



**İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN YAPI KABUĞUNUN HİGROTERMAL
PERFORMANSINA ETKİSİ**

Pelin AKIN

DOKTORA TEZİ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 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.

Pelin AKIN

27/09/2024

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN YAPI KABUĞUNUN HİGROTERMAL PERFORMANSINA ETKİSİ

(Doktora Tezi)

Pelin AKIN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2024

ÖZET

İklim değişikliği, etkileri yaşamaya devam edilen dünyadaki en büyük endişelerdendir ve etkili olduğu alanlardan biri de yapılar ve yapı kabuklarıdır. İklim değişikliği etkisiyle meydana gelen sıcaklık ve nem ortalamalarındaki değişimlerin yapı ve yapı kabukları üzerinde olumsuz etkileri olduğu görülmektedir. Bu çalışmada iklim değişikliğinden kaynaklı sıcaklık ve nem değişimlerinin yapı kabukları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla ilk olarak Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün senaryoları dikkate alınarak 2.iklim bölgesinde yer alan Zonguldak ili seçilmiş ve buraya ait tarihsel (2015 yılı) ve gelecek (2079-2098, 2100 yılları) iklimsel verileri elde edilip, iklimsel analizler hem elle hesaplama hem de WUFI-PRO 6.7 programı ile yapılarak karşılaştırılmıştır. İkinci aşamada analizlerle ortaya konan iklimsel değişimlerin, oluşturulan yapı kabukları senaryolarına yansımaları analiz edilmiştir. Bunun için 4 temel senaryo ve bunların malzeme değişimleriyle türetilmiş alt senaryolar; TS 825 ve literatüre dayanarak gazbeton, tuğla ve betonarme duvar malzemeleri ile EPS, XPS ve Taşyünü yalıtım malzemeleri kullanılarak oluşturulmuştur. Senaryoların higrotermal analizleri WUFI-PRO 6.7 ile yapılmadan önce, TS 825'te yer alan Glaser yöntemi ve MGM'den elde edilen veriler kullanılarak, 2015 ve 2081 yılları için elle hesaplama yöntemiyle bir yapı kabuğu analizi gerçekleştirilmiştir. Son aşamada, 2015-2020 dönemi için katmanların don riski, su artışı ve küf riskleri açısından durum tespiti amacıyla WUFI-PRO 6.7 ile yapılan analiz sonuçları 2100-2105 yılları analizleriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 2100 yılına gelindiğinde yapı kabukları ve katmanlarında don riski hiç görülmezken, iç ortam konfor koşulları küf riski açısından olumsuz etkilenecek, katmanların küf riskleri farklı oranlarda risk taşıyacak ve kesit içi su artış miktarları artan ortalama sıcaklıklara bağlı olarak azalacaktır. Tüm bu sonuçlar göstermiştir ki gelecek dönemlerde yapı kabukları tasarımı ile ilgili sınır değerler değişecek ve yeni kabuller için iklim değişikliği projeksiyonları ile tasarım yapmak önemli olacaktır.

Bilim Kodu : 80123
Anahtar Kelimeler : İklim değişikliği, yapı kabuğu, higrotermal performans, nem simülasyonu, Glaser yöntemi.
Sayfa Adedi : 214
Danışman : Prof. Dr. İdil AYÇAM

THE EFFECT OF CLIMATE CHANGE ON THE HYGROTHERMAL PERFORMANCE OF THE BUILDING ENVELOPE

(Ph. D. Thesis)

Pelin AKIN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

September 2024

ABSTRACT

Climate change is one of the biggest concerns in the world today, whose effects are still being experienced, and one of the areas it impacts is buildings and building envelopes. Changes in temperature and humidity averages due to climate change have negative effects on buildings and building envelopes. In this study, the effects of temperature and humidity changes due to climate change on building envelopes are investigated. For this purpose, firstly, Zonguldak province, which is located in the 2nd climate zone considering the scenarios of the General Directorate of Meteorology, is selected and historical (2015) and future (2079-2098, 2100 years) climatic data of this province are obtained, and climatic analyzes are compared by both manual calculation and WUFI-PRO 6.7 program. In the second stage, the reflection of the climatic changes revealed by the analyses on the building envelope scenarios are analyzed. For this purpose, 4 basic scenarios and their sub-scenarios derived with material changes are created using, autoclaved aerated concrete, brick and reinforced concrete wall materials and EPS, XPS and Rockwool insulation materials based on TS 825 and literature. Before the hygrothermal analysis of the scenarios is performed with WUFI-PRO 6.7, a building envelope analysis is performed for the years 2015 and 2081 by manual calculation method using the Glaser method in TS 825 and data obtained from MGM. At the last stage, the results of the analysis performed with WUFI-PRO 6.7 for the period 2015-2020 are compared with the analysis for the years 2100-2105 in order to determine the status of the layers in terms of frost risk, water increase and mold risks. According to the results obtained, in 2100, there will be no frost risk in the building shells and layers, while the indoor comfort conditions will be negatively affected in terms of mold risk, the mold risks of the layers will have different rates of risk, and the amount of in-section water increase will decrease due to increasing average temperatures. All these results show that the limit values related to the design of building envelopes will change in the future and it will be important to design with climate change projections for new assumptions.

Science Code : 80123
Key Words : Climate change, building envelope, hygrothermal performance, moisture simulation, Glaser method.
Page Number : 214
Supervisor : Prof. Dr. İdil AYÇAM

TEŞEKKÜR

Bu uzun ve zorlu süreçte her zaman yanımda olan değerli görüşleri ve yorumları ile çalışmalarımnda yol gösteren danışman hocam Prof. Dr. İdil AYÇAM'a teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasının ortaya çıkmasında emeği geçen ve her zaman yanımda olan, tüm fedakârlığıyla çalışmalarımnda destek olan değerli jüri üyelerim Prof. Dr. Gülsu ULUKAVAK HARPUTLUGİL ve Prof. Dr. Cüneyt KURTAY hocalarıma tüm içtenliğimle teşekkür ederim. Değerli görüşleri ile savunma jürimde katkıları olan kıymetli hocalarım Prof. Dr. Arzuhan Burcu GÜLTEKİN ve Doç. Dr. Zeynep Yeşim HARMANKAYA İLERİSOY'a ayrıca teşekkür ederim.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında katkısı bulunan ve kullandığım programı ücretsiz olarak sağlayabildiğim WUFI simülasyon programı sağlayıcısı Fraunhofer IBP'ye ve iklim veri setini elde ettiğim METEONORM programı sağlayıcılarına ayrıca teşekkür ederim.

Bu uzun süreçte her daim destekleri ile yanımda olan aynı yolda yürüdüğümüz çok sevgili arkadaşlarım Güneş, Makbule, Elvan, Fulya, Cansu, Burcu, Zahide, Aslı ve Gizem'e içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu süreçte tanıdığım ve asla unutmayacağım Leyla Senem GÖRGÜLÜ'ye tüm kalbimle teşekkür ederim.

Son olarak her zaman yanımda olan maddi ve manevi desteğini asla esirgemeyen canım annem Fatma, babam İbrahim SARICIOĞLU'na, ikiz kız kardeşim Selin, eniştem Yusuf ATILGAN'a ve çok kıymetlim yol arkadaşım sırdaşım dünya tatlısı eşim Murat AKIN'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	11
3. MATERYAL VE METOD	25
3.1. İklim Değişikliği ve Binalar Üzerindeki Etkileri	25
3.2. İklim Değişikliğinin Sebepleri ve Öngörülen Sonuçları	30
3.2.1. Aşırı sıcakların yapı kabuklarındaki etkisi.....	43
3.2.2. Aşırı yağışlar ve nemin yapı kabuklarındaki etkisi.....	46
3.3. İklim Değişikliği Senaryoları ve Türkiye'nin Durumu.....	53
3.4. Yapı Kabuklarında Higrotermal (Isıl ve Nemsal) Performans	65
3.4.1. Yapı kabuklarında ısı ve nem geçişi	65
3.4.2. Higrotermal performansın değerlendirilmesi	74
3.4.3. Higrotermal performansın hesaplama yöntemiyle değerlendirilmesi	76
3.4.4. Higrotermal performansın simülasyon yoluyla değerlendirilmesi.....	78
4. ALAN ÇALIŞMASI.....	91
4.1. Yapı Kabuklarının İklim Değişikliği Analizleri	92
4.1.1. Zonguldak ili için tarihsel ve gelecek periyotlarda iklimsel analiz.....	92
4.1.2. Glaser metoduyla yapı kabuklarında iklim değişikliğine göre tarihsel ve gelecek periyotlarda yoğunlaşma analizleri	102
4.2. Yapı Kabuklarının WUFI-PRO 6.7 ile Higrotermal Performans Değerlendirmesi	121

Sayfa

4.2.1. Hicrotermal performans değerlendirmesinde kullanılan standart, kılavuzlar ve sınır değerler	121
4.3. Yapı Kabukları Senaryolarının Oluşturulması	123
4.4. Araştırma Bulguları ve Değerlendirme	127
4.4.1. A tipi cephelerin katmanlarına göre 2015 ve 2100 analiz sonuçlarının donma riski, kf riski ve su artışı bakımından değerlendirilmesi	127
4.4.2. B tipi cephelerin katmanlarına göre 2015 ve 2100 analiz sonuçlarının donma riski, kf riski ve su artışı bakımından değerlendirilmesi	132
4.4.3. C tipi cephelerin katmanlarına göre 2015 ve 2100 analiz sonuçlarının donma riski, kf riski ve su artışı bakımından değerlendirilmesi	138
4.4.4. D tipi cephelerin katmanlarına göre 2015 ve 2100 analiz sonuçlarının donma riski, kf riski ve su artışı bakımından değerlendirilmesi	140
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	149
KAYNAKLAR	157
EKLER	167
ZGEMİş	214

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Tez çalışmasına ait sınırlılıklar ve seçim kriterleri.....	7
Çizelge 2.1. Literatür araştırmalarının özeti	21
Çizelge 3.1. Yüksek Sıcaklıkların Yapı ve Yapı Elemanlarına Etkileri.....	44
Çizelge 3.2. Yaygın kullanılan yapı malzemelerinin yapı fiziği açısından özellikleri	47
Çizelge 3.3. Aşırı yağışların yapı kabuğu ve yapı malzemeleri üzerindeki etkileri	48
Çizelge 3.4. Yapı malzemelerinin higrotermal performansını etkileyen parametreler ve ilgili standartlar	51
Çizelge 3.5. Malzemelerin iklim etkilerine dayanıklılığı	52
Çizelge 3. 6. WUFI Pro 6.7 ile Glaser metodunun karşılaştırılması	78
Çizelge 3.7. DELPHIN ve WUFI yazılımının karşılaştırılması	80
Çizelge 3.8. ISO 13788 standardında belirlenmiş bina türüne göre tavsiye edilen nem sınıfları.....	88
Çizelge 4.1. MGM’den alınan Küresel iklim modellerine ait verilerle ve 2015 yılına ait verilerle yapılan analizlerin karşılaştırılması.....	100
Çizelge 4.2. MGM verileriyle yapılan analizler ile METEONORM verileriyle yapılan analizlerin karşılaştırılması	101
Çizelge 4.3. Yapı bileşenlerinin termofiziksel özellikleri	104
Çizelge 4.4. Zonguldak ili 2015 yılı aylık ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerleri (MGM verileri).....	107
Çizelge 4.5. Zonguldak ili 2015 yılı MGM verilerine göre su buharı doyma ve kısmi basınçları.....	110
Çizelge 4.6. MPI, HadGEM ve GFDL küresel iklim modellerinin Zonguldak ili 2081 yılı aylık ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerleri (MGM verileri)	112
Çizelge 4.7. MPI küresel iklim modeline ait Zonguldak gridlerinde yer alan istasyon 3329’un 2081 yılına ait aylık ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerlerine göre oluşturulmuş yüzey ve ortam sıcaklık dağılımı ile bu değerlere ait doymuş su buharı ve kısmi su buharı değerleri	113

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.8. GFDL küresel iklim modeline ait Zonguldak gridlerinde yer alan istasyon 3329'un 2081 yılına ait aylık ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerlerine göre oluşturulmuş yüzey ve ortam sıcaklık dağılımı ile bu değerlere ait doymuş su buharı ve kısmi su buharı değerleri	114
Çizelge 4.9. HadGEM küresel iklim modeline ait Zonguldak gridlerinde yer alan istasyon 3329'un 2081 yılına ait aylık ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerlerine göre oluşturulmuş yüzey ve ortam sıcaklık dağılımı ile bu değerlere ait doymuş su buharı ve kısmi su buharı değerleri	115
Çizelge 4.10. Performans analizlerinde kullanılan standart, kılavuzlar ve sınır değerler.....	123
Çizelge 4.11. TS 825'te hesaplama yapılan örnek duvar katmanları özellikleri.....	123
Çizelge 4.12. Bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi gereken U değerleri.....	124
Çizelge 4.13. Oluşturulan temel senaryolar ve duvar katmanları kalınlıkları.....	125
Çizelge 4.14. Oluşturulan alt senaryolar ve duvar katmanları kalınlıkları.....	126

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Doktora tezinin alan çalışması ve yöntem akış şeması	10
Şekil 3.1. IPCC tarihi ve değerlendirme raporları geçmişi.....	28
Şekil 3.2. Zaman içinde atmosferdeki Metan ve CO ₂ gazı değişimi	32
Şekil 3.3. 1960'dan günümüze CO ₂ ölçümü.....	33
Şekil 3.4. İnsan kaynaklı CO ₂ emisyon artışları	34
Şekil 3.5. Genişletilmiş SSP senaryoları altında 2300 yılına kadar simüle edilen iklim değişiklikleri	35
Şekil 3.6. AR6'da geçen sıcaklık artışının getirdiği risklerin karşılaştırılması	36
Şekil 3.7. Dünya enerji tüketimindeki artış	37
Şekil 3.8. İklim değişikliğinin direkt ve dolaylı etkileri.....	39
Şekil 3.9. İklim değişikliği, binalar, sakinler ve süreçler arasındaki karmaşık ilişkinin temsil edilmesi.....	41
Şekil 3.10. Farklı arazi kullanım alanlarının yüzey ve atmosferik sıcaklıkları (Kaynak: ABD Çevre Koruma Ajansı).....	42
Şekil 3.11. Dış ortam hava sıcaklığı ve bağıl nem miktarındaki artışın bina kabuğundaki etkileri (Yazar tarafından oluşturulmuştur).....	43
Şekil 3.12. Küresel iklim modellerinin (GCMs) gelişimi	55
Şekil 3.13. IPCC iklim senaryoları.....	55
Şekil 3.14. Küresel emisyon senaryolarının iki boyutlu şematik anlatımı (IPCC (2000)'den uyarlanmıştır)	56
Şekil 3.15. (SRES ve RCP senaryoları için 2100 Yılında Yaklaşık Eşdeğer CO ₂ Konsantrasyonları (ppm) (.....	57
Şekil 3.16. Emisyon senaryolarına olası sıcaklık tepkileri.....	57
Şekil 3.17. Tahmini yıllık küresel CO ₂ emisyonları ile RCPs senaryolarının yıllara göre niceliksel tahminleri.....	58
Şekil 3.18. IPCC (AR6) raporunda geçen 2100 yılına kadar olan sıcaklık artışı tahmini	59
Şekil 3.19. Konsantrasyon odaklı ve emisyon odaklı simülasyonların karşılaştırılması	60

Şekil	Sayfa
Şekil 3.20. Tarihsel ve gelecek senaryo simülasyonlarından elde edilen CMIP6 yıllık ortalama yağış değişiklikleri (%).....	60
Şekil 3.21. I. Akdeniz - Ia(Nemli Akdeniz) - Ib(Yarı nemli Akdeniz) / II. Karadeniz / III. Yarı nemli Marmara / IV. Yarı kurak , IVa (Yarı kurak İç Anadolu) , IVb (Yarı kurak Güneydoğu Anadolu) / V - Karasal Doğu Anadolu.....	61
Şekil 3.22. RCP4.5'e göre Türkiye yıllık ortalama sıcaklık anomali bandı projeksiyonları	63
Şekil 3.23. RCP8.5'e göre Türkiye yıllık ortalama sıcaklık anomali bandı projeksiyonları	63
Şekil 3.24. RCP4.5'e göre Türkiye yıllık toplam yağış anomali bandı projeksiyonları	64
Şekil 3.25. RCP4.5'e göre Türkiye yıllık toplam yağış anomali bandı projeksiyonları	64
Şekil 3.26. Yüksek ve düşük özgül ısı kapasitesi.....	66
Şekil 3.27. Binalarda oluşan ısı köprüleri	68
Şekil 3.28. Nemin dış duvar bünyesine girişi.....	70
Şekil 3.29. Binaların su ile ilgili stres kaynakları	71
Şekil 3.30. a) Sıva ve duvar ile b) sıva-dış yalıtım-duvar konstrüksiyonunun nem durumu	72
Şekil 3.31. c) İçten yalıtımlı duvar ve d) havalandırılmalı duvar konstrüksiyonunda nem durumu	73
Şekil 3.32. Hıgrotermal performans değerlendirmesinde gerekli veriler.....	75
Şekil 3.33. HAM (Heat Air Moisture) modellerinde etkileşimler	80
Şekil 3.34. WUFI simülasyonlarında hesaplanan nem taşıma mekanizmaları	81
Şekil 3.35. Birleştirilmiş transfer denklemleri	82
Şekil 3.36. WUFI modelinin hesaplama işlem şeması.....	83
Şekil 3.37. WUFI-Pro'da oluşturulan duvar kesiti katmanlarının görünümü	84
Şekil 3.38. WUFI-Pro'da oluşturulan duvar kesiti katmanlarının özellikleri	84
Şekil 3.39. Duvar kesitinin yönlenmesi ve yer düzlemiyle açısı	85
Şekil 3.40. İç-dış yüzeylere ait girilen ısı iletim dirençleri ve diğer parametreler	85
Şekil 3.41. Duvar kesiti katmanlarının başlangıç değerleri	86

Şekil	Sayfa
Şekil 3.42. WUFI Pro 6.7’de yapılan iklim analizleri çıktıları; sıcaklık, bağıl nem ve UV radyasyonu ile rüzger etkili yağmur analizleri	87
Şekil 3.43. Analizde seçilen ISO 13788 standardına ait veriler.....	87
Şekil 3.44. ISO 13788 standardında iç bağıl nem hesabı.....	89
Şekil 4.1. Tezin alan çalışması adımları.....	92
Şekil 4.2. Zonguldak ili 2015 yılı aylık ortalama METEONORM verileri	94
Şekil 4.3. Zonguldak ili 2100 yılı aylık ortalama METEONORM verileri	95
Şekil 4.4. Zonguldak ili 2015-2100 verileri sıcaklık değişimleri (2015 üstte, 2100 altta)	96
Şekil. 4.5. a. 2015 yılı Zonguldak yağış verileri analizi, b. 2100 yılı Zonguldak yağış verileri analizi	97
Şekil 4.6. a. 2100 (yeşil) yılı Zonguldak bağıl nem durumu, b. 2015 (kırmızı) yılı Zonguldak bağıl nem durumu.....	97
Şekil 4.7. a. 2100 yılı Zonguldak ili global radyasyon değişimi (siyah), b. 2015 yılı Zonguldak ili global radyasyon değişimi (yeşil)	98
Şekil 4.8. GFDL küresel iklim modeli çıktılarına göre 8 istasyona ait ve 2079-2098 yıllarını kapsayan RCP 8.5 senaryosuna göre aylık ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerleri	99
Şekil 4.9. MPI küresel iklim modeli çıktılarına göre 8 istasyona ait ve 2079-2098 yıllarını kapsayan RCP 8.5 senaryosuna göre aylık ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerleri	99
Şekil 4.10. HadGEM küresel iklim modeli çıktılarına göre 8 istasyona ait ve 2079-2098 yıllarını kapsayan RCP 8.5 senaryosuna göre aylık ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerleri	100
Şekil 4.11. Duvar kesiti ve katmanları	104
Şekil 4.12. Excel’de yapılan buhar basınçları hesapları.....	110
Şekil 4.13. Difüzyon eşdeğer hava tabakası kalınlığına göre duvar kesitinin difüzyon grafiği.....	111
Şekil 4.14. MPI modelinin Ocak ve Mart 2081 için difüzyon eşdeğer hava tabakasının kalınlığına göre duvar kesiti yoğunlaşma grafikleri	116
Şekil 4.15. GFDL modelinin Aralık 2081 için difüzyon eşdeğer hava tabakasının kalınlığına göre duvar kesiti yoğunlaşma grafiği.....	117
Şekil 4.16. İçerisinde herhangi bir yoğunlaşmanın olmadığı çok katmanlı bir yapı elemanında buhar difüzyonu	118

Şekil	Sayfa
Şekil 4.17. Yoğuşma miktarı hesabı	118
Şekil 4.18. Zamana bağlı dolgu malzemesi kullanım oranları.....	124
Şekil 4.19. A senaryoları değerlendirmeleri	127
Şekil 4.20. A ₁ senaryoları değerlendirmeleri.....	127
Şekil 4.21. A ₂ senaryoları değerlendirmeleri.....	128
Şekil 4.22. A ₃ senaryoları değerlendirmeleri	128
Şekil 4.23. A ₄ senaryoları değerlendirmeleri.....	128
Şekil 4.24. B senaryoları değerlendirmeleri	133
Şekil 4.25. B ₁ senaryoları değerlendirmeleri	133
Şekil 4.26. B ₂ senaryoları değerlendirmeleri	133
Şekil 4.27. B ₃ senaryoları değerlendirmeleri	134
Şekil 4.28. B ₄ senaryoları değerlendirmeleri	134
Şekil 4.29. C senaryoları değerlendirmeleri	138
Şekil 4.30. C ₁ senaryoları değerlendirmeleri	138
Şekil 4.31. C ₂ senaryoları değerlendirmeleri	139
Şekil 4.32. D senaryoları değerlendirmeleri	140
Şekil 4.33. D ₁ senaryoları değerlendirmeleri.....	141
Şekil 4.34. D ₂ senaryoları değerlendirmeleri.....	141

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

m^3	metreküp
m^2	metrekare
CO_2	karbondioksit
$C_{P,S}$	özgül ısı kapasitesi
λ	ısı iletkenliği
ppm	parts per million

Kısaltmalar

Açıklamalar

MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
WMO	World Meteorology Organization
GHG	Green House Gases
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
AR5	Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change
COP	Conference of Parties
CMIP5	Coupled Model Intercomparison Project Phase 5
CMIP6	Coupled Model Intercomparison Project Phase 6
FAR	First Assessment Report
RCPs	Representative Concentration Pathways
RC	Reinforced Concrete
SAR	Second Assessment Report
SSPs	Shared Socioeconomic Pathways
SRES	Special Report on Emissions Scenarios
TAR	Third Assessment Report
MPI	Max Plank Meteoroloji Enstitüsü Küresel Model

Kısaltmalar**Açıklamalar****HadGEM**

Hadley Küresel Çevre Modeli

GFDL

Jeofizik Akışkanlar Dinamiği Laboratuvarı Küresel Modeli

IPCC

Intergovernmental Panel on Climate Change

UNEP

United Nations Environment Programme

UNFCCC

United Nations Framework Convention on Climate Change

BMİDÇS

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi

BM

Birleşmiş Milletler

NASA

National Aeronautics and Space Administration

UHIE

Urban Heat Island Effect

GCM

Global Circulation Model

HAM

Heat Air and Moisture

TS 825

Türk Standardı 825

YİDEP

Yerel İklim Değişikliği Eylem Planı

OECD

Organisation for Economic Co-Operation and Development

NOAA

National Oceanic and Atmospheric Administration

GSYH

Gayrisafi Yurt İçi Hasıla

1. GİRİŞ

İklim değışikliği, dünyanın şu anda karşı karşıya olduğu en büyük endişelerden biridir. 30 yıl veya daha uzun süreçlerde iklim ortalamalarında görülen değışiklikler olarak tanımlanan ‘‘iklim değışikliği’’ nin yıkıcı ve olumsuz etkileri görölmeye devam etmektedir. Bu değışikliklerin birçok nedeni bulunmasına rağmen (güneş radyasyonundaki değışiklikler, Dünya'nın yörüngesindeki farklılıklar, kıta kaymaları ve atmosferdeki değışiklikler), 21. yüzyılda en dikkat çeken nedenlerden biri antropojenik (insan kaynaklı) etkilerdir. Bu noktada IPCC (Hükümetler arası iklim değışikliği paneli) raporlarında da sıkça yer alan sebeplerden biri olan CO₂ konsantrasyonundaki değışimler iklim değışikliğinin temel sebeplerindendir. Başta sera gazı emisyonları olmak üzere insan faaliyetleri küresel ısınmaya neden olmuş ve küresel yüzey sıcaklığı 2011-2020 döneminde 1850-1900 döneminin 1.1°C üzerine çıkmıştır. Bu konsantrasyonun artmasının etkisi olarak görülen iklim değışikliğinin diğer sebepleri arasında; enerji üretim ve tüketimindeki artış, şehirleşmenin artmasıyla beraber inşaat ve yapılaşmanın artışı, petrol-kömür gibi fosil yakıt tüketimindeki artış, ekonomik-endüstriyel ve tarımsal faaliyetler, arazi kullanım alışkanlıkları, teknoloji ve yetersiz iklim politikası antropojenik sebeplerden sayılabilir (IPCC, 2023).

BM İklim Değişikliği Sekretaryası'nın raporunda sıcaklık, yağış, deniz seviyesi, okyanus asitlenmesi ve aşırı hava koşulları gibi iklim göstergelerindeki değışikliklere dikkat çekilmiştir (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2019). Kuraklıklar, seller, kasırgalar, şiddetli fırtınalar, sıcak hava dalgaları, orman yangınları, soğuk hava dalgaları ve toprak kaymaları gözlemlenen iklim riskleri arasında yer almaktadır.

İklim değışikliği etkilerinin görölebileceği alanlardan biri de inşaat sektörünün kapsadığı binalar ve bina kabuklarıdır. Binalarda sürdürülebilirliği sağlamak için, cephelerin tasarımı ve bakımı planlanırken iklim koşullarının dikkate alınması önemlidir. İklim koşulları öngörülemez ve zaman içinde değışen bir etkiye sahiptir. Heidrich, Kamara ve diğerleri tarafından vurgulandığı üzere, binalar iklim değışikliğinin getirdiği zorluklarla, sel gibi çevresel risklerle ve artan ısı gibi diğer faktörlerle başa çıkmak zorundadır. Bu yapılar, teknik ve fonksiyonel performanslarını sürekli olarak iyileştirmek ve altyapı sisteminin önemli bir parçası olarak rol oynamak durumundadır (Kamara ve diğ, 2020).

İklim değışikliğı önümüzdeki on yıllarda cephe tasarımına ilişkin varsayımları değıştirecektir. Bu nedenle, mevcut ve yeni binalar için iklim değışikliğı projeksiyonlarının geliştirilmesi önemlidir.

Problem durumu / Konunun tanımı

İklim değışikliğine bağılı aşırı iklim faktörleri yapı ve yapı kabuklarını fiziksel olarak olumsuz etkileyecek ve uzun dönem performanslarını bozarak çeşitli sorunlara yol açacaktır. Alzahrani tarafından belirtildiğı üzere, aşırı hava olayları olan güçlü fırtınalar ve seller, uzun vadeli iklim değışiklikleri ile birleştğinde, inşaat sektörü için doğrudan riskler oluşturur. Binalar ve bina elemanları için en büyük zorluk, artan ortalama sıcaklıkların yanı sıra değışen yağış modelleridir. Artan sıcaklık nedeniyle oluşan nem, yapı malzemelerinde küf oluşumuna, kullanım ömrünün azalmasına ve yangın riskinin artmasına sebep olabilir (Alzahrani, 2015).

Bunun yanı sıra, iklim değışikliğı sonucu artan ısı (termal) direnç ve yeni sınır koşulları, bina kabukları içindeki higrotermal koşulları değıştirecektir. Sıcaklık artışı, yapı kabuğundaki su yalıtımı ve su buharı dağılımını etkileyebilir (Kristl, 2020). Bu durum, mevcut teknik çözümlerin ve uygulamaların, hem renovasyon çalışmalarında hem de yeni yapılacak binalar için yeniden gözden geçirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır (Berggren, 2019).

Konuyla ilgili olarak, yapılan çalışmalarda higrotermal değerdendirmelerde yapı kabuğı tek bir parça olarak kabul edilip analizler yapılmıştır. Yani duvar, duvar ile diğder yapı bileşenleri arasındaki ara yüzler (kesiti oluşturan katmanlar) dikkate alınmadan, yalnızca tek bir eleman olarak kabul edilmiştir. Fakat yapılara su girişleri sıklıkla ara yüz detaylarından kaynaklandığından bu noktaların su ve nem girişı açısından dikkatle ele alınması gerekmektedir. Aksi durumda tespit edilmeyen noktalardan su girişı yaşanarak küf riskleri meydana gelecektir. Bu durumları tespit edebilmek için bir yapı kabuğundaki katmanlar tek tek ısı ve nem açısından ele alınmalıdır. Bunu yapmanın yolu yapı kabukları ve katmanlarının higrotermal performans açısından değerdendirmektir; fakat higrotermal analizler deneysel yöntemlerle yapıldığında maliyet olarak pahalıdır ve duvar montajlarının higrotermal performansını 20 yılı aşan zaman periyotlarında ve çok çeşitli iklim simülasyonları altında değerdendirmek pratik değildir. Bu bağlamda simülasyon yöntemiyle

yapılacak higrotermal değerlendirmeler hem çok hızlı hem de deneysel yöntemlerle yüksek oranda doğrulanmıştır.

Bu bağlamda tez çalışmasında gelecek dönemlerde yaşanacağı ortaya konmuş ortalama sıcaklık ve nem parametrelerindeki değişimlerin, yapı elemanı ölçeğinde yapı kabukları üzerindeki etkileri incelenerek gelecek dönemler için durum tespiti yapılmıştır. Bu amaçla ilk olarak TS 825 (2013)'e göre ılıman-nemli iklim özelliklerini taşıyan ve 2.iklim bölgesinde yer alan Zonguldak ili için MGM 'den 2015 yılı ve 2079-2098 gelecek yılları için aylık ortalama sıcaklık ve bağıl nem verileri elde edilmiştir. Daha sonra METEONORM programından 2100 yılı RCP 8.5 senaryosu ve referans yıl olarak da 2015 yılı saatlik ortalama sıcaklık ve bağıl nem iklim verileri elde edilmiştir. İlk önce referans yıl olarak 2015 ve sonrasında 2100 yılı iklimsel olarak analiz edilip karşılaştırılmış ve yaşanabilecek sıcaklık ve bağıl nem ortalamalarındaki değişimler ortaya konmuştur. Bu noktada MGM'den alınan verilerle METEONORM'dan elde edilen verilerin farklı olmalarından dolayı yapılan iklim değişikliği analizleri karşılaştırılarak, küresel iklim modellerindeki veri belirsizliklerinin sonuçları nasıl etkilediği gösterilmiştir.

Daha sonra oluşturulan senaryolara ait yapı kabukları higrotermal performans ölçüm aracı olan WUFI Pro 6.7 ile modellenerek hem günümüz koşulları hem de gelecekteki durumları ile ilgili olarak iklim değişikliği bağlamında analiz edilmiştir. Yapı kabukları katmanlarının higrotermal performansları; don riski, su artışı, katmanlar arası küf riski ve iç ortam küf riski değişimleri bakımından tespit edilmiştir.

Araştırmanın amacı

İklim değişikliğinin incelenen yapı kabuklarında higrotermal (ısı-nem) performans açısından nasıl bir değişime yol açtığını ortaya koymaktır. Bu bağlamda 2015 referans yılı ve 2100 yılı RCP 8.5 senaryosu verileri ile 2.iklim bölgesinde yer alan Zonguldak ilinde yer aldığı varsayılan ve kabullere göre oluşturulan cephe senaryolarının higrotermal (ısı-nem) analizini yaparak değişimleri tespit etmek birincil amaçtır.

Çalışmanın alt amaçları ise;

1. 2015 yılı iklimsel verileri ile 2100 yılı iklimsel verilerini tarihsel ve gelecek periyot olarak karşılaştırıp sıcaklık ve bağıl nem ortalamalarındaki değişimi ortaya koymak,
2. Çalışmada simülasyon yöntemi ile yapılan higrotermal analizlerin ancak belli bir kısmının TS 825'te tarif edilen Glaser metoduyla da manuel olarak yapılabilirliğini ortaya koyarak, WUFI-PRO 6.7 ile yapılan iklimsel analizlerle karşılaştırıp, küresel iklim modellerindeki belirsizliklerin sonuçları etkilediğini göstermektir.
3. Simülasyon programıyla yapılan senaryo analizlerinin sonucunda gelecek dönemde duvar kesitlerinin katmanlarında tespit edilen değişimleri analiz ederek yapı kabukları katmanlarının gelecekteki durumlarını don riski, küf riski ve iç ortamdaki küf riski açısından ortaya koymaktır.

Araştırmanın önemi

İklim değişikliği önemi her geçen gün artan ve birçok alanda etkilerini yaşıyor olduğumuz dikkatle ele alınması gereken bir konudur. Bu bağlamda çalışmada iklim değişikliğinin cephelerdeki etkisinin higrotermal (ısı ve nem) performansı açısından yol açtığı değişimleri ortaya koymak amaçlanmıştır.

Yapılan çalışmalara bakıldığında literatürde iklim değişikliği ile ilgili olarak binaların gelecekteki enerji tüketimine odaklanıldığı görülürken, bina elemanları ve bu elemanların iklim değişikliğine karşı higrotermal (ısı-nem) performansı ile ilgili çalışmaların oldukça kısıtlı olduğu görülmüştür. Bu bağlamda higrotermal performans ile ilgili Türkiye'de yapılan çalışmalar iklim değişikliğine odaklanmamış ve mevcut konut yapılarında higrotermal (ısı-nem) performans sorunlarına günümüz koşullarında durum tespiti yapmışlardır. Ayrıca Türkiye bağlamında iklim değişikliğinin yapı kabuklarının higrotermal (ısı-nem) performansı üzerindeki etkisini değerlendiren doktora çalışmasına rastlanmamıştır. Dolayısıyla, tipik yapı kabuklarını, gelecekteki iklim belirsizliklerini ve farklı küresel modellerle yapılan senaryoları dikkate alan kapsamlı bir araştırmaya ihtiyaç olduğu tespit edilmiştir.

Bu tez çalışması ise hem iklim değişikliğinin çevresel etkilerini Türkiye özelinde ılıman-nemli iklim bölgesinde yer alan bir il için ortaya koymuş olması hem de yapı elemanı düzeyinde kabullere göre oluşturulmuş yapı kabuklarının günümüzden geleceğe nasıl etkilere maruz kalacağını tespit etmesi bakımından literatüre katkı sağlamaktadır.

Ayrıca, tez çalışması iklim değişikliğinin etkileri altında farklı yalıtım türleri ve duvar malzemelerine sahip senaryolarla yapı kabuğu ölçeğinde higrotermal performansı ılıman-nemli iklim bölgesi için değerlendirmesinin sonucu olarak mevcut kabuller ve sınır değerlerin değişmesi gerekliliğini ortaya koyması bakımından özgündür.

Tezin bir sonucu olarak iklim değişikliğinin yapıyı çevrede ve yapı kabuklarında yaratacağı olumsuz etkilere karşı önlem almak gerekecektir. Bu bağlamda higrotermal performans açısından hem mevcut yapı kabukları hem de yeni tasarlanacak yapı kabukları için yeni kabuller, sınır değerler belirlemek gerekliliği düşünüldüğünde yapılan tez çalışmasının gerekliliği görülmektedir.

Sınırlılıklar

Araştırmaya ilişkin sınırlılıklar literatür taraması sonucunda elde edilen bilgiler doğrultusunda edinilen veriler ve kullanılan simülasyon programında seçilen parametrelere göre şekillenmiştir. Bu bağlamda çalışmanın sınırlılıklarını yer seçimi, iklim verileri, oluşturulan senaryolarla ilgili yapılan analizlerde kullanılan programın içeriğinde seçilen parametreler olarak ayrılmaktadır.

Yer seçimi ile ilgili olarak MGM'nin yaptığı ortalama sıcaklık ve ortalama yağış analizlerine göre tarihsel periyotta (1939-2022) aylık ortalama en fazla yağış alan illerden biri Zonguldak olması sebebiyle tercih edilmiştir.

Çalışmada kullanılan iklim verileri hem MGM'den hem de METEONORM programından elde edilmiştir. Tarihsel periyot olarak 2015-2020 yılları ile gelecek dönem için RCP 8.5 senaryosu ve 2100-2105 yılları seçilmiştir. Bu seçimler yapılırken literatürde iklim değişikliği ile ilgili yapılan çalışmalarda kullanılan yıllar ve senaryolar dikkate alınmıştır.

Ayrıca tezin alan çalışmasının ilk kısmında küresel iklim modellerindeki belirsizliklerden kaynaklanan projeksiyon farklılıklarını ortaya koymak için METEONORM'dan elde edilen yaklaşık 35 adet küresel iklim modeline ait verilerin ortalamasını içeren ve 2015 ile RCP 8.5 senaryosu ve 2100 yıllarını kapsayan günlük ortalama saat verileri ile WUFI Pro 6.7 programında yapılan iklimsel analizler, MGM'den elde edilen HadGEM, MPI ve GFDL küresel iklim modellerinin 2079-2098 yıllarını ve 2015 yılı verileri için 8 adet istasyonu kapsayan aylık ortalama sıcaklık ve aylık ortalama bağıl nem verileriyle yapılan iklimsel analizlerle karşılaştırılmıştır.

MGM'den elde edilen ve tezin alan çalışmasının ikinci kısmında Glaser metoduyla yapılan çalışmalarda HadGEM, MPI ve GFDL küresel iklim modellerinin 2081 yılı ve 2015 yılı verileri için 8 istasyonu kapsayan aylık ortalama sıcaklık ve aylık ortalama bağıl nem verileriyle çalışılmıştır. Bu noktada Glaser metodu için tek bir yıla ait aylık ortalama veriler seçimi IPCC (AR5)'te yer alan gelecek dönemlere ait projeksiyonlar göz önüne alınarak 2081 yılı seçilmiştir (IPCC, 2014).

Analizler için senaryolar oluşturulurken; belirli bir bina türü belirlenmeyen çalışmada, WUFI kütüphanesinde yer alan nem sınıflarına göre seçim yapılmıştır. Bu seçim yapılırken programda yer alan ISO 13788 (2012) standardının önerdiği her bir nem sınıfı için analizler yapılmış ve en kötü sonucu verecek olan sınıf ve karşılık gelen bina türü seçilmiştir. Sonuç olarak nem sınıfı-3 ve buna karşılık gelen bina türü olan kullanıcı sayısı bilinmeyen bina türü seçilmiştir. Senaryo kesitlerindeki malzemeler TS 825 (2013) ve literatürden elde edilen verilere göre en çok kullanılan gazbeton, tuğla ve betonarme duvar ile XPS, EPS ve Taşyünü yalıtım malzemeleri seçilmiştir.

Higrotermal (ısı ve nem) bakımından yapılan analizlerde ise WUFI Pro 6.7 simülasyon programında yer alan ve programın kılavuzunda önerilen ISO 13788 (2012), DIN 4108-3 (2018) Standartları ile don riski değerlendirmesinde literatürden elde edilen Choidis ve diğ., (2023) ölçeği kullanılmıştır.

Çizelge 1.1. Tez çalışmasına ait sınırlılıklar ve seçim kriterleri

Sınırlılıklar	Seçim Kriteri	Yapılan Seçim	Verilerin Elde Edilmesi
Yer Seçimi	Mgm Senaryoları (1939-2022) Tarihsel Dönem Ort. Sıcaklık Ve Ort. Yağış	Zonguldak Nemli-Ilıman (2.İklim Bölgesi)	Mgm'nin Açık Erişime Sunduğu Veriler (İllere Ait Mevsim Normalleri 1991-2020, Mgm, Url 1)
İklim Verileri	Glaser Yöntemi Ipcc (Ar5)	2015 Yılı Aylık Ortalama Sıcaklık, Bağlı Nem Ve Yağış, Rcp 8.5, 2081 Yılı Aylık Ortalama Sıcaklık, Bağlı Nem, Yağış	Mgm'den İstek Üzerine
	Simülasyon	2015 (Tarihsel Dönem) 1 Yıllık Saatlik Ortalama Sıcaklık, Bağlı Nem Rcp 8.5, 2100 (Gelecek Dönem) 1 Yıllık Saatlik Ortalama Sıcaklık, Bağlı Nem	Meteonorm Programı; Wac. Formatında İklimsel Veriler
Senaryolar	Duvar Malz. Ts 825 Sınır Değerler	Tuğla, Gazbeton Ve Betonarme	Literatür, Ts 825
	Yalıtım Malz. Ts 825 Sınır Değerler	Eps, Xps Ve Taşyünü	Literatür, Ts 825
Bina Türü	Wufi Kütüphane	Nem Sınıfı-3 Ve Karşılık Gelen Bina Türü	Wufi Pro 6.7
Higrotermal Analizler Değerlendirme Ölçütleri	Don Riski Değerlendirme	Choidis Ve Diğ.,(2023) Deneysel Ölçeği	Literatür Araştırması
	Su Artışı Değerlendirme	-	Wufi Pro 6.7
	Küf Riski Değerlendirme	-	Wufi Pro 6.7

Araştırma sorusu ve hipotez

Tezin araştırma soruları:

- Gelecekte öngörülen iklim koşullarında nem riski ne düzeydedir ve geçmiş iklim verilerine göre tasarlanan yapı kabukları bu riski taşıyabilecek midir?

- Gelecekte öngörülen iklim koşulları incelenen yapı kabuklarının higrotermal performansını nasıl etkileyecektir?
- Farklı iklim değişikliği senaryolarındaki belirsizlikler gelecekle ilgili yapılan projeksiyonlarda sonuçları nasıl etkileyecektir ?

Tezin temel hipotezi:

İklim değişikliğiyle ilgili yapılan projeksiyonların öngördüğü nem ve sıcaklık ortalamalarındaki değişimler bina kabuklarının higrotermal performansını etkileyecektir.

Tezin alt hipotezleri;

- İklim değişikliği nedeniyle yapı kabukları yeni sınır koşullarıyla karşı karşıya kalacaktır.
- İklim bileşenlerinin ortalamalarındaki değişimler yapı kabukları katmanlarının küf risklerini, su miktarlarını ve donma risklerini etkileyecektir.

Tezin alan çalışması ve yöntemi

Tez alan çalışması ve yöntem akış şeması Şekil 1.1’de gösterilmiştir. Tezin temel hipotezi olan iklim değişikliğinin yapı kabuklarını higrotermal performans açısından nasıl etkilediğini ortaya koymadan önce iklim faktörlerindeki değişimleri analiz etmek gereklidir.

Buna göre 6 adımdan oluşan çalışmanın ilk aşamasında ortaya koyulan 2015 yılı iklimsel verileri ile 2100 yılı iklimsel verilerini tarihsel ve gelecek periyot olarak ele alıp; sıcaklık, bağıl nem ortalamalarının değişimini analiz etmek tezin alt amaçlarından. MGM ve METEONORM’dan elde edilen gelecek dönemlere ait veriler farklı küresel iklim modellerinin çıktıları olup, bunların karşılaştırılması ile tezin başka bir alt amacı olan küresel iklim modellerindeki veri belirsizliklerinin sonuçları nasıl etkileyebileceği ortaya konulmuştur.

İkinci adımda 4 temel senaryo (dıştan yalıtımlı (A), içten yalıtımlı (B), yalıtımsız (C) ve ortadan yalıtımlı (D) senaryoları) ve bunlara ait malzemelerin değişimiyle oluşturulmuş toplamda 12 senaryo TS 825 ve literatür araştırmaları sonucunda duvar malzemeleri olarak;

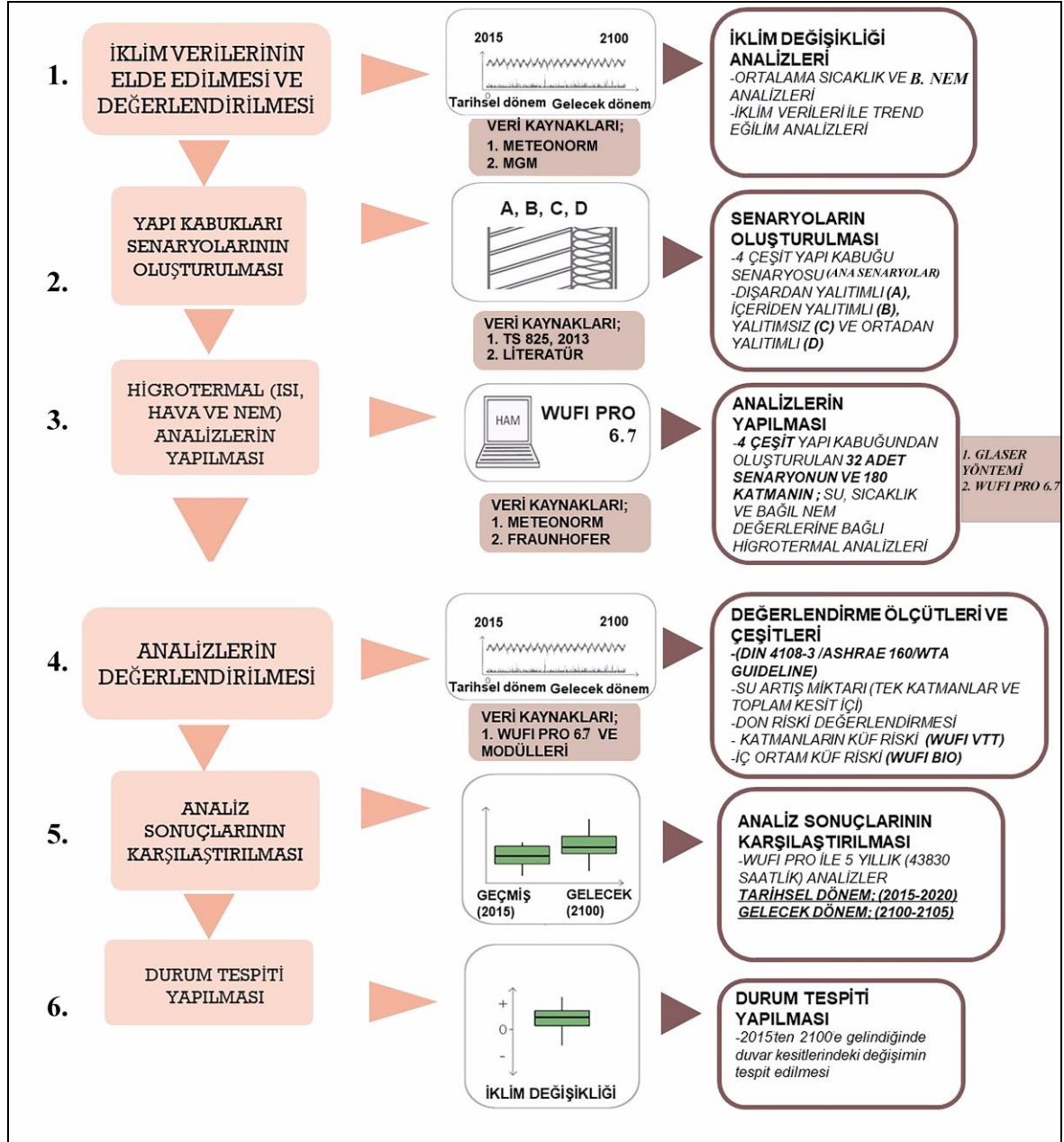
gazbeton, tuğla, betonarme; yalıtım malzemeleri olarak; EPS, Taşyünü ve XPS seçilerek tamamlanmıştır.

Üçüncü adımda ilk olarak Glaser metoduyla 2081 yılı için MGM'den elde edilen aylık ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerleri kullanılarak dıştan yalıtımlı bir duvar kesitinin çalışma alanı olan Zonguldak (ılıman-nemli) için alınan iklim verileriyle çalışılmış, böylelikle tezin amaçlarından simülasyon yöntemi ile yapılan higrotermal analizlerin ancak belli bir kısmının TS 825'te tarif edilen Glaser metoduyla da manuel olarak yapılabilirliği gösterilmiştir. İkinci kısımda WUFI Pro 6.7 ile higrotermal analizlere geçilerek yapı kabuklarının tek tek katmanları WUFI Pro 6.7 programı ile METEONORM'dan elde edilen 2100-2105 yılları için saatlik ortalama verilerle higrotermal performanslarını ortaya koyabilmek için analiz edilmiştir.

Dördüncü adımda programla yapılan analizlerin verileri Excel'e aktararak yapı kabukları senaryoları WUFI Pro 6.7'nin kütüphanesinde yer alan kılavuzlar ve standartlar (ISO 13788), ASHRAE 160, DIN 4108-3 temel alınarak kesit içi ve tek tek katmanların su artışı, don riski, katmanların küf riski ve iç ortam küf riski bakımından sınır değerlere göre risk bakımından hem 2015-2020 hem 2100-2105 dönemleri için değerlendirilmiştir.

Beşinci adımda ise dördüncü adımda tamamlanan analizler 2015-2020 ve 2100-2105 dönemleri için birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Son adımda yapılan tüm karşılaştırmalar değerlendirilerek tezin temel hipotezi ve tez çalışmasının sınırlılıkları doğrultusunda oluşturulmuş yapı kabuklarının 2015'ten 2100'e gelindiğinde higrotermal performanslarındaki değişim ortaya konmuştur.



Şekil 1.1. Doktora tezinin alan çalışması ve yöntem akış şeması

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

İklim değişikliğinin bina ve bina çevrelerindeki etkileri ile bina kabuklarının higrotermal performansına etkilerinin araştırıldığı tez kapsamında kitaplar, kılavuzlar ve raporlar, lisansüstü tezler, makaleler ve bildiriler kapsamlı olarak incelenmiştir. Literatür araştırması iklim değişikliğinin binalar ve bina çevrelerindeki etkilerini araştıran çalışmalar ile iklim değişikliğinin temel sebeplerini ortaya koyan temel kaynaklar baz alınmıştır. Higrotermal performansla ilgili olarak ise bina kabuklarının performansını iklim değişikliği senaryoları kapsamında inceleyen, programlarla analiz yaparak özgün sonuçlara ulaşan kaynaklara yer verilmiştir (Çizelge 2.1). Yapılan literatür araştırması sonucunda doktora tez çalışmasına yönelik değerlendirmeler ve çıkarımlar sunulmuştur.

Tez çalışmasında yararlanılan kitaplar-kılavuz-raporlar

Booth ve diğerleri tarafından hazırlanan ‘‘Yapılı Çevrede İklim Değişikliği Sorunlarına Çözümler (*Solutions to Climate Change Challenges in the Built Environment*) ‘’ başlıklı kitap iklim değişikliğinin sebeplerini kapsamlı bir şekilde açıkladıktan sonra yapılı çevrede iklim değişikliğinin etkilerini ortaya koymuştur. İklim değişikliğinin etkilerini bölgesel, şehir ve küresel ölçekte incelerken etkilerin azaltım yollarını açıklamıştır. Kitap iklim değişikliğinin etkilerini ve çözüm yollarını ortaya koyarken, araştırmacılar, öğrenciler, tasarımcılar, inşaatçılar ve iklim değişikliği politikalarını geliştiren hükümet organizasyonları için rehber niteliğindedir (Booth ve diğ, 2012).

Alfsen ve diğerlerinin hazırladığı ‘‘İklim değişikliği: bilimsel arka plan ve süreç (*Climate change: scientific background and process*)’’ adlı rapor iklim değişikliğine yol açan doğal ve insan kaynaklı güçlerin kısa bir açıklamasını yapar ve geçmişteki iklim değişimlerini özetleyerek insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının olası gelecekteki etkilerini ele alır. Ayrıca, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) arka planı, organizasyonu ve işleyişi hakkında bilgi verir (Alfsen ve diğ, 2000).

Skinner ve Murck tarafından hazırlanan ‘‘ Mavi Gezegen: Dünya Sistem Bilimlerine Giriş (*The blue planet: an introduction to earth system science*)’’ isimli kitap dünya bilimlerini

sistem perspektifinden ele alır ve beş farklı küreyi ve bunların nasıl birbirleriyle ilişkili olduğunu gösterir (Skinner ve Murck, 2011).

Field ve diğerlerinin İklim Değişikliğine Uyumu İlerletmek için Aşırı Olay ve Afet Risklerinin Yönetilmesi Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli Özel Raporu, aşırı hava ve iklim olaylarını risk yönetimi açısından ele alarak, bu olayların fiziksel ve sosyal boyutlarını incelemektedir. Bilimsel literatürde gözlemlenen ve tahmin edilen değişiklikleri değerlendirir, gözlemler ve projeksiyonlar doğrultusunda etkileri inceler. Uyuma yönelik deneyimleri ve teorileri yerel, ulusal ve uluslararası düzeylerde ele alırken, sürdürülebilir kalkınma ve risk azaltma arasındaki etkileşimleri de değerlendirir. Ayrıca, vaka çalışmalarına yer vererek risk yönetiminde kaydedilen önemli ilerlemeleri gösterir (Field ve diğ, 2012).

Künzel'in doktora tezine dayanan hazırlamış olduğu Yapı Bileşenlerinde Aynı Anda Isı ve Nem Taşınımı (*Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components*) isimli raporun amacı bina bileşenlerinde aynı anda ısı ve nem taşınmasının bir ve iki boyutlu hesaplaması için basit parametreler kullanarak bir yöntem geliştirmektir. Bu amaçla, önce nem depolama ve taşıma mekanizmalarını ve bunların ısı taşıma üzerindeki etkilerini ayrıntılı olarak incelenmiştir. Hava akışları, yerçekimi, hidrolik basınç farklılıkları, osmotik veya elektrokinetik etkiler gibi nem hareketlerini göz ardı edilmiştir. Açıklanan düşüncelerle birlikte, literatürün eleştirel değerlendirilmesi, yeni taşıma denklemlerinin türetilmesine yol açmıştır. Tüm bu hesaplama ve denklemlere dayalı olarak WUFI hesaplama ve simülasyon programı geliştirilerek literatüre katkı sağlanmıştır (Künzel, 1995).

Abounaga ve diğerlerinin hazırladıkları Kalkınmakta Olan Ülkelerde Kentsel İklim Değişikliği Adaptasyonu: Politikalar, Projeler ve Senaryolar (*Urban Climate Change Adaptation in Developing Countries Policies, Projects, and Scenarios*) isimli kitabın ilk bölümü, iklim değişikliğinin küresel risklerini ve bu risklerin tarım, ekosistemler, ormanlar, su, sağlık, kıyı bölgeleri, turizm ve enerji gibi sektörler üzerindeki etkilerini inceler. İkinci bölüm ise, küresel iklim değişikliği önlemleri ve politikaları üzerine odaklanırken, özellikle gelişmekte olan ülkelerde iklim değişikliği adaptasyonuna dikkat çeker ve Mısır'daki projeleri diğer ülkelerle karşılaştırarak başarılı ve başarısız yönleri analiz eder (Abounaga ve diğ, 2019).

La Roche tarafından hazırlanan Karbon-Nötr Mimari Tasarım (*Carbon-Neutral Architectural Design*) isimli kitap, binaların enerji kullanımının sera gazı emisyonlarının önemli bir kaynağı olduğunu vurgular ve bina sektöründeki emisyonlarda büyük azaltımlar yapılmadan insan kaynaklı emisyonların düşürülemeyeceğini belirtir. Mevcut teknolojilerle bu mümkün olsa da, binaların tasarım ve üretim süreçlerinde köklü değişiklikler gerektirir. Kitap, düşük emisyonlu ve karbon nötr binaların tasarımı için temel kavramları sunar ve HVAC sistemleriyle uyumlu dış cephelerin geliştirilmesine odaklanarak emisyonları azaltan bir yöntem önerir. Farkındalık arttıkça, bu alandaki çeşitli kuruluşlar önemli adımlar atmıştır, ancak iklim değişikliği hızla ilerlemekte ve bu nedenle emisyonların azaltılması daha da kritik hale gelmiştir. Kitap, karbon nötr binalara ulaşılmasına katkıda bulunmayı amaçlamaktadır (La Roche, 2017).

Tez çalışmasında yararlanılan lisansüstü tezler

İklim değişikliği ve etkileri ile ilgili olarak yapılan lisansüstü tezler kapsamlı olarak ele alınmıştır. Bu bağlamda inceleme bina ve bina çevreleri ile sınırlı tutulmamış, iklim değişikliğini içeren farklı alanlardaki tezleri de kapsamıştır.

Akköse yüksek lisans tez çalışmasında, iklim değişikliğine uyum için kullanılan mimari tasarım stratejileri, tasarım ve simülasyon temelli yaklaşım kullanılarak incelenmektedir. Yapılı çevrenin ve iklim değişikliğinin karşılıklı etkilerini azaltmak için bir tasarım stratejisi önerilmiştir. Temel amaç, iklim değişikliği tahminlerinin kentsel ısı adası etkisi ile birlikte binaların enerji ve ısı performansları üzerindeki etkilerini değerlendirmek ve mevcut ve gelecekteki iklim koşullarına göre Türkiye’deki bir eğitim binasının adaptasyonunu mimari tasarım teknikleri ve dinamik enerji simülasyon yazılımları aracılığı ile bir durum çalışması olarak analiz etmektir (Akköse, 2019).

Sdei doktora tez çalışmasında, Isle of Sheppey'deki Rushenden'de yakın zamanda tamamlanan konut yenileme programının iklim değişikliği nedeniyle ısınan hava koşullarından nasıl etkileneceğini araştırmaktadır. Bu program, EU Interreg araştırma projesi IFORE (Innovation for Renewal, 2010-2014) kapsamında incelenmiştir. Tezin amacı, Birleşik Krallık kamu politikalarını sosyal konut yenileme konusunda bilgilendirerek, ısıyı korumaya yönelik yalıtım ve hava sızdırmazlığı stratejisi yerine yaz

aylarında aşırı ısınmayı da önleyen bir stratejinin benimsenip benimsenmediğini değerlendirmektedir (Sdei, 2015).

Choi tarafından yazılan doktora tezinde iklim değişikliğinin zorluklarıyla mücadele etmek ve gezegenlerimizin sınırlı kaynaklarını karşılamak için, mimarlar ve mühendisler olarak, aşırı çevreler (extreme environment) için yeni malzemeler ve teknolojiler geliştirilmesi üzerinde durulmaktadır. Çalışma, aşırı yaşam koşullarına uygulanabilir yeni materyaller ve yenilikçi tasarımları keşfetmeyi ve ortaya çıkartmayı amaçlamaktadır (Choi, 2017).

Aygün tarafından hazırlanan yüksek lisans tez çalışmasında Türkiye'nin en büyük metropol şehri olan İstanbul'un kentsel sistemindeki iklim değişikliğine bağlı kırılganlık seviyesi ve hayati sektörlere yönelik riskleri incelemeyi amaçlamıştır. Bu çalışmanın sonuçları, hangi sektörlerin en savunmasız olduğunu ve iklim değişikliği nedeniyle en büyük risk altında olduklarını vurgulamaktadır (Aygün, 2015).

Onur tarafından hazırlanan doktora tez çalışması, İstanbul'da kentleşme ve iklim değişikliğinin etkilerini azaltmak amacıyla iklim değişikliğine uyumlu mekânsal planlama yaklaşımlarını geliştirmeyi ve sürdürülebilir kalkınmaya katkı sağlamayı hedeflemektedir. Araştırma, iklim değişikliği senaryoları ve mekânsal analizler kullanarak, hassas AKAÖ'leri belirlemekte ve uygun planlama araçları önermektedir. Ayrıca, mevcut mevzuat değerlendirilmiş ve iklim değişikliğine uyumlu kentleşme için öneriler geliştirilmiştir (Onur, 2014).

İklim değişikliğinin yol açabileceği kayıp ve zararların azaltılması amacıyla Türkiye'nin kurması gereken erken uyarı sisteminin gerekliliklerini araştırmakta ve mevcut durumu analiz eden tez çalışması Paris Antlaşmasında vurgulanan kayıp ve zararlardan yola çıkmıştır (Bozoğlu, 2018).

Batan (2014) tezinde küresel iklim değişikliğinin ne olacağı sorusundan yola çıkarak, genel bilgiler vermiş, sebep olan etmenleri ayrıntılı açıkladıktan sonra literatürde konuyla ilgili yer alan ve öne çıkan raporları (BMİDÇS, IPCC, Kyoto) özetlemiş, iklim modelleri ve gelecek iklim senaryolarından bahsetmiştir. Tezde, gelecekteki iklim değişikliğinin muhtemel sonuçları belirlenmiştir (Batan, 2014).

Literatürde yer alan higrotermal performans ve iklim değişikliği ile ilgili başlıca lisansüstü tezler şöyledir:

Pallin (2013), ‘‘Higrotermal Performansın Risk Değerlendirmesi - Bina Kabuğu Güçlendirme’’ başlıklı doktora tezinde hem niteliksel hem de niceliksel bir risk analizi de dahil olmak üzere bir higrotermal risk değerlendirme prosedürünü ayrıntılı olarak açıklamış ve çeşitli vaka çalışmaları aracılığıyla somut uygulama örnekleri sunmuştur. İsveç konutlarıyla ilgili yapmış olduğu çalışmada olasılıksal risk değerlendirmesinin sağladığı duyarlılık analizi sayesinde higrotermal performansı en çok etkileyen parametreyi bularak en iyi yenileme kararına ulaşmışlardır (Pallin, 2013).

Lykartsis (2019), doktora tezinde, aşırı hava koşullarında üç farklı bina tipinin dayanıklılığını incelemiş ve Birleşik Krallık'taki bir okul binasında termal konfor için soğutma yüklerini ölçmüştür. Ayrıca, Londra'daki ofis binasında bağıl nem ve pencere-duvar oranlarının termal konfor ile enerji tüketimi üzerindeki etkilerini araştırmış ve düşük pencere-duvar oranlarının daha iyi konfor sağladığını bulmuştur. Ayrıca, sürdürülebilir drenaj sistemlerinin (SuDS) (geçirgen su, yağmur suyu toplama ve zayıflatma havzaları) üç türünün etkilerini değerlendirmiştir (Lykartsis, 2019).

Berggren (2019), ‘‘Enerji verimli binaların değerlendirilmesi- Gelecekteki iklim değişikliğini dikkate alarak enerji ve nem performansının değerlendirilmesi’’ başlıklı doktora tezinde enerji verimli binaların gelecekteki iklim değişikliklerini göz önünde bulundurarak enerji ve nem performansını değerlendiren metodolojiler geliştirmiştir. Tez, konut bina kabuklarının tarihsel incelemesini, enerji ve nem performansını değerlendirmek için literatür taraması ve vaka çalışmaları yapmış, ayrıca çok kriterli karar analizine dayalı bir değerlendirme yöntemi geliştirmiştir. Sonuçlar, ısı köprülerinin etkisinin arttığını ve bu nedenle binaların tasarımında ısı köprülerine dikkat edilmesi gerektiğini göstermektedir. Ayrıca, higrotermal simülasyonlar için standart sınır koşulları ve nem performansını nicel olarak ifade eden yöntemlerin geliştirilmesi gerektiğini vurgulamıştır (Berggren, 2019).

Samancı (2019), yüksek lisans tezinde, İstanbul'daki ahşap dış duvarların ısı ve nemsel performansını bilgisayar benzetim aracıyla incelemiştir. Ahşap iskeletli ve masif ahşap duvar sistemlerini araştırmış, farklı duvar katmanları ve malzeme seçimlerinin ısı ve nemsel performansı üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Sonuçlar, ahşap duvar tasarımı ve

uygulamalarında kullanılan malzemelerin performansının önceden benzetim aracıyla analiz edilerek enerji etkinliğinin artırılabilceğini göstermiştir (Samancı, 2019).

Ekşi (2016) tezinde, İstanbul Çapa'daki dıştan ısı yalıtımı uygulamaları ve kullanılan malzemeleri incelemiştir. Alan çalışmasında ise gözlemlerden yola çıkarak higrotermal performans benzetim çalışması yapmıştır. Örnek duvar kesitleri, WUFI 2D 3.3 yazılımında farklı parametrelerle modellenmiş ve modelleme öncesinde doğrulama çalışmaları yapılmıştır. Duvar kesitlerinin ısı yalıtımsız, yalıtımlı ve kaplamalı alternatiflerinin İstanbul ikliminde yıl boyunca higrotermal performansı hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Ayrıca, İstanbul Çapa bölgesindeki mevcut binalarda dıştan ısı yalıtımının etkileri değerlendirilmiş ve sonuçlar tartışılmıştır (Ekşi, 2016).

Xiao doktora tezinde duvar birleşimlerinin iklim değişikliğinden kaynaklanan rüzgar kaynaklı yağmur yüklerine karşı nem direncinin değerlendirilmesine izin veren bir yöntem geliştirmiştir. Geçmiş ve gelecekteki iklim koşullarına maruz kalan test edilmiş duvar montajlarının nem performansı karşılaştırılmış ve tartışılmıştır. Duvar birleşimlerinde hasar olaylarının meydana gelme riskleri farklı zaman dilimlerinde de gösterilmiştir (Xiao, 2022).

Nik doktora tez çalışmasında, çatı katlarının higrotermal koşulları ve İsveç'teki binaların enerji performansını tahmin etmiştir. Çalışma temel olarak farklı senaryoların, binaların ve dönemlerin karşılaştırmalı analizine dayanmaktadır. Dört çatı katı yapısı ve dört şehrin bina stokları, 1961-2100 dönemi için 12 iklim senaryosu ve 1961-2005 dönemi için bir referans senaryo dikkate alınarak incelenmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, iklim verilerindeki belirsizlikler bina simülasyon sonuçlarını önemli ölçüde etkileyebilir. Duruma bağlı olarak, iklim verilerinin bazı belirsizlik faktörleri ihmal edilebilir, ancak bu bina yapısına, olguya ve dikkate alınan nedene bağlıdır (Nik, 2012).

Tez çalışmasında yararlanılan makale ve bildiriler

Basyouni tarafından yayınlanan Dayanıklı Binalar: İklim Değişikliği Uyum Stratejileri ve Müdahaleleri İçin Bir Yol (*Resilient Buildings: A Path towards Adaptability Climate Change Adaptation Strategies and Interventions for Buildings Resilience*) isimli makale binaların iklim değişikliğine nasıl uyum sağlayabileceğini inceleyerek, dayanıklılığını artırmak için bilgi ve stratejiler sunmayı amaçlamaktadır. Binanın tasarımını, malzemelerini

ve içindekilerin sağlığını etkileyen iklim değişikliği etkilerini değerlendirir ve bu süreçteki bilgi ve politika eksikliklerini ele alır (Basyouni, 2017).

Starakiewicz ve diğerleri Yapı Bariyerlerinde Mantar Gelişimi ve Yoğunlaşma Belirleme Yöntemleri (*Methods for Determining Mold Development and Condensation on the Surface of Building Barriers*) isimli yazdıkları makalede, bina yüzeylerinde kf ve su buharı yoğuşmasını kontrol etmek için dört yöntem sunulmakta, her yöntem sıcaklık, nem, sıcaklık ve su buharı basıncı gibi faktörleri değerlendirerek bu olguların ne zaman oluşabileceğini veya oluşmayacağını belirlemektedir. Sonuçlar, yöntemlerin doğruluğunu ve bu olguların tespiti için uygunluğunu doğrulamaktadır (Starakiewicz ve diğ, 2019).

Almeida ve Barreira yayınladıkları Bir spor salonunda yoğuşma ve kf riskinin değerlendirilmesi: yerinde ölçümler ve sayısal simülasyon (*Condensation and Mold Risk Evaluation in a Gymnasium: In Situ Measurements and Numerical Simulation*) isimli yayında Spor tesislerindeki kf büyümelerini farklı yöntemler kullanarak karşılaştırmışlardır. Kf büyümesi ve yoğuşma oluşumu, saha ölçümleri ve tahmin modelleri kullanılarak incelenmiştir. Farklı modellerle elde edilen sonuçlar çeşitli farklılıklar göstermiş ve bu durum, modellerin güçlü ve zayıf yönlerini, ayrıca girdi parametrelerine duyarlılıklarını tartışma fırsatı yaratmıştır. Çalışmanın sonucuna göre sıcaklık farkları, duvar üzerinde kolon ve kirişten daha yüksekli. İki farklı kriterin kullanılması, bu farkları ortaya çıkarmak için önemli olmuştur. Ayrıca, beklenmedik sonuçlar elde edilmiştir; kolon ve kiriş duvardan daha az risklidir. Bu durum, yapının dış yüzeyinde izolasyon uygulanmamasının, termal köprülerin etkisini azaltması ile açıklanabilir (Almeida ve Barreira, 2017).

Defo ve diğerlerinin yaptıkları çalışmanın ismi Dört Simülasyon Aracından Elde Edilen Higrotermal Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması (*A comparison of hygrothermal simulation results derived from four simulation tools*) dır. Bu çalışmada, dört farklı ahşap çerçeveli duvarın nem performansını ve higrotermal yanıtlarını DELPHIN, WUFI, hygIRC ve COMSOL gibi dört simülasyon aracı kullanarak karşılaştırılmıştır. Çalışmada, farklı kaplama türlerine sahip duvar sistemleri ve üç Kanada şehrinde yapılan 2 yıllık simülasyonlarla analiz edilmiştir. Sonuçlar, simülasyon araçlarının genellikle tutarlı sonuçlar verdiğini ancak bazı durumlarda önemli farklılıklar olduğunu göstermiştir. Bu araçlar, farklı tasarıma sahip duvarların erken bozulma riskini ve iklim değişikliğinin etkilerini değerlendirmek için kullanılabilir (Defo ve diğ, 2021).

Huertas ve diğerlerinin yayınlamış oldukları İspanyol Sosyal Konutlarının Cephelerinde İç Yüzey Yoğuşma Riski (*Internal surface condensation risk in façades of Spanish social dwellings*) isimli makalede yüzey yoğuşması hesaplamaları ISO 13788 standardına göre İspanya'daki sosyal konutların örnek bir modeline uygulanmıştır. Hem mevcut hem de 2050 senaryolarında, tüm iklim bölgelerinde yapılmıştır. Dokuz farklı noktada yapılan ölçümler sonuçları doğrulanmış ve yoğuşma ile küf riskinin iklim bölgesine göre değiştiğini, termal dirençlerin ise gelecekteki senaryolarda veri varyasyonunu önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Ayrıca, uygun havalandırmanın riskleri azalttığı ve 2050 yılına kadar küf ve yüzey yoğuşması risklerini ortadan kaldırdığı bulunmuştur. Gelecekteki riskleri tahmin etmek için yapay sinir ağlarına dayalı bir model geliştirilmiş ve bu model gelecekteki riskleri tahmin etmek amacıyla kullanılabilir (Huertas ve diğ, 2019).

Vandemeulebroucke ve diğerlerinin İklim Değişikliğinin Brüksel'deki Sağlam Tuğla Duvarlarda Donma-Çözülme Hasarı, Küf Oluşumu ve Ahşap Çürümesi Üzerindeki Etkileri Üzerine Faktöriyel Çalışma (*Factorial Study on the Impact of Climate Change on Freeze-Thaw Damage, Mould Growth and Wood Decay in Solid Masonry Walls in Brussels*) isimli çalışması Brüksel'deki sağlam tuğlalı binalarda iklim değişikliğinin donma-çözülme riski, küf oluşumu ve ahşap çürümesi üzerindeki etkilerini inceler. Sonuçlar, kritik yönelimin rüzgârla sürüklenen yağış yönüyle eşit olduğunu ve donma-çözülme riskinin azaldığını, ancak küf ve ahşap çürümesinin iklim senaryosuna bağlı olarak değiştiğini gösterir. Tuğla türü ve yağış maruziyet katsayısı, iklim değişikliği etkilerini değerlendirirken en önemli faktörlerdir. Ayrıca, içten yalıtım uygulamasının ardından zarar artışının iklim değişikliği ile beraber telafi edilemediği bulunmuştur (Vandemeulebroucke ve diğ, 2021).

Libralato ve diğerlerinin yayınladıkları Glaser Yöntemi ile Isı, Hava ve Nem Geçiş Modeli Arasındaki Nem Göçü Karşılaştırması (*Comparison between Glaser Method and Heat, Air and Moisture Transient Model for Moisture Migration in Building Envelopes*) isimli çalışma Glaser yönteminin ve gelişmiş bir ısı, hava ve nem transfer tahmin aracı olan WUFI Pro'nun nem içeriği açısından karşılaştırmasını sunmaktadır. Sonuç olarak, malzeme özellikleri ve iklim verileri yeterli güvenilirlikle bilindiğinde, merkezi ve güney Avrupa'daki yaygın yapı kabukları için malzeme nem içeriğini değerlendirmek üzere Glaser yönteminden ziyade kapsamlı bir HAM modelinin tercih edilmesi gerekmektedir. (Libralato ve diğ, 2019).

Umaroğulları ve diğerlerinin yayınladıkları Isı Köprülerinde Higrotermal Performansın Ve Isı Kayıplarının İncelenmesi isimli makalede bir konut yapısındaki ısı köprülerinin yalıtım durumlarına göre (yalıtımsız, kısmi yalıtımlı, dışardan yalıtımlı) ısı kayıpları ve higrotermal performans analiz edilmiştir. Analizler, kısmi yalıtımın dışardan kesintisiz yalıtım durumuna göre %37 daha fazla ısı kaybına yol açtığını ve kesintisiz dışardan yalıtımın yoğuşma riskini ortadan kaldırdığını göstermiştir (Umaroğulları ve diğ, 2024).

Chang ve Kim yayınlamış oldukları Isı, Hava Ve Nem Modellemesi Kullanılarak Dış Duvar Yapıların Higrotermal Performansı (*Hygrothermal Performance Of Exterior Wall Structures Using A Heat, Air And Moisture Modeling*) isimli konferans bildirisinde, Kore'de yaygın kullanılan iki farklı duvar yapısının ısı ve nem performansını WUFI simülasyon programı ile incelemişlerdir. Çalışmada, su içeriği, higrotermal davranış, yoğuşma riski ve küf oluşum potansiyeli belirlenerek konforlu bir iç mekan tasarımı sağlanmıştır. Sonuç olarak iç sıcaklığın, yalıtım tabakasında nem birikimi üzerindeki etkisi değerlendirildiğinde, düşük iç sıcaklıkların özellikle ahşap çerçeveli yapıda daha fazla nem birikimine neden olduğu görülmüştür. Sıcak ve nemli dış iklimde toplam su içeriği beton duvarlarda ahşap çerçeveli duvarlardan daha yüksektir. Ayrıca, yazın alçı levhada yoğuşma riski ve kışın her iki duvarda da yoğuşma riski bulunmaktadır. Ahşap çerçeveli yapının beton yapıya göre daha yüksek yoğuşma riski ve daha büyük nem dalgalanmaları gösterdiği tespit edilmiştir (Chang ve Kim, 2015).

Lu ve diğerlerinin yayınladıkları İçten Yalıtımlı Tarihi Taş Yapılarının İklim Dayanıklılığı: Mevcut ve Gelecekteki İklim Senaryoları Altında Nem Riskinin Karşılaştırılması (*Climate Resilience of Internally-Insulated Historic Masonry Assemblies: Comparison of Moisture Risk under Current and Future Climate Scenarios*) isimli makalede gelecekteki nem yüklerine dayanıklılığı araştırmak için, DELPHIN yazılımında referans, yakın gelecekte (2040) ve uzak gelecekte (2080) iklim senaryoları altında üç iç yalıtım montajı (iki U-değeri yönergesine uygun) simüle edilmiştir. Londra'daki eski binalarda içten yalıtımın nem birikimi, küf oluşumu ve donma-çözülme risklerini artırabileceği bulunmuştur. DELPHIN yazılımında yapılan simülasyonlar, 2040'ta düşük-orta, 2080'de ise yüksek riskler göstermiştir; yüksek emiciliğe sahip ve daha ince yalıtım montajları daha iyi performans sergilemiştir. Kalsiyum silikat montajı en iyi nem performansını sunarken, tüm montajlar uzak gelecekte yüksek nem riskine maruz kalacaktır (Lu ve diğ, 2021).

Van Aarle ve diğerlerinin yazdıkları İklim Değişikliğinin Etkileri: Tuğla Yapılarda Donma Hasarı Riskini Tahmin Etmek İçin Higrotermal Simülasyon (*Hygro Thermal Simulation to Predict the Risk of Frost Damage in Masonry; Effects of Climate Change*) adlı çalışmalarında yağma duvarda donma hasarı riskini araştırmışlardır. Çalışmada, donmaya duyarlı malzeme kalsiyum silikat tuğlalı dış bina cephelerinin higrotermal modeliyle yapılan simülasyonlar sonucunda, Hollanda'da donma hasarı olabilecek kışlar yeniden üretildi. Sonuçlara göre; iklim değişikliği hava sıcaklıklarını artırarak dış bina cephelerinde donma hasarı riskini azaltabilir, ancak yağışların artışı binaların daha uzun süre ıslak kalmasına neden olarak riski artırabilir. Simülasyonlar, gelecekte donma hasarı riskinde %70'lik ciddi bir azalma öngörmektedir (Van Aarle ve diğ, 2015).

Kılıçaslan ve Kuş Mevcut Binaların Dış Duvarlarında Uygulanan Dış Isı Yalıtımının Higrotermal Performansının Değerlendirilmesi (*Evaluation of the Hygrothermal Performance of External Thermal Insulation Applications on the Outer Walls of Existing Buildings*) isimli çalışmalarında mevcut binaların dış duvarlarına yapılan dıştan ısı yalıtımı uygulamalarının ısı ve nemsel performansını değerlendirmişlerdir. İstanbul Çapa'daki uygulamalarda, geçirimsiz kaplamaların ısı yalıtımıyla birleştiğinde kış aylarında nemin kritik seviyelere çıkabileceği ve uzun vadede duvarlarda bozulmalara neden olabileceği bulunmuştur. Bu nedenle, dış cephe ısı yalıtımının uzmanlıkla ele alınması gerektiği vurgulanmaktadır (Kılıçaslan ve Kuş, 2015).

Socoloski ve diğerlerinin yazdıkları Higrotermal Simülasyonlar Aracılığıyla Sıvalı Cephelerde Sıcaklık ve Yağış Neminin Etkisi (*The Influence of Temperature and Rain Moisture in Mortar Facades Obtained Through Hygrothermal Simulation*) isimli çalışma Brezilya'nın Santa Maria şehrindeki binaların dış cephelerinde sıcaklık ve yağış neminin etkilerini, farklı yönler göre incelemiştir. WUFI® Pro 6.5 yazılımı ile yapılan simülasyonlarda, dış cephe kaplamalarının etkisi, duvarın malzeme türüne bağlı olmaksızın yönler göre değişiklik göstermiştir (Socoloski ve diğ, 2023).

Hayles ve diğerleri İklim Değişikliğinin Galler, Birleşik Krallık'taki Konutlar Üzerindeki Yaz Dönemi Etkileri (*Summertime Impacts Of Climate Change On Dwellings In Wales, UK*) isimli yayınlarında Kuzey Yarımküre'nin ılıman iklim bölgesinde yer alan Galler'deki binalarda iklim değişikliği nedeniyle yaz aylarında iç mekan koşullarının bozulacağını ortaya koymuşlardır. 2030 ve 2070 yılları için yaptıkları çalışmalar, artan bağıl nem

nedeniyle iç mekan çevresel kalitesinin düşme potansiyelini göstermektedir. Konut tipolojisinden bağımsız olarak, bağıl nem her yerde artacaktır (Hayles ve diğ., 2022).

Khourchid ve diğ., yayınladıkları İklim Değişikliği Senaryoları Altında Bina Soğutma Gereksinimleri: Etkiler, Azaltma Stratejileri ve Gelecek Yönelimler (*Building Cooling Requirements Under Climate Change Scenarios: Impact, Mitigation Strategies, and Future Directions*) isimli makaleye göre iklim değişikliği sonucunda, iklim bölgelerine bağlı olarak değişiklik gösterse de, soğutma enerji talebi ılıman ve soğuk bölgelerde en yüksek seviyede olacaktır. 21. yüzyılın ortasında bu artış sırasıyla tropikal, kuru, soğuk ve ılıman iklimlerde %33, %89, %288 ve %376 olarak tahmin ediliyor ve yüzyılın sonunda bu oranlar daha da yükselebilir. Bina dış cephesindeki ısı yalıtımı ve gölgeleme gibi çözümler bu etkileri azaltabilir, ancak bu çözümlerin yeterli olup olmadığını belirlemek için daha fazla araştırma gerekmektedir (Khourchid ve diğ., 2022).

Çizelge 2.1. Literatür araştırmalarının özeti

Yazar / Yazarlar	Yıl	Yapıldığı Yer	Yayın Adı	Araştırma ve Yöntem
Booth ve diğerleri	2012	ABD	Solutions to Climate Change Challenges in the Built Environment	İklim Değişikliği Temelleri Hakkında Derleme
Alfsen ve diğerleri	2000	Norveç	Climate Change: Scientific Background and Process	IPCC İşleyişi ve İklim Değişikliğinin Doğal ve İnsan Kaynaklı Sebeplerinin Derlenmesi
Skinner ve Murck	2011	ABD	The Blue Planet: An Introduction to Earth System Science	Dünya Bilimleri ve Sistemlerinin Temel Dinamiklerinin İncelenmesi
Field ve diğerleri	2012	ABD	İklim Değişikliğine Uyumu İlerletmek için Aşırı Olay ve Afet Risklerinin Yönetilmesi Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli	İklim Değişikliği Fiziksel ve Sosyal Süreçlerinin Değerlendirilmesi ve Vaka Çalışmaları ile Sunulması
Künzel	1995	Almanya	Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components	Bina bileşenlerinde ısı ve nem taşınmasında kullanılan bir yöntem geliştirme, yeni taşıma denklemleri ortaya koyma
Abounaga ve diğerleri	2019	ABD	Urban Climate Change Adaptation in Developing Countries Policies, Projects, and Scenarios	İklim Değişikliği Risklerinin Sektörler Üzerinden İncelenmesi, Adaptasyon Önerileri ve Mısır İçin Vaka Çalışmaları Sunulması
La Roche	2017	ABD	Carbon-Neutral Architectural Design	HVAC Sistemleriyle Uyumlu Dış Cephelemin Geliştirilmesine Odaklanarak Emisyonları Azaltan Bir Yöntem Önerisi

Çizelge 2.1. (devam) Literatür araştırmalarının özeti

Akköse (YL, Tez)	2019	Türkiye	Architectural Design for Climate Change Mitigation and Adaptation Strategies in Existing Buildings	İklim Değişikliğinin Isıl ve Enerji Performansı Üzerindeki Etkilerinin Bir Eğitim Yapısı Üzerinden Simülasyonla Değerlendirilmesi
Sdei (DR, Tez)	2015	İngiltere	Climate Change Adaptation of Retrofitted Social Housing in the South-East of England	Isıyı Korumaya Yönelik Yalıtım Ve Hava Sızdırmazlığı Stratejisi Yerine Yaz Aylarında Aşırı Isınmayı Da Önleyen Bir Stratejinin Uygulanabilirliğinin Simülasyon ve Ölçümlerle Ortaya Konması
Choi (DR, Tez)	2017	ABD	Extreme Environment Architecture	Aşırı Çevreler (Extreme Environment) İçin Yeni Malzemeler ve Teknolojiler Geliştirilmesi
Aygün (YL, Tez)	2015	Türkiye	Climate Change and Urban Resilience: Vulnerability and Risk Assessment for İstanbul	İstanbul'un Kentsel Sistemindeki İklim Değişikliğine Bağlı Kırılganlık Seviyesi ve Hayati Sektörlere Yönelik Risklerin İncelenmesi, Anket
Onur (DR, Tez)	2014	Türkiye	İstanbul'da Kentleşmenin İklim Değişikliğine Uyum Çerçevesinde Değerlendirilmesi	İklim Değişikliği Etkilerine Karşı arazi kullanımı ve arazi örtüsü (AKAÖ) Senaryoları Geliştirilmesi, Mevzuat Değerlendirmesi, SWOT analizi
Bozoğlu (DR, Tez)	2018	Türkiye	Paris İklim Anlaşması Kapsamında Türkiye'nin Erken Uyarı Sistemine Dair Yapması Gerekenler	İklim Değişikliğine Karşı Türkiye'nin Kurması Gereken Erken Uyarı Sisteminin Gereklilikleri, Derleme
Batan (DR, Tez)	2014	Türkiye	Küresel İklim Değişikliği ve Beklenen Sonuçları	İklim Değişikliği ve Etkileri ile İlgili Literatür Araştırması
Pallin (DR, Tez)	2013	İsveç	Risk Assessment Of Hygrothermal Performance-Building Envelope Retrofit	En İyi Yenileme Kararı, Olasılıksal Risk Değerlendirmesi, Duyarlılık Analizi
Lykartsis, (DR, Tez)	2019	İngiltere	Resilience of Buildings to Extreme Weather Events	Aşırı Hava Koşullarında Bina Türlerinin Termal Konfor Açısından Dayanımı, Simülasyon
Berggren (DR, Tez)	2019	İsveç	Evaluating Energy Efficient Buildings: Energy- and Moisture Performance Considering Future Climate Change	İklim Değişikliğine Karşı Enerji Verimli Binalar İçin Yöntem Önerisi, Çok Kriterli Karar Verme Analizi
Samancı (YL, Tez)	2019	Türkiye	Ahşap Dış Duvarların İstanbul'daki Uygulamalar Üzerinden İncelenmesi, Isıl ve Nemsel Performansın Benzetim ile Değerlendirilmesi	İstanbul'daki Ahşap Dış Duvarların Isıl Ve Nemsel Performansının Değerlendirilmesi, Simülasyon
Ekşi (YL, Tez)	2016	Türkiye	Mevcut Binaların Cephelerinde Dıştan Isı Yalıtımı Uygulamalarının İstanbul'da Alanda İncelenmesi ve Hıgrotermal Performansın Benzetimle Değerlendirilmesi	İstanbul Çapa'daki Dıştan Isı Yalıtımı Uygulamaları ve Kullanılan Malzemelerin İncelenmesi, Simülasyon

Çizelge 2.1. (devam) Literatür araştırmalarının özeti

Xiao (DR, Tez)	2022	Kanada	Assessing Moisture Resilience of Wall Assemblies to Wind-Driven Rain Loads Arising from Climate Change	Duvar Birleşimlerinin İklim Değişikliğinden Kaynaklanan Rüzgâr Tahrikli Yağmur Yüklerine Karşı Nem Direncinin Değerlendirilmesi, Simülasyon, Deney ve Ölçüm
Nik (DR, Tez)	2012	İsveç	Hygrothermal Simulations of Buildings Concerning Uncertainties of the Future Climate	Gelecekteki İklim Belirsizliklerine İlişkin Binaların Hıgrotermal Simülasyonları, Simülasyon
Basyouni	2017	Mısır	Resilient Buildings: A Path towards Adaptability Climate Change Adaptation Strategies and Interventions for Buildings Resilience	Binaların İklim Değişikliğine Uyumu, Literatür Derlemesi
Starakiewicz ve diğerleri	2019	Polonya	Methods for Determining Mold Development and Condensation on the Surface of Building Barriers	Bina Yüzeylerinde Küf ve Su Buharı Yoğuşmasını Kontrol Etme Yollarının Doğrulanması, Hesaplama ve Karşılaştırma
Almeida ve Barreira	2017	Portekiz	Condensation and Mold Risk Evaluation in a Gymnasium: In Situ Measurements and Numerical Simulation	Bir Spor Salonunda Yoğuşma ve Küf Riskinin Değerlendirilmesi: Yerde Ölçümler ve Sayısal Simülasyon
Defo ve diğerleri	2021	Kanada	A Comparison of Hygrothermal Simulation Results Derived From Four Simulation Tools	Dört Farklı Ahşap Çerçevesi Duvarın Nem Performansını ve Hıgrotermal Performansı Değerlendirilmesi, Simülasyon
Huertas ve diğerleri	2019	İspanya	Internal Surface Condensation Risk in Façades of Spanish Social Dwelling	Yüzey Yoğuşması Hesaplamalarının ISO 13788 Standardına Göre İspanya'daki Sosyal Konutlarına Uygulanması, Yapay Sinir Ağlarına Dayalı Bir Model Önerisi, Ölçüm
Vandemeulebroucke ve diğerleri	2021	Belçika	Factorial Study on the Impact of Climate Change on Freeze-Thaw Damage, Mould Growth and Wood Decay in Solid Masonry Walls in Brussels	İklim Değişikliğinin Brüksel'deki Sağlam Tuğla Duvarlarda Donma-Çözülme Hasarı, Küf Oluşumu ve Ahşap Çürümesi Üzerindeki Etkileri Üzerine Faktöriyel Çalışma, Duyarlılık Analizi
Libralato ve diğerleri	2019	İtalya, Paris, Roma, Madrid, Viyana, Berlin	Comparison between Glaser Method and Heat, Air and Moisture Transient Model for Moisture Migration in Building Envelopes	Glaser Yöntemi ile Isı, Hava ve Nem Geçiş Modeli Arasındaki Nem Göçü Karşılaştırması, Simülasyon ve Hesaplama
Umaroğulları ve diğerleri	2024	Türkiye	Isı Köprülerinde Hıgrotermal Performansın ve Isı Kayıplarının İncelenmesi	Bir Konut Yapısındaki Isı Köprülerinin Yalıtım Durumlarına Göre Analizi, Simülasyon
Chang ve Kim	2015	Kore	Hygrothermal Performance of Exterior Wall Structures Using A Heat, Air and Moisture Modeling	İki Farklı Duvar Yapısının Isı Ve Nem Performansının WUFI İle İncelenmesi, Simülasyon

Çizelge 2.1. (devam) Literatür araştırmalarının özeti

Lu ve diğerleri	2021	İngiltere	Climate Resilience of Internally-Insulated Historic Masonry Assemblies: Comparison of Moisture Risk under Current and Future Climate Scenarios	İçten Yalıtımlı Tarihi Taş Yapılarının İklim Dayanıklılığı: Mevcut ve Gelecekteki İklim Senaryoları Altında Nem Riskinin Karşılaştırılması, Simülasyon
Van Aarle ve diğerleri	2015	Hollanda	Hygro Thermal Simulation to Predict the Risk of Frost Damage in Masonry; Effects of Climate Change	Yığma Duvarda Donma Hasarı Riskinin Araştırılması, Simülasyon
Kılıçaslan ve Kuş	2021	Türkiye	Evaluation of the Hygrothermal Performance of External Thermal Insulation Applications on the Outer Walls of Existing Buildings	Mevcut Binaların Dış Duvarlarında Uygulanan Dış Isı Yalıtımının Hıgrotermal Performansının Değerlendirilmesi, Simülasyon
Socoloski ve diğerleri	2023	Brezilya	The Influence of Temperature and Rain Moisture in Mortar Facades Obtained Through Hygrothermal Simulation	Hygrotermal Simülasyonlar Aracılığıyla Sıvalı Cepheelerde Sıcaklık ve Yağış Neminin Etkisi, Simülasyon
Hayles ve diğerleri	2022	İngiltere	Summertime Impacts of Climate Change on Dwellings in Wales, UK	Galler'deki Binalarda İklim Değişikliği Etkilerinin İncelenmesi, Simülasyon
Khourchid ve diğerleri	2022	Tropik, Sıcak, Soğuk, Nemli İklim Bölgeleri	Building Cooling Requirements Under Climate Change Scenarios: Impact, Mitigation Strategies, and Future Directions	İklim Değişikliği Senaryoları Altında Bina Soğutma Gereksinimleri: Etkiler, Azaltma Stratejileri ve Gelecek Yönelimler, Simülasyon

Tez çalışmasının literatür araştırmaları Çizelge 2.1’de özetlenmiştir. Buna göre iklim değişikliği ile ilgili yapılan vaka çalışmalarının tezler, makale ve bildiriler dahil olmak üzere ağırlıklı olarak simülasyon programları kullanılarak yapıldığını ve gelecek senaryolara göre yapı ve yapı kabuklarında incelemelerin olduğu görülmüştür. Sıklıkla kullanılan simülasyon programı WUFI olmakla beraber DELPHIN ve diğer programların da tercih edildiği tespit edilmiştir. Hıgrotermal performans ve iklim değişikliği ile ilgili olarak Avrupa’da yapılan çalışmaların dış duvarlar ve malzemelerdeki değişimlere odaklandığı, bu konuda Türkiye’de oldukça az sayıda çalışma yapıldığı tespit edilmiştir. Türkiye’de yapılan iklim değişikliği ile ilgili çalışmaların sıklıkla binalarda enerji tüketimine odaklandığı; hıgrotermal performansla ilgili yapılanların ise iklim değişikliğini dikkate almadığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu tez çalışmasında, Türkiye için türetilen gelecek iklim verileriyle nemli ılıman iklim bölgesinde hem yapılı çevreyle ilgili tespitler yapılmış olması hem de bunun yansıması olarak çeşitli yapı kabuğu türleri ve katmanlarıyla gelecek dönemler için hıgrotermal performanslarının tespit edilmesi, Türkiye ‘de gelecekte yapılacak bina kabukları için yol gösterici olmakla beraber, çalışılmamış bir alana da katkı sağlamaktadır.

3. MATERİYAL VE METOD

Bu bölümde iklim değişikliğinin anlaşılabilmesi için temel kavramlardan ve tanımlardan bahsedilerek tez çalışması kapsamında iklim değişikliğinin sebepleri üzerinde durulmuş ve iklim değişikliğinin sonucu olarak meydana gelen sıcaklık ve nem ortalamalarındaki değişimlerin yapılar ve yapı kabukları üzerindeki etkisi kapsamlı olarak ele alınmıştır.

İlk olarak iklim değişikliği senaryolarından başlanarak süreçteki senaryoların gelişimi ele alınmış, küresel iklim modellerinden bahsedilmiştir. Bu bağlamda çalışma kapsamında Türkiye için iklim değişikliğine değinilerek, MGM'nin Türkiye için hazırlamış olduğu iklim değişikliği senaryoları açıklanmıştır.

3.1. İklim Değişikliği ve Binalar Üzerindeki Etkileri

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'ne göre iklim, geniş bir coğrafi bölge içinde uzun yıllar boyunca değişmeyen ortalama hava şartlarını ifade eder. İklim karakteristikleri, uzun yıllar boyunca değişmeyen ortalama koşulların yanı sıra nadir görülen aşırı değerlerin de hesaba katıldığı bir çerçevede belirlenir. İklim, bu geniş yelpazedeki değerler arasında değişkenlik gösterir. Hava durumu ise atmosferde meydana gelen geçici meteorolojik olayları ifade eder. Anlık hava durumu tanımları arasında soğuk, sıcak, yağmurlu gibi terimler kullanılarak atmosferin o anki durumu anlatılır. Bu tanımlar, belirli bir yerde ve kısa süre içinde geçerli olan atmosfer koşullarını açıklar. Örneğin, "sıcak hava" terimi kullanıldığında bulutların olmadığı, rüzgâr hızının ve diğer iklim öğelerinin değişkenlik gösterebileceği durumlar kastedilir. Ancak bu tanımların odak noktası genellikle yüksek sıcaklıklardır (URL 2).

Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO)'na göre, iklim geniş bir zaman aralığında değişen istatistiksel bir tanımlama olarak ortaya konabilir. Bu tanım, iklimsel faktörlerin zaman içindeki ortalamalarını, aşırı değerlerini, değişkenliklerini ve çeşitli olayların sıklığını içerir. WMO'nun belirlediği klasik zaman dilimi genellikle 30 yıldır ve genellikle yüzeydeki sıcaklık, yağış ve rüzgâr gibi değişkenleri kapsar (URL 3).

Küresel iklim sistemi zaman içinde, kendi iç dinamikleri veya dış etkenler (zorlamalar olarak adlandırılanlar) tarafından yavaş yavaş değişebilir. Dış zorlamalar, güneşle ilgili değişkenlikler gibi doğal olaylar, volkanik patlamalar ile antropojenik (insan kaynaklı) atmosferin bileşimindeki değişiklikleri içerir. Bu bağlamda iklim değişikliği “nedeni ne olursa olsun iklimin ortalama durumunda ve/ya da değişkenliğinde onlarca yıl ya da daha uzun süre boyunca gerçekleşen değişiklikler” olarak tanımlanmaktadır (URL 4).

İklim değişikliği, Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO)’ya göre; enerji kullanımının artması ve küresel ekonominin genişlemesinin bir sonucu olarak, 20. yüzyıl boyunca atmosferde sera gazlarının birikmesi olarak da tanımlanmaktadır. Dünya’daki ısıtım dengesini değiştiren sera gazlarının birikmesi sonucunda net görülen etki Dünya yüzeyinin ve alt atmosferinin ısınmasıdır. Bunun sebebi sera gazlarının Dünya’nın yüzeyi, atmosferi ve bulutları tarafından yayılan kızılötesi radyasyon spektrumu dâhilinde belirli dalga boylarındaki radyasyonu emerek tekrar yaymasıdır (URL 4).

İklim değişikliğinden bahsedebilmek için ortalama koşulların değişiminin yanı sıra ekstrem (uç) değerlerin yenilenme ve yenilenme sıklıklarının artışı ve bunun sürekliliği olması gereklidir. İklim değişikliğini gözlemleyebilmek için 300-500 yıl gibi uzun iklim döngüleri gereklidir. Bir yerin iklim koşullarını anlayabilmek için ise 30 yıllık gözlem değerlerine ihtiyaç vardır. Bu 30 yıllık dönem iklim döngüleri göz önüne alındığında oldukça kısa olmakla beraber kısa dönemli birincil değerlendirmeler için gerekli süredir (URL 3).

Ayrıca iklim değişikliği küresel ısınmayla ilişkilendirilmektedir. Küresel ısınmayla ilişkilendirilen iklimsel olaylar arasında; yağışlar, deniz seviyesinin yükselmesi, kuraklık, volkanik faaliyetler, kasırgalar, biyolojik çeşitlilik kaybı, artan fırtına yoğunluğu, sıcak hava dalgalarının sıklaşması, değişen yağış düzenleri, okyanus akıntısının tersine dönmesi ve sel baskını gibi iklim olaylarındaki dalgalanmalar ve aşırılıklar yer almaktadır. Dünyanın iklimi, dünyanın yüzey sıcaklığı tarafından yönlendirildiği için küresel ısınma, küresel iklimdeki değişimin başlıca nedenidir. Bu nedenle, bu iki olgu aslında ciddi anlamda birbirinden ayrılmaz; küresel ısınmayı etkileyen herhangi bir şey sonuçta iklim değişikliğini de etkiler (Booth ve diğ, 2012).

İklim değişikliği konusundaki bilimsel bilgilerin en geniş kapsamlı ve genel olarak kabul gören sentezi, Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından yayımlanan bir

dizi raporda bulunabilir. Bu uluslararası panel, 1988 yılında Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ve Dünya Meteoroloji Örgütü tarafından kurulmuştur. IPCC raporları, gelecekteki iklim değişikliklerini ve bu değişikliklerin olası etkilerini tahmin etmek ve değerlendirmek üzerine odaklanmaktadır. İlk IPCC değerlendirme raporu (FAR) 1990 yılında iklim değişikliğini küresel sonuçları olan ve uluslararası işbirliği gerektiren bir sorun olarak gündeme getirmiştir (URL 5).

IPCC'ye göre küresel ısınma; 20. ve 21. yüzyıl küresel ortalama sıcaklıktaki artışlardır. Hem gözlemler hem de modeller sıcaklık değişimlerini tahmin etmek için kullanılır. İklim değişikliği, sadece sıcaklıktaki değil aynı zamanda yağış, deniz seviyesi, aşırı ve rüzgâr hızları gibi iklim sisteminin diğer özelliklerinde yapılan değişiklikleri ifade eder.

IPCC'nin en son bilimsel verileri, sera gazı emisyonlarının 2030 yılına kadar 2019 seviyelerine kıyasla % 43 oranında azaltılması gerektiğini göstermektedir. Bu, bu yüzyılın sonuna kadar sıcaklık artışını +1.5 santigrat derece ile sınırlamak ve daha sık ve şiddetli kuraklıklar, sıcak hava dalgaları ve yağışlar da dâhil olmak üzere iklim değişikliğinin en kötü etkilerinden kaçınmak için kritik önem taşımaktadır (URL 6).

İklim değişikliği odaklı kuruluşlar, toplantılar, raporlar, anlaşmalar

20. yüzyılın son çeyreğinde en çok tartışılan çevre sorunlarından biri "iklim değişikliği" olmuştur. İklim değişikliğinin yol açacağı sorunlar ve bunlara karşı alınacak önlemlerin politik ve siyasi yönlerinin olması sebebiyle bilim dünyası tarafından BM (Birleşmiş Milletler) öncülüğünde Dünya ülkelerinin gündemine taşınmıştır. Bu bağlamda 5-16 Haziran 1972 tarihleri arasında, Stockholm'de gerçekleştirilen BM İnsan Çevresi Konferansı ilk çevre konferansı olması bakımından dikkat çekicidir.

IPCC'nin 1988'de kuruluşundan bu yana, her değerlendirme raporu doğrudan uluslararası iklim politikalarının oluşturulmasına katkıda bulunmuştur. Küresel ısınmayı azaltmak ve iklim değişikliğinin sonuçlarıyla başa çıkmak için temel uluslararası anlaşma olan UNFCCC'nin oluşturulmasında belirleyici bir rol oynamıştır.

Yayınlanan bu ilk değerlendirme raporu, BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin (BMİDÇS) oluşmasında öncü olmuştur. BMİDÇS, 154 ülkenin ve AB'nin katılımı ile 1992

yılında kabul edilmiştir. 21.03.1994 tarihinde yürürlüğe giren BMİDÇS zamanla 194 ülke tarafından kabul edilmiştir. BMİDÇS taraf ülkelerini sera gazı emisyonlarını azaltmaya, araştırma ve teknoloji üzerinde işbirliği yapmaya ve sera gazı yutaklarını korumaya teşvik etmektedir. Sözleşme, ülkelerin kalkınma önceliklerini ve özel koşullarını dikkate alarak, "ortak ancak farklılaştırılmış sorumluluklar ve göreceli kabiliyetler" prensibine dayanmaktadır. BMİDÇS'nin iki uygulama aracı bulunmaktadır: Kyoto Protokolü (2020 yılına kadar) ve Paris Anlaşması (2020 yılından sonra) (Türkeş, 2002).

İkinci Değerlendirme Raporu (SAR) (1995), 1997 yılında Kyoto Protokolü'nün kabul edilmesine giden süreçte hükümetlerin yararlanabileceği önemli materyaller sağlamıştır. Üçüncü Değerlendirme Raporu (TAR) (2001) dikkatleri iklim değişikliğinin etkilerine ve uyum ihtiyacına odaklamıştır. Dördüncü Değerlendirme Raporu (AR4) (2007), ısınmanın 2°C ile sınırlandırılmasına odaklanarak Kyoto sonrası bir anlaşma için zemin hazırlamıştır. Beşinci Değerlendirme Raporu (AR5) 2013-2014 yılları arasında tamamlanmıştır. Paris Anlaşması'na bilimsel girdi sağlamıştır. IPCC, üç Özel Rapor, bir Metodoloji Raporu ve altıncı değerlendirme raporunu da hazırlayarak altıncı değerlendirme döngüsünü tamamlamıştır. Özel Raporlardan ilki olan 1,5°C'lik Küresel Isınma (SR15), Paris Anlaşması kapsamında dünya hükümetleri tarafından talep edilmiştir. Mayıs 2019'da IPCC, Ulusal Sera Gazı Envanterlerine ilişkin 2006 IPCC Kılavuzunun bir güncellemesi olan 2019 iyileştirmesini tamamlamıştır. İklim değişikliği ve arazi özel raporu (SRCCL) Ağustos 2019'da ve değişen iklimde okyanus ve Kriyosfer özel raporu (SROCC) Eylül 2019'da yayımlanmıştır. Altıncı Değerlendirme Raporu (AR6), 2023 yılı sonundaki ilk küresel envanter için Mart 2023'te tamamlanmıştır (URL 5) (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. IPCC tarihi ve değerlendirme raporları geçmişi (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 20 Mart 2023'te İklim Değişikliği 6. Değerlendirme Raporu'nu yayımladı. Bir önceki dönem olan 2018 yılındaki raporda, küresel ısı artışının 1,5°C'de tutulmasına yönelik aksiyon almanın aciliyeti ve zorunluluğundan bahsediliyordu. Yeni raporda ise bu aciliyet seragazi salımlarının artmasından dolayı daha da önem kazandı. Küresel ısı artışını en fazla 1,5°C ile sınırlandırmak için seragazi salımlarının bugünden 2030 yılına kadar yarıya düşürülmesi gerekiyor. AR6, 2014 tarihli son IPCC Değerlendirmesine kıyasla bölgesel etkilere daha fazla odaklanacak ve küresel etkilerin bölgesel düzeyde kendini nasıl gösterdiği konusunda gelişmiş modellerden ve bilgi birikiminden faydalanacaktır (SBSTA, 2019).

Kyoto Protokolü, bağlayıcı olan sera gazını azaltma ve sınırlama yükümlülükleri getirirken sözleşme sera gazının stabilize edilmesi için bağlayıcı olmayan bir görev tanımlamıştır. Kyoto Protokolü'nde üç ana esneklik mekanizması tanımlanmıştır. Bu mekanizmalar ile sera gazlarının azaltılması, gelişmekte olan ülkelerin sera gazlarını azaltarak gelişmeleri ve sera gazını azaltma sürecinin piyasa ekonomisi içerisindeki tetikleyici araçlarla sağlanması ön görülmüştür. Ancak, 2020'den sonra iklim rejimini düzenleyen Paris Anlaşması'nın devreye girmesiyle, Kyoto protokolünün II. Taahhüt Dönemi yalnızca şekli olarak kabul edilmiştir. Bu nedenle, BMİDÇS'nin ilk uygulama aracı olan Kyoto Protokolü artık işlevini tamamlamıştır. Paris Anlaşması, 2020 sonrası iklim değişikliği rejiminin çerçevesini oluşturur ve 2015 yılında Paris'te düzenlenen BMİDÇS 21. Taraflar Konferansı'nda kabul edilmiştir. Anlaşma, insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının neden olduğu küresel sıcaklık artışını sanayileşme öncesi döneme göre 2 santigrat derecenin altında tutmayı hedeflemekte ve bu çerçevede 1,5 santigrat dereceye ulaşmanın önemini vurgulamaktadır. Ülkemiz ise Paris anlaşmasını 22 Nisan 2016'da gelişmekte olan ülke olarak imzalamıştır. Bu bağlamda COP 27 taraflar konferansı kapsamında 15-16 Kasım 2022'de düzenlenen Bakanlar Oturumu'nda, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanı Murat Kurum, daha önce duyurulan 2030 yılına kadar %21'e kadar olan emisyon azaltım hedefinin güncellenerek % 41'e çıkarıldığını bildirmiştir. Bu sayede, 2030 yılı için yaklaşık 500 milyon ton emisyon azaltımı yapılmasının planlandığını ve en geç 2038 yılında emisyonların zirve noktasına ulaşacağını açıklamıştır (URL 7).

Türkiye'nin iklim değişikliği politikası, azaltım ve uyum çabalarını yerel ve ulusal düzeyde çeşitli politika belgeleri, stratejiler ve eylem planlarıyla yapılandırılmıştır. Ayrıca, Türkiye'nin azaltım potansiyelini belirlemek ve hayata geçirmek için ilgili bakanlıklar ve

kamu kurumları tarafından hazırlanmış, güncellenmiş veya hazırlanmakta olan çeşitli plan ve stratejiler bulunmaktadır. Güncel olarak 2024-2030 yıllarını kapsayan ve Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yayınlanan ‘‘İklim Değişikliği Azaltım Stratejisi ve Eylem Planı’’nda iklim değişikliği etkileri sektörlere göre tek tek ele alınmış ve eylem planı belirlenmiştir. Enerji, sanayi, binalar, ulaştırma, atık, tarım, arazi kullanımı ve yatay kesen konular (adil geçiş ve karbon fiyatlandırma mekanizmaları) sektörleri raporda konuyla ilgili tek tek ele alınmış olup tez çalışması kapsamında binalar sektörü ile ilgili bulgulara bakıldığında 6 strateji 18 eylem yer almaktadır. Binalar sektörüyle ilgili vurgulanan konular başlıca; mevcut ve yeni yapılacak binaların enerji performansının iyileştirilmesi, binalarda kullanılan elektrikli alet ve ekipmanlarda enerji verimliliğinin arttırılması, bölgesel ısıtma-soğutma sistemlerinin kullanımının yaygınlaşması ve desteklenmesi, ulusal yeşil sertifika sisteminin yaygınlaşması, çevre dostu tasarım ve yapı malzemelerinin kullanımının yaygınlaşması, yapı bilgi modellemesi (BIM) araçlarının kullanımının yaygınlaşmasıdır (Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2023).

İklim değişikliği ile ilgili yapılan ulusal ve uluslararası ölçeklerdeki çalışmalar yanında yerel yönetimlerin de adım atmaları önemlidir. Bu amaçla hazırlanma çalışmaları devam eden YİDEP (Yerel iklim değişikliği eylem planı) ler önem arz etmektedir. Yerel İklim Değişikliği Eylem Planları (YİDEP), bir şehrin iklim değişikliğinin negatif etkilerine karşı dayanıklılığını artırmayı ve bu konudaki kararlılığını ortaya koymayı amaçlar. Bu kapsamlı planlar, sadece sera gazı azaltımını değil, aynı zamanda iklim değişikliğine uyum sağlamayı da içerir. Yerel iklim eylem planlarında şehirlerin afetlere karşı duyarlılıkları da analiz edilerek iklim değişikliğine uyum stratejileri belirlenir. İklim Değişikliği Başkanlığı tarafından koordine edilen ve AB tarafından finanse edilen ‘‘Türkiye’nin Yerel İklim Eylemi için AB Ortaklığı Programı’’ açılışı 27 Eylül 2023’te gerçekleştirilmiş olup, Türkiye’deki illerde hazırlanacak yerel iklim eylem planlarına öncülük etmeyi amaçlayan programda geçtiğimiz yıllarda aşırı hava olayları yaşayan iller; Kastamonu, Isparta, Antalya, Ordu, Elazığ ve Kahramanmaraş pilot iller olarak seçilmiştir. Projenin çıktılarının diğer iller için altlık olması hedeflenmiştir (URL 8).

3.2. İklim Değişikliğinin Sebepleri ve Öngörülen Sonuçları

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından yayınlanan Altıncı Değerlendirme Raporu'na göre, başta sera gazı emisyonları (GHGs) olmak üzere insan

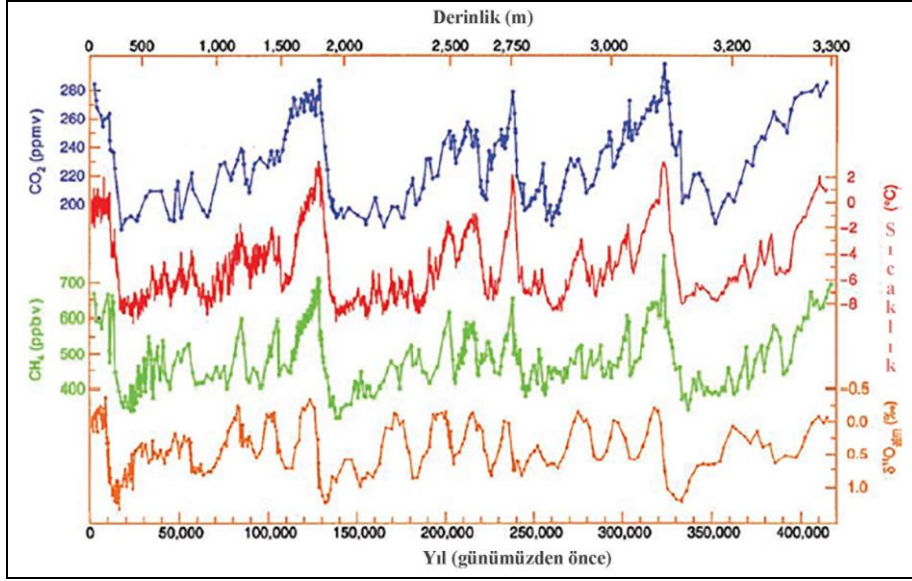
faaliyetleri küresel ısınmaya neden olmuştur. Böylece, küresel sıcaklıklar sanayi öncesi seviyelerin $+1.1^{\circ}\text{C}$ üzerine çıkmıştır ve bu şekilde devam ederse küresel ısınma 2100 yılına kadar sanayi öncesi seviyeleri yaklaşık 3°C aşacaktır. Sürdürülebilir olmayan enerji kullanımı, arazi kullanımı ve arazi kullanım değişikliği ile diğer faaliyetlerden kaynaklanan sera gazı emisyonları artmaya devam ederek tüm ekosistemlerde yaygın ve hızlı değişikliklere neden olmaktadır. Raporda yer alan diğer önemli bulgular arasında, insan kaynaklı iklim değişikliğinin dünya genelinde iklimi etkilediği, bunun da hali hazırda küresel çapta olumsuz etkilere yol açtığı ve tarihsel olarak iklim değişikliğine en az katkıda bulunan hassas toplulukların orantısız bir şekilde etkilendiği yer almaktadır (IPCC AR6, 2023). IPCC'nin son yayınladığı değerlendirme raporuna göre durum böyle olsa da iklimin değişmesinin insan faaliyetleri dışında başka sebepleri de bulunmaktadır. Dolayısıyla iklim değişikliğinin insan faaliyetlerinden kaynaklanan sebeplerine değinmeden önce Dünya ve sistemleri ile ilgili durumları açıklamak gerekmektedir.

İklim değişikliğinin nedenlerini anlayabilmek için önce dış nedenlere, yani Dünya sisteminin dışından gelen sebeplere bakılmalıdır. Bu sebepler, iklim üzerinde etki yaratan faktörleri içerir ve atmosferin üst kısmına ulaşan güneş ışınımındaki değişimleri ifade eder (Booth ve diğ, 2012).

Atmosfer, Dünya'nın katmanlarından ve özellikle iklimle en çok ilgisi olan alt katmanlardan birisidir. Bununla birlikte, atmosferin durumu (sıcaklık, nem, bulutlar, yüksek ve alçak basınç alanlarının dağılımı, vb.) okyanuslar, Kriyosfer (kar ve buz), Biyosfer ve hatta Litosfer (toprak, kaya vb.) gibi diğer alt sistemler tarafından etkilenmekte ve değişmektedir. Bu etkileşimlere rağmen, küresel iklim değişikliğinin temel nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Güneş ışınımındaki farklılıklar,
- Dünya'nın yörüngesindeki farklılıklar,
- Kıtaların şekli ve konumu,
- Dünya yüzeyinden ve atmosferinden yansımalarındaki farklılıklar (albedo)
- Hava koşulları, volkanik faaliyet ve insan faaliyetlerinden dolayı Dünya atmosferinin bileşimindeki değişiklikler (gazlar, aerosoller, bulut örtüsü) (Alfsen ve diğ, 2000).

Durumdaki değişimi anlamak için Dünya tarihinde atmosferik filtrenin buzullar arasında ne derece etkili olduğuna ve o dönemdeki gazların yoğunluğuna bakmak gereklidir. şekil 3.2 incelendiğinde buzun içinde hapsolmuş hava kabarcıklarının kimyasal bileşimi buzullu dönemlerde atmosferin bugün olduğundan daha az karbondioksit ve metan içerdiğini görürüz.



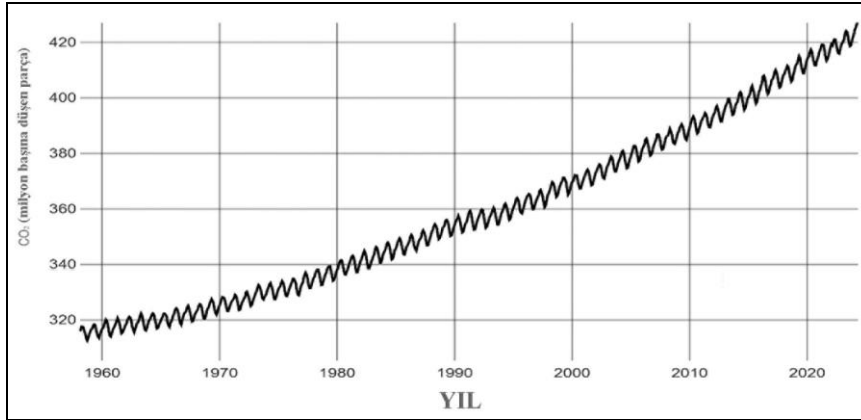
şekil 3.2. Zaman içinde atmosferdeki Metan ve CO₂ gazı değişimi (Booth ve diğ, 2012)

Karbondioksit ve metan iki önemli sera gazlarıdır. Eğer konsantrasyonları buzul zamanlarında olduğu gibi düşük olsaydı, sera etkisinin etkinliği azalacak ve yüzey hava sıcaklıkları daha düşük olacaktı. Hesaplamalar, buzul zamanları boyunca bu iki önemli atmosferik gazın düşük seviyelerinin, toplam buz yaşı sıcaklığının düşmesinin yaklaşık yarısını oluşturduğunu göstermektedir (Booth ve diğ, 2012).

Bu sebeplerle karbondioksit konsantrasyonlarının sera gazı etkisinde rolü büyüktür ve iklim değişikliğinin oluşmasında tetikleyici faktörlerden biridir. Günümüzde giderek artan ve iklim değişikliğiyle uyum sağlamak için belirli sınırdaki tutulması gereken bu konsantrasyonların değişimi İlk ağ'a uzanmaktadır.

İklim, gezegenin yaklaşık 4,5 milyar yıl önce oluşmasından bu yana, yerel ve küresel olarak zamana göre değişmiştir. En bilinenleri 20.000 yıl öncesindeki Buzul ağı (buzul maxima), Orta ağ'da Avrupa'yı vuran küçük Buz ağı, izleyen ortaçağ sıcak dönemi ve 17, 18. ve 19. yüzyılların soğumasıdır. Bu değişikliklerin hepsinde, karbondioksit (CO₂)

konsantrasyonunun sürekli önemli bir rol oynadığına inanılmaktadır (Field ve diğ, 2012). Doğal nedenlerle karşılaştırıldığında, antropojenik nedenlerle karbon konsantrasyonundaki artışın hızı yüksektir. Endüstriyel dönemin başladığı 18. yüzyıldan bu yana, insan faaliyetleri atmosferik CO₂'yi %50 oranında arttırmıştır; yani CO₂ miktarı şu anda 1750 yılındaki değerinin %150' sine ulaşmıştır. İnsan kaynaklı bu artış, 20.000 yıl önceki son buzul çağıının sonunda gözlemlenen doğal artıştan daha fazladır. Son 150 yılda insan faaliyetleriyle milyonda 280 parçadan (ppm) oluşan atmosferik CO₂ seviyeleri yükseldi ve NASA'nın 16 Haziran 2024 ölçümüne göre 422.80 ppm'e çıkarak 650.000 yıldaki en yüksek seviyelerden birine ulaşmıştır (Şekil 3.3) (URL 9).

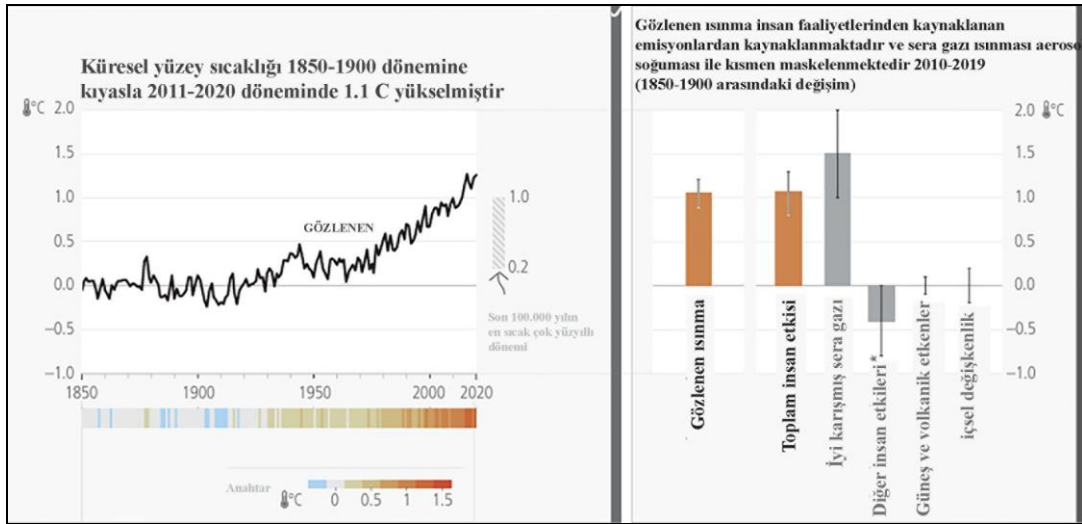


Şekil 3.3. 1960'dan günümüze CO₂ ölçümü (URL 9)

IPCC'ye göre küresel ısınmanın 1,5°C ile sınırlandırılması için sera gazı emisyonlarının en geç 2025 yılından önce zirve yapması ve 2030 yılında 2019 yılına göre %45 oranında azaltılması, yüzyıl ortasında ise net sıfıra ulaşması gerekmektedir (IPCC AR6, 2023).

Son olarak, iklim değişikliğinin son ve muhtemelen en tehlikeli sebebi, insan faaliyetlerinden dolayı atmosferdeki sera gazı konsantrasyonundaki değişimlerle ilişkilendirilebilir. Bu hızlı CO₂ konsantrasyonundaki artışın nedeni olan antropojenik faktörler; hızlı nüfus artışı, ekonomik, endüstriyel ve tarımsal faaliyetler, kentsel yaşam tarzı, enerji kullanımı, büyük çevresel etkileri olan arazi kullanım alışkanlıkları, kentleşme, inşaat faaliyetleri, teknoloji ve iklim politikasıdır. GSYH'nin enerji yoğunluğu ve enerjinin karbon yoğunluğundaki iyileşmeler nedeniyle fosil yakıtlardan ve endüstriyel süreçlerden kaynaklanan CO₂ emisyonlarındaki azalmalar, sanayi, enerji arzı, ulaşım, tarım ve binalardaki artan küresel faaliyet seviyelerinden kaynaklanan emisyon artışlarından daha az

olmuştur. Kişi başına en yüksek emisyonu sahip %10'luk hane halkı grubu, küresel tüketime dayalı hane halkı sera gazı emisyonlarının %34-45'ine katkıda bulunurken, orta %40'lık kesim %40-53'üne, en alt %50'lik kesim ise %13-15'ine katkıda bulunmaktadır. Emisyonların artan bir payı kentsel alanlara atfedilebilir (2015 ve 2020 yılları arasında küresel payın yaklaşık %62'sinden %67-72'sine yükselmiştir). Kentsel sera gazı emisyonlarının itici güçleri karmaşıktır ve nüfus büyüklüğü, gelir, kentleşme durumu ve kentsel formu gibi faktörleri içerir (Şekil 3.4) (IPCC AR6, 2023).



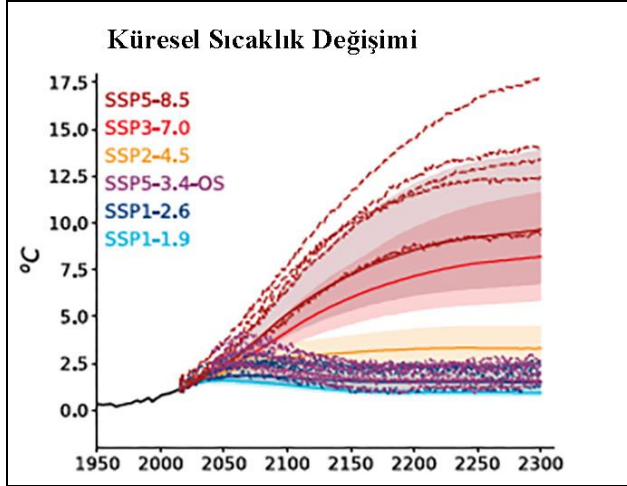
Şekil 3.4. İnsan kaynaklı CO₂ emisyon artışları (IPCC AR6, 2023)

İnsanların bugün karşı karşıya olduğu zorluk, yaşamın birçok yönünü olumsuz etkileyebilecek geri dönüşümsüz bir küresel ısınma sürecine girmek için gerekli azaltma eylemlerini gerçekleştirmek, iklim değişikliğine uyum sağlamak ve yerleşim alanları için stratejiler geliştirmektir.

İklim değişikliğinin beklenen sonuçları

İklim değişikliği ve sebeplerinin bilinmesinden sonra ne ile mücadele etmek zorunda kalacağımızı bilmemiz için yakın gelecekte beklenen etkilerine değinmek gerekmektedir. Bilindiği gibi iklim değişikliğine sebep olan çok sayıda doğal ve doğal olmayan faktörler vardır ve bunların sonucunda Dünya iklimleri gözlemlenebilir şekilde; mevsim sıcaklıklarının değişmesi, buzulların erimesi, toprak kaymaları, volkanik patlamalar, canlı türlerinin yok olması gibi sonuçlar vererek süregelen bir şekilde değişmektedir. Bu değişimler fiziksel ve sosyal çevrelerde kendini göstermektedir.

IPCC konferanslarının iklim değışikliği konusundaki toplantıları bilimsel açıdan en kabul gören gerçeklerdir. IPCC'nin tahmini olan $+1.5^{\circ}\text{C}$ sıcaklık artışının önlem alınmazsa daha fazla artacağı 2023 yılında tamamlanan 6.değerlendirme raporunda (AR6) ortaya konmuştur (Şekil 3.5) (IPCC AR6, 2023).

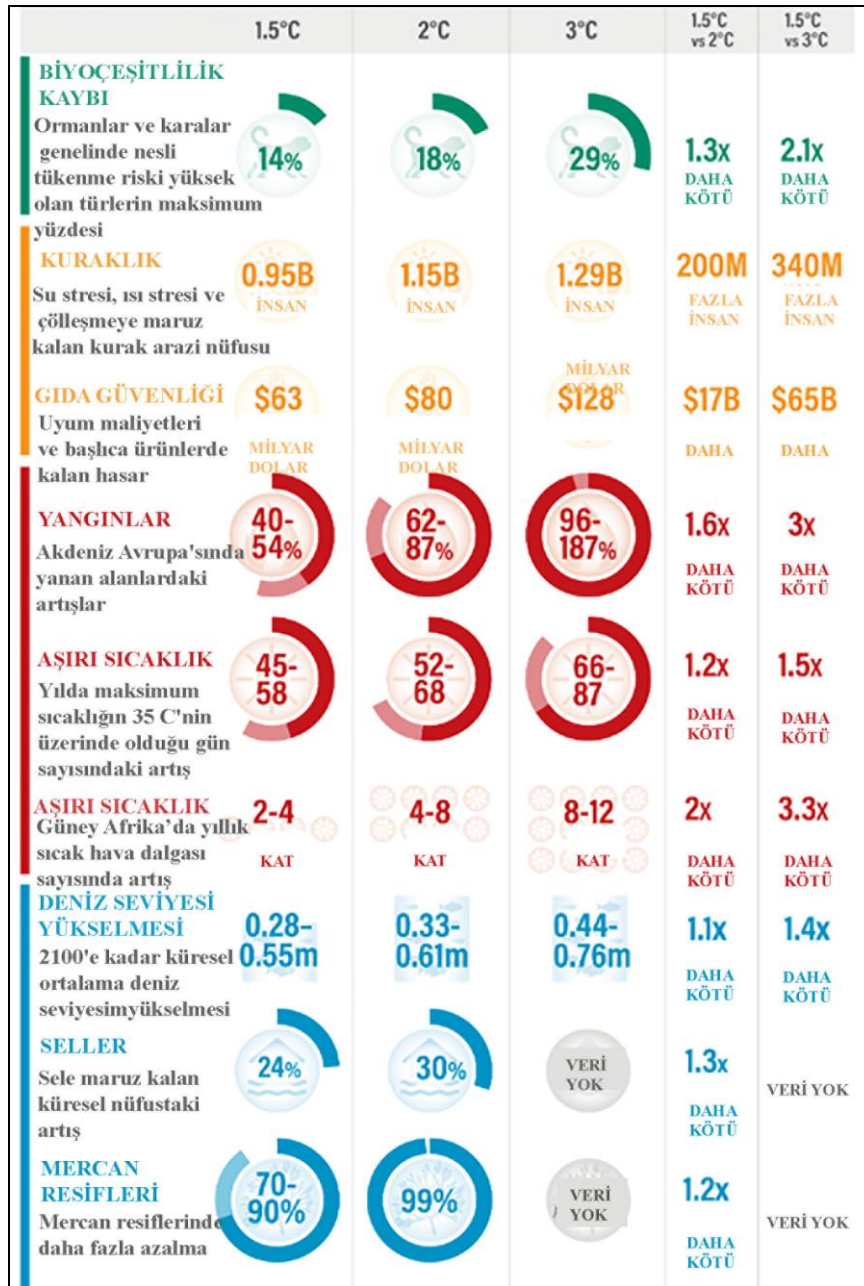


Şekil 3.5. Genişletilmiş SSP senaryoları altında 2300 yılına kadar simüle edilen iklim değışiklikleri (IPCC AR6, 2023)

IPCC (AR6) raporuna göre; gerçekleştirilen tüm senaryolarda gezegenin en az 1.5°C ısınacağı öngörülüyor. En iddialı emisyon azaltım senaryosunda bile, 2030'larda gezegenin 1.5°C 'ye ısındığı, hatta bu dönemde 1.6°C 'yi aşabileceği belirtiliyor. Ancak yüzyılın sonunda sıcaklıkların tekrar 1.4°C 'ye düşeceği tahmin ediliyor. Geçici olarak bile olsa 1.5°C derecenin aşılması, yerel türlerin yok olmasından tuzlu bataklıkların tamamen boğulmasına ve artan ısı stresi nedeniyle insan hayatının kaybedilmesine kadar çok daha ciddi ve çoğu zaman geri dönüşü olmayan etkilere yol açacaktır. O halde, 1.5°C 'in aşılmasının büyüklüğünün ve süresinin sınırlandırılması, ısınmanın mümkün olduğunca 1.5°C 'ye yakın veya altında tutulması gibi, güvenli ve yaşanabilir bir geleceğin sağlanmasında kritik öneme sahip olacaktır. Bu sıcaklık sınırı yüzyılın sonuna kadar aşılsa bile, daha yüksek seviyelerde ısınma ve buna bağlı etkilere kaçınmak için sera gazı emisyonlarını hızla azaltma zorunluluğu değışmeden kalacaktır (IPCC AR6, 2023).

Yine aynı rapora göre; küresel ısınmayı 2°C veya daha fazla olanlara göre 1.5°C ile sınırlayarak önlenebilecek bazı iklim değışikliği etkileri vurgulanmaktadır. Örneğin, 2100 itibariyle, küresel deniz seviyesinin yükselmesi, 2°C 'ye kıyasla 1.5°C küresel ısınmayla 10

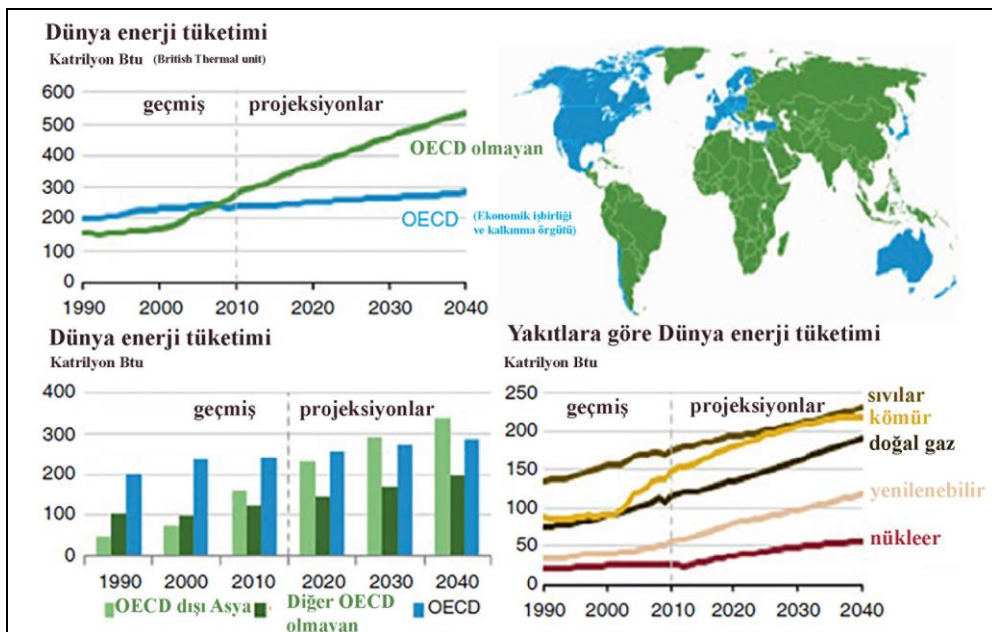
cm daha düşük olacaktır. Yaz mevsiminde deniz buzu içermeyen bir Arktik Okyanusu olasılığı, yılda en az bir kez 2°C ile karşılaştırıldığında 1.5°C küresel ısınma ile yüzyılda bir olacaktır. Mercan resifleri, 1.5°C küresel ısınmayla birlikte % 70-90 azalacak, oysa neredeyse tamamı (>% 99) 2°C ile kaybedilebilecektir (Şekil 3.6). Su taşkınlarının durumu ise 1.5°C ile kıyaslandığında 2°C artış yaşanması durumunda % 6 daha fazla olacaktır (IPCC AR6, 2023).



Şekil 3.6. AR6'da geçen sıcaklık artışının getirdiği risklerin karşılaştırılması (IPCC AR6, 2023)

Artan sıcaklıklarla beraber özellikle Afrika kıtasının güneyinin batı ve doğu kıyıları, Akdeniz, Güney Avustralya ile Kuzey Amerika'nın batı kıyılarının kuraklıkla mücadele etmek durumunda kalacağı bilinmektedir. Şekil 3.6'da görüldüğü gibi sıcaklık artışının 2°C olması durumunda kuraklıktan etkilenecek insan sayısı 1.5°C artışa kıyasla 0.95 milyardan 1.15 milyara çıkmaktadır. Küresel ısınmanın artmasının başka bir sonucu olarak orman yangınları artacaktır. Orman yangınları ekosistemde kayıplara, mülk kaybına, insan ölümüne ve hava kirliliğine neden olacaktır (Aboulnaga, 2019). Şekil 3.6'da görüldüğü gibi IPCC'nin son raporunda yaptığı karşılaştırmaya göre sıcaklıkların yarım santigrat artması bile Akdeniz ve Avrupa'da yangın olaylarını %12 ila %33 oranında arttırmaktadır (IPCC AR6, 2023).

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), dünya enerji tüketiminin 2010 ve 2040 arasında %56 oranında artacağını öngörmektedir (Şekil 3.7). Bu büyümenin çoğu, talebin güçlü bir ekonomik büyümeden kaynaklandığı OECD dışı (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü) ülkelerinden gelecektir. Afrika, Asya ve Avrupa'daki soğutma için toplam ticari enerji talebi, ısı adalarının oluşturacağı ısı stresine uyum sağlamak amacıyla artacaktır. Hava sıcaklığındaki her $0,6^{\circ}\text{C}$ 'lik artış için soğutma elektriği talebinde %1,5-2,0'lik bir artış beklenmektedir. Sıcaklığın artması, Avrupa ve Kuzey Amerika'daki bazı yerlerde en yüksek elektrik talebinin kıştan yazaya kaymasına neden olacak; bu durum, kışın ısıtma enerjisindeki bir düşüş ve yazın soğutma enerjisindeki bir artışla gerçekleşecektir (Aboulnaga, 2019).



Şekil 3.7. Dünya enerji tüketimindeki artış (Aboulnaga, 2019).

Arktik deniz buzunun seviyesi küresel ısınmayla beraber son 10 yılda 1850'den bu yana en düşük seviyeye gerilemiştir. Dolayısıyla Antarktika buz tabakasının erimesi, orman üst örtüsünün kuruması gibi ani gelişebilecek olaylar risk faktörleri olarak görülmekte ve değerlendirilmektedir. 1900'den bu yana son 3000 yıla oranla deniz seviyelerindeki küresel ortalama yükseliş herhangi bir zamandan daha hızlı artış göstermiştir (IPCC AR6, 2023). Emisyonların en fazla arttığı senaryoya göre buz tabakalarındaki süreçlerin belirsizliği sebebiyle küresel ölçekte deniz seviyesindeki artışın 2100 yılında 2 metreye, 2150 yılında ise 5 metreye kadar olan olası aralığın üzerinde gerçekleşmesi kaçınılmaz olarak görülmektedir (IPCC AR6, 2023).

Ülkemizin de içerisinde yer aldığı Avrupa kıtasında değişen su seviyelerine bağlı olarak taşkın ve sellerin artacağı bildirilmiştir. Derelerin taşması, deniz seviyesindeki artış, erozyon gibi sonuçlar nedeniyle ekonomik ve insani kayıpların yaşanacağı belirtilmiştir. Bu soruna karşı uyum için; sellerden korunma teknolojilerinin geliştirilmesi ve sulak alanların restorasyonu önerilmiştir (IPCC, 2014).

Su seviyeleriyle ilgili başka bir durum Dünya su seviyesi ve su akışındaki değişiklik nedeniyle su sıkıntısı doğacak olmasıdır. Ayrıca, kirlilik ve su baskınlarından kaynaklanan düşük su kalitesi, içme suyu için risk oluşturacaktır. Su kıtlığı, tarım, sağlık ve yerleşim, sanayi ve enerji gibi çoğu sektörde kayıp anlamına gelir; çünkü su, yaşam için temel ihtiyaçlardan biridir (Aboulnaga, 2019).

Aşırı yağış olaylarında sıklaşma olacağı öngörülürken, yağış durumunda yüzeye düşen yağış miktarında da önemli bir artış olacağı bildirilmiştir (IPCC AR6, 2023).

İklim değişikliğinin sosyal çevrelerdeki etkilerine bakıldığında dikkat çeken durum özellikle deniz seviyesinin yükseleceğinin tahmin edildiği bölgelerde yaşanması beklenen göç olaylarıdır. Bu durum devletleri sosyo-ekonomik açıdan etkileyecektir. Özellikle Güney Doğu Asya (Bangladeş ve Vietnam), Karayip'teki ve Pasifik'teki adalar ve geniş sahillere sahip şehirler örneğin Tokyo, New York, Kahire ve Londra deniz seviyesindeki artış nedeniyle etkilenecek alanların başında gelecektir ve 200 milyon insanın, deniz seviyesindeki artış nedeniyle göç edeceği ön görülmektedir. Diğer bir sosyal etki yine su kenarı yerleşimleri ile ilgilidir. İklim değişikliğiyle beraber balık avlanma stoklarının azalması başlıca geçim kaynağı balıkçılığa dayanan dünya nüfusunun yaklaşık % 12'sini

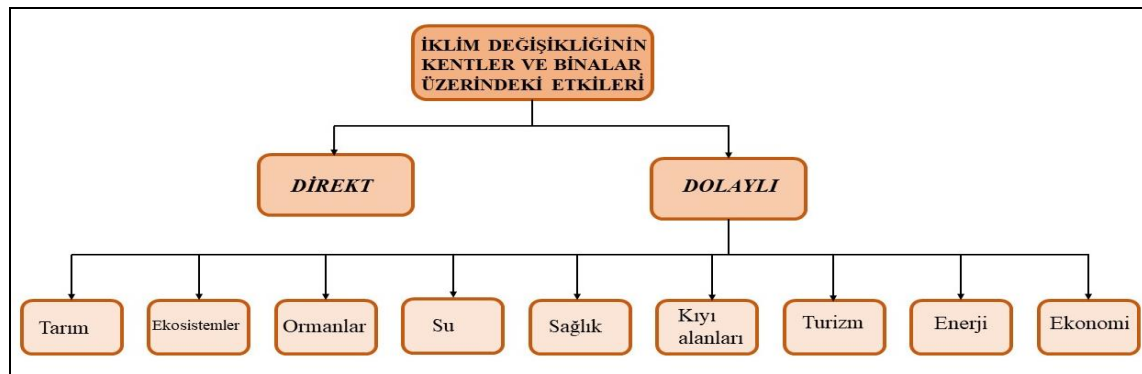
etkilemektedir. Bu durum yaklaşık 3 milyar kişiyi ilgilendirerek yıllık 2.9 trilyon ABD doları ekonomik fayda sağlayan sektörler üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Aboulnaga, 2019).

Sonuçlar, iklim değişikliğinin ciddi risklerini ve bu risklerin zamanla artan oranlarla, özellikle gelişmekte olan ülkeler başta olmak üzere tüm ülkeleri etkilediğini göstermektedir. Tarım, su kaynakları, ormanlar, kıyı bölgeleri, sağlık, ekosistemler, şehirler, altyapı sistemleri, yapı çevreleri ve enerji gibi birçok alanda iklim değişikliğinin belirgin etkileri bulunmaktadır. Bu değişikliklerin büyük bir kısmı insan kaynaklı etkilere dayanmaktadır. Bu nedenle, bu risklerin küresel ekonomik kayıplara yol açma ve yapı çevresine zarar verme potansiyeli bulunmaktadır.

Yukarıda bahsedilen etkilerin ve sonuçların önlenmesi için, hükümetler, yöneticiler, işbirlikçiler ve politikacılar, bilim insanlarıyla birlikte çalışarak azaltma stratejileri geliştirmeli ve hayata geçirmelidirler.

İklim değişikliğinin binalarda beklenen etkileri

Son yıllarda, iklimdeki değişiklikler tüm kıtalardaki doğal ve insan sistemleri üzerinde etkilere neden olmuştur. İklim değişikliğinin etkileri, farklı sektörlerde gözlemlenen ve yapıyı çevrenin sosyal ve insani yönleri üzerinde de sonuçları olan kanıtlarla desteklenmektedir. Yapılı çevre üzerindeki bu etkiler doğrudan ve dolaylı etkilere ayrılmıştır. Direkt etkiler; iklimsel değişkenlik, dolaylı etkiler ise, kentsel veya kırsal alanların ekonomik olarak bilinen, yapıyı çevreyle ilgili sektörlerde çevresel ve sosyal değişimleri içeren sonuçlara yol açmaktadır (Aboulnaga ve diğ, 2019) (Şekil 3.8).

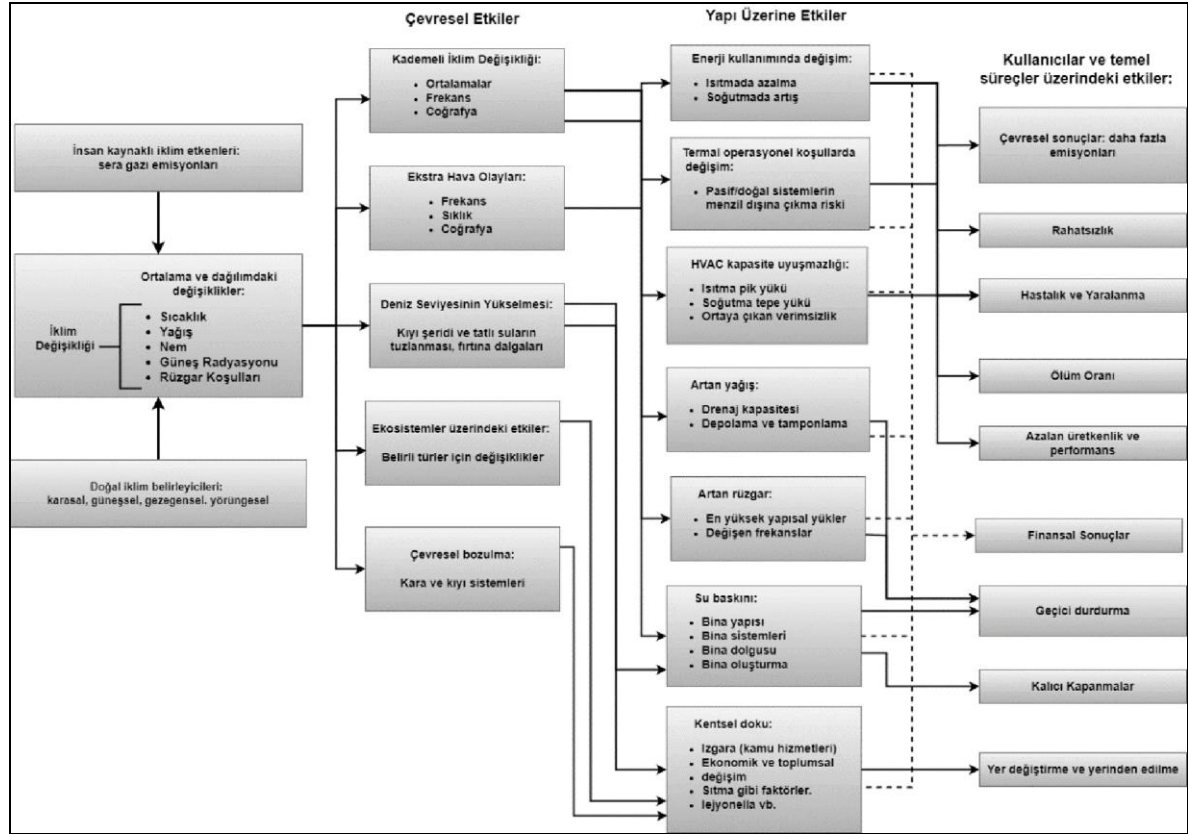


Şekil 3.8. İklim değişikliğinin direkt ve dolaylı etkileri (Aboulnaga ve diğ, 2019).

İklim değişikliğinin binaların performansında özellikle enerji tüketimi açısından olumsuz sonuçlara yol açacağı kanıtlanmıştır. Artan ortalama hava sıcaklıkları özellikle soğutma döneminde daha fazla enerji tüketimine sebep olacaktır. İklim değişikliğinden dolayı çalışma koşullarında kayma ile karşılaşan bina sistemleri verimsizlik ve aşırı yüklenmeden kaynaklı arızalar yaşayabilecektir. Mevcut binaların 50-100 yıl ömürleri olduğu bilindiğinden binaların performansının iklim değişikliğinden etkileneceği bir gerçektir. İklim değişikliğinin bir diğer etkisi iç ortam konfor koşulları üzerindedir. Çünkü bina kullanıcıları için iç ortam kalitesi önemlidir ve iklim değişikliği bina kabuğunu etkileyerek iç ortam kalitesini de etkileyecektir. Dış ortamdaki koşullar, iç ortamın koşullarını belirleyen sınırlayıcı faktörlerdir. Bu faktörler arasında dış hava sıcaklığı, nem, hava kalitesi, yağış ve toprak yüzeyindeki ıslaklık, ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinin durumu, dış mekân ekosisteminin durumu ve çevredeki binaların özellikleri gibi etkenler bulunmaktadır. Sonuç olarak, bina kabuğu tasarımı, iç ortam konfor koşullarını sağlamak için gelecekte daha da önemli hale gelecektir (De Wilde ve Coley, 2012).

Yükselen sıcaklıkların bina performansı üzerindeki ilk etkisi dış yüzeylerde görülür ve binaların ısı performansını etkileyebilir. Bu durumun bir diğer örneği ise su baskınları ve deniz seviyesinin yükselmesidir. Bu durumlar kıyı ve iç su baskınlarına, atık su kirliliğine, toprak ve çamur kirliliğine, binalarda su hasarına ve temellerin zarar görmesine neden olabilir (De Wilde ve Coley, 2012), (La Roche, 2024). Şiddetli yağış olaylarının artması ve taşkınlara neden olması muhtemel olduğundan yerleşim alanları, ticaret, ulaşım ve toplumlar zarar görebilir. Kuraklık etkisi altındaki bölgelerin artması, su kıtlığına ve hidroelektrik üretim potansiyelinin azalmasına yol açabilir, bu da yerleşim yerleri, sanayi ve toplumlar için sorunlar doğurabilir ve nüfus göçü potansiyelini arttırabilir. Yoğun fırtınalar ise taşkınlar ve şiddetli rüzgârlarla birlikte rahatsızlıklar yaratabilir, özellikle özel sektör sigorta şirketleri tarafından sigortalanmamış bölgelerde risklerin artmasına neden olabilir ve nüfus göçleri ile mülk kaybı potansiyelini arttırabilir. Ayrıca, deniz seviyelerinin aşırı yükselmesi (tsunamiler hariç), kıyı koruma maliyetlerini ve arazi kullanımının yeniden düzenlenmesi maliyetlerini arttırabilir; bu durum aynı zamanda nüfusun ve altyapının yer değiştirmesine sebep olabilir (La Roche, 2017). Ayrıca, çevresel etkiler elektrik şebekesinde arızalara yol açabilir ve bu durum, binaların içinde düzgün çalışmasını engelleyebileceği gibi kentsel bağlamda genel sorunlara da neden olabilir. Bununla birlikte iklim değişikliği, binaların konumlandırıldığı bağlamı etkileyebilir. Örneğin, ekosistemler üzerinde belirli hayvan veya bitki türleri üzerinde etkileri olabilir ve bu da arazi kullanımını (örneğin tarım veya hastalık

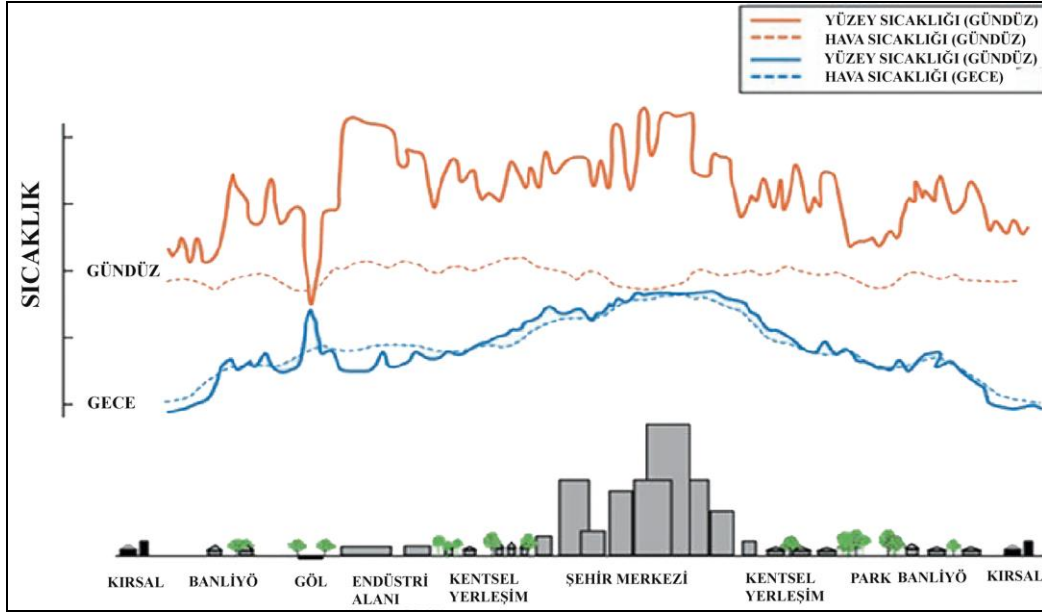
yayılmı) etkileyebilir. Bunlara ek olarak, kentsel yapılar üzerinde ekonomik ve toplumsal değişimlere yol açabilecek sonuçları da olabilir. Şekil 3.9’da iklim değişikliği, binalar, bina sakinleri ve süreçler arasındaki bu karmaşık ilişki görülmektedir (De Wilde ve Coley, 2012), (La Roche, 2024).



Şekil 3.9. İklim değişikliği, binalar, sakinler ve süreçler arasındaki karmaşık ilişkinin temsili edilmesi (De Wilde ve Coley, 2012).

İklim değişikliğinin bina ölçeğinden daha geniş bir perspektifle en önemli etkisi kentsel alanlar ve çevreleri üzerinde olacaktır. Dünya nüfusunun yaklaşık yarısı kentsel alanlarda yaşamakta ve 2030 yılına kadar bunun % 60 oranında artması beklenmektedir. Kentsel alanlar, ısınma adasından küresel ısınmadan dolayı etkilenmektedir. Kentsel ısınma adası etkisi (UHIE), şehirlerdeki atmosferin ve yüzeylerin sıcaklığının kırsal alanlara göre daha yüksek olması olarak tanımlanır. UHIE'nin etkisiyle artan soğutma ihtiyacı enerji üretiminde bir artışa ve buna bağlı olarak hava kirliliği, enerji santralleri, ulaştırma ve atıklardan kaynaklanan sera gazı emisyonlarında artışa neden olabilir. Kentsel ısı adası, özellikle çocuklar, yaşlılar ve solunum yolu hastalıkları olan kişiler gibi hassas gruplar üzerinde sağlık etkileri yaratır. Bu durum genel rahatsızlıklara ve sıcak çarpmalarına neden olabilir. Ayrıca, kaldırım yüzeylerinin yüksek sıcaklıkları, özellikle asfalt ve koyu renkli

fayanslar kullanılmasıyla yüzey sıcaklıklarının artmasına neden olur; ayrıca, bu yüzeylerin altındaki atık su sıcaklığı, 35°C'yi aştığında sıcak su nehirlerine ve göllere salındığında, bu durum su sıcaklığını yükseltir ve sudaki canlılara zarar verir (Şekil 3.10) (Abounaga, 2019).



Şekil 3.10. Farklı arazi kullanım alanlarının yüzey ve atmosferik sıcaklıkları (Abounaga, 2019)

Tüm bu iklim değişikliği etkilerini kısaca toparlayacak olursak binalar üzerindeki etkiler başlıca;

- Yükselen sıcaklık: Dış yüzeyleri etkileyerek, binanın ısı performansını etkiler.
- Daha yoğun yağış: Yüksek akış yoğunluğu, yapısal bütünlük sorunlarına yol açabilir ve drenajı etkileyebilir; aynı zamanda yağmur toplama fırsatları sağlar.
- Daha sık / yoğun fırtınalar: Yapı malzemeleri, armatürler, kaplamalar ve bağlantı elemanları daha fazla zorlanır; daha yüksek rüzgâr yükleri gereksinimlerini artırabilir.
- Daha sık su baskınları: Deniz seviyesinin yükselmesi kıyı ve iç su baskınlarına neden olabilir; daha fazla kıyı tuzu spreysi, su hasarı, kanalizasyon, toprak ve çamur kirliliği, temel sorunlarına yol açabilir.
- Diğer yangın olayları: Yangın hasarı olabilir; duman ve su hasarı riski artar.
- Daha fazla dolu fırtınaları: Çatılar, çatlaklar, camlar gibi yapı elemanları darbe alabilir; ardından yağmur ve nem sızması riski artar.
- Artan nem: Küf oluşumu riski artar ve binanın ısı performansı olumsuz etkilenebilir.

- Azalan nem: Daha yüksek yangın riskiyle sonuçlanabilir (El Basyouni, 2017).

Mevcut iklim değişikliğiyle uyum ve strateji politikalarına bakıldığında binalarla ilgili en önemli strateji; CO₂ emisyonlarının azaltılması için binaların enerjii verimli şekilde tasarlanmaları ve mevcut binaların da enerji verimliliği bakımından iyileştirilmeleri gerekliliğidir. Bu konuda Türkiye için hazırlanan ve 2024-2030 yıllarını kapsayan ‘‘İklim Değişikliği Azaltım Stratejisi ve Eylem Planı’na bakıldığında binalarla ilgili temel stratejilerin; mevcut binalarda enerji verimliliğinin iyileştirilmesi, yeni binaların enerji verimliliğinin iyileştirilmesi, binalarda elektrikli alet, ekipman ve cihazların kullanımında enerji verimliliğinin artırılması, bölgesel ısıtma ve soğutma sistemlerinin kullanımının yaygınlaşması ve desteklenmesi, ulusal Yeşil Sertifika Sistemi (YeS-TR) uygulaması ile çevre dostu tasarım ve yapı malzemelerinin kullanımının yaygınlaştırılması, inşaat ekosisteminde dijital dönüşümün sağlanmasında Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) araçlarının kullanımının sağlanması, yaygınlaştırılması ve teşvik edilmesi olduğu görülmektedir (Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2023).

Binaların iklim değişikliğinin etkilerine adapte edilmesi, çevresel tasarıma ve kullanımdaki binaların performansına entegre bir yaklaşım gerektirmektedir. Sonuç olarak, tasarımcının iklim verilerini toplaması ve analiz etmesi, binanın performansını iyileştirmek ve iklim şartlarına uygun tasarımlar yapmak açısından önemlidir.

3.2.1. Aşırı sıcakların yapı kabuklarındaki etkisi



Şekil 3.11. Dış ortam hava sıcaklığı ve bağıl nem miktarındaki artışın bina kabuğundaki etkileri (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

İklim değışikliğı sebebiyle oluşacak aşırı sıcakların yapı kabuğı ve elemanlarındaki etkilerini yapı kabuğı (duvar, döşeme, çatı) ve kabuk malzemesindeki etkiler olarak ikiye ayırmak mümkündür. İklim etkileri olarak yapı kabuklarının erken bozulmasına katkıda bulunan önemli günlük hava koşulları süreçleri arasında rüzgâr etkili yağmur, sıcaklık dalgalanmaları, donma-çözülme döngüsü, don etkileri, gözenekli malzemelerin ıslanması ve kuruması, güneş ve ultraviyole (UV) radyasyonun etkisi ve atmosferden metaller üzerinde kimyasal birikme yer alır (Lacasse, 2020). Bu etkilerin yapıları /yapı malzemelerini ne şekilde etkileyeceğini anlamak gelecekte meydana gelecek olası değışimler için hazırlıklı olabilmek için önemlidir.

Aşırı sıcaklıklar yapı kabuğı malzemelerini fiziki olarak bozmaktadır. Özellikle yüksek ortam sıcaklıklarında artan UV radyasyonu seviyelerinin plastik, kauçuk ve ahşap malzemelerin bozulmasını hızlandırdığı ve böylece dış mekân uygulamalarında kullanım ömürlerini azalttığı iyi bilinmektedir. İklim değışikliğinin bu yüzyılın sonuna kadar lokasyona bağılı olarak ortalama sıcaklıkta 0,9–5,4°C'lik bir artışla sonuçlanması beklendiğinden, bu, plastiklerin güneş radyasyonuna maruz kalması nedeniyle bozulmasının gelecekte artacağını gösteriyor (Andrady ve diğ, 2011). Bu durumda, ürün üreticilerinin, UV-B'deki olası artışlar ve iklim değışikliğı nedeniyle önümüzdeki yıllarda ortaya çıkabilecek ortam sıcaklığında öngörülen artışlar ışığında plastiklerin stabilitesini sağlamak için önlemler almaları gerekmektedir (Athauda ve diğ, 2023) (Şekil 3.11).

Çizelge 3.1. Yüksek Sıcaklıkların Yapı ve Yapı Elemanlarına Etkileri

YÜKSEK SICAKLIK	BİNANIN ETKİLENME DURUMU	ETKİLENEN KISIM	REFERANS
	Bina geometrisi ve yapı kabuğı özellikleri sıcaklık artışı seviyesini etkileyecek	Bina Geometrisi ve Yapı Kabuğı	Alfraidi, 2015
	Fazla sıcaklıktan duvarların genişmesi ve yapısının bozulması (iç-bükey; dışbükey)	Yapı Kabuğı	Alfraidi, 2015
	Sıcaklık artışı yapı kabuğunda su yalıtımı ve su buharı dağılımını etkileyecektir	Yapı Kabuğı	Kristl, 2020

Çizelge 3.1. (devam) Yüksek Sıcaklıkların Yapı ve Yapı Elemanlarına Etkileri

	Çatıların fazla ısınması malzemelerini etkileyecek ve sızdırma durumları artabilecek	Yapı Kabuğu ve Yapı Kabuğu Malzemesi	Kiem ve Austin, 2013
	Sıcaklık artışı termitlerin artmasını sağlayacak ve ahşap malzemeli yapılar çok etkilenecektir	Yapı Kabuğu Malzemesi	Shahid, 2017
	Dış cephe boya ve yüzeylerinde bozulma	Yapı Kabuğu Malzemesi	Shahid, 2017
	Dış cephe boyası, diğer dış cephe kaplamaları ve plastik ve kauçuk bazlı malzemeler vb. bozulmaları artacak	Yapı Kabuğu Malzemesi	Alfraidi, 2015
	Artan sıcaklık sonucu oluşan nem; yapı malzemelerinde küf oluşumuna, kullanım ömürlerinin azalmasına ve yangın riskine yol açar	Yapı Kabuğu Malzemesi	Alzahrani, 2015
	Sıcaklıkla beraber artacak olan termal genleşme sonucunda kaplama gibi bileşenler etkilenecek ve korozyon reaksiyonları artarak plastikler, pencereler, kapılar ve borular etkilenecektir	Yapı Kabuğu Malzemesi	Alzahrani, 2015

Çizelge 3.1’de görüldüğü gibi yapı elemanları ve yapının aşırı sıcaklardan etkilenme durumuna göre başlıca etkilenen kısımlar yapı kabuğu ve kaplamalarıdır. Bina geometrisi ve yapı kabuğu özelliklerine göre sıcaklık artış seviyesi etkilenecektir (Alfraidi, 2015). Çatıların fazla ısınması malzemelerini etkileyecek ve sızdırma durumlarını arttırabilecektir (Kiem ve Austin, 2013). Bu durumda daha sağlam ve ısıya dayanıklı kaplama malzemeleri kullanımı, soğuk çatılar gibi alternatif çözümler gerekecektir.

Yapı malzemelerinin sıcaktan etkilenmeleri ise malzeme türüne göre değişmektedir. Örneğin plastik ve kauçuk esaslı malzemelerin sıcaklığa direnci daha az olup renklerinin bozulması ve malzeme yapısının kötü etkilenmesi diğer malzemelere göre daha çoktur. Buna ek olarak bu bozulmalarda konut yapılarının geometrisi ve kabuk özellikleri de belirleyicidir (Alfraidi, 2015). Örneğin sıcaklık artışı termitleri arttıracağından ahşap malzemeli yapıların yapısal etkilenmesi daha çok olacaktır (Shahid ve diğ, 2017).

Artan sıcaklık sonucu oluşan nem; yapı malzemelerinde küf oluşumuna, kullanım ömürlerinin azalmasına ve yangın riskine yol açacaktır (Alzahrani, 2015).

Ayrıca iklim değişikliği sebebiyle artan termal direnç ve yeni sınır koşulları, bina kabukları içindeki higrotermal (ısı-nem-su) koşulları değiştirecektir. Sıcaklık artışı yapı kabuğunda su yalıtımı ve su buharı dağılımını etkileyecektir (Kristl, 2020). Bu durum da şu ana dek bilinen ve doğru kabul edilen teknik çözümlerin ve uygulamaların hem yenileme çalışmalarında hem de yeni yapılacak binalar için değiştirilmesi zorunluluğunu doğuracaktır (Berggren, 2019).

Sonuç olarak iklim değişikliğinin aşırı sıcaklık etkisi yapı cephelerini ve malzemelerini birkaç farklı yolla etkileyecektir; iç konfor koşullarındaki değişim, malzemelerdeki korozyon ve küf, yansıma ve aşırı ısınma, malzemelerin farklı şekillerde bozulması gibi etkiler yaşanacaktır.

3.2.2. Aşırı yağışlar ve nemin yapı kabuklarındaki etkisi

Aşırı hava olayları olan güçlü fırtınalar ve seller, uzun vadeli iklim değişiklikleriyle birleştiğinde, inşaat sektörü için doğrudan riskler ortaya çıkarmaktadır. Binalar ve gayrimenkuller için en büyük zorluk, artan ortalama sıcaklıkların yanı sıra değişen yağış modelleridir (Alzahrani, 2015).

İklim değişikliğiyle beraber yaşanacak olan aşırı yağış olayları ve nemin yapı kabuğu ve malzemeleri üzerinde olumsuz etkileri vardır. Çizelge 3.2’de yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinin belirli yönlerini görmek mümkündür. Buna göre nem durumundan en çok etkilenen malzemelerin ahşap ve tuğla olduğunu söylemek mümkündür (Knaack, 2018). Tabloya göre beton ve cam malzemeleri nem olaylarına daya dayanıklıdır. Bu durum, iklim değişikliğiyle beraber yaşanacak olan aşırı yağış ve nem anomalilerinden ahşap esaslı kaplamalar ve ahşap malzemeler ile tuğla malzemeler için neme karşı tasarım önlemleri almayı gerektirecektir.

Çizelge 3.2. Yaygın kullanılan yapı malzemelerinin yapı fiziği açısından özellikleri (Knaack, 2018) (+ : Olumlu olarak dayanım miktarı; - : Olumsuz olarak dayanım miktarı)

MALZEMELER	FAKTÖRLER				
	Sıcaklık	Nem	Ses	Işık	Hava
Beton	+	++	++	-	+
Tuğla	+	--	-	++	+
Çelik	--	+	--	++	++
Cam	--	++	-	++	++
Ahşap	++	--	-	+	-

İklim değişikliği modelleri tarafından öngörülen yoğun yağış olaylarının yapılarındaki etkileri şöyledir; dış duvarlardan su girme riski artacak ve bu da bina yüzeyinin bütünlüğünü etkileyecektir. Yağmurun yüzeylerle teması, kaplamalı olanlara göre, sıvanmış duvarların özelliklerini daha fazla etkileyecektir (Lisø ve diğ, 2017). Genellikle binaların ısı verimini artırmak için tavsiye edilen boşluklu duvar yalıtımı, aslında binaları yoğun yağmur koşullarında yağmur sızmasına karşı daha savunmasız hale getirebilir. Bu sorunu çözmek için yalıtımdaki boşluk ve boşlukların artması gerekebilir (Lowe, 2003). Bunların hepsi birlikte mülkün sermaye ve bakım maliyetlerini artırabilir. Yükselen sıcaklıkların ve değişen yağış modellerinin kombinasyonu, nem ve rutubet seviyelerini değiştirebilir, bu da küflenme ve lekelenme gibi yapısal problemlere, boyanın soyulmasına, derzlerin harçlarının aşınmasına ve sıvada sorunların oluşmasına vb. durumlara yol açabilir. Yağış rejimlerinin değişmesi, su yönetimini zorlaştırarak bazı bölgelerde kuraklık koşullarına yol açacaktır. Artan su talebini karşılamak için su tedarikinin iyileştirilmesi gerekecek, bu da su fiyatlarını artırarak işletme maliyetlerini yükseltecektir.

İklim değişikliğiyle beraber değişen yağış düzenleri ve deniz seviyesi yükselmeleri özellikle kıyı şeridinde yer alan binaları daha fazla etkileyecektir. Deniz seviyesi yükselmeleriyle beraber artan toprak tuzluluğu, tuğlalarda kristalleşen tuzlu su nedeniyle tuğla, harç ve betonun bozulmasıyla kıyı bölgelerindeki evlere, binalara ve diğer yapılara zarar verebilir (Shahid, 2017). Bu durumun benzer bir olumsuz etkisi beton malzemenin içindeki metaller, yer altı boruları ve diğer alt yapılarda korozyonu arttırmasıdır. Artan nem oranları ve

dalgalanmaları yapı kabuğunun dış katmanı başta olmak üzere yapı kabuğu katmanlarını etkileyecek ve iç ortamlar da dâhil olmak üzere küf riskini arttıracaktır (Alzahrini, 2015).

Bu bağlamdaki yağış değişimleri ve aşırı yağışların yapılar üzerindeki etkileri Çizelge 3.3'te görülmektedir.

Çizelge 3.3. Aşırı yağışların yapı kabuğu ve yapı malzemeleri üzerindeki etkileri

AŞIRI YAĞIŞ	BİNANIN ETKİLENME DURUMU	ETKİLENEN KISIM	REFERANS
	Yağmurun yüzeylerle teması, kaplamalı olanlara göre, sıvanmış duvarların özelliklerini daha fazla etkileyecektir	Yapı Kabuğu Malzemesi	Shahid ve diğ, 2017
	Genellikle binaların ısı verimini artırmak için tavsiye edilen boşluklu duvar yalıtımı, aslında binaları yoğun yağmur koşullarında yağmur sızmasına karşı daha savunmasız hale getirebilir	Yapı Kabuğu Malzemesi	Shahid ve diğ, 2017
	Nem ve rutubetin artması	Yapı Kabuğu ve Malzemeleri	Shahid ve diğ, 2017
	Deniz seviyesindeki yükselmeler nedeniyle artan toprak tuzluluğu, tuğlalarda kristalleşen tuzlu su nedeniyle tuğla, harç ve betonun bozulmasıyla kıyı bölgelerindeki evlere, binalara ve diğer yapılara zarar verebilir.	Yapı Kabuğu ve Malzemeleri	Shahid ve diğ, 2017
	Zemine gömülü yapısal betondaki metalin yanı sıra yer altı boruları, kabloları ve diğer altyapılarda korozyona neden olabilir	Yapı Kabuğu ve Malzemeleri	Shahid ve diğ, 2017
	Yapı temellerinde aşınma ve bozulmalar ile dayanım kaybı	Yapı Kabuğu	Shahid ve diğ, 2017
	Değişen asit yağmuru seviyelerinin ve diğer faktörlerin taş işçiliği ve metaller gibi yapı malzemelerinin erozyon oranını etkileyecektir	Yapı Kabuğu Malzemeleri	Alfraidi, 2015
	Duvarların yağmur suyuyla doygunluğunun sık sık değişmesi sonucu parçalanma riski artacaktır	Yapı Kabuğu	Alfraidi, 2015

Çizelge 3.3. (devam) Aşırı yağışların yapı kabuğu ve yapı malzemeleri üzerindeki etkileri

İklim değişikliğine bağlı daha sık yağmurlarla birlikte, yapısal bileşenleri çelik veya demir içeren binaların korozyonuna sebep olabilen sis olasılığı artmaktadır.	Yapı Kabuğu ve Malzemeleri	Alfraidi, 2015
Yapı strüktürü malzemesine göre hasarın boyutu değişecektir örneğin yığma yapı binalarda maddi hasar daha az olacaktır	Yapı Kabuğu Malzemeleri	Alfraidi, 2015
Artan nem yapı malzemelerinde oluşacak küf riskini arttıracaktır	Yapı Kabuğu Malzemeleri	Alzahrini, 2015
Artan nem ile beraber iç dekorasyon ve alçı işleri, döşeme tahtaları ve diğer cilalar ve mobilyalara verilen zararlar artacaktır	Yapı Kabuğu Malzemeleri	Lowe, 2003
Artan nem sonucu izole edilmiş bazı malzemeler ve mineral liflerin su tutması, bu malzemelerin zarar görmesine ve ısı yalıtım özelliklerini yitirmesine neden olur.	Isı Yalıtımı Malzemeleri	Freeman ve diğ, 2023
Binanın kat sayısı ve yüksekliği (zeminden) sel hasarını belirlemede etkilidir, su taşkını binaların yapısal bütünlüğünü zayıflatabilir.	Yapı Kabuğu ve Malzemeleri	Freeman ve diğ, 2023

Avrupa'nın gelecekte ılıman bir iklime sahip olması iklim değişikliği senaryolarıyla ortaya konmuştur. Dolayısıyla, gelecekte ılıman iklim bölgelerinde yapılan yapıların gözenekli taşlarının, donma-çözülme eylemi ve sıcaklık değişiminin yıkıcı etkilerinden daha az etkileneceği öngörülmektedir (Lacasse, 2020).

İklim değişikliğinin aşırı yağış ve nem etkilerinin bir diğer sonucu da betonda ve metallerde karbonasyon ve korozyon olaylarını arttırmasıdır. Beton, birçok ülkede kritik altyapılarda kullanılan baskın yapı türüdür. Kara ve deniz deniz ortamlarında veya kış aylarında buz çözücü tuzların kullanıldığı alanlarda betonarme (RC) yapıların bozulmasının başlıca nedeni, donatı çubuklarının klorür kaynaklı korozyonudur. Karbonatlaşma derinliği birçok parametreye bağlıdır: beton kalitesi, bağıl nem, sıcaklık, ortam karbondioksit konsantrasyonu ve diğerleri. Beton karbonasyonu, uzun vadede değişen iklim koşullarına

bağlı olarak CO₂ seviyelerindeki artışlar ve sıcaklık ile bağlı nemdeki değişikliklerin etkisi altında bozulma süreçlerini hızlandırabilir. Bu durum, betonarme (RC) yapıların hizmet ömrü ve dayanıklılığı üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir ve potansiyel olarak altyapı güvenliğini de tehlikeye sokabilir (Peng ve Stewart, 2016). Peng ve Stewart (2016), Çin'deki üç şehir (Kunming, Xiamen ve Jinan) için değişen iklim koşullarında, RC (Reinforced Concrete - Donatılı Beton) yapıların karbonatlaşma nedeniyle bozulmasının araştırmasını rapor etmektedir. 2100 yılına kadar, bu şehirlerde bulunan betonarme yapılar için beton karbonatlaşma derinliklerinin ortalama %45'e kadar artabileceği bulunmuştur.

Metallerin korozyonu ise; ISO 8044 (2020) 'ye göre şu şekilde tanımlanır:

“Bir metal ile çevresi arasındaki, metalin özelliklerinde değişikliklerle sonuçlanan ve metalin, çevrenin veya bunların bir parçasını oluşturduğu teknik sistemin işlevinde önemli bozulmalara yol açabilecek fizikokimyasal etkileşim” (Tidblad, 2012). Avustralya'da yapılan bir başka çalışma, 2070 yılı için metallerin korozyon hızındaki olası maksimum değişikliği tahmin etmektedir. Kıyı kesimlerinde korozyonun önemli ölçüde artmasıyla önemli değişikliklerin meydana geldiği, buna karşılık iç kesimlerde korozyonun orta derecede azalacağı tespit edilmiştir. Kıyı bölgelerindeki artış, daha az sıklıkta yağış nedeniyle daha fazla tuz birikmesiyle bağlantılıyken, iç bölgelerdeki azalma, bağlı nemde ve dolayısıyla yüzey ıslaklığında azalma ile ilişkilidir (Trivedi ve diğ., 2014).

İklim değişikliğinin aşırı sıcaklık ve nem faktörlerinin yapıları üzerindeki etkileri yapı kabuğu ve malzemeleri olarak ele alınmıştır. Tüm bu süreçlere yapı kabuğunun higrotermal performansı açısından bakıldığında iklim değişikliği etkilerinin yapı kabuğu ve katmanlarında bir takım fiziksel bozulma olaylarına yol açacağı da bilinmektedir. Özellikle sıcaklık ve bağlı nem ortalamalarındaki artış yapı kabuğu katmanlarını etkilemekte ve yapı kabuğunun katmanlarında meydana gelen ısı alışverişi, nem aktarımı gibi fiziksel süreçlerini olumsuz yönde değiştirmektedir. Bu bağlamda iklim değişikliği senaryolarına göre artacak sıcaklıklar ve bağlı nem ortalamaları yapı kabuklarında donma- çözülme döngülerini, karbonasyon-korozyon durumlarını, iç ortam ve katmanlar arası küf risklerini etkileyecektir.

Aşırı sıcaklık ve nem etkisine karşı yapı kabuğu malzemelerinin dayanımı ve özellikleri

Dayanıklılık, bir binanın veya yapı malzemesinin, bileşeninin, montajının veya sisteminin çevresel etkiler altında veya kendi kendine, belirli bir süre boyunca gereken işlevleri yerine getirebilme yeteneğidir, bakım veya onarım için öngörülemez maliyetler olmadan yaşlanma sürecini kapsar. Servis ömrü ise bir binanın veya yapı malzemesinin, bileşeninin, montajının veya sisteminin, bakım ve onarım için öngörülemez maliyetler veya kesintiler olmaksızın gerekli düzeyde çalıştığı gerçek süreyi ifade eder (Lacasse, 2018).

Çizelge 3.4. Yapı malzemelerinin higrotermal performansını etkileyen parametreler ve ilgili standartlar (Lacasse, 2018).

Özellik	Sembol	Birim	Tablo Değeri	Ölçüm Metodu	
				ISO / EN	ASTM
Yoğunluk	P_s	kg/m^3	prEN 10456 ISO	-	ASTM D1622
Özgül ısı kapasitesi	$C_{p,s}$	J/(kg-K)	prEN 10456 ISO	-	-
Isı iletkenliği	$\lambda (w)$	W/(m-K)	prEN 10456 ISO	EN 12664 EN 12667 EN 12939	ASTM C518
Nem depolama fonksiyonu (sorpsiyon eğrisi)	$w (\phi)$	-	-	EN ISO 12571	ASTM C1498
Nem depolama fonksiyonu (emme eğrisi)	$w (P_{suc})$	-	-		ASTM C1498
Difüzyon direnç faktörü	$\mu (\phi)$	kg/m. s. Pa	-	EN ISO 12572	ASTM E96
Sıvı iletkenliği	K	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1/2}$	-	-	ASTM C1794
Hava geçirgenliği	-	m^2	-	-	

Bir yapı malzemesinin dayanıklılığı ve servis ömrü higrotermal performansına bağlıdır. Higrotermal perfomansı etkileyen en önemli faktörler ise; dış ve iç iklim parametreleri ile malzemelerin termofiziksel özellikleridir. Malzemelerin higrotermal performansını etkileyen başlıca termofiziksel özellikleri; yoğunluk, özgül ısı kapasitesi, ısı iletkenlik, nem depolama fonksiyonu, difüzyon direnç faktörü, sıvı iletkenliği ve hava geçirgenliğidir (Çizelge 3.4). Yapı malzemelerinin hizmet ömrü tahminlerinin sonucunu etkileyecek iklimle ilgili iki önemli faktör yağış-nem ve sıcaklık faktörleridir.

Çizelge 3.5, dayanıklılık sorunlarına genel bir çözüm ve farklı malzeme türlerinin iklim duyarlılıklarını sunar. Sürekli olarak yeni malzeme kombinasyonları geliştirilen kompozit malzemeler gibi belirli alanlar ele alınmamıştır (Philipson ve diğ, 2016).

Çizelge 3.5. Malzemelerin iklim etkilerine dayanıklılığı (Philipson ve diğ, 2016)

Malzeme Türü	Etkilenme Biçimi	Performansı Etkileyen İlgili İklim Faktörü
Tuğla ve Seramik	Don hasarı	Donma-çözülme döngüleri
	Pişmemiş malzemelerin büzülmesi	Yağış ve kuruma
	Tuz lekelenmesi	Yağış ve kuruma
Taş	Aşınma ve erozyon	Sıcaklık, yağış
	Asit birikimi	Yağış (kirlilikle birlikte)
	Tuz atağı	Yağış ve kuruma
Ahşap	Biyolojik bozulma	Sıcaklık ve yağış
	Eğilme ve yapısal hareket	Yağış ve eşit olmayan kuruma
Metal	Çeşitli korozyon mekanizmaları	Sıcaklık, yağış
Plastik/Polimer	UV bozulması	UV maruziyeti, sıcaklık
	Termal yaşlanma	Sıcaklık
Beton	Donatı korozyonu	CO ₂ , sıcaklık, kuruma
	Kimyasal ve tuz atağı	Yağış, sıcaklık ve kuruma
Cam	Çift cam contalarının arızalanması	Yağış ve nem

Çizelge 3.5'te görüldüğü gibi, her malzemenin iklim olaylarından etkilenme biçimi farklıdır ve bu nedenle her malzeme, dayanıklılık açısından kendi özel durumlarına göre değerlendirilmelidir. Örneğin, sıvalı duvarlar için yağmur olaylarının süresi, yağışın şiddetinden daha önemli olabilirken, ahşap kaplı duvarlar yağış miktarındaki aşırı artıştan daha fazla etkilenebilir. Dayanıklılık ve riskle ilgili konuların karmaşıklığı, bölgesel düzeyde bile genelleme yapmanın zor olduğunu ve gelecekteki risklerin doğru bir şekilde değerlendirilmesi için, binanın özel koşullarının dikkate alınması gerektiğini gösterir. Bu durum, uyum planları ve gereksinimlerinin belirlenmesi sürecinde binanın özelliklerinin (binanın geometrisi, yapı kabuğu malzemeleri) önemini vurgular (Philipson ve diğ, 2016).

Bu bölümde iklim değişikliğinin aşırı sıcaklık ve yağış-nem faktörlerinin yapılar, yapı elemanları ve yapı kabuklarındaki etkisi ele alınarak, yapı kabuklarının iklim değişikliğinden etkilenme durumları ortaya konmuştur.

İklim değışikliğinin yapılar ve yapı kabuklarındaki etkilerinin belirlenmesinde iklim değışikliği senaryoları önemli bir rol oynamaktadır. Küresel iklim modellerindeki verilerin farklılıkları ve belirsizliklerinden dolayı farklı küresel iklim modelleri ve senaryoların çıktıları farklı değerdendirmelere yol açmaktadır. Sonuç olarak yapılar ve yapı kabuklarındaki iklim değışikliği etkilerini değerdendirebilmek için bu senaryoları kullanmak gerekliliktir.

3.3. İklim Değışikliği Senaryoları ve Türkiye'nin Durumu

İklim değışikliğinin olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi ve olası sonuçlara hazırlıklı olunabilmesi için, gelecekte iklimde olabilecek değışikliklerin ve eğilimlerin tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu değışikliklerin doğal ve insan sistemlerine etkilerini belirlemek için matematiksel modeller kullanılmaktadır, bu modeller iklim elemanları arasındaki etkileşimleri ve geri bildirimleri içermektedir. Bu modeller aracılığıyla elde edilen geleceğe yönelik iklim tahminleri, senaryoları içermektedir.

Senaryo geleceğin tahmini değil, olması muhtemel alternatif durumların tanımlanmasıdır (Akçakaya ve diğ, 2015). İklim değışikliği senaryoları gelecekteki iklim değışiklikleri ve gelecekteki sera gazı emisyonları için farklı katsayılara dayalı deniz seviyesinin yükselmesi gibi ilgili faktörler hakkında evrensel modellerden bilgi içermektedir. İklim değışikliği senaryoları, adaptasyon planlamasında niteliksel veya niceliksel iklim değışikliği etki değerdendirmelerinin yapılmasını ve farklı uyum seçeneklerinin değerdendirilmesinin avantajlarını sağladıkları için çok önemlidir. Bununla birlikte, sera gazı emisyonlarının gelecekteki yörüngelerini tahmin etmenin zorluğundan ve ayrıca iklim modellerinin formülasyonunda ve uygulanmasında içsel olan bilimsel belirsizlikler (modelleme hataları, veri eksiklikleri, ölçüm hataları, belirsiz parametreler vb.) nedeniyle tüm iklim değışikliği senaryolarında önemli bir belirsizlik vardır. Sonuç olarak, iyi uyum planlaması belirli bir iklim senaryosuna güçlü bir şekilde bağlanmamalıdır. İdeal olan, bir dizi olası senaryoyu göz önünde bulundurmak ve olası sonuçlarla başa çıkmak için tasarım stratejisi içinde yeterli uyarlanabilir kapasiteyi içermektir (Hacker ve diğ, 2009).

İlk iklim değışikliği senaryoları 1990 yılında IPCC tarafından geliştirilmiş ve hemen ardından bu senaryolar çerçevesinde iklim değışikliğinin etkileri tanımlanmaya çalışılmıştır. Günümüzde senaryolar, temel itici güçleri, süreçleri, etkileri (fiziksel, ekolojik ve ekonomik)

ve iklim değişikliği politikasını bilgilendirmek için önemli potansiyel tepkileri temsil etmektedir. Geliştirilen senaryolar belirlenirken nüfus artışı, enerji kullanımı, ekonomiler, teknolojik gelişmeler, tarım ve arazi kullanımındaki değişiklikleri için değişik kabuller dikkate alınmaktadır (Moss ve diğ, 2010).

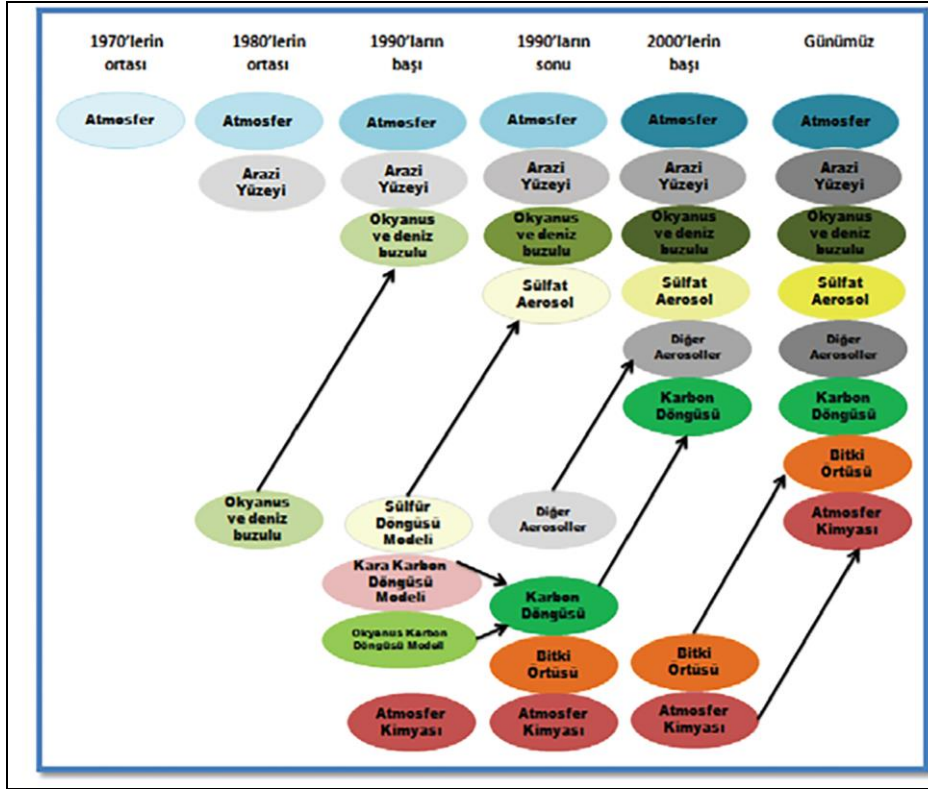
Ayrıca gelişen teknoloji ve ele alınan bileşenlerdeki değişimler dikkate alınarak senaryolar üzerinde düzenlemeler yapılmaktadır. Işınımsal (Radyatif) zorlama ve bu zorlamalara iklim sisteminin tepkisi ile ilgili seçeneklerin temel olarak yer aldığı insan kaynaklı (antropojenik) iklim değişikliği senaryoları, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) çalışmalarının en önemli bileşenlerinden birisidir (Akçakaya ve diğ, 2015).

Küresel iklim modelleri (GCMs)

Küresel iklim modelleri (GCMs, Genel Dolaşım Modelleri olarak da bilinir), küresel ortalama yüzey sıcaklığı gibi küresel iklim istatistiklerinin tanımlanmasında kullanılırlar. Bu modellerle atmosfer ve katmanlarındaki fiziksel süreçler temsil edilirken, yükselen sera gazları emisyonlarına iklim sisteminin tepkisini göstermede en gelişmiş araçlardır. CO₂ konsantrasyonu ve artışları belli kriterler çerçevesinde GCM içerisinde yer almaktadır.

“ İlk Küresel İklim Modeli 1960'larda NOAA tarafından geliştirilmiştir. GCM'ler (Global Climate Models - Küresel İklim Modelleri), iklim modelleri arasında en karmaşık olanlarıdır ve mümkün olan her süreci içermeye çalışırlar. Ancak hala geliştirilmeye devam ediyorlar ve belirsizlikler devam etmektedir. Bu modeller, akışkan hareketi ve enerji transferini entegre eden ve zamanla geliştirilen modellerdir. Basit modellerden farklı olarak, GCM'lerde atmosfer ve okyanus, yatay ve dikeyde grid adı verilen hesaplama birimlerine bölünmüştür. Atmosferik modeller, atmosferi modeller ve deniz yüzey sıcaklıklarını sınır koşulları olarak model içine empoze eder. Birleştirilmiş atmosfer –okyanus modelleri (coupled models) ise, atmosfer ve okyanus modellerini birleştirir. Örneğin: HadCM3, EdGCM, GFDL, CM2.X vb.” (Farmer, 2015).

Teknolojideki gelişimin bir yansıması olarak GCM'lerde hesaplamalar kolaylaşmış, hesaplama kapasitesi artmış, modellere bileşen eklemek kolaylaşmış ve çözünürlükler daha iyi seviyelere ulaşmıştır (geçmişte 700 km civarındayken günümüzde 150-200 km). Şekil 3.12'de Küresel iklim modellerinin 1970'lerden günümüze gelişimi görülmektedir.



Şekil 3.12. Küresel iklim modellerinin (GCMs) gelişimi (Akçakaya ve diğ, 2015)

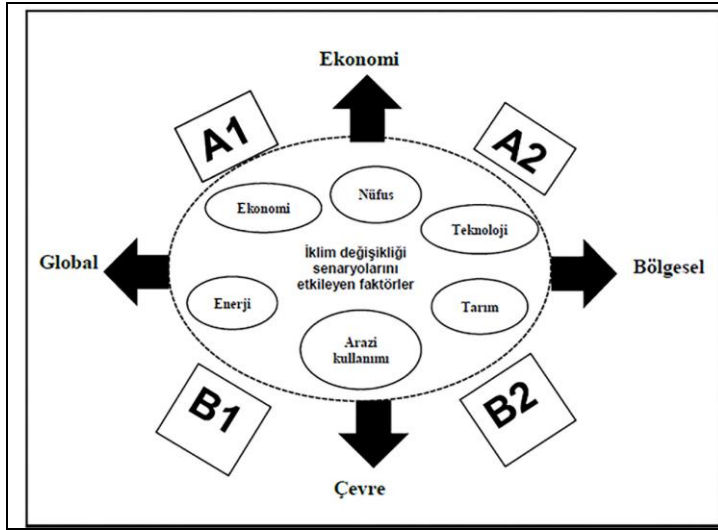
IPCC iklim değişikliği senaryoları

IPCC bünyesinde tüm sektörlerden uzman bilim insanlarının katılımıyla geliştirilen senaryolar belirlenirken ekonomiler, nüfus artışı, teknolojik gelişmeler, enerji kullanımı, tarım ve arazi kullanımındaki değişiklikleri için değişik kabuller dikkate alınmaktadır. 1988 yılında kurulan IPCC günümüze kadar 6 değerlendirme raporu hazırlamıştır. Geçmişten günümüze IPCC kapsamında geliştirilen senaryolar şu şekilde sıralanabilir: (Şekil 3.13).

Senaryo Adı	Yayınlanma Yılı	Kullanıldığı IPCC Değerlendirme Raporu
SA90	1990	1. ve 2. Değerlendirme Raporu (FAR, SAR)
IS92a-f	1992	3. Değerlendirme Raporu (TAR)
SRES A-B	2000	3. ve 4. Değerlendirme Raporu (TAR, AR4)
RCPs	2007	5. Değerlendirme Raporu (AR5)
SSPs	Henüz yayınlanmadı	6. Değerlendirme Raporu (AR6)

Şekil 3.13. IPCC iklim senaryoları (Akçakaya ve diğ, 2015)

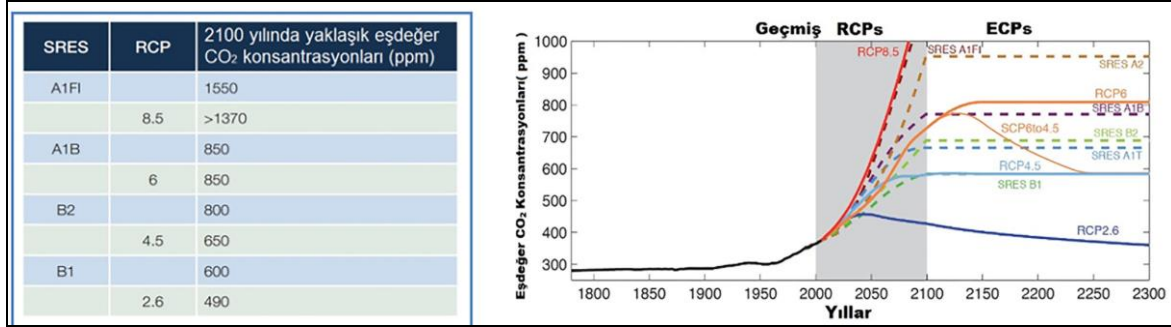
“Günümüzde halen 2007 yılında IPCC kapsamında geliştirilen 40’tan fazla senaryo arasından seçilen Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCPs: Representative Concentration Pathways) SRES senaryolarının yerine geliştirilmiştir”. SRES senaryoları A1, A2, B1 ve B2 olarak ve “senaryo ailesi olarak adlandırılır (Şekil 3.14) (Akçakaya ve diğ., 2015). Temsilci Konsantrasyon Yolları (RCP’ler) olarak adlandırılan farklı emisyon senaryolarına bağlı olarak dört farklı senaryo vardır. Dört RCP, yani RCP2.6, RCP4.5, RCP6 ve RCP8.5, gelecekteki antropojenik sera gazı emisyonlarındaki olası değişiklikleri temsil etmekte ve atmosferik konsantrasyonlarını temsil etmeyi amaçlamaktadır. Bunlar katı bir azaltma senaryosu, iki ara senaryo ve çok yüksek bir gaz emisyonu senaryosudur (IPCC, 2014).



Şekil 3.14. Küresel emisyon senaryolarının iki boyutlu şematik anlatımı (IPCC (2000)’den uyarlanmıştır) (Onur, 2014)

“IPCC’nin geliştirdiği yeni nesil senaryo ailesinden küresel ölçekte de en çok tercih edilen senaryolar olan RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları olmuştur. RCP 8.5 muhtemel en yüksek ışınlımsal zorlama ve konsantrasyon rotasıdır. RCP8.5 diğer senaryolara göre daha yüksek sera gazı emisyonları ifade etmekte dolayısıyla da RCP’lerin üst sınırını belirtmektedir. RCP 8.5 senaryosuna göre 2100 yılında radyatif zorlamanın 8.5 W/m²’ye, eşdeğer CO₂ konsantrasyonlarının ise 1370 ppm dolayına ulaşması varsayılmaktadır. RCP 4.5, orta düzeyde bir stabilizasyon yoludur ve bu senaryoya göre 2100 yılında radyatif zorlama değerinin 4.5 W/m²’ye, eşdeğer CO₂ konsantrasyonlarının ise yaklaşık 650 ppm’ye ulaşması öngörülmektedir. Bu senaryonun diğer senaryolara göre iki avantajı bulunmaktadır. Birincisi, yüksek rota (RCP 8.5 gibi) ile arasındaki farkın belirgin olması ve net sinyaller elde edilebilmesidir. İkincisi ise, bu rotaya yönelik literatürde çok sayıda yayınlanmış

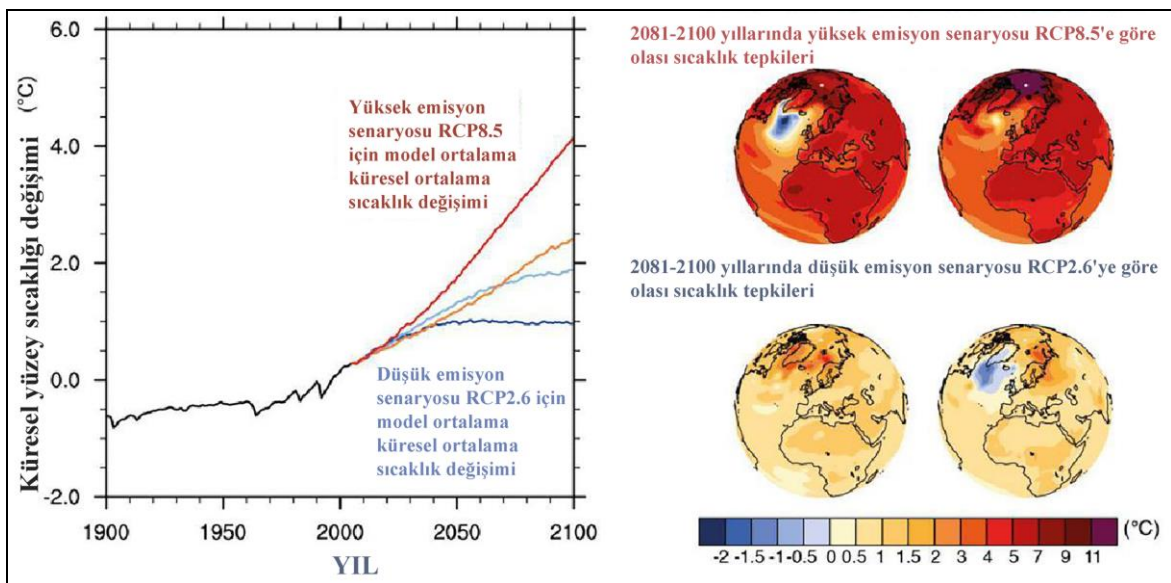
çalışmanın bulunmasıdır. IPCC 5. Değerlendirme Raporunda (AR5) yayınlanan küresel iklim projeksiyonlarında RCP 2.6 ile 32, RCP 4.5 ile 42, RCP 6.0 senaryosu ile 25, RCP 8.5 senaryosu ile 39 farklı küresel model çalışması yapılmıştır. Küresel ölçekte en fazla tercih edilen senaryolar RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları olmuştur (Demircan ve diğ, 2017).



Şekil 3.15. (SRES ve RCP senaryoları için 2100 Yılında Yaklaşık Eşdeğer CO₂ Konsantrasyonları (ppm) (Akçakaya ve diğ, 2015).

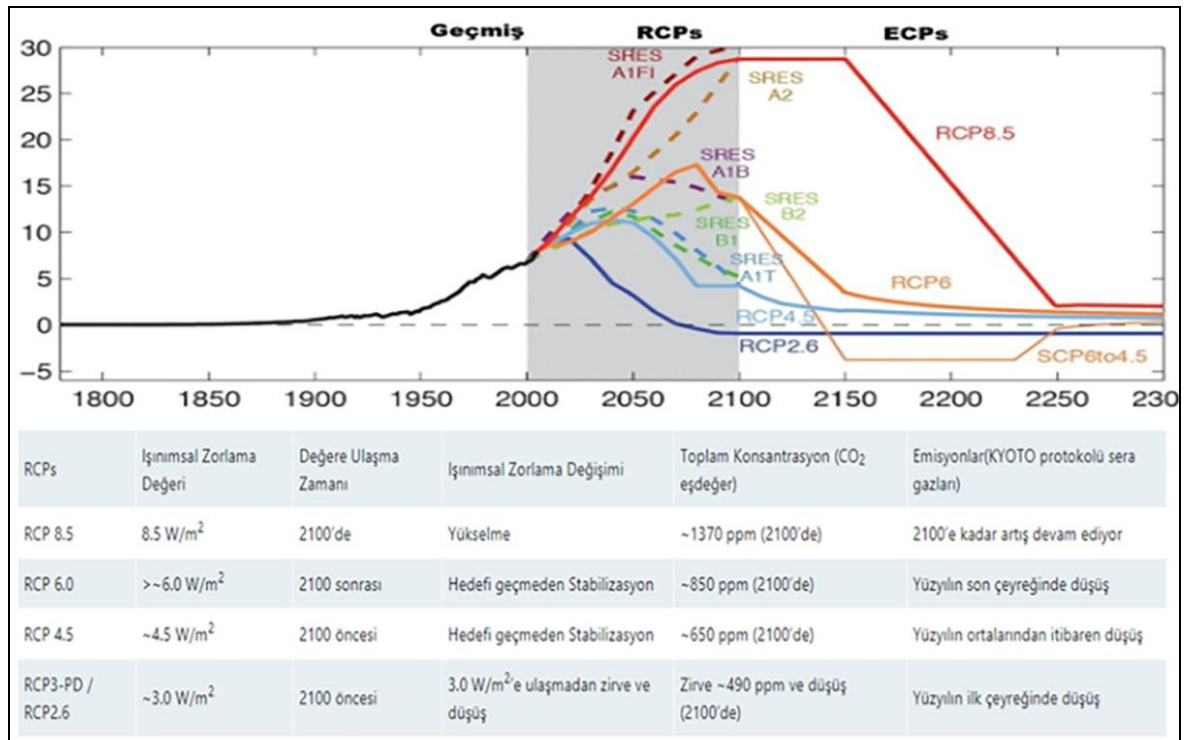
Şekil 3.15'te gelecek dönem için tahmin edilen CO₂ konsantrasyonları ve karşılaştırmaları verilmiştir.

Sıkı azaltma (RCP 2.6) için en iyi tahmin senaryosuna göre, sıcaklığın 1.5°C-2°C artması beklenirken, yüksek emisyon senaryosu RCP 8.5 olarak adlandırılan daha yüksek emisyon tahmini 2081-2100 döneminde ortalama yüzey sıcaklığı 2.6°C- 4.8°C artacaktır (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Emisyon senaryolarına olası sıcaklık tepkileri (Akçakaya ve diğ, 2015).

“RCP senaryoları iklim değişikliği etkilerinin daha uzun periyotta anlaşılması amacıyla 2300 sonuna kadar, emisyon ve konsantrasyon seviyeleri bağlamında basit şekilde ve çok da zorunlu kıstaslara bağlı kalmadan uzatılmıştır. Bu kapsamda, RCP 2.6 ve RCP 8.5 senaryoları, 2100 sonrasında sabit CO₂ emisyon ve konsantrasyon seviyeleri öngörürken, RCP 4.5 ve RCP 6.0 senaryoları ise 2150'ye kadar CO₂ emisyon ve konsantrasyonlarının kademeli olarak sabitleneceğini öngörmektedir. RCP 8.5 senaryosu, CO₂ konsantrasyonunun 2000 ppm civarında 2250 yılına kadar ancak sabitleneceğini öngörür. Bu seviye, endüstri öncesi dönemden yaklaşık olarak 7 kat daha yüksektir. RCP3-PD (RCP 2.6) senaryosu ise, 2070'ten sonra emisyonların azalmaya başlayacağını ve buna bağlı olarak CO₂ konsantrasyonlarının 2300 yılına kadar zaman içinde azalacağını, 360 ppm seviyesine gerileyebileceğini öngörmektedir.” Şekil 3.17’de tahmini yıllık küresel CO₂ emisyonları ile RCPs senaryolarının niceliksel tahminleri yer almaktadır (Akçakaya ve diğ, 2015).

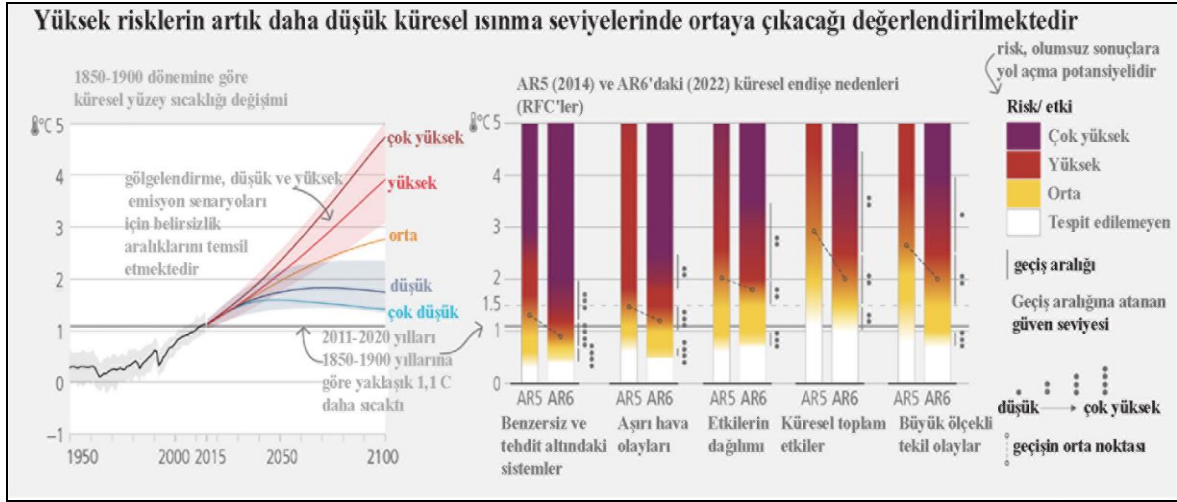


Şekil 3.17. Tahmini yıllık küresel CO₂ emisyonları ile RCPs senaryolarının yıllara göre niceliksel tahminleri (Akçakaya ve diğ, 2015)

IPCC 2023 yılında yayınladığı AR6 raporunda yeni SSP senaryolarına göre tahminlerde bulunmuştur. SSP2-4.5 senaryosu, günümüzde ulusal katkı beyanları (iklim taahhütleri) çerçevesinde belirlenen iklim eyleminin CO₂ emisyonlarındaki artışla ilişkisini aydınlatmaktadır. Bu senaryoya göre, CO₂ emisyonları yüzyılın ortasında en yüksek

seviyesine ulaşır ve daha sonra istikrarlı bir seviyeye gelir. Sonrasında düşmeye başlar ve yüzyılın sonuna doğru daha belirgin bir düşüş gösterir. Metan ve kükürt dioksit gazlarındaki artış ise devam etmekte, ancak bu sera gazları yüzyılın ortalarında azalmaya başlar. Azot oksit gazları ise en belirgin artış eğilimini gösterir ve yüzyılın ikinci yarısına kadar azalmaz.

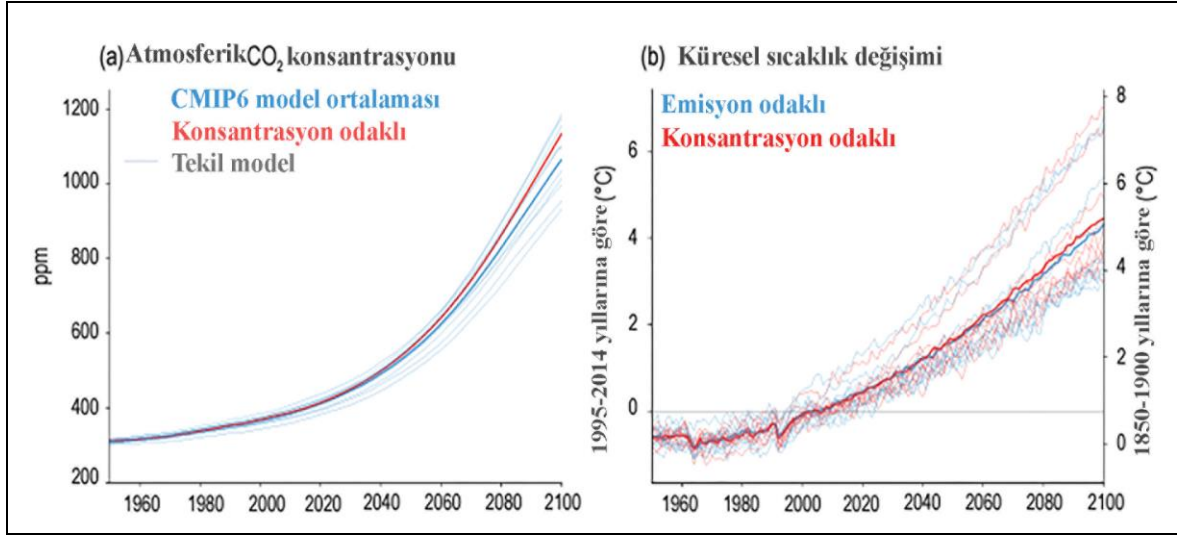
En iyi tahminlere göre, 2100 yılına gelindiğinde bu senaryo çerçevesinde küresel ısınmanın 2,7°C'ye ulaşacağı öngörülmektedir (Şekil 3.18).



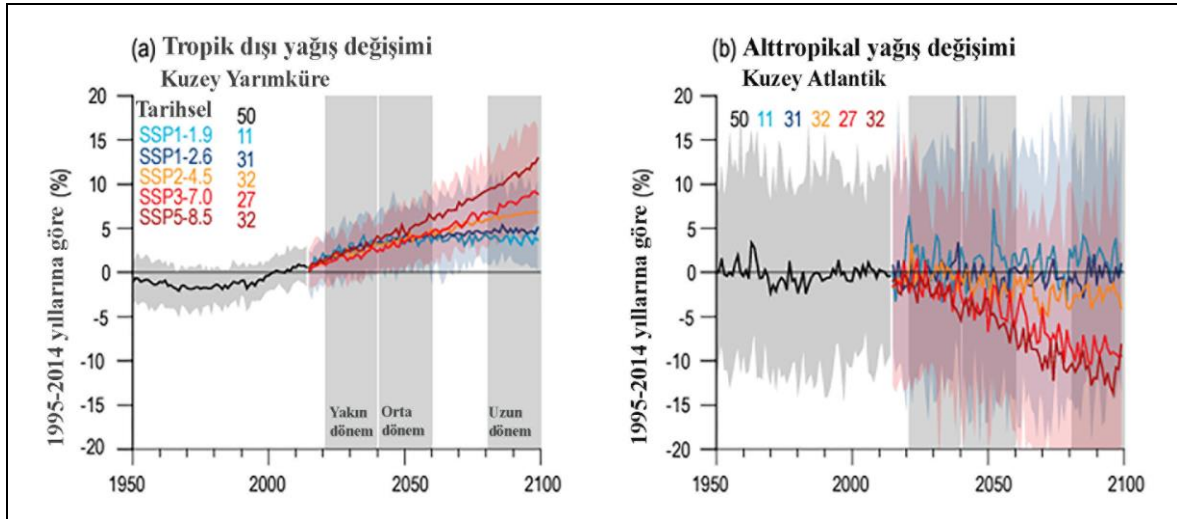
Şekil 3.18. IPCC (AR6) raporunda geçen 2100 yılına kadar olan sıcaklık artışı tahmini (IPCC AR6, 2023)

Özetle AR5, büyük ölçüde Temsili Konsantrasyon Yolları RCP olarak bilinen dört ana senaryodan ve CMIP5'ten elde edilen simülasyon sonuçlarından yararlanmıştır. RCP'ler, 2100 yılında ulaşılan yaklaşık radyatif zorlama ile etiketlenmiş ve 2,6, 4,5, 6,0 ila 8,5 W m⁻² arasında değişmiştir. AR6 'da ise CMIP6 çıktılarıyla beraber SSP senaryolarına göre tahminlerde bulunulmuştur. Son IPCC değerlendirme raporuna göre, iklim duyarlılığı aralığı daralmış durumdadır. 6. Değerlendirme Raporu'na göre en iyi tahmin, muhtemelen 2,5°C ila 4°C arasında olan 3°C olarak belirlenmiştir. Bu, 5. Değerlendirme Raporu'nda belirtilen 1,5°C ila 4,5°C aralığından daha dar bir aralıktır, bu da iklim duyarlılığı tahmininin daha kesinleştiğini göstermektedir (IPCC AR6, 2023).

Şekil 3.19'da IPCC AR6 raporuna göre konsantrasyon odaklı ve emisyon odaklı simülasyonların karşılaştırılması görülmektedir. Grafiklere göre CMIP6 model ortalamasına göre 2100 yılına gelindiğinde konsantrasyon odaklı emisyonların ortalama 1000 ppm'e ulaştığı görülmektedir.



Şekil 3.19. Konsantrasyon odaklı ve emisyon odaklı simülasyonların karşılaştırılması (IPCC AR6, 2023)

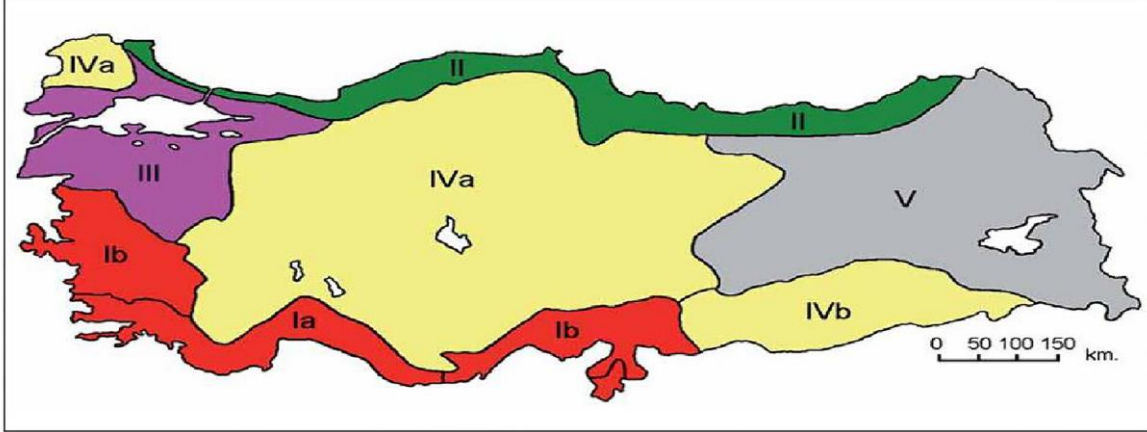


Şekil 3.20. Tarihsel ve gelecek senaryo simülasyonlarından elde edilen CMIP6 yıllık ortalama yağış değişiklikleri (%) (IPCC AR6, 2023)

Şekil 3.19 ve Şekil 3.20'de tarihsel ve senaryo simülasyonlarından elde edilen CMIP6 yıllık ortalama yağış değişiklikleri (%) görülmektedir. Değişiklikler 1995-2014 verilerinin ortalamalarıdır. Gösterilenler çoklu model ortalamalarıdır. Her senaryonun yanındaki sayılar model simülasyonlarının sayısıdır. Sonuçlar konsantrasyon odaklı simülasyonlardan elde edilmiştir (IPCC AR6, 2023).

İklim değışikliğı senaryolarına göre Türkiye'nin durumu

Türkiye, çöl ikliminin yaygın olduğı bölgelerin hemen kuzeyinde, 36-42°K enlemleri arasında bulunmaktadır. Ülke, Akdeniz iklimi olarak bilinen geniş bir iklim bölgesinde yer alır, bu bölge subtropikal kuşakta bulunur ve genellikle kıtaların batı bölgelerinde oluşur. Türkiye'nin üç tarafı denizlerle çevrili olması, yıl boyunca polar ve tropikal kuşaklardan gelen çeşitli basınç sistemleri ve hava tiplerinin etkilediğı bir geçiş bölgesi üzerinde yer aldığı için farklı iklim tiplerini barındırır. Aynı zamanda fiziki ve coğrafi etmenler olarak, karmaşık topoğrafik özellikler ve kısa mesafelerde değışme eğilimleri de görülen iklim çeşitliliğinde etkilidir. Türkiye'de görülen iklim türleri; Akdeniz, Karadeniz, Marmara ve Karasal iklimlerdir. Güneybatı bölgelerinde Akdeniz iklimi görülür, bu iklimde yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise serin ve yağışlıdır. Karadeniz kıyılarındaki ise daha soğuk ve yağışlı bir iklim hakimdir. Kuzeydoğu Anadolu'da karasal iklim özellikleri gözlenir; kışlar uzun ve sert, yazlar ise kısa ve serindir. Orta Anadolu platosunda ise step iklimi hüküm sürer; burada yazlar kuru ve sıcak, kışlar ise soğuk geçer (Şekil 3.21) (Gündoğan ve diğ., 2015).



Şekil 3.21. I. Akdeniz - Ia(Nemli Akdeniz) - Ib(Yarı nemli Akdeniz) / II. Karadeniz / III. Yarı nemli Marmara / IV. Yarı kurak , IVa (Yarı kurak İç Anadolu) , IVb (Yarı kurak Güneydoğu Anadolu) / V - Karasal Doğu Anadolu (Gündoğan ve diğ., 2015).

Türkiye'de iklim değışikliğı

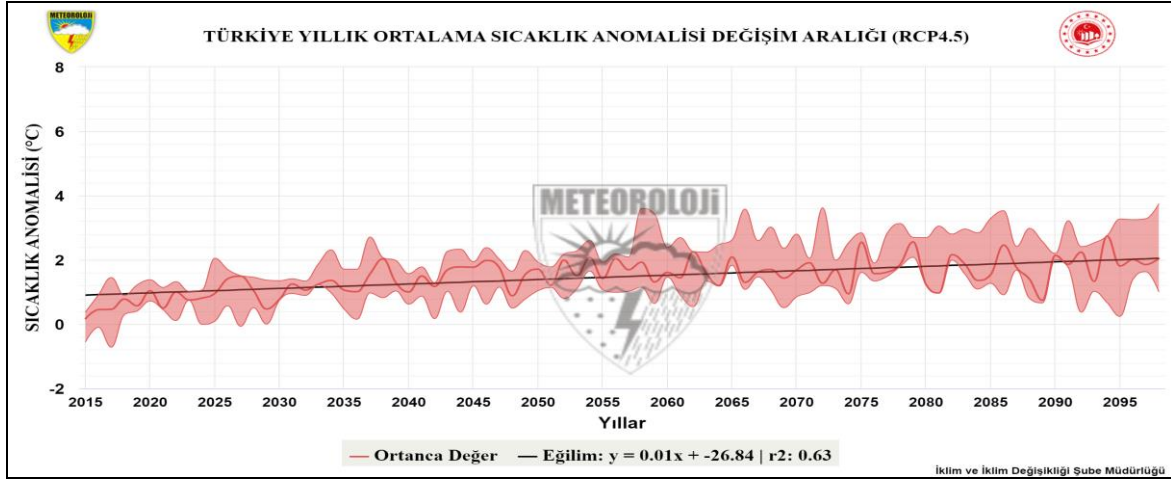
1941-2003 yılları arasındaki verilere göre, özellikle ilkbahar ve yaz aylarında Türkiye'nin birçok şehrinde gece en düşük hava sıcaklıklarında istatistiksel ve klimatolojik olarak önemli bir ısınma trendi gözlenmiştir. Bu bulgular, Türkiye'nin sıcaklık rejiminde daha ılıman veya

daha sıcak iklim koşullarına doğru değiştiğini göstermektedir. Ayrıca, gece hava sıcaklıklarındaki belirgin artış eğilimi, küresel ısınmanın genel ve uzun vadeli etkilerine ek olarak, Türkiye'deki hızlı nüfus artışı ve kentsel alanlara yönelik büyük göç ile hızlı kentleşmenin etkilerini de yansıtmaktadır (Gündoğan ve diğ, 2015).

Türkiye'nin iklim değişikliği etkileri, küresel sıcaklık değişimine benzer eğilimler gösteriyor, ancak özellikle Türkiye'nin Akdeniz havzasında iklim değişikliğine karşı daha savunmasız olduğu öngörülüyor (IPCC, 2014). Öngörülen etkiler şu şekilde özetlenebilir: - Sıcaklıkların artması bekleniyor. Kış aylarında daha az kar yağışı olması muhtemeldir. Isı dalgaları ve daha sık kuraklık olayları öngörülüyor. Yüzey ve tatlı su kaynaklarında azalma bekleniyor. Ani ve şiddetli yağışlar nedeniyle yüksek taşkın riski artabilir. Mevsimlerin kademeli olarak değişmesi muhtemeldir (IPCC, 2014).

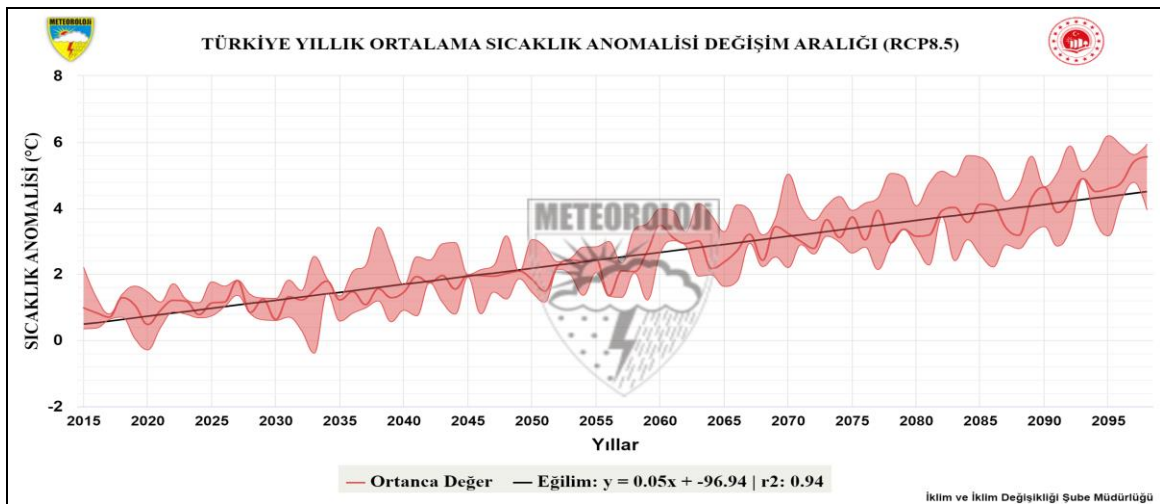
Türkiye için iklim değişikliği projeksiyonları

Meteoroloji Genel Müdürlüğü iklim değişikliğinin gelecekte ülkemize nasıl etkileyeceğini ortaya koyabilmek için 2016-2099 dönemi için 3 farklı küresel model ile iklim projeksiyonları geliştirmiştir. RCP 4.5 senaryosuna göre 2016-2099 döneminde Türkiye genelinde yıllık ortalama sıcaklıklarının ortalama olarak 1,5 – 2,6 °C aralığında artması beklenmektedir. Ortalama sıcaklık anomalisinin yüzyılın ilk yarısında -0,9 ile 4,1°C aralığında olması öngörülürken, yıllık ortalama sıcaklıkların ortalama olarak 1,4°C artması beklenmektedir. Yüzyılın ikinci yarısında ise 0,6 ile 4,1°C aralığında artış ve ortalama olarak 2,2°C artış beklenmektedir. Bu projeksiyonlar, Türkiye'nin iklim değişikliği etkilerine karşı nasıl hazırlıklı olması gerektiği konusunda önemli bilgiler sağlamaktadır (Şekil 3.22) (Akçakaya ve diğ, 2015).

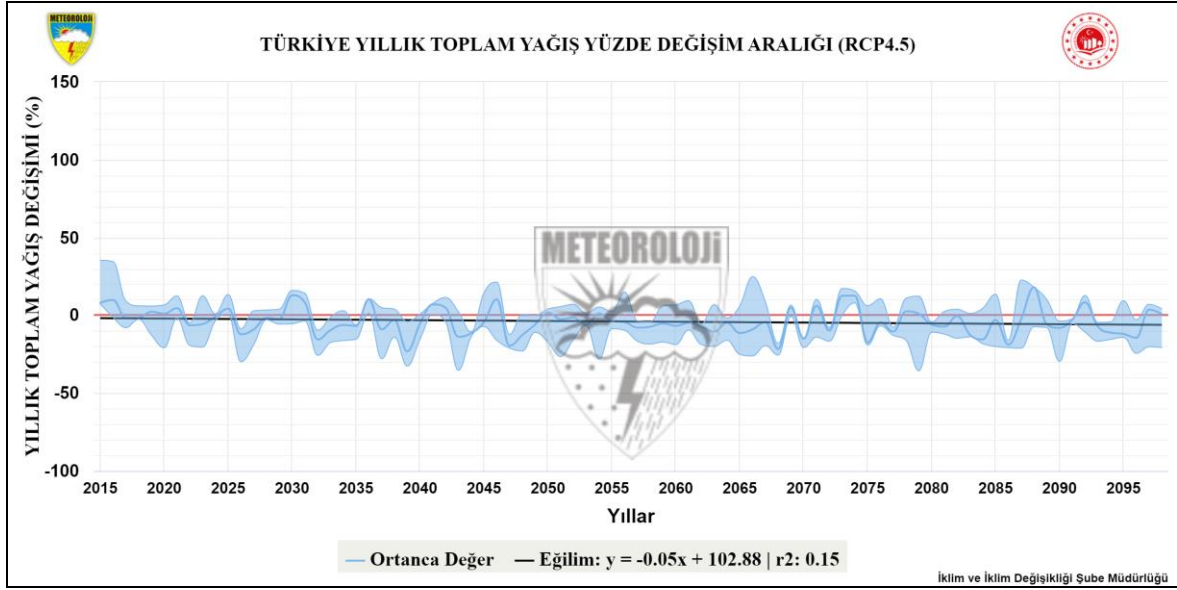


Şekil 3.22. RCP4.5'e göre Türkiye yıllık ortalama sıcaklık anomali bandı projeksiyonları (Akçakaya ve diğ, 2015)

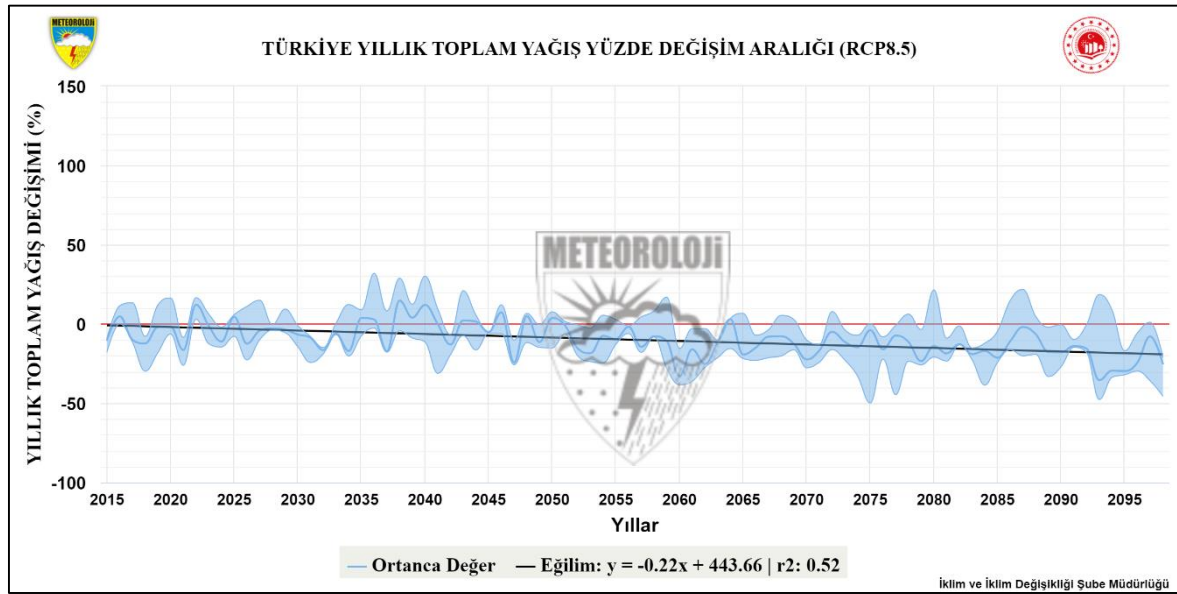
RCP 8.5 senaryosuna göre 2016-2099 dönemi için Türkiye'de ortalama sıcaklık artış tahminleri şu şekildedir: yıllık ortalama sıcaklıkların ortalama olarak 2,5 – 3,7 °C aralığında artması beklenmektedir. Ortalama sıcaklık anomalisinin yüzyılın ilk yarısında 0,4 ile 3,8°C aralığında değişeceği ve yıllık ortalama sıcaklıkların ortalama olarak 1,7°C artacağı öngörülmektedir. Yüzyılın ikinci yarısında ise 1,4 ile 6,6°C aralığında artış ve ortalama olarak 3,8°C artış beklenmektedir. Bu senaryo, daha yüksek emisyon seviyelerinin ve dolayısıyla daha ciddi iklim değişikliği etkilerinin göz önünde bulundurulduğu bir projeksiyonudur (Şekil 3.23) (Akçakaya ve diğ, 2015).



Şekil 3.23. RCP8.5'e göre Türkiye yıllık ortalama sıcaklık anomali bandı projeksiyonları (Akçakaya ve diğ, 2015)



Şekil 3.24. RCP4.5'e göre Türkiye yıllık toplam yağış anomaly bandı projeksiyonları (Akçakaya ve diğ, 2015)



Şekil 3.25. RCP8.5'e göre Türkiye yıllık toplam yağış anomaly bandı projeksiyonları (Akçakaya ve diğ, 2015)

Yağışların genel olarak azalması beklenirken sürekli bir artış veya azalış gözlenmeyeceği, bunun yerine yağış düzensizliklerinin artma eğiliminde olduğu belirtilmiştir. RCP 4.5 senaryosu ve 2016-2099 yılları için Türkiye'de yıllık toplam yağış anomalisinin %3-6 azalması beklenirken, RCP 8.5 senaryosuna göre aynı dönemde Türkiye'de yıllık toplam yağış anomalisi değişiminin %3 artış ile %12 azalma arasında değişeceği tahmin edilmektedir (Şekil 3.24 ve Şekil 3.25) (Akçakaya ve diğ, 2015).

3.4. Yapı Kabuklarında Higrotermal (Isıl ve Nemsel) Performans

Isıl ve nemsel performans; yapının enerji, nem ve hava dengesinin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi olarak tanımlanabilir. Higrotermal performans ise ısıtma, iletim ve taşıma yoluyla ısı akışını; buhar difüzyonu ve sıvı taşınımıyla buhar akışını; doğal, dışsal ve mekanik kuvvetlerle oluşan hava akışını incelemektedir (Delgado ve diğ, 2013).

Bir duvar konstrüksiyonunun higrotermal performansı tasarlanırken, her katmanın duvarı iç ve dış fiziksel etkenlere karşı ne kadar koruduğu ve diğer katmanların performansını nasıl etkilediği önemli kriterlerdir. Ayrıca, duvar konstrüksiyonunun değişen iklim koşullarına tepki verme yeteneği ve uzun dönemde gösterdiği çalışma performansı da değerlendirilmesi gereken faktörler arasındadır (Pehlevan ve diğ, 2011).

Isıl ve nemsel performans, yapı elemanlarının uzun vadeli ısı ve nem koşullarına karşı nasıl performans göstereceğinin değerlendirilmesi ve yapıların hizmet süresinin belirlenmesi açısından kritiktir (Hens, 2002). Ayrıca, yapı kabuğunun ısı ve nemsel performansında bir hata olması durumunda, enerji tüketimi artabilir, yapı malzemeleri bozulabilir ve küf gibi istenmeyen biyolojik yapıların üremesine zemin hazırlanabilir. Biyolojik büyümeler (örneğin küf ve odun çürüğü mantarları), korozyon ve duvarda donma-çözülme gibi patolojik durumlar, yapısal bütünlüğü bozabilir. Bu durumlar özellikle tarihi özellikleri olan yapı ve yapı malzemelerinde kalıcı hasarlara ve kullanıcı sağlığını etkileyen sorunlara yol açabilir (Gutland ve diğ, 2021), (Alkan ve Yazıcıoğlu, 2023).

3.4.1. Yapı kabuklarında ısı ve nem geçişi

Dış duvar sistemleri, genellikle dış katman, duvar gövdesi ve iç katman şeklinde yapısal bileşenlere ayrılmaktadır. Dış katman, atmosferik çevresel etkilere karşı duvar gövdesini koruyan ve dış yüzeyi oluşturan dış kaplamadır. Duvar gövdesi, yapı veya binanın taşıyıcı strüktürünü sağlayan yapısal katmandır. İç katman ise iç mekân şartlarına ve kullanım amacına uygun olarak seçilen malzemelerle oluşturulan iç yüzey kaplamasıdır (Toydemir ve diğ, 2004; Samancı, 2019).

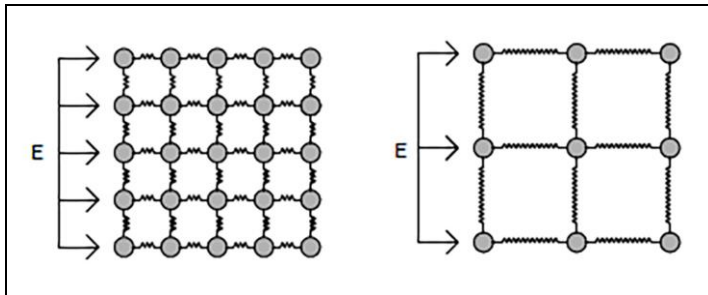
Dış duvarların higrotermal (ısı ve nem) performansını etkileyen faktörler genellikle yapı elemanının özellikleri ve çevresel koşullardır. Çevresel faktörler arasında hava sıcaklığı,

bağıl nem, güneş ışınlamı, rüzgârın yönü ve hızı, yağış tipi ve miktarı bulunmaktadır (Karagiozis ve diğ, 2001). Yapı elemanının özellikleri ise, elemanı oluşturan katmanların birleşimiyle birlikte gözeneklilik (porozite), su emiciliği, buhar difüzyon direnci, su absorpsiyon eş sıcaklık eğrileri, ısı iletkenliği, yoğunluk ve ısı kapasitesi gibi katmanlarda kullanılan malzemelerin özgül özellikleridir (Umaroğulları, 2011).

Termal enerji ve nem olayları, hava sızdırmazlığından doğrudan etkilenir. İyi bir sızdırmazlık, ısı transferini ve nem girişini kontrol altında tutar. Bu nedenle, yapılar doğru bir şekilde izole edilmeli veya uygun havalandırma sistemleriyle donatılmalıdır. Sonuç olarak, higrotermal performans; yapıların sızdırmazlık özellikleri, iklim koşulları, malzemelerin termal özellikleri ve su tutma kapasiteleri gibi faktörlerle doğrudan ilişkilidir (Knaack, 2018).

Dış duvarlarda, mevsim geçişlerinden kaynaklanan veya gün içinde iç ve dış ortam arasındaki sıcaklık farklılıklarından dolayı yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru ısı transferi gerçekleşir. Bu ısı geçişi, dış duvarın katmanlarının bir araya gelmesi, kullanılan malzemelerin özellikleri ve tasarım detaylarıyla ilişkilidir ve genellikle radyasyon (ışınım), iletim (kondüksiyon) ve konveksiyon (taşınım) olmak üzere üç yolla gerçekleşir (Alkan, 2023).

Termal sınır direnci ise ısı transferini tanımlayan bir katsayıdır (h veya RS). Bu katsayılar, radyasyon (hr) ve konveksiyon (hv) olmak üzere iki bileşenden oluşur. Yüksek bir ısı transfer katsayısı veya düşük bir ısıl sınır direnci, birim zamanda ve sıcaklık değişiminde daha fazla termal enerji iletilmesine olanak tanır (Knaack, 2018).



Şekil 3.26. Yüksek ve düşük özgül ısı kapasitesi (Knaack, 2018)

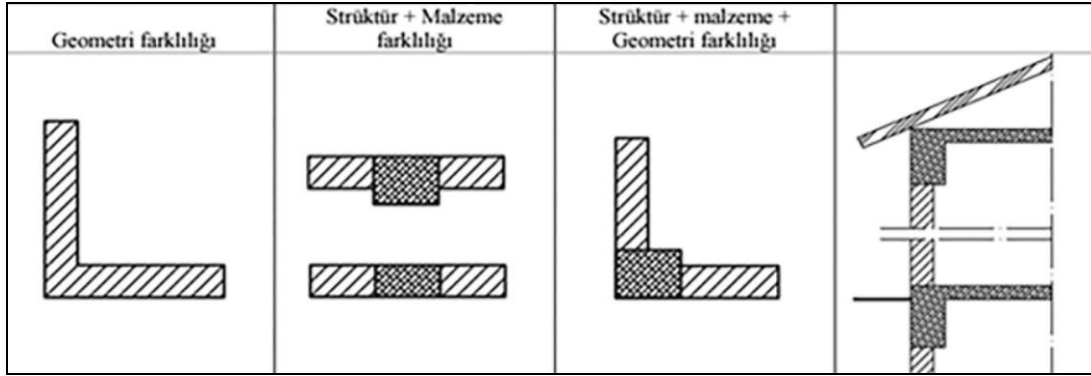
Bir malzeme, kütle birimi başına belirli sayıda parçacık içerir. (örneğin gram başına). Malzemenin gramı başına ne kadar fazla parçacık varsa, onları titreştirmek için o kadar fazla enerji gerekir ve bu malzemenin özgül ısı kapasitesi o kadar büyük olur. Soldaki Şekil yüksek bir özgül ısı kapasitesini gösterirken, sağdaki Şekil düşük bir ısı kapasitesini göstermektedir (Şekil 3.26).

Ek olarak, artan nem ile termik iletkenlik artar. Bu etki, moleküler yapı arasında temas köprüleri görevi gören ve dolayısıyla enerjinin taşınmasını kolaylaştıran bir malzemenin gözenek yapısı içindeki gömülü su moleküllerinden kaynaklanır. Artan kinetik enerji nedeniyle, yoğun ve gözenekli malzemelerin termik iletkenliği tipik olarak yükselen sıcaklıklarda artar. Bu etki, örneğin yalıtım malzemeleri gibi gözenekli malzemelerde daha belirgindir (Anh ve Pasztory, 2021).

Bir malzemenin ısıl performansını belirleyen diğer parametreler; termal kapasite, ısı iletim direnci, termal direnç ve ısı iletim katsayısı ve termal köprülerdir. Kısaca ifade etmek gerekirse, termal kapasite, bir malzemenin termal enerjiyi emme ve salma yeteneğini tanımlar. Bir yapının termal kapasitesi genellikle kullanılan malzemelerin termal özelliklerine bağlıdır. Özellikle büyük yapı elemanları, büyük miktarda termal enerji depolayabilir. Bu bağlamda, ham yoğunluk (ρ) ve spesifik termal kapasite (c_{spec}), bir malzemenin termal depolama kapasitesini belirlemek için önemli parametrelerdir. Isı iletim direnci, ısı iletimi yoluyla termal enerjinin iletimine karşı çıkan malzemeye özgü direnci tanımlar. Malzeme tabakası kalınlığı ve termal iletkenlik katsayısından hesaplanır. Malzeme kalınlığı ne kadar büyükse ve termal iletkenlik ne kadar küçükse, ısı iletim direnci o kadar büyük olur. Isıl direncin aksine, mutlak ısı iletim direnci, bir yapı elemanı ile iç ve dış çevre arasındaki sınır tabakaların ısıl sınır direncini de hesaba katar. Mutlak ısı iletim direnci, yapı elemanı katmanlarının tüm bireysel iletim dirençlerinin ve iç termal sınır direnci R_{si} ile dış termal sınır direnci R_{se} 'nin toplamı olarak hesaplanır (Knaack, 2018).

Isı köprüleri, bir yapı içinde çok farklı ısı akışlarına sahip bölgelerdir. Isı köprüleri, ağırlıklı olarak yapı elemanlarının birleştiği alanlarda meydana gelir. Bozulmamış yapı elemanı alanlarının aksine, bozulmuş olarak adlandırılan bu alanlarda artan ısı akışları meydana gelir. Bina kabuğunda meydana gelen ısı köprüleri, kabuğun ısıl direncini önemli ölçüde etkiler. Isı köprülerinin, soğuk veya sıcak iklim şartlarında enerji tüketimine olan etkisi, literatürde tartışılmaktadır (Bergero and Chiari, 2018; De Angelis and Serra, 2014; 2016; Zhao ve diğ.,

2022). Özellikle mimari kısıtlamalar nedeniyle dış yalıtımın uygulanmadığı veya birçok çıkmanın bulunduğu tasarımlarda, bu etkiler daha belirgin hale gelmektedir (Erhorn-kluttig et al., 2009) (Umaroğulları ve diğ., 2024). Binalarda gerçekleşen ısı köprüleri 3'e ayırmak mümkündür; yapısal/ malzeme ile ilgili, geometrik ve hibrit yapısal, malzeme ve geometrik ısı köprüleridir (Şekil 3.27).



Şekil 3.27. Binalarda oluşan ısı köprüleri (Umaroğulları ve diğ., 2024).

Genel olarak, yapı bileşenlerinin veya yapı formunun değiştiği herhangi bir birleşme noktasında meydana gelen ısı köprüleri ile ısı köprüsü oluşmayan bölgeler karşılaştırıldığında, iki temel sonuç ortaya çıkar: a) Isı akış hızındaki değişiklik, b) İç yüzey sıcaklığındaki değişiklik (BS EN ISO 10211, 2007; Umaroğulları ve diğ., 2024).

Bina hasarlarının önüne geçebilmek için ısı köprülerinin kapsamlı bir şekilde incelenmesi gerekir. Isı ve nem akışları, en az dirençli yol ilkesini takip eder. Bu nedenle, yüksek ve düşük yalıtımlı bölgeler arasındaki sınır alanlarında bir ısı köprüsünün etkileri artar.

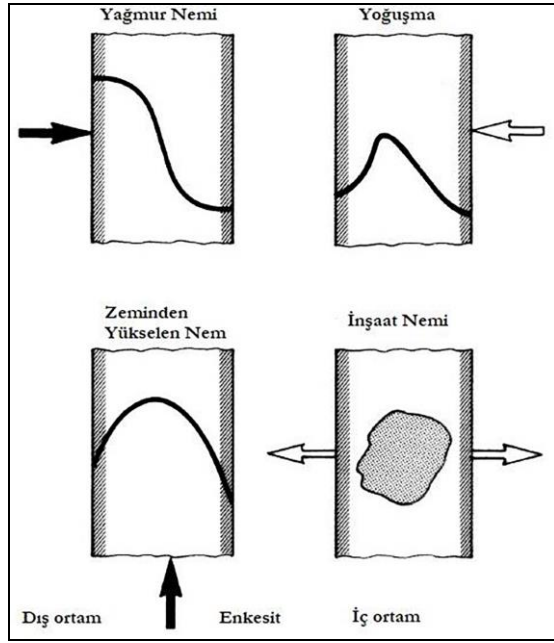
Yapı kabuklarının ısıl perfomansında önemli olan başka bir parametre hava geçirmezliktir. Sızma kayıplarının binaların enerji kullanımı üzerinde önemli bir etkisi vardır. Toplam enerji kullanımı düşük olduğunda, örneğin yüksek performanslı binalarda, göreceli etki daha büyük hale gelir (Erhorn-Kluttig ve diğ., 2009). Hava geçirmez binanın hem olumlu hem de olumsuz özellikleri vardır. Hava sızdırmazlığının olumlu etkisi, kontrollü hava tedarik şeması oluşturma ve besleme havası ısıtması için enerji tüketimini azaltma olasılığıdır. Bu olumlu etki, ısı geri kazanımlı havalandırma sistemlerinin kullanılmasıyla pekiştirilebilir. Olumsuz özellik ise doğal hava beslemesinin olmaması ve mekanik havalandırma ekipmanı ve kullanımı için ek maliyetlerdir. Hava geçirmez olmayan binaların olumsuz özelliği,

odanın kullanılmadığı zamanlarda da ek ısı gerektiren kontrolsüz soğuk hava sızıntısıdır (Borodinecs ve diğ, 2007; Borodinecs ve diğ, 2016). Bunlara ek olarak, solunan havadaki CO₂ ve diğer buharlar, binalarda hava değişimini gerektirir ve genellikle açılabilir pencerelerle sağlanır. Kışın, zararlı gazların yoğunluğunu azaltmak için pencere açma önerilir. Doğal havalandırmanın verimliliği, atrium, rüzgâr kesici, güneş bacası ve pencere tipi gibi özellikler ve/veya unsurlar aracılığıyla artırılabilir (Ahmed ve diğ, 2021). Bina restorasyonunda veya pencerelerin değiştirilmesinde, havalandırma boşluklarının kapatılması gelecekteki sorunları önlemek için önemlidir. Havalandırma sistemleri teknik ve maliyetli olup düzenli bakım gerektirir, ancak iklimlendirme ve nem kontrolü gibi diğer işlevleri de yerine getirebilir (Knaack, 2018).

Yapı kabuğu/elemanlarının nem ile ilgili performans göstergeleri

Binalarda ısı ve nem sorunlarına yol açan faktörler, hava sızıntıları ve iç ortamdan duvar malzemesine geçen yüksek nem, çatlaklar aracılığıyla ve rüzgarla itilen yağmur etkisiyle duvarlara ulaşan su, beton ve ahşap gibi malzemeler arasında kılcallık yoluyla hareket eden nem ve ıslanmış bina malzemeleridir. Bu nedenlerle duvar malzemelerinde biriken nem, yüzey sıcaklıkları ve malzeme özellikleriyle ilişkili olarak dışarı doğru çıkamayabilir ve duvarın içinde sorunlara neden olabilir (Arena & Mantha, 2013) (Ekşi, 2016). Yapı kabuğunda birikmiş zararlı nem, yerel koşullara bağlı olarak biyolojik, kimyasal ve/veya fiziksel hasarlara yol açabilir. Ayrıca, nem kontrolü problemleri enerji tüketimini artırabilir (Carbonez ve diğ, 2015).

Binalarda nem durumu, yapısal unsurların yanı sıra iç ve dış hava koşullarına bağlı olarak havadaki su miktarıyla da ilişkilidir. Özellikle farklı sıcaklıklarda havanın suyu emmesi ve salması ile soğuk yüzeylerde yoğuşma gibi sonuçlar dikkat çeker. Bu bağlamda Şekil 3.28'de nemin dış duvar bünyesinde giriş yolları gösterilmiştir.

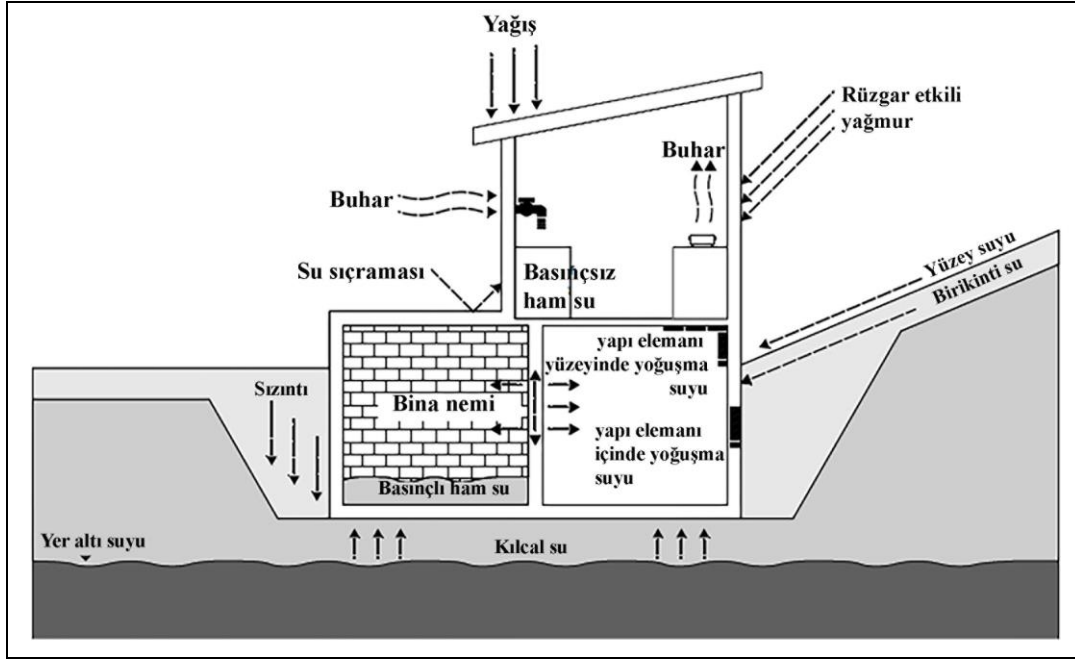


Şekil 3.28. Nemin dış duvar bünyesine girişi (Künzel, 1995)

Havanın nem içeriği, nemi belirler; bu genellikle yüzde olarak bağıl nem veya mutlak nem (g/m^3) olarak ifade edilir. Havanın nem içeriği arttıkça, havanın yoğunluğu azalır çünkü su molekülleri havanın daha hafif bileşenlerinden biridir.

Bir binanın su kaynaklı yükleri nasıl yönettiği önemlidir. Bina, su, buhar ve hacim artışı nedeniyle hasar görmemeli ve iç mekân iklimini bozmamalıdır. Bu nedenle, su geçirmez malzemeler veya su buharı geçirgen katmanlar gibi uygun yapı elemanları seçilmelidir, böylece hem su geçirmezlik hem de nem kontrolü sağlanabilir. Şekil 3.29'da binaların su ile ilgili stres kaynakları görülmektedir (Knaack, 2018).

Su ve nem taşınmasında izlenen yollar şunlardır: buhar difüzyonu, sızıntı (infiltrasyon), yüzey difüzyonu, kılcal taşınma ve osmoz (Künzel 1995). Yoğuşma suyu oluşumu riski, havanın doygunluğuna ne kadar yakınsa o kadar artar. Ayrıca, su buharının yapı elemanları üzerindeki etkisi, su buharı difüzyon basıncının yükselmesiyle ilgilidir; çünkü yüksek kısmi basınç dışarı doğru itilir. Özellikle kışın dış hava kuru ve soğuk olduğundan, kısmi basınç çok düşüktür. Bu durum, iç ve dış ortam arasındaki kısmi basınç farkının artmasına yol açar.



Şekil 3.29. Binaların su ile ilgili stres kaynakları (Knaack, 2018).

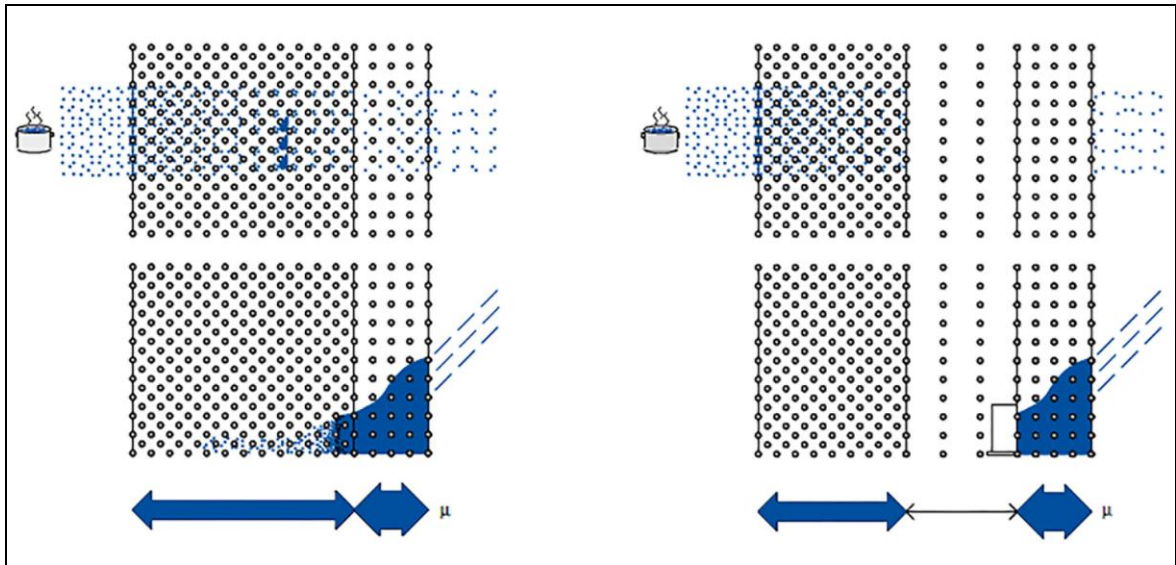
Genel olarak, duvar sistemleri iç ve dış nem koşulları farklı olduğunda basınç seviyelerini dengelemeye çalışır. Malzeme ne kadar gözenekli ve nem geçirgen ise, duvardan o kadar çok nem geçer. Glaser yöntemi, el hesaplamalarıyla yaygın olarak kullanılsa da, simülasyonlarla da doğrulanabilir. Bu yöntem, su buharı difüzyon direnci değerlerini belirlemek için malzemenin katmanlarını inceler. Bu değerler genellikle su buharı difüzyon direncini tanımlayan μ (mikron) değeri ile ölçülür. μ değeri, malzemenin su buharı difüzyon direncinin ne kadar güçlü olduğunu gösterir. Katman kalınlığı ile çarpılan bu oran, su buharı difüzyon eşdeğer hava katmanı kalınlığını (sd değeri) belirler ve kompozit yapı elemanının difüzyon direncini hesaplamaya olanak tanır.

Kılcal iletim, belirli bir gözenek boyutu aralığında meydana gelir. Bu aralık içinde, su bazen yerçekimi kuvvetine karşı taşınabilir. Su damlacıkları ve malzeme arasındaki temas açısına bağlı olarak, suyun malzemeye çekiciliği değişir. Gözenek ne kadar küçükse, su damlacıkları üzerindeki çekim kuvveti o kadar yüksektir ve su yerçekimi kuvvetine karşı daha iyi taşınabilir hale gelir (Knaack, 2018).

Bu bilgiler, yapı elemanlarının su buharı difüzyon dirençlerini anlamak ve yapıların su hasarlarına karşı nasıl korunacağını değerlendirmek için önemlidir.

Duvar konstrüksiyonları ve nem ilişkisi

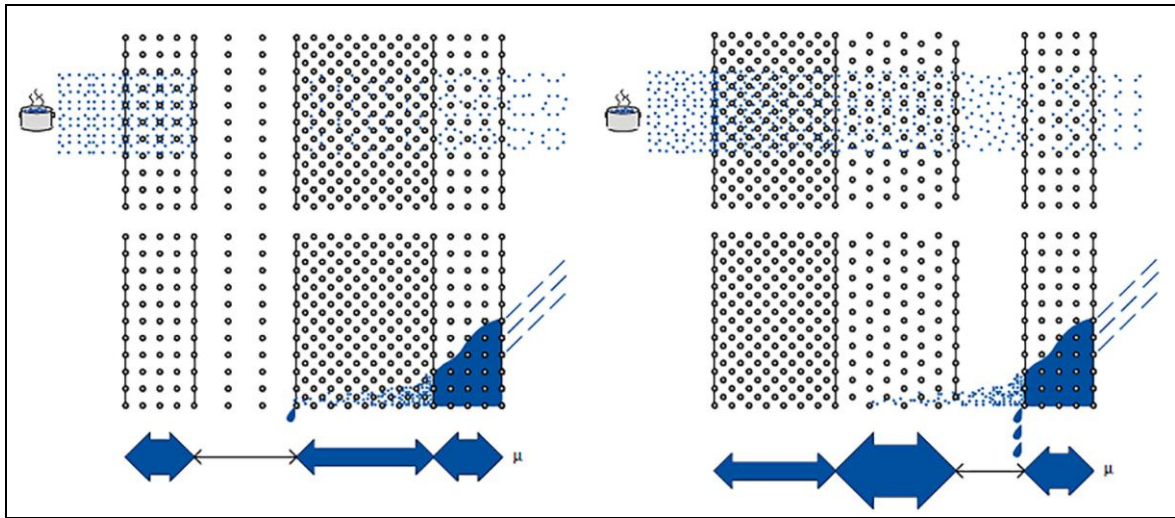
Sadece dıştan sıvası olan masif bir duvarlı yapılarda, iki temel nem sorunu ortaya çıkar. Dış duvara doğrudan yağış alımı bir sorundur, iç mekânda ise yüksek nem düzeyleri etkili olabilir. İç kısımdaki moleküller, duvar elemanının gözeneklerinde serbestçe hareket eder. Yalıtım olmadığı için kışın duvarın içindeki sıcaklık dışarıya doğru kayar. Bu durum, içeride yoğunlaşma ve nemlenmeyle sonuçlanabilir, bu da termal iletkenliği artırır. Kuru malzemelerde termal iletim sadece katı madde aracılığıyla gerçekleşmez, gözenekler aracılığıyla da gerçekleşebilir (Knaack, 2018) (Şekil 3.30.a). Aslında, yoğun küf oluşumu, yüzeydeki yoğunlaşma, rüzgâr etkili yağmur, kuruma süreci ve kaplama özelliklerinin birleşik etkisi sonucu ortaya çıkan yüksek yüzey nem seviyeleriyle ilişkilidir ve bu durum, harç bileşenlerine bağlıdır. Yüzey yoğunlaşması, dış yüzeyin sıcaklığının havanın çiğlenme noktası sıcaklığından daha düşük olduğu zaman gerçekleşir (Parracha ve diğ., 2021).



Şekil 3.30. a) Sıva ve duvar ile b) sıva-dış yalıtım-duvar konstrüksiyonunun nem durumu (Knaack, 2018).

Isı yalıtımlı kompozit sistemli duvarlar, kapalı gözenekli sert yalıtım malzemeleri kullanarak farklı bir yaklaşım sunar. Bu malzemeler, bağlantı gözenek kanalları olmadığı için neredeyse tamamen nem geçirmez. Yüksek yoğunluktaki gözenekli malzemeler iç mekânı sıcak tutar, bu da su molekülleri arasındaki çekici kuvvetlerin düşük olmasını sağlar ve buharlaşma potansiyelini azaltır. Ayrıca, yağmur suyu nedeniyle oluşan nem sınır tabakasında durur ve yağmur sona erdiğinde duvarın toplam nem içeriği artmadan sıva kurur (Şekil 3.31 c).

Dış duvarın iç yalıtımı, nemin sınır tabakasından taşınmasını büyük ölçüde engeller. Ayrıca, iç yalıtım kullanılması duvarın içeriye doğru kuruma potansiyelini azaltabilir (Pagoni ve diğ., 2024). Böylece iç kısımdaki yüksek sıcaklık, su moleküllerinin birleşmesini önler ve damlacıkların oluşmasını engeller. Ayrıca, iç yalıtım uygulandığında don hasarı, tuz çiçeklenmesi, rutubet, ahşap bozulması, katmanlar arası yoğuşma ve/veya küf oluşumu gibi nem kaynaklı sorunlar ortaya çıkabilir (Hansen ve diğ., 2018). Bu sebeple nemli iç hava sızıntılarına karşı önlemler alınmalıdır, örneğin tavan ve zemin birleşim yerlerinde hava geçirmez bir şekilde kapatılmış yalıtım bariyerleri kullanılmalıdır. Bu hava geçirmez filmler (buhar bariyerleri) doğru şekilde uygulanmazsa, su yoğuşmasına veya küflenmeye neden olabilir (Şekil 3.31c) (Knaack, 2018).



Şekil 3.31. c) İçten yalıtımlı duvar ve d) havalandırılmalı duvar konstrüksiyonunda nem durumu (Knaack, 2018).

Havalandırılmalı giydirme cephe, bünyesindeki hava boşluğu aracılığıyla yoğuşma ve nemi önler, cephenin ömrünü uzatarak termal ve akustik yalıtımı iyileştirir, aynı zamanda enerji verimliliğini artıran etkili bir kaplama sistemidir (Çalışkan ve Korkmaz, 2023). Yumuşak iç yalıtıma (PIR (polyisocyanurate) sahip arkadan havalandırılmalı dış duvar konstrüksiyonu, nem koruması açısından farklı etkilere sahiptir. Yumuşak yalıtım genellikle hava ve su moleküllerinin kolayca yayılabildiği liflerden oluşur. Bu tür yalıtım malzemeleri, sert yalıtım malzemelerinden farklı olarak nem aktarımını kesintiye uğratmaz. Kapalı veya sabit hava tabakası, sıcaklığa bağlı olarak su moleküllerini de emebilir. Bu tip yapıların genellikle su yoğuşması problemi yaşamaz. Ancak dış kabuk üzerine düşen yağmur, sıva tabakasında artan nem birikimine yol açabilir. Emilmeyen su, yerçekimi etkisiyle arka havalandırılmalı

katmandan aşağıya doğru akabilir. Yumuşak yalıtım malzemesi seçerken önemli bir faktör, emme kapasitesidir. Yalıtım tabakası çok ıslanırsa ve ardından kurursa, bu süreçlerde büzülmeye neden olabilir. Yalıtımın daha ince olması, termal iletkenliği ve su buharına karşı direncini azaltabilir (Şekil 3.31.d) (Knaack, 2018).

Yapı kabuklarında nem sorunlarıyla ilgili olarak etkili olabilecek nem kaynaklarından biri de rüzgâr etkili yağmurdur. Rüzgâr kaynaklı yağmur (WDR), bina dış cephelerinin önemli bir nem kaynağıdır ve yapısal dayanıklılığı ile higrotermal performansı etkileyebilir. Yağmurun açıkta kalan duvarlar üzerindeki etkisinden kaynaklanan yüksek nem, don hasarına veya cephenin daha hızlı çürümesine yol açabilir (Künzel, 1998). Mevcut araştırmalar genellikle izole binalar üzerinde yoğunlaşmakta olup, WDR dağılımını belirleyen faktörler arasında bina şekli, konfigürasyonu, rüzgâr yönü, hızı ve yağış yoğunluğu gibi çeşitli parametreler bulunmaktadır (Blocken ve diğerleri, 2013).

Şu anda, bina cephelerindeki rüzgâr kaynaklı yağmur (WDR) olgusunu incelemek için üç temel yöntem bulunmaktadır: alan ölçümü, yarı deneysel yöntemler ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) ile sayısal simülasyonlar (Wang ve diğ, 2019).

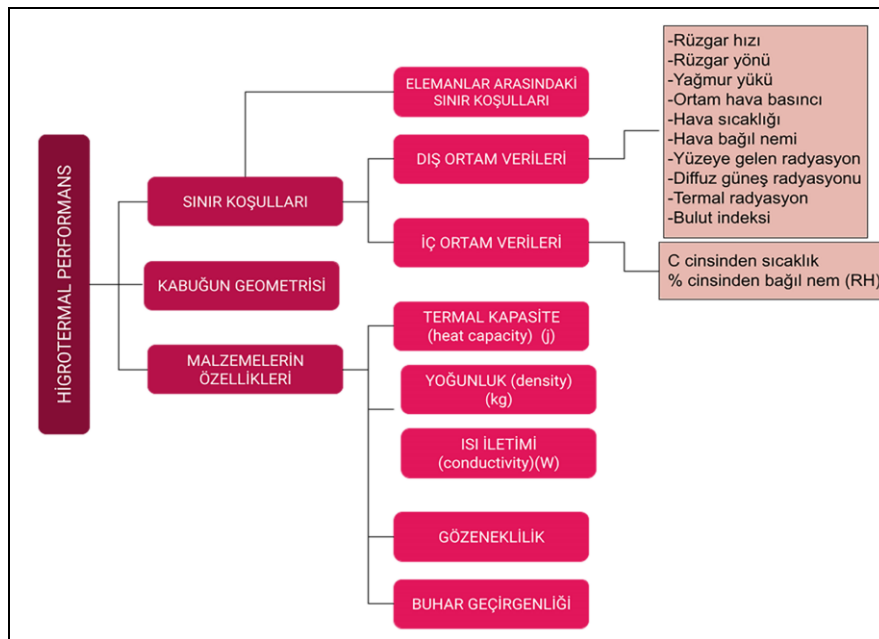
Literatürde rüzgâr etkili yağmurla ilgili iklim değişikliği bağlamında farklı cephe malzemelerinin durumunu ortaya koyan çalışmalar yapılmıştır. Gelecekteki iklim tahminleri, kesit için bağıl nemin artmasıyla ilişkilidir ve bu da nem ve küf artışına yol açacaktır.

3.4.2. Higrotermal performansın değerlendirilmesi

Bir yapı malzemesinin higrotermal performansı, enerji, nem ve hava dengeleri analiz edilerek değerlendirilebilir. Higrotermal dengeler; iletim, konveksiyon ve radyasyon yoluyla normal ısı akışlarını dikkate alır; buhar difüzyonu, konveksiyon ve sıvı taşıma yoluyla nem akışı; ve doğal, dış veya mekanik kuvvetler tarafından yönlendirilen hava akışlarıdır. Bina kabuğunun higrotermal performansının tahmini, tipik olarak kabuğun geometrisi, sınır koşulları ve malzeme özellikleri hakkında biraz bilgi gerektirir (Delgado ve diğ, 2013). Tüm bu verileri bir grafikte Şekil 3.32’de özetleyebiliriz.

Higrotermal analizin başlaması için ilk adım, kabuğun geometrisinin modellenmesidir. Basit yöntemlerde geometri, tek boyutlu katmanlara indirgenir. Kabuk geometrisi, makro yapı detayları, montaj ayrıntıları ve mikro detayları içerir. İkinci önemli adım ise matematiksel modele dayatılan sınır koşullarının belirlenmesidir. Bu sınır koşulları, nem fiziğinin doğru bir şekilde modellenmesi için kritik öneme sahiptir. İç ortam, dış ortam ve yapı elemanları arasındaki sınır koşulları genellikle bilinmelidir. Farklı kontrol hacimleri arasındaki ara yüzey akışlarının doğru bir şekilde ele alınması, başarılı bir modellemede önemli bir unsurdur (Delgado ve diğ, 2013).

Higrotermal simülasyonlar için gerekli olan dış ortam genel iklim verileri: rüzgâr hızı [m/s]; rüzgâr yönü; yağış miktarı [mm]; dış-iç ortam hava basıncı [hPa]; hava sıcaklığı [°C]; hava bağıl nemi [%]; yatay bir yüzey üzerine doğrudan veya küresel güneş radyasyonu miktarı [W/m^2]; güneş ışıınımı (yansıyan, direkt gelen) [W/m^2]; bulut indeksi [-]. Bu veriler bir meteoroloji istasyonu tarafından ölçülebilir, sentetik değerler oluşturan hava durumu yazılım araçları kullanılarak hesaplanabilir veya mevcut bir veri periyodu üzerinden farklı yıllardan seçilen bireylerin meteorolojik veri setlerinin istatistiksel olarak işlenmesinden kaynaklanabilir ve bir bölgenin karakteristik hava durumu verilerini temsili yıl (Test Referans Yılları, Tasarım Referans Yılları, Tipik Meteorolojik Yıllar, vb.) içerir (Delgado ve diğ, 2013).



Şekil 3.32. Higrotermal performans değerlendirmesinde gerekli veriler (yazar tarafından oluşturulmuştur)

İç ortam havası, saatlik sıcaklık (Celsius derece) ve bağıl nem (%) değerleri ile tanımlanır. Bu iklim parametreleri, sahada ölçülen veya dış iklim verilerinden türetilen değerlerle oluşturulan bir iklim dosyası aracılığıyla HAM (Heat, Air, Moisture) modeline sağlanabilir. İç mekân iklim koşulları (iç ortam bağıl nemi, sıcaklığı vb.) yönelik standartlar arasında EN ISO 13788 (2002), EN 15026 (2007) ve ASHRAE 160P (2009) gibi çeşitli standartlar bulunmaktadır (Delgado ve diğerleri, 2013).

Higrotermal simülasyonlar, malzeme özelliklerinin belirlenmesinde oldukça detaylı bilgilere ihtiyaç duyar. Bu özellikler sıcaklık, nem içeriği ve yaşa göre değişebilir ve diğer malzemelerle kimyasal etkileşim gösterebilir. Tipik higrotermal simülasyonlar için gereken malzeme özellikleri şunlardır: malzeme yoğunluğu, gözeneklilik, özgül ısı kapasitesi, ısı iletkenlik, buhar geçirgenliği, su emme katsayısı, sorpsiyon izotermi (denge nem miktarı ile ortamın nem miktarı arasındaki fark) ve nem tutma eğrisidir (Delgado ve diğerleri, 2013).

3.4.3. Higrotermal performansın hesaplama yöntemiyle değerlendirilmesi

Bina kabuğunun ısı ve nem davranışı, bir binanın genel performansının önemli bir yönüdür. Günümüzde, dış ortama maruz kalan bir bina kabuğundan higrotermal taşınım olayları iyi bir şekilde anlaşılmış ve dünya çapında bir dizi bilgisayar kodu/modeli geliştirilmiş ve onaylanmıştır (Trechsel, 2003).

Elle hesaplama yöntemleri, bina bileşenlerinde (örneğin dış duvarlar, çatılar, döşemeler) olası yoğuşma risklerini karşılaştırmak için kullanılan ve statik hesaplamaları temel alan grafik yöntemleridir. Bu yöntemler arasında en yaygın olanlar şunlardır: Yoğuşma noktası (Dew-point) grafiği, Glaser grafiği ve Kieper grafiği. Bu grafik yöntemlerde, bina kabuğundaki buhar basıncı, bina kabuğunun sıcaklığına bağlı olarak doyma basıncı ile karşılaştırılarak hesaplanır. Bu noktada, kabuk kesitindeki buhar basıncının doyma basıncından yüksek olduğu durumda yoğuşma olacağı belirlenir. Dew-point grafiği genellikle Kuzey Amerika'da, Glaser grafiği ise Avrupa ve benzer iklimlere sahip bölgelerde kullanılmaktadır. Bu yöntemler, buhar difüzyonu teorisine dayanır ve farklı buhar difüzyon denklemleri ve grafik prosedürlerine dayanarak uygulanır (Ekşi, 2016).

Bazı araştırmacılar, elle hesaplama araçlarının çeşitli sınırlamaları nedeniyle kullanılmaması gerektiğini savunmaktadır. Bu sınırlamalar arasında, bina kabuğu

yüzeylerinde uzun süreli yoğuşmanın neden olduğu küf oluşumu gibi durumlara karşı koruma önerisi getirmemeleri bulunmaktadır. Dew-point, Glaser ve Kieper grafik yöntemlerinin sınırlamaları ise şunlardır (TenWolde & Bomberg, 2009; Ekşi, 2016).

- Nemnin neden olduğu tahribat hakkında bilgi vermezler.
- Hava sızıntısını göz ardı ederler.
- Buhar difüzyonu dışındaki nem akış mekanizmalarını (örneğin kapilarite) göz ardı ederler.
- Durağan durumlar için sonuç verirler, bu nedenle ısı ve nem depolama hakkında fikir vermezler.
- Nem buharlaşması ve yoğuşması sırasında absorbe edilen veya açığa çıkan ısıнын neden olduğu sıcaklık değişmesini göz ardı ederler.
- Tek boyutludur, bu nedenle köşeler, delikler, çatlaklar, çivi delikleri, ısı köprüleri gibi detayları kapsamazlar.

Elle hesaplama yöntemleri, kabuk kesitini gösteren bir grafik çizmek için kullanılır. Bu grafikte sıcaklık ve buhar basıncı eğrileri oluşturulur. Sayısal hesaplamalar yapılırken, bina kabuğunun sıcaklığına bağlı olan doyma buhar basıncı ve basit buhar difüzyon denklemleri esas alınır. Grafik üzerinde buhar basıncının, doyma buhar basıncından fazla olduğu bölgeler tespit edilir ve bu bölgelerde yoğuşma olabileceği tahmin edilir. Ayrıca, yoğuşma olan bölgelerde bina kabuğu sıcaklığının donma sıcaklığına yakın olması durumunda bina bileşenlerinde donma-çözülme kaynaklı tahribatların meydana gelebileceği yorumu yapılır. Elle hesaplama yöntemlerinde göz ardı edilen kapilarite etkisi ve hava sızıntılarının, nem geçişini hızlandırıp yoğuşma oranını artırabileceği ihtimali bulunmaktadır. Bu nedenle, elle hesaplama yöntemleri yüksek nem depolama potansiyeline sahip malzemeler için (örneğin ahşap, plywood gibi) hasar bilgisi sağlayamayabilir (TenWolde & Bomberg, 2009; Ekşi, 2016).

Tez çalışmasında da yararlanılan Glaser yöntemi tek boyutlu bir hesaplama yöntemidir. TS 825’de nasıl uygulanacağı detaylı bir şekilde ele alınmıştır (TS 825, 2013). Glaser grafiği, ISO 13788 standardında tanıtılan bir yöntemdir ve bina kabuğundaki kritik yüzey nemliliği ile çatlaklarda oluşan yoğuşmaları hesaplamak için kullanılır. Avrupa’da yaygın olan dew-point grafiğinin bir varyasyonudur. Glaser grafiğinin dew-point yönteminden farkı, yatay ekseninde kullanılan parametredir. Dew-point grafiğinde malzeme kalınlığı kullanılırken,

Glaser grafiğinde ise buhar difüzyon direnci (dayanımı) kullanılır. Bu nedenle, yüksek difüzyon direncine sahip malzemeler grafikte daha belirgin bir şekilde ifade edilir. Bu gösterim şekli sayesinde, buhar basıncı düzgün çizgilerle ifade edilebilir. Doyma buhar basıncı ise dew-point yönteminde olduğu gibi sıcaklığa bağlı olarak hesaplanır (TenWolde ve Bomberg, 2009).

Buna göre temel farklardan biri HAM araçları ile yapılan değerlendirmelerde nem akışı, difüzyon akışı ile kılcal akışın toplamı dikkate alınmaktadır. Glaser yönteminde ise kılcal akış dikkate alınmaz. Dolayısıyla örneğin gözenekli yapı malzemelerinde kılcal iletim önemli iken bu değerlendirme HAM araçları ile daha doğru yapılabilmektedir (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6. WUFI Pro 6.7 ile Glaser metodunun karşılaştırılması

YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI	GLASER METODU	WUFI PRO 6.7 (SİMÜLASYON)
Küf Riski Belirleme	○	●
Yoğuşma Tespiti	●	●
Hava Sızıntısı	○	●
Nem Akış Mekanizmalarının Hepsini Ele Almak	○	●
Nem Buharlaşması Ve Yoğuşması Sırasında Absorbe Edilen Veya Açığa Çıkan Isının Neden Olduğu Sıcaklık Değişimi	○	●
Köşeler, Delikler, Çatlaklar, Çivi Delikleri, Isı Köprülerindeki Isı-Nem Durumlarını Hesaba Katma	○	●
Sıcaklık ve Bağıl Nem Değerlerini Saatlik Detaylı Veriler Olarak Kullanabilme	○	●

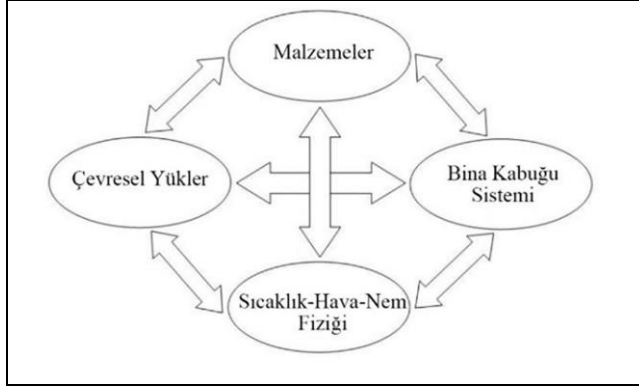
3.4.4. Higrotermal performansın simülasyon yoluyla değerlendirilmesi

BS EN 15026 standardında detaylı olarak açıklanan higrotermik benzetim yöntemleri, çok katmanlı bina kabuk bileşenlerindeki ısı ve nem geçişlerini sayısal olarak hesaplamak için kullanılan yöntemlerdir. Bu yöntemler, Künz el tarafından geliştirilmiş olup, bir ve iki boyutlu ısı ve nem transferini modellemek için matematiksel olarak tanımlanmıştır (Künzel, 1995; BS EN 15026, 2007).

Son yıllarda, yapıların ısı ve nemsel performans analizlerinde bilgisayarlı benzetim araçları yaygın olarak kullanılıyor. Bu analizler genellikle laboratuvar deneyleri veya yerinde ölçümlerle birlikte yapılıyor ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak değerlendiriliyor. Laboratuvar ve yerinde ölçüm yöntemlerinin maliyet ve zaman bakımından pahalı olması nedeniyle, hesaplama yöntemleri bu alanda tercih edilmektedir (Kalamees ve Vinha, 2003). Bilgisayarlı benzetim araçları ile yapılan değerlendirme yöntemi, zaman ve maliyet açısından avantajlı olsa da detaylı veri gerektirdiği için önceden kapsamlı bir araştırma yapılması gereklidir. Basit matematiksel modeller, çok katmanlı bina kabuğunda saatlik hava durumu verileri altında su buharı difüzyonunu hesaplar. Daha karmaşık modellerde ise su buharı difüzyonunun yanı sıra hava akışı, dış yüzeyden yağmur suyu emilimi ve yağmur suyu kaçakları da hesaplanır (Ten Wolde ve Bomberg, 2009). Laboratuvar deneyleri ise kontrollü bir ortam sağlar ancak gerçek ortam koşullarını tam olarak yansıtamaz, bu yüzden sınırlı bir değerlendirme sunar. Yerinde ölçüm yöntemi ise uzun zaman alabilir ve maliyetlidir, ancak gerçek ortam koşullarında yapılan analizlerle daha güvenilir sonuçlar elde edilir (Li ve diğ, 2016).

Isıl ve nemsel performans değerlendirmesi için kullanılan simülasyon araçları birbirleriyle karşılaştırıldığında, her bir aracın sunduğu imkanlar ve içeriklerin farklılık gösterdiği görülmektedir. Bu nedenle, yapılacak çalışmanın süreç ve sonuçlarını doğrudan etkileyebileceği için, kullanılacak simülasyon aracının önceden doğru bir şekilde incelenmesi gerekmektedir.

Bilgisayarlı benzetim araçlarının çoğu, basitleştirilmiş gerçek koşulların fiziksel süreçlerini modelleyerek nem miktarı, bağıl nem, sıcaklık gibi parametrelerin analizini yapabilir. Yapılan bir çalışmada, ticari kullanıma sahip dokuz benzetim aracı (1D-HAM, Sim2000, DELPHIN, GLASTA, hygIRC-1D, IDA-ICE, MATCH, MOISTURE-EXPERT, WUFI) ile ücretsiz olarak kullanılabilen beş benzetim aracı (EMPTIED, HAMLab, HAM-Tools, MOIST, UMIDUS) modelleme tipi, malzeme özellikleri, iç ve dış ortam koşulları açısından karşılaştırılmıştır. Ayrıca, iki boyutlu modelleme yapabilen üç benzetim aracı olduğu görülmüştür: DELPHIN 5, MOISTURE-EXPERT ve WUFI-Plus/WUFI-2D/WUFI-Pro/WUFI-ORNL/IBP (Delgado vd., 2010). Şekil 3.33’de bahsedilen HAM modellerindeki etkileşimler görülmektedir.



Şekil 3.33. HAM (Heat Air Moisture) modellerinde etkileşimler (Milovanović ve Mikulić, 2011)

WUFI-PRO 6.7 ara yüzü ve tanıtılması

Higrotermal performans analizi için en çok kullanılan benzetim aracı WUFI'dir. Literatürde WUFI'nin kullanıldığı ve güvenilirliğinin araştırıldığı çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bir diğer sık kullanılan benzetim aracı ise DELPHIN'dir. Yıldız (2021) tarafından yapılan bir taramada, "higrothermal" anahtar kelimesiyle yapılan araştırmalarda WUFI'nin 1035, DELPHIN'in ise 669 İngilizce hakemli dergi çalışmasında yer aldığı belirtilmiştir (Alkan, 2023; Yıldız, 2021).

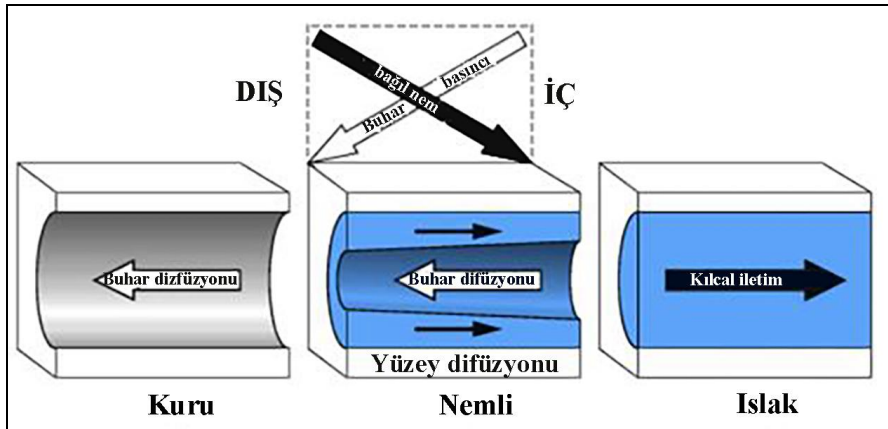
DELPHIN ve WUFI yazılımlarına ilişkin temel özelliklerin karşılaştırıldığı Çizelge 3.7'ye görülmektedir ve programların oldukça birbirine benzediği dikkat çekmektedir.

Çizelge 3.7. DELPHIN ve WUFI yazılımının karşılaştırılması (Alkan, 2023)

	DELPHIN	WUFI
Yazılımı Geliştiren	Dresden Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Bina İklim Bilimi Enstitüsü	Fraunhofer IBP (Institute for Building Physics)
Geliştirildiği Yıl	1997	1995
Geometri	1D, 2D, 3D	1D, 2D, 3D
Ağ Oluşturma	İki boyutlu ağ	Tek boyutlu ağ
Malzeme Özellikleri- Malzeme Kütüphanesi	Malzeme kütüphanesi var. Yeni malzeme tanımlanabiliyor.	Malzeme kütüphanesi var. Yeni malzeme tanımlanabiliyor.
İklimsel Veri	Gerçek iklim verileri yüklenebiliyor.	Gerçek iklim verileri yüklenebiliyor.
Lisans Edinimi	Öğrenci kullanımı ücretsiz, diğer kullanıcılar ücretli	Limitli ücretsiz kullanım, ücretli kullanım.

WUFI ailesi adlı ticari bir program, Fraunhofer Institute in Building Physics tarafından geliştirilmiş olup, ısı ve nem taşınması için kullanılan bir veya iki boyutlu bir modeldir (URL 10). Bu program, açık hava ve laboratuvar testlerinden elde edilen verilerle doğrulanır ve doğal iklim koşullarına maruz kalan çok katmanlı yapı bileşenlerinin geçici higrotermal davranışını gerçekçi bir şekilde hesaplamayı sağlar (Kuenzel ve Kiessl 1996; Kuenzel 1995). Isı transferi, iletim, entalpi akışı (faz değişimi dahil), kısa dalgalı güneş radyasyonu ve geceleyin uzun dalgalı ışınsal soğutma ile gerçekleşir. Konvektif ısı ve kütle transferi modellenmemiştir. Buhar fazı taşınımı, buhar difüzyonu ve çözelti difüzyonu ile; sıvı fazda su taşınımı ise kılcal ve yüzey difüzyonu ile modellenir (Delgado ve diğerleri, 2013).

WUFI, hesaplamalarını gerçekleştirebilmek için malzeme özellikleri, iklim verileri, yüzey aktarım katsayıları ve başlangıç koşulları gibi verilere ihtiyaç duyar. Bu bilgiler, yapı bileşenlerinin termal ve nem performansını doğru bir şekilde modellemek ve analiz etmek için gereklidir. Şekil 3.34’de WUFI simülasyonlarında hesaplanan nem taşıma mekanizmaları görülmektedir.



Şekil 3.34. WUFI simülasyonlarında hesaplanan nem taşıma mekanizmaları (Künzel, 1995)

$$\frac{\partial w}{\partial \varphi} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \nabla \cdot (D_{\varphi} \nabla \varphi + \partial_p \nabla (\varphi p_{sat}))$$

$$\frac{\partial H}{\partial T} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T + h_v \nabla (\delta_p \nabla (\varphi p_{sat})))$$

where;

φ : Bağıl nem

t :	Zaman, s
T :	Sıcaklık, °C
c :	Özgül ısı, J/kgK
w :	Nem içeriği, kg
p_{sat} :	Doymuş buhar basıncı, Pa
k :	Termal iletkenlik, W/ mK
H :	Toplam entalpi, J/m ³
D_{ϕ} :	Sıvı iletkenlik katsayısı, kg/ ms
δ_p :	Buhar geçirgenliği kg/ msPa
h_v :	Faz değişimi gizli ısı, J/kg

Şekil 3.35. Birleştirilmiş transfer denklemleri (Künzel, 1995)

Birleştirilmiş transfer denklemleri Şekil 3.35’de görüldüğü gibi WUFI’nin hesaplamalarda kullandığı denklemlerdir. Denklem 1 ve 2’nin sol tarafındaki terimleri depo terimleridir. Ayrıca sağ taraftaki akı terimleri ısı ve neme bağlıdır. Birleştirilmiş transfer denklemlerini sayısal olarak çözmek için örtük bir sonlu hacim şeması kullanılır. Hesaplanan sıcaklık ve nem dağılımları ve ilgili akışlar her bir zaman adımı için elde edilen çıktıda gösterilir.

Aşağıdaki miktarlar izlenen yol olarak verilir:

- Sırasıyla iç ve dış yüzey boyunca ısı akısı yoğunlukları,
- Seçilen izleme konumlarındaki sıcaklık ve bağıl nem değerleri,
- Her katmanın ortalama nem içeriği ve tüm yapı bileşeninin toplam nem içeriği.

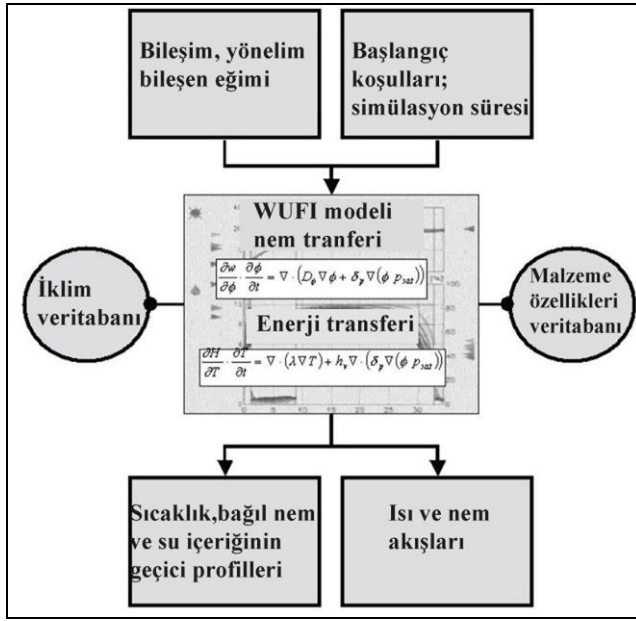
Aşağıdaki miktarlar profil olarak verilmiştir:

Bina bileşeni boyunca sıcaklık,

- Bina bileşeni boyunca bağıl nem,
- Bina bileşeni boyunca nem içeriği.

Ve bir film, tüm zamanların adımlarının profillerini içerir (Turgut, 2019).

İncelenen yapı bileşeninin bileşimi, yönelimi ve eğimi ile başlangıç koşulları ve ilgilenilen zaman periyodu hesaplama için temel verilerdir. Ekli veri tabanı, malzeme parametrelerinin ve iklim koşullarının seçilmesini sağlar. Nem ve enerji dengesi denklemleri, hesaplama periyodunun tüm zaman adımlarında bileşendeki başlangıç sıcaklık ve su içeriği dağılımlarından başlanarak çözülmelidir. Bu hesaplama işlemi Şekil 3.36'da gösterilmektedir.



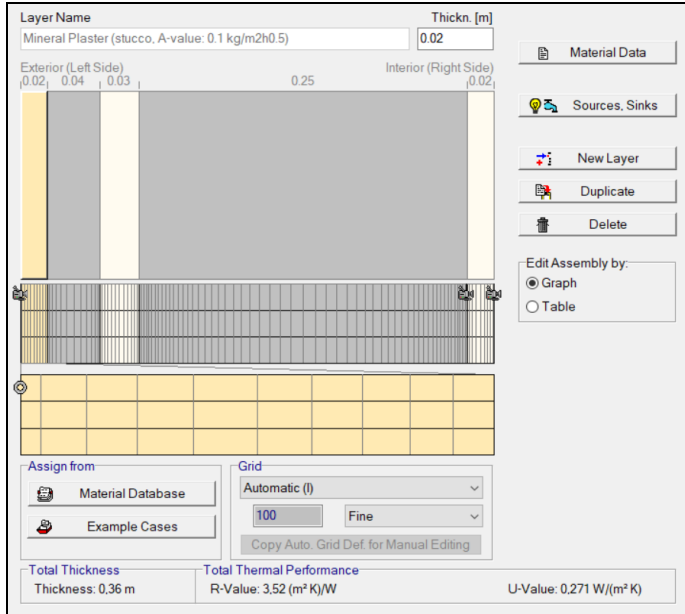
Şekil 3.36. WUFI modelinin hesaplama işlem şeması (Künzel, 1995)

Sonuç olarak, higrotermal modeller genellikle karar verme süreçlerinde gerekli ve uygun bilgiyi sağlamak amacıyla kullanılır. Tek bir bileşen veya çok bölgeyi modellediğinizde dikkate almanız gereken dört özellik şunlardır: yazılımın kamuya açık olması (ücretsiz veya ticari), tek bileşenli veya çok bölge analizine uygunluğu, güncel olması veya güncellenebilir olması, ve kullanıcı dostu olması. Farklı programların hava hareketi, ısı ve nem transferini modelleme kapasiteleri ve simülasyon hızları gibi güçlü ve zayıf yönleri vardır. Araştırmacılar, ihtiyaçlarına en uygun higrotermal simülasyon aracını seçmek için bu özellikleri dikkate almalıdır.

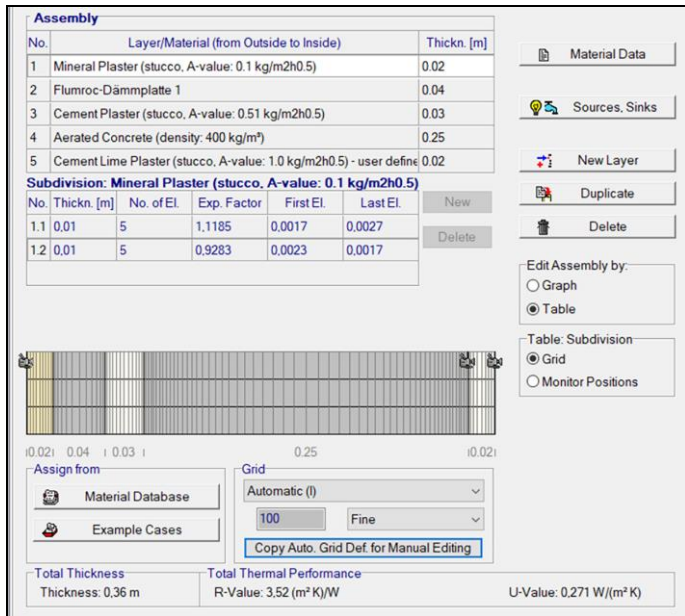
WUFI-PRO 6.7 simülasyon aracında higrotermal performans değerlendirme aşamaları

WUFI Pro, yapının içindeki malzemenin kalınlığının ve konumunun ayarlanmasını sağlar. WUFI-Pro 6.7 programında ilk olarak duvar kesiti oluşturularak kütüphaneden seçilen veya

manuel olarak özellikleri girilebilen malzemeler duvar katmanlarına atanarak duvar kesiti oluşturulur (Şekil 3.37 ve Şekil 3.38).



Şekil 3.37. WUFI-Pro’da oluşturulan duvar kesiti katmanlarının görünümü



Şekil 3.38. WUFI-Pro’da oluşturulan duvar kesiti katmanlarının özellikleri

Diğer bir adımda duvar kesitinin yönlenme durumu ve açısı seçilmektedir. Bu seçim yapılırken ilk olarak iklim verilerinin analizi yapılmalıdır ve rüzgar etkili yağmurun en etkili

olduğu yön seçilerek, duvarın yer düzlemiyle olan açısı gerçekte olduğu gibi girilmelidir (Şekil 3.39).

Orientation

N
W E
S
North

Inclination

Inclination [°] 90

Building Height/Driving Rain Coefficients

☒ Rain load calculation according to ASHRAE Standard 160

rain exposure factor (FE) 1.0 Building Height [m] <10 Exposure Category Medium

rain deposition factor (FD) 0.5 Walls below a low-slope roof

Note:
Rain Load =
Rain * FE * FD * 0.2 s/m * Wind Velocity

Şekil 3.39. Duvar kesitinin yönlenmesi ve yer düzlemiyle açısı

Exterior Surface (Left Side)

Heat Resistance [(m² K)/W] 0.04 User-Defined

includes long-wave radiation parts [W/(m² K)] 6.5

wind-dependent ☐

sd-Value [m] ---- No coating

Note: This setting does not affect rain absorption

Short-Wave Radiation Absorptivity [-] 0.2 User-Defined

Long-Wave Radiation Emissivity [-] ----

Reduction factors caused by shading:

for absorptivity [-] ---- No shading

for emissivity [-] ----

Explicit Radiation Balance ☐ Note: This option takes radiative cooling due to long-wave emission into account. Sensitive cases may require sufficiently accurate counter radiation data in the weather file.

Ground Short-Wave Reflectivity [-] 0.2 Standard value

Adhering Fraction of Rain [-] 0.7 Depending on inclination of component

Interior Surface (Right Side)

Heat Resistance [(m² K)/W] 0.13 (User-Defined)

sd-Value [m] ---- No coating

Şekil 3.40. İç-dış yüzeylere ait girilen ısı iletim dirençleri ve diğer parametreler

Şekil 3.40’ da görüldüğü gibi yüzeysel ısı iletim dirençleri R_i ve R_e girilmelidir. Bu değerler analizlerin yapıldığı iklim bölgesine göre değişmektedir, tez çalışmasında Türkiye’de Zonguldak ili için analizler yapıldığından ilgili değerler TS 825’ten alınmıştır.

Diğer aşamada duvar kesitinde yer alan katmanların malzeme ilk koşulları (initial conditions) kılavuzda belirtildiği şekilde default değerler olarak karşımıza çıkar. Malzemelerin başlangıç bağıl nem değerleri %80 ve sıcaklık değerleri 20 C olarak verilir. Tez çalışmasında, deneysel bir aşamayla analizlerin karşılaştırılması yapılmadığından, malzemelerin başlangıç su içerikleri ise kütüphanede yer aldığı şekliyle bırakılmıştır (Şekil 3.41).

Initial Moisture in Component
☒ Constant Across Component
☐ In each Layer
☐ Read from File

Initial Temperature in Component
☒ Constant Across Component
☐ Read from File

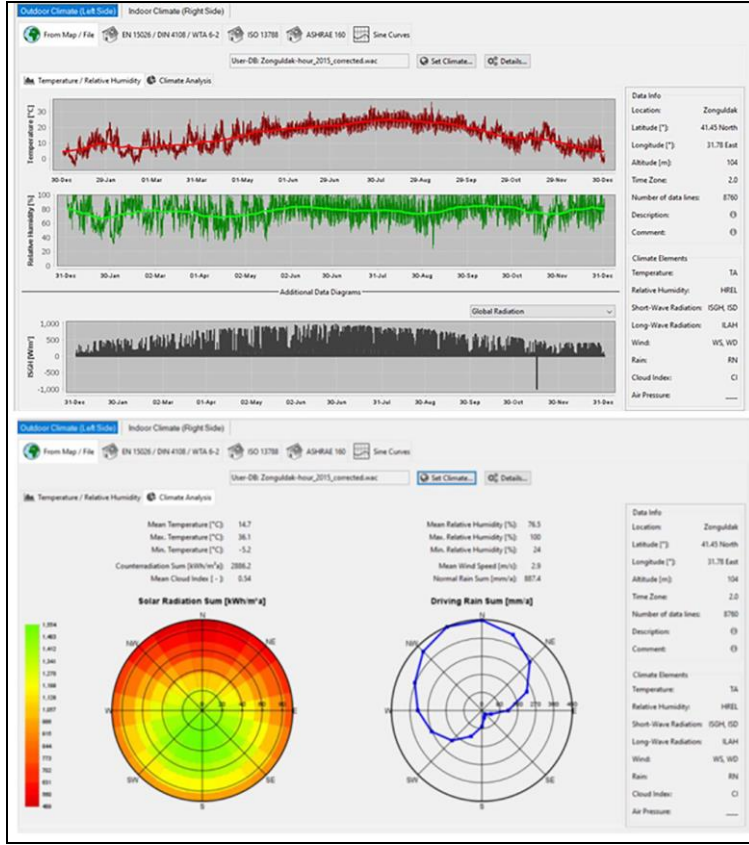
Initial Relative Humidity [-]
Initial Temperature in Component [°C]

Initial Water Content in Different Layers

No.	Material Layer	Thickn. [m]	Water Content [kg/m³]
1	Mineral Plaster (stucco, A-value: 0.1 kg/m²h0.5)	0.02	45.0
2	Flumroc-Dämmplatte 1	0.04	0.01
3	Cement Plaster (stucco, A-value: 0.51 kg/m²h0.5)	0.03	35.0
4	Aerated Concrete (density: 400 kg/m³)	0.25	8.4
5	Cement Lime Plaster (stucco, A-value: 1.0 kg/m²h0.5) - user defined	0.02	45.0

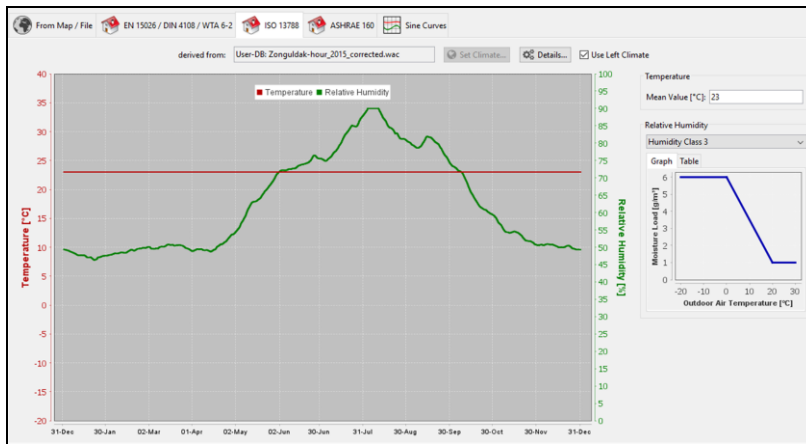
Şekil 3.41. Duvar kesiti katmanlarının başlangıç değerleri

Higrotermal perofmans değerlendirmesinde en önemli girilmesi gereken değerlerden biri de iç-dış ortam sınır koşullarıdır. WUFI-Pro 6.7’de iç-dış ortam koşulları iklim dosyalarından okunmaktadır. Bu sebeple kendi kütüphanesinde yer alan bölgelere ait değerler de programa okutulabileceği gibi sentetik olarak oluşturulmuş değerler de analizlerde kullanılabilir (Şekil 3.42).



Şekil 3.42. WUFI Pro 6.7’de yapılan iklim analizleri çıktıları; sıcaklık, bağıl nem ve UV radyasyonu ile rüzger etkili yağmur analizleri

Higrotermal değerlendirmede girilmesi gereken iç ortam koşulları verileri için ise WUFI’nin kütüphanesinde EN 15026/ISO 13788/ASHRAE 160 ve SINE CURVES seçenekleri bulunmaktadır. Burada seçilen her farklı iç ortam koşulu sonuçları etkilemektedir. Ayrıca standartta seçilmesi istenen ortamın bağıl nem yükü programın içeriğinde tavsiye edilen bina türleri için bakılarak uygun seçim yapılabilir (Çizelge 3.7 ve Şekil 3.43).



Şekil 3.43. Analizde seçilen ISO 13788 standardına ait veriler

Çizelge 3.8. ISO 13788 standardında belirlenmiş bina türüne göre tavsiye edilen nem sınıfları

NEM SINIFI	BİNA TÜRÜ	NEM YÜKÜ [g/m ³]
1	Kullanılmayan binalar, Kuru ürünler depo binaları	2...1
2	Ofisler, Normal doluluk ve havalandırma olan konutlar	4...1
3	Doluluk durumu bilinmeyen binalar	6...1
4	Spor salonları, mutfaklar, kantinler	8...1
5	Özel binalar; çamaşırhane, yüzme havuzu, bira fabrikası	10...1
NEM SINIFI	ISO 13788 (2001)	ISO 13788 (2012)
1	Depo binaları	Kullanılmayan binalar, Kuru ürünler depo binaları
2	Ofisler, Mağazalar	Ofisler, Normal doluluk ve havalandırma olan konutlar
3	Düşük doluluk oranına sahip konutlar	Doluluk durumu bilinmeyen binalar
4	Yüksek doluluk oranına sahip konutlar, spor salonları, mutfaklar, kantinler, akışkan olmayan gaz ısıtıcıları ile ısıtılan binalar	Spor salonları, mutfaklar, kantinler
5	Özel binalar; çamaşırhane, yüzme havuzu, bira fabrikası	Özel binalar; çamaşırhane, yüzme havuzu, bira fabrikası

ISO 13788'e dayalı olarak WUFI, iç mekân hava koşullarını aşağıdaki gibi belirler:

- İç hava sıcaklığı sabit (kullanıcı tarafından düzenlenebilir) bir değere ayarlanır.
- İç iklim için bağıl nem, iç hava sıcaklığından ve iç havanın mutlak nemi N_i 'den belirlenir. N_i için Şekil 3.44'te görülen hesaplar yapılır. Buradaki hesaplarda sabit bir iç ortam sıcaklığı kullanılması ve iç ortam bağıl neminin dış ortamda değişen koşullara göre hesaplandığı görülmektedir.

$$N_i = N_a + \Delta N$$

N_i : İç mekan mutlak nemi ,
 N_a : Dış ortam mutlak nemi ,
 ΔN : Nem yükü fonksiyonu aracılığıyla dış hava sıcaklığı ϑ_a 'dan belirlenen nem yükü

$$N_a = \varphi_a \cdot \text{Doyma noktasındaki mutlak nem } (\vartheta_a)$$

ϑ_a : Aylık dış hava sıcaklığı ortalaması
 φ_a : Aylık dış bağıl nem ortalaması

Şekil 3.44. ISO 13788 standardında iç bağıl nem hesabı

ISO 13788, beş nem sınıfı için nem yükü eğrilerini tanımlar. Hesaplama da kullanılacak bu nem yükü eğrileri, ilgili bina tipleri için nem yükü aralıklarının üst sınırlarıdır. Her nem sınıfında, nem yükü eğrisi 0°C'nin altındaki sıcaklıklar için sabit bir maksimum değere sahiptir, 0°C ile 20°C arasındaki sıcaklıklar için doğrusal olarak azalır ve 20°C'nin üzerindeki sıcaklıklar için sabit bir minimum değer alır. Nem yükü eğrileri, girdi olarak aylık ortalama dış hava sıcaklığı ile değerlendirilecektir.

Avrupa standardı EN ISO 13788, iç hava nemini dış hava nemi artı dış hava sıcaklığına bağlı bir nem yükünden hesaplar. İç ortam sıcaklığı yıl boyunca sabit olarak ayarlanabilir. Standart, 20 °C değerini belirtir. Nem yükleri, 0 °C'nin altındaki dış hava sıcaklıklarında sabittir. Beş nem sınıfının değerleri, nem sınıfı 1 için 2 g/m³'ten, nem sınıfı 5 için 10 g/m³'e 2 gramlık artışlarla artar. 20 °C'nin üzerindeki dış hava sıcaklıklarında, iç ve dış ortam arasında yüksek hava değişimi burada 1 g/m³ (nem sınıfı 5: 2 g/m³) sabit ek nem yükü varsayılmıştır. 0 °C ile 20 °C arasında, ilgili nem yükleri doğrusal olarak 1 g/m³ veya 2 g/m³'e düşürülür (Çizelge 3.8).

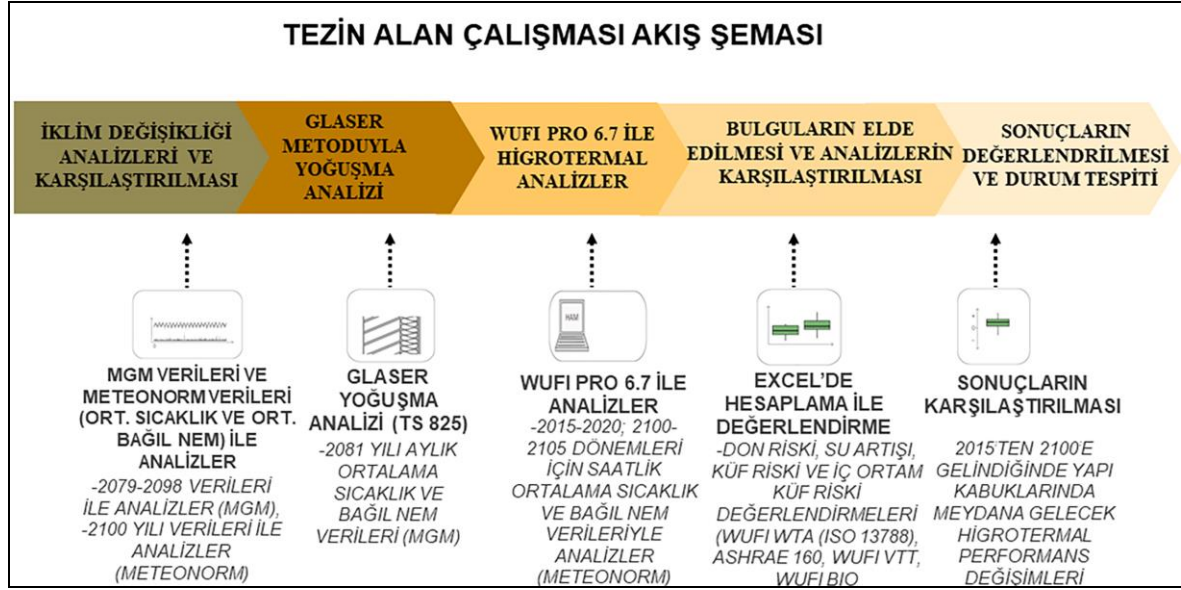
4. ALAN ÇALIŞMASI

Alan çalışmasında izlenen temel adımlar Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Buna göre; iklim verilerinin MGM ve METEONORM’dan elde edilmesinden sonra ilk olarak iklim faktörlerindeki (sıcaklık ve bağıl nem ortalamaları) değişim analiz edilerek, farklı küresel iklim modellerinin farklı sonuçlar verdiği kanıtlanmıştır. İkinci aşamada dıştan yalıtımlı bir duvar kesitinde 2.iklim bölgesinde yer alan Zonguldak iline ait gelecek verileriyle MGM’den alınan 2081 yılı aylık ortalama sıcaklık ve bağıl nem ortalamaları ile Glaser yöntemini kullanarak yoğuşma analizi yapılmış, böylece gelecek dönemlerde duvar kesitinde oluşabilecek higrotermal (ısı-nem) sorunları elle hesaplama yöntemiyle ortaya konmuştur.

Üçüncü adımda METEONORM programından elde edilen saatlik ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerleriyle yapı kabuklarının 2015-2020 ve 2100-2105 dönemleri için higrotermal analizler gerçekleştirilmiştir.

Dördüncü adımda elde edilen veriler Excel’e aktararak yapı kabuklarının higrotermal performansları don riski, kesit içi toplam ve tek tek katmanlar su artışı, tek tek katmanların küf riski ve iç ortam küf riskleri bakımından program tavsiye edilen ISO 13788, ASHRAE 160 DIN 4108-3 standartları sınır değerleri gereğince değerlendirilmiş ve elde edilen bulgular 2015-2020 dönemleri ve 2100-2105 dönemleri için karşılaştırılmıştır.

Son adımda ise bulguların değerlendirilmesi ve karşılaştırılmasından sonra 2015’ten 2100’e gelen bir yapı kabuğundaki değişimler tespit edilerek çıkarımlar yapılmıştır.



Şekil 4.1. Tezin alan çalışması adımları

4.1. Yapı Kabuklarının İklim Değişikliği Analizleri

Tez kapsamında alan çalışmasının ilk aşamasında, çalışma alanında tespit edilen iklimsel değişikliklerin duvar kesitinde ısı ve nem açısından yol açabileceği sorunların tespiti için ilk olarak MGM'den alınan veriler ile METEONORM'dan elde edilen veriler doğrultusunda gelecek dönemde sıcaklık ve bağıl nem ortalamalarındaki değişimler analiz edilerek karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak farklı küresel iklim modellerinin çıktılarının analiz sonuçlarını nasıl etkilediği gösterilmiştir.

4.1.1. Zonguldak ili için tarihsel ve gelecek periyotlarda iklimsel analiz

Zonguldak ili için yapılan iklim değişikliği analizleri, hem MGM'den elde edilen verilerle hem de kullanılan simülasyon programı WUFI Pro 6.7 aracılığıyla yapılmıştır. Bu analizler 2015 yılından itibaren gelecek dönem için farklı zaman aralıklarında gerçekleştirilmiştir. MGM'den elde edilen iklim verileri, RCP 8.5 senaryosu ve 2081 yılına ait verileri içermektedir. Sonuç olarak, MGM verileriyle 2081 yılı için, WUFI Pro 6.7 ile ise 2100 yılı için iklimsel analizler yapılmıştır.

İlk olarak programla yapılan analiz için gerekli iklim verileri METEONORM programı sağlayıcılarından mail yoluyla elde edilmiştir (URL 11). METEONORM programında

tarihsel periyot olan 2015 yılı için üretilen sentetik veriler programının oldukça geniş iklim modelleri veri tabanından elde edilir. Bunlar başlıca; Küresel radyasyon verileri; GEBA Küresel Enerji Dengesi Arşivinden, Sıcaklık, nem, rüzgâr verileri, güneşlenme süresi ve yağışlı günler; WMO Climatological Normals 1961–1990'dan (WMO, 1998), eksik veriler ise değiştirmek ve meteoroloji istasyonlarının homojen dağılımını sağlamak için; ABD Ulusal İklim Veri Merkezi (NCDC, 1995/2002) tarafından derlenen uluslararası meteoroloji istasyonlarının veri özeti gibi diğer veri tabanları kullanılır. Sonuç olarak burada yazılanlar dışında küresel radyasyon ve sıcaklık ve diğer parametreler için (rüzgâr, bağıl nem vb.) ayrı ayrı olmak üzere Avrupa bölgesi için toplamda 1645 istasyon veri tabanından elde edilir.

İncelenen çalışmalar doğrultusunda referans yıl olarak 2015 yılı ve gelecek dönem için en zorlayıcı senaryo olan RCP 8.5 senaryosu ve 2100 yılı için saatlik (sıcaklık, bağıl nem, yağış vb.) veriler elde edilmiştir. Şekil 4.2'de Zonguldak ili için 1 yıllık süreçte 2015 yılı saatlik ölçümlerin aylık ortalamalarının bağıl nem, sıcaklık, güneş radyasyonu, yağmur, rüzgâr hızı, uzun ve kısa dalga güneş ışıınımı gibi parametreleri görülmektedir.

Calculation (hour)									
Name of site = Zonguldak									
Latitude [°] = 41.449, Longitude [°] = 31.778, Altitude [m] = 104									
Climatic zone = IV, 1									
Current data = Imported hourly data									
Radiation model = Default (hour); Temperature model = Default (hour)									
Diffuse radiation model = Default (hour) (Perez)									
Tilt radiation model = Default (hour) (Perez)									
Radiation: Imported data = 2015									
Temperature: Imported data = 2015									
Month	H_Gh	H_Dh	N	Ta	RH	FF	DD	RR	Lin
Jan	65	36	5.5	6.8	69	3.7	168	100	287
Feb	100	59	5.1	7.2	71	3.7	73	74	290
Mar	131	83	5.9	8.5	75	2.8	2	21	297
Apr	203	93	4.3	11.2	65	3.2	251	75	303
May	241	108	4.0	17.3	75	2.5	349	48	343
Jun	260	111	4.0	19.9	81	2.3	353	66	363
Jul	290	97	2.5	22.7	76	2.6	33	0	374
Aug	252	92	2.3	24.2	74	2.8	32	0	381
Sep	177	79	4.7	22.7	76	2.7	32	98	379
Oct	108	55	4.7	16.2	82	3.0	37	91	346
Nov	73	37	5.1	12.8	73	3.3	195	44	323
Dec	66	31	4.2	6.4	78	2.6	174	48	290
Year	164	74	4.4	14.7	75	2.9	44	665	411288

Legend:

Ta:	Air temperature	RH:	Relative humidity
Ta:	Air temperature		
H_Gh:	Mean irradiance of global radiation horizontal		
H_Dh:	Mean irradiance of diffuse radiation horizontal		
N:	Cloud cover fraction	RH:	Relative humidity
FF:	Wind speed	DD:	Wind direction
RR:	Precipitation	Lin:	Mean Irradiance of longwave radiation incoming

Radiation in [W/m²]
Temperature in [°C]
Wind speed in [m/s]
Uncertainty of yearly values: Gh = 5%, Bn = 10 %, Ta = 0.7 °C
Trend of Gh / decade = 28.5%
Variability of Gh / year = 3.5%
P90 and P10 of yearly Gh, referenced to average = 95.2%, 106.8%

Şekil 4.2. Zonguldak ili 2015 yılı aylık ortalama METEONORM verileri

Aynı şekilde Şekil 4.3’de görüldüğü gibi 2100 yılı ve RCP 8.5 senaryosuna ait, aynı enlem boylamı içeren Zonguldak için aynı parametrelere dayanan iklim verileri METEONORM’dan elde edilmiştir.

Calculation (hour)

Name of site = Zonguldak

Latitude [°] = 41.449, Longitude [°] = 31.778, Altitude [m] = 104

Climatic zone = IV, 1

Radiation model = Default (hour); Temperature model = Default (hour)

Diffuse radiation model = Default (hour) (Perez)

Tilt radiation model = Default (hour) (Perez)

Radiation: scenario RCP 8.5, year 2100

Temperature: scenario RCP 8.5, year 2100

Month	H_Gh	H_Dh	N	Ta	RH	FF	DD	RR	Lin
Jan	73	33	4.3	12.1	65	3.4	270	136	312
Feb	99	55	5.1	12.4	67	3.5	270	106	318
Mar	153	74	4.4	13.3	66	3.5	270	89	318
Apr	211	107	4.2	15.6	70	3.3	270	48	331
May	263	109	3.1	19.7	75	3.2	270	43	356
Jun	310	102	1.7	24.8	75	3.3	270	52	380
Jul	288	96	2.4	28.1	73	3.4	270	47	401
Aug	252	99	2.6	29.0	72	3.5	270	42	407
Sep	186	76	3.8	25.5	70	3.4	270	104	387
Oct	115	57	4.6	21.0	72	3.2	270	140	367
Nov	73	44	5.7	17.6	67	3.2	270	129	346
Dec	62	35	5.3	13.6	64	3.4	270	141	321
Year	174	74	3.9	19.4	70	3.4	270	1077	354

Legend:

Ta: Air temperature

RH: Relative humidity

Ta: Air temperature

H_Gh: Mean irradiance of global radiation horizontal

H_Dh: Mean irradiance of diffuse radiation horizontal

N: Cloud cover fraction

RH: Relative humidity

FF: Wind speed

DD: Wind direction

RR: Precipitation

Lin: Mean Irradiance of longwave radiation incoming

Radiation in [W/m²]

Temperature in [°C]

Wind speed in [m/s]

Ta: Only 3 station(s) for interpolation

Rh: Only 3 station(s) for interpolation

Gh: Use of precalculated radiation map based on satellite and ground information due to low density of network

Nearest 3 stations: Ta: Zonguldak (2 km), Inebolu (177 km), Golcuk/Dumlupınar (184 km)

Uncertainty of yearly values: Gh = 4%, Bn = 8 %, Ta = 0.3 °C

Trend of Gh / decade = 26.9%

Variability of Gh / year = 3.5%

P90 and P10 of yearly Gh, referenced to average = 95.2%, 106.8%

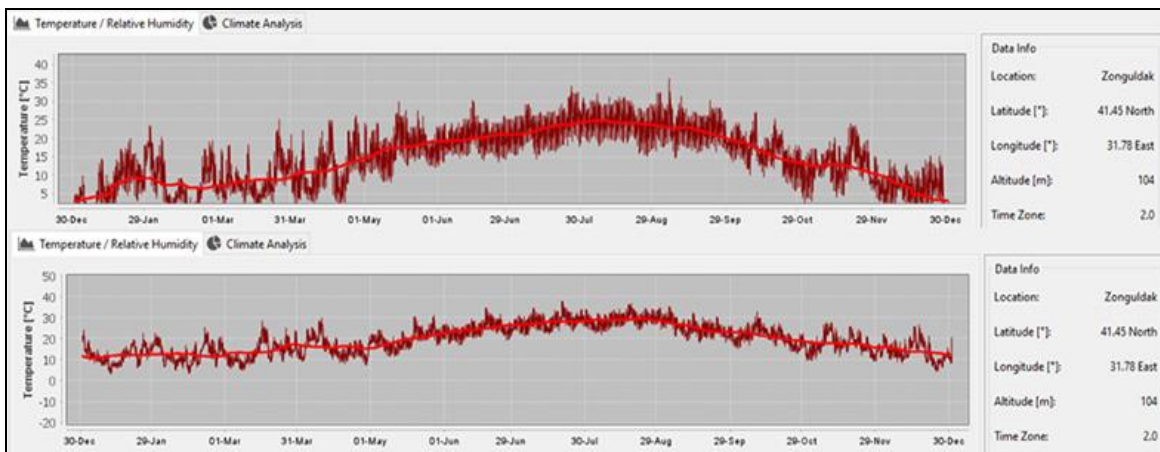
Şekil 4.3. Zonguldak ili 2100 yılı aylık ortalama METEONORM verileri

METEONORM, Küresel Enerji Dengesi Arşivi Verilerine (GEBA) erişim sunar. Ayrıca, Temel Yüzey Radyasyon Ağı BSRN veya MeteoSwiss ve Alman Hava Durumu Servisi ağları gibi yüksek kaliteli ölçüm ağlarını da içerir. Meteonorm'daki aerosol klimatolojisi, şu anda piyasada bulunan en doğru veri seti olan Solar Consulting Services / Chris Gueymard tarafından sağlanmaktadır. Küresel olarak kalibre edilmiş ızgaralı veri seti, 2000-2015 zaman aralığı, 0,5° uzamsal çözünürlük içermektedir Küresel ölçekte güneş ışınımı için 1981-1990 ve 1996-2015 dönemleri, diğer tüm meteorolojik parametreler için 1961-1990 ve 2000-2019 dönemleri mevcuttur. Yer istasyonları veri tabanı, meteoroloji istasyonlarının bulunmadığı bölgelerdeki boşlukları doldurmak için beş sabit uydudan alınan verilerle genişletilmiştir. Uydu verileri küresel bir grid üzerinde mevcuttur. Veriler, homojen uzun vadeli ortalamalar elde etmek için uzun vadeli yer ölçümleri ile ilişkilendirilmiştir (URL 12).

İklim değışikliğı projeksiyonu için METEONORM verileri IPCC raporu 2014'e ("AR5") ve RCP 4.5,6 ve 8.5 senaryolarına dayanmaktadır. Yukarıdaki senaryoların her biri için bir dizi CMIP5 modelinin ortalaması alınmış ve METEONORM'a dâhil edilmiştir. 104 tane CMIP5 modelinden yalnızca 35'i METEONORM ile ilgili tüm parametreleri içermektedir ve ortalama almak için kullanılmıştır. Evrensel olarak mevcut parametreler için bu alt kümenin tüm CMIP5 modelleri ile karşılaştırılması, alt kümenin temsili olarak kabul edilebileceğini göstermiştir. Modellerin 2011-2030, 2046-2065 ve 2080-2099 dönemleri için ortalaması alınmıştır ve aralarında doğrusal enterpolasyon yapılmıştır, öyle ki gelecek yıllar 2020, 2030, 2040, 2050, 2060, 2070, 2080, 2090, 2100 METEONORM'da üretilebilmiştir.

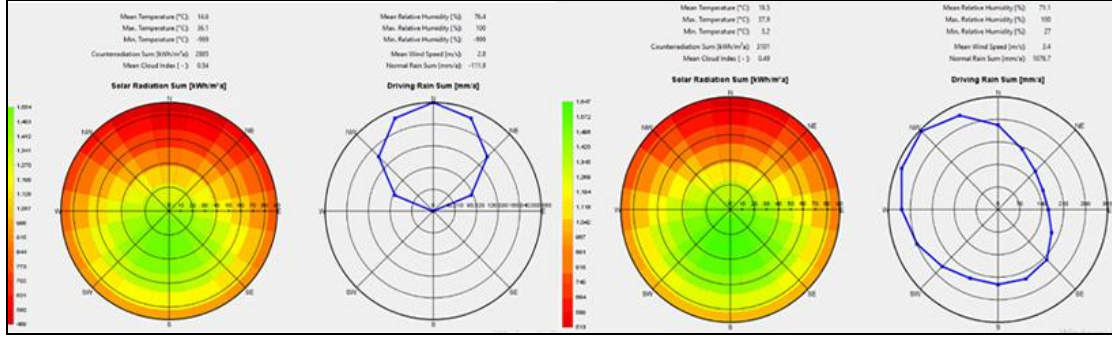
İklim analizi sonuçları (WUFI Pro 6.7 çıktıları)

Zonguldak ili için yapılan projeksiyonların sonucuna göre 2015 referans yılında en fazla sıcaklık Temmuz-Ağustos aylarında 35°C lere çıkarken; ortalama olarak 25°C'dir. 2100 yılına gelindiğinde bu durum 38-40°C arasında değışim göstermekteydi. 2100 yılında ortalama sıcaklık Zonguldak için 30-35°C arasındadır. 2015 yılında en düşük sıcaklık Aralık ayında 4°C iken; 2100 yılında en düşük sıcaklık aynı tarihte 10°C dir. Bu durum da şu an IPCC tarafından ortaya konmuş olan projeksiyonları doğrulamaktadır. Karşılaştırmalardan net olarak aylık ortalama sıcakların ve en düşük aylık ortalama sıcaklıkların artacağı görülmüştür (Şekil 4.4).



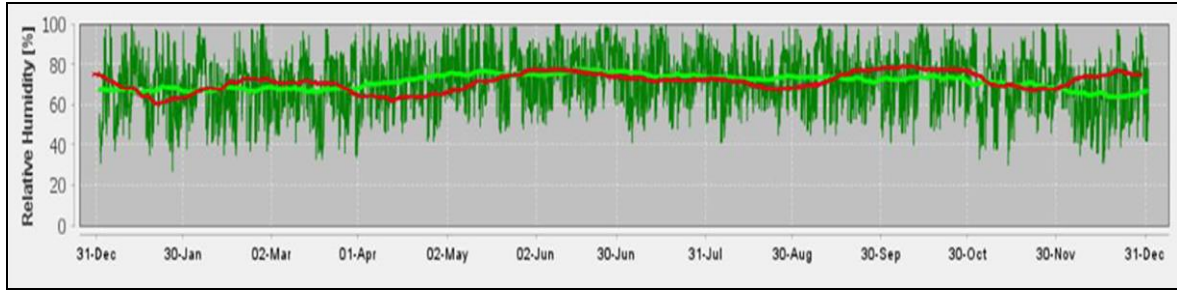
Şekil 4.4. Zonguldak ili 2015-2100 verileri sıcaklık değışimleri (2015 üstte, 2100 altta)

Rüzgâr etkili yağmur ve yağış değışimlerine bakıldığında 2015 yılında rüzgâr etkili yağmur yönü kuzey iken, 2100 yılında bu yönün kuzeybatı olarak değıştiğı görülmektedir.



Şekil. 4.5. a. 2015 yılı Zonguldak yağış verileri analizi, b. 2100 yılı Zonguldak yağış verileri analizi

Normal yağmur toplamı, saatlik normal yağmur $1 \text{ [mm/h]} = 1 \text{ [Ltr/m}^2\text{h]}$ toplamıdır. Grafiklerden anlaşılan değişen rüzgâr etkili yağmur yönü dışında rüzgâr etkili yağış miktarının artması şeklindedir. Şekil b’de görüldüğü gibi 2100 yılında yağış düzeninin oldukça dağınık ve ortalama olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca rüzgâr hızının da 2015 yılında 2.8 m/s iken 2100 yılında 3.4 m/s olarak değiştiği görülmektedir (Şekil 4.5.a ve b).

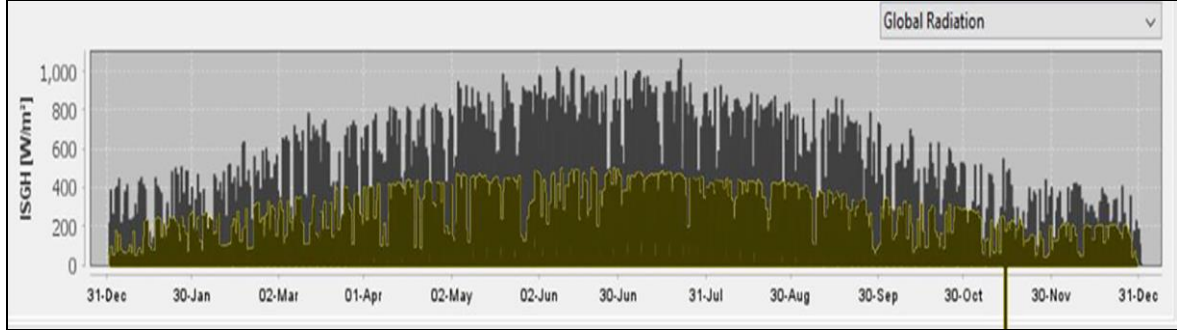


Şekil 4.6. a. 2100 (yeşil) yılı Zonguldak bağıl nem durumu, b. 2015 (kırmızı) yılı Zonguldak bağıl nem durumu

Bağıl nem olarak referans yıl (2015) ve gelecek senaryo (2100) durumuna baktığımızda ise 2015 yılında bağıl nem en düşük % 24 ile Eylül ayında görülürken, en fazla Ekim ayında %82 ye çıktığı görülmektedir. Aynı şekilde Haziran ayında da % 80 lerin üzerinde seyrettiği görülmektedir. Dolayısıyla en nemli aylar Haziran ve Ekim denilebilir. Ortalama bağıl nem ise %76.5 ‘tir.

2100 yılına gelindiğinde RCP 8.5 senaryosuna göre bağıl nemin daha az dalgalanma yaşayarak bütün yılda neredeyse eşit seyrettiği görülmektedir. 2015 ile benzer şekilde bağıl nemin Mayıs ve Haziran ayında %75 en yüksek değerde olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, bağıl nem 2015 e kıyasla en düşük değer olarak % 27 oranında görülmekte ve yıl

boyunca bu değerden daha düşük değer yaşanmamaktadır. 2015 yılında en düşük bağıl nem ortalama olarak % 64 iken, 2100 yılında bu oran % 65'tir (Şekil 4.6.a ve b).



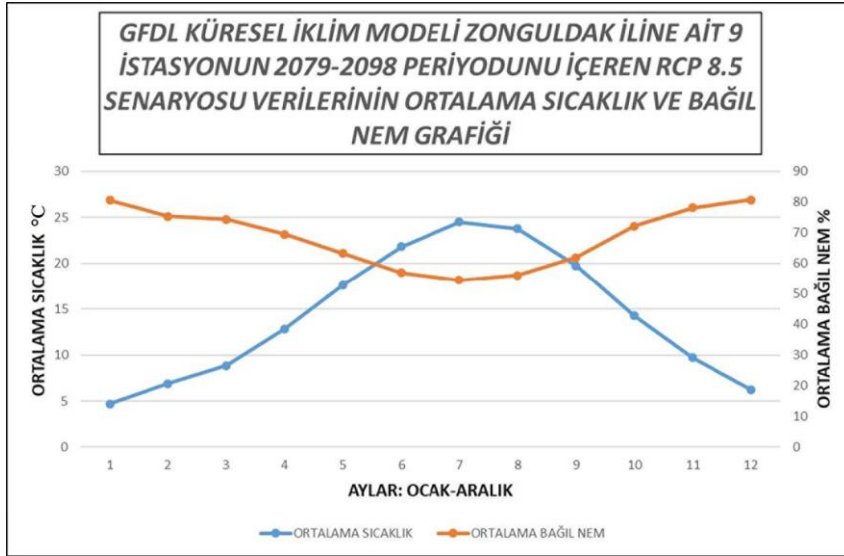
Şekil 4.7. a. 2100 yılı Zonguldak ili global radyasyon değişimi (siyah), b. 2015 yılı Zonguldak ili global radyasyon değişimi (yeşil)

Global radyasyon oranlarını içeren grafiklere baktığımızda ise 2015 teki orana göre 2100 de çok daha sık ve 1000 ISGH (W/M^2) seviyesine ulaşan bir toplam radyasyon oranı görülmektedir.

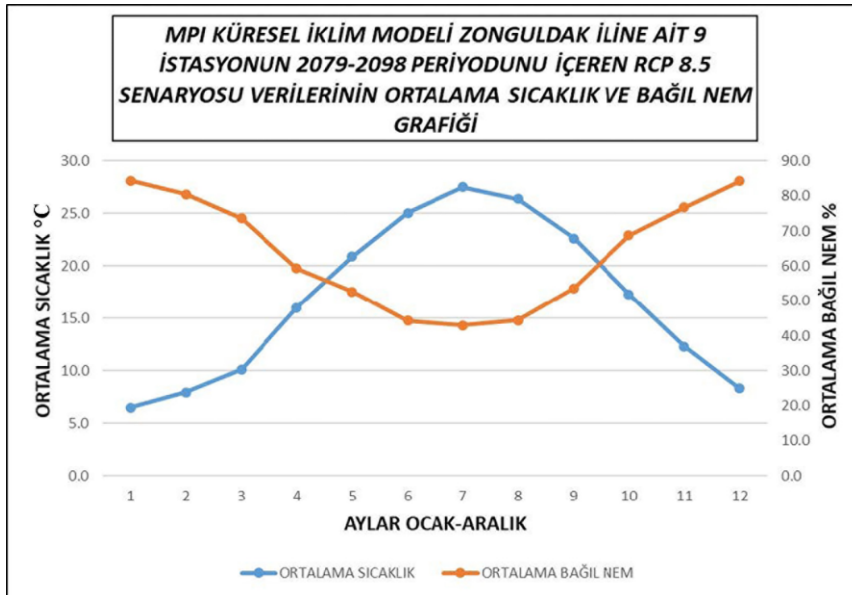
Yatay bir yüzeye (yerde) ulaşan toplam güneş radyasyonu miktarına küresel radyasyon denir. Dolayısıyla küresel radyasyon, doğrudan güneşten gelen radyasyon ile atmosferin geri kalanından yayılan radyasyonun, yani atmosferdeki moleküller ve parçacıklar tarafından yayılan veya bulutlar tarafından yansıtılan güneş radyasyonunun toplamından oluşur. Daha spesifik olarak, SMHI cihazları tarafından ölçülen parametreye, W/m^2 olarak verilen, yüzey birimi başına düşen radyasyon etkisi olan küresel ışıınım denir. Küresel radyasyonu etkileyen en önemli iki faktör güneş yüksekliği ve bulut örtüsüdür. Güneşin yüksekliğindeki (ve gün ışığı periyodunun uzunluğundaki) değişiklikler bir yıl boyunca büyük düzenli değişimi sağlarken, bulut örtüsü yıldan yıla aylık ve yıllık ortalamalardaki değişimi açıklar. Bulut örtüsü azaldığında, küresel radyasyon artarken uzun dalga radyasyonu azalır ve bunun tersi de geçerlidir (URL 13). Sonuç olarak bu durumda güneş yüksekliği, bulut oranındaki değişimlerin 2100 de ortalama olarak arttığı açıkça görülmektedir (Şekil 4.7.a ve b).

İklim analizi sonuçları (MGM'den alınan verilerle 2079-2098 periyodu için GFDL, HadGEM ve MPI modelleri çıktıları)

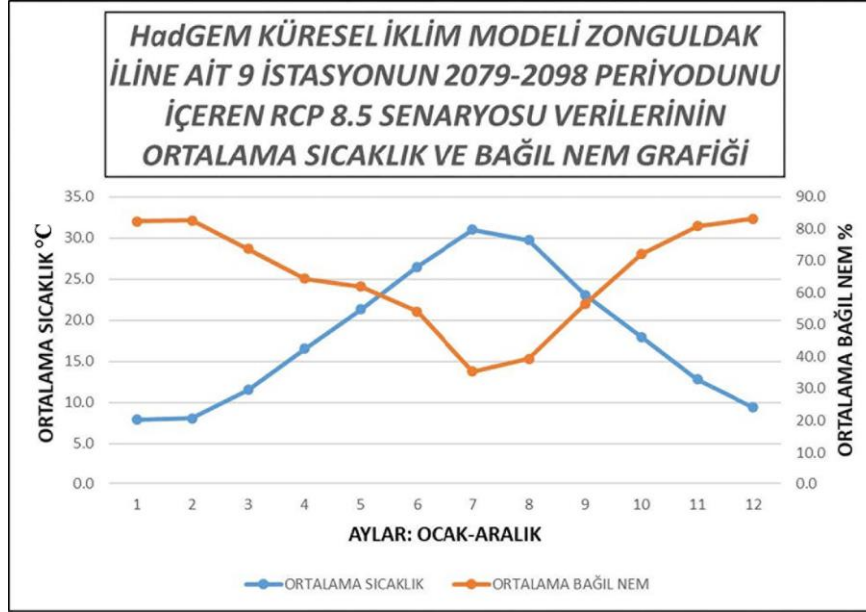
MGM'den alınan verilerle 2079-2098 periyodu için GFDL, HadGEM ve MPI küresel modellerin çıktıları Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da görülmektedir.



Şekil 4.8. GFDL küresel iklim modeli çıktılarına göre 8 istasyona ait ve 2079-2098 yıllarını kapsayan RCP 8.5 senaryosuna göre aylık ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerleri



Şekil 4.9. MPI küresel iklim modeli çıktılarına göre 8 istasyona ait ve 2079-2098 yıllarını kapsayan RCP 8.5 senaryosuna göre aylık ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerleri



Şekil 4.10. HadGEM küresel iklim modeli çıktılarına göre 8 istasyona ait ve 2079-2098 yıllarını kapsayan RCP 8.5 senaryosuna göre aylık ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerleri

MGM'den alınan küresel iklim modellerine ait veriler ve 2015 yılına ait verilerle yapılan aylık ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerlerini içeren analizlerin (Şekil 4.8), (Şekil 4.9), (Şekil 4.10) karşılaştırılması Çizelge 4.1'de görülmektedir.

Çizelge 4.1. MGM'den alınan Küresel iklim modellerine ait verilerle ve 2015 yılına ait verilerle yapılan analizlerin karşılaştırılması

KÜRESEL İKLİM MODELİ	Aylık ortalama en yüksek ve en düşük sıcaklık	Aylık ortalama en yüksek ve en düşük bağıl nem	Senaryo ve istasyon sayısı
<i>GFDL</i>	4.7°C-Ocak; 24.5°C-Temmuz	%54.5-Temmuz; %80.7 Ocak	RCP 8.5; 9
<i>MPI</i>	6.5°C-Ocak; 27.5°C-Temmuz	%43-Temmuz; %84.3-Ocak	RCP 8.5; 9
<i>HadGEM</i>	7.9°C-Ocak; 31°C-Temmuz	%35.4-Temmuz; %83-Aralık	RCP 8.5; 9
2015 YILI MGM VERİLERİ (tarihsel periyot)	2015_36°C- Temmuz; - 5.2°C Aralık	2015_%65-Nisan; % 82-Ekim	- 8 adet istasyon verileri ortalaması

Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi 2015 yılında ölçülen değerlere göre 2079-2098 döneminde en sıcak ay Temmuz olurken, sıcaklığın 2079-2098 döneminde bir miktar düştüğü görülmektedir. En soğuk ayın ise 2015 te Aralık olduğu görülürken, 2079-2098 döneminde Ocak ayına kayarak ortalama değerlerin yükseldiği görülür. Bağıl nem açısından ise ortalama değerlerin arttığı görülmektedir. En nemli ay küresel iklim modellerine göre 2079-2098 aralığında Aralık-Ocak tır. 2015 yılında ise Ekim ayı en nemli aydır. Sonuç olarak 2079-2098 yılı aralığı aylık ortalama değerleri ile 2015 yılı kıyaslandığında en düşük sıcaklığın ortalama olarak 6.3°C olduğu ve ortalama olarak 1.1°C arttığı görülmüştür. Sonuçta gelecek dönemde sıcaklık ve nem değerlerinin ortalama olarak arttığı görülmüştür.

Çizelge 4.2. MGM verileriyle yapılan analizler ile METEONORM verileriyle yapılan analizlerin karşılaştırılması

ANALİZ PERİYODU	ORT. DEĞERLER		WUFI PRO	MGM
	SICAKLIK	B.NEM (%)		
2015 (aylık ort.)				
En düşük	6.4°C (Aralık)	65 % (Nisan)	X	5.2°C (Aralık)
En yüksek	24.2°C (Ağustos)	82 % (Ekim)	X	36°C (Temmuz)
2079-2098 (aylık ort.)				
En Düşük	6.3°C (Ocak)	44.3 % (Temmuz)	-	X
En Yüksek	27.6°C (Temmuz)	82.6 % (Aralık- Ocak)	-	X
2100 (aylık ort.)				
En Düşük	12.1°C (Ocak)	64% (Aralık)	X	-
En Yüksek	28.1°C (Temmuz)	75 % (Mayıs- Haziran)	X	-

İklimsel analiz sonuçları karşılaştırıldığında; 2015 yılına kıyasla 2100 yılına gelindiğinde en yüksek aylık ortalama sıcaklığın hem MGM verilerine göre hem de METEONORM’dan alınan verilere göre arttığı görülmüştür. 2015 yılında Ağustos ayında 24.2°C olan en yüksek ortalama sıcaklık, 2100 yılında METEONORM verilerine göre Temmuz ayına kayarken 28.1°C olmaktadır. MGM’den alınan verilere göre ise 2079-2098 döneminde en yüksek sıcaklık yine Temmuz ayında 27.6°C olmaktadır. Ortak sonuç iki veri türünde de en yüksek ortalama sıcaklığın Temmuz ayında görülmesi ve artmış olmasıdır. En düşük ortalama

sıcaklığa bakıldığında ise 2015 yılında 6.4°C olarak Aralık ayında yaşanırken, METEONORM verilerine göre 2100 yılında Ocak ayında en düşük ortalama sıcaklık 12.1°C olacaktır. MGM verilerine göre ise en düşük ortalama sıcaklık neredeyse değişmeyerek 6.3°C olarak Ocak ayında yaşanacaktır. Yine iki veri türünde de ortak olan en düşük ortalama sıcaklığın görülmesi Ocak ayında yaşanacaktır. Ancak METEONORM verisine göre en düşük ortalama sıcaklık 2015 yılına kıyasla yaklaşık iki katına çıkmaktadır. Bu noktada METEONORM programının daha fazla istasyondan veri alarak sonuç verdiği düşünüldüğünde MGM'den alınan verilere göre daha doğru sonuçlar vereceği söylenebilir (Çizelge 4.2).

Bağıl nem değerlerine bakıldığında ise 2015 yılında en nemli ay % 82 ile Ekim ayı iken 2100 yılına gelindiğinde METEONORM verilerine göre en nemli ay Mayıs-Haziran olurken bağıl nem değeri % 75 olmuştur. MGM verilerine göre ise en nemli ay Aralık-Ocak olurken bağıl nem değeri % 82.6 olacaktır. En düşük bağıl nem değeri 2015 yılında % 65 ile Nisan ayı iken, 2100 yılına gelindiğinde METEONORM verilerine göre % 64 ile Aralık ayı en düşük değere sahip olmuştur. MGM verilerine göre ise en düşük bağıl nem % 44.3 ile Temmuz ayıdır. Sonuç olarak iki veri türünde de en nemli aylar 2015 yılına kıyasla değişmiştir (Çizelge 4.2).

Tezin bundan sonraki aşamasında çalışma alanında tespit edilen iklimsel değişikliklerin duvar kesitinde ısı ve nem açısından yol açabileceği sorunların tespiti için ilk olarak elle yapılan hesaplama metodu Glaser kullanılarak 2015 yılı tarihsel periyot ve 2081 yılı gelecek dönem için yoğuşma analizleri yapılmıştır.

4.1.2. Glaser metoduyla yapı kabuklarında iklim değişikliğine göre tarihsel ve gelecek periyotlarda yoğuşma analizleri

TS 825'te duvar kesitlerinin iklim bölgelerine göre yoğuşma hesaplarının nasıl yapılacağı ve difüzyon grafiklerinin çıkartılması anlatılmıştır. TS 825 (2013)'te kullanılan hesap metodu su buharı difüzyonundan dolayı yapı elemanları arasındaki yoğuşma riskinin değerlendirilmesi ile ilgili metod belirlemektedir (TS 825, 2013).

Hesaplamalarda kullanılan giriş verileri aşağıda tanımlanmıştır (TS 825, 2013).

Malzeme özellikleri

Isıl iletkenlik hesap değeri " λ " ve su buharı difüzyon direnç faktörü " μ " " homojen malzemeler için kullanılabilirken, ısı direnç " R " ve su buharı difüzyonu – eş değer hava tabakası kalınlığı " S_d ", öncelikle kompozit mamul veya sistemlerde kullanılır.

Hava tabakaları için R , TS 825’de yer alan Çizelge 2’den alınır. Hava tabakasının S_d değeri kalınlık ve eğimden bağımsız olarak 0,01 m olarak kabul edilir (TS 825, 2013).

-İç ve dış ortam şartları

TS 825’e göre iç ve dış ortam sıcaklıkları için gün derece iklim bölgelerine göre tavsiyeler verilmiştir. Çalışmada ise MGM’den elde edilen 2. İklim bölgesinde yer alan Zonguldak ili için ve 2015 yılının aylık ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerleri kullanılmıştır. İç ortam koşulları için ise TS 825 (2013) standardında tavsiye edilen 23°C sıcaklık ve % 60 bağıl nem değerleri kullanılmıştır.

-Yüzeysel ısı iletim direnci

Yoğuşma tahkiki hesaplamalarında yapı elemanları iç ve dış yüzeylerindeki yüzeysel ısı iletim direnç değerleri için iç yüzey için; $R_i = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ veya $0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$, dış yüzey için $R_e = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ değerleri kullanılmalıdır.

Glaser metodunun uygulandığı duvar kesiti ve katmanları Şekil 4.11’de, katmanların termofiziksel özellikleri ise Çizelge 4.3’te görülmektedir.



Şekil 4.11. Duvar kesiti ve katmanları

Glaser grafik metodları ile duvar kesitlerindeki yapı elemanları arasındaki yoğuşma durumları grafik olarak çizilir. İstenmeyen bir durum olan yoğuşmanın meydana gelme riski, aşağıda tanımlanan metodla tahkik edilmelidir.

Yöntemin uygulaması adımları şöyledir;

1. Glaser yöntemini uygulamak için ilk olarak yapı elemanlarının termofiziksel özellikleri TS 825 Ek H'ye göre bulunur;

Çizelge 4.3. Yapı bileşenlerinin termofiziksel özellikleri

Katman Adı	Katman kalınlığı (d)	Su buharı difüzyon direnci katsayısı (μ)	Difüzyon dengi hava tabakası kalınlığı $S_d = (\mu \cdot d)$	Difüzyon dengi hava tabakası kalınlığı (kümülatif) ($S_{d,T}$)	Isıl iletkenlik hesap değeri (λ)	Yüzeysel ısı iletkenlik direnci, malzemenin ısı direnci (R)	Yüzeysel ısı iletkenlik direnci, malzemenin ısı direnci (kümülatif) (R_T)
	m	-	m	m	W/(m.K)	m ² .K/W	m ² .K/W
İç yüzeyin yüzeysel ısı iletkenlik direnci						0.25	0.25
İç sıva	0.02	15	0.3	0.3	1	0.02	0.27
Gazbeton duvar	0.25	7.9	1.975	2.275	0.13	1.923	2.193

Çizelge 4.3. (devam) Yapı bileşenlerinin termofiziksel özellikleri

Çimento esaslı dış sıva	0.03	25	0.75	3.025	1.2	0.025	2.218
Taş yünü yalıtım	0.04	1	0.04	3.065	0.035	1.1428	3.360
Mineral alçı sıva	0.02	25	0.5	3.565	0.8	0.025	3.385
Dış yüzeyin yüzeysel ısı iletkenlik direnci						0.04	3.425
			$S_{dT} = 3.565$		$1/U = 3.425$		

2. Bir yapı bileşeninin toplam ısı geçirgenlik katsayısı (U), Eşitlik 1'deki denklem göre hesaplanır (TS 825, 2013) (Eş.1).

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} \quad (4.1)$$

Buna göre; $U = 1/3.425 = 0.291 \text{ W/ M}^2 \text{ K}$ 'dir.

Isıl geçirgenlik direnci (R) Eşitlik 2'de belirtildiği gibi, yapı bileşeninin kalınlık (d) değerinin, ısı iletkenlik hesap değerine (λ_h) bölünmesi ile hesaplanır:

Buna göre;

$$R = \frac{d}{\lambda_h} \quad (4.2)$$

Burada;

R : Isıl geçirgenlik direnci ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$),

d : Yapı bileşeninin kalınlığı (m),

λ_h : Isıl iletkenlik hesap değeri (W/m.K) dir.

Buna göre Çizelge 4.3'te yer alan malzemelerin R değerleri hesaplanmıştır.

-Toplam ısı direnci ise şöyle hesaplanır;

$$R_T^1 = R_i + \sum_{j=1}^N R_j + R_e \quad (4.3)$$

$$R_T = 0.25 + 3.135 + 0.04 = 3.425 \text{ (Eş. 3).}$$

3. Çizelge 4.3'te yer alan S_d ve S_{dT} değerleri (TS 825, 2013)'e göre şöyle hesaplanır;

Su buharı difüzyonu (eş değer hava tabakası kalınlığı); bir yapı elemanı katmanının su buharının geçişine gösterdiği dirence eşdeğer direnci gösteren hareketsiz hava tabakasının kalınlığı olarak tanımlanır ve aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır (Eş. 4).

$$S_d = \mu \cdot d \quad (4.4)$$

Burada;

S_d : Su buharı difüzyonu eş değer hava tabakası kalınlığı (m),

μ : Su buharı difüzyon direnci katsayısı (birimsiz),

d : Yapı malzemesi tabakasının kalınlığı (m) dir.

$$S_{d,T}^I = \sum_{j=1}^N S_{d,j} \quad (4.5)$$

Buna göre duvar kesitinin toplam su buharı difüzyon eşdeğer hava tabakası kalınlığı Eşitlik 5'e göre; $S_{dT} = 3.565$ 'dir (Eş. 5).

4. Birim alandaki ısı akış miktarı aşağıdaki eşitlikle verilmiştir (Eş. 6).

$$q = \lambda \frac{\Delta \theta}{d} = \frac{\Delta \theta}{R} \quad (4.6)$$

Başka bir ifadeyle bir duvar kesitinin ısı akış miktarı; $q = U \cdot (\theta_i - \theta_e)$ (Eş. 7) ile ifade edilir ve sıcaklık farkı her ay için değişeceğinden hesap yapılacak her ay için ayrı ayrı hesaplanması gerekir.

Bu hesabın yapılabilmesi için MGM'den 2015 yılına ait 8 adet istasyonun (Devrek/17613, Çaycuma Havalimanı/17023, Alaplı/18265, Gökçebey/18267, Acısu Tepesi Radar Sahası/17018, Güney Mendirek Feneri/17453, 17022, Ereğli/17611) aylık ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerleri Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Zonguldak ili 2015 yılı aylık ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerleri (MGM verileri)

ORTALAMA DEĞERLER	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN
ORT. SICAKLIK (°C)	4.2°C	9.7°C	9.8°C	14.5°C	15.9°C	21.45°C
ORT. BAĞIL NEM (%)	82	75	72	66	80	75
	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
ORT. SICAKLIK (°C)	22.8°C	23.7°C	18.9°C	14.5°C	11.8°C	5.57°C
ORT. BAĞIL NEM (%)	76	80	77	84	75	79

İç ortam sıcaklığı ve bağıl nem değerleri ise TS 825 ve ASHRAE 170 standardında tavsiye edilen değerler olarak belirlenmiştir. Buna göre Ocak ayı ve diğer aylar için ısı akış yoğunluğu ile yüzey sıcaklıkları hesapları yapılmıştır (TS 825, 2013).

5. Glaser yönteminde yapı elemanlarının yüzey sıcaklıkları hesaplama formülleri şöyledir;

Bir yapı bileşeninin, dış yüzey sıcaklığı (θ_{yd}) Eşitlik 7'ye göre hesaplanır.

$$\theta_{yd} = \theta_e + R_e \cdot q \quad (4.7)$$

Burada ;

θ_{yd} : Dış yüzey sıcaklığı (°C),

R_e : Dış yüzeyin yüzeysel ısıl geçirgenlik direnci,

q : Isı akış yoğunluğu (W/m^2) dir.

- Bir yapı bileşeninin iç yüzey sıcaklığı (θ_{yi}), Eşitlik 8'e göre hesaplanır.

$$\theta_{yi} = \theta_i - R_i \cdot q \quad (4.8)$$

Burada ;

θ_{yi} : İç yüzey sıcaklığı ($^{\circ}C$),

R_i : İç yüzeyin yüzeysel ısıl geçirgenlik direnci,

q : Isı akış yoğunluğu (W/m^2) dir.

Malzemeler arasındaki her bir ara yüzey için sıcaklık değeri aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanır (TS 825, 2013) (Eş. 9).

$$\theta_1 = \theta_{yi} - R_1 \cdot q \quad (4.9)$$

$$\theta_2 = \theta_1 - R_2 \cdot q$$

$$\theta_n = \theta_{n-1} - R_n \cdot q$$

Bu formüllere göre Ocak ayı için ısı akış yoğunluğu, yüzey sıcaklıkları hesapları şu şekildedir;

-Isı akış yoğunluğu: $q = 0.289 \cdot (23-4.2)$; $q = 5.470$

- $\theta_{yd} = \theta_e + R_e \cdot q$ $\theta_{yd} = 4.2 + (0.04 \times 5.470) = 4.41$ C

- $\theta_{yi} = \theta_i - R_i \cdot q$ $\theta_{yi} = 23 - (0.25 \times 5.470) = 21.63$ C

-1.ara yüzey sıcaklığı için;

$\theta_1 = \theta_{yi} - R_1 \cdot q$ $\theta_1 = 21.63 - (0.02 \times 5.470) = 21.52$ C

-2.ara yüzey sıcaklığı için;

$\theta_2 = \theta_1 - R_2 \cdot q$ $\theta_2 = 21.52 - (1.923 \times 5.470) = 11$ C

-3.ara yüzey sıcaklığı için;

$\theta_3 = \theta_2 - R_3 \cdot q$ $\theta_3 = 11 - (0.025 \times 5.470) = 10.86$ C

-4.ara yüzey sıcaklığı için;

$\theta_4 = \theta_3 - R_4 \cdot q$ $\theta_4 = 10.86 - (1.1428 \times 5.470) = 4.60$ C

6. Diğer aylardaki dış-iç yüzey ve ara yüzey sıcaklıkları da aynı şekilde hesaplanır ve daha sonra sıcaklıklara eş değer su buharı doyma basınçları TS 825'te yer alan Çizelge 1'den veya şu formüllerle hesaplanır; (TS 825, 2013), (Çizelge 4.5) (Eş. 10).

$$p_s = 610,5e^{\frac{21,875.\theta}{265,5+\theta}} \quad \theta < 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$p_{s=610,5e^{\frac{17,269.\theta}{265,5+\theta}}} \quad \theta \geq 0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.10)$$

-Kısmi su buharı basıncı ise bağıl nem ile alakalı bir değer olup şu eşitlikle hesaplanır (Eş. 11).

$$\varphi = \frac{p}{p_s} \quad (4.11)$$

Burada;

P: Kısmi su buharı basıncı (Pa),

φ : Bağıl nem (Birimsiz),

P_s : “ θ ” sıcaklığındaki, doymuş su buharı basıncı (Pa)’dır.

Çalışmada yukarıda bahsedilen formüller Excel’e işlenerek her aya ve her yüzeye ait su buharı doyma basınçları ile kısmi su buharı basınçları hesaplanarak tabloya dönüştürülmüştür (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. Excel’de yapılan buhar basınçları hesapları

Eylül Ayı												
1.sayı	2.sayı	Carpim	1. sayı	2.sayı	Toplam	1. sayı	2. sayı	Bölüm	E Üssü	1. sayı	E Üssü	Çarpım
17,27	13,90	240,04	237,30	13,90	251,20	240,04	251,20	0,96	2,60	610,50	2,60	1587,39
17,27	14,00	241,77	237,30	14,00	251,30	241,77	251,30	0,96	2,62	610,50	2,62	1597,73
17,27	14,14	244,18	237,30	14,14	251,44	244,18	251,44	0,97	2,64	610,50	2,64	1612,30
17,27	17,15	296,16	237,30	17,15	254,45	296,16	254,45	1,16	3,20	610,50	3,20	1955,13
17,27	17,22	297,37	237,30	17,22	254,52	297,37	254,52	1,17	3,22	610,50	3,22	1963,81
17,27	22,28	384,75	237,30	22,28	259,58	384,75	259,58	1,48	4,40	610,50	4,40	2687,84
17,27	22,34	385,79	237,30	22,34	259,64	385,79	259,64	1,49	4,42	610,50	4,42	2697,66
17,27	23,00	397,19	237,30	23,00	260,30	397,19	260,30	1,53	4,60	610,50	4,60	2807,81

Çizelge 4.5. (devam) Excel’de yapılan buhar basınçları hesapları

Ekim Ayı												
1.sayı	2.sayı	Carpım	1. sayı	2.sayı	Toplam	1. sayı	2. sayı	Bölüm	E Üssü	1. sayı	E Üssü	Çarpım
17,27	9,10	157,15	237,30	9,10	246,40	157,15	246,40	0,64	1,89	610,50	1,89	1155,23
17,27	9,24	159,57	237,30	9,24	246,54	159,57	246,54	0,65	1,91	610,50	1,91	1166,19
17,27	10,54	182,02	237,30	10,54	247,84	182,02	247,84	0,73	2,08	610,50	2,08	1272,43
17,27	14,77	255,06	237,30	14,77	252,07	255,06	254,45	1,00	2,72	610,50	2,72	1663,51
17,27	14,87	256,79	237,30	14,87	252,17	256,79	252,17	1,02	2,77	610,50	2,77	1690,20
17,27	21,99	379,75	237,30	21,99	259,29	379,75	259,29	1,46	4,33	610,50	4,33	2640,80
17,27	22,07	381,13	237,30	22,07	259,37	381,13	259,37	1,47	4,35	610,50	4,35	2653,70
17,27	23,00	397,19	237,30	23,00	260,30	397,19	260,30	1,53	4,60	610,50	4,60	2807,81

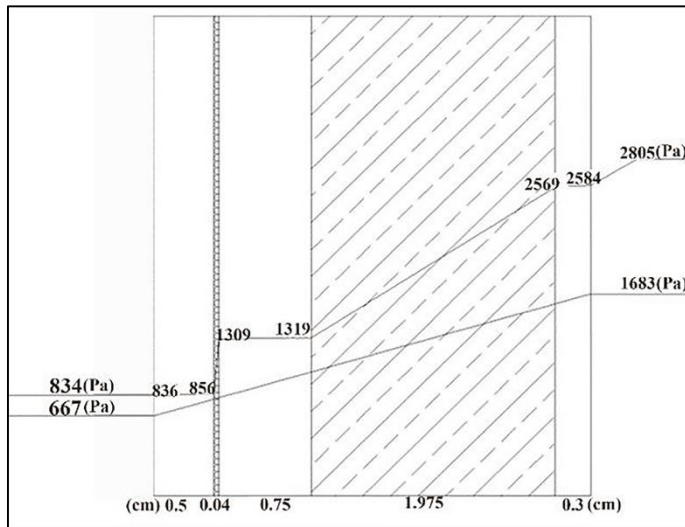
Çizelge 4.6. Zonguldak ili 2015 yılı MGM verilerine göre su buharı doyma ve kısmi basınçları

AYLAR	$\theta_{dış}$	$\theta_{yd} = \theta_d + Re_{.q}$	θ_4	θ_3	θ_2	θ_1	$\theta_{yi} = \theta_i - R_{i.q}$	$\theta_{iç}$	
OCAK	834	836	856	1309	1319	2569	2584	2805	DOYMUŞ SU BUHARI BASINCI
								1683	KISMİ BUHAR BASINCI
ŞUBAT	1202	1214	1234	1647	1657	2634	2647	2805	DOYMUŞ SU BUHARI BASINCI
	901.5							1683	KISMİ BUHAR BASINCI
MART	1209	1222	1245	1656	1666	2636	2649	2805	DOYMUŞ SU BUHARI BASINCI
	870							1683	KISMİ BUHAR BASINCI
NİSAN	1649	1659	1677	2004	2014	2695	2703	2805	DOYMUŞ SU BUHARI BASINCI
	1088							1683	KISMİ BUHAR BASINCI
MAYIS	1804	1813	1828	2120	2126	2711	2719	2805	DOYMUŞ SU BUHARI BASINCI
	1443							683	KISMİ BUHAR BASINCI
HAZİRAN	2553	2556	2551	2631	2634	2771	2788	2805	DOYMUŞ SU BUHARI BASINCI
	1914							1683	KISMİ BUHAR BASINCI
TEMMUZ	2774	2771	2774	2785	2785	2802	2802	2805	DOYMUŞ SU BUHARI BASINCI
	2108							1683	KISMİ BUHAR BASINCI
AĞUSTOS	2928	2925	2928	2887	2887	2822	2813	2805	DOYMUŞ SU BUHARI BASINCI
	2342							1683	KISMİ BUHAR BASINCI
EYLÜL	2173	2186	2202	2395	2397	2755	2758	2805	DOYMUŞ SU BUHARI BASINCI
	1673							1683	KISMİ BUHAR BASINCI

Çizelge 4.6. (devam) Zonguldak ili 2015 yılı MGM verilerine göre su buharı doyma ve kısmi basınçları

EKİM	1649	1659	1677	2004	2014	2695	2703	2805	DOYMUŞ SU BUHARI BASINCI
	1385							1683	KISMİ BUHAR BASINCI
KASIM	1383	1393	1414	1795	1806	2660	2671	2805	DOYMUŞ SU BUHARI BASINCI
	1037							1683	KISMİ BUHAR BASINCI
ARALIK	907	918	940	1387	1398	2584	2600	2805	DOYMUŞ SU BUHARI BASINCI
	716							1683	KISMİ BUHAR BASINCI

MGM'den 2015 yılına ait 8 adet istasyonun (Devrek/17613,Çaycuma Havalimanı/17023, Alaplı/18265, Gökçebey/18267, Acısu Tepesi Radar Sahası/17018, Güney Mendirek Feneri/17453, 17022, Ereğli/17611) aylık ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerleri kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda Çizelge 4.6'ya göre buhar difüzyon grafikleri çıkartılmıştır.



Şekil 4.12. Difüzyon eşdeğer hava tabakası kalınlığına göre duvar kesitinin difüzyon grafiği

Şekil 4.13'te görüldüğü gibi MGM'den alınan veriler doğrultusunda Zonguldak ilinin 2015 yılı aylık ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerleri doğrultusunda oluşturulan difüzyon grafiklerine göre herhangi bir yoğuşma tespit edilmemiştir. Daha sonra 2081 yılı tüm aylar için buhar difüzyon grafikleri çizilmiştir. 2015 yılı için doymuş buhar ve kısmi buhar basıncı değerleri hiçbir zaman kesişmemiş, ancak Ocak ayında kesişmeye en çok yaklaşmışlardır.

2015 yılına ait Zonguldak ili için oluşturulan difüzyon grafiklerinden sonra MGM'den GFDL, MPI ve HadGEM küresel iklim modellerine ait RCP 8.5 senaryosuna göre 2081 yılına ait aylık ortalama sıcaklık ve aylık ortalama bağıl nem değerleri elde edilmiştir (Çizelge 4.7). Bunun için Şekil 4.13'de gösterilen duvar kesit ve katmanları aynı olmak üzere ısı akış yoğunlukları, yüzey sıcaklıkları ve doymuş ve kısmi buhar basınçları tekrar hesaplanmıştır.

Çizelge 4.7. MPI, HadGEM ve GFDL küresel iklim modellerinin Zonguldak ili 2081 yılı aylık ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerleri (MGM verileri)

GCMs	ORT. DEĞERLER	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN
MPI	ORT. SICAKLIK (°C)	4°C	4.4°C	8.4°C	15.4°C	20°C	26.1°C
	ORT. B. NEM %	88.9	83.7	72.2	61.9	46.5	32.4
		TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
	ORT. SICAKLIK (°C)	25.9°C	23.3°C	18.7°C	16.5°C	12.4°C	9°C
	ORT. B. NEM %	38	46	68.7	75.8	61.2	78.8
HadGEM		OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN
	ORT. SICAKLIK (°C)	10.8°C	9.9°C	10.5°C	18.4°C	20.7°C	26.5°C
	ORT. B. NEM %	76.1	80.4	84.6	49.5	57.5	54.6
		TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
	ORT. SICAKLIK (°C)	30.8°C	28.6°C	20.8°C	14.2°C	9.6°C	5.1°C
	ORT. B. NEM %	33.2	36.5	56	69.7	86.9	87.2
		OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN
GFDL	ORT. SICAKLIK (°C)	3.6°C	8.2°C	5.8°C	9.9°C	15°C	21.1°C
	ORT. B. NEM %	70.7	78.2	78.6	84.5	61.2	45.4
		TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
	ORT. SICAKLIK (°C)	22°C	21.1°C	17.3°C	12.3°C	7.4°C	4.4°C
	ORT. B. NEM %	72.3	64.6	68.8	84.4	82.9	87.5

MGM'den alınan veriler kullanılarak MPI, GFDL ve HadGem küresel iklim modellerine ait 2081 yılı ve Zonguldak ili için elde edilen aylık ortalama sıcaklık ve bağıl nem verileri kullanılarak her aya ait ısı akış yoğunluğu, yüzey sıcaklıkları ve bunlara karşılık gelen su buharı doyma basınçları ile kısmi buhar basınçları hesaplanmıştır (Çizelge 4.8), (Çizelge 4.9), (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.8. MPI küresel iklim modeline ait Zonguldak gridlerinde yer alan istasyon 3329'un 2081 yılına ait aylık ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerlerine göre oluşturulmuş yüzey ve ortam sıcaklık dağılımı ile bu değerlere ait doymuş su buharı ve kısmi su buharı değerleri

AYLAR	$q = U \cdot (\theta_i - \theta_e)$	$\theta_{dış}$	$\theta_{yd} = \theta_d + Re \cdot q$	θ_4	θ_3	θ_2	θ_1	$\theta_{yi} = \theta_i - Ri \cdot q$	$\theta_{iç}$
OCAK	5.529	4	4.22	4.40	10.72	10.86	21.50	21.61	23
<i>Doymuş Buhar Basıncı</i>		812	825	836	1287	1299	2563	2580	2807
<i>Kısmi Buhar Basıncı</i>		722							1684
ŞUBAT	5.412	4.4	4.61	4.79	10.98	11.12	21.53	21.64	23
<i>Doymuş Buhar Basıncı</i>		836	848	859	1310	1322	2567	2584	2807
<i>Kısmi Buhar Basıncı</i>		700							1684
MART	4.248	8.4	8.56	5.51	10.37	10.48	18.66	18.75	23
<i>Doymuş Buhar Basıncı</i>		1101	1113	898	1258	1267	2150	2164	2807
<i>Kısmi Buhar Basıncı</i>		794							1684
NİSAN	2.211	15.4	15.48	15.54	18.07	18.13	22.39	22.44	23
<i>Doymuş Buhar Basıncı</i>		1748	1757	1764	2071	2079	2705	2714	2807
<i>Kısmi Buhar Basıncı</i>		1082							1684
MAYIS	0.873	20	20.03	20.05	21.05	21.08	22.76	22.78	23
<i>Doymuş Buhar Basıncı</i>		2336	2341	2344	2493	2497	2767	2770	2807
<i>Kısmi Buhar Basıncı</i>		1086							1684
HAZİRAN	-0.902	26.01	26.08	26.01	24.98	24.96	23.23	23.22	23
<i>Doymuş Buhar Basıncı</i>		3379	3375	3361	3162	3158	2847	2845	2807
<i>Kısmi Buhar Basıncı</i>		1094							1684
TEMMUZ	-0.843	25.9	25.86	25.82	24.86	24.84	23.22	23.21	23
<i>Doymuş Buhar Basıncı</i>		3339	3331	3323	3139	3135	2845	2843	2807
<i>Kısmi Buhar Basıncı</i>		1268							1684
AĞUSTOS	-0.087	23.3	23.29	23.27	23.18	23.18	23.02	23.02	23
<i>Doymuş Buhar Basıncı</i>		2859	2857	2853	2838	2838	2811	2811	2807
<i>Kısmi Buhar Basıncı</i>		1315							1684
EYLÜL	1.251	18.7	18.75	18.77	20.20	20.24	22.65	22.68	23
<i>Doymuş Buhar Basıncı</i>		2155	2162	2164	2366	2371	2748	2753	2807
<i>Kısmi Buhar Basıncı</i>		1480							1684
EKİM	1.891	16.5	16.57	16.21	18.38	18.43	22.48	22.52	23
<i>Doymuş Buhar Basıncı</i>		1876	1884	1841	2112	2119	2720	2727	2807
<i>Kısmi Buhar Basıncı</i>		1422							1684
KASIM	3.084	12.4	12.52	12.60	16.13	16.21	22.15	22.22	23
<i>Doymuş Buhar Basıncı</i>		1439	1450	1458	1832	1841	2666	2678	2807
<i>Kısmi Buhar Basıncı</i>		881							1684
ARALIK	4.074	9	9.16	9.28	13.94	14.05	21.89	21.98	23
<i>Doymuş Buhar Basıncı</i>		1147	1159	1169	1594	1602	2624	2639	2807
<i>Kısmi Buhar Basıncı</i>		903							1684

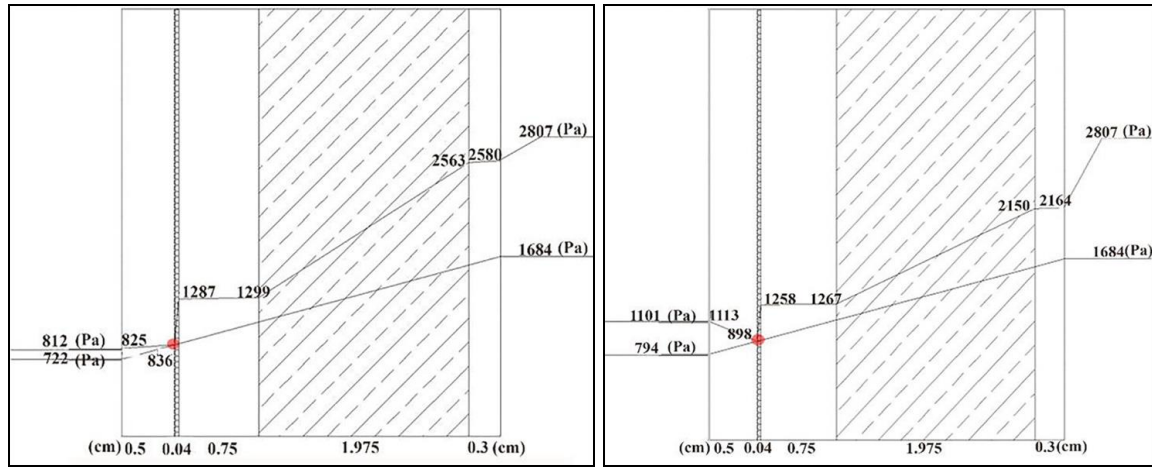
Çizelge 4.9. GFDL küresel iklim modeline ait Zonguldak gridlerinde yer alan istasyon 3329'un 2081 yılına ait aylık ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerlerine göre oluşturulmuş yüzey ve ortam sıcaklık dağılımı ile bu değerlere ait doymuş su buharı ve kısmi su buharı değerleri

AYLAR	$q = U \cdot (\theta_i - \theta_e)$	$\theta_{outdoor}$ Env.	$\theta_{yd} = \theta_d$ $+ R_e \cdot q$	θ_4	θ_3	θ_2	θ_1	$\theta_{yi} = \theta_i$ $- R_i \cdot q$	θ_{indoor} Env.
OCAK	5.645	3.6	3.82	4	10.45	10.6	21.46	21.58	23
Doymuş Buhar Basıncı		790	802	812	1264	1277	2556	2577	2807
Kısmi Buhar Basıncı		558							1684
ŞUBAT	4.306	8.2	8.37	8.5	13.43	13.54	21.83	21.92	23
Doymuş Buhar Basıncı		1086	1099	1109	1539	1550	2615	2629	2807
Kısmi Buhar Basıncı		849							1684
MART	5.00	5.8	6	6.15	11.87	12	21.63	21.74	23
Doymuş Buhar Basıncı		921	934	944	1389	1401	2583	2600	2807
Kısmi Buhar Basıncı		724							1684
NİSAN	3.812	9.9	10.15	10.26	14.59	14.69	21.97	22.05	23
Doymuş Buhar Basıncı		1227	1239	1248	1659	1670	2637	2650	2807
Kısmi Buhar Basıncı		1036							1684
MAYIS	2.328	15	15.09	15.15	17.82	17.88	22.36	22.41	23
Doymuş Buhar Basıncı		1704	1714	1720	2039	2047	2700	2709	2807
Kısmi Buhar Basıncı		1042							1684
HAZİRAN	0.552	21.1	21.12	21.11	21.75	21.77	22.84	22.86	23
Doymuş Buhar Basıncı		2500	2503	2502	2602	2605	2780	2784	2807
Kısmi Buhar Basıncı		1135							1684
TEMMUZ	0.291	22	22.01	22	22.34	22.35	22.91	22.92	23
Doymuş Buhar Basıncı		2642	2644	2642	2697	2699	2792	2794	2807
Kısmi Buhar Basıncı		1910							1684
AĞUSTOS	0.552	21.1	21.12	21.11	21.75	21.77	22.84	22.86	23
Doymuş Buhar Basıncı		2500	2503	2502	2602	2605	2780	2784	2807
Kısmi Buhar Basıncı		1135							1684
EYLÜL	1.658	17.3	17.36	17.4	19.3	19.35	22.54	22.58	23
Doymuş Buhar Basıncı		1973	1981	1986	2237	2244	2730	2737	2807
Kısmi Buhar Basıncı		1357							1684
EKİM	3.113	12.3	12.42	12.52	16.08	16.16	22.15	22.22	23
Doymuş Buhar Basıncı		1429	1441	1450	1826	1835	2666	2678	2807
Kısmi Buhar Basıncı		1206							1684
KASIM	4.539	7.4	7.58	7.72	12.91	13.03	21.76	21.86	23
Doymuş Buhar Basıncı		1029	1041	1051	1488	1499	2604	2619	2807
Kısmi Buhar Basıncı		853							1684
ARALIK	5.412	4.4	4.61	4.79	10.98	11.12	21.53	21.64	23
Doymuş Buhar Basıncı		836	848	859	1310	1322	2567	2584	2807
Kısmi Buhar Basıncı		732							1684

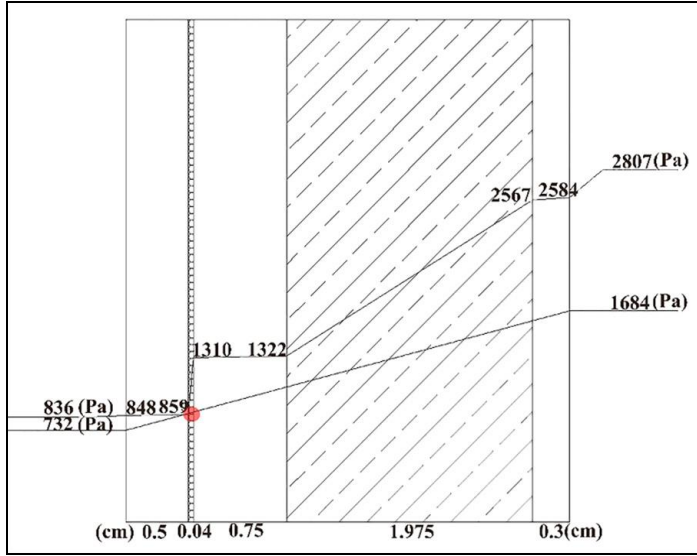
Çizelge 4.10. HadGEM küresel iklim modeline ait Zonguldak gridlerinde yer alan istasyon 3329'un 2081 yılına ait aylık ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerlerine göre oluşturulmuş yüzey ve ortam sıcaklık dağılımı ile bu değerlere ait doymuş su buharı ve kısmi su buharı değerleri

AYLAR	$q = U \cdot (\theta_i - \theta_e)$	$\theta_{outdoor}$ Env.	$\theta_{yd} = \theta_d + Re \cdot q$	θ_4	θ_3	θ_2	θ_1	$\theta_{yi} = \theta_i - Ri \cdot q$	θ_{indoor} Env.
OCAK	3.550	10.8	10.94	11.14	15.17	15.26	22.04	22.11	23
Doymuş Buhar Basıncı		1294	1306	1324	1723	1733	2648	2660	2807
Kısmi Buhar Basıncı		983							1684
ŞUBAT	3.812	9.9	10.15	10.26	14.59	14.69	21.97	22.05	23
Doymuş Buhar Basıncı		1219	1239	1248	1659	1670	2637	2650	2807
Kısmi Buhar Basıncı		980							1684
MART	3.637	10.5	10.64	10.75	14.91	15.01	22.01	22.09	23
Doymuş Buhar Basıncı		1269	1280	1290	1694	1705	2644	2656	2807
Kısmi Buhar Basıncı		1073							1684
NİSAN	1.338	18.4	18.45	18.48	20.01	20.05	22.63	22.66	23
Doymuş Buhar Basıncı		2115	2121	2125	2338	2344	2745	2750	2807
Kısmi Buhar Basıncı		1046							1684
MAYIS	0.669	20.7	20.72	20.73	21.50	21.52	22.81	22.83	23
Doymuş Buhar Basıncı		2440	2443	2444	2562	2566	2775	2779	2807
Kısmi Buhar Basıncı		1403							1684
HAZİRAN	-1.0185	26.5	26.45	26.40	25.24	25.22	23.27	23.25	23
Doymuş Buhar Basıncı		3460	3449	3439	3211	3207	2853	2850	2807
Kısmi Buhar Basıncı		1889							1684
TEMMUZ	-2.269	30.8	30.7	30.60	28.01	27.96	23.60	23.56	23
Doymuş Buhar Basıncı		4438	4413	4388	3779	3768	2911	2904	2807
Kısmi Buhar Basıncı		1473							1684
AĞUSTOS	-1.629	28.6	28.53	28.46	26.60	26.56	23.43	23.40	23
Doymuş Buhar Basıncı		3911	3895	3880	3480	3472	2881	2876	2807
Kısmi Buhar Basıncı		1427							1684
EYLÜL	0.640	20.8	20.82	20.82	21.56	21.58	22.82	22.84	23
Doymuş Buhar Basıncı		2455	2458	2458	2572	2575	2777	2780	2807
Kısmi Buhar Basıncı		1374							1684
EKİM	2.560	14.2	14.30	14.36	17.29	17.36	22.29	22.35	23
Doymuş Buhar Basıncı		1618	1656	1635	1972	1981	2689	2699	2807
Kısmi Buhar Basıncı		1127							1684
KASIM	3.899	9.6	9.75	9.88	14.34	14.44	21.94	22.02	23
Doymuş Buhar Basıncı		1194	1206	1217	1633	1643	2632	2645	2807
Kısmi Buhar Basıncı		1037							1684
ARALIK	5.208	5.1	5.30	5.46	11.42	11.56	21.58	21.69	23
Doymuş Buhar Basıncı		878	890	900	1349	1361	2575	2592	2807
Kısmi Buhar Basıncı		765							1684

Çizelge 4.8, 4.9 ve 4.10'a göre MPI, GFDL ve HadGEM küresel modellerine ait veriler kullanılarak hesaplanan kısmi ve doymuş su buharı basınç değerlerine göre her ay için difüzyon grafikleri çıkartılmıştır. Buna göre 2015'te yoğunlaşma riski bulunmamakla beraber GFDL ve MPI iklim modellerine göre 2081 yılında bir risk bulunmaktadır. Yine, bu riskler farklıdır ve risk seviyesini belirlemek için yoğunlaşma kütlesi hesaplanmalıdır. Bu arada, HadGEM iklim modeli çıktısına göre herhangi bir risk bulunmamaktadır. Şekil 4.13'te gösterildiği gibi, Ocak ve Mart 2081'de duvar bölümü için yalıtım katmanında yoğunlaşma meydana gelmiştir. Bu durumda yoğunlaşan ve buharlaşan su miktarı hesaplanmalı ve duvar bölümündeki katmanların ne kadar zarar göreceği ve bunun standartta belirtilen miktarı aşmayacağı kontrol edilmelidir. Benzer şekilde Aralık 2081'de GFDL modeline göre yalıtım katmanında yoğunlaşma riski bulunmaktadır (Şekil 4.14). Son olarak, GFDL ve MPI model çıktılarına göre 2081 yılında duvar katmanında farklı seviyelerde su kütlesi yoğunlaşmıştır. Ayrıca, yoğunlaşma riski GFDL'ye göre bir ayda, MPI modeline göre ise iki ayda gerçekleşmektedir. İklim modellerinin sonuçlarına göre farklı seviyelerdeki yoğunlaşma suyu kütlelerinin sınır değere ulaşip ulaşmadığının belirlenmesi için standarda uygun hesaplamaların yapılması gerekmektedir.



Şekil 4.13. MPI modelinin Ocak ve Mart 2081 için difüzyon eşdeğer hava tabakasının kalınlığına göre duvar kesiti yoğunlaşma grafikleri



Şekil 4.14. GFDL modelinin Aralık 2081 için difüzyon eşdeğer hava tabakasının kalınlığına göre duvar kesiti yoğuşma grafiği

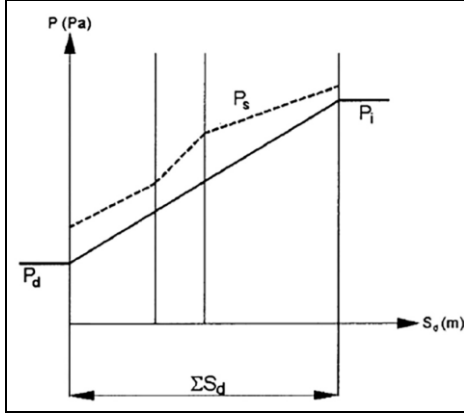
Yoğuşmanın, tahmin edildiği ilk aydan başlayarak, ortalama aylık dış şartlar, yılın her bir ayı için yoğuşma veya buharlaşma miktarının hesaplanmasında kullanılır. Yoğuşmanın meydana geldiği bu ayların sonunda biriken yoğuşma suyu miktarı ile yılın geri kalan bölümündeki buharlaşma miktarı karşılaştırılır. Tek boyutlu, kararlı rejim şartları kabul edilir. Yapı elemanları içerisinde olan hava hareketleri ele alınmaz. Aşağıda verilen eşitlikle (Eş. 12), nem geçişinin sadece su buharı difüzyonundan olduğu kabul edilir (TS 825, 2013).

$$g = \frac{\delta_0 \Delta p}{\mu \Delta x} = \delta_0 \frac{\Delta p}{s_d}$$

$$\delta_0 = 2 \times 10^{-10} \text{ kg/(m.s. Pa) 'dır.} \quad (4.12)$$

Yapı bileşeni içerisindeki buhar akış miktarı (debi) Eşitlik 13 ile hesaplanır (Şekil 4.17).

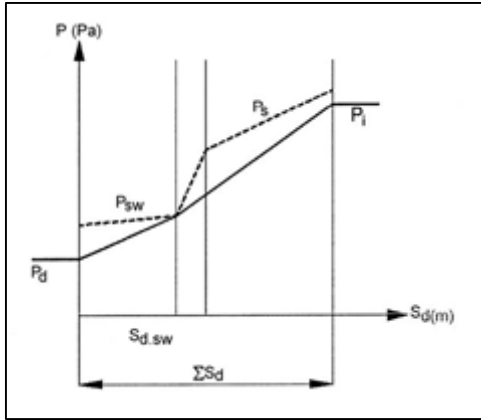
$$g = \delta_0 \times \frac{p_i - p_d}{s_{dT}} \quad (4.13)$$



Şekil 4.15. İçerisinde herhangi bir yoğuşmanın olmadığı çok katmanlı bir yapı elemanında buhar difüzyonu (TS 825, 2013)

Yoğuşma miktarı, taşınan nem miktarı ile yoğuşmanın olduğu ara yüzeyden taşınan nem miktarı arasındaki farktır (Eş. 14).

$$g_{sw} = \delta_0 \frac{p_i - p_{sw}}{s_{dT} - s_{d,sw}} - \frac{p_{sw} - p_d}{s_{d,sw}} \quad (4.14)$$



Şekil 4.16. Yoğuşma miktarı hesabı (TS 825, 2013)

Şekil 4.16'ya kadar verilen eşitliklerde 1 saniyedeki yoğuşma miktarını vermekte olup aylık yoğuşma miktarını bulmak için elde edilen miktarın saniye cinsinden 1 ay'lık süre ile çarpılması gerekmektedir. Bu süre daha önce ısı yalıtım hesaplarında kullanılan zaman ile aynıdır ($t = 86400 \times 30$) Aylık su miktarı hesaplama formülü (TS 825, 2013)'te geçtiği üzere Eşitlik 15'te verilmiştir.

$$m_y = g \times t \text{ (kg/m}^2\text{)} \quad (4.15)$$

Burada;

m_y : Yoğuşan ve/veya buharlaşan suyun miktarı (kütlesi),

g : 1 saniyede yoğuşan ve/veya buharlaşan suyun miktarı (kütlesi),

t : Saniye olarak 1 aylık zaman (86400 x 30)'dır.

Bu formüllere göre 2081 yılı MPI modeli çıktılarına göre Ocak ayında meydana gelen buhar akış miktarı hesaplanmalıdır.

Şekil 4.13'e göre 2081 yılı MPI modeli çıktılarına göre Ocak ayı için yoğuşan suyun kütlesi hesabı şöyledir;

$$g = \delta o \times (P_i - P_{sw}/S_{dT} - S_{d,sw}) - (P_{sw} - P_d/S_{d,sw})$$

$$g = 2 \times 10^{-10} \times (1684 - 836/3.025) - (836 - 722/0.54) = 280.330 - 211.111 = 69.219 \times 2 \times 10^{-10} = 1.38438935 \times 10^{-8}$$

Toplam yoğuşan suyun kütlesi;

$$m_y = g \times t \text{ (1 aylık zaman (86400 x 30))}$$

$$m_y = 1.38438935 \times 10^{-8} \times 86400 \times 30 = 0.0358833719 \text{ kg/m}^2 \text{ olarak bulunur.}$$

Şekil 4.13'e göre 2081 yılı MPI modeli çıktılarına göre Mart ayı için yoğuşan suyun kütlesi hesabı şöyledir;

$$g = \delta o \times (P_i - P_{sw}/S_{dT} - S_{d,sw}) - (P_{sw} - P_d/S_{d,sw})$$

$$g = 2 \times 10^{-10} \times (1684 - 898/3.025) - (898 - 794/0.54) = 259.834 - 192.592 = 67.2421181 \times 2 \times 10^{-10} = 1.34484236 \times 10^{-8}$$

Toplam yoğuşan suyun kütlesi;

$$m_y = g \times t \text{ (1 aylık zaman (86400 x 30))}$$

$$m_y = 1.34484236 \times 10^{-8} \times 86400 \times 30 = 0.03485831402 \text{ kg/m}^2 \text{ olarak bulunur.}$$

Şekil 4.14'e göre GFDL modeli için Aralık 2081'de yoğunlaşan su kütlesinin hesaplanması aşağıdaki gibidir:

$$g = \delta o \times (P_i - P_{sw} / S_{dT} - S_{d,sw}) - (P_{sw} - P_d / S_{d,sw})$$

$$g = 2 \times 10^{-10} \times (1684 - 859 / (3.565 - 0.54)) - (859 - 732 / 0.54) = 272.72 - 235.185 = 37.5420875 \times 2 \times 10^{-10} = 7.5084175 \times 10^{-9}$$

Toplam yoğunlaşan suyun kütlesi;

$$m_y = g \times t \text{ (1 month of time (86400 x 30))}$$

$$m_y = 7.5084175 \times 10^{-9} \times 86400 \times 30 = 0.01946181816 \text{ kg/m}^2$$

2081 yılı GFDL modeli çıktılarına göre Aralık ayında toplam olarak yoğunlaşan su 0.01946181816 kg/m² olarak bulunur.

2081 yılı MPI modeli çıktılarına göre Ocak ve Mart aylarında toplam olarak yoğunlaşan su 0.07074168592 kg /m² olarak bulunur.

Sonuçlar incelendiğinde, diğer aylarda yoğunlaşma olmadığı ve yoğunlaşan su miktarının standartta belirtilen 1 kg/m² sınır değerinden az olduğu için kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu görülmektedir.

Yoğunlaşma analizleri sonuçlarına göre, üç iklim modelinin öngörülleri doğrultusunda yapılan 2015 ve 2081 yıllarına ait gelecek projeksiyonları karşılaştırıldığında, ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerlerindeki değişimler modellerde farklı sonuçların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Ancak her durumda 2015 yılına kıyasla sıcaklık açısından ortalama değerlerde genel bir artış, bağıl nem açısından ise düzensiz tepe noktaları gözlenmiştir. Tüm bu ortalama değişimlerin duvar bölümünde yoğunlaşma riskini artırdığını gösteren 2081 yılı projeksiyonlarına göre duvar bölümünde yoğunlaşma riski (MPI ve GFDL) iki iklim modelinde de gözlemlenmiştir.

Sonuçlara göre, yaz sıcaklığındaki artış ve yağışlardaki azalma projeksiyonları, Akdeniz bölgesinin yirmi birinci yüzyılda iklim değişikliğinin sıcak noktalarından biri olacağına

işaret etmektedir. Çalışmanın yürütüldüğü bölgedeki gelecek projeksiyonlarında, sıcak mevsimlerde ortalama sıcaklıkların artacağı ve yağışların azalacağı öngörülmektedir.

Çizelge 4.8-4.10 sonuçları karşılaştırıldığında ise iklim değişikliği açısından bulunan bulgular;

2081 yılı için MPI ve HadGEM tahminlerine göre ortalama sıcaklıkların 2015 yılına göre arttığı, GFDL modeline göre ise ortalama olarak azaldığı görülmektedir. Bağıl nem ise 2015 yılında %70-85 arasında değişip yıl boyunca ortalama %76 civarında seyrederken, 2081 yılında her üç GCM için de yıl boyunca 2015 yılındaki gibi benzer bir seviyede olmayıp dalgalanma göstermiştir. Sonuç olarak, GFDL model sonuçları 2015 ortalamalarına en yakınken, diğer iki modelin tahminleri ortalama sıcaklık açısından daha yüksek, ortalama bağıl nem açısından ise daha düşüktür. Ayrıca, 2015 yılında en soğuk ay Ocak iken, 2081 yılında en soğuk ay HadGEM iklim modelinde Aralık, diğer iki modelde ise Ocak ayıdır. 2015'teki en sıcak ay Ağustos iken, 2081'deki en sıcak ay GFDL ve HadGEM için Temmuz, MPI için Haziran'dır. Dolayısıyla, gelecekte en sıcak ay Ağustos'tan Haziran ve Temmuz'a kaymaktadır. Bağıl nem açısından en yüksek yüzde Ekim 2015'te gözlenirken, Aralık ve Ocak 2081'de ayların değiştiğini göstermektedir. En düşük bağıl nem Nisan 2015'te gözlenirken, bu değerler ortalama olarak azalmış ve aylar açısından değişerek 2081 yılında Haziran ve Temmuz ayları olmuştur.

4.2. Yapı Kabuklarının WUFI-PRO 6.7 ile Higrotermal Performans Değerlendirmesi

Bu bölümde belirli kabuller doğrultusunda oluşturulan yapı kabukları senaryolarının 2015-2020 dönemi ile 2100-2105 dönemleri için WUFI Pro 6.7 ile higrotermal analizleri yapılmıştır.

4.2.1. Higrotermal performans değerlendirmesinde kullanılan standart, kılavuzlar ve sınır değerler

Tez çalışmasında toplamda 5 farklı değerlendirme yapılmıştır. Bunlar başlıca; katmanların don riski değerlendirmesi, yalıtım malzemelerinin termal özellik kaybetme değerlendirmesi, yoğunlaşma su miktarına göre toplam kesitin ve katmanların değerlendirmesi, katmanların tek tek küf riski değerlendirmesi ve iç ortam küf riski değerlendirmesidir. Bu değerlendirmeler

için öncelikli olarak WUFI Pro 6.7 kütüphanesinde yer alan standart/yönetmelik ve kılavuzlar incelenmiştir. Çizelge 4.11’de görüldüğü gibi yoğuşma su miktarına göre değerlendirme için WTA kılavuzu DIN 4108-3 standardını temel almıştır ve çatı ve duvar birleşimlerinde yoğuşan toplam suyun 1 kg/m^2 ’yi geçmemesi gerektiğini belirtir. Bu durum nemi ememeyen malzemeler için 0.5 kg/m^2 ’dir.

Yalıtım malzemelerinin termal özellik kaybetme değerlendirmesi için malzemelerin WUFI Pro 6.7 kütüphanesinde yer alan özelliklerinden neme bağlı ısı iletkenlik değeri sınır değeri olarak alınır. Eğer yalıtım malzemeleri analiz sonucunda ısı iletkenliğin bozulduğu neme bağlı ısı geçirgenlik değeri olan su miktarını (kg/m^3) geçerse termal özelliğini yitirmiş olur.

Katmanların tek tek don riski değerlendirmelerinde ise WTA (WUFI Technic Guideline) kılavuzunda geçtiği üzere eğer analizlerde katmanlar sıcaklık olarak $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ‘nin altına düşerse, bağlı nem $\% 95$ ’i aşarsa ve malzeme toplam alabileceği su miktarının $\%30$ ’unu geçerse don riskinden bahsedilir. Ancak don riski varlığı için bu üç koşulun aynı anda gerçekleşmesi gerekmektedir.

Katmanların tek tek kf riski değerlendirmesi ise WUFI Pro 6.7 programında yer alan VTT modülü ile yapılmıştır. Bu modül ASHRAE 160 standardına karşılık gelmekte ve malzemelerin özelliklerine göre 0 ila 3 ölçeğinde risk değerlendirmesi yapmaktadır. 3 gözle görülür çok yüksek risk anlamına gelirken, 0 risk yok anlamındadır.

İç ortam kf riski değerlendirmesini ise program WUFI-BIO modülü üzerinden yapmaktadır. İç sıva katmanı üzerinden yapılan değerlendirmede malzemenin sıcaklık, bağlı nem ve yüzey kalitesi parametrelerine bağlı formüller üzerinden yapılan iç ortam kf riski değerlendirmesi 0 ila 3 ölçeğinde sonuç vermektedir. 3 MI (mould index) yüksek risk anlamına gelirken, 0 MI risk yok demektir.

Çizelge 4.11. Performans analizlerinde kullanılan standart, kılavuzlar ve sınır değerler

DEĞERLENDİRMELER	KULLANILAN STANDART/ YÖNETMELİK/KILAVUZ	DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ (SINIR DEĞERLER)	DEĞERLENDİRİLEN KATMANLAR
Yoğuşma Su Miktarına Göre Değerlendirme	-WTA KILAVUZU (WUFI PRO 6.0) -DIN 4108-3 (Thermal insulation and energy economy in buildings)	-1 kg/m ² (çatı ve duvar birleşimlerinde toplam yoğuşan su) -Kılcal aktif olmayan malzemeler arasındaki arayüzler; 0.5 kg/m ²	Tüm Katmanlar ve Toplam Kesit
Termal Özellik Kaybetme Değerlendirmesi	WTA KILAVUZU/ (WUFI PRO 6.7) (Thermal insulation and energy economy in buildings)	Isıl iletkenliğin bozulduğu neme bağlı ısı geçirgenlik değeri olan su miktarını (kg/m ³) geçmemelidir. (Thermal conductivity, moisture dependent)	Yalıtım Katmanı
Don Riski Değerlendirmesi	WTA KILAVUZU (WUFI PRO 6.7) / DON RİSKİ SAYISI RİSK ÖLÇEĞİ (CHOİDIS, 2023)	1.WMAX: %30 2.T<0 3.RH> %95 0_Risk Yok 1-5_Muhtemel Risk 6-35_Yüksek Risk >35 Çok Yüksek Risk	Tüm Katmanlar
Katmanların Küf Riski Değerlendirmesi	WUFI VTT Modülü	ASHRAE 160 / VTT MODÜLÜ MOULD INDEX (MI) : 0-3	Tüm Katmanlar
İç Ortam Küf Riski Değerlendirmesi	WUFI-BIO Modülü	Sıcaklık, Bağlı Nem ve Yüzey Kalitesi Parametreleri MOULD INDEX (MI) : 0-3	İç Sıva Katmanı

4.3. Yapı Kabukları Senaryolarının Oluşturulması

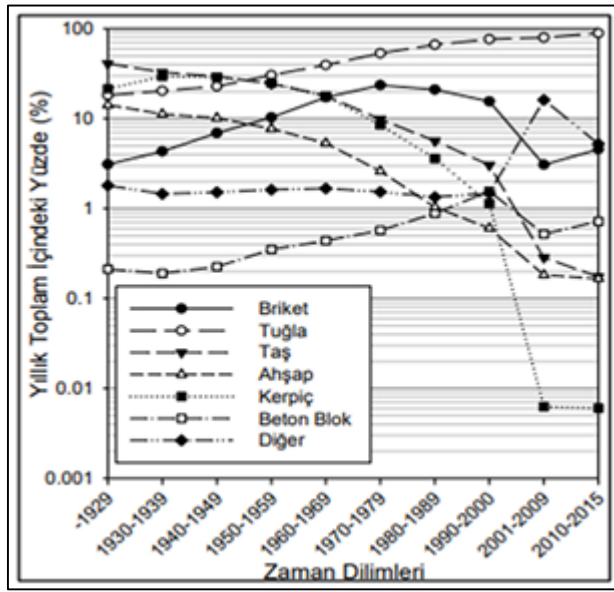
Çalışmanın yapıldığı alan 2. Derece iklim bölgesinde yer alan Zonguldak ilidir. Bu sebeple TS 825'te 2. Derece iklim bölgesi için tavsiye edilen cephe malzemeleri kalınlıkları esas alınmıştır. TS 825 (2013)'te yer alan örnek bina analizi için verilen dış duvar katman kalınlıklarına göre kabul edilen katman kalınlıkları Çizelge 4.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.12. TS 825'te hesaplama yapılan örnek duvar katmanı özellikleri (TS 825, 2013)

DIŞ DUVAR KATMANLARI	YAPI ELEMANI KALINLIĞI (m)	ISIL İLETKENLİK HESAP DEĞERİ (W/mK)
Dış Sıva	0.02	1
Betonarme	0.25	2.5
Isı Yalıtım Malzemesi	0.04	0.035
İç sıva	0.008-0.02	0.35

Tez çalışmasında temel olarak 4 çeşit yapı kabuğu senaryosu oluşturulmuştur. Bunlar başlıca; dışardan yalıtımlı (A), içeriden yalıtımlı (B), yalıtımsız (C) ve ortadan yalıtımlı (D)

duvar kesitlerinden oluşmaktadır. Bu kesitlerin oluşturulmasında kullanılan malzemeler ve kalınlıkları TS 825 (2013) ve literatür araştırmasından elde edilen veriler doğrultusunda sıklıkla kullanılan duvar ve yalıtım malzemeleri esas alınarak temel senaryolar oluşturulmuş ve alt senaryolarda temel senaryolardan farklı türde malzemeler kullanılmıştır. Buna göre tez çalışmasında 2015 yılı tarihsel periyot için, 2100 yılı da gelecek periyot için seçilmiş olduğundan Şekil 4.18’de görüldüğü gibi 1929-2015 aralığında en çok kullanılan duvar malzemeleri görülmektedir (Ay ve Azak, 2021), (URL 14), (TS 825, 2013).



Şekil 4.17. Zamana bağlı dolgu malzemesi kullanım oranları (Ay ve Azak, 2021)

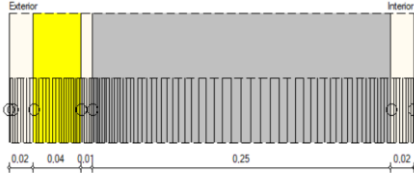
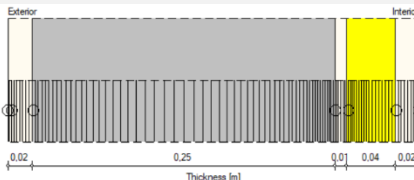
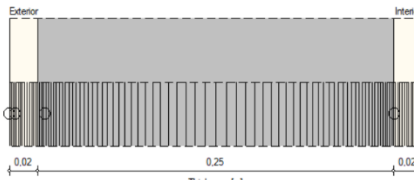
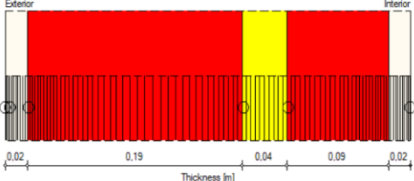
Ayrıca senaryolar oluşturulduktan sonra dış duvarın toplam U değeri TS 825’te 2.iklim bölgesi için tavsiye edilen değerle karşılaştırılarak doğrulanmıştır (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13. Bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi gereken U değerleri (TS 825, 2013)

	U_D (W/m ² K)	U_T (W/m ² K)	U_l (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

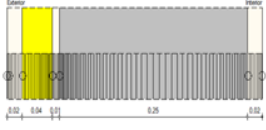
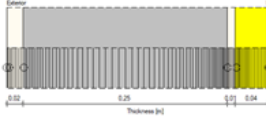
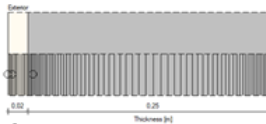
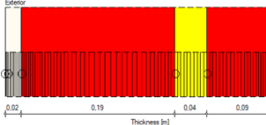
Sonuç olarak oluşturulan 4 çeşit yapı kabuğu senaryosu; (A), içeriden yalıtımlı (B), yalıtımsız (C) ve ortadan yalıtımlı (D) duvar kesitleri olmak üzere temel senaryolarda duvar malzemesi olarak gazbeton; yalıtım malzemesi olarak ise EPS kullanılmıştır. Oluşturulan senaryolar ve duvar katmanlarının özellikleri Çizelge 4.14’te görülmektedir.

Çizelge 4.14. Oluşturulan temel senaryolar ve duvar katmanları kalınlıkları

SENARYOLAR	SENARYO KESİT	KATMANLAR	KATMAN KALINLIKLARI (m)
A		DIŞ SIVA	0.02
		EPS	0.04
		ARA SIVA	0.01
		GAZBETON	0.25
		İÇ SIVA	0.02
B		DIŞ SIVA	0.02
		GAZBETON	0.25
		ARA SIVA	0.01
		EPS	0.04
		İÇ SIVA	0.02
C		DIŞ SIVA	0.02
		GAZBETON	0.25
		İÇ SIVA	0.02
D		DIŞ SIVA	0.02
		TUĞLA	0.19
		EPS	0.04
		TUĞLA	0.09
		İÇ SIVA	0.02

Temel senaryolara bağlı oluşturulan alt senaryolar ise Çizelge 4.15’te gösterilmiştir. Buna göre oluşturulan temel senaryolarda duvar malzemesi olarak gazbeton; yalıtım malzemesi olarak EPS kullanılırken A, B ve D senaryolarında yalıtımların yerleri değiştirilmiş, C senaryosunda yalıtım kullanılmamıştır. Bu bağlamda oluşturulan alt senaryolarda yalıtım malzemesi taşyünü ve XPS ile duvar malzemesi tuğla ve betonarme ile değiştirilmiştir.

Çizelge 4.15. Oluşturulan alt senaryolar ve duvar katmanları kalınlıkları

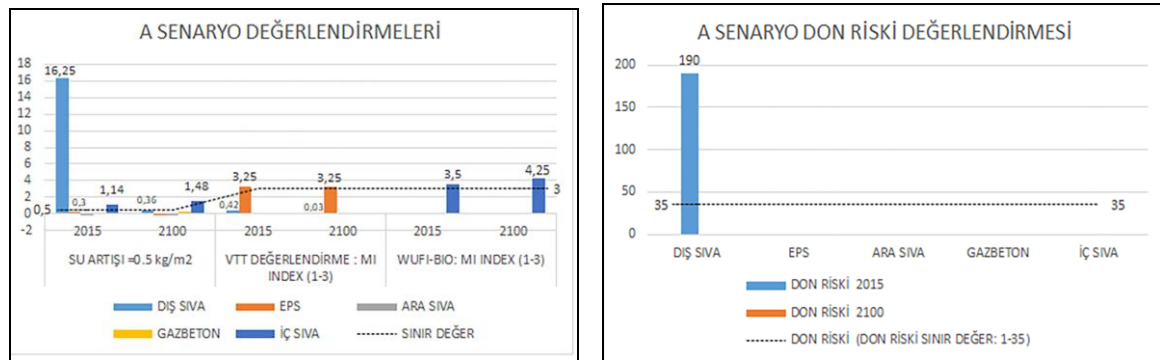
TEMEL SENARYOLAR	ALT SENARYO ADLARI VE DEĞİŞEN KATMANLAR		KATMAN KALINLIKLARI (M)
DIŞ SIVA EPS ARA SIVA GAZBETON İÇ SIVA A 	A_1	TAŞYÜNÜ	0.04
	A_2	TUĞLA	0.24
	A_3	BETONARME	0.25
	A_4	XPS	0.04
DIŞ SIVA GAZBETON ARA SIVA EPS İÇ SIVA B 	B_1	TAŞYÜNÜ	0.04
	B_2	TUĞLA	0.24
	B_3	BETONARME	0.25
	B_4	XPS	0.04
DIŞ SIVA GAZBETON İÇ SIVA C 	C_1	TUĞLA	0.024
	C_2	BETONARME	0.25
DIŞ SIVA TUĞLA EPS TUĞLA İÇ SIVA D 	D_1	TAŞYÜNÜ	0.04
	D_2	XPS	0.04

4.4. Araştırma Bulguları ve Değerlendirme

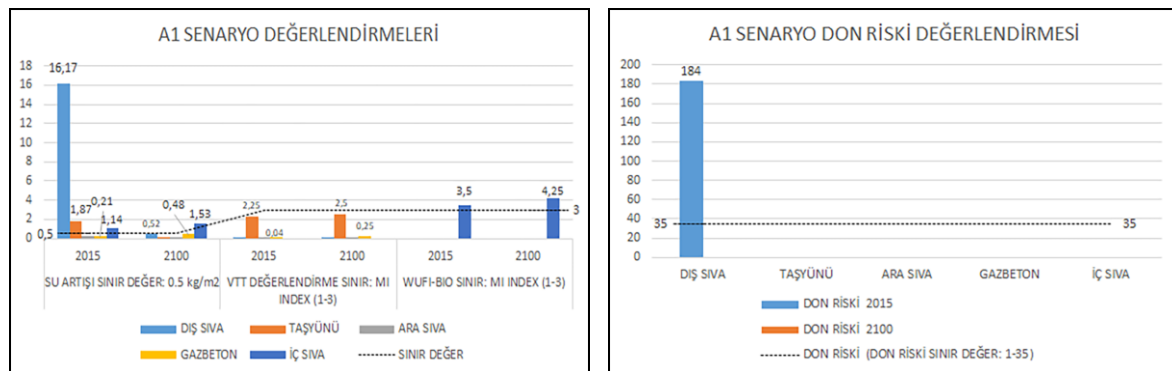
Araştırma bulguları için yapı kabuğu senaryoları oluşturulduktan sonra WUFI Pro 6.7 programı ile 2015-2020 dönemi ile 2100-2105 dönemi için analizler yapılmıştır. Yapılan analizlerin bulguları ilk olarak Excel programına aktarılmış ve Çizelge 4.11’de belirtilen sınır koşullarına uygun değerlendirme formülleri tanımlanmıştır. Son aşamada ise yapı kabukları katmanlarının don riski, su artışları, katmanların küf riskleri ve iç ortam küf riskleri iki dönem (2015-2020 ile 2100-2105) için de değerlendirilmiştir.

4.4.1. A tipi cephelerin katmanlarına göre 2015 ve 2100 analiz sonuçlarının donma riski, küf riski ve su artışı bakımından değerlendirilmesi

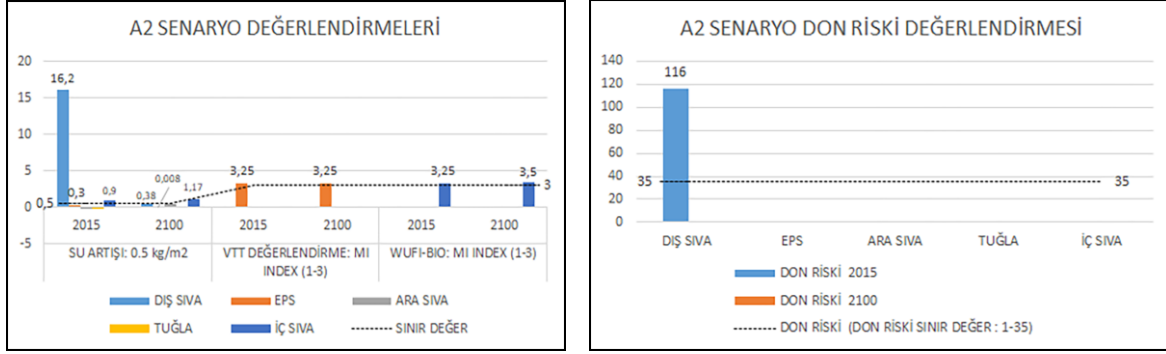
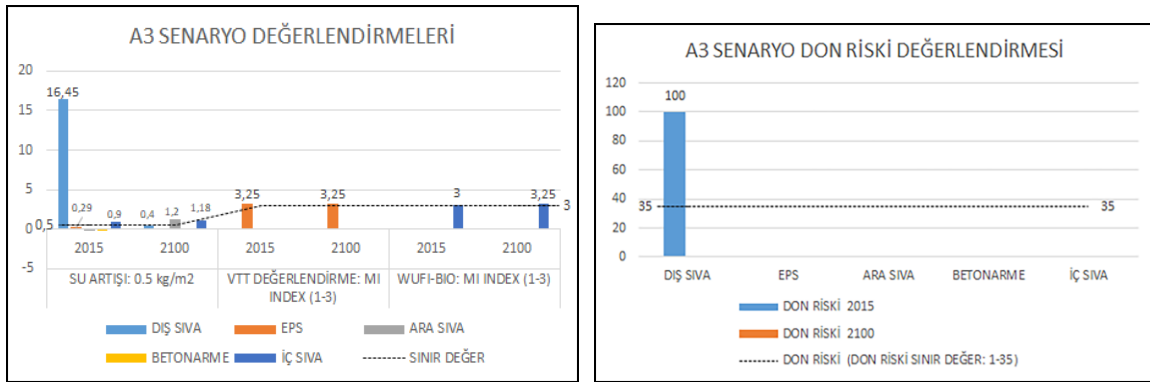
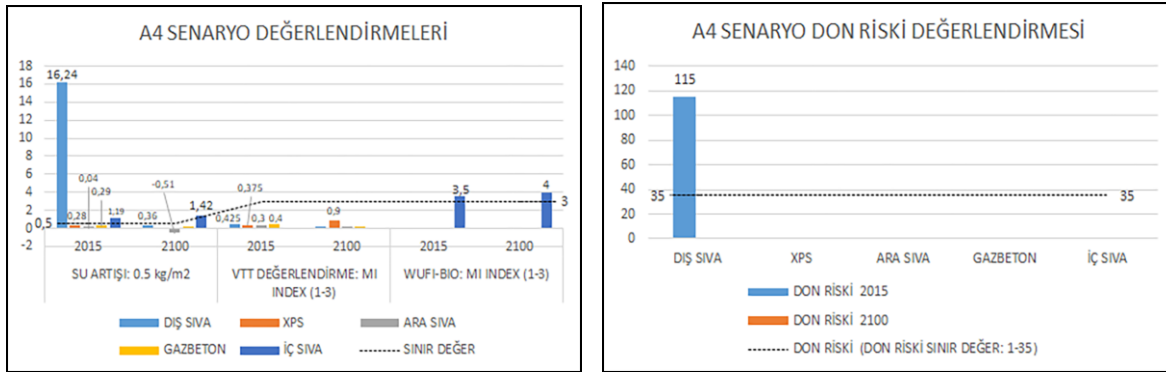
A Senaryoları dışarıdan yalıtımlı; yalıtım malzemelerinden EPS, taşıyünü ve XPS değişimli gazbeton, betonarme ve tuğla duvardan oluşan senaryoları içermektedir. Her bir senaryonun değerlendirmeleri çizelgelerle ifade edilmiştir.



Şekil 4.18. A senaryoları değerlendirmeleri



Şekil 4.19. A₁ senaryoları değerlendirmeleri

Şekil 4.20. A₂ senaryoları değerlendirme grafikleriŞekil 4.21. A₃ senaryoları değerlendirme grafikleriŞekil 4.22. A₄ senaryoları değerlendirme grafikleri

A (dışarıdan EPS yalıtımlı gazbeton) duvar kesiti incelendiğinde;

Standartlara göre su artış miktarlarına bakıldığında 5 kesitte de 2015 yılında toplam su artış miktarı geçilmiş ancak 2100 yılında kesit içi su artış miktarları 2015 yılına kıyasla sırasıyla % 79, % 62, %76, % 76 ve % 90 oranlarında düşmüştür ve A₁ kesiti hariç toplam su artış miktarları sınır değer olan 1kg/ m²'yi aşmamıştır (Şekil 4.18).

Don riski karşılaştırma ölçeğine göre dışarıdan eps yalıtımlı gazbeton duvarlı kesitte dış sıva katmanında don riski sayısı 190'dır. Buna göre dış sıva katmanında don riski seviyesi çok yüksek olurken 2100 yılında hiçbir katmanda don riski görülmemiştir. İç ortamın küf riski değerlendirmesine göre 2015 yılında 3.50 MI olan küf riski 2100 yılında 4.25 MI'ye ulaşarak artmıştır. İki durumda da küf riskleri yüksek seviyededir. Bunun sebebi 2100 yılına gelindiğinde artan ortalama sıcaklık ve nem değerlerinin iç ortamdaki etkisidir. Katmanların küf riski değerlendirmelerinde standartlarda geçtiği üzere malzeme özelliği, yüzey nemi ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak yapılan değerlendirmeye göre dış sıvada herhangi bir risk görülmemiştir. 2015 yılında EPS katmanında var olan 3.25 MI yüksek seviyedeki küf riski aynı kalarak 3.25 MI olmuştur. 2015 yılında ara sıva ve gazbeton katmanlarında var olan 0.035 ve 0.04 MI olan seviyedeki küf riskleri 2100 yılına gelindiğinde 0.16 ve 0.25 MI olarak artmış fakat her iki durumda da risk olmayan düzeydedir. Bunun sebebi 2100 yılında artan ortalama sıcaklık ve nem değerlerinin yanı sıra malzemenin özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Şekil 4.18).

Her beş kesitte de dış sıva katmanında 2015 ve 2100 yıllarında küf riski görülmemesinin sebebi güneş ışınlarına doğrudan maruz kalmasıdır. Ayrıca 2015 ve 2100 yılında malzemelerde meydana gelen yoğunlaşmaların ayları karşılaştırıldığında 2015 yılında Eylül, Ekim, Kasım, Aralık, Ocak ve Mayıs aylarında görülen yoğunlaşmalar; 2100 yılında Eylül, Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Mayıs aylarında görülmüştür. Bu durumun sebebi artan ortalama bağıl nem ve sıcaklık değerleridir (Şekil 4.18).

A₁ (dışarıdan taşıyünü yalıtımlı gazbeton) duvar kesiti incelendiğinde;

Don riski karşılaştırma ölçeğine göre dışarıdan taşıyünü yalıtımlı gazbeton duvarlı kesitte dış sıva katmanında don riski sayısı 184'tür. Buna göre dış sıva katmanında don riski seviyesi çok yüksek olurken 2100 yılında hiçbir katmanda don riski görülmemiştir. 2015 yılında taşıyünü katmanının termal özelliğini 921 kere kaybettiği görülmüştür. Bunun sebebi ise neme bağlı ısı iletkenlik değeri olan 0.041 W/ Mk'yi aşma sınırı olan 50 kg/ m³ su çekme değerini Eylül, Ekim, Kasım, Aralık, Ocak ve Nisan aylarında geçmiş olmasıdır. 2100 yılına gelindiğinde ise aynı durum devam ederek döngü sayısı 254'e düşmüş ve aylar Eylül ve Kasım olarak azalmıştır. Her iki durumda da taşıyünü malzemesinin özelliğini yitirerek kullanılamaz olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 4.19).

İç ortamın küf riski değerlendirmesine göre 2015 yılında 3.50 MI olan küf riski 2100 yılında 4.25 MI'ye ulaşarak artmıştır. İki durumda da küf riskleri yüksek seviyededir. Bunun sebebi 2100 yılına gelindiğinde artan ortalama sıcaklık ve nem değerlerinin iç ortamdaki etkisidir. Ayrıca A senaryosu ile A₁ senaryosunda iç ortam küf riskleri aynı kalmıştır. Katmanların küf riski değerlendirmelerinde standartlarda geçtiği üzere malzeme özelliği, yüzey nemi ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak yapılan değerlendirmeye göre dış sıvada herhangi bir risk görülmemiştir. 2015 yılında taşıyıcı katmanında var olan 2.25 MI yüksek seviyedeki küf riski artarak 2.50 MI olmuştur. 2015 yılında ara sıra ve gazbeton katmanlarında var olan 0.16 ve 0.25 MI olan seviyedeki küf riskleri 2100 yılına gelindiğinde azalarak 0.00 MI ile tamamen güvenli sınıra gelmiştir. Bunun sebebi 2100 yılında artan ortalama sıcaklık ve nem değerlerinin yanı sıra malzemenin özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Şekil 4.19).

Her beş kesitte de dış sıra katmanında 2015 ve 2100 yıllarında küf riski görülmemesinin sebebi güneş ışınlarına doğrudan maruz kalmasıdır. Ayrıca 2015 ve 2100 yılında malzemelerde meydana gelen yoğunlaşmaların ayları karşılaştırıldığında 2015 yılında Eylül, Ekim, Kasım, Aralık, Ocak ve Nisan aylarında görülen yoğunlaşmalar; 2100 yılında Eylül, Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Mayıs ve Ağustos aylarında görülmüştür. Bu durumun sebebi artan ortalama bağıl nem ve sıcaklık değerleridir (Şekil 4.19).

A₂ (dışarıdan EPS yalıtımlı tuğla) duvar kesiti incelendiğinde;

Don riski karşılaştırma ölçeğine göre dışarıdan EPS yalıtımlı tuğla duvarlı kesitte dış sıra katmanında don riski sayısı 116'dır. Buna göre dış sıra katmanında don riski seviyesi çok yüksek olurken 2100 yılında hiçbir katmanda don riski görülmemiştir. İç ortamın küf riski değerlendirmesine göre 2015 yılında 3.25 MI olan küf riski 2100 yılında 3.50 MI'ye ulaşarak artmıştır. İki durumda da küf riskleri yüksek seviyededir. Bunun sebebi tuğla katmanının su emme kapasitesinin yanı sıra EPS yalıtım malzemesinin su buharı direnç faktörünün yüksek olması ve 2100 yılında artan ortalama sıcaklık değerleridir. Katmanların küf riski değerlendirmelerinde standartlarda geçtiği üzere malzeme özelliği, yüzey nemi ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak yapılan değerlendirmeye göre dış sıvada herhangi bir risk görülmemiştir. 2015 yılında EPS yalıtım katmanında var olan 3.25 MI yüksek seviyedeki küf riski 2100 yılında da 3.25 MI seviyesinde sabit kalmıştır ve iki durumda da yüksek seviyededir. Bunun sebebi 2100 yılında artan ortalama sıcaklık değerlerinin yanı sıra malzemenin özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Şekil 4.20).

Her beş kesitte de dış sıva katmanında 2015 ve 2100 yıllarında küf riski görülmemesinin sebebi güneş ışınlarına doğrudan maruz kalmasıdır. Ayrıca 2015 ve 2100 yılında malzemelerde meydana gelen yoğunlaşmaların ayları karşılaştırıldığında 2015 yılında Eylül, Ekim, Kasım, Aralık, Ocak ve Mayıs aylarında görülen yoğunlaşmalar; 2100 yılında Eylül, Ekim, Kasım, Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Mayıs aylarında görülmüştür. Bu durumun sebebi artan ortalama bağıl nem ve sıcaklık değerleridir (Şekil 4.20).

A₃ (dışarıdan EPS yalıtımlı betonarme) duvar kesiti incelendiğinde;

Don riski karşılaştırma ölçeğine göre dışarıdan EPS yalıtımlı betonarme duvarlı kesitte dış sıva katmanında don riski sayısı 100'dür. Buna göre dış sıva katmanında don riski seviyesi çok yüksek olurken 2100 yılında hiçbir katmanda don riski görülmemiştir. İç ortamın küf riski değerlendirmesine göre 2015 yılında 3.00 MI olan küf riski 2100 yılında 3.25 MI'ye ulaşarak artmıştır. İki durumda da küf riskleri yüksek seviyededir. Yine de iç ortam küf riski değerlendirmesine göre A₃ kesiti en güvenli kesit olmuştur. Bunun sebebi betonarme duvar malzemesinin su buharı direnç faktörünün diğer kesitlerde kullanılan duvar malzemelerine göre yüksek olmasıdır (Şekil 4.21).

Katmanların küf riski değerlendirmelerinde standartlarda geçtiği üzere malzeme özelliği, yüzey nemi ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak yapılan değerlendirmeye göre dış sıvada herhangi bir risk görülmemiştir. 2015 yılında EPS yalıtım katmanında var olan 3.25 MI yüksek seviyedeki küf riski 2100 yılında da 3.25 MI seviyesinde sabit kalmıştır ve iki durumda da yüksek seviyededir. Ayrıca 2100 yılında EPS katmanında meydana gelen yoğunlaşma sayısı A₂ ve A senaryolarındaki sayılardan fazla olmasına rağmen iç ortam küf riski en güvenli kesit olması sebebi betonarme duvar malzemesinin özellikleridir (Şekil 4.21).

Her beş kesitte de dış sıva katmanında 2015 ve 2100 yıllarında küf riski görülmemesinin sebebi güneş ışınlarına doğrudan maruz kalmasıdır. Ayrıca 2015 ve 2100 yılında malzemelerde meydana gelen yoğunlaşmaların ayları karşılaştırıldığında 2015 yılında Eylül, Ekim, Kasım, Aralık, Ocak ve Mayıs aylarında görülen yoğunlaşmalar; 2100 yılında Eylül, Ekim, Kasım, Ocak, Şubat, Mart ve Mayıs aylarında görülmüştür. Bu durumun sebebi artan ortalama bağıl nem ve sıcaklık değerleridir (Şekil 4.21).

A₄ (dışarıdan XPS yalıtımlı gazbeton) duvar kesiti incelendiğinde;

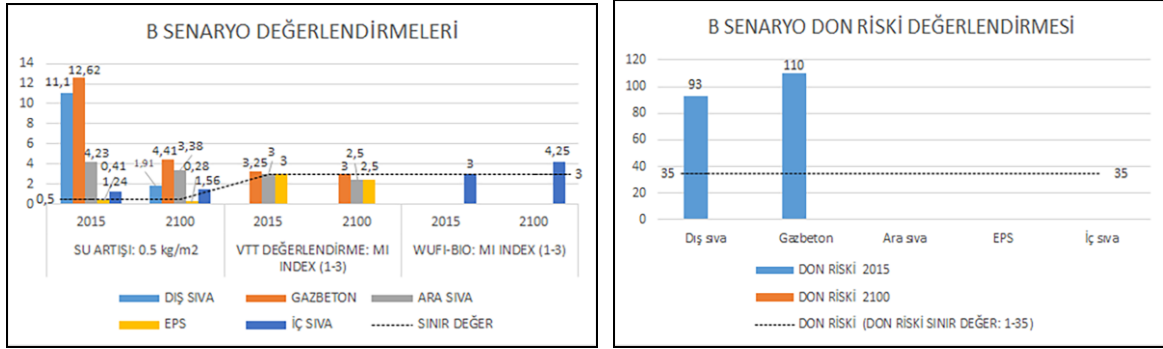
Don riski karşılaştırma ölçeğine göre dışarıdan XPS yalıtımlı gazbeton duvarlı kesitte dış siva katmanında don riski sayısı 115'tir. Buna göre dış siva katmanında don riski seviyesi çok yüksek olurken 2100 yılında hiçbir katmanda don riski görülmemiştir. İç ortamın küf riski değerlendirmesine göre 2015 yılında 3.50 MI olan küf riski 2100 yılında 4.00 MI'ye ulaşarak artmıştır. İki durumda da küf riskleri yüksek seviyededir. A₄ senaryosunda XPS yalıtım malzemesinin kullanımı sonucunda en az su artışı olan kesit olmuştur. Ayrıca tek farkın yalıtım malzemesi olduğu A senaryosuna göre iç ortam küf riski seviyesi 4.00 MI ile 4.25 MI'den daha düşüktür. Bunun sebebi XPS yalıtım malzemesinin su buharı direnç faktörüdür (Şekil 4.22).

Katmanların küf riski değerlendirmelerinde standartlarda geçtiği üzere malzeme özelliği, yüzey nemi ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak yapılan değerlendirmeye göre dış sıvada herhangi bir risk görülmemiştir. 2015 yılında XPS, ara siva ve gazbeton katmanlarında risk içermeyen seviyeler sırayla; 0.375, 0.30 ve 0.40 MI iken 2100 yılında sırayla; 0.9, 0.0005 ve 0.0002 MI olarak değişmiş ve iki durumda da risk görülmemiştir. Bunun en etkili sebeplerinden biri XPS yalıtım malzemesinin termofiziksel özellikleridir (Şekil 4.22).

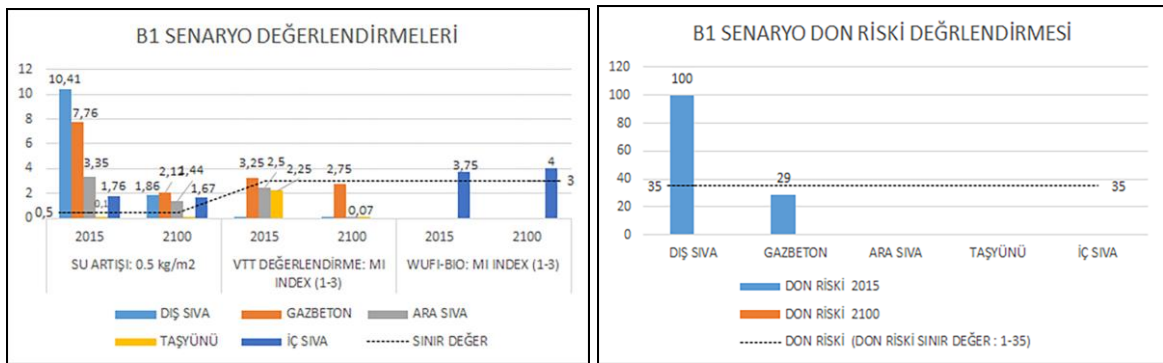
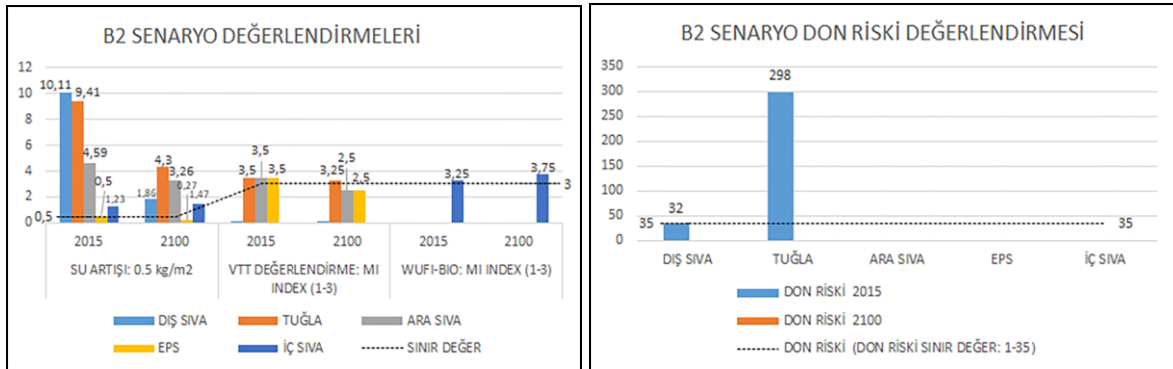
Her beş kesitte de dış siva katmanında 2015 ve 2100 yıllarında küf riski görülmemesinin sebebi güneş ışınlarına doğrudan maruz kalmasıdır. Ayrıca 2015 ve 2100 yılında malzemelerde meydana gelen yoğunlaşmaların ayları karşılaştırıldığında 2015 yılında Eylül, Ekim, Kasım, Aralık, Ocak ve Mayıs aylarında görülen yoğunlaşmalar; 2100 yılında Eylül, Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart ve Mayıs aylarında görülmüştür. Bu durumun sebebi artan ortalama bağıl nem ve sıcaklık değerleridir (Şekil 4.18-22).

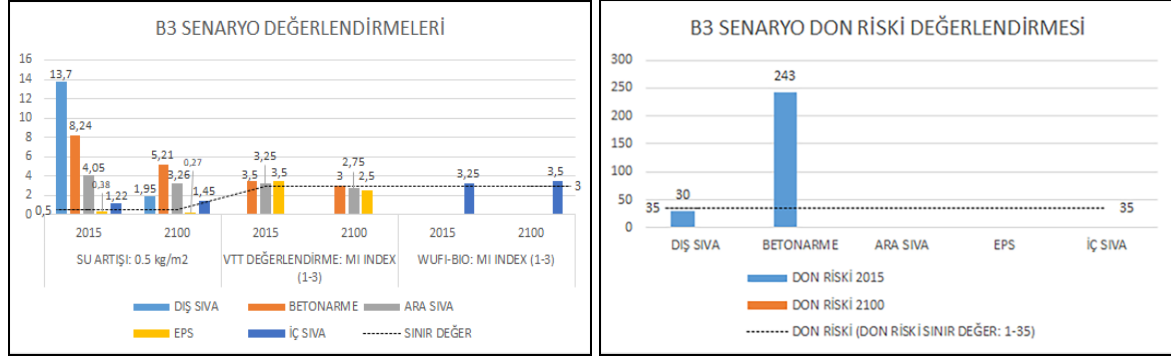
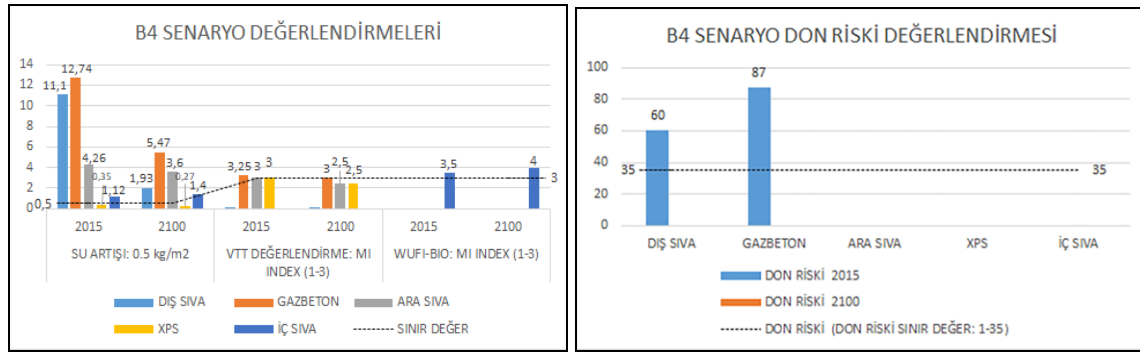
4.4.2. B tipi cephelerin katmanlarına göre 2015 ve 2100 analiz sonuçlarının donma riski, küf riski ve su artışı bakımından değerlendirilmesi

B Senaryoları içeriden yalıtımlı; yalıtım malzemelerinden EPS, taşıyıcı ve XPS değişimli gazbeton, betonarme ve tuğla duvardan oluşan senaryoları içermektedir.



Şekil 4.23. B senaryoları değerlendirme grafikleri

Şekil 4.24. B₁ senaryoları değerlendirme grafikleriŞekil 4.25. B₂ senaryoları değerlendirme grafikleri

Şekil 4.26. B₃ senaryoları değerlendirmeleriŞekil 4.27. B₄ senaryoları değerlendirmeleri

B (içeriden eps yalıtımlı gazbeton) duvar kesiti incelendiğinde;

Standartlara göre su artış miktarlarına bakıldığında 5 kesitte de hem 2015 hem 2100 yıllarında toplam su artış miktarı geçilmiş ancak 2100 yılında kesit içi su artış miktarları 2015 yılına kıyasla sırasıyla % 64, % 72, % 55, % 41 ve % 57 oranlarında düşmüştür (Şekil 4.23).

Don riski karşılaştırma ölçeğine göre içeriden EPS yalıtımlı gazbeton duvarlı kesitte dış siva ve gazbeton katmanlarında don riski sayıları sırasıyla 93 ve 110'dur. Buna göre dış siva ve gazbeton katmanlarında don riski seviyesi çok yüksek olurken 2100 yılında hiçbir katmanda don riski görülmemiştir. İç ortamın küf riski değerlendirmesine göre 2015 yılında 3.00 MI olan orta seviyedeki küf riski 2100 yılında 4.25 MI ile yüksek seviyeye çıkmıştır. Bunun sebebi 2100 yılına gelindiğinde artan ortalama sıcaklık ve nem değerlerinin iç ortamdaki etkisidir. Katmanların küf riski değerlendirmelerinde standartlarda geçtiği üzere malzeme özelliği, yüzey nemi ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak yapılan değerlendirmeye göre dış sıvada herhangi bir risk görülmemiştir. 2015 yılında gazbeton, ara siva ve EPS

katmanlarında sırasıyla gözlenen 3.25 yüksek seviye, 3.00 ve 3.00 MI orta seviyedeki küf riskleri 2100 yılına gelindiğinde sırasıyla 3.00, 2.50 ve 2.50 MI orta risk seviyesine düşmüşlerdir. Sonuçta gazbeton ve iç sıva katmanları hariç diğer katmanlarda risk seviyeleri değişmemiştir. Bunun sebebi 2100 yılında artan ortalama sıcaklık ve nem değerlerinin yanı sıra malzemenin özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Şekil 4.23).

Her beş kesitte de dış sıva katmanında 2015 ve 2100 yıllarında küf riski görülmemesinin sebebi güneş ışınlarına doğrudan maruz kalmasıdır. Ayrıca 2015 ve 2100 yılında malzemelerde meydana gelen yağışmaların ayları karşılaştırıldığında 2015 yılında Eylül, Kasım, Aralık ve Mayıs aylarında görülen yağışmalar; 2100 yılında Eylül, Ekim, Kasım, Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Mayıs aylarında görülmüştür. Bu durumun sebebi artan ortalama bağıl nem ve sıcaklık değerleridir (Şekil 4.23).

B₁ (içeriden taşıyıcı yalıtımlı gazbeton) duvar kesiti incelendiğinde;

Don riski karşılaştırma ölçeğine göre içeriden taşıyıcı yalıtımlı gazbeton duvarlı kesitte dış sıva ve gazbeton katmanlarında don riski sayıları sırasıyla 100 ve 29'dur. Buna göre dış sıva ve gazbeton katmanlarında don riski seviyesi sırasıyla çok yüksek ve yüksek olurken 2100 yılında hiçbir katmanda don riski görülmemiştir. İç ortamın küf riski değerlendirmesine göre 2015 yılında 3.75 MI olan yüksek seviyedeki küf riski 2100 yılında 4.00 MI ile daha yüksek seviyeye çıkmıştır. Bunun sebebi 2100 yılına gelindiğinde artan ortalama sıcaklık ve nem değerlerinin iç ortamdaki etkisidir. Katmanların küf riski değerlendirmelerinde standartlarda geçtiği üzere malzeme özelliği, yüzey nemi ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak yapılan değerlendirmeye göre dış sıvada herhangi bir risk görülmemiştir. 2015 yılında gazbeton, ara sıva ve taşıyıcı katmanlarında sırasıyla gözlenen 3.25 yüksek seviye, 2.50 ve 2.50 MI orta seviyedeki küf riskleri 2100 yılına gelindiğinde sırasıyla 2.75 MI orta risk, 0.07 ve 0.035 MI risk olmayan seviyeye gelmişlerdir. Bunun sebebi 2100 yılında artan ortalama sıcaklık ve nem değerlerinin yanı sıra malzemenin özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Şekil 4.24).

Her beş kesitte de dış sıva katmanında 2015 ve 2100 yıllarında küf riski görülmemesinin sebebi güneş ışınlarına doğrudan maruz kalmasıdır. Ayrıca 2015 ve 2100 yılında malzemelerde meydana gelen yağışmaların ayları karşılaştırıldığında 2015 yılında Eylül, Kasım ve Mayıs aylarında görülen yağışmalar; 2100 yılında Eylül, Ekim, Kasım, Aralık,

Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Mayıs aylarında görülmüştür. Bu durumun sebebi artan ortalama bağıl nem ve sıcaklık değerleridir (Şekil 4.24).

B₂ (içeriden EPS yalıtımlı tuğla duvar) duvar kesiti incelendiğinde;

Don riski karşılaştırma ölçeğine göre içeriden EPS yalıtımlı tuğla duvarlı kesitte dış sıva ve tuğla duvar katmanlarında don riski sayıları sırasıyla 32 ve 298'dir. Buna göre dış sıva ve tuğla duvar katmanlarında don riski seviyesi sırasıyla yüksek ve çok yüksek olurken 2100 yılında hiçbir katmanda don riski görülmemiştir. Ayrıca tuğla duvar katmanının donma riski sayısına göre malzemenin özelliğini yitireceği de söylenebilir. İç ortamın küf riski değerlendirmesine göre 2015 yılında 3.25 MI olan yüksek seviyedeki küf riski 2100 yılında 3.75 MI ile daha yüksek seviyeye çıkmıştır. Bunun sebebi 2100 yılına gelindiğinde artan ortalama sıcaklık ve nem değerlerinin iç ortamdaki etkisidir. Katmanların küf riski değerlendirmelerinde standartlarda geçtiği üzere malzeme özelliği, yüzey nemi ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak yapılan değerlendirmeye göre dış sıvada herhangi bir risk görülmemiştir. 2015 yılında tuğla duvar, ara sıva ve EPS katmanlarında sırasıyla gözlenen 3.50, 3.50 ve 3.50 MI yüksek seviyedeki küf riskleri 2100 yılına gelindiğinde sırasıyla 3.25 MI yüksek risk, 2.50 ve 2.50 MI orta risk seviyesine gelmişlerdir. Bunun sebebi 2100 yılında artan ortalama sıcaklık ve nem değerlerinin yanı sıra malzemenin özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Şekil 4.25).

Her beş kesitte de dış sıva katmanında 2015 ve 2100 yıllarında küf riski görülmemesinin sebebi güneş ışınlarına doğrudan maruz kalmasıdır. Ayrıca 2015 ve 2100 yılında malzemelerde meydana gelen yoğunlaşmaların ayları karşılaştırıldığında 2015 yılında Eylül, Kasım, Aralık ve Mayıs aylarında görülen yoğunlaşmalar; 2100 yılında Eylül, Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Mayıs aylarında görülmüştür. Bu durumun sebebi artan ortalama bağıl nem ve sıcaklık değerleridir (Şekil 4.25).

B₃ (içeriden EPS yalıtımlı betonarme) duvar kesiti incelendiğinde;

Don riski karşılaştırma ölçeğine göre içeriden EPS yalıtımlı betonarme duvarlı kesitte dış sıva, betonarme duvar ve ara sıva katmanlarında don riski sayıları sırasıyla 30 ve 243 ve 18'dir. Buna göre dış sıva, betonarme duvar ve ara sıva katmanlarında don riski seviyeleri sırasıyla yüksek, çok yüksek ve düşük olurken 2100 yılında hiçbir katmanda don riski

görülmemiştir. Ayrıca betonarme duvar katmanının donma riski sayısına göre malzemenin özelliğini yitireceği de söylenebilir. İç ortamın küf riski değerlendirmesine göre 2015 yılında 3.25 MI olan yüksek seviyedeki küf riski 2100 yılında 3.50 MI ile daha yüksek seviyeye çıkmıştır. Bunun sebebi 2100 yılına gelindiğinde artan ortalama sıcaklık ve nem değerlerinin iç ortamdaki etkisidir. Katmanların küf riski değerlendirmelerinde standartlarda geçtiği üzere malzeme özelliği, yüzey nemi ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak yapılan değerlendirmeye göre dış sıvada herhangi bir risk görülmemiştir. 2015 yılında betonarme duvar, ara sıva ve EPS katmanlarında sırasıyla gözlenen 3.50, 3.25 ve 3.25 MI yüksek seviyedeki küf riskleri 2100 yılına gelindiğinde sırasıyla 3.00 MI yüksek risk, 2.75 ve 2.50 MI orta risk seviyesine gelmişlerdir. Bunun sebebi 2100 yılında artan ortalama sıcaklık ve nem değerlerinin yanı sıra malzemenin özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Şekil 4.26).

Her beş kesitte de dış sıva katmanında 2015 ve 2100 yıllarında küf riski görülmemesinin sebebi güneş ışınlarına doğrudan maruz kalmasıdır. Ayrıca 2015 ve 2100 yılında malzemelerde meydana gelen yoğunlaşmaların ayları karşılaştırıldığında 2015 yılında Eylül, Kasım aylarında görülen yoğunlaşmalar; 2100 yılında Eylül, Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart ve Mayıs aylarında görülmüştür. Bu durumun sebebi artan ortalama bağıl nem ve sıcaklık değerleridir (Şekil 4.26).

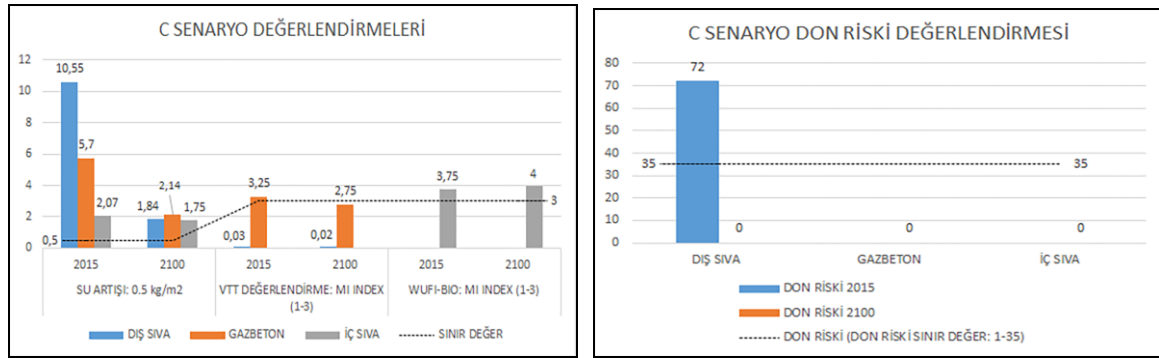
B₄ (içeriden XPS yalıtımlı gazbeton) duvar kesiti incelendiğinde;

Don riski karşılaştırma ölçeğine göre içeriden XPS yalıtımlı gazbeton duvarlı kesitte dış sıva ve gazbeton duvar katmanlarında don riski sayıları sırasıyla 60 ve 73'tür. Buna göre dış sıva ve gazbeton duvar katmanlarında don riski seviyeleri yüksektir ve 2100 yılında hiçbir katmanda don riski görülmemiştir. İç ortamın küf riski değerlendirmesine göre 2015 yılında 3.50 MI olan yüksek seviyedeki küf riski 2100 yılında 4.00 MI ile daha yüksek seviyeye çıkmıştır. Bunun sebebi 2100 yılına gelindiğinde artan ortalama sıcaklık ve nem değerlerinin iç ortamdaki etkisidir. Katmanların küf riski değerlendirmelerinde standartlarda geçtiği üzere malzeme özelliği, yüzey nemi ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak yapılan değerlendirmeye göre dış sıvada herhangi bir risk görülmemiştir. 2015 yılında betonarme duvar, ara sıva ve EPS katmanlarında sırasıyla gözlenen 3.25, 3.00 ve 3.00 MI orta seviyedeki küf riskleri 2100 yılına gelindiğinde sırasıyla 3.00, 2.50 ve 2.50 MI orta risk seviyesine gelmişlerdir. Bunun sebebi 2100 yılında artan ortalama sıcaklık ve nem değerlerinin yanı sıra malzemenin özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Şekil 4.27).

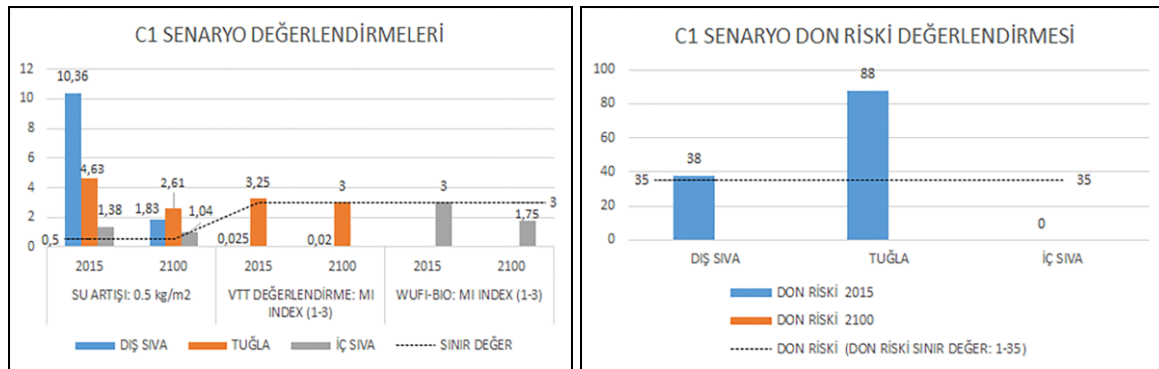
Her beş kesitte de dış sıva katmanında 2015 ve 2100 yıllarında küf riski görülmemesinin sebebi güneş ışınlarına doğrudan maruz kalmasıdır. Ayrıca 2015 ve 2100 yılında malzemelerde meydana gelen yoğunlaşmaların ayları karşılaştırıldığında 2015 yılında Eylül, Kasım, Aralık ve Mayıs aylarında görülen yoğunlaşmalar; 2100 yılında Eylül, Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Mayıs aylarında görülmüştür. Bu durumun sebebi artan ortalama bağıl nem ve sıcaklık değerleridir (Şekil 4.23-27).

4.4.3. C tipi cephelerin katmanlarına göre 2015 ve 2100 analiz sonuçlarının donma riski, küf riski ve su artışı bakımından değerlendirilmesi

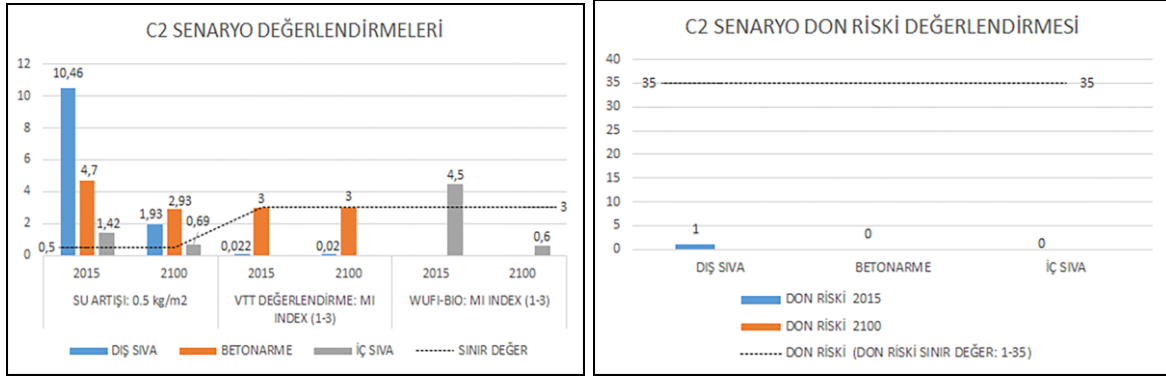
C Senaryoları yalıtımsız gazbeton, tuğla duvar ve betonarme duvar senaryolarıdır.



Şekil 4.28. C senaryoları değerlendirilmeleri



Şekil 4.29. C₁ senaryoları değerlendirilmeleri



Şekil 4.30. C₂ senaryoları değerlendirmeleri

Standartlara göre su artış miktarlarına bakıldığında 3 kesitte de hem 2015 hem 2100 yıllarında toplam su artış miktarı geçilmiş ancak 2100 yılında kesit içi su artış miktarları 2015 yılına kıyasla sırasıyla % 63, % 49 ve % 44 oranlarında düşmüştür (Şekil 4.28).

Don riski karşılaştırma ölçeğine göre Gazbeton duvarlı kesitte 2015 yılında dış sıva katmanında don riski sayısı 72'dir ve yüksek seviyededir. 2100 yılında ise hiçbir katmanda don riski görülmemiştir. İç ortamın küf riski değerlendirmesine göre 2015 yılında 3.75 MI ve 2100 yılında 4.00 MI ile küf riskleri yüksek seviyededir. Katmanların küf riski değerlendirmelerinde standartlarda geçtiği üzere malzeme özelliği, yüzey nemi ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak yapılan değerlendirmeye göre dış sıvada herhangi bir risk görülmezken 2015 yılında gazbeton katmanında var olan 3.25 MI yüksek küf riski azalarak 2100 yılında 2.75 MI ile orta seviyeye ulaşmıştır. Bunun sebebi su artış miktarının azalması olarak görülür (Şekil 4.28).

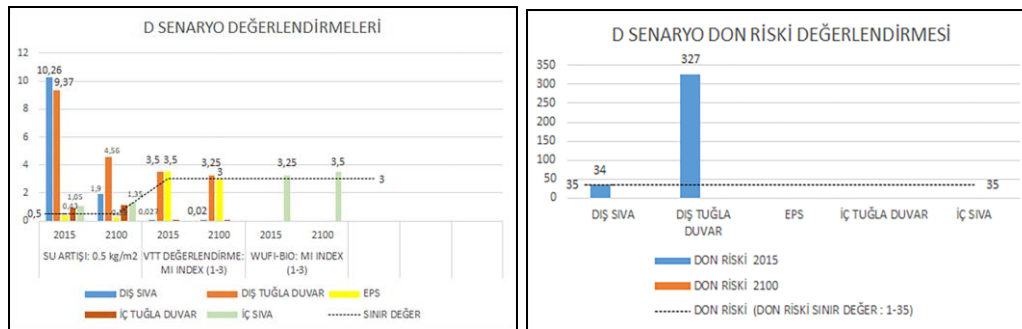
Don riski karşılaştırma ölçeğine göre tuğla duvarlı kesitte dış sıva ve tuğla duvar katmanında don riski sayıları sırayla 38 ve 88'dir. Buna göre risk seviyeleri yüksek ve çok yüksek olurken 2100 yılında hiçbir katmanda don riski görülmemiştir. İç ortamın küf riski değerlendirmesine göre 2015 yılında 3.00 MI ve 2100 yılında 1.75 MI ile küf riskleri orta seviyededir. Bunun sebebi tuğla katmanının su emme kapasitesi olarak yorumlanabilir. Katmanların küf riski değerlendirmelerinde standartlarda geçtiği üzere malzeme özelliği, yüzey nemi ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak yapılan değerlendirmeye göre dış sıvada herhangi bir risk görülmemiştir. 2015 yılında tuğla katmanında var olan 3.25 MI yüksek seviyedeki küf riski azalarak 3.00 MI seviyesine inmiş olsa da iki durumda da yüksek seviyededir. Bunun sebebi malzemenin özellikleridir (Şekil 4.29).

Don riski karşılaştırma ölçeğine göre betonarme duvarlı kesitte dış sıva katmanında don riski sayısı 1'dir ve diğer katmanlarda 2015 yılında don riski görülmemiştir. 2100 yılında ise hiçbir katmanda don riski görülmemiştir. İç ortamın küf riski değerlendirmesine göre 2015 yılında 4.50 MI ile yüksek seviyede olan küf riski 2100 yılında 0.6 MI ile düşük seviyeye ulaşmıştır. Bunun sebebi 2100 yılında 2015 yılına kıyasla değişen sıcaklık ve yağış ortalamalarının yanı sıra betonarme malzemenin termofiziksel özellikleridir. Katmanların küf riski değerlendirmelerinde standartlarda geçtiği üzere malzeme özelliği, yüzey nemi ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak yapılan değerlendirmeye göre dış sıvada herhangi bir risk görülmemiştir. 2015 yılında betonarme katmanında var olan 3.00 MI orta seviyedeki küf riski sabit kalarak 3.00 MI olmuştur. Bunun sebebi malzemenin su buharı direnç faktörü C senaryolarındaki diğer duvar malzemelerine göre fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Yani malzeme suyu diğer malzemelere kıyasla içinde tuttuğundan küf riski 2100 yılında azalmamıştır (Şekil 4.30).

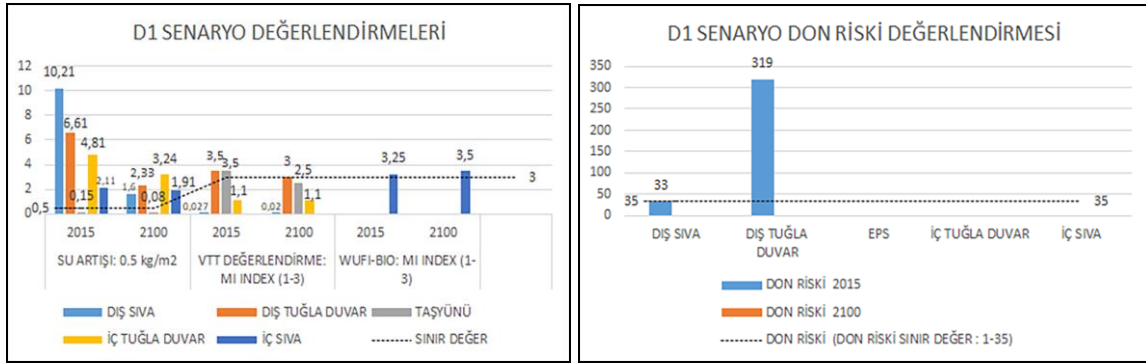
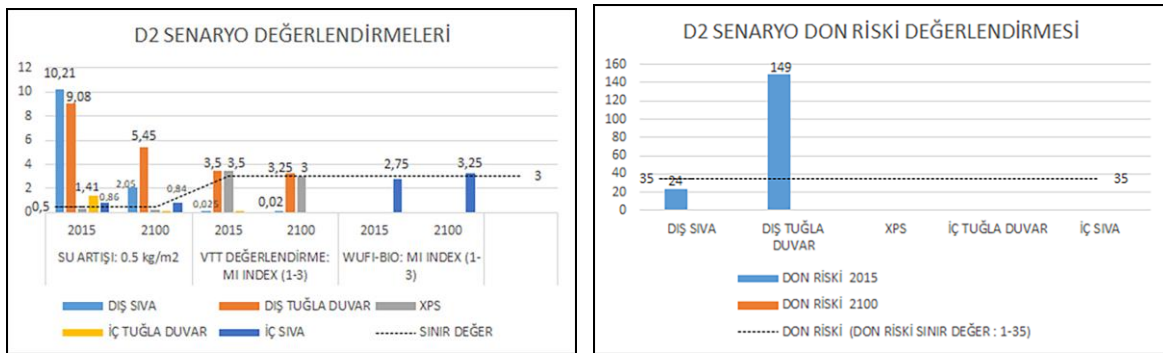
Her üç kesitte de dış sıva katmanında 2015 ve 2100 yıllarında küf riski görülmemesinin sebebi güneş ışınlarına doğrudan maruz kalmasıdır. Ayrıca 2015 ve 2100 yılında malzemelerde meydana gelen yoğunlaşmaların ayları karşılaştırıldığında 2015 yılında Eylül, Kasım, Aralık ve Mayıs aylarında görülen yoğunlaşmalar 2100 yılında Eylül, Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Mayıs, Ağustos aylarında görülmüştür. Bu durumun sebebi artan ortalama bağıl nem ve sıcaklık değerleridir (Şekil 4.28-30).

4.4.4. D tipi cephelerin katmanlarına göre 2015 ve 2100 analiz sonuçlarının donma riski, küf riski ve su artışı bakımından değerlendirilmesi

D Senaryoları ortadan yalıtımlı; yalıtım malzemelerinden EPS, taşyünü ve XPS değişimli tuğla duvardan oluşan senaryoları içermektedir.



Şekil 4.31. D senaryoları değerlendirmeleri

Şekil 4.32. D₁ senaryoları değerlendirme grafikleriŞekil 4.33. D₂ senaryoları değerlendirme grafikleri

D (ortadan eps yalıtımlı tuğla) duvar kesiti incelendiğinde;

Standartlara göre su artış miktarlarına bakıldığında 3 kesitte de hem 2015 hem 2100 yıllarında toplam su artış miktarı geçilmiş ancak 2100 yılında kesit içi su artış miktarları 2015 yılına kıyasla sırasıyla % 50, % 58 ve % 44 oranlarında düşmüştür (Şekil 4.31).

Don riski karşılaştırma ölçeğine göre ortadan eps yalıtımlı tuğla duvarlı kesitte dış sıva ve dış tuğla duvar katmanında don riski sayıları sırasıyla 34 ve 327'dir. Buna göre risk seviyeleri orta ve çok yüksek olurken 2100 yılında hiçbir katmanda don riski görülmemiştir. İç ortamın küf riski değerlendirmesine göre 2015 yılında 3.25 MI olan küf riski 2100 yılında 3.50 MI'ye ulaşarak artmıştır. İki durumda da küf riskleri yüksek seviyededir. Bunun sebebi tuğla katmanının su emme kapasitesi olarak yorumlanabilir. Katmanların küf riski değerlendirmelerinde standartlarda geçtiği üzere malzeme özelliği, yüzey nemi ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak yapılan değerlendirmeye göre dış sıvada herhangi bir risk görülmemiştir. 2015 yılında dış tuğla duvar katmanında var olan 3.50 MI yüksek seviyedeki

küf riski azalarak 3.25 MI seviyesine inmiş olsa da iki durumda da yüksek seviyededir. 2015 yılında EPS katmanında var olan 3.50 MI yüksek seviyedeki küf riski azalarak 3.00 MI ile orta risk seviyesine ulaşmıştır. Bunun sebebi 2100 yılında artan ortalama sıcaklık değerlerinin yanı sıra malzemenin özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Şekil 4.31).

D₁ (ortadan taşıyıcı yalıtımlı tuğla) duvar kesiti incelendiğinde;

Don riski karşılaştırma ölçeğine göre ortadan taşıyıcı yalıtımlı tuğla duvarlı kesitte dış sıva ve dış tuğla duvar katmanında don riski sayıları sırayla 33 ve 319'dur. Buna göre risk seviyeleri orta ve çok yüksek olurken 2100 yılında hiçbir katmanda don riski görülmemiştir. İç ortamın küf riski değerlendirmesine göre 2015 yılında 3.25 MI olan küf riski 2100 yılında 3.50 MI'ye ulaşarak artmıştır. İki durumda da küf riskleri yüksek seviyededir. Bunun sebebi tuğla katmanının su emme kapasitesi olarak yorumlanabilir. Katmanların küf riski değerlendirmelerinde standartlarda geçtiği üzere malzeme özelliği, yüzey nemi ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak yapılan değerlendirmeye göre dış sıvada herhangi bir risk görülmemiştir. 2015 yılında dış tuğla duvar katmanında var olan 3.50 MI yüksek seviyedeki küf riski azalarak 3.00 MI seviyesine inmiş olsa da iki durumda da yüksek seviyededir. 2015 yılında taşıyıcı katmanında var olan 3.50 MI yüksek seviyedeki küf riski azalarak 2.50 MI ile orta risk seviyesine ulaşmıştır. Bunun sebebi 2100 yılında artan ortalama sıcaklık değerlerinin yanı sıra malzemenin özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Şekil 4.32).

D₂ (ortadan XPS yalıtımlı tuğla) duvar kesiti incelendiğinde;

Don riski karşılaştırma ölçeğine göre ortadan XPS yalıtımlı tuğla duvarlı kesitte dış sıva ve dış tuğla duvar katmanında don riski sayıları sırayla 24 ve 149'dur. Buna göre risk seviyeleri orta ve çok yüksek olurken 2100 yılında hiçbir katmanda don riski görülmemiştir. D senaryolarındaki diğer 2 kesite göre 2015 yılında ilk iki katmanda azalan don riski sayılarının sebebi yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılmış olmasıdır. İç ortamın küf riski değerlendirmesine göre 2015 yılında 2.75 MI olan küf riski 2100 yılında 3.25 MI'ye ulaşarak artmıştır. İki durumda da küf riskleri yüksek seviyededir. Bunun sebebi tuğla katmanının su emme kapasitesinin yanı sıra XPS yalıtım malzemesinin su buharı direnç faktörünün çok yüksek olması ve 2100 yılında artan ortalama sıcaklık değerleridir. Katmanların küf riski değerlendirmelerinde standartlarda geçtiği üzere malzeme özelliği, yüzey nemi ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak yapılan değerlendirmeye göre dış sıvada herhangi bir risk

görülmemiştir. 2015 yılında dış tuğla duvar katmanında var olan 3.50 MI yüksek seviyedeki küf riski azalarak 3.25 MI seviyesine inmiş olsa da iki durumda da yüksek seviyededir. 2015 yılında XPS katmanında var olan 3.50 MI yüksek seviyedeki küf riski azalarak 3.00 MI ile orta risk seviyesine ulaşmıştır. Bunun sebebi 2100 yılında artan ortalama sıcaklık değerlerinin yanı sıra malzemenin özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Şekil 4.33).

Her üç kesitte de dış sıva katmanında 2015 ve 2100 yıllarında küf riski görülmemesinin sebebi güneş ışınlarına doğrudan maruz kalmasıdır. Ayrıca 2015 ve 2100 yılında malzemelerde meydana gelen yoğunlaşmaların ayları karşılaştırıldığında 2015 yılında Eylül, Kasım, Aralık ve Mayıs aylarında görülen yoğunlaşmalar; 2100 yılında Eylül, Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Mayıs, Ağustos aylarında görülmüştür. Bu durumun sebebi artan ortalama bağıl nem ve sıcaklık değerleridir (Şekil 4.31-33).

Don riski değerlendirmesine göre yapılan tespitler:

Öncelikle don riski bakımından incelenen kesitlerde 2015 yılında A,B,C ve D senaryolarının analiz sonuçlarının birbirlerine göre kıyaslanması sonucunda var olan don risklerinin 2100 yılında hiçbir kesitte görülmediği tespit edilmiştir. Bunun açık sebebi artan ortalama sıcaklık değerleridir. Bu sonuca göre iklim değişikliğinin duvar kesitlerinde don riskini sıfıra indirdiği analizlerle kanıtlanmıştır.

2015 yılında duvar kesitlerinde var olan don risklerine bakıldığında değerlendirme kriterleri doğrultusunda en az riskli kesit yalıtımsız betonarme duvarlı C₂ kesiti olmuştur. Buna göre yalıtım olmadan don riski sayısının dış sıva katmanında 1 olduğu tespit edilmiştir. Sonuçta mevcutta var olan betonarme duvarlı yalıtımsız bir bina cephesinin 2100 yılına güvenli şekilde geleceği görülmüştür.

Tersi olarak en fazla don riski içeren duvar kesitleri ortadan yalıtımlı senaryolardan D, D₁ ve D₂ ile içeriden yalıtımlı senaryolardan B₂ ve B₃ senaryolarında görülmüştür. Tespit edilen don riski sayılarına bakıldığında D (dış sıva-dış tuğla-eps-iç tuğla-iç sıva) senaryosunda dış tuğla katmanında 327 kez don riski görülmüştür. Yalıtım malzemesinden bağımsız olmak üzere D ortadan yalıtımlı senaryolar don riski açısından en kötü sonucu vermiş hatta sayılara bakıldığında tuğla malzemenin kullanılmaz hale geleceği söylenebilir. İçeriden yalıtımlı B senaryolarında ise betonarme ve tuğla malzemelerin B₃ ve B₂ kesitlerinde sırasıyla 243 ve

298 kez don riski yaşadığı ve malzemelerin deforme olduğu dolayısıyla 2100 yılına gelemeyeceği söylenebilir.

Senaryolarda yalıtım malzemeleri olarak EPS, XPS ve TAŞ YÜNÜ kullanılmıştır. Bu malzemelerde herhangi bir donma riski görülmemiştir.

2015-2020 yıllarını içeren tarihsel periyot analizlerinde dış sıva katmanında görülen don riskleri güneş ışınlarına maruz kalmasının da etkisiyle ikincil öneme sahipken ikincil katmana yansıyan don risklerini içeren D, D₁, D₂ ve B₂, B₃ kesitlerinin don riski açısından güvenilir olmadığı sonucuna varılmıştır.

Kesitlerde toplam su artışı değerlendirmesine göre yapılan tespitler;

Standartlara göre su artış miktarlarına bakıldığında A senaryolarında 5 kesitte de 2015 yılında toplam su artış miktarı geçilmiş ancak 2100 yılında kesit içi su artış miktarları 2015 yılına kıyasla sırasıyla % 79, % 62, %76, % 76 ve % 90 oranlarında düşmüştür ve A₁ kesiti hariç toplam su artış miktarları sınır değeri olan 1kg/ m²'yi aşmamıştır. A₄ (dışarıdan yalıtımlı XPS ve betonarme) senaryosu tüm senaryolar içinde su artışı bakımından en güvenli kesit olmuştur. 2015-2020 yılları arasında kesitin aldığı toplam su miktarı 2100-2105 yılları arasında % 90 oranında azalmıştır.

Kesit içi toplam su artışı bakımından dışarıdan yalıtımlı duvar kesitleri en güvenilir sonucu verirken XPS yalıtım malzemesinin termofiziksel özelliklerinden dolayı en güvenli kesiti oluşturduğu söylenebilir.

Kesit içi toplam su artışı bakımından en kötü sonuçları ise ortadan yalıtımlı D senaryoları, yalıtımsız C senaryoları ile içeriden yalıtımlı B senaryoları vermiştir. Bu senaryolarda hem 2015-2020 periyotlarında hem de 2100-2105 periyotlarında sınır değeri aşılmıştır.

Sonuç olarak kesit içi su artışı bakımından dışarıdan yalıtımlı duvar kesitleri en güvenilir olması bakımından güvenilirlik sıralaması senaryolar bakımından şöyledir; A > C > D > B yani dışarıdan yalıtımlı, yalıtımsız, ortadan yalıtımlı ve içeriden yalıtımlı şeklindedir. Yani gelecek dönem için dışarıdan yalıtımlı kesitler hala en güvenilir kesit olacaktır ve ikinci sırada yalıtımsız duvar kesitleri gelmektedir.

Kesitlerde ısı-nem değişimi ve yoğuşma durumu değerlendirmesine göre yapılan tespitler;

Senaryolarda yalıtım malzemeleri olarak EPS, XPS ve TAŞYÜNÜ kullanılmıştır. Bu malzemelerde herhangi bir donma riski görülmezken neme bağlı ısı iletkenlik sınır değerine göre TAŞYÜNÜ yalıtım malzemesinin A₁ (2015) ve A₁ (2100) senaryolarında termal özelliğini yitirerek 2015-2020 yılları arasında kullanılmayacak hale gelmiş olduğu dolayısıyla 2100 yılına ulaşamayacağı tespit edilmiştir. 2015-2020 yılları analizlerinde A₁ senaryosunda TAŞYÜNÜ 50 kg/m³ su içeriğini aşarak 0.041 W/ Mk değerine 921 kez Eylül, Ekim, Kasım, Aralık, Ocak ve Nisan aylarında ulaşarak termal özelliğini yitirmiştir. Aynı durum 2100-2105 yılları analizinde aynı kesitte 254 kez Eylül ve Kasım aylarında yaşanmıştır. Sonuç olarak bu yalıtım malzemesi 2015-2020 yılları arasında kullanılamaz hale gelmiştir.

EPS ve XPS yalıtım malzemelerinin ise hiçbir senaryoda termal özelliği kaybolmamış ancak yalıtım malzemelerinin soğuk tarafları yoğuşmalar geçirerek küf riskleri oluşmuştur. EPS yalıtım malzemesi A (2015), A (2100), A₂ (2015), A₂ (2100) senaryolarında sırasıyla; A senaryoları için 267, 67 ve A₂ senaryoları için 287, 86 kez yoğuşmalar geçirmiştir. XPS yalıtım malzemesi ise A₄ senaryolarında 2015 ve 2100 yılları için sırasıyla 289 ve 68 kez yoğuşma yaşamıştır.

Tüm senaryolarda ortak olarak 2015-2020 yılları arasında görülen yoğuşmaların olduğu ayların 2100-2105 periyodunda iklimsel parametrelerin değişimine bağlı olarak farklılaştığı görülmüştür. 2015-2020 yılları arasında kesitlerin katmanlarında genellikle Eylül, Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Nisan ve Mayıs aylarında görülen yoğuşmalar; 2100-2105 aralığında Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Mayıs, Ağustos, Eylül, Ekim, Kasım ve Aralık aylarına kaymıştır. Sonuç olarak 2100-2105 periyodunda artan ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerleri sebebiyle yoğuşmaların yaşandığı ayların sayısı artarak Şubat, Mart ve Ağustos aylarında da yoğuşmalar yaşanmıştır.

Kesitlerde iç ortam küf riski değerlendirmesine göre yapılan tespitler;

İklim verileri analizi sonucunda 2100 yılına gelindiğinde ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerlerinin artıyor oluşu iç ortam küf riskini arttıran temel parametrelerdir. WUFI-BIO'nun iç sıva küf riski hesaplama modeline göre LIM II sınıfında yer alan sıva malzemesi için iç

ortam sıcaklığı 30 °C'ye ulaştığında bağıl nem değeri % 80'in üzerine çıkmaya başlar ve küf oluşması için risk başlar. Bu sebeple oluşturulan senaryoların her birinde 2100 yılında artan iç ortam küf riski değerleri iç ortam ortalama sıcaklığının 30°C' yi aştığını gösterir.

Tüm kesitlerde ortak olan iç ortam koşullarının gelecekte nem sınıfı bakımından değişmesi gerekliliğidir.

Sonuç olarak dış ortamda değişen ortalama sıcaklık ve bağıl nem koşulları iç ortam konfor koşullarını etkileyerek ortalama sıcaklığı arttırdığını ve programda kabul edilen NEM-3 sınıfında var olan ortalama 21°C oda sıcaklığının ve maksimum 6 g/m³ nem yoğunluğunun 2100 yılına gelindiğinde küf riski oluşmaması için değişmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Tüm kesitlere iç sıva (ortam) küf riski bakımından bakıldığında 2100 yılı için en güvenli kesit C₂ (yalıtımsız betonarme) kesitidir. Diğer tüm senaryolarla karşılaştırıldığında iç ortam küf riski 0.00 (MI) a yaklaşan tek kesittir.

Kesitlerde katmanların tek tek küf riski değerlendirmesine göre yapılan tespitler;

Tüm senaryolarda ve tüm kesitlerde ortak olan dış sıva katmanında gün ışığına maruz kalmasından dolayı küf riski oluşmamasıdır.

Kesitler içerisinde 2015 ve 2100 yıllarında iç sıva katmanı hariç küf riski oluşmayan A₄ yani dışarıdan XPS yalıtımlı ve duvar malzemesi gazbeton olan kesittir. Ayrıca tüm kesitler içinde 2015-2100 karşılaştırmalarında yalıtım katmanı hariç diğer katmanlardaki küf riskinin 0.00 MI 'ye ulaştığı tek kesit A (2015-2100) senaryoları yani dışarıdan EPS yalıtımlı duvar malzemesi gazbeton olan kesittir.

A senaryolarının her birinde katmanların tek tek küf riski değerlendirmesinde yalıtım katmanları ve iç sıva katmanı haricinde diğer katmanlarda küf riski oluşmamıştır.

B, C (C₂ senaryosu hariç) ve D senaryoları ile alt senaryoların her birinde katmanların tek tek küf riski değerlendirmesinde katmanlardaki küf riskleri 2100 yılına gelindiğinde azalmıştır. Artan ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerlerinin etkisi ile 2015 yılında görülen küf riskleri bazı kesitlerde risk düzeyi olarak aynı kalsa da MI bakımından değer olarak azalmıştır.

B₁ (içeriden taşıyünü yalıtımlı gazbeton) kesitinde katmanların küf riskleri 2100 yılına gelindiğinde 2015 yılında görülen risklerin her biri yok olarak güvenli hale ulaşmıştır.

Bu sonuçlara göre iç sıva katmanı ve yalıtım katmanları haricinde A senaryolarının her biri ile B₁ kesiti en güvenli kesitler olmuştur. Yani dışarıdan yalıtımlı duvar kesitleri ile içeriden yalıtımlı taşıyünü kullanılan gazbeton duvarlı kesitler 2100 yılına dek güvenle gelebilecektir.

Yalıtım malzemelerinin küf riski bakımından 2100 yılına gelindiğinde güvenli kalma sıralaması XPS>EPS>TAŞYÜNÜ olmuştur.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

İklim değışikliğı, günümüzde en önemli kaygılardan biri haline gelmiştir. Araştırmalar, atmosferde CO₂ gibi sera gazlarının birikmesinin küresel ısınmanın temel sebebi olduğunu ortaya koymuştur. Küresel yüzey sıcaklığı 1970'ten bu yana, en azından son 2000 yıldaki diğer 50 yıllık dönemlerden daha hızlı artmıştır. Yapılan çalışmalar, 20. yüzyılın ortalarından bu yana küresel ortalama sıcaklıklarda gözlenen artışın %90'ından fazlasının insan kaynaklı sera gazı emisyonlarından kaynaklandığını göstermektedir. 1850-1900 ile 2010-2019 yılları arasında insan kaynaklı toplam küresel yüzey sıcaklığı artışının muhtemel aralığı 0,8°C ila 1,3°C olup, en iyi tahmin 1,07°C'dir (IPCC, 2023).

Mevcut binalar, hava koşullarında yeterince iyi performans gösteremedikleri için sakinlerin konforu azalıyor ve binaların enerji tüketimi artıyor. İklim değışiklikleri göz önüne alındığında, iyileştirici önlemler alınmazsa mevcut bina stoğunun gelecekte kullanılamaz hale gelmesi muhtemeldir.

İklim değışikliğı ve aşırı hava olaylarının, binalarımızın dayanıklılığını çeşitli yollarla etkileyebileceğı düşünöldüğünde, mevcut bina stoğunun gelecekte yapısal sağlamlık, enerji verimliliğı ve termal konfor açısından önemli zorluklarla karşılaşması beklenmektedir. Bu zorluklar, her bina türü için farklı olacaktır. Bu nedenle, iklim değışikliğinin potansiyel etkilerine karşı yapıların ve yapı kabuklarının dayanıklılıklarını artırmak ve yeni koşullara uyumlanmalarını sağlamak için mevcut durumlarının tespit edilmesi gerekmektedir.

Literatüre bakıldığında iklim değışikliğı ile ilgili olarak binaların enerji tüketimi ve iç konfor koşullarına sıklıkla odaklanıldığı ve gelecekle ilgili tahminlerde bulunulduğu görölmüştür. Bina kabukları, iç konfor koşulları ve enerji tüketimi gibi performansları belirleyen dış ortam koşullarıyla etkileşen en kritik bileşenlerden biridir. Bu sebeple tez çalışmasında bina kabukları iklim değışikliğinden etkilenme bağlamında ele alınmıştır.

İklim değışikliğı ile ilgili Türkiye için yapılan projeksiyonlara bakıldığında ortalama sıcaklardaki artış ve yağış-nem olaylarında anomaliler dikkat çekmektedir. Bu sebeple çalışmada MGM'nin geçmiş dönemleri içeren projeksiyonları incelenmiş ve aşırı nem-yağış durumları yaşayabileceğı öngörölen 2.iklim bölgesinde yer alan Zonguldak ili seçilerek,

ılıman-nemli iklimsel özellikler gösteren bir yerde iklim değişikliğinin yapı kabuklarında ısı ve nem açısından gelecekte yol açabileceği sorunlar araştırılmıştır.

Tez çalışmasının asıl amacı 2015 referans yılı ve 2100 yılı RCP 8.5 senaryosu verileri ile 2.iklim bölgesinde yer alan Zonguldak ilinde yer aldığı varsayılan ve kabullere göre oluşturulan cephe senaryolarının ısı ve nem (higrotermal) analizini yaparak değişimleri tespit etmektir.

Bu amaçla tez çalışmasında şöyle bir yol izlenmiştir;

İlk olarak 2.iklim bölgesinde yer alan Zonguldak ilinin iklimsel değişikliği analizi hem MGM verileri ile hem de WUFI-PRO 6.7 programı ile yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışmada analizler için seçilen tarihsel periyot (2015) ve gelecek yıl (2100) seçimleri ve RCP 8.5 senaryosu literatüre ve mevcutta devam etmekte olan iklim değişikliği çalışmalarına dayanmaktadır.

İkinci aşamada higrotermal performans değerlendirme yöntemlerinin temellerinden biri olan ve TS 825'te Glaser metodu olarak geçen yöntemle MGM'den elde edilen veriler kullanarak çalışmada kullanılan bir duvar kesitinin yoğuşma durumu 2015 ve 2081 yılları için analiz edilmiştir. Bunun yapılmasındaki amaç higrotermal performans değerlendirmesinde sıklıkla kullanılan elle hesaplama yöntemiyle gelecek projeksiyonu yaparken sonuçların 2100 yılında nasıl değiştiğini ortaya koymak ve küresel iklim modellerindeki belirsizliklerin sonuçları etkilediğini göstermektir.

Üçüncü aşamada oluşturulan senaryolar ve alt senaryoların tek tek katmanları WUFI-PRO 6.7 ile geçmiş ve gelecek periyotlarda don riski, su artışı, katmanlar arası küf riski ve iç ortam küf riski bakımından analiz edilerek değerlendirilmiştir.

İklimsel analiz aşamasının sonuçlarına göre;

- IPCC'nin AR5 raporunda geçen ve beklenen +1.5°C sıcaklık artışı güncel projeksiyonlarla + 2.2°C ile + 3.5°C arasında artacak şekilde güncellenmiş olması yapılan çalışmada elde edilen sonuçların daha kötüye gidebileceğini göstermektedir. Çalışmada

IPCC'nin güncel raporuna dayanarak oluşturulmuş senaryolar üzerinden analizler yapılmıştır.

- Çalışmada yapılan iklimsel analizler sonucunda 2015 yılı iklim verileri ile 2100 yılı verileri karşılaştırıldığında Türkiye'de 2. İklim bölgesinde yer alan Zonguldak ili için ortalama sıcaklıkların artacağı ve ortalama yağışların azalarak yağışların anomaliler şeklinde görüleceği tespit edilmiştir.
- Ortalama rüzgar hızı ve global radyasyon seviyesi artarak, kentsel ısı adası etkisi güçlenecektir. Rüzgâr etkili yağmur yönü kuzeyden kuzeybatıya kayacaktır ve bu durum bina cephelerinin konumu ve tasarımı için önemlidir.

Higrotermal analiz aşamasında;

Belli kabullerle 4 farklı tipte ana kabuk senaryoları ve bunların belli katmanlarının değişimiyle alt senaryolar oluşturulmuştur. Senaryolar oluşturulurken TS 825 (2013) başta olmak üzere literatürde yer alan çalışmaların kabullerinden ve literatür verilerinden yararlanılmıştır. Bu bağlamda TS 825'in tavsiye ettiği ve binalarda sıklıkla kullanılan malzemeler mevcut bina stoğu düşünüldüğünde tercih sebebi olmuştur. Buna göre ana senaryolarda kullanılan duvar malzemeleri; gazbeton, tuğla ve betonarme iken yalıtım malzemeleri; XPS, EPS ve Taşyünü olmuştur. Alt senaryolarda yalıtım malzemeleri ve duvar malzemeleri değiştirilmiş, toplamda 16 senaryo ve 148 katmanın tek tek 2015 ve 2100 yılları için higrotermal analizleri WUFI PRO 6.7 programı ile yapılmıştır.

İç ortam koşulları için kullanılan simülasyon programında (WUFI-PRO 6.7) yer alan nem sınıflarından yüksek nemli (nem sınıfı-3) sınıf seçilmiş ve buna karşılık gelen iç ortam koşulları kabul edilmiştir.

Dış ortam koşulları için geçmiş (2015) ve gelecek (2100) periyot 1 yıllık saatlik verileri .wac formatında METEONORM programı sağlayıcılarından mail yoluyla elde edilerek programda çalıştırılmıştır.

Sonuç olarak çalışmada WUFI-PRO 6.7 ile yapılan analizler sonucunda oluşturulan duvar kesitleri senaryolarıyla ilgili elde edilen tespitler şunlardır: don riski değerlendirmesi, kesit içi ve katmanların tek tek su artışı bakımından değerlendirmesi, iç ortam küf riski değerlendirmesi ve katmanların tek tek küf riskleri değerlendirmeleridir.

Tez çalışmasında tüm oluşturulan senaryolar ve katmanları kendi içinde değerlendirilmiş ve birbirine göre kıyaslanmıştır. Buna göre;

- Tüm bu yapı kabuğu senaryolarının analizlerinin sonucuna göre iklim değişikliğinin yapı kabuklarının higrotermal performansını etkileyeceği hipotezi doğrulanmıştır. Buna göre 2100 yılına gelindiğinde gazbeton, tuğla ve betonarme duvar malzemeleri ile XPS, EPS ve Taşyünü yalıtım malzemeleriyle oluşturulan senaryolar dahilinde hiçbir katmanda artan ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerleri nedeniyle don riski görülmemektedir. Yine birbirine göre kıyaslanan ve oluşturulan senaryolar dahilinde içeriden yalıtım ve ortadan yalıtımlı duvar kesitlerinin don riski analiz sonuçları 2015 yılında, yalıtımsız ve dışarıdan yalıtımlı senaryolara göre ilk iki (dış sıva, tuğla, betonarme, gazbeton, XPS, EPS ve Taşyünü) katmanlarında olumsuz sonuç vermiştir. Buna göre Türkiye’de sıklıkla tercih edilen dışarıdan yalıtımlı yapı kabuklarının gelecekte de tercih edilebilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca yalıtım olmayan betonarme duvar kesitli senaryoların sonucuna göre 2.iklim bölgesi iklim verileri ve programda seçilen iç ortam nem sınıfı değerleri kısıtıyla iklimdeki verilerin değişimiyle beraber don riskinin oluşmayacağı görülmüştür.
- Sonuç olarak kesit içi su artışı bakımından yapılan değerlendirmede çalışma kapsamında oluşturulan senaryoların kıyaslanması sonucuna göre 2100 yılında ortalama sıcaklık artışı ve nem oranındaki değişimlerden dolayı kesit içi su miktarları A senaryolarında ortalama %76; D senaryolarında % 50,6; C senaryolarında % 52; B senaryolarında % 57,8 azalmıştır. Buna göre gelecek dönemlerde ortalama sıcaklıkların artışı yapı kabuklarının nem dengesini değiştirecek ve kendi içlerinde yapılan kıyaslamaya göre dışarıdan yalıtımlı senaryolar 1 kg/m^2 sınır değeri aşmaması bakımından (küf riskinin daha az olmasıyla beraber) güvenli kesit olmaya devam edecektir.
- Kesitlerde ısı-nem değişimi ve yoğunlaşma durumu değerlendirmesine göre yapılan tespitlerde EPS, XPS ve Taşyünü yalıtım malzemelerinde herhangi bir donma riski görülmemiştir. Ancak neme bağlı ısıl iletkenlik sınır değerine göre Taşyünü yalıtım malzemesinin A₁ senaryolarında termal özelliğini yitirdiği ve kullanılmaz hale geldiği görülmüştür. Dolayısıyla çalışmada kullanılan diğer yalıtım malzemeleri olan XPS ve EPS’ye kıyasla ve bu çalışmanın kabulleri doğrultusunda gelecek dönemler için Taşyünü malzemenin kullanımı su buharı direnç faktörü açısından olumsuzdur.
- Diğer yandan elde edilen bulgular doğrultusunda yalıtımsız senaryoların küf riski açısından diğerlerine kıyasla az riskli sonuçlar veriyor olması malzemelerin su buharı

direnç faktörü ile ilgili olup, betonarme malzemeli kesitin bu sebeple iyi sonuç verdiği görülmüştür. Fakat duvar kesiti malzemelerinin yalıtım olmamasından kaynaklı dış havayla uzun süre teması sonucunda donatılarda oluşacak karbonasyon ve korozyon riskleri oldukça fazla olacak ve bu da taşıyıcı olma özelliğini olumsuz etkileyecektir.

- Benzer şekilde gelecek dönem analizlerinde XPS içeren kesitlerde malzemenin neme bağlı termal iletkenliği ile su buharı direnç faktörü özellikleri sebebiyle az risk görülmesiyle beraber suyu geçirmeme ve hava geçişine izin vermemesi sebeplerinden yapıların sağlığı uzun dönemde olumsuz etkilenecektir. Sonuç olarak bu seçilen malzemelerin termofiziksel özellikleri sonuçları etkilemiştir, ideal bir gelecek senaryosu için tez çalışmasının sonuçlarına göre su buharı direnç faktörü yüksek ancak aynı zamanda doğal içeriklere sahip malzemelerin üretilmesi, mevcut malzemelerin iyileştirilmesi gereklidir. Burada seçilen malzemelerin TS 825'te tavsiye edilen ve buna göre WUFI kütüphanesinden seçilen duvar ve yalıtım malzemeleri olması sonuçları direkt etkilemesi bakımından çalışmanın sınırlılıklarındandır.
- Tüm senaryolarda ortak olarak 2015-2020 yılları arasında görülen yoğunlaşmalar olduğu ayların 2100-2105 periyodunda iklimsel parametrelerin değişimine bağlı olarak farklılaştığı görülmüştür. 2015-2020 yılları arasında kesitlerin katmanlarında genellikle Eylül, Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Nisan ve Mayıs aylarında görülen yoğunlaşmalar; 2100-2105 aralığında Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Mayıs, Ağustos, Eylül, Ekim, Kasım ve Aralık aylarına kaymış olması yapı kabuklarının yıl içinde neredeyse tüm aylarda nemden daha fazla etkileneceğini göstermiştir.
- Kesitlerde iç ortam küf riski değerlendirmesine göre yapılan tespitlere göre İklim verileri analizi sonucunda 2100 yılına gelindiğinde oluşturulan senaryoların her birinde WUFI-BIO'nun iç sıva küf riski hesaplama modelinde yer alan LIM II sınıfının sınır değerlerine göre 2100 yılında artan iç ortam küf riski değerleri iç ortam ortalama sıcaklığının 30°C yi aştığını göstermiştir. Bu durum iç ortam konfor koşullarının 2100 yılında değiştiğini ve yeni sınır değerler belirleme gerekliliğini doğuracaktır. Ayrıca tüm kesitlere iç sıva (ortam) küf riski bakımından bakıldığında 2100 yılı için en güvenli kesitin C₂ (yalıtımsız betonarme) kesiti olması betonarme duvar malzemesinin termofiziksel özelliklerinin senaryolarda kullanılan diğer duvar malzemelerine kıyasla gelecekteki iklimsel koşullara yüksek oranda adapte olduğunu göstermiştir. Ancak yalıtımsız bir kesit olması sebebiyle korozyon vb. sorunların da oluşabileceği hesaba katılmalıdır.

- Kesitlerde katmanların tek tek küf riski değerlendirmesine göre yapılan tespitlere göre artan ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerlerinin etkisi ile 2015 yılında görülen küf riskleri bazı kesitlerde risk düzeyi olarak aynı kalsa da MI bakımından değer olarak 2100 yılına gelindiğinde azalmıştır. Bu durum iklimsel faktörlerin değişmesi sonucunda çalışma kapsamındaki senaryolar dahilinde bazı senaryolarda katmanların küf riskinin olumlu etkileneceğini göstermiştir. Yine de MI bakımından küf risklerinde genellikle azalma görülmemiştir.
- Halihazırda devam etmekte olan AB ve TÜBİTAK ortaklı 22 Mayıs 2024'te gerçekleştirilen "İklim İçin Birlikte" başlıklı iklim değişikliği farkındalık konferansında belirtildiği üzere iklim sınıflarının gelecekteki değişimi öngörüsünün yapı kabuklarının higrotermal performansına yansıdığı ortaya konmuştur. Bununla beraber seminerden elde edilen çıktılarına göre Türkiye için soğuk iklim bölgesi kalmayacak ve tüm bölgelerin nemli-ılıman iklime sahip olacağı öngörüsü, 2. İklim bölgesi için yapılan tez çalışmasının sonuçlarının Türkiye genelinde geçerli olabileceğini gösterir.
- Ayrıca elde edilen sonuçlara göre yapılan projeksiyonlarda, artan sıcaklıklar ve nem dalgalanmaları sıvayı bozacak ve çeşitli şekillerde etkileyecektir. Bu etkilerden biri karbonatlaşma hızının ve derinliğinin artması sonucu sıvalı yüzeylerdeki malzemenin bozulmasıdır. Buna ek olarak, sıcaklık artışının etkisi termal genleşmeye ve ardından deformasyonlara katkıda bulunarak daha fazla kabarma ve ayrılmaya neden olabilir. Yapışma kaybı sorunları da gelecekte çatlamada beklenen artışla daha da kötüleşebilir. Bu da malzemenin hizmet ömrünü olumsuz etkileyecektir. Çalışmada incelenen sıvalı cephelerde, sıva üzerindeki bu olumsuz etkiye ek olarak, yıllar içinde artan yoğunlaşma riski de yalıtım katmanını etkileyerek malzemenin büzülmesine ve hizmet ömrünün kısılmasına neden olabilir. Bunların yanı sıra, binaların cephelerinde ve cephe elemanlarında yapılacak detaylı tasarımlar da bozulmaların önüne geçmek için önem kazanacaktır.
- Bunlara ek olarak tez çalışması sürerken yerel yönetimler ve TÜBİTAK arasında devam etmekte olan "İklim için birlikte" başlıklı AB projesinin çıktılarıyla desteklenecek olan YİDEP (Yerel iklim değişikliği eylem planı) planlarında şehir ölçeğinde iklim değişikliği çözümleri tartışılırken tezin çıktılarının bina ölçeğinde hazırlanacak olan YİDEP planlarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Sonuç olarak, çalışma, yapı kabukları ve yapı sistemleri üzerinde iklim değişikliğinin etkilerini literatürden elde edilen bilgilerle destekleyerek geniş bir perspektifle alan çalışmasında ortaya koymaktadır. Alan çalışması sonuçları, gelecekte oluşabilecek ısı-nem kaynaklı problemleri göstermiş ve bu problemlerin farklı iklim modellerinden gelen verilere göre farklılık gösterebileceğini Glaser metoduyla yapılan çalışmada kullanılan iklim modeli verileri ve METEONORM verileri ile yapılan WUFI-PRO 6.7 analizleri göstermiştir. İklim modeli verilerindeki belirsizlikler nedeniyle, benzer çalışmaların birden fazla model ile test edilmesi gereklidir; ancak daha uç değerlere sahip modellerin genellikle daha olumsuz sonuçlar ortaya koyduğu gözlemlenmiştir. İklim değişikliği projeksiyonları bölgesel koşullara bağlı olarak değişiklik gösterebilir, bu nedenle tasarım yaparken bu projeksiyonları dikkate almak mimarlar ve mühendisler için önemli bir gereklilik olacaktır. Ayrıca, bölgesel tasarım kılavuzlarının ülke bazında farklılık gösterdiği düşünüldüğünde, bina kabuğu elemanları için standartlardaki minimum ve maksimum tasarım değerlerinin gözden geçirilmesi, halihazırda kullanılmakta olan TS 825 standardının sınır değerlerinin güncellenmesi gerekecektir. Bu durum, iklim değişikliğinin tasarım sınırlarını etkileyebilecek yeni sınır koşulları getirecektir. Tez çalışmasının bir başka sonucu olarak iç ortam konfor koşulları sınır değerleri şu anki ortalamanın üzerine çıkarak küf riski meydana gelecektir. Bu sebeple iç ortam konfor koşulları sınır değerleri de gelecekte değişecek, bu koşulun sağlanabilmesi için yapı ve yapı kabuğu tasarımları değişecektir. Son olarak, gelecekte yeni binalarda ve mevcut bina cephelerinin yenilenmesinde, geleneksel sıvalı yapı kabuklarının yerine havalandırılmalı cephelerin veya daha adaptif-kinetik yapı elemanları ile yeni teknolojilerle üretilmiş malzemelerin tercih edileceği öngörülmektedir.

Bu tez çalışmasının sınırlılıkları göz önüne alınarak elde edilen sonuçlara göre gelecekte yapılacak çalışmalarda;

- Türkiye özelinde yerel bir higrotermal simülasyon aracının geliştirilmesi, gelecekte yapılacak tasarımlara yol gösterici olacaktır.
- Daha fazla küresel iklim modeli verileri ve farklı iklim değişikliği senaryolarıyla higrotermal analizler yapılarak birbirleriyle karşılaştırılabilir.
- Tez çalışmasının kanıtlamış olduğu değişecek sınır koşulları malzeme üreticileri için önem kazanacak, inşaat yapı malzemelerinin maliyetleri bu durumdan etkilenecektir.

- Yapılan çalışmada sıklıkla tercih edilen geleneksel yapı kabukları analiz edilmiştir, havalandırılmalı cepheler için aynı analizlerin yapılması bundan sonraki çalışmaların konusu olarak önerilmektedir.
- Tez çalışması 2.iklim bölgesinde yer alan Zonguldak ili için gerçekleştirilmiştir, sonraki çalışmaların farklı iklim bölgelerinde yapılması önerilmektedir. Özellikle Türkiye'nin doğusunda yer alan ve karasal iklime sahip illerde benzer bir çalışmanın yapılması iklim değişikliğine bağlı olarak ortalama sıcaklıkların Türkiye genelinde artacağı düşünüldüğünde mevcut yapı kabukları ve katmanları için farklı sonuçlar gösterecektir.
- Ayrıca, kasırgalar ve şiddetli yağışlar gibi aşırı hava olaylarının yoğunlaşma riski üzerindeki potansiyel etkisinin araştırılması ve bunların bina kabuğu bütünlüğü ve yoğunlaşma riski üzerindeki etkilerini azaltmaya yönelik stratejiler geliştirilmesi üzerinde çalışılabilir. Ayrıca, yükselen deniz seviyelerinin kıyı bölgelerindeki yoğunlaşma riski üzerindeki potansiyel etkisinin araştırılması, binaları tuzlu su girişinden korumak için stratejiler geliştirilmesi ve bunun duvar bölümlerinde artan nem seviyelerine ve yoğunlaşma riskine katkısı da dahil olmak üzere düşünülebilir.
- Kinetik ve kontrol edilebilir akıllı cepheler ve katmanları değişen iklim koşulları altında incelenebilir. Bu bağlamda, değişen iklim koşulları altında duvar bölümlerindeki nem seviyelerini aktif olarak izlemek ve kontrol etmek için sensörler gibi akıllı teknolojilerin dâhil edilmesinin potansiyel faydalarının ve dezavantajlarının değerlendirilmesi üzerinde çalışılabilir.
- Değişen iklim koşulları altında duvar kesitlerindeki nem sorunlarının yol açtığı zararlar ekonomik açıdan değerlendirilebilir. Örneğin, yoğunlaşma-küf riskinin ekonomik sonuçlarının ve farklı bina tiplerinde bu riskin azaltılmasına yönelik potansiyel maliyet etkin stratejilerin değerlendirilmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Aboulnaga, M. M., Elwan, A. F., Elsharouny, M. R. (2019). *Urban Climate Change Adaptation in Developing Countries: Policies, Projects, and Scenarios*. Switzerland: Springer, 32-35, 60.
- Ahmed, T., Kumar, P., Mottet, L. (2021). Natural Ventilation in Warm Climates: The Challenges of Thermal Comfort, Heatwave Resilience And Indoor Air Quality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 3(138), 2-3.
- Akçakaya, A., Eskioğlu, O., Atay, H., Demir, Ö. (2015). *Yeni Senaryolar ile Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği*. Ankara: Meteoroloji Genel Müdürlüğü Matbaası, 10-60.
- Akköse, G. (2019). *Architectural Design for Climate Change Mitigation and Adaptation Strategies in Existing Buildings*. Master Thesis, Middle East Technical University, Ankara, 1-8.
- Alfraidi, Y. (2015). *Developing Building Design Resilience Strategies to Climate Change Risks*. Doctor of Philosophy Thesis, University of Liverpool, England, 56-71.
- Alfsen, K. H., Fuglestad, J. S., Seip, H. M., Skodvin, T. (2000). Climate Change: Scientific Background and Process. *CICERO Report*, Oslo, 6-18.
- Alkan, S. N., Yazıcıoğlu, F. (2023). Geleneksel Ahşap Çerçeve Sistem Konut Yapılarında Dış Duvarların Higrotermal Performansının Değerlendirilmesi: Safranbolu ve Zeyrek Örneği. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 39(2), 1209-1222.
- Alkan, S.N. (2023). *Türkiye'deki Geleneksel Ahşap Çerçeve Sistem Konut Yapılarında Dış Duvarların Isıl ve Nemsel Performansının Değerlendirilmesi*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, 67-71.
- Almeida, R. M., Barreira, E. (2017). Condensation and Mold Risk Evaluation in A Gymnasium: in Situ Measurements and Numerical Simulation. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 31(5), 1-8.
- Alzahrani, A. (2015). *Uncovering the Emerging Risks From Climate Change Scenarios and Related Climate Change Risk Management in the Building Sector in the UK*. Doctor of Philosophy Thesis, University of Liverpool, England, 53-69.
- Andrady, A. L., Hamid, H., Torikai, A. (2011). Effects of Solar UV and Climate Change on Materials. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 10(2), 292-300.
- Anh, H.D.L., Pásztor, Z. (2021). An overview of factors influencing thermal conductivity of building insulation materials. *Journal of Building Engineering*, 9(44), 5-7.
- Arena, L., Mantha, P. (2013). Moisture Research -Optimizing Wall Assemblies. *CARB Report*, Connecticut, 1-8, 48
- Athauda, R. S., Asmone, A. S., Conejos, S. (2023). Climate Change Impacts on Facade Building Materials: A Qualitative Study. *Sustainability*, 15(10), 7893.

- Ay, B. Ö., Azak, T. E. (2021). Türkiye’de Değişen Yapı Özelliklerinin Karşılaştırmalı İncelemesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 36(4), 1111-1126.
- Aygün, A. (2015). *Climate Change and Urban Resilience: Vulnerability and Risk Assessment for İstanbul*. Master Thesis, İstanbul Technical University, İstanbul, 1-9.
- Batan, M. (2014). *Küresel İklim Değişikliği ve Beklenen Sonuçları*. Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, 5-7.
- Bergero, S. Chiari, A. (2018). *The Influence of Thermal Bridge Calculation Method on the Building Energy Need: A Case Study*. 73rd Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association 2018, (ATI 2018) , Pisa, Italy, 1042-1049.
- Berggren, B. (2019). *Evaluating Energy Efficient Buildings: Energy and Moisture Performance Considering Future Climate Change*. Doctor of Philosophy Thesis, Lund University, Sweden, 24-25, 83-88, 149.
- Bienvenido-Huertas, D., Rubio-Bellido, C., Sánchez-García, D., Moyano, J. (2019). Internal Surface Condensation Risk in Façades of Spanish Social Dwellings. *Building Research & Information*, 47(8), 928-947.
- Blocken, B., Derome, D., Carmeliet, J. (2013). Rainwater Runoff From Building Facades: A Review. *Building and Environment*, 60, 339-361.
- Booth, C. A., Hammond, F. N., Lamond, J., Proverbs, D. G. (2012). *Solutions for Climate Change Challenges in the Built Environment* (1th Edition), Oxford: Wiley-Blackwell Publishing, 1-8.
- Borodinecs, A., Kreslins, A., Dzelzitis, E., Krumins, A. (2007). Ventilation and Energy Conservation in Buildings. *Sustainable Built Environment*, 361-368.
- Borodinecs, A., Nazarova, J., Zajacs, A., Malyshev, A., Pronin, V. (2016). *Specifics Of Building Envelope Air Leakage Problems and Airtightness Measurements*. XV International Conference “Topical Problems of Architecture, Civil Engineering, Energy Efficiency and Ecology – 2016, Web of Conferences (MATEC-2016), 73, 1-7.
- Bozoğlu, B. (2018). *Paris İklim Anlaşması Kapsamında Türkiye’nin Erken Uyarı Sistemine Dair Yapması Gerekenler*. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 17-21.
- BS EN 15026. (2007). *Hygrothermal Performance of Building Components and Building Elements — Assessment of Moisture Transfer by Numerical Simulation*, BSI - British Standards.
- BS EN ISO 10211, (2007). *Thermal bridges in building construction- Heat flows and surface temperatures- Detailed calculations*, 3(1), 54.
- Carbonez K., Van Den Bossche N., Ge H., Janssens, A. (2015). *Comparison Between Uniform Rain Loads and Point Sources to Simulate Rainwater Leakage with Commercial HAM-Models*. Proceedings of ISBP 2015: 1st International Symposium on Building Pathology, Porto, Portekiz, 1-8.

- Chang, S. J., Kim, S. (2015). *Hygrothermal Performance of Exterior Wall Structures Using a Heat, Air and Moisture Modeling*. 6th International Building Physics Conference, (IBPC 2015, Torino, İtalya), Energy Procedia, 78, 3434-3439.
- Choi, J. (2017). *Extreme Environment Architecture*. Doctor of Philosophy Thesis, University of Hawai‘I at Ma Noa, Hawai, 1-16.
- Choidis, P., Coelho, G. B. A., Kraniotis, D. (2023). Assessment of Frost Damage Risk in A Historic Masonry Wall Due to Climate Change. *Advances in Geosciences*, 58, 157-175.
- Çalışkan, M., Korkmaz, E. (2023). Havalandırmalı Giydirmce Cephe (Rainscreen) Sistemlerinde Yangın Yayılımının Deneysel Çalışmalar ve Gerçek Olaylar Üzerinden Karşılaştırılması. *Kent Akademisi*, 16(1), 632-661.
- Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2023). İklim Değişikliği Azaltım Stratejileri Eylem Planı 2024-2030. *İDASEP*, Ankara, 271-299.
- De Angelis, E. Serra, E. (2014). Light Steel-Frame Walls: Thermal Insulation Performances and Thermal Bridges. *Energy Procedia*, 45, 362–371.
- De Wilde, P., Coley, D. (2012). The İmplications of A Changing Climate for Buildings. *Building and Environment*, 55, 1-7.
- Defo, M., Lacasse, M., Laouadi, A. (2022). A Comparison of Hygrothermal Simulation Results Derived From Four Simulation Tools. *Journal of Building Physics*, 45(4), 432-456.
- Delgado, J. M., Barreira, E., Ramos, N. M., De Freitas, V. P. (2013). *Hygrothermal Numerical Simulation Tools Applied to Building Physics* (1th Edition). Berlin: Springer Berlin, 42-44.
- Delgado, J.M.P.Q., Ramos, N.M.M., de Freitas, V.P., Barreira, E. (2010). *Numerical Simulation of Exterior Condensations on Façades: the Undercooling Phenomenon. Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings*. 11th International Conference 2010 11th International Conference on Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings, (Buildings XI), Clearwater Beach, Florida, 3-9.
- Demircan, M., Gürkan, H., Arabacı, H., Coşkun, M. (2017). *Türkiye İçin İklim Değişikliği Projeksiyonları*. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 1-5.
- DIN 4108 (2018). Thermal Protection and Energy Economy İn Buildings - Part 3: Protection Against Moisture Subject to Climate Conditions - Requirements, Calculation Methods and Directions for Planning and Construction.
- Ekşi, A. (2016). *Mevcut Binaların Cephelelerinde Dıştan Isı Yalıtımı Uygulamalarının İstanbul’da Alanda İncelenmesi ve Higrotermal Performansın Benzetimle Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 23-44.

- El Basyouni, M. (2017). Resilient Buildings: A Path Towards Adaptability Climate Change Adaptation Strategies and Interventions for Buildings Resilience. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 7(2), 471-492.
- Erhorn-kluttig, H., Erhorn, H., Citterio, M., Cocco, M., Orshoven, V. Tilmans, A. (2009). *Thermal Bridges in the EPBD Context*, 30th AIVC Conference “Trends in High Performance Buildings”, Berlin, Germany, 1-6.
- Erhorn-Kluttig, H., Erhorn, H., Lahmidi, H., Anderson, R. (2009). Airtightness Requirements for High Performance Building Envelopes. *EPBD Build. Platf*, 157, 1-6.
- Farmer, G. T. (2015). *Modern Climate Change Science: An Overview of Today's Climate Change Science*. London: Springer Charm, 32-34.
- Field, C. B., Barros, V., Stocker, T. F., Dahe, Q. (2012). *Managing The Risks Of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 3-22.
- Freeman, B., Gardiner, A., Holmes, G., Kennedy, M., Labuschagne, C., Shears, O., Sherman, S., Style, D., Douglas, C., Parker, C., Millar, R. (2023). Progress in Adapting to Climate Change 2023 Report to Parliament, *CCC Report*, London, 230-246.
- Gutland M., Bucking S., Quintero, M.S. (2021). A Methodology for Hygrothermal Modelling of Imperfect Masonry Interfaces. *Journal of Building Physics*, 44 (6), 485-509.
- Gündoğan, A.C., Baş, D. Sayman, Ü.R. (2015). *A'dan Z'ye İklim Değişikliği Başucu Rehberi* (İkinci Baskı). Türkiye: Ajanstürk Matbaacılık, 18-20.
- Hacker, J. Capon. R, Mylona. A. (2009). *Use of Climate Change Scenarios for Building Simulation: The CIBSE Future Weather Years* (First Edition), CIBSE TM48: 2009. London: CIBSE Publications, 1-26.
- Hansen, T. K., Bjarløv, S. P., Peuhkuri, R. H., Hansen, K. K. (2018). Performance of Hydrophobized Historic Solid Masonry–Experimental Approach. *Construction and Building Materials*, 188, 695-708.
- Hayles, C. S., Huddleston, M., Chinowsky, P., Helman, J. (2022). Summertime Impacts of Climate Change on Dwellings in Wales, UK. *Building and Environment*, 219, 1-17.
- Hens H. S. L. C. (2002). Heat, Air and Moisture Transfer in Highly Insulated Building Envelopes (Hamtie). *Technical Synthesis Report IEA ECBCS Annex 24*, Report No: A24-TSR-08-2002, Brimingham: UK. 7-17.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). Climate Change 2013–The Physical Science Basis. *WG1AR5*. Cambridge: Cambridge University Press, 741-953, 1029.

- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). Climate Change 2014-Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. *WG1-2-3AR5*, Geneva, Switzerland, 151.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. *WG1-2-3AR6*, Geneva, Switzerland, 35-115.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). Fifth Assessment Report (AR5): Climate Change 2013/2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability; Part B. Regional Aspects/Edited by Vicente R. Barros (Working Group II Co-Chair, Centro de Investigaciones, *WG2AR5*. Cambridge: Cambridge University Press, 43-54, 56-91.
- ISO 13788 (2012). Hygrothermal Performance of Building Components and Building Elements – Internal Surface Temperature to Avoid Critical Surface Humidity and Interstitial Condensation – Calculation Methods.
- ISO 8044 (2020). Corrosion of Metals and Alloys.
- İnternet: Resmi İklim İstatistikleri. URL 1: <https://www.mgm.gov.tr/Veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ZONGULDAK/> Son Erişim Tarihi: 14.09.2024.
- İnternet: Hava Durumu ve İklim. URL 2: <https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim.aspx?key=B/> Son Erişim Tarihi: 11.11.2019.
- İnternet: İklim Nedir ?. URL 3: http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/faq/faq_doc_en.html/ Son Erişim Tarihi: 11.11.2019.
- İnternet: İklim değişikliği. URL 4: <https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim-degisikligi.aspx/> Son Erişim Tarihi: 03.07.2024.
- İnternet: IPCC History. URL 5: <https://www.ipcc.ch/about/history/#:~:text=In%201990%2C%20the%20First%20IPCC,consequences%20and%20requiring%20international%20cooperation/> Son Erişim Tarihi: 06.07.2024.
- İnternet: İklim Değişikliği. URL 6: <https://unfccc.int/news/new-analysis-of-national-climate-plans-insufficient-progress-made-cop28-must-set-stage-for-immediate/> Son Erişim Tarihi: 06.07.2024.
- İnternet: Paris Anlaşması. URL 7: <https://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa/> Son Erişim Tarihi: 08.07.2024.
- İnternet: YİDEP Planları. URL 8: <https://www.iklim.gov.tr/turkiye-nin-yerel-iklim-eylemi-icin-ab-ortakligi-projesi-acilis-toplantisi-gerceklestirildi-haber-/> Son Erişim Tarihi: 08.07.2024.

İnternet: Atmospheric CO₂. URL 9: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/?intent=111/> Son Erişim Tarihi: 08.07.2024.

İnternet: WUFI Pro İnternet Sitesi. URL 10: <https://wufi.de/en/software/wufi-pro//> Son Erişim Tarihi:14.07.2024.

İnternet: METEONORM Resmi Web Sitesi: URL 11: <https://meteonorm.com/en/buy#licences/> Son Erişim Tarihi:16.07.2024.

İnternet: METEONORM Verileri Özellikleri. URL 12: Son Erişim Tarihi: <https://meteonorm.com/en/meteonorm-features/> 16.07.2024.

İnternet: Global Radyasyon. URL 13: <https://www.smhi.se/en/climate/climate-indicators/climate-indicators-global-radiation-1.91484/> Son Erişim Tarihi: 16.07.2024.

İnternet: Isı Yalıtımı. URL 14: <https://www.izoder.org.tr/dosyalar/Bina-ve-Tesisatta-Isi-Yalitimi.pdf/> Son Erişim Tarihi: 20.10.2024.

Kalamees, T., Vinha, J. (2003). Hygrothermal Calculations And Laboratory Tests on Timber-Framed Wall Structures. *Building and Environment*, 38 (2003), 689-697.

Kamara, J. M., Heidrich, O., Tafaro, V. E., Maltese, S., Dejaco, M. C., Re Cecconi, F. (2020). Change Factors and the Adaptability of Buildings. *Sustainability*, 12(16), 6585.

Karagiozis, A., Künzl, H., Holm, A. (2001). *WUFI ORNL/IBP Hygrothermal Model*, Proceeding of the Eighth Conference on Building Science and Technology, Solutions to Moisture Problems in Building Enclosures, Toronto, Italy, 158-183.

Khourchid, A. M., Ajjur, S. B., Al-Ghamdi, S. G. (2022). Building Cooling Requirements Under Climate Change Scenarios: Impact, Mitigation Strategies, and Future Directions. *Buildings*, 12(10), 1519.

Kılıçaslan, A. E., Kus, H. (2021). Evaluation of the Hygrothermal Performance of External Thermal Insulation Applications on the Outer Walls of Existing Buildings. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36 (1), 89-103.

Kiem, A. S. Austin, E. K. (2013). Drought and the Future of Rural Communities: Opportunities and Challenges for Climate Change Adaptation in Regional Victoria, Australia. *Global Environmental Change*, 23(5), 1307-1316.

Knaack, U. (Koenders, E.). (2018). *Building physics of the envelope: principles of construction*, Switzerland: Birkhäuser Verlag GmbH, 27-42.

Kristl, Ž., Senior, C., Temeljotov Salaj, A. (2020). Key Challenges of Climate Change Adaptation in the Building Sector. *Urbani Izziv*, 31(1), 101-111.

Künzel, H.M. (1995). *Simultaneous heat and moisture transport in building components. one- and two-dimensional calculation using simple parameters*. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag, 6-29.

- Künzel, H.M. (1998). Effect of Interior and Exterior Insulation on the Hygrothermal Behaviour of Exposed Walls. *Mat. Struct*, 31, 99–103.
- La Roche, P. (2017). *Carbon-Neutral Architectural Design*. New York: CRC Press, 1-26.
- La Roche, P. M. (2024). *Carbon-Neutral Architectural Design*. New York: CRC Press, 35-37.
- Lacasse, M. A., Gaur, A., Moore, T. V. (2020). Durability and Climate Change—Implications for Service Life Prediction and the Maintainability of Buildings. *Buildings*, 10(3), 53.
- Lacasse, M. A., Ge, H., Hegel, M., Jutras, R., Laouadi, A., Sturgeon, G., Wells, J. (2018). Guideline on Design For Durability of Building Envelopes. *NRC Report (CRBCPI-Y2-R19)*, Canada, 20-21.
- Li, Y., Yu, H., Sharmin, T., Awad, H., Gül, M. (2016). Towards Energy-Efficient Homes: Evaluating the Hygrothermal Performance of Different Wall Assemblies Through Long-Term Field Monitoring. *Energy and Buildings*, 121, 43-56.
- Libralato, M., Saro, O., De Angelis, A., Spinazzè, S. (2019). Comparison Between Glaser Method and Heat, Air And Moisture Transient Model for Moisture Migration in Building Envelopes. *Applied Mechanics and Materials*, 887, 385-392.
- Lisø, K. R., Kvande, T., Time, B. (2017). Climate Adaptation Framework for Moisture-Resilient Buildings in Norway. *Energy Procedia*, 132, 628-633.
- Lowe, R. J. (2003). Preparing the built environment for climate change. *Building Research and Information*, 31(3-4), 195-199.
- Lu, J., Marincioni, V., Orr, S. A., Altamirano-Medina, H. (2021). Climate Resilience of Internally-Insulated Historic Masonry Assemblies: Comparison of Moisture Risk Under Current and Future Climate Scenarios. *Minerals*, 11(3), 271.
- Lykartsis, A. (2019). *Resilience of buildings to extreme weather events*. Doctor of Philosophy Thesis, University of West London, London, 2-3.
- Milovanović, B. Mikulić, D. (2011). Assessment Method for Combined Heat, Air and Moisture Transfer in Building Components. *Proceedings of International Conference on Energy Management in Cultural Heritage*, 1-11.
- Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S. K., Van Vuuren, D. P., Meehl, G. A. (2010). The Next Generation of Scenarios for Climate Change Research and Assessment. *Nature*, 463(7282), 747.
- Nik, M.V.(2012). *Hygrothermal simulations of buildings concerning uncertainties of the future climate*. Doctor of Philosophy Thesis, Chalmers University of Technology, Sweden, 1-10.
- Onur, A.C. (2014). *İstanbul'da kentleşmenin iklim değişikliğine uyum çerçevesinde değerlendirilmesi*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1-7.

- Pagoni, P., Møller, E. B., Peuhkuri, R. H., Jensen, N. F. (2024). Evaluation of the Performance of Different Internal Insulation Systems in Real-Life Conditions-A Case Study. *Building and Environment*, 267, 1-3.
- Pallin, S. (2013). *Risk assessment of hygrothermal performance-building envelope retrofit*. Doctor of Philosophy Thesis, Chalmers University of Technology, Sweden, 1-5.
- Parracha, J. L., Borsoi, G., Flores-Colen, I., Veiga, R., Nunes, L., Dionísio, A., Faria, P. (2021). Performance Parameters of ETICS: Correlating Water Resistance, Bio-susceptibility and Surface Properties. *Construction and Building Materials*, 272, 1-3.
- Pehlevan, A., Yaşar, Y. Kalfa, S.M. (2011, 13-16 Nisan). *Higrotermal Performans Açısından Duvar Konstrüksiyonu Tasarımında Bilgisayar Modellerinin Kullanımı*. X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 372-374.
- Peng, L.; Stewart, M.G.(2016). Climate Change and Corrosion Damage Risks for Reinforced Concrete Infrastructure in China. *Struct. Infrastruct. Eng*, 12, 499–516.
- Phillipson, M. C., Emmanuel, R., Baker, P. H. (2016). The durability of Building Materials Under A Changing Climate. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 7(4), 590-599.
- Samancı, B. (2019). *Ahşap Dış Duvarların İstanbul'daki Uygulamalar Üzerinden İncelenmesi, Isıl ve Nemsel Performansın Benzetim ile Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 31-35.
- SBSTA. (2019). IPCC Special Event on Unpacking the New Scientific Knowledge and Key Findings in the IPCC Special Report on Global Warming of 1.5 °C, *SBSTA/IPCC*, Korea, 1-16.
- Sdei, A. (2015). *Climate Change Adaptation of Retrofitted Social Housing in the South-East of England*. Doctor of Philosophy Thesis, University of Brighton, England, 1-3.
- Shahid, S., Pour, S. H., Wang, X., Shourav, S. A., Minhans, A., bin Ismail, T. (2017). Impacts and Adaptation to Climate Change in Malaysian Real Estate. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 9 (1), 87-103.
- Skinner, B. J., Murck, B. (2011). *The Blue Planet: An Introduction to Earth System Science* (Third Edition). Hoboken: Wiley: John Wiley & Sons, 380.
- Socoloski, R. F., Bersch, J. D., Guerra, M., Masuero, A. B. (2023). The Influence of Temperature and Rain Moisture in Mortar Facades Obtained Through Hygrothermal Simulation. *Construction and Building Materials*, 370, 2-11.
- Starakiewicz, A., Miąsik, P., Krason, J., Lichołai, L. (2019). Methods for Determining Mold Development and Condensation on the Surface of Building Barriers. *Buildings*, 10(1), 2-16.
- TenWolde, A., Bomberg, M. T. (Trechsel, H.R., & Bomberg, M.T). (2009). *Moisture Control in Buildings: The Key Factor in Mold Prevention* (2nd Edition). Baltimore: ASTM International, 228-241.

- Tidblad, J. (2012). Atmospheric Corrosion of Metals in 2010–2039 and 2070–2099. *Atmospheric Environment*, 55, 1-6.
- Toydemir, N., Gürdal, E., Tanaçan, L. (2004). *Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme*, İstanbul: Literatür Yayınevi, 158-162, 171-173.
- Trechsel, H.R. (Johnson, P.G). (2003). *Performance of Exterior Building Walls*. West Conshohocken: ASTM International, 189-199.
- Trivedi, N. S., Venkatraman, M. S., Chu, C., Cole, I. S. (2014). Effect of Climate Change on Corrosion Rates of Structures in Australia. *Climatic Change*, 124(1), 133-146.
- TS 825. (2013). *Binalarda Isı Yalıtım Kuralları*. Türk Standartları Enstitüsü.
- Turgut, Ç.(2009). *An Investigation of Transient Water Vapor Migration in Building External Walls*, Master Thesis, İzmir Institute of Technology University, İzmir, 54-57.
- Türkeş, M. (2002). İklim Değişikliği: Türkiye - İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi İlişkileri ve İklim Değişikliği Politikaları. *Çevre ve Sürdürülebilir Kalkınma Paneli Vizyon ve Öngörü Raporu*, Ankara, 1-18.
- Umaroğulları, F. (2011). *Betonarme Düşey Yapı Kabuğunda Yalıtımın Yerin ve Kalınlığının, Nem Denetimi Açısından Deneysel ve Sayısal Değerlendirmesi*, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trakya, 20-24.
- Umaroğulları, F., Mıhlayanlar, E., Seyit, M. (2024). Isı Köprülerinde Hıgrotermal Performansın ve Isı Kayıplarının İncelenmesi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 44(1), 245-258.
- United Nations Framework Convention on Climate Change. (2019). Climate Action and Support Trends. *UNCCS Report*, Bonn, 4-10.
- Van Aarle, M., Schellen, H., van Schijndel, J. (2015). Hygro Thermal Simulation to Predict the Risk of Frost Damage in Masonry; Effects of Climate Change. *Energy Procedia*, 78, 2536-2541.
- Vandemeulebroucke, I., Caluwaerts, S., Van Den Bossche, N. (2021). Factorial Study on the Impact of Climate Change on Freeze-Thaw Damage, Mould Growth and Wood Decay in Solid Masonry Walls in Brussels. *Buildings*, 11(3), 134.
- Wang, H., Song, W., Chen, Y. (2019). Numerical Simulation of Wind-Driven Rain Distribution on Building Facades Under Combination Layout. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 188, 375-383.
- Xiao, Z. (2022). *Assessing Moisture Resilience of Wall Assemblies to Wind- Driven Rain Loads Arising from Climate Change*. Doctor of Philosophy Thesis, University of Ottawa, Canada, 2-14.
- Yıldız, Y. (2021). An Overview of Hygrothermal Simulation Tools. *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10 (2), 273-286.

Zhao, K., Jiang, Z., Huang, Y., Sun, Z., Wang, L., Gao, W. and GE, J. (2022). The Method of Reducing Heat Loss From Thermal Bridges in Residential Buildings with Internal Insulation in China's Hot Summer and Cold Winter Zone. *Journal of Building Engineering*, 62, 2-18.

EKLER

(Ekler Tezin arka kapağında CD ortamında verilmiştir.)



Gazili olmak ayrıcalıktır