekleştirilmiştir. Cephe modelleri yaz döneminde belirlenen 10 günlük süreçte deneysel bir çalışmayla incelenmiştir. Araştırmada, cephe sistemi içten dışa doğru; 20 cm tuğla duvar gövdesi, 1,5 cm yapıştırma harcı, 4 cm genişletilmiş polistiren köpük (EPS) yalıtımı, 6 cm havalandırma boşluğu ve 4 cm kil esaslı kaplama ile oluşturulmuştur. Kil esaslı cephe kaplama malzemesinin; yoğunluğunun 792 kg/m³, ısı iletkenliğinin 0,50 W/mK ve özgül ısısının 814 J/kgC olduğu bildirilmiştir. Çalışmada, güneşli günlerde, dış yüzey sıcaklıklarının, havalandırma boşluğundaki sıcaklıkların ve boşluktaki hava hızının 12 m havalandırma boşluklu cepheye 6 m havalandırma boşluklu cepheye göre oldukça yüksek olduğu görülmüştür.

Gece boyunca bu deęerler daha dūřuk gerçekleřmiřtir. Bununla birlikte, her iki yūkseklkteki cephede doęu ve batı yōnelimlerinde, gūneř radyasyonunun kūuk aırlarla gelmesiyle; sabah erken ve akřam geç saatlerde daha yūksekk sıcaklıklar oluřmuřtur. Gūney yōnelimli cephede daha dūřuk sıcaklıkların oluřtuęu bildirilmiřtir. Sonuç olarak, havalandırma bořluęu yūkseklğinin artmasının hava akıř hızını ۆnemli ۆlūde arttırdıęı ve soęutma yūklerini azalttıęı ifade edilmiřtir. Havalandırılarak asılan tuęla kaplamalı cephelerin gūney yōnelimli ve havalandırma bořluęu yūkseklğii 12 m olduęunda daha yūksekk enerji performansı gōsterebileceęii bildirilmiřtir.

Tavil, A. Ŭ. (1995); doktorasında opak dıř yūzey pūrūzlūlūk ۆzelliiğinin yūzeyin gūneř radyasyon emicilięine ve sıcaklıęına etkisini deneysel olarak arařtırmıřtır. Çalıřmada, dıř yūzeyin gūndūz gūneř ıřınımını emmesi ve gece uzun dalga ıřınımını yayınlaması ile dıř yūzey sıcaklıklarını dūřūrerek soęuk ve sıcak dōnemlerde iç ortam konfor kořullarını ve ısıtma, soęutma amaçlı enerji tūketimini etkiledięii vurgulanmıřtır. Tezde, gūneř radyasyonu etkisindeki malzemelerin yūzey pūrūzlūlūklerinin artmasına baęlı olarak, yūzeyin herhangi bir noktasından yansıyan radyasyonun tekrar yūzeye çarpma olasılıęının arttıęii vurgulanmıřtır. Bu durumun, yūzeyin enerji emilimini artırabileceęii gōrūlmūřtur. Pūrūz boyutunun yūzeye gelen ıřık dalga boyundan daha kūuk olmasının ise, yūzeyin pūrūzlūlūk ۆzellilięinin emme oranı ۆzerindeki etkisini azalttıęii belirlenmiřtir. Ayrıca, pūrūzlūlūk arttıķa yūzey alanının ve ısıl iletim katsayısının arttıęii, artan pūrūz sıklıęı ile yūzey sıcaklıęının da arttıęii bildirilmiřtir.

Çalıřmada, sıcak dōnemde gūneř radyasyon řiddetinin artması ile pūrūzlū ve dūz yūzeyler arasındaki sıcaklık farkı da artmıřtır. Buna baęlı olarak, pūrūzlū yūzeylerde dıř yūzden i yūze doęru ısı akım miktarının da arttıęii ifade edilmiřtir. Soęuk dōnemde ise gūneř radyasyon řiddetinin dūřuk deęerlerde olmasına baęlı olarak, yūzey pūrūzlūlūęünün etkisinin azaldıęii gōrūlmūřtur. Optimum enerji performansı için yūzeyin optimum miktarda pūrūzlūlūkte olması gerektięii vurgulanmıřtır.

Sonuç olarak, sıcak iklimli bōlgelerde pūrūzlū yūzeylerin ve soęuk iklimli bōlgelerde pūrūzlūlūęū daha az olan yūzeylerin kullanılması ۆnerilmiřtir. Yūzey rengii incelendięinde; açık renkli yūzeylerin yansıma oranının yūksekk ve gūneř radyasyonu emme oranının dūřuk, koyu renkli yūzeylerin ise yansıma oranının dūřuk ve gūneř radyasyonu emme oranının yūksekk olduęu vurgulanmıř ve sıcak bōlgelerde açık renkli, soęuk bōlgelerde ise koyu renkli yūzeyeye sahip malzemelerin kullanılması ۆnerilmiřtir.

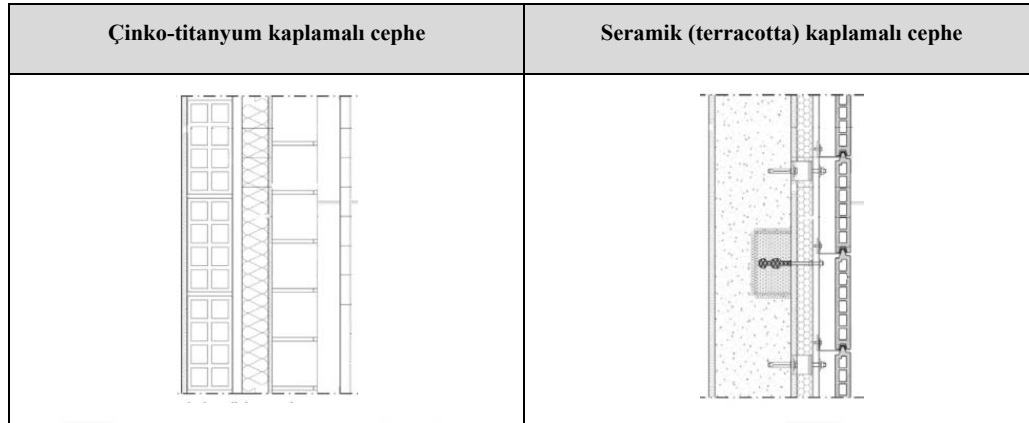
Uygunoğlu, T. ve diğ. (2016); sıva kalınlığının binalarda dıştan ısı yalıtımlı sıva kaplamalı sistemlerin (ETICS) enerji performansına etkisini araştırmıştır. Çalışmada, Türkiye’de en çok kullanılan ısı yalıtım malzemeleri olan XPS, EPS, taş yünü üzerine farklı kalınlıklarda uygulanan sıvalar (2 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm ve 10 mm) deneysel yöntemlerle incelenmiştir. Araştırmada, 5 cm EPS, 5 cm taş yünü, 6 cm XPS ve çimento esaslı sıvalar kullanılmıştır.

Yapılan testlerin sonuçlarına göre, en az 4 mm kalınlıkta sıvaların kullanılabilirdiği ve 6 mm sıva kalınlıklarına kadar ısı yalıtım malzemelerinin yapışma dayanımının arttığı belirlenmiştir. Isıl geçirgenlikler karşılaştırıldığında, en düşük ısıl geçirgenlik XPS ile oluşturulan duvarda, en yüksek ısıl geçirgenlik EPS ile oluşturulan duvarda görülmüştür. Hiç bir ısı yalıtımı kullanılmayan cephe ile ısı yalıtımlı cephelerin enerji performansı karşılaştırıldığında, yaklaşık %76 ile %79 arasında enerji tasarrufu sağlandığı bildirilmiştir. Sonuçlar, ETICS sistemlerinde tüm yalıtım malzemeleri için en az 4 mm kalınlığında sıva uygulaması yapılması gerektiği ve ortalama olarak en uygun sıva kalınlığının 6 mm olduğunu göstermiştir. Bu çalışma kapsamında ayrıca yangın dayanım testleri de yapılmıştır.

Stazi ve diğ. (2014); havalandırılarak asılan çinko-titanyum ve seramik (terracotta) kaplamalı 2 cephenin enerji performansını araştırmıştır. Çalışmada, Akdeniz iklimine sahip İtalya’da, yaz aylarında, farklı havalandırma boşluğu yüksekliklerine (4 m, 8 m ve 12 m) ve yönelimlerine (güney, doğu ve batı) sahip bir binanın titanyum-çinko kaplamalı havalandırılarak asılan cepheleri deneysel olarak izlenmiş ve daha önce deneysel olarak izlenmiş olan havalandırılarak asılan seramik (terracotta) kaplamalı güney yönelimli bir cepheyle karşılaştırılmıştır. Çalışılan titanyum-çinko kaplamalı cephenin duvar katmanlaşması içten dışa; 1,5 cm alçı sıva, 12 cm tuğla, 2,5 cm havalandırma boşluğu, 7 cm XPS, 1 cm yapıştırma harcı, 12 cm tuğla, 6 cm havalandırma boşluğu, 2,4 cm tahta kaplama ve 0,8 mm titanyum-çinko cephe kaplaması ile oluşturulmuştur.

Seramik (terracotta) kaplamalı cephenin duvar katmanlaşma sıralaması ise içten dışa; 1,5 cm alçı sıva, 20 cm gaz beton, 1,5 cm çimento harcı, 4 cm EPS, 6 cm havalandırma boşluğu, 4 cm seramik (terracotta) kaplama şeklindedir. Dış cephe kaplaması olarak kullanılan titanyum-çinko malzeme; 110 W/mK ısıl iletkenlik, 7100 J/kgK özgül ısı, 7100 kg/m³ yoğunluğa sahiptir. Seramik kaplama ise; 0,05 W/mK ısıl iletkenlik, 814 J/kgK özgül ısı, 792 kg/m³ yoğunluğa sahiptir.

Şekil 4.2’de 2 farklı cephe sisteminin kesitleri görülmektedir.



Şekil 4.2 : Havalandırılarak asılan çinko-titanyum ve seramik (terracotta) kaplamalı cepheler (Stazi ve diğ, 2014).

Araştırmanın amacı; farklı yönelimler, havalandırma boşluğu yükseklikleri ve kaplama türünün etkisinin incelenmesidir. Çalışma sonucunda, farklı yönelimlerdeki cephelerde baca etkisinin oluşmaya başladığı saatlerde farklılıklar görülmüştür. Yönelimin farklılaşması ile havalandırma boşluğu içerisindeki hava akımının hızlanabileceği ifade edilmiştir. Havalandırma boşluğu yüksekliğinin artmasının ise hava akımının etkisiyle soğutma yüklerini azaltabileceği saptanmıştır. Havalandırma boşluğu yüksekliğinin daha az olduğu cephelerde baca etkisinin rüzgardan daha fazla etkilendiği vurgulanmıştır. Ayrıca, yapılan çalışmada baca etkisinin dış kaplama türü ve havalandırma boşluğuna bitişik olarak yerleştirilen malzeme özelliklerinden etkilendiği görülmüştür. Sonuç olarak, seramik (terracotta) kaplamalı havalandırılarak asılan cephenin titanyum-çinko kaplamalı cepheye göre daha düşük soğutma yükleri oluşturduğu bildirilmiştir.

Alonso, C. ve diğ. (2016); alt yüzeye sürekli temas ile uygulanan dıştan ısı yalıtımlı sıva kaplamalı sistem (ETICS), ve havalandırılarak asılan tuğla kaplamalı ve havalandırılmadan asılan seramik kaplamalı cephe sistemlerinin enerji performansını değerlendirmiştir. Çalışmada, İspanya’daki standart bir konut cephesi ve bu cephenin iyileştirilmesi için önerilen iki çözüm, kontrollü şartlar altında test edilerek karşılaştırılmıştır. Deneysel bir çalışmayla enerji tüketimi ile ilgili parametreler yılın farklı mevsimlerinde, güney yönelimli 3 cephe modeli ile yürütülmüştür. Çalışmada, M1 olarak adlandırılan, standart cephe içten dışa; iç sıva, tuğla, hava boşluğu, tuğla, dış sıva şeklinde oluşturulmuştur.

M2 olarak adlandırılan, havalandırılarak asılan tuğla kaplamalı cephe, yalıtım katmanı ve havalandırma boşluğu katmanlarının, ve M3 olarak adlandırılan, ETICS cephesi ise dış yalıtımın eklenmesiyle oluşturulmuştur. Çalışma verilerine göre; standart cephe M1'de yıllık enerji tüketimi 5875 kWh, havalandırılmalı cephe M2'de 5092 kWh, ve M3'te 4967 kWh olarak belirlenmiştir. Tüm cephelerde ısıtma için gereken enerji tüketiminin, soğutma gereksiniminden önemli ölçüde daha yüksek olduğu görülmüştür. Sonuç olarak; en yüksek enerji yükleri havalandırılmadan asılan tuğla kaplamalı cephelerde (M1) oluşmuş ve diğer iki cephenin sonuçları birbirine benzer bulunmuştur. ETICS cephesi (M3), havalandırılarak asılan seramik kaplamalı cepheye (M2) göre kış mevsiminde daha yüksek enerji performansı göstermiştir. Yaz mevsiminde ise havalandırılarak asılan tuğla kaplamalı cephe daha yüksek enerji performansı göstermiştir.

Bougiatioti, F. ve diğ. (2009); havalandırılarak asılan doğal taş, metal, çimento, kil ve ahşap esaslı cephe kaplama malzemelerinin renklerinin ve yönelimlerinin cephelerin yüzey sıcaklıklarına etkisini incelemiştir. Araştırmanın amacı, en sık kullanılan malzemelerin ısı davranışları hakkında deneysel veriler elde etmektir. Bu nedenle araştırmalar, Yunanistan'da güney yönelimli bir bina izlenerek gerçekleştirilmiştir.

Ölçümler sonucunda, kuzey cephelerinde yaz dönemi boyunca güneş radyasyonunun sınırlı olmasıyla, yüzey sıcaklıklarının hava sıcaklıklarından düşük olduğunu ve güneş radyasyonunun olmamasının, malzemelerin renginin etkisini azalttığını göstermiştir. Bununla birlikte, kuzey yönelimindeki cephe malzemelerinin, sabah erken ve öğleden sonra geç saatlerde yüksek yüzey sıcaklıkları geliştirebileceği belirlenmiştir. Güney cephesinde açık renkli malzemeler kullanıldığında yüzey sıcaklıkları hava sıcaklıklarından 10 C°'ye kadar daha yüksek olabilirken, koyu renkli malzemeler kullanıldığında farkın 15-17 C°'ye çıkabildiği görülmüştür.

Güney cephelerinin güneş radyasyonuna maruz kaldığı süreler diğer üç yönelim ile karşılaştırıldığında daha uzun olduğundan, daha yüksek ortalama yüzey sıcaklıklarına ulaşabileceği vurgulanmıştır. Güneye bakan malzemelerin öğleden sonra yavaş soğuduğu, böylece gün batımından sonra dış ortamdan daha serin kaldığı belirtilmiştir. Doğu ve batı cephelerinde, belirgin miktarda güneş radyasyonu oluşmuştur. Batı cephesine gelen en yüksek güneş radyasyonunun, en yüksek hava sıcaklıklarının olduğu saatler olması nedeniyle, batı yönelimli cephelerde daha yüksek yüzey sıcaklıklarının olduğu görülmüştür.

Doğu cephelerinde ise güneş radyasyonunun en fazla geldiği saatlerin hava sıcaklıklarının görece düşük olduğu ve malzemelerin gecedan sabaha soğumuş olduğu henüz birikim yapmamış başlangıç saatler olduğu için, yüzey sıcaklıklarının daha düşük olduğu bildirilmiştir. Batıya yöneliminde açık renkli malzemelerin hava sıcaklığından 10 C°-15 C°'ye kadar daha yüksek yüzey sıcaklıklarına neden olabileceği, koyu renkli malzemelerin ise 20 C°-30 C°'yi aşabileceği belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda, güneş radyasyonunun olmamasının, malzemelerin renginin etkisini azalttığı ve güney yönüne bakan malzemelerin çoğunun yaz aylarında çok yüksek yüzey sıcaklıkları oluşturmadığı görülmüştür.

Doğu ve batı yönlerine bakan malzemeler için ise, batı yönelimindekilerin daha yüksek sıcaklıkta olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, metal ve ahşap esaslı kaplamalar hariç, batıya bakan malzemelerde, özellikle doğal taş gibi ağır kütleli malzemelerde, yüzey sıcaklıklarının gün batımından sonra bir süre yüksek kaldığı belirtilmiştir. Bu malzemelerin, yavaş soğumakta olduğu ve sıcaklıklarının saat 21:00 veya 22:00' den sonra hava sıcaklığının altına düşebileceği görülmüştür. Tüm bu değerlendirmelere bağlı olarak, doğu ve batı cephelerinde; hava sıcaklığına göre düşük yüzey sıcaklıkları geliştiren (açık renkli) malzemelerin, havalandırılmalı cephe sistemlerinin ve ısı yalıtım malzemelerinin kullanılması önerilmiştir.

Sanjuan, C. ve diğ. (2011); havalandırılarak asılan (açık derzli) bir cephenin enerji performansını araştırmış ve havalandırılmadan asılan bir cepheyle karşılaştırmıştır. Araştırmada, laboratuvar şartlarında oluşturulan cephe modeli üzerinde, PIV parçacık görüntülemeli akış ölçüm cihazı ve kızılötesi termografi cihazı ile ölçümler yapılmıştır. Cephe kaplama malzemesi olarak belirli bir malzeme türü tanımlanmamış, ancak metal, doğal taş veya seramik malzemelerin kullanılabileceği belirtilmiştir.

Çalışmanın sonucunda; havalandırma boşluğu içerisindeki sıcaklıkla dış sıcaklık arasındaki farkın artması ile hava bacası etkisinin arttığı belirlenmiştir. Ayrıca, hava akışının dış cephe kaplamasına yakın hareket etme eğiliminde olduğu, en fazla hava akış hızına havalandırma boşluğunun yüksekliğine göre cephenin orta bölgesinde ulaşıldığı belirlenmiştir. Toplamda 5 adet derz ile oluşturulan cephede havanın %55-60 oranında birinci derz boşluğundan girip beşinci derz boşluğundan çıktığı, %40-45 oranında ise ikinci derz boşluğundan girip dördüncü derz boşluğundan çıktığı belirlenmiştir. Sonuç olarak, havalandırılarak asılan cephenin havalandırılmadan asılan cepheye göre daha yüksek enerji performansı gösterebileceği ifade edilmiştir.

4.4 Deneysel Ölçme ve Benzetim Programı ile Hesaplama Çalışmaları

Cephe kaplama malzemeleri ve uygulama yöntemlerinin bina enerji performansına etkilerinin deneysel ölçme ile birlikte benzetim programları kullanılarak hesaplandığı, çoğunlukla İtalya ve İspanya’da yapılmış, 10 özgün çalışma incelenmiştir. Çalışmaların kapsamı, araştırma yöntemi, cephe kaplama malzemesi ve uygulaması, değerlendirme kriteri olarak Çizelge 4.5’te listelenerek özetlenmiştir.

Çizelge 4.5 : Deneysel ölçme ve benzetim programı ile hesaplama çalışmalarının kapsamı.

No	Çalışma	Konum	Araştırma Yöntemi	Cephe Kaplama Malzemesi	Uygulama Yöntemi	Değerlendirme kriteri
23	Marinosci, C. ve diğ. (2011)	İtalya	Deney + ESP-r benzetim programı	Kil esaslı cephe kaplama malzemesi	- Havalandırılarak asılan porselen karo	Hava bacası etkisi
24	López, F. ve diğ. (2012)	Danimarka	Deney + TRNSYS benzetim programı	Metal esaslı cephe kaplama malzemesi	- Havalandırılarak asılan çelik	Hava bacası etkisi
25	Fernández, C. ve diğ. (2014)	İspanya	Deney + TRNSYS benzetim programı	Metal esaslı cephe kaplama malzemesi	- Havalandırılarak asılan alüminyum kompozit levha	Hava bacası etkisi
26	Buratti, C. ve diğ. (2018)	İtalya	Deney + CFD metodu	Kil esaslı cephe kaplama malzemesi	-Havalandırılarak asılan tuğla -Havalandırılmadan asılan tuğla	Hava boşluğu içerisindeki hava hızı
27	Fantucci, S. ve diğ. (2016)	İtalya	Deney + Building Energy Simulation	Kil esaslı cephe kaplama malzemesi	- Havalandırılarak asılan tuğla -Havalandırılmadan asılan tuğla	Soğutma yükü
28	Giancola, E. ve diğ. (2012)	İspanya	Deney + Fluent benzetim programı	Kil esaslı cephe kaplama malzemesi	- Havalandırılarak asılan seramik	Soğutma yükü + Isıtma yükü
29	Maia, J. ve diğ. (2018)	Portekiz, Fransa, Norveç	Deney + Wufi Pro benzetim programı	Çimento esaslı cephe kaplama malzemesi	- Sürekli temas ile uygulanan sıva (ETICS) - Sürekli temas ile uygulanan sıva	Soğutma yükü + Isıtma yükü
30	Govaerts, Y. ve diğ. (2018)	Almanya	Deney + Delphin benzetim programı	Çimento esaslı cephe kaplama malzemesi	- Sürekli temas ile uygulanan sıva (ETICS) - Sürekli temas ile uygulanan sıva	Soğutma yükü + Isıtma yükü
31	Seferis, P. ve diğ. (2011)	Yunanistan	Deney + ESP-r benzetim programı	Çimento esaslı cephe kaplama malzemesi	-Havalandırılarak asılan beton panel	Soğutma + Isıtma yükü
32	Alonso, C. ve diğ. (2017)	İspanya	Deney + EnergyPlus benzetim programı	Kil, çimento cephe kaplama malzemesi	- Havalandırılarak asılan seramik karo -Sürekli temas ile uygulanan sıva (ETICS) -Isı yalıtımsız cephe	Soğutma + Isıtma yükü

Marinosci, C. ve diğ. (2011); havalandırılarak asılan porselen karo kaplamalı bir cephenin enerji performansını araştırmıştır. İtalya’da kuzey yönelimli bir test binası oluşturulmuş ve kış döneminde deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. ESP-r yazılımı aracılığıyla yapılan hesaplamalar doğrulanmıştır. Test binasının cephe sistemi içten dışa doğru; 4 cm sandviç panel, 6 cm cam yünü, 24 cm havalandırma boşluğu ve 1 cm porselen karo kaplama ile oluşturulmuştur. Porselen cephe kaplama malzemesinin özellikleri; 2300 kg/m³ yoğunluk, 1,30 W/mK ısı iletkenlik, 840 J/kgK özgül ısı değerlerinde seçilmiştir. Sonuçlar, havalandırılarak asılan cephenin havalandırma boşluğunda baca etkisinin oluşmasıyla bina enerji yüklerini düşürdüğünü göstermiştir. Ayrıca, baca etkisinin dış hava ve boşluk içi sıcaklığındaki fark, güneş radyasyonu, havalandırma boşluğu genişliği ve yönelim faktörlerinden etkilendiği vurgulanmıştır.

Lopez, F. ve diğ. (2012); havalandırılarak asılan çelik kaplamalı bir cephenin çalışma prensiplerini incelemiştir. Danimarka’da, labarotuvan koşullarında, güney-batı yönelimli olarak oluşturulan deneysel cephe modülü, yaz aylarında 6 gün boyunca izlenmiştir. Isı akışları TRNSYS benzetim programı ile hesaplanmış, rüzgar hızı ise anemometre ile ölçülmüştür. Deneysel çalışma ile sayısal model doğrulanmıştır. Çalışmada kullanılan cephe sistemi içten dışa doğru, duvar gövdesi, 2 cm ahşap altlık, çekme polistren levha, 5 cm hava boşluğu, 1 mm çelik levha ile oluşturulmuştur. Oluşturulan sistemde çelik levha ahşap altlığa asılmaktadır. Cephe kaplama malzemesi olarak kullanılan çelik levhanın ısı iletkenlik değeri 18 W/mK seçilmiştir.

Çalışmanın sonucunda, cephe performansının çevresel etmenlerin değişimi ile ilişkili olduğu vurgulanmıştır. Deneysel sonuçlar, havalandırma boşluğunda oluşan akış hızlarının karışık itici güçlerden kaynaklandığını göstermiştir. Bu itici güçlerin çevresel etmenlere bağlı olarak rüzgar hızı ve baca etkisi olduğu belirtilmiştir. Çalışmada, rüzgarlı havalarda rüzgar kuvveti ana itici güç olmuş ve yüksek akış hızlarının oluştuğu belirlenmiştir. Bu durumlarda, baca etkisinin destekleyici güç olarak işlev gördüğü belirtilmiştir. Rüzgar hızı düşük ve güneş radyasyonu yüksek olduğunda baca etkisinin itici güç olduğu görülmüştür.

Fernández, C. ve diğ. (2014); havalandırılarak asılan alüminyum kompozit kaplamalı bir cepheyi incelemiştir. Çalışmada, İspanya’da doğu yönelimli bir ofis binası 1 yıl boyunca izlenmiş ve elde edilen veriler TRNSYS benzetim aracı ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Cephe sisteminde duvar katmanlaşması içten dışa doğru, 1,6 cm alçı panel, 8 cm mineral yün, 1 cm yapıştırma harcı, 4 cm poliüretan köpük, 10 cm havalandırma boşluğu, 4 mm alüminyum kompozit levha ile oluşturulmuştur. Kaplama malzemesi olarak kullanılan alüminyum kompozit levhanın yoğunluğu 980 kg/m^3 , ısıl iletkenliği $5,65 \text{ W/mK}$ ve özgül ısı 1350 J/kgK olarak alınmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, havalandırma boşluğu içerisindeki sıcaklıkların güneş radyasyonundan etkilendiği ve havalandırma boşluğunda oluşan en yüksek sıcaklığın en yüksek güneş radyasyonundan 2 saat sonra elde edildiği belirlenmiştir. Ayrıca, güneş radyasyonu ile havalandırma boşluğunda baca etkisi oluştuğu, böylece havalandırma boşluğu içerisindeki sıcaklıkların alt katlarda daha az, üst katlarda ise daha fazla olduğu görülmüştür.

Buratti, C. ve diğ. (2018); İtalya’da laboratuvar şartlarında güney yönelimli bir cephe modeli oluşturmuş ve CFD yöntemiyle yapılmış hesaplamalarla havalandırılarak ve havalandırılmadan asılan tuğla kaplamalı cephelerin farklı konfigürasyonlarını incelemiştir. Modelin cephe sisteminin duvar katmanlaşması içten dışa doğru, 1,5 cm iç sıva, 12 cm tuğla, 8 cm havalandırma boşluğu, 12 cm kaplama tuğlası ile oluşturulmuştur. Cephe kaplaması olarak kullanılan tuğlanın ısıl iletkenliği $0,78 \text{ W/mK}$ olarak seçilmiştir. Çalışmada havalandırılarak asılan cephenin, alt ve üst kotlarında yer alan havalandırma deliklerinin boyutlarına ve sayısına bağlı olarak, Şekil 4.3’te de görüldüğü gibi; a1: $250\text{mm} \times 55\text{mm}$ ve 1 adet hava delikli; b1: $125\text{mm} \times 55\text{mm}$ ve 2 adet hava delikli; c1: $62,5\text{mm} \times 55\text{mm}$ ve 4 adet hava delikli; a2: $250\text{mm} \times 25\text{mm}$ ve 1 adet hava delikli; b2: $125\text{mm} \times 25\text{mm}$ 2 adet hava delikli; c2: $62,5\text{mm} \times 25\text{mm}$ ve 4 adet hava delikli olmak üzere 6 farklı konfigürasyon incelenmiştir.

A1	B1	C1	A2	B2	C2
					

Şekil 4.3 : Havalandırma deliklerinin boyutları ve sayılarına göre havalandırılarak asılan tuğla kaplamalı cephe modelleri (Buratti ve diğ, 2018).

Çalışmanın sonuçları, a1, a2 ve b1 cephelerinin hava boşluğu içerisinde en yüksek ortalama hava hızlarını elde ettiğini göstermiştir. Özellikle, a1 ve a2 cephelerinde ortalama hız değerlerinin 0,3-0,6 m/s aralığında olduğu görülmüştür. Havalandırma boşluğundaki ortalama hava hızı en düşük olan cephelerin ise b2 ve c2 cepheleri olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, her cephede ortalama hızın en fazla havalandırma boşluğunun yüksekliğine göre orta bölgede olduğu görülmüştür.

Fantucci, S. ve diğ. (2016); İtalya’da bulunan güney-batı yönelimli havalandırılarak ve havalandırılmadan asılan tuğla kaplamalı cephelerin bina enerji performansına etkisini soğutma yüklerini hesaplayarak incelemiştir. Mevcut bir cephenin yerinde ölçümleri yapılmış ve Building Energy Simulation (BES) yazılımı ile elde edilen sonuçlar doğrulanmıştır. Bu hesaplama 2 bulutlu ve 2 güneşli olmak üzere 4 referans gün verisi ile gerçekleştirilmiştir. Araştırmada, cephe modeli içten dışa doğru; 1 mm kalınlıkta 2 adet metal levha arasına 10 cm ısı yalıtımı, 3,5 cm tuğla, 5 cm havalandırma boşluğu ve 3,5 cm tuğla kaplama ile oluşturulmuştur. Tuğla cephe kaplama malzemesinin yoğunluğu 1180 kg/m^3 , ısı iletkenliği $0,246 \text{ W/mK}$, özgül ısı 835 J/kgK ve güneş emiciliği 0,55 kabul edilmiştir. Bu çalışmada, ılıman iklimli bölgelerde havalandırılarak asılan tuğla kaplamanın, soğuk iklimli bölgelerde ise havalandırılmadan asılan tuğla kaplamanın daha düşük enerji yükü oluşturduğu saptanmıştır. Sonuç olarak, havalandırılarak asılan tuğla kaplamalı cephenin havalandırılmadan asılan cepheye göre yaz döneminde %52 ile %64 arasında daha yüksek enerji performansı sağlayabileceği ifade edilmiştir.

Giancola, E. ve diğ. (2012); ılıman Akdeniz iklimine sahip İspanya’da mevcut bir binanın güneye bakan ve havalandırılarak asılan seramik kaplamalı cephesinin enerji performansını sıcaklık ve ısı akışını incelemiştir. Cephe, deneysel yöntemle ölçülmüş ve Fluent yazılımı ile yapılan hesaplamaların doğrulaması yapılmıştır. Deneysel ölçmelerden elde edilen veriler, kış ve yaz döneminde cephenin enerji performansının analizinde kullanılmıştır.

Kullanılan cephe sistemi içten dışa doğru; 1 mm alçı sıva, 12 cm tuğla duvar, 3 cm ısı yalıtımı, 4 cm havalandırma boşluğu, 1 cm seramik kaplama ile oluşturulmuştur. Seramik kaplama malzemesinin yoğunluğu 2800 kg/m^3 , ısı iletkenliği $3,5 \text{ W/mK}$ ve özgül ısı 1000 J/kgK olarak alınmıştır. Çalışmaya göre, havalandırılan cepheler ılıman iklimlerin soğuk mevsimlerinde güneş radyasyonu değerleri yüksek olduğunda ısı yalıtımı işlevi görebilir.

Bununla birlikte, güneş radyasyonu düşük olduğunda tersi bir durum gerçekleşebilir. Sıcak mevsimlerde, havalandırma boşluğunun içerisinde oluşan baca etkisi, dış sıcaklıklar çok yüksek olmadığı sürece iç mekanın fazla ısınmasını önleyebilir. Ancak, hem dış hava sıcaklığı hem de radyasyon çok yüksek olduğunda bu durumun tersi gerçekleşebilir. Çalışma sonucunda, havalandırılarak asılan seramik kaplamalı cephenin yüksek güneş radyasyonu seviyelerinde (dış hava sıcaklıkları aşırı olmadığı sürece) ısıtma ve soğutma yüklerinin azaltılmasında önemli bir rol oynayabileceği belirlenmiştir. Ayrıca, benzetim programından elde edilen verilere göre, zeminden yansıyan radyasyonun cephenin enerji performansında farklılıklar oluşturduğu ifade edilmiştir.

Maia, J. ve diğ. (2018); ETICS uygulaması ve içten uygulanan ısı yalıtım sistemlerini açık ve koyu renkli sıvalar ile incelemiştir. Çalışmada uygulanan sıvalarda kireç ve alçı bağlayıcıları kullanılmıştır. Bu sistemlerin özellikleri, deneysel yöntemle ölçülerek, Portekiz, Fransa ve Norveç iklimleri için Wufi Pro yazılımında çalışılmıştır. Çalışmada dıştan uygulanan ısı yalıtım sistemi içten dışa doğru; 1,5 cm alçı sıva, gaz beton, 6 cm ısı yalıtımı 4 mm dış sıva ile oluşturulmuştur. İçten uygulanan ısı yalıtım sistemi ise içten dışa doğru; 2 mm sıva, 6 cm ısı yalıtımı, gazbeton, 4 mm dış sıva ile oluşturulmuştur. Çalışmanın sonuçlarına göre, içten uygulanan ısı yalıtım sistemlerinin Porto gibi ılıman iklimlerde uygulandığında daha iyi enerji performansı sağlayabileceği belirlenmiştir. Dıştan uygulanan ısı yalıtım sistemlerinin (ETICS) ise Nancy ve Oslo gibi daha soğuk iklimlerde olmakla beraber tüm iklimlerde yüksek enerji performansı oluşturabileceği saptanmıştır. Ayrıca, koyu renk kaplamaların açık renk kaplamalara göre özellikle yaz mevsiminde soğutma yüklerini artırarak enerji performansını olumsuz yönde etkileyebileceği ifade edilmiştir. Sonuç olarak, sıva sistemlerinin farklı iklimlere uyumluluklarının dikkatle analiz edilmesi gerektiği bildirilmiştir.

Govaerts, Y. ve diğ. (2018); içten ve dıştan uygulanan ısı yalıtım sistemleri deney yöntemleriyle incelenmiş ısıl davranışa olan etkilerini Delphin yazılımı aracılığıyla analiz etmiştir. Ayrıca çalışmada, ısı yalıtım katmanı kalınlığı 1 cm ile 5 cm arasında uygulanarak incelenmiştir. Almanya'da yapılan bu çalışmada, tuğla gövde, ısı yalıtımı ve sıva katmanından oluşturulan duvar tipleri batı yönelimli cepheler için araştırılmıştır. Yapılan deneylerle, sıvaların 0,06 ile 1,33 W/mK arasında ısıl iletkenliğine sahip olduğu belirlenmiştir.

Çalışmanın sonuçlarına göre, (ETICS) dıştan ısı yalıtımı uygulamalarının içten ısı yalıtımı uygulamalarına göre daha yüksek enerji performansı gösterdiği ve yalıtım kalınlığının en az 3 cm olması gerektiği bildirilmiştir. Ayrıca, 2 tabakalı sıva uygulamasının tek tabakalı sıva uygulamasına göre daha hızlı kuruma davranışı gösterdiği ve malzeme tasarrufu sağladığı belirtilmiştir.

Seferis, P. ve diğ. (2011); havalandırılarak asılan beton panel kaplamalı cephenin enerji performansını Atina'da kontrollü bir test hücresinde gerçekleştirdikleri deneysel yöntemle ve ESP-r (Environmental Systems Performance-Research) benzetim yazılımını kullanarak çalışmıştır. Araştırmada, güney yönelimli cephenin sistem özelliklerinin ısıtma ve soğutma yüklerine etkisi incelenmiştir. İncelenen cephe sistemi içten dışa doğru; 2 cm iç sıva, 9 cm tuğla, 5 cm taş yünü ısı yalıtım levhası, 4 cm havalandırma boşluğu, 2,5 cm beton panel kaplama ve 1,5 cm çimento sıva ile oluşturulmuştur. Beton panel 1950 kg/m^3 yoğunluk ve 106 W/mK ısı iletkenlik özelliklerindedir. Çalışmanın sonuçlarına göre benzetim programı ve deneysel ölçme sonuçlarının çoğunlukla birbiriyle paralel olduğu görülmüştür. Kış dönemi sonuçları, hava boşluğunun ısı kayıplarının azalmasına katkı sağlayan ek bir yalıtım katmanı olarak çalıştığını göstermiştir. Ayrıca, cephelerin alt bölümlerinin en düşük sıcaklıklara sahip olan bölgeler olduğu belirlenmiştir. Yaz dönemi sonuçları, hava boşluğu etkisinin soğutma yüklerini azalttığını, ancak cephelerin alt bölümlerinin her zaman en düşük sıcaklıklara sahip olan bölgeler olmadığını göstermiştir.

Alonso, C. ve diğ. (2017); İspanya'daki güney yönelimli standart bir konut cephesi ve bu cephenin iyileştirilmesi için önerilen iki farklı cephe sistemi çözümünü kontrollü koşullar altında incelemiş ve EnergyPlus benzetim programı ile enerji performansına etkisini değerlendirmiştir. Çalışmada standart cephe; iç sıva, tuğla, havalandırma boşluğu, tuğla ve dış sıva ile oluşturulmuştur. Önerilen diğer iki cephe ise ETICS ve havalandırılarak asılan seramik karo kaplamalı cephe olarak belirlenmiştir.

Sonuçta; kış döneminde standart cephe sistemi enerji performansı; havalandırılarak asılan seramik karo ile oluşturulan cephe sistemine göre yaklaşık %20, ETICS sistemine göre yaklaşık %15 daha azdır. Yaz döneminde ise; havalandırılarak asılan seramik karo ile oluşturulan cephe sistemine göre %21, ETICS sistemine göre yaklaşık %17 daha azdır. Böylece, havalandırılarak asılan tuğla cephenin enerji performansının ETICS uygulamasına göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

4.5 Deneysel Ölçme ve Sayısal Hesaplama Çalışmaları

Cephe kaplama malzemeleri ve uygulama yöntemlerinin bina enerji performansına etkilerinin deneysel ölçme ve sayısal hesaplama ile araştırıldığı 3 özgün çalışma incelenmiştir. Bu çalışmaların kapsamı, araştırma yöntemi, cephe kaplama malzemesi ve uygulama yöntemi, değerlendirme kriterine göre Çizelge 4.6’da listelenerek özetlenmiştir.

Çizelge 4.6 : Deneysel ölçme ve sayısal hesaplama çalışmalarının kapsamı.

No	Çalışma	Konum	Araştırma Yöntemi	Cephe Kaplama Malzemesi	Uygulama Yöntemi	Değerlendirme Kriteri
33	Blanco, J. ve diğ. (2014)	İspanya	Matlab sayısal hesaplama yazılımı + Deneysel	Metal esaslı cephe kaplama malzemesi	- Havalandırılarak asılan çelik - Havalandırılarak asılan alüminyum	Yüzey sıcaklıkları
34	Sanchez, M. N. ve diğ. (2017)	İspanya	Deneysel + Matlab sayısal hesaplama yazılımı	Metal esaslı cephe kaplama malzemesi	- Havalandırılarak asılan alüminyum	Yüzey sıcaklıkları
35	Guillén, I. ve diğ. (2014)	İspanya	Deneysel + Sayısal model	Kil, çimento esaslı cephe kaplama malzemesi	- Havalandırılarak asılan seramik - Sürekli temas ile uygulanan sıva	Soğutma yükü

Blanco J. ve diğ. (2014); farklı malzemeler (galvanizli çelik, anodize edilmiş alüminyum), delik oranları (deliksiz, %15 ve %30) ve renkler (siyah-beyaz) ile cephelerin yüzey sıcaklıklarını incelemiştir. Çalışmada, Matlab sayısal hesaplama yazılımında model oluşturulmuş, büyük ölçekli bir testle farklı metal malzemelerden yapılmış, farklı delik oranları ve renklere sahip levhalar izlenmiştir. Deneyler yaz aylarında, İspanya ikliminde, güney-doğu yöneliminde yapılmıştır. Anodize edilmiş alüminyum levhaların yoğunluğu 2800 kg/m^3 , ısı iletkenliği 160 W/mK ve özgül ısı 880 J/kgK olarak; galvanizli çeliğin ise yoğunluğu 7800 kg/m^3 , ısı iletkenliği 50 W/mK , özgül ısı 450 J/kgK değerlerinde alınmıştır.

Çalışmanın sonuçlarına göre; galvanizli çelik levhaların anodize edilmiş alüminyum levhalardan $4-5^\circ\text{C}$ daha yüksek, siyah levhaların ise beyaz levhalardan $6-8^\circ\text{C}$ daha yüksek yüzey sıcaklıklarında olduğu belirlenmiştir. Delik oranları ile yapılan çalışma incelendiğinde, %30 delik oranlı levhanın dış ortam ile kaplama yüzeyi arasındaki sıcaklık farklarının %15 delik oranlı levhaya göre daha az olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, elde edilen sonuçlara göre yüzey sıcaklıklarından güneş radyasyonunun en önemli etken olduğu belirtilmiştir.

Sanchez, M. N. ve diğ. (2017); (yatay ve düşey) açık derzli havalandırılarak asılan alüminyum cephelerin ısı davranışını Stereo-PIV parçacık görüntülemeli akış ölçüm cihazı ile incelemiştir. Deneysel çalışmalar, dış ortamdaki test hücrelerinde ve iç ortamdaki laboratuvarlarda gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada, kızılötesi termografi cihazı kullanılarak farklı yüzey sıcaklıkları ölçülmüş ve değerlendirmelerde ThermaCam Researcher Professional ve Matlab yazılımları kullanılmıştır. Model, 825 mm yüksekliğinde, 45 mm genişliğinde, 5 mm yatay ve düşey açık derzler ile havalandırılmalı bir boşluğa sahip 16 alüminyum levhadan oluşturulmuştur.

Çalışmanın sonuçları, havalandırma boşluğu içerisindeki ortalama hızın hava bacası etkisi ile arttığını göstermiştir. Levhaların dış yüzeyinin ısınmasıyla havalandırma boşluğunun içinde hava bacası etkisi olduğu, boşluk boyunca homojen olmayan, artan bir hızda havalandırma akışı üretildiği vurgulanmıştır. Havalandırma boşluğunun yüksekliğine göre cephenin orta bölgesinde basınç dengesinin dış havanın orta bölgedeki havalandırma deliğinden içeri girişini ve içteki havanın havalandırma deliğinden dışarı çıkışını önlediği görülmüştür. Ayrıca, alüminyum levhaların merkezinde ve üst bölümlerinde alt bölümlere göre daha yüksek yüzey sıcaklık değerlerinin olduğu görülmüştür.

Guill'en, U. ve diğ. (2014); havalandırılarak asılan seramik kaplamalı ve sürekli temas ile alt yüzeye uygulanan çimento esaslı sıva kaplamalı cephelerin enerji performansını incelemiş, ayrıca, farklı ısı yalıtım kalınlıklarının enerji performansına etkisini değerlendirmiştir. Çalışmada, sayısal modelle hesaplamalar yapılmış ve kontrollü koşullar altında güney yönelimli 2 bina modülü deneysel yöntemle test edilmiştir. Cephe kaplaması sürekli temas ile uygulanan sistem içten dışa doğru; 7 cm tuğla, 1 cm hava boşluğu, 3 cm ısı yalıtımı, 11,5 cm tuğla, 1 cm çimento esaslı sıva ile oluşturulmuştur. Havalandırılarak asılan cephe sistemi 1,5 cm alçı levha, 4 cm havalandırma boşluğu, 10 cm prefabrike sandviç panel, 11 cm havalandırma boşluğu ve 1,5 cm seramik kaplama ile oluşturulmuştur.

Çalışmanın sonucuna göre; güneş radyasyonu olmadığında; havalandırma boşluğunda baca etkisinin neredeyse oluşmadığı ve boşluktaki sıcaklığın dış sıcaklıkla benzer olduğu belirlenmiştir. Güneş radyasyonunun artmasıyla birlikte havalandırılarak asılan cephe enerji yüklerinin %30 oranında azaldığı görülmüştür. Böylece, enerji performansını arttırmak için her zaman yalıtım katmanı kalınlığının artırılmasına gerek olmadığı ifade edilmiştir.

4.6 Literatür Derleme Çalışmaları

Literatür derleme çalışmaları, belirli bir konu üzerinde yapılmış çok sayıda özgün çalışmanın gözden geçirilerek sistematik bir kurguyla incelendiği ve değerlendirildiği çalışmalardır. Genel olarak, tez konusu kapsamında olduğu düşünülen ve aşağıda özetleri sunulan 5 adet literatür derleme çalışmasının ele aldığı konu başlıkları Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7 : Literatür derleme çalışmalarında ele alınan konu başlıkları.

No	Çalışma	Ele alınan Konu Başlıkları
36	Quesada, G ve diğ. (2012)	Pasif cephe sistemleri Aktif cephe sistemleri
37	Ibañez-Puy ve diğ. (2017)	Havalandırılarak asılan cepheye etki eden: Dış ve iç parametreler
38	Omranı, H. ve diğ. (2016)	Pasif cephe sistemleri Gelecekteki cephe sistem eğilimleri
39	Chan, H. Y., ve diğ. (2010)	Pasif tasarım stratejileri
40	Pacheco, R. ve diğ. (2012)	Bina enerji performansına etki eden parametreler: Bina şekli Yönelimi Dış kabuk Gölgeleme elemanları Pasif sistemler Duvar boşlukları

Quesada, G ve diğ. (2012); binaların ısıtma, soğutma ve havalandırılmasında büyük bir öneme sahip olan cephe sistemlerinin kapsamlı bir şekilde çalışılması gerektiğini vurgulayarak bu alanda bir literatür derlemesi yapmıştır. Sistematik bir sunum ile, cephe sistemlerini aktif ve pasif olmak üzere 2’ye ayıran çalışmada, aktif sistemler başlığı altında; binaya entegre fotovoltaik sistemler ve güneş enerjisi sistemleri konularında yapılan özgün çalışmaların incelenmesi yer almıştır. Pasif sistemler başlığı altında, trombe duvarları ve havalandırılarak asılan cephe sistemleri konularında yapılan özgün çalışmalar incelenmiştir.

Ibañez-Puy ve diğ. (2017); ayrıntılı bir literatür özeti sundukları derleme çalışmasında havalandırılarak asılan cephelerin binaların enerji performansına etkisinin önemini vurgulamış, havalandırılarak asılan cephelere etki eden parametrelerle ilgili yapılan özgün çalışmaları, dış parametreler ve tasarım parametreleri olarak 2 grupta incelemiştir. Dış parametreler, güneş radyasyonu, yönelim ve rüzgar olarak; tasarım parametreleri ise cephe kaplama malzemeleri, derz oluşumu, havalandırma boşluğu ve iç yüzey başlıkları altında ele alınmıştır.

Omrany, H. ve diğ. (2016); pasif tasarım bakış açısıyla oluşturulan cephe sistemlerinin enerji verimliliğini araştıran özgün çalışmaları derlemiş, pasif cephe sistemleri ve gelecekteki cephe sistem eğilimleri başlıkları altında sunmuştur. Pasif cephe sistemleri başlığı altında, trombe duvarları, çift kabuk cepheler, faz değiştiren malzemelerin kullanıldığı cepheler ve yenilikçi cephe sistemi çözümleri konularında yapılmış çalışmalar işlenmiştir. Gelecekteki cephe sistem eğilimleri başlığı kapsamında, akıllı cepheler, kinetik cepheler, biyofilik tasarım, iklim duyarlı cepheler konularındaki çalışmalar işlenmiştir.

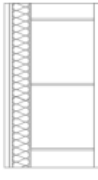
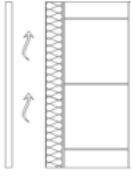
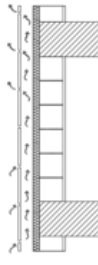
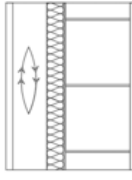
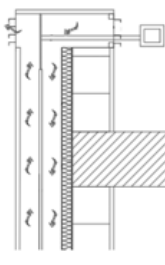
Chan, H. Y., ve diğ. (2010); binalarda ısıtma, soğutma ve havalandırma kaynaklı enerji tüketiminin azaltılması için kullanılan pasif tasarım stratejileri konusunda yapılan özgün çalışmaları derlemiş ve ayrıntıda gözden geçirmiştir. Bu incelemede; trombe duvarları, havalandırılarak asılma yöntemiyle oluşan hava bacası etkisi, çift kabuk cepheler ve güneş kolektörlü çatıların araştırıldığı çalışmalar yer almıştır. Sonuç olarak, bu teknolojilerin avantajları, dezavantajları ve sınırlamaları vurgulanmış, sistematik bir sunumla aktarılmıştır.

Pacheco, R. ve diğ. (2012); inşaat sektörünün enerji verimli çözümler geliştirmesi gerektiğini vurgulayarak, konutlarda enerji tüketiminin büyük bir bölümünü içeren ısıtma ve soğutma yüklerinin azaltılmasına yönelik araştırmaların derlendiği bir çalışma yapmıştır. Çalışmada, bina şeklinin, yöneliminin, dış kabuğunun, gölgelendirme elemanlarının, pasif sistemlerin, duvar boşluklarının bina enerji performansına etkisi üzerine yapılan araştırmalar gruplanarak incelenmiştir. Sonuçta, binalarının ısıtılması ve soğutulması için gerekli olan enerji yüklerini azaltabilecek bina tasarım parametrelerine ayrıntılı bir bakış sunulmuştur.

4.7 Genel Değerlendirme

Cephe kaplama malzemeleri ve uygulama yöntemlerinin bina enerji performansına etkilerinin çalışıldığı yayınlardan seçilen, incelenen ve yukarıdaki bölümde özetlenen toplam 40 adet özgün araştırma ve derlemelerdeki içerik olarak benzer ve farklı yönlerin anlaşılabilirliği ve karşılaştırmalarının daha kolay yapılabilmesi için, bu çalışmalarda araştırılan cephe sistemlerinin şematik çizimleri ile oluşturulan prensip kesitleri, Çizelge 4.8’de özgün çalışmaların yayın numaraları ile birlikte gösterilmektedir.

Çizelge 4.8 : Özgün çalışmalarda kullanılan cephe sistemlerinin prensip kesitleri.

Tip Duvar A	Tip Duvar B	Tip Duvar B1	Tip Duvar B2	Tip Duvar C	Tip Duvar D
					
-Cephe kaplama -Yapıştırma harcı -Isı yalıtım -Yapıştırma harcı -Duvar gövdesi -İç kaplama	-Cephe kaplama -Havalandırma boşluğu -Isı yalıtım -Yapıştırma harcı -Duvar gövdesi -İç kaplama	-Cephe kaplama -Havalandırma boşluğu (açık derz) -Isı yalıtım -Yapıştırma harcı -Duvar gövdesi -İç kaplama	-Cephe kaplama -Havalandırma boşluğu (kapalı derz) -Isı yalıtım -Yapıştırma harcı -Duvar gövdesi -İç kaplama	-Cephe kaplama -Havalandırma boşluğu -Isı yalıtım -Yapıştırma harcı -Duvar gövdesi -İç kaplama	-Cephe kaplama -Havalandırma boşluğu -Ayrıcı membran -Hava boşluğu -Isı yalıtım -Yapıştırma harcı -Duvar gövdesi -İç kaplama
Yayın No					
10, 12, 17, 18, 20, 29, 30, 32	1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 16, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 28, 31, 32, 33	4, 14, 22, 34	14	1, 2, 3, 4, 8, 11, 22	6

Her çalışmanın sistemleri farklı kalınlıklar, farklı malzeme ve özellikleri, farklı havalandırma boşluğu genişlik ve yükseklikleri vb. ile oluşturulmuş olmakla beraber, cephe kaplama sistemlerinin temel çalışma prensiplerine göre 6 tip duvar olarak gruplanmıştır. Özgün çalışmaların bazıları tek prensipte çalışan cephe sistemini ele alırken, bazıları iki ya da üç farklı prensipte çalışan cephe sistemlerinin farklı parametreler kullanarak karşılaştırmalı incelemeleri ile gerçekleştirilmiştir. Bu çizelgede iki yada üç prensipte çalışılan cephe sistemlerini ele alan çalışmalar ilgili tip duvar seçeneklerinin altında ayrı ayrı gösterilmiştir. İncelenen 40 yayın genel olarak değerlendirildiğinde; bu çalışmaların araştırma konularının aynı odakta olduğu, ancak, her araştırmanın kendi özelinde öncelikle farklı konular için yapıldığı, farklı araştırma yöntemlerinin kullanıldığı, farklı parametreler ve kabuller ile birbirlerinden farklılaştığı görülmüştür.

Bu farklılıklar nedeniyle, çalışmaların sonuçlarıyla ilgili geçerli bir karşılaştırma yapmak ve nesnel sonuçlar çıkarmak doğru bir yaklaşım olmamakla birlikte, çalışmalardaki bazı ortak noktaları ve belirgin sonuçları dikkate almak, ileride yapılacak araştırmalara iyi bir altyapı sağlayarak yararlı olacaktır. Bu yaklaşımla, literatür özetinde yer alan (taranan) yayınlarda sunulan çalışmaların bazı benzer özellikleri, çalışmanın kendisine özgün sonuçları ve genellenen ortak sonuçları aşağıdaki alt bölümlerde maddelenerek sıralanmıştır.

4.7.1 Benzer özellikler

Literatür özetinde sunulan çalışmaların benzer özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Çoğunlukla benzetim programı ile hesaplama yöntemi, deneysel ölçme yöntemleri, benzetim programı ile hesaplama ve deneysel ölçmenin bir arada kullanıldığı çalışmalardır.
- Çalışmalar daha çok İtalya ve İspanya’da yapılmıştır.
- Çalışmalar 2002 ve 2019 yılları arasında yapılmıştır. Özellikle 2010 yılından sonra çalışma sayısında artış olduğu görülmüştür.
- Çalışmalarda malzemelerden en fazla çimento ve kil esaslı cephe kaplama malzemeleri ve uygulama yöntemlerinden havalandırılarak asılan uygulamalar incelenmiştir.
- Çalışmalarda genellikle soğutma yükleri değerlendirilmiştir. Isıtma ve soğutma yüklerinin birlikte incelendiği birçok araştırma olmasına rağmen, sadece ısıtma yükünün incelendiği araştırma sayısı 1 adettir.
- Çoğunlukla havalandırılarak asılan ve sürekli temas ile uygulanan cephelerin, veya havalandırılarak asılan ve havalandırılmadan asılan cephelerin enerji performansları karşılaştırılmıştır.
- Havalandırılarak ve havalandırılmadan asılan uygulamalarda cephenin enerji performansına etki eden parametreler ve bu uygulamaların çalışma prensipleri incelenmiştir.
- Çoğunlukla cephe sistemleri ve kaplama malzeme özellikleri belirtilmiş, ancak, sonuçlar uygulama yöntemlerinin enerji performansına etkisi odağında tartışılmıştır.

- Havalandırılarak ve havalandırılmadan asılan cepheler karşılaştırıldığında çoğunlukla havalandırma boşluğu genişliği eşit alınmış ve havalandırmanın soğutma yüklerine etkisinin görülebilmesi için havalandırma boşluğu genişlikleri çoğunlukla 10 cm ve üstü olarak kabul edilmiştir.

4.7.2 Özgün sonuçlar

Çalışmalar; (i) tek prensipte çalışan cephe sistemlerini ele alan, (ii) iki ya da üç farklı prensipte çalışan cephe sistemlerini ele alan çalışmalar şeklinde gruplanarak, binanın bulunduğu konum ve yönelim, kullanılan malzemelerin karakteristikleri, uygulama yöntemi, araştırma yöntemi vb. farklılıklara göre ortaya çıkan özgün sonuçlar incelenmiştir. Tek prensipte çalışan cephe sistemini ele alan çalışmaların özgün sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

Tip duvar A ile yapılan çalışmalar:

- Özel, M. (2012); Türkiye’de güney yöneliminde sıva kaplamalı cephede güneş emicilik değeri attıkça, soğutma yüklerinin yaklaşık %66 ile %331 arasında artarken, ısıtma yüklerinin %6,7 ile %33,6 arasında azaldığı ve toplam enerji yüklerinin %2,6 ile %12,9 arasında azaldığını belirtmiştir.

Tip duvar B ile yapılan çalışmalar:

- Bougiatioti, F. ve diğ. (2009); Yunanistan’da yaz döneminde açık renkli malzemelerin yüzey sıcaklıklarının hava sıcaklıklarından 10 C°’ye kadar, koyu renkli malzemelerin 15-17 C°’ye kadar daha yüksek olduğunu belirlemiştir. Batı cephesinde açık renkli malzemelerin 10 C°-15 C°’ye kadar daha yüksek, koyu renkli malzemelerin ise 20 C°-30 C°’yi aşabilen yüksekliklerde olduğunu bildirmiştir.
- Stazi, F. ve diğ. (2011); İtalya’da yaz döneminde, dış yüzey sıcaklıklarının, havalandırma boşluğundaki sıcaklıkların ve boşluktaki hava hızının 12 m cephede 6 m havalandırma boşluklu cepheye göre yüksek olduğunu görmüştür.

Tip duvar D ve B ile yapılan çalışmalar:

- Astorqui, J. S. C. ve diğ. (2017); İspanya’da batı yönelimli çift hava boşluklu bir cephe uygulamasının havalandırılarak asılan cepheye göre yaz döneminde %38 ve kış döneminde %333 daha iyi enerji performansı sağlandığını belirlemiştir.

İki ya da üç farklı prensipte yapılan çalışmaların çoğunlukla tip duvar B ve C ile yapıldığı görülmüştür. Bu çalışmaların özgün sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

Tip duvar B ve C ile yapılan çalışmalar:

- Balocco, C. (2002); güney yöneliminde, 7 cm hava boşluğu ile havalandırılarak asılan granit kaplamalı cephenin soğutma yüklerinin havalandırılmadan asılan granit kaplamalı cepheye göre %7 daha az olduğu, 35 cm genişliğindeki havalandırma boşluğunda ise %27,5 daha az olduğu bildirilmiştir.
- Buratti, C. ve diğ. (2018); havalandırılarak asılan cephelerde en yüksek ortalama hızın havalandırma boşluğunun yüksekliğine göre orta bölgede oluştuğunu belirlemiştir.

Tip duvar B1 ve C ile yapılan çalışmalar:

- Sanjuan, C. ve diğ. (2011); güney yöneliminde; havalandırılarak asılan tuğla kaplamalı cephe havalandırılmadan asılan cepheye göre %58 daha yüksek enerji performansı sağlamıştır. Ancak, kuzey yöneliminde %50 daha düşük enerji performansı göstermiştir.
- Sanjuan ve diğ. (2011); İspanya’da kuzey-güney yönelimli, havalandırılarak asılan, 5 açık derz ile oluşturulan cephede havanın %55-60 oranında birinci derz boşluğundan girip beşinci derz boşluğundan çıktığı, %40-45 oranında ise ikinci derz boşluğundan girip dördüncü derz boşluğundan çıktığı belirlenmiştir.

Tip duvar D ve E ile yapılan çalışmalar:

- Marinosci, C. ve diğ. (2013); açık derzlerin baca etkisini azaltarak yaz döneminde soğutma yüklerine olumsuz etki ettiğini belirtmiştir.

4.7.3 Ortak sonuçlar

Özetlenen çalışmalardaki (genellenen) ortak sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Sürekli temas ile uygulamalarda ETICS kullanımının etkili bir ısı yalıtımı sağladığı vurgulanmıştır (YAYIN NO 18, 20, 29, 30).
- Havalandırılarak asılan uygulamaların özellikle ılıman iklimlerde soğutma yüklerini azalttığı, ancak, ısıtma yüklerine etkisi konusunda net/kesin bir sonuç olmadığına dikkat çekilmiştir (YAYIN NO 1, 2, 3, 4, 5, 8, 27, 28, 31).

- Havalandırılarak asılan cephelerin sürekli temas ile uygulanan cephelere göre yüksek enerji performansı gösterdiği belirtilmiştir (YAYIN NO 1, 32, 35).
- Havalandırılmadan asılma ile uygulanan cephelerin bina ısıtma yüklerini azaltabileceği üzerinde durulmuştur (YAYIN NO 4, 5, 20, 27).
- Havalandırılarak asılan uygulamada, havalandırma boşluğu yüksekliğinin ve genişliğinin artmasının havalandırma boşluğundaki hava hızını artırarak soğutma yüklerini azaltabileceğine dikkat çekilmiştir (YAYIN NO 11, 13, 14, 16, 19, 34).
- Güneş radyasyonu etkisiyle havalandırma boşluğu içerisinde baca etkisinin oluşması ile soğutma yüklerinin azaldığı vurgulanmıştır. Radyasyonun yüksek olmasının ve rüzgar hızının düşük olmasının havalandırılan cephelerin enerji performansını arttırdığı belirtilmiştir (YAYIN NO 19, 22, 23, 24, 25, 35).
- Rüzgarsız durumda, havalandırma boşluğundaki hava akımının güneş radyasyonu ile orantılı olarak arttığı belirtilmiştir. Rüzgarlı durumda ise havalandırma boşluğunda güneş radyasyonu ve rüzgar kuvvetlerinin etkili olduğu, fakat rüzgar şiddetinin artması ile enerji performansında olumsuz etkilerin oluşabileceği vurgulanmıştır (YAYIN NO 2, 3, 8, 24).
- Malzemelerin düşük ısıl iletkenlik değeri ve yüksek özgül ısı değerlerinde olmasının model binanın soğutma yüklerinin azalmasına katkı sağlayabileceği belirtilmiştir (YAYIN NO 3, 15).
- Çalışmalarda malzemelerin güneş emicilik değeri arttıkça model binanın soğutma yükleri artarken, ısıtma yüklerinin azaldığı belirtilmiştir (YAYIN NO 12, 14).
- Koyu renk kaplamaların açık renk kaplamalara göre özellikle yaz mevsiminde enerji performansının düşük olduğu belirtilmiştir (YAYIN NO 17, 21, 29, 33).

5. OPAK, İNORGANİK CEPHE KAPLAMA MALZEMELERİ VE UYGULAMA YÖNTEMLERİNİN BİNA ENERJİ PERFORMANSINA ETKİLERİNİN BENZETİM PROGRAMI ARACILIĞI İLE İNCELENMESİ

Literatür araştırması ile elde edilen özel bilgiler ışığında ve genel çıkarımlar sonucunda, cephe kaplama malzeme ve uygulama yöntemlerinin bina enerji performansına etkilerinin ülkemiz açısından ekonomik yararı da gözetilerek, genel olarak yapı fiziği alanında bu konudaki ulusal çalışmalarımızın geliştirilmesine de bir katkı sağlamak amacıyla, özgün bir konu olarak ele alınması ve işlenmesi gerekli görülmüş ve önemli bulunmuştur.

Bu tez kapsamında, ülkemizde yaygın kullanılan opak, inorganik cephe kaplama malzemelerinin farklı uygulama yöntemleriyle birlikte bina enerji performansına olası etkileri Design Builder benzetim programı kullanılarak çalışılmıştır. Benzetim hesaplamalarından daha doğru ve özgün sonuçlara ulaşılabilmesi için, ön hazırlık olarak, önce 73 adet deneme çalışması ile ana çalışmada kaplama malzemelerinin ve uygulama yöntemlerinin etkisinin daha net görülebileceği en uygun bina modeline karar verilmiştir. Aynı zamanda, bina ölçeğindeki bazı kütle ve yapısal tasarım parametrelerinin daha gerçekçi işlenmesi için belirli sayıdaki uygulanmış projelerden mevcut durum analizi yapılmıştır.

Ayrıca, esas çalışmada kullanılmak üzere farklı cephe kaplama malzemelerinin özgün özellikleri araştırılarak ayrıntıda malzeme özellik tabloları ile geniş bir veri tabanı oluşturulmuştur.

Ön hazırlık çalışmalarından elde edilen veriler üzerine kurgulanan, toplam 90 adet farklı tip ve özellikteki cephe sisteminin benzetim çalışması ile yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri hesaplanarak, inorganik esaslı opak cephe kaplama malzemeleri ve uygulama yöntemlerinin bina enerji performansına olası etkileri değerlendirilmiştir. Hesaplamalar, Köppen iklim sınıflandırmasına göre Akdeniz iklimine (csa-kış ılık, yazı çok sıcak ve kurak iklim) sahip İstanbul ili verileri ile yapılmıştır.

Çalışmanın içeriği ve sürecin akışı aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Benzetim çalışmalarına ön hazırlık kapsamında:
 - Bina modeli için referans veri tabanı oluşturulması
 - Mevcut projelerin incelenmesi (bilgi toplama, bilgi derleme ve seçenek oluşturma)
 - Programdaki bazı değişkenlerin kabulü ve tanımlanması
 - Kütlesel ve yapısal tasarım kararlarının verilmesi için ön benzetim hesaplamalarının yapılması
 - Esas çalışmada kullanılmak üzere, farklı cephe kaplama malzemelerinin özgün özelliklerinin derlenmesi
- Farklı cephe kaplama malzemeleri ve uygulama yöntemlerine göre oluşturulan cephe sistemlerinin enerji yüklerinin benzetim programı ile hesaplanması, sonuçlar ve değerlendirme:
 - Doğal taş cephe kaplama malzemeleri
 - Metal ve metal esaslı cephe kaplama malzemeleri
 - Kil esaslı cephe kaplama malzemeleri
 - Çimento esaslı cephe kaplama malzemeleri

5.1 Benzetim Çalışmalarına Ön Hazırlık

Benzetim çalışmalarına ön hazırlık aşamasında yer alan çalışmalar; (i) benzetimlerde kullanılacak bina modeli için referans veri tabanı oluşturulması, (ii) kütlesel ve yapısal tasarım kararlarının verilmesi için ön benzetim hesaplamalarının yapılması, ve (iii) esas çalışmada kullanılmak üzere farklı cephe kaplama malzemelerinin özgün özelliklerinin derlenmesi olarak 3 ana başlık altında ele alınmıştır.

5.1.1 Bina modeli için referans veri tabanının oluşturulması

Benzetim çalışmalarında kullanılacak bina modeli için referans veri tabanı oluşturmak amacıyla öncelikle bina tipolojisi çalışması yapılmıştır. Ülkemizde yaygın kullanılan sistemlerle ilgili olarak daha gerçekçi çözümler elde etmek için, belediyelerden izin alınarak yakın dönemlerde uygulanmış binaların projeleri analiz edilmiştir.

Ayrıca, Design Builder benzetim programındaki bazı değişkenler için kabuller ve tanımlamalar yapılarak programa tanımlanmıştır.

5.1.1.1 Proje incelemeleri

Benzetimde, bina ölçeğinde kütleli tasarım ile ilgili ve cephe kaplama malzemesi ölçeğindeki tüm özelliklere dair kullanılacak verilerin toplanması amacıyla, projelerin genel tanıtım bilgileri ile birlikte detay ve malzeme özelliklerinin sistematik olarak işleneceği bir “proje analiz formu” hazırlanmıştır. İstanbul ilinin Avrupa ve Anadolu yakasından, Beşiktaş, Beyoğlu, Esenyurt, Kağıthane, Şişli, Zeytinburnu ve Kadıköy olmak üzere 7 adet ilçe belediyesine başvurularak, 2014 yılı ve sonrasında yapılmış, ruhsatlı, sistem detayları mevcut 31 adet konut projesi temin edilmiştir. İlk aşamada, projelerin genel ve yapısal özelliklerine ait bilgiler, Çizelge 5.1’de bir örneği görüldüğü gibi, proje analiz formlarına aktarılarak toplanmıştır.

Çizelge 5.1 : Doldurulmuş, örnek bir proje analiz formu.

PROJE BİLGİLERİ		BİNA GÖRÜNÜŞÜ	
BİNA VERİLERİ			
Bina No	21		
Yılı	2018		
Bina İşlevi	Konut		
Bina Formu	Kare		
Bina Yönelimi	Kuzey		
Bina İl	İstanbul		
Bina İlçe	Esenyurt		
Bina Mahalle	Namık Kemal		
Toplam İnşaat Alanı	1638.04 m2		
Kat Adedi	Z + 4		
Bodrum Kat	1 Adet		
Yükseklik	19.10 m		
Cephe boşluk-doluluk oranı	~%21		
DÖŞEME KATMANLAŞMASI		BİNA KESİT-DETAY	
Normal Katlar Döşeme Katmanlar	PVC Yapıştırıcı Şap: 5 cm Döşeme: 12 cm Sıva: 2cm Tavan Boyası		
Zemine Oturan Döşeme Katmanlar	Yapıştırıcı Koruyucu ap: 5cm Temel Beton: 50 cm Koruyucu şap: 4 cm Su Yalıtımı Grobeton: 12 cm Blokaj: 20 cm		
ÇATI KATMANLAŞMASI			
Çatı Katmanlar	Kiremit Su Yalıtımı: 0.6 cm Kiremit Altı Tahtası: 2 cm Mertek İzocam: cm Döşeme: 12 cm Sıva: 2 cm Tavan Boyası		
Eğim %	% 33		
DUVAR KATMANLAŞMASI			
DIŞ DUVAR KATMANLAŞMASI			
Dış Kaplama	Sıva: 3 cm + Boya		
Çekirdek	Tuğla Duvar: 19cm		
Isı Yalıtımı	Poliüretan		
Havalandırma Boşluğu	x		
İç Kaplama	Sıva: 2cm + Plastik Boya		
Uygulama Yöntemi	Sürekli temas ile uygulama		
İÇ DUVAR KATMANLAŞMASI			
Kaplama	Sıva		
Çekirdek	Tuğla Duvar		
Kaplama	Sıva		

İkinci aşamada, proje analiz formuna işlenen, binaların kütsel tasarımı ile ilgili genel bilgilerden, normal kat ve bodrum kat adedi, bina inşaat alanı ve yüksekliği, cephe boşluk-doluluk oranı, bina formu ve yönelimi, duvarda ısı yalıtımının konumu gibi özelliklerinin Excel programında derlenmesiyle oluşturulan tablodan (bakınız Ek A) benzetim çalışmalarında kullanılacak bina modelinin kütseline ve genel özelliklerine karar verilmiştir.

Ardından, proje analiz formlarına işlenen yapı elemanlarının katmanlaşmalarına ait ayrıntılı malzeme bilgileri, Excel programında “çatı”, “döşeme” ve “duvar” katmanlaşmaları başlıkları altında sistematik olarak derlenmiştir (bkz. Ek B ve Ek C).

Üçüncü ve son aşamada; en yaygın kullanılan sistem ve bileşenler belirlenmiş, en uygun diğer alternatiflerle birlikte detay tablolarına işlenerek ön benzetim hesaplamalarında kullanılmak üzere seçenekler oluşturulmuştur.

5.1.1.2 Programdaki bazı değişkenlerin kabulü ve tanımlanması

Design Builder benzetim programında enerji performans hesaplamalarının yapılabilmesi için; bölge ve iklim, aktivite, yapım, cephe boşluk-doluluk, aydınlatma, ısıtma-soğutma kategorilerine dair verilerin programa tanımlanması gerekmektedir. Tez çalışması kapsamında Design builder programına tanımlanan kabuller aşağıda kısaca açıklanmıştır.

Bölge ve İklim Verileri

Programda konum ve iklim ile ilgili veriler “location” ve “region” bölümünlerinden seçilmektedir. Ön benzetim çalışmalarında konum ve iklim verileri olarak ağırlıklı olarak İstanbul olmak üzere Antalya ve Erzurum illeri ile farklı seçenekler denenmiştir. Esas benzetim çalışmalarında İstanbul ili konum bilgileri ve İstanbul ili iklim verileri Design builder programı üzerinden otomatik olarak seçilmiş ve kullanılmıştır.

Aktivite verileri

Programda bina kullanım türü, kullanım zaman aralığı ve ekipman kullanımları ‘activity’ bölümünden seçilmektedir. Bu çalışma kapsamındaki modellerde 7/24, hafta içi/hafta sonu kullanılan “konut” tanımlaması yapılmış, ısıtma ve soğutmanın devamlılığının sağlanması hedeflenmiştir. Konut binası incelendiği için herhangi özel bir ekipman kullanımının olmadığı varsayılmıştır.

Yapım

Programda bina yapı elemanlarının malzemelerine dair tüm seçimler ‘construction’ bölümünden yapılmaktadır. Ön benzetim çalışmalarında oluşturulan modelin yapı elemanlarında kullanılan malzemeler programın veri tabanından seçilmiştir. Ana çalışmada ise cephe kaplama malzemelerinin özellikleri referans kitaplar, standartlar ve firma katalogları taramaları sonucunda oluşturulan malzeme özellik tabloları referans alınarak oluşturulmuştur.

Cephe boşluk-doluluk verileri

Programda pencereler, kapılar, gölgelendirme sistemleri ve cephe boşluk-doluluk oranı ‘openings’ bölümünden seçilmektedir. Ön benzetimlerde proje analizlerinden oluşturulan %15, %30 ve %40 olarak farklı seçenekler denenmiştir. Modelde herhangi bir gölgelendirme sistemi kullanılmamıştır. Ayrıca, çalışılan bina modelinin etrafında başka bir bina olmadığı ve böylece başka bir bina tarafından gölgelenmediği varsayılmıştır.

Isıtma-soğutma verileri

Programda ısıtma ve soğutma sistemleri ‘HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning)’ bölümünden seçilmektedir. Modellenen binanın ısıtılması için 0,93 CoP (coefficient of performance) performans katsayısına sahip sıcak su kazanlı, radyatör ısıtmalı sistem, soğutulması için 3,67 CoP performans katsayısına sahip elektrik enerjisinin kullanımı seçilmiştir. Böylece, model binanın doğal gaz enerjisi kaynaklı ısıtma ve elektrik enerjisi kaynaklı soğutma yükleri hesaplanmıştır.

Son aşamada, model binanın kış döneminde ısıtma ve yaz döneminde soğutma sisteminin çalışacağı sıcaklık değerlerine ait veriler programa girilmiştir. Bu veriler ASHREA-55, ASHREA-62.1, ASHREA-90.1 ve ASHREA-90.2’de kış ve yaz dönemi kullanıcı konforu için önerilen iç ortam sıcaklık değerleri esas alınarak oluşturulmuştur (ASHRAE-55, 2017; ASHRAE-62.1, 2019; ASHRAE-90.1, 2019; ASHREA-90.2, 2018).

Programda “setback-point” sıcaklığı binanın kullanılmadığında veya etkin kullanılmadığı gece saatlerinde ısıtma döneminde daha aşağı düşmesi istenmeyen veya soğutma döneminde daha yukarı çıkması istenmeyen, sistemin tekrar çalıştırılması için girilen limit değerlerdir.

Bu sıcaklık değerleri, kullanıcıların sağlığı ve yapısal olarak binanın sağlığı açısından çok yüksek ve çok düşük sıcaklıklar etkisinde kalmaması için benzetimlerde kış dönemi “heating” ısıtma değeri 20 C°, yaz döneminde “cooling” soğutma değeri 24 C°, kış döneminde “heating setback” ısıtma değeri 12 C° ve yaz döneminde “cooling setback” soğutma değeri 28 C° olarak belirlenmiştir. Böylece, binanın içinde kullanıcı olduğu zamanlarda kullanıcı sağlığı, kullanıcının olmadığı zamanlarda veya etkin kullanılmayan gece saatlerinde yapı sağlığı ve dengesinin korunması ön görülmüştür (Url-2).

Ayrıca, “setback” değerleri, ısıtma veya özellikle soğutma aralığının çok fazla açıldığı zaman sistem tekrar çalıştırılmaya başlandığında enerji açısından daha çok güç gerektireceğinden sistemin etkin çalışmayacağı ve ekonomik olmayacağı ön görülerek “set-point” ve “setback-point” aralıkları 5-8 derece aralığını geçmeyecek şekilde alınmıştır. Bu sıcaklık değerleri içinde (set-point ve setback-point aralığında) sistem çalışmamaktadır.

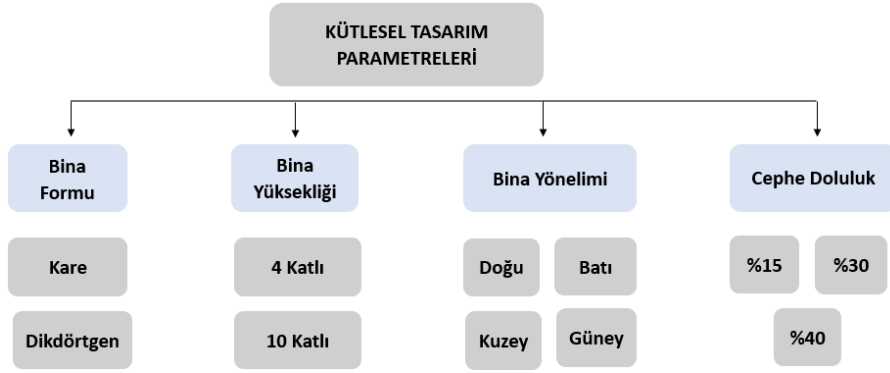
Aydınlatma

Design builder programında aydınlatma türü, süresi, ekipmanları ‘lighting’ bölümünden seçilmektedir. Çalışılan modelde, iç ortam sıcaklığını ve toplam enerji tüketim miktarını farklı dış kabuk alternatiflerinde aynı oranda etkileyeceği ön görüldüğünden, aydınlatma ekipman kullanımının olmadığı ve aydınlatmanın yapılmadığı kabulü yapılmıştır.

5.1.2 Kütlesel ve yapısal tasarım kararlarının verilmesi için ön benzetim hesaplamaları

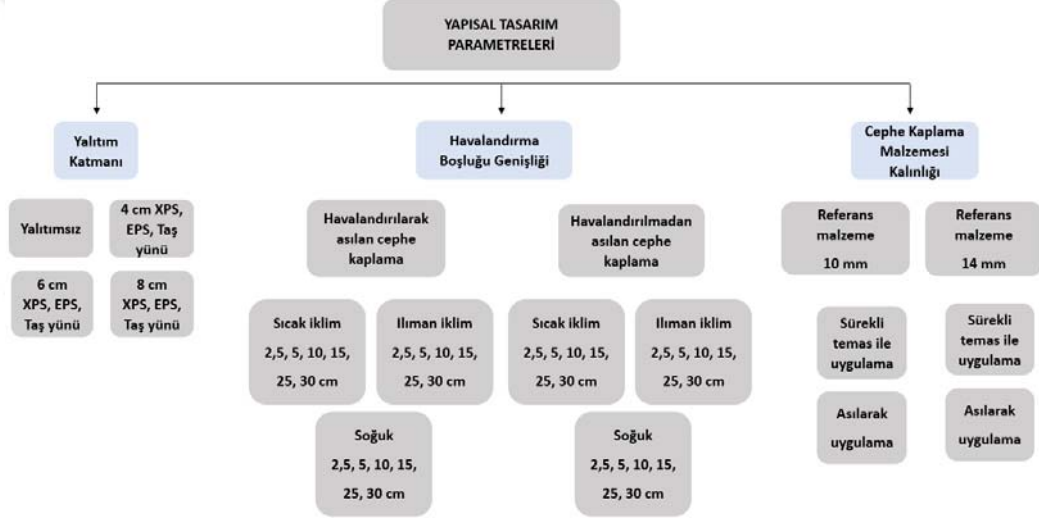
Binalarda enerji performansını etkileyen, kütlesel ve yapısal tasarım parametreleri için oluşturulan referans veri tabanından derlenerek belirlenen seçenekler, ön benzetim hesaplamaları ile denemeler yapılarak incelenmiş ve ana çalışmada kullanmak üzere kesin (en uygun) veriler oluşturulmuştur.

Kütlesel tasarım parametreleri bina formu, bina yüksekliği, bina yönelimi, cephe boşluk-doluluk oranı olarak; yapısal tasarım parametreleri ise yalıtım katmanı, havalandırma boşluğu genişliği ve cephe kaplama malzemesi kalınlığı başlıkları altında incelenmiştir. Şekil 5.1’de ön benzetim hesaplamalarında kütlesel tasarım parametreleri için oluşturulan farklı seçenekler görülmektedir.



Şekil 5.1: Kütlesel tasarım parametreleri için seçenekler.

Şekil 5.2’de ön benzetim hesaplamalarında yapısal tasarım parametreleri için oluşturulan seçenekler görülmektedir.



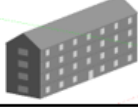
Şekil 5.2: Yapısal tasarım parametreleri için seçenekler.

11 kütlesel tasarım ve 62 yapısal tasarım parametresi ön benzetim çalışmaları sonucunda, ana çalışmada cephelerde kullanılan kaplama malzemeleri ve uygulama yöntemlerinin bina enerji performansına etkisinin en net görülebileceği bina modeli verileri belirlenmiştir.

5.1.2.1 Bina formu

Analiz edilen projelerde, girinti ve çıkıntılar göz ardı edildiğinde, 23 adet binanın dikdörtgene yakın formda ve 8 adet binanın kareye yakın formda olduğu belirlenmiştir. Çizelge 5.2’de bina formu çalışmasında kullanılan 2 farklı modelin verileri görülmektedir.

Çizelge 5.2 : Bina formu çalışmasının model verileri.

MODEL VERİLERİ		
	Kare	Dikdörtgen
		
Bina Formu	Kare	Dikdörtgen
Boyutlar	15×15	9×25
Kat Adedi	4 Katlı	
Bina Yüksekliği	17,06 m	
Toplam Alan	2475 m ²	
Bina Yönelimi	Doğu	
Cephe Boşluk-Doluluk Oranı	%30	
Yalıtım	Var	
Havalandırma Boşluğu	Yok	
Dış Duvar	Dış kaplama: 5 mm sıva XPS: 5 cm Yapıştırma harcı: 5 mm Tuğla: 19 cm İç sıva: 2 cm	
İç Duvar	Sıva: 2 cm Tuğla: 8,5 cm Sıva: 2 cm	
Zemine Oturan Döşeme	Seramik kaplama: 1 cm Şap: 5 cm Su yalıtımı: 3 mm Temel betonu: 60 cm Taş yünü: 3 cm Blokaj: 15 cm Sıkıştırılmış toprak: 40 cm	
Normal Kat Döşeme	Laminant Parke Kaplama: 2 cm Şap: 5 cm Betonarme döşeme: 12 cm Sıva: 2 cm	
Çatı	Kiremit: 2 cm Su Yalıtımı: 1 mm Kiremit Altı Tahtası: 2 cm Taş yünü: 4 cm Döşeme: 12 cm Sıva: 2 cm	
Çatı Eğimi	%33	

Yaygın kullanım verilerine dayanan referanslar dikkate alınarak, toplam inşaat alanları eşit, kare ve dikdörtgen formu 2 farklı model oluşturulmuştur. Yapılan benzetim hesaplamalarının sonuçları Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3: Bina formuna göre benzetim sonuçları.

Bina Formu	Isıtma yükü (kWh)	Soğutma yükü (kWh)	Toplam enerji yükü (kWh)
Kare Form	19.495	11.799	31.294
Dikdörtgen Form	20.514	14.258	34.772

Bina formu benzetim çalışması sonucunda, kare (simetrik) form, dikdörtgen forma göre daha düşük ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri meydana getirmiştir.

Formun değişmesiyle daha belirgin farklar soğutma ve toplam enerji yüklerinde oluşurken, en az fark ısıtma yükünde oluşmuştur. Esas çalışmada, etkilerin daha belirgin görülebilmesi için dikdörtgen formun kullanılması uygun görülmüştür.

5.1.2.2 Bina yüksekliği

Proje analizlerinden en yaygın kullanılmış 4 kat ile 10 katlı bina seçeneği karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Çizelge 5.4'te farklı kat sayısı (bina yükseklikleri) ile oluşturulan 2 farklı modelin verileri görülmektedir.

Çizelge 5.4 : Bina yüksekliği çalışması model verileri.

	MODEL VERİLERİ	
	4 Katlı	10 Katlı
		
Bina Formu	Dikdörtgen	
Boyutlar	15×25	
Kat Adedi	4 Katlı	10 Katlı
Bina Yüksekliği	17,06 m	35,06 m
Toplam Alan	1875 m ²	4125 m ²
Bina Yönelimi	Doğu	
Cephe Boşluk-Doluluk Oranı	%30	
Yalıtım	Var	
Havalandırma Boşluğu	Yok	
Dış Duvar	Dış kaplama: 5 mm sıva XPS: 5 cm Yapıştırma harcı: 5 mm Tuğla: 19 cm İç sıva: 2 cm	
İç Duvar	Sıva: 2 cm Tuğla: 8,5 cm Sıva: 2 cm	
Zemine Oturan Döşeme	Seramik kaplama: 1 cm Şap: 5 cm Su yalıtımı: 3 mm Temel betonu: 60 cm Taş yünü: 3 cm Blokaj: 15 cm Sıkıştırılmış toprak: 40 cm	
Normal Kat Döşeme	Laminant Parke Kaplama: 2 cm Şap: 5 cm Betonarme döşeme: 12 cm Sıva: 2 cm	
Çatı	Kiremit: 2 cm Su Yalıtımı: 1 mm Kiremit Altı Tahtası: 2 cm Taş yünü: 4 cm Döşeme: 12 cm Sıva: 2 cm	
Çatı Eğimi	%33	

Yaygın kullanım verilerine dayanan referanslar dikkate alınarak, 4 ve 10 katlı 2 farklı modele göre yapılan benzetim hesaplamalarının sonuçları Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.5: Bina yüksekliğine bağlı olarak benzetim sonuçları.

Bina Kat Sayısı	Isıtma yükü (kWh)	Soğutma yükü (kWh)	Toplam enerji yükü (kWh)
4 Katlı	30.290	16.910	47.200
10 Katlı	86.156	47.917	134.073

Bina yüksekliğine bağlı olarak yapılan benzetim hesaplamaları sonucunda, kat sayısı ile birlikte toplam alanın da artışı nedeniyle, önceden de tahmin edilebileceği gibi, ısıtma, soğutma ve toplam enerji yüklerinin arttığı görülmüştür. Daha yüksek enerji yükünden dolayı, esas çalışmada 10 katlı modelin kullanılması uygun görülmüştür.

5.1.2.3 Bina yönelimi

Proje analizlerinde binaların çoğunlukla doğu, kuzey ve güney cephelerine yönlendirildiği belirlenmiştir. Çizelge 5.6’da ana cephenin 4 farklı ana yöne yönlendirildiği, 10 katlı ve dikdörtgen formlu bina modelleri ve verileri görülmektedir.

Çizelge 5.6: Bina yönelimi çalışması model verileri.

MODEL VERİLERİ				
	Kuzey	Güney	Doğu	Batı
				
Bina Formu	Dikdörtgen			
Boyutlar	15×25			
Kat Adedi	10 Katlı			
Bina Yüksekliği	35,06 m			
Toplam Alan	4125 m ²			
Bina Yönelimi	Kuzey	Güney	Doğu	Batı
Cephe Boşluk-Doluluk Oranı	%30			
Yalıtım	Var			
Havalandırma Boşluğu	Yok			
Dış Duvar	Dış kaplama: 5 mm sıva XPS: 5 cm Yapıştırma harcı: 5 mm Tuğla: 19 cm İç sıva: 2 cm			
İç Duvar	Sıva: 2 cm Tuğla: 8,5 cm Sıva: 2 cm			
Zemine Oturan Döşeme	Seramik kaplama: 1 cm Şap: 5 cm Su yalıtımı: 3 mm Temel betonu: 60 cm Taş yünü: 3 cm Blokaj: 15 cm Sıkıştırılmış toprak: 40 cm			
Normal Kat Döşeme	Laminant Parke Kaplama: 2 cm Şap: 5 cm Betonarme döşeme: 12 cm Sıva: 2 cm			
Çatı	Kiremit: 2 cm Su Yalıtımı: 1 mm Kiremit Altı Tahtası: 2 cm Taş yünü: 4 cm Döşeme: 12 cm Sıva: 2 cm			
Çatı Eğimi	%33			

Yaygın kullanım verilerine dayanan referanslar dikkate alınarak oluşturulan bina modellerinin 4 farklı yönelime göre yapılan benzetim hesaplamalarının sonuçları Çizelge 5.7’de verilmiştir. Çalışmada, oluşturulan modellerde yönelimin etkisinin daha net anlaşılabilmesi için duvar boşlukları %50 oranında ön cephede konumlandırılmıştır.

Çizelge 5.7: Bina yönelim çalışması benzetim sonuçları.

Bina Yönelimi	Isıtma yükü (kWh)	Soğutma yükü (kWh)	Toplam enerji yükü (kWh)
Kuzey	86.075	34.875	120.950
Güney	81.846	36.842	118.688
Doğu	90.327	43.760	134.087
Batı	90.316	43.946	134.262

4 ana yön ile yapılan bina yönelimi benzetim çalışması sonuçlarına göre, en düşük ısıtma yükleri güney, en yüksek ısıtma yükleri doğu yöneliminde oluşmuştur. En düşük soğutma yükleri kuzey, en yüksek soğutma yükleri doğu ve batı yönelimlerinde oluşmuştur. Yıllık en düşük toplam enerji yükleri güney, en yüksek toplam enerji yükleri ise doğu ve batı yöneliminde meydana gelmiştir. Böylece en iyi performansın güney-kuzey yönelimli model ile oluşturulabileceği görülmüştür.

Çalışmanın hesap sonuçlarına göre, doğu ve batı yönü yönelimlerinin enerji yükleri ile güney ve kuzey yönü yönelimlerinin ısıtma, soğutma ve toplam enerji yüklerinin birbirine yakın değerlerde olduğu görülmüştür.

Çalışmadan elde edilen verilere göre, esas çalışma için oluşturulacak model binanın en yüksek toplam enerji yüklerini veren yönelimlerden “batı” yöneliminde kullanılmasına karar verilmiştir.

5.1.2.4 Cephe boşluk-doluluk oranı

Proje analizlerinden, cephelerdeki boşluk-doluluk oranının (pencere-duvar) yaklaşık olarak %15, %30 ve %40 oranlarında olduğu belirlenmiştir. Şekil 5.8’de 3 farklı cephe boşluk-doluluk oranına sahip, 10 katlı, dikdörtgen formu ve yaygın kullanıma bağlı olarak seçilen doğu yönüne yönlendirilen bina modelleri ve diğer verileri görülmektedir.

Çizelge 5.8: Cephe boşluk-doluluk oranı çalışması model verileri.

MODEL VERİLERİ			
	% 15	% 30	% 40
			
Bina Formu	Dikdörtgen		
Boyutlar	15×25		
Kat Adedi	10 Katlı		
Bina Yüksekliği	35,06 m		
Toplam Alan	4125 m ²		
Bina Yönelimi	Doğu		
Cephe Boşluk-Doluluk Oranı	%15	%30	%40
Yalıtım	Var		
Havalandırma Boşluğu	Yok		
Dış Duvar	Dış kaplama: 5 mm sıva XPS: 5 cm Yapıştırma harcı: 5 mm Tuğla: 19 cm İç sıva: 2 cm		
İç Duvar	Sıva: 2 cm Tuğla: 8,5 cm Sıva: 2 cm		
Zemine Oturan Döşeme	Seramik kaplama: 1 cm Şap: 5 cm Su yalıtımı: 3 mm Temel betonu: 60 cm Taş yünü: 3 cm Blokaj: 15 cm Sıkıştırılmış toprak: 40 cm		
Normal Kat Döşeme	Laminant Parke Kaplama: 2 cm Şap: 5 cm Betonarme döşeme: 12 cm Sıva: 2 cm		
Çatı	Kiremit: 2 cm Su Yalıtımı: 1 mm Kiremit Altı Tahtası: 2 cm Taş yünü: 4 cm Döşeme: 12 cm Sıva: 2 cm		
Çatı Eğimi	%33		

Yaygın kullanım verilerine dayanan referanslar dikkate alınarak cephe boşluk-doluluk oranları %15, %30 ve %40 olarak gruplanmıştır. Bu oranlara göre oluşturulan modeller için yapılan benzetim hesaplamalarının sonuçları Çizelge 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5.9: Cephe boşluk-doluluk oranı benzetim sonuçları.

Boşluk-doluluk oranı	Isıtma yükü (kWh)	Soğutma yükü (kWh)	Toplam enerji yükü (kWh)
%15	98.151	25.701	123.852
%30	86.156	47.917	134.073
%40	80.733	61.998	142.731

Bu çalışma sonucunda; cephe boşluk-doluluk oranı %15’ten %40’a doğru arttıkça ısıtma yüklerinin giderek azaldığı, soğutma ve toplam enerji yüklerinin ise belirgin bir şekilde arttığı görülmüştür.

Bu durum, ılıman iklime sahip İstanbul'da kışın saydam yüzeylerin artmasının güneş radyasyonunun etkisi ile iç ortama ısı transferi oluşturarak ısıtma yüklerini düşürebileceği, yazın ise saydam kısımlardan (güneş kırıcı ve gölgelik olmadığı için) ısı transferinin artmasıyla soğutma yüklerini arttırmış olabileceğini göstermektedir. Esas çalışmada, toplam enerji yükünün en yüksek hesaplandığı %40 boşluk oranının kullanılması uygun bulunmuştur.

5.1.2.5 Duvar ısı yalıtım katmanı

Proje analizlerinde, farklı (4 cm, 5 cm, 6 cm ve 8 cm) kalınlıklarda ısı yalıtımı kullanıldığı, XPS yalıtım malzemesinin yaygın olduğu, daha az sayıdaki projede taş yünü ve poliüretan malzemelerin de kullanıldığı görülmüştür. Bazı projelerde ısı yalıtımsız uygulamalar da vardır. Çizelge 5.10'da yalıtımsız, 3 farklı kalınlıkta ve farklı malzemelerle ısı yalıtımlı, dikdörtgen formu, 10 katlı, boşluk oranı %30 olan ve doğu yönelimli modeller diğer verileriyle birlikte görülmektedir.

Çizelge 5.10: Duvar ısı yalıtımı katmanı çalışması model verileri.

	MODEL VERİLERİ			
	Yalıtımsız	4 cm yalıtımlı	6 cm yalıtımlı	8 cm yalıtımlı
				
Bina Formu	Dikdörtgen			
Boyutlar	15×25			
Kat Adedi	10 Katlı			
Bina Yüksekliği	35,06 m			
Toplam Alan	4125 m ²			
Bina Yönelimi	Doğu			
Cephe Boşluk-Doluluk Oranı	%30			
Yalıtım	Yok	4 cm XPS, EPS, taş yünü	6 cm XPS, EPS, taş yünü	8 cm XPS, EPS, taş yünü
Havalandırma Boşluğu	Yok			
Dış Duvar	Dış kaplama: 5 mm sıva Isı yalıtımı: Değişken Yapıştırma harcı: Değişken Tuğla: 19 cm İç sıva: 2 cm			
İç Duvar	Sıva: 2 cm Tuğla: 8,5 cm Sıva: 2 cm			
Zemine Oturan Döşeme	Seramik kaplama: 1 cm Şap: 5 cm Su yalıtımı: 3 mm Temel betonu: 60 cm Taş yünü: 3 cm Blokaj: 15 cm Sıkıştırılmış toprak: 40 cm			
Normal Kat Döşeme	Laminant Parke Kaplama: 2 cm Şap: 5 cm Betonarme döşeme: 12 cm Sıva: 2 cm			
Çatı	Kiremit: 2 cm Su Yalıtımı: 1 mm Kiremit Altı Tahtası: 2 cm Taş yünü: 4 cm Döşeme: 12 cm Sıva: 2 cm			
Çatı Eğimi	%33			

Ön benzetimlerde, proje analizlerinden elde edilen bilgilere göre uygulamalarda yaygın olarak kullanılan XPS yalıtım malzemesi; esas benzetimlerde asma yöntemiyle uygulanan sistemlerde, özellikle yangın direnci de göz önünde bulundurularak taş yünü; kısaca ETICS olarak bilinen, dıştan ısı yalıtımlı ve sıvalı sistemlerde ve yapıştırılarak uygulanan sistemlerde polistiren (EPS) ısı yalıtım malzemesinin kullanılması uygun görülmüştür. XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemelerinin özgün özellikleri firma katalogları ve referans kitaplar kullanılarak incelenmiştir.

Esas benzetimlerde cephe kaplama malzemesi ve uygulama yöntemlerinin etkilerinin net görülebilmesi için farklı uygulamalarda kullanılan yalıtım malzemelerinin ısı iletkenliklerinin eşdeğer kabul edilmesi ve uygun diğer özgün özelliklerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Çalışmada kullanılan XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemeleri 0,035 W/mK ısı iletkenlik değerinde, XPS 35 kg/m³, EPS 20 kg/m³ ve taş yünü 50 kg/m³ yoğunluk değerlerinde seçilmiştir. Yalıtımsız ve 4 cm, 6 cm, 8 cm kalınlıklarında XPS, EPS ve taş yünü ısı yalıtımlı modeller oluşturularak yapılan benzetim hesap sonuçları Çizelge 5.11’de verilmiştir.

Çizelge 5.11: Binada ısı yalıtımı varlığı ve kalınlığına göre benzetim sonuçları.

Bina Yalıtım Katmanı	Malzeme kalınlığı	Isıtma yükü (kWh)	Soğutma yükü (kWh)	Toplam enerji yükü (kWh)
Yalıtımsız	-	125.309	46.963	172.272
XPS	4cm	89.335	47.925	137.260
	6cm	83.627	47.961	131.588
	8cm	79.802	47.997	127.799
	4 cm	89.318	47.940	137.258
EPS	6 cm	83.618	47.965	131.583
	8 cm	79.662	47.999	127.661
	4 cm	89.333	47.945	137.278
Taş yünü	6 cm	83.625	47.976	131.601
	8 cm	79.776	48.030	127.806

Duvarda ısı yalıtım katmanı çalışması sonucunda, her 3 yalıtım malzemesi için yalıtım kalınlığının artmasının ısıtma ve toplam enerji yüklerini belirgin miktarlarda azalttığı görülmüştür. Soğutma yüklerinin çalışılan tüm yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığının artmasıyla pek fazla değişmediği görülmüştür. Bununla birlikte yalıtımsız uygulamanın enerji yükleri yalıtımlı uygulamalardan önemli miktarda fazladır.

Çalışmada kullanılan XPS, EPS ve taş yünü seçeneklerinin arasında olasılıkla ısı iletkenlik katsayıları aynı olduğu için çok az miktarda farklılık oluşmakla birlikte en düşük toplam enerji yüklerini EPS, en yüksek enerji yüklerini ise taş yünü göstermiştir. Esas çalışmada, farklı uygulama yöntemlerine göre uygun yalıtım malzemesinin, enerji yükleri fazla olan 4 cm kalınlıkla uygulanmasına karar verilmiştir.

5.1.2.6 Havalandırma boşluğu genişliği

Cephe kaplama malzemelerinin noktasal tespit ile asılarak uygulamalarında, kaplama malzemesinin arkasında bir havalandırma boşluğu yer almaktadır. Literatür bilgilerine göre, uygulamalarda 30 cm genişliğe kadar hava boşluğu bırakılabilmektedir (BS 5628-1, 2005). Literatür bilgilerinin mevcut uygulamalarla uyumluluğunun karşılaştırılabilmesi için bazı cephe sistemleri uygulayan firmalar ile görüşmeler yapılmış, uygulama katalogları incelenmiş ve uygulanan hava boşluğu genişlikleri derlenmiştir. Çizelge 5.12’de, 9 yapı firmasına ait uygulama verileri, malzeme ve uyguladıkları hava boşluğu genişlikleri en az, ortalama ve aralık olarak verilmektedir.

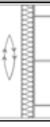
Çizelge 5.12 : Uygulamalarda kullanılan hava boşluğu genişlikleri.

Firmalar	Malzeme türü	Malzeme	Hava boşluğu genişliği
A firması (Url-15)	Doğal taş cephe kaplama	-	Ortalama 5 cm
B firması (Url-16)	Doğal taş cephe kaplama	-	4-15 cm arasında
C firması (Url-17)	Metal esaslı cephe kaplama	Metal kompozit	2-10 cm arasında
D firması (Url-4)	Kil esaslı cephe kaplama	Tuğla	6 cm
E firması (Url-10)	Kil esaslı cephe kaplama	Tuğla	2-10 cm arasında, 7 cm ortalama
F firması (Url-18)	Kil esaslı cephe kaplama	Seramik porselen	8 cm ortalama
G firması (Url-19)	Çimento esaslı cephe kaplama	Lifli çimento levha	1,5-12 cm arasında
H firması (Url-14)	Çimento esaslı cephe kaplama	Lifli çimento levha	En az 2 cm
I firması (Url-20)	Çimento esaslı cephe kaplama	Lifli çimento levha	Ortalama 8 cm

Üretici ve uygulayıcı firmalardan elde edilen bilgilere göre; asılarak uygulanan cephe kaplama sistemlerinde hava boşluğu için olabilecek en fazla genişliği bırakmanın doğru olmadığı, her sistemin özgün koşulları içerisinde ayrı olarak değerlendirildiği, özel istekler doğrultusunda tüm malzemeler için 2,5 cm ile 25 cm arasında boşluk genişliği uygulamalarının yapılabileceği, ancak, çoğunlukla 2-10 cm arasında hava boşluğu genişliğinin tercih edilerek uygulandığı belirlenmiştir.

Benzetimlerde asılarak uygulanan sistemlerde oluşturulacak havalandırma boşluğu genişliğinin belirlenmesi için referans cephe kaplama malzemesinin 2,5 cm, 5 cm, 7,5 cm, 10 cm, 15 cm, 25 cm ve 30 cm boşluk genişliklerinde uygulandığı bir ön çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, yalıtım kalınlığı, cephe boşluk-doluluk oranı, yapı elemanları vb. özellikleri aynı olan bir bina modeli üzerinde, alan olarak proje çalışmasının yapıldığı ılıman İstanbul ikliminin yanı sıra, soğuk iklim bölgesini temsil eden Erzurum ve sıcak iklim bölgesini temsil eden Antalya iklimleriyle benzetimler yapılarak, havalandırma boşluğu genişliğinin bina enerji performansına etkileri farklı iklimler için denenmiştir. Granit cephe kaplama malzemesi referans alınarak modellenen sistemin her üç il için benzetimde kullanılan diğer verileri Çizelge 5.13'te görülmektedir.

Çizelge 5.13 : Hava boşluğu genişliği çalışmasında kullanılan benzetim modeli.

MODEL VERİLERİ		
	Havalandırılarak asılan	Havalandırılmadan asılan
		
Bina Formu	Dikdörtgen	
Boyutlar	15×25	
Kat Adedi	10 Katlı	
Bina Yüksekliği	35,06 m	
Toplam Alan	4125 m ²	
Bina Yönelimi	Doğu	
Cephe Boşluk-Doluluk Oranı	%30	
Yalıtım	Var	
Havalandırma Boşluğu	2,5 cm, 5 cm, 7,5 cm, 10 cm, 15 cm, 25 cm, 30 cm	
Dış Duvar	Dış kaplama: 3 cm yüksek yoğunluklu granit Havalandırma boşluğu: 10 cm Su/hava geçirmez, buhar geçirgen örtü: 0,22 mm Taş yünü: 5 cm Yapıştırma harcı: 5 mm Tuğla: 19 cm İç sıva: 2 cm	Dış kaplama: 3 cm yüksek yoğunluklu granit Kapalı hava boşluğu: 2,5 cm Su/hava geçirmez, buhar geçirgen örtü: 0,22 mm Taş yünü: 5 cm Yapıştırma harcı: 5 mm Tuğla: 19 cm İç sıva: 2 cm
İç Duvar	Sıva: 2 cm Tuğla: 8,5 cm Sıva: 2 cm	
Zemine Oturan Döşeme	Seramik kaplama: 1 cm Şap: 5 cm Su yalıtımı: 3 mm Temel betonu: 60 cm Taş yünü: 3 cm Blokaj: 15 cm Sıkıştırılmış toprak: 40 cm	
Normal Kat Döşeme	Laminant Parke Kaplama: 2 cm Şap: 5 cm Betonarme döşeme: 12 cm Sıva: 2 cm	
Çatı	Kiremit: 2 cm Su Yalıtımı: 1 mm Kiremit Altı Tahtası: 2 cm Taş yünü: 4 cm Döşeme: 12 cm	

Ilıman iklim bölgesi

Ilıman iklim bölgesini temsil eden İstanbul ili, Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre güneş radyasyonu; kışın en düşük 1,55 kWh/m²/gün, en yüksek 2,347 kWh/m²/gün; yazın en düşük 6,064 kWh/m²/gün, en yüksek 6,822 kWh/m²/gün değerlerinde oluşmaktadır. Kışın en düşük sıcaklık -16,1 C°, en yüksek sıcaklık 25,5 C°; yazın en düşük sıcaklık 7,1 C° en yüksek sıcaklık 41,5 C° ve günlük en hızlı rüzgar 114,8 km/s değerlerine sahiptir (Url-1). İstanbul ikliminde havalandırma boşluğu genişliğine göre yapılan benzetim hesap sonuçları havalandırılan ve havalandırılmayan sistemler için enerji yükleri Çizelge 5.14'te verilmektedir.

Çizelge 5.14: İstanbul ikliminde havalandırılarak ve havalandırılmadan asılan uygulamaların hava boşluğu genişliklerine göre enerji yükleri.

Havalandırma	VAR	YOK	VAR	YOK	VAR	YOK
Genişlik	Isıtma (kWh)		Soğutma (kWh)		Toplam (kWh)	
2,5 cm	84.102	84.543	47.512	47.669	131.614	132.212
5 cm	83.751	84.284	47.398	48.111	131.149	132.395
7,5 cm	83.432	84.063	47.247	48.589	130.679	132.652
10 cm	83.127	83.888	47.114	48.938	130.241	132.826
15 cm	83.356	83.598	46.999	49.331	130.355	132.929
25 cm	83.596	83.851	46.845	49.697	130.441	133.548
30 cm	83.698	84.015	46.741	49.754	130.439	133.769

Havalandırılarak asılan uygulamanın İstanbul ili için diğer kabul edilen verilere dayanan benzetim sonuçları genel olarak kendi içinde değerlendirildiğinde, ısıtma yükleri soğutma yüklerine göre yaklaşık 2 kat fazla oluşmuştur. Isıtma yapılan kış döneminde, 10 cm hava boşluğu genişliğine kadar ısıtma yükleri az miktarlarda giderek azalma eğilimi göstermiştir. 10 cm ve üzerindeki havalandırma boşluğu genişliklerinde ise, ısıtma yüklerinin yine az miktarlarda giderek artan bir eğilim gösterdiği görülmektedir. Bu durum, Giancola, E. ve diğ. (2012) çalışmasında da belirttiği gibi, kışın güneş radyasyonu varlığında olasılıkla rüzgarın da etkisiyle ısıtma yüklerinin azalması, 10 cm havalandırma boşluğu genişliğinden sonra boşluk içerisindeki akış hızının da düşmesiyle ısıtma yüklerinde artış oluşması ile açıklanabilir.

Soğutma yapılan yaz döneminde, hava boşluğu genişliği arttıkça, literatür çalışmalarında da görüldüğü gibi, soğutma yüklerinde çok az da olsa, bir düşüş görülmektedir. 25 cm üzerindeki genişliklerde bu düşüş Balocco, C. (2002) çalışmasında benzer şekilde belirttiği gibi daha da az gerçekleşmiştir.

Bu durum, 25 cm boşluk genişliğine kadar rüzgar kuvvetleri ve güneş radyasyonunun hava bacası etkisi oluşturarak soğutma yüklerini düşürdüğünü göstermektedir. 25 cm üzerindeki boşluklarda ise, hava akış hızlarının düşmesi ile birlikte havalandırmanın etkinliğini giderek kaybettiği şeklinde yorumlanabilir.

Havalandırılmadan asılan uygulamanın benzetim sonuçları değerlendirildiğinde, ısıtma yapılan kış döneminde, 15 cm hava boşluğu genişliğine kadar ısıtma yüklerinde çok az da olsa bir düşüş görülmektedir. Bu durum, havalandırılmadan asılan sistemde havalandırma boşluğunun yalıtım görevi yaptığı, böylece 15 cm'e kadar ısıtma yüklerini düşürdüğü, 15 cm üzerinde iç ortamdaki ısının iletimle havalandırma boşluğuna gelmesi ve taşınımıyla ısı kayıplarının oluşması sonucunda ısıtma yükünde yeniden artışa neden olduğu olarak yorumlanabilir.

Soğutma yapılan yaz döneminde, havalandırma boşluğu genişliği en dardan başlayıp genişlik büyüdükçe soğutma yükleri de giderek artan bir davranış göstermiştir. Bu durum, Smith, B. ve diğ. (1983) çalışmalarında belirttiği gibi 2,5 cm üzerindeki havalandırma boşluğu genişliklerinde hava taşınımı oluşması ve genişlikler arttıkça etkisinin de artması nedeniyle ısı geçirgenliklerin arttığı ve böylece performansın düştüğü şeklinde yorumlanabilir.

İstanbul ili için havalandırılan ve havalandırılmayan uygulamaların benzetim sonuçları karşılaştırıldığında, havalandırılan sistemlerin genel olarak daha iyi bir performans gösterdiği söylenebilir.

Sıcak iklim bölgesi

Sıcak iklim bölgesini temsil eden Antalya ili, Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre bölgedeki güneş radyasyonu; kışın en düşük 2,328 kWh/m²/gün, en yüksek 3,533 kWh/m²/gün, yazın en düşük 6,67 kWh/m²/gün, en yüksek 7,777 kWh/m²/gün değerlerinde oluşmaktadır. Kışın en düşük sıcaklık -4,6 C°, en yüksek sıcaklık 26,7 C°; yazın ise en düşük sıcaklık 11,1 C°, en yüksek sıcaklık 45 C° ve günlük en hızlı rüzgar 155,5 km/s değerindedir (Url-1).

Antalya ikliminde, havalandırma boşluğu genişliğine bağlı olarak yapılan benzetim çalışmalarının hesap sonuçlarına göre, havalandırılan ve havalandırılmayan cephe sistemleri için gerekli olan ısıtma, soğutma ve yıllık toplam enerji yükleri Çizelge 5.15'te verilmektedir.

Çizelge 5.15: Antalya ikliminde havalandırılarak ve havalandırılmadan asılan uygulamaların hava boşluğu genişliklerine göre enerji yükleri.

Havalandırma	VAR	YOK	VAR	YOK	VAR	YOK
Genişlik	Isıtma (kWh)		Soğutma (kWh)		Toplam (kWh)	
2,5 cm	11.296	11.475	63.887	64.240	75.183	75.715
5 cm	11.089	11.421	63.505	64.989	74.594	76.410
7,5 cm	10.971	11.386	63.339	65.751	74.310	77.137
10 cm	10.828	11.322	62.994	66.174	73.822	77.496
15 cm	11.144	11.242	62.721	66.951	73.865	78.193
25 cm	11.421	11.404	62.599	67.845	74.019	79.249
30 cm	11.999	11.497	62.356	68.701	74.355	80.198

Çizelge 5.15'te, soğutma yapılan dönemin baskın olarak etkin olduğu sıcak Antalya ikliminde, yaz döneminde, havalandırma yapılan uygulamada, havalandırma boşluğu genişliği arttıkça soğutma enerjisi yüklerinin giderek azaldığı ve daha iyi performans gösterdiği görülmektedir. Havalandırma yapılmayan kapalı hava boşluğunun tam tersi bir davranış gösterdiği; havalandırma genişliği arttıkça, boşluk içinde oluşan taşınım yoluyla hava akışının ısıl geçirgenliği arttırdığı, bu nedenle soğutma enerjisi performansı açısından etkinliğin azaldığı görülmektedir.

Yıllık toplam enerji yüklerine göre en etkin sistem, havalandırılan ve 10 cm hava boşluğu genişliği olan uygulamadır. Isıtmanın yapıldığı kış döneminde, havalandırma yapılmayan kapalı hava boşluklu uygulamada, 15 cm genişliğe kadar giderek azalan bir enerji miktarıyla, olasılıkla güneş radyasyonu etkisiyle ısınan dış yüzeyin etkilerinin iletim yoluyla sisteme (pasif) kazancı olarak açıklanabilir.

Soğuk iklim bölgesi

Soğuk iklim bölgesini temsil eden Erzurum ili, Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre güneş radyasyonu; kışın en düşük 1,282 kWh/m²/gün, en yüksek 2,588 kWh/m²/gün; yazın en düşük 6,256 kWh/m²/gün, en yüksek 7,15 kWh/m²/gün değerlerindedir. Sıcaklık kışın en düşük -37,2 C°, en yüksek 14 C°, yazın en düşük -5,6 C°, en yüksek 7,15 C° ve günlük en hızlı rüzgar 110,2 km/s değerlerindedir (Url-1).

Erzurum ikliminde havalandırılarak ve havalandırılmadan asılan cephenin hava boşluğu genişliğinin model binanın ısıtma, soğutma ve yıllık toplam enerji yüklerine etkisi benzetim çalışmalarının sonuçları Çizelge 5.16'da görülmektedir.

Çizelge 5.16: Erzurum ikliminde havalandırılarak ve havalandırılmadan asılan uygulamaların hava boşluğu genişliklerine göre enerji yükleri.

Havalandırma	VAR	YOK	VAR	YOK	VAR	YOK
Genişlik	Isıtma (kWh)		Soğutma (kWh)		Toplam (kWh)	
2,5 cm	119.492	119.401	35.648	35.700	155.090	155.101
5 cm	118.627	120.004	35.599	35.910	154.226	155.914
7,5 cm	117.803	120.481	35.564	36.188	153.367	156.669
10 cm	117.081	120.732	35.509	36.301	152.590	157.033
15 cm	117.429	121.287	35.448	36.466	152.938	157.653
25 cm	117.692	121.719	35.392	36.582	153.084	158.301
30 cm	117.881	121.954	35.386	36.666	153.267	158.620

Kış döneminde, havalandırılan sistemde 10 cm hava boşluğu genişliğine kadar ısıtma yüklerinde azalma, 10 cm üzerindeki genişliklerde ise çok az da olsa bir artış görülmektedir. Bu durum, 10 cm'den sonra hava akış hızının düşmesiyle ilişkilendirilebilir. Yaz döneminde, soğutma yükleri 30 cm hava boşluğu genişliğine kadar çok az miktarlarda azalmış ancak belirgin farklılıklar görülmemiştir.

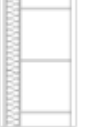
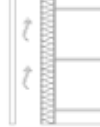
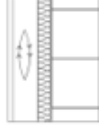
Soğuk iklimde, havalandırılmayan sistemde 2,5 cm hava boşluğu genişliğinin optimum performansı oluşturduğu, 2,5 cm üzerinde ısıtma ve soğutma yüklerinin giderek arttığı görülmüştür. Bu durum, soğuk iklimi temsil eden Erzurum ilinde ısıtma yapılan kış döneminde, havalandırma boşluğu genişliği arttıkça olasılıkla boşluk içerisinde oluşan taşınım hareketi sonucunda ısıtma yüklerinin artması ile açıklanabilir. Yaz döneminde ise 2,5 cm üzeri genişliklerde taşınım etkisiyle soğutma yüklerinin arttığı söylenebilir.

İstanbul ve Antalya illeri sonuçları en düşük ısıtma, soğutma ve toplam enerji miktarlarında aynı tip sistemlerin benzer davranış gösterdiği, ancak Erzurum ili için, ısıtma döneminde havalandırma yapılmadan asılan cephe kaplama uygulamasının diğer illerden farklı olarak en düşük ısıtma enerjisi miktarını verdiği belirlenmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkarak, asma cephe uygulamalarında havalandırma yapılan veya yapılmayan uygulamalar için esas benzetimlerde hava boşluğu genişliklerine karar verilmiştir.

5.1.2.7 Cephe kaplama malzemesi kalınlığı

Cephe kaplama malzemelerinin kalınlıklarının farklı uygulamalarla enerji performansına etkisinin belirlenmesi için referans yüksek yoğunluklu seramik malzeme ile bir ön çalışma yapılmıştır.

Çizelge 5.17: Cephe kaplama malzemesi kalınlığı çalışmasında kullanılan benzetim modeli.

MODEL VERİLERİ			
	10, 14 mm kaplama malzemesi – sürekli temas	10, 14 mm kaplama malzemesi – havalandırarak asılan	10, 14 mm kaplama malzemesi – havalandırılmadan asılan
			
Bina Formu	Dikdörtgen		
Boyutlar	15×25		
Kat Adedi	10 Katlı		
Bina Yüksekliği	35,06 m		
Toplam Alan	4125 m ²		
Bina Yönelimi	Doğu		
Cephe Boşluk-Doluluk Oranı	%30		
Yalıtım	Var		
Havalandırma Boşluğu	Yok	Var	Var
Dış Duvar	Dış kaplama: 10/14 mm yüksek yoğunluklu seramik Yapıştırma harcı: 3/4 mm Sıva: 4 mm XPS: 5 cm Yapıştırma harcı: 5 mm Tuğla: 19 cm İç sıva: 2 cm	Dış kaplama: 10/14 mm yüksek yoğunluklu seramik Havalandırma boşluğu: 10 cm Su/hava geçirmez, buhar geçirgen örtü: 0,22 mm Taş yünü: 5 cm Yapıştırma harcı: 5 mm Tuğla: 19 cm İç sıva: 2 cm	Dış kaplama: 10/14 mm yüksek yoğunluklu seramik Kapalı hava boşluğu: 2,5 cm Su/hava geçirmez, buhar geçirgen örtü: 0,22 mm Taş yünü: 5 cm Yapıştırma harcı: 5 mm Tuğla: 19 cm İç sıva: 2 cm
İç Duvar	Sıva: 2 cm Tuğla: 8,5 cm Sıva: 2 cm		
Zemine Oturan Döşeme	Seramik kaplama: 1 cm Şap: 5 cm Su yalıtımı: 3 mm Temel betonu: 60 cm Taş yünü: 3 cm Blokaj: 15 cm Sıkıştırılmış toprak: 40 cm		
Normal Kat Döşeme	Laminant Parke Kaplama: 2 cm Şap: 5 cm Betonarme döşeme: 12 cm Sıva: 2 cm		
Çatı	Kiremit: 2 cm Su Yalıtımı: 1 mm Kiremit Altı Tahtası: 2 cm Taş yünü: 4 cm Döşeme: 12 cm Sıva: 2 cm		
Çatı Eğimi	%33		

Kil esaslı malzemelerden seramik cephe kaplama malzemesinin 10 mm ve 14 mm kalınlıklarda, farklı havalandırma boşluğu genişlikleri ile birlikte havalandırılarak asılma, havalandırılmadan asılma uygulamaları ve yapıştırılarak sürekli temas uygulamasının ısıtma, soğutma ve yıllık toplam enerji yükleri hesap sonuçları Çizelge 5.18’de verilmiştir.

Çizelge 5.18: Seramik cephe kaplama malzemesinin farklı kalınlık uygulamaları enerji yükleri.

Uygulama	Hava boşluğu (cm)	Seramik kalınlığı (mm)	Isıtma yükü (kWh)	Soğutma yükü (kWh)	Toplam enerji yükü (kWh)
Yapıştırma	-	10	86.592	47.355	133.947
		14	86.493	47.337	133.830
Havalandırılarak asılan	2,5	10	84.499	47.366	131.865
		14	84.444	47.352	131.796
	10	10	83.494	47.022	130.516
		14	83.432	46.983	130.415
Havalandırılmadan asılan	2,5	10	84.823	47.366	132.189
		14	84.762	47.346	132.108
	10	10	83.824	49.476	133.300
		14	83.762	49.464	133.226

Sürekli temas şeklinde harç ile yapıştırılarak yapılan uygulamada ve noktasal tespit ile asılarak uygulamalarda yer alan 10 mm ve 14 mm seramik cephe kaplama malzemesi kalınlığının artması ısıtma, soğutma ve toplam enerji yüklerini azaltmıştır. Malzeme kalınlığının değişimi farklı uygulamalarda enerji yükü sonuçlarını benzer şekilde etkilemiştir.

Çalışmada en düşük enerji yüklerini 14 mm seramik kaplama malzemesi ve 10 cm havalandırma boşluğu ile havalandırılan uygulama, en yüksek enerji yüklerini ise sürekli temas ile yapıştırılarak uygulanan 10 mm seramik malzeme göstermiştir. Esas çalışmada, her malzeme için yaygın kullanılan kalınlıklar üzerinden benzetimlerin yapılmasına karar verilmiştir.

5.1.2.8 Ön benzetim çalışmalarının genel değerlendirilmesi

Ön hazırlık araştırmaları sonucunda referans alınan verilerle, en belirgin sonuçları almak için yapılan ön benzetim deneme çalışmalarının sonuçlarına göre:

- Binanın kare form ile tasarlanması dikdörtgen forma göre daha düşük ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri oluşturmuştur.
- 4 ve 10 katlı binalar ile yapılan çalışmada, kat sayısındaki artış doğrudan toplam cephe alanını artırarak ısıtma, soğutma ve yıllık toplam enerji yüklerini önemli miktarda arttırmıştır.
- 4 ana yönelim ile yapılan benzetim sonucunda, en yüksek enerji performansını güney yönelimli, en düşük enerji performansını ise batı yönelimli model oluşturmuştur.

- Doğu cephesinde, %15, %30 ve %40 cephe boşluk-doluluk oranı karşılaştırıldığında yıllık enerji yükleri toplamında soğutma yüklerinin belirleyici olduğu görülmüştür. En yüksek enerji performansını %15, en düşük enerji performansını %40 cephe boşluk-doluluk oranlı model vermiştir.
- 4 cm, 6 cm ve 8 cm kalınlıklarda uygulanan XPS, EPS, taş yünü yalıtım malzemesi ve yalıtımsız uygulama ile yapılan çalışmalarda, 8 cm EPS yalıtım malzemesine sahip model en yüksek enerji performansını vermiştir. Ayrıca, yalıtımsız uygulamada enerji performansı belirgin bir şekilde düşmüştür.
- Yüksek yoğunluklu granit ile 2,5 cm, 5 cm, 7,5 cm, 10 cm, 15 cm, 25 cm ve 30 cm havalandırma boşluğu genişlikleriyle asılarak yapılan uygulamaların sıcak, soğuk ve ılıman iklimi temsil eden sırasıyla Antalya, Erzurum ve İstanbul illeri iklim verileriyle bina enerji performansı çalışmasında 2,5 cm üzerindeki kapalı hava boşluğu genişliklerinde, olasılıkla taşınım sonucunda ısı geçirgenlik artışı nedeniyle toplam enerji yükleri artmıştır. Sistemin optimum enerji performansı 2,5 cm havalandırma boşluğu genişliklerinde oluşmuştur.
- Havalandırılan sistemlerde 10 cm-ye kadar havalandırma boşluk genişliğinin olasılıkla hava bacası etkisinin de artması ile toplam enerji performansını arttırdığı, 10 cm boşluk genişliği üzerinde ısıtma yüklerinin artmasının toplam enerji performansını düşürdüğü belirlenmiştir.
- İlman, sıcak ve soğuk iklim verileri kullanılarak yapılan benzetim çalışması hesap sonuçları karşılaştırıldığında, havalandırılarak asılma yönteminin bina enerji performansına olumlu etkisinin, literatür araştırmaları ile paralellik göstererek, en fazla sıcak iklimi temsil eden Antalya'da en az soğuk iklime sahip Erzurum'da olduğu görülmüştür.
- 10 mm ve 14 mm kalınlıklarında yüksek yoğunluklu seramik ile yapılan benzetim sonuçları karşılaştırıldığında, tüm uygulamalarda daha kalın malzeme ile ısıtma, soğutma ve toplam enerji yüklerinin, az miktarlarda da olsa, azaldığı görülmüştür.

Ön benzetimler ile malzemenin ve uygulama yöntemlerinin enerji performansına etkilerinin en net görülebileceği (esas benzetimlerde kullanılacak) model binanın oluşturulması amaçlanmıştır.

Bu çalışma sonucunda;

- Dikdörtgen formlu, 10 katlı, batı yönelimli, %40 cephe boşluk-doluluk oranlı bir bina modeli oluşturulması,
- ETICS ve yapıştırılarak uygulanan sistemlerde 4 cm EPS, asma yöntemiyle uygulanan sistemlerde, yangın direnci de dikkate alınarak, 4 cm taş yünü ısı yalıtım malzemesinin kullanılması,
- Her malzeme için yaygın kullanılan kalınlıkların dikkate alınması,
- Havalandırılmadan asılan uygulamanın 2,5 cm, havalandırılarak asılan uygulamanın 10 cm hava boşluğu genişliğinde oluşturulmasına karar verilmiştir.

5.1.3 Cephe kaplama malzemelerinin özgün özelliklerinin derlenmesi

Cephe kaplama malzemelerine ilişkin özgün özelliklerin belirlenmesi için kaynak kitaplar, firma katalogları, standartlar, ilgili internet siteleri taranmış ve her bir malzeme için malzeme özellik tabloları oluşturulmuştur (bakınız EK E, EK F, EK G, EK H). Hazırlanan bu tablolardan, farklılıkların daha anlaşılır olması için, düşük ve yüksek yoğunluklu olmak üzere her malzemenin 2 uç örneği seçilmiştir. Esas benzetim çalışmalarında bu veriler kullanılarak kaplama malzemesi özellikleri programa tanımlanmıştır. Seçilen doğal taş malzeme özellikleri Çizelge 5.19’da verilmiştir.

Çizelge 5.19: Doğal taş malzemelerde programa tanımlanan özellikler.

	KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLER					YÜZEY ÖZELLİKLERİ				
	Yoğunluk [kg/m ³]	Isıl İletkenlik [W/mK]	Buhar Difüzyon Direnci Katsayısı [μ]	Özgül Isı [J/kgK]	Porozite	Isıl Emicilik	Güneş Emicilik	Görünür Emicilik	Renk	Doku
Granit- Yüksek yoğunluk	2800 (Hegger ve diğ. 2006)	4 (Uhr-22)	10000 (TS EN 12524, 2000)	790 (Uhr-22)	0,1 (TSE CEN/TR 17024, 2017)	0,96 (Uhr-23)	0,5 Design Builder (ISO 10456)	0,5 Design Builder (ISO 10456)	Yeşil (Eriç, 2002)	Pürüzlü Design Builder (ISO 10456)
Granit- Düşük yoğunluk	2500 (TS EN 12524, 2000)	1,2 (Uhr-24)	10000 (TS EN 12524, 2000)	1036 (Gündüz ve diğ. 2012)	2,4 (Nashed, 1996)	0,33 (Uhr-22)	0,5 (Eriç, 2002)	0,5 Design Builder (ISO 10456)	Pembe (Eriç, 2002)	Az pürüzlü (Uhr-25)
Mermer- Yüksek yoğunluk	Mermer- Yüksek Yoğunluk (Smith, 1999)	3200 (Smith, 1999)	2,9 (Uhr-24)	10000 (Hegger ve diğ. 2006)	540 (Uhr-24)	0,1 (TSE CEN/TR 17024, 2017)	0,9 Design Builder (ISO 10456)	0,66 (Uhr-22)	0,58 Design Builder (ISO 10456)	Kahve rengi (Uhr-25)
Mermer- Düşük yoğunluk	Mermer- Düşük Yoğunluk (Smith, 1999)	2370 (Smith, 1999)	1,3 (Uhr-24)	10000 (Hegger ve diğ. 2006)	880 (Uhr-25)	2 (Winkler, 1975)	0,33 (Uhr-22)	0,3 (Eriç, 2002)	0,58 Design Builder (ISO 10456)	Bej (Uhr-25)
Traverten- Yüksek yoğunluk	2600 (TS 825, 2013)	2,3 (TS 825, 2013)	250 (TS 825, 2013)	620 (Smith, 1999)	0,5 (Smith, 1999)	Design Builder (ISO 10456)	Design Builder (ISO 10456)	Design Builder (ISO 10456)	Kahve rengi (Uhr-25)	Design Builder (ISO 10456)
Traverten- Düşük yoğunluk	2000 (Smith, 1999)	0,8 (Smith, 1999)	10000 (TS EN 12524, 2000)	1000 (TS EN 12524, 2000)	6,47 (Gündüz ve diğ. 2012)	0,33 (Uhr-22)	0,6 Design Builder (ISO 10456)	0,6 Design Builder (ISO 10456)	Beyaz (Uhr-25)	Az Pürüzlü (Uhr-25)
Bazalt- Yüksek yoğunluk	3310 (Grondzik ve diğ. 1980)	3,5 (TS 825, 2013)	10000 (Hegger ve diğ. 2006)	627 (Cardarelli, 2000)	0,1 (Winkler, 1975)	0,9 (Design Builder)	0,9 (Grondzik ve diğ. 1980)	0,6 (Design Builder)	Kahve rengi (Uhr-25)	Pürüzlü (Design Builder)
Bazalt- Düşük yoğunluk	2700 (Hertzog ve diğ. 2006)	0,8 (Uhr-24)	10000 (Hegger ve diğ. 2006)	1260 (Uhr-24)	4,42 (Gündüz ve diğ. 2012)	0,72 (Grondzik ve diğ. 1980)	0,6 (Design Builder)	0,6 (Design Builder)	Mavi (Design Builder)	Az pürüzlü (Uhr-25)
Kumtaşı- Yüksek yoğunluk	2800 (Uhr-24)	5 (Uhr-24)	250 (Hegger ve diğ. 2006)	728 (Uhr-24)	0,25 (TSE CEN/TR 17024, 2017)	0,9 (Design Builder)	0,73 (Uhr-22)	0,6 (Design Builder)	Kahve rengi (Grondzik ve diğ. 1980)	Pürüzlü (Design Builder)
Kumtaşı- Düşük yoğunluk	1600 (Cardarelli, 2000)	1 (Uhr-24)	250 (Hegger ve diğ. 2006)	963 (Cardarelli, 2000)	25 (Winkler, 1975)	0,9 (Design Builder)	0,6 (Design Builder)	0,6 (Design Builder)	Gri (Grondzik ve diğ. 1980)	Az Pürüzlü (Grondzik ve diğ. 1980)
Kireçtaşı- Yüksek yoğunluk	2900 (Hegger ve diğ. 2006)	3,4 (Hegger ve diğ. 2006)	200 (Hegger ve diğ. 2006)	500 (Uhr-24)	0,1 (Smith, 1999)	0,96 (Uhr-23)	0,6 (Design Builder)	0,6 (Design Builder)	Kırmızı (Uhr-25)	Pürüzlü (Design Builder)
Kireçtaşı- Düşük yoğunluk	2200 (Winkler, 1975)	0,84 (Winkler, 1975)	1000 (TS EN 12524, 2000)	630 (Winkler, 1975)	21 (Uhr-24)	0,33 (Uhr-22)	0,35 (Uhr-22)	0,6 (Design Builder)	Gri (Design Builder)	Pürüzlü Design Builder (ISO 10456)
Andezit- Yüksek yoğunluk	2650 (Uhr-24)	1,26 (Uhr-24)	1000 (TS EN 12524, 2000)	330 (Uhr-24)	0,1 (Uhr-24)	0,9 Design Builder (CIBSE Guide A (2006))	0,6 Design Builder (CIBSE Guide A (2006))	0,6 Design Builder (CIBSE Guide A (2006))	Mor (TS 10835, 1993)	Pürüzlü (Design Builder)
Andezit- Düşük yoğunluk	2263 (Gündüz ve diğ. 2012)	0,52 Design Builder (CIBSE Guide A (2006))	50 Design Builder (CIBSE Guide A (2006))	973 (Gündüz ve diğ. 2012)	0,15 (Winkler, 1975)	0,9 Design Builder (CIBSE Guide A (2006))	0,6 Design Builder (CIBSE Guide A (2006))	0,6 Design Builder (CIBSE Guide A (2006))	Gri Design Builder (CIBSE Guide A (2006))	Orta Pürüzlü (Uhr-25)

Benzetim çalışmalarında kaplama malzemesi olarak programa tanımlanan metal malzemelerin düşük ve yüksek yoğunluklu seçeneklerinin karakteristik ve yüzey özellikleri Çizelge 5.20’de verilmiştir.

Çizelge 5.20: Metal malzemelerde programa tanımlanan özellikler.

	KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLER					YÜZEY ÖZELLİKLERİ				
	Yoğunluk [kg/m ³]	Isıl iletkenlik [W/mK]	Buhar Difüzyon Deneç Katsayısı [μ]	Örgüt İsi [J/kgK]	Porosite [%]	Isıl Emicilik	Güneş Emicilik	Görünür Emicilik	Renk	Doku
Çinko- Yüksek yoğunluk	7200 (Hertzog ve diğ., 2004)	116 (Hertzog ve diğ., 2004)	Geçirgen değil Design Builder - CIBSE Guide A (ISO 10456)	263 (Boliz ve Tuve, 1973)	-	0,9 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	0,9 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	0,9 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	Gri	Pürüzlü Design Builder - ISO 10456
Çinko- Düşük yoğunluk	7000 (Watts, 2016)	113 (Watts, 2016)	Geçirgen değil Design Builder - ISO 10456	390 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	-	0,3 Design Builder - ISO 10456	0,3 Design Builder - ISO 10456	0,3 Design Builder - ISO 10456	Gri	Az pürüzlü (Un-22)
Titanyum- Yüksek yoğunluk	4730 (Shackelfor ve Alexander, 2001)	22 (Shackelfor ve Alexander, 2001)	Geçirgen değil Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	213 (Shackelfor ve Alexander, 2001)	-	0,9 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	0,6 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	0,6 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	Gri, bej (Borch ve diğ., 2004)	Pürüzlü Design Builder - CIBSE Guide A (2006)
Titanyum- Düşük yoğunluk	4430 (Shackelfor ve Alexander, 2001)	8 (Shackelfor ve Alexander, 2001)	Geçirgen değil Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	530 (Hertzog ve diğ., 2004)	-	0,63 (Un-64)	0,2 (Boliz ve Tuve, 1973)	0,6 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	Açık gri Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	Az pürüzlü (Un-22)
Titanyum Çinko- Yüksek yoğunluk	7200 Hertzog ve diğ., 2004)	110 (Un-7)	Geçirgen değil Design Builder - (ISO 10456)	398 Hertzog ve diğ., 2004)	-	0,52 (Henninger, 1984)	0,5 (Boliz ve Tuve, 1973)	0,3 (Boliz ve Tuve, 1973)	Mavi-gri (Un-8)	Az pürüzlü (Un-27)
Titanyum Çinko- Düşük yoğunluk	7140 (Un-27)	109 (Un-27)	Geçirgen değil Design Builder - (ISO 10456)	401 (Un-27)	-	0,52 (Henninger, 1984)	0,2 (Boliz ve Tuve, 1973)	0,2 (Boliz ve Tuve, 1973)	Gri (Un-27)	Az pürüzlü (Un-27)
Alüminyum- Yüksek yoğunluk	2810 (Shackelfor ve Alexander, 2001)	238 (Shackelfor ve Alexander, 2001)	Geçirgen değil Design Builder - (ISO 10456)	401 (Boliz ve Tuve, 1973)	-	0,9 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	0,96 (Henninger 1984)	0,9 (Un-24)	Gri Design Builder - (ISO 10456)	Pürüzlü Design Builder - ISO 10456
Alüminyum Düşük yoğunluk	2700 (Hertzog ve diğ., 2004)	160 (Kaltenbach, 2004)	Geçirgen değil Design Builder - (ISO 10456)	900 (Shackelfor ve Alexander, 2001)	-	0,2 (Un-24)	0,1 (Un-22)	0,3 (Boliz ve Tuve, 1973)	Gri Design Builder - (ISO 10456)	Az pürüzlü (Un-22)
Bakır- Yüksek yoğunluk	9300 (Shackelfor ve Alexander, 2001)	393 (Shackelfor ve Alexander, 2001)	Geçirgen değil Design Builder - ISO 10456	255 (Boliz ve Tuve, 1973)	-	0,9 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	0,64 (Un-22)	0,3 (Un-24)	Gri Design Builder - ISO 10456	Pürüzlü Design Builder - ISO 10456
Bakır- Düşük yoğunluk	7500 (Shackelfor ve Alexander, 2001)	37 (Shackelfor ve Alexander, 2001)	Geçirgen değil Design Builder - ISO 10456	385 (Un-24)	-	0,15 (Un-24)	0,23 (Boliz ve Tuve, 1973)	0,3 Design Builder - ISO 10456	Gri Design Builder - ISO 10456	Az Pürüzlü (Borch ve diğ., 2004)
Çelik Yüksek yoğunluk	8100 (Watts, 2016)	51 (Shackelfor ve Alexander, 2001)	Geçirgen değil Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	450 (TS EN 12524, 2000)	-	0,9 Design Builder (ASHRAE Handbook)	0,81 (Un-22)	0,6 Design Builder (ASHRAE Handbook)	Gri Design Builder (ASHRAE Handbook)	Pürüzlü Design Builder (ASHRAE Handbook)
Çelik- Düşük yoğunluk	7600 (Watts, 2016)	16 (Watts, 2016)	Geçirgen değil Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	502 (Watts, 2016)	-	0,9 Design Builder (ASHRAE Handbook)	0,2 (Boliz ve Tuve, 1973)	0,6 Design Builder CIBSE Guide A (2006)	Gri- Design Builder (ASHRAE Handbook)	Az Pürüzlü (Watts, 2016)
Paslanmaz çeli- Yüksek yoğunluk	9000 (Un-24)	34,3 (Un-24)	Geçirgen değil Design Builder - ISO 10456	200 (Un-24)	-	0,9 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	0,6 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	0,6 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	Gri Design Builder - ISO 10456	Pürüzlü Design Builder - ISO 10456
Paslanmaz çeli- Düşük yoğunluk	7700 Forma-Gençlik çelik	17 (TS EN 12524, 2000)	Geçirgen değil Design Builder - ISO 10456	460 (TS EN 12524, 2000)	-	0,3 Design Builder - ISO 10456	0,2 Design Builder - ISO 10456	0,2 Design Builder - ISO 10456	Açık gri- Design Builder	Pürüzlü Design Builder - ISO 10456

Benzetim çalışmalarında kaplama malzemesi olarak programa tanımlanan kil esaslı malzeme özellikleri Çizelge 5.21’de verilmiştir.

Çizelge 5.21: Kil esaslı malzemelerde programa tanımlanan özellikler.

	KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLER					YÜZEY ÖZELLİKLERİ				
	Yoğunluk [kg/m ³]	Isıl iletkenlik [W/mK]	Buhar Difüzyon Deneç Katsayısı [μ]	Örgüt İsi [J/kgK]	Porosite [%]	Isıl Emicilik	Güneş Emicilik	Görünür Emicilik	Renk	Doku
Presle tuğla- Yüksek yoğunluk	2200 (Hegger ve diğ., 2006)	1,20 (Hegger ve diğ., 2006)	50 (Hegger ve diğ., 2006)	840 Design Builder CIBSE Guide A (2006)	0,28 (Camino ve diğ., 2016)	0,9 Design Builder CIBSE Guide A (2006)	0,75 (Un-22)	0,6 Design Builder CIBSE Guide A (2006)	Kahverengi Design Builder CIBSE Guide A (2006)	Pürüzlü (Camino ve diğ., 2016)
Presle tuğla- Düşük yoğunluk	850 Design Builder CIBSE Guide A (2006)	0,27 Design Builder CIBSE Guide A (2006)	40 Design Builder CIBSE Guide A (2006)	1000 (Un-22)	0,72 Design Builder CIBSE Guide A (2006)	0,9 Design Builder CIBSE Guide A (2006)	0,6 Design Builder CIBSE Guide A (2006)	0,6 Design Builder CIBSE Guide A (2006)	Koyu kırmızı (Camino ve diğ., 2016)	Pürüzlü (Camino ve diğ., 2016)
Klinker tuğla- Yüksek Yoğunluk	2800 (Li ve Ren, 2011)	0,78 (Li ve Ren, 2011)	23 (Li ve Ren, 2011)	880 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	0,2 (Li ve Ren, 2011)	0,95 (Boliz ve diğ., 1973)	0,8 (Boliz ve diğ., 1973)	0,6 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	Kırmızı Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	Çok Pürüzlü (Un-28)
Klinker tuğla- Düşük Yoğunluk	1890 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	0,422 (Un-10)	60 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	880 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	0,4 (Li ve Ren, 2011)	0,6 (Boliz ve diğ., 1973)	0,4 (Boliz ve diğ., 1973)	0,6 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	Sarı- (Un-28)	Pürüzlü Design Builder - CIBSE Guide A (2006)
Porcelen- Yüksek yoğunluk	3100 (Un-24)	5 (Un-24)	2500 Designbuilder - ISO 10456	840 (TS EN 12524, 2000)	0,32 (Eren ve diğ., 2014)	0,9 Designbuilder - ISO 10456	0,7 (Un-24)	0,9 (Boliz ve diğ., 1973)	Kırmızı Designbuilder - ISO 10456	Pürüzlü Designbuilder - ISO 10456
Porcelen- Düşük yoğunluk	2300 (Boliz ve diğ., 1973)	1,3 (TS EN 12524, 2000)	2500 Designbuilder - ISO 10456	1085 (Un-22)	0,46 (Eren ve diğ., 2014)	0,6 Designbuilder - ISO 10456	0,5 (Un-24)	0,4 (Boliz ve diğ., 1973)	Kırmızı Designbuilder - ISO 10456	Az pürüzlü (Un-22)
Seramik- Yüksek yoğunluğu	2500 Designbuilder - CIBSE Guide A (2006)	1,83 Designbuilder - CIBSE Guide A (2006)	4000 Designbuilder - CIBSE Guide A (2006)	840 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	0,2 (Boliz ve diğ., 1973)	0,9 Designbuilder - CIBSE Guide A (2006)	0,7 (Boliz ve diğ., 1973)	0,6 Designbuilder - CIBSE Guide A (2006)	Bej Designbuilder - CIBSE Guide A (2006)	Pürüzlü Designbuilder - CIBSE Guide A (2006)
Seramik- Düşük yoğunluğu	1200 (Toydemir ve diğ., 2000)	0,7 (Toydemir ve diğ., 2000)	1044 (Toydemir ve diğ., 2000)	880 (Gronitzki ve diğ., 1973)	0,95 (Boliz ve diğ., 1973)	0,9 Designbuilder - CIBSE Guide A (2006)	0,6 Designbuilder - CIBSE Guide A (2006)	0,6 Designbuilder -CIBSE Guide A (2006)	Gri Designbuilder - CIBSE Guide A (2006)	Az Pürüzlü (Gronitzki ve diğ., 1973)

Benzetim çalışmalarında kaplama malzemesi olarak programa tanımlanan çimento esaslı malzeme özellikleri Çizelge 5.22’de verilmiştir.

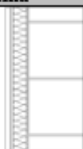
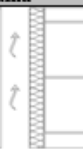
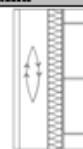
Çizelge 5.22: Çimento esaslı malzemelerde programa tanımlanan özellikler.

	KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLER				YÜZEY ÖZELLİKLERİ				Renk	Doku
	Yoğunluk [kg /m ³]	Isl. iletkenlik [W/mK]	Buhar Difüzyon Direnç Katsayısı [s]	Özgül ısı [J/kgK]	Porosite [%]	Isl. Emicilik	Güneş Emicilik	Görünür Emicilik		
Sıva- Yüksek yoğunluk	1500 (Urf-31)	0,47 (Urf-31)	15 (Urf-31)	1000 Designbuilder- örnek 2	61,28 (Peterková ve diğ. 2018)	0,9 Designbuilder- örnek 2	0,7 Designbuilder- örnek 2	0,7 Designbuilder- örnek 2	Gri Designbuilder- örnek 2	Pürüzlü Designbuilder- örnek 2
Sıva- Düşük yoğunluk	700 (Urf-30)	0,21 (Urf-30)	10 Designbuilder-örnek 1	1000 Designbuilder- örnek 1	75,17 (Peterková ve diğ. 2018)	0,9 Designbuilder- örnek 1	0,7 Designbuilder- örnek 1	0,7 Designbuilder- örnek 1	Gri Designbuilder- örnek 1	Az Pürüzlü Designbuilder- örnek 1
Lütfi çimento levha- Yüksek yoğunluk	1525 (Urf-33)	0,25 Design Builder - ASHRAE Handbook	150 Design Builder - ASHRAE Handbook	840 Design Builder ASHRAE Handbook	0,3 (Urf-14)	0,9 Design Builder ASHRAE Handbook	0,7 Design Builder ASHRAE Handbook	0,7 Design Builder ASHRAE Handbook	Gri Design Builder ASHRAE Handbook	Pürüzlü Design Builder ASHRAE Handbook
Lütfi çimento levha- Düşük yoğunluk	800 (Boliz ve diğ. 1973)	0,038 (Urf-32)	5 (Urf-32)	2100 (Urf-32)	0,3 (Urf-14)	0,85 (Urf-23)	0,3 (Boliz ve diğ. 1973)	0,7 Design Builder ASHRAE Handbook	Gri - Design Builder ASHRAE Handbook	Pürüzlü Design Builder ASHRAE Handbook

5.2 Benzetim Programının Çalıştırılması, Sonuçlar ve Değerlendirme

Ön çalışmalar ve ön benzetim denemeleri sonucunda belirlenen kabullere göre Çizelge 5.23'te gösterilen bina modeli verileri ve dış duvar sistemleri ile opak, inorganik cephe kaplama malzemelerinin bina enerji performansına etkisi incelenmiştir.

Çizelge 5.23: Opak, inorganik cephe kaplama malzemeleri benzetimlerinde kullanılan bina modeli verileri.

MODEL VERİLERİ						
Sürekli temas ile uygulama		Havalandırılarak asılan uygulama		Havalandırılmadan asılan uygulama		
						
Bina Formu	Dikdörtgen					
Boyutlar	15×25					
Kat Adedi	10 Katlı					
Bina Yüksekliği	35,06 m					
Toplam Alan	4125 m²					
Bina Yönelimi	Batı					
Cephe Boşluk-Doluluk Oranı	%40					
Dış Duvar	ETICS uygulaması	Yapıştırılan uygulama	Havalandırılan uygulama	Kenet sistem ile havalandırılan uygulama	Havalandırılmayan uygulama	GRC levha ile havalandırılmayan uygulama (klinker tuğla)
İç Duvar	Sıva: 2 cm Tuğla: 8,5 cm Sıva: 2cm					
Zemine Oturan Döşeme	Seramik kaplama: 1 cm Şap: 5 cm Su yalıtımı: 3 mm Temel betonu: 60 cm Taş yünü: 3 cm Blokaj: 15 cm Sıkıştırılmış toprak: 40 cm					
Normal Kat Döşeme	Laminant Parke Kaplama: 2 cm Şap: 5 cm Betonarme döşeme: 12 cm Sıva: 2 cm					
Çatı	Kiremit: 2 cm Su Yalıtımı: 1 mm Kiremit Altı Tahtası: 2 cm Taş yünü: 4 cm Döşeme: 12 cm Sıva: 2 cm					
Çatı Eğimi	%33					

Model binanın cephe sisteminde kullanılan malzemeler belirlenirken referans kitaplar, firma katalogları ve standartlar taranmış, en uygun malzeme özellikleri seçilmiştir. Çalışmada, sürekli temas ile uygulanan yapıştırma sistemlerde ve ETICS uygulamalarında yaygın olarak kullanılan EPS, asılarak uygulanan sistemlerde ise taş yünü ısı yalıtım malzemesinin kullanılmasına, ancak benzetim hesap sonuçlarının ısı yalıtım malzemesinin farklılığından etkilenmemesi için ısı yalıtım malzemelerinin 0,035 W/mK ısıl iletkenlik değerinde ve eşit kalınlıkta oluşturulmasına karar verilmiştir. Ön benzetim çalışmalarında belirtildiği gibi çalışmada kullanılan XPS 35 kg/m³, EPS 20 kg/m³ ve taş yünü 50 kg/m³ yoğunluk değerlerinde seçilmiştir.

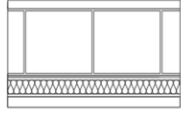
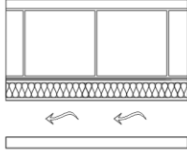
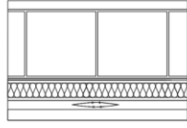
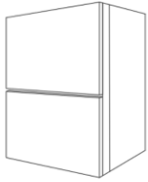
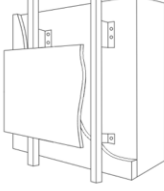
Benzetim çalışmasından önce, oluşturulan tüm cephe sistem kesitleri alternatiflerinin ısıl geçirgenlikleri hesaplanarak, TS 825'te İstanbul ili için verilen en yüksek 0,57 W/m²K U-değerinin altında kaldığı kontrol edilmiştir (TS 825, 2013). Çalışmalarda dış duvarların TS 825 standartında İstanbul ili için önerilen uygun U-değerine sahip olabilmesi için modelin 19 cm tuğla duvar gövdesi ile oluşturulmasına karar verilmiştir.

İstanbul ikliminde, Design Builder benzetim programı kullanılarak yapılan ısıtma, soğutma ve toplam yıllık enerji yükü hesapları ile farklı özgün özellik ve uygulama yöntemlerine sahip (i) doğal taş, (ii) metal, (iii) kil esaslı ve (iv) çimento esaslı dış kaplama malzemeleri ile oluşturulan cephe sistemleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Enerji performansı değerlendirmeleri için toplam 90 adet benzetim çalışması yapılmıştır.

5.2.1 Doğal taş cephe kaplama malzemeleri

Doğal taş kaplama malzemelerinin, cephelerde yaygın olarak kullanılan granit, mermer, traverten, bazalt, kumtaşı, kireçtaşı ve andezit türlerinin, harç ile yüzeysel yapıştırma, havalandırılarak asma ve havalandırılmadan asma yöntemleri ile farklı uygulamalarına bağlı olarak bina enerji performansına etkileri 42 benzetim hesaplaması yapılarak çalışılmıştır.

Farklı karakteristik ve yüzey özelliklere sahip 14 doğal taş cephe kaplama malzemesi örneği ile ve farklı uygulamalarla oluşturulan cephe sistemlerinin bina bütüncül enerji performansına etkisi incelenmiştir. Şekil 5.3'te farklı uygulamalarla doğal taş kaplama malzemeleri ile oluşturulan cephe sistemlerinin şematik plan ve perspektif görünüşleri verilmiştir.

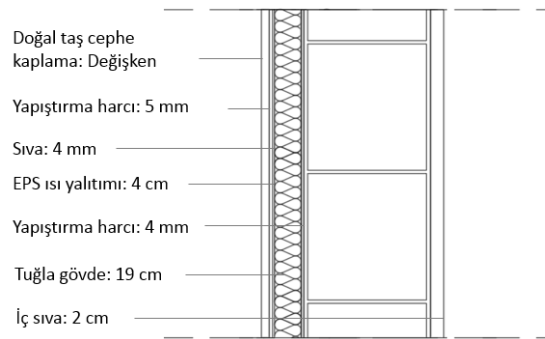
	Sürekli Temas ile Uygulama	Havalandırılarak Asılma ile Uygulama	Havalandırılmadan Asılma ile Uygulama
Plan			
Perspektif			

Şekil 5.3 : Farklı uygulamalarla doğal taş cephe kaplama plan ve perspektif çizimler.

5.2.1.1 Sürekli temas (harç ile yüzeysel yapıştırma) ile uygulama

Bina cephelerine, ağır bir malzeme olan doğal taş kaplamaları yapıştırma sistem ile uygulandığında harca yapışma ve dökülme problemleriyle karşılaşılması için asılma yöntemlerinden farklı olarak ince ve ortalama 10-13 mm kalınlıklarında kullanılmalıdır (ASTM C1528/C1528M-20, 2020).

Çalışmada bina modelinin cephesine 5 mm yapıştırma harcı ile uygulanan 12 mm kalınlığındaki farklı doğal taş kaplama malzemeleri ile oluşturulan dış duvar kesiti Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4 : Sürekli temas ile uygulanan doğal taş cephe kaplama çalışması dış duvar kesiti.

Çizelge 5.24'te yüksek ve düşük yoğunluk özelliğine bağlı olarak farklı doğal taş türlerinin sürekli temas yöntemi ile model bina cephesine uygulandığında ısıtma, soğutma ve yıllık enerji yükü benzetim hesap sonuçları verilmektedir.

Çizelge 5.24: Doğal taş cephe kaplama malzemelerinin sürekli temas yöntemi ile uygulanması sonucu oluşan enerji yükleri.

Doğal Taş Türü	Yoğunluk	Isıtma yükü (kWh)	Soğutma yükü (kWh)	Toplam enerji yükü (kWh)
Granit	yüksek	94.775	38.958	133.733
	düşük	93.115	39.475	132.590
Mermer	yüksek	93.232	40.260	133.492
	düşük	93.207	39.385	132.592
Traverten	yüksek	93.831	39.752	133.583
	düşük	89.543	42.988	132.531
Bazalt	yüksek	90.782	42.582	133.364
	düşük	92.294	40.816	133.110
Kumtaşı	yüksek	92.742	40.695	133.437
	düşük	93.814	39.672	133.486
Kireçtaşı	yüksek	93.971	39.674	133.645
	düşük	93.614	38.777	132.391
Andezit	yüksek	93.732	39.725	133.457
	düşük	93.285	40.009	133.294
En büyük fark		5.232	4.211	1.342
En düşük performans		Yüksek yoğunluklu granit	Düşük yoğunluklu traverten	Yüksek yoğunluklu granit
En yüksek performans		Düşük yoğunluklu traverten	Düşük yoğunluklu kireçtaşı	Düşük yoğunluklu kireçtaşı

Farklı doğal taş türlerinde cephe kaplama malzemelerinin harç ile yapıştırılarak uygulandığı sistemlerde; ısıtma yapılan kış döneminde en düşük ısıtma yükünü çalışılan malzemeler arasında ısıl iletkenliği ve ısıl emiciliği en düşük, özgül ısısı en yüksek malzemelerden olan düşük yoğunluklu traverten vermiştir (malzeme özgül özellikleri için bkz. Çizelge 5.19).

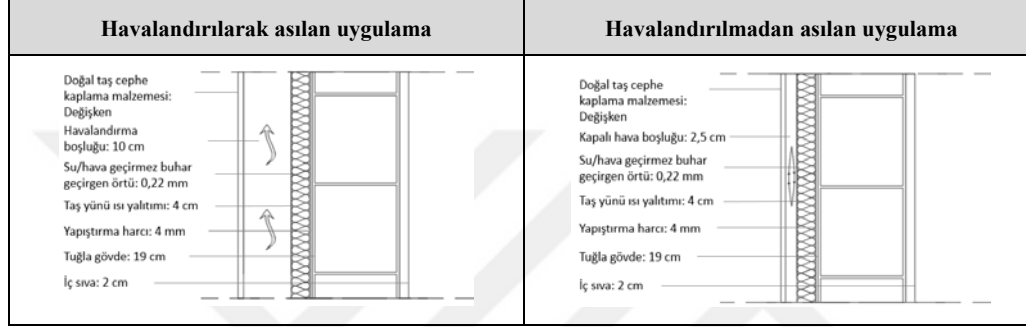
En yüksek ısıtma yükünü tersine, ısıl iletkenliği ve ısıl emiciliği en yüksek ayrıca, görünür emiciliği en düşük malzemelerden yüksek yoğunluklu granit oluşturmuştur. Bu durum aynı zamanda toplam enerji yüklerine yansımış ve yüksek yoğunluklu granit malzeme en yüksek toplam enerji yüklerini meydana getirmiştir.

Soğutma yapılan yaz döneminde en düşük soğutma yükünü düşük ısıl iletkenlik, ısıl emicilik ve güneş emicilik değerlerine sahip düşük yoğunluklu kireçtaşı, en yüksek soğutma yükünü ise düşük yoğunluklu traverten göstermiştir. Yıllık en iyi enerji performansını da soğutma yüklerinde olduğu gibi düşük yoğunluklu kireçtaşı göstermiştir.

Farklı türde ve yoğunlukta doğal taş cephe kaplama malzemesinin sürekli temas yöntemiyle cepheye uygulanmasıyla oluşan en düşük ve en yüksek enerji yükleri karşılaştırıldığında, ısıtma ve soğutma dönemleri için yaklaşık benzer bir oranda fark olduğu, ancak en fazla farkın ısıtma döneminde ve en az farkın yıllık toplam enerji yükünde olduğu görülmektedir.

5.2.1.2 Havalandırılarak/havalandırılmadan asılan uygulama

Binalarda doğal taş cephe kaplamalar asılarak uygulandığında en az 30 mm kalınlığında kullanılmalıdır (ASTM C1528/C1528M-20, 2020). Çalışmada model binanın cephesinde, 30 mm doğal taş kaplamanın 100 mm hava boşluğu önüne asılarak arkasının havalandırıldığı ve 25 mm hava boşluğu önüne asılarak arkasının havalandırılmadığı iki farklı uygulamasının kesitleri sırasıyla Şekil 5.5’te verilmiştir.



Şekil 5.5 : Asılarak uygulanan doğal taş cephe kaplama çalışması dış duvar kesit.

Çalışmanın yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri Çizelge 5.25’te verilmiştir.

Çizelge 5.25: Doğal taş cephe kaplama malzemelerinin havalandırılarak ve havalandırılmadan asılma yöntemi ile uygulanması sonucu oluşan enerji yükleri.

Doğal taş türü	Havalandırma	VAR	YOK	VAR	YOK	VAR	YOK
	Yoğunluk	Isıtma (kWh)		Soğutma (kWh)		Toplam (kWh)	
Granit	yüksek	90.676	91.992	38.745	39.047	129.421	131.039
	düşük	89.436	90.637	38.954	39.334	128.390	129.971
Mermer	yüksek	88.974	90.576	40.228	40.288	129.202	130.864
	düşük	89.057	90.663	39.289	39.327	128.346	129.990
Traverten	yüksek	89.477	91.090	39.742	39.778	129.219	130.868
	düşük	85.529	87.058	42.655	42.761	128.184	129.819
Bazalt	yüksek	86.778	88.337	42.376	42.433	129.154	130.770
	düşük	87.952	89.524	40.756	40.811	128.708	130.335
Kumtaşı	yüksek	88.551	90.143	40.621	40.661	129.172	130.804
	düşük	89.466	91.072	39.550	39.598	129.016	130.670
Kireçtaşı	yüksek	89.693	91.305	39.627	39.689	129.320	130.994
	düşük	89.886	91.499	38.214	38.243	128.100	129.742
Andezit	yüksek	89.451	90.932	39.636	39.788	129.087	130.720
	düşük	88.720	90.315	40.008	40.021	128.728	130.336
En büyük fark		5.147	4.934	4.441	4.518	1.321	1.297
En düşük performans		Yüksek yoğunluklu granit	Yüksek yoğunluklu granit	Düşük yoğunluklu traverten	Düşük yoğunluklu traverten	Yüksek yoğunluklu granit	Yüksek yoğunluklu granit
En yüksek performans		Düşük yoğunluklu traverten	Düşük yoğunluklu traverten	Düşük yoğunluklu kireçtaşı	Düşük yoğunluklu kireçtaşı	Düşük yoğunluklu kireçtaşı	Düşük yoğunluklu kireçtaşı

Doğal taş cephe kaplama malzemelerinin havalandırılarak ve havalandırılmadan asılan uygulamalarının benzetim hesaplamaları sonucu ile harçla yapıştırılarak yapılan uygulamanın benzetim sonuçları en düşük ve en yüksek ısıtma, soğutma, toplam enerjide benzer bir davranışla aynı malzeme türlerinde gerçekleşmiştir. Havalandırılarak ve havalandırılmadan asılan uygulamalarda en düşük soğutma ve toplam enerji yüklerini düşük ısıl iletkenlik, ısıl emicilik ve güneş emicilik değerlerine sahip olan düşük yoğunluklu kireçtaşı, en yüksek soğutma ve en düşük ısıtma yüklerini yüksek özgül ısı ve görünür emicilik özelliği gösteren düşük yoğunluklu traverten oluşturmuştur.

Her iki uygulamada; en yüksek ısıtma ve toplam enerji yüklerini çalışılan doğal taş malzemeler arasında ısıl iletkenliği ve ısıl emiciliği yüksek olan yüksek yoğunluklu granit vermiştir. Ayrıca, bu malzemenin düşük görünür emiciliğe sahip olması olasılıkla ısıtma yükünü arttırmıştır.

Malzemenin özelliklerinin değişmesi ile enerji yüklerinde en fazla fark ısıtma yükünde görülürken, en az fark toplam enerji yüklerinde oluşmuştur. Bu sonuç, enerji tüketimi açısından İstanbul ikliminde kış döneminin daha etkili olduğunu göstermektedir.

5.2.1.3 Benzetim sonuçlarının değerlendirilmesi

Benzetim sonuçlarına göre, sürekli temas ile uygulama ve asılarak uygulamalarda yıllık en düşük, en yüksek enerji yüküne sahip olan doğal taş malzemelerin aynı olduğu, ancak, bu malzemelerin enerji yüklerinde önemli farklılıklar olduğu görülmüştür. Çalışmanın benzetim sonuçları karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.26'da özetlenmiştir.

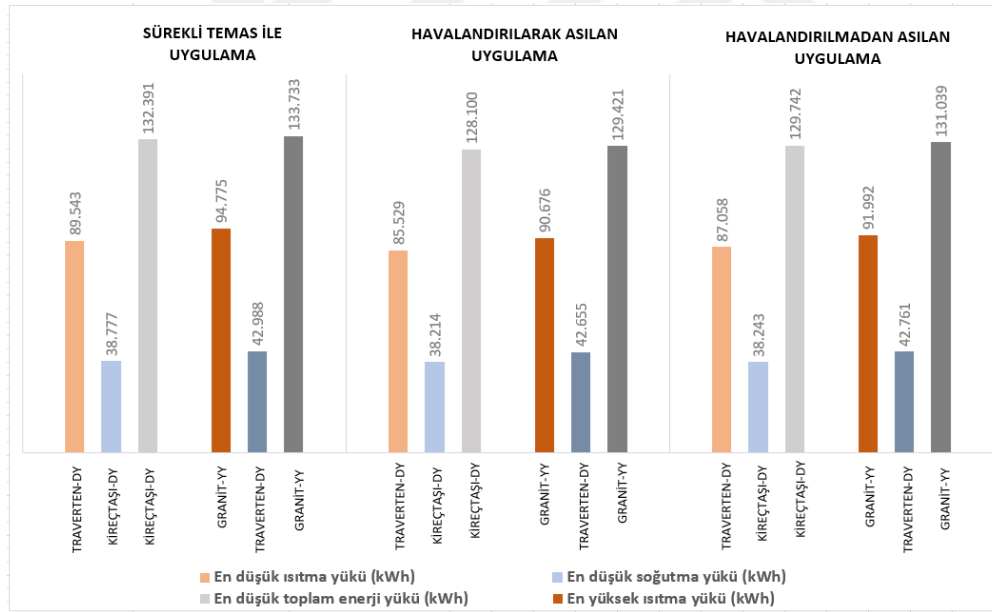
Çizelge 5.26: Doğal taş cephe kaplama malzemeleri en düşük ve en yüksek yıllık enerji yükleri, kWh.

Enerji yükleri	Sürekli temas ile uygulama	Havalandırılarak asılma ile uygulama	Havalandırılmadan asılma ile uygulama
En yüksek ısıtma yükü	Yüksek yoğunluklu granit 94.775	Yüksek yoğunluklu granit 90.676	Yüksek yoğunluklu granit 91.992
En düşük ısıtma yükü	Düşük yoğunluklu traverten 89.543	Düşük yoğunluklu traverten 85.529	Düşük yoğunluklu traverten 87.058
En yüksek soğutma yükü	Düşük yoğunluklu traverten 42.988	Düşük yoğunluklu traverten 42.655	Düşük yoğunluklu traverten 42.761
En düşük soğutma yükü	Düşük yoğunluklu kireçtaşı 38.777	Düşük yoğunluklu kireçtaşı 38.214	Düşük yoğunluklu kireçtaşı 38.243
En yüksek toplam enerji yükü	Yüksek yoğunluklu granit 133.733	Yüksek yoğunluklu granit 129.421	Yüksek yoğunluklu granit 131.039
En düşük toplam enerji yükü	Düşük yoğunluklu kireçtaşı 132.391	Düşük yoğunluklu kireçtaşı 128.100	Düşük yoğunluklu kireçtaşı 129.742

3 farklı uygulama yöntemi ve 14 farklı özgün özellikte doğal taş ile yapılan çalışmanın sonucuna göre; havalandırılarak uygulamada en az olmak üzere tüm uygulama yöntemlerinde düşük yoğunluklu kireçtaşı en düşük toplam enerji yüklerini göstermiştir.

Çalışılan malzeme seçenekleri arasında, düşük yoğunluklu kireçtaşı, düşük ısı iletkenlik ile birlikte düşük ısı emicilik ve güneş emicilik değerlerine sahip olarak düşük soğutma yükleri oluşturmuş ve bu durum toplam enerji yüküne yansımıştır. En fazla toplam enerji yüklerini sürekli temas ile uygulamada en yüksek olmak üzere tüm uygulamalarda ısı iletkenliği ve ısı emiciliği yüksek olan yüksek yoğunluklu granit göstermiştir.

Çalışmanın en düşük, en yüksek enerji yükü sonuçları Şekil 5.6’da verilmiştir. Şekil 5.6’da ‘DY’ ifadesi düşük yoğunluk, ‘YY’ ifadesi yüksek yoğunluğu tanımlamaktadır.



Şekil 5.6 : Doğal taş cephe kaplama benzetim sonuçları.

Doğal taş cephe kaplama malzemeleri ve uygulama yöntemleri çalışması sonucunda:

- Ağır malzemeler olan doğal taş esaslı malzemelerin olasılıkla sürekli temas yöntemi ile uygulamalarda asılarak uygulamalara göre ince kalınlıklarda kullanılması daha yüksek enerji yükü oluşmasına neden olmuştur.
- Malzemenin yoğunluk, ısı iletkenlik ve güneş emicilik değerlerinin yüksek olmasının tüm uygulama yöntemlerinde soğutma yüklerini arttırabileceği ve toplam enerji performansını olumsuz yönde etkileyebileceği belirlenmiştir.

- Ozel, M. (2012) hesaplama yöntemiyle yaptığı çalışmanın sonuçları ile paralel olarak, malzemenin güneş emicilik değerinin ısıtma yükü üzerindeki etkisinin soğutma yükü üzerindeki etkisinden daha az olduğu, bu özelliğin yaz dönemi soğutma yükleri açısından önem taşıdığı görülmüştür.

5.2.2 Metal esaslı cephe kaplama malzemeleri

Çalışmanın bu bölümünde, cephelerde yaygın olarak kullanılan metal kaplama malzemelerinden; titanyum-çinko sac levhaların (genellikle kontrplak) bir düzlem üzerine uygulanan kenet sistem olarak bilinen uygulamaları ile alüminyum, çelik, paslanmaz çelik, titanyum, çinko, titanyum-çinko, bakır, alüminyum kompozit levhanın taşıyıcı ızgara üzerine havalandırılarak asılan yöntemler ile uygulamalarının bina enerji performansına etkisi incelenmiştir.

Şekil 5.7’de metal cephe kaplama ile oluşturulan kenet sistem ve havalandırılarak asılan uygulamanın plan ve perspektif görünüşleri verilmiştir.

	Kenet Sistem (Galvanizli Çelik Alt Konstrüksiyon)	Kenet Sistem (Kontrplak Alt Konstrüksiyon)	Havalandırılarak Asılma ile Uygulama	
Plan				
Perspektif			Profilli Sac Levha	Kompozit Levha

Şekil 5.7 : Farklı uygulamalarla metal cephe kaplama plan ve perspektif çizimleri.

Farklı yoğunlukta 16 metal cephe kaplama malzemesi örneği ve farklı uygulamalarla oluşturulan cephe sistemlerinin bina bütüncül enerji performansına etkisi çalışılmıştır. Metal esaslı cephe kaplama malzemelerinin ve uygulama yöntemlerinin incelendiği 20 benzetim çalışması yapılmıştır.

5.2.2.1 Metal kenet sistemi

Çalışmada, 0,8 mm sac levhalar 2 farklı düzlem üzerine kenet sistem ile uygulanmıştır. Çalışma; Şekil 5.8’de gösterildiği gibi arkası 20 mm hava boşluğu ile havalandırılan 24 mm kontrplak üzerine uygulanan titanyum-çinko levha ve arkası 20 mm hava boşluğu ile havalandırılan 18 mm galvanizli çelik üzerine uygulanan titanyum-çinko levha ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan yüksek yoğunluklu titanyum-çinko 7200 kg/m³, düşük yoğunluklu titanyum-çinko ise 7140 kg/m³ yoğunluk değerlerine sahiptir.



Şekil 5.8 : Kenet sistem ile uygulanan metal cephe kaplama çalışması dış duvar kesit.

Çalışmanın benzetim hesap sonuçları Çizelge 5.27’de, çalışmada kullanılan titanyum-çinko malzemenin özgün özellikleri ise Çizelge 5.20’de verilmiştir.

Çizelge 5.27: Titanyum-çinko cephe kaplama malzemesinin kenet sistem ile uygulanması sonucu oluşan enerji yükleri.

Metal Türü	Yoğunluk	Isıtma yükü (kWh)	Soğutma yükü (kWh)	Toplam enerji yükü (kWh)
Arkası havalandırılan kontrplak üzerine uygulanan titanyum-çinko	yüksek	95.803	45.611	141.414
	düşük	98.196	43.400	141.596
Arkası havalandırılan galvanizli çelik üzerine uygulanan titanyum-çinko	yüksek	98.176	45.638	143.814
	düşük	100.628	43.445	144.073
En büyük fark		4.825	2.238	2.659
En düşük performans		Arkası havalandırılan galvanizli çelik üzerine uygulanan düşük yoğunluklu titanyum-çinko	Arkası havalandırılan galvanizli çelik üzerine uygulanan yüksek yoğunluklu titanyum-çinko	Arkası havalandırılan galvanizli çelik üzerine uygulanan düşük yoğunluklu titanyum-çinko
En yüksek performans		Arkası havalandırılan kontrplak üzerine uygulanan yüksek yoğunluklu titanyum-çinko	Arkası havalandırılan kontrplak üzerine uygulanan düşük yoğunluklu titanyum-çinko	Arkası havalandırılan kontrplak üzerine uygulanan yüksek yoğunluklu titanyum-çinko

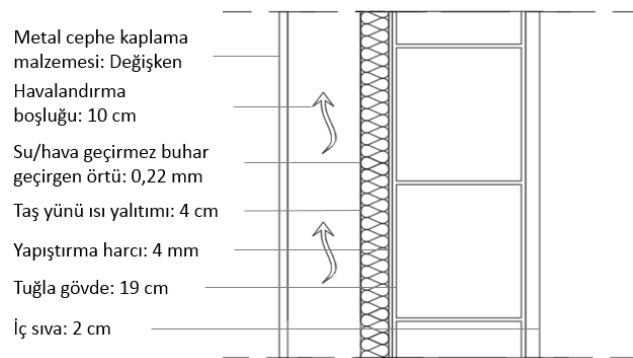
Düşük ve yüksek yoğunluklu titanyum-çinko malzemenin kenet sistem ile uygulandığı çalışma sonucunda; en yüksek ısıtma ve toplam enerji yükleri, arkası havalandırılan galvanizli çelik üzerine uygulanan düşük yoğunluklu titanyum-çinko ile gerçekleşmiştir. En yüksek soğutma yükünü ise aynı uygulamayla yüksek yoğunluklu titanyum-çinko oluşturmuştur. Tersî şekilde, en düşük ısıtma ve toplam enerji yüklerini arkası havalandırılan kontrplak üzerine uygulama ile yüksek yoğunluklu titanyum-çinko gösterirken, soğutma yükünde arkası havalandırılan kontrplak üzerine uygulama ile düşük yoğunluklu titanyum çinko en etkin performansı oluşturmuştur.

Cephe kaplama malzemesi olarak kullanılan düşük yoğunluklu titanyum-çinko, yüksek yoğunluklu titanyum çinko malzemeye göre; düşük güneş emicilik ve görünür emicilik, benzer ısı iletkenlik ve özgül ısı değerlerine sahiptir. Bu durum, güneş emicilik ve görünür emicilik değerlerinin düşük olmasının ısıtma yüklerini arttırdığı ve soğutma yüklerini azalttığını göstermektedir.

Malzemenin özelliklerinin değişmesi sonucunda kenet sistemde enerji yükleri arasında en büyük fark ısıtma yükünde, en az fark toplam enerji yükü ile benzer bir şekilde soğutma yükünde görülmüştür.

5.2.2.2 Havalandırılarak asılan uygulama

Çalışmada, arkası 100 mm boşlukla havalandırılarak asılan 2 mm metal sac levhalar ve 4 mm metal kompozit levhalar (0,5 mm kalınlığında 2 alüminyum levha arasına 3 mm poliüretan dolgu) oluşturulan modelin cephesine Şekil 5.9’da gösterildiği gibi uygulanmıştır.



Şekil 5.9: Havalandırılarak asılma ile uygulanan metal cephe kaplama çalışması duvar kesit.

Çalışmanın havalandırılan sistemler için ısıtma, soğutma ve yıllık toplam enerji yükü sonuçları Çizelge 5.28’de verilmiştir.

Çizelge 5.28: Titanyum-çinko cephe kaplama malzemesinin havalandırılarak asılan uygulanması sonucu oluşan enerji yükleri.

Metal esaslı malzeme türü	Yoğunluk	Isıtma (kWh)	Soğutma (kWh)	Toplam enerji yükü (kWh)
Aluminyum	yüksek	99.249	42.923	142.172
	düşük	96.101	47.018	143.119
Çinko	yüksek	98.317	44.859	143.176
	düşük	97.888	44.418	142.306
Titanyum	yüksek	97.821	45.433	143.254
	düşük	100.132	42.946	143.078
Titanyum çinko	yüksek	97.031	45.627	142.658
	düşük	99.491	43.394	142.885
Bakır	yüksek	96.058	47.190	143.248
	düşük	96.992	44.779	141.771
Çelik	yüksek	96.995	46.105	143.100
	düşük	100.985	42.656	143.641
Paslanmaz çelik	yüksek	97.956	45.280	143.236
	düşük	97.175	45.786	142.961
Aluminyum kompozit	yüksek	95.173	46.990	142.163
	düşük	98.203	43.028	141.231
En büyük fark		5.812	4.534	2.410
En düşük performans		Düşük yoğunluklu çelik	Yüksek yoğunluklu bakır	Düşük yoğunluklu çelik
En yüksek performans		Yüksek yoğunluklu alüminyum kompozit	Düşük yoğunluklu çelik	Düşük yoğunluklu alüminyum kompozit

Farklı metal cephe kaplama malzemelerinin havalandırılarak asılan uygulamaları ile benzetim çalışmaları yapılmıştır. Kullanılan metal malzemelerin özgül özellikleri Çizelge 5.20’de verilmiştir. Çalışmanın hesap sonuçlarına göre kış döneminde; en düşük ısıtma yükünü yüksek güneş emicilik, ısı emicilik ve görünür emicilik değerlerine sahip olan iki adet alüminyum levha arasına poliüretan dolgu ile oluşturulan yüksek yoğunluklu alüminyum kompozit levha meydana getirmiştir. En yüksek ısıtma yükünü ise metaller arasında düşük güneş emicilik ve diğer metallere göre yüksek yoğunluğa sahip olan düşük yoğunluklu çelik oluşturmuştur.

Yaz döneminde; en düşük soğutma yükünü düşük yoğunluklu çelik, en yüksek yükü yoğunluğu ve ısı emiciliği en yüksek malzeme olan aynı zamanda belirgin bir şekilde yüksek ısı iletkenlik değerine sahip olan yüksek yoğunluklu bakır göstermiştir. En düşük toplam enerji yüklerini en düşük yoğunluk ile beraber düşük ısı emicilik ve güneş emiciliğine sahip düşük yoğunluklu alüminyum levhalar ile oluşturulan alüminyum kompozit levha göstermiştir. En yüksek toplam enerji yüklerini ısıtma döneminde de en düşük performansı gösteren düşük yoğunluklu çelik oluşturmuştur.

Çalışma sonucunda, malzeme değişiminin enerji yüklerine etkisi benzer olmakla birlikte en fazla etki ısıtma yükünde en az ise toplam enerji yükünde oluşmuştur.

5.2.2.3 Benzetim sonuçlarının değerlendirilmesi

Benzetim hesap sonuçlarına göre kenet sistem ve havalandırılarak asılan sistem uygulamalarında farklı enerji yükleri meydana gelmiştir. Çalışmanın benzetim sonuçlarına göre yıllık en düşük, en yüksek ısıtma, soğutma ve toplam enerji yüklerini oluşturan malzemeler Çizelge 5.29’da özetlenmiştir.

Çizelge 5.29: Metal cephe kaplama malzemesi en düşük ve en yüksek yıllık enerji yükleri, kWh.

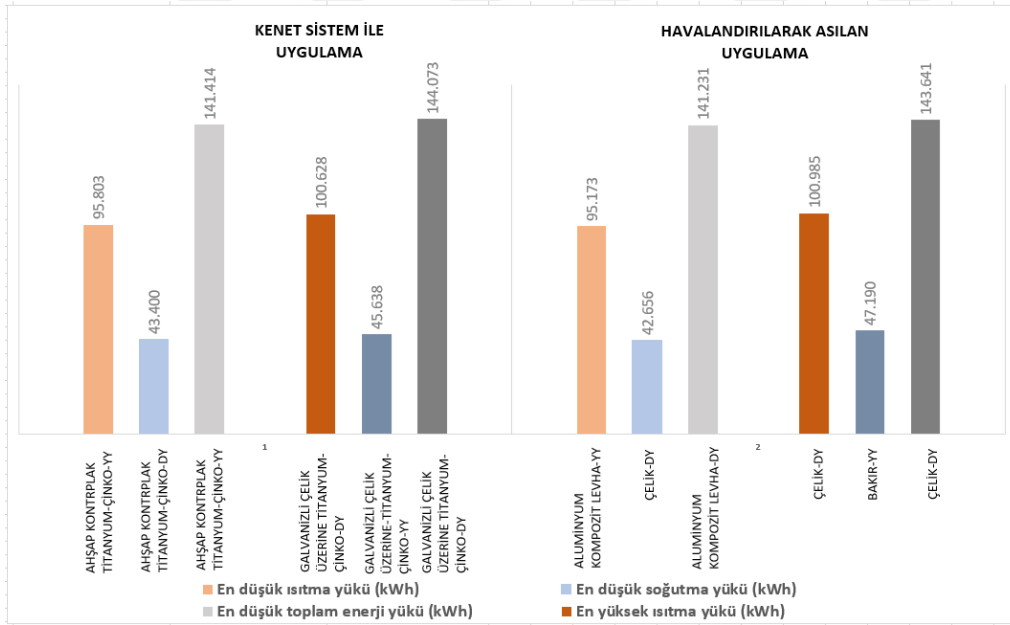
Enerji Yükleri	Kenet sistem ile uygulama	Havalandırılarak asılma ile uygulama
En yüksek ısıtma yükü	Arkası havalandırılan galvanizli çelik üzerine uygulanan düşük yoğunluklu titanyum-çinko 100.628	Çelik düşük yoğunluklu 100.985
En düşük ısıtma yükü	Arkası havalandırılan kontrplak üzerine uygulanan yüksek yoğunluklu titanyum-çinko 95.803	Aluminyum kompozit levha yüksek yoğunluklu 95.173
En yüksek soğutma yükü	Arkası havalandırılan galvanizli çelik üzerine uygulanan yüksek yoğunluklu titanyum-çinko 45.638	Bakır yüksek yoğunluklu 47.190
En düşük soğutma yükü	Arkası havalandırılan kontrplak üzerine uygulanan düşük yoğunluklu titanyum-çinko 43.400	Çelik düşük yoğunluklu 42.656
En yüksek toplam enerji yükü	Arkası havalandırılan galvanizli çelik üzerine uygulanan düşük yoğunluklu titanyum-çinko 144.073	Çelik düşük yoğunluklu 143.641
En düşük toplam enerji yükü	Arkası havalandırılan kontrplak üzerine uygulanan yüksek yoğunluklu titanyum-çinko 141.414	Aluminyum kompozit levha düşük yoğunluklu 141.231

Metal cephe kaplama malzemeleri ve uygulama yöntemleri performans sonuçlarına göre havalandırılarak asılan uygulamalarda düşük yoğunluklu aluminyum kompozit levha en düşük toplam enerji yüklerini göstermiştir. Çalışılan malzeme örnekleri arasında aluminyum kompozit levha en yüksek özgül ısı değerine sahip malzemedir. Bununla birlikte kompozit malzemedeki poliüretan dolgusu ile olasılıkla düşük ısıtma yükleri, düşük güneş emiciliği ile düşük soğutma yükleri, dolayısıyla daha yüksek toplam enerji performansı oluşmuştur. Ayrıca, bu uygulamanın kenet sisteme göre daha geniş bir havalandırma boşluğuna sahip olmasının enerji yükleri üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Çalışılan malzeme örnekleri arasında düşük yoğunluklu çelik en yüksek enerji yüklerini göstermiştir.

Bu malzeme, diğer metal malzemelere göre yüksek yoğunluk, düşük güneş emicilik değerine sahiptir ve yüksek ısıtma yükleri, dolayısıyla yüksek toplam enerji yükü oluşturmuştur.

Kenet sistemde ise, arkası havalandırılan ahşap taşıyıcı latalar üzerine kontrplak üzerine uygulanan yüksek yoğunluklu titanyum-çinko en düşük toplam enerji yüklerini göstermiştir. Arkası havalandırılan galvanizli çelik üzerine uygulanan düşük yoğunluklu titanyum-çinko en yüksek toplam enerji yüklerini oluşturmuştur. Yüksek yoğunluklu titanyum çinko malzeme düşük yoğunluklu malzemeye göre daha yüksek güneş emiciliği ve görünür emicilik, daha düşük özgül ısı değerlerine sahiptir. Bu durum malzemede ısıtma yüklerinin azalmasıyla toplam enerji yüklerinin düşmesine katkı sağlamıştır.

Benzetim çalışmasında oluşan en düşük, en yüksek enerji yükü sonuçları Şekil 5.10'da verilmiştir. Şekil 5.10'da 'DY' ifadesi düşük yoğunluk, YY' ifadesi ise yüksek yoğunluğu tanımlamaktadır.



Şekil 5.10 : Metal cephe kaplama benzetim sonuçları.

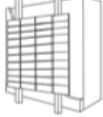
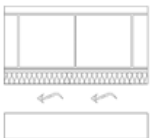
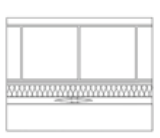
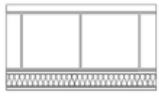
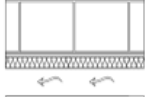
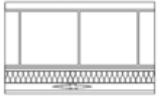
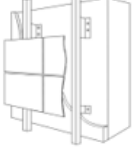
Farklı kaplama malzemeleri ve uygulama yöntemleri çalışması sonuçlarına göre:

- Havalandırılarak asılan uygulama kenet sisteme göre daha etkin bir performans sağlamıştır. Kenet sistemde ise kontrplak üzerine metal kaplama uygulaması galvanizli çelik üzerine yapılan uygulamadan daha iyi enerji performansı göstermiştir.

- Malzemeler incelendiğinde, yoğunluk artışının çoğunlukla ısıtma yükünde azalış, soğutma ve toplam enerji yüklerinde artış meydana getirdiği görülmüştür.

5.2.3 Kil esaslı cephe kaplama malzemeleri

Cephelerde yaygın olarak kullanılan kil esaslı kaplama malzemelerinden; prese tuğla, klinker kaplama tuğla, seramik ve porselen seramiğin sürekli temas (harç ile yüzeyssel yapıştırma) ile uygulama yöntemi, havalandırılarak asılan yöntem ve havalandırılmadan asılan yöntem ile uygulamalarının bina enerji performansına etkisi incelenmiştir. Şekil 5.11’de çalışılan cephe sistemlerinin şematik plan ve perspektif görünüşleri verilmiştir.

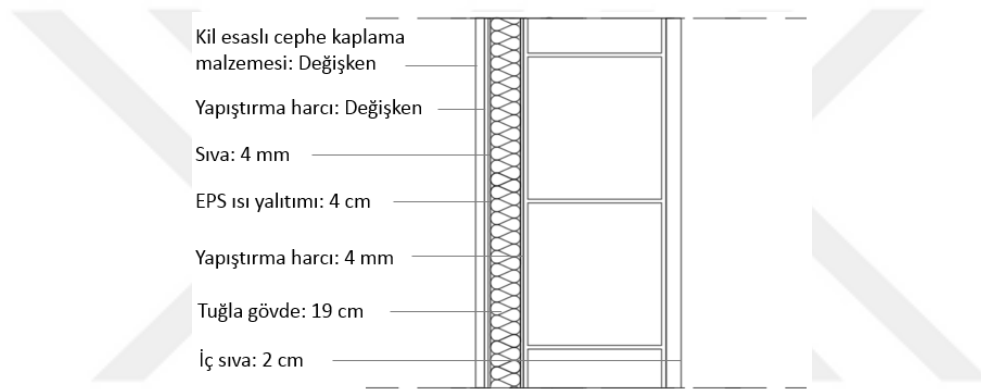
	Sürekli Temas ile Uygulama	Havalandırılarak Asılma ile Uygulama	Havalandırılmadan Asılma ile Uygulama
Klinker Tuğla Kaplama			
Plan		-	
Perspektif		-	
Prese Tuğla Kaplama			
Plan	-		
Perspektif	-		
Plan			
Perspektif			

Şekil 5.11 : Farklı uygulamalarla kil cephe kaplama plan ve perspektif çizimler.

8 farklı kil esaslı cephe kaplama malzemesi ve farklı uygulamalarla oluşturulan cephe sistemlerinin bina enerji performansına etkisi çalışılmıştır. Kil esaslı cephe kaplama malzemelerinin ve uygulama yöntemlerinin incelendiği, 20 benzetim çalışması yapılmıştır.

5.2.3.1 Sürekli temas (harç ile yüzeyel yapıştırma) ile uygulama

Çalışmada; bina modelinin cephesine, 15 mm klinker kaplama tuğla 4 mm yapıştırma harcı ile, 10 mm seramik karo 3 mm yapıştırma harcı ile, 3 mm porselen levha 2 mm yapıştırma harcı ile Şekil 5.12’de gösterildiği gibi uygulanmıştır.



Şekil 5.12 : Sürekli temas ile uygulanan kil esaslı cephe kaplama çalışması dış duvar kesit.

Çalışmanın benzetim hesap sonuçları enerji yükleri Çizelge 5.30’da verilmektedir. Kil esaslı malzemelerin özgün özellikleri Çizelge 5.21’de verilmiştir.

Çizelge 5.30: Kil esaslı cephe kaplama malzemelerinin sürekli temas yöntemi ile uygulanması sonucu oluşan enerji yükleri.

Kil esaslı malzeme türü	Yoğunluk	Isıtma yükü (kWh)	Soğutma yükü (kWh)	Toplam enerji yükü (kWh)
Klinker kaplama tuğla	yüksek	101.311	45.982	147.293
	düşük	102.140	44.612	146.752
Seramik	yüksek	102.168	45.471	147.639
	düşük	101.511	46.193	147.704
Porselen	yüksek	101.680	48.135	149.815
	düşük	101.174	46.312	147.486
En büyük fark		994	3.523	3.063
En düşük performans		Yüksek yoğunluklu seramik	Yüksek yoğunluklu porselen	Yüksek yoğunluklu porselen
En yüksek performans		Düşük yoğunluklu porselen	Düşük yoğunluklu klinker kaplama tuğla	Düşük yoğunluklu klinker kaplama tuğla

Kil esaslı farklı cephe kaplama malzemelerinin harç ile yapıştırılarak uygulandığı sistemlerde en düşük soğutma yükü ve toplam enerji yüklerini; düşük ısıl iletkenlik, güneş emicilik değerine sahip olan düşük yoğunluklu klinker kaplama tuğla göstermiştir. En yüksek soğutma yükünü ve toplam enerji yüklerini, en yüksek ısıl iletkenlik, yüksek ısıl emicilik, güneş emicilik değerlerinde olan yüksek yoğunluklu porselen oluşturmuştur.

Kış döneminde en düşük ısıtma yüklerini özgül ısısı yüksek olan düşük yoğunluklu porselen göstermiştir. Yüksek yoğunluklu seramik ise yüksek ısıl iletkenlik ve düşük özgül ısı özellikleriyle en yüksek ısıtma yükünü vermiştir. Yıllık en düşük toplam enerji yüklerini düşük soğutma yükü dolayısıyla düşük yoğunluklu klinker kaplama tuğla göstermiştir. En yüksek toplam enerji yüklerini ise en yüksek soğutma yüküne de sahip olan yüksek yoğunluklu porselen oluşturmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, malzeme değişiminin enerji yüklerine etkisinin doğal taş ve metal esaslı malzemelere göre daha az olduğu ve ısıtma, soğutma, toplam enerji yükleri arasında benzer farklar oluşturduğu söylenebilir.

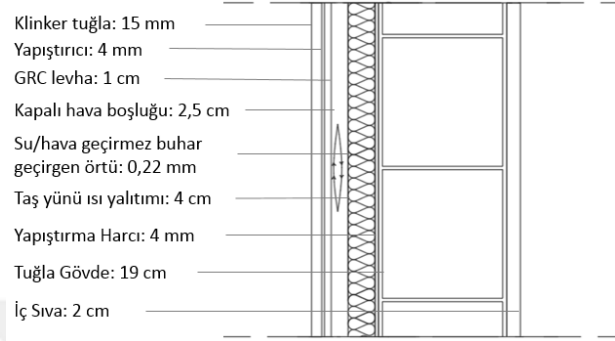
5.2.3.2 Havalandırılarak/havalandırılmadan asılan uygulama

Model binanın cephesinde, arkası 100 mm boşlukla havalandırılarak uygulanan 90 mm prese tuğla, 10 mm seramik karo, 3 mm porselen levha ve 25 mm boşlukla havalandırılmadan asılan 90 mm prese tuğla, 10 mm seramik karo, 3 mm porselen levha ile oluşturulan duvar kesitleri Şekil 5.13'te verilmiştir. Prese tuğla ile oluşturulan cephe sisteminin uygulamalarda pratiklik açısından diğer uygulamalara göre daha az kullanıldığı bilinmekle birlikte çalışmanın kapsamına alınarak enerji performansı değerlendirilmiştir.

Havalandırılarak asılan uygulama	Havalandırılmadan asılan uygulama
Kil esaslı cephe kaplama malzemesi: Değişken Havalandırma boşluğu: 10 cm Su/hava geçirmez buhar geçirgen örtü: 0,22 mm Taş yünü ısı yalıtımı: 4 cm Yapıştırma harcı: 4 mm Tuğla gövde: 19 cm İç sıva: 2 cm	Kil esaslı cephe kaplama malzemesi: Değişken Kapalı hava boşluğu: 2,5 cm Su/hava geçirmez buhar geçirgen örtü: 0,22 mm Taş yünü ısı yalıtımı: 4 cm Yapıştırma harcı: 4 mm Tuğla gövde: 19 cm İç sıva: 2 cm

Şekil 5.13 : Asılarak uygulanan kil esaslı cephe kaplama çalışması dış duvar kesit.

Model binanın cephesinde, 25 mm boşlukla havalandırılmadan asılan arkasında cam lifli kanallı levha yüzey olan 15 mm klinker kaplama tuğla ile oluşturulan duvar kesiti Şekil 5.14’te verilmiştir.



Şekil 5.14 : Havalandırılmadan asılma ile uygulanan klinker tuğla cephe kaplama çalışması dış duvar kesit.

Oluşturulan cephe sistemleriyle yapılan benzetimlerin hesap sonuçları havalandırılan ve havalandırılmayan sistemler için ısıtma, soğutma ve yıllık toplam enerji yükleri Çizelge 5.31’de verilmektedir.

Çizelge 5.31: Kil esaslı cephe kaplama malzemelerinin havalandırılarak ve havalandırılmadan asılan uygulanması sonucu oluşan enerji yükleri.

Kil esaslı malzeme türü	Havalandırma	VAR	YOK	VAR	YOK	VAR	YOK
	Yoğunluk	Isıtma (kWh)		Soğutma (kWh)		Toplam (kWh)	
Prese tuğla	yüksek	94.609	96.363	46.082	46.182	140.691	142.545
	düşük	93.445	95.134	44.500	44.563	137.945	139.697
Klinker kaplama	yüksek	-	98.130	-	45.920	-	144.050
	düşük	-	98.919	-	44.675	-	143.594
Seramik	yüksek	97.503	99.320	45.422	45.500	142.925	144.820
	düşük	96.962	98.755	46.067	46.159	143.029	144.914
Porselen	yüksek	96.617	98.407	46.541	46.637	143.158	145.044
	düşük	96.621	98.406	46.165	46.262	142.786	144.668
En büyük fark		4.058	4.186	1.978	2.074	5.213	5.347
En düşük performans		Yüksek yoğunluklu seramik	Yüksek yoğunluklu seramik	Yüksek yoğunluklu porselen	Yüksek yoğunluklu porselen	Yüksek yoğunluklu porselen	Yüksek yoğunluklu porselen
En yüksek performans		Düşük yoğunluklu prese tuğla	Düşük yoğunluklu prese tuğla	Düşük yoğunluklu prese tuğla	Düşük yoğunluklu prese tuğla	Düşük yoğunluklu prese tuğla	Düşük yoğunluklu prese tuğla

Farklı kil esaslı cephe kaplama malzemelerinin arkasında bir hava boşluğu bırakılarak havalandırıldığı ve havalandırılmadığı sistemlerde; düşük ısıl iletkenlik, yüksek ısıl emiciliğe sahip, yüzeyi pürüzlü düşük yoğunluklu prese tuğla tüm uygulamalardaki enerji yüklerinde en etkin performansı göstermiştir.

Bu yüksek performans, malzemenin çalışılan diğer kil esaslı malzemeler arasında belirgin şekilde kalın olması ile de ilişkilendirilebilir. Isıtma döneminde her iki uygulamada da en düşük performansı yüksek ısı iletkenlik ve düşük özgül ısı değerine sahip yüksek yoğunluklu seramik kaplama göstermiştir. Yaz dönemi soğutma ve yıllık toplam enerji yükünde en düşük performansı, yoğunluğu, ısı iletkenliği ve görünür emiciliği kil esaslı malzemeler içerisinde en yüksek olan yüksek yoğunluklu porselen göstermiştir. Bu malzemenin havalandırılmadan asılan uygulamadaki enerji performansı havalandırılarak asılan uygulamaya göre daha düşüktür. Her iki uygulamada da kil esaslı malzemenin değişmesi ısıtma ve toplam enerji yüklerinde benzer etkiler oluştururken en az soğutma yüklerine etki etmiştir.

5.2.3.3 Benzetim sonuçlarının değerlendirilmesi

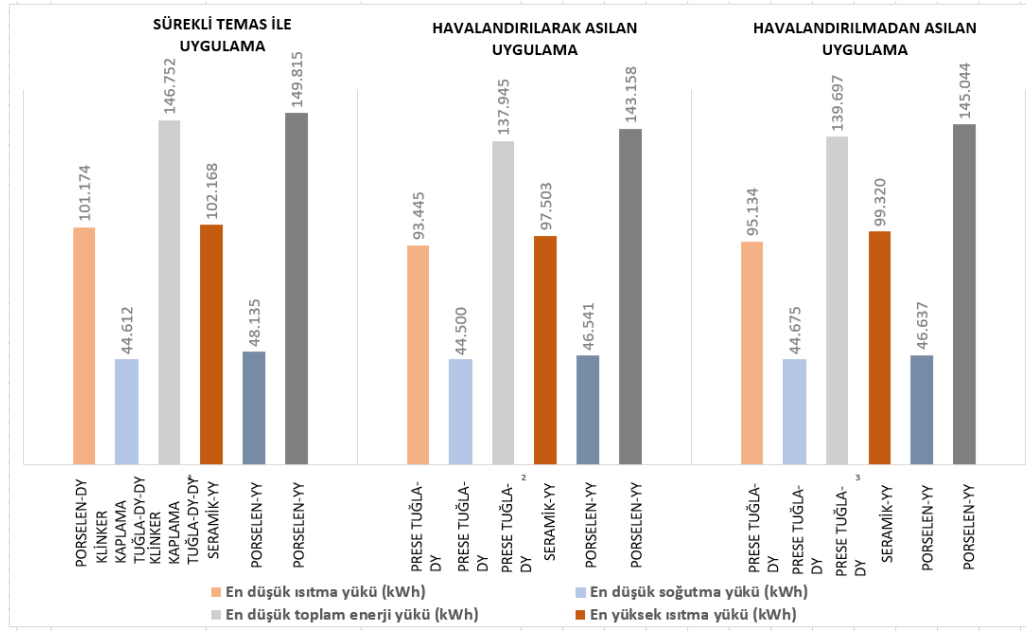
Kil esaslı malzemelerin enerji performansına etkisinin incelendiği çalışmada her uygulamada aynı malzemenin kullanılmamasına da bağlı olarak yıllık en düşük ve en yüksek enerji yükünü oluşturan malzemelerin değişkenlik gösterebildiği, ancak, genel anlamda benzerliklerin olduğu görülmüştür. Kil esaslı malzemelerin benzetim hesap sonuçları Çizelge 5.32’de verilmiştir.

Çizelge 5.32: Kil esaslı cephe kaplama malzemesi yıllık en düşük ve en yüksek enerji yükleri, kWh.

Enerji Yükleri	Sürekli temas ile uygulama	Havalandırılarak asılma ile uygulama	Havalandırılmadan asılma ile uygulama
En yüksek ısıtma yükü	Yüksek yoğunluklu seramik 102.168	Yüksek yoğunluklu seramik 97.503	Yüksek yoğunluklu seramik 99.320
En düşük ısıtma yükü	Düşük yoğunluklu porselen 101.174	Düşük yoğunluklu prese tuğla 93.445	Düşük yoğunluklu prese tuğla 95.134
En yüksek soğutma yükü	Yüksek yoğunluklu porselen 46.712	Yüksek yoğunluklu porselen 46.541	Yüksek yoğunluklu porselen 46.637
En düşük soğutma yükü	Düşük yoğunluklu klinker kaplama 44.612	Düşük yoğunluklu prese tuğla 44.500	Düşük yoğunluklu prese tuğla 44.675
En yüksek toplam enerji yükü	Yüksek yoğunluklu porselen 147.917	Yüksek yoğunluklu porselen 143.158	Yüksek yoğunluklu porselen 145.044
En düşük toplam enerji yükü	Düşük yoğunluklu klinker kaplama 146.752	Düşük yoğunluklu prese tuğla 137.945	Düşük yoğunluklu prese tuğla 139.697

Yapıştırılarak ve asılarak uygulama ile farklı özelliklere sahip kil esaslı cephe kaplama malzemelerinin benzetim çalışması sonuçlarına göre; tüm uygulamalarda en yüksek toplam enerji yüklerini, malzeme seçenekleri arasında en yüksek yoğunluk ve ısı iletkenlik değerlerine sahip yüksek yoğunluklu porselen göstermiştir.

En düşük toplam enerji yüklerini, harç ile yapıştırılarak sürekli temas ile uygulamada en düşük ısıl iletkenlik değerlerinden birine sahip olan düşük yoğunluklu klinker kaplama tuğla vermiştir. Asılarak uygulanan yöntemlerde düşük yoğunluklu prese tuğla en düşük toplam enerji yükünü oluşturmuştur. Bu malzemenin diğer malzemelerden farkı en düşük yoğunluk ve ısıl iletkenlik değerlerine sahip olmasıdır. Çalışmanın en düşük, en yüksek enerji yükü hesap sonuçları Şekil 5.15'te verilmiştir. Şekil 5.15'de 'DY' ifadesi düşük yoğunluklu malzeme örneklerini, 'YY' ifadesi ise yüksek yoğunluğu malzeme örneklerini göstermektedir.



Şekil 5.15 : Kil esaslı cephe kaplama benzetim sonuçları.

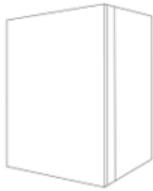
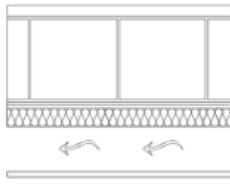
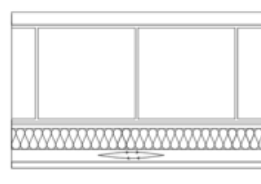
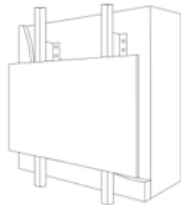
Benzetim çalışmaları enerji performans sonuçlarına göre:

- Malzeme değişiminin etkisi en fazla havalandırılmadan asılan uygulama, en az sürekli temas ile uygulamada gerçekleşmiştir.
- Malzemelerin yoğunluk artışının çoğunlukla ısıtma, soğutma ve toplam enerji yüklerinde artış meydana getirdiği görülmüştür.

5.2.4 Çimento esaslı cephe kaplama malzemeleri

Cephelerde yaygın olarak kullanılan çimento esaslı kaplama malzemelerinden; sıvanın sürekli temas ile uygulama yöntemi (doğrudan sürülerek-ETICS uygulaması) ve lifli çimento levhanın havalandırılarak asılan yöntem ve havalandırılmadan asılan yöntem ile uygulamalarının bina enerji performansına etkisi incelenmiştir.

Şekil 5.16’da farklı uygulamalarla çimento esaslı kaplama ile oluşturulan cephe sistemlerinin şematik plan ve perspektif görünüşleri verilmiştir.

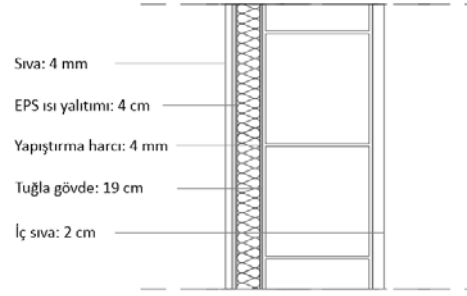
	Sürekli Temas ile Uygulama	Havalandırılarak Asılma ile Uygulama	Havalandırılmadan Asılma ile Uygulama
ETICS			
Plan		-	-
Perspektif		-	-
Lifli Çimento Levha			
Plan	-		
Perspektif	-		

Şekil 5.16 : Farklı uygulamalarla çimento cephe kaplama plan ve perspektif çizimler.

4 farklı çimento esaslı cephe kaplama malzemesi ve farklı uygulamalarla oluşturulan cephe sistemlerinin bina enerji performansına etkisi çalışılmıştır. Çimento esaslı cephe kaplama malzemelerinin ve uygulama yöntemlerinin incelendiği 8 benzetim çalışması yapılmıştır.

5.2.4.1 Sürekli temas (doğrudan sürülerek) ile uygulama

Bina modeline 4 mm dıştan ısı yalıtım sıvasının (ETICS uygulaması) doğrudan sürülerek uygulaması benzetim çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada uygulamada yaygın olarak kullanılmasından dolayı EPS ve XPS yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan duvar kesiti Şekil 5.17’de gösterilmektedir.



Şekil 5.17 : ETICS uygulaması plan ve perspektif çizimler.

Çizelge 5.33’te çalışmanın benzetim hesap sonuçları, Çizelge 5.22’de çimento esaslı malzemelerin özgül özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.33: Çimento esaslı cephe kaplama malzemesinin sürekli temas ile uygulanması sonucu oluşan enerji yükleri.

Çimento esaslı malzeme türü	Yoğunluk	Isıtma yükü (kWh)	Soğutma yükü (kWh)	Toplam enerji yükü (kWh)
Sıva+XPS	yüksek	101.836	46.268	148.104
	düşük	101.069	46.928	147.997
Sıva+EPS	yüksek	101.821	46.282	148.103
	düşük	101.051	46.933	147.984
En büyük fark		785	665	120
En düşük performans		Yüksek yoğunluklu sıva+XPS	Düşük yoğunluklu sıva+EPS	Yüksek yoğunluklu sıva+XPS
En yüksek performans		Düşük yoğunluklu sıva+EPS	Yüksek yoğunluklu sıva+XPS	Düşük yoğunluklu sıva+EPS

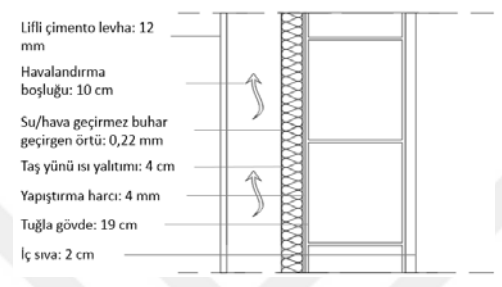
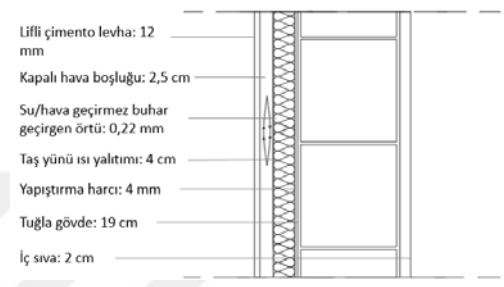
Sürekli temas yöntemi ile farklı 2 yalıtım malzemesi kullanılarak oluşturulan ETICS uygulaması benzetim çalışmasında enerji yükü sonuçları olasılıkla XPS ve EPS ısı yalıtım malzemesi ısıl iletkenlikleri eşdeğer alındığı için birbirine çok yakın/benzer oluşmuştur. Çalışmanın hesap sonuçlarına göre; yüksek yoğunluklu sıva ile birlikte XPS yalıtım malzemesi kullanımı en yüksek ısıtma ve toplam enerji yüklerini oluşturmuştur. Düşük yoğunluklu sıva ile birlikte EPS kullanımı ise tersi bir davranışla en düşük ısıtma ve toplam enerji yüklerini meydana getirmiştir.

Soğutma döneminde en düşük enerji yükünü yüksek yoğunluklu sıva XPS yalıtım malzemesi kullanımı ile gösterirken en yüksek yükleri, düşük yoğunluklu sıva EPS ile meydana getirmiştir. Bu çalışmadaki yüksek yoğunluklu sıvayı düşük yoğunluklu sıvadan ayıran özellikler daha yüksek ısıl iletkenlik değerine ve daha fazla pürüzlülüğe sahip olmasıdır.

Enerji yükleri incelendiğinde, sıvanın düşük ya da yüksek yoğunluklu olması en fazla ısıtma yükü, en az ise soğutma yükü üzerinde değişiklik meydana getirmiştir.

5.2.4.2 Havalandırılarak/havalandırılmadan asılan uygulama

Çalışmada, arkası 100 mm boşlukla havalandırılarak ve 25 mm boşlukla havalandırılmadan asılan 12 mm lifli çimento levhanın, modelin cephesine uygulanarak Şekil 5.18’de gösterilen benzetim çalışmaları yapılmıştır.

Havalandırılarak asılan uygulama	Havalandırılmadan asılan uygulama
 Lifli çimento levha: 12 mm Havalandırma boşluğu: 10 cm Su/hava geçirmez buhar geçirgen örtü: 0,22 mm Taş yünü ısı yalıtımı: 4 cm Yapıştırma harcı: 4 mm Tuğla gövde: 19 cm İç sıva: 2 cm	 Lifli çimento levha: 12 mm Kapalı hava boşluğu: 2,5 cm Su/hava geçirmez buhar geçirgen örtü: 0,22 mm Taş yünü ısı yalıtımı: 4 cm Yapıştırma harcı: 4 mm Tuğla gövde: 19 cm İç sıva: 2 cm

Şekil 5.18 : Asılarak uygulanan çimento esaslı cephe kaplama çalışması dış duvar kesit.

Çalışmadan elde edilen enerji yükü sonuçları Çizelge 5.34’te verilmektedir.

Çizelge 5.34: Çimento esaslı cephe kaplama malzemelerinin havalandırılarak ve havalandırılmadan asılan uygulanması sonucu oluşan enerji yükleri.

Çimento esaslı malzeme türü	Havalandırma	VAR	YOK	VAR	YOK	VAR	YOK
	Yoğunluk	Isıtma (kWh)		Soğutma (kWh)		Toplam (kWh)	
Lifli çimento levha	yüksek	96.337	98.114	46.091	46.183	142.428	144.297
	düşük	95.857	97.579	43.849	43.890	139.706	141.469
En büyük fark		480	535	2.242	2.293	2.722	2.828
En düşük performans		Yüksek yoğunluklu lifli çimento levha	Yüksek yoğunluklu lifli çimento levha	Yüksek yoğunluklu lifli çimento levha	Yüksek yoğunluklu lifli çimento levha	Yüksek yoğunluklu lifli çimento levha	Yüksek yoğunluklu lifli çimento levha
En yüksek performans		Düşük yoğunluklu lifli çimento levha	Düşük yoğunluklu lifli çimento levha	Düşük yoğunluklu lifli çimento levha	Düşük yoğunluklu lifli çimento levha	Düşük yoğunluklu lifli çimento levha	Düşük yoğunluklu lifli çimento levha

Havalandırılarak ve havalandırılmadan asılan lifli çimento levha ile yapılan benzetim sonuçlarına göre; en yüksek ısıtma, soğutma ve toplam enerji yüklerini yüksek yoğunluklu malzeme, en düşük enerji yüklerini düşük yoğunluklu malzeme meydana getirmiştir. Yüksek yoğunluklu lifli çimento levha, düşük yoğunluklu olan malzemeye göre yüksek ısıl iletkenlik ve yoğunluk değerlerine sahiptir (Lifli çimento levha özgün özellikleri için bkz. Çizelge 5.21). Malzemenin özelliklerinin değişmesi soğutma ve toplam enerji yükleri üzerinde ısıtma yüküne göre daha büyük bir fark oluşturmuştur.

5.2.4.3 Benzetim sonuçlarının değerlendirilmesi

Yapılan benzetim çalışması sonuçlarına göre, farklı uygulamalarla cephe sistemlerine dahil edilen sıva ve lifli çimento levhanın toplam enerji yüklerinde belirgin farklılıklar görülmüştür. Çalışmanın benzetim hesap sonuçları Çizelge 5.35’de özetlenmiştir.

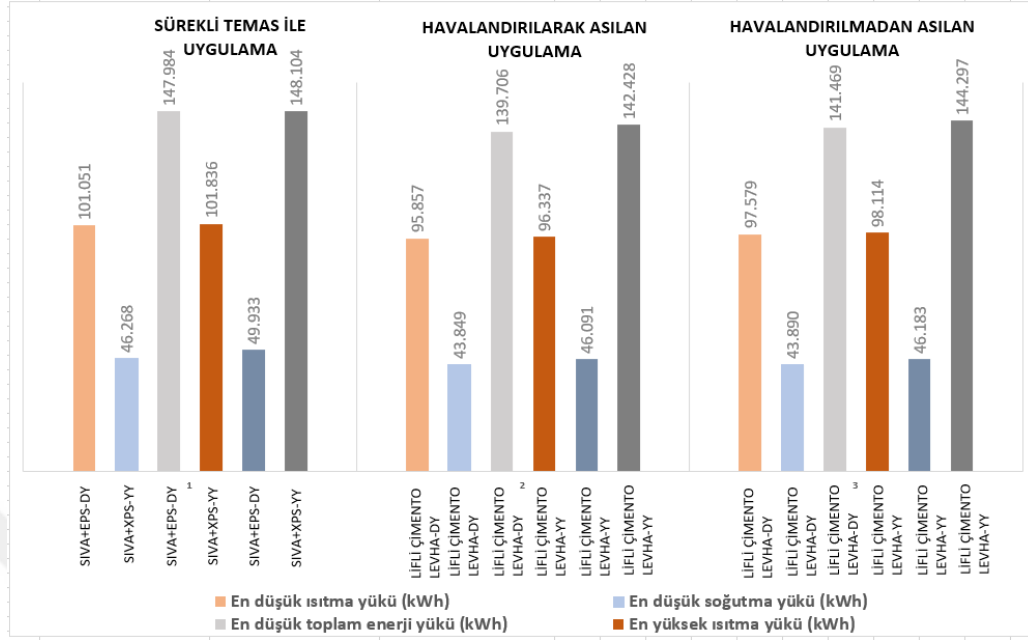
Çizelge 5.35: Çimento esaslı cephe kaplama malzemesi yıllık en düşük ve en yüksek enerji yükleri, kWh.

Enerji Yükleri	Sürekli temas ile uygulama	Havalandırılarak asılma ile uygulama	Havalandırılmadan asılma ile uygulama
En yüksek ısıtma yükü	Yüksek yoğunluklu sıva+XPS 101.836	Yüksek yoğunluklu lifli çimento levha 96.337	Yüksek yoğunluklu lifli çimento levha 98.114
En düşük ısıtma yükü	Düşük yoğunluklu sıva+EPS 101.051	Düşük yoğunluklu lifli çimento levha 95.857	Düşük yoğunluklu lifli çimento levha 97.579
En yüksek soğutma yükü	Düşük yoğunluklu sıva+EPS 49.933	Yüksek yoğunluklu lifli çimento levha 46.091	Yüksek yoğunluklu lifli çimento levha 46.183
En düşük soğutma yükü	Yüksek yoğunluklu sıva+XPS 46.268	Düşük yoğunluklu lifli çimento levha 43.849	Düşük yoğunluklu lifli çimento levha 43.890
En yüksek toplam enerji yükü	Yüksek yoğunluklu sıva+XPS 148.104	Yüksek yoğunluklu lifli çimento levha 142.428	Yüksek yoğunluklu lifli çimento levha 144.297
En düşük toplam enerji yükü	Düşük yoğunluklu sıva+EPS 147.984	Düşük yoğunluklu lifli çimento levha 139.706	Düşük yoğunluklu lifli çimento levha 141.469

ETICS uygulaması ve lifli çimento levhanın asılarak uygulamasının benzetimleri yapılmıştır. ETICS uygulamasında yüksek ısı iletkenlik özelliğine sahip olan yüksek yoğunluklu sıva ile birlikte XPS yalıtım malzemesi en yüksek toplam enerji yüklerini oluşturmuştur. Bu uygulama düşük soğutma yükleri gösterirken, daha yüksek miktarda ısıtma yükleri oluşturmasıyla yüksek toplam enerji yükü meydana getirmiştir. Düşük yoğunluklu sıva ile birlikte EPS yalıtım malzemesi tam tersi bir sonuç vermiştir.

Asılarak uygulamalarda ise düşük ısı iletkenlik ve yüksek özgül ısı özelliği gösteren düşük yoğunluklu lifli çimento levha en düşük enerji yüklerini göstermiştir. Bu malzeme ısıtma ve soğutmada düşük enerji yükleri oluşurarak, yüksek toplam enerji performansı göstermiştir. Yüksek yoğunluklu lifli çimento levha ise yüksek ısıtma ve soğutma yükleri, dolayısıyla düşük toplam enerji performansı oluşturmuştur.

Çalışmanın farklı malzemeler ve uygulama yöntemleriyle en düşük, en yüksek ısıtma, soğutma ve yıllık toplam enerji yükü sonuçları Şekil 5.19’da verilmiştir. Şekil 5.19’da ‘DY’ ifadesi düşük yoğunluklu, ‘YY’ ifadesi ise yüksek yoğunluklu malzemeyi tanımlamaktadır.



Şekil 5.19: Çimento esaslı cephe kaplama benzetim sonuçları.

Sıva ve lifli çimento levha ile yapılan benzetim çalışması sonuçlarına göre:

- Düşük yoğunluklu sıva ve yüksek yoğunluklu sıvanın ısıtma ve soğutma enerjisi açısından davranışlarında genel anlamda ters yönlü bir ilişki olduğu görülmektedir.
- Sıva malzemesinin yoğunluk artışının ısıtma ve toplam enerji yükünde artış, soğutma yükünde azalış meydana getirdiği görülmüştür.
- Lifli çimento levhada yoğunluk artışının ısıtma, soğutma ve toplam enerji yüklerinde artış meydana getirdiği görülmüştür.

5.3 Benzetim Sonuçları ve Genel Değerlendirme

Doğal taş, metal, kil ve çimento esaslı cephe kaplama malzemeleri ve uygulama yöntemleri ile ilgili 90 adet benzetim çalışmasından elde edilen hesap sonuçları her malzeme türü özelinde incelenmiş, ayrıca tüm malzemelerin birbirleri ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi yapılmıştır.

Doğal taş cephe kaplama malzemelerinin ve uygulama yöntemlerinin incelendiği 42 adet benzetim çalışması sonuçlarına göre; yüksek yoğunluklu granit sürekli temas yöntemi ile uygulandığında en yüksek olmakla beraber her üç uygulamada da en yüksek ısıtma ve toplam enerji yükünü oluşturmuştur.

Üç uygulama yöntemi ile düşük yoğunluklu traverten benzer şekilde en düşük ısıtma ve en yüksek soğutma yükünü oluşturmuştur. Düşük yoğunluklu kireçtaşı tüm uygulamalarla en düşük soğutma yükü ve toplam enerji yükünü oluşturmuştur. Model binanın cephesine düşük yoğunluklu kireçtaşı havalandırılarak asılma yöntemiyle uygulandığında en düşük yıllık enerji tüketimini oluşturmuştur.

Metal esaslı cephe kaplama malzemelerinin ve uygulama yöntemlerinin incelendiği 20 adet benzetim çalışmasının sonuçlarına göre en yüksek toplam enerji yüklerini kenet sistem ile arkası havalandırılan galvanizli çelik üzerine uygulanan düşük yoğunluklu titanyum çinko, en düşük toplam enerji yüklerini düşük yoğunluklu alüminyum kompozit levha vermiştir.

Kil esaslı cephe kaplama malzemelerinin ve uygulama yöntemlerinin incelendiği 20 adet benzetim çalışmasına göre, tüm uygulamalarda olmakla beraber en yüksek ısıtma yüklerini yüksek yoğunluklu seramik sürekli temas ile uygulamada vermiştir. Düşük yoğunluklu prese tuğla asılma yöntemi ile uygulandığında yazın soğutma, kışın ısıtma ve yıllık toplamda en düşük enerji yüklerini oluşturmuştur. Tüm uygulamalarda yüksek yoğunluklu porselen hem en yüksek soğutma hem de en yüksek toplam enerji yükünü vermiştir. Toplamda en enerji etkin sonucu ise havalandırılarak asılan uygulama ile düşük yoğunluklu prese tuğla göstermiştir.

Çimento esaslı cephe kaplama malzemelerinin ve uygulama yöntemlerinin incelendiği 8 adet benzetim çalışması sonucuna göre, en yüksek ısıtma yükünü XPS yalıtımlı, yüksek yoğunluklu sıva sürekli temas yöntemiyle, en düşük yükü düşük yoğunluklu lifli çimento levha havalandırılarak asılma yöntemiyle göstermiştir. Soğutma yükü incelendiğinde en yüksek yükü EPS yalıtımlı, düşük yoğunluklu sıva sürekli temas ile uygulamada, en düşük yükü düşük yoğunluklu lifli çimento levha havalandırılarak asılan uygulamada vermiştir. Toplam enerji yüklerinde ise en yüksek yükleri XPS yalıtımlı, yüksek yoğunluklu sıva sürekli temas ile uygulamada, en düşük yükleri düşük yoğunluklu lifli çimento levha havalandırılarak asılan uygulamada göstermiştir.

Doğal taş, metal, kil ve çimento esaslı malzemelerin enerji performans sonuçları karşılaştırıldığında:

- Farklı uygulamalarla yoğunlukla yoğunluğu, ısı iletkenliği ve güneş emiciliği düşük, özgül ısı yüksek cephe kaplama malzemeleri enerji etkin sonuçlar oluşturmuştur.

- Çalışılan farklı cephe kaplama malzemelerinin havalandırılarak asılan yöntemle uygulanmasının ısıtma, soğutma ve toplam enerji performansını arttırarak havalandırılmadan asılan ve sürekli temas ile uygulanan yöntemlere göre daha enerji etkin sonuçlar oluşturduğu görülmüştür.
- Malzeme değişimi ile doğal taş kaplamalarda ısıtma yükünde bu çalışmanın şartları ile yaklaşık %10, soğutma yükünde %11, toplam enerji yüklerinde %4'lük azalış oluşmuştur.
- Farklı metal esaslı malzeme örnekleri ile kış döneminde ısıtma yükünde yaklaşık %6, yaz döneminde soğutma yükünde %10, yıllık toplam enerji yüklerinde %2'lik azalış olduğu belirlenmiştir.
- Kil esaslı cephe kaplama malzemesinin farklı seçenekleri ile yapılan çalışmalarda ısıtma yükünde yaklaşık %9, soğutma yükünde %8, yıllık toplam enerji yüklerinde %8'lik azalış görülmüştür.
- Çimento esaslı farklı kaplama malzemeleri ile yapılan çalışmalarda ısıtma yükünde yaklaşık %6, soğutma yükünde %12, yıllık toplam enerji yüklerinde %6'lık azalış meydana gelmiştir.

Çizelge 5.36'da gösterilen tüm cephe kaplama malzemelerinin ve uygulama yöntemlerinin karşılaştırmalı sonuçlarına göre genel olarak en yüksek yükler sürekli temas yöntemi ile, en düşük yükler ise havalandırılarak asılma yöntemi ile oluşmuştur.

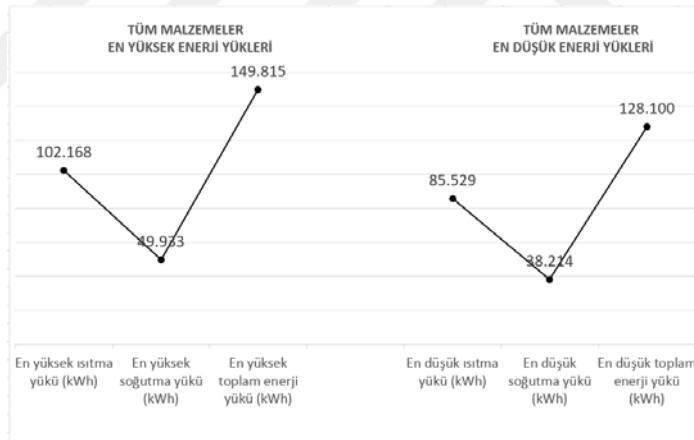
Çizelge 5.36: Cephe kaplama malzemesi ve uygulama yöntemleri karşılaştırmalı enerji yükü azalış oranları.

Enerji Yükleri	Malzeme Türü	Cephe kaplama malzemesi ve uygulama yöntemi	Enerji yükü azalış oranı
En yüksek ısıtma yükü	Kil esaslı malzeme	Sürekli temas ile uygulanan yüksek yoğunluklu seramik	%16
En düşük ısıtma yükü	Doğal taş malzeme	Havalandırılarak asılan düşük yoğunluklu traverten	
En yüksek soğutma yükü	Çimento esaslı malzeme	Sürekli temas ile uygulanan EPS yalıtım malzemeli siva (ETICS)	%24
En düşük soğutma yükü	Doğal taş malzeme	Havalandırılarak asılan düşük yoğunluklu kireçtaşı	
En yüksek toplam enerji yükü	Kil esaslı malzeme	Sürekli temas ile uygulanan yüksek yoğunluklu porselen	%15
En düşük toplam enerji yükü	Doğal taş malzeme	Havalandırılarak asılan düşük yoğunluklu kireçtaşı	

Opak, inorganik cephe kaplama malzemeleri ile yapılan çalışmada, enerji performansı en iyi seçenekler, havalandırılarak uygulanan sistem ile gerçekleşmiştir.

Isıtma yüklerinde düşük yoğunluklu traverten, soğutma ve toplam enerji yüklerinde düşük yoğunluklu kireçtaşı en iyi performansı vermiştir. Enerji tüketiminin en fazla olduğu seçenekler ise sürekli temas uygulaması ile meydana gelmiştir. Bu uygulamayla yüksek yoğunluklu seramik en yüksek ısıtma yükünü, EPS yalıtım malzemeli, sürekli temas ile uygulanan sıva (ETICS) uygulaması en yüksek soğutma yükünü, yüksek yoğunluklu porselen en yüksek toplam enerji yüklerini oluşturmuştur.

Tüm malzeme türlerinin enerji yükü sonuçları karşılaştırıldığında en düşük ve en yüksek değerleri veren uygulamalar ile; toplam enerji yükünün bu çalışmanın kabulleriyle yaklaşık olarak %15'e kadar, ısıtma yükünün benzer şekilde %16'ya kadar, soğutma yükünün %24'e kadar azalabileceği belirlenmiştir. Opak, inorganik cephe kaplama malzemeleri ve uygulama yöntemlerinin bina enerji performansına etkilerinin daha net karşılaştırılabilmesi için yapılan tüm benzetim hesapları sonucunda elde edilen en yüksek ve en düşük ısıtma, soğutma, toplam enerji yükleri Şekil 5.20'deki grafikte verilmiştir.



Şekil 5.20: Tüm çalışmanın en düşük ve en yüksek enerji yükleri.

Dört farklı malzeme grubunun kendi içinde üç farklı uygulama yöntemiyle yapılan benzetimlerinin en uç sonuçlarının özetini içeren grafikte; İstanbul iklimi için ısıtma yüklerinin soğutma yüklerinden fazla olduğu, malzeme ve uygulama yöntem değişiminin etkisinin ısıtma ve toplam enerji yüklerinde benzer olmakla beraber en fazla soğutma yükleri üzerinde etkili olduğu, yıllık toplam enerji yüklerinin belirgin bir şekilde değiştiği görülmüştür. Değerlendirmeler sonucunda, kütsel tasarım kararları ile birlikte cephe kaplama malzemesi ve uygulanma yöntemi seçiminin enerji etkin bina kabuklarının oluşturulmasına önemli katkılar sağlayabileceği görülmektedir.

6. SONUÇ

Binalarda enerji tüketiminde büyük bir öneme sahip olan ısıtma-soğutma yüklerinin azaltılmasına yönelik enerji etkin cephe tasarımı ile ilgili, dış cephe kaplama malzemeleri ve uygulama yöntemlerinin etkilerinin araştırıldığı tez çalışmasında çevresel etmenler gözetilerek, kütleli ve yapısal tasarım kararları ile birlikte binalarda yüksek enerji performansının bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda çalışma, özgün literatür araştırması, uygulanmış konut projelerinden bina tipolojisi çıkarılması, cephe kaplama malzemeleri özgün özelliklerinin derlenmesi ve benzetim çalışmaları ile değerlendirme süreçlerini kapsamaktadır.

Tez çalışmasında, özellikle İstanbul ili iklim şartlarında, 73 adet ön benzetim sonucunda oluşturulan bina modeli kullanılarak, inorganik esaslı opak malzemeler olan; doğal taş, metal, kil, çimento esaslı malzemelerin sürekli temas ile uygulama, havalandırılarak ve havalandırılmadan asılan uygulamaları 90 benzetim çalışması ile incelenmiştir. Bu çalışmalarda Design Builder benzetim programı kullanılmış ve oluşturulan bina modellerinin ısıtma, soğutma, yıllık enerji yükü sonuçları değerlendirilmiştir.

Tez çalışmasının genel sonuçları aşağıdaki maddelerde görüldüğü gibi özetlenebilir:

- Kare formlu, düşük kat sayısına sahip, güney yönelimli, cephe boşluk-doluluk oranı düşük, yalıtım katmanlı binaların yüksek enerji performansı gösterebileceği belirlenmiştir.
- Cephe kaplama malzemeleri özgün özelliklerinden yoğunluk, ısı iletkenlik ve güneş emiciliğin azalmasının, özgül ısının artmasının çoğunlukla soğutma yükünü düşürerek bina enerji performansına katkı sağlayabileceği belirlenmiştir.
- Noktasal tespit uygulamalarının sürekli temas uygulamalarına göre daha etkin enerji performansı gösterebileceği, havalandırılarak asılan yöntemin ise en iyi performans sonuçlarını oluşturduğu belirlenmiştir.

- Havalandırılarak asılan yöntemle oluşan hava baca etkisinin, iklim, kütleli ve yapısal kararlara da bağılı olarak, belirli bir havalandırma boşluğu genişliğine kadar ısıtma döneminde ve radyasyon varlığında enerji performansına katkı sağlayabileceğı, soğutma döneminde ise boşluktan ısı çıkışını sağlayarak enerji performansına (pasif) katkı sağlayabileceğı görülmüştür.
- Havalandırılmadan asılan yöntemle oluşturulan kapalı hava boşluğunun çevresel etmenler ve yapısal kararlara bağılı olarak, belirli bir boşluk genişliğine kadar ısıtma dönemlerinde ısı yalıtım görevi yapabileceğı, genişlik arttıkça oluşan hava hareketi sonucu taşınım yolu ile ısıl geçirgenliğin artmasının bina enerji performansına olumsuz etki edebildiğı görülmüştür. Soğutma dönemlerinde ise bu boşluğun taşınım etkisiyle enerji performansını azaltabileceğı belirlenmiştir.
- Opak, inorganik cephe kaplama malzemeleri içerisinde genel olarak, en yüksek performansın doğal taş esaslı malzemeler ile havalandırılarak asılan uygulamalarda oluştuğı, en düşük performansın ise ağırlıklı olarak kil esaslı malzemeler ile sürekli temas uygulamalarında oluştuğı görülmüştür.
- İnorganik esaslı opak cephe kaplama malzemeleri ve uygulamaları ile yapılan benzetim hesap sonuçları karşılaştırıldığında farklı malzeme ve uygulama yöntemi seçimi ile İstanbul ikliminde ve çalışmanın kabulleriyle yıllık yaklaşık %15'e kadar daha iyi enerji performansı sağlanabileceğı belirlenmiştir.

Çalışmanın sonuçlarına göre, yüksek enerji performanslı yapı kabuklarının oluşturulmasında cephe kaplama malzemeleri, uygulama yöntemleri ile kütleli tasarım kararlari parametrelerinin önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçların literatürdeki özgün araştırmaların genel sonuçlarıyla paralellik göstermekle birlikte, bu çalışmanın veri ve kabullerine bağılı olarak enerji performansı odaklı olarak yapıldığı ve benzetim programlarının hata payının olabileceğı göz önünde bulundurulmalıdır.

İleride yapılacak çalışmalarda, sürdürülebilirlik yaklaşımıyla özellikle havalandırılarak asılan uygulamaların enerji performansına etkileri ve uygun malzeme seçeneklerinin oluşturulması ile ilgili araştırmaların farklı iklim verileri, yapı tipi, malzemeler, araştırma yöntemleri ile detaylandırılarak yapılması daha etkin çözümlerin oluşturulmasına katkı sağlayacaktır.

Ayrıca, gelecek çalışmalarda organik cephe kaplama malzemeleri ile birlikte karşılaştırmalı olarak değerlendirmelerin yapılması önerilmektedir. Böylece, enerji etkinliğin öneminin giderek arttığı günümüzde, yüksek enerji performanslı yapı kabuğu çözümlerine yönelik alternatiflerin üretilmesine ve bu konudaki bilincin artırılmasına katkı sağlanabileceği düşünülmektedir.





KAYNAKLAR

- Abbas, H., Tan, K. H.** (2014). *Advanced Construction Technology*, China.
- Adrian, C. Z. M., Hien, W. N., Marcel, I., Kardinal, J. S.** (2013). Predicting the envelope performance of commercial office buildings in Singapore, *Energy and Buildings*, 66, 66-76.
- Aksamija, A.** (2013). *Sustainable facades: design methods for high-performance building envelopes*, USA.
- Aksamija, A., Peters, T.** (2016). Heat Transfer in Facade Systems and Energy Use: Comparative Study of Different Exterior Wall Types. *Journal of Architectural Engineering*. 23, C5016002 1-17.
- Alonso, C., Oteiza, I., Navarro, J. G., Martín-Consuegra, F.** (2016). Energy consumption to cool and heat experimental modules for the energy refurbishment of facades. Three case studies in Madrid, *Energy and Buildings*, 126, 252-262.
- Alonso, C., Martín-Consuegra, F., Oteiza, I., Asensio, E., Pérez, G., Martínez, I., Frutos, B.** (2017). Effect of façade surface finish on building energy rehabilitation. *Solar Energy*, 146, 470-483.
- ASHRAE 55-2017.** (2019). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. ANSI.
- ASHRAE 62.1-2019.** (2019). *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. ANSI.
- ASHRAE 90.1-2019.** (2019). *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. ANSI.
- ASHRAE 90.2-2018.** (2018). *Energy- Efficient Design of Low Rise Residential Buildings*. ANSI.
- Astorqui, J. S. C., Porras-Amores, C.** (2017). Ventilated Facade with double chamber and flow control device, *Energy and Buildings*. 149, 471-482.
- ASTM C1528/C1528M-20.** (2020). *Standard Guide for Selection of Dimension Stone for Exterior Use*.
- Balocco, C.** (2002). A simple model to study ventilated facades energy performance. *Energy and Buildings*, 34, 469-473.
- Balocco, C., Grazzini, G., Cavalera, A.** (2007). Transient analysis of an external building cladding, *Energy and Buildings*, 40 (7), 1273–1277.
- Barreira, E., Freitas, V. P. ve Delgado. J. M.,** (2013). Hygrothermal Behavior, Building Pathology and Durability. E., Freitas, V. P. ve Delgado. J. M. (Eds). *Biological Defacement of External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS)*, (23-45), Berlin : Springer.

- Bechthold, M., Kane, A.J., King, N.L.** (2015). *Ceramic Material Systems: in Architecture and Interior Design*, Germany.
- Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği.** (2008). T.C. Resmi Gazete, 27075, 5 Aralık 2008.
- Blanco, J. M., Arriaga, P., Rojí, E., Cuadrado, J.** (2014). Investigating the thermal behavior of double-skin perforated sheet façades: Part A: Model characterization and validation procedure. *Building and Environment*, 82, 50-62.
- Bolz, R. E., Tuve, G. L.** (1973). *CRC Handbook of Tables for Applied Engineering Science*, 2nd edition, United States of America.
- Borch, I.T., Keuning, D., Kruit, C., Melet, E., Peterse, D.K., Vollard, P., Vries, T.D., Zijlstra.** (2004). *Skins for buildings the architect's materials samples book*, Amsterdam.
- Bougiatioti, F., Evangelinos, E., Poulakos, G., Zacharopoulos, E.** (2009). The summer thermal behaviour of “skin” materials for vertical surfaces in Athens, Greece as a decisive parameter for their selection. *Solar Energy*, 83, 582-598.
- Brookes, A.J, Meijs, M.** (2008), *Cladding of materials*, New York.
- BS 5628-1.** (2005). *Code of practice for the use of masonry - Part 1: Structural use of unreinforced masonry*. İngiltere.
- Buratti, C., Palladino, D., Moretti, E., Palma, R. D.** (2018). Development and optimization of a new ventilated brick wall: CFD analysis and experimental validation, *Energy and Buildings*, 168, 284-297.
- Camino, S., Llorente, A., Leon, F. J., Olivar, J. M.** (2016). *World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium 2016, WMCAUS*, (Paper no.161), 2016.
- Cardarelli, F.** (2000). *Materials Handbook* . USA.
- Camposinhos, R. S.** (2014). *Stone Cladding Engineering*, Portugal.
- CEN/TR 17024.** (2017). *Doğal taşlar – doğal taşların kullanılması için kılavuz*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- Ceylan, H.** (2016). Donma-Çözünme Çevrimlerinin Isparta Andezit Taşının Fiziko-Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi, *Journal of Technical Science*, 2, 7-12.
- Chan, H. Y., Riffat, S. B., Zhu, J.** (2010). Review of passive solar heating and cooling technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 781-789.
- Ciampi, M., Leccese, F., Tuoni, G.** (2013). Ventilated facades energy performance in summer cooling of buildings, *Solar Energy*, 75 (6), 491-502.
- Delgado, J. M. P. Q., Azevedo, A. C., Guimarães, A. S.** (2019). Kinetics in Building Materials and Components The Interface Influence, Switzerland.
- Dondi, M., Mazzanti, F., Principi, P., Raimondo, M., Zanarini, G.** (2004). Thermal Conductivity of Clay Bricks. *Journal of materials in civil engineering*, 16, 8-14.

- Duggal, S.K. (2007). *Building materials*, New York.
- Dünya Çevre Kalkınma Komisyonu. (1987). Report of the World Commission on Environment and Development (WCED): Our Common Future. Oxford: Oxford University Press.
- EİGM. (2017). *Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Denge Tablosu 2017*. Erişim: 02.01.2020, <https://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tablolari/Denge-Tablolari>.
- Enerji ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Arttırılmasına Dair Yönetmelik. (2011) *T.C. Resmi Gazete*, 28097, 27 Ekim 2011.
- Eriç, M., (2002) *Yapı Fiziği ve Malzemesi*, Literatür, İstanbul.
- ETAG 004. (2013). *Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) with Rendering*. European Organisation for Technical Approvals (EOTA), Brussels.
- Fantucci, S., Marinosci C., Serra, V., Carbonaro, C. (2016). Thermal performance assessment of an opaque ventilated façade in the summer period: calibration of a simulation model through in-field measurements, *Energy Procedia*, 111, 619-628.
- Fernández, C. A., Vivancos, J. L., Gisbert, P. F. (2014). Energy performance of a ventilated façade by simulation with experimental validation. *Applied Thermal Engineering*, 66, 563-570
- Foster, J. S. (1996). Mitchell's Building Series Structure and Fabric Part 1 Fifth Edition, Longman, Essex, İngiltere.
- FVHF project group. (2018). *FVHF Guideline : Planning and Constructing Rear-Ventilated Rainscreen Façades*. Berlin. <<https://www.fvhf.de/facade/index.php>> erişim tarihi 03.05.2020.
- Gagliano, A., Nocera, F., Aneli, S. (2016). Thermodynamic analysis of ventilated facades under different wind conditions in summer period, *Energy and Buildings*, 122, 131-139.
- Giancola, E., Sanjuan, C., Blanco, E., Heras, M.R. (2012). Experimental evaluation and modeling of the performance of an open-ventilated facade under real conditions in the Mediterranean climate, *Energy and Buildings*, 54, 363-375.
- Govaerts, Y., Hayen, R., Bouw, M. D., Verdonck, A., Meulebroeck, W., Mertens, S., Grégoire, Y. (2018). Performance of a lime-based insulating render for heritage buildings, *Construction and Building Materials*, 156, 376.
- Grondzik, W. T., Kwok, A. G., Stein, B., Reynolds, J. S. (1980). *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings*. United State of America.
- Guillén, I., Gómez-Lozano, V., Fran, J. M., López-Jiménez, P. A. (2014) Thermal behavior analysis of different multilayer facade: Numerical model versus experimental prototype. *Energy and Buildings*, 79, 184-190.
- Gündüz, L., Şapcı, N., Karıcı, M. (2013). Mermerlerin Isıl Performansı ve Binalarda Enerji Verimliliğine Etkilerinin İncelenmesi, 8. *Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi*, (s. 27-36). Aralık 2013.

- Hegger, M., Auch-Schwelk, V., Fuchs, M., Rosenkranz, T.** (2006). *Construction Materials Manual*. Munich : Edition Detail.
- Hegger, M., Fuchs, M., Stark, T., Zeumer, M.** (2008). *Energy Manual : Sustainable Architecture*.
- Henninger, J. H.** (1984). *Solar Absorptance and Thermal Emittance of Some Common Spacecraft Thermal-Control Coatings*, NASA Reference Publication.
- Herzog, T., Krippner, R., Lang, W.** (2004). *Facade Construction Manual*, Munich.
- Hugues, T., Steiger, L., Weber, J.** (2005). *Dressed Stone: Types of Stone, Details, Examples*. Munich : Edition Detail ; Basel ; Boston : Birkhäuser.
- Hunt, R. E.** (2007). *Characteristics of geologic materials and formations : A field guide for geotechnical engineers*, Amerika Birleşik Devletleri.
- Hugues, T., Steiger, L., Weber, J.** (2005). *Dressed Stone: Types of Stone, Details, Examples*. Munich : Edition Detail ; Basel ; Boston : Birkhäuser.
- Ibañez-Puy, M., Vidaurre-Arbizu, M., Sacristán-Fernández, J. A., Martín-Gómez, C.** (2017). Opaque Ventilated Façades: Thermal and energy performance review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 180-191.
- ISO 19208.** (2016). *Framework for specifying performance in buildings*. Switzerland.
- İMSAD.** (2014). *Binalarda Enerji Verimliliği ve Finansmanı Raporu*. İstanbul: Türkiye İnşaat Malzemesi Sanayiciler Derneği.
- İzoder Isı, Su, Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği.** (2013). *İnşaat Teknolojisi-Isı Yalıtımı*.
- Kakani, S. L., Kakani, A.** (2004). *Material Science*. New age international publisher.
- Kaltenbach, F.** (2004). *Translucent Materials Glass Plastics Metals*, Birkhäuser.
- Knaack, U., Klein, T., Bilow, M., Auer, T.** (2007). *Façades, Principles of Construction*, Birkhäuser Verlag, Germany.
- Kocataşkın, F.** (1966). *Yapı malzemesi bilimi*. İstanbul : Ece.
- Lawson, B.** (1996). *Building Materials Energy and The Environment/Towards Ecologically Sustainable Development*, The Royal Australian Institute of Architect, Avustralya.
- Li, Y., Ren, S.** (2011). *Building decorative materials*. Cambridge : Woodhead.
- Liu, S., Xu, J.** (2013). Study on dynamic characteristics of marble under impact loading and high temperature, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 62, 51-58.
- López, F. P., Santiago, M. R. A.** (2015). Sensitivity study of an opaque ventilated façade in the winter season in different climate zones in Spain. *Renewable Energy*, 524-533.
- López, F. P., Jensen, R. L., Heiselberg, P., Santiago, M. R. A.** (2012). Experimental analysis and model validation of an opaque ventilated facade, *Building and Environment*, 56, 265-275.

- Maia, J., Ramos, N. M. M., Veiga, R.** (2018). Evaluation of the hygrothermal properties of thermal rendering systems. *Building and Environment*, 144, 437-449.
- Marinosci, C., Strachan, P. A., Semprini, G., Morini, G. L.** (2011). Empirical validation and modelling of a naturally ventilated rainscreen facade building. *Energy and Buildings*, 43, 853-863.
- Marinosci, C., Semprini, G., Morini, G. L.** (2013). Experimental analysis of the summer thermal performances of a naturally ventilated rainscreen façade building. *Energy and Buildings*, S0378-7788(13)00861-X.
- Moncmanová, A.** (2007). *Environmental Deterioration of Materials*. WIT Press, Southampton, Boston.
- Nashed, F.** (1996). *Time-Saver Details for Exterior Wall Design*. New York.
- Nasrollahi, F.** (2013). *Architectural Energy Efficiency, Young cities research briefs*. Berlin.
- Omrany, H., Ghaffarianhoseini, A., Ghaffarianhoseini, A., Raahemifar, K., Tookey, J.** (2016). Application of passive wall systems for improving the energy efficiency in buildings: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 1252-1269.
- Onaran, K.** (1993). *Malzeme Bilimi*. Bilim Teknik Yayınevi.
- Ozel, M.** (2012). The influence of exterior surface solar absorptivity on thermal characteristics and optimum insulation thickness. *Renewable Energy*, 39, 347-355.
- Ozkahraman, T., Bolatturk, A.** (2005). The use of tuff stone cladding in buildings for energy conservation, *Construction and Building Materials*, 20 (7), 435-440.
- Pacheco, R., Ordóñez, J., Martínez, G.** (2012). Energy efficient design of building: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 3559-3573.
- Patania, F., Gagliano, A., Nocera, F., Ferlito, A., Galesi, A.** (2010). Thermofluid-dynamic analysis of ventilated facades. *Energy and Buildings*, 42, 1148-1155.
- Peck, M.** (2014). *Modern Concrete Construction Manual, Structural Design, Material properties, Sustainability*, Munich.
- Peterková, J., Zach, J., Sedlmajer, M.** (2018). Development of advanced plasters for insulation and renovation of building constructions with regard to their hygrothermal behaviour, *Cement and Concrete Composites*, S0958-9465(18)30261-0.
- Pfundstein M., Gellert R., Spitzner M. H., Rudolphi, A.** (2008). *Insulating materials : principles, materials, applications*. Birkhäuser, Munich.
- Planas, C., Cuerva, E., Alavedra, P.** (2018). *Effects of the type of facade on the energy performance of office buildings representative of the city of Barcelona*. Retrieved Ocak 17, 2017, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447917301259>.

- Reichel, A., Hochberg, A., Köpke, C.** (2004), *Plaster, Render, Paint and Coatings : Details, Products*, Birkhäuser.
- Rich, P., Dean, Y.** (1977). *Principles of element design*, Great Britian.
- Schaupp, W.** (1967). *External Walls Cladding Thermal Insulation Damp-Proofing*, London.
- Stern, P. C.** (1985). *Energy efficiency of buildings: behavioral issues*. National academy press, Washington.
- Sanchez, M. N., Giancola, E., Suarez, M. J., Blanco, E., Heras, M. R.** (2017). Experimental evaluation of the airflow behaviour in horizontal and vertical Open Joint Ventilated Facades using Stereo-PIV. *Renewable Energy*, 109, 613-623.
- Santamouris, M., Asimakopoulos, D.** (1996). *Passive Cooling of Buildings*, James&James Ltd., UK.
- Sanjuan, C., Sánchez, M. N., Heras, M. D. R., Blanco, E.** (2011). Experimental analysis of natural convection in open joint ventilated façades with 2D PIV, *Building and Environment*, 46,2314-2325.
- Sanjuan, C., Sua´rez, M. J., Gonza´lez, M., Pistono, J., Blanco, E.** (2011). Energy performance of an open-joint ventilated-facade compared with a conventional sealed cavity facade, *Solar Energy*, 85 (9), 1851-1863.
- Sassi, P.** (2006). *Strategies for Sustainable Architecture*. USA.
- Schaupp, W.** (1967). *External Walls Cladding Thermal Insulation Damp-Proofing*, London.
- Seferis, P., Strachana, P., Dimoudi, A., Androutsopoulos, A.** (2011). Investigation of the performance of a ventilated wall. *Energy and Buildings*, 43, 2167-2178.
- Shackelford, J. F., Alexander, W.** (2001). *Materials science and engineering handbook*, 3rd edition, United States of America.
- Smith, B. J., Phillips, G. M., Sweeney, M. E.** (1983). *Environmental Science, Manual*. New York, USA.
- Smith, M. R.** (1999). *Stone: Building Stone, Rock Fill and Armorstone in Construction*. The Geological Society, London.
- Sodha, M. S.** (1986). *Solar passive building : science and design*. Oxford : Pergamon Press.
- Söffker, G., Thrift, P.** (2002), *Concrete Construction Manual*. Basel, Boston: Birkhäuser ; Munich : Edition Detail.
- Staib, G., Dörrhöfer, A., Rosenthal, M.J.** (2008). *Compenents and system : Modular construction: design, structure, new technologies*. Birkhauser.
- Stazi, F.** (2018). *Thermal Inertia in Energy Efficient Building Envelopes*. Butterworth-Heinemann, Italy.
- Stazi, F., Tomassoni, F., Vegliò, A., Perna, C. D.** (2011). Experimental evaluation of ventilated walls with an external clay cladding, *Renewable Energy*, 36 (12) 3373-3385.

- Stazi, F., Vegliò, A., Di Perna, C.** (2014). Experimental assesment of a zinc-titanium ventilated facade in a Mediternean climate, *Energy and Buildings*, 69, 525-534.
- Suárez, M. J., Sanjuan, C., Gutiérrez, A. J., Pistono, J., Blanco, E.** (2012). Energy evaluation of an horizontal open joint ventilated façade, *Applied Thermal Engineering*, 109, 302-313.
- Tavil, A.** (1995). *Opak yüzeylerde güneş ışıını etkisinin yüzey pürüzlülüğü ile değişimi.* (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- TMMOB.** (2012). Enerji Veimliliği Raporu. Ankara: TMMOB, Elektrik Mühendisleri Odası. Erişim: 20 Ocak 2020, http://www.emo.org.tr/ekler/db99a0f7088b168_ek.pdf.
- Tomašić, I., Lukić, D., Peček, N., Kršinić, A.** (2011). Dynamics of capillary water absorption in natural stone, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 673-680.
- Toydemir, N.** (1976). *Seramik Yapı Malzemeleri.* İTÜ Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi-İstanbul, 1976.
- Toydemir, N., Gürdal, E., Tanaçan, L.** (2000). *Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme.* İstanbul: Literatür Yayıncılık.
- TS 825.** (2013). *Binalarda Isı Yalıtım Kuralları.* Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 12524.** (2000). *Bina Malzemeleri ve Mamulleri – Hidroisıl Özellikler – Çizelgeleştirilmiş Tasarım Değerleri.* Ankara: Türk Standartları TSE.
- TS EN 1745.** (2012). *Kâgir ve kâgir mamulleri - Isıl özelliklerinin tayini yöntemleri.* Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- TS 7677.** (2014). *Oluklu Levhalar – Alüminyum ve Alaşımlarından,* Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- TS 10835.** (1993). *Andezit – Yapı ve kaplama taşı olarak kullanılan.* Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- TS 11137.** (1993). *Kireçtaşı (Kalker) – Yapı ve kaplama taşı olarak kullanılan.* Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- TS 11143.** (2004). *Traverten-Yapı ve kaplama taşı olarak kullanılan.* Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 13499.** (2006). Isı yalıtım malzemeleri - Binalarda kullanılan – Genleştirilmiş polistiren esaslı haricî kompozit ısı yalıtım sistemleri (ETICS) – Özellikler, Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- TS 13687.** (2016). *Çimento esaslı sıva – Isı yalıtım levhası için.* Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- Tufan, B., Kun, M.** (2014). Thermal Insulation Performance and Thermal Conductivity Evaluation of Natural Stones by Infrared Thermography, *International Conference on Mining, Material and Metallurgical Engineering*, (Paper no.62), Ağustos 2014.
- Türkçü, H. Ç.** (1997). *Yapım İlkeler-Malzemeler-Yöntemler-Çözümler.* İstanbul : Birsen Yayınevi.

- Uygunoğlu, T., Özgüven, S., Çalış, M.** (2016). Effect of plaster thickness on performance of external thermal insulation cladding systems (ETICS) in buildings. *Construction and Building Materials*, 122, 496-504.
- Van Vlack, Lawrence H.** (1998). *Malzeme Bilimine Giriş – Van Vlack* (Recep A.Safoğlu, Çev). İstanbul : Birsen Yayınevi.
- Yang, M., Yung X.** (2015). *Energy Efficiency Benefits for Environment and Society*. Washington, USA.
- Watts, A.** (2016), *Modern Construction Handbook*, Birkhäuser.
- Wilson, F.** (1984). *Building materials evaluating handbook*. New York.
- Winkler, E. M.** (1975). *Stone: Properties, Durability in Man's Environment*. New York.
- Quesada, G., Rouse, D., Dutil, Y., Badache, M., Halle, S.** (2012). A comprehensive review of solar facades. Opaque solar facades, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 2820-2832.
- Url-1** <<https://www.mgm.gov.tr/>>, erişim tarihi 09.06.2020.
- Url-2** <<https://designbuilder.co.uk/helpv4.5/>>, erişim tarihi 21.01.2020.
- Url-3** <<https://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-0/input-output-reference/page010.html>>, erişim tarihi 26.03.2020.
- Url-4** <http://docs.etem.com/technical_vfs_catalogue/page/68-69>, erişim tarihi 27.05.2020.
- Url-5** <<https://www.hazmetal.com/tr/>>, erişim tarihi 05.03.2020.
- Url-6** <<http://www.arelstone.com/tr/AnaSayfa.aspx>>, erişim tarihi 08.02.2020.
- Url-7** <<https://www.vmzinc.com.tr/>>, erişim tarihi 08.02.2020.
- Url-8** <<https://www.rheinznink.com/>>, erişim tarihi 09.02.2020.
- Url-9** <<https://www.kale.com.tr/tr/destek/katalog-brosurler>>, erişim tarihi 05.03.2020.
- Url-10** <<https://www.isiklartugla.com.tr/>>, erişim tarihi 05.03.2020.
- Url-11** <<https://www.bosnayapi.com.tr/>>, erişim tarihi 09.09.2020.
- Url-12** <<http://yigitsangrup.com.tr/>>, erişim tarihi 21.02.2020.
- Url-13** <<http://www.ea-etics.eu/views/etics/about-etics.html>>, erişim tarihi 18.04.2016.
- Url-14** <<http://www.betopan.com.tr/tr>>, erişim tarihi 29.01.2020.
- Url-15** <<http://www.rescara.com.tr/>>, erişim tarihi 03.03.2020.
- Url-16** <<http://www.absel.com.tr/dis-cephe-mekanik-limra-limestonekaplama.html>>, erişim tarihi 04.03.2020.
- Url-17** <<http://www.alutech.com.tr/index.php>>, erişim tarihi 05.03.2020.
- Url-18** <<http://www.egedetaycephe.com/ege-detay-cephe>>, erişim tarihi 07.03.2020.
- Url-19** <http://www.cimstone.com.tr/vImages/pdfler/2016_cephe_brosuru.pdf>, erişim tarihi 10.05.2020.

- Url-20** <<https://agsmetal.com/tr/index.html>>, erişim tarihi 05.02.2020
- Url-21** <<https://www.naturalstoneinstitute.org/>>, erişim tarihi 03.02.2020.
- Url-22** <<https://www.engineeringtoolbox.com/>>, erişim tarihi 03.02.2020.
- Url-23** <<https://www.infrared-thermography.com/material-1.htm>>, erişim tarihi 03.02.2020.
- Url-24** <<http://www.matweb.com/>>, erişim tarihi 04.02.2020.
- Url-25** <<https://rocks.comparenature.com/>>, erişim tarihi 04.02.2020.
- Url-26** <<https://www.akropolis.com.tr/urunler/5/granit>>, erişim tarihi 05.02.2020.
- Url-27** <<https://www.arcdema.com/>>, erişim tarihi 07.02.2020.
- Url-28** <<http://doganaytugla.com/>>, erişim tarihi 07.02.2020.
- Url-29** <<https://www.kyk.com.tr/>>, erişim tarihi 09.02.2020.
- Url-30** <<https://www.teknopanel.com.tr/tr-tr>>, erişim tarihi 09.02.2020.
- Url-31** <https://ytong.com.tr/dosyalar/user/Alsecco_Dis_ve_Ic_Cephe_Sivalari_.pdf>, erişim tarihi 13.02.2020.
- Url-32** <<http://www.woodbeton.it/>>, erişim tarihi 15.02.2020.
- Url-33** <<http://timasteknik.com/?s=anasayfa/1&lng=tr>>, erişim tarihi 15.02.2020.



EKLER

EK A: Ön benzetimlerde kullanılan proje verileri.

EK B: Çatı ve döşeme katmanlaşmaları proje verileri.

EK C: Duvar katmanlaşmaları proje verileri.

EK D: Doğal taş kaplama malzemeleri özellik tabloları.

EK E: Metal esaslı kaplama malzemeleri özellik tabloları.

EK F: Kil esaslı kaplama malzemeleri özellik tabloları.

EK G: Çimento esaslı kaplama malzemeleri özellik tabloları.

EK A : Ön benzetimlerde kullanılan proje verileri.

Çizelge A : Proje verileri genel bilgiler.

	Bina İlçe	Bina Kat Adedi	Bodrum Kat Adedi	Toplam İnşaat Alanı	Bina Yükseklik	Cephe Boşluk-Doluluk Oranı	Bina Form	Bina Yönelim	Isı Yalıtım Konumu
1	Kadıköy	10	2	3.762,5 m ²	32,60 m	~ 21		Doğu	Dış
2	Kadıköy	14	1	3.769,6 m ²	44,50 m	~ 21		Kuzey-Doğu	Dış
3	Kadıköy	9	2	7.761,64 m ²	31,95 m	~ 27		Güney	Dış
4	Kadıköy	10	3	8.970,65 m ²	37,80 m	~ 35		Kuzey-Doğu	Dış
5	Beyoğlu	4	1	889,62 m ²	15,20 m	~ 19		Kuzey	Dış
6	Beyoğlu	3	1	193,84 m ²	11,73 m	~ 18		Doğu	Dış
7	Beyoğlu	3	1	325,87 m ²	13,80 m	~ 25		Doğu	İç
8	Beyoğlu	4	1	648,04 m ²	16,90 m	~ 40		Kuzey	Dış
9	Beyoğlu	4	1	413,25 m ²	15,15 m	~ 31		Kuzey-Doğu	Dış
10	Beyoğlu	5	1	322,30 m ²	18,40 m	~ 26		Batı	İç
11	Beyoğlu	4	1	1.179,94 m ²	15,20 m	~ 35		Güney	İç
12	Beyoğlu	4	1	447,65 m ²	15,80 m	~ 30		Güney-Doğu	Dış
13	Beyoğlu	3	2	900,75 m ²	11,96 m	~ 37		Doğu	Dış
14	Beşiktaş	5	2	2.085 m ²	18,55 m	~ 43		Güney-Doğu	Dış
15	Beşiktaş	4	1	2.232 m ²	18,35 m	~ 33		Doğu	Dış
16	Beşiktaş	4	1	2.051,98 m ²	16,25 m	~ 35		Kuzey	Dış
17	Zeytinburnu	4	1	602 m ²	16,46 m	~ 18		Güney	Dış
18	Zeytinburnu	5	1	1910 m ²	20 m	~ 26		Doğu	Dış
19	Zeytinburnu	4	1	734 m ²	15,55 m	~ 20		Doğu	İç
20	Zeytinburnu	4	1	857,93 m ²	17 m	~ 24		Güney	Dış
21	Esenyurt	5	1	1.638,04 m ²	19,10 m	~ 21		Kuzey	x
22	Esenyurt	5	1	1.222,82 m ²	18,7 m	~ 28		Doğu	x

Çizelge A (devam): Proje verileri genel bilgiler.

	Bina İlçe	Bina Kat Adedi	Bodrum Kat Adedi	Toplam İnşaat Alanı	Bina Yükseklik	Cephe Boşluk-Doluluk Oranı	Bina Form	Bina Yönelim	Isı Yalıtım Konumu
23	Kağıthane	4	1	899,07 m ²	~ 16,25 m	~ 20		Kuzey-Doğu	İç
24	Kağıthane	4	2	772,73 m ²	~ 16,35 m	~ 16		Güney-Batı	Dış
25	Kağıthane	4	1	1.084,53 m ²	~ 16,25 m	~ 18		Güney-Batı	İç
26	Şişli	5	1	734,18 m ²	~ 21,75 m	~ 41		Güney	İç
27	Şişli	5	1	501,06 m ²	~ 18,30 m	~ 22		Güney-Batı	İç
28	Şişli	5	3	2.491,19 m ²	~ 20 m	~ 29		Güney-Doğu	İç
29	Şişli	5×2	2/5	8.948,39 m ²	~ 18 m	~ 41		Kuzey-Güney	x
30	Şişli	4	2	848,78 m ²	~ 12,50 m	~ 15		Kuzey	Dış
31	Şişli	4	3	1.221,52 m ²	~ 15,50 m	~ 38		Güney-Batı	İç
Yaygın kullanım	7 İlçe	4	1	~ 1.000-2000 m ²	~ 12-18 m	~ 30		Doğu	Dış

EK B : Çatı ve döşeme katmanlaşmaları proje verileri.

Çizelge B : Çatı ve döşeme katmanlaşmaları proje verileri.

	Normal Katlar Döşeme Katmanlaşması	Zemine Oturan Döşeme Katmanlaşması	Çatı Eğimi	Çatı Katmanlaşması
1	Ahşap Kaplama: 2 cm Şap Asmolen Döşeme: 30 cm Sıva+Tavan Boyası: 2 cm	Kaplama: 2 cm Şap: 3 cm Koruma Betonu Su Yalıtımı Taş yünü: 6 cm Grobeton: 10 cm Blokaj: 15 cm Toprak Dolgu	%45	Kiremit Tespit Çıtası Su Yalıtımı: 1 mm Ahşap Kaplama Tahtası: 2 cm Isı Yalıtımı Mertek
2	Ahşap Parke Şap: 3,5 cm Yapıştırıcı: 1,5 cm Asmolen döşeme: 30 cm Sıva: 2cm	Kaplama Şap Düzeltilme Betonu Su Yalıtımı Betonarme Temel	%33	Kiremit Su Yalıtımı Isı Yalıtımı Kiremit Altı Tahtası: 18 mm Mertek: 5/10 Cam Yünü Ahşap Döşeme
3	Kaplama Şap+Yapıştırıcı Tesviye Betonu: 3 cm Betonarme Döşeme Tavan Sıvası: 1,2 cm Plastik Boya×3 kat	Kaplama Koruyucu Beton: 5 cm Radye Temel: 50 cm Grobeton:10 cm Naylon/Keçe Grobeton:10 cm	%45	Kiremit İnce membran Kaplama Tahtası Mertek
4	Seramik+Yapıştırıcı: 3 cm Düzeltilme Betonu Asmolen Döşeme	Epoksi Boya Beton: 7 cm Radye Temel Koruma Şapı: 5 cm Isı Yalıtım + Buhar Tutucu: 3 cm Su yalıtımı×2 kat Düzeltilme Betonu: 10 cm Sıkıştırılmış Toprak	%33	-
5	Kaplama Yapıştırıcı Döşeme Sıva	Kaplama Yapıştırıcı Yalıtım Grobeton Blokaj Sıkıştırılmış Toprak	%45	Kiremit Bitümlü karton Cam Yünü Yalıtım Döşeme Sıva
6	Laminant Kaplama Parke Yapıştırıcı Şap Döşeme Tavan Sıvası: 2 cm	Lamine Parke Parke Yapıştırıcı Şap: 5 cm Koruma Betonu: 5 cm Su Yalıtımı Şap: 2 cm Radye Temel	%33	Kiremit Kiremit Altı Tahtası: 2 cm Su Yalıtımı Mertek Isı Yalıtımı: cam yünü
7	Laminant Kaplama Düzeltilme Betonu: 4 cm Asmolen Döşeme: 30 cm Alçı Sıva Plastik Tavan Boyası	Seramik Kaplama: 1 cm Düzeltilme Betonu: 4 cm Radye Temel Koruma Betonu Su Yalıtımı Astar Grobeton	%33	Shingle Kaplama Su Yalıtımı Kaplama Tahtası Betonarme Çatı
8	Seramik Kaplama Yapıştırıcı Şap Asmolen Döşeme Tavan Sıvası: 2 cm	Seramik Kaplama: 1 cm Yapıştırıcı Şap: 5 cm Koruma Betonu: 5 cm Su Yalıtımı Şap: 2 cm Radye Temel	%33	Kiremit Kiremit Altı Tahtası Su Yalıtımı Mertek Isı Yalıtımı: Cam yünü Ahşap Tavan Kaplama
9	Ahşap parke: 2 cm Yapıştırıcı: 0,5 cm Şap: 4,5 cm Betonarme Döşeme: 12 cm	-	%33	-
10	Laminant Parke: 0,8 cm Tesviye Betonu: 1 cm Mantar Döşeme: 20 cm Sıva: 0,5 cm	Granit Kaplama Şap Tesviye Tabakası Temel Tesviye Betonu Grobeton	%33	Kaplama Su Yalıtımı Kaplama tahtası Mertek Isı Yalıtımı Beton + Sıva

Çizelge B (devam) : Çatı ve döşeme katmanlaşmaları proje verileri.

	Normal Katlar Döşeme Katmanlaşması	Zemine Oturan Döşeme Katmanlaşması	Çatı Eğimi	Çatı Katmanlaşması
11	Parke: 2,5 cm Şap: 3 cm Döşeme Döşeme Sıva: 2 cm Plastik Boya	-	%33	Kiremit: 2 cm Su Yalıtımı: 6 mm Kaplama: 2,5 cm Isı Yalıtımı: 4 cm Mertek: 1,2 cm Kaplama: 2,5 cm
12	Laminant Kaplama Düzeltilme Beton: 4 cm Betonarme Döşeme: 12 cm Alçı Sıva Plastik Tavan Boyası	Betonarme Radye Temel: 90 cm Koruma Beton Grobeton	%45	Kiremit Su Yalıtımı Kaplama tahtası Mertek
13	Parke + Yapıştırıcı: 2 cm Şap: 5 cm Yalıtım: 3 cm Asmolen Döşeme: 30 cm Sıva	Seramik Kaplama Şap: 5 cm Isı Yalıtımı Su Yalıtımı Radye Temel: 60 cm Grobeton: 10 cm Naylon Membran Mıcır: 10 cm Sıkıştırılmış Toprak	%33	Çinko Kaplama Su Yalıtımı ve Buhar Kesici OSB Kaplama: 2 cm Isı Yalıtımı: 3 cm OSB Kaplama: 2 cm Çelik Konstruksiyon Alçıpan
14	Kaplama Tesviye Beton Betonarme Döşeme Tavan Sıvası	Şap Tesviye Beton Temel Beton Su Yalıtımı: 3 mm Grobeton: 5 cm Blokaj	%33	Kiremit Su Yalıtımı: 0,6 cm Kiremit Altı Tahtası: 2 cm Mertek: 5/10 İzocam: 5 cm Sıva: 2 cm Tavan boyası
15	Kaplama Keçe-yalıtım Ses yalıtımı: 4 mm Düzeltilme Şapı Betonarme Döşeme Sıva+Boya	Yüzey sertleştirici beton Düzeltilme Şapı Radye Temel Koruyucu Şap Geotekstil Keçe Jeomembran Geotekstil keçe Mıcır / Grobeton Sıkıştırılmış Toprak	%33	Boyalı Saç Kenet Çatı Buhar Dengeleyici OSB Taş yünü :40 mm Buhar Kesici Taşıyıcı Çelik Hattı
16	Kaplama Keçe-yalıtım Ses izolasyonu: 4 mm Düzeltilme Şapı Betonarme Döşeme Sıva+Boya	Yüzey sertleştirici beton Düzeltilme Şapı Radye Temel Koruyucu Şap Geotekstil Keçe Jeomembran Geotekstil keçe Mıcır / Grobeton Sıkıştırılmış Toprak	%45	Boyalı Saç Kenet Çatı Buhar Dengeleyici OSB Taş yünü 40 mm Buhar Kesici Taşıyıcı Çelik Hattı
17	Parke Çimento Harçlı Şap Betonarme Döşeme: 12 cm Sıva: 2 cm	Döşeme Kaplaması: 1 cm Şap: 3 cm Strafor: 4 cm Beton: 50 cm Su Yalıtımı Tesviye Beton-Çakıl	-	Çatı Örtüsü Su Yalıtımlı Membran OSB Taş Yünü Betonarme: 10 cm Sıva: 2 cm
18	Kaplama Şap Strafor Asmolen Döşeme Tavan Sıvası	Seramik Şap Su Yalıtımı Curl Dolgu Temel Beton Grobeton Blokaj	%45	Çatı Örtüsü Su Yalıtım Membran Çatı Tahtası Isı Yalıtım Tavan Kaplaması
19	Kaplama: 1 cm Şap: 3 cm Donatılı Beton: 7 cm Asmolen: 23 cm Sıva: 2 cm	Kaplama: 1 cm Şap: 3 cm Strafor: 3 cm Beton: 10 cm Grobeton: 75 cm Blokaj: 15 cm	%33	Çatı Örtüsü Kiremit Çıtası Su Yalıtımı Isı Yalıtım Buhar Kesici Membran Betonarme Plak/Sıva
20	Kaplama Şap: 3 cm Asmolen Döşeme: 25 cm Sıva: 2 cm Saten Alçı Kaplama Kireç Kaplama	Su Yalıtım Membranı Koruyucu Şap: 5 cm Grobeton: 12 cm Temel Beton: 60 cm Blokaj: 20 cm Koruyucu Şap: 4 cm	%40	Su Yalıtım Membranı: 0,6 cm İzocam: 5 cm Sıva: 2 cm Boya

Çizelge B (devam) : Çatı ve döşeme katmanlaşmaları proje verileri.

	Normal Katlar Döşeme Katmanlaşması	Zemine Oturan Döşeme Katmanlaşması	Çatı Eğimi	Çatı Katmanlaşması
21	PVC Yapıştırıcı Şap: 5 cm Döşeme: 12 cm Sıva: 2cm Tavan Boyası	Yapıştırıcı Koruyucu şap: 5cm Temel Beton: 50 cm Koruyucu şap: 4 cm Su Yalıtımı Grobeton: 12 cm Blokaj: 20 cm	%33	Kiremit Su Yalıtımı: 0,6 cm Kiremit Altı Tahtası: 2 cm Mertek İzocam: 5 cm Döşeme: 12 cm Sıva: 2 cm Tavan Boyası
22	PVC Yapıştırıcı Şap: 5 cm Betonarme Döşeme: 12 cm Sıva: 2 cm Tavan Boyası	Yapıştırıcı Koruyucu şap: 5cm Temel Beton: 50 cm Koruyucu şap: 4 cm Su Yalıtımı Grobeton: 12 cm Blokaj: 20 cm	%33	Kiremit Su Yalıtım Membranı: 0,60 cm Kiremit Altı Tahtası: 2 cm Mertek: 5/10 İzocam: 5 cm Betonarme Döşeme: 12 cm Sıva: 2 cm Tavan Boyası
23	Kaplama: 3 cm Harç: 2-3 cm Tesviye Beton: 2-3 cm Betonarme Döşeme: 10 cm Tavan Sıvası: 1,5-2 cm Çift kat boya	-	%45	Kiremit İnce Membran Kaplama Tahtası Mertek 5/10
24	Kaplama Şap Tesviye Tabakası Asmolen Döşeme Isı Yalıtım Saten Alçı Kaplama Plastik Boya	-	%45	-
25	Kaplama Tesviye Beton Betonarme Döşeme Isı ve Ses Yalıtımı Alçı Sıva+Tavan Boyası	-	-	Kiremit: 2 cm Su İzolasyonu Kaplama: 2,5cm Isı Yalıtımı: 4 cm Mertek: 1,2 cm Kaplama: 2,5 cm
26	Parke : 2,5 cm Şap: 3 cm Döşeme Sıva : 2 cm Plastik Boya	Seramik : 2,5 cm Şap: 3 cm Döşeme Sıva : 2 cm Plastik Boya	%45	Kiremit: 2 cm Su İzolasyonu Kaplama: 2,5 cm Isı İzolasyonu: 4 cm Mertek: 12 cm Kaplama: 2,5 cm
27	Parke Şap Asmolen İç Sıva	Parke Çimento Harçlı Şap Isı Yalıtımı Su Yalıtımı Betonarme Temel Donatısız Beton Dolgu	%45	-
28	Laminant Parke Tesviye Beton Betonarme Döşeme: 15 cm Isı ve Ses Yalıtımı Alçı Sıva + Plastik Tavan Boyası	-	%45	Single Örtü Su Yalıtımı Kaplama: 2,5 cm Isı İzolasyonu: 4 cm Betonarme Döşeme: 15 cm Alçı Sıva
29	Parke Şap Tesviye Beton Betonarme Döşeme	Şap Tesviye Beton Betonarme Döşeme	%45	Alüminyum Sandviç Panel Çelik Konstruksiyon Koruma Beton Su Yalıtımı×2 Astar Şap Betonarme Döşeme

Çizelge B (devam) : Çatı ve döşeme katmanlaşmaları proje verileri.

	Normal Katlar Döşeme Katmanlaşması	Zemine Oturan Döşeme Katmanlaşması	Çatı Eğimi	Çatı Katmanlaşması
30	Laminant Parke Şilte Düzeltilme Betonu: 5 cm Betonarme Döşeme: 12 cm Alçı Sıva: 2 cm	Laminant Parke Şilte Düzeltilme Betonu Isı Yalıtımı Radye Temel Su Yalıtımı Grobeton: 10 cm Blokaj: 15 cm Sıkıştırılmış Dolgu: 40 cm	%40	Kiremit Su Yalıtımı Kiremit Altı Tahta Mertek İzocam: 5 cm Sıva: 2 cm Tavan Boyası
31	Parke : 2,5 cm Şap: 3 cm Döşeme Sıva : 2 cm Plastik Boya	-	-	Kiremit: 2 cm Su Yalıtımı Kaplama: 2,5 cm Isı Yalıtımı: 4 cm Mertek Kaplama: 2,5 cm
Yaygın Kullanım	Laminant Parke Kaplama: 2 cm Şap: 5 cm Betonarme döşeme: 12 cm Sıva: 2 cm	Seramik kaplama: 1 cm Şap: 5 cm Su Yalıtımı: 3 mm Temel Betonu: 60 cm Taş yünü: 3 cm Blokaj: 15 cm Sıkıştırılmış Toprak: 40 cm	%33	Kiremit: 2 cm Su Yalıtımı: 1 mm Kiremit Altı Tahtası: 2 cm Taş yünü: 4 cm Döşeme: 12 cm Sıva: 2 cm

EK C : Duvar katmanlaşaları proje verileri.

Çizelge C : Duvar katmanlaşmaları proje verileri.

	Dış Duvar							İç Duvar
	Dış Kaplama Türü	Dış Kaplama	Çekirdek	Isı Yalıtımı	Hava Boşluğu	İç Kaplama	Uygulama Yöntemi	İç Duvar katmanları
1	Çimento Esaslı Kaplama	Dış Sıva + Astar: 1 cm Dış Cephe Kaplaması	Gazbeton: 15 cm	Taş yünü: 4 cm+ yapıştırma harcı sıva: 0,5 cm	x	Alçı Sıva+ Plastik Badana 2 cm	Sürekli temas ile uygulama	-
2	Çimento Esaslı Kaplama	Dış Cephe Boyası + Özel Elastik Sıva : 1 cm	Tuğla: 15 cm	XPS: 4 cm	x	İç sıva: 2 cm+ Boya	Sürekli temas ile uygulama	-
3	Metal Esaslı Kaplama	Alüminyum Cephe Kaplaması	Tuğla	Isı Yalıtımı	+	İç Sıva	Asılarak uygulama	-
4	Çimento Esaslı Kaplama	Sıva: 1 cm	Tuğla: 13,5 cm	Poliüretan Köpük: 5 cm	x	Sıva: 2 cm	Sürekli temas ile uygulama	-
5	Çimento Esaslı -Kil Esaslı Kaplama	Krem rengi seramik/Krem rengi boya+ Sıva: 5 mm	Tuğla: 15 cm	XPS: 5 cm 5 mm yapıştırma harcı	x	Sıva: 1 cm	Sürekli temas ile uygulama	-
6	Çimento Esaslı Kaplama	Sıva : 5 mm	Tuğla: 20 cm	Poliüretan köpük : 4 cm	x	Sıva: 2 cm	Sürekli temas ile uygulama	-
7	Çimento Esaslı Kaplama	Sıva + Boya. 8 mm	Tuğla: 15 cm	XPS: 5 cm Yapıştırma harcı: 5 mm	-	Sıva: 1 cm	Sürekli temas ile uygulama	-
8	Çimento Esaslı Kaplama	Betopan Cephe Kaplaması / Sıva: 5 mm	Tuğla: 20 cm	Poliüretan: 4 cm	-	Sıva: 2 cm	-	-
9	Metal Esaslı Kaplama	Dekoratif Metal Kaplama/ Sıva: 5 mm	Gazbeton: 15 cm	XPS: 6 cm	-	Sıva: 1,5 cm	-	-
10	Çimento/ Ahşap Esaslı Kaplama	Ahşap kaplama / Sıva: 5mm	Tuğla: 19 cm+	XPS: 5 cm+2 cm yapıştırma harcı	-	Sıva: 2 cm+ Boya	-	-
11	Doğal Taş Kaplama	Doğal Taş Kaplama/Sıva: 8 mm	Tuğla: 15 cm	XPS: 5 cm + 5 mm yapıştırma harcı	x	Sıva: 1 cm	Sürekli temas ile uygulama	Sıva: 7,5 mm Tuğla: 8,5 cm Sıva: 7,5 mm
12	Çimento/ Ahşap Esaslı Kaplama	İnce sıva:5 mm+Plastik Boya/ Ahşap Kaplama	Tuğla: 19 cm	Isı Yalıtım: 5 cm+yapıştırıcı	-	Alçı sıva+ Saten Alçı Kapama: 2 cm	Asılarak uygulama	-
13	Ahşap Esaslı Kaplama	Ahşap Kaplama	Alçıpan	Isı Yalıtıma	x	-	Asılarak uygulama	-
14	Çimento Esaslı Kaplama	Sıva: 2 cm	Tuğla: 13,5 cm	XPS: 4 cm	x	Sıva: 2 cm	Sürekli temas ile uygulama	-
15	Çimento Esaslı Kaplama	Boardex Kaplama+Sıva	Gazbeton	Taş yünü	x	Sıva	-	-
16	Çimento Esaslı Kaplama	Boardex Kaplama+Sıva	Gazbeton	Taş yünü	x	Sıva	-	-

Çizelge C (devam): Duvar katmanlaşmaları proje verileri.

	Dış Duvar							İç Duvar
	Dış Kaplama Türü	Dış Kaplama	Çekirdek	Isı Yalıtımı	Hava Boşluğu	İç Kaplama	Uygulama Yöntemi	İç Duvar katmanları
17	Çimento Esaslı Kaplama	Sıva: 1 cm	Tuğla: 13,5 cm	XPS: 5 cm	x	x	Sürekli temas ile uygulama	-
18	Çimento Esaslı Kaplama	Sıva+Boya:8 mm	Tuğla: 13,5 cm	XPS: 5 cm + Yapıştırma harcı: 5 mm	x	Sıva + Boya: 1 cm	Sürekli temas ile uygulama	Sıva: 1 cm Tuğla: 7,5 cm Sıva: 1 cm
19	Çimento Esaslı Kaplama	Kaplama/ Sıva: 1 cm	Tuğla: 19 cm	XPS: 5 cm + 2 cm yapıştırma harcı	x	Sıva: 2 cm	Sürekli temas ile uygulama	-
20	Çimento Esaslı Kaplama	Sıva+Boya: 2 cm	Tuğla: 13,5 cm	XPS: 5 cm	x	Sıva + Boya: 2 cm	Sürekli temas ile uygulama	-
21	Çimento Esaslı Kaplama	Sıva: 2 cm + Boya	Tuğla Duvar: 19,5 cm	x	x	Sıva: 3 cm + Plastik Boya	Sürekli temas ile uygulama	Sıva Tuğla Sıva
22	Çimento Esaslı Kaplama	Sıva: 2 cm + Boya	Tuğla Duvar: 19,5 cm	x	x	Sıva: 3 cm + Plastik Boya	Sürekli temas ile uygulama	-
23	Çimento Esaslı Kaplama	Sıva	Tuğla: 19 cm+ Harç	XPS: 8 cm	x	Sıva	Sürekli temas ile uygulama	Sıva Tuğla Sıva
24	Çimento Esaslı Kaplama	Sıva: 5 mm	Tuğla: 19 cm	XPS: 5 cm + Harç: 2 cm	x	Sıva: 2 cm	Sürekli temas ile uygulama	-
25	Çimento Esaslı Kaplama	Kaplama/ Sıva: 1 cm	Tuğla: 13,5 cm	XPS: 5 cm	x	Sıva: 1,5 cm	Sürekli temas ile uygulama	-
26	Çimento Esaslı Kaplama	Akrilik Dış Cephe Boyası + Sıva	Tuğla: 19 cm	Isı Yalıtımı	x	Plastik Boya+ Saten Alçı Kaplama	Sürekli temas ile uygulama	-
27	Çimento Esaslı Kaplama	Dış Sıva	2 Adet Tuğla	Strafor	x	İç Sıva	Sürekli temas ile uygulama	-
28	Çimento Esaslı Kaplama	Cephe Kaplaması + Akrilik Reçine Esaslı Sıva: 4 mm	Tuğla: 15 cm	XPS Yapıştırma Harcı. 4 mm	+	-	-	-
29	Çimento Esaslı Kaplama	Kompozit Panel	Ytong	x	x	Sıva + Boya	Asılarak uygulama	-
30	Çimento Esaslı Kaplama	Sıva+ Boya	Tuğla:13 cm	XPS: 4 cm	x	Sıva: 2 cm + Boya	Sürekli temas ile uygulama	-
31	Çimento Esaslı Kaplama	Akrilik Dış Cephe Boyası + Sıva	Tuğla: 19 cm	Isı Yalıtımı	-	Plastik Boya + Saten Alçı Kaplama	Sürekli temas ile uygulama	-
Yaygın Kullanım	Çimento Esaslı Kaplama	Sıva: 5 mm	Tuğla: 19 cm	XPS: 5 cm	x	Sıva: 2 cm	Sürekli temas ile uygulama	Sıva Tuğla Sıva

EK D : Doğal taş kaplama malzemeleri özellik tabloları.

Çizelge D.1 : Granit malzeme özellikleri.

	KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLER					YÜZEY ÖZELLİKLERİ				
	Yoğunluk [kg/m ³]	Isıl İletkenlik [W/mK]	Buhar Difüzyon Direnç Katsayısı [μ]	Özgül Isı [J/kgK]	Porozite	Isıl Emicilik	Güneş Emicilik	Görünür Emicilik	Renk	Doku
(Herzog ve diğ, 2004)	2500– 2700	1,6–3,4	-	-	-	-	-	-	-	-
(Hegger ve diğ, 2006)	2600- 2800	1,6- 3,4	10000	-	-	-	-	-	-	-
(Hugues ve diğ, 2005)	2600-2800	1,6–3,4	-	-	0,4-1,5	-	-	-	-	-
(Smith, 1999)	2600-2800	-	-	-	0,4-2,4	-	-	-	-	-
(Nashed, 1996)	2640	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(Url-21)	-	1,73-3,98	-	-	-	-	-	-	-	-
(Url-22)	2600-2800	1,7-4,0	-	790	-	0,33-0,53	0,55	-	-	-
(Url-23)	-	-	-	-	-	0,96	-	-	-	-
(Url-24)	2540-2660	1,20-4,20	-	210-350	-	-	-	-	-	-
(Url-25)	2650-2750	-	-	790	0,1-4	-	-	-	Siyah, gri, turuncu,	Büyük-İri taneli, az pürüzlü
(Gündüz ve diğ, 2012)	2258 - 2700	2,8	-	1036	0,114	-	-	-	-	-
(Grondzik ve diğ, 1980)	2600-2720	2,4-4,5	-	680-800	-	0,9	0,55	-	-	-
(Cardarelli, 2000)	2640-2760	2,51-3,97	-	775-837	-	-	-	-	-	-
(Winkler, 1975)	2600-2700	-	-	-	0,5-1,5	-	-	-	-	-
(Eriç, 2002)	2600	-	-	-	-	-	0,3	-	Pembe, gri, yeşil	İri taneli
Firma-Assos Marble	2750	-	-	-	-	-	-	-	Gri Mavi	-
Firma-Bartu Mermer	2610	-	-	-	-	-	-	-	Pembe	-
Firma-Arel Doğal Taş	2609-3013	-	-	-	-	-	-	-	Gri, Sarı	-
Firma-Akrapolis Doğal Taş (Url-26)	2707	-	-	-	0,68	-	-	-	-	-

Çizelge D.1 (devam) : Granit malzeme özellikleri.

	KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLER					YÜZEY ÖZELLİKLERİ				
	Yoğunluk [kg /m ³]	Isıl iletkenlik [W/mK]	Buhar Difüzyon Direnç Katsayısı [μ]	Özgül Isı [J/kgK]	Porozite	Isıl Emicilik	Güneş Emicilik	Görünür Emicilik	Renk	Doku
Design Builder (ISO 10456)	2600	2,8	10000	1000	-	0,9	0,5	0,5	Gri	Pürüzlü
(TS 825, 2013)	2500-2700	2,8	10000	-	-	-	-	-	-	-
(TS EN 12524, 2000)	2500-2700	2,8	10000	1000	-	-	-	-	-	-
(TSE CEN/TR 17024, 2017)	2400-3000	-	-	-	0,1-2	-	-	-	-	-
Granit- Yüksek Yoğunluk	2800 (Hegger ve diğ, 2006)	4 (Url-22)	10000 (TS EN 12524, 2000)	790 (Url-22)	0,1 (TSE CEN/TR 17024, 2017)	0,96 (Url-23)	0,5 Design Builder (ISO 10456)	0,5 Design Builder (ISO 10456)	Yeşil (Eriç, 2002)	Pürüzlü Design Builder (ISO 10456)
Granit- Düşük Yoğunluk	2500 (TS EN 12524, 2000)	1,2 (Url-24)	10000 (TS EN 12524, 2000)	1036 (Gündüz ve diğ, 2012)	2,4 (Nashed, 1996)	0,33 (Url-22)	0,3 (Eriç, 2002)	0,5 Design Builder (ISO 10456)	Pembe (Eriç, 2002)	Az pürüzlü (Url-25)

Çizelge D.2 : Mermer malzeme özellikleri.

	KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLER				YÜZEY ÖZELLİKLERİ					
	Yoğunluk [kg /m3]	Isıl İletkenlik [W/mK]	Buhar Difüzyon Direnç Katsayısı [μ]	Özgül Isı [J/kgK]	Porozite	Isıl Emicilik	Güneş Emicilik	Görünür Emicilik	Renk	Doku
(Herzog ve diğ, 2004)	2600 – 2900	2,0 – 2,6	-	-	-	-	-	-	-	-
(Hegger ve diğ, 2006)	2600-2900	2,0 – 2,6	10000	-	-	-	-	-	-	-
(Hugues ve diğ, 2005)	2600-2900	2,0 – 2,6	-	-	-	-	-	-	-	-
(Smith, 1999)	2370-3200	-	-	-	0,6-2,3	-	-	-	-	-
(Url-21)	-	2,07-2,94	-	-	0,070	-	-	-	-	-
(Nashed, 1996)	2640	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(Url-22)	2600-2800	2,08-2,94	-	880	-	0,33-0,53	0,44-0,66	-	-	-
(Url-24)	2370-3200	1,30-2,90	-	540- 1610	0,5-2	-	-	-	-	-
(Url-25)	2400-2700	-	-	880	Az porlu	-	-	-	Kahve rengi	Parlak, Az pürüzlü
(Gündüz ve diğ, 2012)	2800	3,5	-	-	-	-	-	-	-	-
(Tufan ve Kun, 2014)	2680	3,88	-	700	0,16	-	-	-	-	-
(Cardarelli, 2000)	2680-2850	2,51-3,72	-	794-879	-	-	-	-	-	-
(Winkler, 1975)	2600-2700	-	-	-	0,5-2	-	-	-	-	-
(Eriç, 2002)	2700-2800	-	-	-	-	-	0,3	-	Renkli, damarlı	-
Firma-Assos Marble	2819	-	-	-	0,864	-	-	-	-	-
Firma-Batu Marble Caretta Grey	2727	-	-	-	0,959	-	-	-	Gri	-

Çizelge D.2 (devam) : Mermer malzeme özellikleri.

	KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLER					YÜZEY ÖZELLİKLERİ				
	Yoğunluk [kg /m3]	Isıl İletkenlik [W/mK]	Buhar Difüzyon Direnç Katsayısı [μ]	Özgül Isı [J/kgK]	Porozite	Isıl Emicilik	Güneş Emicilik	Görünür Emicilik	Renk	Doku
Firma-Ermaş Marble	2680	-	-	-	0,5	-	-	-	Kahve rengi	-
Firma-Bartu Mermer	2765	-	-	960	2,66	-	-	-	Bej	-
Firma-Mesta Mermer	2690	-	-	700	1,86	-	-	-	-	-
Firma-Polmer Mermer	2715	-	-	530	0,143	-	-	-	Beyaz	İri kristalli
Firma-Fimar Mermer	2695	-	-	-	0,195	-	-	-	Bej	-
Firma-Efendioğlu Mermer	2816	-	-	-	0,616	-	-	-	-	-
Firma-Bandırma Mermer	2700	3,5	10000	-	0,477	-	-	-	-	-
Design Builder (ISO 10456)	2800	3,5	10000	1000	-	0,90	0,58	0,58	Beyaz	Pürüzlü
(TS 825, 2013)	2800	3,5	10000	-	-	-	-	-	-	-
(TS EN 12524, 2000)	2800	3,5	10000	1000	-	-	-	-	-	-
(TSE CEN/TR 17024, 2017)	2600-2900	-	-	-	0,1-0,2	-	-	-	-	-
Mermer- Yüksek Yoğunluk	3200 (Smith, 1999)	2,9 (Url-24)	10000 (Hegger ve diğ, 2006)	540 (Url-24)	0,1 (TSE CEN/TR 17024, 2017)	0,9 Design Builder (ISO 10456)	0,66 (Url-22)	0,58 Design Builder (ISO 10456)	Kahve rengi (Url-25)	Pürüzlü Design Builder (ISO 10456)
Mermer- Düşük Yoğunluk	2370 (Smith, 1999)	1,3 (Url-24)	10000 (Hegger ve diğ, 2006)	880 (Url-25)	2 (Winkler, 1975)	0,33 (Url-22)	0,3 (Eriç, 2002)	0,58 Design Builder (ISO 10456)	Bej (Url-25)	Az Pürüzlü (Url-25)

Çizelge D.3 : Traverten malzeme özellikleri.

	KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLER					YÜZEY ÖZELLİKLERİ				
	Yoğunluk [kg /m3]	Isıl İletkenlik [W/mK]	Buhar Difüzyon Direnç Katsayısı [μ]	Özgül Isı [J/kgK]	Porozite	Isıl Emicilik	Güneş Emicilik	Görünür Emicilik	Renk	Doku
(Hegger ve diğ, 2006)	2400-2500	2,3	200/250	-	-	-	-	-	-	-
(Hugues ve diğ, 2005)	2400-2500	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(Smith, 1999)	2000-2700	0.8-2.10	-	620- 1560	0,5-5	-	-	-	-	-
(Url-22)	-	0,8-2,10	-	-	-	0,33 – 0,53	-	-	-	-
(Url-25)	2400-2700	-	-	880	Az porlu	-	-	-	Siyah, Gri	Az pürüzlü
(Gündüz ve diğ, 2012)	2396-2494	1,64-2,3	-	893-986	2,08-6,47	-	-	-	-	Orta taneli
(Tufan ve Kun, 2014)	2370	3,88	-	-	4,92	-	-	-	-	-
(Eriç, 2002)	2400	-	-	-	-	-	-	-	Gri, beyaz	-
Firma-Assos Marble	2500-2702	3,5	10000	-	0,477	-	-	-	Beyaz, Gri	-
Firma-Anadolu Mermer	2720	-	10000	-	2,3	-	-	-	Açık kahve,	-
Design Builder (ISO 10456)	2600	2,3	250	1000	-	0,9	0,6	0,6	Gri	Pürüzlü
(TS 11143, 2004)	≥ 2300	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(TS EN 12524, 2000)	2600	2,3	10000	1000	-	-	-	-	-	-
(TS 825, 2013)	2600	2,3	200/250	-	-	-	-	-	-	-
Traverten- Yüksek Yoğunluk	2600 (TS 825, 2013)	2,3 (TS 825, 2013)	250 (TS 825, 2013)	620 (Smith, 1999)	0,5 (Smith, 1999)	0,9 Design Builder (ISO 10456)	0,6 Design Builder (ISO 10456)	0,6 Design Builder (ISO 10456)	Kahve rengi (Url-25)	Pürüzlü Design Builder (ISO 10456)
Traverten- Düşük Yoğunluk	2000 (Smith, 1999)	0,8 (Smith, 1999)	10000 (TS EN 12524, 2000)	1000 (TS EN 12524, 2000)	6,47 (Gündüz ve diğ, 2012)	0,33 (Url-22)	0,6 Design Builder (ISO 10456)	0,6 Design Builder (ISO 10456)	Beyaz (Url-25)	Az Pürüzlü (Url-25)

Çizelge D.4 : Bazalt malzeme özellikleri.

	KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLER					YÜZEY ÖZELLİKLERİ				
	Yoğunluk [kg /m3]	Isıl İletkenlik [W/mK]	Buhar Difüzyon Direnç Katsayısı [μ]	Özgül Isı [J/kgK]	Porozite	Isıl Emicilik	Güneş Emicilik	Görünür Emicilik	Renk	Doku
(Herzog ve diğ, 2004)	2700 – 3000	1,2 – 3,0	-	-	-	-	-	-	-	-
(Hegger ve diğ, 2006)	2900-3000	3,5 (1,2-2,0)	10000	-	-	-	-	-	-	-
(Hugues ve diğ, 2005)	2900-3000	1,2–3,0	-	-	-	-	-	-	-	-
(Smith, 1999)	2850-3050	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(Url-24)	2700-3000	0,80-2,90	-	340-1260	0,1-1	-	-	-	-	-
(Url-25)	2900-3100	-	-	840	Az porlu	-	-	-	Gri	İnce Taneli
(Gündüz ve diğ, 2012)	2280-3000	1,27	-	928	4,42	-	-	-	-	-
(Grondzik ve diğ, 1980)	2700-3310	1-2	-	720-1040	-	0,72	0,7-0,9	-	-	-
(Cardarelli, 2000)	2880-3210	0,92-2,6	-	627-950	-	-	-	-	-	-
(Winkler, 1975)	2800-2900	-	-	-	0,1-1	-	-	-	-	-
(Eriç, 2002)	2800-3300	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Firma-Develi Mermer	2660	-	-	-	1,99	-	-	-	Koyu Gri	-
Firma-Akropolis Taş	2940	-	-	-	3,8	-	-	-	-	-
Firma-Arel Stone	2720	-	-	-	3,5	-	-	-	Yeşil	-
Design Builder	2850	3,5	10000	1000	-	0,9	0,6	0,6	Mavi	Pürüzlü
(TS 825, 2013)	2700-3000	3,5	10000	-	-	-	-	-	-	-
(TS EN 12524, 2000)	2700-3000	3,5	10000	1000	-	-	-	-	-	-
(TSE CEN/TR17024, 2017)	2550-3000	-	-	-	0,1-6	-	-	-	-	-
Bazalt- Yüksek Yoğunluk	3310 (Grondzik ve diğ, 1980)	3,5 (TS 825, 2013)	10000 (Hegger ve diğ, 2006)	627 (Cardarelli, 2000)	0,1 (Winkler, 1975)	0,9 (Design Builder)	0,9 (Grondzik ve diğ, 1980)	0,6 (Design Builder)	Kahve rengi (Url-25)	Pürüzlü (Design Builder)
Bazalt- Düşük Yoğunluk	2700 (Herzog ve diğ, 2004)	0,8 (Url-24)	10000 (Hegger ve diğ, 2006)	1260 (Url-24)	4,42 (Gündüz ve diğ, 2012)	0,72 (Grondzik ve diğ, 1980)	0,6 (Design Builder)	0,6 (Design Builder)	Mavi (Design Builder)	Az pürüzlü (Url-25)

Çizelge D.5 : Kumtaşı malzeme özellikleri.

	KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLER					YÜZEY ÖZELLİKLERİ				
	Yoğunluk [kg /m ³]	Isıl İletkenlik [W/mK]	Buhar Difüzyon Direnç Katsayısı [μ]	Özgül Isı [J/kgK]	Porozite	Isıl Emicilik	Güneş Emicilik	Görünür Emicilik	Renk	Doku
(Herzog ve diğ, 2004)	2000–2700	1,2-3,4	-	-	-	-	-	-	-	-
(Hegger ve diğ, 2006)	2000-2700	2,3 (1,2-3,4)	2/250	-	-	-	-	-	-	-
(Hugues ve diğ, 2005)	2000-2700	1,2–3,4	-	-	0,5-21	-	-	-	-	-
(Smith, 1999)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(Url-21)	-	1,83-2,90	-	-	-	-	-	-	-	-
(Url-22)	2100-2400	1,7	-	710-920	-	-	0,62-0,73	-	-	-
(Url-24)	1600-2800	1-5	-	728-963	0-25	-	-	-	-	-
(Grondzik ve diğ, 1980)	1990-2450	1-2,7	-	730-930	Düşük porlu	0,9	0,6-0,7	-	Siyah Gri	Az pürüzlü
(Cardarelli, 2000)	1600-2650	1-4,6	-	745-963	-	-	-	-	-	-
(Winkler, 1975)	2000-2600	-	-	-	5-25	-	-	-	-	-
(Eriç, 2002)	2300-2900	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Firma-Arel Stone	2070-2110	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Design Builder (CISBE Guide)	2200	1,3	300	712	-	0,9	0,6	0,6	Yeşil	Pürüzlü
(TS EN 12524, 2000)	2600	2,3	1000	40	-	-	-	-	-	-
(TSE CEN/TR 17024, 2017)	1900-2700	-	-	-	0,25-0,4	-	-	-	-	-
Kumtaşı- Yüksek Yoğunluk	2800 (Url-24)	5 (Url-24)	250 (Hegger ve diğ, 2006)	728 (Url-24)	0,25 (TSE CEN/TR 17024, 2017)	0,9 (Design Builder)	0,73 (Url-22)	0,6 (Design Builder)	Kahve rengi (Grondzik ve diğ, 1980)	Pürüzlü (Design Builder)
Kumtaşı- Düşük Yoğunluk	1600 (Cardarelli, 2000)	1 (Url-24)	250 (Hegger ve diğ, 2006)	963 (Cardarelli, 2000)	25 (Winkler, 1975)	0,9 (Design Builder)	0,6 (Design Builder)	0,6 (Design Builder)	Gri (Grondzik ve diğ, 1980)	Az Pürüzlü (Grondzik ve diğ, 1980)

Çizelge D.6 : Kireçtaşı malzeme özellikleri.

	KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLER					YÜZEY ÖZELLİKLERİ				
	Yoğunluk [kg /m3]	Isıl İletkenlik [W/mK]	Buhar Difüzyon Direnç Katsayısı [μ]	Özgül Isı [J/kgK]	Porozite	Isıl Emicilik	Güneş Emicilik	Görünür Emicilik	Renk	Doku
(Herzog ve diğ, 2004)	2600 – 2900	2,0-3,4	-	-	-	-	-	-	-	-
(Hegger ve diğ, 2006)	2600-2900	2,3 (2,0-3,4)	200/250	-	-	-	-	-	-	-
(Hugues ve diğ, 2005)	2600-2900	2,0–3,4	-	-	-	-	-	-	-	-
(Smith, 1999)	2650-2850	-	-	-	0,1-3,6	-	-	-	-	-
(Nashed, 1996)	2560	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(Url-22)	2700-2800	1,26-1,33	-	-	-	0,33-0,53	0,35-0,50	-	-	-
(Url-23)	-	-	-	-	-	0,96	-	-	-	-
(Url-24)	1790-2920	0,8-3,30	-	500-1860	2,6-21	-	-	-	-	-
(Url-25)	2300-2700	-	-	910	Düşük porlu	-	-	-	Bej,Gri	İnce Taneli
(Gündüz ve diğ, 2012)	2320-2690	0,8-2,7	-	-	1,82-13,2	-	-	-	-	-
(Winkler, 1975)	2200-2600	0,84-3,38	-	630-921	5-20	-	-	-	-	-
Firma-Assos Marble	2660	-	230	-	0,15	-	-	-	Sarı-gri	Mikrokristal Mikro tane
Firma-Adalya Mermer	2430	-	-	-	0,12	-	-	-	-	-
Firma-Gürel Mermer	2585	-	-	-	2,42	-	-	-	Sarı-gri	Mikrokristal Mikro Tane
Firma-Bandırma Mermer	2677	2,5	272	-	1,197	-	-	-	-	-
Design Builder (ISO 10456)	1600	0,85	30	1000	-	0,9	0,6	0,6	Gri	Pürüzlü
(TS EN 12524, 2000)	1600-2600	0,85-2,3	1000	20-250	-	-	-	-	-	-
(TSE CEN/TR 17024, 2017)	2500	-	-	-	0,3-48	-	-	-	-	-
Kireçtaşı- Yüksek Yoğunluk	2900 (Hegger ve diğ, 2006)	3,4 (Hegger ve diğ, 2006)	200 (Hegger ve diğ, 2006)	500 (Url-24)	0,1 (Smith, 1999)	0,96 (Url-23)	0,6 (Design Builder)	0,6 (Design Builder)	Kırmızı (Url-25)	Pürüzlü (Design Builder)
Kireçtaşı- Düşük Yoğunluk	2200 (Winkler, 1975)	0,84 (Winkler, 1975)	1000 (TS EN 12524, 2000)	630 (Winkler, 1975)	21 (Url-24)	0,33 (Url-22)	0,35 (Url-22)	0,6 (Design Builder)	Gri (Design Builder)	Pürüzlü Design Builder (ISO 10456)

Çizelge D.7 : Andezit malzeme özellikleri.

	KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLER					YÜZEY ÖZELLİKLERİ				
	Yoğunluk [kg /m ³]	Isıl İletkenlik [W/mK]	Buhar Difüzyon Direnç Katsayısı [μ]	Özgül Isı [J/kgK]	Porozite	Isıl Emicilik	Güneş Emicilik	Görünür Emicilik	Renk	Doku
(Cardarelli, 2000)	2420-2900	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(Eriç, 2002)	2700	-	-	-	-	-	-	-	Koyu yeşil	-
(Winkler, 1975)	2200-2300	0,6-1,26	-	-	10-15	-	-	-	-	-
(Gündüz ve diğ, 2012)	2236	1,94	-	973	9,34	-	-	-	-	-
(Tufan ve Kun, 2014)	2400	1,35	-	-	4,17	-	-	-	-	-
(Ceylan, 2016)	2390	-	-	-	5,25	-	-	-	Gri	-
(Url-22)	2770	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(Url-24)	2200-2650	0,6-1,26	-	330-2450	10-15	-	-	-	-	-
(Url-25)	2110-2360	-	-	2390	Düşük porlu	-	-	-	Gri	İnce Taneli
Firma-İnci Taş Madencilik	2670	-	-	-	8,43	-	-	-	-	-
Design Builder (CIBSE Guide A (2006))	2050	0,52	50	180	-	0,9	0,6	0,6	Gri	Pürüzlü
(TS 10835, 1993)	2550	-	-	-	8-13	-	-	-	Mor	Benekli
(TS EN 12524, 2000)	1600	0,55	1000	-	-	-	-	-	-	-
Andezit- Yüksek Yoğunluk	2650 (Url-24)	1,26 (Url-24)	1000 (TS EN 12524, 2000)	330 (Url-24)	0,1 (Url-24)	0,9 Design Builder (CIBSE Guide A (2006))	0,6 Design Builder (CIBSE Guide A (2006))	0,6 Design Builder (CIBSE Guide A (2006))	Mor (TS 10835, 1993)	Pürüzlü (Design Builder)
Andezit- Düşük Yoğunluk	2263 (Gündüz ve diğ, 2012)	0,52 Design Builder (CIBSE Guide A (2006))	50 Design Builder (CIBSE Guide A (2006))	973 (Gündüz ve diğ, 2012)	0,15 (Winkler, 1975)	0,9 Design Builder (CIBSE Guide A (2006))	0,6 Design Builder (CIBSE Guide A (2006))	0,6 Design Builder (CIBSE Guide A (2006))	Gri Design Builder (CIBSE Guide A (2006))	Orta Pürüzlü (Url-25)

EK E : Metal esaslı kaplama malzemeleri özellik tabloları.

Çizelge E.1 : Çinko ve alaşımları malzeme özellikleri.

	KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLER				YÜZEY ÖZELLİKLERİ					
	Yoğunluk [kg /m3]	Isıl İletkenlik [W/mK]	Buhar Difüzyon Direnç Katsayısı [μ]	Özgül Isı [J/kgK]	Porozite	Isıl Emicilik	Güneş Emicilik	Görünür Emicilik	Renk	Doku
(Herzog ve diğ, 2004)	7200	116	-	390	-	-	-	-	-	-
(Hegger ve diğ, 2006)	7130-7200	109-113	-	-	-	-	-	-	-	-
(Watts, 2016)	7000	115	-	380	-	-	-	-	-	-
(Kaltenbach, 2004)	7130	116	-	-	-	-	-	-	-	-
(Eriç, 2002)	7200	112	-	-	-	-	-	-	-	-
(Onaran, 1993)	7140	117	-	389	-	-	-	-	-	-
(Shackelfor ve Alexander, 2001)	6600-7180	104-115	-	388	-	-	-	-	-	-
(Bolz ve Tuve, 1973)	-	115	-	263-389	-	-	-	-	-	-
(Url-22)	7120	-	-	380-388	-	-	-	-	-	-
(Url-24)	7100	112,2	-	389	-	-	0,05	-	-	Az pürüzlü
Avas Metal	7141	92,6	-	-	-	-	-	-	-	-
Design Builder (CIBSE Guide A (2006))	7000	113	Geçirgen değil	390	-	0,9	0,6	0,6	Gri	Pürüzlü
Design Builder (ISO 10456)	7200	110	Geçirgen değil	380	-	0,3	0,3	0,3	Gri	Pürüzlü
(TS EN 12524, 2000)	7200	110	-	380	-	-	-	-	-	-
Çinko-Yüksek Yoğunluk	7200 (Herzog ve diğ, 2004)	116 (Herzog ve diğ, 2004)	Geçirgen değil Design Builder (ISO 10456)	263 (Bolz ve Tuve, 1973)	-	0,9 Design Builder (CIBSE Guide A (2006))	0,6 Design Builder (CIBSE Guide A (2006))	0,6 Design Builder (CIBSE Guide A (2006))	Gri Design Builder (ISO 10456)	Pürüzlü Design Builder (ISO 10456)
Çinko-Düşük Yoğunluk	7000 (Watts, 2016)	113 (Watts, 2016)	Geçirgen değil Design Builder (ISO 10456)	390 Design Builder (CIBSE Guide A (2006))	-	0,3 Design Builder (ISO 10456)	0,3 Design Builder (ISO 10456)	0,3 DesignBuilder (ISO 10456)	Gri Design Builder (ISO 10456)	Az Pürüzlü (Url-22)

Çizelge E.2 : Titanyum-çinko malzeme özellikleri.

	KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLER					YÜZEY ÖZELLİKLERİ				
	Yoğunluk [kg /m ³]	Isıl İletkenlik [W/mK]	Buhar Difüzyon Direnç Katsayısı [μ]	Özgül Isı [J/kgK]	Porozite	Isıl Emicilik	Güneş Emicilik	Görünür Emicilik	Renk	Doku
(Herzog ve diğ., 2004)	7200	109	-	398	-	-	-	-	-	-
(Hegger ve diğ., 2006)	7200	109	-	-	-	-	-	-	-	-
(Shackelfor ve Alexander, 2001)	7180	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(Bolz ve Tuve, 1973)	-	-	-	-	-	-	0,2-0,5	0,2-0,3	-	-
(Henninger 1984)	-	-	-	-	-	0,52	-	-	-	-
Firma-RHEINZINK (Url-8)	7200	109	-	398	-	-	-	-	Mavi-gri	Parlak metalik
Firma-VMZINC (Url-7)	7200	110	-	-	-	-	-	-	Antrasit	Parlak metalik
Firma-Arcdema Titanyum Çinko (Url-27)	7140	109	-	401	-	-	-	-	Gri	Az pürüzlü
Titanyum-Çinko – Yüksek Yoğunluk	7200 Herzog ve diğ., 2004)	110 (Url-7)	-	398 Herzog ve diğ., 2004)	-	0,52 (Henninger, 1984)	0,5 (Bolz ve Tuve, 1973)	0,3 (Bolz ve Tuve, 1973)	Mavi-gri (Url-8)	Az pürüzlü (Url-27)
Titanyum-Çinko- Düşük Yoğunluk	7140 (Url-27)	109 (Url-27)	-	401 (Url-27)	-	0,52 (Henninger, 1984)	0,2 (Bolz ve Tuve, 1973)	0,2 (Bolz ve Tuve, 1973)	Gri (Url-27)	Az pürüzlü (Url-27)

Çizelge E.3 : Alüminyum malzeme özellikleri.

	KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLER					YÜZEY ÖZELLİKLERİ				
	Yoğunluk [kg /m3]	Isıl İletkenlik [W/mK]	Buhar Difüzyon Direnç Katsayısı [μ]	Özgül Isı [J/kgK]	Porozite	Isıl Emicilik	Güneş Emicilik	Görünür Emicilik	Renk	Doku
(Herzog ve diğ., 2004)	2700	160	-	900	-	-	-	-	-	-
(Hegger ve diğ., 2006)	2699-2780	130-222	-	-	-	-	-	-	-	-
(Watts, 2016)	2700	200	-	880	-	-	-	-	-	-
(Kaltenbach, 2004)	2700	160	-	-	-	-	-	-	-	-
(Nashed, F, 1996)	2640	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(Borch ve diğ., 2004)	-	-	-	-	-	-	-	-	Gri	-
(Onaran, 1993)	2700	220-238	-	921	-	-	-	-	-	-
(Eriç, 2002)	2700	200	-	-	-	-	-	-	-	-
(Toydemir ve diğ., 2000)	2750	204	-	-	-	-	-	-	-	-
(Bolz ve Tuve, 1973)	-	236	-	481-900	-	-	-	0,3	-	-
(Shackelfor ve Alexander, 2001)	2700-2810	96-238	-	900	-	-	-	-	-	-
(TS EN 12524, 2000)	2800	160	-	880	-	-	-	-	-	-
(Henninger 1984)	-	-	-	-	-	-	0,26-0,86	-	-	-
(Url-22)	2700	30-120	-	436-897	-	-	0,1-0,65	-	-	Az pürüzlü
(Url-23)	-	-	-	-	-	0,49-0,45	-	-	-	-
(Url-24)	2698	210	-	900	-	0,2-0,3	-	0,9	-	-
Firma-Atermit	-	-	-	-	-	0,87	0,645	-	-	-
Design Builder - (ISO 10456)	2800	160	Geçirgen değil	880	-	0,3	0,3	0,3	Gri	Pürüzlü
Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	2700	230	Geçirgen değil	880	-	0,9	0,6	0,6	Gri	Pürüzlü
Alüminyum-Yüksek Yoğunluk	2810 (Shackelfor ve Alexander, 2001)	238 (Shackelfor ve Alexander, 2001)	Geçirgen değil Design Builder - (ISO 10456)	481 (Bolz ve Tuve, 1973)	-	0,9 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	0,86 (Henninger 1984)	0,9 (Url-24)	Gri Design Builder (ISO 10456)	Pürüzlü Design Builder (ISO 10456)
Alüminyum-Düşük Yoğunluk	2700 (Herzog ve diğ., 2004)	160 (Kaltenbach, 2004)	Geçirgen değil Design Builder - (ISO 10456)	900 (Shackelfor ve Alexander, 2001)	-	0,2 (Url-24)	0,1 (Url-22)	0,3 (Bolz ve Tuve, 1973)	Gri Design Builder (ISO 10456)	Az pürüzlü (Url-22)

Çizelge E.4 : Titanyum ve alaşımları malzeme özellikleri.

	KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLER				YÜZEY ÖZELLİKLERİ					
	Yoğunluk [kg /m3]	Isıl İletkenlik [W/mK]	Buhar Difüzyon Direnç Katsayısı [μ]	Özgül Isı [J/kgK]	Porozite	Isıl Emicilik	Güneş Emicilik	Görünür Emicilik	Renk	Doku
(Herzog ve diğ, 2004)	4510	22	-	530	-	-	-	-	-	-
(Kaltenbach, 2004).	4510	22	-	-	-	-	-	-	-	--
(Eriç, 2002)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(Borch ve diğ, 2004)	-	-	-	-	-	-	-	-	Gri, bej	Parlak, saten, mat
(Bolz ve Tuve, 1973)	-	20	-	301-523	-	-	0,2-0,5	-	-	-
(Shackelfor ve Alexander, 2001)	4430-4730	8-22	-	213-523	-	-	-	-	-	-
(Url-22)	4500	-	-	470-523	-	-	-	-	-	Az pürüzlü
(Url-24)	4500	17	-	528	-	0,63	-	-	-	-
Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	7300	65	Geçirgen değil	240	-	0,9	0,6	0,6	Açık gri	Pürüzlü
Titanyum- Yüksek Yoğunluk	4730 (Shackelfor ve Alexander, 2001)	22 (Shackelfor ve Alexander, 2001)	Geçirgen değil Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	213 (Shackelfor ve Alexander, 2001)	-	0,9 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	0,6 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	0,6 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	Gri, bej (Borch ve diğ, 2004)	Pürüzlü Design Builder - CIBSE Guide A (2006)
Titanyum- Düşük Yoğunluk	4430 (Shackelfor ve Alexander, 2001)	8 (Shackelfor ve Alexander, 2001)	Geçirgen değil Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	530 (Herzog ve diğ, 2004)	-	0,63 (Url-ad-E4)	0,2 (Bolz ve Tuve, 1973)	0,6 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	Açık gri Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	Az pürüzlü (Url-22)

Çizelge E.5 : Bakır ve alaşımları malzeme özellikleri.

	KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLER				YÜZEY ÖZELLİKLERİ					
	Yoğunluk [kg /m3]	Isıl İletkenlik [W/mK]	Buhar Difüzyon Direnç Katsayısı [μ]	Özgül Isı [J/kgK]	Porozite	Isıl Emicilik	Güneş Emicilik	Görünür Emicilik	Renk	Doku
(Herzog ve diğ., 2004)	8920	305	-	390	-	-	-	-	-	-
(Hegger ve diğ., 2006)	8300-8940	54-394	-	-	-	-	-	-	-	-
(Watts, 2016)	8900	368	-	390	-	-	-	-	-	-
(Kaltenbach, 2004).	8960	150	-	-	-	-	-	-	-	-
(Shackelfor ve Alexander, 2001)	7500-9300	37-393	-	385	-	-	-	-	-	-
(Eriç, 2002)	8900	385	-	-	-	-	-	-	-	-
(Nashed, F, 1996)	8900	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(Borch ve diğ., 2004)	-	-	-	-	-	-	-	-	Sarı, yeşil	Az pürüzlü
(Henninger, 1984)	-	-	-	-	-	-	0,23-0,98	-	-	-
(Bolz ve Tuve, 1973)	-	397	-	255-385	-	-	0,07-0,3	-	-	-
(Url-22)	8790	-	-	385	-	-	0,18-0,64	-	-	Pürüzlü
(Url-23)	-	-	-	-	-	0,49	-	-	-	-
(Url-24)	7760-8960	357-483	-	385	-	0,15	-	0,63	-	--
Firma-Avas metal	8900	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Design Builder – ISO 10456	8900	300	Geçirgen değil	380	-	0,3	0,3	0,3	Gri	Pürüzlü
Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	8600	384	Geçirgen değil	390	-	0,9	0,6	0,6	Gri	Pürüzlü
(TS EN 12524, 2000)	8900	380	-	380	-	-	-	-	-	-
Bakır- Yüksek Yoğunluk	9300 (Shackelfor ve Alexander, 2001)	393 (Shackelfor ve Alexander, 2001)	Geçirgen değil Design Builder – ISO 10456	255 (Bolz ve Tuve, 1973)	-	0,9 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	0,64 (Url-22)	0,63 (Url-24)	Gri Design Builder – ISO 10456	Pürüzlü Design Builder – ISO 10456
Bakır- Düşük Yoğunluk	7500 (Shackelfor ve Alexander, 2001)	37 (Shackelfor ve Alexander, 2001)	Geçirgen değil Design Builder – ISO 10456	385 (Url-24)	-	0,15 (Url-24)	0,23 (Bolz ve Tuve, 1973)	0,3 Design Builder – ISO 10456	Gri Design Builder – ISO 10456	Az Pürüzlü (Borch ve diğ., 2004)

Çizelge E.6 : Çelik malzeme özellikleri.

	KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLER				YÜZEY ÖZELLİKLERİ					
	Yoğunluk [kg /m ³]	Isıl İletkenlik [W/mK]	Buhar Difüzyon Direnç Katsayısı [μ]	Özgül Isı [J/kgK]	Porozite	Isıl Emicilik	Güneş Emicilik	Görünür Emicilik	Renk	Doku
(Herzog ve diğ, 2004)	7800-7980	15	-	400	-	-	-	-	-	-
(Hegger ve diğ, 2006)	7850-7960	15-56,9	-	-	-	-	-	-	-	-
(Watts, 2016)	7600-8100	16-45	-	480-502	-	-	-	-	-	Az pürüzlü
(Kaltenbach, 2004).	7800	65	-	-	-	-	-	-	-	-
(Eriç, 2002)	7800-7830	41-66	-	-	-	-	-	-	-	-
(Nashed, F, 1996)	7850	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(Toydemir, 2000)	7850	58	-	-	-	-	-	-	-	-
(Li ve Ren, 2011)	7850	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(Bolz ve Tuve, 1973)	-	-	-	-	-	-	0,2-0,5	-	-	-
(Shackelfor ve Alexander, 2001)	7940-8055	45-51	-	-	-	-	-	-	-	-
(Url-22)	7820	16,3	-	490	-	-	0,76-0,81	-	-	Pürüzlü
(Url-24)	7872	-	-	481-1105	-	-	-	-	-	-
(TS EN 12524, 2000)	7800	50	-	450	-	-	-	-	-	-
Design Builder (ASHRAE Handbook)	7800	50	150	450	-	0,9	0,7	0,7	Gri	Pürüzlü
Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	7800	45	Geçirgen değil	480	-	0,9	0,6	0,6	Açık gri	Pürüzlü
Firma-Ankara alüminyum	7700-8000	15-25	-	430-500	-	-	-	-	-	-
Çelik- Yüksek Yoğunluk	8100 (Watts, 2016)	51 (Shackelfor ve Alexander, 2001)	Geçirgen değil Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	450 (TS EN 12524, 2000)	-	0,9 Design Builder (ASHRAE Handbook)	0,81 (Url-22)	0,7 Design Builder (ASHRAE Handbook)	Gri Design Builder (ASHRAE Handbook)	Pürüzlü Design Builder (ASHRAE Handbook)
Çelik- Düşük Yoğunluk	7600 (Watts, 2016)	16 (Watts, 2016)	Geçirgen değil Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	502 (Watts, 2016)	-	0,9 Design Builder (ASHRAE Handbook)	0,2 (Bolz ve Tuve, 1973)	0,6 Design Builder CIBSE Guide A (2006)	Gri- Design Builder (ASHRAE Handbook)	Az Pürüzlü (Watts, 2016)

Çizelge E.7 : Paslanmaz çelik malzeme özellikleri.

	KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLER					YÜZEY ÖZELLİKLERİ				
	Yoğunluk [kg /m3]	Isıl İletkenlik [W/mK]	Buhar Difüzyon Direnç Katsayısı [μ]	Özgül Isı [J/kgK]	Porozite	Isıl Emicilik	Güneş Emicilik	Görünür Emicilik	Renk	Doku
(Hegger ve diğ, 2006)	7920-7960	14,5-15	-	-	-	-	-	-	-	-
(Onaran, 1993)	7930	15-30	-	586	-	-	-	-	-	-
(Nashed, F, 1996)	7850	-	-	-	-	-	-	-	-	Pürüzlü
(Borch ve diğ, 2004)	-	-	-	-	-	-	-	-	Mavimsi gri	Saten, mat
(Henninger,1984)	-	-	-	-	-	-	0,39-0,58	-	-	-
(Url-24)	1900-9010	10,0-34,3	-	200-850	-	0,7	-	-	-	-
Firma-Uğur paslanmaz	8000	16,3-21,5	-	500	-	-	-	-	-	-
Firma-Sarıtaş çelik	7700	25	-	460	-	-	-	-	-	-
Design Builder – ISO 10456	7900	17	Geçirgen değil	460	-	0,3	0,2	0,2	Gri	Pürüzlü
Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	8000	16	Geçirgen değil	480	-	0,9	0,6	0,6	Açık gri	Pürüzlü
(TS EN 12524, 2000)	7900	17	-	460	-	-	-	-	-	-
Paslanmaz çelik-Yüksek Yoğunluk	9000 (Url-24)	34,3 (Url-24)	Geçirgen değil Design Builder – ISO 10456	200 (Url-24)	-	0,9 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	0,6 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	0,6 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	Gri Design Builder – ISO 10456	Pürüzlü Design Builder – ISO 10456
Paslanmaz çelik-Düşük Yoğunluk	7700 Firma- Sarıtaş çelik	17 (TS EN 12524, 2000)	Geçirgen değil Design Builder – ISO 10456	460 (TS EN 12524, 2000)	-	0,3 Design Builder – ISO 10456	0,2 Design Builder – ISO 10456	0,2 Design Builder – ISO 10456	Açık gri- Design Builder	Pürüzlü Design Builder – ISO 10456

EK F : Kil esaslı kaplama malzemeleri özellik tabloları.

Çizelge F.1 : Prese tuğla malzeme özellikleri.

	KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLER						YÜZEY ÖZELLİKLERİ			
	Yoğunluk [kg /m3]	Isıl İletkenlik [W/mK]	Buhar Difüzyon Direnç Katsayısı [μ]	Özgül Isı [J/kgK]	Porozite	Isıl Emicilik	Güneş Emicilik	Görünür Emicilik	Renk	Doku
(Hegger ve diğ, 2006)	1800-2200	0,81-1,20	50/100	-	-	-	-	-	-	-
(Herzog ve diğ, 2004)	-	0,18-0,56	-	-	-	-	-	-	-	-
Işıklar tuğla	1559-1640	0,400	-	-	-	-	-	-	-	-
Doğanay tuğla	1400	0,517	8,98	-	-	-	-	-	-	-
(Camino ve diğ, 2016)	1980	-	-	-	0,28	-	-	-	Koyu kırmızı	Pürüzlü
Design Builder CIBSE Guide A (2006)	850-1950	0,27-0,79	40-70	840	0,72	0,9	0,6	0,6	Kahverengi	Pürüzlü
(Url-22)	-	-	-	1000	-	-	0,63-0,75	-	-	-
Prese tuğla- Yüksek yoğunluk	2200 (Hegger ve diğ, 2006)	1,20 (Hegger ve diğ, 2006)	50 (Hegger ve diğ, 2006)	840 Design Builder CIBSE Guide A (2006)	0,28 (Camino ve diğ, 2016)	0,9 Design Builder CIBSE Guide A (2006)	0,75 (Url-22)	0,6 Design Builder CIBSE Guide A (2006)	Kahverengi Design Builder CIBSE Guide A (2006)	Pürüzlü (Camino ve diğ, 2016)
Prese tuğla- Düşük yoğunluk	850 Design Builder CIBSE Guide A (2006)	0,27 Design Builder CIBSE Guide A (2006)	40 Design Builder CIBSE Guide A (2006)	1000 (Url-22)	0,72 Design Builder CIBSE Guide A (2006)	0,9 Design Builder CIBSE Guide A (2006)	0,6 Design Builder CIBSE Guide A (2006)	0,6 Design Builder CIBSE Guide A (2006)	Koyu kırmızı (Camino ve diğ, 2016)	Pürüzlü (Camino ve diğ, 2016)

Çizelge F.2: Klinker kaplama tuğla malzeme özellikleri.

	KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLER					YÜZEY ÖZELLİKLERİ				
	Yoğunluk [kg /m ³]	Isıl İletkenlik [W/mK]	Buhar Difüzyon Direnç Katsayısı [μ]	Özgül Isı [J/kgK]	Porozite	Isıl Emicilik	Güneş Emicilik	Görünür Emicilik	Renk	Doku
(Li ve Ren, 2011)	2500-2800	0,78	14-23	-	0,2-0,4	-	-	-	-	-
(Toydemir ve diğ, 2000)	2050	-	384-469	-	-	-	-	-	-	-
Firma-Doğanay Klinker Tuğla&kiremit (Url-28)	1900	-	-	-	-	-	-	-	Kahverengi ve sarı	Çok Pürüzlü
(Bolz ve diğ, 1973)	-	-	-	-	-	0,6-0,95	0,4-0,8	-	-	-
Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	1890	0,8	60	880	-	0,9	0,6	0,6	Kırmızı	Pürüzlü
Firma-Işıklar tuğla (Url-10)	1559	0,422	-	-	-	-	-	-	Beyaz	-
(TS 825, 2013)	2050	-	384-469	-	-	-	-	-	-	-
Klinker tuğla- Yüksek Yoğunluk	2800 (Li ve Ren, 2011)	0,78 (Li ve Ren, 2011)	23 (Li ve Ren, 2011)	880 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	0,2 (Li ve Ren, 2011)	0,95 (Bolz ve diğ, 1973)	0,8 (Bolz ve diğ, 1973)	0,6 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	Kırmızı Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	Çok Pürüzlü (Url-28)
Klinker tuğla- Düşük Yoğunluk	1890 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	0,422 (Url-10)	60 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	880 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	0,4 (Li ve Ren, 2011)	0,6 (Bolz ve diğ, 1973)	0,4 (Bolz ve diğ, 1973)	0,6 Design Builder - CIBSE Guide A (2006)	Sarı- (Url-28)	Pürüzlü Design Builder - CIBSE Guide A (2006)

Çizelge F.3: Porselen malzeme özellikleri.

	KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLER						YÜZEY ÖZELLİKLERİ			
	Yoğunluk [kg /m ³]	Isıl İletkenlik [W/mK]	Buhar Difüzyon Direnç Katsayısı [μ]	Özgül Isı [J/kgK]	Porozite	Isıl Emicilik	Güneş Emicilik	Görünür Emicilik	Renk	Doku
(Bolz ve diğ, 1973)	2300-2500	1,5	-	921	-	-	0,80-0,95	0,4-0,9	-	-
(Eriç, 2002)	2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(Eren ve diğ, 2014) Örnek-1	2490-2490	-	-	-	0,32	-	-	-	-	-
(Eren ve diğ, 2014) Örnek-2	2440-2460	-	-	-	0,37	-	-	-	-	-
(Eren ve diğ, 2014) Örnek-3	2443	-	-	-	0,46	-	-	-	-	-
(Url-22)	2300-2500	-	-	1085	-	-	-	-	-	Az pürüzlü
(Url-24)	2400-3100	2,20-5	-	-	-	-	0,5-0,7	-	-	-
Firma-Termal seramik	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Firma- Artı cephe sistemleri	-	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-
Firma-Kalebodur	-	1,2	-	-	-	-	-	-	18 renk	Mat, parlak,
Designbuilder - ISO 10456	2300	1,3	2500	840	-	0,6-0,9	0,4	0,4	Kırmızı	Pürüzlü
(TS EN 12524, 2000)	2300	1,3	-	840	-	-	-	-	-	-
Porselen- Yüksek Yoğunluk	3100 (Url-24)	5 (Url-24)	2500 Designbuilder - ISO 10456	840 (TS EN 12524, 2000)	0,32 (Eren ve diğ, 2014)	0,9 Designbuilder - ISO 10456	0,7 (Url-24)	0,9 (Bolz ve diğ, 1973)	Kırmızı Designbuilder - ISO 10456	Pürüzlü Designbuilder - ISO 10456
Porselen- Düşük Yoğunluk	2300 (Bolz ve diğ, 1973)	1,3 (TS EN 12524, 2000)	2500 Designbuilder - ISO 10456	1085 (Url-22)	0,46 (Eren ve diğ, 2014)	0,6 Designbuilder - ISO 10456	0,5 (Url-24)	0,4 (Bolz ve diğ, 1973)	Kırmızı Designbuilder - ISO 10456	Az pürüzlü (Url-22)

Çizelge F.4: Seramik malzeme özellikleri.

	KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLER				YÜZEY ÖZELLİKLERİ					
	Yoğunluk [kg /m ³]	Isıl İletkenlik [W/mK]	Buhar Difüzyon Direnç Katsayısı [μ]	Özgül Isı [J/kgK]	Porozite	Isıl Emicilik	Güneş Emicilik	Görünür Emicilik	Renk	Doku
(Herzog ve diğ, 2004)	1600-2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(Toydemir ve diğ, 2000)	1200	0,70	1044	-	-	-	-	-	-	-
(Eriç, 2002)	2000	1,7	-	-	-	-	0,3-0,9	-	-	-
(Bolz ve diğ, 1973)	-	-	-	-	0,2-0,95	-	0,4-0,8	-	-	-
(Grondzik ve diğ, 1973)	-	-	-	880	-	-	-	-	-	-
Neolith seramik	2400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Firma-Tonality Natural Facades	2240	1,17	-	-	-	-	-	-	Bej, turuncu	Az pürüzlü
Designbuilder - CIBSE Guide A (2006)	1120-2500	0,69-1,83	Geçirgen değil- 4000	840-850	-	0,9	0,6	0,6	Bej, gri	Pürüzlü
Seramik- Yüksek yoğunluklu	2500 Designbuilder - CIBSE Guide A (2006)	1.83 Designbuilder - CIBSE Guide A (2006)	4000 Designbuilder - CIBSE Guide A (2006)	840 Designbuilder - CIBSE Guide A (2006)	0,2 (Bolz ve diğ, 1973)	0,9 Designbuilder - CIBSE Guide A (2006)	0,7 (Bolz ve diğ, 1973)	0,6 Designbuilder - CIBSE Guide A (2006)	Bej Designbuilder - CIBSE Guide A (2006)	Pürüzlü Designbuilder - CIBSE Guide A (2006)
Seramik- Düşük yoğunluklu	1200 (Toydemir ve diğ, 2000)	0.7 (Toydemir ve diğ, 2000)	1044 (Toydemir ve diğ, 2000)	880 (Grondzik ve diğ, 1973)	0,95 (Bolz ve diğ, 1973)	0,9 Designbuilder - CIBSE Guide A (2006)	0,6 Designbuilde - CIBSE Guide A (2006)	0,6 Designbuilder - CIBSE Guide A (2006)	Gri Designbuilder - CIBSE Guide A (2006)	Az Pürüzlü (Grondzik ve diğ, 1973)

EK G : Çimento esaslı kaplama malzemeleri özellik tabloları.

Çizelge G.1: Isı yalıtım sıvası malzeme özellikleri.

	KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLER					YÜZEY ÖZELLİKLERİ				
	Yoğunluk [kg /m ³]	Isıl İletkenlik [W/mK]	Buhar Difüzyon Direnç Katsayısı [μ]	Özgül Isı [J/kgK]	Porozite	Isıl Emicilik	Güneş Emicilik	Görünür Emicilik	Renk	Doku
(Bolz ve diğ, 1973)	-	-	-	-	-	-	0,6-0,95	-	-	-
(Eriç, 2002)	-	-	10	-	-	0,2-0,3	-	-	-	-
(Url-23)	-	-	-	-	-	-	0,86-0,90	-	-	-
(Url-24)	1250	0,43	-	1088	-	-	-	-	-	-
(Url-29)	1150-	-	≤15	-	-	-	-	-	-	-
(XPS-EPS-taş yünü)	1650	-	≤15	-	-	-	-	-	-	-
(Url-10)	1150	-	≤ 15	-	-	-	-	-	Gri	-
(XPS-EPS-taşıyünü)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Firma-Hitkim yapı kimyasalları (XPS-EPS)	≥1150	≤ 0,47	≤ 15	-	-	-	-	-	-	-
Firma-Fixa (XPS-EPS-taşıyünü)	≥ 1150	0,3	≤ 15	-	-	-	-	-	Gri	-
Firma-Yiğitsan (XPS-EPS-taşıyünü)	1400-1600	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(Url-31) (EPS)	1150-1450	-	≤15	-	-	-	-	-	Gri	-
(Url-31)	1300-1500	≤ 0,47	≤15	-	-	-	-	-	Gri	-
(Url-30)	700	0,21	-	-	-	-	-	-	-	-
Firma-Fawori	1050-1650	≤ 0,47	-	-	-	-	-	-	-	-
Designbuilder-örnek 1	1000	0,4	10	1000	-	0,9	0,7	0,7	Gri	Az pürüzlü
Designbuilder-örnek 2	1300	0,5	10	1000	-	0,9	0,7	0,7	Gri	Pürüzlü
(Peterková vediğ, 2018)	-	-	5,9-6,34	-	61,28-75,17	-	-	-	-	-
Sıva – Yüksek Yoğunluk	1500 (Url-31)	0,47 (Url-31)	15 (Url-31)	1000 Designbuilder-örnek 2	61,28 (Peterková vediğ, 2018)	0,9 Designbuilder-örnek 2	0,7 Designbuilder-örnek 2	0,7 Designbuilder-örnek 2	Gri Designbuilder-örnek 2	Pürüzlü Designbuilder-örnek 2
Sıva – Düşük Yoğunluk	700 (Url-30)	0,21 (Url-30)	10 Designbuilder-örnek 1	1000 Designbuilder-örnek 1	75,17 (Peterková vediğ, 2018)	0,9 Designbuilder-örnek 1	0,7 Designbuilder-örnek 1	0,7 Designbuilder-örnek 1	Gri Designbuilder-örnek 1	Az Pürüzlü Designbuilder-örnek 1

Çizelge G.2: Lifli çimento levha malzeme özellikleri.

	KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLER					YÜZEY ÖZELLİKLERİ				
	Yoğunluk [kg /m3]	Isıl İletkenlik [W/mK]	Buhar Difüzyon Direnç Katsayısı [μ]	Özgül Isı [J/kgK]	Porozite	Isıl Emicilik	Güneş Emicilik	Görünür Emicilik	Renk	Doku
(Bolz ve diğ., 1973) Ahşap lif takviyeli levha	576-1073	-	-	-	-	-	0,1-0,3	-	-	-
(Eriç, 2002)	-	-	5-70	-	-	-	-	-	-	-
(Url-23)	-	-	-	-	-	0,85	-	-	-	-
Firma-Betopan Ahşap lif takviyeli çimento (Url-14)	1250-1350	0,15-0,16	13,31	-	0,3	-	-	-	Gri	-
Firma-Beton wood – Ahşap lif takviyeli çimento (Url-32)	-	0,038	5	2100	-	-	-	-	-	-
Firma-Timaş Betopan -Ahşap lif takviyeli çimento (Url-33)	1250-1525	0.19-0.21	-	-	-	-	-	-	-	-
Firma-Ekoboard Selüloz lif takviyeli çimento	1370	0,18	190	-	-	-	-	-	-	-
Design Builder - ASHRAE Handbook - Ahşap lif takviyeli çimento	1400	0,25	150	840	-	0,9	0,7	0,7	Gri	Pürüzlü
Firma - Hekiboard	1300-1400	0,20	30	-	<% 0,3	-	-	-	-	-
Firma-Ordopa	1320-1420	0,18	190	-	<% 0,3	-	-	-	-	-
Lifli Çimento Levha – Yüksek Yoğunluk	1525 (Url-33)	0,25 Design Builder - ASHRAE Handbook	150 Design Builder - ASHRAE Handbook	840 Design Builder ASHRAE Handbook	0,3 (Url-14)	0,9 Design Builder ASHRAE Handbook	0,7 Design Builder ASHRAE Handbook	0,7 Design Builder ASHRAE Handbook	Gri Design Builder ASHRAE Handbook	Pürüzlü Design Builder ASHRAE Handbook
Lifli Çimento Levha – Düşük Yoğunluk	800 (Bolz ve diğ., 1973)	0,038 (Url-32)	5 (Url-32)	2100 (Url-32)	0,3 (Url-14)	0,85 (Url-23)	0,3 (Bolz ve diğ., 1973)	0,7 Design Builder ASHRAE Handbook	Gri – Design Builder ASHRAE Handbook	Pürüzlü Design Builder ASHRAE Handbook



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Burçin Balıkçı
Doğum Tarihi ve Yeri : 03.05.1994 Antakya/HATAY
E-posta : balikci.burcin@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, Mersin Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü.