



**OPAK HAVALANDIRMALI CEPHE SİSTEMİNİN SICAK NEMLİ
İKLİMDE ISIL PERFORMANSININ OPTİMİZASYONU**

Fulya GÖKŞEN TAKVA

**DOKTORA TEZİ
MİMARLIK ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2024

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Fulya GÖKŞEN TAKVA

12/12/2024

OPAK HAVALANDIRMALI CEPHE SİSTEMİNİN SICAK NEMLİ İKLİMDE ISIL PERFORMANSININ OPTİMİZASYONU

(Doktora Tezi)

Fulya GÖKŞEN TAKVA

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2024

ÖZET

Binaların yaşam döngüsü boyunca, yapı kabuğundan kaynaklanan enerji kayıpları ve kazançları, toplam enerji tüketimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Küresel ısınmanın etkisiyle soğutma ihtiyacı her yıl artmakta, bu durum binalarda yüksek ısı performansına sahip yapı kabuğu tasarımını zorunlu hale getirmektedir. Sıcak ve nemli iklim bölgelerinde, cephe bileşenlerinin özellikle soğutma döneminde ısı kazancını minimize etmesi, enerji verimliliği açısından kritik bir önem taşımaktadır. Bu bağlamda, çalışmanın temel hipotezi, sıcak ve nemli iklim koşullarında yer alan binalar için, iklime uyum sağlayan, kullanıcıların ısı konfor gereksinimlerini karşılayan, soğutma enerjisi tüketimini azaltan, maliyet etkin ve yüksek ısı performanslı bir cephe sisteminin geliştirilebileceğidir. Bu hipoteze dayanarak, opak havalandırmalı cephe sistemlerinin bu iklim bölgelerinde enerji verimliliğini artırarak sürdürülebilir bir çözüm sunacağı öngörülmektedir. Tez kapsamında, havalandırmalı cephe sisteminin Türkiye'nin sıcak ve nemli iklim bölgesindeki soğutma yüklerini azaltma potansiyeli nicel olarak incelenmiştir. Çalışma, sıcak ve nemli iklim koşullarına uygun tasarım parametrelerinin optimizasyonuna, iklim verilerinin (güneş ışınımı, sıcaklık ve hava hareketi) cephe performansına etkilerinin analizine, optimum havalandırma boşluğu geometrilerinin ve yeni menfez konfigürasyonlarının geliştirilmesine odaklanmıştır. Ayrıca, farklı cephe yönlerinin, kaplama malzemelerinin ve ısı yalıtım katmanlarının ısı performans üzerindeki etkileri irdelenmiş ve önerilen cephe tiplerinin yatırım maliyeti de hesaplanmıştır. Yapının termo-akışkan dinamiklerinin karmaşıklığı nedeniyle, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemi kullanılarak ANSYS Fluent yazılımı aracılığıyla ayrıntılı simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, havalandırmalı cephe sistemlerinin, havalandırmasız cephelere kıyasla yaz dönemindeki ısı kazanımlarını %58-%64 oranında azaltabildiğini göstermiştir. Bu sonuçlar, havalandırmalı cephe sistemlerinin sıcak ve nemli iklim bölgelerinde enerji verimliliğini artırmada önemli bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Bilim Kodu : 80130

Anahtar Kelimeler : Opak havalandırmalı cephe, sıcak-nemli iklim bölgesi, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (had), ısı performans, soğutma yükü azaltma.

Sayfa Adedi : 169

Danışman : Prof. Dr. İdil AYÇAM

OPTIMIZATION OF THERMAL PERFORMANCE OF OPAQUE VENTILATED FACADE SYSTEM IN HOT HUMID CLIMATE

(Ph. D. Thesis)

Fulya GÖKŞEN TAKVA

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2024

ABSTRACT

Throughout the building's lifecycle, energy losses and gains originating from the building envelope significantly impact total energy consumption. As a result of global warming, the demand for cooling is increasing each year, making the design of building envelopes with high thermal performance essential. In hot and humid climate zones, minimizing heat gain through façade components, particularly during the cooling season, is critical for ensuring energy efficiency. In this context, the main of the study is that a climate-adaptive, cost-effective, and high thermal performance façade system, which reduces cooling energy consumption and meets the thermal comfort needs of occupants, can be developed for buildings in hot and humid climates. Based on this hypothesis, it is anticipated that opaque ventilated façade systems will offer a sustainable solution by enhancing energy efficiency in these climate zones. Grounded in this hypothesis, it is predicted that opaque ventilated façade systems will offer a sustainable solution by increasing energy efficiency in these climatic zones. Within the scope of the thesis, the potential of the ventilated façade system to reduce cooling loads in the hot and humid climate zone of Turkey was examined quantitatively. The study focuses on the optimization of design parameters suitable for hot and humid climates, analyzing the impact of climatic data (solar irradiation, temperature, and air movement) on façade performance, and developing optimal ventilation cavity geometries and new vent configurations. In addition, the effects of different façade orientations, cladding materials, and insulation layers on thermal performance have been examined, and the investment costs of the proposed façade types have also been calculated. Due to the complexity of the structure's thermo-fluid dynamics, detailed simulations were performed through ANSYS Fluent software using the Computational Fluid Dynamics (CFD) method. The findings showed that ventilated façade systems can reduce summer heat gains by 58%-64% compared to non-ventilated facades. These results reveal that ventilated façade systems have significant potential to increase energy efficiency in hot and humid climatic zones.

Science Code : 80130

Key Words : Opaque ventilated facade, hot-humid climate zone, computational fluid dynamics (CFD), thermal performance, cooling load reduction.

Page Number : 169

Supervisor : Prof. Dr. İdil AYÇAM

TEŞEKKÜR

Akademik hayatımın ve bu uzun soluklu araştırma sürecimin her aşamasında bilgi ve deneyimleriyle bana rehberlik eden, çalışmalarımı yönlendiren değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. İdil AYÇAM'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Tez sürecim boyunca çalışmama değerli katkılar sağlayan tez izleme komitesi üyelerim Sayın Prof. Dr. Cüneyt KURTAY ve Sayın Prof. Dr. Mustafa ŞAHMARAN'a; tez savunması sürecinde yer alan ilgi ve uzmanlıklarıyla desteğini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Asena SOYLUK ve Sayın Prof. Dr. Arzuhan Burcu GÜLTEKİN'e şükranlarımı ifade etmek isterim. Bu süreçte akademik gelişimime katkıda bulunan, destek ve deneyimlerini benimle paylaşan Prof. Dr. Sare SAHİL, Prof. Dr. Mehmet Emin TUNA, Prof. Dr. Zeynep Yeşim İLERİSOY ve Gazi Üniversitesi Mimarlık Bölümü ailesine de gönülden teşekkür ederim.

Sevgileri ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan ailem; kıymetli annem Nurhan AVAN GÖKŞEN'e, fiziken yanımda olamasa da varlığını her daim hissettiğim babam Ali GÖKŞEN'e, değerli ablam Fatmanur AVCI ve abim Numan AVCI'ya, canım yeğenim Begüm AVCI'ya sonsuz minnettarım.

Doktora sürecimdeki tüm zorluklarla başa çıkmamda, aynı zamanda kişisel yaşamımda da bana sürekli destek veren, sevgi ve sabırla yanımda olan hayat arkadaşım Yenal TAKVA'ya özel olarak teşekkürlerimi sunarım.

Lisans, Yüksek lisans ve Doktora süreçlerini birlikte deneyimlediğim sevgili arkadaşım Cansu BEKLER'e ve manevi destekleriyle motivasyonumu artıran değerli ekip arkadaşlarım Burcu Buram ÇOLAK, Elvan KUMTEPE, Pelin SARICIOĞLU'na da ayrıca teşekkür ederim.

Son olarak, bu çalışmaya doğrudan ya da dolaylı olarak katkıda bulunan, desteklerini ve teşviklerini esirgemeyen ve adını sayamadığım tüm arkadaşlarıma en içten şükranlarımı ve saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	c
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. BİNALARDA ISIL PERFORMANSA YÖNELİK TEMEL KAVRAMLAR.....	13
2.1. İç Ortam Isıl Konfor Koşulları.....	13
2.2. Dış çevreye ilişkin etmenler (İklim)	15
2.3. Yapma çevreye ilişkin etkenler.....	20
2.3.1. Bina kabuğu	21
2.3.2. Bina kabuğunun ısı performans özellikleri	24
3. HAVALANDIRMALI CEPHE SİSTEMLERİ VE ISIL PERFORMANSA ETKİSİ	31
3.1. Havalandırılmalı Cephe Sistemlerinin Tarihçesi	31
3.2. Havalandırılmalı Cephe Sistemi ve Sınıflandırılması	39
3.3. Havalandırılmalı Cephe Kaplama Sistemi ve Isıl Özellikleri	41
3.4. Havalandırılmalı Cephe Sistemi Katmanları.....	47
3.4.1. Cephe kaplama elemanları	47
3.4.2. Cephenin taşıyıcı sistemi.....	51
3.4.3. Cephedeki havalandırma boşluğu	52
3.4.4. Cephenin ısı yalıtımı katmanı	53

	Sayfa
3.4.5. Cephenin iç duvar katmanı.....	54
3.4.6. Cephedeki diğer malzemeler.....	55
4. MATERYAL VE YÖNTEM	57
4.1. Analiz Yapılacak olan İllerin belirlenmesi	57
4.2. Simülasyon Yöntemi.....	61
4.2.1. Önerilen cephe sisteminin modellenmesi:	62
4.2.2. Cephe modelinin mesh yapısının tanımlanması:	64
4.2.3. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analiz ayarları	66
4.2.4. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	68
4.3. Alan Çalışması Akış Şeması	70
5. ALAN ÇALIŞMASI.....	73
5.1. Birinci Derece Gün Bölgesindeki Farklı İllere Ait Analizler	73
5.2. Cephe Sisteminin Optimum Havalandırma Boşluk Geometrisinin Elde edilmesi	77
5.2.1. Havalandırma boşluk geometrileri “d” ve “d _{out} ”un optimizasyonu	77
5.2.2. Optimum boşluk geometrisinin farklı yüksekliklerdeki (H) davranışının incelenmesi	82
5.3. Çift Çıkışlı Havalandırma Menfezi (F2)	86
5.3. Cephe Sisteminin Farklı Cephe Yönlerdeki Davranışı:	93
5.5. Farklı Cephe Kaplama Malzemelerinin Analizi	97
5.6. Havalandırılmalı Cephe Sisteminin Yalıtımlı ve Yalıtımsız Tiplerinin Karşılaştırılması	103
5.7. Kil Esaslı Cephe Sisteminin Açık ve Kapalı Derzli Modeli	106
5.7.1. F1 Cephe sisteminin açık ve kapalı derzli modeli	107
5.7.2. F2 Cephe sisteminin açık ve kapalı derzli modeli	111
5.8. F1 ve F2 Cephe Sisteminin 3D Analizi.....	115
5.8.1. F1 Cephe sisteminin 3D analizi	115

	Sayfa
5.8.2. F2 Cephe sisteminin 3D analizi	119
5.9. Sürekli ve Süreksiz Hava Çıkış Menfezinin Analizi.....	123
5.10. Önerilen Cephe Sistemlerinin Maliyet Hesabı.....	128
6. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	139
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	151
KAYNAKLAR	159
ÖZGEÇMİŞ	169

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Dış cephe performans kriterleri (Hens, 2012)	26
Çizelge 4.1. Birinci derece gün illeri (TS 825-Ek D, 2013)	58
Çizelge 4.2. Bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri (TS 825-Ek A, 2013)	58
Çizelge 4.3. Seçilen illerin yaz dönemi günlük sıcaklık, ısıtım ve rüzgâr hız verileri (Url-8;9;10)	61
Çizelge 4.4. Duvar sisteminde kullanılacak olan malzemelerin ölçüleri ve termofiziksel özellikleri (TS 825-Ek E, 2013)	67
Çizelge 4.5. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi amacıyla hazırlanan çizelgeye ait içerik bilgisi	69
Çizelge 5.1. Birinci derece gün bölgesinde yer alan Adana, İzmir ve Hatay illerinin Analizi.....	73
Çizelge 5.2. Hava boşluğunun geometrik konfigürasyonların Analizi.....	78
Çizelge 5.3. Optimum boşluk geometrisinin farklı yükseklikler için davranışı	82
Çizelge 5.4. Cephe sisteminde çift çıkışlı hava menfezinin analiz sonuçları	86
Çizelge 5.5. F1 ve F2 cephe sistemlerinin optimum boşluk geometrilerinin karşılaştırmalı analizi.....	90
Çizelge 5.6. Güneş ısıtım oranlarının yönlerle göre değişimi	94
Çizelge 5.7. Doğu-09.00; Güney-12.00; Batı-16.00 yön ve saatlerine ait analiz sonuçları.....	94
Çizelge 5.8. Cephe kaplama malzemelerinin termofiziksel özellikleri (Atem, 2020; Labat, 2012; Stazi, 2014).....	98
Çizelge 5.9. Havalandırmalı cephe sisteminin yalıtımlı ve yalıtımsız tiplerinin analizi.....	104
Çizelge 5.10. İklim parametreleri, F1 cephe özellikleri ve analiz sonuçlarını içeren veri seti.	116
Çizelge 5.11. İklim parametreleri, F2 cephe özellikleri ve analiz sonuçlarını içeren veri seti.	119
Çizelge 5.12. Üçüncü boyutta analiz için önerilen boşluk boyutları ve analiz sonuçları	125

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.13. F1 (tek yönde hava çıkış menfezi), K2 (kapalı derzli) cephe kaplama sistemi maliyet analizi	129
Çizelge 5.14. F2 (çift yönde hava çıkış menfezi), K2 (kapalı derzli) cephe kaplama sistemi maliyet analizi	131
Çizelge 5.15. F1 (tek yönde hava çıkış menfezi), K3 (açık derzli) cephe kaplama sistemi maliyet analizi	133
Çizelge 5.16. F2 (çift yönde hava çıkış menfezi), K3 (açık derzli) cephe kaplama sistemi maliyet analizi	135
Çizelge 6.1. Havalandırılmalı Cephe Sistemlerinin Birim Maliyetleri, Isıl Performans ve Verim Artış Değerleri.....	150

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Bina ve inşaat sektörünün nihai enerji ve emisyonlarının küresel ölçekteki payı	1
Şekil 1.2. Küresel ölçekte 2022 yılı ekim ayına kadar olan dönemde enerji fiyatlarındaki yıllık değişim oranları	2
Şekil 1.3. Sektörel bazda nihai enerji tüketim endeksi.....	3
Şekil 1.4. 2012-2022 Dönemi bina ve hizmetler sektörü enerji talebinin enerji kaynakları bazında gelişim.....	3
Şekil 1.5. Faturalanan elektrik enerjisi tüketimin aylara göre dağılımı.....	4
Şekil 1.6. Türkiye'de 2019, 2022 ve 2024 yıllarına ait ortalama günlük sıcaklık (°C) ile günlük maksimum enerji talebi	4
Şekil 1.7. Tez çalışmasının akış şeması.....	12
Şekil 2.1. CBE Isıl konfor hesaplama aracı.....	15
Şekil 2.2. a) Bir bina tarafından alınan güneş ışıınının dağınık ve doğrudan bileşeni, b) Güneş ışıınının çevredeki alanlardan binaya yansıması.....	18
Şekil 2.3. Adana ili psikometrik çizelgesi örneği	20
Şekil 2.4. Yapının farklı düzeydeki sistemleri	22
Şekil 2.5. Yapı kabuğunun sınıflandırılması	24
Şekil 2.6. Binaların enerji tüketiminde iklim parametreleri ve kullanıcı gereksinimleri.....	25
Şekil 2.7. Yapı kabuğu, ısı kayıp ve kazancı (Medved, vd., 2019).	25
Şekil 2.8. Binaların duvar sisteminin ısı transfer mekanizması	27
Şekil 3.1. Boşluklu Duvar; 1) Kısmi yalıtımlı, 2) Tamamen yalıtım dolgulu, 3) Yalıtımsız	33
Şekil 3.2. Boşluk duvarlarında farklı hava akış durumları	34
Şekil 3.3. Hava Tabakalı Duvarlar için Nemlenme ve Kurutma Mekanizmaları.....	35
Şekil 3.4. Havalandırılmalı cephe kaplama sistemi örneği.....	36
Şekil 3.5. Opak havalandırılmalı cephelerde havalandırma stratejisi.....	40

Şekil	Sayfa
Şekil 3.6. Opak havalandırılmalı cephe sistemleri; a). EAF-exhaust air facades, b). SAF-beslemeli havalandırılmalı cephe, c. Havalandırılmayan cephe, OAC-dış hava bölmeli cephe	41
Şekil 3.7. Binaların hava tabakalı duvar sisteminin ısı transfer mekanizması	42
Şekil 3.8. Havalandırılmalı Cephe Kaplama	45
Şekil 3.9. Açık ve kapalı derz çeşitlerine göre belirlenen kabul edilebilir minimum hava boşluğu ve derz genişlikleri.....	51
Şekil 3.10. Tek Cidarlı ve Çift Cidarlı Cephe Kaplama Taşıyıcı Sistemi Örnekleri	52
Şekil 4.1. Derece gün bölgelerine göre Türkiye'nin illeri	58
Şekil 4.2. Sıcak nemli iklime referans olarak alınan Adana ili yıllık enerji tüketim dağılımı (yazar tarafından üretilmiştir)	60
Şekil 4.3. Çalışma kapsamında ele alınacak olan duvar sistemlerinin en kesitleri	62
Şekil 4.4. Cephe model alanının ANSYS Design Modeler ortamında oluşturulması (yazar tarafından üretilmiştir).....	63
Şekil 4.5. Çeşitli ağ boyutları ile tahmin edilen cephe katman sıcaklıkları.....	65
Şekil 4.6. Cephe modelinin ağ yapısı.....	65
Şekil 4.7. Havalandırılmalı cephe sistem kesiti ve bilgileri (yazar tarafından üretilmiştir).....	68
Şekil 4.8. Opak havalandırılmalı cephenin analiz akış şeması.	71
Şekil 5.1. Adana, İzmir ve Hatay illerine ait ısı transferi grafiği	75
Şekil 5.2. Adana, İzmir ve Hatay İlleri için Sıcaklık grafiği	75
Şekil 5.3. Adana, İzmir ve Hatay İlleri için Hava boşluğundaki hız değişim grafiği	76
Şekil 5.4. Hava kanalının farklı geometrik konfigürasyonların ısı transferi üzerindeki etkisi	79
Şekil 5.5. Havalandırma boşluk kalınlığının (d) farklı geometrik konfigürasyonlarının ısı transferi üzerindeki etkisi.....	81
Şekil 5.6. Hava kanalı farklı geometrik konfigürasyonlarının sıcaklık üzerindeki etkisi	81
Şekil 5.7. Opak havalandırılmalı cephenin farklı cephe yüksekliğine ait ısı transfer grafiği	83

Şekil	Sayfa
Şekil 5.8. Opak havalandırılmalı cephenin farklı cephe yüksekliğine ait yüzey sıcaklık değerleri	83
Şekil 5.9. Opak havalandırılmalı cephe sisteminde sıcaklık dağılımı (3m ve 6m yükseklikler için).....	84
Şekil 5.10. Opak havalandırılmalı cephe sisteminde boşlukta oluşan akış hızı grafiği (3m ve 6m yükseklikler için).....	84
Şekil 5.11. Opak havalandırılmalı cephe sisteminde hız dağılımı (3m ve 6m yükseklikler için).....	85
Şekil 5.12. F1 (tek çıkışlı hava menfezi) ve F2 (çift çıkışlı hava menfezi) Cephelerinin Kesitleri	86
Şekil 5.13. Havalandırma boşluk kalınlığının farklı geometrik konfigürasyonlarının ısı transferi üzerindeki etkisi.	87
Şekil 5.14. Havalandırma boşluk kalınlığının farklı geometrik konfigürasyonlarının sıcaklık üzerindeki etkisi.	88
Şekil 5.15. F2 cephesi ($d=0,075m$, $d_{out}=değişken$) ısı transfer ve sıcaklık grafikleri.....	90
Şekil 5.16. F1 ve F2 cephelerinin optimum boşluk geometrilerinin ısı transfer ve sıcaklık grafikleri.	91
Şekil 5.17. a) Tek çıkışlı ve b) Çift çıkışlı hava menfezine sahip cephe sistemi sıcaklık grafikleri	91
Şekil 5.18. a) Tek çıkışlı (mavi) ve Çift çıkışlı (kırmızı) hava menfezine sahip cephe sisteminde boşluk içindeki rüzgar hız grafikleri.....	92
Şekil 5.19. a) Tek çıkışlı ve b) Çift çıkışlı hava menfezine sahip cephe sistemi rüzgar hızı grafikleri.....	93
Şekil 5.20. Saat 16:00 iken cephelere gelen güneş ışınlam miktarı.....	94
Şekil 5.21. Doğu- Güney ve Batı yönleri ait iç mekana aktarılan ısı transfer oranları	95
Şekil 5.22. Doğu- Güney ve Batı yönlerine ait cephe sıcaklık grafikleri	95
Şekil 5.23. Doğu, Güney ve Batı cephe yönlerine ait sıcaklık dağılımları.....	96
Şekil 5.24. Doğu, Güney ve Batı cephe yönlerine ait hava boşluğundaki akış hızı grafiği	96
Şekil 5.25. Doğu, Güney ve Batı cephe yönlerine ait hava boşluğundaki akış hızı dağılımı	97

Şekil	Sayfa
Şekil 5.26. Farklı cephe kaplama malzemelerinin analizi sonucunda elde edilen iç mekâna aktarılan ısı transferi grafiği.....	98
Şekil 5.27. Farklı cephe kaplama malzemelerinin dış yüzey sıcaklık grafikleri	99
Şekil 5.28. Farklı cephe kaplama malzemelerinin iç yüzey sıcaklık grafikleri	99
Şekil 5.29. Farklı cephe kaplama malzemelerinin sıcaklık ve hava akış hızı dağılımları	100
Şekil 5.30. Farklı cephe kaplama malzemelerinin hava boşluğundaki ortalama hız grafikleri.....	103
Şekil 5.31. Yalıtımlı ve Yalıtımsız Cephe Tiplerinin İç Mekana Aktarılan Isı Transfer Oranları.....	104
Şekil 5.32. Yalıtımlı ve Yalıtımsız Cephe Tiplerinin Sıcaklık Grafikleri	105
Şekil 5.33. Yalıtımsız ve yalıtımlı katmanlı havalandırılmalı cephe sisteminde iç duvar sıcaklık dağılımları.....	105
Şekil 5.34. Yalıtımsız ve yalıtımlı havalandırılmalı cephe sisteminde hava boşluğundaki akış hızı.....	106
Şekil 5.35. Yalıtımsız ve yalıtımlı opak havalandırılmalı cephenin sistemine ait rüzgar hızı dağılımları.....	106
Şekil 5.36. F1 tek çıkışlı menfez_ K2 kapalı derzli ve K3 açık derzli cephe kaplamalarının iç mekana aktarılan ısı akış ve yüzey sıcaklık grafikleri.....	108
Şekil 5.37. F1 tek çıkışlı menfez_ K2 kapalı derzli ve K3 açık derzli cephe kaplamalarının yüzey sıcaklık grafikleri.....	108
Şekil 5.38. F1 tek çıkışlı menfez_ K2 kapalı derzli ve K3 açık derzli cephe kaplamalarının sıcaklık dağılımları.....	109
Şekil 5.39. F1_kapalı ve F2_açık derzli cephe kaplamalarına ait hız dağılım ve grafikleri.....	110
Şekil 5.40. F2 Cephesi_K2 kapalı ve K3 açık derzli cephe kaplamaları iç duvar ısı akışı ve yüzey sıcaklık grafikleri.....	112
Şekil 5.41. F2_Kapalı ve Açık Derzli Cephe Kaplamalarının Yüzey Sıcaklık Grafikleri.....	112
Şekil 5.42. F2 Cephesi_K2 kapalı ve K3 açık derzli cephe kaplamalarının sıcaklık dağılımları.....	113

Şekil	Sayfa
Şekil 5.43. F2 Cephesi_K2 kapalı ve K3 açık derzli cephe kaplamalarının hava boşluğundaki akış hızı dağılım ve grafikleri.....	114
Şekil 5.44. F1 Cephesine ait 2D ve 3D iç mekana aktarılan ısı transfer grafiği.....	116
Şekil 5.45. F1 Cephesine ait 2D ve 3D cephe katman sıcaklık grafikleri	117
Şekil 5.46. F1 cephesi 2D ve 3D sıcaklık dağılımları.....	117
Şekil 5.47. F1 cephesi 2D ve 3D yüzey sıcaklık dağılımları	118
Şekil 5.48. F1 cephesi 2D ve 3D hız dağılımları	118
Şekil 5.49. F2 Cephesine ait 2D ve 3D model iç mekana aktarılan ısı transfer grafiği	120
Şekil 5.50. F2 Cephesine ait 2D ve 3D model katman sıcaklık grafikleri.....	120
Şekil 5.51. Sıcaklık Dağılımları.....	121
Şekil 5.52. Yüzey sıcaklık dağılımı	122
Şekil 5.53. F2 cephesine ait hız dağılımları.....	122
Şekil 5.54. Cephe boyunca devam eden sürekli havalandırma menfezi.....	124
Şekil 5.55. Önerilen havalandırma menfez giriş ve çıkışı	124
Şekil 5.56. Önerilen havalandırma menfez giriş ve çıkışı	125
Şekil 5.57. Sürekli ve Süreksiz hava çıkış menfezlerine ait iç mekana aktarılan ısı transferi.	126
Şekil 5.58. Sürekli ve süreksiz hava çıkış menfezlerine ait dış duvar hacimsel sıcaklık.	126
Şekil 5.59. Sıcaklık ve Hız Dağılımları	127
Şekil 5.60. Havalandırılmalı Cephe Kaplama Sistemlerinin Birim Maliyetleri	137
Şekil 6.1. Kapalı derzli K2 (çift cidarlı) havalandırılmalı cephe Sistemi, F1 (tek çıkışlı hava menfezi), F2 (çift çıkışlı hava menfezi).....	146
Şekil 6.2. Açık derzli K3 (tek cidarlı) havalandırılmalı cephe sistemi, F1 (tek çıkışlı hava menfezi), F2 (çift çıkışlı hava menfezi).....	147
Şekil 6.3. Havalandırılmalı Cephe Sistemlerinin Birim Maliyetleri, Isıl Performans ve Verim Artış Değerlerinin Grafikleri	150

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

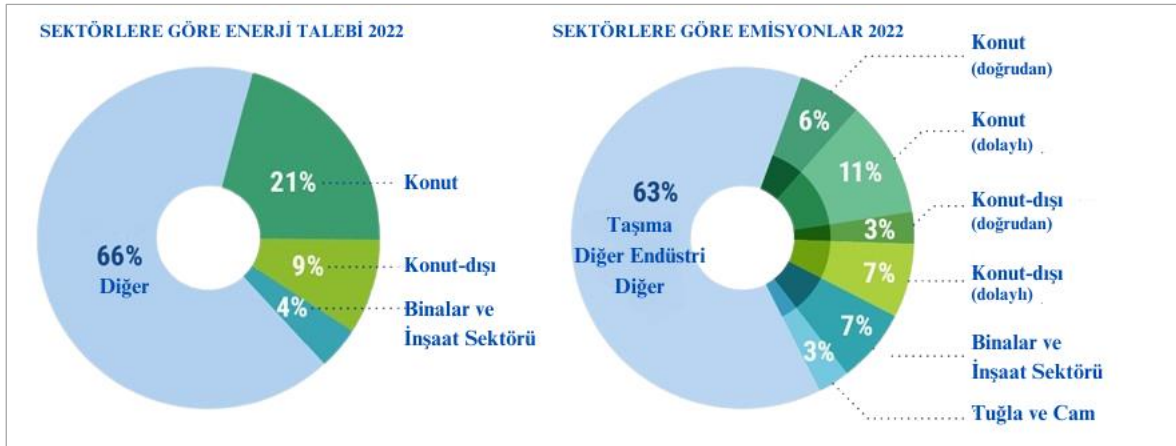
Simgeler	Açıklamalar
E	Işınım enerjisi (J)
ϵ	Türbülans enerjisi dağılım hızı (m^2/s^3)
ϵ_r	Emisyon katsayısı
h	Isı transfer katsayısı ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)
k	Türbülans kinetik enerjisi (m^2/s^2)
m^3	Metreküp
m^2	Metrekare
ρ	Yoğunluk (kg/m^3)
p	Basınç (Pa)
Re	Reynolds Sayısı
T	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)
u	Hız bileşeni (m/s)
ν	Kinematik viskozite (m^2/s)
Q	Isı akısı (W)
ΔT	Sıcaklık farkı ($^{\circ}\text{C}$)
μ	Dinamik viskozite ($\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$)
σ	Yüzey gerilimi (N/m)
C_p	Özgül ısı kapasitesi ($\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$)
ω	Türbülans frekansı (1/s)
λ	Isı iletkenlik katsayısı ($\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$)
Φ	Isı akısı yoğunluğu (W/m^2)
q	Isı akısı (W/m^2)
σ	Stefan-Boltzmann sabiti ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$)

Kısaltmalar**Açıklamalar**

ASHRAE	Amerika Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Birliği
CBE	Yapılı Çevre Merkezi
CFD	Hesaplama Akışkalar Dinamiği
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EPW	EnergyPlus Hava Dosyası
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
HVAC	Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
ISO	Uluslararası Standardizasyon Örgütü
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MTEP	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
PMV	Tahmini Ortalama Oy
PPD	Memnuniyetsiz Yüzde Tahmini
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TMY	Tipik Meteorolojik Yıl

1. GİRİŞ

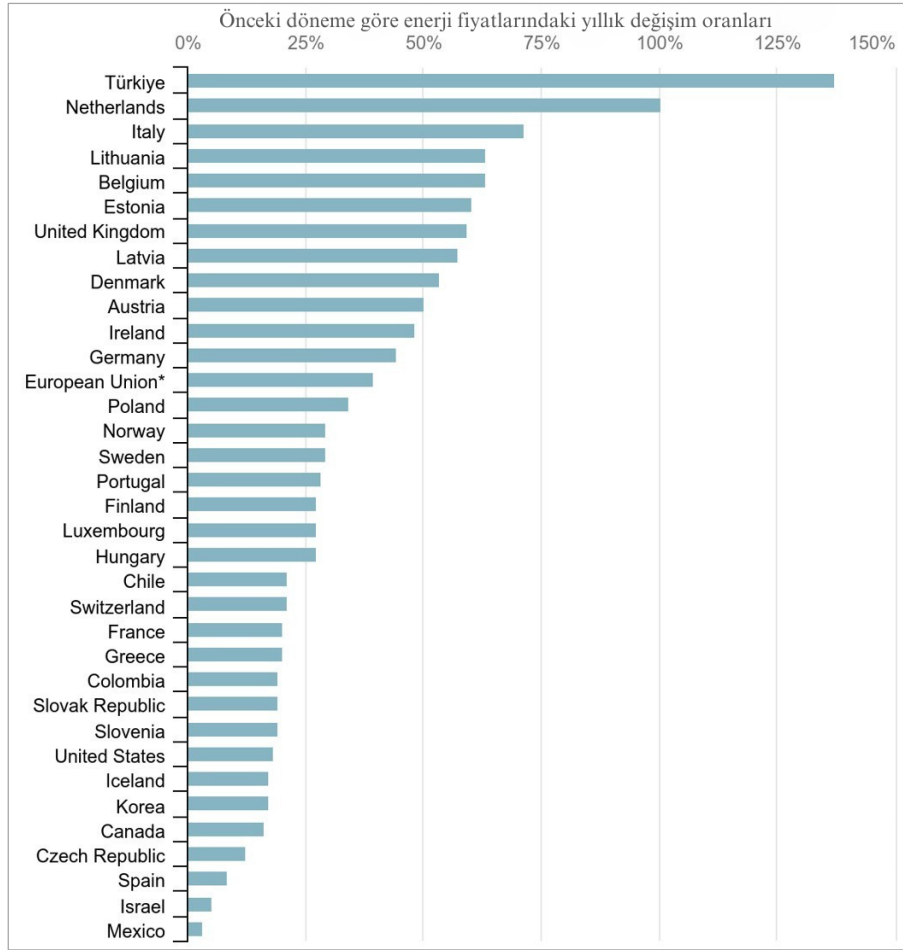
Yapı ve inşaat sektörü, küresel düzeyde enerji kullanımının ve emisyonların artışıyla birlikte önemli zorluklarla mücadele etmektedir. Mevcut politika ve uygulamalarda sınırlı ilerleme kaydedilmekte ve enerji verimliliği yatırımlarında belirgin bir yavaşlama yaşanmaktadır. Bu durum, sektörde enerji verimliliğinin artırılması ve emisyonların azaltılması için daha etkili stratejilerin ve kapsamlı eylem planlarının gerekli olduğunu ortaya koymaktadır. 2022 yılında küresel ölçekte bina sektörü (Şekil 1.1), özellikle ısıtma ve soğutma gibi operasyonel ihtiyaçlar için toplam nihai enerji talebinin %30'unu oluşturarak önemli bir enerji tüketicisi olarak öne çıkmıştır. İnşaat malzemelerinin üretimi için kullanılan enerji de göz önüne alındığında, bu oran %34'e yükselmektedir. Sektördeki enerji talebi yıllık olarak %1'in biraz üzerinde bir büyüme göstermiştir. Ek olarak, binaların faaliyetleri küresel enerjiye bağlı emisyonların %26'sını teşkil etmektedir. Bu emisyonların %9'u binalardan kaynaklanan doğrudan emisyonlar iken, %18'i binalarda tüketilen elektrik ve ısı üretiminden kaynaklanan dolaylı emisyonlardan oluşmaktadır (IEA, 2023a; UNEP, 2024).



Şekil 1.1. Bina ve inşaat sektörünün nihai enerji ve emisyonlarının küresel ölçekteki payı (IEA, 2023a; UNEP, 2024)

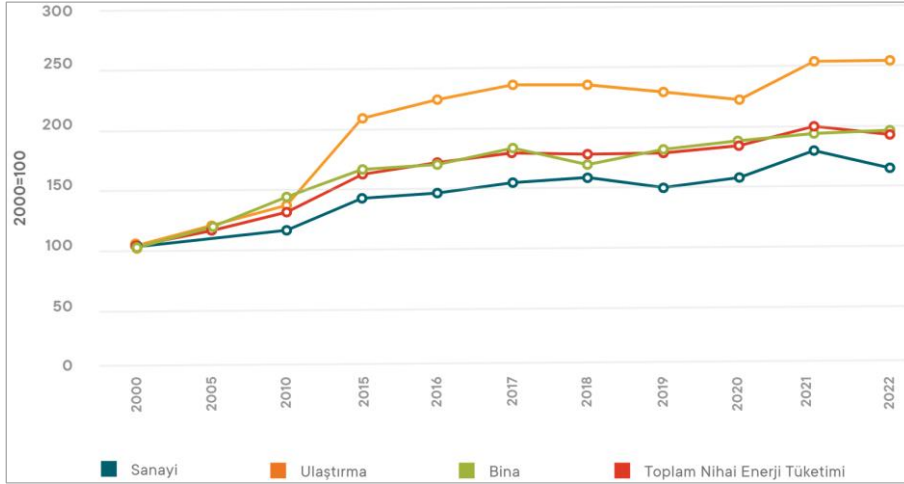
Enerji konusundaki öncelik ülkeden ülkeye farklılık gösterse de küreselleşme süresinde enerji tasarrufu ve CO₂ emisyonunun azaltılması Dünya politikalarında ön plana çıkan hedeflerden sadece ikisidir. Grafikte, 2022 yılı Ekim ayına kadar olan dönemde enerji fiyatlarındaki yıllık değişim oranları gösterilmektedir. Türkiye, %140'ın üzerinde bir artışla listede en yüksek enerji fiyat artışını yaşayan ülke olarak öne çıkmaktadır (Şekil 1.2). Bu durum, Türkiye'deki enerji piyasasında ciddi bir enflasyonist baskının varlığını ve enerji maliyetlerinin son derece hızlı bir şekilde arttığını göstermektedir. Türkiye'nin bu denli

yüksek bir artış yaşaması, enerji politikalarının yeniden değerlendirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Özellikle enerji tasarrufu, verimliliği, arz güvenliği, dışa bağımlılığın azaltılması, çevrenin korunması ve iklim değişikliği ile mücadeleye yönelik etkinliğin artırılması için yerli enerji kaynaklarının kullanımının artırılması gibi önlemlerin gündeme alınması gerekmektedir.



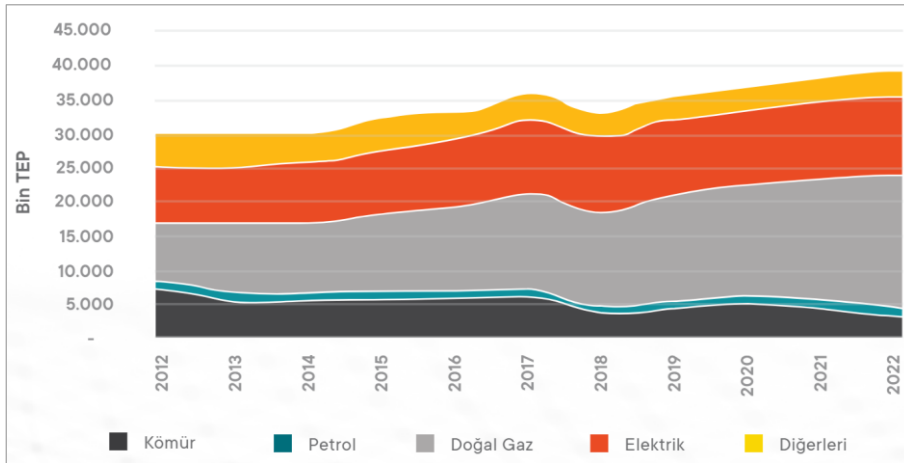
Şekil 1.2. Küresel ölçekte 2022 yılı ekim ayına kadar olan dönemde enerji fiyatlarındaki yıllık değişim oranları (IEA, 2023a)

Türkiye'nin 2022 yılı toplam nihai enerji tüketimi 2000 yılına göre %96 oranında artış göstererek 0,4 MTEP (milyon ton eşdeğer petrol) olarak gerçekleşmiştir (Şekil 1.3). Bina ve hizmet sektörü, toplam nihai enerji tüketiminde %32,6 ile en yüksek paya sahip olmuştur. Toplam nihai enerji tüketiminin yıllık bazda ortalama artış oranı ise %3,1 olarak gerçekleşmiştir (ETKB, 2024).



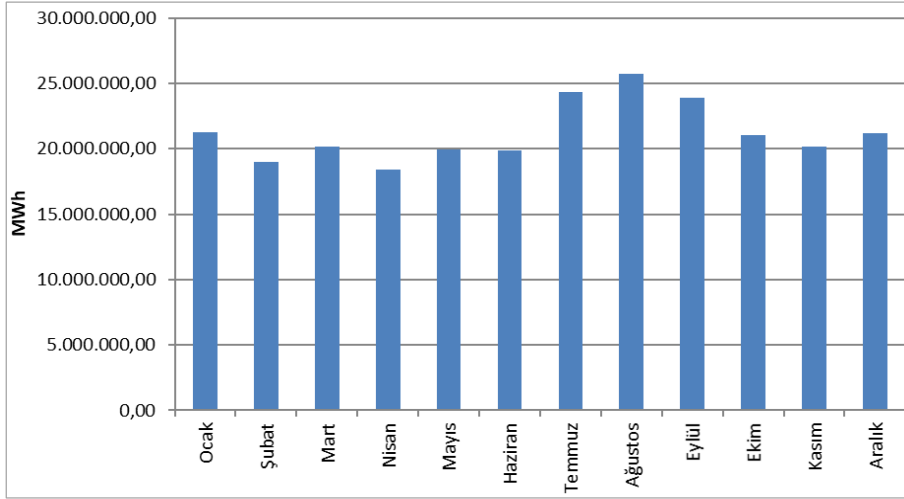
Şekil 1.3. Sektörel bazda nihai enerji tüketim endeksi (ETKB, 2024)

Ülkemizde son yıllarda hızla gelişen binalardaki ve hizmetler sektöründeki nihai enerji tüketimi Enerji Verimliliği Strateji Belgesi'nin uygulamada olduğu 2012-2022 yılları arasında %30,0 artarak 30,3 MTEP'ten 39,2 MTEP'e yükselmiştir (Şekil 1.4). Enerji talebindeki yıllık ortalama artışın %2,6 olarak kaydedildiği bu alan 2022 yılında nihai enerji tüketiminde %32,6 paya sahip olmuştur (ETKB, 2024).



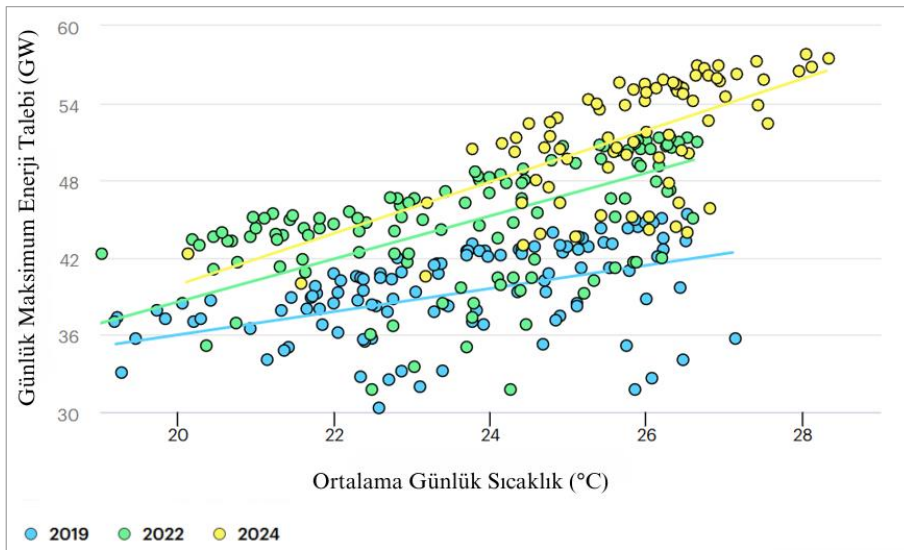
Şekil 1.4. 2012-2022 Dönemi bina ve hizmetler sektörü enerji talebinin enerji kaynakları bazında gelişim (ETKB, 2024)

Faturalanan tüketimin aylara göre dağılımı Şekil 1.5'te gösterilmektedir. En yüksek tüketim Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında gerçekleşmiştir. Sıcak dönemde tüketimin yüksek olması bizi alan soğutmasının tüketimdeki payını araştırmaya yönlendirmektedir.



Şekil 1.5. Faturalanan elektrik enerjisi tüketimin aylara göre dağılımı (EPDK, 2023)

Küresel ısınmanın etkisiyle, 2024 yılında dünya elektrik tüketiminin %4 oranında artması beklenmekte olup, bu artışta soğutma talebi belirleyici bir faktör olarak öne çıkmaktadır. IEA'nın (2024) son analizine göre (Şekil 1.6), 2019, 2022 ve 2024 yıllarına ait ortalama günlük sıcaklık (°C) ile günlük maksimum enerji talebi (GW) arasındaki ilişki gösterilmektedir. Grafik, ortalama günlük sıcaklık arttıkça, soğutma ihtiyacı nedeniyle enerji talebi de artmaktadır. Bu durum, özellikle 2024 yılında daha belirgin bir artış göstermektedir. Türkiye gibi genel olarak daha düşük elektrik talebine sahip ülkelerde, sıcaklığın 1°C artışı yaklaşık 2 GW ek talebe yol açarak şebekelerde benzer seviyelerde yüklenmeye neden olabileceği belirtilmiştir.



Şekil 1.6. Türkiye'de 2019, 2022 ve 2024 yıllarına ait ortalama günlük sıcaklık (°C) ile günlük maksimum enerji talebi (GW) (IEA, 2024)

Bu talebin gelecekte de artmaya devam etmesi beklenmektedir. Gezegenin ısınması devam ettikçe, soğutma ihtiyaçlarının adil ve sürdürülebilir bir şekilde karşılanması kritik bir öneme sahip olmaktadır. Özetle, binalarda iklimlendirme için harcanan enerji tüketiminin toplam dağılımdaki payının yüksek olması, yüksek ısı performansına sahip binaların tasarlanması gerekliliğini ön plana çıkarmıştır. Böylece, binaların ısıtma ve soğutma işlemlerinden kaynaklanan enerji tüketimi azaltılarak, enerji tasarrufu sağlanması yönünde önemli bir adım atılmış olacaktır.

Bu nedenle, çalışmada sıcak nemli iklim bölgesindeki yapılar için havalandırılmalı cephe sistemlerinin enerji verimliliği üzerindeki potansiyel etkileri incelenerek, özellikle soğutma yüklerinin azaltılması üzerine odaklanılmıştır. Araştırma, bu sistemlerin ısı performansını iyileştirirken maliyet-etkin çözümler sunup sunmadığını da değerlendirmektedir. Tezin bu bölümünde, araştırma probleminin tanımı, araştırmanın amacı, hipotezi, yöntemi, önemi, sınırlılıkları ve tezin genel yapısı detaylandırılmaktadır.

Problemin tanımı

Yüksek ısı performansına sahip binaların tasarımında kritik rol oynayan bina kabuğu, iç ortam ile dış ortam koşulları arasında düzenleyici bir arayüz işlevi görerek, enerji verimliliğini büyük ölçüde etkileyen temel bileşenlerden biridir. Bina kabuğu, özellikle ısı enerji kayıplarının kontrolü açısından önemli bir yere sahiptir. Araştırmalar, binalardaki toplam enerji tüketiminin yaklaşık %50'sinin, bina kabuğundan kaynaklanan ısı kayıplardan oluştuğunu göstermektedir (Rahiminejad ve Khovalyg, 2021a; Rahiminejad ve Khovalyg, 2021b). Bu bulgular, enerji verimliliğini artırmak ve ısı kayıpları minimize etmek amacıyla bina kabuğu tasarımında ısı direncin artırılmasının gerekliliğini net bir şekilde ortaya koymaktadır. Dolayısıyla kabuk tasarımında temel amaç, ısıtma ve soğutma gereksinimlerini optimize ederek hem enerji tüketimini azaltmak hem de kullanıcılar için ısı konforu yüksek bir iç mekan sağlamak olmalıdır (Schittich, vd., 2006; Knaack ve Koenders, 2018). Isıtma veya soğutma yüküne, bina kabuğunu oluşturan duvar, çatı, döşeme, tavan ve pencerelerden kaynaklı ısı geçişleri, pencere-duvar, döşeme-duvar ve çatı-duvar birleşim yerlerinde oluşabilecek hava sızıntıları (infiltrasyon) ve bu sızıntılardan kaynaklı ısı geçişleri, havalandırma, kullanıcı, aydınlatma, ekipman ve su ısıtma sisteminden kaynaklı oluşan ısı geçişleri neden olmakla birlikte güneş ışıınımı ve iç ısı kazançları önemli rol oynayan parametrelerdir (Zheng, vd., 2010; ASHRAE-55, 2020; McQiston, vd., 2005;

Medved, vd., 2019). Yapılan literatür araştırmaları sonucunda, binalardaki ısı kaybının büyük ölçüde bina kabuğunu oluşturan bileşenlerden, özellikle de dış duvarlardan kaynaklandığını ortaya koymaktadır. Dış duvar bileşenlerinden kaynaklanan ısı kaybı oranı, iklim koşulları, binanın yönlenmesi, kullanılan malzemelerin termofiziksel özellikleri, yalıtım katmanının etkinliği ve ısı köprülerinin varlığı gibi birçok parametreye bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Özellikle son yıllarda hız kazanan çok katlı yapılaşma ile birlikte yapı kabuğundaki düşey yüzeyler (cephe), yatay yüzeylerle (çatı) karşılaştırıldığında bina ısı dengesi üzerinde çok daha fazla etkili olmaktadır. Bu problem araştırma kapsamında özellikle cephe bileşeni üzerinde durulmasının temel nedenini oluşturmaktadır.

Konforlu bir iç mekan sağlamak için cephe bileşenini tasarlarken hem aktif hem de pasif olarak kontrol etmek mümkündür. Aktif iklim kontrolünde, yeterli konfor sıcaklığı düzeyini korumak için kullanılan sistemler enerji harcanmasını gerektirir. HVAC sistemleri ve enerji üretim teknolojileri gibi bina hizmetlerinin hem kullanıcı konforunu hem de enerji verimliliğini artırabilecek cephe tasarımlarına entegrasyonunu mümkündür (Hoces ve diğerleri, 2017). Akıllı cam ve gölgeleme cihazlarını kullanan akıllı cephelerin geliştirilmesi, ısı kazanımını en aza indirirken gün ışığını da optimize edebilir ve böylece daha konforlu bir iç mekan ortamına katkıda bulunabilir (Magri ve diğerleri, 2019; Lee ve diğerleri, 2017).

Çalışma kapsamında da ön plana çıkan pasif iklim kontrolünde ise, yapının biçimi ve dokusu, doğal çevrenin mevcut enerji akışlarından en fazla yararlanacak şekilde düzenlenir, böylece yapı kabuğu ısı kazanımı ve kaybını denetler (Silver vd., 2014). Bu bağlamda özellikle iklim tabanlı tasarım, sistemin performansının belirlenmesinde kilit noktadır. İklimsel parametrelerden biri olan ve iç mekan ısı koşullarını doğrudan etkileyen güneş ışınlamını yönetmek cephenin temel işlevlerinden biridir. Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, bina yönelimi ve cephe tasarımının bir mekan içindeki ısı yükü ve konfor seviyelerini önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. (Moghaddam vd., 2020; Lin, 2024; Safikhani vd., 2014), çalışmalarında sıcak iklimlerde, yeşil cephelerin ısı konforu etkileyebileceğini, cephenin yüzey sıcaklıklarını azaltabildiği vurgulamaktadır. (Attia ve diğerleri, 2018; Hafizi ve Vural, 2022) çalışmalarında uyarlanabilir cepheleri incelemiş, bu cephelerin binaların değişen hava koşullarına dinamik olarak yanıt vermesine olanak tanıyarak gün boyunca ve mevsimler boyunca ısı konforu optimize edebildiklerini ortaya koymaktadır. Ayrıca araştırmalar, cephelerin ısı performansının tasarımlarına ve malzemelerine bağlı olarak önemli ölçüde değişebileceğini göstermiştir (Stazi ve diğerleri,

2018). Son olarak çalışma kapsamında incelenen ve cephenin ısı performansını artırmak için bina kabuğuna entegre edilen pasif bir sistem olan yenilikçi çözümlerden biri havalandırmalı cephelerdir. Bu kapsamdaki çalışmalara: İç mekan havalandırmasını ve konforunu iyileştirmek için güneş ışınımının neden olduğu havalandırmayı kullanan pasif güneş duvarları (Harris, ve Helwig, 2007; Khanal, ve Lei, 2011; Hu, vd., 2017); Isı transferi için doğal veya mekanik havalandırmaya izin veren çift cidarlı cephe sistemleri (Sotelo-Salas, vd., 2021; Barbosa, ve Southall, 2015; Gratia, ve Herde, 2007) ve entegre fotovoltaik modülleri barındıran çift cidarlı cephe sistemleri (Saelens vd., 2008); Havalandırma ve ısı performansına katkı sağlamak için mevcut cephenin dışında ek bir duvar paneli katmanına sahip olan havalandırmalı cepheler (Balocco, 2002; Ciampi, vd., 2003; Patania et al., 2010; Marinosci et al., 2011; Stazi et al., 2011; López et al., 2012; Gagliano, vd., 2016; Peci et al., 2016; Ibáñez-Puy et al., 2017; Balter, vd., 2019; Goulart & Labaki, 2022; Lin et al., 2022; Alyahya, vd., 2023; Karanafti, ve Theodosiou, 2024) örnek verilebilir.

Giriş bölümünde de sunulan güncel verilere göre; küresel ısınmanın da etkisiyle, soğutma talebi her geçen yıl daha da artmaktadır. Enerji korunumu açısından sıcak dönemde soğutma yükünün en aza indirilmesi, iklimsel etkileri iç çevreye aktarmada rol oynayan yapı kabuğunun yüksek ısı performansına sahip olacak şekilde tasarlanmış olması ile olanaklıdır. Çalışma alanının sıcak nemli iklim tipine sahip olmasından dolayı, bölgede tasarlanacak olan cephe bileşeninin, soğutma döneminde ısı kazancının azaltılmasını desteklemesi gerekmektedir. Ayrıca bölgede, nem ve yağış oranının yüksek olması da göz önünde bulundurulması gereken diğer önemli iklim özellikleridir.

Araştırmanın amacı

Mekanik ısıtma ve soğutma sistemlerinin olmadığı, yapı malzemelerinin ise daha basit ve doğal hammaddelerden üretildiği dönemlerde, bina tasarımında iklim temel belirleyici faktör olarak öne çıkmaktaydı. Bu süreçte, farklı coğrafyalardaki kullanıcılar, yerel iklim koşullarına uygun yaratıcı ve sürdürülebilir çözümler geliştirmiştir. Pasif tasarım stratejileri olarak bilinen bu yöntemlerin bir örneği, havalandırmalı cephe sistemleridir. Sistem, İskandinav ülkelerinde, orjinal olarak ahşap çitler veya arduvaz plakalardan oluşurken (Naboni, 2014), Kuzey Avrupa'da tuğla, taş ve beton gibi geleneksel yapı (duvar) malzemeleriyle çeşitli düzen ve tekniklerde uygulanarak, dış duvarları yağmur, rüzgâr ve ısı kayıplarına karşı sızdırmaz hale getirerek atmosferik etkilere karşı dayanıklılık ile ilgili

sorunları çözmek için kullanılmıştır. Güney Avrupa bölgelerine geldiğinde (Giancola, 2012) ise soğutma ısı yüklerini azaltma yetenekleri ön plana çıkmıştır.

Literatür araştırmaları, havalandırılmalı cephe sistemlerinin enerji tasarrufu sağlama potansiyelini doğrulamakla birlikte, bu sistemlerin performansının yerel iklim koşulları ve mimari kısıtlamalar gibi faktörlere bağlı olarak ülkeler ve hatta bölgeler arasında farklılık gösterdiğini de ortaya koymaktadır (Fantucci vd., 2020). Küresel ısınmanın etkisiyle, özellikle alan soğutmasının enerji tüketimindeki payının artması, havalandırılmalı cephe sistemlerinin soğutma yükünü azaltma potansiyeline ilişkin araştırmaların önemini artırmıştır. Bu durum, Türkiye'nin iklim koşullarında bu sistemlerin enerji performansı üzerindeki etkisinin incelenmesi gerekliliğini gündeme getirmiştir. Türkiye’de havalandırılmalı cephe kaplama sistemleri uygulanmakta olmasına rağmen, bu sistemlerin soğutma yüklerini azaltma kapasiteleri ve enerji verimliliğine katkıları konusunda literatürde belirgin bir boşluk olduğu saptanmıştır. Ayrıca, Sagat vd. (2016)’nin deneysel sonuçları, havalandırılmalı cephelerdeki giriş ve çıkış açıklıklarının geometrisini optimize etmenin, yaz aylarında soğutma etkisini en üst düzeye çıkarmak için gerekli olduğunu söylemekte ve önermektedir. Dolayısıyla, bu araştırmanın temel amacı, havalandırılmalı cephe sisteminin Türkiye’nin sıcak ve nemli iklim bölgesindeki yapılar için soğutma yükünü azaltma potansiyelini nicel olarak değerlendirmektir. Araştırmanın alt amaçları ise şu şekildedir: Sıcak ve nemli iklim bölgesine uygun tasarım parametrelerinin optimizasyonunu sağlamak; iklim verilerinin (güneş ışıınımı, sıcaklık ve hava hareketi) etkisini incelemek; optimum havalandırma boşluk geometrilerini ve yeni hava giriş-çıkış menfez konfigürasyonlarını önermek; farklı cephe yönlerinin, kaplama malzemelerinin ve ısı yalıtım katmanlarının ısı performans üzerindeki etkisini araştırmak; ve önerilen sistemlerin ilk yatırım maliyetini hesaplayarak en uygun cephe seçeneğini sunmaktır. Sonuçta, sıcak nemli iklim bölgesi için yüksek ısı performansına sahip bir cephe sistemi önererek, standart yalıtımlı cephe tipine kıyasla konforlu bir iç ortam elde edilmesi, enerji tasarrufu sağlanması ve maliyet etkinliğinin artırılması hedeflenmektedir.

Araştırmanın hipotezi

Bu çalışmanın temel hipotezi, sıcak ve nemli iklim bölgesine uygun tasarım parametrelerinin optimizasyonu, iklim verilerinin (güneş ışıınımı, sıcaklık ve hava hareketi) ısı performans üzerindeki etkilerinin incelenmesi, optimum havalandırma boşluk geometrileri ile yeni hava

giriş-çıkış menfez konfigürasyonlarının belirlenmesi, farklı cephe yönlerinin, kaplama malzemelerinin ve ısı yalıtım katmanlarının ısı performans üzerindeki etkilerinin araştırılması ve önerilen sistemlerin yapım maliyetinin hesaplanarak en uygun cephe seçeneğinin belirlenmesi ile, kullanıcıların ısı konfor gereksinimlerini karşılayan, soğutma enerjisi tüketimini azaltan, maliyet etkin ve yüksek ısı performansına sahip bir cephe sisteminin geliştirilebileceğidir.

Araştırmanın önemi

Literatür araştırmaları, Türkiye’de havalandırılmalı cephe sistemlerinin uygulanabilirliği ve ısı performansı konusunda yeterli bilgi ve nicel değerlendirmelerin bulunmadığını, dolayısıyla bu alanda önemli bir boşluğun mevcut olduğunu ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda, bu çalışma, Türkiye’nin sıcak ve nemli iklim bölgesinde yer alan yapılar için havalandırılmalı cephe sistemlerinin tasarım parametrelerini optimize ederek, bölgeye özgü en uygun tasarım çözümünü geliştirmeyi amaçlamaktadır.

Araştırmanın bir diğer önemli yönü, literatürde yer almayan yeni hava çıkış menfez konfigürasyonlarının önerilmesi ve bu sayede mevcut sistemlere yenilikçi yaklaşımlar kazandırılarak binaların soğutma performansının iyileştirilmesidir. Ayrıca, benzer çalışmalardan farklı olarak, optimum hava boşluğu boyutlarına sahip cephe tiplerinin maliyet etkinliği de analiz edilmiştir.

Bu araştırma, yalnızca Türkiye’nin sıcak ve nemli iklimlerinde değil, benzer iklim koşullarına sahip diğer bölgelerde de havalandırılmalı cephe sistemlerinin uygulanabilirliği ve enerji verimliliği üzerinde önemli etkiler yaratmayı hedeflemektedir. Çalışmanın sonuçları, bina yönetmeliklerinde enerji verimliliğine ilişkin bölümlerin geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Bu bağlamda, araştırma, yapı sektöründe enerji etkin çözümler geliştirilmesi açısından önemli bir öneri sunmaktadır.

Araştırmanın yöntemi

Çalışmaya literatür taraması yapılarak konuya ilişkin kuramsal alt yapının oluşturulması ile başlanmıştır. Çalışma ile ilintili makaleler, tezler ve standartlar taranarak çalışmanın hedefleri, kısıtlamaları ve kullanılacak yöntemler belirlenmiştir.

İklim verisi, binaların enerji gereksinimi hesaplamasını etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Bu nedenele alan çalışması kapsamındaki ilk adım, sıcak nemli iklim bölgesinde yer alan, analiz yapılacak olan illerin belirlenmesi ve iklim verilerinin elde edilmesidir. Türkiye il ve bazı ilçeleri, bulundukları coğrafi konumun iklim şartlarına göre, TS 825 (2013) kapsamında beş farklı derece-gün bölgesine ayrılmıştır. Çalışma kapsamında seçilen illerin, Türkiye'nin sıcak nemli iklim bölgesinde yer almakla birlikte, aynı U (ısıl geçirgenlik) değerine sahip olmaları için 1. derece gün bölgesi üzerinden incelenmiştir. Yere özel iklim verilerinin elde edilmesinde TMYx (tipik meteorolojik yıl) uzantılı iklim veri seti kullanılmıştır. TMYx dosyaları, TMY/ISO 15927-4: 2005 metodolojileri kullanılarak 2018'e kadar saatlik verilerle ISD'den (US NOAA's Integrated Surface Database) türetilen tipik ölçüm dosyalarıdır (Url-8). Seçilen illerin iklim grafikleri oluşturulurken, "Climate Consultant 6.0" programı kullanılmıştır ve ihtiyaç duyulan illerin iklim verileri, "epw" formatında elde edilen, TMYx 2004-2018 yıllarına ait iklim veri setinden alınmıştır. Climate Consultant programı konfor hesaplamalarını yaparken "ASHRAE-55" standardı verileri üzerinden çizelgeleri oluşturmaktadır.

Havalandırılmalı cephe kaplama sisteminin bölge iklimine uygun tasarım parametrelerinin optimize edilmesi ve ısıl performansının incelenmesinde, karmaşık hava akışı ve ısı transferi problemlerini çözme kapasitesi nedeniyle CFD analizleri için ANSYS Fluent yazılımı tercih edilmiştir. ANSYS Fluent, özellikle hava hareketlerinin, ısı transferinin ve çevresel faktörlerin etkileşimini modelleyebilmektedir. Yazılım, farklı akış rejimlerini ve ısıl performansı dikkate alarak, çeşitli fiziksel modelleri bir arada çalıştırma yeteneğine sahiptir. Ayrıca, yazılımın parametrik analiz ve optimizasyon yetenekleri, farklı tasarım parametrelerinin incelenmesi ve en uygun çözümün belirlenmesi açısından büyük avantaj sağlamaktadır. Bu çalışmada, ANSYS Fluent sürüm 2019-R3 kullanılarak, ısıl performansın detaylı bir şekilde analiz edilmesi sağlanmıştır.

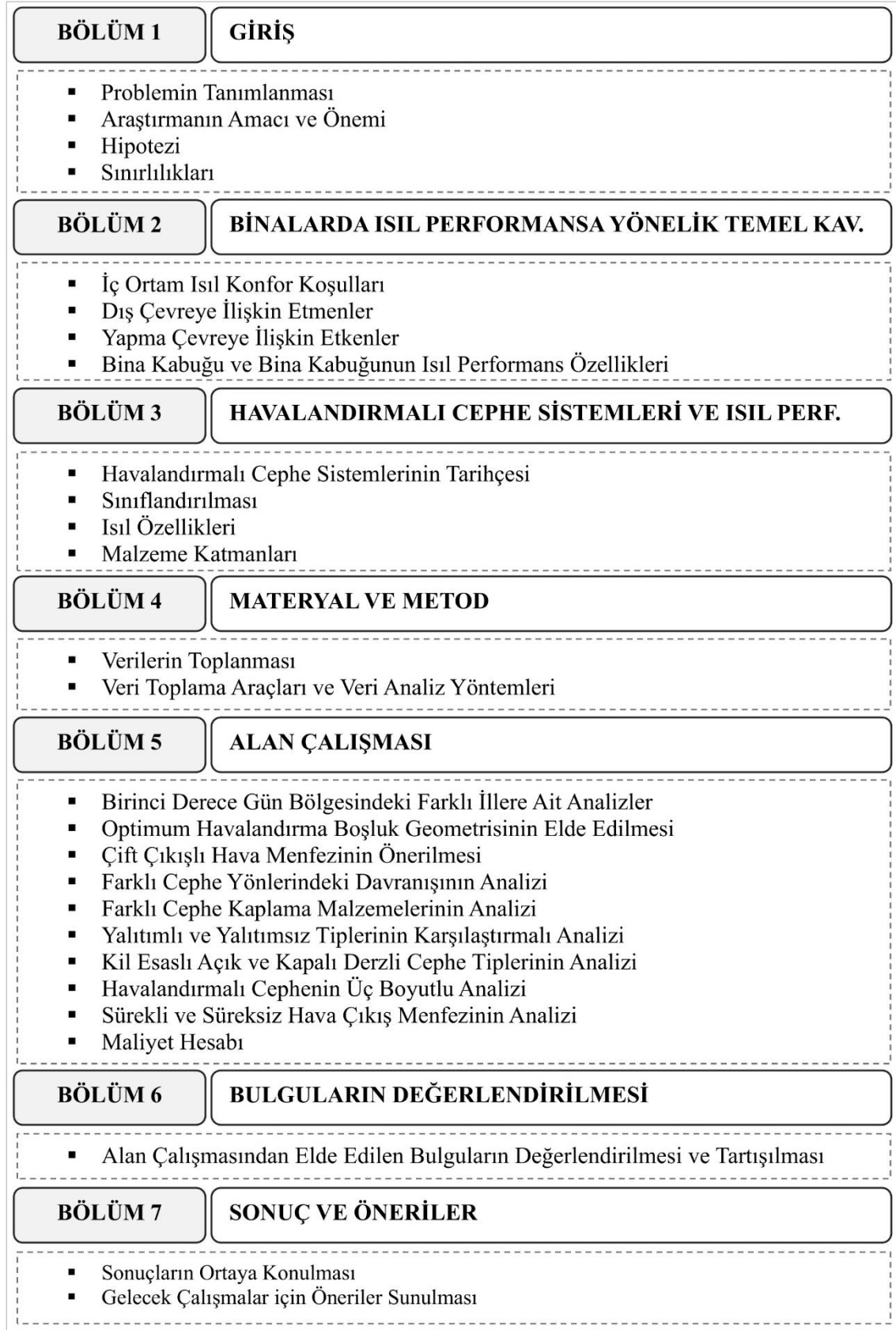
Sınırlılıklar

Bu araştırma, Türkiye'nin sıcak ve nemli iklim bölgesi olan 1. derece-gün bölgesi ile sınırlandırılmıştır ve yalnızca yaz dönemi iklim verileri kullanılmıştır. Ayrıca, temmuz ayı, güney cephe, öğlen saat:12.00'ye ait veriler, ısıl performans analizlerinde temel veri olarak alınmıştır. Kullanılan iklim verileri; güneş ışıınımı, sıcaklık ve rüzgar hızı değerlerini içermektedir. Çalışmada havalandırılmalı cephe sistemlerinin ısıl performansını analiz etmek

amacıyla nicel araştırma yöntemlerinden biri olan bina simülasyonu tercih edilmiştir. Bina simülasyonu, bilgisayar tabanlı modeller ve matematiksel hesaplamalar kullanarak binaların enerji performansını analiz eden bir yöntemdir. Bu sınırlılıklar doğrultusunda, araştırma yalnızca belirli bir bölgenin ve mevsimin verileri ile gerçekleştirilmiştir ve sonuçlar bu sınırlılıklar dahilinde değerlendirilmelidir.

Tezin strüktürü

Bu tez çalışması 7 bölümden oluşmaktadır. Tezin 1. bölümü olan Giriş Bölümünde, araştırmanın probleminin tanımı, amacı, hipotezi, önemi, sınırlılıkları ve tezin strüktürü yer almaktadır. Tezin 2. ve 3. bölümlerinde sırasıyla, binalarda ısı performansına yönelik kavramlar ile havalandırılmalı cephe sistemleri detaylı bir şekilde incelenmektedir. 4. bölümde, araştırmanın yöntemi ele alınmakta olup, verilerin toplanması, veri toplama araçları ve veri analiz yöntemleri açıklanmaktadır. 5. ve 6. bölümlerde, yapılan alan çalışması kapsamında elde edilen bulgular sunulmakta ve bu bulgulara dair değerlendirmeler yapılmaktadır. Son olarak, 7. bölümde, tezin sonuçları tartışılmakta ve gelecekteki çalışmalara yönelik öneriler sunulmaktadır. Tezin yapısı Şekil 1.7’de gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Tez çalışmasının akış şeması

2. BİNALARDA ISIL PERFORMANSA YÖNELİK TEMEL KAVRAMLAR

Yapıda ısı performansının yüksek olması, kış aylarında ısınma için harcanan enerji miktarının az olması ve benzer şekilde yaz aylarında yapının soğutulması için minimum enerji gerekmesi durumudur. Bu durumda yüksek bir ısı performans için minimum enerji kullanımı ile ısı konfor şartları sağlanmalıdır (Schunck vd, 2002).

Binada Isıl Performansı Etkileyen Etkenler;

- İç Ortam ısı konfor koşulları,
- Dış çevreye ilişkin etkenler (İklim),
- Yapıya çevreye ilişkin etkenler, olarak belirlenmiştir.

2.1. İç Ortam Isıl Konfor Koşulları

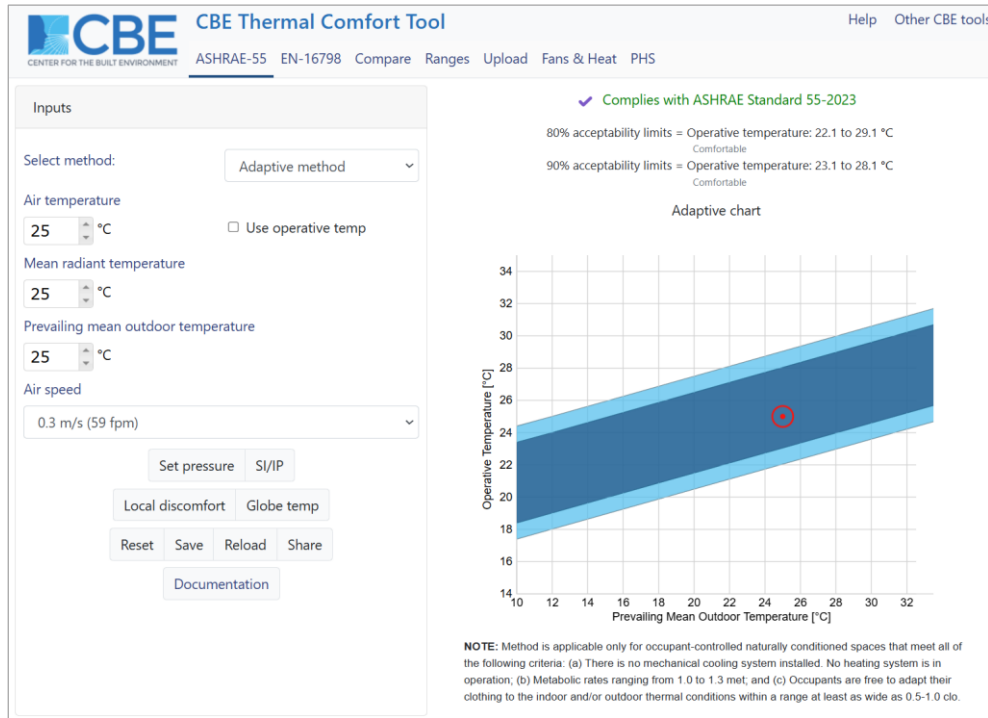
Isıl konfor, bir iç mekânda yaşayan kullanıcıların, başta hava sıcaklığı olmak üzere, güneş ışınımı, nem, hava akım hızı gibi iklim koşullarından etkilenen bedensel ve zihinsel faaliyetlerini belirli bir rahatlık düzeyinde sürdürebilmelerini ifade eder (Fanger, 1982, Szokolay, 2004; Lechner, 2015; ASHRAE-55, 2020). Isıl konfor koşullarını değerlendirirken ele alınması gereken altı temel faktör bulunmaktadır: sıcaklık, nem durumu, hava hızı, ışınım sıcaklığı, metabolik faaliyet ve giysi durumu (ASHRAE-55, 2020; La Roche, 2017). Bununla birlikte, insan vücudu konforunu etkileyen faktörler arasında üç temel etken öne çıkmaktadır: kuru termometre sıcaklığı (sıcaklık), bağıl nem ve hava dolaşımı (Çengel ve Boles, 1996). Ortam sıcaklığı, konforun en önemli kriterlerinden biridir. İnsanların büyük çoğunluğu, 22-27 °C arasındaki sıcaklıklarda kendilerini rahat hisseder. Bunun yanı sıra, bağıl nem de konfor üzerinde önemli bir etkiye sahiptir, çünkü vücudun buharlaşma yoluyla ne kadar ısı atabileceği doğrudan havanın bağıl nem oranına bağlıdır. Bağıl nem, havanın ne kadar nem tutabileceğinin bir göstergesidir. Yüksek bağıl nem, terleme yoluyla ısı geçişini yavaşlatırken; düşük bağıl nem bu süreci hızlandırır. İnsanlar genellikle %40-60 bağıl nem aralığını tercih etmektedir. Hava akımı, ısı konforun sağlanmasında kritik bir role sahiptir. Hava akımı, insan vücudu çevresinde biriken ısınmış ve nemli havayı ortamdan uzaklaştırarak, yerine daha serin ve düşük nem içeriğine sahip hava akışını sağlar. Bu süreç, yüzeysel ısı transferini artırarak vücudun ısı dengesine

ulaşmasına katkıda bulunur ve iç mekânlardaki ısı konfor koşullarını optimize eder. Hava akımı, taşınım ve buharlaşma yoluyla ısı transferini artırır. Etkili bir hava akımı, ortamda biriken ılık ve nemli havayı uzaklaştıracak kadar güçlü olmalı, ancak insanlara rahatsızlık vermeyecek şekilde yumuşak olmalıdır. Isıl konfor için ideal hava akımı hızı yaklaşık 15 m/dakika olarak belirlenmiştir. Ancak, hava akımının hızı arttığında, ortamda hissedilen sıcaklık değişebilir ve yüksek hızdaki hava akımları, konforu olumsuz etkileyebilir. Örneğin, 10 °C sıcaklığındaki bir ortamda, rüzgar hızı 48 km/saat olduğunda, hava akımı, ortamın sıcaklık hissini -7 °C olarak değiştirebilir. Bu etki, rüzgarın ısı geçişini hızlandıran etkisinden kaynaklanmaktadır. Vücut rahatlığını etkileyen diğer faktörler arasında hava kalitesi, koku, gürültü ve ışıınım etkisi yer almaktadır. Işıınım, vücut ile çevre yüzeyleri, örneğin duvarlar ve pencereler arasındaki ısı transferini ifade eder. Güneşin enerjisi uzayda ışıınım yoluyla yayılır. Havanın düşük sıcaklıkta olmasına rağmen, ateşin karşısında ısınma hissedilir, çünkü ateş, vücuda doğrudan ışıma yoluyla ısı transferi sağlar. Benzer şekilde, duvarları ve tavanı düşük sıcaklıkta olan bir odada, vücut çevre yüzeylere ışıma yoluyla ısı kaybeder ve bu durum rahatlık hissini olumsuz etkiler (Çengel ve Boles, 1996).

Isıl konforun sağlanabilmesi için, iç mekandaki ortam koşullarının doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda, iç ortam konfor koşullarının doğal veya yapay yollarla sağlanmadan önce, ısı konfor değerlerinin tespiti kritik bir adımdır. İç ortam konfor koşullarının tespit edilebilmesi amacıyla, “ısıl denge”, “uyarlanmış konfor düzeyi” ve “bölgeleme” gibi farklı yaklaşımlar mevcuttur. İnsan vücudundaki ısı dengesi, Fanger tarafından (Fanger, 1982) geliştirilen bir yöntemle hesaplanabilir. Bu yöntem, ısıl dengeyi belirlemek için basit bir sistem önerir. Bu sisteme göre, insanların konforlu bir şekilde yaşayabileceği ortam “0” olarak kabul edilmiş ve beş farklı hava durumu tanımlanmıştır. Sırasıyla, “-3”ten başlayarak soğuk, serin, doğal “0”, ılık ve “+3”te sıcak ortamlar tanımlanır. Ortam sıcaklığı, bağıl nem, hava hızı, ışıınım, aktivite durumu ve giysi durumu gibi faktörler, ısıl denge değerlerini ve insanın rahatsızlık düzeyini etkileyen parametreler olarak belirlenmiştir (Fanger, 1982). Ek olarak, tasarımcıların faydalanabilmesi için “ısıl denge”, “uyarlanmış konfor düzeyi” ve “bölgeleme” gibi yöntemleri içeren çeşitli araçlar geliştirilmiştir. Bu araçlar, gerekli parametrelerin girilmesiyle iç mekan konfor sıcaklıklarını otomatik olarak hesaplamaya olanak tanımaktadır.

Örneğin; Şekil 2.1’de verilen CBE Thermal Comfort Tool, Center for the Built Environment (CBE) tarafından geliştirilmiş bir ısı konfor hesaplama yazılım aracıdır. CBE, Kaliforniya

Üniversitesi, Berkeley'deki İnşaat Ortamı Merkezi tarafından yönetilen bir araştırma merkezidir. Bu araç, iç mekanlardaki ısı konforu değerlendirmek için kullanılır ve ASHRAE 55 standardına dayalı olarak çalışır. İç mekanlardaki ısı konforu hesaplamak için önemli parametreler sunmakta olan bu araç, PMV (Predicted Mean Vote), PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) ve Uyarlanabilir Yöntem gibi konfor ölçütlerini kullanarak ortamın konfor seviyesini belirleyebilmektedir. Tasarımcılar, ortam koşullarını girerek iç mekanın konforunu analiz edebilir ve optimize edebilirler (Url-1). Şekil 2.1'de sunulan ısı konfor aracı, hava sıcaklıkları ve hava hızı bilgileri girildiğinde otomatik olarak uyarlanmış konfor sıcaklıklarını hesaplamaktadır. Şekilde yer alan koyu mavi taralı alan, ideal konfor bölgesini ifade ederken, açık mavi taralı alan dış ortam sıcaklığına göre ayarlanabilen iç sıcaklık aralıklarını göstermektedir. İç sıcaklık ayarlamaları %80-90 oranında yapılabilmekte ve $\pm 2,5$ °C'lik bir sıcaklık farkı, iç mekânda uygun havalandırma ile konfor bölgesine getirilebilmektedir.



Şekil 2.1. CBE Isıl konfor hesaplama aracı (Url.1)

2.2. Dış çevreye ilişkin etmenler (iklim)

Binaların iklim koşullarına uygun tasarlanması, mikro iklimi anlamaya dayalı çözümlerle geçmişten beri süregelen bir mimarlık anlayışıdır. Ancak günümüzde, konfor koşullarını

sağlama hedefiyle, bu yaklaşım yerini iklimle uyumu göz ardı eden ve yapay iklimlendirme sistemlerine odaklanan bir uygulamaya bırakmıştır. İklim koşulları, bina kabuğunun termofiziksel özellikleri doğrultusunda iç mekan konfor koşullarını doğrudan etkilemektedir. Bu bağlamda, bina tasarımında dikkate alınması gereken ve konfor üzerinde belirleyici olan temel iklim değişkenleri; sıcaklık, nem, güneş ışıınımı ve rüzgar olarak sıralanabilir. İklim değişkenleri, bina tasarımını ve emisyonlarını çeşitli şekillerde etkiler. Örneğin, sıcaklık ısıtma ve soğutma yüklerini belirlerken, havanın nem içeriği soğutma yüklerini ve bir ölçüde ısıtma yüklerini de etkiler. Bu doğrultuda, binaların minimum emisyonla iç mekan konforunu sağlayabilmesi için mevcut enerjiyi etkin bir şekilde kullanması ve dış ortam koşullarını optimize etmesi gerekmektedir (La Roche, 2017). Bu yaklaşım, enerji verimliliğinin artırılmasına önemli bir katkı sunar.

Yıl boyunca bina performansını etkileyen temel iklim bileşenleri şunlardır:

- Dış hava sıcaklığı (°C): Bina ısıtma ve soğutma yüklerini doğrudan etkiler.
- Güneş ışıınımı: Enerji kazancı ve doğal aydınlatma üzerinde önemli bir rol oynar.
- Havanın nemi ve yağış rejimi: İç mekan nem seviyelerini ve yapı malzemelerinin dayanıklılığını etkiler.
- Rüzgar: Hava hareket hızı (m/s veya mph) ve yön, doğal havalandırma ve bina enerji performansı üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir.

Bu bileşenlerin analizi, bina tasarımında enerji verimliliğini artırmak ve konfor koşullarını sağlamak açısından kritik öneme sahiptir.

Dış hava sıcaklığı

Yeryüzünün ısınması ve soğuması, üzerindeki hava katmanlarının sıcaklıklarını doğrudan etkileyen temel bir faktördür. Güneş ışıınımı, atmosferi geçerken enerjisinin büyük bir kısmını ışık formunda yeryüzüne taşır. Bu enerji, yüzey tarafından emildiğinde ısı enerjisine dönüşerek hem yeryüzünü hem de yakınındaki hava katmanlarını ısıtır. Bu nedenle, hava kütlelerinin kendisi doğrudan hava sıcaklığı üzerinde büyük bir etkiye sahip değildir. Hava sıcaklığındaki değişim, esas olarak yeryüzündeki yüzeylerin güneş ışığını emip ısı enerjisine dönüştürmesiyle ortaya çıkar. Bu yüzeyler, temas ettikleri hava tabakalarının sıcaklığını değiştirir ve böylelikle hava içerisinde taşınım akımlarının oluşmasına neden olur. Su ve

kara yüzeyleri arasındaki yüzey sıcaklık farkları, çeşitli çevresel faktörlerin etkisiyle hava sıcaklığını, günlük ve yıllık sıcaklık değişimlerini belirgin şekilde etkiler. Bu faktörler arasında yüzeyin absorpsiyon, yansıma ve geçirgenlik gibi optik özellikleri; bulutlu veya açık gökyüzü koşulları; yüzeyin su veya katı bir yapıdan oluşması yer alır. Ayrıca, yükseklik farkları (örneğin, ova ve yayla sıcaklıkları arasındaki farklılıklar) da hava sıcaklığını etkileyen önemli bir unsurdur. Tasarım süreçlerinde dış hava sıcaklığı genellikle gölgede kuru termometre sıcaklığı olarak ele alınır. Günün karakteristik saatleri olarak 7, 14 ve 21 saatleri, ayın karakteristik günleri olarak ise 1, 11 ve 21 tarihler esas alınır. Bununla birlikte, bina tasarımında dış hava sıcaklıklarının etkisinin analiz edilmesi için günlük en yüksek ve en düşük sıcaklık değerleri, günlük sıcaklık farkları, aylık ve yıllık sıcaklık ortalamaları gibi verilerin de değerlendirilmesi büyük önem taşır (La Roche, 2017; Utkuğ ve diğerleri, 1996).

Güneş ışıınımı

Güneş, bir binaya ve çevresine iki temel işlev sunar: ısı enerjisi sağlama ve doğal aydınlatma. Güneş ışıınımı (solar radiation), elektromanyetik dalgalar yoluyla yayılan bir enerji türüdür ve yeryüzüne ulaşan ışıınım 0.28 ila 3.0 mikron (milimetrenin binde biri) arasında geniş bir spektruma sahiptir. Güneş spektrumu, kabaca üç ana bölgeye ayrılır (Utkuğ, vd., 1996):

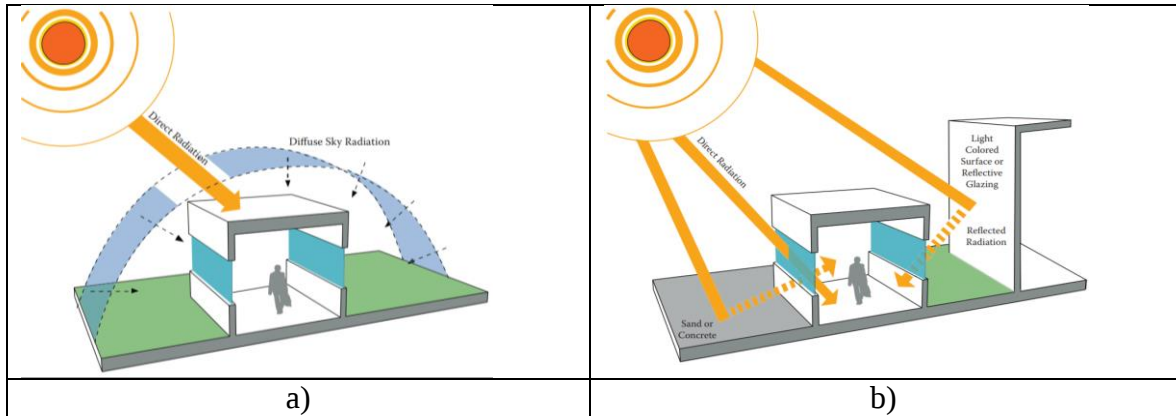
- Morötesi ışıınım (Ultraviyole u.v.): 0.4 mikrondan kısa dalga boyuna sahiptir ve çıplak gözle görülemez.
- Görülebilen ışıınım: 0.4 ve 0.76 mikron dalga boyları arasındadır.
- Kızılötesi ışıınım (Infraruj=Infrared, i.r.): 0.76 mikrondan büyük dalga boyuna sahiptir ve gözle görülemez. Duvar yarısından fazlası i.r. ışıınım ile iletilir.

Güneş ışıınımı atmosferi geçerken dalga boyuna bağlı olarak absorblanır, yansır, yayılır veya doğrudan dünya yüzüne ulaşır. U.V. ışıınımlarının çoğu ve 0.288 mikron altındakiler ozon tabakası tarafından emilir. I.R. ışıınımlarının büyük bir miktarı da karbondioksit ve su buharı tarafından emilir.

Güneş ışıınımı emildikten sonra geri kalanı genelde dalga boyuna bağlı olmaksızın ya doğrudan yeryüzüne erişir ya da atmosferdeki su damlacıkları ve diğer partiküllere (örneğin toz parçaları) çarparak değişik renk tonlarının hakim olduğu tonlarda saçılmaya, yayılmaya

uğrar (difüzyon). Atmosfere girdikten sonra dalga boyunda ve doğrultusunda değişim olan bu ışıma “yaygın güneş ışıması” (diffused radiation) denir ve I_d ile gösterilir (Şekil 2.2a). Örneğin bulutlar, bu tür bir ışıma yayılmasının nedenidir. Yeryüzüne yutulma (absorblanma) veya difüzyona uğramadan gelen güneş ışığına “direkt güneş ışıması” (direct radiation) denir. Doğrultusu ve dalga boyu değişmeden atmosferi geçerek yeryüzüne ulaşan bu ışıma I_D ile gösterilir (Şekil 2.2.a). Yeryüzüne erişen ve çevre yüzeylerden yansarak gelen kısa dalga güneş ışıması ise “yansıyan güneş ışıması” (reflected radiation) olarak tanımlanır ve I_r ile gösterilir (Şekil 2.2.b). Duvar gibi bir düşey yüzeye gelen toplam güneş ışıması; yaygın güneş ışıması I_d , direkt güneş ışıması I_D ve yansıyan güneş ışımasının I_r toplamı olacaktır. (La Roche, 2017; Utku, vd., 1996)

$$I_T = I_d + I_D + I_r$$



Şekil 2.2. a) Bir bina tarafından alınan güneş ışımasının dağınık ve doğrudan bileşeni, b) Güneş ışımasının çevredeki alanlardan binaya yansması (La Roche, 2017)

Dış hava nemi ve yağış rejimi

Belli bir miktar su buharı içeren hava soğutulunca buharı tutma kapasitesi zayıflar ve su buharı suya dönüşmeye başlar. Havanın içindeki su buharının sürekli artışı bir süre sonra havanın o sıcaklık için taşıyabileceği max. su buharı miktarının aşılması ile su buharının suya dönüşmeye başlamasına neden olur. Konfor nem ile yakın ilişkidir. Nem hem sıcak hem de soğukun etkisini güçlendirici efekte sahiptir. Düşük nem kurumaya dayalı rahatsızlıklar yaratırken yüksek nem terleme ve buharlaşmayı zorlaştırıp geciktirici etkisi ile rahatsız eder. Yüksek nem yapı sağlığını bozan yoğuşma (kondenzasyon) tehlikesi yanısıra mikroorganizmalar ve mantarların büyüüp gelişmesine uygun ortam oluşturur. Bu nedenle

kontrolü gerekir. Yağmur veya kar rejimi hava sıcaklıklarına olan indirekt etkisi yanısıra enerji korunumu stratejileri ve kabuk tasarımı açısından da yönlendiricidir. Yağış düzenlerinin mevsimsel kayma göstermesi (yazdan kışa veya baharlara doğru) kompozit iklim bölgeleri oluşması nedenidir. Yıllık yağış dönemlerini günlük hava rejimleri ve anormallikleri çerçevesinde bilmek yöresel iklimi anlamak ve tasarıma yansıtmak açısından önemlidir. Nemin yoğun ve rahatsız edici olduğu dönemler ve bölgeler çerçevesinde doğal havalandırmayı artırıcı tedbirler daha konforlu ortamlar için gereklidir. Kuru iklim koşulları için havuzlar, çeşmeler v.b. nemi artırıcı faktörleri kullanmak gerekir. (La Roche, 2017; Utkutuğ, vd., 1996)

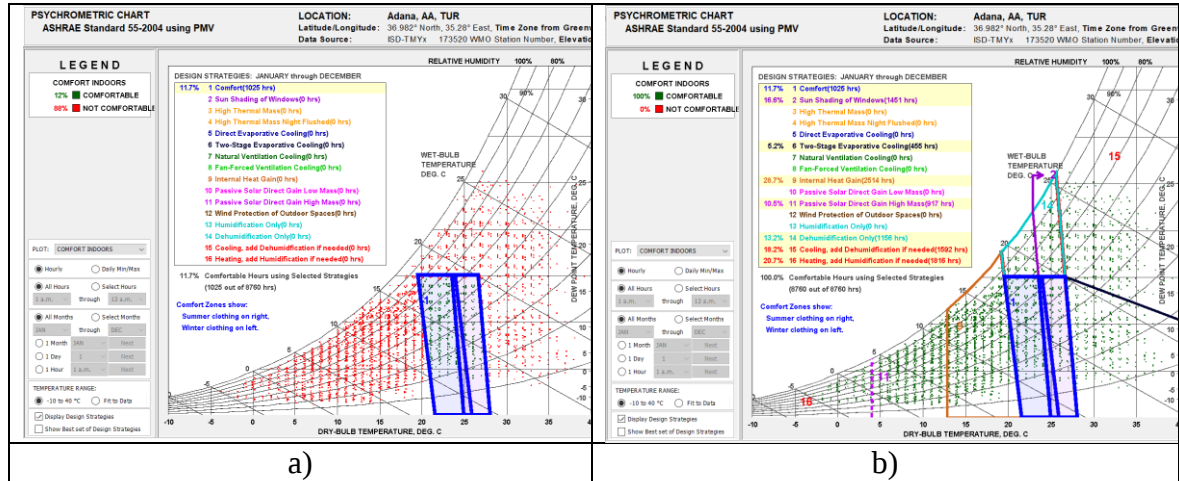
Dış hava hareket hızı, rüzgârlar

Hava, sıcak ve yüksek basınç alanlarından soğuk ve düşük basınç alanlarına doğru akar. Böylece oluşan hava hareketi rüzgarın temel nedenidir. Rüzgara enerji tasarrufu açısından bakılınca olumlu ve olumsuz etkileri olduğu görülür. Sıcak iklimler için serinletici ve buharlaşmayı süpürücü konfor etkisi vardır. Kışın ise yapı kabuğundan sızarak enerji kaybı yaratmanın yanı sıra yeterli korumaya sahip olmayan (yalıtımsız) binalardan fazla miktarda ısı soğurur. Rüzgarın bölgesel yönü, hızı ve frekansının mevsimlere göre değişimi, konfor kontrolü ve enerji tasarrufu açısından, tasarıma önemli bir girdi oluşturmaktadır.

Teknoloji ile bina enerji simülasyon programlarının geliştirilmesi, tüm yıl için saatlik verilere ulaşma ihtiyacını doğurmuştur. Bu sayede kısa sürede, saatlik veriler iklim analizi ve enerji simülasyonu için standart haline getirilmiştir. Çoğu veri seti sistemi, uzun yıllar süren kayıt boyunca gerçek verilerden dönemler seçerek bileşik bir yılın verilerini oluşturur. Bu tür veriler ülkeye bağlı olarak farklı isimlere sahiptir: Amerika Birleşik Devletleri'nde Tipik Meteoroloji Yılı (TMY) ve EnergyPlus hava durumu dosyaları (EPW); Birleşik Krallık'ta, Yapı Hizmetleri Mühendisleri Yeminli Kurumu (CIBSE); Çin'de, Çin Standart Hava Durumu Verileri (CSWD); Avustralya'da temsili meteoroloji yılı (RMY); Yeni Zelanda'da Yeni Zelanda Verileri (NiWA); ve İspanya'da, İspanya Enerji Hesaplamaları için Hava Durumu (SWEC) gibi. Bu veri setleri sayesinde programlar aracılığıyla binanın yapılacağı bölgenin iklim bilgilerine ulaşarak ısıl konforu sağlamak üzere alınması gereken tedbirler belirlenebilmektedir. (La Roche, 2017).

İklimlendirme çalışmalarında, iklimsel değişkenlerin birbirleriyle olan oranlarını değerlendiren iklim çizelgeleri, ısı konfor koşullarını belirlemede önemli bir araçtır. İç mekan iklimsel konforunu sağlamak amacıyla kullanılan yöntemler arasında biyoklimatik çizelge, psikometrik çizelge ve derece-gün yöntemi gibi çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. Örneğin, psikometrik çizelge, bir binada kullanılabilecek pasif sistemlerin, belirli sıcaklık ve nem koşullarında nasıl uygulanabileceğini görselleştiren bir analiz aracıdır.

Psikometrik çizelge üzerinde, iç mekan konforunu sağlamak için gerekli sıcaklık ve nem değerlerini ifade eden "konfor alanı" koyu mavi bir çerçeve ile belirtilmiştir. Bu çizelge, binalarda iç mekan konforunun sağlanması amacıyla yapılan iklimlendirme çalışmalarında, dış hava koşullarının bu sınırların dışında kaldığı durumlarda alınması gereken önlemleri belirlemek için kullanılır (La Roche, 2017). Şekil 2.3a'da herhangi bir pasif sistemin kullanılmadığı senaryoda, konfor bölgesi dışında kalan alanlar kırmızı noktalar ile taralı şekilde gösterilmiştir. Buna karşın, Şekil 2.3b'de psikometrik çizelge yardımıyla uygun pasif veya mekanik iklimlendirme stratejilerinin uygulanmasıyla genişletilen konfor alanı, yeşil taralı alan olarak tanımlanmıştır. Bu yaklaşım, konfor bölgesini genişleterek iç mekan konforunu sağlamasına imkanı sunmaktadır.



Şekil 2.3. Adana ili psikometrik çizelgesi örneği

2.3. Yapma çevreye ilişkin etkenler

Yapılı çevrede uygun iç mekan konfor koşullarını hem aktif hem de pasif olarak kontrol edecek şekilde tasarlamak mümkündür. Aktif sistemler, mekanik araçların kullanımıyla

uygun konfor sıcaklık düzeylerini korumak için enerji harcamayı gerektirir. Pasif yöntemli tasarım ise biyoiklimsel tasarım olarak tanımlanabilir ve çevresel enerjiler ile iklimsel özelliklerden yararlanmak için bölgenin ikliminin doğru şekilde anlaşılmasını gerektirir. Pasif sistemler, güneş ışıınımı, iç hava, nemli yüzeyler, bitkilendirme, iç kazanımlar gibi doğal enerji kaynakları ve havzaları kullanarak ısı konforu sağlar. Bu sistemlerde enerji akışı, mekanik araçlar kullanılmadan, ışıınım, iletim ve taşınım gibi doğal süreçlerle gerçekleşir. Bu süreçler, iklim koşullarına göre değişir. Örneğin, sıcak iklimlerde öncelikli hedefler asgari güneş kazanımı sağlamak ve maksimum havalandırmayı temin etmektir.

İç mekan konfor gereksinimlerini karşılamak için binalarda öne çıkan tasarım parametreleri şunlardır (Yeang, 2006; Silver ve Mclean, 2014):

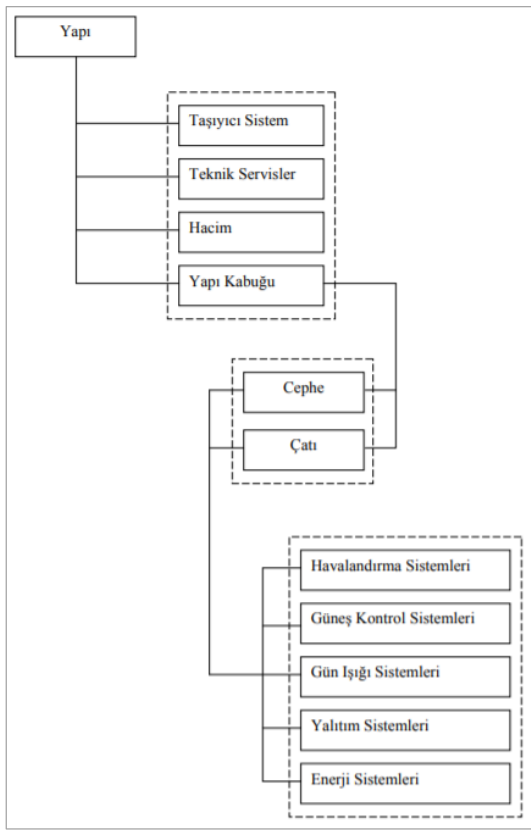
- Bina yapılanması ve arazi yerleşim planlaması,
- Bina yönlendirmesi,
- Bina kabuğunun özellikleri,
- Güneş kontrol araçları (gölgeleme vb.) ve pasif gün ışığı kavramları,
- Rüzgar ve doğal havalandırma,
- Çatı peyzajı,
- Peyzaj düzenlemesi,
- Bina boyutları ve biçimi.

Çalışma kapsamında ele alınan yapı kabukları, binaların enerji performansında kritik bir rol oynamaktadır. Bina kabuğunun ısı performansının iyileştirilmesi, binalarda enerji tüketimini önemli ölçüde azaltacaktır. Yüksek ısı performanslı yapı kabukları, iç mekan sıcaklık dengesini daha etkili bir şekilde sağlayarak, ısıtma ve soğutma yüklerini azaltmakta, böylece enerji tüketimini düşürerek ve enerji verimliliğini artırmaktadır.

2.3.1. Bina kabuğu

Bir “Yapı” sistemi, dört ana alt sistemden oluşmaktadır. Bu sistemler: Taşıyıcı sistem (strüktür), Teknik servisler (mekanik), İç hacim, ve Yapı kabuğu. Yapı kabuğu, özellikle cephe ve çatı olmak üzere iki temel bileşenden oluşmaktadır. Ayrıca, yapı kabuğunun performansını artıracak çeşitli yardımcı sistemler de bu yapı içinde yer alır. Bu yardımcı sistemler arasında (Rush, 1986, s.318):

- Havanlandırma Sistemleri: İç mekan hava kalitesini ve akışını sağlamak için kullanılan sistemler.
- Güneş Kontrol Sistemleri: Güneş ışınlamını kontrol etmek ve iç mekan sıcaklığını optimize etmek amacıyla kullanılan sistemler.
- Gün Işığı Sistemleri: Doğal ışık kullanımı için tasarlanmış sistemler.
- Yalıtım Sistemleri: Isı kaybını veya kazancını kontrol etmek için kullanılan malzemeler ve çözümler.
- Enerji Sistemleri: Enerji verimliliğini artırmak için entegre edilen sistemler.

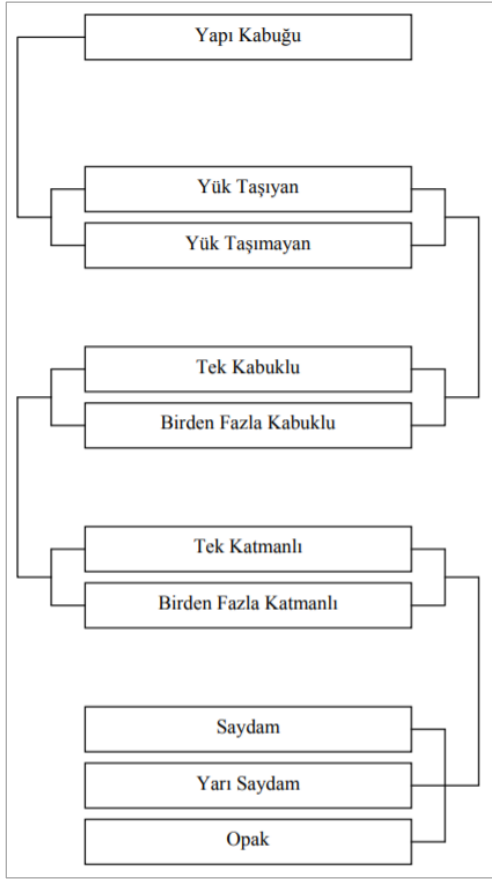


Şekil 2.4. Yapının farklı düzeydeki sistemleri (Schittich, vd., 2001, s.30)

Münih teknik Üniversitesi'nde profesör ve mimar Thomas Herzog bina kabuğunun ekolojik işlevini vurgulamak için insan vücudu metaforunu kullanır:

“Cepheyi insan vücudunun ‘üçüncü katmanı’ (vücudun kendisi ve üzerindeki kıyafetlerden sonra) olarak düşünerek, tasarım açısından bir benzeştirme yapabiliriz der: Sabit bir vücut sıcaklığını sağlamak için dışardaki iklim koşullarının vücudumuzda yarattığı dalgalanmalar, sırasıyla, bu işlevsel katmanların her biri, tarafından azaltılmalıdır...”(Goad, 2005)

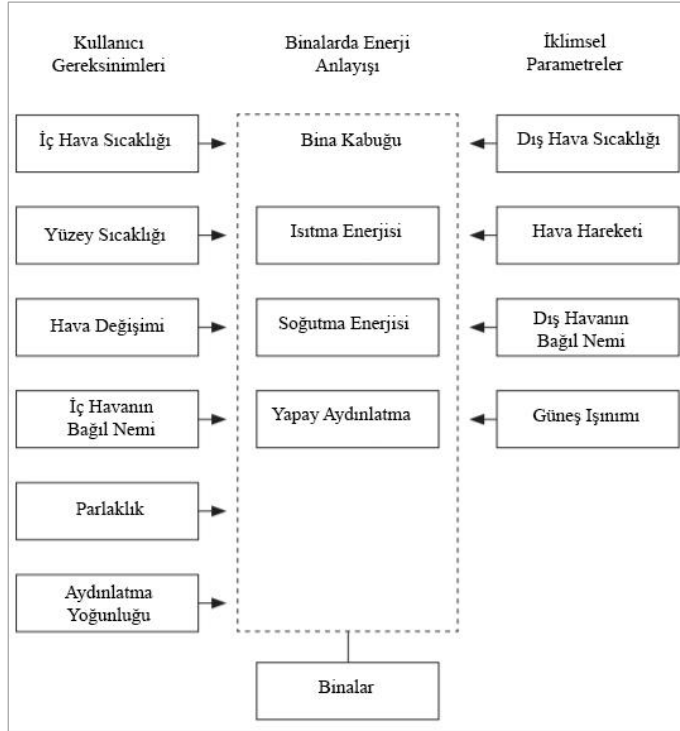
Yapı kabuklarını tanımlamak ve sınıflandırmak amacıyla, yapısal gelişim ve malzeme özellikleri analiz edilerek belirli kriterler oluşturulmuştur. Şekil 2.5'te, yapı kabuğu bu kriterlere göre kategorilere ayrılmıştır. Bu sınıflandırma, dış duvarların taşıyıcı ya da taşıyıcı olmayan özelliklere sahip olmasına, tek kabuklu ya da birden fazla kabuklu yapıda bulunmasına, kabukların tek katmanlı ya da çok katmanlı olmasına ve yüzeylerin güneş ışıını geçirgenlik özelliklerine (saydam, yarı saydam veya opak) göre yapılmaktadır (Schittich ve diğerleri, 2006). Yapı kabuğunun sınıflandırılmasındaki ilk adım, duvarların taşıyıcı olup olmamasına dayanır; taşıyıcı olmayan duvar sistemlerinin gelişimiyle birlikte bu sistemlerde kullanılan malzeme ve bileşenlerin çeşitliliği artmıştır. Diğer bir önemli sınıflandırma kriteri, cephenin tek katmanlı ya da çok katmanlı yapısal gelişimidir. Cephenin tek katmanlı veya çok katmanlı yapısı, yapı kabuğunun performansını etkileyen önemli bir faktördür ve cephe sisteminin yalıtım kapasitesini ile kullanıcı gereksinimlerine uyarlanabilirliğini belirlemeye yardımcı olur. Monolitik yapılarda, binanın fiziksel özellikleri tek bir yapı malzemesiyle sağlanırken, çok katmanlı tasarımlar, farklı yapı malzemeleri kullanılarak optimize edilebilir. Her katmanın ayrı bir ısı dirence sahip olması ve bu katmanların ısı direncinin artması, yapı kabuğunun performansını artıran önemli bir rol oynar. Örneğin; kompozit malzemeler, iki veya daha fazla farklı malzemenin bir araya gelerek farklı fiziksel özellikler sergileyen yeni bir malzeme oluşturduğu yapılar olup, çok katmanlı yapı kabuklarında sıklıkla kullanılırlar. Son olarak, yapı kabuğunun ışık ve ışıını geçirgenliği, biçimi ve işlevini tanımlayan önemli kriterlerden biri olup, iç mekanın doğal aydınlatma ihtiyaçlarını karşılamak ve enerji verimliliğini sağlamak açısından kritik bir rol oynar. Bu nedenle, yapı kabuğunun tasarımı, estetik ve fonksiyonel gereksinimleri dengeleyerek optimize edilmelidir (Schittich ve diğerleri, 2006).



Şekil 2.5. Yapı kabuğunun sınıflandırılması (Schittich, vd., 2006).

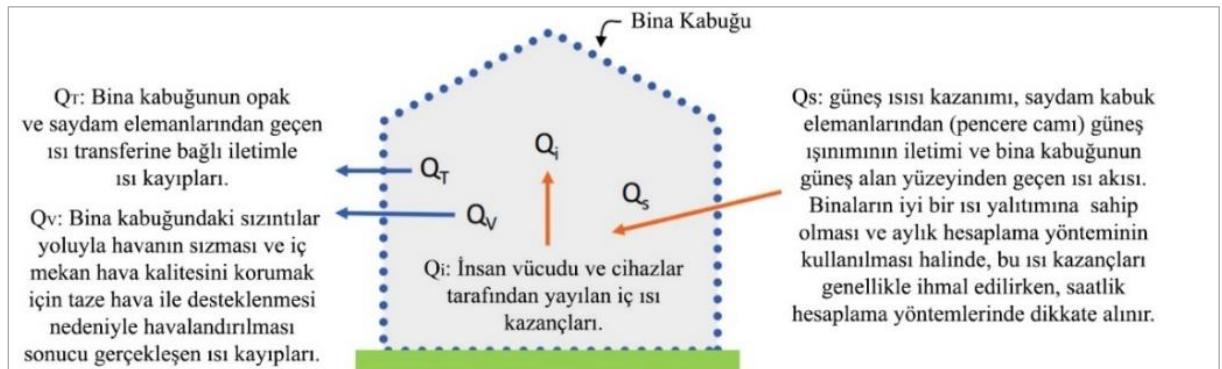
2.3.2. Bina kabuğunun ısıl performans özellikleri

Binayı oluşturan yapı kabuğu, iç ve dış çevreyi birbirinden ayıran, yatay, düşey ve eğimli tüm yapı bileşenlerinden oluşan önemli bir yapı ögesidir (Rich, vd., 1999). Yapı kabuğu, iç ortamın sabit sıcaklık ve nem seviyelerini korurken, dışarıdaki değişken atmosfer koşullarıyla arasındaki fiziksel ve termodinamik sınırı oluşturmaktadır. Gün boyunca ısınan veya soğuyan dış kabuk, iç mekan konforunu belirleyen önemli unsurlardan biridir ve sürekli olarak farklı enerji akışlarından gelen yüklere maruz kalır, bu akışlar birbirini dengelemeye çalışır. Bu nedenle, bina kabuğunun malzemesi ve yapısı, ısı, nem, hava sızdırmazlığı, ses ve ışık gibi bina fiziki gereksinimlerini karşılamalıdır (Şekil 2.6). Bina dış kabuğu tasarımında amaç, minimum ısıtma ve soğutma enerjisi kullanarak konforlu bir iç mekan yaratmaktır (Schittich, vd., 2006; Knaack ve Koenders, 2018).



Şekil 2.6. Binaların enerji tüketiminde iklim parametreleri ve kullanıcı gereksinimleri (Schittich, vd., 2006)

Isıtma veya soğutma yüküne, bina kabuğunu oluşturan duvar, çatı, döşeme, tavan ve pencerelerden kaynaklı ısı geçişleri, pencere-duvar, döşeme-duvar ve çatı-duvar birleşim yerlerinde oluşabilecek hava sızıntıları (infiltrasyon) ve bu sızıntılardan kaynaklı ısı geçişleri, havalandırma, kullanıcı, aydınlatma, ekipman ve su ısıtma sisteminden kaynaklanan ısı geçişleri etki etmektedir. Ayrıca, güneş ışınlamı ve iç ısı kazançları da önemli rol oynayan parametrelerdendir (Şekil 2.7), (Zheng, vd., 2010; ASHRAE-55, 2020; McQuiston, F.C., vd., 2005; Medved, vd., 2019).



Şekil 2.7. Yapı kabuğu, ısı kayıp ve kazancı (Medved, vd., 2019).

Performans terimi, bir yapı, yapı bileşeni veya katman gibi nicel olarak değerlendirilebilen ve ölçülebilen tüm fiziksel nitelikler için geçerlidir. Gerçek performans kriterleri, tasarım aşamasında tahmin edilebilir, yapım aşamasında ise kontrol edilebilir olmalıdır. Çizelge 2.1, bu çalışmada dikkate alınan bina kabuğunun performans kriterlerini göstermektedir (Hens vd., 2007; Hens, 2012, s. 9).

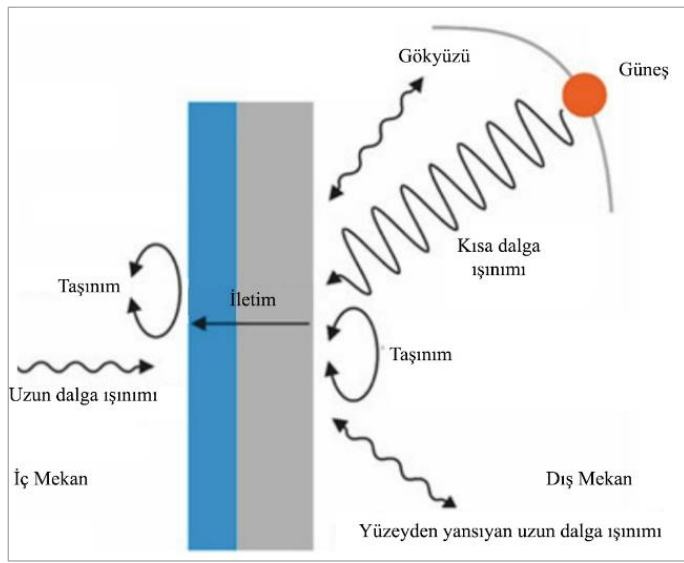
Çizelge 2.1. Dış cephe performans kriterleri (Hens, 2012)

Konu	Performanslar
Sıcaklık, hava, nem	Hava sızdırmazlık - Havanın dışardan içeriye ve içerden dışarıya geçişi - Havanın yalıtım dolgusu etrafındaki hava akımı - Havalandırma ve rüzgâr basıncı ile yalıtımın içerisinden hava geçişi Isı yalıtımı - Birim duvar parçası (clear wall) ve yapı bileşeni olarak duvarın (whole wall) ısı geçirgenlik (U) değeri Ortam sıcaklığına bağlı ısı tepki - Isı yalıtımı - Isıl direnç - Isıl kütle (ısı depolama) Nem Performansı - Yağmur suyu sızması - Yapı bileşenleri arasında yoğuşma Isı köprüsü - Sıcaklık oranı

Yapıların enerji gereksinimlerinin belirlenmesinde, yatay ve düşey yüzeylere gelen güneş ışınlamayı kritik bir rol oynamaktadır. Özellikle son yıllarda artan çok katlı yapılaşma nedeniyle, düşey yüzeyler (cepheler), yatay yüzeylerle (çatı) karşılaştırıldığında bina ısı dengesi üzerinde daha belirgin bir etkiye sahiptir. Literatür araştırmaları, binalardaki ısı kaybının büyük ölçüde bina kabuğunu oluşturan bileşenlerden, özellikle de duvarlardan kaynaklandığını ortaya koymaktadır. Dış duvar bileşenlerinden kaynaklanan ısı kaybı oranı, iklim koşulları, binanın yönlenmesi, kullanılan malzemelerin termofiziksel özellikleri, yalıtım katmanının etkinliği ve ısı köprülerinin varlığı gibi birçok parametreye bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle, bu araştırma kapsamında dış duvar bileşeni özel bir odak noktası olarak ele alınmıştır. Bina cephelerine yönelik biyoklimatik tabanlı tasarım çözümleri geliştirebilmek ve enerji tasarrufu sağlamak için dikkat edilmesi gereken temel

parametre, cephenin ısıtma ve soğutma yüklerini etkileyen optik ve termofiziksel özelliklerinin detaylı bir şekilde incelenmesidir.

Enerjinin ısı olarak transferi, her zaman yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklıktaki ortama doğrudur ve her iki ortam eşitlenene kadar transfer devam etmektedir. Şekil 2.8’de şematize edilmiş olan, binaların duvar bileşeni ile yakın çevre arasında değişen ısı akıları, üç temel ısı transfer mekanizması tarafından yönetilmektedir. Bunlar: iletim (kondüksiyon), taşınım (konveksiyon), ışıınım (radyasyon) dır.



Şekil 2.8. Binaların duvar sisteminin ısı transfer mekanizması (Medved, vd., 2019)

Yapı kabuğunun opak bileşenlerinde, iç ve dış ortam hava sıcaklık farkına bağlı olarak havadan ışıınım ve taşınım ile kabuk yüzeyine geçen ısı, yapı bileşenlerinin katmanlarından iletim ile; ulaştığı yüzeyden havaya ise yine taşınım ve ışıınım yolu ile yayılmaktadır.

İletim: Parçacıklar arası etkileşimlerin sonucu olarak bir maddenin daha yüksek parçacıklarından bitişiklerindeki daha düşük enerjili olanlara enerji aktarılmasıdır. İletim, katı, sıvı veya gazlarda olabilir. Bir ortamda ısı iletiminin hızı, ortam boyunca sıcaklık farkına olduğu kadar, ortamın geometrisine, kalınlığına ve malzemesine de bağlıdır (Çengel ve Ghajar, 2015). Bir yapı bileşeninin her bir katmanının iletim yoluyla transfer edeceği ısı miktarını belirleyen iki önemli faktör; ısı iletkenliği ve katman kalınlığıdır.

Isıl iletkenlik (k veya λ , $W/m \cdot K$): Bir malzemenin ısıyı iletme kabiliyetinin ölçütü olup bir malzemenin birim kalınlığından, birim alan ve birim sıcaklık farkı başına olan ısı transfer hızı olarak tanımlanmaktadır (Çengel ve Ghajar, 2015).

Isı geçirgenlik katsayısı (U , $U = \lambda/d$, W/m^2K , $W/m^2^\circ C$)

Bina kabuğu elemanlarının katman kalınlığı (d) ve ısı iletkenlik hesap değerine (k veya λ) bağlı olarak; dış ortam ve iç ortam hava sıcaklıkları arasındaki fark $1^\circ C$ iken, $1m^2$ alandan, bu alana dik doğrultuda 1 saatte iletimle geçen ısı miktarı olarak tanımlanmaktadır (TS 825, 2013). Bir konstrüksiyonun ısı geçirgenlik katsayı değeri artıkça yalıtım özelliği azalır. Tasarımcıların, TS 825'te verilen, binanın yer aldığı derece gün bölgesine uygun, hesaplamalar sonucu elde edimiş olan, kabuk bileşenlerinin U değerlerinin verildiği Çizelge 4.2 üzerinden minimum değerlere uyması gerekmektedir.

Taşınım: bir katı yüzey ve ona bitişik sıvı veya gaz arasındaki enerji akımı türüdür; iletim ve akışkan hareketinin birleşik etkilerini kapsar. Akışkan hareketi ne kadar hızlı olursa, taşınım ısı aktarımı da o kadar büyük olur (Çengel ve Ghajar, 2015).

Işınım: atom ve moleküllerin elektronik düzenlerindeki değişmelerin sonucunda maddeden elektromanyetik dalgalar (veya fotonlar) şeklinde yayılan enerjidir. İletim ve taşınımın farklı olarak ışınlama ısı transferi bir aracı ortam gerektirmez. Gerçekte, ışınlama ısı transferi en hızlı (ışık hızında) olanıdır ve boşlukta yavaşlamaz. Güneş enerjisinin yeryüzüne ulaşma şekli budur (Çengel ve Ghajar, 2015). Işınım hacimsel bir olaydır. Bütün katı, sıvı ve gazlar, ışınlama değişen seviyelerde yayar, soğurur veya geçirirler.

Yüzeyin yayıcılığı (ϵ , emisivite): Değeri $0 \leq \epsilon \leq 1$ arasında değişen yayıcılık özelliği, bir yüzeyin yayıcılığı $\epsilon=1$ olan ideal yüzeye ne kadar yakın olduğunun ölçüsüdür. Bir diğer önemli özelliği, yüzeye gelen ışınlama enerjisinin soğurulma oranı olan soğurganlıktır. Yayıcılıkta olduğu gibi değeri $0 \leq \alpha \leq 1$ arasında değişmektedir. İdeal cisim, üzerine gelen ışınlama tamamını soğurmakta olup $\alpha=1$ 'dir. Dış yüzeyi koyu renkli konstrüksiyonların açık renkli konstrüksiyonlara göre çok daha fazla enerji depoladığını bilinmektedir (Çengel ve Ghajar, 2015, ISO 13790, McQuiston, 2005).

Zaman gecikmesi (Φ , h) ve genlik küçültme/sönüm oranı (ϕ): Bir malzemenin ısı depolama kapasitesinin belirlenmesinde önemli parametrelerdir. Gün içerisinde malzemenin dış yüzey sıcaklığının en yüksek olduğu zaman ile iç yüzey sıcaklığının en yüksek olduğu zaman arasındaki fark zaman gecikmesi (faz kayması) olarak tanımlanmaktadır. Dış yüzey ve iç yüzey sıcaklık dalgalarının genliklerinde meydana gelen küçülme oranı, başka bir ifade ile iç yüzey sıcaklığının genliğinin dış yüzey sıcaklığının genliğine oranı ise sönüm oranı olarak tanımlanmaktadır (Szokolay, 2004).

3. HAVALANDIRMALI CEPHE SİSTEMLERİ VE ISIL PERFORMANSA ETKİSİ

Bu bölümde, havalandırmalı cephe sistemlerinin tanımı, tarihsel gelişimi ve sınıflandırılması ele alınmakta olup sistemin ısıl performansı detaylandırılmıştır. Literatürde yer alan çalışmalar incelenerek, bu sistemlerin enerji verimliliği üzerindeki etkilerine yönelik örnekler sunulmaktadır. Ayrıca, cephe sisteminin bileşenleri hakkında da kapsamlı bilgi verilmektedir.

3.1. Havalandırmalı Cephe Sistemlerinin Tarihçesi

Havalandırmalı cephe kaplama sistemlerinin tarihine bakıldığında, bu tür yapı çözümlerinin kökeninin soğuk ve nemli iklim bölgelerine dayandığı görülmektedir. Bu ülkelerde, "Boşluklu Duvar" veya "Yağmur Perdesi" olarak adlandırılan sistemler, dış duvarların nemden korunması amacıyla geliştirilmiştir. Bu sistemin temelini anlamak için, öncelikle boşluklu duvar kavramının açıklanması gerekmektedir.

“Boşluklu Duvar” İngilizce de “Cavity Wall” olarak adlandırılmaktadır. Türkçeye çevrilirken farklı söylemler mevcuttur. Bu kapsamda “hava tabakalı duvar, çift tabakalı duvar, çift cidarlı duvar veya hava boşluklu çift duvar” gibi nitelemeler kullanılmıştır. Hava tabakalı duvar sisteminin kullanımı çok daha eskiye dayanmakla birlikte, aslen 2. Dünya Savaşı sonrasında önem kazanmıştır. Özellikle Kuzeybatı Avrupa’nın serin ve nemli ikliminde yaygın olarak kullanılan bir dış duvar tipidir. Rüzgar ve yağmur yönünden zengin Almanya, Danimarka, Hollanda, İsveç, İngiltere, Kanada ve Belçika’da yalın duvarların yağmur tutma işlevinin yeterli olmaması nedeni ile geniş bir uygulama alanı bulmuştur (Hens, vd., 2007, Hens, 2012, Kicklighter, 2003).

Hava tabakalı duvar sistemleri, 1970’lerde yaşanan enerji krizinden önce genellikle üç katmandan oluşmaktaydı. Dış duvar olarak kullanılan bu sistem, aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır (Foster vd., 2013; Allen, 2019; Ballast, 2009; Kicklighter, 2003; Özbilen, 1967):

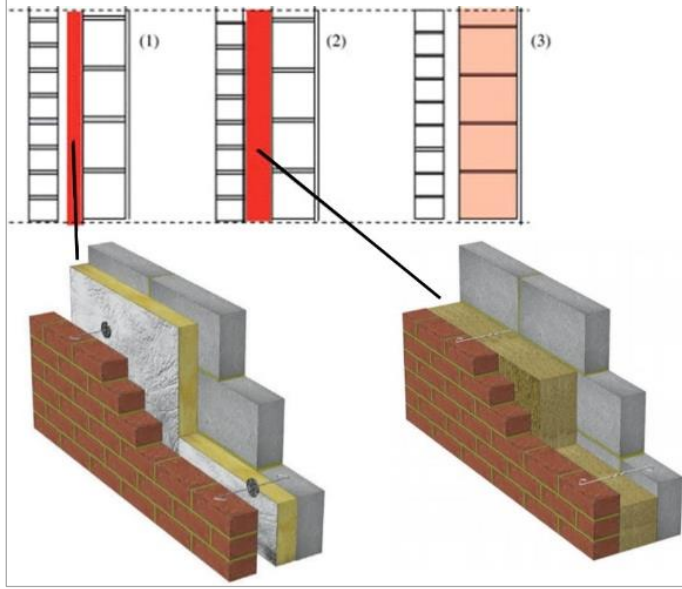
- Dış Katman: 9–12 cm kalınlığındaki tuğla duvar, gelen yağmur sularının yüzey üzerinden akışını sağlamakta ve hava tabakası tarafındaki yüzeyden emilen suların tahliyesine yardımcı olmaktadır.
- Orta Katman: Duvar sisteminde hem konstrüksiyon hem de işlev açısından hareketli olan bir hava tabakası yer almaktadır.
- İç Katman: 9–19 cm kalınlığında sıvalı iç duvar, beton bloklar, büyük boyutlu, hafif ve geçirimsizliği daha az önemsenen tuğlalar veya kalsiyum silikat bloklar ile oluşturulmuştur. Bu iç duvar, taşıyıcılık ve ısı yalıtımı gibi görevlerin yanı sıra, rüzgar geçirimsizliği sağlamaktadır.

Hava tabakalı duvarları 1963 yılında, boşluk havalandırması ile birlikte bir bütün olarak analiz eden ilk araştırmacı B.H. Vos'un vardığı sonucuna göre; boşluk havalandırması, daha iyi bir nem toleransı elde edilmesinde fazla bir fayda sağlamamıştır (Hens vd., 2007). Bu sırada İngiltere'de aynı dönemde, BRE (Building Research Enstitute) tarafından mevcut konutların, hava boşluğu 65mm'den küçük ve çok su almış olan, dış duvarlarında yağmur suyunun duvar içerisine girmesi ile ilgili testler yapılmıştır (Newman vd, 1982.a,b). Yalıtımsız bir hava boşluğuna sahip her duvarda su sızıntısı olduğu aynı zamanda hava boşluğu içinde doğru uygulanmamış olan yalıtım malzemelerinin problemi daha da kötüleştirdiği görülmüştür.

1970'lerde yaşanan enerji krizinden sonra ortaya çıkan enerji verimliliğinin artırılması amacı ile ısı kayıplarını azaltan yapı elemanlarına yönelik araştırmalar başlamıştır. Öncesinde, net bir duvarın ısıl geçirgenlik değeri (U_D) 1.2-1.7 W /m².K aralığındadır ve bu herkes için uygun bir ısıl konfor değeridir. Fakat enerji verimliliğinin artırılması kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda, bir duvarın ısıl geçirgenliğinin 0.6 W/m².K olması bir hedef haline gelmiştir (Hens, 2012).

Aynı dönemde Belçika'daki K.U. Leuven Yapı Fiziği Laboratuvarı hava tabakalı duvarları incelemeye başlamış, ilk incelenen konu ısı köprüsü olmuştur. Bu bağlamda hava tabakalı duvarların, ısı geçirgenlik direncini artırmak için yapılan çalışmalar sonucunda, 1973'ten sonraki ilk yıllarda ısı yalıtım tabakası ilave edilmiş ve böylece "ısı yalıtımlı boşluklu duvar" kavramı doğmuştur (Standaert, 1985). Yalıtım sistemi iki farklı şekilde uygulanmış, Bunlardan birincisi, soğuk dış duvar sistemi yani (Şekil 3.1.1), düşey hareketli bir hava

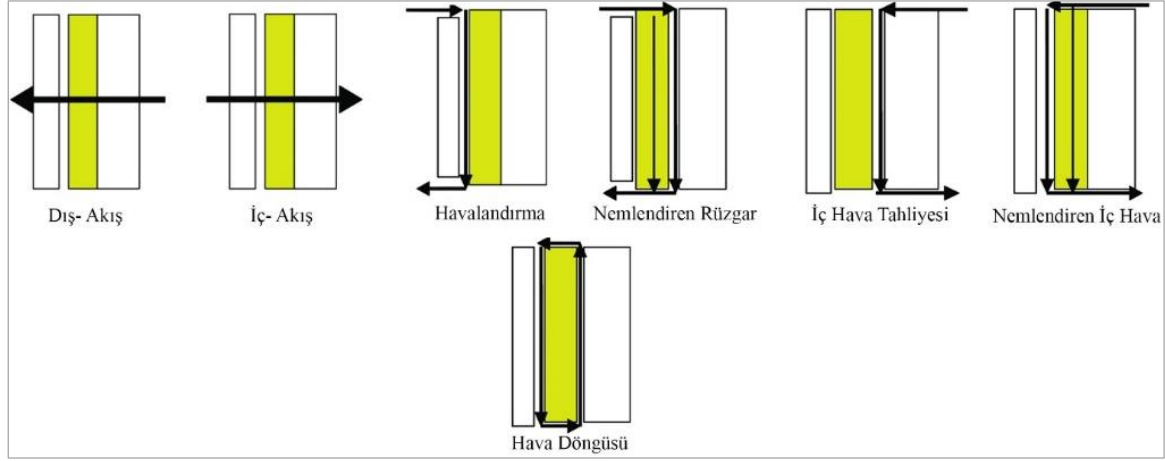
katmanıyla ayrılmış iki masif duvar arasında iç duvara dayalı olarak yerleştirilen ısı yalıtım tabakalı havalandırılan duvardır. İkincisi, sıcak dış duvar yani (Şekil 3.1.2), hava boşluğu içermeyen, iki masif duvar arasında bir parmak hava boşluğu hariç tamamen ısı yalıtım tabakası ile doldurulan havalandırmasız duvardır (Hens, 2012).



Şekil 3.1. Boşluklu Duvar; 1) Kısmi yalıtımlı, 2) Tamamen yalıtım dolgulu, 3) Yalıtımsız (Hens, 2012, Url-2)

1980'lerin ikinci yarısında, dikkatler duvarın boşluğu içerisindeki yalıtım malzemesi etrafındaki hava döngüsüne çevrilmiştir (Şekil 3.2). Yalıtım tabakasının konumu kabuk performansı yönünden oldukça önem teşkil etmekte olup ısı yalıtım tabakasının etrafında hava dolaşımı oluşması kesinlikle kaçınılması gereken bir durumdur. Lecompte (1990) gerçekleştirdiği deneysel analizler sonucunda küçük hava sızıntılarının bile ısı kaybında önemli bir artışa sebep olabileceğini, yalıtılmış boşluklara sahip yapılarda yalıtım malzemelerinin doğru şekilde uygulanmasının önemini vurgulamaktadır. Bunun için iç duvarın dikkatli bir şekilde örülmesi ve iç duvarın dış yüzeyi ile yalıtım tabakası arasında boşluk kalmayacak şekilde sıkıca sabitlenmesi gerekmektedir (Lecompte, 1990; Foster, 2013). Bu durum, yapı inşasındaki uygulamaların değişmesine yol açmıştır. Ardından, duvar içerisindeki boşluğun havalandırılması, tasarımcılar ve inşaatçılar tarafından sağladığı öngörülen faydalar nedeniyle yeniden değerlendirilmiştir (Hens ve Fatin, 1995). Havalandırılmalı duvar sistemleri, havalandırmasız sistemlere kıyasla, statik hava tabakasının yol açabileceği durgunluk ve nem birikimi sorunlarını ortadan kaldırarak, kontrollü hava

akışı sayesinde nemin etkili bir şekilde taşınmasını ve yapıdan uzaklaştırılmasını sağlayan avantajlarıyla öne çıkmaktadır.

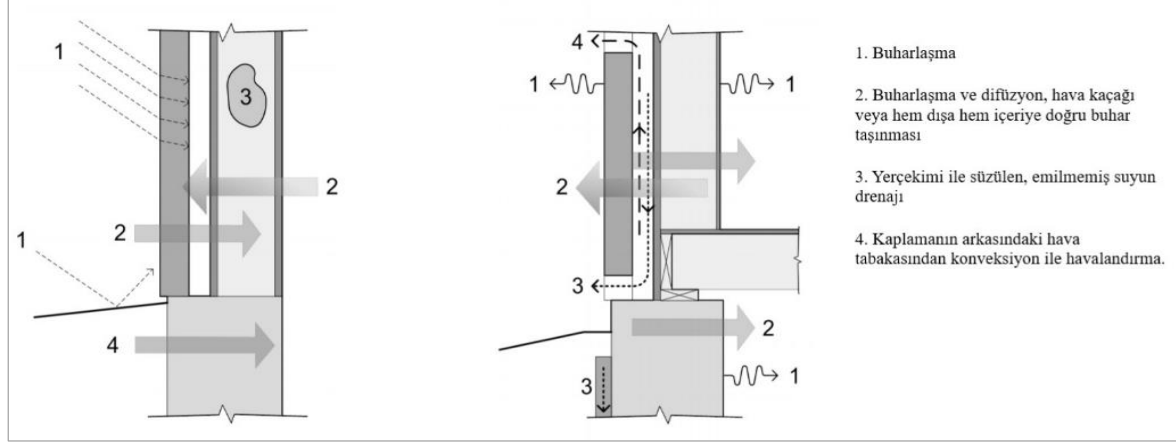


Şekil 3.2. Boşluk duvarlarında farklı hava akış durumları. (Hens, vd., 2007).

Havalandırılmalı duvar sistemlerinde, dış tabakanın geçirdiği yağmur suyu, hava tabakasının bir engel görevi görmesi sayesinde iç tabakaya ulaşmaz. Su, dış tabakanın iç yüzeyine kadar ilerledikten sonra, önceden alınan önlemler sayesinde iç tabakayla temas etmeden doğrudan aşağı doğru süzülür. Bu süreçte, suyun ilk karşılaştığı engel (örneğin döşeme plağı, giriş veya hatıl) üzerinde birikme meydana gelir (Şekil 3.3). Bu birikintilerin dışarı atılması zorunludur; aksi halde, bu engeller suyun iç tabakaya geçmesine olanak tanıyan bir köprü görevi görür. Su birikintileri, engellerin üzerinde ve ayrıca uygun yerlerde oluşturulan su toplama oluklarında biriktirilerek, drenaj kanalları aracılığıyla yapıdan uzaklaştırılmalıdır. Yağışa maruz kalan dış tabaka, malzemenin su emme kapasitesine bağlı olarak doymuş hale gelse bile, iç tabakaya bir tehdit oluşturmaz. Bu tasarım sayesinde duvarın iç tabakası her zaman kuru kalır ve iç mekanın korunması sağlanır (Watts, 2014, Hens vd., 2007, Özbilen, 1967).

Dış tabakadan aşağı süzülen yağmur suyunun yanı sıra, hava tabakasında yoğunlaşma suyunun oluşması da mümkündür. İç tabakanın sıcaklığı genellikle daha az değişken olup, soğuk mevsimlerde dış tabakaya kıyasla daha yüksek seviyelerdedir. Bu durum, hava tabakasındaki su buharının soğuk yüzeylerde, özellikle dış tabaka üzerinde yoğunlaşmasına neden olur. Hava tabakasındaki buharın dışarı atılabilmesi için drenaj kanalı, havanın sürekli sirkülasyonunu sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Böylece yoğunlaşma suyu, suyu biriktiren

yatay oluklarda toplanarak etkili bir şekilde yapıdan uzaklaştırılabilir (Allen, 2019, Foster and Greeno, 2013, Özbilen, 1967).



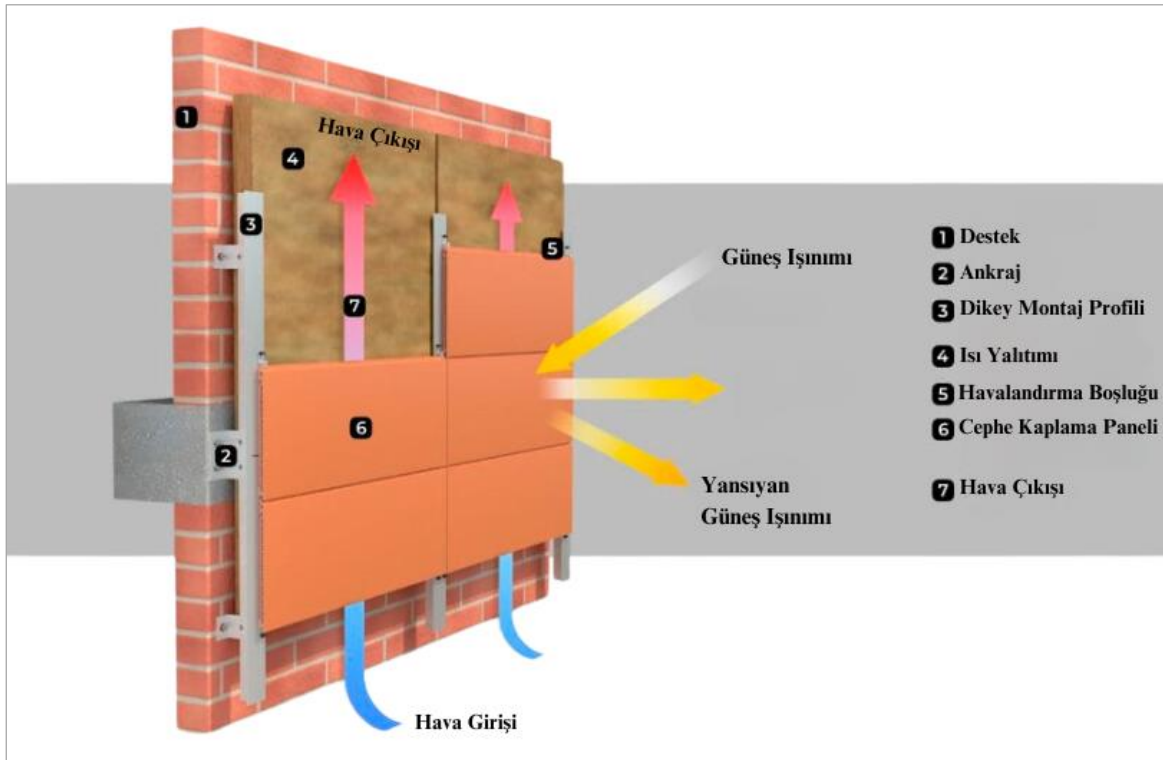
Şekil 3.3. Hava Tabakalı Duvarlar için Nemlenme ve Kurutma Mekanizmaları (Straube vd., 2009)

1990'ların ikinci yarısında yapılan araştırmalar, hava tabakalı duvarlarda $0,2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ düzeyinde bir U-değerini hedeflemiş ve saha testlerine kadar ilerlemiştir (Hendriks ve Hens, 2000). 2000 yılı sonrasında ise, beton blok kaplamalar arasında hava boşlukları bırakılarak oluşturulan duvar sistemlerine yönelik ilgi artmıştır (Hens vd., 2005; Hens vd., 2007). 20.yüzyılda, yığma yapı teknolojileri kapsamında çelikle güçlendirilmiş duvarcılık, yüksek mukavemetli harçlar ve yapısal mukavemeti artırılmış tuğla ve beton bloklardan oluşan duvar teknikleri gibi birçok yenilik geliştirilmiştir (Tokgöz, 2010; Allen ve Iano, 2019).

Günümüzde hava tabakalı duvar sistemleri üzerine yapılan araştırmalar, özellikle tuğla duvarlar üzerinden yapı kabuğunun performansını incelemeye devam etmektedir. Örneğin, Na'nın (2017) doktora tezinde, ABD'nin farklı iklim bölgelerinde havalandırılmalı tuğla duvarların geometrik konfigürasyonları ile soğutma yüklerini azaltma potansiyeli incelenmiştir. Benzer şekilde, Buratti (2018), İtalya'nın iklim koşullarında havalandırılmalı tuğla duvarların optimum geometrik boyutlarını ve geleneksel malzeme kullanımını değerlendirmiştir. Bu çalışmalar, havalandırılmalı duvar sistemlerinin kullanım ve araştırma potansiyelinin sürdüğünü, teknolojik gelişmelerle birlikte farklı iklim koşullarına ve tasarım çözümlerine göre güncellenerek uygulanma alanlarının genişlediğini göstermektedir.

Bu kapsamda yapılan araştırmalar sonucunda, opak havalandırılmalı cephe kaplama sistemleri ön plana çıkmıştır (Şekil 3.4). İskandinav ülkelerinde geliştirilen bu sistemler,

başlangıçta ahşap çitalar veya arduvaz plakalardan oluşmakta olup (Naboni, 2014), Kuzey Avrupa'da dış duvarları yağmur, rüzgâr ve ısı kayıplarına karşı sızdırmaz hale getirerek atmosferik etkilere karşı dayanıklılığı artırmak için kullanılmıştır. Buna karşılık, Güney Avrupa bölgelerinde (Giancola, 2012) bu sistemlerin soğutma yüklerini azaltma potansiyeli ön plana çıkmıştır. Her iki bölgede de sistem performansı, boşluk içinde gerçekleşen hava akımına bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 3.4. Havalandırılabilir cephe kaplama sistemi örneği (Url-3)

Konu ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar genel olarak şunları içermektedir: İç mekan havalandırmasını ve konforunu iyileştirmek için güneş ışıınının neden olduğu havalandırmayı kullanan pasif güneş duvarları (Harris, ve Helwig, 2007; Khanal, ve Lei, 2011; Hu, vd., 2017); Isı tahliyesi için doğal veya mekanik havalandırmaya izin veren çift cidarlı cephe sistemleri (Sotelo-Salas, vd., 2021; Barbosa, ve Southall, 2015; Gratia, ve Herde, 2007) ve entegre fotovoltaik modülleri içeren çift cidarlı cephe sistemleri (Saelens vd., 2008); Havalandırma ve ısıl performansa katkı sağlamak için mevcut cephenin dışında ek bir duvar paneli katmanına sahip olan opak havalandırılabilir cephe (Balocco, 2002; Ciampi, vd., 2003; Patania et al., 2010; Marinosci et al., 2011; Stazi et al., 2011; López et al., 2012; Gagliano, vd., 2016; Peci et al., 2016; Ibáñez-Puy et al., 2017; Balter, vd., 2019;

Goulart & Labaki, 2022; Lin et al., 2022; Alyahya, vd., 2023; Karanafti, ve Theodosiou, 2024) örnek verilebilir.

Araştırmalara göre en çok çalışılan ve uygulanan sistem, camlı Çift Cidarlı Cephe (Double Skin Facade-DSF). Ancak, bu cephelerin kullanılması sıcak mevsimde aşırı ısınma riskini artırmaktadır. Üstelik genellikle daha pahalıdır ve bakım maliyetleri daha yüksektir (Sotelo-Salas, vd., 2021; Barbosa, ve Southall, 2015; Gratia, ve Herde, 2007). DSF'lerde aşırı ısınmayı önlemek için doğal veya cebri havalandırma yapılmaktadır. Bu durum, Havalandırmalı Cephelerin (Ventilated Facade-VF) oluşturulmasını teşvik etmiştir. Uluslararası Enerji Ajansı'na (2007) göre, havalandırmalı cephe ilk bina 1967'de Cambridge Üniversitesi'nde inşa edilmiştir. Daha sonra opak dış katmanlara sahip havalandırmalı cepheler kullanılmış ve bu cephelere “Opak Havalandırmalı Cepheler” (Opaque Ventilated Facade-OVF) terimi eklenmiştir.

Araştırmacılar, günümüzde opak havalandırmalı cephelerin yaz aylarında binaların aşırı ısınmasını azaltma ve soğutma ihtiyaçlarını düşürme potansiyeline giderek daha fazla odaklanmaktadır (Rodriguez-Ubinas, vd., 2020). Çeşitli çalışmalar, bu cephe tipinin hava akışı dinamiklerine, yapılarında kullanılan malzemelerin etkisine, ısı performanslarına ve tasarım konfigürasyonlarına odaklanarak bu sistemlerin farklı yönlerini araştırmıştır.

Odewole (2011), McCormick, (2017) ve Stazi vd., (2011) de havalandırmalı cephelerdeki akış modellerini incelemiştir. Roig, (2024) çalışmasında, opak havalandırmalı cephelerin enerji performansını artırmak için yapı malzemelerinin seçimi ve tasarım stratejileri konusunda önemli bilgiler sunmaktadır. Opak havalandırmalı cephelerin performansı, rüzgar hızı ve yönü, güneş ışıınımı, bina geometrisi ve konumu gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir (Žandeckis ve diğerleri, 2015). Bu kapsamda, Gagliano (2016), Güney Avrupa ülkelerinde farklı rüzgar senaryolarını dikkate alarak havalandırmalı cephelerin ısı davranışını incelemiş, Fancutti ve diğerleri (2017) ise Torino'da Güney ve Batı cephelerine odaklanarak cephelerin yönelimine dair değerlendirmeler yapmıştır. Ayrıca, havalandırmalı cephe sistemlerinin farklı iklim tiplerindeki performansını inceleyen çalışmalar da mevcuttur. Buratti (2018), ABD'deki çeşitli iklim bölgelerinde havalandırmalı tuğla duvarların soğutma yüklerini azaltma potansiyelini araştırmıştır. Benzer şekilde, Atem (2016) Brezilya'nın sekiz farklı bölgesinde havalandırmalı cephelerin enerji verimliliği ve ısı konfor üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Macial (2019) da granit havalandırmalı

cephelerin performansını Brezilya'nın çeşitli iklim bölgelerinde analiz etmiş, farklı iklim koşullarında bu sistemlerin enerji tasarrufunu nasıl etkilediğini incelemiştir. Bu çalışmalar, havalandırmalı cephe sistemlerinin farklı coğrafi ve iklimsel koşullara adapte olma kapasitesini ortaya koymaktadır.

Havalandırmalı cephe sistemlerinde giriş ve çıkış menfezlerinin geometrisi, cephe boşluğu içerisindeki hava akışını ve sıcaklığı etkileyen önemli bir faktör olarak değerlendirilmiş ve bu konu çeşitli araştırmalara konu olmuştur (Şagát vd., 2016; Lin et al., 2022). Sagat vd. (2016)'nin deneysel sonuçları, bu açıklıkların geometrisini optimize etmenin, yaz aylarında soğutma etkisini en üst düzeye çıkarmak için gerekli olduğunu söylemekte ve önermektedir. Havalandırmalı cephe tipleri üzerine gerçekleştirilen çalışmalar arasında açık ve kapalı derzli sistemler de yer almaktadır. Giancola ve diğerleri (2012) ile Sanjuan ve diğerleri (2011) açık derzli havalandırmalı cephelerin deneysel değerlendirmelerini yaparken, Goulart ve Labaki (2022) tarafından yapılan araştırma, kapalı derzli havalandırmalı cepheleri gözlemlemiştir. Bu çalışmalar, cephe sistemlerinin hava akışını kontrol ederek enerji verimliliğini nasıl artırabileceğini göstermektedir. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte yeni malzemeler de cephe katmanlarında kullanılmaya başlanmıştır. çeşitli entegre bina cephelerinin termo-fiziksel ve enerji performanslarını, farklı fiziksel süreçleri bir arada ele alan birleşik simülasyon yaklaşımıyla değerlendirmiş ve karşılaştırmıştır. Çalışmada, nano yapıli malzemelerle geliştirilmiş ve yeni nesil fotovoltaik sistemlerle donatılmış cephe sistemleri incelenmiştir.

Tüm bu deneysel ve sayısal analizler, havalandırmalı cephe sistemlerinin enerji tasarrufu sağlama potansiyelini doğrulamakla birlikte, bu sistemlerin performansının yerel iklim koşulları ve mimari tasarım parametrelerine bağlı olarak farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Küresel ısınmanın etkisiyle, özellikle alan soğutmasının enerji tüketimindeki artışı, havalandırmalı cephe sistemlerinin soğutma yüklerini azaltma potansiyeline ilişkin araştırmaların önemini artırmıştır. Türkiye'de bu havalandırmalı cephe sistemleri kullanılmakla birlikte, cephe sistemlerinin yerel iklim koşullarına uygun olarak uygulanabilirliği ve ısı performansları konusunda yeterli bilgi ve nicel değerlendirmelerin bulunmadığı, dolayısıyla bu alanda önemli bir boşluk olduğu görülmektedir. Bu bağlamda, tez çalışması, Türkiye'nin sıcak ve nemli iklim bölgesindeki yapılar için havalandırmalı cephe sistemlerinin tasarım parametrelerini optimize etmeyi ve bu sistemlerin soğutma yüklerini azaltma kapasitelerini nicel olarak değerlendirmeyi hedeflemektedir. Aynı

zamanda cephe sisteminin ilk yatırım maliyeti hesaplanarak maliyet etkin bir öneri sunulmuş olup bu yönü ile de literatürde yer alan diğer çalışmalardan ayrılmaktadır. Dolayısıyla, çalışma kapsamında hem ısı performans hem de maliyet açısından en uygun cephe seçeneğine ulaşmak hedeflenmiştir.

3.2. Havalandırılmalı Cephe Sistemi ve Sınıflandırılması

Havalandırılmalı cephe, bir hava boşluğu ile ayrılmış iki katmandan oluşan çift cidarlı bir cephedir ve bu katmanlar opak veya şeffaf olabilir. Literatürde, çift kabuk cepheler için birden fazla havalandırma sınıflandırması bulunmaktadır. Bu sınıflandırmalar, çift kabuk cephelerin çalışma prensipleri göz önünde bulundurularak yapılmaktadır (Loncour, 2004; Bonham, 2019; Fancutti, 2015):

- Boşluğun havalandırılma tipine göre: Doğal, mekanik veya hibrit sistemler.
- Cephenin bölümlenmesine göre: Şaft, çok katlı, koridor gibi tasarım özellikleri.
- Hava akımının katmanlar arasında geçişine göre: Dış hava bölmeli, iç hava bölmeli, hava beslemeli, hava tahliyeli veya tampon bölgeli sistemler.
- Malzemelere göre:

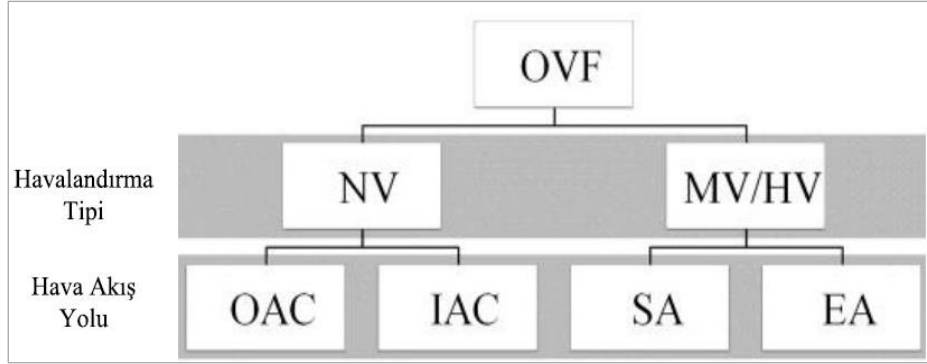
Her iki katmanın saydam olduğu sistemler: Çift Cidarlı Cepheler (DSF).

Opak ve saydam katmanlar: Katmanlardan birinin opak, diğerinin şeffaf olduğu sistemler, örneğin Trombe duvarlarında iç katman opaktır.

Her iki katmanın da opak olduğu sistemler: Opak Havalandırılmalı Cepheler (OVF).

Havalandırma tipi, havalandırılan boşlukta dolaşan havanın kaynağını ve hedefini belirleyerek, binanın biyoklimatik tasarımına nasıl katkı sağladığını daha ayrıntılı bir şekilde açıklar. Gelişmiş entegre cephelerde, en yaygın sınıflandırma, hava akış yolunu ve sistem konfigürasyonunu ana bileşenler olarak ele almaktadır (Perino, 2010). Bu bağlamda, opak havalandırılmalı cephelerin literatürdeki havalandırma stratejileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Fantucci (2015), Loncour (2004) ve Bonham (2019) çalışmalarında, üç temel havalandırma stratejisi öne çıkmaktadır: doğal havalandırma (NV), mekanik havalandırma (MV) ve her ikisinin kombinasyonunu kullanan hibrit havalandırma (HV). Şekil 3.5'te, olası

cephe düzenlemeleri şematik olarak gösterilmekte olup, hava akış yolu ve havalandırma tipolojisine göre sınıflandırılmaktadır. Burada: (EA) egzoz havası konfigürasyonu, (SA) besleme havası konfigürasyonu, (OAC) dış hava perdesi yapılandırması ve (IAC) iç mekan hava perdesi yapılandırmasını temsil etmektedir (Şekil 3.6).



Şekil 3.5. Opak havalandırılmalı cephelerde havalandırma stratejisi (Fancutti, 2015)

EA - Hava tahliyeli (exhaust) havalandırılmalı cephe sistemi

Hava odanın içinden gelir ve dışarıya doğru tahliye edilir. Böylece, cephenin havalandırılması ile bina içindeki kirli hava dışarıya atılmış olur.

SA - Hava beslemeli havalandırılmalı cephe sistemi (Parietodinamik Duvar)

Cephe havalandırması dış ortam havası ile oluşturulur. Bu hava daha sonra odanın içine veya havalandırma sistemine getirilir. Cephenin havalandırılması, böylece binaya hava beslemeyi mümkün kılar. İç mekanların doğrudan havalandırılması tipik olarak sadece ılıman sıcaklıklar ve düşük rüzgar hızı dönemlerinde elverişlidir.

Havalandırılmayan - Tampon bölgesi cephe sistemi

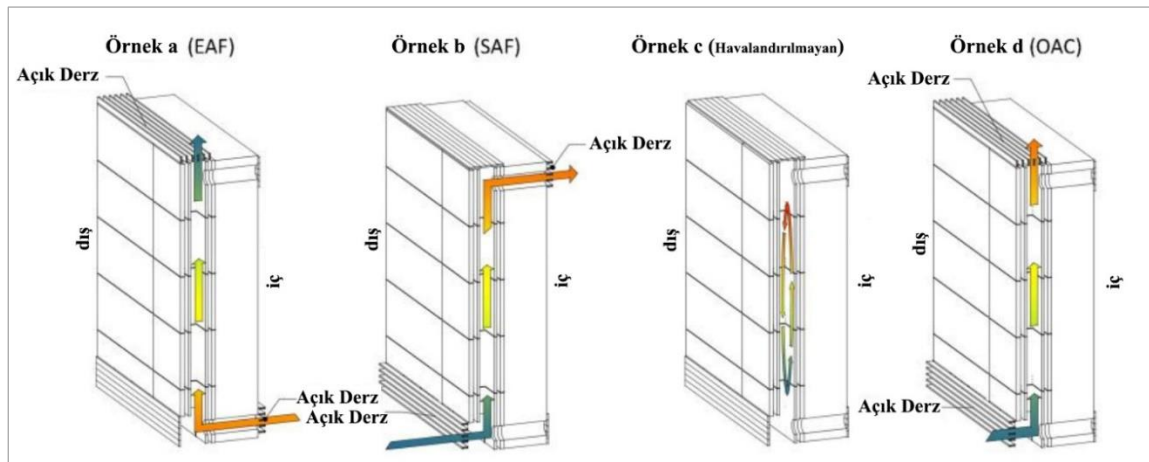
Bu havalandırma tipinde, çift cephenin her bir katmanı hava geçirmez hale getirildiği için farklılık göstermektedir. Böylece, boşluğun havalandırılması mümkün olmadan, iç ve dış ortamlar arasında bir tampon bölge oluşturulur.

OAC - Dış hava bölmeli havalandırılmalı cephe sistemi

Bu havalandırma tipinde, boşluğa giren hava dışarıdan gelir ve tekrar dışarıya doğru atılır. Boşluğun havalandırılmasıyla dış cepheyi saran, ısı alışverişi yapan ve baca etkisi oluşturarak binanın cephesini soğutmaya yardımcı olan bir hava katmanı oluşturulmaktadır.

IAC - İç hava bölmeli havalandırılmalı cephe sistemi

Hava odanın içinden gelir, odanın içine veya havalandırma sistemi ile geri döndürülür. Boşluğun havalandırması bu nedenle iç cepheyi saran bir hava katmanı oluşturur.



Şekil 3.6. Opak havalandırılmalı cephe sistemleri; a). EAF-exhaust air facades, b). SAF-beslemeli havalandırılmalı cephe, c). Havalandırılmayan cephe, OAC-dış hava bölmeli cephe (Fancutti, 2015)

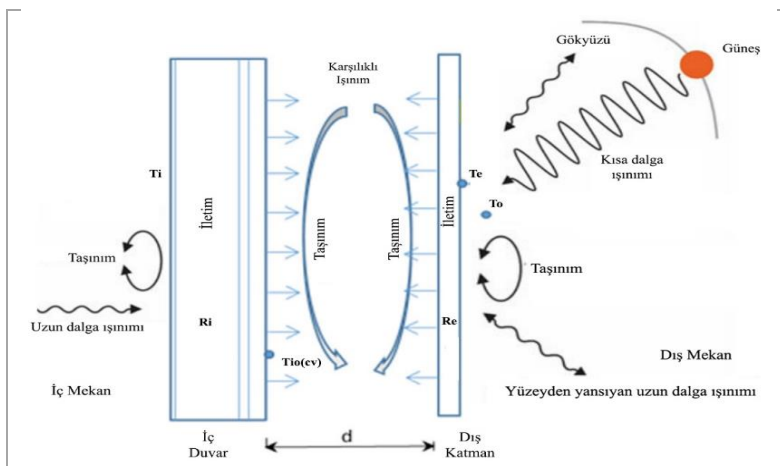
3.3. Havalandırılmalı Cephe Kaplama Sistemi ve Isıl Özellikleri

Tabakalı konstrüksiyonlar veya havalandırılmalı cephe kaplamalarında, iç duvar ve yalıtım katmanının yanı sıra, yalıtım katmanının önünde bir hava tabakası ve opak dış tabaka bulunmaktadır. Bu yapı, yalıtım katmanının etkinliğini ve uzun ömürlülüğünü artırır. Hava katmanı ve dış tabaka, su, güneş ışınlamı ve mekanik stres gibi dış etkilere karşı yalıtımı koruyarak, yapının ısıl performansını iyileştirir. Bu sayede, iç mekanda konforlu bir iklimin sağlanmasına katkıda bulunur (Knaack ve Koenders, 2018).

Bina, çevresiyle ısıl enerji ve kütle alışverişi yapabilen karmaşık bir termodinamik sistemdir. Hava boşluğunu çevreleyen iki yüzey arasındaki ısı akışı, temelde hava akış hızından ve

duvar yüzeyleriyle hava akımı arasındaki sıcaklık farkından kaynaklanmaktadır. Sıcak iklimlerde veya mevsimlerde, ısıнын eğilimi dışarıdan içeriye doğru olurken, soğuk iklimlerde veya mevsimlerde bunun tersi gerçekleşir. Bu iki durum arasındaki farklar, tasarım ve stratejileri de etkiler; sıcak iklimlerde amaç ısıнын bina içinde birikmesini engellemek, soğuk iklimlerde ise ısıнын dışarıya kaçmasını önlemektir.

Havalandırmalı cephe sistemi ile çevre arasındaki değişen ısı akıları, alt başlık 2.3.2'de detaylı olarak açıklanan üç temel ısı transferi mekanizması—ışınım, taşınım ve iletim—tarafından yönetilmektedir ve bu süreç Şekil 3.7'de görsel olarak sunulmaktadır. Sistemin çalışma prensibi, iç ve dış ortamlar arasındaki hava sıcaklık farkına bağlı olarak gerçekleşir. Havadaki ısı, ışıınım ve taşınım yoluyla kabuk yüzeyine geçer; ardından bu ısı, yüzeyin önündeki katman tarafından iletimle geçerek, katmanlar arası boşluğu taşınım ve ışıınım yoluyla ilerler. Isı, önündeki diğer katmanları tekrar iletimle geçtikten sonra, nihayetinde ulaştığı yüzeyden havaya taşınım ve ışıınım yoluyla yayılır. Dış duvarda, tek taraflı havalandırmalı bir boşluk oluşturan akış girişleri ve çıkışları bulunur. Dış katmanda, hava alt açıklıklardan içeri girer ve iç ile dış duvar arasındaki ısı iletimi ve çevresel ışıınım etkisiyle duvar boyunca yükselmeye devam eder. Isınan hava, ortam sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklığa ulaştığında, üst açıklıklardan çıkarak boşluktan ısı enerjisiyi çeker (konveksiyon/taşınım). Rüzgar hızının sıfır olduğu durumlarda, hava boşluğundaki hava akış hızları yalnızca doğal taşınım etkisiyle yönlendirilir. Ancak rüzgar hızının sıfırdan büyük olduğu durumlarda, hava boşluğunda meydana gelen hava akış hızı, rüzgar ve kaldırma kuvvetlerinin etkisiyle yönlendirilir (Gagliano, 2016).



Şekil 3.7. Binaların hava tabakalı duvar sisteminin ısı transfer mekanizması (Gagliano, 2016)

Doğal taşınım

Hava hareketinin rüzgar gibi herhangi bir dış kaynak tarafından üretilmediği, sıcaklık değişimlerinin neden olduğu havadaki yoğunluk farkıyla doğan bir mekanizmadır. Doğal taşınımlarda, bir ısı kaynağını çevreleyen hava kaynaktan ısıyı alır, yoğunluğu azalır ve yükselir. Çevredeki soğutucu hava daha sonra bu havanın yerini alacak şekilde hareket eder. Bu soğutucu hava daha sonra tekrar ısınır ve işlemi devam ettiren bir taşınım akımı oluşturur. Bu işlem, enerjiyi en alttan en üste aktarır. Doğal taşınım için itici güç, hava yoğunluğundaki farklılıkların bir sonucu oluşan kaldırma kuvvetidir.

Zorlanmış taşınım

Basınç farklılıkları sebebiyle oluşan rüzgarın bina cephesine ısı yayımı etkisidir. Rüzgar, enerji verimliliğinde önemli bir rol almaktadır. Bina etrafındaki hava akışı, yapı üzerindeki basınç farklılıkları, yapıdaki hava sızdırmazlığına ve ısı yalıtımına bağlıdır.

Baca etkisi

Doğal havalandırma, binanın etrafından akan rüzgarla veya geleneksel çapraz havalandırmada olduğu gibi baca etkisiyle cepheden sağlanabilir ve kaldırma kuvvetiyle hareket eder. Kaldırma kuvveti, esas olarak sıcaklık farkı sonucu meydana gelen iç-dış hava yoğunluğundaki farklılıklardan kaynaklı yukarı yönlü bir kuvvettir. Bacadaki yükselen hava, aşağıdan hava çeken bir hava akımı oluşturur. (Stazi, 2017, s:179) Hava hızı, kütle ve enerji dengesine dayanan aşağıdaki eşitlik (1) ile ifade edilir:

$$v = \sqrt{\frac{2H(P_e - P_i)}{P_i \left(fr \frac{H}{d} + 1.5 \right)}} \quad (3.1)$$

Burada; v (m/s) boşluktaki hava hızı; H (m), Boşluğun yüksekliği; p_e , p_i (kg/m³), dış ve iç hava yoğunluğu (hava sıcaklığına, basıncına ve neme bağlı olarak); g (m/s²) yerçekimi ivmesi; fr sürtünme katsayısı; ve d (m) eşdeğer çap (baca genişliği)'ı ifade etmektedir.

Havalandırma kanalındaki hava hızı, boşluğa bitişik malzemelerin yüksekliği, genişliği, pürüzlülüğü vb. gibi baca konfigürasyonlarında ve dıştan içe hava yoğunluklarındaki farktan

güçlü bir şekilde etkilenecektir. Hava yoğunluğu tamamen sıcaklığa ve basınca bağlı olmakla birlikte ikincil olarak neme de bağlıdır. Bu nedenle, sabit malzeme ve geometrilere sahip olan hava akışı (ideal gaz yasasını kullanarak) temel olarak boşluktaki hava ile dış ortam havası arasındaki sıcaklık farkına ΔT bağlıdır: kaldırma kuvveti ve dolayısıyla baca etkisi ne kadar büyükse, iç-dış hava sıcaklığı ΔT arasındaki ısı fark o kadar büyüktür. Basınç farkı, özellikle yüksek rüzgarlı rejimlerde önemli bir rol oynayabilir. Bir duvarın davranışını anlamak için (sabit geometriler ve malzemelerle), dış hava ile baca etkisi için yönlendirici olan kanaldaki hava arasındaki sıcaklık farkının günlük değişimini (ayrıca değişen rüzgar rejimlerinde) analiz etmek önemlidir. Dış cephe sıcaklığı ile gelen güneş ışınımının dış kaplama üzerindeki etkileri, kanal içindeki hava sıcaklığını etkiler. Bu etki, dış kaplamada kaydedilen toplam ısı kazancı sıcaklığı (sol-air temperature) grafiği aracılığıyla kolayca tespit edilebilir. (Stazi, 2017, s:179)

Sol-Air sıcaklığı

Bir duvara “ I (W/m^2)” yoğunluklu bir güneş ışınımı çarptığında, gelen enerjinin bir kısmını “ α ” güneş soğurma katsayısına göre emerek kendi yüzeyinin sıcaklığında bir artış oluşturur. Bu sıcaklık artışı, güneş ışınımının olmadığı duruma göre dış hava ile değiştirilen ısı akışının bir varyasyonunu üretir. Bu durum, malzemeye bitişik bir hava tabakasının, ışıma maruz kalmış durumda elde edilen aynı ısı akışlarını sağlamak gibi imgesel -daha yüksek- bir sıcaklığa sahip olduğu ışıma maruz kalmamış bir durum olarak değerlendirilebilir. Sol-air sıcaklığı bu imgesel parametreyi ifade eder. Güneş ışınımının yokluğunda, gerçek dış sıcaklık dağılımının ve gelen güneş ışınımının birleşik etkileri nedeniyle olduğu gibi duvardan aynı sıcaklık dağılımını ve ısı transfer oranını verecek olan dış hava sıcaklığı olarak tanımlanır. (Stazi, 2017, s:179) Bu parametre aşağıda verilen eşitlik (2) ile hesaplanır:

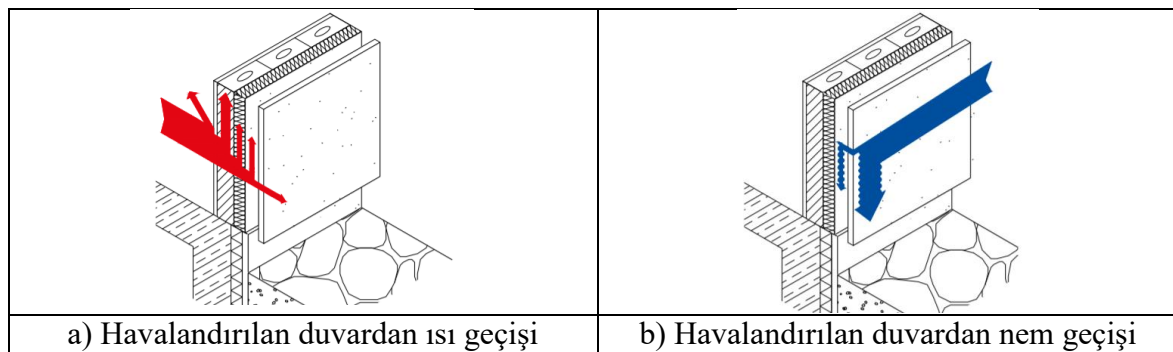
$$T_{\text{sol-air}} = T_a + \alpha I / h_e - \varepsilon \Delta R / h_e \quad (3.2)$$

Burada; $T_{\text{sol-air}}$ (K), sol-air sıcaklığı; T_a (K) dış hava sıcaklığı (K); α (-), yüzeyin soğurduğu güneş ışınımının oranı; I (W/m^2), Dikey yüzeyde güneş ışınımı olayı; h_e ($W/(m^2 K)$), dış yüzey ısı transfer katsayısı; ε (-), kızılötesi ışınım yayılması; ΔR (W / m^2), gökyüzü ve çevredeki yüzeyde meydana gelen uzun dalga ışınımı ile dış hava sıcaklığında siyah cisim tarafından yayılan ışınım arasındaki farkı ifade etmektedir (Stazi, 2017, s:179). Dolayısıyla sol-air sıcaklığı, hava sıcaklığı ile yüzey tarafından emilen gelen ışınımın toplamına, yayılan

ışınımın gökyüzüne ve çevreye olan etkisinin çıkarılmasıyla elde edilir. Bu son terim ($\varepsilon\Delta R / h_e$) dikey yüzeyler için ihmal edilebilecek uzun dalga ışıınım faktörüdür (Stazi, 2017, s:179).

Hava ve nem geçirmezlik

Hava geçirmezlik özelliği, iç duvar katmanını veya iç katmandaki bir buhar bariyeri ile sağlanmaktadır (Knaack ve Koenders, 2018). Nem geçirmezlik özelliği, havalandırmalı cephelerde dış katmanın suya karşı dayanıklı olması açısından önemli bir avantaj sunar. Dış katmana su nüfuz etse bile, hava boşluğu aracılığıyla etkin bir şekilde dışarı atılır. Havadaki su buharı, bu sistemde nem taşınımına neden olur ve buhar, cephe boyunca hava akışı ile taşınarak yapıdan uzaklaştırılır. Hava, yüksek sıcaklıktaki bir alandan düşük sıcaklıktaki bir alana hareket ederken, havadaki su buharı soğuk yüzeylerde yoğunlaşabilir. Ancak, hava soğuk bir bölgeden sıcak bir bölgeye hareket ederse, bu tür bir yoğunlaşma meydana gelmez. Sıcaklık farklarına dayalı yoğunlaşmanın engellenmesi, binanın dış cephesinde ısı farklılıklarının minimize edilmesi ile sağlanabilir. İç duvar konstrüksiyonuna bağlı olarak, malzemenin kendisi veya buhar geçişini engelleyen bir bariyer aracılığıyla buhar basıncı iç mekanda tutulabilmektedir (Knaack ve Koenders, 2018). Şekil 3.8, havalandırılan bir duvardan gerçekleşen ısı ve nem geçişini göstermektedir. Şekil 3.8.a'da kırmızı oklarla gösterilen ısı akışı, duvar katmanlarından geçerken havalandırma boşluğu aracılığıyla yönlendirilir. Duvar içindeki hava boşluğu, hem iç mekandaki ısıyı dışarı kaçmasını engeller hem de dışarıdaki sıcak havanın içeri girmesini zorlaştırır. Şekil 3.8.b'deki mavi oklar, nem geçişini temsil etmektedir. Dış cephe kaplaması, nemin ilk olarak karşılaştığı bölgedir ve genellikle dış ortamdan gelen nem burada birikir. Havalandırma boşluğu, nemin hareketini ve buharlaşmasını kontrol etmeye yardımcı olur. Böylece bu boşluk, nemin diğer katmanlara geçişini engelleyebilir ve hava akışı sağlayarak nemin buharlaşmasına katkıda bulunur.



Şekil 3.8. Havalandırılmalı Cephe Kaplama (Knaack ve Koenders, 2018)

Havalandırılmalı cephelerde oluşan ısı iletim sürecini anlamak için aşağıda belirtilen parametreler önem arz etmektedir:

- Cepheye gelen güneş ışıının miktarı;
- Yerel rüzgarların hızı ve yönü;
- Dış tabaka malzemesi ve rengi;
- Cephe bağlantılarının kalınlığı ve şekli;
- Hava giriş ve çıkış geometrileri;
- Hava boşluğunun genişliği;
- Hava boşluğu içinde hava akışı;
- Hava boşluk yüksekliği;
- İç katman malzemeleri;
- Isı yalıtım kalınlığı.

Sistemin dezavantajı, katmanlı yapıdan kaynaklanan karmaşıklılıktır. Katmanların çözümü ve yapı elemanlarının birleşimi, dikkate alınması gereken önemli detaylardır (Knaack ve Koenders, 2018). Bu bağlamda, en büyük zorluk, bu tür karmaşık duvar sistemlerinin enerji dengesini anlamaktır. İç katman, hava boşluğu ve dış katmanın üstlenmesi gereken işlevlerin net bir şekilde tanımlanması ve bu işleve göre en uygun çözümün tasarlanması son derece önemlidir. Özetle, havalandırılmalı cephe sistemini oluşturan bileşenler ve her bir katmanın işlevi aşağıda sıralanmıştır:

Dış katman

- Güneş ışıının engelleme: Dış katman, doğrudan güneş ışıının karşı bariyer işlevi görerek güneş enerjisinin soğurulmasını ve yansıtılmasını sağlar.
- Isı iletimi: Dış katman, malzemesi ve kalınlığına bağlı olarak, ısıının hava boşluğunda iletilmesini düzenler.
- Su geçirmezlik ve koruma sağlama: Dış katman, yağmur suyunu yönlendirerek ve buhar geçişini kontrol ederek su geçirmezlik sağlar. Aynı zamanda dış etkenlere (rüzgar, toz, kir vb.) karşı yapıyı koruma işlevi görür.

Hava boşluğu

- Doğal havalandırma ve ısı transferi: Hava boşluğu, doğal havalandırmayı ve ısı transferini optimize etmek amacıyla hareketli hava akışını sağlar.
- Nem ve su geçirmezlik: Hava boşluğu, nem ve su geçirmezlik sağlayarak ısı yalıtımını korur.
- Hava boşluğunun kalınlığı, yüksekliği ve pürüzlülüğü, bağlantı türleri ve hava girişi/çıkışları, sıcak havanın etkili bir şekilde dış ortama atılmasına yardımcı olur.
- Hava boşluğunun kalınlığı, ısıyım ile oluşan ısının iç tabakaya kadar yayılmasını etkiler.

İç katman

- İç ortama ısı iletimi: İç katman, malzemesi ve kalınlığı ile ısı yalıtımı özelliklerine bağlı olarak iç ortama ısı iletimini düzenler.

Bu katmanların her birinin işlevlerinin etkili bir şekilde entegrasyonu, havalandırılmalı cephe sisteminin genel performansını ve enerji verimliliğini artırmada kritik bir rol oynamaktadır.

3.4. Havalandırılmalı Cephe Sistemi Katmanları

Havalandırılmalı cephe sistemi için uygun malzemelerin seçimi, binaların ısı performansını ve enerji verimliliğini artırmak için önemli bir parametredir. Bu bölümde, kaplama elemanları, taşıyıcı sistemi ve bağlantı elemanları, ısı yalıtım katmanı (uygun olduğu yerde) ve gerekli diğer elemanlar hakkında bilgi verilmektedir (IFD, 2018).

3.4.1. Cephe kaplama elemanları

Bina tasarımı bağlamında, cephe kaplama malzemelerinin seçimi, özellikle doğal havalandırılmalı cephe sistemlerinde, ısı performansını ve enerji verimliliğini optimize etmek açısından önemli bir parametredir. Bu bölümde, çimento esaslı, kil esaslı, metal, doğal taş, ahşap ve plastik esaslı kaplamalar dahil olmak üzere, her biri havalandırılmalı cephe sistemlerinin genel performansına katkıda bulunan bu kaplama malzemeleri hakkında bilgiler verilmektedir.

Çimento esaslı cephe kaplamaları

Çimento esaslı kaplama malzemeleri, dayanıklılıkları ve çevresel etkilere karşı gösterdikleri yüksek direnç nedeniyle geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Yüksek ısıl kütleleri sayesinde bu malzemeler, gündüz boyunca depoladıkları ısıyı gece serbest bırakarak iç mekan sıcaklıklarının dengelenmesine önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Literatürdeki çalışmalar, çimento esaslı kaplamaların bu özelliği sayesinde iç mekan konforunu artırdığını ve özellikle sıcak yaz aylarında aşırı ısınmayı etkili bir şekilde önleyebildiğini ortaya koymaktadır (López vd., 2012; Stazi vd., 2018; Atem vd., 2020). Bu malzemelerin havalandırılmalı cephe sistemlerine entegrasyonu, aşırı sıcaklık dalgalanmalarının sık görüldüğü bölgelerde binaların enerji verimliliğini artırarak önemli katkılar sağlamaktadır (Domínguez-Torres vd., 2022; Balter vd., 2019; Maciel ve Carvalho, 2021). Ayrıca, yapılan araştırmalar, çimento esaslı kaplama malzemeleri arasında yer alan fibercement levhaların, yangına maruz kaldıklarında yük taşıma kapasitelerinde bir miktar azalma görülebilmesine rağmen, çeşitli çevresel koşullar altında yapısal bütünlüklerini korumayı başardığını ortaya koymaktadır (Schabowicz vd., 2021).

Kil esaslı cephe kaplamaları

Kil esaslı cephe kaplamaları, özellikle pişmiş toprak fayanslar, estetik tasarım özellikleri ve ısıl performanslarıyla öne çıkmaktadır. Bu malzemeler, binanın görsel estetiğini zenginleştirirken, yüksek ısıl kütleleri sayesinde iç mekan sıcaklıklarının dengelenmesine katkıda bulunarak ısıl konforu artırır. Gözenekli yapıları, nem yönetimini iyileştirerek cephenin genel performansını destekler. Araştırmalar, kil kaplamaların ısı kazançlarını etkin bir şekilde azalttığını ve bu sayede iklimlendirme sistemlerine olan bağımlılığı düşürdüğünü ortaya koymaktadır (Stazi vd., 2011; Labat vd., 2012; Giancola vd., 2012; Goulart ve Labaki, 2022). Ek olarak, kil tabalı cephe kaplamaların modüler yapısı, bakım ve onarımı kolaylaştırarak onları modern mimari için sürdürülebilir bir seçim haline getirir (Topličić–Ćurčić vd., 2015).

Metal cephe kaplamaları

Alüminyum kompozit malzemeler de dahil olmak üzere metal kaplamalar, hafif yapıları ve yüksek dayanıklılıkları nedeniyle ön plana çıkmaktadır. Metallerin yansıtıcı özellikleri,

güneş ısısı kazanımını azaltarak bina enerji tüketimini düşürürken, yapısal özellikleri kaplama arkasındaki hava akışını iyileştiren yenilikçi tasarımlara imkan tanır. Araştırmalar, metal cephelerin, uygun yalıtım stratejileriyle birleştirildiğinde ısı transferini etkin bir şekilde yönettiğini göstermektedir (Patania ve diğerleri, 2010; Sanjuan ve diğerleri, 2011; López ve Adana, 2015). Fakat, yangın performansları kritik bir husustur (Dréan vd., 2019). Araştırmalar, metal kaplamalarla ilişkili riskleri azaltmak için yanmaz yalıtım malzemelerinin ve etkili yangın bariyerlerinin kullanılmasının önemini vurgulamıştır (Giraldo vd., 2013).

Doğal taş cephe kaplamaları

Doğal taş kaplamalar, hem estetik hem de ısı performans açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Yüksek yoğunluğa sahip doğal taş, ısıyı etkin bir şekilde emip serbest bırakarak iç mekan sıcaklıklarının dengelenmesine katkı sağlar. Bununla birlikte, taş kaplamanın ısı performansını, taşın türüne ve montaj yöntemine bağlı olarak önemli ölçüde farklılık gösterebilir. Yapılan deneysel araştırmalar, doğal taşın havalandırmalı cephe sistemlerine uygun şekilde entegre edilmesi durumunda, mekanik soğutma ihtiyacını azaltarak enerji tasarrufu potansiyelinin yüksek olduğunu ortaya koymaktadır (Rahiminejad ve Khovalyg, 2021; Diallo vd., 2017). Ayrıca, doğal taşın dayanıklılığı, uzun ömürlülüğü ve düşük bakım gereksinimleri, onu sürdürülebilir bina uygulamaları için ideal bir seçenek haline getirmektedir (Masi vd., 2021).

Ahşap cephe kaplamaları

Ahşap kaplama, çevresel faydaları ve estetik sıcaklığı nedeniyle tercih edilen bir seçenektir. Hava koşullarına dayanıklı hale getirildiğinde, ahşap havalandırmalı cephe sistemlerinde yüksek performans göstererek, hem nem kontrolü sağlar hem de yalıtım özellikleri sunar. Araştırmalar, ahşap kaplamaların hem yaz hem de kış mevsimlerinde ısı konforu artırabildiğini, bu da ahşabı çeşitli iklimler için çok yönlü bir seçim haline getirdiğini göstermektedir (Sanjuan vd., 2011; Marinosci vd., 2014). Ayrıca, ahşabın hafif yapısı, çeşitli mimari tasarımlarda kolay kurulum ve yüksek uyurlanabilirlik sağlamasıyla öne çıkar (Giancola vd., 2012). Ancak, ahşabın sürdürülebilirliği, çürümeyi ve böcek hasarını önlemek için sorumlu kaynak kullanımı ve uygun işlemeye bağlıdır (Stazi vd., 2020).

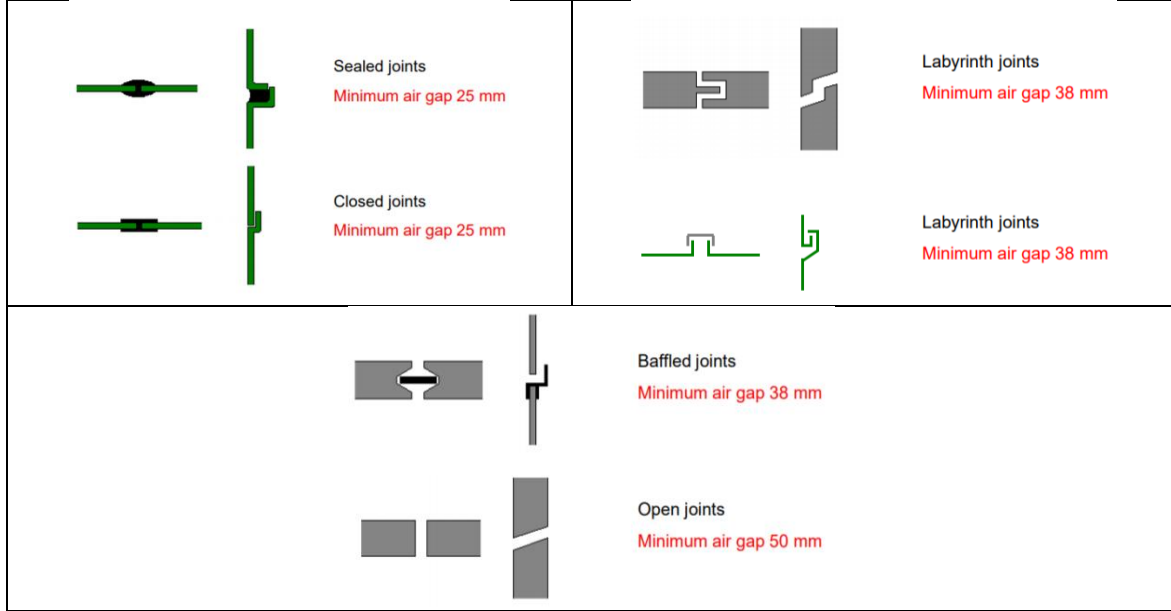
Plastik esaslı cephe kaplamaları

Polivinil klorür (PVC) ve kompozit malzemeler gibi plastik bazlı cephe kaplamaları, hafif yapıları, neme ve korozyona karşı dirençleri ile öne çıkmaktadır. Bu malzemeler, geniş renk ve doku seçenekleriyle tasarımda esneklik sağlar. Doğal malzemelere kıyasla ısı performansları genellikle daha düşük olsa da teknolojik ilerlemeler bu malzemelerin yalıtım özelliklerinin iyileştirilmesine katkıda bulunmuştur (Masi vd., 2021; Girma ve Tariku, 2021). Ayrıca, özellikle nemli ortamlarda hava akışını iyileştirmek ve ısı yükleri azaltmak amacıyla plastik kaplamalar, havalandırılmalı cephe sistemlerine entegre edilebilmektedir (Aparicio-Fernández ve diğerleri, 2014). Bununla birlikte, tasarım aşamasında yeterince dikkate alınmadıkları takdirde, plastik kaplamalar yangının yayılmasına katkıda bulunabileceklerinden, yangın performansları hala önemli bir endişe kaynağı olmaktadır. (Alfakhry, 2020).

Ahşap esaslı paneller, prekast beton, fiber çimento, taş, seramik, kil, metal, alüminyum kompozit, plastik, laminat ve tuğla gibi dayanıklı malzemeler, duvarın dış yüzeyine uygulanan kaplamalar arasında yer almaktadır. Bu kaplamalar, tüm sistemi olumsuz atmosferik koşullardan (yağış, rüzgar, güneş ışınımı, hava kirliliği vb.) koruyarak aynı zamanda yapıya estetik bir katkı sağlar. Cephe kaplamasının işlevsel gereksinimleri arasında, hava boşluğuna su sızıntılarını engellemek, ısı yalıtımı sağlamak, geçirgen membranı mekanik olarak korumak, ısı yalıtım yoluyla ısı transferini azaltmak için düşük emisyonu sağlamak ve güneş ışınımı nedeniyle oluşabilecek bozulmalara karşı dayanıklı olmak bulunmaktadır.

Havalandırılmalı cephe prensip olarak açık veya kapalı derzlerle kurulabilmekte olup kaplama planlanırken dikkate alınması gereken önemli bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. (Romila, 2013) Labirent ve açık derzler için minimum kabul edilebilir genişlik, cephe kaplama arkasından akan suyun derzlerden dışarı akmasına izin verme ihtiyacına bağlıdır. Açık derzler yalnızca basınçla eşitlenmiş bir duvarın parçası olarak kullanılmalıdır ve suyun hava boşluğundan yalıtıma geçişini önlemek için 50 mm'lik bir hava boşluğu gereklidir. (CWCT, 2020) Açık Derzli Havalandırılmalı Cepheelerde (Open Joint Facade-OJVF), derzler, dış havanın duvar boyunca boşluğa girip çıkmasını sağlar. Bu durumda baca etkisi azalır (Ciampi, 2003). Şekil 3.9'da CWCT-Centre for Window and Cladding Technology (2018)

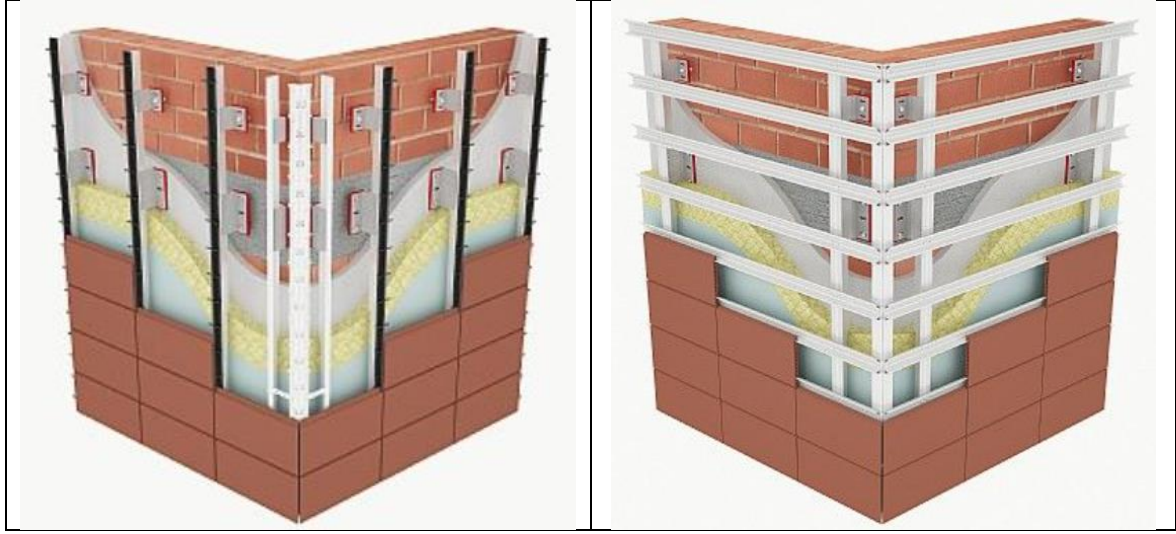
performans standartlarında, açık ve kapalı derz çeşitlerine göre belirlenen kabul edilebilir minimum hava boşluğu ve derz genişlikleri yer almaktadır.



Şekil 3.9. Açık ve kapalı derz çeşitlerine göre belirlenen kabul edilebilir minimum hava boşluğu ve derz genişlikleri (CWCT,2018)

3.4.2. Cephenin taşıyıcı sistemi

Alt yapı, taşıyıcı dış duvar ile cephe giydirme arasındaki statik bağlantı olup yatay/dikey metal ya da ahşap profiller bütünüdür. Genellikle duvar braketleri ve yük taşıyan metal profiller (kayar ve sabit noktalara sahip braketler ve alüminyum, galvanizli çelik veya paslanmaz çelikten yapılmış yük taşıyıcı profiller), ahşaptan (torna veya çapraz torna, yük taşıyıcı çıta, ahşap malzemeler) veya cam elyaf takviyeli plastikler içerir. Çok sayıda ankraj sistemi türü olmakla birlikte destek çerçevesinin karşılaması gereken temel gereksinimler aynıdır. Bunlar: dış katmanın ağırlığını destekleyecek kadar güçlü olmak, rüzgara, mekanik şoklara ve sismik eylemlere karşı dayanıklı olmak, dış katmanın montajı için yeterli alan sağlamak ve ısı köprülerini azaltmak için optimize edilmelidir. (Pardal ve Paricio, 2006; Romila, 2013) Alt yapı, taşıyıcı duvar malzemesinin cinsine, yapı fiziğinin statik gereksinimlerine ve dayanıklılık açısından gereksinimlere göre tasarlanmalı, planlanmalı ve kurulmalıdır. Şekil 3.10'da tek cidarlı ve çift cidarlı cephe kaplama ait taşıyıcı sistem örnekleri gösterilmektedir.



Şekil 3.10. Tek Cidarlı ve Çift Cidarlı Cephe Kaplama Taşıyıcı Sistemi Örnekleri (Url-4)

3.4.3. Cephedeki havalandırma boşluğu

Dış cephe elemanı ve yalıtım katmanı arasındaki boşluktur. Boşluk içerisindeki hava, ısı ve nem sirkülasyonunu sağlayarak bina dışından veya içerisinden gelen su buharlarının duvar yüzeyinde veya ısı yalıtımının içinde birikmesine engellemektedir. Hava boşluğunun boyutu bölgeye, projeye göre belirlenmelidir. Ayrıca derz boyutuna göre değişmekle birlikte CWCT (2018) performans standartlarına göre minimum 25 mm olmalıdır. Bu boşlukta çıta ve harç kalıntıları vb. harici kalıntılar bulunmamalıdır. Hava tabakası soğuk mevsimde ısı yalıtımı, ılık mevsimde ise ısı giderimi amaçlı kullanılmaktadır. (Romila, 2013) Hava boşluğu, duvarın ısı yalıtım değerini artırır ve ek ısı yalıtım malzemesi için yer sağlar. (Ching ve Mulville, 2014, Foster vd., 2007, Kicklighter, 2003).

Hava boşluğunun boyutu ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde: Bolocco (2002), İtalya'da yaz dönemi için yaptığı analiz çalışmasında, 7 cm'den daha geniş hava boşluklarının soğutma etkisini fark ettirmeye başladığını ve en yüksek soğutma etkisi oranlarının 20-30 cm arasındaki boşluk genişliklerinde gözlemlendiğini belirtmektedir. 35 cm'lik bir boşluk genişliğiyle soğutma etkisinin sabitlenmeye başladığı sonucuna varılmaktadır. Ciampi ve arkadaşlarının (2003) yaz dönemi için gerçekleştirdikleri analizde, havalandırma boşluk genişliği arttıkça enerji tasarrufunun arttığı, ancak bu artışın özellikle 15 cm'den sonra daha az belirgin hale geldiği ortaya konulmuştur. Marinosci ve diğerleri (2011), İtalya'da yaptıkları deneysel analizle, havalandırma boşluklarının etkinliğinin,

özellikle hava boşluğunun yüksekliği ve genişliğiyle yakından ilişkili olduğunu ve havalandırılan boşluğun boyutlarının bu etkinlik üzerinde önemli bir rol oynadığını göstermektedirler. Çalışma kapsamında, yaklaşık 10 ila 20 cm'lik bir boşluk derinliğinin, doğal havalandırmayı artırdığını ve güneş ışınlamından kaynaklanan ısı yükleri azaltmada etkili olduğunu önermektedir. Girma ve arkadaşları (2021) ise, 2 cm ile 10 cm arasındaki boşluk genişliğinin yeterli hava akışını sağladığını, ancak bunun enerji kayıplarını artırabileceğini vurgulamaktadırlar.

3.4.4. Cephenin ısı yalıtımı katmanı

Isı yalıtımı, duvar yüzeyi ile havalandırma boşluğu katmanları arasında yer almaktadır. Metal profiller arasına yerleştirilerek duvara mekanik olarak sabitlenen ya da sadece duvara mekanik sabitleme elemanları ile tutturulmaktadır. Yalıtım levhası yapı ömrünce sabit kalmalıdır ve hacimsel boyutlarını korumalıdır. Duvarı, deformasyonlara neden olabilecek sıcaklık değişimlerinden veya donma-çözülme döngülerinden korumaktadır. Yalıtım levhası ve duvar arasında oluşabilecek hava boşlukları ile farklı yalıtım levha katmanları bulunuyorsa, bu katmanlar arasında oluşacak boşluklardan kaçınılmalıdır. Yalıtım yüzeyinin rüzgara karşı korunması gerekmektedir. Isı yalıtım levhası kalınlığı, TS 825 standardına göre hesaplanmalıdır. Yalıtım malzemesinin seçimi birkaç özelliğe bağlıdır: ısı ve akustik koruma, su geçirmezlik, yangına dayanıklılık ve bazen renk (dış kaplamadaki bağlantılar malzemenin görüntülenmesine izin verdiğinde) etkili olmaktadır (Romila, 2013; Catalá, 2016). Binalarda kullanılan yalıtım malzemeleri, genellikle organik ve inorganik olmak üzere iki ana gruba ayrılmakta olup, Yaygın olarak kullanılan ısı yalıtım malzemeleri arasında poliüretan, ekstrüde polistiren (XPS), genleşmiş polistiren (EPS), mineral yünü, cam yünü ve taş yünü (MW), Poliüretan (PUR), Fenol köpüğü (PF), Ahşap yünü levhalar (WW), Genleştirilmiş perlit levhalar (EPB), Genleştirilmiş mantar (ICB), Ahşap lifli levhalar, Aerojel olmak üzere her iki grup da doğal ve sentetik malzemeler yer almaktadır (Izoder, 2013; Akdemir vd., 2020; Uçar ve Dumrul, 2019; Kotan vd., 2018; Arslan ve Aktaş, 2018).

Poliüretan ve polistiren

Poliüretan, hafif yapısı ve yüksek ısı yalıtım performansı ile öne çıkan bir malzemedir ve genellikle dış cephe yalıtımlarında tercih edilmektedir (Akdemir vd., 2020; Ucar ve Dumrul, 2019). Ekstrüde polistiren (XPS) ve genleşmiş polistiren (EPS) de düşük ısı iletim katsayıları sayesinde etkili yalıtım çözümleri sunar. XPS, dayanıklılığı nedeniyle dış cephe yalıtımında yaygın olarak kullanılırken, EPS daha ekonomik bir alternatif olarak iç mekan yalıtımında tercih edilmektedir (Ucar ve Dumrul, 2019; Kotan vd., 2018)

Cam yünü ve taş yünü

Cam yünü, hafif yapısı ve etkili ısı yalıtım özellikleriyle öne çıkarken, taş yünü yüksek sıcaklıklara dayanıklılığı sayesinde dikkat çeker. Her iki malzeme de yangın dayanıklılığı ve ses yalıtımı gibi ek avantajlar sunarak bina cephelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Kotan vd., 2018; Arslan ve Aktaş, 2018). Cam yünü, özellikle enerji verimliliğini artırmada etkili bir çözüm sunarken, taş yünü ses yalıtımı ve yangın güvenliği açısından kritik bir rol oynamaktadır (Uçar ve Dumrul, 2019; Kotan ve ark., 2018).

Biyopolimerler ve geri dönüştürülmüş malzemeler

Biyopolimerler ve geri dönüştürülmüş malzemeler gibi sürdürülebilir alternatifler, çevresel etkileri azaltmak ve enerji verimliliğini artırmak amacıyla giderek daha fazla ilgi görmektedir (Yoruç ve Uğurkan, 2017; Binici vd., 2014). Bu malzemeler, sürdürülebilir inşaat yaklaşımlarında önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin, pamuk atıkları ve uçucu kül gibi doğal malzemeler, hafif yapı malzemeleri olarak hem ısı hem de ses yalıtımında kullanılmaktadır (Binici vd., 2014).

3.4.5. Cephinin iç duvar katmanı

Bina duvarı, havalandırılmalı cephe sisteminin bileşenleri için destek tabanını temsil etmekte olup dayanıklılık, karşılanması gereken en önemli gereksinimdir. Ayrıca, yükseklik ve uzunluktaki sapmalar minimumda tutulmalıdır. Cephe kaplamasının sabitlenebileceği yüzeyler, beton, tuğla, delikli tuğla çelik, ahşap, gaz beton, bims, sandviç panel vb. gibi yapı elemanlarından oluşabilmektedir. Sıva veya yüzey kaplamaları gibi katmanlar yük taşıyıcı

malzemeler olarak sayılmaz. Taşıyıcı duvar, binaya yeterli ısı yalıtımı ve su buharı geçirgenliği sağlamalıdır. (Romila, 2013)

3.4.6. Cephedeki diğer malzemeler

Yüksek katlı havalandırılmalı cephe sistemlerinde, hava akışının etkisiyle yangın hızla yayılabilir. Bu nedenle, yangının üst katlara sirayet etmesini önlemek amacıyla belirli aralıklarla yangın kompartımanları oluşturulması gerekmektedir. Havalandırılmalı cephelerde yangın kompartımanları, intümesan (şişen) malzemeler kullanılarak yapılabilir. İntümesan malzeme, yangının ısısı ile şişerek 30 dakikaya kadar yangına dayanıklılık sağlamakta ve yukarı yönlü hava akışını kesmektedir. Giraldo vd. (2013)'nin yaptığı analizlerde, 18 metreyi aşan binalarda her 3 katta bir veya her 10 metrede bir yangın kompartımanı oluşturulmasının gerekli olduğu, 18 metreden alçak binalarda ise bu uygulamaya ihtiyaç duyulmadığı belirtilmiştir. Ayrıca CWCT (2018) raporunda, özellikle cephe boşluklarının çevresinde, pencerelerin etrafında ve döşeme-duvar bileşenlerinin üzerinde en fazla 20 metrede bir yangın kompartımanı kullanılmasının gerektiği vurgulanmaktadır.

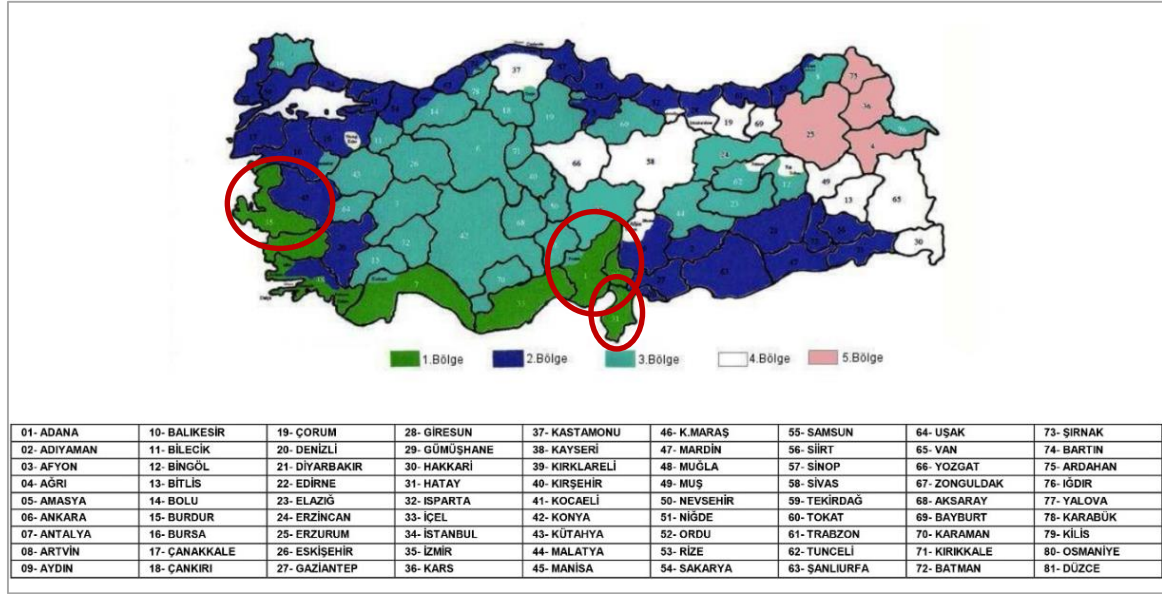
4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, tez çalışmasının materyal ve yöntem kısmı ayrıntılı bir şekilde açıklanmaktadır. İlk olarak, analiz yapılacak illerin nasıl belirlendiği ve bu süreçte hangi kaynaklardan faydalandığı incelenmiştir. Ardından, yürütülen simülasyon yöntemi ele alınmış ve analizlerde kullanılan Ansys Fluent programının rolü açıklanmıştır. Bu bağlamda, modelin oluşturulması ve mesh yapısının tanımlanması adımları gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizleri için gerekli ayarlar hakkında bilgi verilmiş; matematiksel modelin oluşturulması, malzeme özelliklerinin tanımlanması ve sınır koşullarının belirlenmesi gibi temel süreçler yürütülmüştür. Son olarak, önerilen havalandırmalı cephe kaplama sistemlerinin optimum boşluk boyutlarının elde edilme sürecini ayrıntılı bir şekilde açıklayan bir akış şeması sunulmuştur.

4.1. Analiz Yapılacak olan İllerin belirlenmesi

İklim verileri, binaların enerji gereksinim hesaplamasını etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Türkiye il ve bazı ilçeleri, bulundukları coğrafi konumun iklim şartlarına göre, TS 825 (2013) kapsamında beş farklı derece-gün bölgesine ayrılmıştır. Çalışma kapsamında Türkiye'nin sıcak nemli iklim bölgesinde yer almakla birlikte, paralel U değerine (Çizelge 4.2) sahip olmaları için birinci derece gün bölgesinde bulunan şehirler incelenmiştir (Şekil 4.1 ve Çizelge 4.1).

Elde edilen iklim verileri sonucunda birbirinden farklı rüzgar hızı, sıcaklık ve güneş ışıınımı gibi faktörler dikkate alınarak İzmir, Adana ve Hatay illeri çalışma kapsamında analiz yapılacak iller olarak belirlenmiştir. Bölgede farklı güneş ışıınımlarına ve rüzgar hızlarına sahip olan illerin seçilmesindeki amaç, literatür taraması sonucu, özellikle bu iki parametrenin duvar sistemindeki soğutma yüküne sağladığı belirleyici etkiden kaynaklanmaktadır (Marinosci et al., 2011; Sanjuan et al., 2011; López et al., 2012; Labat et al., 2012).



Şekil 4.1. Derece gün bölgelerine göre Türkiye'nin illeri (TS 825-Ek E, 2013)

Çizelge 4.1. Birinci derece gün illeri (TS 825-Ek D, 2013)

1.Bölge Derece Gün İlleri			
Adana	Hatay	Mersin	
Antalya	İzmir		
İli 2. Bölge Olupda Kendisi. Bölgede Olan Belediyeler			
Bodrum (Muğla)	Dalaman (Muğla)	Fethiye (Muğla)	Marmaris (Muğla)
Gökova (Muğla)	Datça (Muğla)	Köyceğiz(Muğla)	

Çizelge 4.2. Bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri (TS 825-Ek A, 2013)

	U_D (W/m ² K)	U_T (W/m ² K)	U_i (W/m ² K)	U_p^* (W/m ² K)
1. Bölge	0,66	0,43	0,66	1,8
2. Bölge	0,57	0,38	0,57	1,8
3. Bölge	0,48	0,28	0,43	1,8
4. Bölge	0,38	0,23	0,38	1,8
5. Bölge	0,36	0,21	0,36	1,8

İzmir

İzmir, 37° 45' ve 39° 15' kuzey enlemleri ile 26° 15' ve 28° 20' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Akdeniz ikliminin etkisi altında olan şehirde yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise ılık ve yağışlıdır. Dağların denize dik uzanması ve ovaların İç Batı Anadolu'ya kadar ilerlemesi, denizel etkilerin iç kesimlere yayılmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte, yükseklik,

kıydan uzaklık gibi coğrafi faktörler, il genelinde yağış, sıcaklık ve güneş ışıınımı açısından iklimsel farklılıklara yol açmaktadır. En sıcak dönem temmuz-ağustos, en soğuk dönem ise ocak-şubat aylarıdır; kar yağışı ise çok nadir görülür. Yaz aylarında “imbat” adı verilen ve kara ile denizin sıcaklık farkından kaynaklanan yerel rüzgâr, serinlik sağlamaktadır. İzmir’de hâkim rüzgâr yönü Güney-Güneydoğu, mevsimsel değişikliklere bağlı olarak ise Batı-Kuzeybatıdır (Url-5).

Adana

Adana, 35°-38° kuzey enlemleri ve 34°-36° doğu boylamları arasında, Seyhan Nehri'nin iki yakasında yer alır ve Akdeniz iklimi etkisindedir. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlıdır. Yağışlar genellikle yamaç etkisi ve gezici hava kütlelerinin karşılaşmasıyla meydana gelir. Yaz aylarında Çukurova, alçak basınç merkezi haline gelir ve deniz ile Toroslar’dan gelen hava akımları, barajlar ve sulama faaliyetlerinin etkisiyle nem oranını artırır. Ortalama nispi nem %66’dır, ancak yaz aylarında %90’ın üzerine çıkabilir. Şehirde hâkim rüzgâr yönü Kuzey-Kuzeydoğu arasında değişir ve yaz aylarında yoğun nem birikimi nedeniyle sıcak ve nemli bir hava görülür (Url-6).

Hatay

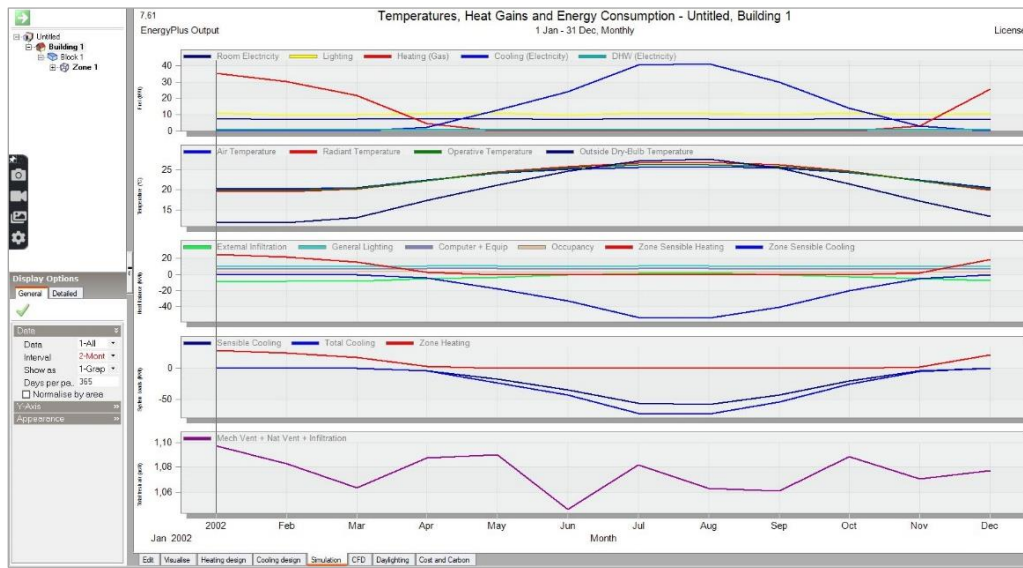
Hatay, Akdeniz’in doğu kıyısında, 35° 52' - 37° 4' kuzey enlemleri ile 35° 40' - 36° 35' doğu boylamları arasında yer almaktadır. İl genelinde Akdeniz iklimi etkili olmakla birlikte, yükselti ve karasallığın etkisiyle yerel iklim farklılıkları görülmektedir. Türkiye'nin yağışlı bölgelerinden biri olan Hatay’da kışlar ılık ve yağışlı, yazlar ise sıcak ve kurak geçmektedir. Şehirde hâkim rüzgâr yönü güneybatıdır (Url-7).

İklim verilerinin elde edilmesi

Dinamik bina performans yazılımları, yere özel meteorolojik verilere dayanan ve uzun yılların ortalamalarına göre hazırlanmış çeşitli iklim veri formatlarını kullanmaktadır. Her yazılım genellikle kendi formatını oluşturmaktadır. ABD Enerji Bakanlığı tarafından geliştirilen enerji modelleme yazılımı olan EnergyPlus tarafından kullanılan EnergyPlus Weather (EPW) ve Tipik Meteoroloji Yılı (TMYx) uzantılı hazır iklim verisi mevcuttur. Çalışmada yere özel iklim verisinin elde edilmesinde TMYx uzantılı iklim veri seti

kullanılmıştır. TMYx dosyaları, TMY/ISO 15927-4: 2005 metodolojileri kullanılarak 2018'e kadar saatlik verilerle ISD'den (US NOAA's Integrated Surface Database) türetilen tipik ölçüm dosyalarıdır (Url-8). Seçilen illerin iklim grafikleri oluşturulurken, “epw” formatında elde edilen, TMYx (tipik meteorolojik yıl) 2004-2018 yıllarına ait iklim veri seti, “Climate Consultant 6.0” programı kullanılmıştır. Climate Consultant programı konfor hesaplamalarını yaparken “ASHRAE-55” standardı verileri seçilerek çizelgeleri oluşturmaktadır.

Şekil 4.2’de Adananın iklim verileri üzerinden, soğutma enerji tüketim oranının yüksek olduğu aylar incelenmiştir. Bu oran Mart ayından itibaren yükselmeye başlamakta olup Temmuz ve Ağustos aylarında en üst noktalara ulaşmakta ve sonrasında tekrar azalma eğilimine geçerek Kasım ayına kadar devam edip sıfırlanmaktadır.



Şekil 4.2. Sıcak nemli iklime referans olarak alınan Adana ili yıllık enerji tüketim dağılımı (yazar tarafından üretilmiştir)

Çizelge 4.3’te verilen Adana, İzmir ve Hatay illerine ait iklim verilerinden Temmuz ayı için “Ortalama en yüksek güneş ışıınımı, ortalama en yüksek sıcaklık ve ortalama rüzgar hızı” değerleri alınmıştır. Bu değerlere, binanın cephelerine düşen güneş ışıınımı oranları incelenerek karar verilmiş olup en yüksek değere sahip olan batı cephesinin performansı üzerinden analizler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.3. Seçilen illerin yaz dönemi günlük sıcaklık, ısıtım ve rüzgâr hız verileri (Url-8;9;10)

	Temmuz
Adana	
Aylık ortalama en yüksek güneş ısıtım (dikey yüzeye gelen) (W/m ²)	495,80
Aylık ortalama en yüksek sıcaklıklar (°C)	34
Aylık ortalama rüzgar hızı (m/s)	2.8
İzmir	
Aylık ortalama en yüksek güneş ısıtım (dikey yüzeye gelen) (W/m ²)	504,89
Aylık ortalama en yüksek sıcaklıklar (°C)	35
Aylık ortalama rüzgar hızı (m/s)	3.6
Hatay	
Aylık ortalama en yüksek güneş ısıtım (dikey yüzeye gelen) (W/m ²)	490,49
Aylık ortalama en yüksek sıcaklıklar (°C)	31
Aylık ortalama rüzgar hızı (m/s)	3.1

4.2. Simülasyon Yöntemi

Bu bölümde, havalandırılmalı cephe kaplama sisteminin bölge iklimine uygun tasarım parametrelerinin optimize edilmesi amaçlanmakta olup analizlerden elde edilen veri seti çizelgeleri, sıcaklık ve rüzgar akış grafikleri üzerinden sistemin ısı performansları değerlendirilmiştir. Havalandırılmalı duvar sisteminde, doğal taşınım ve iletken ısı transferi programlar aracılığıyla değerlendirilebilmektedir. Çalışmada karmaşık hava akışını ve ısı transferi ile ilgili problemleri çözme gücü nedeniyle hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yöntemi seçilmiştir. Havalandırılmalı Cephe sistemleri üzerinde yapılan literatür taramalarında, bilimsel çalışmalarda en çok tercih edilen yazılımlar arasında, sıklıkla CFD analizlerini gerçekleştirmek için ANSYS Fluent yazılımı kullanılmaktadır (Patania, vd., 2010; Suarez, vd., 2011; Sanjuan, vd., 2011; Marinosci, vd., 2014; Gagliano, vd., 2016). Bunun yanı sıra, CFD yazılımının Star CCM modülü (Labat, vd., 2012), TRNSYS yazılımının TRNFlow modülü (Aparicio-Fernandez, vd., 2014), COMSOL (Guillen, vd., 2014) ve ESPr (Marinosci, vd., 2011) da tercih edilen diğer programlar arasında bulunmaktadır.

Bu yazılımlar arasında, CFD'nin ANSYS Fluent modülü, en gerçekçi sonuçları verdiği için yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan karşılaştırmalar, benzer sorunları çözmek için kullanılan deneysel ve CFD sonuçlarının, ortalama hata oranının %10'dan az olduğunu göstermektedir. Özellikle, simülasyon modeline zemin ısıtım ile ısı transferi dahil edildiğinde bu hata oranı daha da azalmaktadır (Giancola, vd., 2012; Gagliano, vd., 2016).

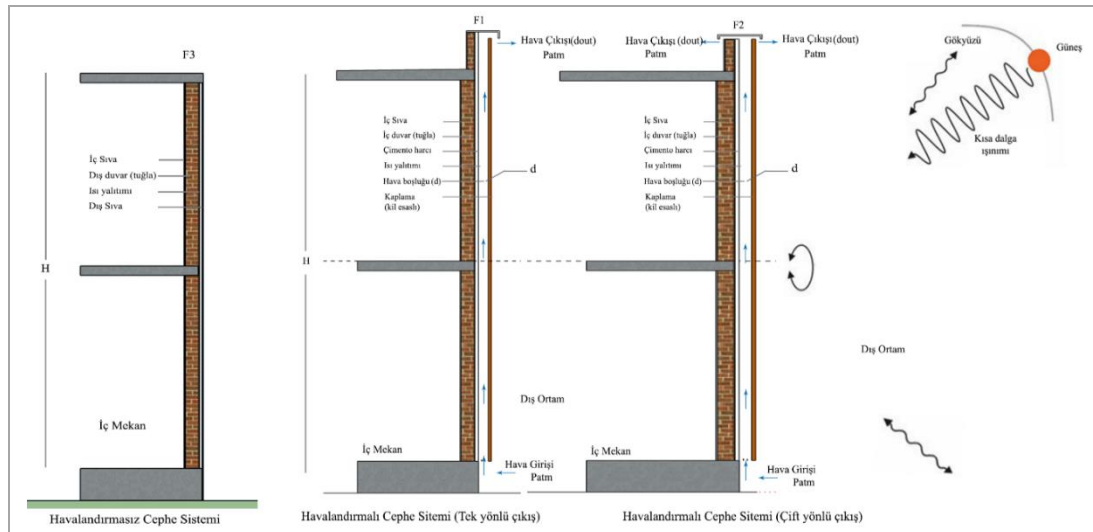
Bu nedenle, karmaşık hava akışı ve ısı transferi problemlerini çözme gücü nedeniyle, Havalandırılmalı cephe sisteminin performansının incelenmesinde CFD analizlerini gerçekleştirmek için ANSYS Fluent yazılımı tercih edilmiş, sürüm: 2019-R3 kullanılmıştır.

4.2.1. Önerilen cephe sisteminin modellenmesi:

Bir termo-akışkan dinamiği probleminin sayısal çözümünün ilk kritik adımı, gerçek problemi tanımlayabilen uygun bir fiziksel modelin tanımlanmasıdır. En iyi seçim, aşırı derecede karmaşık olmayan fiziksel bir model kullanmaktır. Bu nedenle örnek analiz çalışmasında, model aracılığıyla yatay olarak ısı transferi ve boşluk boyunca dikey olarak hava hızıyla birlikte, sistemin seçilen bölgelerde çalışma şeklini anlamak amaçlanmış olup cephe sisteminin en kesitini veren 2 boyutlu bir analiz gerçekleştirilmiştir.

Yapının yüksekliği "H", katmanlar arasındaki hava boşluğu mesafesi "d" ve hava kanalını dış ortama bağlayan menfezlerin yüksekliği " d_{out} " olarak adlandırılmıştır. Standart yalıtımlı duvar ve önerilen cephe sisteminin alternatif modelleri Şekil 4.3'te yer almaktadır:

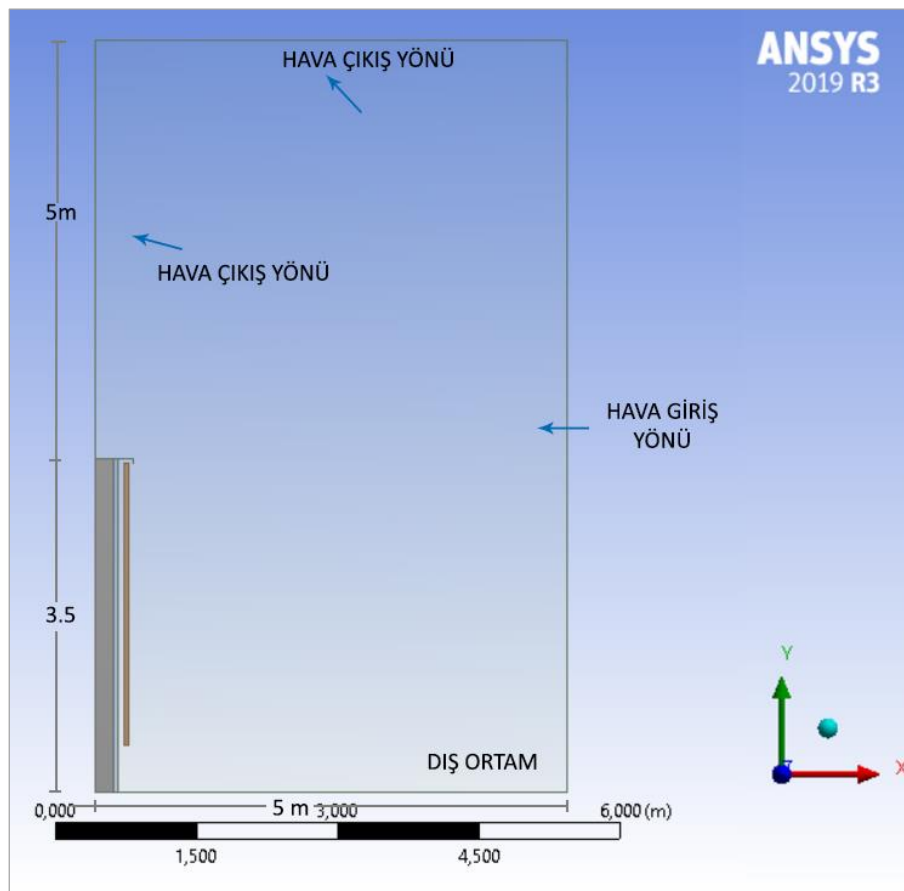
- F1: Havalandırılmalı kil esaslı cephe kaplama sistemini göstermektedir.
- F2: Çift çıkışlı menfeze sahip havalandırılmalı kil esaslı cephe kaplama sistemini,
- F3: Yaygın olarak kullanılan, standart yalıtımlı havalandırmasız tuğla duvar sistemini göstermektedir.



Şekil 4.3. Çalışma kapsamında ele alınacak olan duvar sistemlerinin en kesitleri (yazar tarafından üretilmiştir)

Çalışmada ele alınan havalandırmalı duvar modeli, hava akışını yönlendiren bir boşluk oluşturan iki katmandan meydana gelen iki boyutlu bir sistem olarak tanımlanmıştır. Bu katmanlardan biri iç tarafta yer alan tuğla duvar, diğeri ise dış cephe kaplama katmanıdır. Sistem, XY koordinat düzleminde şematize edilerek görselleştirilmiştir (Şekil 4.4). Kartezyen referans sistemi, havalandırma kanalının başlangıcını orijin olarak alacak şekilde tanımlanmış ve Y eksenini hava akış yönüne paralel olacak şekilde ANSYS Design Modeler ortamında modellenmiştir.

Sorunu tanımlayan denklem setinin sayısal çözümü için, havalandırılmalı cephe ve önündeki hava akışını simüle etmek amacıyla yakın çevreyi kapsayan bir alan, iki boyutlu olarak modellenmiştir. Şekil 4.4'te görüldüğü üzere, sıfır olmayan hava hızı durumlarında havalandırılmalı cepheyi içeren bina cephesi sol alt köşede yer almakta olup, alanın sağ kenarı hava giriş sınırı olarak belirlenmiştir.



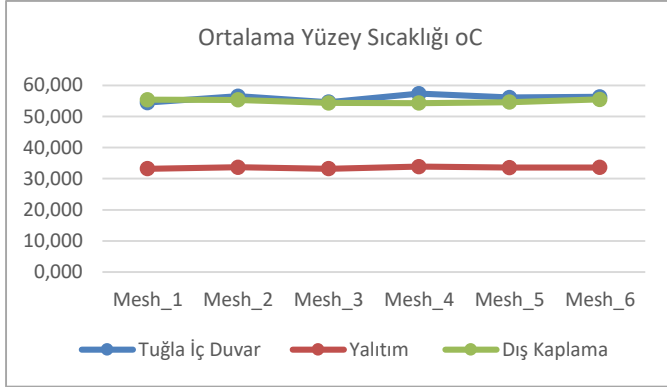
Şekil 4.4. Cephe model alanının ANSYS Design Modeler ortamında oluşturulması (yazar tarafından üretilmiştir)

Geometri oluşturulduktan sonra yüzeyler ve hacimler isimlendirilerek mesh (ağ) yapısının oluşturulması adımına geçilmiştir.

4.2.2. Cephe modelinin mesh yapısının tanımlanması:

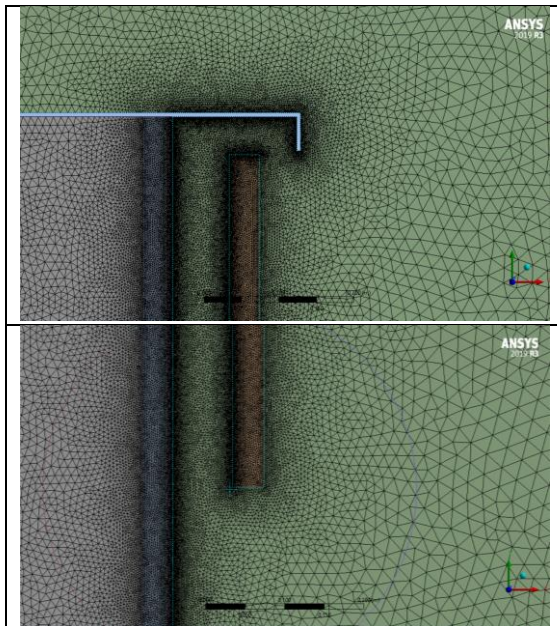
Mesh (ağ) yapısı, karmaşık geometrilerin çözüm alanını daha küçük ve yönetilebilir hücrelere ayırarak, sayısal analizlerin temelini oluşturur; bu sayede, fiziksel süreçler ve denklemler her bir hücrede çözülerek tüm sistemin davranışı detaylı bir şekilde simüle edilebilmektedir. Bu nedenle yüksek kaliteli bir ağ oluşturmak, ANSYS Fluent ile gerçekleştirilen hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) simülasyonlarında kritik bir rol oynamaktadır. İyi yapılandırılmış bir ağ, hesaplama hatalarını azaltarak sayısal kararlılığı artırır ve sonuca yakınsama oranlarını iyileştirir; dolayısıyla simülasyon sonuçlarının doğruluğu ve verimliliği üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir (Sosnowski vd., 2019; Sosnowski vd., 2018). Düşük kaliteli bir ağ, hesaplama hatalarını artırarak yanlış sonuçlara yol açabilir ve hesaplama maliyetlerini yükseltebilir (Sosnowski vd., 2018). ANSYS Fluent'te yüksek kaliteli bir ağ oluşturulurken dikkate alınması gereken başlıca faktörler arasında: ağ elemanı tipi (element type), en-boy oranı (aspect ratio), çarpıklık (skewness) ve ağın genel yoğunluğu gibi kriterler yer almaktadır (Shahi vd., 2013).

Çalışma kapsamında ele alınan sayısal ağ kurgusuna başlarken öncelikle akışkan özellikleri değişimlerinin hem momentum hem ısı olarak göreceli bir şekilde nerelerde en yüksek veya düşük olacağı ve nasıl sıralanabileceği ile ilgili öngörülerde bulunulmuştur. Buna göre en küçük elemanlar bina duvarı ile cephe kaplamanın iç yüzeyleri arasında yani cephenin havalandırma kanalı sınırlarında kullanılmış olup daha sonra cephe kaplamanın, parapet duvarının ve harpuştanın dış yüzeyleri ve çözümün hacminin geri kalan yüzeylerinde git gide büyütürken fiziksel değişimleri karşılayacak bir sayısal ağ sistemi kurgulanmıştır. Tanımlanan bu sayısal ağ sistemi sağlayacak şekilde 6 farklı eleman mutlak boyutuna sahip sayısal ağ oluşturulmuş ve bunların belirli bir veri seti ile karşılaştırılması yapılmıştır. Bu kapsamda ele altı adet seçenek üzerinden analizler gerçekleştirilmiştir. Şekil 4 .5 analizler sonucu elde edilen sıcaklık verilerini göstermektedir). Bu çalışma aynı zamanda sayısal ağ bağımlılığını da ortaya koyan bir çalışma olup en iyi mesh yapısında % 0,4 ve altı değişkenlik beklediğimiz taktirde Şekil 4.5'te verilen 5 numaralı sayısal ağın kullanılması uygun görülmüştür. Bu ağ yapısında en küçük eleman 0,001 m ve en büyük eleman 0,02 m dir.



Şekil 4.5. Çeşitli ağ boyutları ile tahmin edilen cephe katman sıcaklıkları

Sayısal ağın çözümünde kullanılan method üçgen elemanlar (Şekil 4.6). Akışın yere paralel geldikten sonra cephe duvarına çarpıp dağılmakta ve daha sonra kanal içerisine girdikten belli bir süre sonra tekrar duvar yüzeylerine paralel hareket etmeye başlamakta olup kanal çıkışında tekrar dağılmaktadır. Dörtgen ağ yapısı akışın duvara paralel hareket ettiği çözümlerde tercih edilmektedir. Aynı zamanda programın işlem zamanı açısından daha verimli olabilse de çalışılan geometride boyut verme kabiliyetini sınırladığından dolayı çalışmadaki modele uygun değildir. Nihayeten üçgen elemanlardaki temel tanım olan skewness üzerinden sayısal ağ kalitesini kontrol ettikten sonra ve sayısal ağ boyutlarını da sayısal ağ bağımsızlığı ve Yplus aralığı üzerinden kontrol ettikten sonra üçgen ağ yapısı kullanılmasının uygun olacağına karar verilmiştir.



Şekil 4.6. Cephe modelinin ağ yapısı (yazar tarafından üretilmiştir)

4.2.3. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analiz ayarları

Bu bölümde, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği analiz ayarları için gerekli matematiksel model tanımlamalarına, malzemelerin termofiziksel özelliklerinin belirlenmesine ve sınır koşullarının açıklanmasına yer verilmiştir.

Matematiksel model tanımlanması

Enerji Modeli: Isı transferi çözümü gerçekleştirildiği için enerji modeli açılmıştır.

Hava Kanalı Türbülans Modelinin Belirlenmesi: Akışkanlar dinamiğinde akış formu birçok fiziği etkilemektedir. Bu sebeple öncelikle hava kanalındaki akışın “Laminer” mi yoksa “Türbülans” mı olduğu belirlenmelidir. Akış formunun saptanmasında Reynolds sayısı kullanılır (eşitlik 3). İç akışta $Re < 2300$ ise akış Laminer, $Re > 2300$ ise akış türbülanslıdır.

$$Re = \frac{VD}{\nu} \text{ formülünde;} \quad (4.3)$$

V: Akışkan hızı (m/s), Adana için 2.8 m/s, İzmir 3.6 m/s, Hatay için 3,1 m/s

D: Boru çapı (Havalandırma boşluk genişliği 0,025 m’den başlamaktadır)

ν : Kinematik viskozite (Hava için yaklaşık $1,78 \times 10^{-5}$ kg/m.s)

Re sayıları 0,025 m’lik en dar boşluk genişliğinde ve en düşük rüzgar hızı olan 2.8 m/s’de 3933 çıkmakta olup tüm durumlarda “Türbülanslı”dır.

Isı transferinin söz konusu olduğu durumlarda, akışkanın duvarlara yakın bölgelerindeki sınır tabaka kalınlığı ve bu bölgedeki çözüm hassasiyeti, doğru sonuçlar elde etmek açısından kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, hem duvar yakınındaki davranışın izlenebilmesi hem de hesaplama yükünün optimize edilebilmesi amacıyla “k-epsilon türbülans modeli” tercih edilmiştir. Isı transferi sürecini izlemek için gerekli seçenekler etkinleştirilmiş ve sınır tabakanın duvara yakın kesitlerinde hızda meydana gelen ani değişimler dikkate alınmıştır (ANSYS, 2009). Havalandırma cephe sisteminde, hava boşluğu yüzeyleri ve dış sınırların yüzeylerinde çözüm hassasiyetini artırmak için sık bir mesh yapısı uygulanmış ve yüksek doğruluk sağlamak amacıyla “Enhanced Wall Treatment” yöntemi seçilmiştir.

Malzeme tanımlanması

Cephe sistemini oluşturan ve analizlerde kullanılan katmanların ölçüleri ve termofiziksel özellikleri Çizelge 4.4'te yer almaktadır.

Çizelge 4.4. Duvar sisteminde kullanılacak olan malzemelerin ölçüleri ve termofiziksel özellikleri (TS 825-Ek E, 2013)

F1 ve F2:				
Katmanlar	d [m]	Heat capacity Cp(J/(kg K))	Yoğunluk ρ [kg/m ³]	λ [W/m K]
Alçı sıva (kireçli)	0,020	1000	1400	0,70
İç duvar yatay delikli tuğla	0,190	840	860	0,23
Sıva harcı	0,015	1000	2000	1,60
Isı yalıtımı (Taş yünü)	0,040	1030	100	0,038
Hava Boşluğu	0,150	-	Sıkıştırılamaz ideal gaz	-
Kil Esaslı Kaplama Malz.	0,040	814	792	0.05
F3				
Katmanlar	d [m]	Heat capacity Cp(J/(kg K))	Yoğunluk ρ [kg/m ³]	λ [W/m K]
Alçı sıva (kireçli)	0,020	1000	1400	0,70
İç duvar yatay delikli tuğla	0,190	840	860	0,23
Isı yalıtımı (Taş yünü)	0,040	1030	100	0,038
Sıva harcı	0,030	1000	2000	1,60
*Emisivite, $\varepsilon = 0.9$ is usually appropriate for internal and external surfaces (EN ISO 6946:2017).				

Sınır koşullarının tanımlanması

Analizlerde, iklim verileri Çizelge 4.4'te verilen sıcaklık, rüzgar hızı ve güneş ışıınımı yoğunluğunun aylık ortalama değerleri sabitlenerek havalandırılmalı cephe modeline uygulanmıştır.

Rüzgâr ve güneş ışıınımı verileri girilirken cepheye dik geldiği varsayılarak modellenmiştir.

İki boyutlu hesaplama alanı için dikkate alınan diğer fiziksel parametreler aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır: Cephe kaplamasının dış yüzeyine ulaşan güneş ışıınımı, kaplamanın iç ısı kaynağı olarak modellenmiş ve bu parametre soğurulan ışıınım değeri olarak hesaplamalarda

sonuçlarından elde edilen değerler yer almaktadır. Aşağıda, çizelgede sunulan unsurlar özetlenmektedir:

İklimsel değişkenler

Bu başlık altında; dış ortam sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), güneş ışıınımı (W/m^2), ısı kaynağı olarak tanımlanan kaplamanın ısı değeri (W/m^3), rüzgar hızı (m/s) bilgileri verilmektedir.

Cephe sisteminin özellikleri

Bu başlık altında; cephe kaplama malzemesi, havalandırma boşluk yüksekliği (H), havalandırma boşluğunun derinliği (d), havalandırma çıkış yönü, havalandırma çıkış yüksekliği (d_{out}) bilgileri verilmektedir.

Analiz sonuçları

Bu başlık altında; iç mekâna aktarılan toplam ısı transfer oranı, ortalama hacimsel sıcaklık (yalıtım ve iç duvar katmanlarına ait), yüzeyi sıcaklığının en küçük, en yüksek ve ağırlıklı ortalaması (cephe kaplama, yalıtım, iç duvar katmanlarına ait), cephedeki havalandırma boşluğu içerisindeki rüzgâr hızı, yüzey ısı transfer katsayısı (iç duvar katmanına ait) bilgiler verilmekte olup bu parametreler ile oluşturulan veri seti üzerinden sonuçlar değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.5. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi amacıyla hazırlanan çizelgeye ait içerik bilgisi

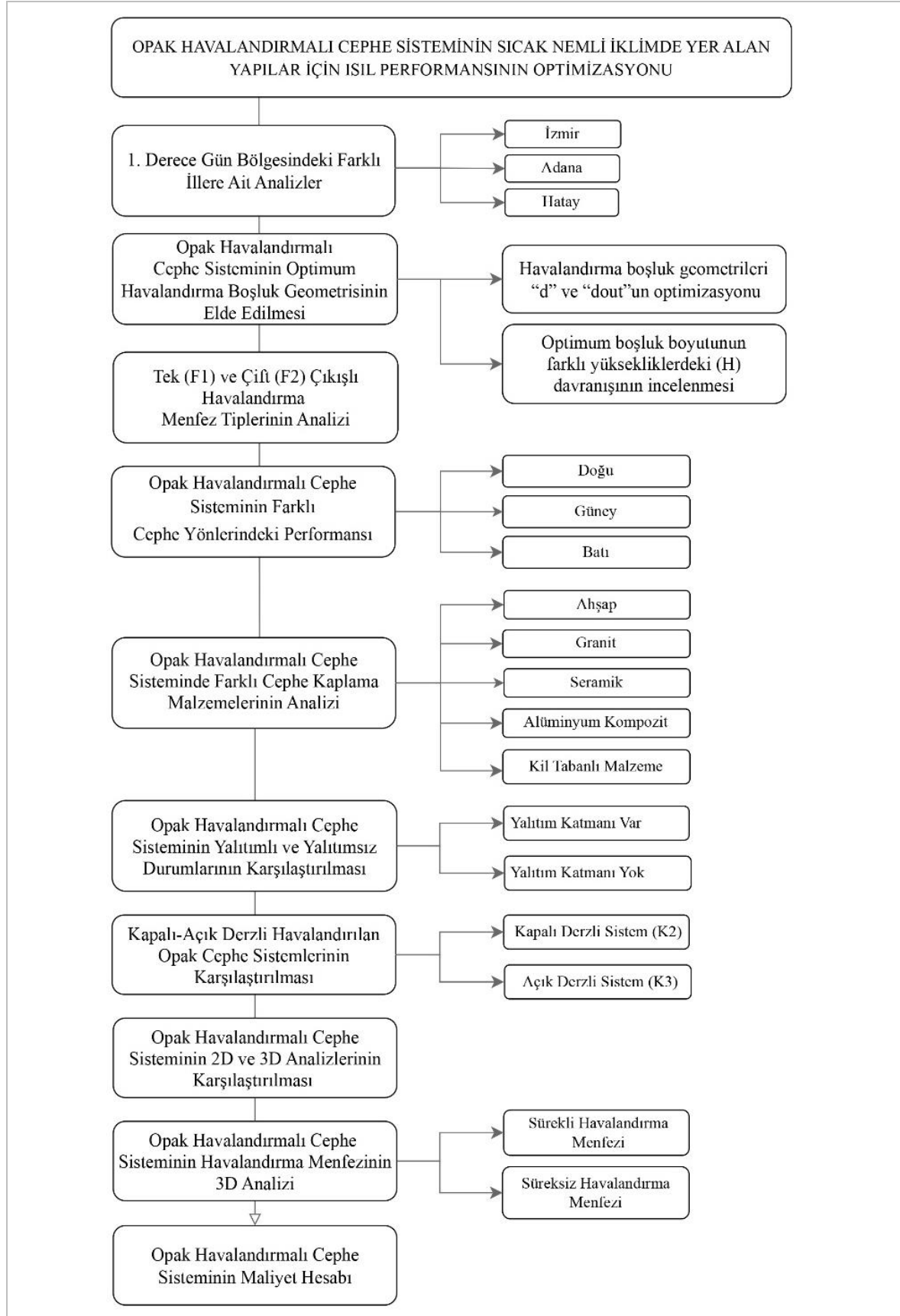
İKLİM PARAMETRELERİ					CEPHE SİSTEMİNİN SABİT ÖZELLİKLERİ				
İl	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Güneş Işınımı (w/m ²)	Isı Kaynağı (w/m ³)	Rüzgar Hızı (m/s)	Cephe Kaplama Malzemesi	Havalandırma Boşluk Yüksekliği (H)	Havalandırma Çıkış Menfezi	Havalandırma Boşluk Genişliği (d)	Havalandırma Çıkış Menfezi (dout)
CEPHE SİS. DEĞİŞEN ÖZELLİĞİ		ANALİZ SONUÇLARI							
		Toplam Isı Transfer	Ortalama Hacimsel Sıcaklık (°C)		Yüzey Sıcaklığı (°C)			Hız (m/s)	Yüzey Isı Transfer
					Min+max		Ağırlıklı Ortalama		
	İç Duvar	Yalıtım	İç Duvar	Yalıtım İç Duvar Sınır Değeri	İç Duvar	Yalıtım İç Duvar Sınır Değeri	Cephe Kaplama	Havalandırma Boşluğu	Yalıtım+İç Duvar Sınır Değeri

Analiz sonuçlarını değerlendirilirken temel amaç, dış ortamdan iç mekâna aktarılan ısı miktarını en aza indirecek konfigürasyonu tercih etmektir. Bu doğrultuda, tasarım parametrelerini optimize etmek amacıyla performans noktaları değerlendirilirken, veri seti

içinde belirleyici rol oynayan temel çıktı parametresi "toplam ısı transfer oranı (W)" olarak belirlenmiştir. Bu parametre, cephe sisteminin ısı performansını doğrudan etkileyen en önemli unsurdur ve hedef, bu ısı transferini minimum seviyeye indirerek enerji verimliliğini artırmaktır. Bu nedenle yapılan karşılaştırmalar özellikle ısı transferi olmak üzere, sıcaklık ve hava boşluğu içindeki hız değerleri üzerinden gerçekleştirilmiştir.

4.3. Alan Çalışması Akış Şeması

Bu bölümde, önerilen opak havalandırılmalı cephe sisteminin performansını değerlendirme ve optimize etme süreçlerini detaylandıran analiz adımları, Şekil 4.8'de verilen şema ile sistematik bir şekilde sunulmaktadır. Çalışmanın aşamaları, boşluk geometrilerinin tanımlanması, soğutma yükünün azaltılması, enerji verimliliğinin artırılması ve maliyet etkinliğinin sağlanması hedefleri doğrultusunda titizlikle planlanmış ve uygulanmıştır.



Şekil 4.8. Opak havalandırmalı cephenin analiz akış şeması.

5. ALAN ÇALIŞMASI

Bu bölümde, Türkiye'nin sıcak ve nemli iklim bölgesinde yer alan yapılar için opak havalandırılmalı cephe sisteminin uygunluğunu araştırmak ve bu sistemlerin soğutma yükünü azaltma performansını nicel olarak değerlendirmek amacıyla geliştirilen alt problemlere ve analiz süreçlerine yer verilmiştir. Şekil 4.8'de verilen analiz sürecine ait akış şeması, analiz adımlarını sistematik bir şekilde ortaya koyarak, cephe sisteminin performansını incelemek ve optimize etmek için izlenen yöntemleri açıklamaktadır. Çalışmanın aşamaları, boşluk geometrilerinin belirlenmesi, sistemin soğutma yükünün azaltılması, enerji verimliliğinin artırılması ve maliyet etkinliğinin sağlanması hedeflerine yönelik olarak özenle yürütülmüştür.

5.1. Birinci Derece Gün Bölgesindeki Farklı İllere Ait Analizler

Bu bölümde, birinci derece gün bölgesinde yer alan farklı illere ait sıcaklık, güneş ışınlamı ve rüzgar hızı gibi iklimsel değişkenlerin cephe üzerindeki etkileri incelenmiştir. Analizler için Adana, İzmir ve Hatay illerine ait iklimsel veriler kullanılmıştır (Bknz. Çizelge 4.3). Analizlerde, Çizelge 5.1'de verilen cephe özellikleri; kaplama malzemesi kil esaslı, kat yüksekliği 3m, tek çıkışlı hava menfezi ve menfez ölçüsü $d_{out}=0.05m$ sabit tutulmuştur. Bu analizlerde iklim verileri ve hava boşluğunun kalınlığı (d) değiştirilmiş ve sonuçlar ısı transferi ve sıcaklık grafikleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Analiz edilen cephenin özellikleri ve sınır koşulları bölüm 4.2'de detaylı olarak anlatılmıştır.

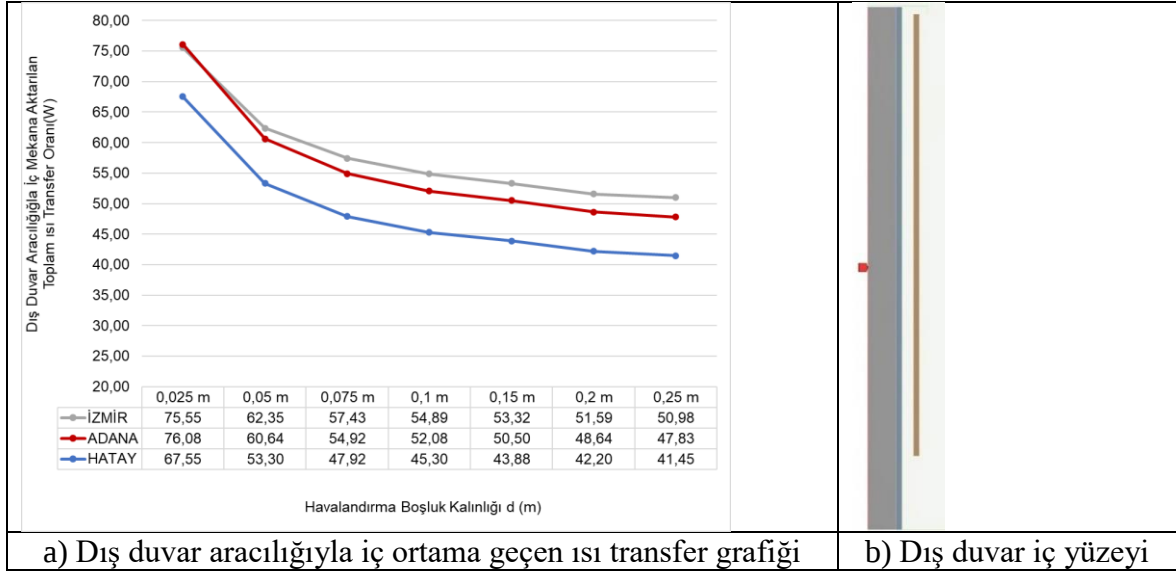
Çizelge 5.1. Birinci derece gün bölgesinde yer alan Adana, İzmir ve Hatay illerinin Analizi

İKLİM PARAMETRELERİ					CEPHE SİSTEMİNİN SABİT ÖZELLİKLERİ				
İl	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Güneş Işınımı (w/m ²)	Isı Kaynağı (w/m ³)	Rüzgar Hızı (m/s)	Cephe Kaplama Malzemesi	Havalandırma Boşluk Yüksekliği (H)	Havalandırma Çıkış Menfezi	Havalandırma Boşluk Genişliği (d)	Havalandırma Çıkış Menfezi (dout)
ADANA	34	495,8	12395,00	2,8	Kil Tabanlı	3m	Tek Çıkış F1	0,025-0,15m	0,05 m
CEPHE SİS. DEĞİŞEN ÖZELLİĞİ	ANALİZ SONUÇLARI								
	Toplam Isı Transfer	Ortalama Hacimsel Sıcaklık (°C)		Yüzey Sıcaklığı (°C)				Hız (m/s)	Yüzey Isı Transfer
				Min+max		Ağırlıklı Ortalama		Min + Max	
				Yalıtım İç Duvar Sınır Değeri	İç Duvar	Yalıtım İç Duvar Sınır Değeri	Cephe Kaplama	Havalandırma Boşluğu	Yalıtım+İç Duvar Sınır Değeri
	Havalandırma Boşluk Genişliği (d)	İç Duvar	Yalıtım	İç Duvar					
0,025	82,57	37,180	26,26	26,22+36,29	20,84+22,29	31,1	73,28	0+1,92	0,59
0,05	62,44	32,99	24,73	26,23+30,71	20,83+21,50	28,4	73,93	0,1+93	1,69
0,075	56,98	31,85	24,32	26,16+29,12	20,82+21,28	27,6	77,35	0+1,95	1,28
0,1	54,86	31,42	24,16	26,14+28,51	20,82+21,19	27,3	79,09	0+1,95	1,17
0,15	52,79	30,98	24,00	26,13+28,17	20,83+21,14	27,1	79,59	0+1,97	1,08

Çizelge 5.1. (devam) Birinci derece gün bölgesinde yer alan Adana, İzmir ve Hatay illerinin Analizi

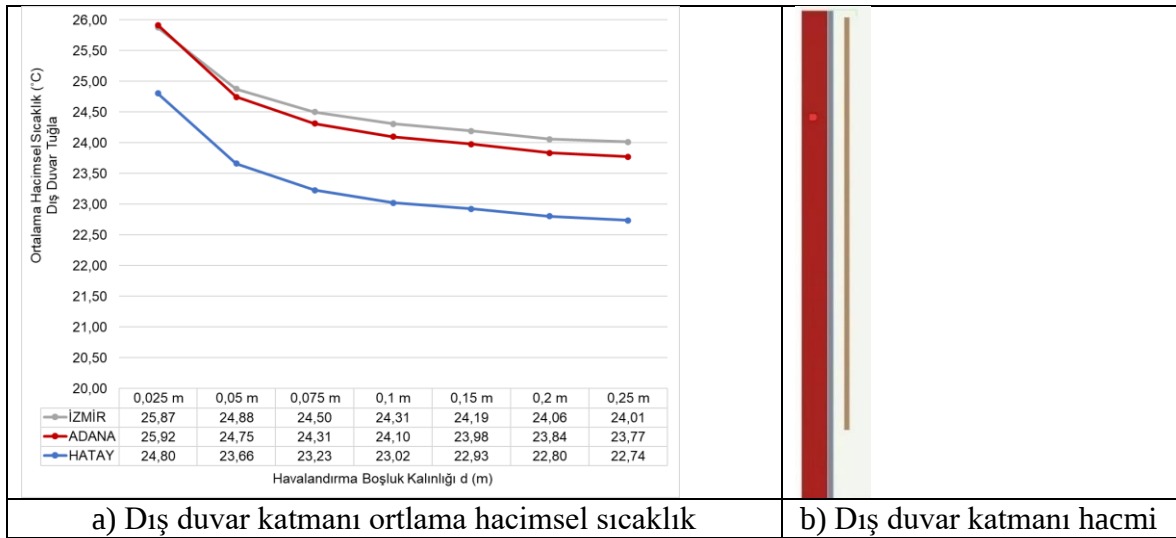
İKLİM PARAMETRELERİ					CEPHE SİSTEMİNİN SABİT ÖZELLİKLERİ				
İl	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Güneş Işınımı (w/m²)	Isı Kaynağı (w/m³)	Rüzgar Hızı (m/s)	Cephe Kaplama Malzemesi	Havalandırma Boşluk Yüksekliği (H)	Havalandırma Çıkış Menfezi	Havalandırma Boşluk Genişliği (d)	Havalandırma Çıkış Menfezi (dout)
İZMİR	35	504,89	12600,00	3,6	Kil Tabanlı	3m	Tek Çıkış F1	0,025-0,15m	0,05 m
CEPHE SİS. DEĞİŞEN ÖZELLİĞİ	ANALİZ SONUÇLARI								
	Toplam Isı Transfer	Ortalama Hacimsel Sıcaklık (°C)		Yüzey Sıcaklığı (°C)				Hız (m/s)	Yüzey Isı
				Min+max		Ağırlıklı Ortalama		Min + Max	Transfer
Havalandırma Boşluk Genişliği (d)	İç Duvar	Yalıtım	İç Duvar	Yalıtım İç Duvar Sınır Değeri	İç Duvar	Yalıtım İç Duvar Sınır Değeri	Cephe Kaplama	Havalandırma Boşluğu	Yalıtım+İç Duvar Sınır Değeri
0,025	82,35	37,135	26,24			31,0	68,86	0+2,08	
0,05	64,39	33,40	24,88	26,82+30,62	20,90+21,5	28,6	69,13	0+2,44	1,79
0,075	59,48	32,38	24,51	26,79+29,03	20,90+21,27	28,0	72,94	0+2	1,40
0,1	57,48	31,96	24,36	26,81+28,31	20,90+21,17	27,7	75,69	0+2,49	1,29
0,15	55,28	31,50	24,19	26,75+27,71	20,90+21,08	27,4	77,21	0+2,52	1,18
İKLİM PARAMETRELERİ					CEPHE SİSTEMİNİN SABİT ÖZELLİKLERİ				
İl	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Güneş Işınımı (w/m²)	Isı Kaynağı (w/m³)	Rüzgar Hızı (m/s)	Cephe Kaplama Malzemesi	Havalandırma Boşluk Yüksekliği (H)	Havalandırma Çıkış Menfezi	Havalandırma Boşluk Genişliği (d)	Havalandırma Çıkış Menfezi (dout)
HATAY	32	490,49	12250,00	3,1	Kil Tabanlı	3m	Tek Çıkış F1	0,025-0,15m	0,05 m
CEPHE SİS. DEĞİŞEN ÖZELLİĞİ	ANALİZ SONUÇLARI								
	Toplam Isı Transfer	Ortalama Hacimsel Sıcaklık (°C)		Yüzey Sıcaklığı (°C)				Hız (m/s)	Yüzey Isı
				Min+max		Ağırlıklı Ortalama		Min + Max	Transfer
Havalandırma Boşluk Genişliği (d)	İç Duvar	Yalıtım	İç Duvar	Yalıtım İç Duvar Sınır Değeri	İç Duvar	Yalıtım İç Duvar Sınır Değeri	Cephe Kaplama	Havalandırma Boşluğu	Yalıtım+İç Duvar Sınır Değeri
0,025	73,99	37,135	25,61			35,4	100,82	0+2,13	
0,05	54,98	31,44	24,17	25,48+29,52	20,37+21,34	27,4	68,49	0+2,14	1,23
0,075	49,99	30,40	23,79	25,46+27,95	20,72+21,11	26,7	72,20	0+2,15	0,98
0,1	48,04	30,00	23,64	25,47+27,31	20,73+21,02	26,4	74,33	0+2,16	0,90
0,15	45,98	29,57	23,48	25,40+26,81	20,72+20,95	26,2	75,32	0+2,18	0,83

Şekil 5.1, Hatay, Adana ve İzmir illeri iklim verileri ile cephe sisteminin iç mekana aktarılan ısı transfer oranlarını göstermektedir. Bu oran boşluk derinliği attıkça yaklaşık 24-28 W oranında azalmaktadır. Örneğin, en yüksek ısı transferine sahip Adana ili iklim verilerine göre, ısı transferi başlangıçta yaklaşık 76,08 W iken, boşluk derinliği 0,25 m'ye çıktığında 47,83 W'a kadar düşmektedir dolayısıyla boşluk derinliği arttıkça iç mekana aktarılan ısı transfer oranı 28,25 W azalmıştır.



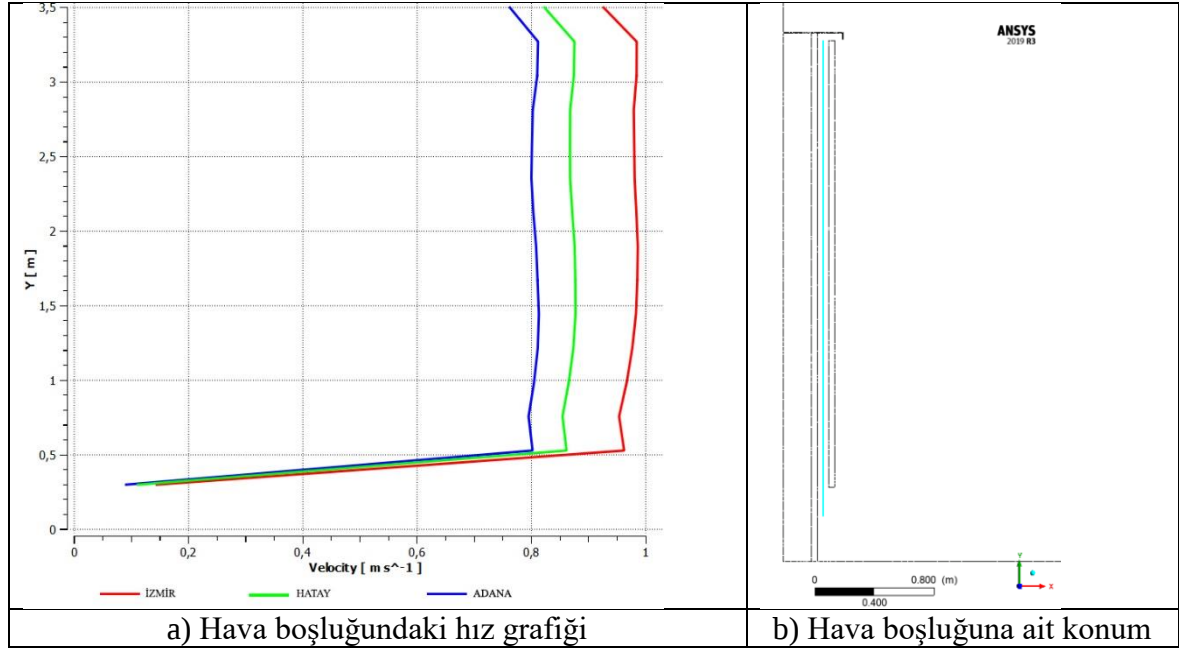
Şekil 5.1. Adana, İzmir ve Hatay illerine ait ısı transferi grafiği

Çizelge 5.1'deki iklimsel verilere göre, İzmir diğer illere göre daha yüksek güneş ışınlamı ($504,9 \text{ W/m}^2$), rüzgar hızı ($3,6 \text{ m/s}$) ve sıcaklık ($35 \text{ }^\circ\text{C}$) değerlerine sahiptir. Buna rağmen $11 \text{ }^\circ\text{C}$ fark ile en fazla soğumayı sağlamış olup dış ortam sıcaklığı $35 \text{ }^\circ\text{C}$ iken Şekil 5.2'de verildiği gibi cephe katmanlarından tuğla duvarın hacimsel sıcaklığını min. $24,01 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar düşürebilmektedir. İzmir'den sonra $10,23 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık farkıyla Adana ve $9,26 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık farkıyla Hatay yer almaktadır. Bu sıcaklık düşüşleri, cephe sisteminin etkili bir şekilde iç mekandaki ısı yükü azalttığını ve boşluk derinliğinin artırılmasının bu etkinliği daha da güçlendirdiğini göstermektedir.



Şekil 5.2. Adana, İzmir ve Hatay illeri için Sıcaklık grafiği

Şekil 5.3'te üç ile ait hava boşluğunun orta noktasından alınan referans ile hız grafikleri oluşturulmuştur. Grafiğe göre, İzmir'in 0.95-1 m/s hız oranı ile hava boşluğundaki hızı diğer illerden 0,1-0,15 m/s oranında daha yüksektir. Bu durum, havanın boşlukta kalma süresini azaltmakta ve boşlukta geçirilen süre ile orantılı olarak iç mekâna ısı geçişini de azaltmaktadır. Böylece, cephe katmanlarındaki soğuma etkisini artırmaktadır.



Şekil 5.3. Adana, İzmir ve Hatay İlleri için Hava boşluğundaki hız değişim grafiği

Güneş ışıınımı, sıcaklık ve rüzgar hızı gibi iklim verilerinin analiz sonuçları incelendiğinde, güneş ışıınımı ve rüzgar hızı değerlerindeki artışın, hava boşluğundaki akış hızını yükselterek sistemin soğutma potansiyelini artırdığı görülmüştür. Üç il arasında İzmir en yüksek güneş ışıınımı ve rüzgar hızı değerlerine sahiptir. Ancak, cephe katmanlarında 11 °C sıcaklık farkı ile en fazla soğumayı sağlamış olup dış ortam sıcaklığı 35 °C iken cephe katmanlarından tuğla duvarın hacimsel sıcaklığını min. 24,01 °C'ye kadar düşürebilmektedir. İzmir'den sonra 10.23 °C sıcaklık farkıyla Adana ve 9.26 °C sıcaklık farkıyla Hatay yer almaktadır. Ayrıca, cephenin hava boşluğunda meydana gelen akış hızları incelendiğinde, İzmir ilinde hava boşluğundaki hızın 0,95-1 m/s olduğu ve bu değer diğer illere göre 0,1-0,15 m/s daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum, havanın boşlukta kalma süresini azaltmakta ve boşlukta geçirilen süre ile orantılı olarak iç mekâna ısı geçişini de azaltmaktadır. Böylece, cephe katmanlarındaki soğuma etkisini artırmaktadır. Analiz sonuçları, üç pilot ilde farklı boşluk boyutları için paralel ve tutarlı bir eğilim göstermiştir (Şekil 5.1-Şekil 5.3). Bu

nedenle, sonraki analizlerde tek bir ile ait iklim verileri kullanılarak çalışmalar yürütülebilecektir. Üç il arasında ortalama değerlere sahip olması nedeniyle, diğer senaryoların analizlerinde Adana ili iklim verileri tercih edilmiştir.

5.2. Cephe Sisteminin Optimum Havalandırma Boşluk Geometrisinin Elde edilmesi

Havalandırmalı cephe sisteminin optimum havalandırma boşluğu geometrisini belirlemek amacıyla, havalandırma boşluğu kalınlığı " d ", hava çıkış menfezi " d_{out} " ve cephe yüksekliği " H " değişkenlerinin farklı kombinasyonları incelenmiştir. Çizelge 5.2’de verilen iklim verileri, kil esaslı cephe kaplama malzemesi, 3m kat yüksekliği, tek çıkışlı hava menfezi gibi cephe sistemine ait özellikler sabit tutulmuştur. Bu analizlerde temel parametre, soğutma döneminde iç mekâna en az ısı transferini sağlayacak boşluk geometrilerini belirlemektir. Bulgular, çeşitli kombinasyonların verimliliğini değerlendirerek, en uygun yapı konfigürasyonlarını sunmaktadır.

5.2.1. Havalandırma boşluk geometrileri “ d ” ve “ d_{out} ”un optimizasyonu

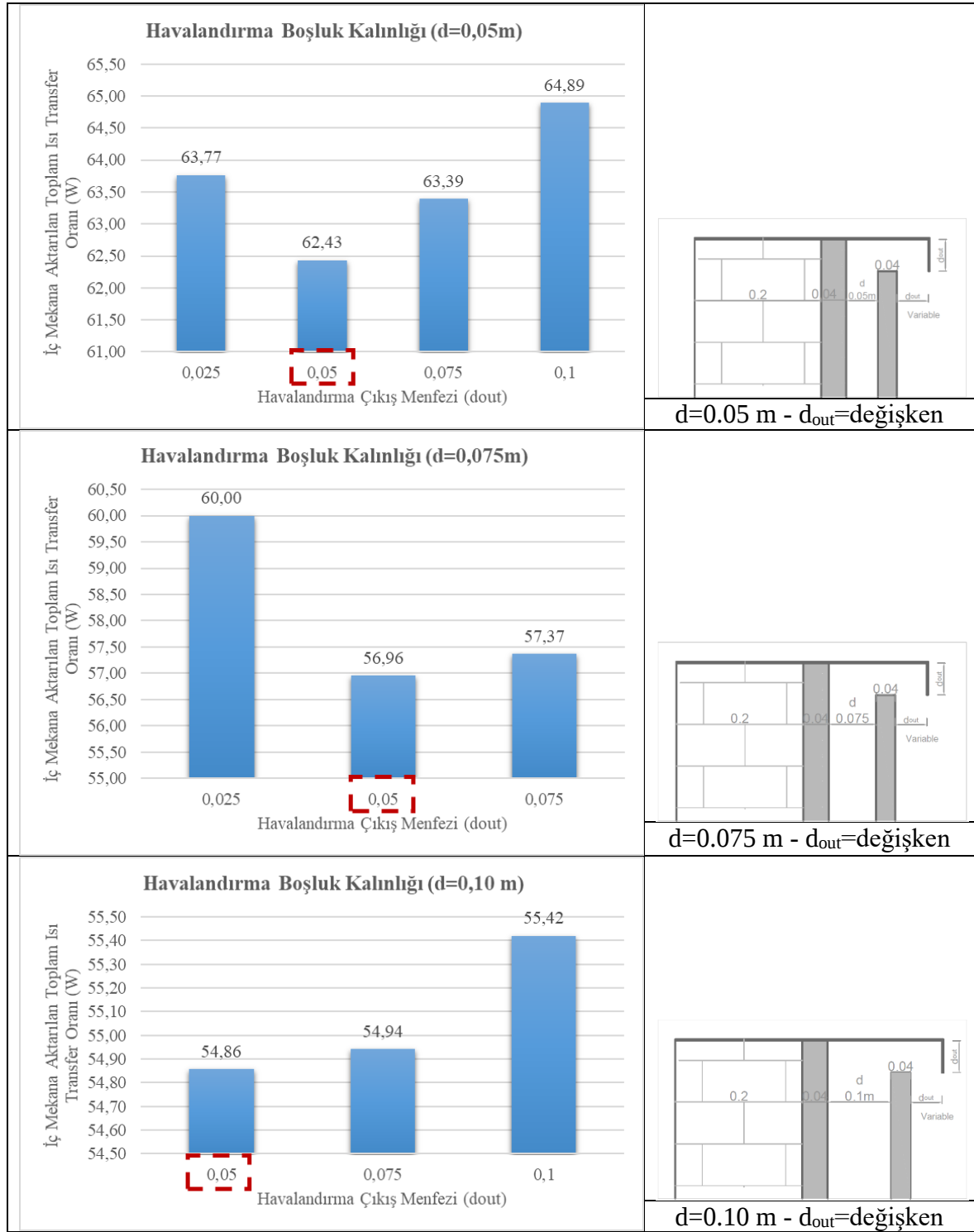
Çizelge 5.2’de görüldüğü gibi havalandırmalı cephe sisteminde CWCT (2018) performans standartlarına göre minimum hava kanalı mesafesi $d=0,025$ m olarak uygulanmakta olup ilk analiz çalışması bu oranla başlatılmıştır. Ayrıca literatürden edinilen bilgiler referans alınarak hava kanal mesafesi ve hava çıkış menfezi test edilirken eşit ve eşite yakın ölçüler seçilmiştir (Sánchez et al., 2019). İklim verileri ve kil esaslı cephe kaplama malzemesi, 3m kat yüksekliği, tek çıkışlı hava menfezi gibi cephe sistemine ait özellikler sabit tutulmuştur.

Çizelge 5.2. Hava boşluğunun geometrik konfigürasyonların Analizi

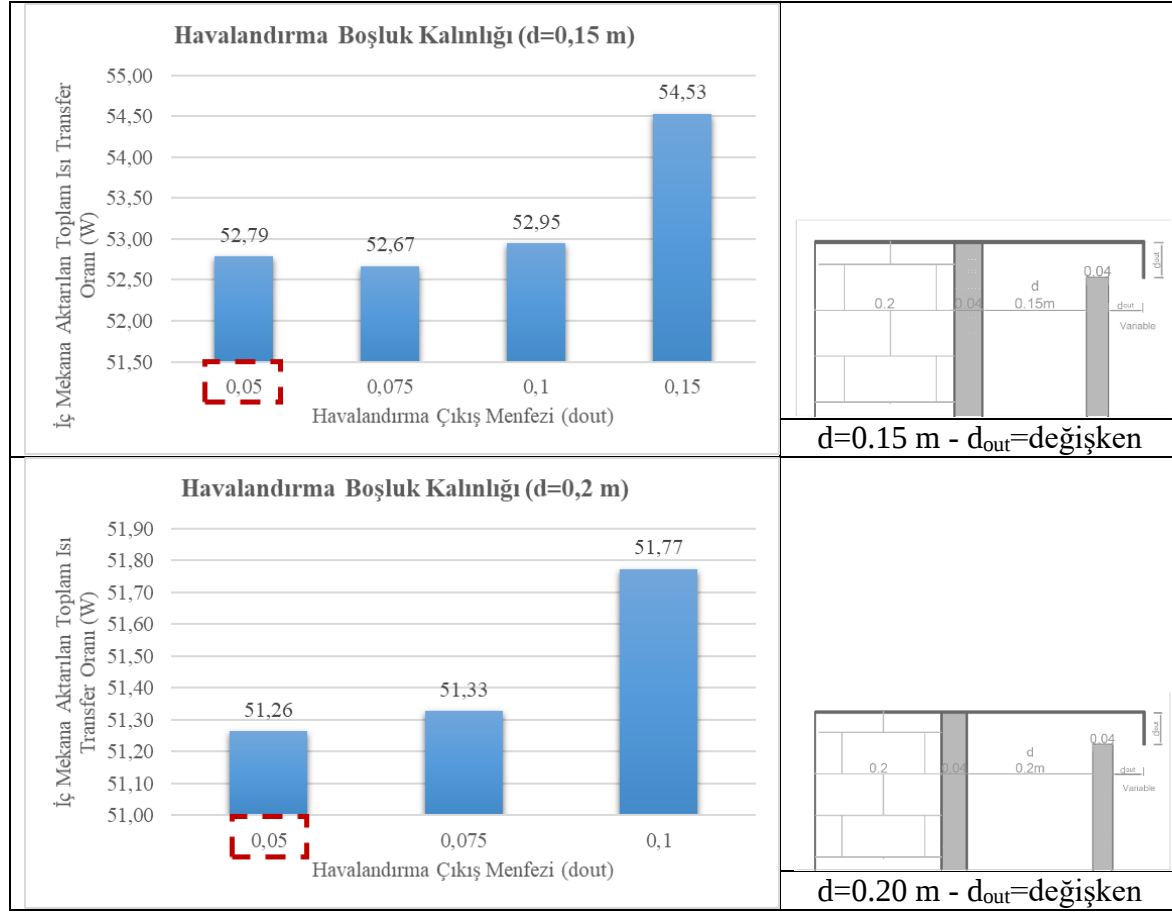
İKLİM PARAMETRELERİ					CEPHE SİSTEMİNİN SABİT ÖZELLİKLERİ					
İl	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Güneş Işınımı (w/m ²)	Isı Kaynağı (w/m ³)	Rüzgar Hızı (m/s)	Cephe Kaplama Malzemesi	Havalandırma Boşluk Yüksekliği (H)	Havalandırma Çıkış Menfezi	Havalandırma Boşluk Genişliği (d)	Havalandırma Çıkış Menfezi (dout)	
ADANA	34	495,8	12395,00	2,8	Kil Tabanlı	3m	Tek Çıkış F1	0,025-0,25m	0,025-0,1 m	
CEPHE SİS. DEĞİŞEN ÖZELLİĞİ		ANALİZ SONUÇLARI								
		Toplam Isı Transfer	Ortalama Hacimsel Sıcaklık (°C)		Yüzey Sıcaklığı (°C)		Hız (m/s)		Yüzey Isı Transfer	
					Min+max	Ağırlıklı Ortalama	Min + Max			
Havalandırma Boşluk Genişliği (d)	Havalandırma Çıkış Menfezi (dout)	İç Duvar	Yalıtım	İç Duvar	Yalıtım İç Duvar Sınır Değeri	İç Duvar	Yalıtım İç Duvar Sınır Değeri	Cephe Kaplama	Havalandırma Boşluğu	Yalıtım+İç Duvar Sınır Değeri
0,025 m	0,025 m	80,36	36,839	26,13	26,21+35,77	20,84+22,22	30,84	72,00	0+2,20	7,84
0,025 m	0,05 m	82,57	37,180	26,26	26,22+36,29	20,84+22,29	31,06	73,28	0+1,92	0,59
0,05 m	0,025 m	63,76	33,362	24,87	26,14+31,35	20,83+21,59	28,60	77,26	0+2,56	1,89
0,05 m	0,05 m	62,44	32,992	24,73	26,23+30,71	20,83+21,50	28,36	73,93	0,1+93	1,69
0,05 m	0,075 m	63,38	33,097	24,77	26,23+30,85	20,83+21,52	28,43	74,53	0,1+95	1,73
0,05 m	0,1 m	64,90	33,504	24,92	26,21+31,52	20,83+21,62	28,69	78,24	0,1+97	1,96
0,075 m	0,025 m	59,99	32,571	24,58	26,16+30,55	20,83+21,47	28,09	80,21	0+2,57	1,54
0,075 m	0,05 m	56,98	31,854	24,32	26,16+29,12	20,82+21,28	27,63	77,35	0+1,95	1,28
0,075 m	0,075 m	57,37	31,854	24,32	26,15+29,09	20,82+21,27	27,63	77,42	0+1,96	1,28
0,1 m	0,05 m	54,86	31,415	24,16	26,14+28,51	20,82+21,19	27,35	79,09	0+1,95	1,17
0,1 m	0,075 m	54,94	31,352	24,13	26,16+28,32	20,82+21,17	27,31	78,80	0+1,97	1,16
0,1 m	0,1 m	55,42	31,371	24,14	26,15+28,37	20,82+21,17	27,32	79,28	0+1,99	1,16
0,15 m	0,05 m	52,79	30,985	24,00	26,13+28,17	20,83+21,14	27,07	79,59	0+1,97	1,08
0,15 m	0,075 m	52,67	30,883	23,96	26,12+27,83	20,83+21,09	27,01	79,47	0+1,99	1,06
0,15 m	0,1 m	52,95	30,865	23,96	26,11+27,76	20,82+21,08	26,99	79,86	0+2,00	1,05
0,15 m	0,15 m	54,54	31,037	24,02	26,15+28,18	20,83+21,15	27,11	81,10	0+1,80	1,09
0,2 m	0,05 m	51,25	30,651	23,88	26,40+27,85	20,85+21,10	26,86	79,66	0+1,99	1,01
0,2 m	0,075 m	51,33	30,605	23,86	26,36+27,39	20,85+21,08	26,83	79,86	0+2,00	1,00
0,2 m	0,1 m	51,76	30,623	23,87	26,36+27,60	20,85+21,07	26,84	80,15	0+2,02	1,01
0,25 m	0,05 m	50,68	30,545	23,84	26,25+28,00	20,82+21,13	26,79	80,05	0+2,00	1,00

Çizelge 5.2’den elde edilen bilgiler doğrultusunda bir ısı transfer grafikleri oluşturulmuştur; havalandırma boşluk kalınlığının (d) 0,025-0,25m aralığındaki ölçüleri ve hava çıkış menfezinin (d_{out}) 0,025-0,10m ölçülerinin kombinasyonları üzerinden iç mekana aktarılan toplam ısı transferi oranları (W) gösterilmiştir (Şekil 5.4).

Isı transfer grafikleri değerlendirildiğinde (Şekil 5.4), cephedeki her bir boşluk kalınlığı (d) için hava çıkış menfez ölçüsü (d_{out}) arttıkça iç mekana aktarılan ısı transferinin de artmakta olduğu gözlemlenmektedir. Hava çıkış menfezi “d_{out} =0,05 m” iken, havanın dışarıya çıkışı yeterince desteklemekte ve bu sayede ısı transferi nispeten daha düşük seviyelerde kalmaktadır. Farklı boşluk kalınlıklarında d=0,15m grafiğindeki gibi ısı transferi d_{out}=0,075 m iken en düşük ısı transferi gerçekleşmiştir. Bu durum boşluk kalınlığı ile hava çıkış menfezi arasındaki oranın etkili olduğunu göstermekle birlikte genelinde d=0,05’de en az ısı transferinin sağlandığını doğrulamaktadır.

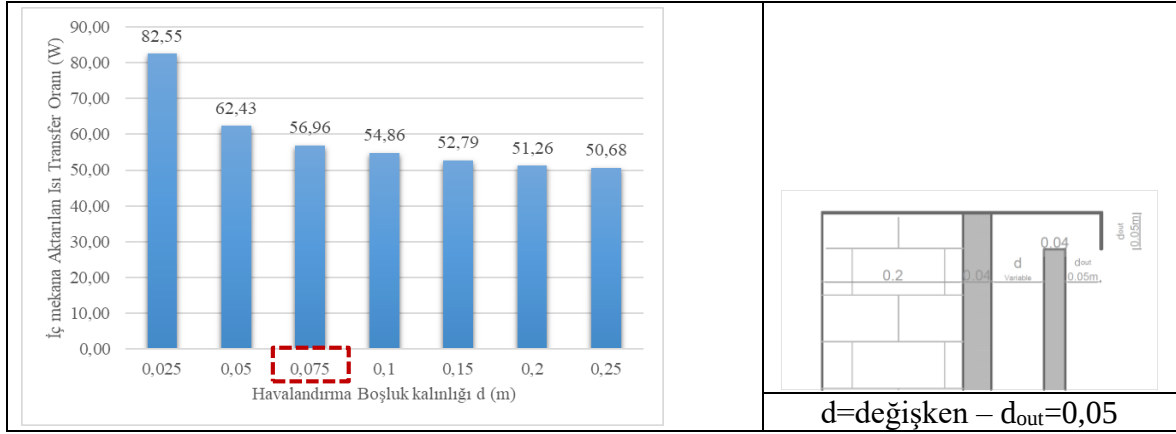


Şekil 5.4. Hava kanalının farklı geometrik konfigürasyonların ısı transferi üzerindeki etkisi



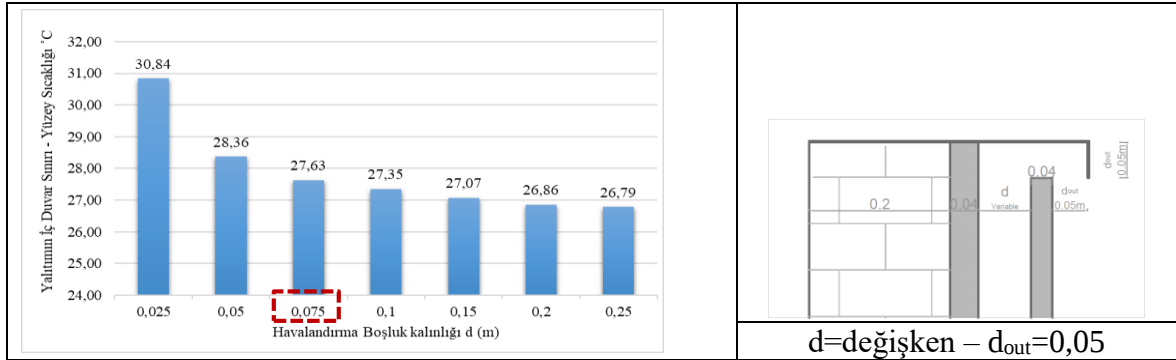
Şekil 5.4. (devam) Hava kanalının farklı geometrik konfigürasyonların ısı transferi üzerindeki etkisi

Bir sonraki adımda “ $d_{out}=0,05\text{ m}$ ” kabul edilerek havalandırma boşluk kalınlıkları tek değişken olarak alınmış ve aralarında optimum olan boyut araştırılmıştır. Bu analizler gerçekleştirilirken iklim verileri ve cephe özellikleri korunmuştur. Bu bağlamda Şekil 5.5 ve Şekil 5.6’da hazırlanan grafikler, farklı havalandırma boşluğu kalınlıklarının (d) iç mekana aktarılan ısı transferi ve sıcaklık üzerindeki etkisini göstermektedir. Her iki grafik de farklı havalandırma boşluk kalınlıklarıyla sistemin performansını değerlendirmektedir. Şekil 5.5’de başlangıçta kalınlık “ $d=0,025\text{ m}$ ” iken iç mekana iletilen toplam ısı transferi oranı en yüksek seviyede 82,55 W ölçülmüştür. 0,25 m boşluk kalınlığında ise en düşük ısı transferi değerine ulaşılarak 50,68 W elde edilmiştir. Bu, havalandırma boşluğu (d) arttıkça iç mekana daha az ısı transferi olduğunu göstermektedir. Boşluk kalınlığı $d=0,025\text{ m}$ ’den 0,075 m’ye genişletildiğinde ısı transferinde belirgin bir düşüş görülmektedir. Daha geniş boşluklarda ısı transfer farkı oldukça azalmakta, yani kazançlar sınırlı kalmaktadır. Başlangıçta 20 W değerinde ısı transfer farkı görülürken 0,075 m’den sonra bu değer 2 W seviyelerine düşmekte olup sağlanan iyileşmeler giderek azalmaktadır.



Şekil 5.5. Havalandırma boşluk kalınlığının (d) farklı geometrik konfigürasyonlarının ısı transferi üzerindeki etkisi.

Şekil 5.6’da yer alan grafik farklı boşluk kalınlıkları arasındaki sıcaklık farkını göstermektedir. Benzer şekilde, “d=0,025m” boşluk kalınlığı “d=0,05m”ye yükseltildiğinde” tuğla duvar yüzey sıcaklığında 2.5 °C sıcaklık farkı oluştururken, “d=0,075 m”den sonra bu fark 0.3-0.2 °C seviyelerine kadar düşmektedir. Dolayısıyla, 0,075 m’den sonra sıcaklık farkında çok az bir değişim gözlemlenmekte, bu da daha geniş boşlukların getirdiği ek faydaların azaldığını ortaya koymaktadır.



Şekil 5.6. Hava kanalı farklı geometrik konfigürasyonlarının sıcaklık üzerindeki etkisi

Elde edilen çıktıların değerlendirilmesi sonucunda “d=0,075” ve “d_{out} =0,05” değerleri tek çıkışlı hava mefzine sahip havalandırılmalı cephe sistemi için optimum olarak kabul edilmiştir. Bu mesafe, enerji verimliliğini artırmak ve ısı transferini minimize etmek için yeterli bir performans sağlarken, daha geniş boşluklar maliyet ve yapı zorluğunu artırdığı halde sınırlı ek kazançlar sunmaktadır.

5.2.2. Optimum boşluk geometrisinin farklı yüksekliklerdeki (H) davranışının incelenmesi

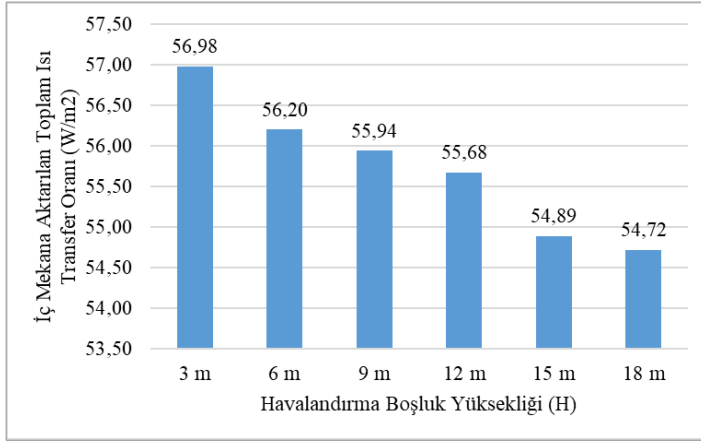
Havalandırılmalı cephe sisteminin optimum, “d ve d_{out}” geometrilerinin elde edilmesinin ardından değişken olarak cephe yüksekliği ele alınmıştır. Çizelge 5.3’de verilen iklim verileri, kil esaslı cephe kaplama malzemesi, tek çıkışlı hava menfezi gibi cephe özellikleri sabit tutulmuş, yükseklikler “H; 3m, 6m, 9m, 12m, 15m ve 18m” olarak varsayılmıştır. 18m, 6 katlı binaya tekabül etmekte olup bu yükseklikte bırakılma sebebi; 18m-20m’den sonra yangının dikey yayılmasını önlemek için farklı tasarım parametrelerinin devreye girmesidir. Elde edilen analiz sonuçları Çizelge 5.3’te verilmektedir.

Çizelge 5.3. Optimum boşluk geometrisinin farklı yükseklikler için davranışı

İKLİM PARAMETRELERİ					CEPHE SİSTEMİNİN SABİT ÖZELLİKLERİ				
İl	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Güneş Işınımı (w/m²)	Isı Kaynağı (w/m³)	Rüzgar Hızı (m/s)	Cephe Kaplama Malzemesi	Havalandırma Boşluk Yüksekliği (H)	Havalandırma Çıkış Menfezi	Havalandırma Boşluk Genişliği (d)	Havalandırma Çıkış Menfezi (dout)
ADANA	34	495,8	12395,00	2,8	Kil Tabanlı	3m-18m	Tek Çıkış F1	0,075m	0,05m
CEPHE SİS. DEĞİŞEN ÖZELLİĞİ	ANALİZ SONUÇLARI								
	Toplam Isı Transfer	Ortalama Hacimsel Sıcaklık (°C)		Yüzey Sıcaklığı (°C)				Hız (m/s)	Yüzey Isı Transfer
				Min+max		Ağırlıklı Ortalama		Min + Max	
Havalandırma Boşluk Yüksekliği (H)	İç Duvar	Yalıtım	İç Duvar	Yalıtım İç Duvar Sınır Değeri	İç Duvar	Yalıtım İç Duvar Sınır Değeri	Cephe Kaplama	Havalandırma Boşluğu	Yalıtım+İç Duvar Sınır Değeri
3 m	56,98	31,854	24,32	26,16+29,12	20,82+21,28	27,6	77,4	0+1,62	1,284
6 m	112,40	32,68	24,62	26,11+30,37	20,81+21,47	28,2	66,3	0+2,3	1,58
9 m	168,89	33,06	24,76	26,07+30,82	20,81+21,55	28,4	60,1	0+3,2	1,76
12 m	222,70	33,11	24,77	26,05+31,10	20,80+21,56	28,4	57,0	0+3,92	1,80
15 m	274,46	33,04	24,75	26,05+30+94	20,80+21,56	28,4	56,0	0+5,01	1,777
18 m	328,31	33,07	24,76	26,02+31,02	20,80+21,58	28,4	55,3	0+5,79	1,804

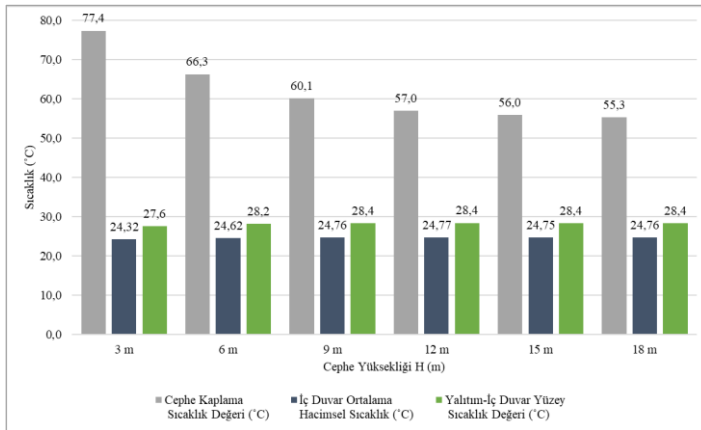
Havalandırma boşluğu yüksekliğinin (H) cephe sisteminin ısı performansı üzerindeki etkilerini anlamak amacıyla grafikler oluşturulmuş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu analizde dört temel parametre: ısı transferi, iç duvarın ortalama hacim sıcaklığı, cephe kaplamasının yüzey sıcaklığı ve hava boşluğu içerisindeki rüzgar akış hızı, değerlendirilmiştir.

Havalandırma boşluk yüksekliği arttıkça, metrekaşe başına düşen iç mekana aktarılan toplam ısı transfer oranı 0,17-0,3 W aralığında bir azalma göstermektedir. Bu değerlerin çok yakın seyretmesi nedeniyle yükseklikle birlikte ısı performanstaki iyileşme önemli bir fark yaratmamaktadır (Şekil 5.7).

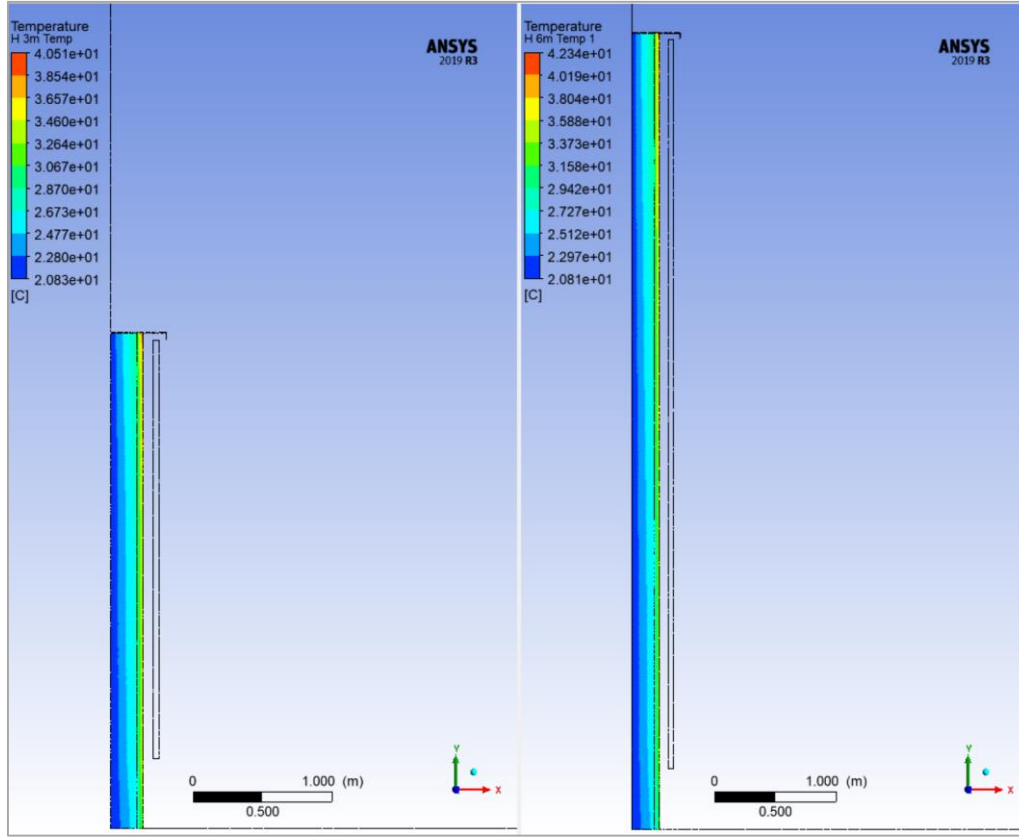


Şekil 5.7. Opak havalandırılmalı cephenin farklı cephe yüksekliğine ait ısı transfer grafiği

Cephe yüksekliğinin artmasından en fazla etkilenen katman cephe kaplaması olup kaplamanın yüzey sıcaklığı, havalandırma boşluk yüksekliği arttıkça belirgin bir şekilde azalmaktadır (Şekil 5.8). Cephe yüksekliği 3m’de 6m’ye çıktığında bu azalma 11°C iken 12m’den sonra yakınsamakta olup cephe yüksekliği arttıkça fark 0,7°C’ye kadar düşmektedir. Bu, cephe boyunca hava akışının arttığını ve daha yüksek cephelerde ısının daha verimli şekilde uzaklaştırıldığını göstermektedir. Yalıtım katmanının sıcaklığı incelendiğinde (Şekil 5.9) ise, havalandırma boşluk yüksekliği 3m’de 6m’ye çıktığında 0,6°C, 9m’ye çıktığında 0,2°C olup 9m den sonra 28,4°C’de sabit kalmaktadır.

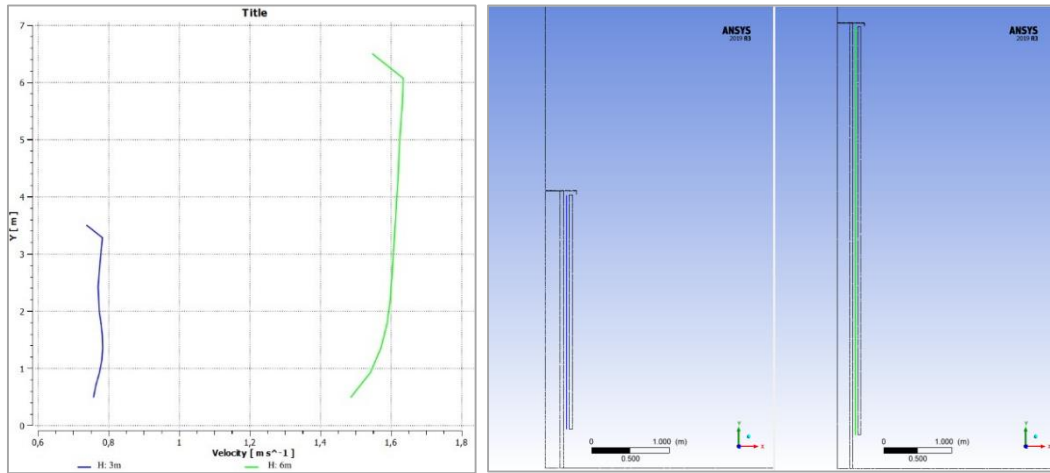


Şekil 5.8. Opak havalandırılmalı cephenin farklı cephe yüksekliğine ait yüzey sıcaklık değerleri

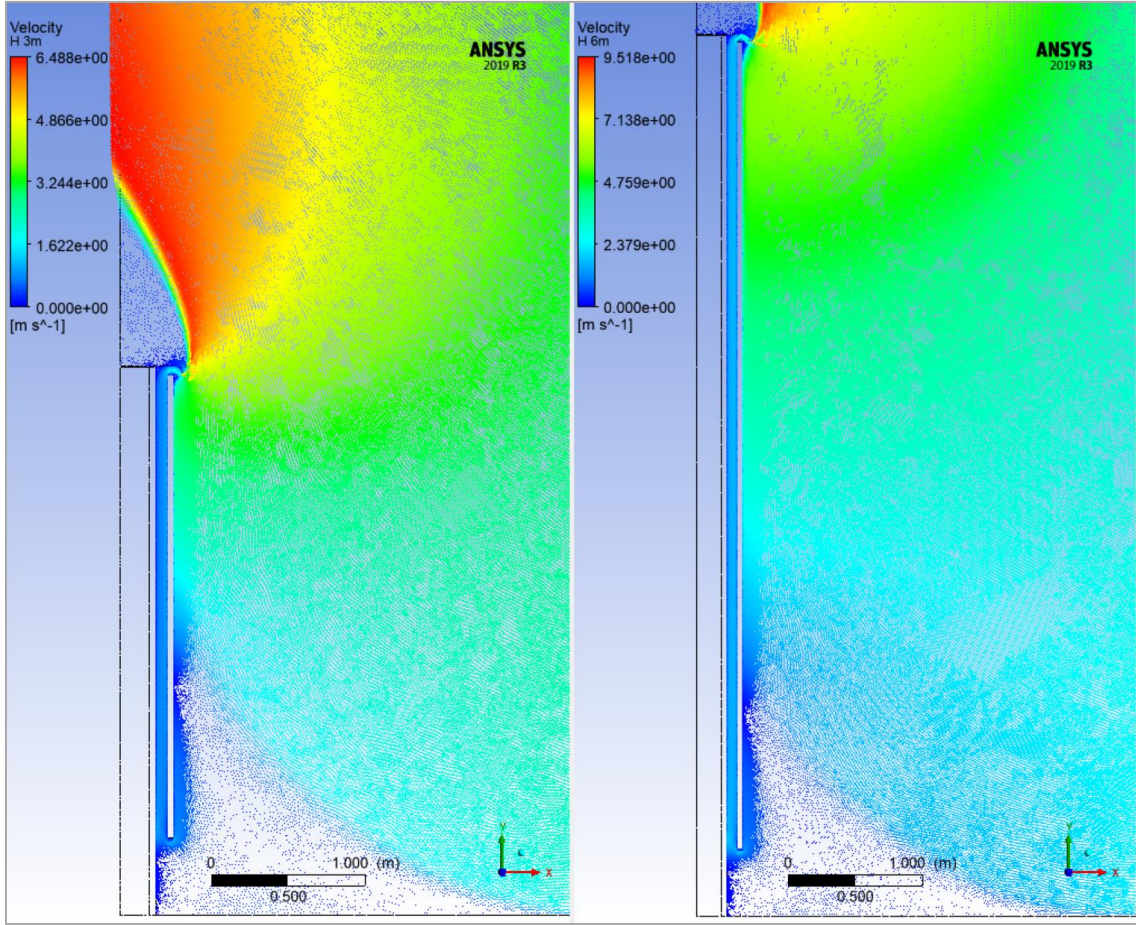


Şekil 5.9. Opak havalandırılmalı cephe sisteminde sıcaklık dağılımı (3m ve 6m yükseklikler için)

Şekil 5.10 ve 5.11’de verilen grafikler, havalandırma boşluğunun yüksekliği arttıkça hava hızının da arttığını göstermektedir. 6 m yükseklikte hava hızı yaklaşık 1,7 m/s seviyelerine ulaşmaktadır. 3 m yükseklikte ise bu hız yaklaşık yarıya düşmekte olup 0,8 m/s seviyesindedir.



Şekil 5.10. Opak havalandırılmalı cephe sisteminde boşlukta oluşan akış hızı grafiği (3m ve 6m yükseklikler için)

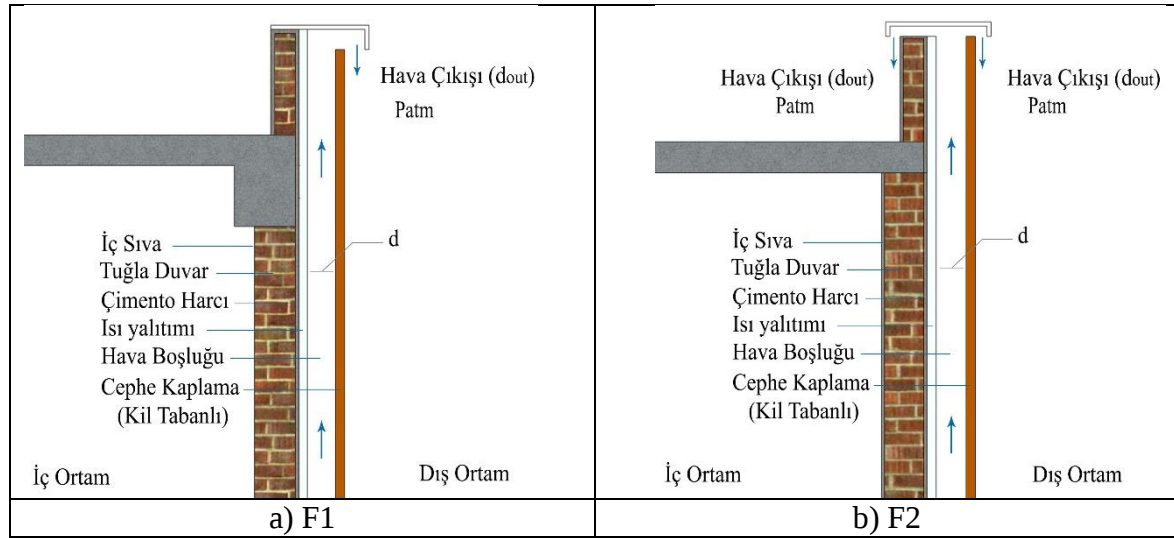


Şekil 5.11. Opak havalandırılmalı cephe sisteminde hız dağılımı (3m ve 6m yükseklikler için)

Bu bölümden elde edilen veriler incelendiğinde, havalandırma boşluk yüksekliği arttıkça, metrekare başına iç mekana aktarılan toplam ısı transferi oranının 0,17-0,3 W gibi küçük bir azalma gösterdiği, bu durumun ise hava tabakasından içeriye doğru cephe katmanlarındaki sıcaklık değişimlerinin sınırlı kalmasına neden olduğu anlaşılmaktadır. Örneğin, yalıtım katmanının sıcaklığı incelendiğinde (Şekil 5.9, Şekil 5.10), havalandırma boşluk yüksekliği 3 m'den 6 m'ye çıktığında sıcaklığın 0,6 °C, 9 m'ye çıktığında ise 0,2 °C arttığı ve 9 m'den sonra sıcaklığın 28,4 °C'de sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Bu sınırlı artış, ısınarak yükselen havanın cephenin üst seviyelerinde cephe katmanlarının sıcaklığını etkilemesinden kaynaklanmaktadır. Cephe kaplamasında ise, 3 m'den 6 m'ye çıkıldığında 11 °C'lik bir soğuma sağlandığı görülmektedir; bu durum, hava akış hızının kaplamanın her iki yönünden yüksek hızla akmasından kaynaklanmaktadır. Hava boşluğundaki hava akış hızı 3 m'de 0,8 m/s iken, 6 m'de 1,7 m/s'ye çıkarak iki katına yükselmektedir. Ancak, ısı transferindeki sınırlı azalma ve yalıtım katmanlarındaki sınırlı sıcaklık artışı, cephe yüksekliğinin bu parametreler üzerinde belirgin bir etkisi olmadığını göstermektedir.

5.3. Çift Çıkışlı Havalandırma Menfezi (F2)

Önerilen çift çıkışlı hava menfezine sahip F2 cephe sistemine ait (Şekil 5.12) “d ve d_{out}”un optimum boşluk boyutlarının hesaplanmasında, tek çıkışlı hava menfezine sahip F1 cephe sistemi için uygulanan analiz adımlar izlenmiştir. Analizlerde, iklim verileri, cephe özellikleri ve malzeme katmanları aynı olup sadece hava çıkış menfez şekli değiştirilmiştir. Analiz bilgileri ve analizlerden elde edilen veriler Çizelge 5.4’de sunulmuştur.

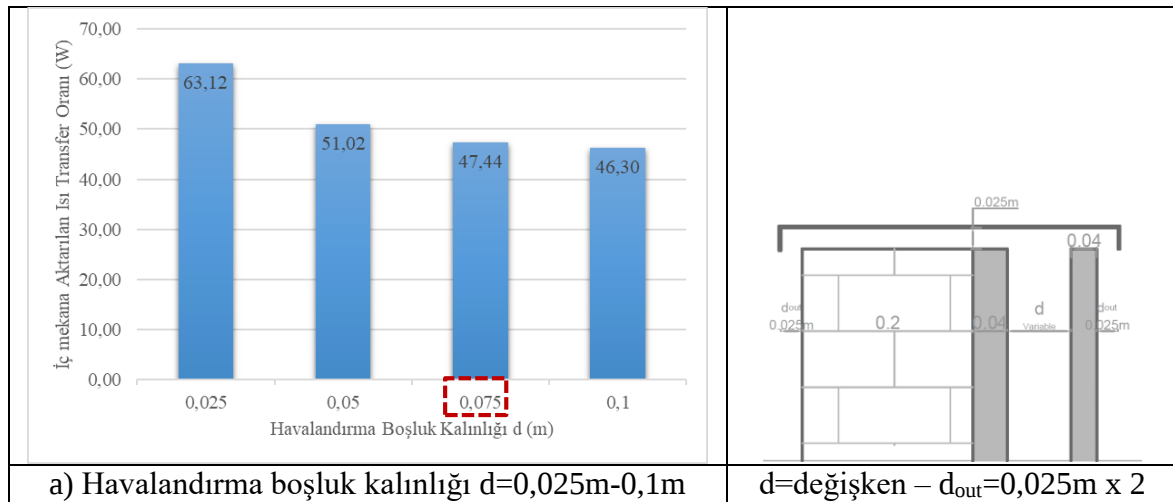


Şekil 5.12. F1 (tek çıkışlı hava menfezi) ve F2 (çift çıkışlı hava menfezi) Cephelerinin Kesitleri

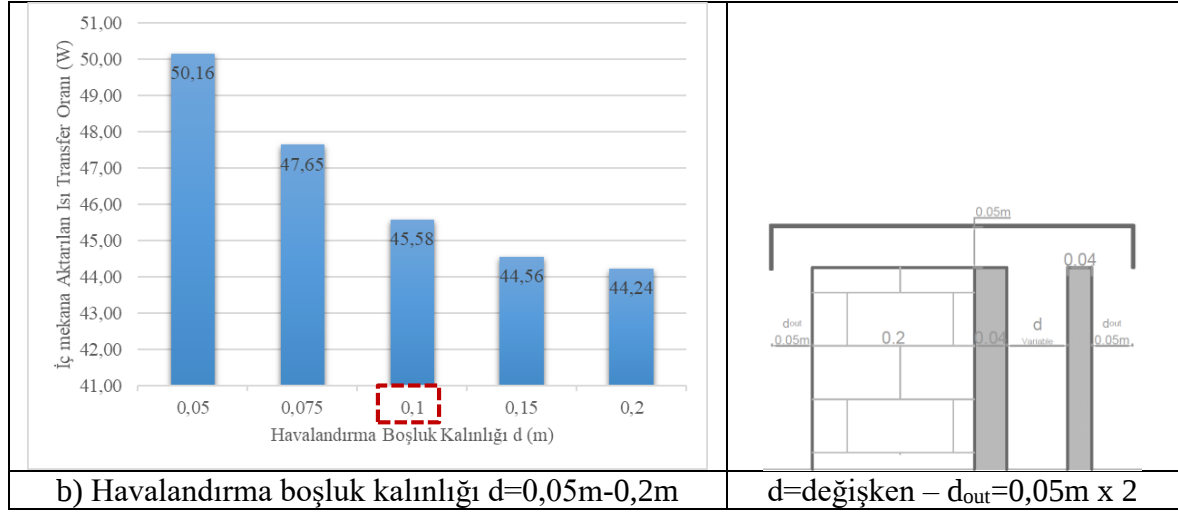
Çizelge 5.4. Cephe sisteminde çift çıkışlı hava menfezinin analiz sonuçları

İKLİM PARAMETRELERİ					CEPHE SİSTEMİNİN SABİT ÖZELLİKLERİ				
İl	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Güneş Işınımı (w/m ²)	Isı Kaynağı (w/m ³)	Rüzgar Hızı (m/s)	Cephe Kaplama Malzemesi	Havalandırma Boşluk Yüksekliği (H)	Havalandırma Çıkış Menfezi	Havalandırma Boşluk Genişliği (d)	Havalandırma Çıkış Menfezi (dout)
ADANA	34	495,8	12395,00	2,8	Kil Tabanlı	3m	Çift Çıkış F2	0,025-0,25m	0,025-0,1 m
CEPHE SİS. DEĞİŞEN ÖZELLİĞİ		ANALİZ SONUÇLARI							
		Toplam Isı Transfer		Ortalama Hacimsel Sıcaklık (°C)		Yüzey Sıcaklığı (°C)		Hız (m/s)	
		İç Duvar	Yalıtım	İç Duvar	Yalıtım	İç Duvar	Yalıtım	Min + Max	Yüzey Isı Transfer
Havalandırma Boşluk Genişliği (d)	Havalandırma Çıkış Menfezi (dout)	İç Duvar	Yalıtım	İç Duvar	Yalıtım	İç Duvar	Yalıtım	Havalandırma Boşluğu	Yalıtım+İç Duvar Sınır Değeri
0,025	0,025	63,12	35,53		26,02+38,64		27,99	0+2,58	0,33
0,05	0,025	51,02	32,46		25,94+35,18		26,28	0+2,60	2,30
0,05	0,05	50,16	32,22		25,93+34,33		26,16	0+2,67	2,34
0,075	0,025	47,44	31,47		25,93+33,04		25,77	0+2,62	1,91
0,075	0,05	47,65	31,46		25,97+33,58		25,80	0+2,59	1,87
0,075	0,075	47,47	31,35		25,98+33,08		25,77	0+2,60	1,96
0,1	0,025	46,30	31,15		25,93+32,12		25,61	0+2,63	1,74
0,1	0,05	45,58	31,00		25,93+32,61		25,51	0+2,63	1,84
0,1	0,075	45,59	31,00		25,91+32,61		25,51	0+2,63	1,83
0,1	0,1	45,36	30,91		25,92+32,31		25,48	0+2,65	1,64
0,15	0,05	44,56	30,67		25,92+31,35		25,36	0+2,65	1,58
0,15	0,075	44,78	30,75		25,93+31,87		25,39	0+2,65	1,83
0,15	0,15	44,40	30,62		25,92+31,13		25,34	0+2,72	1,56
0,2	0,05	44,24	30,58		25,91+31,07		25,32	0+2	1,55
0,2	0,1	44,25	30,60		25,91+31,31		25,32	0+2	1,55
0,25	0,05	44,01	30,53		25,86+31,03		25,28	0+2	1,53

Çizelge 5.4'te sunulan veri seti kullanılarak, cephe sisteminin ısı transferi (Şekil 5.13) ve sıcaklık dağılımına ilişkin grafikler (Şekil 5.14) oluşturulmuştur. F2 cephe tipinde, F1 cephe tipinden farklı olarak her bir hava boşluk kalınlığı için ortak bir hava çıkış menfez ölçüsü tespit edilememektedir. Değerler değişken olup artış ve azalış göstermektedir. Bu nedenle boşluk geometrileri kendi içinde değerlendirilmiştir. Şekil 5.13'te hava çıkış menfezinin $d_{out}=0,025m$ ve $d_{out}=0,05m$ ölçüleri referans alınarak boşluk kalınlıkları değiştirilmiş ve böylece boşluk geometrileri arasındaki ilişki incelenmiştir. Şekil 5.13.a'da $d_{out}=0,025m$ olarak sabit tutularak havalandırma boşluk kalınlığı $d=0,025-0,10m$ 'ye kadar genişletilmiştir. Havalandırma boşluk kalınlığının minimum olduğu durumda iç mekana aktarılan ısı transferi 63.12W iken, boşluk boyutunun artmasıyla bu değer yaklaşık 46,30W birime kadar düşmektedir. Bu durum, havalandırma boşluğunun artmasıyla doğru orantılı olarak havalandırma ısı transferinin 16,82 W birim azaldığını göstermektedir. Havalandırma kalınlığı $d=0,075m$ genişliğinden sonra ısı transfer değeri yakınsamaktadır. Daha sonra Şekil 5.13.b'de havalandırma menfez çıkışı $d_{out}=0,05m$ olarak sabit tutularak havalandırma boşluk kalınlığı $d=0,05-0,20m$ 'ye kadar genişletilmiştir. Bu durumda ise iç mekana aktarılan ısı transferi 50.16W birimden 44,24W birime kadar azalmaktadır. Bu azalma $d=0,10m$ 'den sonra yakınsayarak devam etmektedir. Dolayısıyla hava çıkış menfezindeki değişim havalandırma kalınlığı için belirlenecek olan optimum değeri de değiştirmektedir.

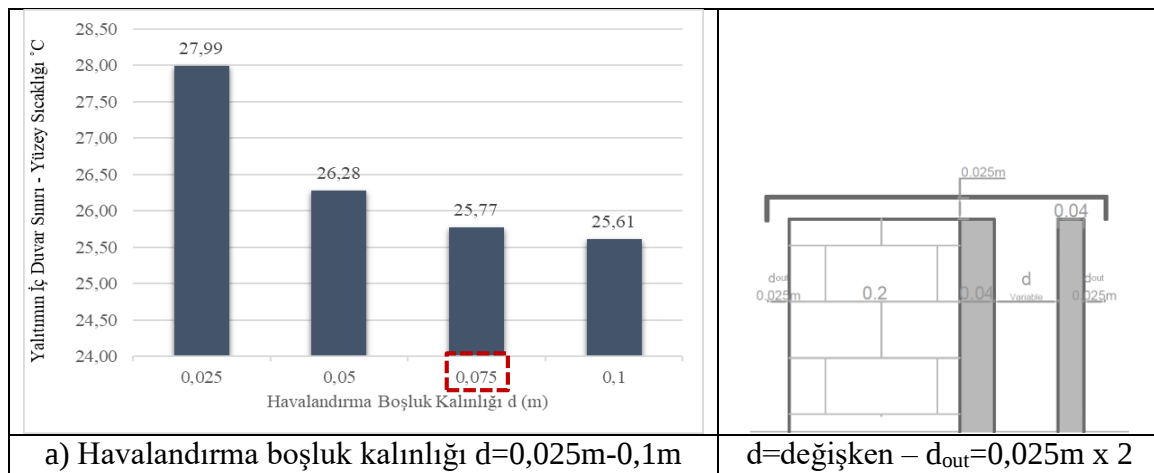


Şekil 5.13. Havalandırma boşluk kalınlığının farklı geometrik konfigürasyonlarının ısı transferi üzerindeki etkisi.

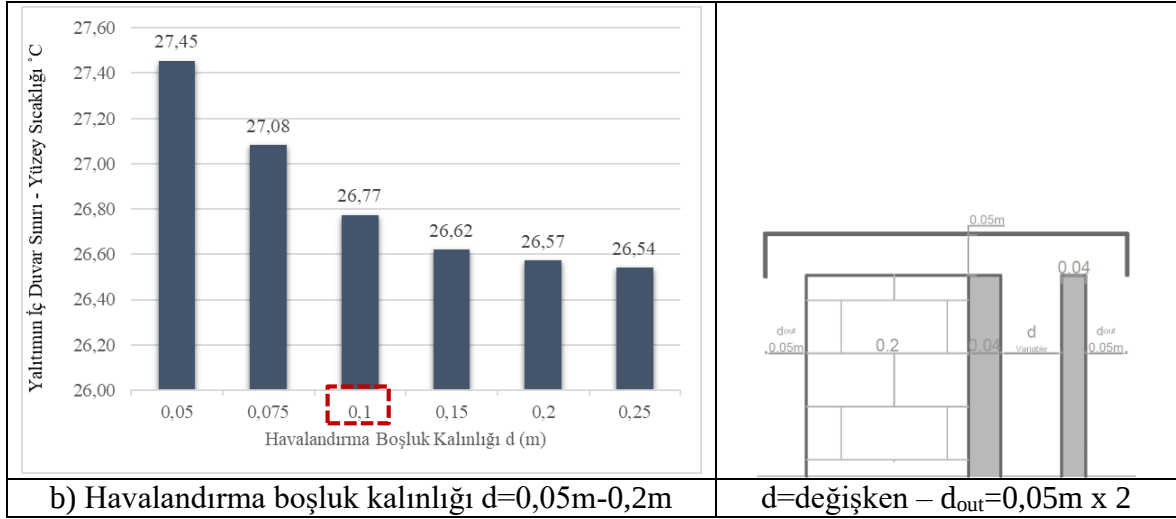


Şekil 5.13. (devam) Havalandırma boşluk kalınlığının farklı geometrik konfigürasyonlarının ısı transferi üzerindeki etkisi.

Daha sonra cephe katmanlarına ait sıcaklık grafikleri incelenmiştir. Şekil 5.14'teki tuğla duvar yüzeyine ait sıcaklık grafikleri incelendiğinde, hava çıkış menfezinin $d_{out}=0,025m$ kabul edildiği durumda havalandırma kalınlığı arttıkça başlangıçta yaklaşık $2^{\circ}C$ daha düşük sıcaklık değerine sahip olurken yakınsama noktalarından itibaren bu fark yaklaşık $0,2^{\circ}C$ 'ye düşmektedir. Hava çıkış menfezinin $d_{out}=0,05m$ kabul edildiği durumda sıcaklık değerleri daha yakın olup sıcaklık değerleri arasındaki fark yaklaşık $0,4-0,03^{\circ}C$ aralığında seyretmektedir. Dolayısıyla, havalandırma kalınlığı ve hava çıkış menfez ölçüsü arttıkça iç mekana aktarılan ısı transferi ve sıcaklık azalmakla birlikte sonuçlar birbirine yakınsamaktadır.



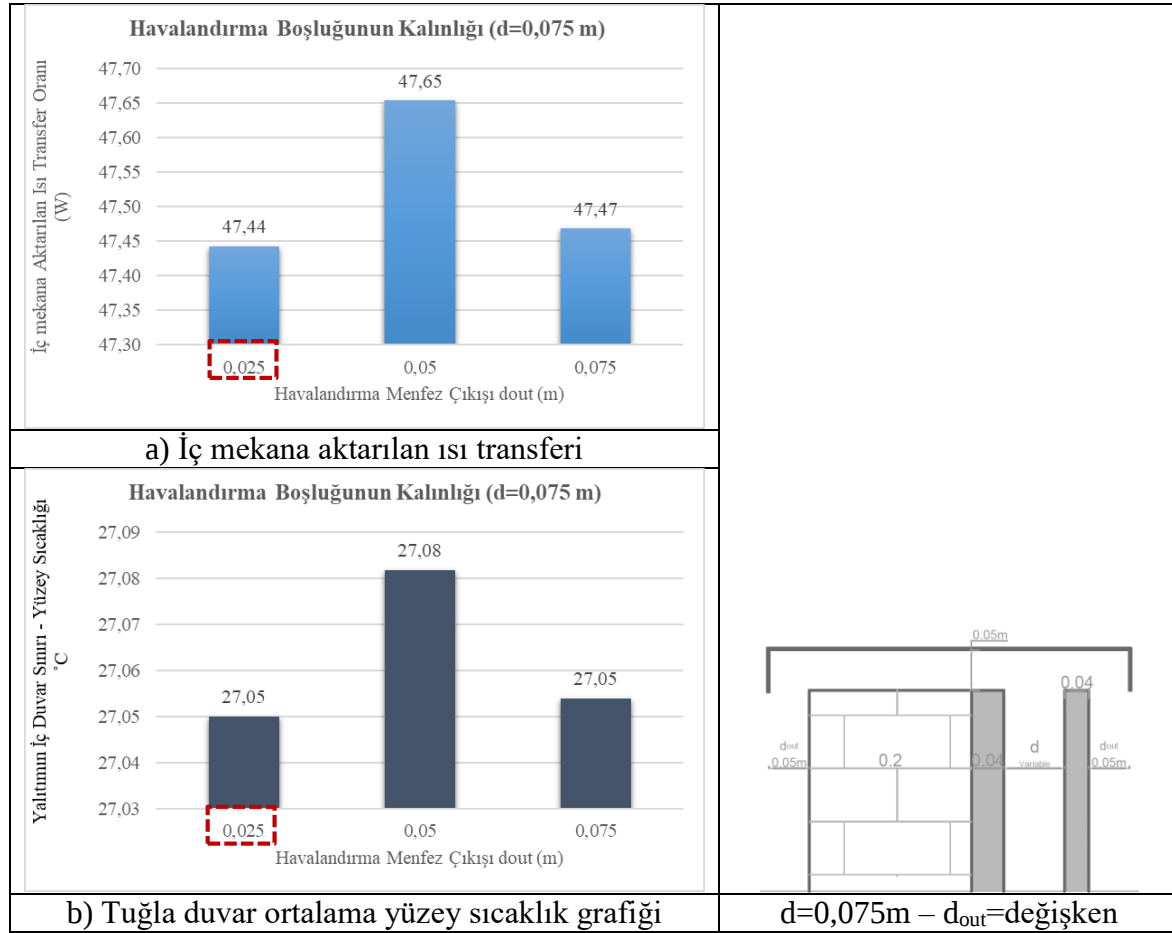
Şekil 5.14. Havalandırma boşluk kalınlığının farklı geometrik konfigürasyonlarının sıcaklık üzerindeki etkisi.



Şekil 5.14. (devam) Havalandırma boşluk kalınlığının farklı geometrik konfigürasyonlarının sıcaklık üzerindeki etkisi.

Bu analizler doğrultusunda, cephe sisteminin optimum havalandırma boşluk kalınlığı olarak “ $d=0.075m$ ” önerilmektedir. Bu noktada ısı transfer oranındaki fark yaklaşık 1W gibi minimum seviyelere yaklaşmakta ve daha fazla boşluk artışının ısı transferi üzerindeki etkisi azalmaktadır. Boşluk boyutu $d=0.075m$, ısı transferini yeterli düzeyde azaltırken, daha büyük boşluklarda elde edilecek kazanımın sınırlı olduğu bir denge noktası olarak değerlendirilmektedir.

Önerilen havalandırma boşluğu kalınlığı “ $d=0.075m$ ” olan sistemde, havalandırma çıkış menfezi boyutları “ $d_{out}=0.025m, 0.05m$ ve $0.075m$ ” olarak belirlenmiş ve bu ölçülerle analiz yapılmıştır. Şekil 5.15’te sunulan iç mekana aktarılan ısı transfer oranı ve sıcaklık verileri incelendiğinde, menfez boyutunun “ $d_{out}=0.025m$ ” olduğu durumda, ısı transfer oranının 47.44W ve tuğla duvar yüzey sıcaklık değerinin ortalama $27.05^{\circ}C$ ile en düşük seviyede olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, sistemin ısııl performansı açısından dengeli ve optimum bir durumu göstermektedir.



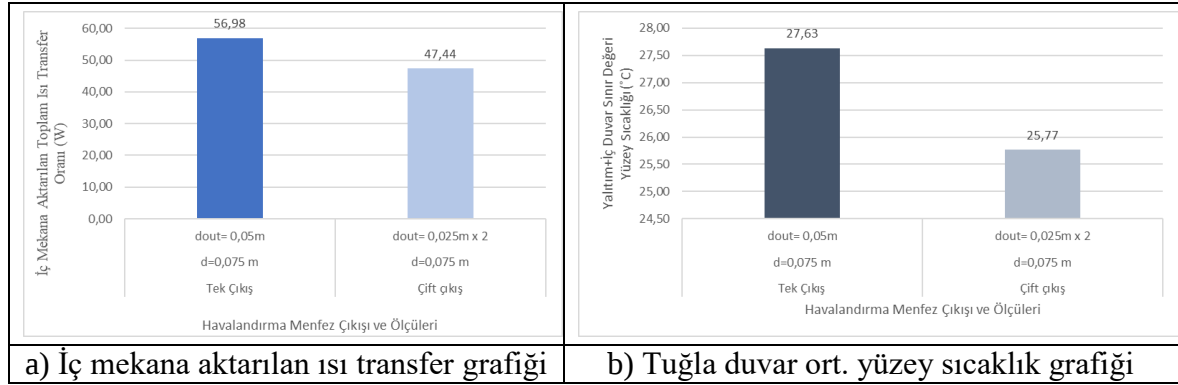
Şekil 5.15. F2 cephesi (d=0,075m, d_{out}=değişken) ısı transfer ve sıcaklık grafikleri.

Çizelge 5.5'te F1 ve F2 cephe sistemlerinin analizlerinde kullanılan iklim verileri, cephe özellikleri ve analiz sonuçları verilmektedir. Böylece her iki cephe tipi karşılaştırılarak incelenebilecektir.

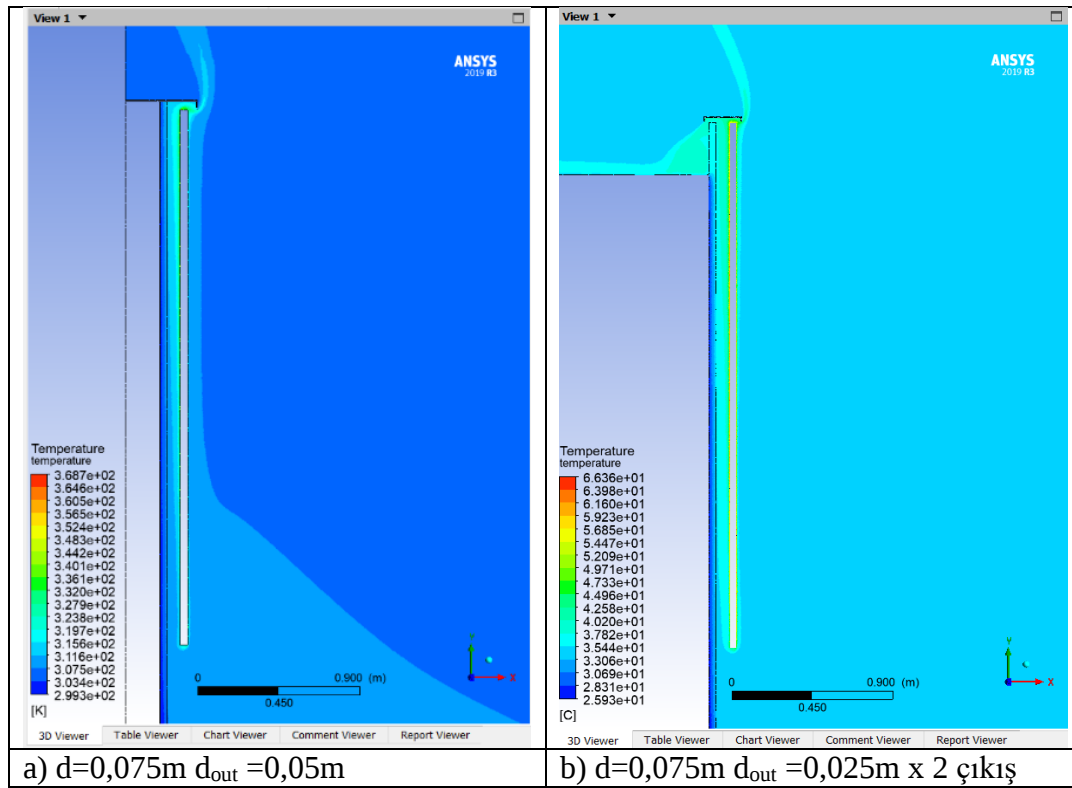
Çizelge 5.5. F1 ve F2 cephe sistemlerinin optimum boşluk geometrilerinin karşılaştırmalı analizi

İKLİM PARAMETRELERİ					CEPHE SİSTEMİNİN SABİT ÖZELLİKLERİ				
İl	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Güneş Işınımı (w/m ²)	Isı Kaynağı (w/m ³)	Rüzgar Hızı (m/s)	Cephe Kaplama Malzemesi	Havalandırma Boşluk Yüksekliği (H)	Havalandırma Çıkış Menfezi	Havalandırma Boşluk Genişliği (d)	Havalandırma Çıkış Menfezi (dout)
ADANA	34	495,8	12395,00	2,8	Kil Tabanlı	3m	Tek Çıkış F1 Çift Çıkış F2	0,075m 0,075m	0,05m 0,025m*2
CEPHE SİS. DEĞİŞEN ÖZELLİĞİ	ANALİZ SONUÇLARI								
	Toplam Isı Transfer	Ortalama Hacimsel Sıcaklık (°C)		Yüzey Sıcaklığı (°C)				Hız (m/s) Min + Max	Yüzey Isı Transfer
				Min+max		Ağırlıklı Ortalama			
				Yalıtım İç Duvar Sınır Değeri	İç Duvar	Yalıtım İç Duvar Sınır Değeri	Cephe Kaplama	Havalandırma Boşluğu	Yalıtım+İç Duvar Sınır Değeri
Optimum Boşluk Geometrileri	İç Duvar	Yalıtım	İç Duvar	Yalıtım İç Duvar Sınır Değeri	İç Duvar	Yalıtım İç Duvar Sınır Değeri	Cephe Kaplama	Havalandırma Boşluğu	Yalıtım+İç Duvar Sınır Değeri
F1: d=0,075m dout=0,05m	56,98	31,85		26,16+29,12		27,63	77,35	0+1,95	1,28
F2: d=0,075m dout=0,025m*2	47,44	31,47		25,93+33,04		25,77	62,90	0+2,62	1,91

Aynı koşullar altında her iki cephe sistemi kıyaslandığında (Şekil 5.16), iç mekana aktarılan ısı transfer miktarı F1 cephe tipinde 57W iken çift çıkışlı sistem F2’de bu değer 47,5W olarak tespit edilmiştir. Bu değer in tuğla duvar yüzey sıcaklık ortalamalarına yansımaları yaklaşık 2°C’ye tekabül etmektedir. Şekil 5.17 her iki cephe tipine ait sıcaklık değişiminin görselleştirilmiş hali yer almaktadır.



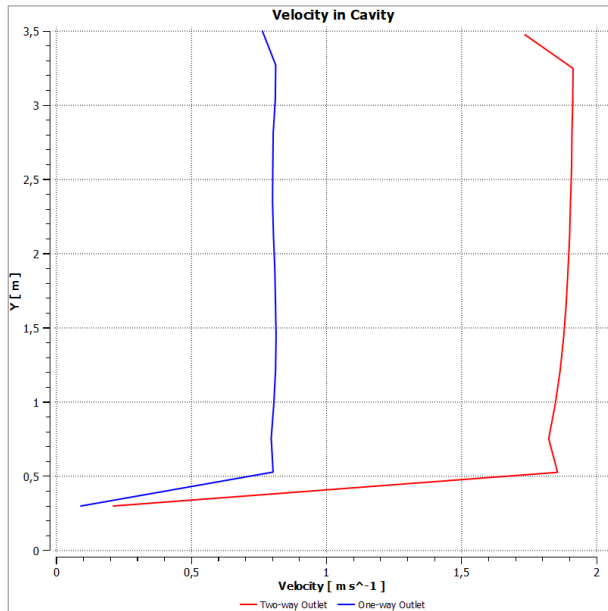
Şekil 5.16. F1 ve F2 cephelerinin optimum boşluk geometrilerinin ısı transfer ve sıcaklık grafikleri.



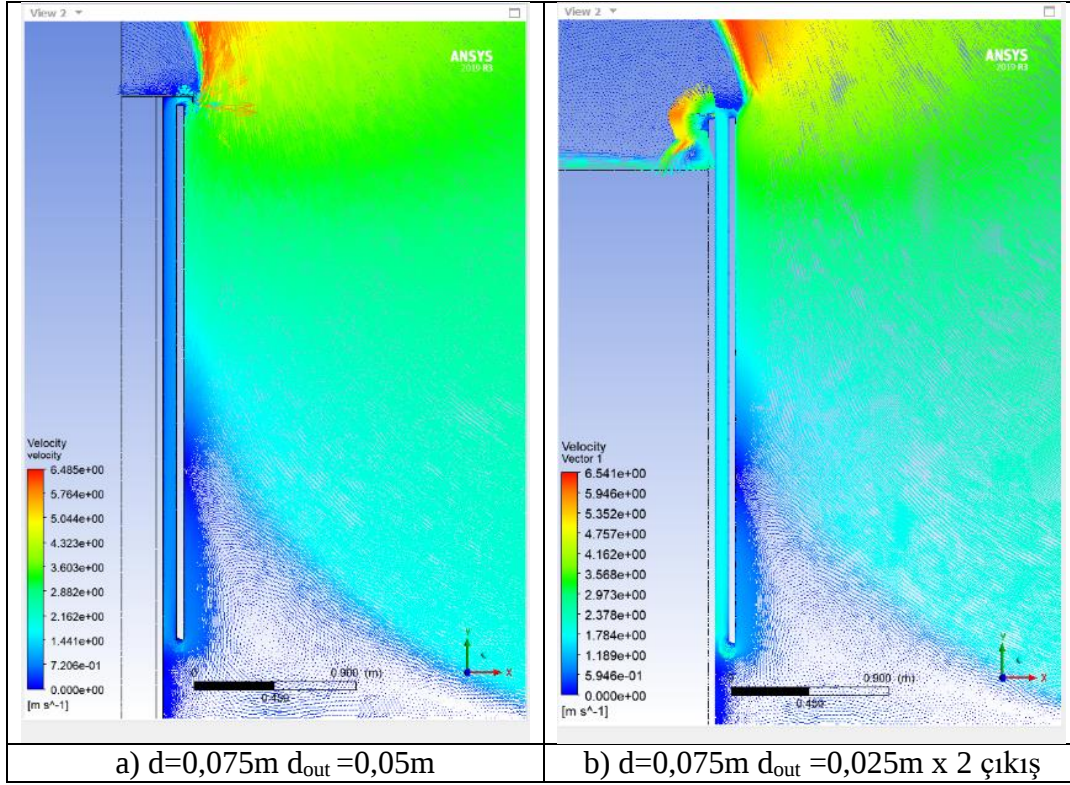
Şekil 5.17. a) Tek çıkışlı ve b) Çift çıkışlı hava menfezine sahip cephe sistemi sıcaklık grafikleri

Ayrıca, F1 ve F2 cephe tipleri için hava boşluğunda oluşan rüzgar hızı verileri de incelenmiştir. Şekil 5.18’de gösterildiği üzere, F2 cephesinin hava boşluğunda oluşan ortalama rüzgar hızı yaklaşık 1,8-1,9m/s aralığında iken, F1 cephesinde bu değer yaklaşık 0,7-0,8m/s seviyelerinde kalmakta ve daha düşük bir hız göstermektedir. Bu durum, F2 cephesinde bulunan çift çıkışlı hava menfezinin baca etkisini daha etkin bir şekilde artırmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 5.19’da ise her iki cephe tipine ait hız değişiminin görselleri verilmiştir.

F2 cephe sisteminde, havalandırma boşluğundaki rüzgar hızının yaklaşık 1m/s artışı, iç mekana aktarılan ısı transferinde 9,5W’lık bir azalma sağlamıştır. Bu değişimin, cephe katmanlarından biri olan yalıtım katmanındaki ortalama hacimsel sıcaklık değerlerine yansımaları, 1-2°C arasında bir düşüş olarak kendini göstermektedir. Bu bulgu, artan rüzgar hızının, cephe sisteminin ısı performansını iyileştirdiğini ve iç mekana iletilen ısıyı azaltılmasına katkı sağladığını açıkça ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, her iki cephe tipinin iç mekana aktardığı ısı transferi üzerinden soğutma verimi kıyaslandığında, çift çıkışlı hava menfezine sahip F2 sistemi, %17 oranında daha fazla soğuma sağlamaktadır.



Şekil 5.18. Tek çıkışlı (mavi) ve Çift çıkışlı (kırmızı) hava menfezine sahip cephe sisteminde boşluk içindeki rüzgar hız grafikleri



Şekil 5.19. a) Tek çıkışlı ve b) Çift çıkışlı hava menfezine sahip cephe sistemi rüzgar hızı grafikleri

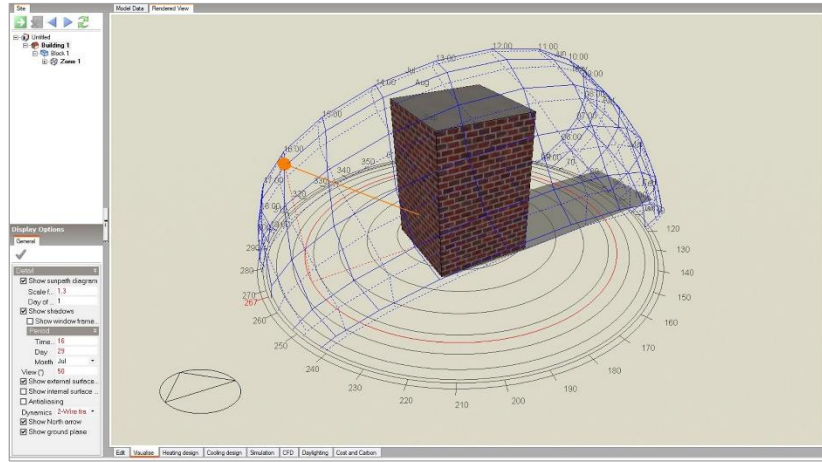
Elde edilen verilere dayanarak F1 cephesi için “ $d=0,075\text{m}$, $d_{\text{out}}=0,05$ ” ve F2 cephesi için “ $d=0,075\text{m}$, $d_{\text{out}}=0,025\text{m} \times 2$ çıkışlı menfez” sonuçlarının optimum boşluk boyutları olarak kabul edilmiştir (Bknz. Şekil 6.1 ve Şekil 6.2).

5.3. Cephe Sisteminin Farklı Cephe Yönlerdeki Davranışı:

Bu bölümde, Doğu, Güney ve Batı cephe yönlerinin cephe sistemine etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda, temmuz ayı verileri üzerinden (Çizelge 5.6) Doğu (E), Güney (S) ve Batı (W) yönleri ele alınmıştır. Güneşin konumuna göre cephelere gelen maksimum ve minimum güneş ışıınım değerlerini tespit edebilmek amacıyla, saat 09:00, 12:00, 16:00 iken sırasıyla Doğu, Güney ve Batı yönlerine ait değerler elde edilmiştir. Analizlerde iklim verileri değişken olarak alınmış, kil esaslı cephe kaplama malzemesi, 3m kat yüksekliği, tek çıkışlı hava menfezi, havalandırma boşluk genişliği $d=0,075\text{m}$ ve hava menfez çıkışı $d_{\text{out}}=0,05\text{m}$ gibi cephe sistemine ait özellikler sabit tutulmuştur. Şekil 5.20 güneşin yapı etrafındaki konumunu ifade etmektedir.

Çizelge 5.6. Güneş ışınlamı oranlarının yönler göre değişimi

29 Temmuz Adana	Güneş ışınlamı (W)	Sıcaklık °C	Güneş ışınlamı (W)	Sıcaklık °C	Güneş ışınlamı (W)	Sıcaklık °C
	09.00		13.00		16.00	
Doğu (E)	600	30	190	34	100	32
Güney (S)	220		495		130	
Batı (W)	110		160		710	



Şekil 5.20. Saat 16:00 iken cephelere gelen güneş ışınlamı miktarı

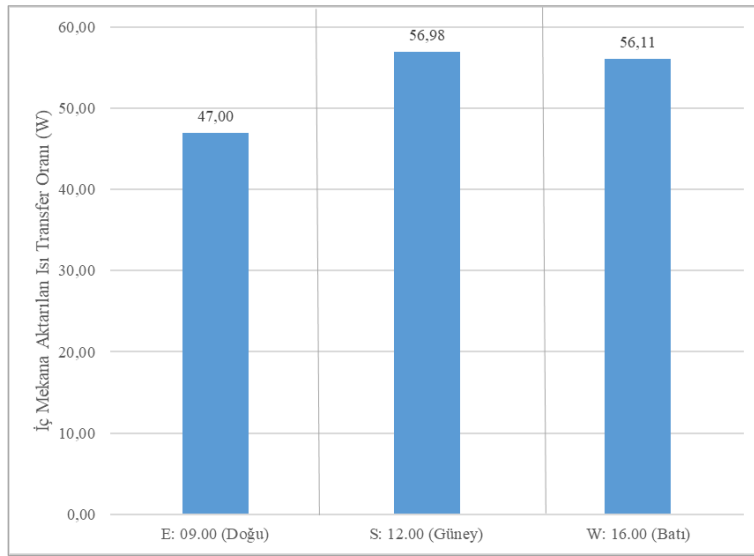
Elde edilen iklim verileri, cephe özellikleri ve analiz sonuçları Çizelge 5.7’de yer almaktadır.

Çizelge 5.7. Doğu-09.00; Güney-12.00; Batı-16.00 yön ve saatlerine ait analiz sonuçları

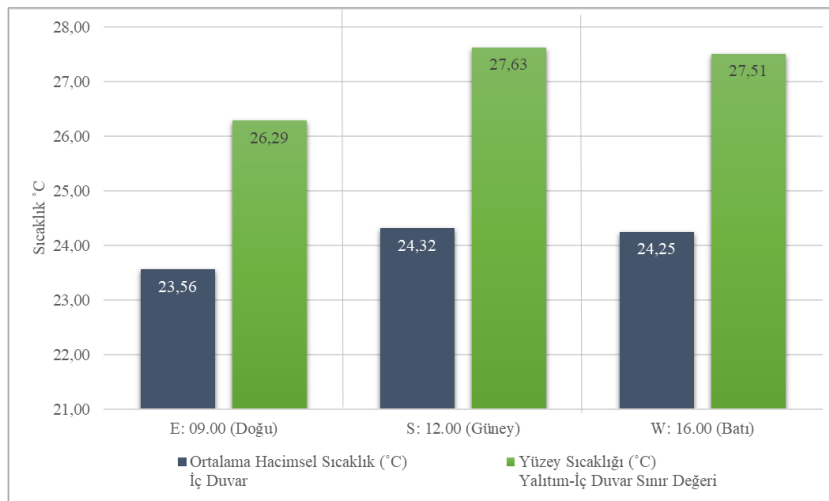
İKLİM PARAMETRELERİ						CEPHE SİSTEMİNİN SABİT ÖZELLİKLERİ				
İl	Cephe Yönü ve Saat	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Güneş Işınımı (w/m ²)	Isı Kaynağı (w/m ³)	Rüzgar Hızı (m/s)	Cephe Kaplama Malzemesi	Havalandırma Boşluk Yüksekliği (H)	Havalandırma Çıkış Menfezi	Havalandırma Boşluk Genişliği (d)	Havalandırma Çıkış Menfezi (dout)
ADANA	09:00 Doğu	30	600	15000	2,8	Kil Tabanlı	3m	Tek Çıkış F1	0,075 m	0,05 m
	12:00 Güney	34	495,8	12395	2,8					
	16:00 Batı	32	710	17750	2,8					
CEPHE SİS. DEĞİŞEN ÖZELLİĞİ		ANALİZ SONUÇLARI								
		Toplam Isı Transfer	Ortalama Hacimsel Sıcaklık (°C)		Yüzey Sıcaklığı (°C)				Hız (m/s)	Yüzey Isı Transfer
					Ağırlıklı Ortalama					
Yön ve Saat		İç Duvar	Yalıtım	İç Duvar	Yalıtım İç Duvar Sınır Değeri	İç Duvar	Yalıtım İç Duvar Sınır Değeri	Cephe Kaplama	Havalandırma Boşluğu	Yalıtım+İç Duvar Sınır Değeri
E: 09.00 (Doğu)		47,00	29,78	23,56	26,29		33,26	83,84	0,65-1,32	0,50
S: 12.00 (Güney)		56,98	31,85	24,32	27,63		34,50	66,91	0-1,95	-1,28
W: 16.00 (Batı)		56,11	31,67	24,25	27,51		35,83	95,00	0,65-1,63	-1,28

Analiz sonuçlarına göre, Şekil 5.21 ve 5.22, üç farklı cephe yönünde (doğu, güney, batı) iç mekana aktarılan ısı transfer oranlarını ve cephe katmanlarının sıcaklıklarını göstermektedir. Şekil 5.23 ise cephe kesitindeki sıcaklık değişimini sunmaktadır. Grafikteki verilere göre, iç mekana aktarılan ısı transfer oranı batı cephesinde yaklaşık 57W, güney cephesinde ise 56

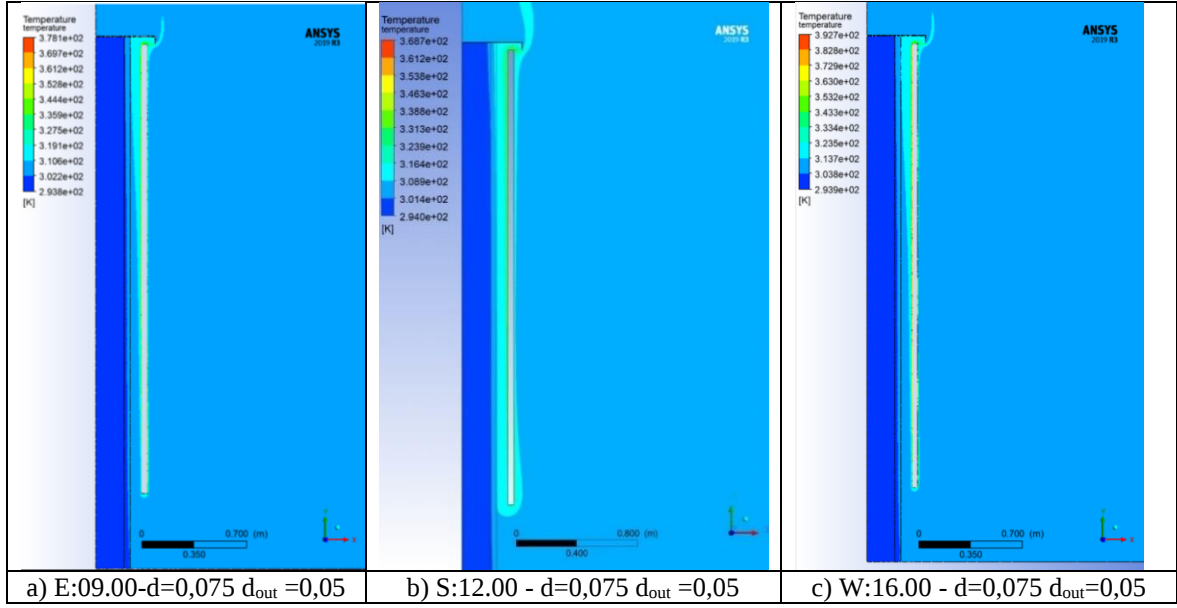
W olarak tespit edilmiştir ve her iki cephe yüksek düzeyde güneş ışınlamına maruz kalmaktadır. Bu iki cephe yönünde, yalıtımın iç duvarla kesiştiği yüzey sıcaklık ortalamaları yaklaşık 27°C 'ye kadar düşürülebilmekte; iç duvarın hacimsel sıcaklığı ise yaklaşık 24°C 'ye kadar düşmektedir. Sabah saatlerinde güneşe maruz kalan doğu cephesi, iç mekana aktardığı ısı transfer oranı 47W ile diğer cephelere göre daha düşük bir değere sahiptir. Yüzey sıcaklığı $26,29^{\circ}\text{C}$, iç duvar hacim sıcaklığı ise $23,56^{\circ}\text{C}$ olup, bu değerler diğer yönlerle kıyasla daha düşük seviyelerde kalmaktadır.



Şekil 5.21. Doğu- Güney ve Batı yönleri ait iç mekana aktarılan ısı transfer oranları

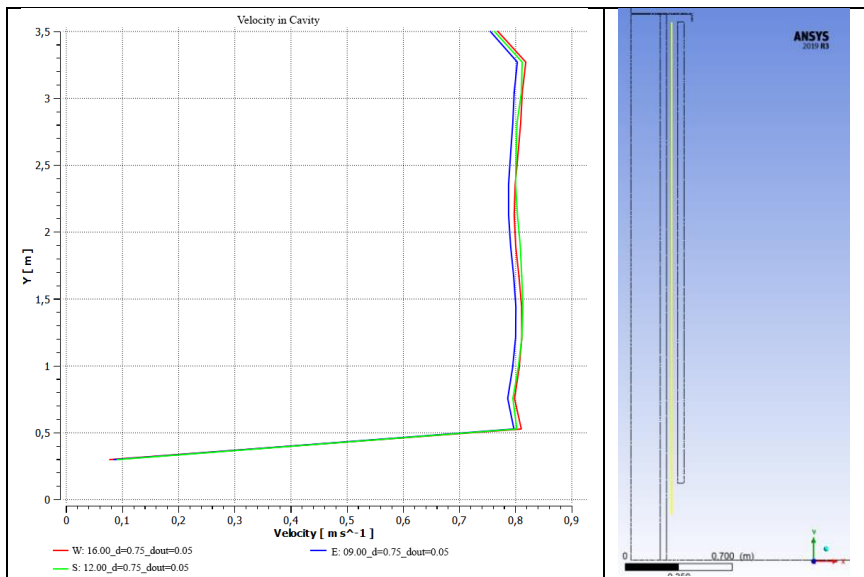


Şekil 5.22. Doğu- Güney ve Batı yönlerine ait cephe sıcaklık grafikleri

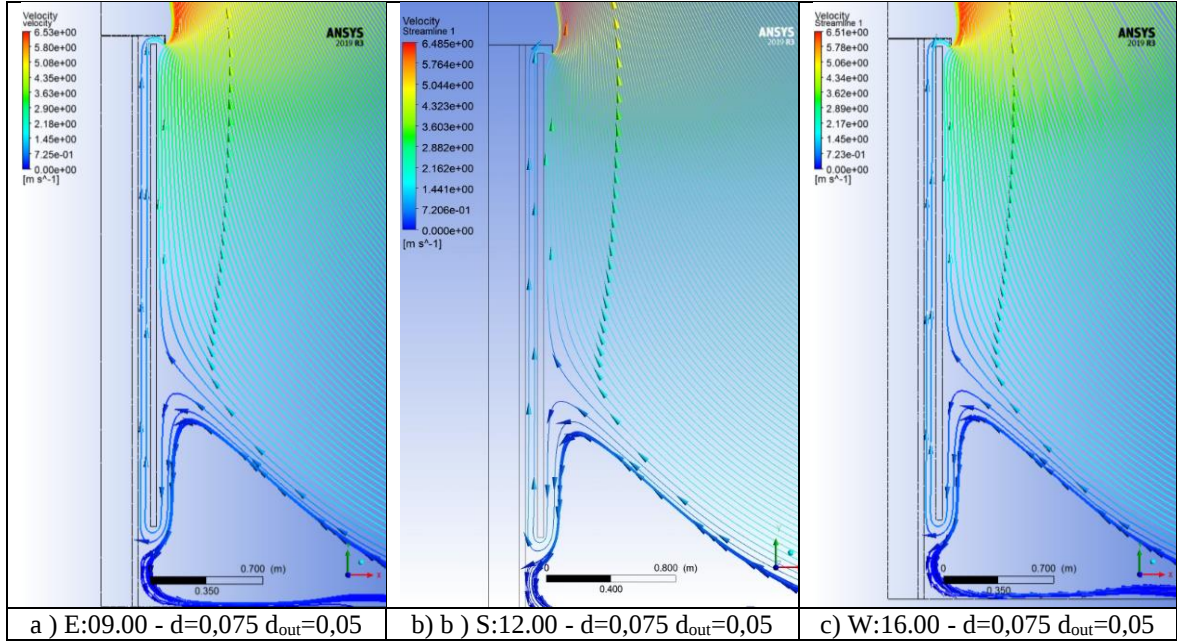


Şekil 5.23. Doğu, Güney ve Batı cephe yönlerine ait sıcaklık dağılımları

Şekil 5.24 ve 5.25'te farklı cephe yönlerine (doğu, güney, batı) göre boşluktaki hava akış hızları (m/s) karşılaştırılmaktadır. Sıcaklık değerleri yönler göre değişmekle birlikte dış ortam rüzgar hızı analizlerde sabit tutulmuştur. Analiz sonuçlarını veren grafikler incelendiğinde, farklı cephe yönlerinde havalandırma boşluğu içindeki hava hızları birbirine oldukça yakındır ve genel olarak benzer bir eğilimdedir. Güney ve batı yönlerindeki hava akış hızları yaklaşık 0,82m/s ile birbirine oldukça benzerken, doğu yönündeki hava akış hızı 0,78m/s olup sadece 0,04m/s'lik küçük bir farkla daha düşük seyretmektedir.



Şekil 5.24. Doğu, Güney ve Batı cephe yönlerine ait hava boşluğundaki akış hızı grafiği



Şekil 5.25. Doğu, Güney ve Batı cephe yönlerine ait hava boşluğundaki akış hızı dağılımı

Genel olarak değerlendirildiğinde, güney ve batı cephelerinden iç mekana aktarılan ısı transferi, doğu cephesine göre yaklaşık 10W daha yüksektir. Bu fark, cephe katman sıcaklıklarına yaklaşık 1,5°C olarak yansımaktadır. Her bir cephe yönü dış ortam ve duvar katmanı sıcaklıklarına göre incelendiğinde, doğu cephede 6,4°C, güney cephede 9,7°C ve batı cephede 7,8°C soğuma sağlanmıştır. Batı cephesinin öğleden sonra yoğun güneş ışınlamına maruz kalması ve güney cephesinin gün boyu en yüksek düzeyde güneş ışınlamı almasına rağmen, en fazla soğuma bu cephelerde gözlemlenmiştir. Bu durum, güneş ışınlamının yoğun olduğu cephelerde havalandırılmalı cephe sisteminin doğal hava akışını artırarak daha fazla soğuma sağladığını göstermektedir.

5.5. Farklı Cephe Kaplama Malzemelerinin Analizi

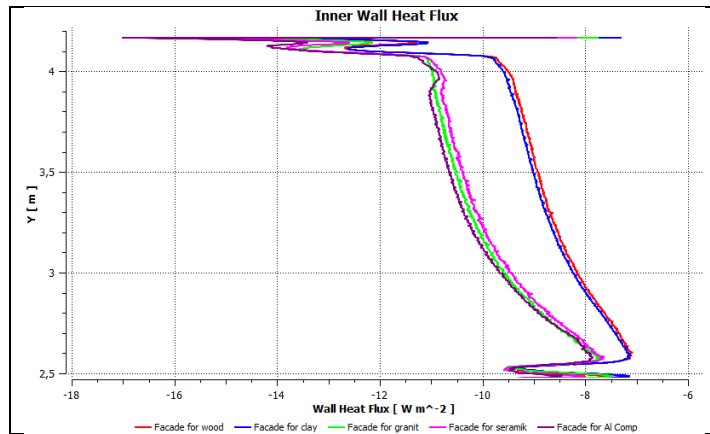
Bu adımda, tasarlanan havalandırılmalı cephe sisteminin aynı iklim koşulları altında cephe kaplama malzemeleri değiştirilerek, malzemelerin ısıl performansa etkisi ve akışkan dinamik olayları araştırılmıştır. Literatür araştırmaları sonucunda en çok kullanılan cephe malzemeleri kil esaslı, ahşap, granit, seramik, alüminyum kompozit olduğu tespit edilmiş ve bu beş tip havalandırılmalı cephe üzerinde çalışmışlardır. Seçilen malzemelerin termofiziksel özellikleri Çizelge 5.8’de yer almaktadır. İncelenen tüm durumlarda, iklim özellikleri, cephe katmanlarından tuğla duvar ve yalıtım katmanı sabit tutulmuş, sadece cephe kaplama

malzemesi değiştirilmiştir. Analiz sonuçları, ısı akışı, sıcaklık ve hız dağılımları ile ilgili grafikler ve görseller üzerinden değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.8. Cephe kaplama malzemelerinin termofiziksel özellikleri (Atem, 2020; Labat, 2012; Stazi, 2014)

Dış Katmanlar	Kalınlık [m]	Yoğunluk ρ [kg/m ³]	Isı Kapasitesi C_p (J/(kg K))	Isıl iletkenlik λ [W/m K]	Emisivity	Solar Abs.
Kil Esaslı	0.028	792	814	0.2	0.85	0.7
Ahşap	0.02	378	1500	0.13	0.86	0.6
Granit	0.03	2600	1000	2.8	0.9	0.6
Seramik	0.015	1600	1000	0.76	0.9	9.6
Alüminyum Kompozit	0.004	980	1500	5.65	0.9	0.6

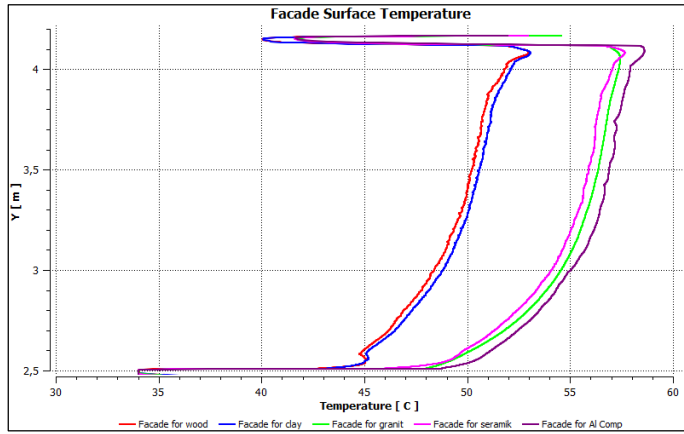
Şekil 5.26’da verilen ısı transfer grafiklerine göre, ahşap ve kil malzemelerinin ısı akışı değerleri yaklaşık 5W/m² arasında, alüminyum kompozit, granit ve seramik malzemelerinin ise 3W/m² arasında değişmektedir. Bu sonuçlar, ahşap ve kil esaslı malzemelerde ısı aktarımının %40 oranında daha düşük olduğunu göstermektedir. Ayrıca, boşluk yüksekliğinin artmasıyla ısı aktarımının da artma eğiliminde olduğu, dolayısıyla sıcaklık seviyelerinin bu alanlarda yükseldiği gözlemlenmektedir.



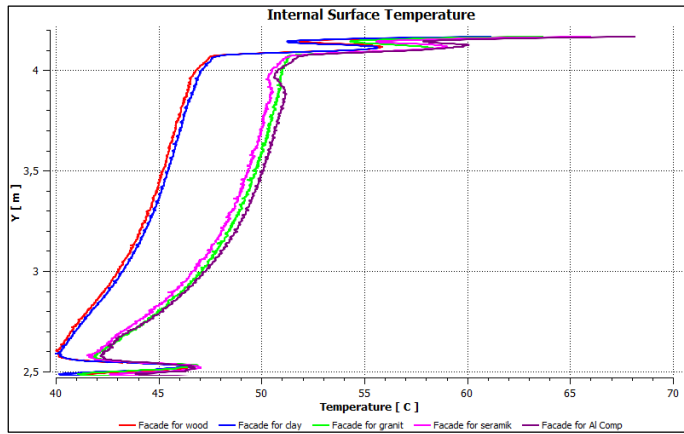
Şekil 5.26. Farklı cephe kaplama malzemelerinin analizi sonucunda elde edilen iç mekâna aktarılan ısı transferi grafiği

Şekil 5.27’deki cephe kaplamaların dış yüzey sıcaklık grafiklerine göre, en yüksek sıcaklıktan en düşüğe doğru sıralandığında; alüminyum kompozit, granit, seramik, kil ve ahşap kaplamalar bulunmaktadır. Ahşap ve kil kaplamaların yüzey sıcaklıkları 45-52°C

aralığında yakın seyretmekteyken, granit, seramik ve alüminyum kompozit kaplamalar 50-58°C aralığında birbirine yakın sonuçlar vermektedir. Cephe kaplamalarının iç yüzey sıcaklıkları incelendiğinde ise (Şekil 5.28), ahşap ve kil kaplamalar 40-48°C aralığında, granit, seramik ve alüminyum kompozit kaplamalar ise 42-51°C aralığında yüzey sıcaklık değerlerine sahiptir. Havalandırma boşluğundaki hava akımı sayesinde cephe kaplamalarının iç yüzey sıcaklıkları 5-8°C oranında azalmaktadır.

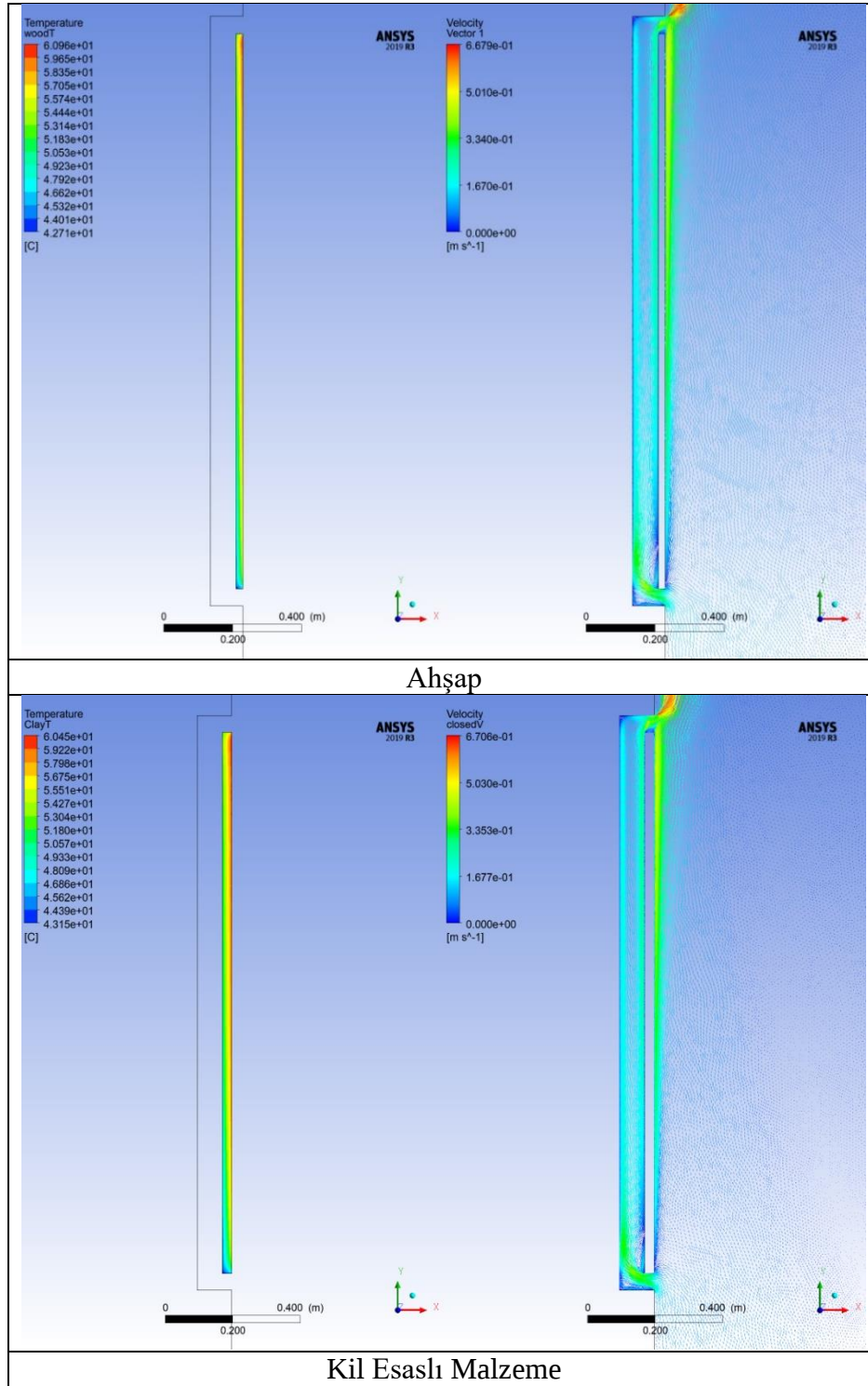


Şekil 5.27. Farklı cephe kaplama malzemelerinin dış yüzey sıcaklık grafikleri

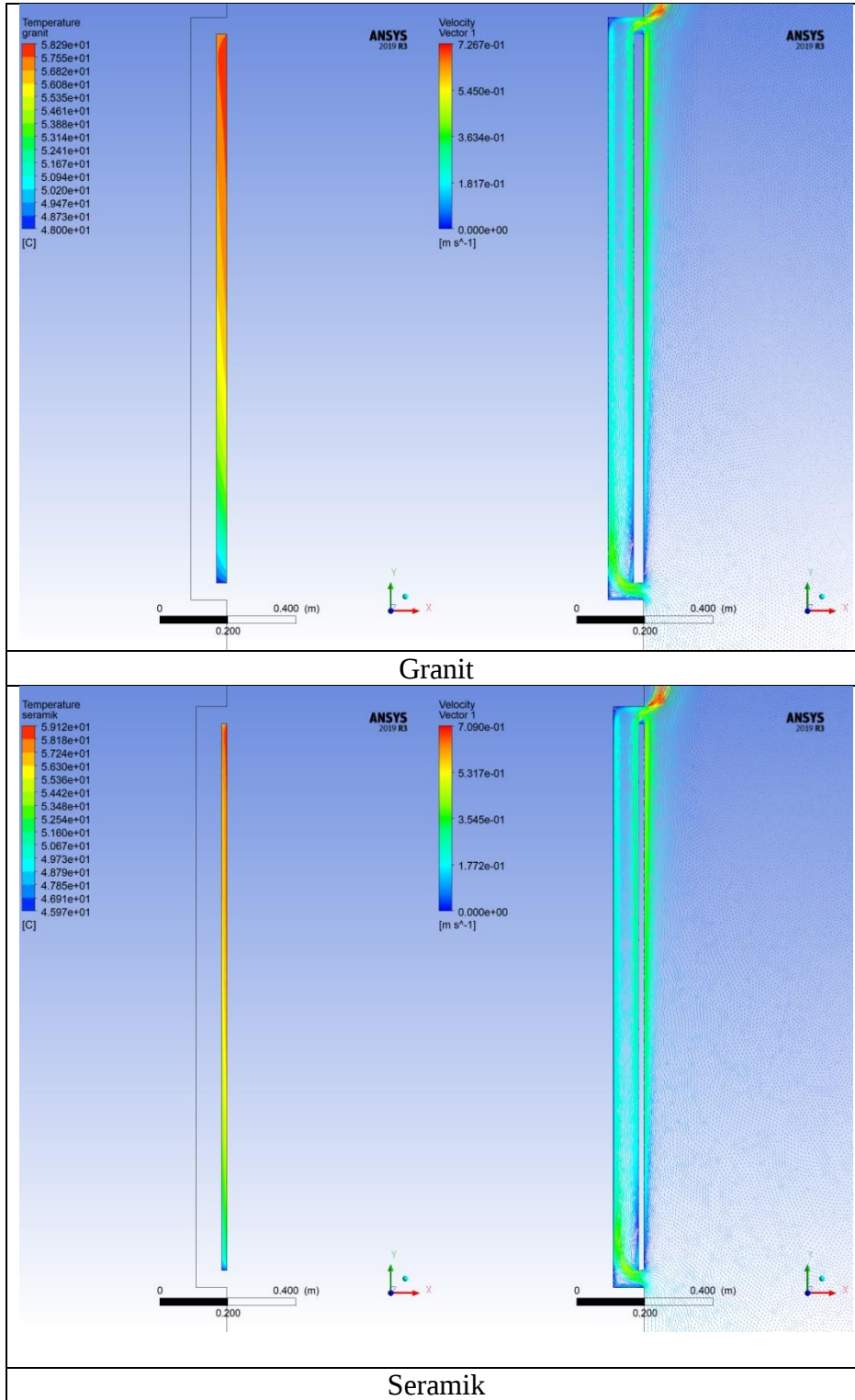


Şekil 5.28. Farklı cephe kaplama malzemelerinin iç yüzey sıcaklık grafikleri

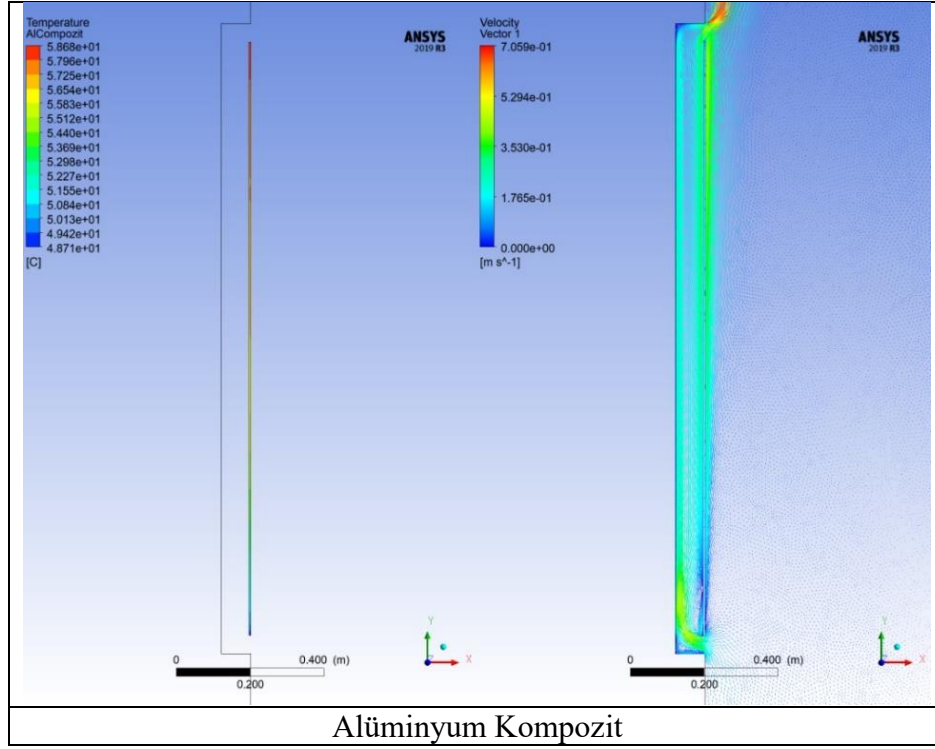
Cephe kaplamalarının sıcaklık değişimleri (Şekil 5.29) incelendiğinde ise, en düşük sıcaklık ortalaması 51.8 °C ile kil esaslı malzemeye ait olup onu sırasıyla en yakın ahşap, seramik, granit ve alüminyum kompozit malzemeleri takip etmektedir.



Şekil 5.29. Farklı cephe kaplama malzemelerinin sıcaklık ve hava akış hızı dağılımları

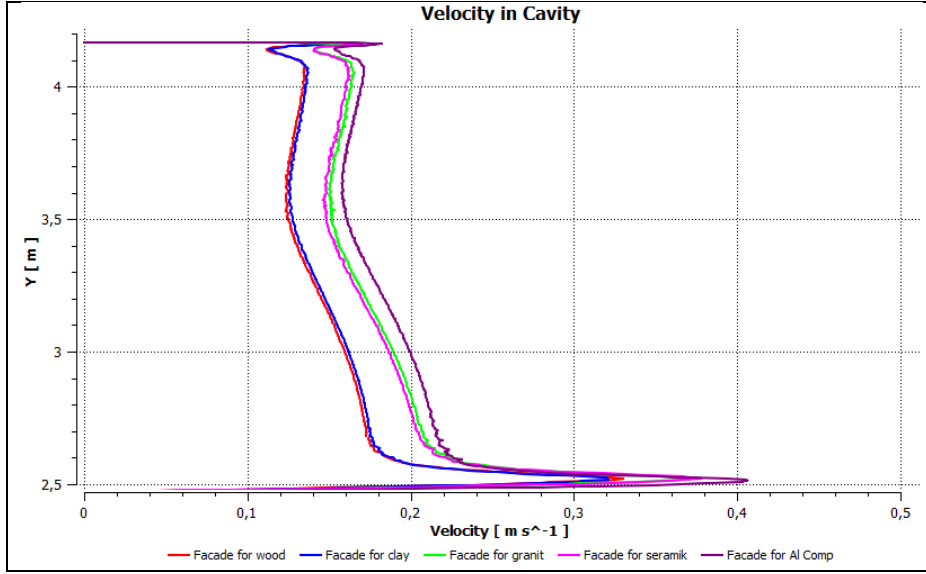


Şekil 5.29. (devam) Farklı cephe kaplama malzemelerinin sıcaklık ve hava akış hızı dağılımları



Şekil 5.29. (devam) Farklı cephe kaplama malzemelerinin sıcaklık ve hava akış hızı dağılımları

Cephelerde hava boşluğu içerisindeki hız grafiği incelendiğinde (Şekil 5.30), alüminyum kompozit, granit ve seramik kaplama malzemelerinde hava boşluğu içindeki hava akış hızının 0,16-0,4m/s aralığında olduğu, kil ve ahşap kaplama malzemelerinde ise 0,12-0,3m/s aralığında seyrettiği görülmektedir. Bu doğrultuda, alüminyum kompozitten ahşaba doğru gidildikçe hızın azaldığı gözlemlenmiştir. Bu kapsamda, ısı akısı ve sıcaklık değerlerinin hava akış hızını etkilediği, ahşap ve kil gibi daha düşük yüzey sıcaklıklarına sahip malzemelerde hava akış hızının diğer malzemelere kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir. Bu sebeplerle çalışma kapsamında kil esaslı cephe kaplama malzemesi seçilmiştir.



Şekil 5.30. Farklı cephe kaplama malzemelerinin hava boşluğundaki ortalama hız grafikleri

Kil tabanlı malzemelerin cephe kaplama malzemesi olarak tercih edilmesini sağlayan diğer olumlu özellikleri şunlardır: Isıl kütleleri sayesinde, bu malzemeler iç mekandaki sıcaklık dengesini korumaya yardımcı olur. Toprak ve doğal malzemelerden üretildikleri için çevre dostudurlar ve sürdürülebilir inşaat uygulamalarına katkı sağlarlar. Kil tabanlı malzemeler, hava koşullarına karşı dayanıklı olup uzun ömürlüdür. Bunun yanı sıra, Türkiye'de yaygın olarak bulunabilen ve kolay erişilebilen bu malzemelerdir.

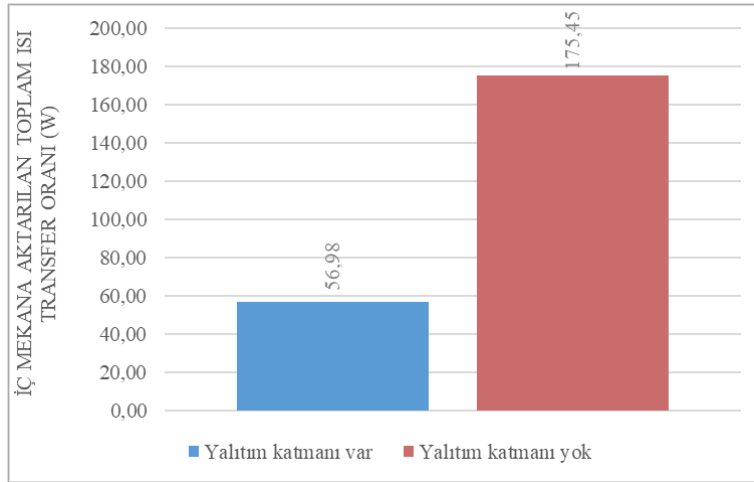
5.6. Havalandırılmalı Cephe Sisteminin Yalıtımlı ve Yalıtımsız Tiplerinin Karşılaştırılması

Bu bölümde, sistemin yalıtım katmanı olmaması durumuyla yalıtım katmanının var olduğu durum karşılaştırılmıştır (Çizelge 5.9). Amaç, yalıtım katmanı bulunmadığında sistemin iç mekana ne kadar ısı aktardığını ve her bir katmanın sıcaklık üzerinde ne düzeyde katkı sağladığını belirlemektir. Bu analiz, yalıtım katmanının iç mekan konforuna ve enerji verimliliğine olan etkisini daha net bir şekilde ortaya koymayı hedeflemektedir. Analizlerde, iklim özellikleri, kil esaslı cephe kaplama malzemesi, 3m kat yüksekliği, tek çıkışlı hava menfezi, havalandırma boşluk genişliği $d=0,075m$ ve hava menfez çıkışı $d_{out}=0,05m$ gibi cephe sistemine ait özellikler sabit tutulmuştur. Sadece yalıtım katmanı değişken alınmıştır.

Çizelge 5.9. Havalandırmalı cephe sisteminin yalıtımlı ve yalıtımsız tiplerinin analizi

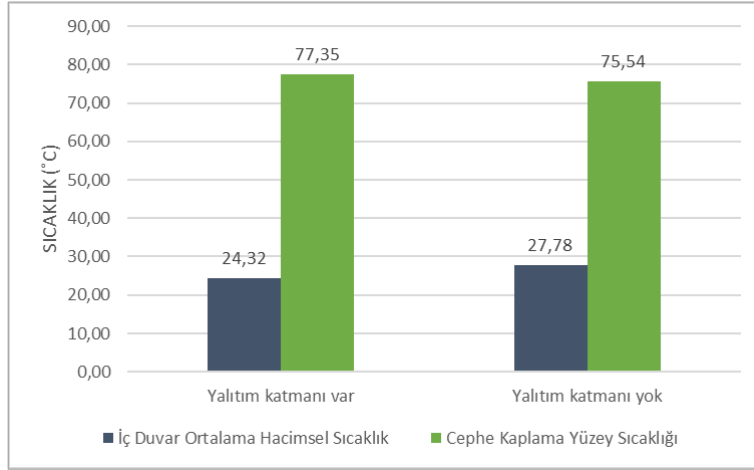
İKLİM PARAMETRELERİ					CEPHE SİSTEMİNİN SABİT ÖZELLİKLERİ					
İl	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Güneş Işınımı (w/m²)	Isı Kaynağı (w/m³)	Rüzgar Hızı (m/s)	Cephe Kaplama Malzemesi	Havalandırma Boşluk Yüksekliği (H)	Havalandırma Çıkış Menfezi	Havalandırma Boşluğunun Derinliği (d)	Havalandırma Çıkış Yüksekliği (dout)	
Adana	34	495,8	12395,00	2,8	Kil Esaslı	3m	Tek çıkış	0,075 m	0,05 m	
CEPHE SİSTEMİNİN DEĞİŞEN ÖZELLİĞİ	ANALİZ SONUÇLARI									
	Toplam Isı Transfer	Ortalama Hacimsel Sıcaklık (°C)		Yüzey Sıcaklığı (°C)				Hız (m/s)	Yüzey Isı Transfer	
				Min+max		Ağırlıklı Ortalama				Min + Max
	İç Duvar	Yalıtım	İç Duvar	Yalıtım İç Duvar Sınır Değeri	İç Duvar	Yalıtım İç Duvar Sınır Değeri	Cephe Kaplama	Havalandırma Boşluğu	Yalıtım+İç Duvar Sınır Değeri	
	Yalıtım Var	56,98	31,854	24,32	26,16-29,12	20,82-21,28	27,63	77,35	0-1,95	-1,28
	Yalıtım Yok	175,45	*	27,78	*	22,37-23,52	*	75,54	0-1,91	*

Şekil 5.31’de verilen grafiğe göre, iç mekana aktarılan ısı transfer oranları kıyaslandığında, yalıtım katmanı mevcutken 57W, yalıtım katmanı yokken ise 175W ısı transferi gerçekleşmiştir. Bu oranın katman sıcaklıklarına etkisini incelemek için Şekil 5.32 ve Şekil 5.33’e bakıldığında, iç duvar hacimsel sıcaklık ortalamalarının yalıtım katmanı varken 24,3°C, yalıtım katmanı yokken ise 27,8°C’ye yükseldiği görülmektedir.

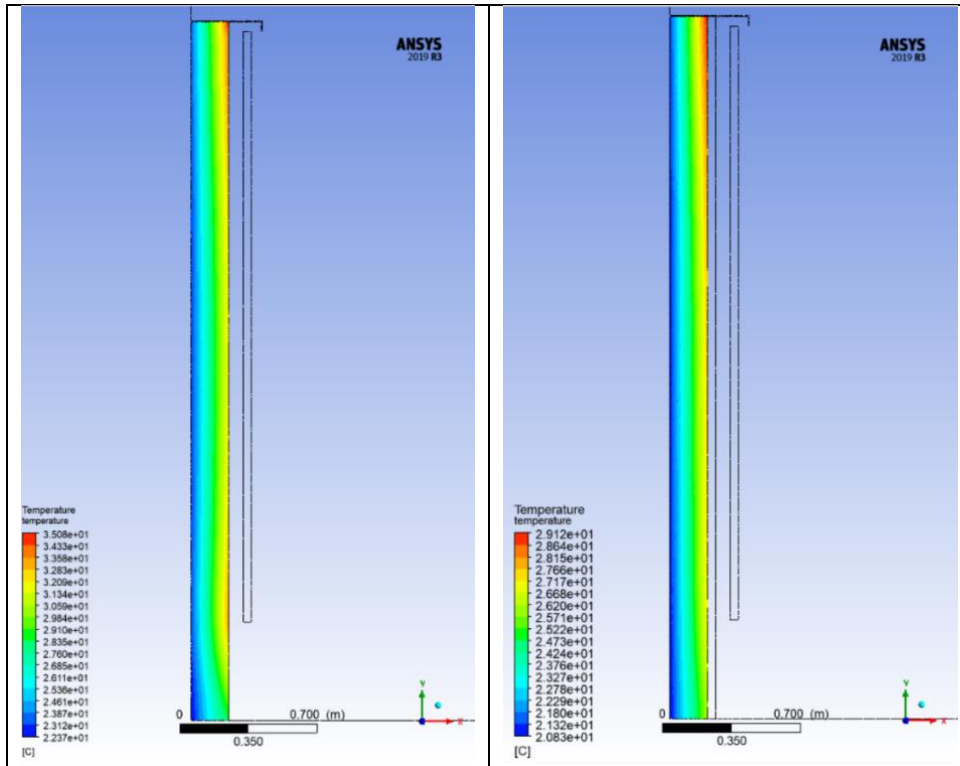


Şekil 5.31. Yalıtımlı ve yalıtımsız cephe tiplerinin iç mekana aktarılan ısı transfer oranları

Özetle, elde edilen verilere göre, yalıtım katmanı bulunan durumda 9,7 °C’lik bir soğuma sağlanırken, yalıtım katmanı olmayan durumda ise 6,2 °C’lik bir soğuma sağlanmıştır. Bu sonuçlar, yalıtım katmanı olmasa bile havalandırmalı sistem sayesinde cephe katmanlarının dış ortam sıcaklığına (34°C) kıyasla 6,2 °C’lik bir soğutulabildiğini göstermektedir.

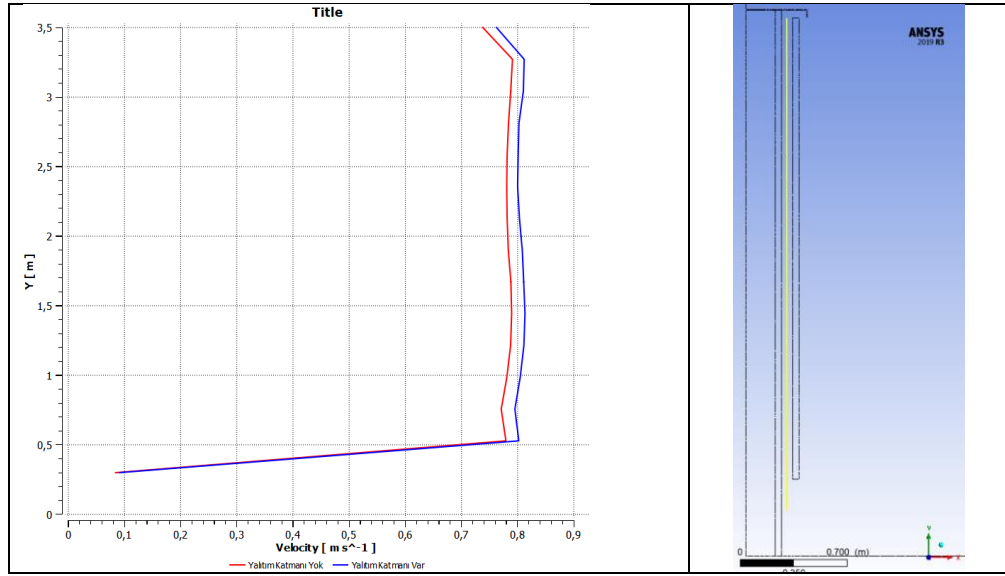


Şekil 5.32. Yalıtımlı ve yalıtımsız cephe tiplerinin sıcaklık grafikleri

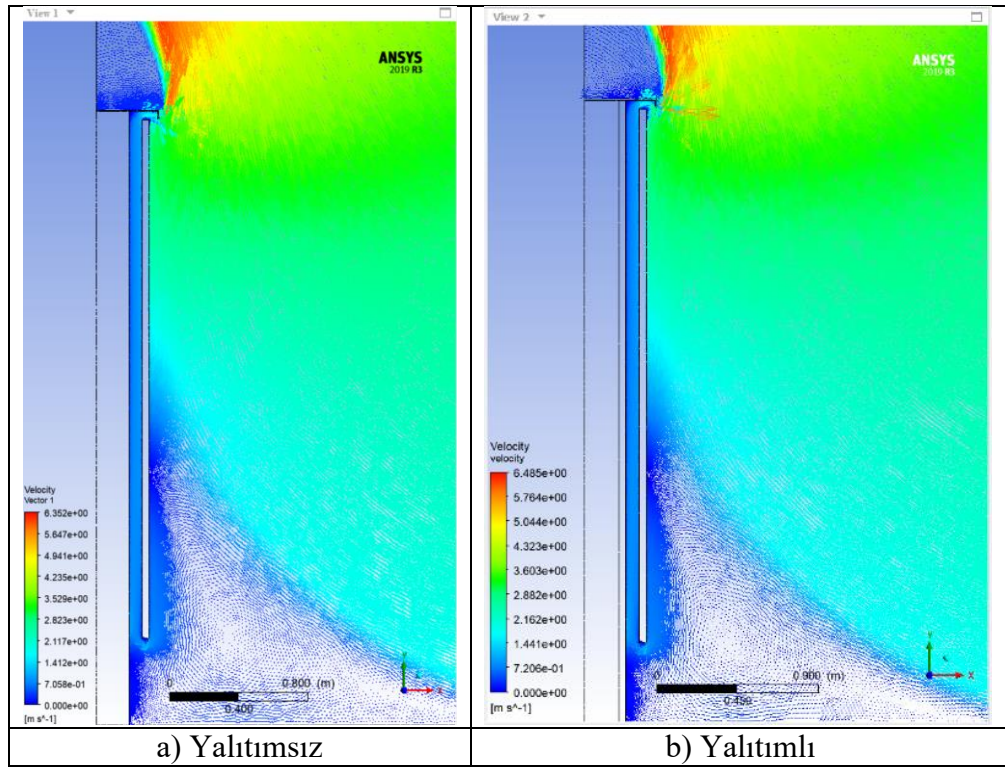


Şekil 5.33. Yalıtımsız ve yalıtımlı katmanlı havalandırılmalı cephe sisteminde iç duvar sıcaklık dağılımları

Şekil 5.34 ve Şekil 5.35'te verilen cephe sistemlerinin boşluk içindeki hız grafiklerine bakıldığında, değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Yalıtım katmanı bulunan durumda hız 0,8m/s, yalıtım katmanı bulunmayan durumda ise 0,76m/s olarak ölçülmüştür. Aralarındaki fark yalnızca 0,04m/s olup, bu farkın anlamlı bir değişim yaratmadığı söylenebilir.



Şekil 5.34. Yalıtımsız ve yalıtımlı havalandırılmalı cephe sisteminde hava boşluğundaki akış hızı.



Şekil 5.35. Yalıtımsız ve yalıtımlı opak havalandırılmalı cephenin sistemine ait rüzgâr hızı dağılımları

5.7. Kil Esaslı Cephe Sisteminin Açık ve Kapalı Derzli Modeli

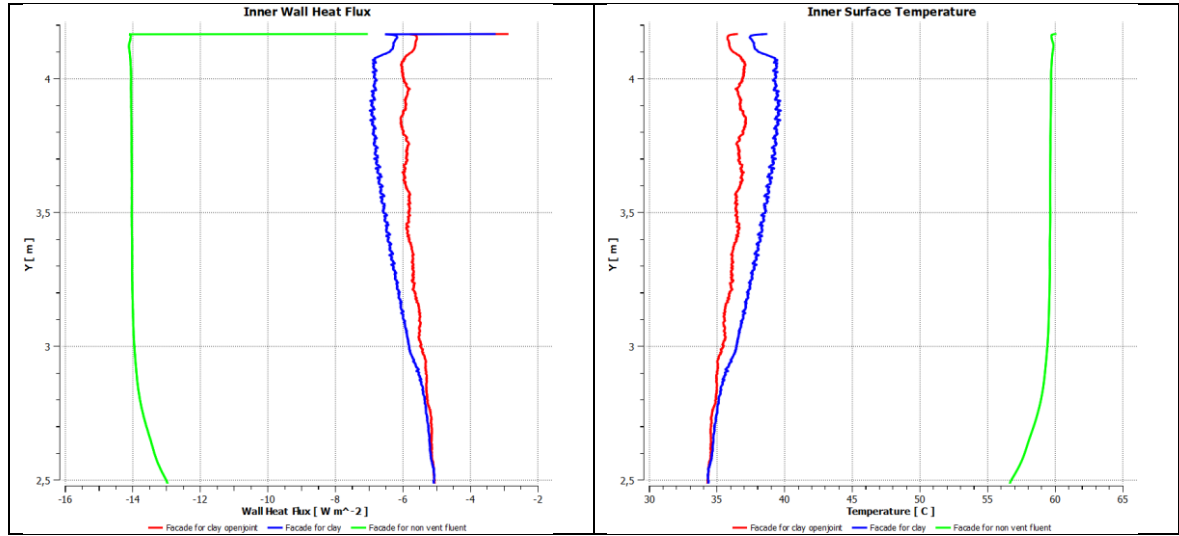
Bu bölümde, önerilen havalandırılmalı cephe sisteminin havalandırmasız (K1), kapalı derzli (K2) ve açık derzli (K3) olmak üzere üç farklı tipi modellenmiş; kaplama tiplerinin ısı

performans ve akışkan dinamiklerine etkisi araştırılmıştır. Kil esaslı cephe kaplama malzemesinde her bir karo, 206,7 mm yükseklik olarak belirlenmiştir. Karolar arası mesafe K2 için sızdırmaz ve K3 için 10 mm olarak kabul edilmiştir. İklim koşulları, cephe sistemine ait özellikler olan 0,04 m kalınlığında taş yünü yalıtım tabakası, tuğla duvardan yapılmış iç duvar ve 3 m kat yüksekliği sabit tutulmuştur. Bu analizler, hem tek çıkışlı (F1) hem de çift çıkışlı (F2) hava menfezi için ayrı ayrı yapılmıştır. Analiz sonuçları, ısı transfer, sıcaklık ve hız grafiklerine göre değerlendirilmiştir.

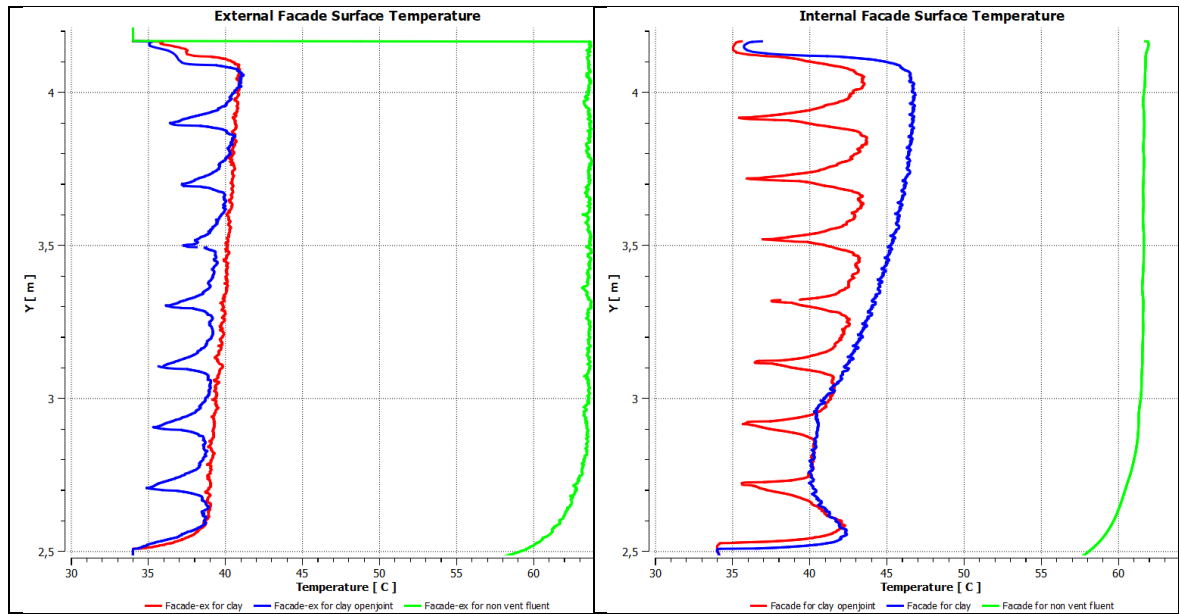
5.7.1. F1 Cephe sisteminin açık ve kapalı derzli modeli

F1 tek çıkışlı hava menfezine sahip cephe için K1, K2 ve K3 cephe tiplerinde gerçekleştirilen analizlerin sonuçları, iç duvar ısı akısı ve yalıtım yüzey sıcaklık değişimlerini gösteren grafikler (Şekil 5.36) ile sunulmaktadır Aynı termofiziksel özelliklere sahip bu üç cephe tipinin ısı akısı grafikleri incelendiğinde, K1’de yaklaşık $14,6\text{W/m}^2$, K2’de $6,13\text{W/m}^2$ ve K3’te $5,6\text{W/m}^2$ aralıklarında olduğu ve en düşük ısı transferinin K3 açık derzli cephe sisteminde gerçekleştiği görülmektedir. Yalıtımın hava ile temas eden yüzey sıcaklıkları incelendiğinde ise K1 için $57\text{-}60^\circ\text{C}$, K2 için $34\text{-}39^\circ\text{C}$ ve K3 için $34\text{-}37^\circ\text{C}$ aralıklarında olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, K3 açık derzli havalandırmalı cephe sistemi, K2 kapalı derzli havalandırmalı cepheye kıyasla 2°C , K1 havalandırmasız cepheye kıyasla ise 23°C daha fazla soğuma sağlamaktadır.

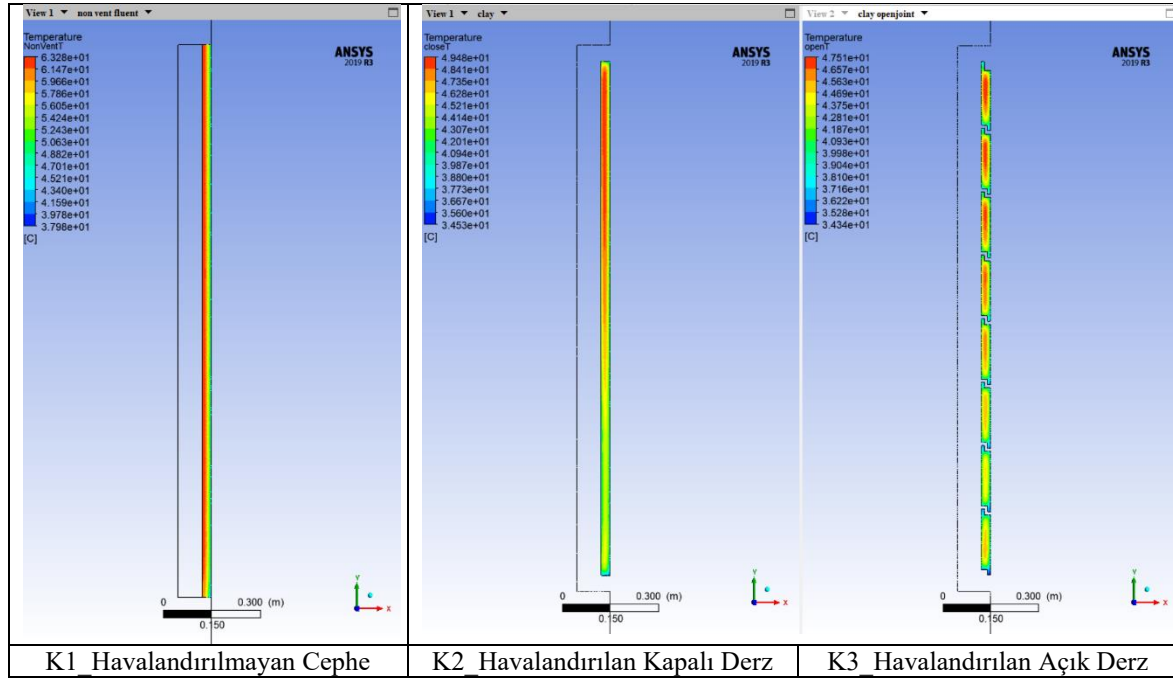
F1 cephe tipi için, K1, K2 ve K3 cephelerinin kaplama dış yüzey sıcaklık değerleri incelendiğinde (Şekil 5.37), K1’in $58\text{-}64^\circ\text{C}$, K2’nin $34\text{-}41^\circ\text{C}$ ve K3’ün $34\text{-}37^\circ\text{C}$ aralıklarında olduğu görülmektedir. Kaplamanın iç yüzey sıcaklık değerleri incelendiğinde (Şekil 5.37), K1’in $58\text{-}62^\circ\text{C}$, K2’nin $34\text{-}47^\circ\text{C}$ ve K3’ün $34\text{-}43^\circ\text{C}$ aralıklarında olduğu gözlemlenmiştir. Önerilen havalandırmalı cephe sisteminde, alt kısımdaki menfezden içeriye giren dış hava sıcaklığı, doğrudan güneş ışınlımla ısınan dış katman ve bu katmandan gelen ışınlımla ısınan iç duvardan daha düşük seviyelerdedir. Bu durum, hava boşluğunun her iki yüzeyinden alınan ısı ile hava sıcaklığının yükselmesine ve buna bağlı olarak boşluktaki hava hızının artmasına neden olmaktadır. Şekil 5.38’de, üç cephe tipinin kaplama yüzeylerindeki sıcaklık değişimleri gösterilmektedir.



Şekil 5.36. F1 tek çıkışlı menfez_ K2 kapalı derzli ve K3 açık derzli cephe kaplamalarının iç mekana aktarılan ısı akış ve yüzey sıcaklık grafikleri



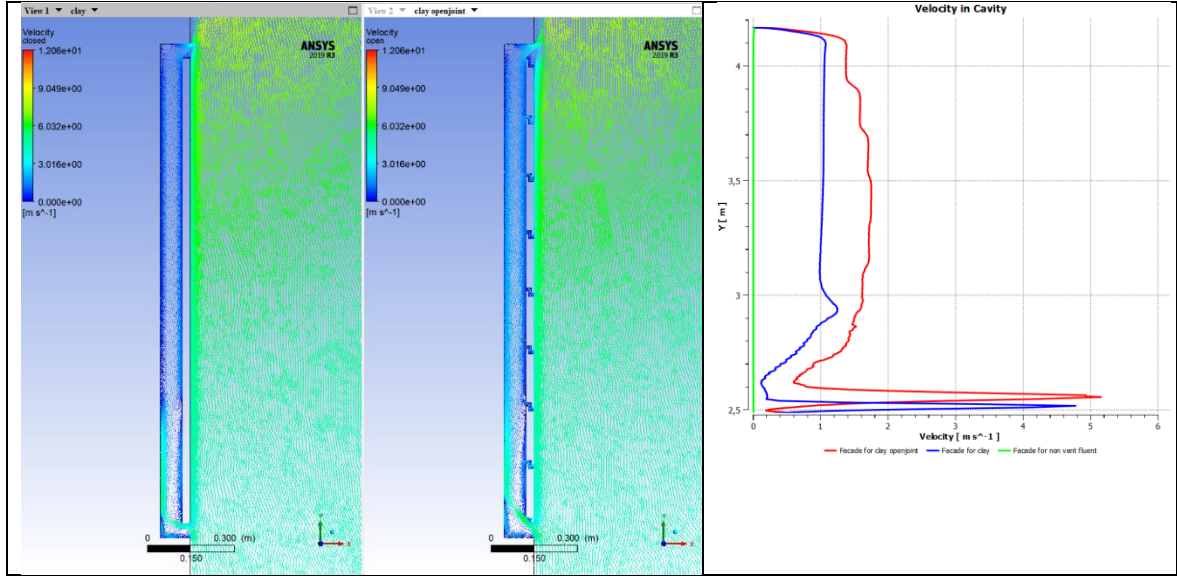
Şekil 5.37. F1 tek çıkışlı menfez_ K2 kapalı derzli ve K3 açık derzli cephe kaplamalarının yüzey sıcaklık grafikleri



Şekil 5.38. F1 tek çıkışlı menfez_ K2 kapalı derzli ve K3 açık derzli cephe kaplamalarının sıcaklık dağılımları

Cepheye gelen güneş ışıınımı kaplama yüzeyinin ve boşluktaki hava sıcaklığının artmasına yol açarak, boşluk içinde bir kaldırma kuvveti ve buna bağlı bir akış meydana getirir. Şekil 5.39’da gösterildiği gibi, her iki durumda da hava esas olarak alt menfezden ve derzlerden boşluğa girip üst derzler ve çıkış menfezinden çıkmaktadır. Açık derzli cephe sisteminde ortalama rüzgar hızının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Boşluk içindeki hava hızı değişken olup, belirli aralıklarla artış ve azalış göstererek ilerlemektedir. Cephe sistemleri kıyaslandığında, F1 cephesi için K3 açık derzli cephede, havalandırma boşluğu içindeki ortalama hava hızı yaklaşık 0,8m/s daha yüksek elde edilmiştir.

Ek olarak, açık derzli cephe sisteminde hava geçişleri incelendiğinde (Şekil 5.39), cephenin orta noktasına kadar olan derzlerden hava girişi gerçekleşirken, orta noktadan sonra derzlerden havanın çıkış yönünde hareket ettiği gözlemlenmektedir. Bu durum, açık derzli cephenin üst bölgelerinde, kapalı derzli cepheye kıyasla iç duvarda yaklaşık 2°C cephe kaplamada yaklaşık 4°C daha fazla soğutma sağlanabilmektedir.



Şekil 5.39. F1_kapalı ve F2_açık derzli cephe kaplamalarına ait hız dağılım ve grafikleri

Özetle, üç cephe tipinin iç mekana aktarılan ortalama ısı transfer değerleri üzerinden denklem.1 kullanılarak yapılan kıyaslamada, hava almayan K1 sistemine kıyasla havalandırmalı ve kapalı derzli K2 cephe, %58 oranında daha az ısı transferi gerçekleştirmiştir. Açık derzli K3 cephe ise, %61 oranında daha düşük ısı transferi sağlamaktadır. Bu durumda, K3 cephe sistemi, K2'ye göre %8 oranında daha az ısı transfer etmektedir; bu farkın sıcaklık açısından karşılığı ise yaklaşık 2°C olarak belirlenmiştir.

Enerji Tasarruf Oranı (Verim):

$$\eta = \frac{Q_{F1} - Q_{F2}}{Q_{F1}} \quad (5.1)$$

Analiz sonuçlarına göre F1 cephesi için:

K1'in K2'ye oranı:

$$\eta = \frac{14,6 \frac{W}{m^2} - 6,13 \frac{W}{m^2}}{14,6 \frac{W}{m^2}}$$

$$\eta = \%58$$

K1'nin K3'e oranı:

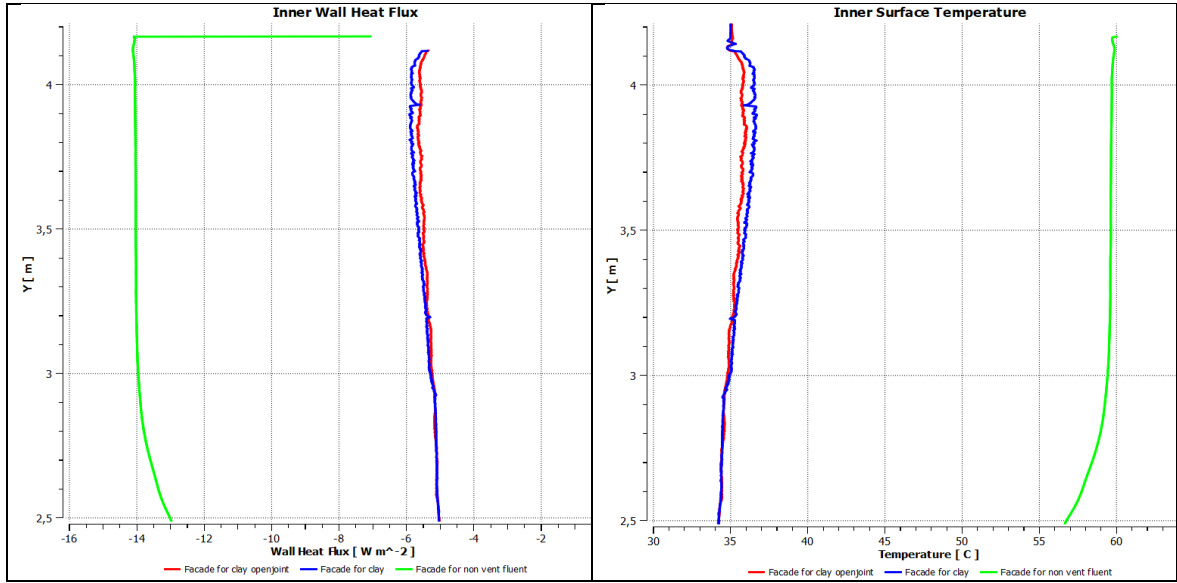
$$\eta = \frac{14,6 \frac{W}{m^2} - 5,6 \frac{W}{m^2}}{14,6 \frac{W}{m^2}}$$

$$\eta = \%61$$

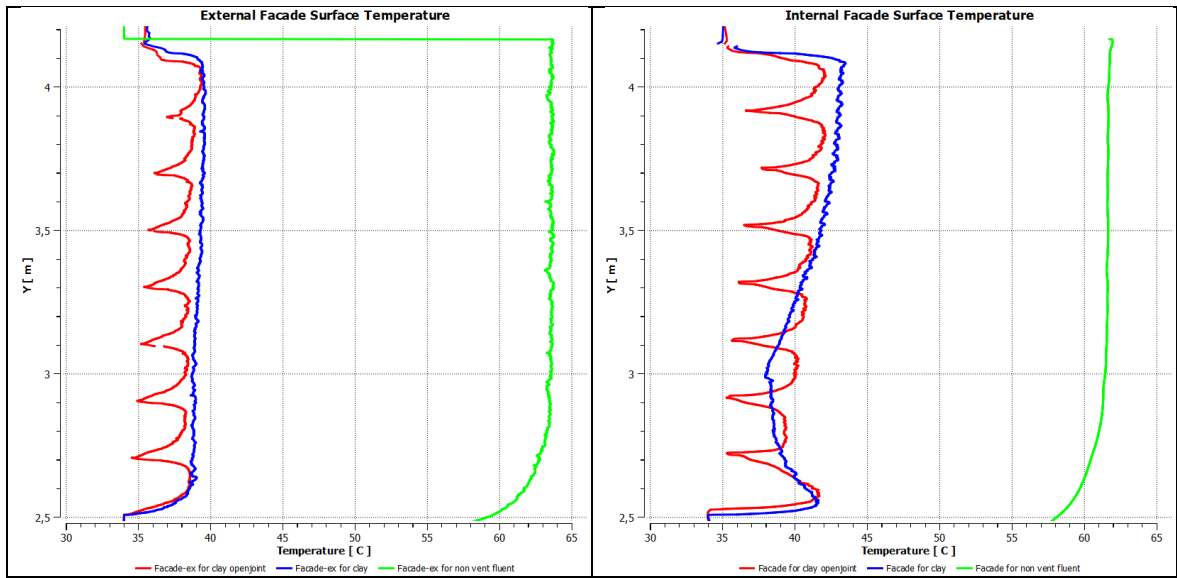
5.7.2. F2 Cephe sisteminin açık ve kapalı derzli modeli

F2 çift çıkışlı hava menfezine sahip cephe için K1, K2 ve K3 cephe tiplerinde gerçekleştirilen analizlerin sonuçları, iç duvar ısı akısı ve yalıtım yüzey sıcaklık değişimlerini gösteren grafikler (Şekil 5.40) ile sunulmaktadır. Aynı termofiziksel özelliklere sahip bu üç cephe tipinin ısı akısı grafikleri incelendiğinde, ısı akısı değerlerinin K1 için $14,6\text{W/m}^2$, K2 için $5,31\text{W/m}^2$ ve K3 için $5,2\text{W/m}^2$ olduğu görülmektedir. En düşük ısı transferi, K3 açık derzli cephe sisteminde gerçekleşmiştir. Yalıtımın hava ile temas eden yüzey sıcaklıkları incelendiğinde ise K1 için $57\text{-}60^\circ\text{C}$, K2 için $34\text{-}37^\circ\text{C}$, ve K3 için $34\text{-}36^\circ\text{C}$ aralıklarında olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, K3 açık derzli havalandırılmalı cephe sistemi, K2 kapalı derzli havalandırılmalı cepheye kıyasla 1°C , K1 havalandırmasız cepheye kıyasla ise 23°C daha fazla soğuma sağlamaktadır. F2 sisteminde açık ve kapalı derzli cephe tiplerinin sıcaklık verileri F1'e göre daha az olduğu görülmektedir.

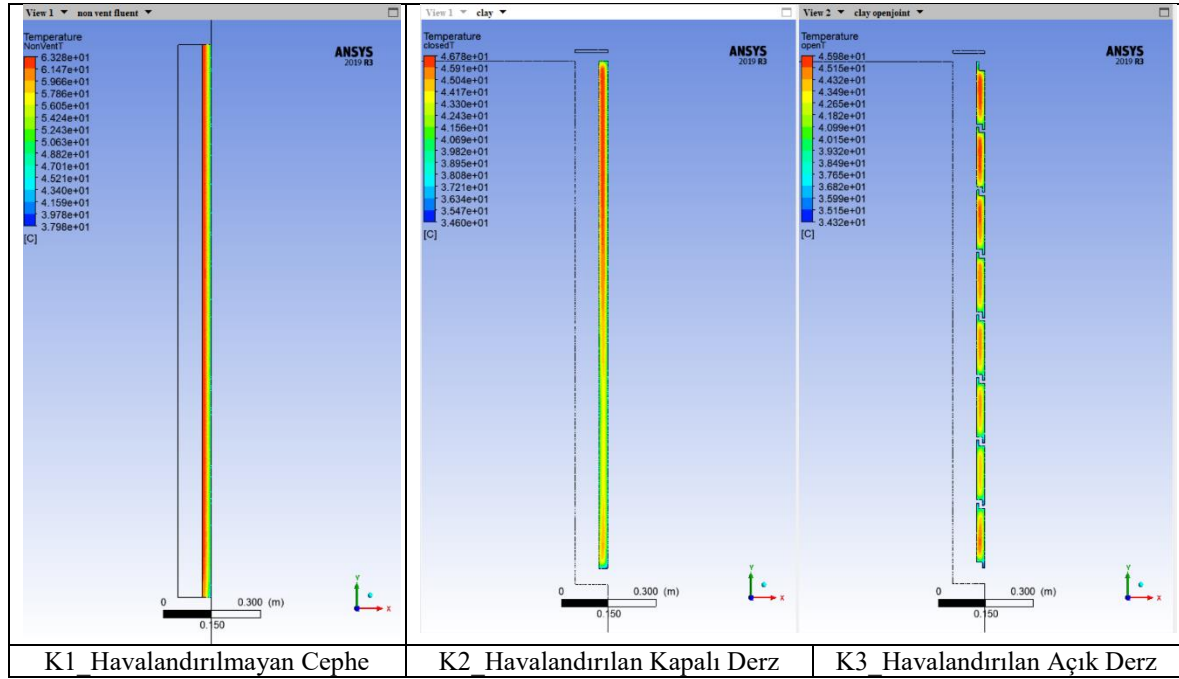
F2 cephe tipi için, K1, K2 ve K3 cephelerinin kaplama dış yüzey sıcaklık değerleri incelendiğinde (Şekil 5.41.a), K1'in $58\text{-}63^\circ\text{C}$, K2'nin $34\text{-}39^\circ\text{C}$ ve K3'ün $34\text{-}38^\circ\text{C}$ aralıklarında olduğu görülmektedir. Kaplamanın iç yüzey sıcaklık değerleri incelendiğinde ise (Şekil 5.41.b), K1'in $58\text{-}62^\circ\text{C}$, K2'nin $34\text{-}43^\circ\text{C}$ ve K3'ün $34\text{-}42^\circ\text{C}$ aralıklarında olduğu belirlenmiştir. Önerilen havalandırılmalı cephe sisteminde, alt kısımdaki menfezden boşluğa giren dış hava sıcaklığı, doğrudan güneş ışıınımı ile ısınan dış katmandan ve bu katmandan gelen ışıınım ile ısınan iç duvardan daha düşüktür. Bu durum, her iki duvardan da ısıyı alarak yükselen bir havalandırma etkisi oluşturmaktadır. Şekil 5.42'de, üç cephe tipinin kaplama yüzeylerindeki sıcaklık değişimleri gösterilmektedir.



Şekil 5.40. F2 Cephesi_K2 kapalı ve K3 açık derzli cephe kaplamaları iç duvar ısı akısı ve yüzey sıcaklık grafikleri

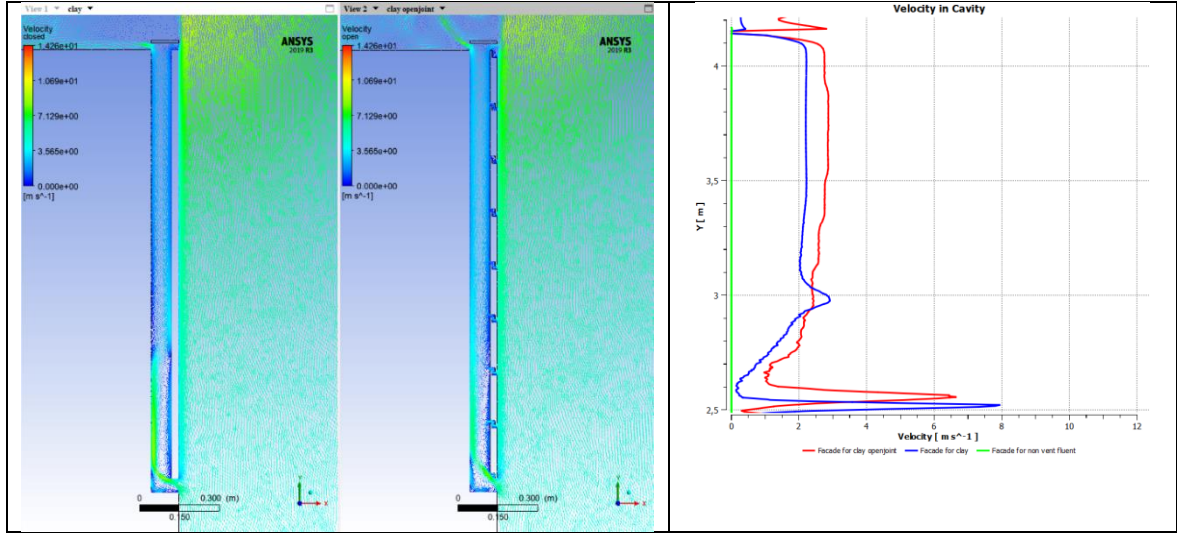


Şekil 5.41. F2_Kapalı ve açık derzli cephe kaplamalarının yüzey sıcaklık grafikleri



Şekil 5.42. F2 Cephesi_K2 kapalı ve K3 açık derzli cephe kaplamalarının sıcaklık dağılımları

Cepheye gelen güneş ışıınımı kaplama yüzeyinin ve boşluktaki hava sıcaklığının artmasına yol açarak, boşluk içinde bir kaldırma kuvveti ve buna bağlı bir akış meydana getirir. Şekil 5.43'te gösterildiği gibi, her iki durumda da hava esas olarak alt menfezden ve derzlerden boşluğa girip üst derzler ve çıkış menfezinden çıkmaktadır. Boşluk içindeki hava hızı değişken olup, belirli aralıklarla artış ve azalış göstererek ilerlemektedir. Cephe sistemleri kıyaslandığında, F2 cephesi için K3 açık derzli cephede, havalandırma boşluğu içindeki ortalama hava hızı yaklaşık 1 m/s daha yüksek elde edilmiştir. Ayrıca, F2 cephesinin hava boşluğu içerisindeki hız ortalaması da bir önceki bölümde verilen F1 cephesinin hava boşlundaki hızından yaklaşık 1 m/s oranında daha yüksektir.



Şekil 5.43. F2 Cephesi_K2 kapalı ve K3 açık derzli cephe kaplamalarının hava boşluğundaki akış hızı dağılım ve grafikleri

Özetle, üç cephe tipinin iç mekana aktarılan ortalama ısı transfer değerleri üzerinden yapılan kıyaslamada, hava almayan K1 sistemine kıyasla havalandırmalı ve kapalı derzli K2 cephe, %63 oranında daha az ısı transferi gerçekleştirmiştir. Açık derzli K3 cephe ise, %64 oranında daha düşük ısı transferi sağlamaktadır. Bu durumda, K3 cephe sistemi, K2'ye göre %2 oranında daha az ısı transfer etmektedir; bu farkın sıcaklık açısından karşılığı ise yaklaşık 1°C olarak belirlenmiştir.

Analiz sonuçlarına göre F2 cephesi için:

K1'in K2'ye oranı:

$$\eta = \frac{14,6 \frac{W}{m^2} - 5,31 \frac{W}{m^2}}{14,6 \frac{W}{m^2}}$$

$$\eta = \%63$$

K1'nin K3'e oranı:

$$\eta = \frac{14,6 \frac{W}{m^2} - 5,2 \frac{W}{m^2}}{14,6 \frac{W}{m^2}}$$

$$\eta = \%64$$

Bu bölümde elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, kapalı derzli havalandırmalı bir cephe sisteminde F1 ve F2 tipleri arasında iç mekana aktarılan ısı transfer oranları karşılaştırıldığında, F2 tipinin %13 oranında iç mekana daha az ısı transferi sağladığı tespit edilmiştir. Açık derzli F1 ve F2 tipleri kıyaslandığında ise %7 oranında iç mekana daha az ısı transferi sağlanarak soğutma yükünün azaltılmasına katkı sağladığı görülmüştür.

Bu bölümde F1 ve F2 cephe tiplerinde kil esaslı cephe kaplama için, bu malzemenin yatay derzlerin kapalı ve açık olma durumları modellenmiş olup derz tiplerinin ısı performans etkisi incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre: F1 ve F2 cephelerinde iç mekâna aktarılan ısı transfer oranları karşılaştırıldığında, açık derzli (K3) cephe tipi, kapalı derzli (K2) cephe tipine göre F1'de %8, F2'de ise %2 daha az ısı transferi gerçekleştirmiştir. Isı transferindeki bu azalma doğrultusunda, K3 tipi cephede yalıtımın hava ile temas eden yüzey sıcaklıklarının K2'ye kıyasla F1'de 2°C, F2'de ise 1°C daha düşük olduğu; cephe kaplama yüzey sıcaklıklarının ise F1'de 4°C, F2'de 1°C daha düşük olduğu belirlenmiştir. Cephe tipleri, hava boşluğundaki hız grafikleri üzerinden kıyaslandığında, F2 cephe tipinde hava akış hızının F1 cephe tipine göre 1 m/s daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca, açık derzli cephe tipi, kapalı derzli cephe tipine kıyasla yaklaşık 1 m/s daha yüksek bir hız sağlamaktadır. Bu durum, K3 açık derzli cephe tipinde yer alan yatay derz boşluklarının hava akışını hızlandırması ve hava dağılımının cephe boyunca daha homojen bir şekilde gerçekleşmesiyle ilişkilendirilebilir. Ayrıca, çift çıkışlı hava menfezinin varlığı da boşluktaki hava akışını artırarak baca etkisini güçlendirmektedir. Sonuç olarak, çift çıkışlı ve açık derzli cepheler, hava akışını optimize ederek ısı transferini sınırlamakta ve soğutma yüklerini azaltmada daha etkili bir performans sergilemektedir.

5.8. F1 ve F2 Cephe Sisteminin 3D Analizi

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında tasarlanan havalandırma cephe sisteminin üç boyutlu modeli ele alınmaktadır. Bu amaçla, önceki aşamalarda iki boyutlu analizler için tasarlanan cephe modeline ait katman ve malzeme özellikleri korunarak, ANSYS Fluent CFD programı aracılığıyla üç boyutlu bir model analiz edilmiştir. Analizlerde iklim koşulları, kil esaslı cephe kaplama malzemesi, 3 m kat yüksekliği ve havalandırma boşluğu geometrileri sabit tutulmuştur. Yalnızca iki ve üç boyutlu analiz farkı gözetilmiş olup hem F1 hem de F2 cephe tipleri için analizler yapılmıştır. Bu analizlerin sonuçları her iki boyut için karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

5.8.1. F1 Cephe sisteminin 3D analizi

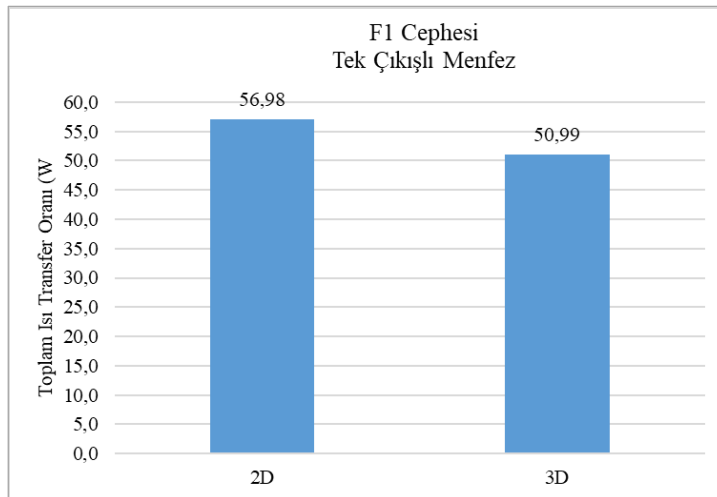
Tek çıkışlı havalandırma menfezine sahip F1 cephe sisteminin, tezin önceki aşamalarında elde edilen optimum havalandırma boşluk boyutları: “ $d=0,075\text{m}$ ” ve “ $d_{\text{out}}=0,05\text{m}$ ” olarak

kabul edilmişti. Çizelge 5.10'da F1 cephe sisteminin 2 boyutlu ve 3 boyutlu model üzerinden gerçekleştirilen analizlerinin sonuçları yer almaktadır.

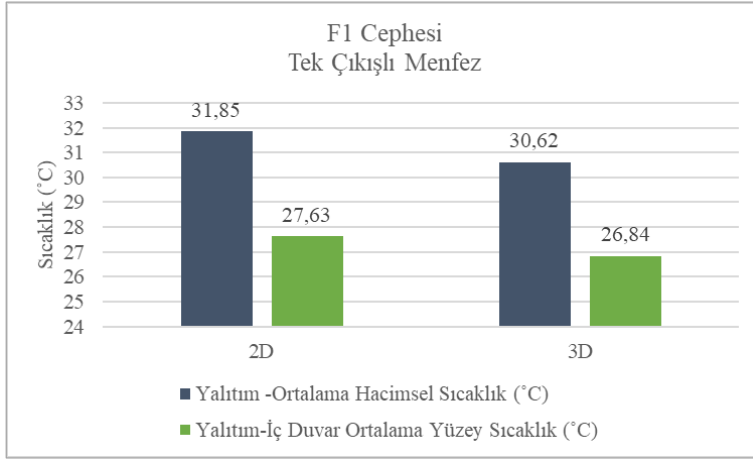
Çizelge 5.10. İklim parametreleri, F1 cephe özellikleri ve analiz sonuçlarını içeren veri seti.

İKLİM PARAMETRELERİ					CEPHE SİSTEMİNİN SABİT ÖZELLİKLERİ				
İl	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Güneş Işınımı (w/m²)	Isı Kaynağı (w/m³)	Rüzgar Hızı (m/s)	Cephe Kaplama Malzemesi	Havalandırma Boşluk Yüksekliği (H)	Havalandırma Çıkış Menfezi	Havalandırma Boşluk Genişliği (d)	Havalandırma Çıkış Menfezi (dout)
ADANA	34	495,8	12395,00	2,8	Kil Tabanlı	3m	Tek çıkış F1	0,075m	0,05 m
CEPHE SİS. DEĞİŞEN ÖZELLİĞİ	ANALİZ SONUÇLARI								
	Toplam Isı Transfer	Ortalama Hacimsel Sıcaklık (°C)		Yüzey Sıcaklığı (°C)				Hız (m/s) Min + Max	Yüzey Isı Transfer
				Min+max		Ağırlıklı Ortalama			
				Yalıtım İç Duvar Sınır Değeri	Yalıtım İç Duvar Sınır Değeri	Cephe Kaplama	Havalandırma Boşluğu		
Model	İç Duvar	Yalıtım	İç Duvar	Yalıtım İç Duvar Sınır Değeri	İç Duvar	Yalıtım İç Duvar Sınır Değeri	Cephe Kaplama	Havalandırma Boşluğu	Yalıtım+İç Duvar Sınır Değeri
İki Boyutlu (2D)	56,98	31,85	*	26,16-29,12	24,32	27,63	77,35	0-1,95	*
Üç Boyutlu (3D)	50,99	30,62	*	26,91-29,91	23,87	26,84	68,20	0-1,91	*

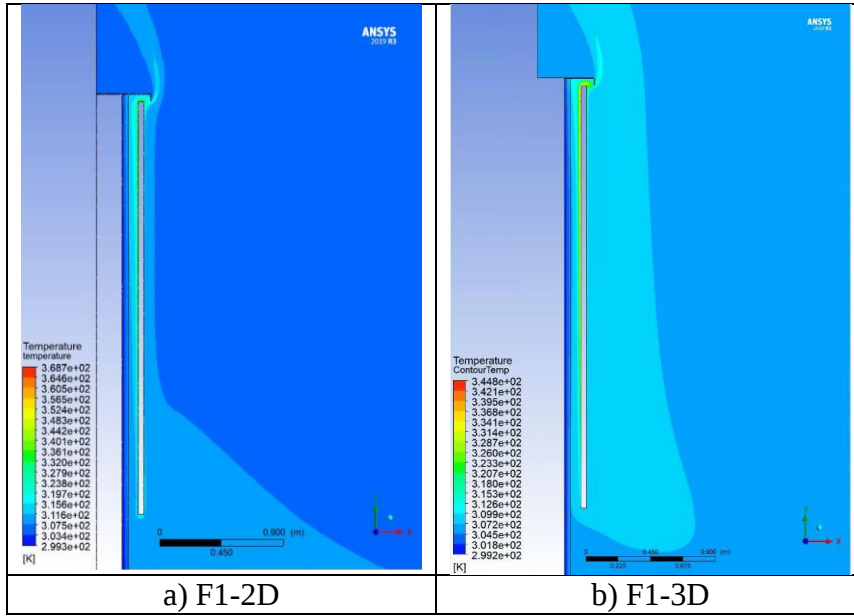
Çizelge 5.10 incelenerek F1 cephe sistemi için ısı transfer ve sıcaklık grafikleri oluşturulmuştur. Şekil 5.44 iki boyutlu ve üç boyutlu analizlerden elde edilen iç ortama aktarılan ısı transfer oranlarını göstermektedir. Veriler, F1 cephe sistemi için havalandırma menfezinin kesintisiz devam ettiği durumda aynı malzeme ve ortam koşullarına sahip üç boyutlu modelin analiz sonuçlarının iki boyutlu modelin analiz sonuçlarını desteklediği görülmektedir. İç mekana aktarılan ısı transfer oranları kıyaslandığında 0,8W/m² fark olduğu görülmektedir. Bu fark, yalıtım katmanının ortalama hacimsel sıcaklığında sıcaklığında 1,2°C, iç duvar sıcaklığında 0,5°C sıcaklık farkı demektir. Şekil 5.45'te bu değerlere ait grafiklere yer verilmiş olup Şekil 5.46'da analizlerden elde edilen sıcaklık dağılımları yer almaktadır.



Şekil 5.44. F1 Cephesine ait 2D ve 3D iç mekana aktarılan ısı transfer grafiği

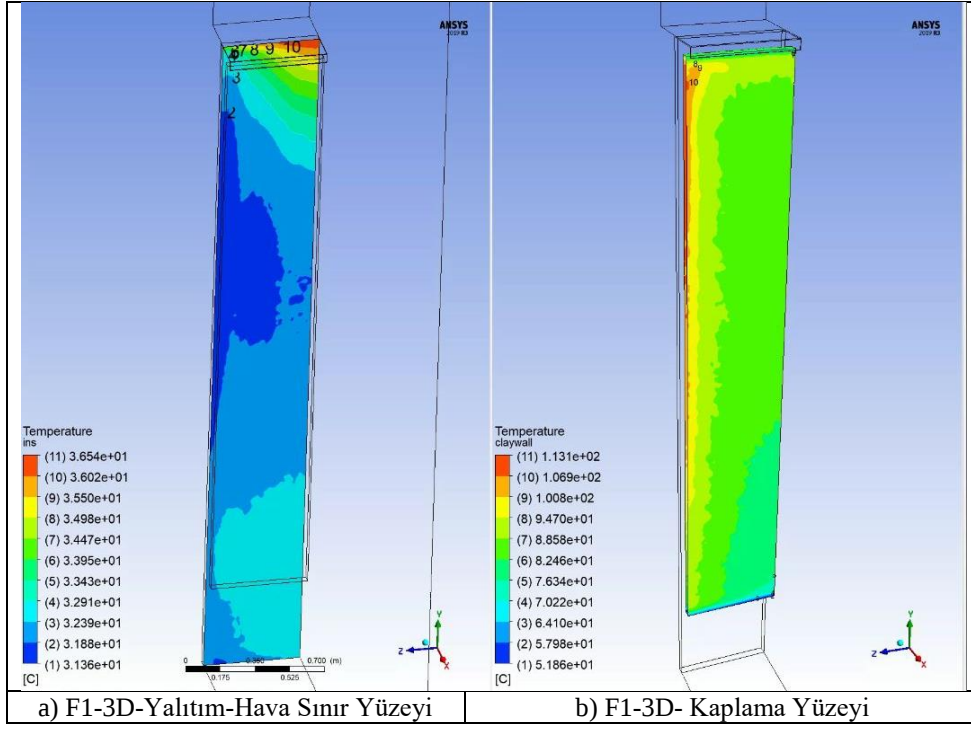


Şekil 5.45. F1 Cephesine ait 2D ve 3D cephe katman sıcaklık grafikleri



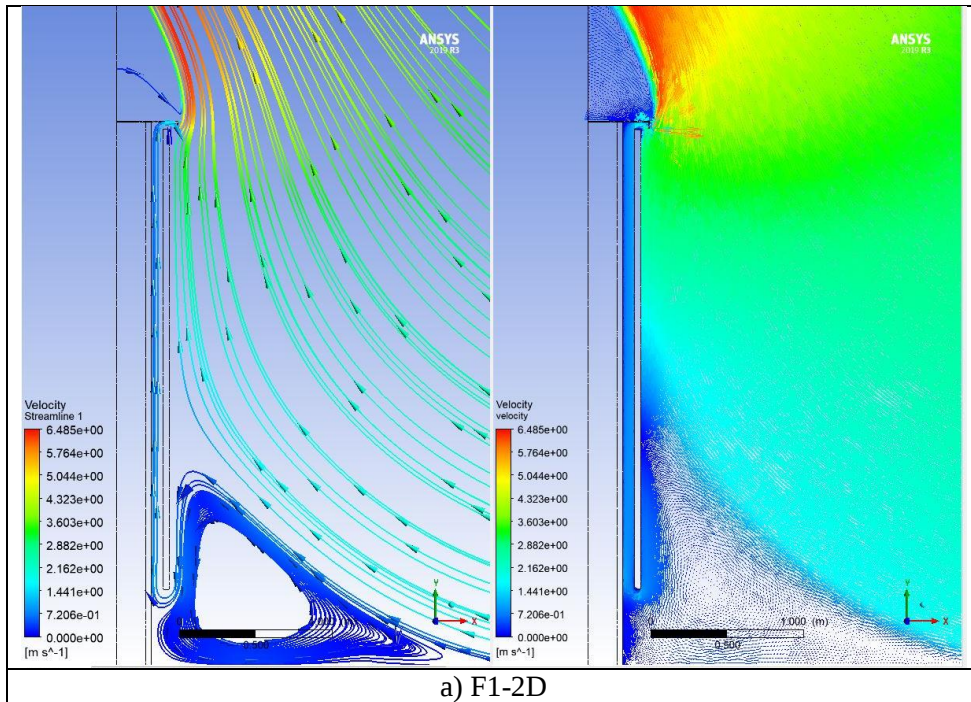
Şekil 5.46. F1 cephesi 2D ve 3D sıcaklık dağılımları

İki boyutlu analizlerden farklı olarak, üç boyutlu analizlerde yüzey sıcaklık dağılımları Şekil 5.47'de gösterildiği şekilde okunabilmektedir. Güneş ışıınımı etkisiyle kaplama malzemesi tarafından soğurulan ısının cephe kaplama yüzeyinde oluşturduğu sıcaklık değişimi (Şekil 5.47.b) ile havalandırma boşluğu sayesinde yalıtım katmanının hava ile kesişim yüzeyinde meydana gelen sıcaklık değişimi (Şekil 5.47.a) karşılaştırıldığında, pasif soğutma etkisi net bir şekilde görülmektedir. Ayrıca, Şekil 5.47'ye göre yapılabilecek diğer bir yorum, kaplama ve duvar yüzeyinden ısıyı alan ve yükselen hava akımının etkisiyle cephenin üst bölümlerine doğru sıcaklık dağılımında artış göstermesidir.

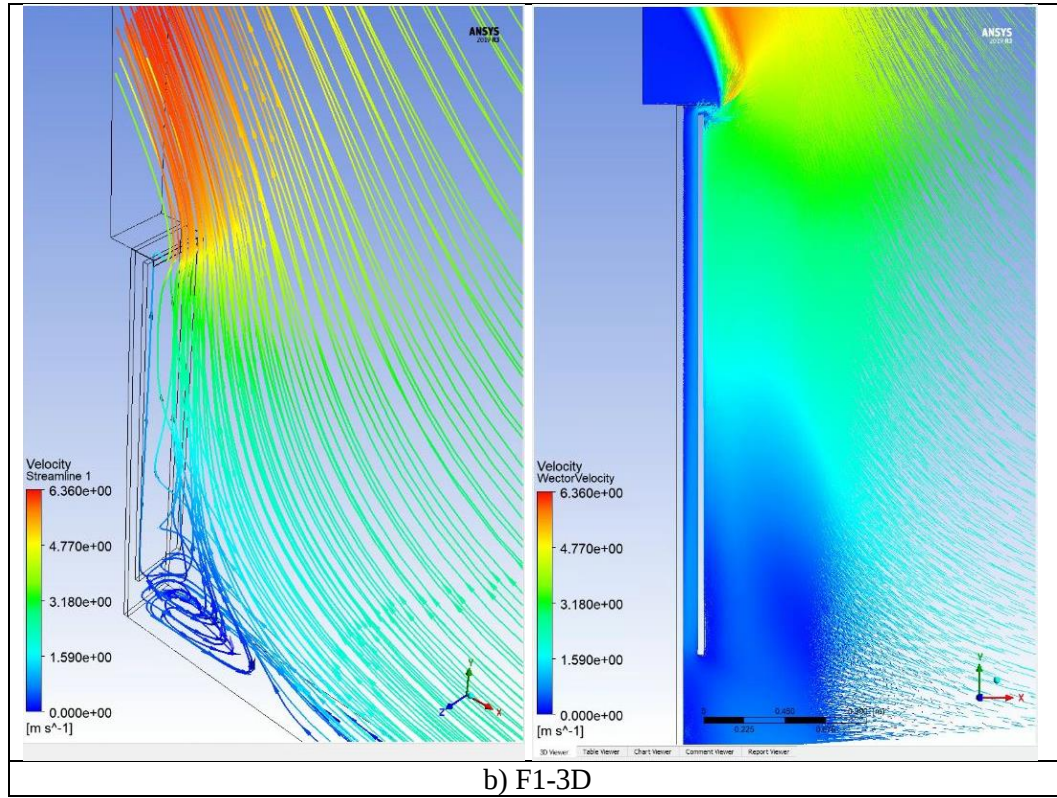


Şekil 5.47. F1 cephesi 2D ve 3D yüzey sıcaklık dağılımları

İki ve üç boyutlu analizlerden elde edilen Şekil 5.48’de yer alan hız grafikleri incelendiğinde ise cephedeki havalandırma boşluğu içindeki hava akış hızı aynıdır. Dolayısıyla veriler birbirini desteklemektedir.



Şekil 5.48. F1 cephesi 2D ve 3D hız dağılımları



Şekil 5.48. (devam) F1 cephesi 2D ve 3D hız dağılımları

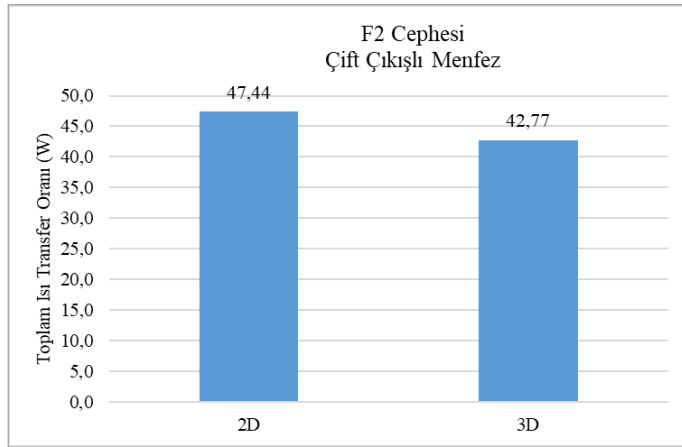
5.8.2. F2 Cephe sisteminin 3D analizi

Çift çıkışlı havalandırma menfezine sahip F2 cephe sisteminin, tezin önceki aşamalarında elde edilen optimum havalandırma boşluk boyutları: “ $d=0,075\text{m}$ ” ve “ $d_{\text{out}}=0,025\text{m}$ ” olarak kabul edilmişti. Çizelge 5.11’de F2 çift çıkışlı hava menfezine sahip havalandırma cephe sisteminin 2 boyutlu ve 3 boyutlu model üzerinden gerçekleştirilen analizlerinin sonuçları yer almaktadır.

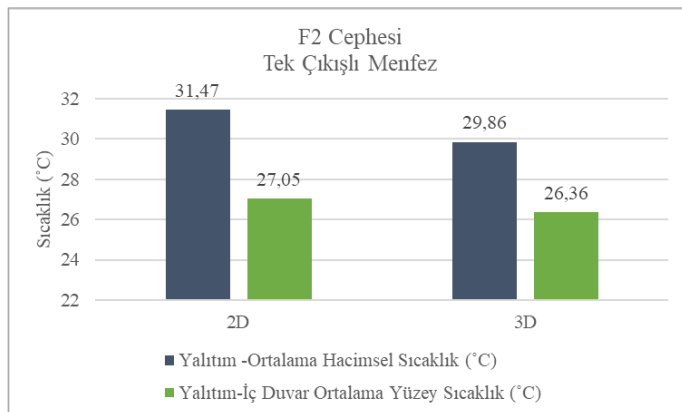
Çizelge 5.11. İklim parametreleri, F2 cephe özellikleri ve analiz sonuçlarını içeren veri seti.

İKLİM PARAMETRELERİ					CEPHE SİSTEMİNİN SABİT ÖZELLİKLERİ					
İl	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Güneş Işınımı (w/m²)	Isı Kaynağı (w/m³)	Rüzgar Hızı (m/s)	Cephe Kaplama Malzemesi	Havalandırma Boşluk Yüksekliği (H)	Havalandırma Çıkış Menfezi	Havalandırma Boşluk Genişliği (d)	Havalandırma Çıkış Menfezi (dout)	
ADANA	34	495,8	12395,00	2,8	Kil Tabanlı	3m	Çift Çıkış F2	0,075m	0,05 m	
CEPHE SİS. DEĞİŞEN ÖZELLİĞİ	ANALİZ SONUÇLARI									
	Toplam Isı Transfer	Ortalama Hacimsel Sıcaklık (°C)		Yüzey Sıcaklığı (°C)				Hız (m/s)	Yüzey Isı Transfer	
				Min+max		Ağırlıklı Ortalama		Min + Max		
	Model	İç Duvar	Yalıtım	İç Duvar	İç Duvar Sınır Değeri	İç Duvar	Yalıtım İç Duvar Sınır Değeri	Cephe Kaplama	Havalandırma Boşluğu	Yalıtım+İç Duvar Sınır Değeri
	İki Boyutlu (2D)	47,44	31,47	*	25,93-33,04	24,05	27,05	62,90	0-2,62	*
Üç Boyutlu (3D)	42,77	29,86	*	25,77-30,11	23,60	26,36	67,51	0-2,50	*	

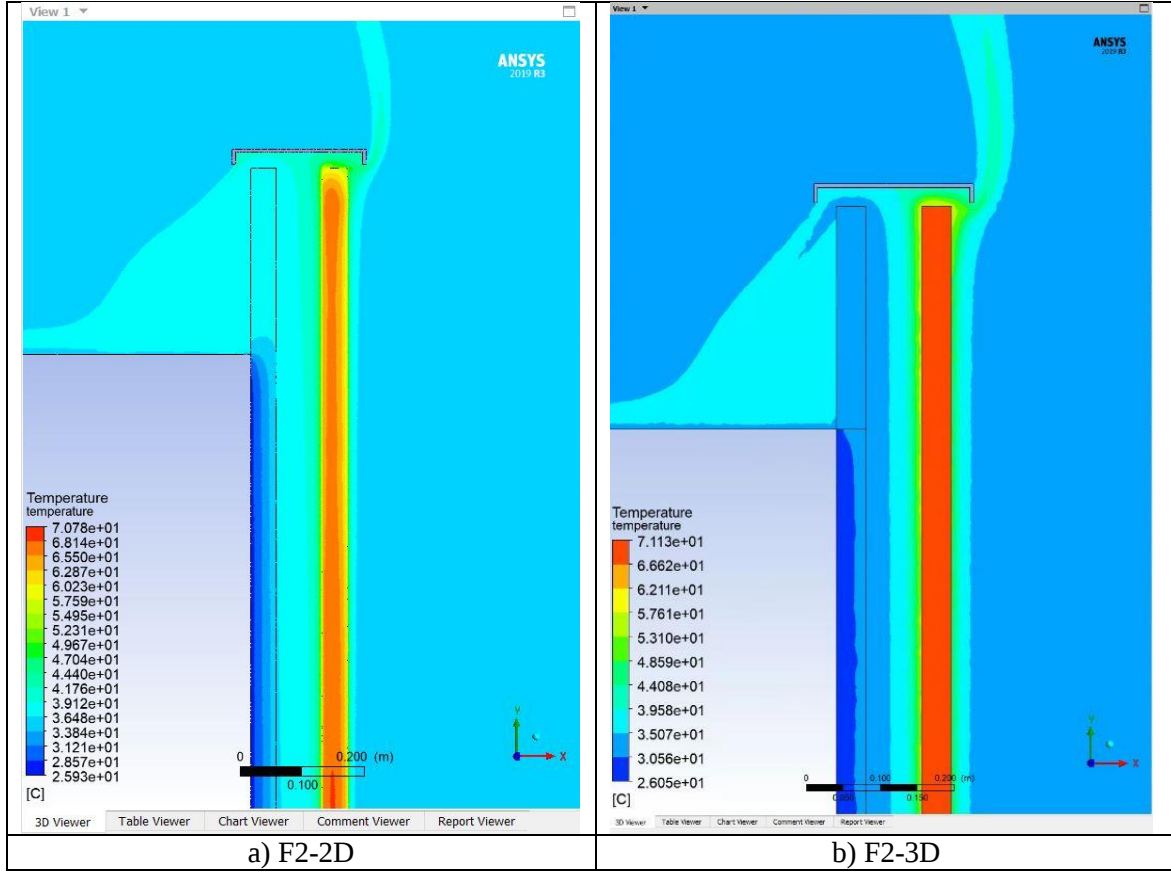
Çizelge 5.11 incelenerek F2 cephe sistemi için ısı transfer ve sıcaklık grafikleri oluşturulmuştur. Şekil 5.49, iki boyutlu ve üç boyutlu analizlerden elde edilen iç ortama aktarılan ısı transfer oranlarını göstermektedir. Veriler, F2 cephe sistemi için havalandırma menfezinin kesintisiz devam ettiği durumda aynı malzeme ve ortam koşullarına sahip üç boyutlu modelin analiz sonuçlarının iki boyutlu modelin analiz sonuçlarını desteklemektedir. İç mekana aktarılan ısı transfer oranları kıyaslandığında $0,63\text{W/m}^2$ fark olduğu görülmektedir. Bu fark, yalıtım katmanının ortalama hacimsel sıcaklığında sıcaklığında $1,5^\circ\text{C}$, iç duvar sıcaklığında $0,4^\circ\text{C}$ sıcaklık farkı demektir. Şekil 5.50’de bu değerlere ait grafiklere yer verilmiş olup Şekil 5.51’de analizlerden elde edilen sıcaklık dağılımları yer almaktadır.



Şekil 5.49. F2 Cephesine ait 2D ve 3D model iç mekana aktarılan ısı transfer grafiği

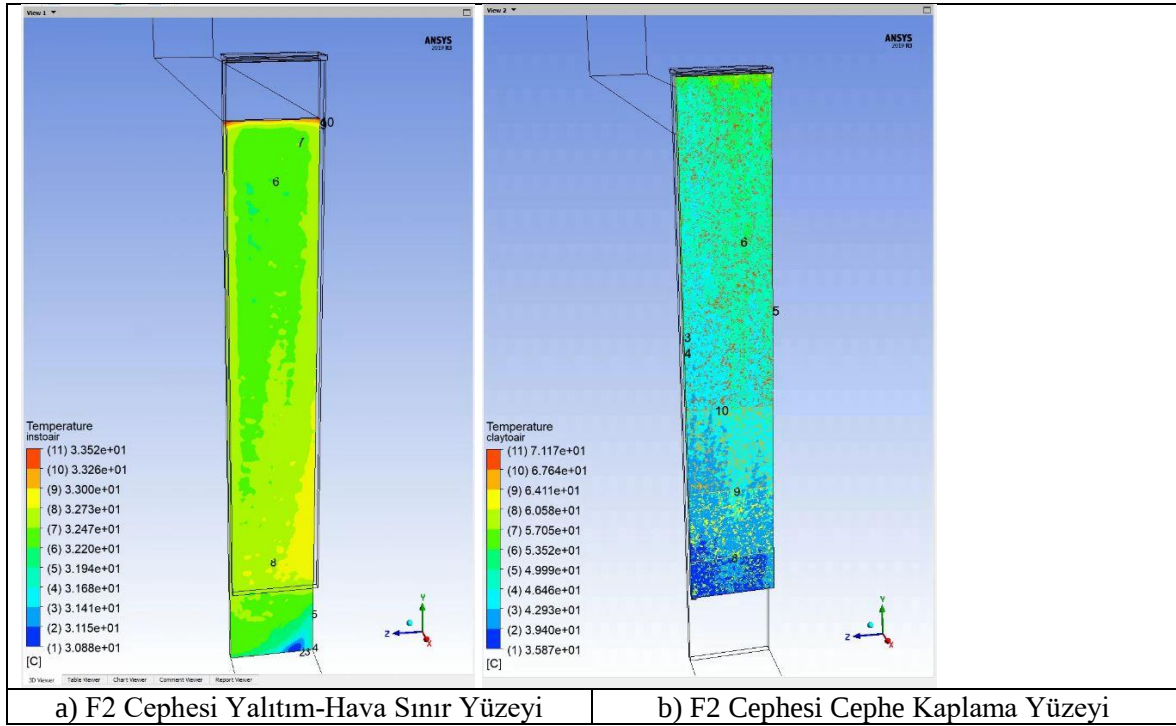


Şekil 5.50. F2 Cephesine ait 2D ve 3D model katman sıcaklık grafikleri



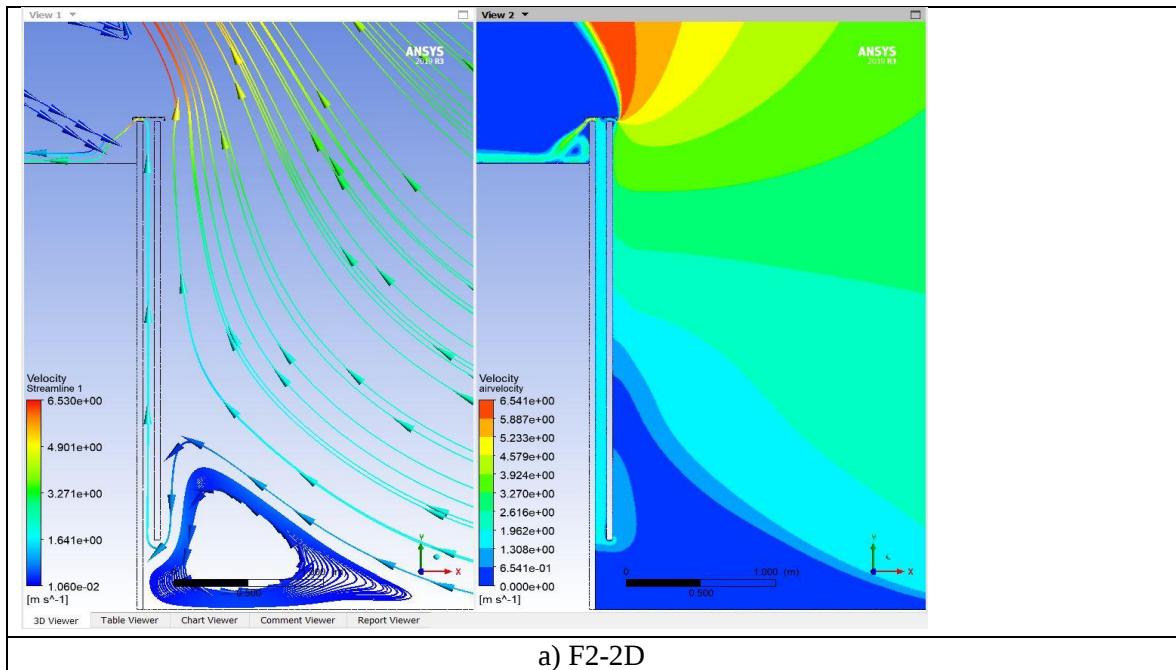
Şekil 5.51. Sıcaklık dağılımları

İki boyutlu analizlerden farklı olarak, üç boyutlu analizlerde yüzey sıcaklık dağılımları Şekil 5.52'de gösterildiği şekilde okunabilmektedir. Güneş ışıınımı etkisiyle kaplama malzemesi tarafından soğurulan ısının cephe kaplama yüzeyinde oluşturduğu sıcaklık değişimi (Şekil 5.52.b) ile havalandırma boşluğu sayesinde yalıtım katmanının hava ile kesişim yüzeyinde meydana gelen sıcaklık değişimi (Şekil 5.52.a) karşılaştırıldığında, pasif soğutma etkisi net bir şekilde görülmektedir. Ayrıca, Şekil 5.52'ye göre yapılabilecek diğer bir yorum, kaplama ve duvar yüzeyinden ısıyı alan ve yükselen hava akımının etkisiyle cephenin üst bölümlerine doğru sıcaklık dağılımı artış göstermesidir.

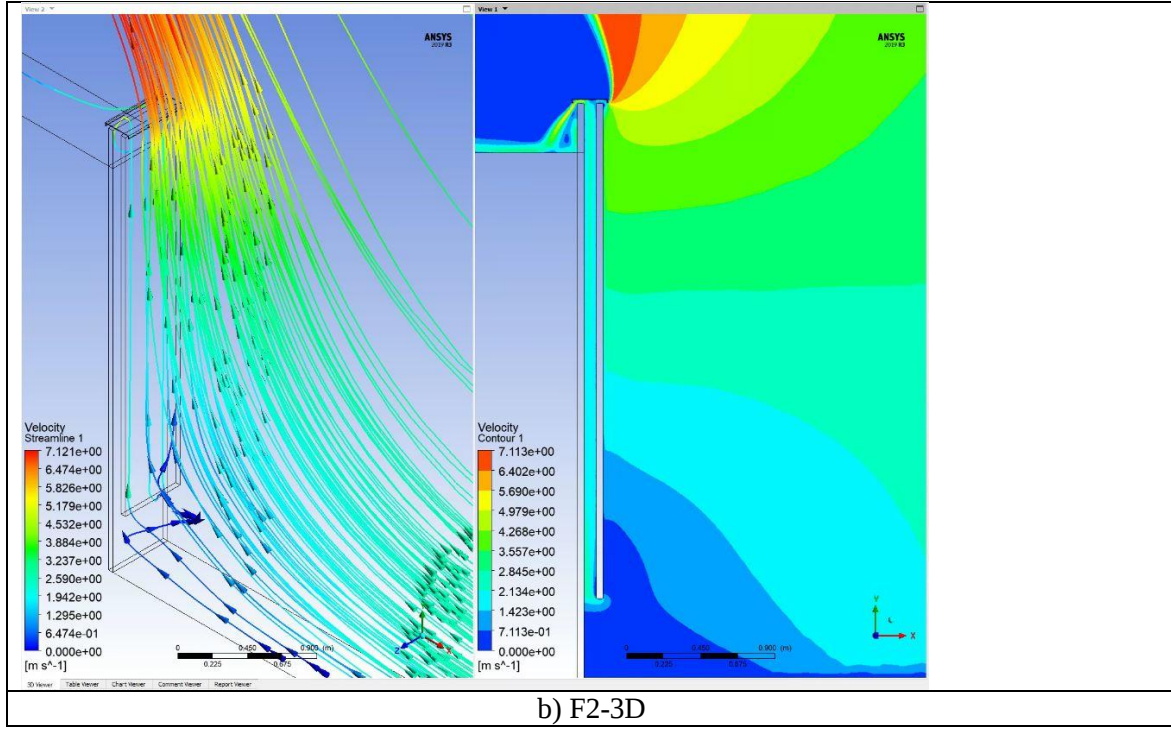


Şekil 5.52. Yüzey sıcaklık dağılımı

İki ve üç boyutlu modellere ait analizlerden elde edilen Şekil 5.52’de yer alan hız grafikleri incelendiğinde F2 cephe sisteminin havalandırma boşluğu içindeki hava akış hızının yakın olmakla birlikte bir miktar daha yüksek olduğu söylenebilir.



Şekil 5.53. F2 cephesine ait hız dağılımları

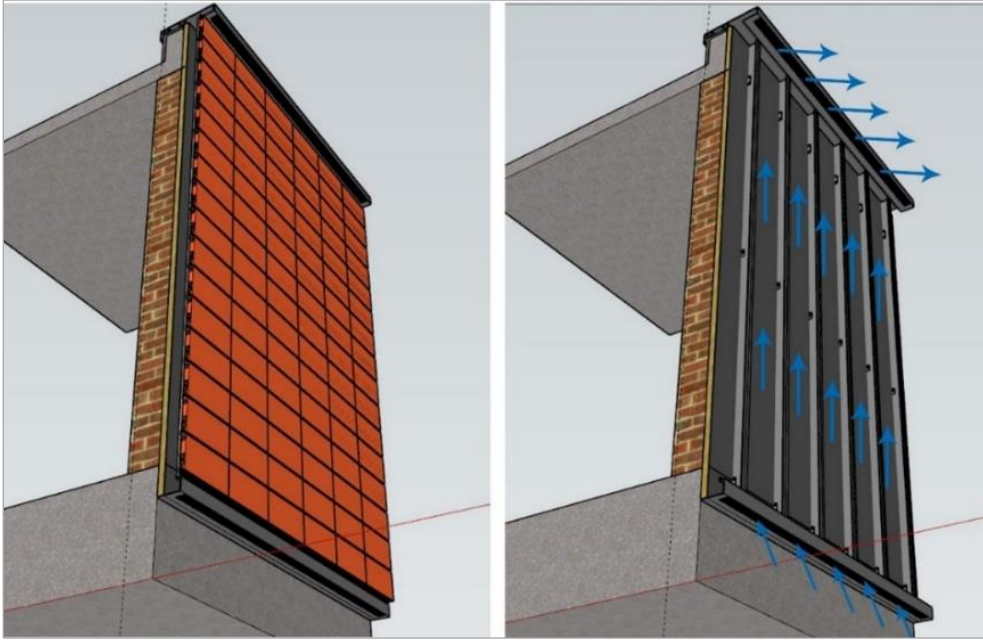


Şekil 5.53. (devam) F2 cephesine ait hız dağılımları

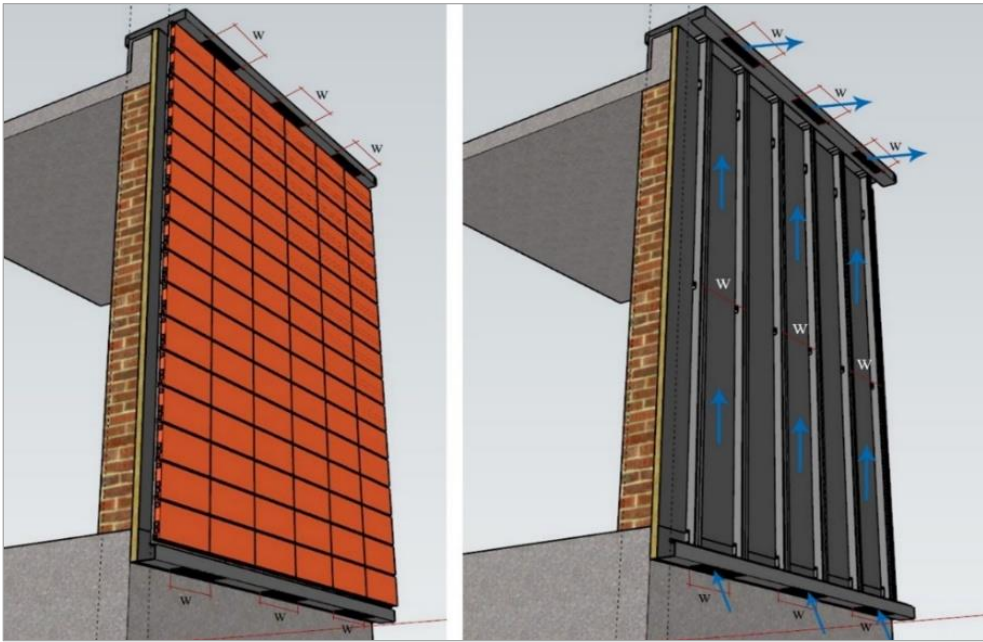
Özetle bu bölümden elde edilen veriler incelendiğinde, üç boyutlu analiz sonuçları, iki boyutlu analiz sonuçlarını genel olarak desteklemiş ve özellikle yüzey sıcaklıklarındaki değişimlerin görselleştirilmesi konusunda daha detaylı bilgi sunmuştur. Dolayısıyla eğer üçüncü boyutta cephenin kesitinde herhangi bir değişim yoksa analizlerin iki boyutlu olarak çözülmesi uygundur. Fakat, kesitte herhangi bir değişim varsa bu durumda analizler üç boyutlu olarak yapılmalıdır.

5.9. Sürekli ve Süreksiz Hava Çıkış Menfezinin Analizi

Bu bölümde, havalandırma çıkış menfezinin sürekli ve süreksiz olması durumu analiz edilmiştir. Cephedeki bu menfez farklılıktan dolayı analizler üç boyutlu olarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.54, havalandırma giriş ve çıkış menfezlerinin cephe boyunca kesintisiz bir şekilde devam ettiğini göstermektedir. Şekil 5.55 ise süreksiz hava çıkış menfezi yani hava çıkış menfezinin cephe boyunca belirli aralıklarla yerleştirildiğini göstermektedir. Bu düzenleme ile daha az sayıda menfez kullanarak soğutma performansının korunup korunamayacağını test edilmesi amaçlanmaktadır.



Şekil 5.54. Cephe boyunca devam eden sürekli havalandırma menfezi

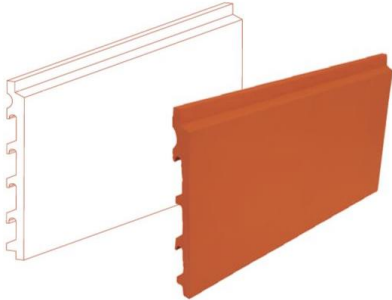


Şekil 5.55. Önerilen havalandırma menfez giriş ve çıkışı

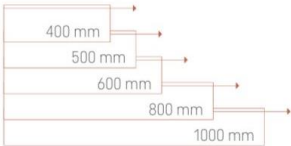
Kil esaslı cephe kaplama malzemesi incelendiğinde, Çizelge 5.12’de malzemenin üretildiği ölçüler derlenmiştir. Bu ölçüler, cephe sisteminde taşıyıcı profiller arasındaki mesafeyi belirlemekte olup, bu mesafe "W" olarak adlandırılmıştır (Şekil 5.56). Yapılan analizlerde, 400-1200 mm aralığındaki bu boyutlar havalandırma kanalı işlevi görecektir şekilde değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.12. Üçüncü boyutta analiz için önerilen boşluk boyutları ve analiz sonuçları

Cephe
Kaplama
Eni



Genişlik / Width



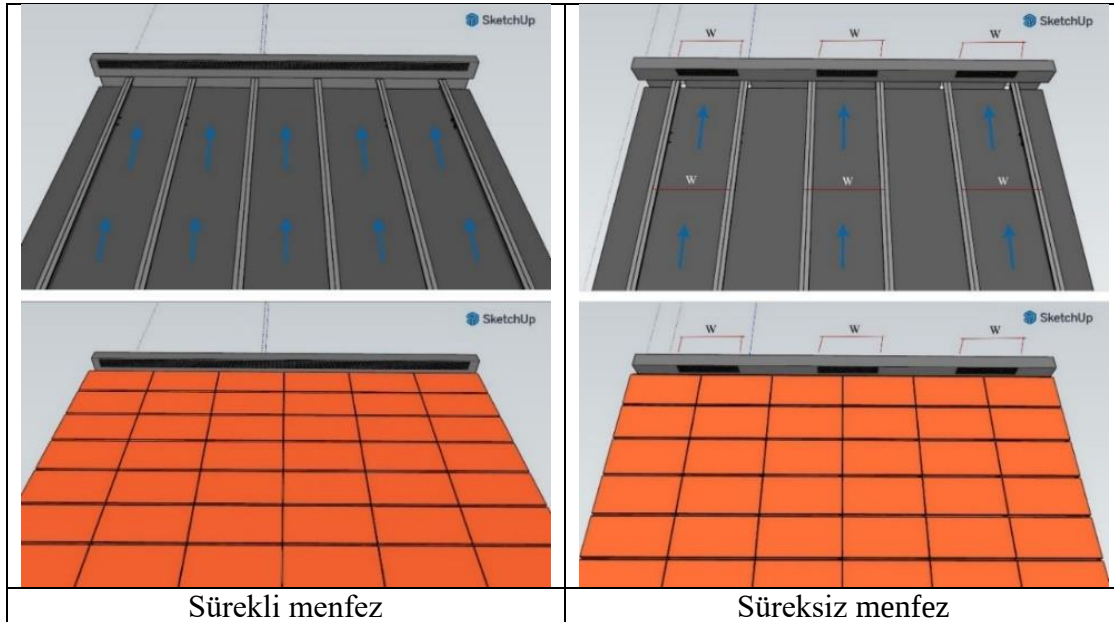
Ağırlık / Weight

30 kg / m²

Kalınlık / Thickness

22 mm

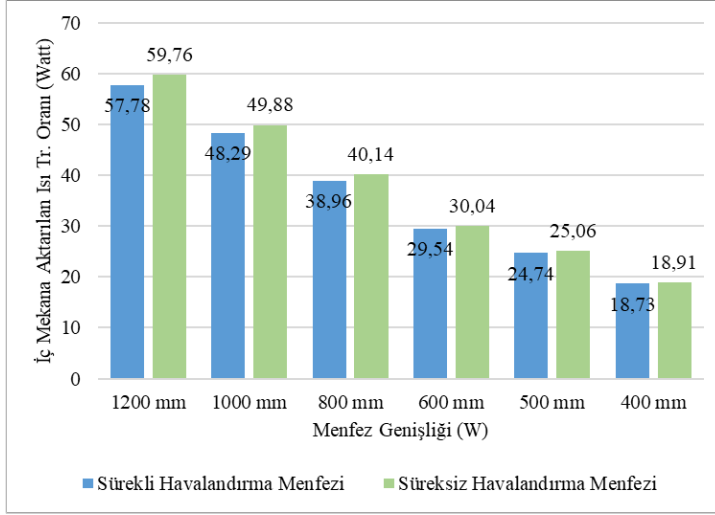
		Genişlik-W (mm)	Cephe Kaplama (Sıcaklık°C)	Yalıtım (Sıcaklık°C)	İç Mekana Aktarılan Isı Tr. Oranı (Watt)
Analiz Sonuçları	Sürekli Havalandırma Menfezi	1200 mm	57,75	31,69	57,78
		1000 mm	57,82	31,72	48,29
		800 mm	57,92	31,82	38,96
		600 mm	58,13	31,95	29,54
		500 mm	58,22	32,01	24,74
		400 mm	57,11	31,37	18,73
	Sürekli Havalandırma Menfezi	1200 mm	57,50	32,08	59,76
		1000 mm	57,54	32,10	49,88
		800 mm	57,67	32,18	40,14
		600 mm	57,68	32,14	30,04
		500 mm	57,78	32,16	25,06
		400 mm	56,63	31,47	18,91



Şekil 5.56. Önerilen havalandırma menfez giriş ve çıkışı

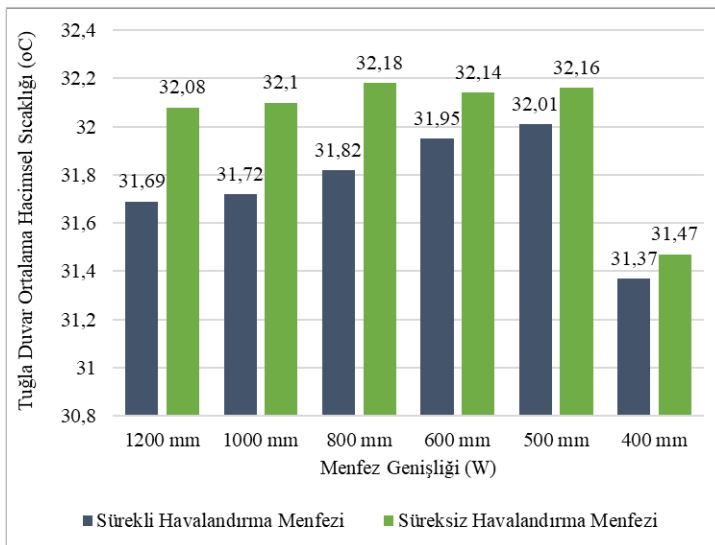
Analiz sonuçları incelendiğinde, Çizelge 5.12'deki veriler ve Şekil 5.57'ye dayanarak, üç boyutlu analizler sonucunda sürekli ve sürekli menfeze sahip aynı boyutlardaki cephelerin

verimleri, iç mekana aktarılan ısı transfer oranları üzerinden karşılaştırılmıştır. Maksimum boyut olan 1200 mm genişlik için yapılan analizlerde, sürekli menfeze sahip cephe sisteminin %3 oranında iç mekana daha az ısı transferi gerçekleştirmişti. Bu oran menfez genişliği azaldıkça %1'in altına düşmektedir.



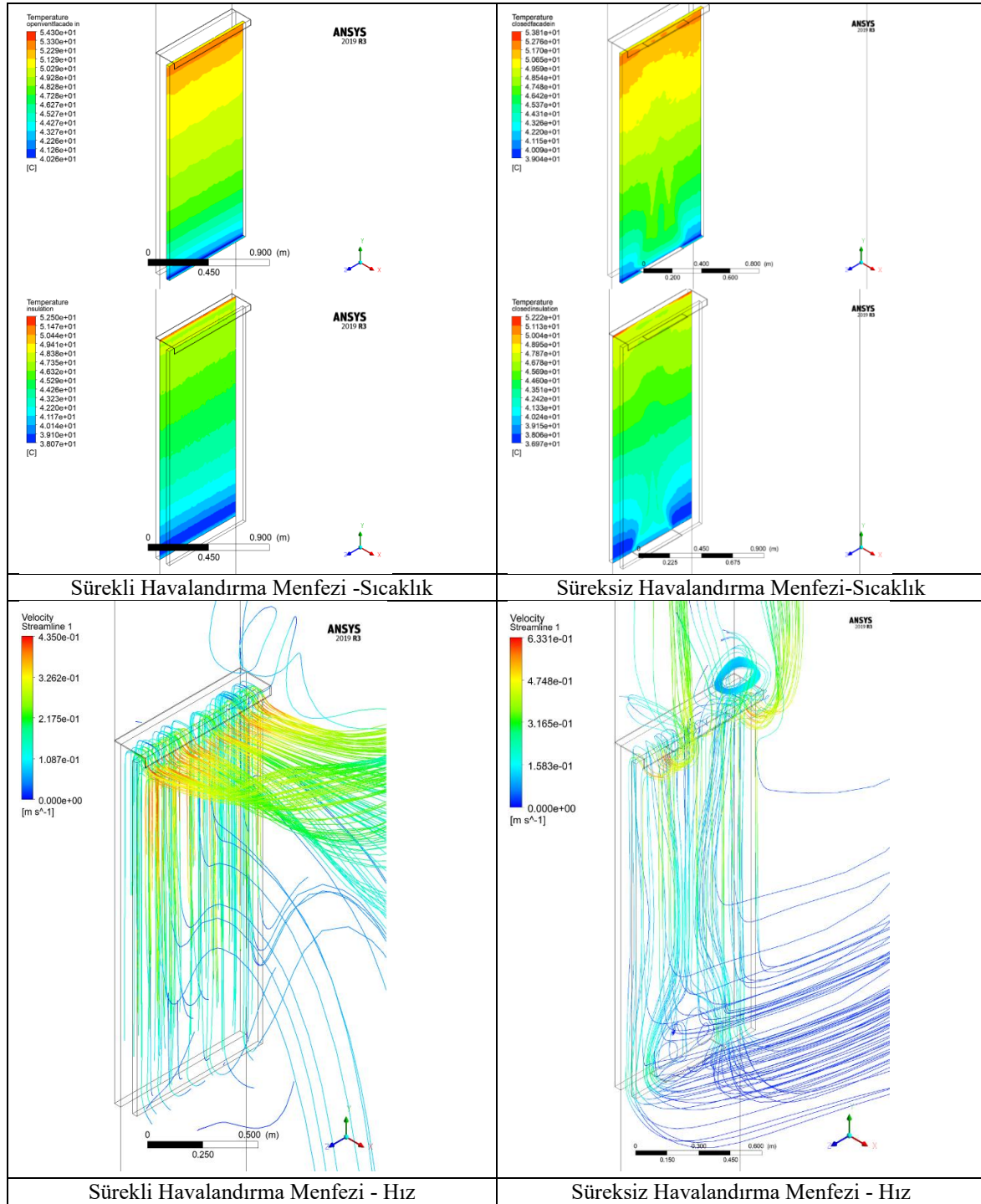
Şekil 5.57. Sürekli ve Süreksiz hava çıkış menfezlerine ait iç mekana aktarılan ısı transferi.

Şekil 5.58'de verilen iç duvar sıcaklık verileri incelendiğinde menfez genişliği arttıkça sıcaklık azalmaktadır. Maksimum boyut olan 1200 mm genişlik için sürekli menfez sürekli menfeze göre 0,4°C daha soğuktur.



Şekil 5.58. Sürekli ve sürekli hava çıkış menfezlerine ait dış duvar hacimsel sıcaklık.

Şekil 5.59’da sürekli ve süreksiz menfeze ait sıcaklık ve hız değişimlerini gösteren analiz görselleri yer almaktadır. Burada da görüldüğü gibi sürekli menfezde cephe yüzeyindeki sıcaklık ve hız değişimleri daha homojen bir dağılım göstermektedir.



Şekil 5.59. Sıcaklık ve hız dağılımları

Bu bölümde elde edilen veriler değerlendirildiğinde, üç boyutlu analiz sonuçlarına göre, 1200 mm hava çıkış menfezi genişliğindeki sürekli ve süreksiz cephe sistemleri karşılaştırıldığında, sürekli menfeze sahip cephe tipi iç mekana %3 oranında daha az ısı transferi gerçekleştirmiştir. Ancak bu fark, menfez genişliği azaldıkça düşmekte olup, 400 mm genişliğinde %1'in altına inmektedir. Isı transferinin katman sıcaklıklarına etkisi incelendiğinde, duvar katmanının hacimsel sıcaklık ortalamasının menfez genişliği arttıkça azaldığı görülmektedir. Maksimum 1200 mm genişliğinde, sürekli menfezli cephe, süreksiz menfeze göre 0,4°C daha soğukken, menfez genişliğinin 400 mm'ye düşmesiyle fark 0,1°C'ye gerilemekte ve neredeyse aynı değerler elde edilmektedir

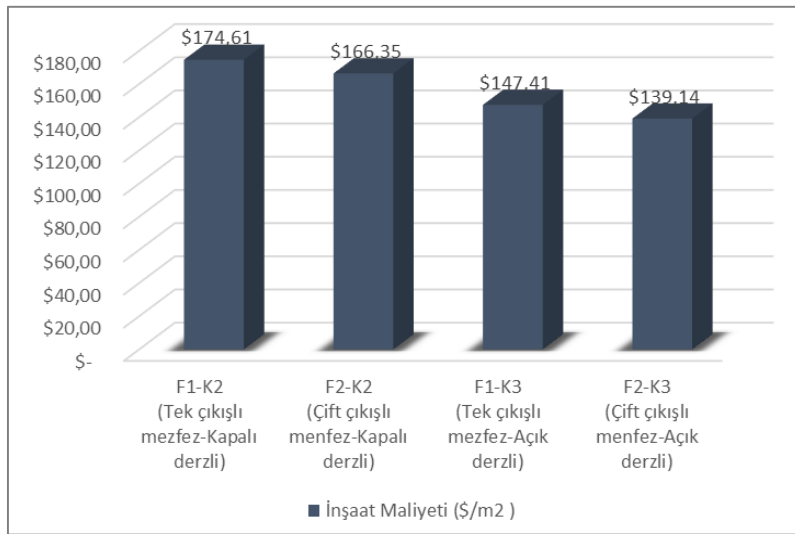
Özetle, elde edilen veriler, menfez genişliği arttıkça hem iç mekana aktarılan ısı transfer oranının hem de sıcaklıkların azalacağını göstermektedir. Verilen ölçekte sonuçlar arasındaki fark yakın olmakla birlikte bina ölçeğinde değerlendirildiğinde, cephe genişliklerinin daha büyük olması nedeniyle, sürekli menfezlerin etkisinin daha belirgin hale gelecektir ve cephe boyunca homojen bir hava akışı sağlanacaktır. Bu nedenlerle, sürekli menfez sisteminin tercih edilmesine karar verilmiştir.

5.10. Önerilen Cephe Sistemlerinin Maliyet Hesabı

Tez çalışmasının bu bölümünde, optimum boşluk boyutlarına sahip havalandırmalı kil esaslı cephe sistemlerinin maliyet analizi yapılmıştır. Önerilen havalandırmalı cephe sistemlerinin açık ve kapalı derzli olması, tek çıkışlı ve çift çıkışlı hava menfezlerine sahip olması gibi farklı özellikler dikkate alınarak, dört farklı cephe tipi üzerinden maliyet hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, her bir cephe sisteminin yatırım maliyeti değerlendirilerek, enerji performansına ek olarak ekonomik açıdan en uygun çözümler araştırılmıştır. Şekil 6.1 ve 6.2'de gerçekleştirilen analizler sonucunda önerilen cephe sistemlerinin görselleri verilmektedir. Bu doğrultuda, ilk olarak önerilen cephe sistemlerinin katmanları Çizelge 5.13-5.16'deki gibi excell çizelgesi kullanılarak ayrıntılı bir şekilde belirlenmiş ve kullanılan malzeme miktarları tespit edilmiştir. Maliyet hesaplamasında, 9m²'lik bir duvar kesiti temel alınarak fiyatlandırma gerçekleştirilmiştir. Maliyet hesabı yapılırken, ilgili dönemde (Nisan 2024) döviz kurları USD için 32,2273 ve EUR için 34,9565 olarak dikkate alınmıştır. Nihayetinde, metrekare başına düşen maliyet hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Maliyet hesaplamalarına ilişkin veriler ise Çizelge 5.13-5.16'da sunulmaktadır.

Grafikte (Şekil 5.60), dört farklı cephe kaplama sisteminin 1m² başına inşaat maliyetleri hesaplanmış ve bu değerlere %30 işçilik ile %30 kar payı eklenerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Farklı sistemlerin maliyetlerine odaklanan bu analiz, kapalı (K2) ve açık (K3) derzli havalandırılmalı cephe kaplama sistemlerinin iki tipini (F1 ve F2) incelemektedir (Şekil 5.60).

- F1-K2 (Tek çıkışlı mezfez-Kapalı derzli) Opak Havalandırılmalı Cephenin (OHC) inşaat maliyeti: 174,61\$/m² ile en yüksek maliyetli,
- F2-K2 (Çift çıkışlı menfez-Kapalı derzli) OHC'nin inşaat maliyeti: 166,35\$/m² olarak hesaplanmıştır,
- F1-K3 (Tek çıkışlı mezfez-Açık derzli) OHC'nin inşaat maliyeti: 147,41\$/m²,
- F2-K3(Çift çıkışlı menfez-Açık derzli) OHC'nin inşaat maliyet: 139,14\$/m² olup ile en düşük maliyetli.



Şekil 5.60. Havalandırılmalı cephe kaplama sistemlerinin birim maliyetleri

Bu bölümden elde edilen verilere göre cephe maliyetleri kıyaslandığında, hava çıkış menfezinin tek çıkışlı (F1) veya çift çıkışlı (F2) olması durumunda, F2 cephe tipi yaklaşık 8\$/m² daha düşük maliyetlidir. Kapalı derzli (K2) ve açık derzli (K3) sistemler arasında ise K3 cephe sistemi yaklaşık 27\$/m² daha düşük maliyet sunmaktadır. Özetle, F1-K2 cephe sistemi 174,61\$/m² ile en yüksek inşaat maliyetine sahipken, F2-K3 cephe sistemi, yani çift çıkışlı hava menfezi ve açık derzli havalandırılmalı cephe kaplama sistemi, 139,14\$/m² ile en düşük maliyeti sağlayarak maliyet etkinliği açısından ön plana çıkmaktadır.

6. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Tez çalışması kapsamında farklı özelliklere sahip havalandırmalı cephe sistemlerinin analiz edilmesindeki temel amaç, hem optimum havalandırma boşluk geometrisine sahip cephe tasarımını tespit etmek hem de sistemin soğutma yükünü azaltma performansını kapsamlı bir şekilde değerlendirmektir. Tasarım parametrelerini optimize etmek amacıyla performans noktaları değerlendirilirken, veri seti içinde belirleyici rol oynayan temel çıktı parametresinin "iç mekana aktarılan toplam ısı transfer oranı (W)" olarak belirlenmiştir. Bu parametre, sıcak dönemde duvar yüzeyinden iç mekana ne kadar ısı aktarıldığını ifade etmektedir. Amaç, iç mekana aktarılan ısı miktarını minimum seviyede tutarak soğutma için harcanacak enerji miktarını azaltmaktır. Bu nedenle yapılan karşılaştırmalar özellikle ısı transferi, cephe katman sıcaklıkları ve hava boşluğunda oluşan hız değerleri üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Havalandırmalı cephe sisteminin sıcak ve nemli iklim koşullarına uygun tasarım parametrelerinin optimizasyonunu sağlamak amacıyla gerçekleştirilen alt hedefler; iklim verilerinin (güneş ışıınımı, sıcaklık ve hava hareketi) cephe performansına etkilerini araştırmak; optimum havalandırma boşluk geometrilerini elde etmek ve yeni hava çıkış menfez konfigürasyonlarını önermek; farklı cephe yönlerinin, kaplama malzemelerinin ve ısı yalıtım katmanının ısı performans üzerindeki etkilerini incelemek; ve önerilen cephe tiplerinin yatırım maliyetlerini hesaplamaktır.

Bu hedeflerden ilki olan iklim verilerinin (güneş ışıınımı, sıcaklık ve hava hareketi) cephe performansına etkilerini araştırmak amacıyla, Türkiye'nin sıcak nemli iklim bölgesinde yer almakla birlikte, paralel U değerine sahip olmaları için birinci derece gün bölgesinde bulunan şehirler incelenmiştir. Farklı rüzgar hızı, sıcaklık ve güneş ışıınımı iklim verilerine bakılarak İzmir, Adana ve Hatay illeri analiz yapılacak iller olarak belirlenmiştir. Analizlerden elde edilen veriler incelendiğinde, güneş ışıınımı ve rüzgar hızı değerlerindeki artışın, hava boşluğundaki akış hızını yükselterek sistemin soğutma potansiyelini artırdığı görülmüştür. Üç il arasında İzmir en yüksek güneş ışıını ve rüzgar hızı değerlerine sahiptir. Ancak, cephe katmanlarında 11 °C sıcaklık farkı ile en fazla soğumayı sağlamış olup dış ortam sıcaklığı 35°C iken cephe katmanlarından tuğla duvarın hacimsel sıcaklığını min. 24,01°C'ye kadar düşürebilmektedir. İzmir'den sonra 10.23°C sıcaklık farkıyla Adana ve 9.26°C sıcaklık farkıyla Hatay yer almaktadır. Ayrıca, cephenin hava boşluğunda meydana

gelen akış hızları incelendiğinde, İzmir ilinde hava boşluğundaki hızın 0,95-1m/s olduğu ve bu değer diğer illere göre 0,1-0,15m/s daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum, havanın boşlukta kalma süresini azaltmakta ve boşlukta geçirilen süre ile orantılı olarak iç mekâna ısı geçişini de azaltmaktadır. Böylece, cephe katmanlarındaki soğuma etkisini artırmaktadır. Analiz sonuçları, üç pilot ilde farklı boşluk boyutları için paralel ve tutarlı bir eğilim göstermiştir. Bu nedenle, sonraki analizlerde tek bir ile ait iklim verileri kullanılarak çalışmalar yürütülebilecektir. Üç il arasında ortalama değerlere sahip olması nedeniyle, diğer senaryoların analizlerinde Adana ili iklim verileri tercih edilmiştir.

İkinci adım olan havalandırmalı cephe sisteminin optimum havalandırma boşluğu geometrisini belirlenmesi bölümünde, havalandırma boşluğu kalınlığı " d ", hava çıkış menfezi " d_{out} " ve cephe yüksekliği " H " değişkenlerinin farklı kombinasyonları incelenmiştir.

Havalandırma boşluğu geometrilerinin optimizasyonu kapsamında, havalandırma boşluğu kalınlığı (d) 0,025-0,25m ve hava çıkış menfezi genişliği (d_{out}) 0,025-0,10m aralığındaki kombinasyonlar üzerinden iç mekâna aktarılan toplam ısı transferi oranları (W) hesaplanmış ve sonuçlar bu verilere dayanarak değerlendirilmiştir. Analizlerde, " $d_{out}=0,05m$ " olduğunda, havanın dışarı çıkışı yeterince desteklenmiş ve ısı transferi oranı diğer kombinasyonlara kıyasla daha düşük seviyelerde seyretmiştir. Bu nedenle, bir sonraki adımda " $d_{out}=0,05m$ " sabit kabul edilerek havalandırma boşluğu kalınlıkları tek değişken olarak ele alınmış ve optimum boyut belirlenmiştir. Bu analizlere göre, başlangıçta boşluk kalınlığı " $d=0,025m$ " olduğunda iç mekâna iletilen toplam ısı transferi oranı en yüksek seviyede 82,55 W olarak ölçülmüştür. Kalınlığın " $d=0,25m$ "'ye çıkarılmasıyla ısı transferi en düşük seviyeye inerek 50,68 W'a ulaşmıştır. Bu durum, havalandırma boşluğu (d) arttıkça iç mekâna aktarılan ısı transferinin azaldığını göstermektedir. Özellikle, boşluk kalınlığının 0,025m'den 0,075m'ye genişletilmesiyle ısı transferinde belirgin bir düşüş gözlenmiştir. Başlangıçta her artışta yaklaşık 20W'lık bir azalma sağlanırken, kalınlık 0,075m'yi aştıktan sonra bu azalma yaklaşık 2W seviyelerine gerilemiş ve iyileşmeler sınırlı hale gelmiştir. Boşluk kalınlığı $d=0,025m$ 'den 0,075m'ye yükseltildiğinde ısı transferinde belirgin bir düşüş görülmektedir. Daha geniş boşluklarda ısı transfer farkı oldukça azalmakta, yani kazançlar sınırlı kalmaktadır. " $d=0,075m$ "den sonra sağlanan iyileşmeler giderek azalmaktadır. Cephe katmanlarına ait sıcaklık verileri incelendiğinde benzer şekilde, " $d=0,025m$ " boşluk kalınlığı " $d=0,05m$ "'ye yükseltildiğinde" tuğla duvar yüzey sıcaklığında 2.5°C sıcaklık farkı oluştururken, " $d=0,075m$ "den sonra bu fark 0.3-0.2°C seviyelerine kadar düşmektedir.

Dolayısıyla, 0,075 m'den sonra sıcaklık farkında çok az bir değişim gözlemlenmekte, bu da daha geniş boşlukların getirdiği ek faydaların azaldığını ortaya koymaktadır. Bu sebeplerle, elde edilen çıktıların değerlendirilmesi sonucunda “ $d=0,075$ ” ve “ $d_{out}=0,05$ ” değerleri tek çıkışlı hava mefzine sahip havalandırmalı cephe sistemi için optimum olarak kabul edilmiştir. Bu mesafe, enerji verimliliğini artırmak ve ısı transferini minimize etmek için yeterli bir performans sağlarken, daha geniş boşluklar maliyet ve yapı zorluğunu artırdığı halde sınırlı ek kazançlar sunmaktadır.

Havalandırmalı cephe sisteminin optimum “ d ve d_{out} ” geometrileri belirlendikten sonra, cephe yüksekliğinin (H) ısı performansına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, sabit iklim koşulları altında, yükseklikler 3m, 6m, 9m, 12m, 15m ve 18m olarak varsayılmış ve analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, havalandırma boşluk yüksekliği arttıkça, metrekare başına iç mekana aktarılan toplam ısı transferi oranının 0,8-0,17W gibi küçük bir azalma gösterdiği, bu durumun ise hava tabakasından içeriye doğru cephe katmanlarındaki sıcaklık değişimlerinin sınırlı kalmasına neden olduğu anlaşılmaktadır. Örneğin, yalıtım katmanının sıcaklığı incelendiğinde, havalandırma boşluk yüksekliği 3m’den 6m’ye çıktığında sıcaklığın 0,6°C, 9m’ye çıktığında ise 0,2°C arttığı ve 9m’den sonra sıcaklığın 28,4°C’de sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Bu sınırlı artış, ısınarak yükselen havanın cephenin üst bölgelerinde cephe katmanlarının sıcaklığını etkilemesinden kaynaklanmaktadır. Cephe kaplamasında ise, 3m’den 6m’ye çıkıldığında 11°C’lik bir soğuma sağlandığı görülmektedir; bu durum, hava akış hızının kaplamanın her iki yönünden yüksek hızla akmasından kaynaklanmaktadır. Hava boşluğundaki hava akış hızı 3m’de 0,8m/s iken, 6m’de 1,7m/s’ye çıkarak iki katına yükselmektedir. Ancak, ısı transferindeki sınırlı azalma ve yalıtım katmanlarındaki sınırlı sıcaklık artışı, cephe yüksekliğinin bu parametreler üzerinde belirgin bir etkisi olmadığını göstermektedir.

Üçüncü adımda, tek çıkışlı hava menfezine alternatif olarak çift çıkışlı hava menfezi modellenmiş ve literatürde yer almayan yeni bir öneri sunulmuştur. Önerilen çift çıkışlı hava menfezine sahip cephe sisteminin optimum boşluk boyutlarının hesaplanmasında, tek çıkışlı hava menfezine sahip cephe sistemi için uygulanan adımlar izlenmiştir. Analizlerden elde edilen veriler ile F1 (tek çıkışlı hava mafezi) ve F2 (çift tek çıkışlı hava mafezi) cepheslerinin sonuçları karşılaştırıldığında; F2 cephesinin hava boşluğunda oluşan ortalama rüzgar hızı yaklaşık 1,8-1,9m/s aralığında iken, F1 cephesinde bu değer yaklaşık 0,7-0,8m/s seviyelerinde kalmakta ve daha düşük bir hız göstermektedir. Bu durum, F2 cephesinde

bulunan çift çıkışlı hava menfezinin baca etkisini daha etkin bir şekilde artırmasından kaynaklanmaktadır. F2 cephe sisteminde, havalandırma boşluğundaki rüzgar hızının yaklaşık 1 m/s artışı, iç mekana aktarılan ısı transferinde 9,5W'lık bir azalma sağlamıştır. Bu değişimin, cephe katmanlarından biri olan yalıtım katmanındaki ortalama hacimsel sıcaklık değerlerine yansımaları, yaklaşık 2°C'lik bir düşüş olarak kendini göstermektedir. Dolayısıyla, F1 ve F2 cephe tiplerinin iç mekana aktardığı ısı transferi üzerinden soğutma verimi kıyaslandığında, F2 sistemi, %17 oranında daha fazla soğuma sağlamaktadır. Dolayısıyla aynı koşullar altında her iki cephe sistemi kıyaslandığında, F1 cephesinde boşluk kalınlığı " $d_{out} = 0.05m$ " iken, F2 cephesinde aynı sıcaklık değerleri boşluk kalınlığı " $d_{out}=0.025m$ " olduğunda sağlanabilmektedir. Bu durum, F2 cephesinin daha küçük bir menfez boyutunda bile benzer ısı performans gösterebildiğini ortaya koymaktadır. Bu da enerji verimliliği açısından çift çıkışlı sistemin daha avantajlı olduğunu ortaya koymaktadır. Elde edilen verilere dayanarak F1 cephesi için " $d=0,075m$, $d_{out}=0,05$ " ve F2 cephesi için " $d=0.075m$, $d_{out}=0,025m$ x 2 çıkışlı menfez" sonuçlarının optimum boşluk boyutları olarak kabul edilmiştir.

Dördüncü adımda, yönlenmenin etkisini incelemek amacıyla, Doğu (E), Güney (S) ve Batı (W) yönleri ele alınmıştır. Bu yönlerle ait analiz sonuçları değerlendirildiğinde, güney ve batı cephelerinden iç mekana aktarılan ısı transferi, doğu cephesine göre 9-10W daha yüksektir. Bu fark, cephe katman sıcaklıklarına yaklaşık 1,5°C olarak yansımaktadır. Her bir cephe yönü dış ortam ve duvar katmanı sıcaklıklarına üzerinden incelendiğinde, doğu cephede 6,4°C, güney cephede 9,7°C ve batı cephede 7,8°C soğuma sağlanmıştır. Batı cephesinin öğleden sonra yoğun güneş ışınlamalarına maruz kalması ve güney cephesinin gün boyu güneş ışınlamaları alması ve dış ortam sıcaklığının en yüksek olmasına rağmen, en fazla soğuma bu cephelerde gözlemlenmiştir. Bu durum, güneş ışınlamalarının yoğun olduğu cephelerde havalandırılmalı cephe sisteminin doğal hava akışını artırarak daha fazla soğuma sağladığını göstermektedir.

Beşinci adımda, havalandırılmalı cephenin aynı cephe özellikleri ve iklim koşulları altında sadece cephe kaplama malzemeleri değiştirilerek kaplamada kullanılacak olan malzemenin ısı performans etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda literatürde en çok tercih edilen cephe malzemeleri; kil esaslı, ahşap, granit, seramik, alüminyum kompozit kaplama malzemeleri üzerinden inceleme yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, ahşap ve kil malzemelerinin ısı akısı değerleri yaklaşık 5W/m² arasında, alüminyum kompozit, granit ve seramik

malzemelerinin ise 3W/m^2 arasında değişmektedir. Bu sonuçlar, ahşap ve kil esaslı malzemelerde ısı aktarımının %40 oranında daha düşük olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla bu alanlarda sıcaklık da artırmaktadır. Cephe kaplamalarının dış yüzey sıcaklık değişimlerine bakıldığında, ahşap ve kil kaplamaların yüzey sıcaklıkları $45\text{-}52^\circ\text{C}$ aralığında yakın seyretmekteyken, granit, seramik ve alüminyum kompozit kaplamalar $50\text{-}58^\circ\text{C}$ aralığında birbirine yakın sonuçlar vermektedir. Cephelerde hava boşluğu içerisindeki akış hızı kıyaslandığında, alüminyum kompozit, granit ve seramik kaplama malzemelerinde hava boşluğu içindeki hava akış hızının $0,16\text{-}0,4\text{m/s}$ aralığında olduğu, kil ve ahşap kaplama malzemelerinde ise $0,12\text{-}0,3\text{m/s}$ aralığında seyrettiği görülmektedir. Bu kapsamda, ahşap ve kil malzemelerinin düşük ısı iletkenliği ve yüksek enerji depolama kapasitesi sayesinde, ısıyı bünyesinde tutarak hava boşluğuna daha yavaş iletmediği, bu nedenle hava boşluğundaki akış hızının daha düşük olduğu söylenebilir. Bu sebeple çalışma kapsamında kil esaslı cephe kaplama malzemesi seçilmiştir.

Altıncı adımda, havalandırılmalı cephenin yalıtım katmanı olmadığı durumda iç mekana ne kadar ısı aktardığını ve katmanların sıcaklık üzerinde ne düzeyde bir katkı sağladığını tespit edebilmek amacıyla sistemin yalıtımsız hali analiz edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler yalıtımsız durumda iç mekana aktarılan ısı transferinin %67 oranında arttığını göstermektedir. Bu durumun sıcaklık değerlerine yansımaları incelendiğinde, iç duvar hacimsel sıcaklık ortalamalarının yalıtım katmanı varken $24,3^\circ\text{C}$, yalıtım katmanı yokken ise $27,8^\circ\text{C}$ 'ye yükseldiği görülmektedir. Özetle, elde edilen verilere göre, yalıtım katmanı bulunan durumda $9,7^\circ\text{C}$ 'lik bir soğuma sağlanırken, yalıtım katmanı olmayan durumda ise $6,2^\circ\text{C}$ 'lik bir soğuma sağlanmıştır. Bu sonuçlar, yalıtım katmanı olmasa bile havalandırılmalı sistem sayesinde cephe katmanlarının dış ortam sıcaklığına (34°C) kıyasla $6,2^\circ\text{C}$ 'lik bir soğutulabildiğini göstermektedir.

Yedinci adımda, kil esaslı cephe kaplama için, bu malzemenin yatay derzlerin kapalı ve açık olma durumları modellenmiş olup derz tiplerinin ısı performans etkisi incelenmiştir. F1 ve F2 cephelerinde iç mekâna aktarılan ısı transfer oranları karşılaştırıldığında, açık derzli (K3) cephe tipi, kapalı derzli (K2) cephe tipine göre F1'de %8, F2'de ise %2 daha az ısı transferi gerçekleştirmiştir. Isı transferindeki bu azalma doğrultusunda, K3 tipi cephede yalıtımın hava ile temas eden yüzey sıcaklıklarının K2'ye kıyasla F1'de 2°C , F2'de ise 1°C daha düşük olduğu; cephe kaplama yüzey sıcaklıklarının ise F1'de 4°C , F2'de 1°C daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, cephelerin hava boşluğu içerisindeki akış hızları

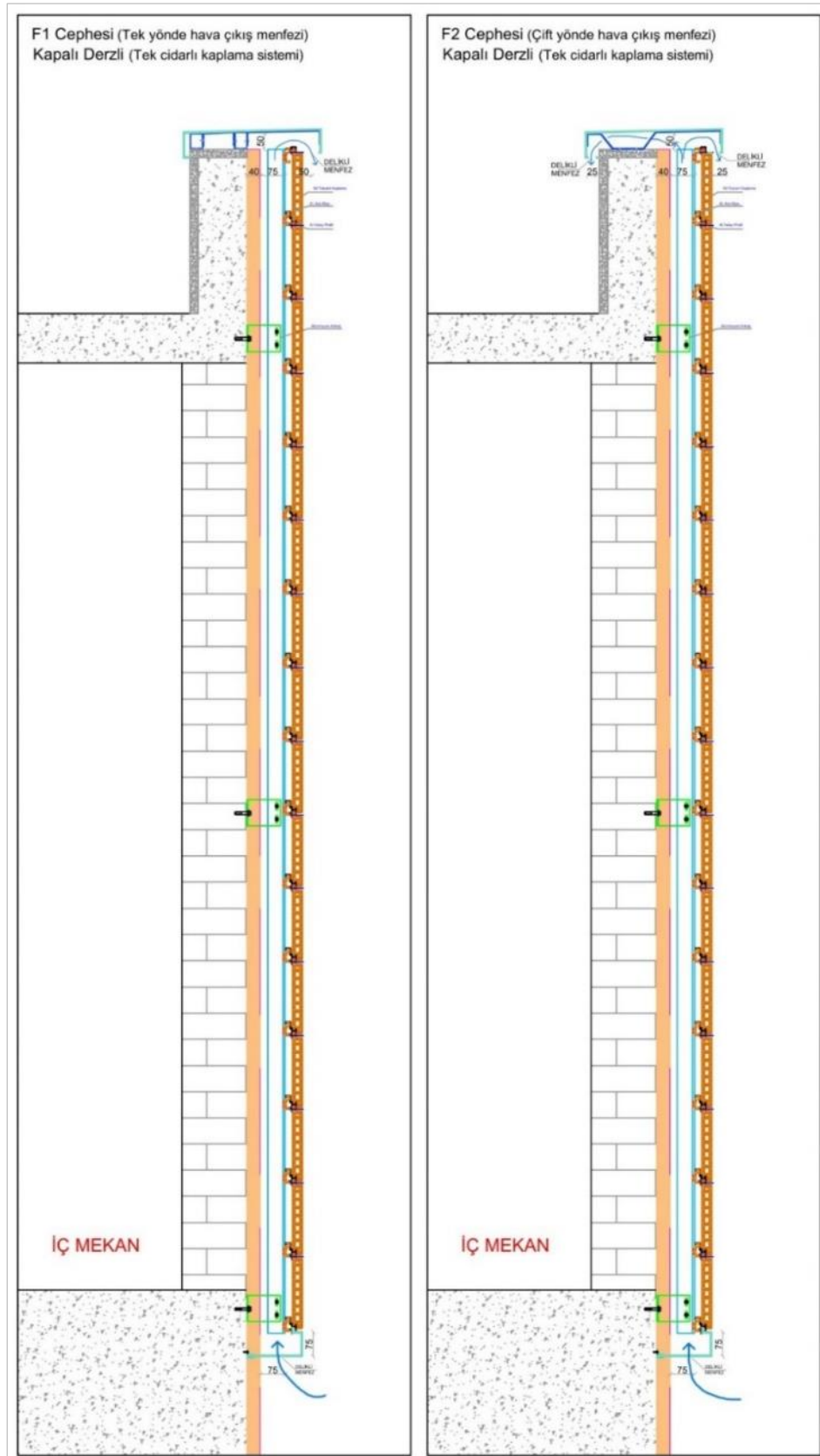
karşılaştırıldığında, K3 cephe tipinde, havalandırma boşluğu içindeki ortalama hava hızı yaklaşık 0,8m/s daha yüksek elde edilmiştir. Özellikle K3 tipi cephelerde yatay derz boşluklarının varlığı, hava boşluğu içindeki hava akış hızını artırarak iç mekâna aktarılan ısı miktarını azaltmaktadır. Ek olarak, K3 derz tipinde hava geçişleri incelendiğinde, cephenin orta noktasına kadar olan derzlerden hava girişi gerçekleşirken, orta noktadan sonra derzlerden havanın çıkış yönünde hareket ettiği gözlemlenmektedir. Bu durum, açık derzli cephenin üst bölgelerinde, kapalı derzli cepheye kıyasla iç duvarda yaklaşık 2°C cephe kaplamada yaklaşık 4°C daha fazla soğutma sağlanabilmektedir. Sonuç olarak, K3 tipi cephelerde hava akışının optimize edilmesi, ısı transferini azaltarak soğutma yüklerini düşürmede daha etkili bir çözüm sunmaktadır.

Tez çalışmasında önerilen havalandırma cephe sisteminin bu aşamaya kadar ki analizleri en kesitinde herhangi bir değişiklik olmamasından dolayı iki boyutlu olarak gerçekleştirilmiştir. Fakat en kesitte değişime neden olan ve cephe boyunca sürekliliğin olmadığı alternatif senaryolar da çalışma kapsamında geliştirilmiştir. Bu nedenle, aynı katman ve malzeme özelliklerine sahip bir üç boyutlu model analiz edilerek her iki duruma ait sonuçlar karşılaştırılmıştır. Üç boyutlu analiz sonuçları, iki boyutlu analiz sonuçlarını genel olarak desteklemiş ve özellikle yüzey sıcaklıklarındaki değişimlerin görselleştirilmesi konusunda daha detaylı bilgi sunmuştur. Dolayısıyla eğer üçüncü boyutta cephenin kesitinde herhangi bir değişim yoksa analizlerin iki boyutlu olarak çözülmesi uygundur. Fakat, kesitte herhangi bir değişim varsa bu durumda analizler üç boyutlu olarak yapılmalıdır.

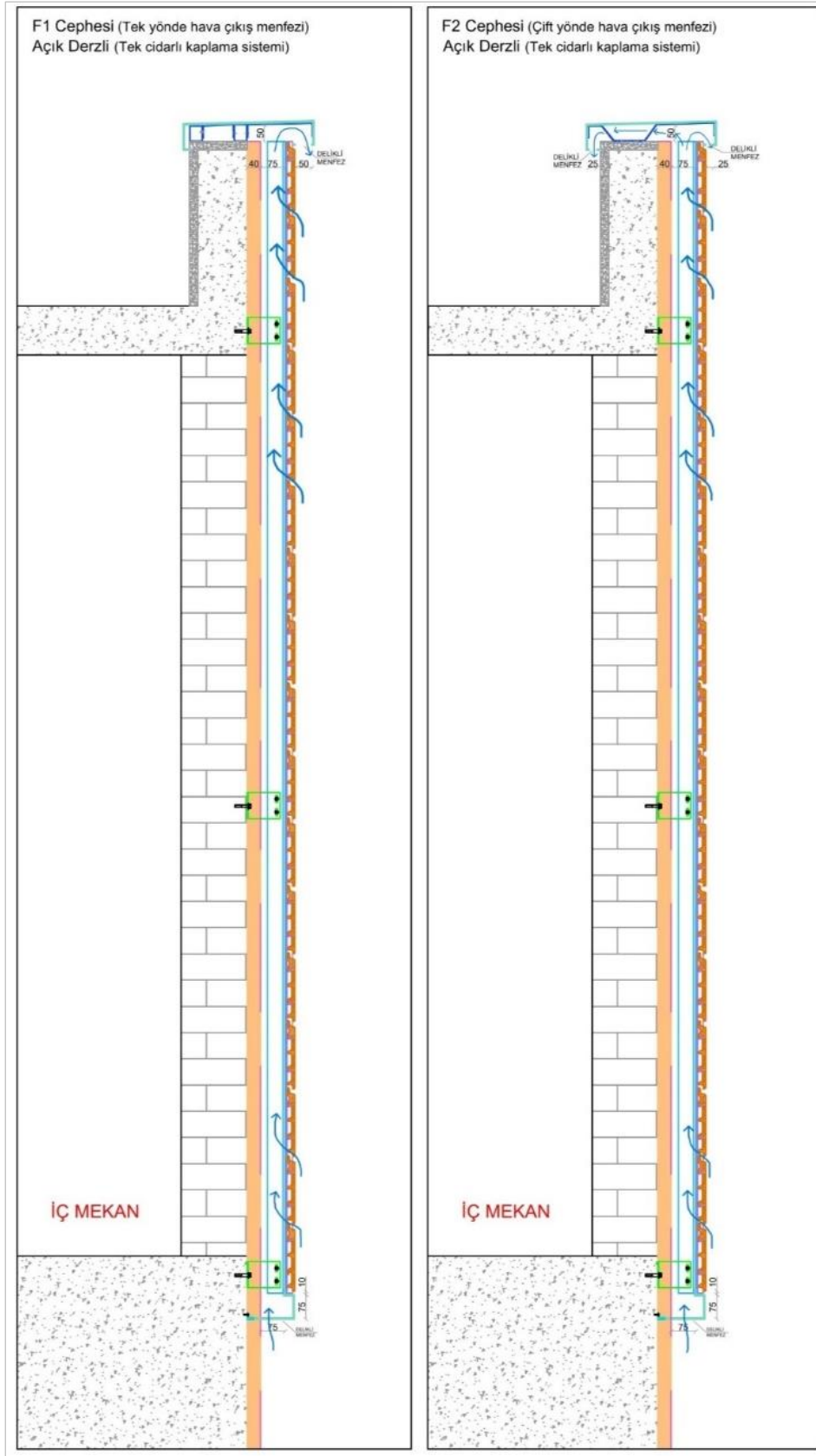
Dokuzuncu adımda, havalandırma çıkış menfezinin sürekli ve süreksiz olması durumu analiz edilmiştir. Cephedeki bu menfez farklılıktan dolayı analizler üç boyutlu olarak gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, 1200mm hava çıkış menfezi genişliğindeki sürekli ve süreksiz cephe sistemleri karşılaştırıldığında, sürekli menfeze sahip cephe tipi iç mekana %3 oranında daha az ısı transferi gerçekleştirmiştir. Ancak bu fark, menfez genişliği azaldıkça düşmekte olup, 400mm genişliğinde %1'in altına inmektedir. Isı transferinin katman sıcaklıklarına etkisi incelendiğinde, duvar katmanının hacimsel sıcaklık ortalamasının menfez genişliği arttıkça azaldığı görülmektedir. Maksimum 1200mm genişliğinde, sürekli menfezli cephe, süreksiz menfeze göre 0,4°C daha soğukken, menfez genişliğinin 400mm'ye düşmesiyle fark 0,1°C'ye gerilemekte ve neredeyse aynı değerler elde edilmektedir. Özetle, elde edilen veriler, menfez genişliği arttıkça hem iç mekana aktarılan ısı transfer oranının hem de sıcaklıkların azalacağını göstermektedir. Verilen

ölçekte sonuçlar arasındaki fark yakın olmakla birlikte bina ölçeğinde değerlendirildiğinde, cephe genişliklerinin daha büyük olması nedeniyle, sürekli menfezlerin etkisinin daha belirgin hale gelecektir ve cephe boyunca homojen bir hava akışı sağlanacaktır. Bu nedenlerle, sürekli menfez sisteminin tercih edilmesine karar verilmiştir.

Son olarak önceki aşamalarda önerilmiş olan optimum boşluk boyutlarına sahip havalandırmalı kil esaslı cephe kaplama sistemlerinin maliyeti hesaplanmıştır. Önerilen havalandırmalı cephe sisteminin, tek çıkışlı (F1) ve çift çıkışlı (F2) hava menfezlerine sahip olması ile kapalı derzli (K2) ve açık derzli (K3) olması, gibi özellikleri dikkate alınarak dört adet cephe tipi (Bknz. Şekil 6.1; Şekil 6.2) üzerinden maliyetler hesaplanmış ve kıyaslanmıştır. Verilere göre, F1 ve F2 cephe sistemi karşılaştırıldığında, F2 cephesi yaklaşık $8\$/m^2$ değerinde daha düşük maliyetli çıkmıştır. K2 ve K3 derzli tipler kıyaslandığında ise K3 cephe tipi yaklaşık $27\$/m^2$ değerinde daha düşük maliyet sunmaktadır. Özetle, F1-K2 cephe sistemi $174,61\$/m^2$ ile en yüksek inşaat maliyetine sahipken, F2-K3 cephe sistemi, yani çift çıkışlı hava menfezi ve açık derzli havalandırmalı cephe kaplama sistemi, $139,14\$/m^2$ ile en düşük maliyeti sağlayarak maliyet etkinliği açısından ön plana çıkmaktadır.



Şekil 6.1. Kapalı derzli K2 (çift cidarlı) havalandırmalı cephe Sistemi, F1 (tek çıkışlı hava menfezi), F2 (çift çıkışlı hava menfezi).



Şekil 6.2. Açık derzli K3 (tek cidarlı) havalandırılmalı cephe sistemi, F1 (tek çıkışlı hava menfezi), F2 (çift çıkışlı hava menfezi).

Tez kapsamında incelenen bu senaryolarda, cephe sistemlerinin ısı performansını detaylı bir şekilde araştırılmış ve farklı sistemlerin iç mekana aktarılan ısı transferi ile sıcaklık değerleri üzerine önemli bulgular elde edilmiştir (Çizelge 6.1 ve Şekil 6.3). Bu bulgular, cephe tiplerinin enerji verimliliği ve iç mekan konforu üzerindeki etkilerini ortaya koymuş ve yapılan analizler, sistemler arasındaki performans farklılıklarını açıkça göstermiştir. Bununla birlikte, maliyet faktörü de projelerin başarısında önemli bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, çalışmada elde edilen ısı performans sonuçları ile maliyet analizleri karşılaştırılarak cephe sistemlerinin genel performansı ve ekonomik etkinliği daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir. İncelenen veri setlerine göre:

F1-K2 (Tek çıkışlı menfez-Kapalı derzli) cephe sistemi

Maliyet: En yüksek maliyetli sistemdir (174,61\$/m²).

Isıl Performans: En düşük performansı sergileyen sistemdir, iç mekana aktarılan ısı transferi (36,76W) ve yüzey sıcaklığı (27,63°C)'dir.

Bu sistem, havalandırılmayan versiyona göre daha düşük ısı transferi ve daha düşük yüzey sıcaklığı ile daha iyi bir ısı performans sergilemektedir. Ancak, diğer 3 cephe sistemi arasında hem maliyet hem de ısı performans açısından en düşük verimliliğe sahip sistemdir.

F2-K2 (Çift çıkışlı menfez-Kapalı derzli) cephe sistemi

Maliyet: İkinci en yüksek maliyetli sistemdir (166,35\$/m²).

Isıl Performans: Orta düzeyde performans, iç mekana aktarılan ısı transferi (32,31W) ve yüzey sıcaklığı (25,77°C) açısından daha iyi değerlere sahiptir.

F1 Kapalı Derzli sisteme göre daha iyi ısı performans sunmakta ve maliyeti biraz daha düşüktür. Kapalı derzli sistemler arasında tercih edilebilir bir seçenektir. Havalandırılmayan versiyonu ile kıyaslandığında daha verimlidir.

F1-K3 (Tek çıkışlı mezfez-Açık derzli) cephe sistemi

Maliyet: Orta düzeyde maliyetli bir sistemdir (147,41\$/m²).

Isıl Performans: Kapalı derzli sistemlerden daha iyi performans sunmaktadır; iç mekana aktarılan ısı transferi (33,63W), yüzey sıcaklığı (26,16°C)'dir.

Genel Değerlendirme: Maliyet ve ısı performans açısından dengeli bir sistemdir. Kapalı derzli sistemlere kıyasla daha uygun maliyetli olup, ısı performansı da daha yüksektir.

F2-K3 (Çift çıkışlı mezfez-Açık derzli) derzli cephe sistemi

Maliyet: En düşük maliyetli sistemdir (139,19\$/m²).

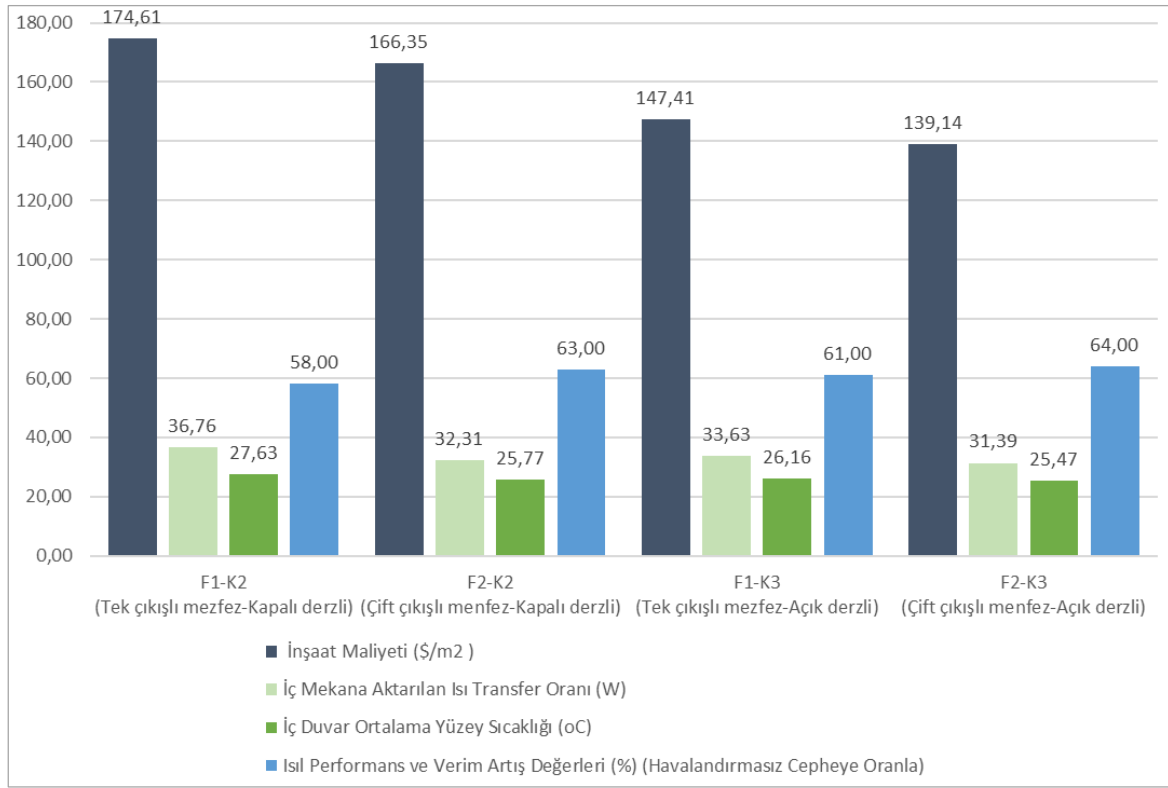
Isıl Performans: En yüksek performansı sunmaktadır; iç mekana aktarılan ısı transferi (31,39W), yüzey sıcaklığı ise (25,47°C) 'dir.

Hem maliyet hem de ısı performans açısından en verimli sistem olarak öne çıkmaktadır. Düşük maliyeti ve yüksek enerji verimliliği ile en uygun seçenek olarak dikkat çekmektedir.

Özetle, F2-K3 Derzli Sistem, %64 ısı performans verimlilik oranı ve 139,19\$/m² maliyet miktarı ile hem ısı performans hem de maliyet açısından en iyi sonucu sunmaktadır. Onu %63 ısı performans verimlilik oranı ile F2-K2 Derzli Sistem takip etmekte olup bu cephe maliyet olarak en yüksek ikinci sıradadır. Bu noktada dikkat edilmesi gereken bir husus, maliyet ve ısı performans sıralamalarının her zaman paralel olmamasıdır. Örneğin, maliyet en önemli faktörse F1-K3 Derzli Sistem tercih edilebilirken, ısı performans daha öncelikli ise F2-K2 Derzli Sistem daha uygun olabilir. F1-K2 Derzli Sistem ise 174,61\$/m² miktarı ile en yüksek maliyet ve %58 oran ile düşük ısı performans göstererek sıralamanın en sonunda yer almaktadır.

Çizelge 6.1. Havalandırmalı cephe sistemlerinin birim maliyetleri, ısı performans ve verim artış değerleri

Cephe Tipi	Maliyet (\$/m ²)	Isı Transferi (W)	Yüzey Sıcaklığı (°C)	Isıl Performans ve Verim Artış Değerleri (%)	Genel Değerlendirme
F1-K2 (Tek çıkışlı mezfez-Kapalı derzli)	174,61	36,76	27,63	58%	En yüksek maliyet, en düşük performans
F2-K2 (Çift çıkışlı menfez-Kapalı derzli)	166,35	32,31	25,77	63%	Orta düzeyde maliyet ve performans
F1-K3 (Tek çıkışlı mezfez-Açık derzli)	147,41	33,63	26,16	61%	Maliyet ve performans dengesi
F2-K3 (Çift çıkışlı menfez-Açık derzli)	139,19	31,39	25,47	64%	En düşük maliyet, en yüksek performans



Şekil 6.3. Havalandırmalı cephe sistemlerinin birim maliyetleri, ısı performans ve verim artış değerlerinin grafikleri

Bu bulgular, özellikle sıcak ve nemli iklim bölgesinde, soğutma enerji tüketiminin yüksek olduğu yaz döneminde, enerji tasarrufu sağlanmak istenen projeler için havalandırmalı cephe sistemlerinin tercih edilebileceğini göstermektedir. Ayrıca, gelecekteki projelerde tasarım ve uygulama süreçlerine yol gösterici veriler sunmaktadır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında havalandırılmalı cephe sisteminin Türkiye'nin sıcak ve nemli iklim bölgesindeki soğutma yükünü azaltma potansiyeli nicel olarak incelenmektedir. Bu amaca ulaşmak için belirlenen alt hedefler: Sıcak ve nemli iklim koşullarına uygun tasarım parametrelerinin optimizasyonunu sağlamak; iklim verilerinin (güneş ışıınımı, sıcaklık ve hava hareketi) cephe performansına etkilerini araştırmak; optimum havalandırma boşluk geometrilerini elde etmek ve yeni hava çıkış menfez konfigürasyonlarını önermek; farklı cephe yönlerinin, kaplama malzemelerinin ve ısı yalıtım katmanının ısı performans üzerindeki etkilerini incelemek; ve önerilen cephe tiplerinin yatırım maliyetlerini hesaplamaktır. Özellikle yaz dönemi için yüksek ısı performansına sahip bir cephe sistemi önererek, standart yalıtımlı cephe tipine kıyasla daha konforlu bir iç ortam sağlamak ve enerji tasarrufu elde edilmesi hedeflenmiştir.

Havalandırılmalı cephenin termo-akışkan davranışının karmaşık yapısı nedeniyle, bu çalışmada Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yönteminin yazılımlarından biri olan ANSYS Fluent kullanılarak detaylı bir sayısal analiz gerçekleştirilmiştir. Yapılan simülasyonlar, cephedeki hava akışı ve ısı transferi mekanizmalarını detaylı bir şekilde ortaya koyarak, sistemin performansı hakkında önemli bilgiler sağlamıştır.

Elde edilen sonuçlara göre, en etkili hava değişkenleri, güneş ışıınımı ve rüzgar hızı olmakla birlikte ortam sıcaklığı da etkili bir parametredir. Sıcak nemli iklim bölgesindeki İzmir, Adana ve Hatay illerinin ve farklı cephe yönlerinin (Doğu, Güney ve Batı) havalandırılmalı cephe sistemi performansı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla yapılan analizler, güneş ışıınımının cephe performansını önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Örneğin, Batı cephesinin öğleden sonra en yoğun güneş ışıınımına maruz kalması ve güney cephesinin gün boyu güneş ışıınımı alması ve dış ortam sıcaklığının en yüksek olmasına rağmen, en fazla soğuma bu cephelerde gözlemlenmiştir. Her bir cephe yönü dış ortam ve duvar katmanı sıcaklıkları arasındaki fark üzerinden kıyaslandığında, doğu cephede 6,4°C, güney cephede 9,7°C ve batı cephede 7,8°C soğuma sağlanmıştır. Dolayısıyla, güneş ışıınım şiddetinin yükselmesi, hava boşluğu içerisinde doğal taşınım akımlarını tetikleyerek, sistemin daha fazla soğutma sağlayabildiğini göstermektedir.

Havalandırma boşluğu geometrilerinin optimizasyonu sürecinde, hava boşluğu kalınlığı (d), sistemin ısı performansı üzerinde doğrudan etkili olan en önemli parametrelerden biridir. Analiz sonuçları, havalandırma boşluğu kalınlığının 0,025m'den 0,25m'ye artırılmasıyla iç mekâna aktarılan ısı transferinin azaldığını göstermektedir. En dar ve en geniş kalınlık değerleri arasında yapılan kıyaslamada, iç mekâna aktarılan ısı transferinde %39 oranında bir azalma sağlandığı tespit edilmiştir. Hava boşluğunun genişletilmesi, inşaat sürecinde daha karmaşık uygulamaları ve artan maliyetleri beraberinde getirirken, çok dar bir hava boşluğu ise olumsuz etkiler yaratabilir. Dar bir boşluk, hava hızını artırarak türbülansa neden olabilir ve bu durum, hava sirkülasyonunu engelleyerek sistemin verimliliğini düşürebilir. Yapılan analizler sonucunda, havalandırma cephe sistemleri için " $d=0,075m$ " hava boşluğu kalınlığının, ısı transferi, inşaat kolaylığı ve maliyet unsurları dikkate alındığında en uygun değer olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, hava çıkış menfezi genişliğinin " $d_{out}=0,05m$ " olması, havanın dışarıya çıkışını yeterince desteklemekte ve ısı transferini azaltmaktadır. Ancak, " d_{out} " ölçüsündeki değişikliklerin ısı transferi üzerinde önemli bir etkisi bulunmadığı için bu parametre belirleyici bir tasarım faktörü olarak görülmemektedir.

Çalışmada, literatürde daha önce yer almamış olan çift çıkışlı hava mefезine sahip bir havalandırma cephe sistemi önerilmiştir (F2). Bu sistemin performansı, F1 tip cephe sistemi ile karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, F2 cephesinin hava boşluğundaki ortalama rüzgar hızı, yaklaşık 1,8-1,9m/s iken, F1 cephesinde bu değer 0,7-0,8m/s seviyelerinde kalmaktadır. Bu fark, F2 cephesindeki çift çıkışlı hava menfezinin baca etkisini daha etkin bir şekilde artırmasından kaynaklanmaktadır. F2 cephe sisteminde, rüzgar hızındaki yaklaşık 1 m/s'lik artış, iç mekâna aktarılan ısı transferinde 9,5W'lık bir azalma sağlamıştır. Bu değişim, cephe katmanlarından biri olan yalıtım katmanındaki ortalama hacimsel sıcaklık değerlerinde yaklaşık 2°C'lik bir düşüş olarak gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, F1 ve F2 cephe tiplerinin iç mekâna aktardığı ısı transferi üzerinden yapılan soğutma verimi kıyaslamasında, F2 sistemi %17 oranında daha fazla soğutma sağlamaktadır. Elde edilen verilere göre, F2 tip cephe için " $d=0,075m$ " ve " $d_{out}=0,025m \times 2$ çıkışlı menfez" boyutları optimum boşluk geometri olarak önerilmektedir. Sonuç olarak, F2 tip cephede daha küçük bir hava çıkış menfez boyutu ile bile benzer ısı performans elde edilmiştir ve iç mekâna aktarılan ısı transferi miktarı daha düşük ölçülmüştür.

Havalandırma cephe sisteminde optimum boşluk geometrilerinin belirlenmesinde araştırılan ikinci parametre, cephe yüksekliğinin etkisidir. Analiz sonuçları, havalandırma

boşluk yüksekliği arttıkça metrekare başına iç mekana aktarılan toplam ısı transferi oranının 0,17-0,3W gibi küçük bir azalma gösterdiğini, bunun da cephe katmanlarındaki sıcaklık değişimlerini sınırlı tuttuğunu ortaya koymaktadır. Örneğin, yalıtım katmanının sıcaklığı incelendiğinde, havalandırma boşluk yüksekliğinin 3m'den 6m'ye çıkması durumunda sıcaklıkta 0,6°C, 9m'ye çıkması durumunda ise 0,2°C'lik bir artış olduğu, ancak 9m'den sonra sıcaklığın 28,4°C'de sabit kaldığı görülmüştür. Bu sınırlı değişim, hava boşluğundaki havanın yüzeylerden ısı emmesiyle yoğunluğunun azalarak yükselmesi ve hava giriş-çıkış mesafelerinin artması sonucu, cephenin üst kısımlarında soğutma etkisinin azalmasıyla açıklanabilir. Sonuç olarak, havalandırma boşluğu yüksekliğinin, cephe kaplama sıcaklığını düşürme dışında sistem performansı üzerinde kayda değer bir etkisi olmadığı görülmektedir.

Havalandırılmalı cephe sisteminde, hava boşluğundaki akış hızındaki artışın en çok cephe kaplama sıcaklığını etkilediği, hem F1 ve F2 cephe tiplerinin karşılaştırılması hem de cephe yüksekliklerinin artırıldığı analizler sonucunda daha net bir şekilde ortaya konmuştur. F2 cephe tipinde, hava boşluğundaki akış hızının iki katına çıkması, cephe kaplamasının hacimsel sıcaklığında 10°C'lik bir soğuma sağlamıştır. Benzer şekilde, cephe yüksekliğinin 3m'den 6m'ye çıkarılması, hava boşluğundaki akış hızını yine iki katına çıkarmış ve cephe kaplama sıcaklığında 1°C'lik bir soğuma elde edilmiştir. Bu veriler, hava akış hızının cephe kaplamasının soğutulmasında önemli bir parametre olduğunu göstermektedir.

Çalışmada, farklı cephe kaplama malzemelerinin havalandırılan cephe sisteminin ısıl performansı üzerindeki etkileri de incelenmiştir. Analiz sonuçları, ahşap ve kil malzemelerinin ısı akısı değerleri yaklaşık 5W/m² arasında, alüminyum kompozit, granit ve seramik malzemelerinin ise 3W/m² arasında değişmektedir. Bu sonuçlar, ahşap ve kil esaslı malzemelerde iç mekana aktarılan ısı transfer oranının %40 daha düşük olduğunu göstermektedir. Yapılan sıcaklık dağılımı analizleri ise kil esaslı malzeme ve ahşabın dış yüzey sıcaklığını diğer malzemelere göre 5-6°C daha düşük seviyelerde tuttuğunu ortaya koymuştur. Bu özellik, özellikle yaz aylarında iç mekânların aşırı ısınmasını önlemede avantaj sağlamaktadır. Çalışma sonuçlarına göre, hem yüksek ısıl performansı hem de düşük yüzey sıcaklığı gibi avantajları sayesinde kil esaslı kaplama malzemesi tercih edilmiştir.

Kil esaslı kaplamanın seçilmesi ile birlikte, bu malzemenin yatay derzlerin kapalı derzli (K2) veya açık derzli (K3) olmasının da ısıl performans üzerindeki etkileri incelenmiştir. Analiz sonuçları, K3 tipinin, K2 cephe tipine oranla %8 daha az ısı transferi sağladığını göstermiştir.

Özellikle K3 açık derzli cephe tipinde yatay derz boşluklarının varlığı, hava boşluğu içindeki hava akışını hızlandırmakta ve bu sayede iç mekâna daha az ısı transfer edilmesini sağlamaktadır. Ek olarak, K3 derz tipinde hava geçişleri incelendiğinde, cephenin orta noktasına kadar olan derzlerden hava girişi gerçekleşirken, orta noktadan sonra derzlerden havanın çıkış yönünde hareket ettiği gözlemlenmektedir. Bu durum, açık derzli cephenin üst bölgelerinde, kapalı derzli cepheye kıyasla iç duvarda yaklaşık 2°C cephe kaplamada yaklaşık 4°C daha fazla soğutma soğutma sağlanabilmektedir. Sonuç olarak, K3 tipi cephelerde hava akışının optimize edilmesi, ısı transferini azaltarak soğutma yüklerini düşürmede daha etkili bir çözüm sunmaktadır.

Havalandırma menfezi düzeninin (sürekli veya süreksiz) cephe sisteminin ısıl performansı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla üç boyutlu analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, sürekli menfeze sahip cephe tipi süreksiz menfeze sahip cephe tipine kıyasla iç mekana %3 oranında daha az ısı transferi gerçekleştirmiştir. Isı transferinin katman sıcaklıklarına etkisi incelendiğinde, sürekli menfezli cephede duvar katmanının hacimsel sıcaklık ortalaması, süreksiz menfeze göre 0,4°C daha soğuktur. Özetle, elde edilen veriler, menfez genişliği arttıkça hem iç mekana aktarılan ısı transfer oranının hem de sıcaklıkların azalacağını göstermektedir. Verilen ölçekte sonuçlar arasındaki fark yakın olmakla birlikte bina ölçeğinde değerlendirildiğinde, cephe genişliklerinin daha büyük olması nedeniyle, sürekli menfezlerin etkisinin daha belirgin hale gelecektir ve cephe boyunca homojen bir hava akışı sağlanacaktır. Bu nedenlerle, sürekli menfeze sahip cephe sistemi önerilmektedir.

Tez çalışmasında önerilen havalandırılmalı cephe sisteminin kesitinde değişiklik olmaması durumunda analizler iki boyutlu olarak gerçekleştirilmiştir. Ancak, cephe boyunca sürekliliği bozan ve kesitte değişime yol açan alternatif senaryolarda üç boyutlu analizlere başvurulmuştur. Üç boyutlu analizler, iki boyutlu analiz sonuçlarını genel olarak desteklemekle birlikte, özellikle yüzey sıcaklıklarındaki değişimlerin görselleştirilmesinde daha ayrıntılı ve açıklayıcı bilgiler sağlamıştır. Dolayısıyla, kesitte üçüncü boyutta herhangi bir değişiklik olmadığı durumlarda iki boyutlu analiz yeterli görülmekte; ancak kesitte farklılıkların bulunduğu durumlarda analizlerin üç boyutlu olarak gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, analiz yöntemi kesit özelliklerine bağlı olarak seçilmelidir.

Çalışmada, optimum boşluk boyutlarına sahip havalandırılmalı kil esaslı cephe kaplama sistemlerinin farklı tasarım alternatiflerinin (F1-K2, F1-K2, F2-K2, F2-K3) maliyetleri karşılaştırılmıştır (Bknz. Şekil 6.1; Şekil 6.2). Analiz sonuçlarına göre, F2 cephesi F1 cephesine kıyasla yaklaşık $8\$/m^2$ değerinde daha düşük maliyetli çıkmıştır. K3 cephe tipi ise K2 cephe tipine kıyasla yaklaşık $27\$/m^2$ değerinde daha düşük maliyet sunmaktadır. Özetle, F1-K2 cephe sistemi $174,61\$/m^2$ ile en yüksek inşaat maliyetine sahipken, F2-K3 cephe sistemi, $139,14\$/m^2$ ile en düşük maliyeti sağlayarak maliyet etkinliği açısından ön plana çıkmaktadır. Bu sonuçlar, maliyet etkinliği açısından çift çıkışlı hava menfezli ve açık derzli sistemlerin daha avantajlı olduğunu göstermektedir.

Önerilen cephe tiplerinin iç mekana aktarılan ısı transferi oranları ile havalandırmasız cephe tipinin iç mekana aktarılan ısı transferi oranı karşılaştırılarak önerilen sistemlerin soğutma verimi yorumlandığında;

- F2-K3 (çift çıkışlı menfez-açık derz) Sistemi: %64 ile en yüksek ısı performans verimine ve $139,14\$/m^2$ ile en düşük yapım maliyetine sahip olmasıyla en uygun seçenek olarak öne çıkmaktadır.
- F2-K2 (çift çıkışlı menfez-kapalı derz) Sistemi %63 ısı performans verimiyle F2 açık derzli sistemden hemen sonra gelmekte olup, $166\$/m^2$ yapım maliyeti ile ikinci sırada yer almaktadır.
- F1-K3 (tek çıkışlı menfez-açık derz) Sistemi: %61 ısı performans verimiyle üçüncü sırada bulunurken, $147,41\$/m^2$ yapım maliyetiyle de üçüncü sırada yer almaktadır.
- F1-K2 (tek çıkışlı menfez-kapalı derz) Sistemi: %58 en düşük ısı performans verimine sahip olup, $174,61\$/m^2$ yapım maliyetiyle de maliyet açısından en yüksek seçenek olarak dikkat çekmektedir.

Optimum cephe sisteminin seçimi, sadece ısı performans ve maliyet gibi teknik kriterlere değil, aynı zamanda projenin özel gereksinimleri, müşteri tercihleri, çevresel koşullar ve bütçe gibi faktörlere de bağlı olarak şekillenebilir. Bu nedenle, karar verme süreci, çok disiplinli bir yaklaşım gerektirmektedir. Sonuçta, F2-K3 Derzli Sistem, sunulan veriler ışığında hem yapım maliyeti hem de performans açısından en uygun seçenek olarak öne çıkmaktadır. Ancak, her proje için en uygun sistemin belirlenmesi için detaylı bir analiz ve değerlendirme yapılması gerekmektedir.

Opak havalandırılmalı cephe sistemleri, ısıl performansı artırma avantajı sunmasına rağmen, akustik performansının yeterince yüksek olmaması bir dezavantaj olarak öne çıkmaktadır. Hava boşluğunun varlığı ve açık derzli yapı tasarımı, dış ortamdan kaynaklanan gürültünün iç mekâna iletimini artırabilir. Ayrıca, hava boşluğundaki hava akışı, düşük frekanslı gürültülerin oluşumuna ve cephe boyunca rüzgar etkisiyle meydana gelen uğultulara neden olabilir. Bu olumsuzlukları en aza indirmek için, hava boşluğunda ses yutucu paneller veya malzemelerin kullanılması, akustik performansı artırılmış ve yüksek yoğunluklu malzemelerin tercih edilmesi önerilmektedir. Bununla birlikte, sistemin akustik performansının uygulama öncesinde kapsamlı testlerle değerlendirilmesi ve sonuçlara göre gerekli iyileştirmelerin yapılması, tasarım sürecinin optimize edilmesine katkı sağlayacaktır.

Çalışmada elde edilen analiz sonuçları, havalandırılmış cephe sistemlerinin, benzer iklim koşullarındaki yapıların erken tasarım aşamalarında yaklaşık performans tahminleri için kullanılabilir. Ancak, cephe seviyesinde ölçülen ısı kazanımlarındaki azalmanın, bina genelindeki enerji tüketimindeki azalma ile doğrudan orantılı olduğu sonucu çıkarılmamalıdır. Havalandırılmalı cepheler, binaların soğutma yükünü azaltma potansiyeline sahip olmakla birlikte, cephedeki opak ve şeffaf elemanların oranı gibi diğer faktörler de enerji verimliliği üzerinde önemli etkilere sahiptir.

Gelecekteki çalışmalar için öneriler

Cephenin ısıl performansı dışında yağmur ve rüzgar koruması, yoğuşmanın önlenmesi gibi nedenlerle de havalandırılmalı cephe tipi sıcak nemli iklim bölgesine uygun bir alternatiftir. Bu nedenle gelecek çalışmalarda, önerilen cephe tipinin nem performansı üzerine detaylı analizler yapılabilir. Bu sayede, iç mekan konforunu etkileyen nem seviyeleri ve yapı malzemelerinin nem ile etkileşimi daha iyi anlaşılabilir.

Havalandırılmalı cephe sistemlerinin enerji verimliliği bakımından tasarımı, uygulanması ve bakımına yönelik standartlar belirlenerek bir uygulama yönetmeliği oluşturulması, cephenin daha yaygın ve etkin kullanılmasını sağlayacak ve sektörün gelişmesine katkı sağlayacaktır.

Cephenin mevsimsel performans değerlendirmesi yapılabilir. Hem yaz hem de kış aylarında havalandırılmalı cephe sistemlerinin performansını değerlendirmek, binaların enerji verimliliği ve iç ortam konforu açısından büyük önem taşımaktadır. Mevsimsel değişimlerin

etkisini anlamak, tasarım süreçlerinde kritik bir rol oynayacaktır. Bu bağlamda dinamik cephe sistemleri geliştirilebilir. Özellikle cepheye entegre edilen sensörler sayesinde dış hava koşullarına göre otomatik olarak ayarlanan dinamik cephe sistemlerinin denenmesi, cephenin mevsimsel değişikliklere adapte olabilme potansiyelini artırabilir. Bu tür sistemlerin etkinliği, enerji tasarrufu ve iç ortam konforu açısından önemli veriler sunacaktır.

Bu çalışma, sıcak ve nemli iklim bölgelerine yönelik yapılmış olsa da, farklı iklim bölgelerinde de benzer analizlerin yapılması büyük önem taşımaktadır. Farklı iklim koşullarının cephe sistemlerinin tasarımı ve performansı üzerinde nasıl bir etki yarattığını anlamak, daha kapsamlı ve verimli cephe çözümleri geliştirilmesine olanak tanıyacaktır.

Bu öneriler, gelecekteki çalışmaların kapsamını genişletmeye ve havalandırmalı cephe sistemlerinin potansiyelini daha derinlemesine incelemeye yönelik önemli bir temel sunmaktadır.

KAYNAKLAR

- Akdemir, Ö., Hacirecepoğlu, A., Andiç-Çakır, Ö., Sarikanat, M., Sever, K., Seki, Y. (2020). Poliüretanın ısı yalıtım özelliklerinin silika esaslı partiküllerle iyileştirilmesi. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 22(64), 147-153.
- Alfakhry, A. (2020). A comparative analytical study of some external finishing (cladding) material in terms of their ability to spread fire in multi-story building facades in Iraq. *International Journal of Safety and Security Engineering*, 10(5), 647-654.
- Allen, E., ve Iano, J. (2019). *Fundamentals of building construction: Materials and methods*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. 397-415, 791-812.
- Alyahya, A. A., Lannon, S., Jabi, W. (2023). CFD simulation for opaque ventilated facades in hot arid climate based on literature review design parameters. *2023 Building Simulation Conference Bildirileri* (1264). China: Shanghai,
- Alyahya, A. A., Lannon, S., Jabi, W. (2023). *CFD simulation for opaque ventilated facades in hot arid climate based on literature review design parameters*. Proceedings of Building Simulation 2023: 18th Conference of IBPSA, 4-6 Ağustos 2023. China: Shanghai, 1577-1585.
- Arslan, M., Aktaş, M. (2018). İnşaat sektöründe kullanılan yalıtım malzemelerinin ısı ve ses yalıtımı açısından değerlendirilmesi. *Journal of Polytechnic*, 21(1), 85-92.
- Attia, S., Bilir, S., Safy, T., Struck, C., Loonen, R., Goia, F. (2018). Current trends and future challenges in the performance assessment of adaptive façade systems. *Energy and Buildings*, 179, 165-182.
- Balocco, C. (2002). A simple model to study ventilated facades energy performance. *Energy and Buildings*, 34, 469-475.
- Ballast, D. K. (2009). *Architect's handbook of construction detailing*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. 55-142.
- Balter, J., March, C. P., Ansuátegui, I. P., Ganem, C. (2019). Air cavity performance in opaque ventilated façades in accordance with the Spanish Technical Building Code. *ACE: Architecture, City and Environment*, 13(39), 1-12.
- Barbosa, S., Ip, K., Southall, R. (2015). Thermal comfort in naturally ventilated buildings with double skin façade under tropical climate conditions: The influence of key design parameters. *Energy and Buildings*, 109, 397-406.
- Binici, H., Sevinç, A., Eken, M., Demirhan, C. (2014). Mısır koçanı katkılı ısı yalıtım malzemesi üretimi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(2), 13-26.
- 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.

- Balocco, C., Petrone, G. (2017). Numerical modelling for the thermal performance assessment of a semi-opaque façade with a multilayer of nano-structured and phase change materials. *Buildings*, 7(4), 90.
- Bonham, M. B. (2019). *Bioclimatic Double-skin Façades*. Londra: Routledge, 41-74.
- Ching, F. D., Mulville, M. (2014). *European building construction illustrated*. Londra: John Wiley & Sons. 218-268.
- Ciampi, M., Leccese, F., Tuoni, G. (2003). Ventilated facades energy performance in summer cooling of buildings. *Solar Energy*, 75(6), 491-502.
- CWCT. (2018). Technical Note No. 73: Fire performance of curtain walls and rainscreens. Bath, *Center for Window and Cladding Technology (CWCT)*, İngiltere.
- Çengel, Y. A., Boles, M. A. (1996). *Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik* (Çev. T. Derbentli). İstanbul: Literatür Yayıncılık, 1. Basım, 867s.
- Çengel, Y. A., Ghajar, A. J. (2015). *Isı ve kütle transferi: Esaslar ve uygulamalar* (4. Basım). Ankara: Palme Yayıncılık, 908s.
- Diallo, T., Zhao, X., Dugué, A., Bonnamy, P., Miguel, F., Martinez, A., Brown, N. (2017). Numerical investigation of the energy performance of an opaque ventilated façade system employing a smart modular heat recovery unit and a latent heat thermal energy system. *Applied Energy*, 205, 130-152.
- Dréan, V., Girardin, B., Guillaume, É., Fateh, T. (2019). Numerical simulation of the fire behaviour of facade equipped with aluminium composite material-based claddings-model validation at large scale. *Fire and Materials*, 43(8), 981-1002.
- Faggembauu, D., Costa, M., Soria, M., Oliva, A. (2003). Numerical analysis of the thermal behaviour of glazed ventilated facades in Mediterranean climates. Part II: Applications and analysis of results. *Solar Energy*, 75(3), 229-239.
- Fantucci, S., Serra, V., Perino, M. (2015). Experimental assessment of the energy performance of an advanced ventilated clay bricks façade. *In Advanced Building Skins*, 288-297.
- Fantucci, S., Marinosci, C., Serra, V., Carbonaro, C. (2017). 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.
- Fantucci, S., Serra, V., Carbonaro, C. (2020). An experimental sensitivity analysis on the summer thermal performance of an opaque ventilated façade. *Energy and Buildings*, 225, 110354.
- Fanger, P. O. (1982). *Thermal Comfort* (Orijinal: Danish Technical Press 1970). Florida: Kreiger. 244s.

- Foster, J. S., Greeno, R. (2013). *Mitchell's Structure & Fabric Part 1*. 7. Baskı. Londra: Pearson Education Limited, 248s.
- Gagliano, A., Nocera, F., Aneli, S. (2016). Thermodynamic analysis of ventilated façades under different wind conditions in summer period. *Energy and Buildings*, 122, 131-139.
- Giancola, E., Sanjuan, C., Blanco, E., Heras, M. R. (2012). Experimental assessment and modelling of the performance of an open joint ventilated façade during actual operating conditions in Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, 54, 363-375.
- Gibson, M. D. (2014). Cool Skins: Materials and Assemblies for Ventilated Building Envelopes in Warm Climates. *Journal of Building Physics*, 1-20.
- Giraldo, M., Palacio, A., Avellaneda, J., Burgos, C. (2013). Computer-simulation study on fire behaviour in the ventilated cavity of ventilated façade systems. *Matec Web of Conferences*, 9, 03002.
- Girma, G., Tariku, F. (2021). Experimental investigation of cavity air gap depth for enhanced thermal performance of ventilated rain-screen walls. *Building and Environment*, 194, 107710.
- Goad, P. (2005). *Troppo Architects* (2. Baskı). Sidney: Pesaro Publishing, 112s.
- Goulart, M. F., Labaki, L. C. (2022). Thermal performance of opaque ventilated façades: A systematic review. *PARC: Pesq. em Arquit. e Constr.*, 13, e022026.
- Gratia, E., De Herde, A. (2007). Are energy consumptions decreased with the addition of a double-skin?. *Energy and Buildings*, 39(5), 605-619.
- Hafizi, N., Vural, S. (2022). New taxonomy of climate adaptive building shell office buildings: Focus on user-façade interaction scenarios. *Energies*, 15(14), 5268.
- Harris, D. J., Helwig, N. (2007). Solar chimney and building ventilation. *Applied Energy*, 84(2), 135-146.
- Hendriks, L., Hens, H. (2000). *Building Envelopes in a Holistic Perspective*. Leuven: ACCO Academic Press, 102s.
- Hens, H., Fatin, A. M. (1995). Heat-air-moisture design of masonry cavity walls: Theoretical and experimental results and practice (No. CONF-950104-). *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.*, Atlanta, GA (United States).
- Hens, H., Janssens, A., Depraetere, W., Carmeliet, J., Lecompte, J. (2007). Brick cavity walls: A performance analysis based on measurements and simulations. *Journal of Building Physics*, 31(2), 95-124.
- Hens, H. (2012). *Performance Based Building Design 1: From Below Grade Construction to Cavity Walls*. New Jersey: John Wiley & Sons, 276s.

- Hens, H., Roels, S., Desadeleer, W. (2005). Glued Concrete Block Veneers with Open Head Joints: Rain Leakage and Hygrothermal Performance. *Proceedings of the 7th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries*, Reykjavik, 670s.
- Hoces, A., Klein, T., Knaack, U., Auer, T. (2017). Main perceived barriers for the development of building service integrated facades: Results from an exploratory expert survey. *Journal of Building Engineering*, 13, 96-106.
- Hu, Z., He, W., Ji, J., ve Zhang, S. (2017). A review on the application of Trombe wall system in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 976-987.
- Ibáñez-Puy, M., Vidaurre-Arbizu, M., Sacristán-Fernández, J. A., Martín-Gómez, C. (2017). Opaque ventilated façades: Thermal and energy performance review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 79, 180-191.
- ISO 13790. (2008). Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling. *ISO*, İsviçre.
- İnternet: CBE Thermal Comfort Tool. Url-1: <https://cbe-berkeley.gitbook.io/thermal-comfort-tool/documentation/ashrae-55>, Son Erişim Tarihi:17.10.2024.
- İnternet: Cavity Walls: Design Guide for Taller Cavity Walls. Url-2: <https://masonryadvisorycouncil.org/wp-content/uploads/2016/05/cavitywalls.pdf>, Son Erişim Tarihi: 15.10.2024.
- İnternet: Favemanc-Ceramic Ventilated Façades. Url-3: -website, Son Erişim tarihi: https://pdf.archiexpo.com/pdf/gresmanc/favemanc-ceramic-ventilated-facades/63563-437799-_13.html, Son Erişim Tarihi: 15.10.2024.
- İnternet: AGS Giydirmce Cephe Sistemleri. Url-4: <https://www.agsmetal.com/tr/sistemler-34.html>, Son Erişim tarihi: 15.10.2024.
- İnternet: İzmir Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü. Url-5: <https://izmir.csb.gov.tr/izmiri-taniyalim-i-87307>, Son Erişim Tarihi:10.10.2024.
- İnternet: Adana Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü. Url-6: <https://adana.csb.gov.tr/ilimizi-taniyalim-i-1222#>, Son Erişim Tarihi:10.10.2024.
- İnternet: Hatay Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü. Url-7: <https://hatay.csb.gov.tr/ilimiz-hakkinda-i-2645>, Son Erişim Tarihi:10.10.2024.
- İnternet: Repository of Building Simulation Climate Data From the Creators of the EPW. Url-8: <https://climate.onebuilding.org/>, Son Erişim Tarihi:15.10.2024.
- İnternet: Photovoltaic Geographical Information System. Url-9: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/, Son Erişim Tarihi:15.10.2024.
- İnternet: Solar Calculator. Url-10: <https://meteoexploration.com/products/SolarCalculator.html>, Son Erişim Tarihi:15.10.2024.

- İnternet: ANSYS. (2009). Türbülans modelleri. *Fluent Documentation*. URL-11: <https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/th/node330.htm>. Son Erişim Tarihi: 10.09.2020.
- İnternet: ASHRAE-55. (2020). ANSI/ASHRAE Standard 55-2020: Thermal environmental conditions for human occupancy. URL-12: <https://tr.z-lib.gs/book/25388922/908ddd/ansiashrae-standard-552020-thermal-environmental-conditions-for-human-occupancy.html>. Son Erişim Tarihi: 02.12.2024.
- İnternet: Catalá, E. A. (2016). Diferentes tipos de aislamiento térmico exterior SATE. *Alario Arquitectura*. URL-13: <https://enriquealario.com/diferentes-tipos-de-aislamiento-termico-exterior-sate/>. Son Erişim Tarihi: 01.12.2024.
- İnternet: CWCT. (2020). Drained and ventilated. *Center for Window and Cladding Technology (CWCT)*. URL-14: <https://www.cwct.co.uk/pages/facets#!articles/1222-9011-0204-drained-and-ventilated>. Son Erişim Tarihi: 01.01.2024.
- İnternet: IEA. (2023a). Tracking Clean Energy Progress 2023 – Analysis. *International Energy Agency*. URL-15: <https://www.iea.org/reports/tracking-clean-energy-progress-2023>, Son Erişim Tarihi: 15.10. 2025.
- İnternet: IEA. (2023b). Energy Efficiency 2023—Analysis and key findings. *A report by the International Energy Agency*. URL-16: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2023/executive-summary>, Son Erişim Tarihi: 15.10. 2024.
- İnternet: IEA. (2024). Daily peak demand versus average daily temperatures during cooling seasons in Türkiye, 2019, 2022 and 2024. *International Energy Agency*. Paris. URL-17: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/daily-peak-demand-versus-average-daily-temperatures-during-cooling-seasons-in-turkiye-2019-2022-and-2024>, Licence: CC BY 4.0. Son Erişim Tarihi: 1.12. 2024.
- İnternet: IFD, (2018). Facade Guideline, IFD-Guideline for the Design and Installation of Rear-Ventilated Rainscreen Facades. *IFD*. URL-18: <https://www.fvvhf.de/facade/VHF-System/Aufbau-und-Technik.php>, Son Erişim Tarihi: 1.10.2024.
- İnternet: EPDK. (2023). Elektrik Piyasası Yıllık Sektör Raporu Listesi: 2023 Yılı Elektrik Piyasası Gelişim Raporu. *Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK)*. URL-19: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-24-3/elektrikyillik-sektor-raporu>. Son Erişim Tarihi: 12.10.2024.
- İnternet: ETKB. (2024). Enerji Verimliliği 2030 Stratejisi ve II. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2024-2030). *Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı*. URL-20: https://enerjiverimlilik.enerji.gov.tr/template/dist/pdf/Eylem_Plani.pdf. Son Erişim Tarihi: 12.10.2024.
- Karanafti, A., Theodosiou, T. (2024). Summer thermal performance analysis of an opaque ventilated façade operating under the dynamic insulation principle. *Energy and Buildings*, 312, 114193.

- Khanal, R., Lei, C. (2011). Solar chimney—A passive strategy for natural ventilation. *Energy and Buildings*, 43(8), 1811-1819.
- Knaack, U., Koenders, E. (Eds.). (2018). *Building Physics of the Envelope: Principles of Construction*. Basel/Berlin/Boston: Walter de Gruyter GmbH, 136.
- Kicklighter, C. E. (2003). *Modern Masonry*. Tinley Park: Goodheart-Willcox Publisher, 384.
- Kotan, T., Firat, İ., Kaya, M., Ulusu, İ. (2018). Binalarda kullanılan farklı ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik katsayılarının Erzincan ili şartlarında termokupl ve termal kamera ile incelenmesi. *Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering*, 23(2), 367-382.
- Labat, M., Woloszyn, M., Garnier, G., Rusaouen, G., Roux, J. (2012). Impact of direct solar irradiance on heat transfer behind an open-jointed ventilated cladding: Experimental and numerical investigations. *Solar Energy*, 86, 2549-2560.
- La Roche, P. M. (2017). *Carbon-neutral architectural design*. Boca Raton: Taylor & Francis, CRC Press. 486s.
- Lechner, N. (2015). *Heating, Cooling, Lighting – Sustainable Design Methods for Architects* (4. Basım). New Jersey: Wiley & Sons Inc., 731s.
- Lecompte, J. (1990). Influence of natural convection in an insulated cavity on the thermal performance of a wall. *American Society for Testing of Materials*, STP 1030, 397-420.
- Lee, K., Han, K., Lee, J. (2017). The impact of shading type and azimuth orientation on the daylighting in a classroom – Focusing on effectiveness of façade shading, comparing the results of da and udi. *Energies*, 10(5), 635.
- Lin, Z., Song, Y., Chu, Y. (2022). An experimental study of the summer and winter thermal performance of an opaque ventilated facade in cold zone of China. *Building and Environment*, 2(4), 127.
- Lin, C. (2024). Comprehensive analysis on the thermal comfort of various greening forms: A study in hot-humid areas. *Environmental Research Communications*, 6(2), 025010.
- Loncour, X., Deneyer, A., Blasco, M., Flamant, G., Wouters, P. (2004). *Ventilated double facades. Classification & illustration of facade concepts*. Belçika: Belgian Building Research Institute (BBRI).
- López, F. P., Jensen, R. L., Heiselberg, P., Santiago, M. D. (2012). Experimental analysis and model validation of an opaque ventilated facade. *Building and Environment*, 56, 265-275.
- Maciel, A. C. F., Carvalho, M. T. (2019). Operational energy of opaque ventilated façades in Brazil. *Journal of Building Engineering*, 25, 100775.

- Magri, E., Buhagiar, V., Overend, M. (2019). The potential of smart glazing for occupant well-being and reduced energy load in a central-Mediterranean climate. *Kne Social Sciences*, 534-545.
- Marinosci, C., Strachan, P. A., Semprini, G., Morini, G. L. (2011). Empirical validation and modelling of a naturally ventilated rainscreen façade building. *Energy and Buildings*, 43(4), 853-863.
- Masi, R., Ruggiero, S., Vanoli, G. (2021). Hygro-thermal performance of an opaque ventilated façade with recycled materials during wintertime. *Energy and Buildings*, 245, 110994.
- Medved, S., Domjan, S., Arkar, C. (2019). *Sustainable Technologies for Nearly Zero Energy Buildings*. Basel: Springer International Publishing. 398s.
- McCormick, D. (2017). The effect of air flow inside wall cavities on the thermal performance of cavity walls. Doktora tezi, Glasgow Caledonian University.
- McMullan, R. (1989). *Environmental Science in Building* (2. Basım). Londra: Macmillan Education Ltd., 273s.
- McQuiston, F. C., Parker, J. D., Spitler, J. (2005). *Heating, Ventilating, and Air Conditioning Analysis and Design* (6. Basım). USA: John Wiley Press. 617s.
- Moghaddam, F., Mir, J., Besné, A., Navarro, I., Redondo, E. (2020). Building orientation in green facade performance and its positive effects on urban landscape. Case study: An urban block in Barcelona. *Sustainability*, 12(21), 9273.
- Naboni, E., Tarantino, S. (2014). The climate based design of opaque ventilated facades. In *9th International ENERGY FORUM: Advanced Building Skins*, 1023-1030. Economic Forum.
- Na, R. (2017). *A comprehensive evaluation of cooling load reduction potentials of self-ventilated cavity wall in the U.S.*, Doktora Tezi, Nebraska Üniversitesi, Lincoln.
- Newman, A., Whiteside, D., Kloss, P., Willis, W. (1982a). Full-scale water penetration tests on twelve cavity fills - Part I. Nine retrofit fills. *Building and Environment*, 17(1), 175-191.
- Newman, A., Whiteside, D., Kloss, P., Willis, W. (1982b). Full-scale water penetration tests on twelve cavity fills - Part II. Three built-in fills. *Building and Environment*, 17(3), 193-207.
- Odewole, G. A. (2011). *Airflow patterns in ventilated wall cavities*. Doktora Tezi, Manchester Üniversitesi, Birleşik Krallık.
- Özbilen, A. (1967). *Hava Tabakalı Çift Duvar*. İstanbul: İTÜ Mimarlık Fakültesi Yapı Araştırma Kurumu, 47.

- Pardal March, C., Paricio, I. (2006). Evolución de la fachada ventilada y propuesta de futuro. Segundas Jornadas sobre Investigación en Arquitectura y Urbanismo, Katalonya Politeknik Üniversitesi, Valles Yüksek Mimarlık Teknik Okulu, Barcelona.
- Rahiminejad, M., Khovalyg, D. (2021a). Thermal resistance of ventilated air-spaces behind external claddings; definitions and challenges (ASHRAE 1759-rp). *Science and Technology for the Built Environment*, 27(6), 788-805.
- Rahiminejad, M., Khovalyg, D. (2021b). Review on ventilation rates in the ventilated air-spaces behind common wall assemblies with external cladding. *Building and Environment*, 190, 107538.
- Rich, P., Dean, Y. (1999). *Principles of Element Design* (3. Basım). Londra: Routledge.
- Rodriguez-Ubinas, E., Alhammadi, N., Alantali, M., Alzarouni, S. (2020). Building integrated photovoltaic solutions in arid climates: Experimental analysis of copper indium gallium selenide and crystalline silicon modules integrated as ventilated façades. *Eco-Architecture VIII: Harmonisation Between Architecture and Nature*, 195, 115.
- Romila, C. (2013). General principles for the design and construction of ventilated façades. *Buletinul Institutului Politehnic din Iasi. Sectia Constructii, Arhitectura*, 59(3), 161-169.
- Roig, O., Summa, S., Pardal, C., Isalgue, A., Di Perna, C., Stazi, F. (2024). Opaque ventilated façades: Energy performance for different main walls and claddings. *Energy and Buildings*, 314, 114280.
- Rush, R. D. (1986). *The Building Systems Integration Handbook*. Boston: Butterworth-Heinemann. 445s.
- Patania, F., Gagliano, A., Nocera, F., Ferlito, A., Galesi, A. (2010). Thermofluid-dynamic analysis of ventilated façades. *Energy and Buildings*, 42, 1148-1155.
- Peci, F., Adana, M. R. D., Comino, F., Berlanga, F. (2016). Installing opaque ventilated façades for energy saving in old buildings. *CLIMA 2016 - 12th REHVA World Congress*, 22-25 May 2016, Aalborg, Denmark, Cilt 1.
- Safikhani, T., Abdullah, A., Ossen, D., Baharvand, M. (2014). Thermal impacts of vertical greenery systems. *Environmental and Climate Technologies*, 14(1), 5-11.
- Saelens, D., Roels, S., Hens, H. (2008). Strategies to improve the energy performance of multiple-skin facades. *Building and Environment*, 43(4), 638-650.
- Sotelo-Salas, C., Escobar-del Pozo, C., Esparza-López, C. J. (2021). Thermal assessment of spray evaporative cooling in opaque double skin façade for cooling load reduction in hot arid climate. *Journal of Building Engineering*, 38, 102156.
- Schittich, C., Lang, W., Krippner, R. (2006). *Building skins*. Basel; Boston; Berlin: Birkhäuser, 200s.

- Schunck, E., Oster, H. J., Bartherl, R., Kiessl, K. (2002). *Roof Construction Manual: Pitched Roofs*. Almany: Birkhäuser Publishers for Architecture, 448s.
- Silver, P., McLean, W. (2014). *Mimarlık Teknolojisine Giriş*. İstanbul: Yapı Endüstri Merkezi Yayınları, 208s.
- Standaert, P. (1985). Thermal bridges: A two and three-dimensional analysis. *Proceedings of the Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings III*, Florida.
- Stazi, F., Tomassoni, F., Vegliò, A., Di Perna, C. (2011). Experimental evaluation of ventilated walls with an external clay cladding. *Renewable Energy*, 36(12), 3373-3385.
- Stazi, F., Vegliò, A., Perna, C. D. (2014). Experimental assessment of a zinc-titanium ventilated façade in a Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, 69, 525-534.
- Stazi, F., Ulpiani, G., Pergolini, M., Magni, D., Perna, C. (2018). Experimental comparison between three types of opaque ventilated façades. *The Open Construction and Building Technology Journal*, 12(1), 296-308.
- Stazi, F., Ulpiani, G., Pergolini, M., Perna, C. D., D'Orazio, M. (2020). The role of wall layers properties on the thermal performance of ventilated façades: Experimental investigation on narrow-cavity design. *Energy and Buildings*, 209, 109622.
- Straube, J., Finch, G. (2009). Ventilated wall claddings: Review, field performance, and hygrothermal modeling. *Building Science Corporation*, 1-25.
- Szokolay, S. (2004). *Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design* (1. Basım). Oxford: Architectural Press. 384s.
- Tokgöz, D. (2010). *Hava Tabakalı Dış Duvarlar-Tuğla Örneği*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Topličić-Ćurčić, G., Grdić, D., Ristić, N., Grdić, Z. (2015). Ceramic facade cladding as an element of sustainable development. *Facta Universitatis - Series Architecture and Civil Engineering*, 13(3), 219-231.
- TS 825. (2008). Binalarda Isı Yalıtım Kuralları. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Uçar, A., Dumrul, M. (2019). Bir konutun dış duvarları için ısıtma ve soğutma yüklerine göre optimum yalıtım kalınlığının tespiti ve enerji tasarrufu analizi. *European Journal of Science and Technology*, 740-749.
- UNEP. (2024). 2023 Global Status Report for Buildings and Construction: Beyond foundations-Mainstreaming sustainable solutions to cut emissions from the buildings sector, *United Nations Environment Programme (UNEP)*.
- Utkuğ, G., Ayçam, İ., Erol, M. (1996). *GÜMMF. Mimarlık Bölümü, Fiziksel Çevre Denetimi-I* Yayınlanmamış Ders Notları. 184s.

- Watts, A. (2014). *Modern Construction Envelopes* (2. Basım). New York: Springer Wien, 522s.
- Yeang, K. (2006). *Eko Tasarım “Ekolojik Tasarım Rehberi”* (Çev. S. Eryıldız, D. Eryıldız). İstanbul: Yem Yayın, 472s.
- Yoruç, A., ve Uğraskan, V. (2017). Green polymers and applications. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 17(1), 318-337.
- Yu, M. (2014). *Skins, envelopes, and enclosures: Concepts for designing building exteriors*. New York: Routledge. 280s.
- Zheng, G., Jing, Y., Huang, H., Gao, Y. (2010). Application of improved grey relational projection method to evaluate sustainable building envelope performance. *Applied Energy*, 87(2), 710-720.



Gazili olmak ayrıcalıktır