



**YEŞİL BİNALARDAKİ DÜŞEY İÇ BOŞLUKLARIN PERFORMANSA
DAYALI YANGIN GÜVENLİĞİ TASARIMI BAĞLAMINDA
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Mehmet Akif YILDIZ

**DOKTORA TEZİ
MİMARLIK ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2023

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.

Mehmet Akif YILDIZ

10/05/2023

YEŞİL BİNALARDAKİ DÜŞEY İÇ BOŞLUKLARIN PERFORMANSA DAYALI YANGIN GÜVENLİĞİ TASARIMI BAĞLAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ

(Doktora Tezi)

Mehmet Akif YILDIZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2023

ÖZET

Sürdürülebilirlik hedefleri ile yapıları çevrelerdeki yerini alan yeşil binalarda yangın güvenliği gerekliliklerinin tasarım aşamasında ele alınmaması neticesinde sürdürülebilirlik ilkeleri ile çelişen problemler ortaya çıkmaktadır. Özellikle iç mekân konfor kalitesi ve enerji korunumu sağlanması amacıyla doğal havalandırmanın etkin kullanımına imkân vererek iç mekânda hava akımının kontrollü dolaşımını sağlayan yeşil binalardaki düşey iç boşluklarda olası bir yangın anında duman ve alevlerin bina içerisinde kontrolsüz yayılması riski bulunmaktadır. Düşey iç boşluklarda yangın yayılım risklerinin fırsata çevrilmesi amacıyla bu çalışmada iç hava akımları ile paralel hareket eden dumanın düşey iç boşluklar aracılığıyla tahliyesi ile alev ve sıcaklık kontrolünün sağlanması amacıyla performans dayalı yangın tasarım kullanılarak bina tasarım aşamasında binanın performansının izlenerek tasarım kararlarının alındığı yaklaşım geliştirilmiştir. Literatürdeki fiziksel model çalışmaları ile güneş, rüzgar bacası çalışma prensibinden faydalanılarak tasarlanan prototip binada yangın tahliyesi amacıyla düşey boşluk tasarımı için belirlenen boşluk genişliği ve yüksekliği, boşlukta yer alan hava giriş çıkış yüksekliği ve genişliği ile boşluğa bakan mekanlardaki havalandırma boşluğu genişlik ve yükseklikleri olmak üzere 6 adet değişkenden oluşturulan tasarım senaryoları neticesinde duman, alev ve sıcaklık analizleri yapılmıştır. Değişkenlere ait parametrelerin sıralı olarak belirlenmesine dayanan parametrik analiz ile duman yayılımı ve alev kontrolü için en uygun parametrelerin belirlenmesinden sonra 6 adet değişkenin modele etki derecelerinin ile modelin anlamlılığı ve gücünün tespit edilmesi ve sıcaklık denkleminin oluşturulması amacıyla hassasiyet analizi yöntemi olan çok değişkenli doğrusal regresyon analizi uygulanmıştır. Performansa dayalı yangın güvenliği tasarımı için CFD (Computational fluid Dynamics) denklemlerini kullanarak çözümler üreten FDS (Fire Dynamic Simulation) ile simülasyon sonuçlarını görselleştirebilen Smokeview programlarına ait fonksiyonları içerisinde barındıran Pyrosim programı kullanılmıştır. Pyrosim programından alınan sayısal verilerdeki belirsizlikleri düzenlemek ve sistematik hale getirmek amacıyla Matlab programından faydalanılmıştır. Çok değişkenli doğrusal regresyon yöntemi için ise Matlab programı aracılığıyla elde edilen sıcaklık verilerinden faydalanılarak SPSS programı ile model analizi yapılmıştır. Düşey iç boşluk yoluyla yangın tahliyesi yöntemleri sunan model ve modelden elde edilen sıcaklık denklemi ile yapı sektörü için yangın güvenliğinin performansa dayalı tasarımı oluşturularak paydaşlar için tasarım aşamasında yangın güvenliği için stratejiler sunulmuştur.

Bilim Kodu : 80111

Anahtar Kelimeler : Yeşil binalar, yangın güvenliği, duman tahliyesi, performans dayalı analiz, hassasiyet analizi

Sayfa Adedi : 180

Danışman : Prof. Dr. Figen BEYHAN

EVALUATION OF VERTICAL INTERIOR VOIDS IN GREEN BUILDINGS IN THE CONTEXT OF PERFORMANCE-BASED FIRE SAFETY DESIGN

(Ph. D. Thesis)

Mehmet Akif YILDIZ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

May 2023

ABSTRACT

In green buildings, designed with sustainability goal, problems arise that contradict the principles of sustainability because fire safety requirements are not considered at the design stage. In the event of a fire, there is a risk of uncontrolled spread of smoke and flames in the building through vertical internal voids in green buildings, which provide controlled circulation of air flow in the interior space to ensure indoor comfort quality and energy conservation. In this study, a performance-based fire protection design was developed to provide smoke removal and flame and temperature control through vertical internal voids, with the aim of turning the risks of fire spread in vertical internal voids into opportunities. A prototype building was designed by utilizing the physical model studies in the literature and the working principle of solar and wind chimneys. Smoke, flame, and temperature analyses were performed as a result of the design scenarios created from 6 variables: cavity width and height, void air inlet and outlet height and width, and ventilation gap width and height. A parametric analysis method, based on the sequential determination of the parameters of the variables, was used to determine the most appropriate parameters for smoke propagation and flame control. Multivariate linear regression analysis, a sensitivity analysis method, was then used to determine the degree of influence of 6 variables on the model and the significance and power of the model and to form the temperature equation. For performance-based fire safety design, the Pyrosim program was used, which includes FDS (Fire Dynamic Simulation), which generates solutions using CFD (Computational Fluid Dynamics) equations, and Smokeview, which can visualize simulation results. The Matlab program was used to systematize and characterise the uncertainties in the numerical data obtained from the Pyrosim program. For the multivariate linear regression method, the model analysis was carried out using the SPSS program, with the temperature data obtained using the Matlab program. As a result of the model, which presents methods for fire evacuation through the vertical internal void, and the temperature equation obtained from the model, strategies for fire safety at the design stage are presented to building industry stakeholders.

Science Code : 80111

Key Words : Green buildings, fire safety, smoke evacuation, performance-based analysis, sensitivity analysis

Page Number : 180

Supervisor : Prof. Dr. Figen BEYHAN

TEŞEKKÜR

Doktora çalışmamda bu çalışmayı yapmama imkân vererek bana her zaman destek olan çok kıymetli tez danışmanım Prof. Dr. Figen BEYHAN' a ve doktora sürecimin yanı sıra hayatımın en büyük destekçisi biricik eşim Merve ERTOSUN YILDIZ' a şükran duyarım. Tez izleme komitesinde yer alarak değerli görüşlerinden yararlandığım hocalarım Prof. Dr. H. Güçlü YAVUZCAN ve Doç. Dr. Gülsu ULUKAVAK HARPUTLUGİL' e teşekkürlerimi sunarım. Hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen aileme, canım kardeşim Tuba Nur YILDIZ KOPUZ'a ve dünyaya geldiği günden beri yaşama sevincimizi ve heyecanımızı artıran yeğenim Nil Neva' ya minnettarım. Son olarak eksiklikleri hep içimde olan ve manevi olarak varlıklarını hissettiğim annem ve ablam ile doktora sürecimizde ailemize dâhil olan umut ışığımız kızım Elif Ece' ye tezimi adamak isterim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. YEŞİL BİNALARDA YANGIN GÜVENLİĞİ	4
2.1. Yeşil Binalar.....	9
2.2. Yangın Güvenliği Bağlamında Yeşil Bina Tasarım Özellikleri.....	11
2.2.1. Arazi kullanımı.....	15
2.2.2. Bina kabuğu	17
2.2.3. Bina içi düşey boşluklar	23
2.2.4. Bina sistemleri ve güç kaynakları	25
2.2.5. Malzeme	27
2.3. Yeşil Bina Tasarım Özelliklerinden Kaynaklı Yangın Olayları.....	29
3. YEŞİL BİNALARDA YANGIN GÜVENLİĞİ HAKKINDA LİTERATÜR TARAMASI: BİBLİYOMETRİK ANALİZ	41
3.1. Bibliyometrik Analiz.....	41
3.2. Scopus Veri Tabanı Taraması.....	42
3.3. VOSviewer Software.....	43
3.4. Bibliyometrik Haritalama Sonuçları	43

	Sayfa
3.4.1. Araştırma alanına yön veren ülkeler	44
3.4.2. Yüksek atıf alan makalele	46
3.4.3. Anahtar kelime analizi	48
3.5. Bina İç Düşey Boşluklarında Yangın Güvenliği Ve Riski Hakkında Fiziksel Model Çalışmaları	51
3.6. Düşey Boşluklarda Hava Akımı Ve Duman Hareketine Etki Eden Doğal Faktörler Model Çalışmaları	59
4. YEŞİL BİNALARDAKİ DÜŞEY BOŞLUKLAR YOLUYLA PERFORMANSA DAYALI YANGIN GÜVENLİĞİ TASARIMI	65
4.1. Performansa Dayalı Yangın Güvenliği Tasarımı	65
4.2. Performansa Dayalı Tasarımda Yangın Modelleri	75
4.2.1. Problemin tanımlanması	76
4.2.2. Aday model seçimi	77
4.2.3. Modelin doğrulanması ve onaylanması	79
4.2.4. Belirsizliklerin ve model kullanıcısı etkilerinin tanımlanması	80
4.2.5. Belgeleme	81
4.3. Performansa Dayalı Yangın Modelinin Çıkarımları – Belirsizliklerin Giderilmesi	81
5. MATERYAL YÖNTEM	83
5.1. Projenin Tanımlanması	85
5.2. Performans Kriterlerinin Belirlenmesi	86
5.3. Problemin ve Tasarımın Tanımlanması	87
5.4. Aday Model Seçimi	89
5.5. Belirsizliklerin Tanımlanması	91
5.6. Tasarım Senaryolarının Oluşturulması ve Değerlendirme	94
5.7. Tasarımın Onaylanması ve Modelin Çıkarımları – Hassasiyet Analizi	95

	Sayfa
6. YÖNTEMİN UYGULANMASI VE BULGULAR	101
6.1. Senaryo A	101
6.2. Senaryo B	120
6.3. Senaryo C	136
6.4. Hassasiyet Analizi	161
6.5. Regresyon Denklemi ile Modelin Karşılaştırılması	161
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	165
KAYNAKLAR	169
ÖZGEÇMİŞ	179

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Referans çalışmalara göre risk oluşturan mimari özellikler	14
Çizelge 2.2. Yangın riski oluşturan yeşil mimari özelliklerin sınıflandırılması	15
Çizelge 2.3. Grenfell Tower binasında yangın olayı	31
Çizelge 2.4. Shanghai Apartment binasında yangın olayı	32
Çizelge 2.5. The Television Cultural Center binasında yangın olayı	33
Çizelge 2.6. Cook Country Administration binasında yangın olayı	34
Çizelge 2.7. Windsor Building binasında yangın olayı	35
Çizelge 2.8. Gaziosmanpaşa Taksim Eğitim ve Araştırma Hastane binası yangın olayı.....	36
Çizelge 2.9. Marina Torch Tower binası yangın olayı	37
Çizelge 2.10. Polat Tower binası yangın olayı	38
Çizelge 3.1. Ülke ağ haritasının sayısal verileri	44
Çizelge 3.2. 30 ve üzeri atıf alan makalelerin listesi	47
Çizelge 3.3. Kümelere göre anahtar kelimeler ve çalışma alanları.....	50
Çizelge 3.4. Deney tasarım senaryoları	53
Çizelge 3.5. FDS modeline ait tasarım senaryoları.....	53
Çizelge 3.6. FDS modeline ait tasarım senaryoları.....	54
Çizelge 3.7. Prototip binada uygulanan tasarım senaryoları.....	55
Çizelge 3.8. 1:3 ölçekli deneyde uygulanan tasarım senaryoları	56
Çizelge 3.9. Senaryolara ait değerler	57
Çizelge 4.1. Yangından korunma amaç, paydaş ve tasarım hedefleri ile performans kriterlerine ait örnekler	70
Çizelge 4.2. Zehirli gazlardaki yaralanma ve ölümle sonuçlanan ortalama dayanabilirlik sınırları	71

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.3. Duman katmanı seviyesi ve dumandan kaynaklı görüş mesafesi için ortalama sınır değerler	72
Çizelge 5.1. Projenin performans ölçütleri	87
Çizelge 5.2. Yangın olay sırası	89
Çizelge 5.3. Farklı yangın büyüme oranlarının 1055 kW' a ulaşma katsayısı	93
Çizelge 5.4. Tasarım yangını özellikleri	94
Çizelge 5.5. Tasarım yangın senaryoları girdi değişkenlerine ait değer aralıkları	95
Çizelge 6.1. Boşluk genişliği ve yüksekliğinin analiz edildiği A senaryoları	101
Çizelge 6.2. A1 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri.....	102
Çizelge 6.3. A2 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri.....	104
Çizelge 6.4. A3 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri.....	105
Çizelge 6.5. A4 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri.....	107
Çizelge 6.6. A5 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri.....	108
Çizelge 6.7. A6 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri.....	110
Çizelge 6.8. A7 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri.....	111
Çizelge 6.9. A8 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri.....	113
Çizelge 6.10. A9 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri.....	114
Çizelge 6.11. A10 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri.....	116
Çizelge 6.12. Hava giriş ve çıkışları boyutlarının analiz edildiği B senaryoları (cm)....	120
Çizelge 6.13. B1 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri.....	121
Çizelge 6.14. B2 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri.....	122
Çizelge 6.15. B3 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri.....	124
Çizelge 6.16. B4 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri.....	125
Çizelge 6.17. B5 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri.....	127
Çizelge 6.18. B6 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri.....	128

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.19. B7 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri	130
Çizelge 6.20. B8 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri	131
Çizelge 6.21. B9 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri	133
Çizelge 6.22. Hava giriş ve çıkışları boyutlarının analiz edildiği C senaryoları	136
Çizelge 6.23. C1 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri	137
Çizelge 6.24. C2 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri	139
Çizelge 6.25. C3 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri	140
Çizelge 6.26. C4 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri	142
Çizelge 6.27. C5 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri	143
Çizelge 6.28. C6 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri	145
Çizelge 6.29. C7 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri	146
Çizelge 6.30. C8 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri	148
Çizelge 6.31. C9 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri	149
Çizelge 6.32. Senaryolara ait matlab programından elde edilen ortalama sıcaklık değerleri	153
Çizelge 6.33. Değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları	155
Çizelge 6.34. Yöntemlere ait uç değerler	157
Çizelge 6.35. Senaryolarda uygulanan sınırlılık analizi yöntemleri için uç değerleri	158
Çizelge 6.36. Değişkenlerin kombinasyonları ve varyanslarının bağımlı değişkene etki değerleri	159
Çizelge 6.37. Regresyon sonuçlarına ait katsayılar	160
Çizelge 6.38. Modelin sınanması için belirlenen değişken değerleri	162
Çizelge 6.39. Örnek senaryo duman, sıcaklık ve hız görünümüleri	163

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Tez akış şeması	7
Şekil 2.1. Gölgeleme elemanları ve ağaçların itfaiye erişimine etkisi	16
Şekil 2.2. Cephe hareketi nedeniyle oluşan baca etkisi ve yangın yayılımı	18
Şekil 2.3. Farklı çift kabuk katman tasarımları a-d (soldan sağa) a-kutu tipi, b-şaft tipi, c-koridor tipi, d-bina boyunca devam eden tip	21
Şekil 2.4. Farklı çift kabuk tasarımlarında yangın yayılımı.....	21
Şekil 2.5. Bitkilendirme sistemlerinde yangın riskleri	22
Şekil 2.6. Atriumda baca etkisi ile ısınan havanın yükselmesi prensibi.....	24
Şekil 2.7. PV panel ve bileşenleri	26
Şekil 3.1. Araştırma konusundaki makalelerin yıllara göre dağılımı	42
Şekil 3.2. Ülke ağ haritası.....	44
Şekil 3.3. 30 ve üzeri atıf alan makalelere ait ağ haritası	46
Şekil 3.4. Anahtar kelime ağ haritası	49
Şekil 3.5. Deney modelinin özellikleri ve yangın testi görüntüleri	52
Şekil 3.6. Çalışmanın FDS modeli.....	53
Şekil 3.7. FDS tarafından oluşturulan odanın sayısal modeli.....	54
Şekil 3.8. Prototip bina modeli özellikleri	55
Şekil 3.9. Deneysel platformun şematik bir görünümü	56
Şekil 3.10. Prototip bina modeli özellikleri	57
Şekil 3.11. Prototip bina modeli özellikleri	58
Şekil 3.12. Baca etkisi çalışma prensibi.....	61
Şekil 3.13. Nötral düzlem konumu boşluğun orta seviyesindeyken duman akışı	62
Şekil 3.14. Nötral düzlem konumu boşluğun üst seviyesindeyken duman akışı.....	63

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. SFPE tarafından tanımlanan performansa dayalı yangın güvenliği aşamalar	67
Şekil 4.2. Sıcaklığın insan üzerindeki maruz kalma süresine göre etkisini gösteren sıcaklık zaman grafiği	71
Şekil 4.3. Uygun yangın modelinin belirlenmesi aşamaları	76
Şekil 5.1. Tez kapsamında geliştirilen model	84
Şekil 5.2. Projenin kapsam, amaç ve hedefleri	85
Şekil 5.3. Tasarım bina plan ve kesiti	88
Şekil 5.4. CFD modeli hesaplama için hücre bölünmesi	90
Şekil 5.5. Bilgisayar modeli uzamsal alan özellikleri.....	92
Şekil 5.6. Yangın büyüme eğrisi.....	93
Şekil 5.7. Yangın senaryoları için girdi değişkenlerinin sıranması sıralaması	96
Şekil 6.1. A1 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler	103
Şekil 6.2. A2 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler	104
Şekil 6.3. A3 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler	106
Şekil 6.4. A4 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler	107
Şekil 6.5. A5 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler	109
Şekil 6.6. A6 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler	110
Şekil 6.7. A7 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler	112
Şekil 6.8. A8 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler	113
Şekil 6.9. A9 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler	115
Şekil 6.10. A10 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler	116
Şekil 6.11. A senaryolarında son kat odalardaki ısı çiftlerinden ölçülen sıcaklık değerleri	118
Şekil 6.12. A senaryolarında tasarım tahliye boşluğu ile atrium sıcaklık oranları	119
Şekil 6.13. B1 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler.....	121

Şekil	Sayfa
Şekil 6.14. B2 senaryosu ısıt çiftlerden ölçülen değerler.....	123
Şekil 6.15. B3 senaryosu ısıt çiftlerden ölçülen değerler.....	124
Şekil 6.16. B4 senaryosu ısıt çiftlerden ölçülen değerler.....	126
Şekil 6.17. B5 senaryosu ısıt çiftlerden ölçülen değerler.....	127
Şekil 6.18. B6 senaryosu ısıt çiftlerden ölçülen değerler.....	129
Şekil 6.19. B7 senaryosu ısıt çiftlerden ölçülen değerler.....	130
Şekil 6.20. B8 senaryosu ısıt çiftlerden ölçülen değerler.....	132
Şekil 6.21. B9 senaryosu ısıt çiftlerden ölçülen değerler.....	133
Şekil 6.22. B senaryolarında son kat odalardaki ısıt çiftlerden ölçülen sıcaklık değerleri	135
Şekil 6.23. B senaryolarında tasarım tahliye boşluğu ile atrium sıcaklık oranları	136
Şekil 6.24. C1 senaryosu ısıt çiftlerden ölçülen değerler.....	138
Şekil 6.25. C2 senaryosu ısıt çiftlerden ölçülen değerler.....	139
Şekil 6.26. C3 senaryosu ısıt çiftlerden ölçülen değerler.....	141
Şekil 6.27. C4 senaryosu ısıt çiftlerden ölçülen değerler.....	142
Şekil 6.28. C5 senaryosu ısıt çiftlerden ölçülen değerler.....	144
Şekil 6.29. C6 senaryosu ısıt çiftlerden ölçülen değerler.....	145
Şekil 6.30. C7 senaryosu ısıt çiftlerden ölçülen değerler.....	147
Şekil 6.31. C8 senaryosu ısıt çiftlerden ölçülen değerler.....	148
Şekil 6.32. C9 senaryosu ısıt çiftlerden ölçülen değerler.....	150
Şekil 6.33. C senaryolarında son kat odalardaki ısıt çiftlerden ölçülen sıcaklık değerleri	151
Şekil 6.34. C senaryolarında tasarım tahliye boşluğu ile atrium sıcaklık oranları	152
Şekil 6.35. Bağımsız değişkenlerin her birinin sıcaklık üzerindeki etki yüzdesi	155
Şekil 6.36. Normal dağılım grafiği	156

Şekil	Sayfa
Şekil 6.37. Değişkenlere ait normal dağılımı gösteren histogram	156
Şekil 6.38. Ki-Kare tablosu.....	157
Şekil 6.39. Bağımsız değişkenlerin sıcaklık değişkenine etki sıralamaları	161
Şekil 6.40. Örnek model simülasyonuna ait plan, kesi ve görünüş	162
Şekil 6.41. Örnek model simülasyon ortam sıcaklığı zaman grafiği	164

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

°C	Santigrat Derece
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
cm	Santimetre
kW	Kilowatt
m	Metre
m ²	Metrekare
mm	Milimetre
MW	Megawatt
s	Saniye

Kısaltmalar

Açıklamalar

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
BRANZ	Building Research Association of New Zealand
CFD	Computational Fluid Dynamics
ÇEDBİK	Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği
FDS	Fire Dynamic Simulator
NASFM	National Association Of State Fire Marshals
NFPA	National Fire Protection Association
NIST	National Institute of Standards and Technology
SFPE	Society of Fire Protection Engineers

1. GİRİŞ

Tüm dünya ülkelerinin ortak problemi haline gelen sürdürülebilirlik kaygılarına çözüm yaklaşımlarından biri olarak yeşil binalar, kaynakların verimli kullanımı ve yapılı çevre etkilerinin en aza indirilmesi hedefleriyle yüksek performansa sahip binalar olarak yaygınlaşmaya başlamıştır. Ancak enerji ve su başta olmak üzere yapı yaşam döngüsü içerisinde verimliliği ve kaynak korunumunu önceleyen yeşil bina tasarımlarında yangın güvenliği önemli bir problem olarak ortaya çıkmakta, tasarımın ilk aşamalarından itibaren yangın riskinin belirlenmesi, değerlendirilmesi ve çözüm stratejilerinin geliştirilememesi durumlarında sürdürülebilirlik ilkeleriyle çelişmektedir. Gerçekleşmesi durumunda kaynak korunumunun yanı sıra bina kullanıcılarının ve yangına müdahale ekiplerinin can güvenliğini de tehdit eden yangın olayları, yeşil bina tasarımlarında sıklıkla kullanılan yatay ve düşey boşluklar nedeniyle özellikle yangının yayılması ve büyümesi hususlarında çok daha fazla dikkate alınmalı ve yangın güvenliğini sağlamak amacıyla riske uygun çözüm yaklaşımları geliştirilmelidir.

Bütün binalarda gerçekleşme olasılığı söz konusu olabilen yangın olayları, can güvenliğine dair oluşturduğu tehdidin ötesinde yanma sonucu ortaya çıkan zehirli gazların, partiküllerin ve yangın söndürme süreçlerinde kullanılan malzemelerle de etkileşime giren yanmış ürünlerin atmosfere ve toprağa karışması nedeniyle olumsuz çevresel etkilere de yol açmaktadır. Bir başka problem ise, yangın olaylarının sonrasında yanan binadaki malzemelerin ya da yapı elemanlarının dönüştürülerek ya da olduğu gibi yeniden kullanımının mümkün olmaması sebebiyle kaynak israfının ortaya çıkmasıdır. İşlevsel ömrünü tamamlamış ama yapısal ömrü tükenmemiş binalar yeniden işlevlendirilebilir ya da yapısal ömrü tükenmiş olan bir bina geri dönüşüm planlamaları çerçevesinde yıkılarak yeniden kullanılabilir veya malzeme ya da hammadde olarak geri kazandırılabilir. Oysaki yangın olayları nedeniyle kullanım dışı kalan binalarda bu durum söz konusu olmadığı için malzemelerin bertaraf edilmesi kaynak korunumu açısından önemli bir sorun oluşturmaktadır. Binanın ve içeriğinin doğrudan kaybolması iş kesintisi, iş kayıpları, hizmetlerin aksaması gibi toplumsal ve ekonomik sonuçları da beraberinde getirmektedir.

Yangın güvenliği bütün binalar için dikkate alınması gereken önemli bir risk problemi olmakla birlikte, yüksek performans sağlamak, çevresel etkileri azaltmak, kullanıcı

konforunu ve kaynak korunumunu ön plana çıkarmak gibi önemli hedefleri içeren yeşil binaların tasarım özelliklerinden dolayı çok daha önemli olmaktadır. Yeşil binalarda iç mekân konfor kalitesini artırmak ve enerji korunumu sağlamak için iklim elemanlarından üst düzeyde faydalanılması amacıyla yatayda ve düşeyde düzenlenen boşluklar vasıtasıyla iç mekânlarda meydana gelen hava hareketleri ile binanın konstrüksiyonu, yalıtımı ve kaplamaları için kullanılan yanıcı özelliğe sahip malzemeler, enerji üretmek için kullanılan sistemler, iklimlendirme sistemleri, elektrik kaynaklı sistemler yangın güvenliği bağlamında değerlendirilmediğinde yangının başlaması ve yayılmasında riskin boyutları daha da büyüebilmektedir. Gerçekleştiği durumda ise felaket olarak nitelendirilebilecek kayıplara sebebiyet verebilmektedir. Bu durum yangın riski karşısında güvenlik zafiyetine sahip olan binaların sürdürülebilirliği hususunda tartışmaya açık bir problemi ortaya koymaktadır.

Bu bağlamda yeşil binaların herhangi bir noktasında meydana gelebilecek bir yangın olayının katlar arasında hızla yayılmasında ve büyümesinde önemli etkisi olan düşey boşluklar yangına güvenli bina tasarımı açısından bu tez çalışmasının temel problemi olarak belirlenmiştir. Kontrollü hava akımlarının sağlanabilmesi amacıyla yeşil bina tasarımlarının temel tasarım bileşeni olan düşey boşlukların geometrik özellikleri ve boyutları dikkate alınarak boşluktaki yangın gelişimini incelemek için bir yöntem geliştirilmiş, performansa dayalı yangın güvenliği tasarımı çerçevesinde duman katman seviyesi, alev yayılımı ve sıcaklık kontrolü için uygun tasarım stratejilerini kapsayan bir model geliştirilerek optimum çözüm yaklaşımı ortaya konmuştur. Olası bir yangın durumunda ortaya çıkan dumanın, alevin, yanmamış toksik gazların ve yüksek ısının katlar arasında kolaylıkla yayılmasına zemin hazırlama potansiyeline sahip olan düşey boşlukların, tasarım özelliklerine bağlı olarak doğru yönlendirilen hava akımları sayesinde yangının yayılmasına, büyümesine ve kullanılan mekânlarda olumsuz koşulların oluşmasına izin vermeyecek şekilde yangın yan ürünlerinin tahliye boşluğu olarak çalışabilme potansiyeli araştırılarak performansa dayalı bir tasarım modeli geliştirilmiştir.

Bu bağlamda çalışmanın çerçevesini tanımlayan araştırma sorusu aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

Her an her binada gerçekleşmesi olası yangın riskleri karşısında zayıf kalan binaların sürdürülebilir mimarlık ürünleri kapsamında değerlendirilmeleri söz konusu olamayacağı dikkate alındığında, yapı kabuğu içerisinde ortak bir rejimle hava akımlarının öngörüldüğü

yeşil binaların temel tasarım bileşenlerinden olan düşey boşlukların artırdığı yangın riski, ilgili boşlukların tasarım özelliklerine bağlı olarak performansa dayalı iyileştirilmesi sayesinde yangının yayılmasını engelleyen çözüm elemanları olarak tasarlanması mümkün müdür?

Çalışmanın çerçevesini oluşturabilmeye yönelik olarak belirlenen alt araştırma soruları ise aşağıda sıralanmıştır:

- . Yangın riski karşısında yeterli ve yetkin güvenliğe sahip olmayan yeşil binaların sürdürülebilirliği önemli bir tartışma konusu mudur?
- . Yeşil binalarda yangın güvenliği açısından risk oluşturan tasarım yaklaşımları ve bileşenleri nelerdir? Yeşil bina tasarımlarının temel bileşeni olan düşey boşluklar yangının yayılmasında etkili midir?
- . Yeşil binalarda yangın güvenliği konusu bilimsel çalışmalarda ne kadar yer bulmuştur, araştırma eğilimleri hangi konularda yoğunlaşmıştır ve araştırma boşlukları nelerdir?
- . Performansa dayalı yangın güvenliği nedir? Bina içi düşey boşluklarda yangın güvenliğinin sağlanması amacıyla nasıl kullanılır?
- . Performansa dayalı yangın güvenliği tasarımında kullanılan araç ve yöntemler nelerdir?
- . Simülasyon araçlarından elde edilen sayısal verilerin değerlendirilmesinde kullanılan araç ve yöntemler nelerdir?

Araştırma hipotezi

Yangın anında duman ve alevin hareketi iç mekânda mevcutta öngörülen hava akımlarına paralel seyretmektedir. Yeşil binalarda konfor kalitesi ve enerji korunumu için doğal havalandırmanın etkin kullanımına imkân vererek iç mekânda hava akımının kontrollü dolaşımını sağlayan düşey iç boşluklar; yangın anında tasarım özelliklerine bağlı olarak doğru yönlendirilen hava akımları sayesinde yangının yayılmasına, büyümesine ve kullanılan mekânlarda olumsuz koşulların oluşmasına izin vermeyerek yangın yan ürünlerinin tahliye boşluğu olarak çalışabilme potansiyeline sahiptir. Risk durumunda tahliye boşluğu olarak tasarlanacak olan düşey boşlukların tasarımında yangın gelişim sürecinin, duman ve alev hareketinin ve iç mekân sıcaklık seviyelerinin izlenmesine katkı sağlayan performansa dayalı analizler ve tasarım yöntemleri kullanılabilir. Performansa dayalı analiz sonuçlarını dikkate alan tasarım yöntemlerinden faydalanılarak yangına

güvenli tasarım niteliği artırılan düşey boşluklar yeşil bina konseptinin gereklerine cevap vermenin ötesinde, yangın durumunda tahliye boşluğu olarak görev yapacağı için yangın sonuçları azaltılabilir ve bu sonuç yeşil binaların sürdürülebilirlik hedeflerini olumlu etkiler.

Araştırma amacı ve hedefi

Tez çalışmasında tasarım hedefleri gereği yeşil binalarda sıklıkla kullanılan düşey iç boşlukların yangın anında duman tahliyesi ile alev ve sıcaklık kontrolü için de kullanılmasını amaçlayan bir yaklaşımla en uygun düşey boşluk tasarımının performansa dayalı analizlerin gerçekleştirilmesi ve analiz sonuçlarının değerlendirildiği bir tasarım modelinin geliştirilmesini hedefleyen bir yöntem geliştirilmiştir. Bu temel hedef kapsamında öncelikle yeşil binalarda yangın güvenlik problemlerine ve çözüm potansiyellerine sebep olacak tasarım özelliklerinin araştırılması ve araştırma hakkındaki çalışmaların sistematik analizine imkân veren bibliyometrik analiz yapılarak araştırma eğilimleri ve eksiklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Daha sonra en uygun düşey boşluk tasarımında kullanılmak üzere geliştirilen yöntem ile performansa dayalı tasarım yaklaşımı kapsamında literatürde geniş yer bulan tasarım aşamaları takip edilerek hesaplamalı akışkanlar dinamiğini kullanan sayısal model programı aracılığıyla yangın güvenlik tasarım modeli oluşturulması ve hassasiyet analizi ile modelin uygun parametrelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Araştırma yöntemi

Araştırmada hedeflenen sonuçlara ulaşmak amacıyla birden fazla yöntem kullanılmış ve her aşamada üretilen stratejiler ve veriler bir sonraki yöntem için veri setleri oluşturmuştur. İlk olarak akademik çalışmaları, uluslararası kuruluşlar tarafından desteklenen projeleri ve raporları kapsayan sistematik bir literatür taraması yapılarak yeşil binaların mimari tasarım özellikleri incelenmiş ve yangın güvenliği hususunda risk oluşturan yeşil mimari tasarım özellikleri tespit edilmiştir. Daha sonra araştırma eğilimleri ve boşluklarını belirlemek ve araştırma kapsamındaki nitelikli çalışmaları ortaya çıkarmak amacıyla bibliyometrik analiz yöntemi kullanılarak literatürdeki araştırmaların sayısal verileri elde edilmiş ve yeşil binalarda yangın güvenliği hakkında mimari tasarım ile ilişkili akademik çalışma eksikliği tespit edilmiştir. Yeşil binalarda yangın güvenliği bağlamında değerlendirilmesi gereken ancak akademik çalışmalarda yaygın olarak yer almayan ve mimari tasarımlar için kritik öneme sahip iç mekândaki hava akımlarının kontrolü için tasarlanan yeşil bina iç düşey

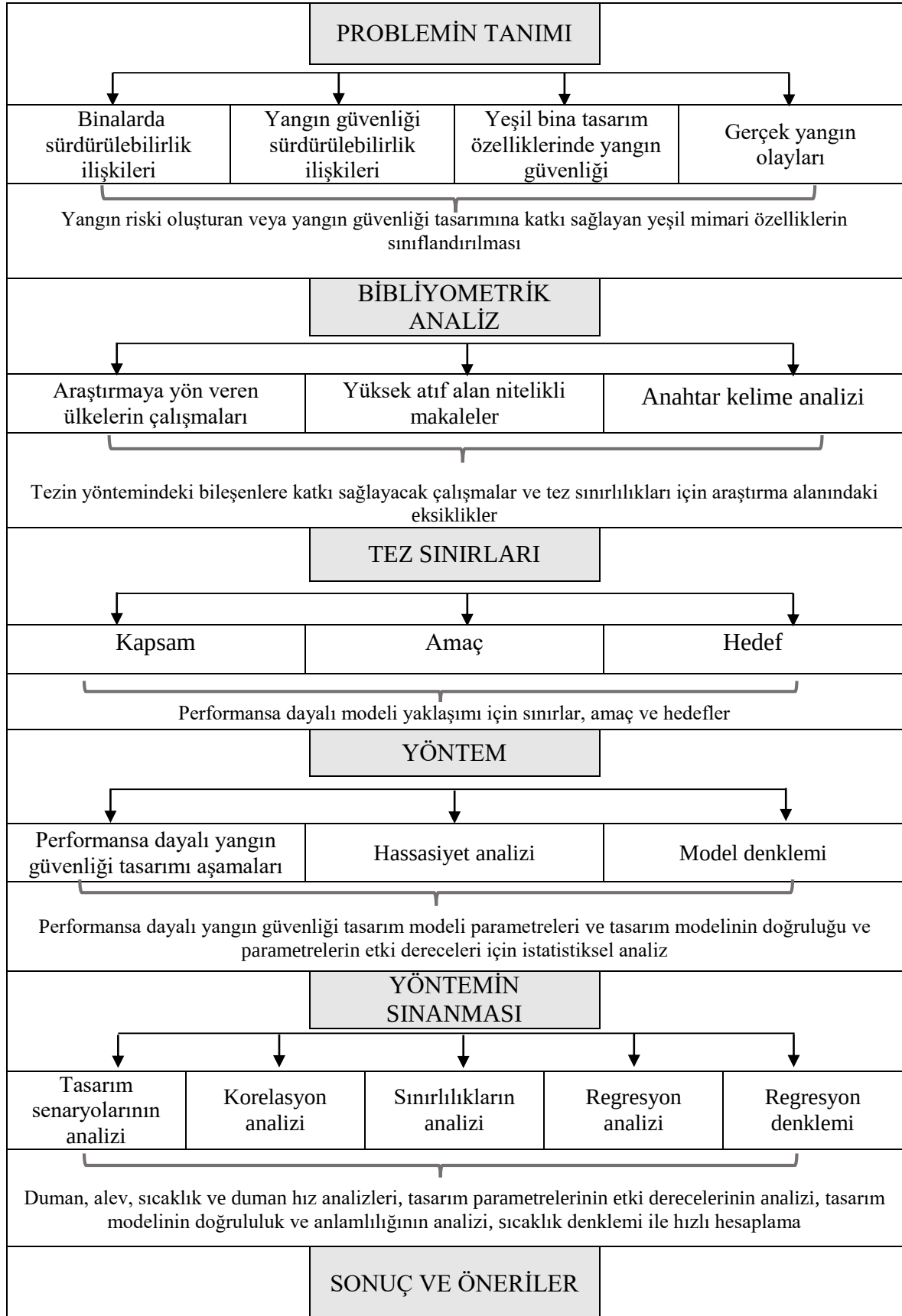
boşluklar yoluyla yangın güvenliği tasarımı bileşenleri belirlenmiştir. Uygun düşey boşluk için prototip bina tasarlanması sürecinde yeşil binalarda tercih edilen çift kabuklu cephe boşluğu, atrium, güneş ve rüzgar bacası çalışma prensibi ve boyutsal özelliklerinden faydalanılmıştır. Bu özelliklerden yola çıkarak tasarım yangını modeli için performansa dayalı yangın güvenliği aşamaları kullanılarak değişken ve sabit tasarım elemanlarından modele karar verilmiş, performans kriterleri ve veri setleri oluşturulup senaryolar belirlenmiştir. Duman tahliyesi, alev ve sıcaklık kontrolü için tasarım yangın modelinin sayısal analizi sürecinde hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin simülasyon ile birlikte sunabilen Fire Dynamic Simulator (FDS) ve sonuçları görselleştirebilen Smokeview yazılımları ve tüm bunları bünyesinde barındıran Pyrosim programı kullanılarak yangın güvenliği bağlamında en uygun düşey iç boşluk tasarımı analizleri yapılmıştır. Simülasyonlar neticesinde görsel ve sayısal olarak duman tahliyesi ve alev kontrolü için belirlenen en uygun tasarımlardan sonra Pyrosim programından alınan ve Matlab programı aracılığıyla düzenlenen senaryolara ait sıcaklık verilerinden yola çıkarak hassasiyet analizi yapılmıştır. SPPS programı aracılığıyla yapılan hassasiyet analizi yöntemlerinden çok değişkenli doğrusal regresyon analizi ile modelde belirlenen ve senaryoları oluşturulan bağımsız değişkenlerin bağımlı ortam sıcaklığı değişkeni üzerindeki etki dereceleri saptanmıştır. Sonuç olarak hassasiyet analiziyle simülasyon yapılmaksızın değişkenlere ait değerler girilerek sıcaklık sonuçlarına ulaşılabilecek ve tasarımcılar için hızlı ve etkin karar vermeye yardımcı olacak sıcaklık denklemi oluşturulmuştur. Bu doğrultuda tezin akışı Şekil 1.1' de verilmekte olup, tezin aşamaları aşağıda özetlenmektedir:

1. Uluslararası özel ve kamu kuruluşları tarafından desteklenen akademik çalışmalar, projeler, raporlar ve dünyada gerçekleşen yangın olaylarından faydalanılarak yeşil binalarda yangın güvenliği genel çerçevesi sunulup, yangın güvenliği riski ve/veya tasarım fırsatı oluşturabilecek yeşil bina tasarım özellikleri sınıflandırılmıştır.
2. Yeşil bina tasarım özelliklerinden yola çıkarak belirlenen anahtar kelimeler ile bibliyometrik analiz yapılarak araştırma alanında nitelik çalışma ve araştırmalar saptanmıştır. Ayrıca araştırma eğilimleri ve eksiklikleri belirlenerek konu hakkında akademik çalışmalara katkı sağlayacak tez çalışmasının alanı ve kapsamı belirlenmiştir.
3. Araştırma eksiklikleri neticesinde belirlenen yeşil binalardaki düşey iç boşluklarda yangına güvenli tasarım gerçekleştirmek amacıyla performans modellerine dayalı yaklaşım

geliştirilmiştir. Performansa dayalı yangın güvenlik tasarımı karmaşıklığının önüne geçilmesi ve sistematik bir düzen oluşturulması amacıyla geliştirilen model için Society of Fire Protection Engineers (SPFE) tarafından performansa dayalı tasarım aşamaları kullanılarak performans kriterleri belirlenmiş, tasarım yangın modeli oluşturulmuş ve hedefe uygun yangın senaryoları seçilerek simülasyonlar yapılmıştır. Pyrosim programı ile yapılan simülasyonlar neticesinde tasarlanan düşey boşluk yoluyla duman tahliyesi için en uygun tasarım özellikleri belirlenmiştir.

4. Tasarım yangın modeli aracılığıyla belirlenen parametreler ile modelin doğruluğu, işlenebilirliği ve modeldeki bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisinin ölçülmesi amacıyla hassasiyet analizi yapılmıştır. Öncelikle modelin doğruluğu ve anlamlılığının tespiti için Pearson Korelasyon analizi ve modele katkı sağlamayan senaryoların varlığının araştırılması için ise sınırlılıkların analizi yapılmıştır. Modelin anlamlılığı ve doğruluğunun tespiti sonrası Çok Değişkenli Regresyon Analizi yapılarak bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etki dereceleri belirlenmiştir.

5. Son olarak analizler neticesinde elde edilen regresyon denklemi aracılığıyla simülasyon yapılmaksızın değişkenlerdeki sayısal değişimlerin modeldeki sıcaklığa etkisi hızlı bir şekilde tespit edilmiştir. Modelin ve denklemin doğruluğu için örnek bir model oluşturularak karşılaştırma yapılmıştır.



Şekil 1.1. Tez akış şeması

2. YEŞİL BİNALARDA YANGIN GÜVENLİĞİ

Bu bölümde uluslararası kuruluşların tanımlamalarıyla yeşil bina kavramı ve yangın ile ilgili temel kavramlar açıklanmıştır. Sonraki aşamada yeşil bina tasarımlarını yangın güvenliği bağlamında ele alan ve uluslararası kuruluşlar tarafından desteklenen çalışmalar irdelenerek yangın riski oluşturan yeşil mimari özellikler sınıflandırılması neticesinde çalışmanın genel literatür analizi gerçekleştirilmiştir.

2.1. Yeşil Binalar

Yeşil binalar, insanların sağlığını korumak ve verimliliğini artırmak, yapılı çevrenin doğal çevre üzerindeki etkilerini en aza indirmek amacıyla ekolojik prensipler çerçevesinde tasarlanan, inşa edilen, işletilen, yenilenen ve bertaraf edilen yapılardır. Yeşil binalarda kaynak verimliliği, yüksek düzeyde enerji ve su verimliliği, uygun arazi ve peyzaj kullanımı, çevre dostu malzemelerin kullanılması ile binanın tasarım ve işletiminin yaşam döngüsü etkilerinin en aza indirilmesi hedeflenmektedir [1].

Dünya Yeşil Bina Konseyi (WorldGBC), tasarımında, yapımında veya işletiminde olumsuz etkileri azaltan veya ortadan kaldıran, iklim ve doğal çevre üzerinde olumlu etkiler yaratabilen, doğal kaynakları koruyan ve yaşam kalitesini iyileştiren tasarımlara sahip binaları yeşil binalar olarak tanımlamaktadır [2].

ABD Yeşil Bina Konseyi (USGBC)' ne göre yeşil bina, tüm yaşam döngüsü boyunca, yapılı çevrenin doğal çevre ve her gün binalarda yaşayan insanlar üzerinde hem olumlu hem de olumsuz derin etkileri olabileceği anlayışıyla başlayan bütüncül bir kavramdır. Genel olarak, enerji ve su kullanımı, iç mekân kalitesi, malzeme seçimi ve binanın sahadaki etkileri başta olmak üzere binaların planlanması, tasarımı, yapımı ve işletilmesi süreçlerini ele almaktadır [3].

Çeşitli teknik standartları ve ilgili ürün ve çözümleri sunarak derecelendirme ve sertifika kuruluşları ile çalışan ASTM' ye göre ise yeşil binalar kaynakların etkili kullanımına ve nihayetinde daha sağlıklı, enerji açısından verimli, çevre dostu binalar inşa edilmesine odaklanmaktadır. Sürdürülebilirliğe doğru harekette, yeşil bina endüstrisi binaları tasarlama,

inşa etme ve işletme şeklinde değişiklikler sunarak çevreyi düzenleyip, yerel, bölgesel ve küresel ekosistemin fonksiyonelliğini artırırken, aynı zamanda da belirlenen bina performans gereksinimlerine karşılık vermektedir [4].

Türkiye’deki Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği (ÇEDBİK) ise yeşil binaları; doğayla uyumlu olan, binanın arazi seçiminden yaşam döngüsü süresince kadar çevresel ve sosyal bilinç anlayışıyla tasarlanan, iklim verilerine ve bölgeye özgü koşullara uyan, ihtiyacı kadar tüketen, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelen, doğal ve atık üretmeyen malzemeleri kullanan, ekosistemlere duyarlı yapılar olarak tanımlamaktadır [5].

Dünyada sürdürülebilir yapılı çevreler ile ilgili çalışmalar yapan kuruluşların yeşil bina kavramı ile ilgili tanımlamaları çerçevesinde yeşil binaların tasarımında öne çıkan tasarım konuları aşağıdaki şekilde özetlenebilmektedir:

- Yapı yaşam döngüsü değerlendirmesi,
- Çevresel etki düzeyinin en aza indirilmesi,
- İnsan sağlığının korunması,
- İnsanlar için konfor kalitesinin yükseltilmesi,
- Enerji ve su korunumunun sağlanması,
- Doğal, en az düzeyde atık üreten ve geri dönüşüme uygun malzeme kullanımı,
- Bina inşa sürecinde kaynak korunumunun ve çevreye duyarlılığın gözetilmesi,
- İklimsel verilerin üst düzeyde kullanılması,
- İç mekân konfor düzeyinin artırılması,
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması

İlgili konulara çözüm üretilen yeşil bina projeleri son yıllardaki küreselleşmenin de etkisi ile yapı sektörü içerisinde önemli bir yer edinmeye başlamıştır. Yeşil binaların yaşam döngüsü süresince düşük enerji ve su tüketimi, atık yönetimindeki başarısı, ekosisteme en az seviyede etkisi, çevre dostu malzemelerin kullanımının artması ve yaşam döngüsü maliyetlerinin düşük olması gibi sebepler, yeşil binaların inşasına yönelimi artırmaktadır [6].

Ancak tüm olumlu hedeflerinin yanı sıra yeşil binaların tasarım özellikleri bağlamında beraberinde getirdiği riskler de dikkate alınmak zorundadır. Her binada gerçekleşmesi olası yangın olayları, özellikle yeşil bina tasarımlarında sistemin işleyişi açısından önemli olan ve fazlasıyla yer bulan düşey boşlukların varlığı nedeniyle bu risklerin başında gelmektedir.

Tasarımdan gelen risklerin analiz edilerek gereken yeterli ve yetkin güvenlik önlemlerine tasarım sürecinde yer verilmeyen yeşil binaların sürdürülebilirlik hedefleriyle de çelişen sonuçları yaratma olasılığına sahip olan yangın olaylarının tasarım sürecinde değerlendirilmesi ve performansa dayalı tasarım yaklaşımları ile çözüm stratejilerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

2.2. Yangın Güvenliği Bağlamında Yeşil Bina Tasarım Özellikleri

Yeşil binalarda yangın güvenlik sorunlarını ele alan ve özellikle yangın güvenliği çalışmaları üreten uluslararası kamu ve özel kuruluşlar tarafından çalışılan veya desteklenen araştırmaların incelenmesi ile yangın riski oluşturan yeşil bina tasarım özellikleri ve risk faktörleri tespit edilerek yangın güvenliğinin sağlanmasında potansiyel çözüm stratejileri değerlendirilmiştir.

Building Research Association of New Zealand (BRANZ) tarafından desteklenen ve Yeni Zelanda inşaat sektörünün odak noktası olduğu bir çalışma raporunda, sürdürülebilir bina tasarımları ile yangın güvenliği tasarımlarının ayrı ayrı ele alınmasından kaynaklı çatışmalar irdelenmiştir. Çalışmada yangın güvenliği tasarımının sürdürülebilirliğe olumlu katkıları ile sürdürülebilir tasarımdan kaynaklı yangın güvenlik problemleri olmak üzere iki perspektif sunulmuştur. Bu çerçevede öncelikle sürdürülebilir tasarım çözümleri ve sistemleri sınıflandırılmış ve olası yangın güvenliği problemi açıklanmıştır. Raporda yangın riski oluşturabilecek yeşil bina tasarım elemanları ve sistemleri; kabuk elemanları, akıllı bina sistemleri, alternatif enerji sistemleri, peyzaj, bina iç boşlukları, yeşil çatı ve duvarlar, çift kabuklu cepheler, giydirme cam cepheler, atriumlar, ısıtma soğutma havalandırma sistemleri, gölgeleme elemanları olarak sınıflandırılmıştır [7].

Bina endüstrisinde hızla büyüyen yeşil bina tasarımlarındaki malzeme, ürün, tasarım ve uygulamada meydana gelen değişikliklerin enerji ve çevresel faydalarının yanında oluşan yangın risklerinin ele alındığı bir çalışma, binalarda yangın güvenliği ve sürdürülebilirlik arasındaki ilişkiyi incelemiş, yangın ve sürdürülebilirlik topluluklarının durumunu tartışarak yangına dayanıklı sürdürülebilir tasarımları teşvik etmek için geliştirme ve uygulama yolları önermiştir [8]. Çalışmada yangın riski oluşturabilecek yeşil bina tasarım elemanları ve sistemleri; akıllı bina sistemleri, alternatif enerji sistemleri, bina iç boşlukları, ısı yalıtım

malzemeleri, ısıtma soğutma havalandırma sistemleri, gölgeleme elemanları olarak sınıflandırılmıştır.

Worcester Politeknik Enstitüsü'nde hazırlanan ve Fire Protection Association Australia tarafından desteklenen çalışma, Fire Protection Association Australia için bir rehber oluşturması amacıyla yangından koruma uzmanları, sürdürülebilir tasarım paydaşları ile yapılan görüşmeler ve daha önce yapılan çalışmaların ele alınması neticesinde paydaşlar arasındaki bağlantılar, zorluklar ve çatışmalar ortaya koyularak tavsiye plan oluşturulmuştur. Çalışmanın sonucunda sürdürülebilir tasarım ile yangın güvenliği tasarımı arasındaki iletişimi artırabilecek ve Fire Protection Association Australia tarafından geliştirilebilecek tavsiye niteliğinde eylem planı hazırlanmıştır. Çalışmada yangın riski oluşturabilecek yeşil bina tasarım elemanları ve sistemleri; strüktür elemanları ve sistemleri, iç mekân elemanları, alternatif enerji sistemleri, bina iç boşlukları, yeşil çatı ve gölgeleme elemanları olarak sınıflandırılmıştır [9].

Fire Protection Research Foundation (NFPA) tarafından desteklenen yeşil binalarda yangın sorunu üzerine genel yaklaşımlar sunan bir projenin final raporu; son yıllarda yeşil malzeme ve sistemlerin kullanımını teşvik etmek amacıyla yaygınlaşan yeşil derecelendirme kuruluşlarının ve ülkelerin yeşil bina ve enerji kodlarının yangın ve diğer risk faktörlerini değerlendirmemesi sorununu irdelemiştir. Yeşil binaları ve yapı elemanlarından kaynaklı yangın olaylarını mümkün olduğu kadar tanımlamak için proje ekibi, düzenleyici kurumlar, itfaiye kuruluşları, sigorta şirketleri ve araştırma birimleri de dahil olmak üzere Amerika Birleşik Devletlerinde (ABD) ve uluslararası birçok kuruluş ile yapılan çalışmalar neticesinde risk oluşturan yeşil mimari özellikler belirlenerek sertifika programlarına da entegre edilebilecek yeşil özellikler ve potansiyel yangın tehlikeleri ile ilgili bir dizi risk ve sistem analizi geliştirilmiştir. Raporda yangın riski oluşturabilecek yeşil bina tasarım elemanları ve sistemleri; strüktür, kabuk ve iç mekân elemanları, akıllı bina sistemleri, alternatif enerji sistemleri, peyzaj, gölgeleme elemanları olarak sınıflandırılmıştır [10].

National Association Of State Fire Marshals (NASFM) tarafından desteklenen ve yeşil binalarda yangın risklerini itfaiyecilerin çalışma ortamları üzerindeki etkileri çerçevesinde ele alan bir başka raporda ise kullanıcı ve itfaiyeci güvenliğinin üst düzeye çıkarılması için çalışma yapılmıştır. İtfaiyenin erişimini kısıtlayan yeşil alanlar ve yaya öncelikli yollar, yangıcı yalıtım ve cam türleri sebebiyle yüksek yangın yükü etkisi, güneş enerjisinden

faydalanan fotovoltaik paneller gibi güç kaynaklarından elektrik arızaları sonucu yangın çıkması, su tasarrufu sebebiyle yangın söndürmenin eksik kalması gibi sorunların itfaiyeciler için tehlikeler oluşturduğu açıklanmıştır. Raporun sonunda yeşil bina bileşenlerini tanımlayan ve her bir bileşeni bir dizi potansiyel kaygı ile ilişkilendiren kontrol listesi oluşturulmuştur [11]. Raporda yangın riski oluşturabilecek yeşil bina tasarım elemanları ve sistemleri; kabuk elemanları, akıllı bina sistemleri, alternatif enerji sistemleri, arazi seçimi ve kullanımı, ısı yalıtım malzemeleri, ısıtma soğutma havalandırma sistemleri, gölgeleme elemanları olarak sınıflandırılmıştır.

Yeşil binalarda yangın riski üzerine çerçeve bir araştırma yapan ve NASFM tarafından da desteklenen Worcester Politeknik Enstitüsü'ndeki bir projede ise hem yeşil bina tasarımında hem de yangın güvenliği alanında çalışan profesyoneller ile yapılan röportajlar ve konu ile ilgili bir yangın sempozyumundaki sunumlar incelenerek değerlendirmeler yapılmıştır. Yeşil bina tasarım öğeleri ile malzemelerinin yangın konusunda risk oluşturabilmesi, itfaiye personelinin yeşil binalar hakkında yeterli bilgiye sahip olmamaları, disiplinler arasında koordinasyon olmaması ve bilgi eksikliğinin fazla olması, yangın ile ilgili mevzuatların yeşil bina tasarımına uygun olarak kendini güncelleyememesi gibi problemler ortaya koyulmuştur [12]. Projede yangın riski oluşturabilecek yeşil bina tasarım elemanları ve sistemleri; strüktür ve kabuk elemanları, bina iç boşlukları, yeşil çatı ve duvarlar, atrium, ısı yalıtım malzemeleri olarak sınıflandırılmıştır.

Yeni Zelanda Yeşil Bina Konseyi tarafından sertifikalandırılmış 50 adet yeşil binada yangın güvenliği üzerine inceleme yapan bir çalışmada; yangın riski oluşturabilen yeşil mimari özellikler tanımlanmıştır. Tanımlanan yeşil mimari özellikler uzmanların katılımıyla gerçekleşen panelde tartışılmış ve en yüksek risk oluşturan yeşil mimari özelliklerden oluşturulan prototip tasarımlar Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği modelleme programları aracılığıyla modellenerek duman hareketleri izlenmiştir. İncelenen örneklerde iç mekânda hava hareketinin en alt seviyede tutulduğu ısıtma soğutma sistemleri yangın durumunda dumanın yayılmasında etmen olmadığından olumlu iken, atriumlu ve çift cidarlı cephelerle doğal havalandırmanın kullanıldığı örneklerin dumanın engelsiz taşınmasına destek oldukları için olumsuz etki gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmanın birinci kısmını oluşturan yangın olayı için olumlu ve olumsuz davranışlar sergileyebileceği düşünülen yeşil mimari özelliklerin Yeni Zelanda'daki uzmanlar tarafından tartışıldığı panel ile risk oluşturan özellikler puanlama sistemi oluşturularak sınıflandırılmıştır. Panel sonucunda

oluşturabilecek yeşil bina tasarım elemanları ve sistemleri; akıllı bina sistemleri, alternatif enerji sistemleri, yeşil çatı ve duvarlar, çift kabuklu cepheler, ısı yalıtım malzemeleri, atriumlar olarak sınıflandırılmıştır [13].

Hong Kong’da yeşil mimari özellikleri barındıran yüksek katlı binalar üzerinden yapılan bir çalışmada, yüksek katlı binalardaki yangın risklerini tanımlayarak, yangın önleme yönetimini optimize etmeye yönelik analizler yapılmış ve mevcut yangın güvenliği kodu ile yeşil bina tasarımının mevcut eğilimi arasındaki çatışmaları incelenmiştir. Söz konusu çalışmada yeşil bina tasarım elemanları ve sistemleri; bina iç boşlukları, çift kabuklu cepheler, giydirme cam cepheler ısı yalıtım malzemeleri olarak sınıflandırılmıştır [14].

Yukarıdaki çalışmalarda ele alınan yangın riski oluşturabilecek yeşil mimari tasarım özellikleri sistemleri Çizelge 2.1’ de özetlenmektedir.

Çizelge 2.1. Referans çalışmalara göre risk oluşturan yeşil mimari özellikler

	Strüktür eleman ve sis.	Kabuk eleman ve sis.	İç mekân eleman ve sis.	Bina sistemleri	Alternatif enerji sis.	Arazi seçimi-kullanımı	Peyzaj	İç boşluklar	Yeşil çatı ve duvarlar	Çift kabuklu cepheler	Giydirme cam cepheler	Atrium	Geri dönüşüm depo alanı	Isı yalıtım malzemeleri	Isıtma, soğutma sis.	Gölgeleme elemanları
Robbins		X		X	X		X	X	X	X	X	X			X	
Roberts vd.				X	X			X						X	X	X
Carter vd.	X		X		X			X	X							X
Meacham vd.	X	X	X	X	X		X									X
Murphy vd.		X		X	X	X								X	X	X
Joyce vd.	X	X						X	X			X		X		
Donn vd.				X	X				X	X		X	X			
Ho vd.								X		X	X			X		

Yeşil binalarda yangın güvenliği konusunda uluslararası kuruluşlar tarafından oluşturulan veya desteklenen çalışmalarda problem olarak belirlenen ve Çizelge 2.1’ de özetlenen yeşil bina pasif ve aktif tasarım özellikleri alt başlıklar olarak Çizelge 2.2’ de yeniden sınıflandırılmıştır. Yapılan sınıflandırmalardaki başlıkların açıklanması ve tespit edilen problemlerin tariflenebilmesi amacıyla dünyada gerçekleşen ve yangın başlaması ve/veya

yayılmasında yeşil bina tasarım özelliklerinin etkili olduğu yangın olayları incelenerek değerlendirme yapılmıştır.

Çizelge 2.2. Yangın riski oluşturan yeşil mimari özelliklerin sınıflandırılması

ARAZİ KULLANIMI	BİNA KABUĞU	BİNA İÇİ DÜŞEY BOŞLUKLAR	BİNA SİSTEMLERİ VE GÜÇ KAYNAKLARI	MALZEME
Bina formu ve yönelim	Cephe hareketleri	Atrium	Fotovoltaik paneller	Strüktür
Peyzaj	Tek katmanlı giydirmeye cam	Galeri	Güneş tüpleri	Kabuk
	Çift Katmanlı cephe	Şaft	HVAC sistemleri	
	Yeşil çatı ve duvar			

2.2.1. Arazi kullanımı

Yeşil binalar araziye ait hukuki unsurların verdiği yasal zorunluluklar ve işlevsel ihtiyaçlar ile yerleşiminin yanı sıra geleneksel tasarımların ötesine geçerek çevresel faktörlerin değerlendirildiği birçok etmeni içinde barındıran bir tasarıma dönüşmektedir. Bu tasarım anlayışları ile iklimsel veriler, yakın yapılı çevre ilişkileri, kullanıcının konforlu erişim ve kullanımı, bölgeye uygun bitki kullanımı ile yeşil alanların oluşturulması gibi faktörler ele alınarak yeşil tasarıma uygun bina formu, yönelimi ve peyzaj düzenlemesi oluşmaktadır. Arazi kullanımında yangını etkileyen en önemli faktör itfaiye erişimi ve söndürme işleminin etkin olarak sürdürülmesi iken, oluşturulan bina formu ve yönelimi de hava akımı, rüzgâr gibi etmenler sebebiyle yangının yayılmasında etkili olarak risk oluştururken, uygun tasarım yöntemleri ile rüzgâr ve hava akımı yangında duman tahliyesi için bir fırsat olabilmektedir.

Bina formu ve yönelim:

Binada iklimsel verilerden optimum düzeyde yararlanmak için rüzgar, güneş gibi doğal kaynaklara göre yönelim ile bina planı uzunluğunun derinliğine oranı, bina yüksekliği, çatı türü ve eğimi, cephe türü gibi değişkenler ile tanımlanan formundan kaynaklı binanın toplam dış yüzey alanı, farklı yönlere bakan çatı ve cephe yüzey alanları, cephesel hareketler gibi faktörler bina enerji performansını etkilemektedir [15].

Binada enerji performansının sağlanması, çevresel etkilerin faydalı öğelerinin kullanılması ve çevreye en az zarar verilmesi hedefiyle tasarlanan yeşil binaların form ve yöneliminde yangın faktörü doğrultusunda itfaiye erişiminin sağlanarak etkin çalışma alanlarının oluşturulması ile rüzgâr, sıcaklık gibi etkilerden kaynaklı yangın yayılımı risklerinin tasarımlara dâhil edilmesi gerekmektedir. Bir binanın enerji etkin tasarımı amacıyla formu ve yönelimi, ısıtma ve soğutma maliyetlerini, gölgeleme yapılarının ve tesislerinin yerleşimini etkilerken, gölgeleme elemanları ve bina formundan kaynaklı bütün yüzeylere ulaşımındaki sınırlamalar itfaiye erişimini kısıtlayabilmektedir. (Şekil 2.1) [11].



Şekil 2.1. Gölgeleme elemanları ve ağaçların itfaiye erişimine etkisi [11].

Peyzaj

Peyzaj, işlevsel, uygun maliyetli, çevre dostu ve bakımı kolay alanları içeren bir tasarımla başlamaktadır. Sürdürülebilir peyzaj tasarımı, yerel bitkileri ve malzemeleri, geçirgen betonları, yüksek verimli alt yüzey damla sulamalarını, gri su sulamalarının yanı sıra gelecekte geri dönüşüme tabi tutulabilecek malzemeleri dengeleyen ortamlardır.

Birbirine ve binaya yakın ağaçlar, fiskyeler ve peyzaj donatıları itfaiye bağlantılarına erişimi engellememeli ve binanın dışının tamamına ulaşım sağlayabilmelidir. Ayrıca arazi içinde kullanılan geçirimli beton veya asfalt yüzeylerin taşıma kapasitesinin yetersiz olması itfaiye ulaşımını etkilemektedir. Bakımı düzenli yapılmayan bitkiler yangın için yakıt katkısı sağlarken, bitkilerin arazideki konumu da binaya erişime ve söndürme çalışmalarına uygun tasarıma sahip olmalıdır [11].

Atıkların geri dönüştürülmesi amacıyla binaların çevresinde kurulan geçici atık depolama alanlarında tutuşmaları önlemek için bu alanlar iyi yönetilmeli ve konumlandırılmalıdır. Buraya yerleştirilen malzemeler kontrol edilmezse, reaktif maddelerin tutuşma potansiyeli ile birlikte depolanması ve ardından yanıcı geri dönüştürülebilir maddelerden kaynaklı hızlı yangın yayılmasında bazı potansiyeller oluşmaktadır [15]. Sonuç olarak peyzaj tasarımı ve unsurları itfaiye erişimini, söndürme çalışmalarını etkilerken, yangın için yakıt katkısı da sağlayabilmektedir.

Yeşil bina tasarımlarında arazi kullanımından kaynaklanan yangın problemleri ile ilgili araştırmalar aşağıdaki risklerin değerlendirilmesine işaret etmektedir:

- İtfaiye erişimi,
- Söndürme çalışmaları ve sistemlerinin kullanılması,
- Yangına yakıt katkısı,
- Duman, alev ve diğer gazların içten dışa, dıştan içe ve dıştan çevreye yayılımı

2.2.2. Bina kabuğu

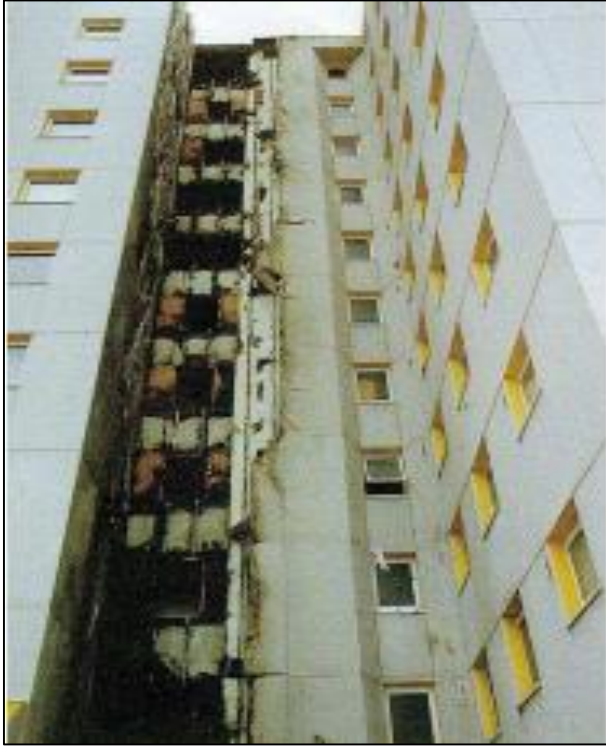
Yatay, düşey ve eğimli tüm yapı bileşenlerinden oluşan ve dış ortam ile iç ortam arasında bir süzgeç görevi üstlenen bina kabuğu; enerji performansı ile iç ortam konfor kalitesini sağlayan önemli bir yapı bileşenidir [16]. Yeşil binalarda iklimsel, çevresel ve teknolojik fırsatları kullanarak tasarlanan bina kabuğu sistem ve elemanlarından kaynaklı yangın riskleri değerlendirilmesi gereken tasarım alanıdır. Bu doğrultuda; kabuğun yeşil mimari özellikler içerisinde değerlendirilmesi, yangın durumunda ortaya koyduğu riskler bağlamında davranış modelleri birbirinden farklılık göstermesi ve yangın güvenliğinin sağlanmasında geliştirilecek çözümlerde başkalaşma olması sebebiyle kabuk başlığı; cephe hareketleri, tek katmanlı giydirme cam cepheler, çift katmanlı cepheler, yeşil çatı ve düşey elemanlar olarak irdelenmektedir.

Cephe hareketleri

Bina cephelerindeki hareketler sayesinde doğal aydınlatma ve havalandırma sağlanan bina yüzeyi artırılmaktadır. Sıcak, nemli iklime sahip bölgelerdeki doğal havalandırma tasarımları hâkim rüzgâr yönünü kullanılarak rüzgârın neden olduğu hava akımı ile soğutmaya imkân vermektedir. Böylece, binanın mekanik iklimlendirme sistemleri ile

soğutma yükü miktarı azaltılarak iç mekân termal konforu istenen düzeylerde elde edilmekte ve iç mekân hava kalitesi iyileştirilmektedir [17].

Cephe hareketinin olduğu bir boşluğa bakan bir odada bir alevli yangın meydana gelirse, pencereler yoluyla duman, alev ve diğer gazlar iç boşluğa yayılır. Baca etkisi ve rüzgâr sebebiyle yangın unsurları yukarı doğru yayılır ve bulunduğu boşluklardan bina içerisine yönelir [18]. Sonuç olarak cephe hareketlerinde oluşturulan boşluklara bakan odada başlayan yangının büyümesi ve duman, alev, diğer gazların yayılımı boşluğa bakan penceredeki camların patlama etkisi ile olmaktadır (Şekil 2.2). Ayrıca cephe hareketleri itfaiye erişimini ve söndürme işlemini de zorlaştırmaktadır.



Şekil 2.2. Cephe hareketi nedeniyle oluşan baca etkisi ve yangın yayılımı [19]

Tek katmanlı giydirme cam cepheler

20. yüzyıl ile hızla ilerleyen teknolojik gelişmeler yapı sektöründe malzeme kullanımı ve yeni yapısal çözümlerin üretilmesinde de etkili olmuştur. Son yıllardaki mimari kaygılara çözüm arayışları ile ısı kayıplarını en aza indiren, doğal aydınlatma, havalandırma ve ısı kazançları sağlayan cephe tasarımları ön plana çıkmaktadır. Güncel yeşil bina

tasarımlarında; enerji verimliliği, iç mekân konforu, üretim ve montaj kolaylığı sebebiyle özellikle yüksek katlı binalarda tek katmanlı giydirme cam cephe sistemleri çok yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. İyi termal yalıtım özelliklerine sahip, ısı kazanımını artırmaya, kaybını azaltmaya imkân veren, doğal aydınlatma sağlayan giydirme cephe sistemleri ile birçok avantaj sağlanırken, çok katlı ve yüksek insan yoğunluğuna sahip binalarda yangın güvenlik problemleri ortaya çıkarmaktadır [19].

Cephe yangınları, bina içerisinde oluşan yangınların katlar ve komşu binalar arasında yayılarak büyümesinde etkili olmaktadır. Büyük yüzey alanlarına sahip çok katlı yapıların yangına karşı güvenliğinin sağlanmasında cephe geometrisi, seçilen strüktür sistemi, yapı malzemeleri ve uygulama detayları büyük öneme sahiptir [20].

Çelik, alüminyum gibi ergime noktası düşük metallerden oluşan taşıyıcı elemanlar, büyük korunumsuz cephe yüzeylerini yaratan cephe boşluk oranlarının fazlalığı, duman, alev ve yanıcı gazların katlar arasındaki geçişine izin veren çok sayıda birleşim noktasının bulunması, dolgu malzemesi olarak duman ve zehirli gaz çıkarma kapasitesi yüksek olan plastik köpük gibi yanıcı malzemelerin tercih edilmesi yangın riski oluşturan etmenlerdir. Bağlantı detaylarındaki eksiklik sebebiyle yangın olaylarında hafif cephe taşıyıcı elemanlar hızla ısınabilmekte ve oluşan genleşme sistemin döşeme kenarlarından dışarıya doğru bel vermesine neden olabilmektedir [19].

Son yıllarda mevcut yüksek katlı bina enerji iyileştirmeleri ve yeni yüksek katlı binalarda giydirme cephe yalıtım ve kaplamalarından kaynaklı birçok yangın vakası yaşanarak can kayıpları ve maddi hasarlar meydana gelmiştir. Bu yangınlarda normal yangın seyirlerinde görülen basınç farkları ve ısınan havanın yükselmesi durumlarından kaynaklı yukarı doğru yayılımın yanında, yanıcı yalıtım malzemelerinin kabuk boyunca devam etmesi sorunları gözlenmektedir [21].

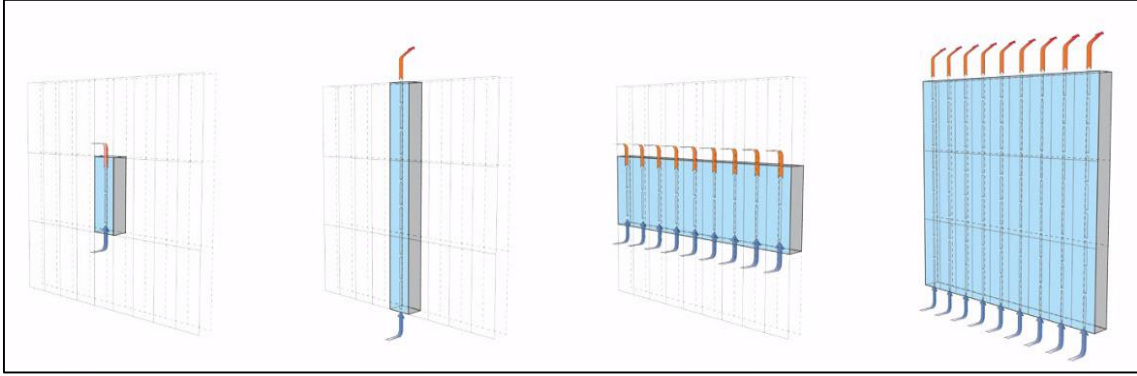
Çift katmanlı cepheler

Bir çift kabuğun hava koridoru olarak nitelendirilen bir boşluk ile ayrılmasından oluşan ve genellikle yüksek katlı binalarda tercih edilen çift katmanlı cepheler, ısı yalıtımı sağlamakta, rüzgâr basıncını azaltmakta ve üst katlarda dahi pencere açılmasına imkân vererek doğal havalandırma sağlamaktadır. Dış kabuk, dış hava koşullarına ve gürültüye karşı koruyucu

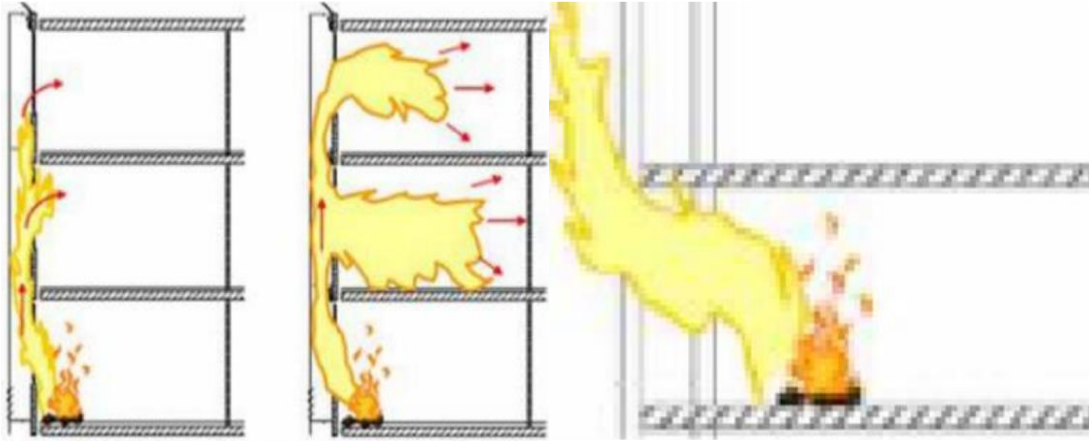
tabaka oluşturup bünyesinde bulunabilen açılıp kapanabilen menfezler ile iki katman arasındaki taze hava girişini sağlarken, iç kabuk ise bünyesindeki açılabilir pencereler ile boşlukta biriken taze havayı alarak havalandırma ve soğutma imkânı vermektedir [22].

Çift kabuklu cepheler ile ilgili uygulamalar ve akademik çalışmalarda öncelikli olarak enerji verimliliği bağlamında yalıtım, havalandırma, güneş kontrolü gibi konular yer almaktadır. Ancak bina içi ve dışı arasında oluşan basınç farkı ile hacmin alt kısmından bina içine, üst kısmından ise bina dışına doğru hava akışı ve sıcak gazların kaldırma kuvveti etkisi sebebiyle çift kabuklu cephe boşluğunda oluşan baca etkisi, bir kotta başlayan yangının yayılma tehlikesine neden olmaktadır. İç cepheden iki kabuk arasındaki ara boşluğa giren duman ve alev ara boşluğa bağlı açıklıklar aracılığıyla diğer odalara yatay ve düşey olarak birikmek suretiyle yayılabilmektedir [23].

Çift kabuk cephe sistemleri kutu tip, şaft tipi, koridor tip dört şekilde tasarlanmakta ve farklı tiplerin yangına anında yayılım yönleri de farklılık göstermektedir. Kutu tip çift kabuk cephede her katın yüksekliği kadar düşey ve yatay olarak sınırlandırılan modül sistemlerden oluşmaktadır (Şekil 2.3.a). Şaft tipi çift kabuk cephe baca etkisi ve dolayısıyla doğal havalandırmayı artırması sebebiyle tercih edilmekte olup, düşeyde bina yüksekliğince devam eden yatayda sınırlandırılan sistemlerdir (Şekil 2.3.b). Koridor tipi de her katın yüksekliği kadar düşeyde sınırlandırılan, ancak yatay olarak bina çevresince devam eden sistemlerdir (Şekil 2.3.c). Bina boyunca devam eden sistemler ise yatay ve düşey olarak bölünmeyen binayı saran kabuk tasarımlarıdır (Şekil 2.3.d) [24]. Şaft tipi ve bina boyunca sistemlerde havalandırma boşluğu düşey ve yatay kesintisiz devam ettiği için yangının ve dumanın kattan kata sıçraması söz konusudur. Kat yüksekliğinde koridor tipi çift kabuk cephede ise havalandırma boşluğu kat hizalarında kesintiye uğramalarına rağmen aynı katın çevresinde sürekli olarak devam etmektedir. Bu durum havalandırma koridoru üzerinden yangının aynı kattaki hacimlere yayılmasına neden olmaktadır (Şekil 2.4) [25].



Şekil 2.3. Farklı çift kabuk katman tasarımları a-d (soldan sağa) a-kutu tipi, b-şaft tipi, c-koridor tipi, d-bina boyunca devam eden tip [26].



Şekil 2.4. Farklı çift kabuk tasarımlarında yangın yayılımı [25].

Yeşil çatı ve duvar

Bina kabuğu düşey ve yatay bölümlerinde bitkilerin yetiştirilmesi ile oluşturulan yeşil duvar ve çatı sistemleri, biyo çeşitlik ve doğal ortama katkısı, yağmur suyunu emerek doğal drenaj sistemi sağlaması, zararlı partikül ve gazları emerek hava kirliliğine engel olması, kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasına katkı sunması, karbondioksit-oksijen değişiminde etkili olması ve ses yalıtımı konusunda ses yutan bir eleman olarak davranması gibi faydaları sebebiyle tercih edilmektedir [27].

Yeşil çatılar, kritik öneme sahip birçok parçadan oluşan karmaşık sistemlerdir. Yalıtım, su yalıtım membranı, koruma levhaları, kök bariyeri, su tutma levhaları içerebilen drenaj tabakası, geotekstil keçe, çeşitli filtreler ve büyüyen bir bitki örtüsü gibi birçok bileşenden

oluşmakta ve kullanılan bitki türü, yapıldığı iklim koşulları, tasarım kriterleri gibi etmenlere göre katmanlar değişmektedir. Bu çok katmanlı karmaşık sistemin düzenli bakımı yapılmayarak kuruması ve bileşenlerin yanıcı özellikte olması probleminin yanı sıra, yangın anında itfaiyenin müdahalesi için kullanılan suyu emmesi yangın güvenliği bağlamında olumsuz etkiler oluşturmaktadır [28].

Düşey alanlarda bitkilendirme için kullanılan sistemlerde genelde plastik, kauçuk veya ahşap bir iskelet sisteme sahip olması binadaki yanıcı madde miktarını artırırken, iskelet sistem ile bina cephesini oluşturan duvar arasında boşluk kalması baca etkisine sebep olarak yangının yukarılara yayılmasına yol açmaktadır (Şekil 2.5) [29].



Şekil 2.5. Bitkilendirme sistemlerinde yangın riskleri [29]

Yeşil binalarda kabuk tasarımından kaynaklı yangın problemleri ile ilgili yapılan araştırmalar, yanıcı malzemelerden dolayı yangının başlaması ve büyümesi, kabuk sistemlerinden kaynaklı yangının yayılması, kabuk formu ve yeşil çatı ve duvarlar ile çeşitli eklentiler sebebiyle ise itfaiye erişimi ve yangına müdahale konusunda risklerin oluşturduğunu göstermektedir. Özetle bina kabuğu tasarımında yangın güvenliğinin geri planda bırakılması ile oluşabilecek riskler aşağıda belirtilmektedir:

- Yangına yakıt katkısı
- Duman, alev ve diğer gazların yatayda ve düşeyde yayılımı
- İtfaiye erişimi ve müdahalesi

2.2.3. Bina içi düşey boşluklar

Yeşil bina tasarımlarında bina düşey iç boşlukları, özellikle bina içerisinde oluşan hava akımlarının kontrollü bir şekilde mekânlara dağıtılmasını ve mekânlarda atılmasını sağlarken, cepheye komşu olmayan mekânlarda doğal havalandırma ve aydınlatmaya da yardımcı olmaktadır. Binanın iç kısımlarındaki boşluklar cepheye komşu olmayan mekânların havalandırılması, elektrik ve mekânîk sistemlerin düşeyde taşınması amacıyla kullanılmasının yanı sıra, atrium ve galeriler gibi katlar arasında kesintisiz boşluk oluşturan tasarımlarda aydınlatma, havalandırma ve hava akımlarının kontrolü ile iç mekân kalitesini artırma gibi amaçlarla da kullanılmaktadır. Bu doğrultuda iç boşluklar şaft, atrium, galeri ve güneş bacaları olarak incelenmektedir.

Şaft

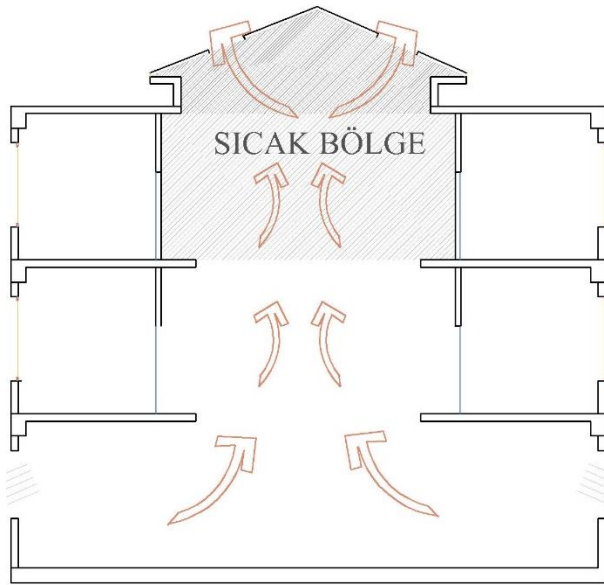
İç mekânlarda açılan şaft boşlukları, bina cephesine komşu olmayan mekânların doğal havalandırma ve aydınlatması, elektrik ve mekanik sistemlerin düşey olarak dağıtılması için kullanılmaktadır. Şaftların katlar arasında kesintisiz boşluklar oluşturmaları ve baca etkisine olanak vermesi sebepleriyle yangın riski meydana gelmektedir. Örneğin, bodrum katta pano çıkışında meydana gelebilecek bir yangın, şafttaki kablolar nedeni ile etkisini artırarak boşluktan bütün binaya yayılıp kümül (birikimli) hasar oluşturabilir.

Şafta komşu bir mekânda çıkan yangın eğer şaft ile mekân arasındaki duvar veya pencereden bulunduğu boşluktan şafta geçerse yukarı doğru yayılmasına sebep olarak bulunduğu boşluklardan bina içlerine doğru ilerleyebilmektedir [18].

Atrium

Üstü kapalı, etrafı kullanım alanları ile çevreli, geniş ve düşey hacimden oluşan iki veya daha fazla katlı yüksek boşluk olarak tanımlanan atriumlarda, doğal havalandırma ve aydınlatma etkin şekilde kullanılmaktadır. Atriumlarda doğal havalandırma sisteminin temel hedefi; sıcak havalarda ısınan havayı atriumun üst seviyelerinden uzaklaştırarak düşük iç ortam sıcaklığı elde etmek, soğuk havalarda ise atriumun üst seviyelerinde biriken sıcak havayı diğer mekânlara iletmektir. Atriumların ihtiyaç duyulan havalandırma oranını ve kapasitesini karşılamak için gerekli geometrik düzenlemeler ve açıklık boyutu doğru bir

biçimde tasarlandığında iki farklı şekilde yapılabilir. Bunlar, ısı farklılıklar (baca etkisi) ve / veya rüzgâr ile doğal havalandırma [30]. Baca etkisi ve rüzgâr, doğal havalandırmanın yanı sıra yangının yayılmasında önemli etmenler olması sebebiyle atriumlu alanlarda yangının yukarı yayılımı kolay ve hızlı olmaktadır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Atriumda baca etkisi ile ısınan havanın yükselmesi prensibi

Atriumu çevreleyen kullanım alanlarında yanıcı madde yükü ve insan sayısının fazla olması ile kaçış yolları güzergâhlarının bulunması sebebiyle yangın riski de oldukça büyüktür. Atriumlar dumanın yayılabileceği geniş açıklıklar olduğundan, meydana gelebilecek yangınlar sonucu duman hızla yayılarak kısa sürede bu bölümü doldurur. Yangın sonucu meydana gelen duman ve sıcak gazların kısa sürede atrium boşluğunu doldurarak görünürlük mesafesini kısaltması, yangına müdahaleye imkân vermemesi ve atriumu çevreleyen komşu hacimlere duman geçişi ile risk oluşturmaktadır.

Galeri boşlukları

Binalarda katlar arasında bırakılan boşluklar olarak tanımlanan galeri boşlukları atriumlara benzer olarak mekân kalitesini artırma, doğal havalandırma ve aydınlatma amacıyla kullanılması bağlamında yeşil bina tasarımlarında tercih edilmektedir. Baca etkisi yoluyla galeri boşluklarına giren hava hızlı bir şekilde yükselerek ısınan ve kirlenen havanın galeriye bakan mekânlardan çıkmasını sağlamaktadır [31].

Galerilerin havalandırma ve iç mekân konfor düzeyini artırma gibi olumlu etkileri bulunurken, galeri boşluğuna bakan bir mekânda çıkan yangının galeri boşluğuna geçmesinin ardından yukarı ve yataydaki bağlantılı mekânlara geçişi sebebiyle riskleri bulunmaktadır. Bu sebepten dolayı atriumlu binalarda olduğu gibi galeri boşluğuna sahip alanlarda da duman tahliyesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Binalarda iç boşluklardan kaynaklı yangın problemleri ile ilgili yapılan araştırmalar bir alanda başlayan yangındaki duman, alev ve diğer zehirli gazların baca etkisi, rüzgâr kaynaklı hareketler ve sıcak duman ve gazların yukarı doğru hareketi sebebiyle yayılım riski oluşturduğunu göstermektedir. Özetle bina içi düşey boşluklar tasarımında yangın güvenliğinin geri planda bırakılması ile oluşabilecek riskler aşağıda belirtilmektedir:

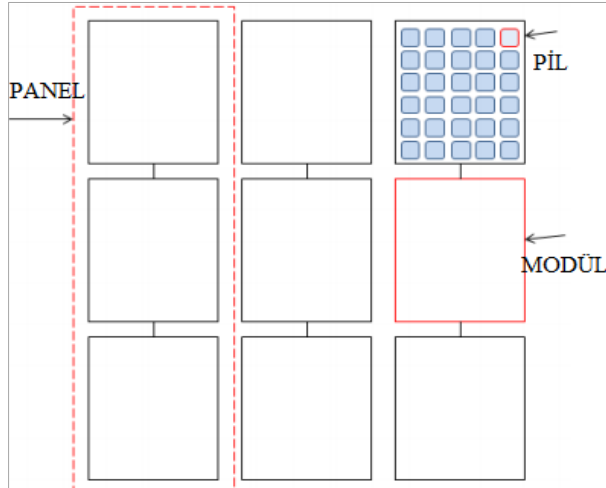
- Duman, alev ve diğer gazların yukarı doğru ve diğer mekânlar arası yayılım tehlikesi
- Tahliye yollarının duman ve diğer gazlar ile dolmasıdır.

2.2.4. Bina sistemleri ve güç kaynakları

Yeşil bina tasarımlarında güneş enerjisinden faydalanılarak enerji üretilen veya korunumu sağlayan sistemler ile binanın ısıtma ve soğutma yüküne mekânîk sistemler ile katkı sağlayan tasarımlar yangın riski oluşturabilmektedir. Bu doğrultuda fotovoltaik paneller, güneş tüpleri ve iklimlendirme sistemleri bu başlık altında irdelenmektedir.

Fotovoltaik paneller

Teknolojik gelişmeler ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelen ve güneş enerjisini kullanarak elektrik enerjisi üreten fotovoltaik paneller (PV), son yıllarda özellikle bina çatılarında kullanılmaktadır. PV sistemleri Şekil 2.7’ da görülen ve en küçüğü güneş pili olmak üzere pillerin bir araya geldiği polimer destekli cam plaka modüller ve modüllerin kablolar ile bağlandığı alüminyum tel panellerden oluşmaktadır. PV sistemlerinde yer alan yanıcı özellikteki malzemeler sebebiyle yangına yakıt katkısı sağlarken, çalışma prensipleri gereği güneş ısını tutarak yüksek sıcaklıkta kalmaları çıkan yangının hızlı bir şekilde PV sistemlerine ulaşmasına neden olmaktadır [32].



Şekil 2.7. PV panel ve bileşenleri [33]

Güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren PV sistemlerde elektriksel arızalardan kaynaklı yangınlar meydana gelebilmekte ve içeriğindeki yanıcı maddelerin katkısıyla da yangın hızlı bir şekilde yayılabilmektedir. Ayrıca PV sistemlerin devre dışı bırakılamaması sebebiyle yangın anında elektrik çarpma riski oluşturduğundan dolayı yangına müdahaleyi zorlaştırmaktadır [33].

Güneş Tüpleri

Güneş tüpü dış ortamdan gün ışığını kontrollü bir şekilde alarak iç mekânlara taşıyan ve yayan, gün ışığının dezavantajlarını, yapısı sayesinde avantajlı hale getirerek konforlu aydınlatmayı sağlayan teknolojik bir sistemdir [34]. Bir çeşit şaft boşluğu olan güneş tüpünün bulunduğu bir odada yangın başlaması durumunda tüpün doğru yalıtılmaması sebebiyle dumanlar tüpün içine girerek yukarı doğru hareket etme riski oluşması ve dumanların katlara yayılmasına sebep olmasından dolayı, güneş tüpleri yangın güvenliği bağlamında değerlendirilmesi gerekmektedir.

İklimlendirme sistemleri

Kapalı mekânlarda kullanıcılarına konforlu iç hava koşulu sunmak hedefiyle ısıtma soğutma havalandırmayı mekanik sistemler ile sağlayan aktif iklimlendirme sistemleri teknolojinin gelişmesi ile özellikle kamusal binalarda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Yüksek düzeyde konfor talebi olan ve gürültü, hava kirliliği, nemlendirme ihtiyacı gibi nedenlerle

doğal havalandırma yapılmayarak doğal çevre girdilerinden yeterli kadar yararlanılmayan koşullarda mekanik iklimlendirme sistemleri önemli rol oynamaktadır [35]. İç mekân konfor koşullarının sağlanması amacıyla binalara kurulan iklimlendirme sistemlerinde gerekli önlemler alınmaması durumunda yangın anında dumanın yatayda ve düşeyde yayılması riski bulunmaktadır. Havalandırma kanallarının duvar, döşeme ve tavanları delerek geçtiği alanlardaki boşluklar dumanın yayılmasında riskli noktalardır. Ayrıca yangın anında iklimlendirme sisteminin kapanmaması durumunda yangın mahaline taze hava akışı devam edeceğinden yangının söndürülmesi zorlaşmaktadır.

Asma tavanlara yerleştirilen ünitelerle ısıtma soğutma, havalandırma sağlayan sistemlerin mekânlar arasında devamlılığı asma tavan ile üst döşeme arasında sağlanmakta olup, bu seviye yatayda tamamen boş kalması zorunluluğundan dolayı duman ve alevlerin yatayda yayılımı tehlikesine neden olmaktadır [36].

Havalandırma sisteminden yayılan dumanı önlemenin en güvenli yolu, her bir yangın bölmesi için bağımsız sistemler sağlamak veya her kompartımanın yangın damperleri ile ayırmaktır. Yangın damperleri kullanmanın ve sistemi ayırmanın alternatifi egzoz fanını (veya egzoz dallarına bağlı duman tahliyesi için tasarlanmış özel bir fanı) yangın sırasında çalışır durumda tutmak ve giriş sistemini yangın bölmesine kapatmaktır [37]. İklimlendirme sistemleri ve güç kaynakları tasarımlarında yangın güvenliğinin geri planda bırakılması ile oluşabilecek riskler aşağıda belirtilmektedir:

- Yangına yakıt katkısı,
- Duman, alev ve diğer gazların yayılımı
- İtfaiye erişimi ve müdahalesi,
- Elektrik arızalarından dolayı patlama tehlikesi

2.2.5. Malzeme

Bina ve çevresinde kullanılan malzemelerin sürdürülebilir özellikleri ile yanıcılık özellikleri ve yangın anında yüksek sıcaklık sebebiyle stabilitesini kaybetme riskleri tasarım aşamasında değerlendirilmesi gereken konulardır. Yangına yakıt katkısı olan malzemelerin tutuşma sıcaklıkları, ısı ve sıcaklık iletme özellikleri, alevlenme süreleri, ısıl genleşme özellikleri, kütle kayıpları, açığa çıkardıkları ısı ve duman oluşumu yangının başlamasına ve büyümesine etki etmektedir Hem yeşil bina tasarımı hem de yangın güvenliği bağlamında malzeme konusu geniş araştırma alanı bulmuş olup, yangın güvenliği bağlamında

araştırmalarda da kabuk, strüktür ve iç mekân elemanları olarak sınıflandırılan malzeme alanları bu başlık altında özetlenmektedir.

Strüktür:

Binalarda genel olarak betonarme, çelik, ahşap ve kompozit taşıyıcı sistemler kullanılmakla birlikte yeşil bina sürdürülebilirlik hedefleri çerçevesinde hem binanın hem de malzemenin yaşam döngüsü değerlendirmesi neticesinde çelik en uygun strüktür elemanı olmaktadır. Yangında strüktür elemanlarından beklenen temel performans kriteri taşıyıcı stabilitesini koruyarak insanların tahliyesine ve yangın söndürme çalışmalarına imkân vermesidir.

Çelik yanmaz bir malzeme olmakla birlikte kritik sıcaklığa ulaştığında taşıyıcılığını, çok yüksek sıcaklıkta ise mekânîk özelliklerini kaybetmektedir. Çeliğin akma sınırı 400 °C civarında emniyet gerilmeleri mertebesine düşerken, yangınlarda kolayca erişilen 600 °C sıcaklığında emniyet gerilmesinin altına düşer. Yüksek sıcaklıklarda çeliğin bağ kuvveti azalmasına bağlı olarak elastisite modülü de azalır. Elastisite modülü değeri 400 °C de % 15 ve 600 °C de ise % 40 kadar azalır ve artan plastik şekil değiştirmelerle birlikte büyük şekil değiştirmelerine neden olarak taşıma gücünü yitirir. Bu sebepten dolayı yangında yüksek sıcaklıklarda çeliğin taşıyıcı stabiltesi süresinin uzatılması amacıyla kütlelel yalıtım, çerçeveyi sarma yöntemleri ile yalıtım, kutuya alma – plakalar/levhalar ile yalıtım, çelik bileşenlerde su dolaştırılarak soğutulması ile korunum, kolonların dışarıya alınması yöntemi ile korunum önlemleri alınması gerekmektedir [38].

Betonarme yapılarda ise malzemenin yüksek sıcaklıklardaki davranışları göz önüne alınarak donatı çeliğinin açığa çıkmaması önemlidir. Betonda çatlamalar sonucu çelik donatı, ısıyı hızla ileterek ısı farkını çoğaltarak donatı gücünü yitirmesine neden olur. Betonun taşıyıcı veya kaplama ögesi olarak ısı iletkenlik değeri için betonda uygun agrega ve çimentonun uygun seçilmesiyle betonarme sistemin taşıyıcı stabilite süresi artırılabilir. Ayrıca yeterli pas payının sağlanması ile betonarme sistemdeki çelik donatının yüksek sıcaklık maruz kalma süresi geciktirilecektir [39].

Ahşap doğayla uyumlu ve geri dönüşebilir, mukavemeti iyi olan, uzun ömürlü kullanılabilir ve sürdürülebilir yapı malzemesidir. Ahşabın ana taşıyıcısı olan iç kısmındaki öz tabakasına ulaşma süresi mukavemetin süresinin etkilemektedir. Ahşap yanarken ortama zehirli gazlar

yayar ve yüzey kömürleşmeye başlar. Ahşabın kömürleşmesi taşıyıcı öz tabakasına ulaşmayı geciktirmesi ve kömür tabakasının ısı iletkenlik değeri küçük olduğu için tam yanma olayı ve taşıyıcı stabilite süresi uzamaktadır [40].

Kabuk

Teknolojik gelişmeler ve sürdürülebilirliğe getirilen yeni bakış açıları neticesinde bina kabuğu yalıtım, kaplama ve kabuk konstrüksiyonu malzemeleri gelişmektedir. Kabuk malzemeleri sürdürülebilirlik açısından yüksek performans hedeflerini içerse de bina da ek yangın yükleri getirebilmektedir. Kabuk ile ilgili yangın riski unsurlarından biri toplam termal transfer değeri düşük ısı yalıtımlı binalardır. Kabuğun uygun yapı malzemeleriyle daha iyi yalıtımı sağlaması, yangın olduğunda bölmeden kaybedilen ısıyı azaltacağından dolayı yangından yayılan ısı bölmeye hapsolarak flashover ihtimalini artırmaktadır. Düşük termal transfer değerine sahip ısı yalıtım malzemelerinde flashover riskinin yanında değerlendirilmesi gereken bir konu ise malzemelerin yanıcı olması sebebiyle yangının yayılması tehlikesidir [41].

Kabukta en dış katmanda yer alan ve çevresel etmenlerden en üst düzeyde etkilenen kısım son kaplama elemanlarıdır. Cam yüzeyler, kompozit kaplama elemanları, yeşil duvar ve çatılar, gölgeleme elemanları ile fotovoltaik paneller gibi enerji üreten sistemler cephede kullanılırken yangına yakıt katkısı sağlama, yüksek sıcaklıkta patlama, yangına müdahaleyi zorlaştırma problemleri oluşturmaktadır [42].

Malzeme yeşil bina tasarımları ve yangın güvenliği açısından geniş bir çalışma alanına sahip olup, özellikle yangında malzemenin yakıt katkısı ve yayılım etkisi fazla olmakla birlikte söndürme işlemleri için de zorluklara neden olmaktadır. Malzemenin yangın güvenliği için riskleri aşağıda belirtilmektedir:

- Yangına yakıt katkısı,
- Duman, alev ve diğer gazların yayılımı
- İtfaiye erişimi ve müdahalesi

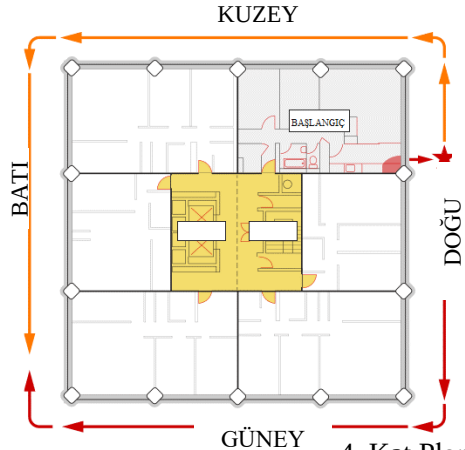
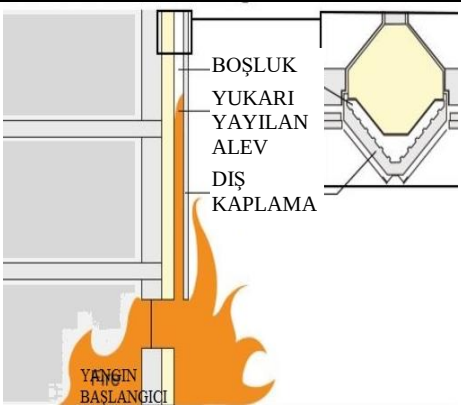
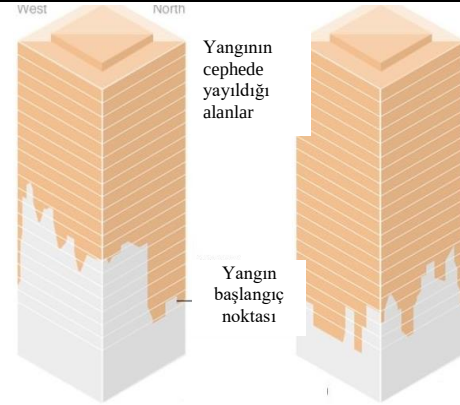
2.3. Yeşil Bina Tasarım Özelliklerinden Kaynaklı Yangın Olayları

Bu başlık altında dünyada son yıllarda gerçekleşen önemli yangın olayları irdelenerek, yeşil bina tasarımlarında yer alan özelliklerden kaynaklı riskleri barındıran referans olaylar detaylı

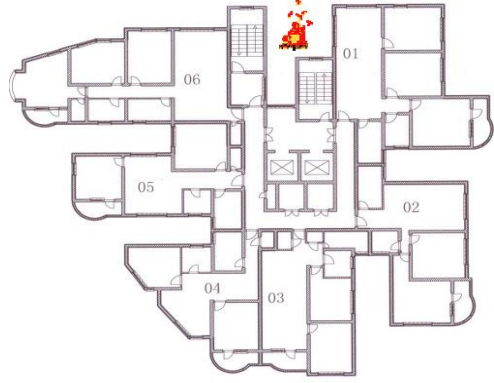
bir şekilde ele alınmıştır. Yaşanan yangın olayları incelenerek yangın riski oluşturan yeşil bina tasarım özelliklerinin yaratacağı yangın riskinin boyutları değerlendirilmiştir.

Dünyada meydana gelen ve çalışmaya referans olabilecek yangın olayları incelendiğinde yangınların başlangıcında kullanılan elektrik cihazları veya binadaki elektrik sistemi arızası (Çizelge 2.3, Çizelge 2.7, Çizelge 2.10) ile yanıcı yalıtım ve cephe kaplama malzemelerinin insan ihmali nedeniyle tutuşması (Çizelge 2.4, Çizelge 2.5, Çizelge 2.8) en önemli etkenler olduğu görülmüştür. Başlayan yangının ilk yayılım noktası ise referans olayların neredeyse tamamında cephede gerçekleşmiş ve cephede kullanılan yanıcı yalıtım malzemeleri ve kaplamaları dış çevre koşullarının da etkisi ile hızla yanarak bütün binayı kaplamıştır (Çizelge 2.3, Çizelge 2.4, Çizelge 2.5, Çizelge 2.8, Çizelge 2.9, Çizelge 2.10). Dış ortam koşulları nedeniyle rüzgâr ve iç ortamda meydana gelen hava akımları etkisi ile bina kabuğu ve iç mekândaki boşlukların yangının yayılmasında kritik alanlar olduğu görülmüştür (Çizelge 2.3, Çizelge 2.4, Çizelge 2.6, Çizelge 2.7, Çizelge 2.8).

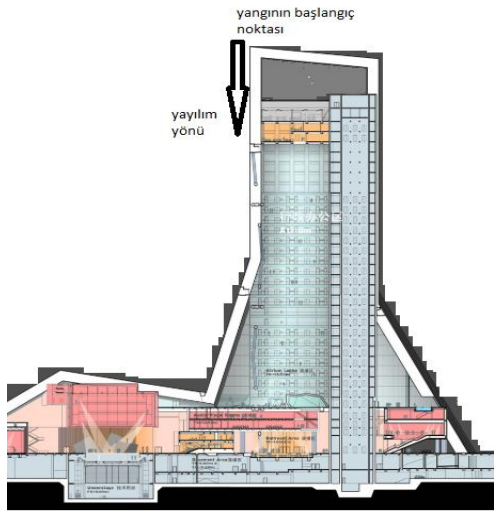
Çizelge 2.3. Grenfell Tower binasında yangın olayı

Yer:	Londra		
Yapım / Yenilenme Tarihi	2012-2016 yılları arasında cephe yenileme		
İşlev	Ticaret + Konut		
Kat Sayısı	24		
Mimarî Özellikleri	Cephe Sistemi:		Tek katmanlı giydirme cephe
	Malzeme:		Alüminyum panel+ Cam
	Yalıtım:		Polietilen dolgulu alüminyum paneller ve köpük yalıtım malzemesi
	Boşluklar:	Cephe sistemi ve döşemeler arasında	
	Doğal Havalandırma:	Cephedeki pencereler ile	
HVAC Sistemler:	---		
YANGIN OLAYI			
Olay Tarihi	14 Haziran 2017		
Yangın Konumu	4. Kat		
Yangın Çıkış Nedeni	Arızalı buzdolabından çıkan kıvılcım		
İlk Yayılım Noktası	Açık pencereden doğu cephesine		
Yayılma Nedenleri	- Cephe yenilenmesinde kullanılan polietilen dolgulu alüminyum giydirme ve köpük yalıtım malzemesi, - Giydirme cephe ile bina elemanları arasındaki boşluktaki hava akımı		
GÖRSELLER			
 			
AÇIKLAMALAR	Bina enerji iyileştirmesi amacıyla cephede yapılan yenilemede yanıcı yalıtım ve giydirme elemanların kullanılması, Giydirme cephe ile bina elemanları arasındaki boşlukta yangın kesici bir eleman bulunmaması sebebiyle baca etkisi oluşarak duman ve alevlerin yukarı doğru yayılması [43].		

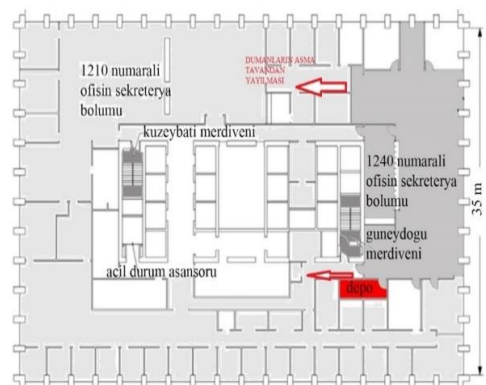
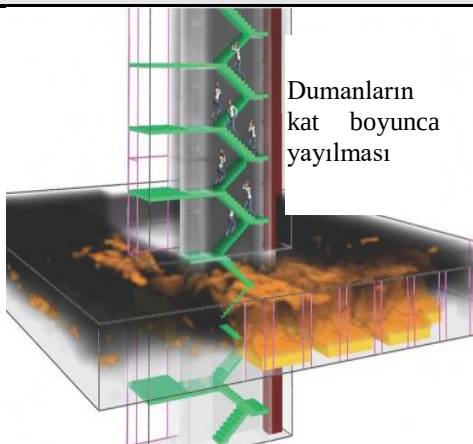
Çizelge 2.4. Shanghai Apartment binasında yangın olayı

Yer:	Şangay	
Yapım / Yenilenme Tarihi	2010 yılında cephe yenileme	
İşlev	Konut	
Kat Sayısı	28	
Mimari Özellikleri	Cephe Sistemi:	
	Malzeme:	Poliüretan köpük + sıva + boya
	Yalıtım:	Poliüretan köpük yalıtım malzemesi
	Boşluklar:	Cephe hareketlerinde ve döşemeler arasında
	Doğal Havalandırma:	Cephedeki pencereler ile
	HVAC Sistemler:	---
YANGIN OLAYI		
Olay Tarihi	10 Kasım 2010	
Yangın Konumu	10. Kat	
Yangın Çıkış Nedeni	İş iskelesinde kaynak kıvılcımının poliüretan köpükleri tutuşturması	
İlk Yayılım Noktası	Köpük ile bambu iskeletin yanması ile cephedeki iç boşluk boyunca	
Yayılma Nedenleri	- Cephe yenilenmesinde kullanılan poliüretan köpük yalıtım malzemesi ve bambu iş iskele - Cephedeki iç boşluk	
GÖRSELLER		
		
		
AÇIKLAMALAR	- Bina cephesindeki iç boşluk sebebiyle baca etkisi oluşması, - Yanıcı yalıtım malzemesi kullanılması, - Hâkim rüzgâr yönündeki iç boşluğa yangın merdivenleri yerleştirilmesi pencerelerinin ve bu boşluğa açılması [44]	

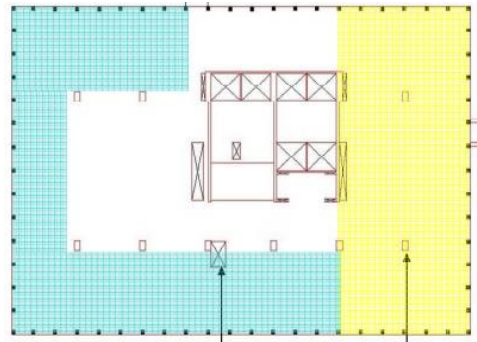
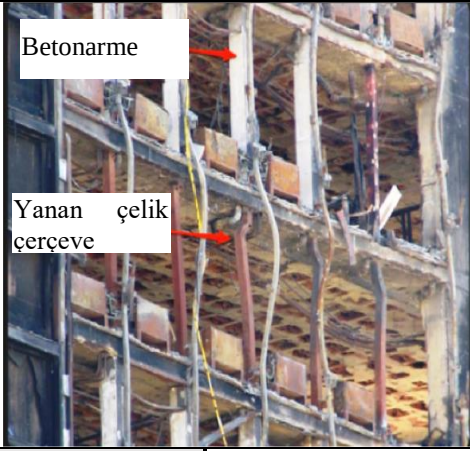
Çizelge 2.5. The Television Cultural Center binasında yangın olayı

Yer:	Pekin		
Yapım / Yenilenme Tarihi	2009		
İşlev	Ofis		
Kat Sayısı	32		
Mimarî Özellikleri	Cephe Sistemi:		Çift ve tek katmanlı giydirme cephe
	Malzeme:		Polistiren köpük yalıtım ve titanyum alaşımlı kaplama
	Yalıtım:		Polistiren köpük yalıtım malzemesi
	Boşluklar:	Çift katmanlı cephede	
	Doğal Havalandırma:	---	
HVAC Sistemler:	---		
YANGIN OLAYI			
Olay Tarihi	15 Şubat 2009		
Yangın Konumu	Çatı		
Yangın Çıkış Nedeni	Çevreden gelen havai fişeğin çatıdaki metal kaplama ve yalıtım malzemesini tutuşturması		
İlk Yayılım Noktası	Tutuşan metal parçalarının çatıdan düşerek alt kısımlara ulaşması		
Yayılma Nedenleri	- Kabukta kullanılan polistiren köpük ve titanyum alaşımlı kaplama malzemeleri - Bazı kat seviyelerindeki çift katmanlı cephedeki dış ile iç arasında kalan boşluklarda baca etkisi		
GÖRSELLER			
			
Yangının çift katman arası boşluktaki durumu			
AÇIKLAMALAR	- Bazı kat seviyelerinde yapılan çift katmanlı sistemdeki iç ve dış katman arasındaki boşluktan yangının yayılması, - Yanıcı yalıtım ve kaplama malzemesi kullanılması [45]		

Çizelge 2.6. Cook Country Administration binasında yangın olayı

Yer:	Chicago		
Yapım / Yenilenme Tarihi	1964		
İşlev	Ofis		
Kat Sayısı	35		
Mimari Özellikleri	Cephe Sistemi:		Geleneksel cephe
	Malzeme:		---
	Yalıtım:		---
	Boşluklar:		---
	Doğal Havalandırma:		Cephedeki pencereler ile
HVAC Sistemler:	Her katta bağımsız havalandırma		
YANGIN OLAYI			
Olay Tarihi	17 Ekim 2003		
Yangın Konumu	12. Kat		
Yangın Çıkış Nedeni	Ofisin kırtasiye deposunun kullanıcı hatasıyla tutuşması		
İlk Yayılım Noktası	Yanan deponun açık kapısından ofisin geneline		
Yayılma Nedenleri	- Depoda başlayan yangının tüm ofise yayılması, - Mekânîk havalandırma sisteminin yatayda devamlılığı için asma tavan seviyesine kadar yapılan bölücü elemanlarda yatayda oluşan boşluklar		
GÖRSELLER			
			
			
AÇIKLAMALAR	Havalandırma sisteminin yatayda devamlılığı için bölücü elemanların asma tavan seviyesine kadar yapılması [46]		

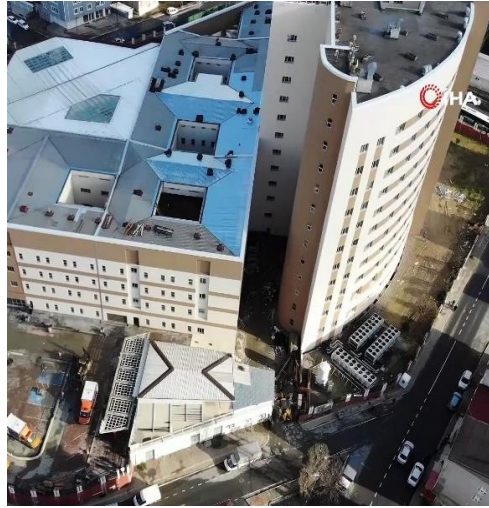
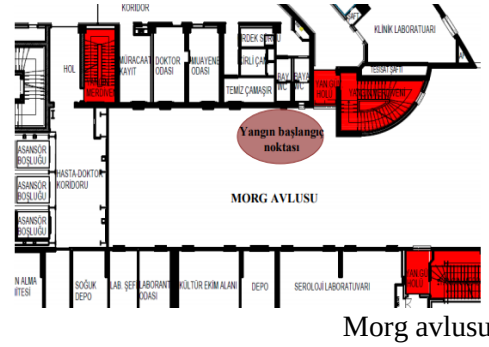
Çizelge 2.7. Windsor Building yangını olayı

Yer:	Madrid	
Yapım / Yenilenme Tarihi	1979	
İşlev	Ofis	
Kat Sayısı	38	
Mimarî Özellikleri		
Cephe Sistemi:	Çelik çerçeve giydirmeli cephe	
Malzeme:	Çelik çerçeve giydirmeli cephe	
Yalıtım:	---	
Boşluklar:	Şaftlar ve Giydirmeli cephe ile yapı strüktürü arasındaki boşluklar	
Doğal Havalandırma:	---	
HVAC Sistemler:	---	
YANGIN OLAYI		
Olay Tarihi	12 Şubat 2005	 yanıcı çelik çerçeve Yangın başlayıp yayıldığı şaft Betonarme kolonlar 21. Kat Planı
Yangın Konumu	21. Kat	
Yangın Çıkış Nedeni	Elektrik şaftındaki arıza	
İlk Yayılım Noktası	Şaft boyunca düşeyde bütün katlara yayılma	
Yayılma Nedenleri	- Yangının başladığı şaftın kesintisiz olması sebebiyle yangının katlara yayılması, - Korunumsuz çelik profillerin yanması, - Çelik profil ile döşeme arasındaki boşluklardan yukarı yayılım	
GÖRSELLER		
		
AÇIKLAMALAR	- Korunumsuz çelik çerçeve giydirmeli cephe, - Giydirmeli cephe ile yapı strüktürü arasındaki boşluklarda kesici önlemlerin yer almaması, - Şaftların bina boyunca kesintisiz olması [47]	

Çizelge 2.8. Gaziosmanpaşa Taksim Eğitim ve Araştırma Hastane binası yangını olayı

Yer:	İstanbul	
Yapım / Yenilenme Tarihi	2015'te hastaneye dönüşen mevcut bina	
İşlev	Hastane	
Kat Sayısı	11	
Mimari Özellikleri	Cephe Sistemi:	Cam giydirme cephe, mekânîk askı sistemli kompakt laminat kaplama, alüminyum kompozit panel
	Malzeme:	Alüminyum kompozit panel ve organik esaslı yalıtım malzemesi
	Yalıtım:	Organik esaslı yalıtım malzemesi
	Boşluklar:	Cephe hareketlerinde ve mekânîk cephe kaplaması ile yapı strüktür arasında
	Doğal Havalandırma:	---
	HVAC Sistemler:	---

YANGIN OLAYI	
Olay Tarihi	5 Nisan 2018
Yangın Konumu	2. bodrum kat morg girişi
Yangın Çıkış Nedeni	Evsel atık kutusuna atılan bir ateş kaynağı
İlk Yayılım Noktası	Atık kutusunun yanarak cepheye ulaşması
Yayılma Nedenleri	- Kaplamanın ve yalıtım malzemelerinin yanması, - Cephe kaplaması ile strüktür arasındaki boşluktan yayılım, - Cam cephelerde patlama, çelik çerçeveler erime, iç mekânlara yayılım

GÖRSELLER	
	
	
AÇIKLAMALAR	- Giydirme cephe ile yapı strüktürü arasındaki boşluklarda kesici önlemlerin yer almaması, hava akımı - Yanıcı alüminyum kompozit panel ve organik esaslı yalıtım malzemesi

[48]

Çizelge 2.9. Marina Torch Tower binası yangını olayı

Yer:	Dubai	
Yapım / Yenilenme Tarihi	2011	
İşlev	Konut	
Kat Sayısı	86	
Mimari Özellikleri		
Cephe Sistemi:	Tek katmanlı giydirme cephe	
Malzeme:	Alüminyum giydirme cam cephe ve polietilen köpük yalıtım malzemesi	
Yalıtım:	Polietilen köpük yalıtım malzemesi	
Boşluklar:	---	
Doğal Havalandırma:	---	
HVAC Sistemler:	---	
YANGIN OLAYI		
Olay Tarihi	21 Şubat 2015	
Yangın Konumu	51. kat	
Yangın Çıkış Nedeni	Balkondaki bitkiye atılan sigara izmariti	
İlk Yayılım Noktası	Yanıcı alüminyum ve polietilen giydirme cephe kaplamasının yanması ile yayılım	
Yayılma Nedenleri	- Rüzgâr etkisi ile hızlı yayılım 51. kattan 30. Kata düşen yanan parça sebebiyle 30. kattan çatıya kadar yayılım	
Yangının başladığı balkon		
GÖRSELLER		
 		
AÇIKLAMALAR	- Hakim rüzgar - Yanıcı giydirme cephe ve yalıtım elemanları, - Bitkilendirilmiş balkon [49]	

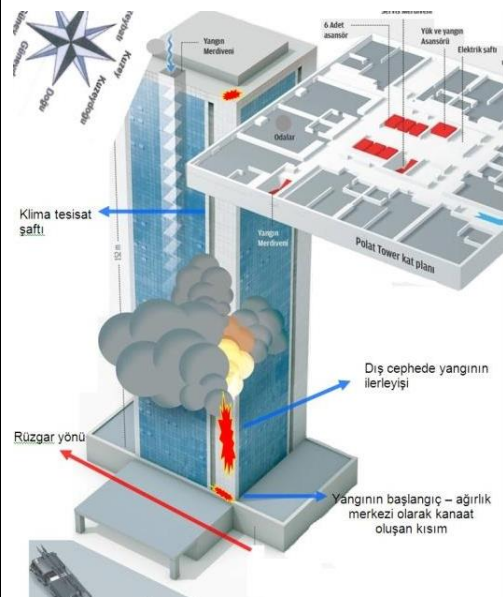
Yangının başladığı balkon

Çizelge 2.10. Polat Tower binası yangını olayı

Yer:	İstanbul	
Yapım / Yenilenme Tarihi	2002	
İşlev	Konut+Ticaret	
Kat Sayısı	42	
Mimari Özellikleri	Cephe Sistemi:	Tek katmanlı giydirme cephe
	Malzeme:	Alüminyum giydirme cam cephe ve taş yünü yalıtım malzemesi
	Yalıtım:	Taş yünü yalıtım malzemesi
	Boşluklar:	Cephe konstrüksiyonu
	Doğal Havalandırma:	Cephedeki pencereler ile
	HVAC Sistemler:	---



YANGIN OLAYI	
Olay Tarihi	7 Temmuz 2012
Yangın Konumu	1. kat
Yangın Çıkış Nedeni	Cepheye yakın elektrik tesisat kablolarının bağlantı noktalarında meydana gelen arıza
İlk Yayılım Noktası	Alüminyum ve polietilen giydirme cephe kaplamasının yanması ile yayılım
Yayılma Nedenleri	- Taş yünü yalıtım malzemesinin bütünlüğünün bozulduğu yerden dış cepheye yayılım - Kompozit cephe kaplama malzemesinin iç yüzey alüminyum ile ara yüzeyindeki polistren kaplamanın da tutuşması,



GÖRSELLER	
	
AÇIKLAMALAR	- Hava akımı - Yanıcı giydirme cephe elemanı - Yalıtım imalat hatası [22]

Yangınların başlamasında birincil faktör kullanıcı hatası olmakla birlikte yanıcı malzemeler ve elektrik arızalarından kaynaklı tutuşmaların da kullanıcı hatalarına imkân veren unsurlar olduğu yangın olaylarından görülmüştür. Yangının yayılımında yanıcı özellikteki yapı malzemelerinin yanı sıra iklimsel faktörler ile bina kabuğunda ve iç mekânlardaki boşlukların etkili olduğu tespit edilmiştir. Uluslararası kuruluşların desteklediği çalışmaların incelendiği temel literatür taraması ile belirlenen yangın riski oluşturan yeşil bina tasarım özellikleri yangın olaylarının desteklenmesi ile literatürün uygulamadaki neticeleri görülmüştür. İklimsel faktörler ile kullanıcı ihmal ve hataları ile tutuşma gerçekleşerek başlayan bir yangının gelişmesi ve büyümesinde yanıcı yapı malzemeleri ile iç mekân konfor koşullarının sağlanması için tercih edilen kabuk ve iç mekân tasarımı yangının yayılmasında en önemli etmenleri oluşturmaktadır.

Yeşil binalarda yangın güvenliği problemlerine dair genel yaklaşımların sunulduğu ve yangın yayılım alanlarının irdelendiği bu aşamalardan sonra konu hakkında literatüre katkı düzeylerinin belirlenmesi ve çalışma alanındaki boşlukların ortaya koyulması amacıyla bibliyometrik analiz yapılmaktadır. Bibliyometrik analiz ile çalışma alanındaki eğilimler ve boşlukların tespit edilerek araştırma alanına katkı sağlayacak tez çalışmasının kapsamı belirlenerek nitelikli çalışmaların incelenmesi hedeflenmektedir.

3. YEŞİL BİNALARDA YANGIN GÜVENLİĞİ HAKKINDA LİTERATÜR TARAMASI: BİBLİYOMETRİK ANALİZ

Yeşil binalarda yangın güvenliği problemlerini ele alarak nitel ve/veya nicel çözüm yöntemleri sunan literatürdeki çalışmaların sistematik olarak ele alınması ve araştırma eğilimleri ve eksikliklerinin ortaya koyulması amacıyla sayısal analiz yöntemi olan bibliyometrik analiz yapılmaktadır.

3.1. Bibliyometrik Analiz

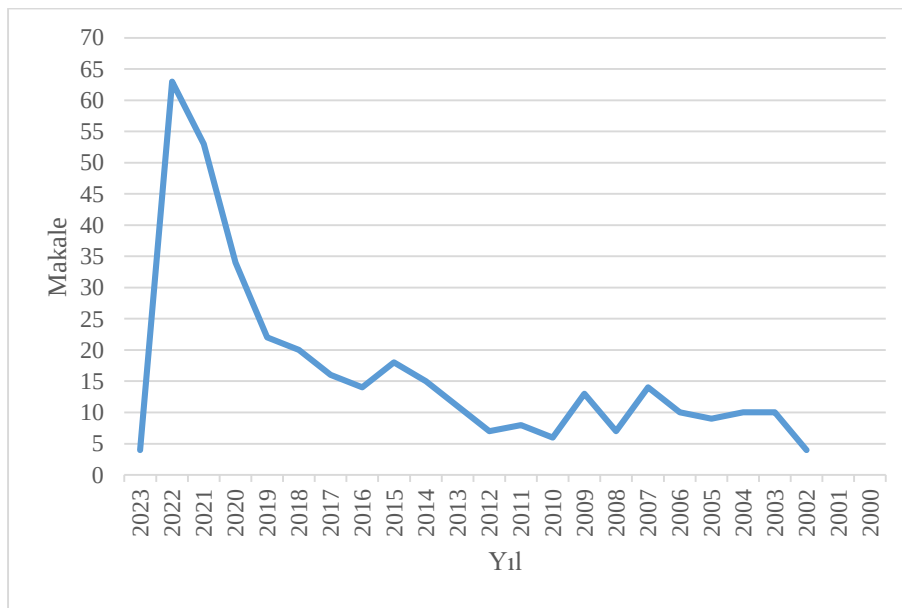
Bibliyometri kavramını ilk olarak ortaya koyan Pritchard, bibliyometriyi kitap, dergi gibi iletişim organlarına istatistiksel hesaplamaların uygulanması olarak tanımlamıştır. Bilimsel bir haritalama olarak bibliyometrik analiz disiplinlerin, yazarların, belgelerin, çalışma alanlarının birbiri ile ilişkisini sayısal olarak incelemektedir. Bibliyometrik analiz ile bilgilerin, kavramların, verilerin yoğun ve geniş olarak yer aldığı alanda geleneksel yöntemler ile tarama yapmak yerine yapısal analizi kolaylaştırarak anlaşılma, erişme ve sınıflandırma imkanı ile zaman ve emek tasarrufu sağlamaktadır [50].

Bibliyometrik yöntemler, bir araştırma konusundaki bilimsel yayınların sayısal analizini kolaylıkla sunarak, araştırma alanındaki değişimleri izlemek, başka araştırma alanları ile ilişkilerini gözlemek, araştırma eğilimleri ile eksikliklerini ortaya koymak amacıyla kullanılmaktadır. Dinamik olarak değişen bilimsel bilgi sistemi içindeki bağlantıların temsillerini bulmaya çalışır ve bilimsel araştırmanın yapısal ve dinamik yönlerini göstermeyi amaçlar. Bibliyometrik haritalama, disiplinlerin, alanların, uzmanlıkların ve bireysel belgelerin veya yazarların birbiriyle nasıl ilişkili olduğunun mekânsal bir temsidir. Günümüzde bibliyometrik haritalama yapan analiz programlarının artması ve çevrimiçi veri tarama tabanlarının da kullanımının yaygınlaşması sayesinde bibliyometrik yöntemlerin kullanımı artmaktadır. Yaygın olarak kullanılan Web of Science veya Scopus veri tabanlarından tez kapsamında Scopus bibliyometrik analiz çalışmasına veri sağlamak için kullanılırken, bibliyometrik haritalama aracı olarak Van Eck ve Waltman tarafından geliştirilen bir metin madenciliği aracı olan VOSviewer kullanılmaktadır.

3.2. Scopus Veri Taban Taraması

Yeşil binalarda yangın güvenliği problemlerini ele alan bilimsel çalışmaların bibliyometrik analizi bu tezin yazarı tarafından tezin yazarı tarafından 2000-2021 yılları arasındaki bilimsel çalışmaları ele alarak analiz edilmiştir [51]. 2022 ve 2023 yıllarında yayımlanan bilimsel çalışmaları da analiz dâhil etmek amacıyla bu bölümde daha önce yazar tarafından gerçekleştirilen analiz güncellenerek eklemeler yapılmıştır.

Scopus veri tabanında yeşil binalarda yangın güvenliği hakkındaki bilimsel araştırmaları farklı araştırmaları en az sayıda kapsayacak şekilde ortaya koymak için Scopus veri tabanı ara motorunun ve/veya seçenekleri kullanılarak anahtar kelimeler detaylı olarak girilmiştir. Yıldız ve Beyhan tarafından yapılan çalışmada kullanılan anahtar kelimeler olan yeşil binalar ile ilişkili “Sustainable building”, “Green building”, “green design”, “sustainable design” “energy efficiency”, söz öbeklerine yangın ile ilişkili “combustion”, “fire”, “smoke” anahtar kelimeleri tekrar kullanılarak kombinasyonlar ile oluşan diziler oluşturularak Scopus’taki tarama gerçekleştirilmiştir. Daha sonra sayısal analizi anlaşılır hale getirmek için dil İngilizce, belge türü makale, tarih aralığı 2000-2023 seçilmiş ve konu dışı kimya, ekonomik gibi alanlar çıkarılması neticesinde karşılaşılan ve yıllara göre dağılımı Şekil 3.1’ de verilen 369 makale “Virgülle Ayrılmış Değerler (CSV)” dosyası olarak indirilerek VOSviewer programına aktarılmıştır.



Şekil 3.1. Araştırma konusundaki makalelerin yıllara göre dağılımı

3.3. VOSviewer Software

2010 yılında Leiden Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Araştırmaları Merkezinde Van Eck ve Waltman, tarafından geliştirilen VOSviewer; metin madenciliği aracı olarak bibliyometrik ağları haritalamak, sayısal analiz etmek ve görselleştirmek için üretilmiştir. VOSviewer tarafından verilen haritalarda düğüm büyüklükleri ağdaki baskın noktaları, iki düğüm arasındaki mesafe ise yaklaşık olarak aralarındaki ilişkiyi göstermektedir. VOSviewer programı ile birlikte; ortak atıf, bibliyografik eşleşme, ortak yazar ilişkileri, araştırmaların yayımlandığı dergiler, ülkeler ve araştırmacılar ile anahtar kelimeler ile birlikte var olma veya ortak kullanılma gibi analizler yapılmaktadır [52].

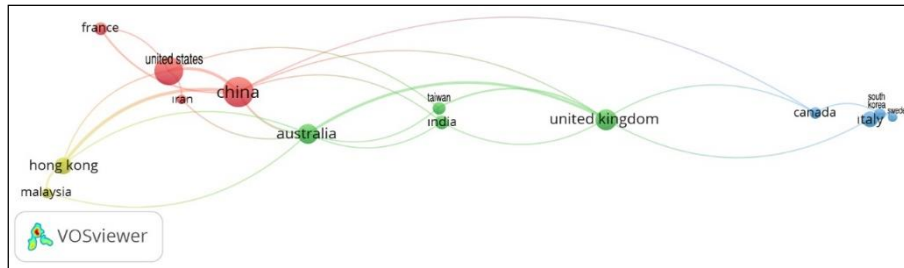
Daha önce yazar tarafından yapılan çalışmada araştırma alanında geniş bir çerçeve sunmak amacıyla VOSviewer aracılığıyla kaynak dergi, anahtar kelimeler, ortak yazar, atıf ve ülkeler olarak ele alınan bibliyometrik analiz tez kapsamında araştırma alanındaki bilimsel çalışmaların araştırma konularının sıklığını ve eksikliğini koymak amacıyla sınırlandırılmıştır. Bu bölümde VOSviewer aracılığıyla ülkeler bağlamında araştırma konuları, en çok atıf alan makaleler ve anahtar kelimeler ile araştırma alanındaki konuların sıklığı analiz edilerek haritalanmıştır.

3.4. Bibliyometrik Haritalama Sonuçları

Yıldız ve Beyhan tarafından 2000-2021 yıllarını tarih aralığı alan çalışmada Scopus veri tabanında gerçekleştirilen tarama neticesinde elde edilen veriler Vosviewer' a aktarılmıştır ve yeşil binalarda yangın güvenliği hakkındaki veriler ülke, yazar ilişkileri, atıf, anahtar kelime, kaynak dergi olmak üzere birden fazla ilişkinin değerlendirildiği genel bir çerçeve sunmuştur [51]. 2000-2023 yılı aralığının ele alındığı bu çalışma ile tez çalışmasının akademik çalışmalara katkısının sağlanması amacıyla araştırma alanında eksikliklerin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda konu hakkındaki yayımlanan yayınların araştırma alanlarına odaklanarak ülke bazlı yayımlanan makaleler, en fazla atıf alan makaleler, makalelerde en fazla kullanılan anahtar kelimeler ile araştırma konularının sınıflandırılması yapılmaktadır.

3.4.1. Araştırma alanına yön veren ülkeler

Yeşil binalarda yangın güvenliği problemleri ve çözüm yöntemleri sürdürülebilirlik hedeflerinin gerçekleşmesinde küresel bir sorun olmak ile birlikte ülkeler bazında konuya verilen önem düzeyi farklılaşmaktadır. Ülke ağ analizi için en az 5 makale yayımlama ve en az 25 atıf alma sınırlandırılması neticesinde araştırma konusu hakkında yayım veren 15 ülke Şekil 3.2’ deki haritada yer almaktadır. Makale ve atıf sayılarını veren liste ise Çizelge 3.1’ de verilmektedir.



Şekil 3.2. Ülke ağ haritası

Çizelge 3.1. Ülke ağ haritasının sayısal verileri

Ülke	Makale Sayısı	Atıf Sayısı
Çin	52	875
ABD	46	567
İngiltere	24	359
Avusturalya	23	459
Hong Kong	16	304
İtalya	14	878
Hindistan	10	217
Fransa	9	196
Tayvan	9	65
Kuzey Kore	8	97
Kanada	8	73
Malezya	7	142
Portekiz	5	170
İran	5	39
İsveç	5	36

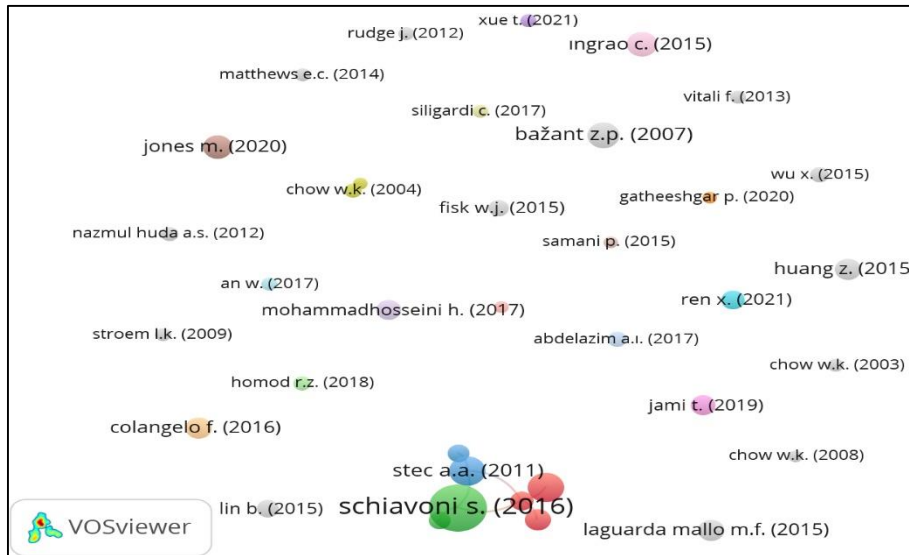
Haritada büyük düğüm noktası, yüksek bağlantı gücü ve 875 atıfa sahip Çin 52 makale ile araştırma konusuna en fazla katkı veren ülkedir. Çin’de yüksek atıf almış çalışmalar incelendiğinde organik, inorganik, plastik esaslı, çimento takviyeli veya nanofiber liflerle üretilen ısı yalıtım malzemelerinin kimyasal, bina kabuğuna termal yalıtım katkısı ve geri dönüşüm özellikleri ile yangın anındaki davranışlarını inceleyen araştırma ve derleme makaleler en fazla yayım yapılan araştırma konusu olmuştur [53 - 63]. Çin’de yayımlanan yüksek atıf alan makaleler sıralamasındaki çalışma alanlarından diğeri ise, enerji üreten ve/veya enerji verimliliği sağlayan akıllı sistemler, fotovoltaiik paneller, DC dağıtım sistemler, lityum piller gibi sistem ve malzemelerin enerji verimliliği, üretim analizleri ile sistem ve elektrik arızalarından kaynaklı güvenlik riskleri ile yangın güvenliğine katkı sağlayan algılama sistemleri incelenmiştir [64 - 68]. Çin’de son olarak binalarda kaçış yolları olarak kullanılan düşey ve yatay sirkülasyon alanlarında duman yayılımını engelleyerek kaçış yollarını güvenli hale getirmek için basınç farklılıklarında faydalanma yöntemleri sayısal analiz aracılığıyla araştırılmıştır [69 - 72]. Sonraki bölümlerde detaylı incelenecek olan az sayıda çalışmada ise bina içerisindeki atrium, şaft gibi düşey boşlukların yangın anındaki riskleri ele alınmıştır [69, 73].

Çin’den sonra en fazla makale sayısına sahip ABD’ de 46 adet makale toplam 567 adet atıf almıştır. ABD’ de en fazla atıf alan makalelerde üst sıralarda yer alan çalışmalardan bazılarında çapraz lamine kereste, ahşap duvar panelleri gibi düşük değerli ahşap yapı malzemelerinin enerji verimliliği, yapısal özellikleri, yapım uygulamaları, çevresel etkileri temel araştırma konuları olarak yer almış olup, ahşap malzemenin yangıncılık risklerinden de bahsedilmiştir [74 - 76]. ABD’ de diğeri yüksek atıf sıralamasına giren araştırma alanı ise enerji verimliliği için kritik öneme sahip bina kabuğu kaplama, yalıtım, yenilikçi malzemeler ile konstrüksiyon sistemleri doğrultusunda istenmeyen ısı transferi, hava geçirmezliği, çevresel etkisi ve yaşam döngüsü özellikleri irdelenmiştir. Bu çalışmalarda yangın güvenliği araştırma konusu olmayıp, çalışmaların özet kısmında yangın kelimesinin geçmesi sebebiyle Scopus anahtar kelime taraması sonucunda karşılaşılmıştır [77 - 79]. İngiltere’ deki çalışmalarda yüksek atıf alan araştırmaların başında sürdürülebilir yapı strüktürü için önerilen üç boyutlu baskı beton, soğuk şekillendirilmiş çelik ile kireçle işlenmiş saman balyaları uygulamaları için mekanik özellikleri ile termal performansı, yangın direnci, çevresel faydaları gibi konular bazında analizler yapılmıştır [80 - 84]. İngiltere’de yapılan çalışmalarda enerji verimliliği ön planda olduğu yapı kabuğu yalıtım malzemelerinin yangına karşı güvenli kullanımı için performans dayalı araştırmalar da yer almıştır [85, 86].

Son olarak atıf alan ve araştırma alanına dâhil olan iki çalışmada ise binalarda doğal havalandırılmalı binalarda yangın ve duman kontrolünü incelenmiştir [87, 88].

3.4.2. Yüksek atıf alan makaleler

Scopus veri tabanından anahtar kelime taramasında yapılan çeşitli kısıtlamalar sonucu elde edilen 369 makale VOSviewer’da en az atıf sayısı 30 olarak kısıtlanması neticesinde 36 makale görselleştirilmektedir (Şekil 3.3). Makale haritasında araştırma konusu hakkında yüksek sayıda atıf alan makaleler arasında bağlantı ağı zayıf ve küme sayısı fazla olması konu hakkında nitelikli sayılabilecek çalışmaların birbirinden etkilenme oranının düşük olduğunu ve makalelerin konu alanlarının fazlalığı hakkında fikir vermektedir. Makalelerin tam başlıkları, bilim dalları, atıf sayılarına ait detaylar Çizelge 3.2’ de özetlenmektedir. Araştırma konusunda yüksek atıf alan makalelerden en fazla çalışma alanı binaların termal konfor düzeyinin tasarlanmasında tercih edilen yalıtım malzemelerinin kimyasal, mekânîk, enerji verimliliği ve yangın dayanımı özelliklerinin analizlerinden oluşmaktadır. Diğer çalışma alanları akıllı sistemler, malzeme ve kimya alanında olup, araştırma alanı kapsamı dışında kalmıştır. Özetle yeşil binalar özelinde yangın güvenliği problemlerini ele alan nitelikli makale sayısı az ve araştırma alanı malzeme ile sınırlıdır.



Şekil 3.3. 30 ve üzeri atıf alan makalelere ait ağ haritası

Çizelge 3.2. 30 ve üzeri atıf alan makalelerin listesi

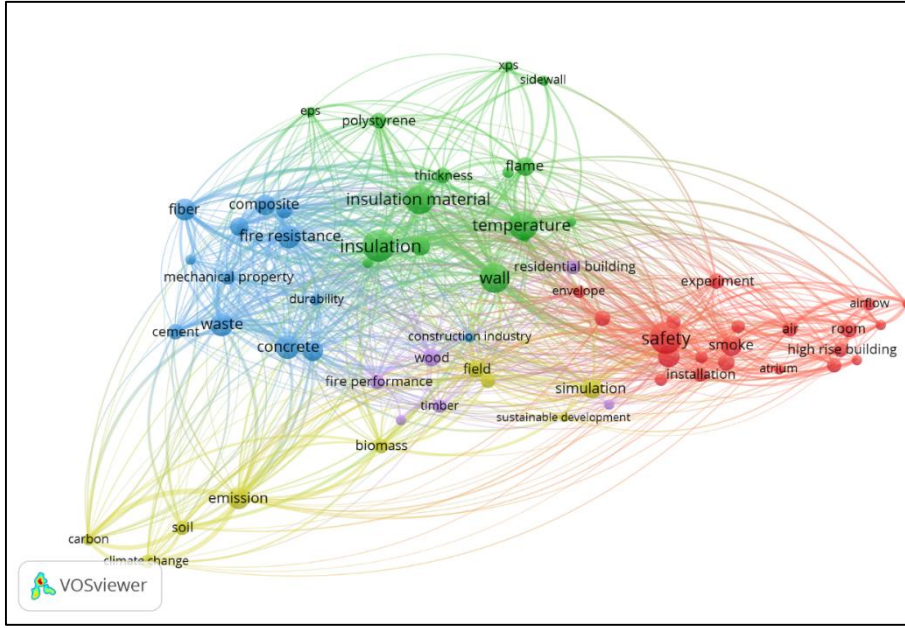
Yazar/Yıl	Başlık	Bilim dalı	Atıf sayısı
Samuele Schiavoni 2016	Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis	Malzeme Enerji	458
Asis Patnaik 2015	Thermal and sound insulation materials from waste wool and recycled polyester fibers and their biodegradation studies	Malzeme Enerji Akustik	176
Anna A.Stec 2011	Assessment of the fire toxicity of building insulation materials	Malzeme Enerji Yangın	175
Carlo Ingrao 2015	Energy and environmental assessment of industrial hemp for building applications: A review	Malzeme Ekoloji	125
Mitchell Jones 2020	Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: a critical review	Malzeme	120
Jorge Pinto 2012	Characterization of corn cob as a possible raw building material	Atık Malzeme Kimya	99
Francesco Colangelo 2016	Recycled polyolefins waste as aggregates for lightweight concrete properties	Malzeme Kimya	95
Zhaoming Huang 2015	Proportioning and characterization of Portland cement-based ultra-lightweight foam concretes	Malzeme Kimya	94
M. F. Laguarda Mallo 2015	Awareness, perceptions and willingness to adopt cross-laminated timber by the architecture community in the United States	Malzeme Mimarlık	93
Tarun Jami 2019	A review of the properties of hemp concrete for green building applications	Malzeme Enerji	84
Hossein Mohammad 2017	Microstructure and residual properties of green concrete composites incorporating waste carpet fibers and palm oil fuel ash at elevated temperatures	Malzeme Kimya	81
Xiaogeng Ren 2021	Design of multi-information fusion based intelligent electrical fire detection system for green buildings	Aktif Yangın Sistemleri	79
Dileep Kumar 2020	Comparative analysis of building insulation material properties and performance	Malzeme Enerji	79
Lin Jiang 2014	Correlation study between flammability and the width of organic thermal insulation materials for building exterior walls	Malzeme Enerji Yangın	68
Dionysios A.Bournas 2018	Concurrent seismic and energy retrofitting of rc and masonry building envelopes using inorganic textile-based composites combined with insulation materials: a new concept	Malzeme Deprem Kimya	64
Boqiang Lin 2015	A study on the energy rebound effect of china's residential building energy efficiency	Enerji	64
William J.Fisk 2015	Review of some effects of climate change on indoor environmental quality and health and associated no-regrets mitigation measures	Ekoloji Mimarlık	60
Xinyu Wu 2015	Homogeneous spiking neuromorphic system for real-world pattern recognition	Elektrik Mühendisliği	54
Ibrahim AbdelAzim 2017	Development of an energy efficiency rating system for existing buildings using Analytic Hierarchy Process – The case of Egypt	Enerji	48
Wan Ki Chow 2004	Wind-induced indoor-air flow in a high-rise building adjacent to a vertical wall	Yangın	44
Nazmul Huda 2012	A semi-automatic approach for thermographic inspection of electrical installations within buildings	Elektrik Mühendisliği	42
Raad Z.Homod 2018	Analysis and optimization of hvac control systems based on energy and performance considerations for smart buildings	Tesisat Akıllı Sistemler	41
Tiantian Xue 2021	Layered double hydroxide/graphene oxide synergistically enhanced polyimide aerogels for thermal insulation and fire-retardancy	Malzeme Kimya Enerji	39
Janet Rudge 2012	Coal fires, fresh air and the hardy British: A historical view of domestic energy efficiency and thermal comfort in Britain	Enerji Ekoloji	39
Cristina Siligardi 2017	Temperature-induced microstructural changes of fiber-reinforced silica aerogel (frab) and rock wool thermal insulation materials: a comparative study	Malzeme Kimya	38

Çizelge 3.2. (devam) 30 ve üzeri atıf alan makalelerin listesi

Yazar/Yıl	Başlık	Bilim dalı	Atıf sayısı
Weiguang An 2017	Effects of building concave structure on flame spread over extruded polystyrene thermal insulation material	Malzeme Yangın Mühendisliği	38
Wan Ki Chow 2003	Fire safety in green or sustainable buildings: application of the fire engineering approach in Hong Kong	Yangın Mühendisliği	38
Francesco Vitali 2013	Agricultural waste as household fuel: Techno-economic assessment of a new rice-husk cookstove for developing countries	Atık Ekoloji	36
Elizabeth Matthews 2014	A critical analysis of hazard resilience measures within sustainability assessment frameworks	Ekoloji Mimarlık	35
L.K.Stroem 2009	Superheated steam drying of Brewer's spent grain in a rotary drum	Kimya Enerji	35
Pukar Maharjan 2018	An indoor power line based magnetic field energy harvester for self-powered wireless sensors in smart home applications	Elektrik Mühendisliği	32
Wan Ki Chow 2008	Thermal stresses on window glasses upon heating	Yangın Mühendisliği	32
Pouya Samani 2015	A sustainability assessment of advanced materials for novel housing solutions	Malzeme	31
Weiguang An 2014	Thermal and fire risk analysis of typical insulation material in a high elevation area: influence of sidewalls, dimension and pressure	Yangın Malzeme	31
Per.Gatheeshgar 2020	Optimised cold-formed steel beams in modular building applications	Malzeme Mühendislik	30
Zdeněk Bažant 2007	Mechanics of progressive collapse: learning from World Trade Center and building demolitions	İnşaat Mühendisliği	30

3.4.3. Anahtar kelime analizi

Anahtar kelimeler belirli bir makalenin odak noktasını tanımlamakta ve okuyuculara araştırmaların kapsam, amaç ve yöntemleri hakkında fikir vermektedir. Scopus veri tabanından elde edilen 369 makalenin başlık, yazar tarafından belirlenen anahtar kelime ve özetlerde geçen kelimelerden yapılan taramada en az görülme sayısı 10 seçildikten sonra toplam 8602 kelimedenden 189 tanesi Vosviewer programında görüntülenmiştir. 189 kelime içerisinde yapılan görsel taramada araştırma analizine katkı sağlamayacak home, event, example, world, concern, benefit, range, increase gibi kelimelerin çıkarılması neticesinde karşılaşılan 94 kelime Şekil 3.4' deki ağ haritasında verilmektedir.



Şekil 3.4. Anahtar kelime ağ haritası

Araştırma konusu hakkındaki makalelerin anahtar kelimeleri 5 farklı kümeyle ayrılmakta olup, makalelerde bir arada kullanım sıklıklarına göre kümeler oluşmaktadır. Anahtar kelime ağ haritasında merkezde yer alan yeşil renkli küme en fazla kullanılan anahtar kelimeleri göstermekte olup, eps, polystyrene, insulation, temperature, flame kelimeleri bina kabuğundaki malzemelerin termofiziksel özelliklerinin ile yangın risklerinin araştırıldığı çalışmaları temsil etmektedir. Ülkeler bazlı araştırmalar ve yüksek atıf alan çalışmalar kısımlarında da malzemenin yalıtım ve yanıcılık özelliğinin en fazla araştırma alanı olduğu desteklenmiştir. Haritada mavi renkle ifade edilen ve concrete, cement, steel, composite, durability, construction industry anahtar kelimeleri strüktür elemanları ile ilgili çalışmaların varlığını göstermekte olup, ülkeler bazlı araştırmalar kısmında özellikle İngiltere’de bu alanda yapılan makalelerin olduğu tespit edilmiştir. Haritada kırmızı renkle ifade edilen ve smoke, air, atrium, solar chimney, airflow, smoke, natural ventilation, stack effect kelimeleri bina kabuğu ve iç boşluklarında hava akışı ve duman yayılımı çalışmalarının yer aldığını göstermektedir. Ancak ülkeler bazlı araştırmalar ve yüksek atıf alan çalışmalar kısımlarında atıf sayısı fazla olan makaleler içerisinde yalnızca Çinli yazar Wan Ki Chow tarafından yapılan 3 adet çalışmaya rastlanmıştır. Bina kabuğu ve iç boşlukları ile ilgili makalelerin atıf sayısı az olduğu için niteliği ile akademik ve ilgili uygulama alanlarına katkısının zayıf olduğu değerlendirilmektedir. Şekil 3.4’ de yer alan anahtar kelimelerdeki kümelere ait kelimeler ve kelimelerin analizi neticesinde tespit edilen çalışma alanları Çizelge 3.3’ de verilmektedir.

Çizelge 3.3. Kümelere göre anahtar kelimeler ve çalışma alanları

Küme	Anahtar kelime	Çalışma alanları
Kırmızı	air, airflow, architect, atrium, building envelope envelope, environmental impact, experiment green building, heated room, high rise building, hvac system, indoor air quality, installation, natural ventilation, room, safety, smoke, solar chimney, stack effect, sustainable building	Bina iç boşlukları Bina kabuğu Mekânîk sistemler
Yeşil	account, eps, flame, flame retardancy, ignition, insulation, insulation material, polystyrene, resistance, sidewall, temperature, thickness, wall, wide range, xps	Yalıtım malzemeleri
Mavi	building material, cement, composite, concrete construction industry, density, durability, steel, fiber, fire resistance, high temperature, mechanical property, thermal conductivity, waste	Strüktür elemanları
Sarı	biomass, carbon, climate change, emission, field fuel, simulation, soil, sustainable development	Ekoloji- Sürdürülebilirlik
Mor	cross laminated timber, fire performance, residential building, sustainable design, timber, wood	Ahşap esaslı malzemeler

Nitelikli çalışmaları görselleştirmek ve doğru sınıflandırma yapmak için veri tabanı taramasında getirilen kısıtlamalar neticesinde araştırma konusunda karşılan 369 makaleden hem yeşil binaları hem de yangın güvenliğini bir arada ele alan çalışma bu sayının çok altında kalmıştır. 369 makale içerisinde araştırma konusu dışına çıkan makalelerin çıkmasının en önemli sebebi veri tabanı taramasında belirlenen anahtar kelimelerin özetle yalnızca bir noktada genel bilgi olarak geçmesi neticesinde tarama kapsamına girmesidir. Örneğin yalıtım malzemelerinin kimyasal özelliklerini inceleyen çalışmaların bazılarının yalnızca bir noktada yanıcılık özelliği geçmesi veya orman yangınlarının çevresel ve insan üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalarda belirli noktalarda binalara yayılma riskinin belirtilmesi nedeniyle taramalarda karşılaşılan makaleler içerisine dâhil olmuştur.

Araştırma konusundaki sınırlı makalelerin bibliyometrik analizi sonuçları çalışma konusunun en fazla yalıtım ve strüktür malzemeleri olduğunu göstermektedir. Malzemelerin mekânîk ve kimyasal özellikleri, çevresel etkileri ile yalıtım, dayanım ve direnç özellikleri en fazla irdelenen konular olmuştur. Mimari tasarım ile doğrudan ilişkili olan ve tez kapsamında ele alınan yeşil bina tasarımlarında kritik öneme sahip dış ortamdan alınan havanın bina içerisine alınması ve bina içerisinde düşey boşluklar aracılığıyla yönlendirilmesine yönelik doğal havalandırma tasarımının yangın etkileri konusunun çalışma alanına dâhil olduğu anahtar kelime analizi ile görülmüş ancak yüksek atıf nitelikli makaleler içerisinde yer almamıştır. Bu husus; akademik ve yapıllı çevrelerdeki uygulamalar

için yeterli ve nitelikli bilimsel çalışmaların olmadığını göstererek tezin kapsamı, amaç ve hedeflerini desteklemektedir.

Bibliyometrik metot neticesinde araştırma eksikliği olarak tespit edilen tezin kapsamı doğrultusunda yeşil bina iç düşey boşluklarında yangın güvenliği ve riskleri ile ilgili fiziksel model çalışmaları bir sonraki başlıkta analiz edilerek tezin kapsamında geliştirilecek yangın modeli için veriler toplanmıştır. Bibliyometrik analiz neticesinde çalışma kapsamında Wan Ki Chow tarafından yapılan birkaç makaleye rastlanması nedeniyle hem Scopus harici veri tabanlarından tarama yapılmış hem de doğrudan yeşil binalar ile ilişkilendirmeden bina iç boşluklarında yangın risklerini ele alan fiziksel model çalışmaları incelenmiştir.

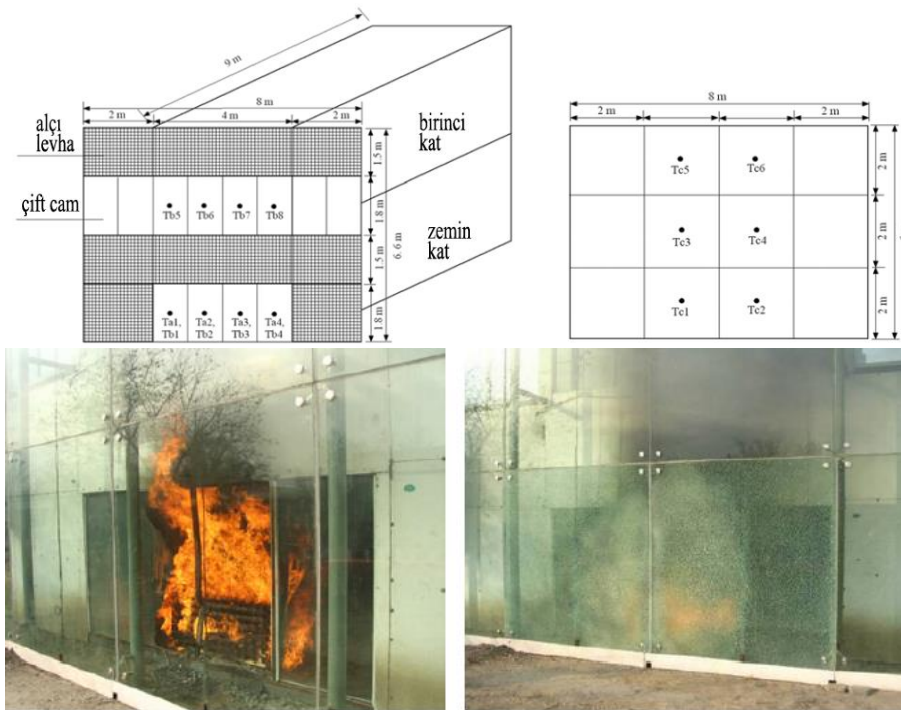
3.5. Bina İç Düşey Boşluklarında Yangın Güvenliği Ve Riski Hakkında Fiziksel Model Çalışmaları

Bina iç düşey boşluklarında yangın problemlerini sayısal model ve ölçekli deneyler aracılığıyla inceleyen çalışmalarda shaft, düşey sirkülasyon alanları, atrium, çift kabuklu cephe boşluğu ve güneş bacası problem alanı olarak belirlenen düşey boşlukları oluşturmaktadır. Düşey sirkülasyon alanlarında oluşan baca etkisinin yangın olaylarındaki davranışı sayısal ve fiziksel modeller kullanılarak özellikle mekânîk olmak üzere duman tahliye sistemlerinin özellikleri ve sirkülasyon alanındaki konumundan oluşan senaryolar ile düşey sirkülasyon alanı ve bu alana açılan kapı boşluğu yoluyla komşu mekânlarda sıcaklık ve duman analizleri yapılmıştır [72, 89]. Şaftlardaki yangın yayılımını inceleyen sayısal çalışmalar shaftın cepheye komşu olmayan mekânlara aydınlatma ve havalandırma sağlayan özellikteki shaftlara odaklanmıştır. Shaftın alt ve üst seviyesindeki havalandırma açıklıkları ve shafta komşu mekânlardaki boşlukların konumlarına ve varlığına göre oluşan senaryolarda sıcaklık, duman analizleri gerçekleştirilmiştir [18, 73, 90].

Atriumu problem alanı olarak belirleyen çalışmalarda farklı mekânlara sahip olmaksızın geniş hacimli tekil mekânı atrium olarak tanımlayarak fiziksel modeller ve senaryolar gerçekleştirilmiştir. Geniş hacimli atrium çeperlerinde yer alan kapı ve pencere açıklıklarından giren ve farklı hızlarda tanımlanan rüzgârın yangında sıcaklığa ve alev dağılımına etkisini inceleyen çalışmalarda rüzgârın yangın yayılımına etkisi incelenmiştir [91, 92]. Atriumun ortasında farklı yangın havuzları, üstünde mekanik egzoz çıkışları, alt ve yanlarda ise kapı pencere boşluklarından meydana gelen senaryolarda atriumda duman ve

sıcaklık seviyeleri karşılaştırılmıştır [93, 94]. Mekanik duman tahliye sistemlerinin geniş hacimli atrium alanlarında duman dolumu ve sıcaklık dağılımı üzerindeki etkileri doğal havalandırma ve doğal duman tahliye açıklıklarına ilave olarak incelenmiştir [95–97]. Atriumlar ile ilgili çalışmalarda genel olarak farklı yangın havuzları, doğal duman tahliye açıklıkları mekân mekanik duman egzoz sistemleri, pencere ve kapı açıklıklarından oluşan bir dizi senaryolar ile sayısal ve deneysel analizler yapılmış olup, mekânlar ile bağlantılı atrium ile ilgili çalışma yapılmamıştır.

Peng, Ni ve Huang çift kabuklu cephe boşluğuna sahip iki katlı bir binada deneysel ve sayısal çalışmalar yaparak deneysel testler ile çift kabuk dış ve iç camların kırılma sıcaklığı ve sürelerini test ederken, sayısal analiz ile çift kabuk boşluğunun genişliklerinin dış ve iç yüzeylere etkisini incelemiştir. Alt ve üst katında 4 x 9 x 3,3 m boyutlarında iki oda ve genişliği 0,8 m olan odalara komşu boşluğa sahip binada yapılan deneyde iç camlar 1 x 1,8 m boyutlarında 6 + 9 + 6 mm (cam + boşluk + cam) çift cam, dış camlar ise 1,5 mm jel katmanı ile birleştirilmiş 12 mm çift cam tabakası olarak yerleştirilmiştir (Şekil 3.5). Deneyde 3 adet tasarlanan senaryolara ait özellikler Çizelge 3.4’ de verilmekte olup, deney sonucunda 600 800 °C’ de önce dış camın ve senaryolara göre 1,5 ve 2 dakika arasında değişen sürelerde üst kat iç camın kırıldığı gözlemlenmiştir [21].

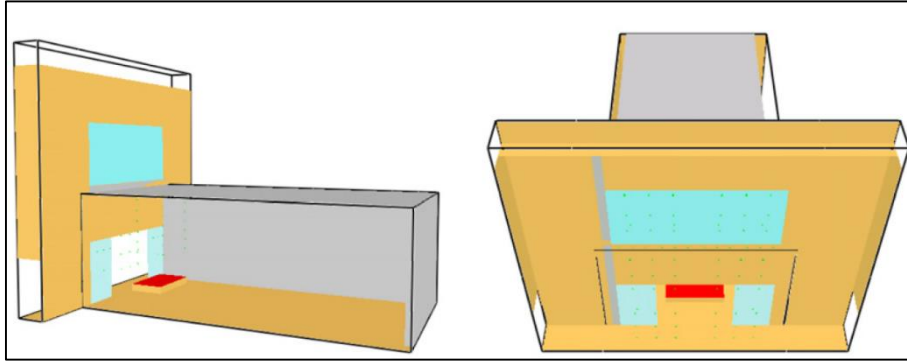


Şekil 3.5. Deney modelinin özellikleri ve yangın testi görüntüleri [21].

Çizelge 3.4. Deney tasarım senaryoları

Test	Yangın kaynağı	En fazla ısı yayma oranı	Yorum
A	Propan + yangın havuzu	0,7 MW	Odanın arka kapısı açık
B	Propan + yangın havuzu	1 MW	Odanın arka kapısı açık
C	Propan + yangın havuzu	2 MW	Odanın arka kapısı kapalı, iç iki panel çıkarılmış

Aynı çalışmada yangın mahalinden çift kabuklu cephe boşluğuna duman ve alev hareketini incelemek için CFD özelliklerini kullanan FDS kullanılmış ve farklı boşluk genişlikleri, değişen yangın şiddetleri ile yangın havuzunun odadaki konumuna göre senaryolar oluşturulmuştur (Şekil 3.6) (Çizelge 3.5). Bu senaryolar ile boşluk genişlikleri ve yangın konumunun çift kabuğun dış yüzeyi ve iç yüzeyindeki sıcaklık değişimine ve duman hareketine etkisi incelenmiştir. Yangın odada cepheye yakın konumda olunca dış kabuk sıcaklığı yükselirken, boşluk genişliği arttıkça dış kabuk sıcaklığında düşüş tespit edilmiştir. Duman hareketi boşluk genişliği arttıkça iç yüzeyden uzaklaşıp dış kabuğa doğru olmuştur [21].

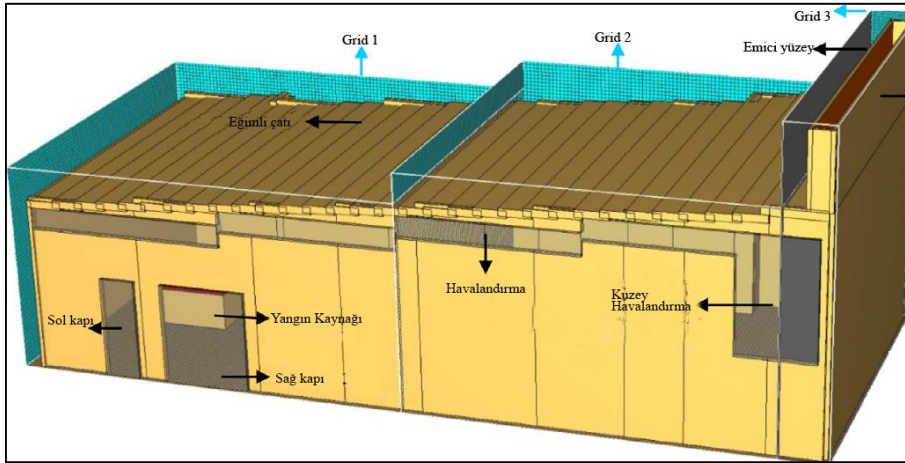


Şekil 3.6. Çalışmanın FDS modeli [21]

Çizelge 3.5. FDS modeline ait tasarım senaryoları

Senaryo	Isı yayma oranı	Boşluk	Yorum
1	2 MW	0,8 m	Yangın cepheye yakın konumda
2	2 MW	0,8 m	Yangın odanın ortasında
3	6 MW	0,8 m	Yangın odanın ortasında
4	6 MW	1,4 m	Yangın odanın ortasında
5	6 MW	2 m	Yangın odanın ortasında

Hem enerji verimliliği hem de yangın güvenliği sağlamak amacıyla mevcut bir binaya güneş bacası tasarımı yapılan bir çalışmada; güneş bacası boşluğunun genişliği ve yüksekliği ve güneş radyasyonunun bacadaki hava akışına etkisini incelenmiştir (Şekil 3.7). Çizelge 3.6’da verilen senaryolara göre güneş radyasyonu ile baca genişliği bir arada değerlendirildiğinde baca genişliği arttıkça baca içerisinde ısınan alanın da artması, boşluk içerisinde baca etkisinin artmasını sağlayarak güneş bacasının etkin çalışmasına imkân vermiştir. Ancak genişlik 1,2 m’ yi geçtikten sonra bacadaki hava akış hızı ve duman tahliye miktarında artış olmamıştır. Baca yüksekliği artmasının hacimsel akış üzerinde olumlu etkisi olduğu görülmüş olup, bunun nedeni daha fazla güneş radyasyonunu emebilen daha yüksek baca boşluğunun altındaki hem soğurma hem de cam duvarların artan alanları olarak değerlendirilmiştir [98].



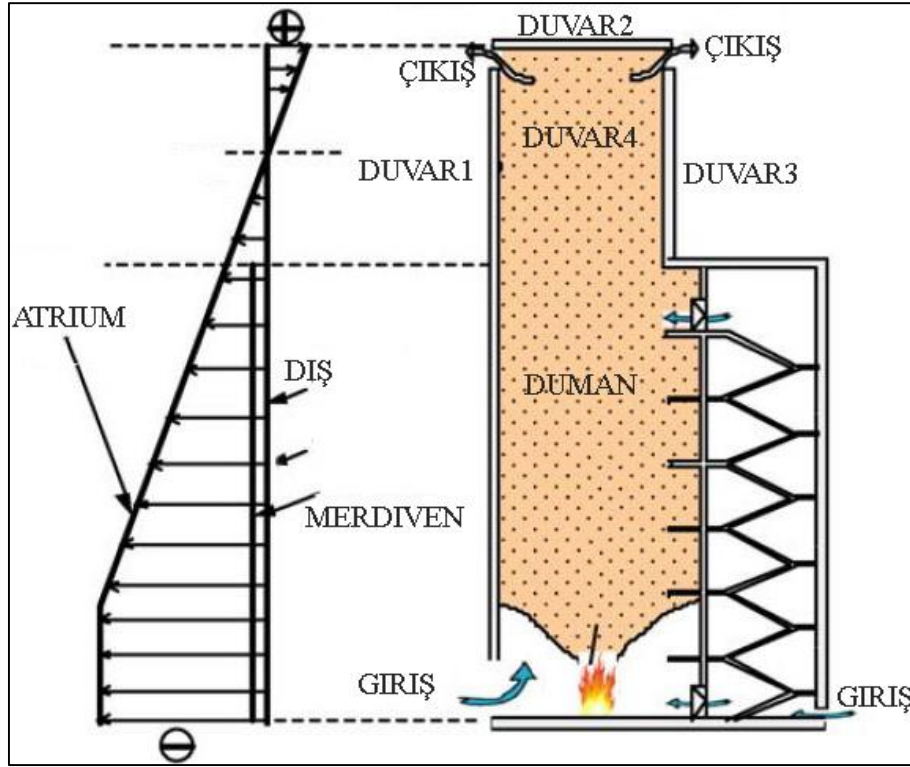
Şekil 3.7. FDS tarafından oluşturulan odanın sayısal modeli [98]

Çizelge 3.6. FDS modeline ait tasarım senaryoları

Senaryo	Parametre	Açıklama	Çalışılan aralık/ artış aralığı
1	Boşluk alanı	Emici ve cam yüzey arasındaki mesafe	0,1–1,6 / 0,2 m
2	Boşluk yüksekliği	Baca boşluğunun zeminden yüksekliği	1-3 / 0,5 m
3	Güneş bacasının yeri	Çatının altındaki baca boşluğunun yüksekliği	0-2 / 0,5 m
4	Güneş radyasyonu	Cam duvardan alınan güneş radyasyonu	200/1000 / 200 W/m ²

8 katlı atriumlu ve atrium üzerine güneş bacası yerleştirilen prototip binada duman kontrolü ve doğal havalandırma için ölçekli deney ve CFD analizi yapılan bir çalışmada atrium alt hava girişi ve güneş bacası üst hava çıkışının oransal değişimi ile güneş bacası duvar

yüzeylerine uygulanan farklı sıcaklık koşullarına göre performans analizi yapılmıştır (Şekil 3.8). Atrium ortasında yer alan bir yangın havuzunda başlayan bir yangında Çizelge 3.7’ de verilen senaryolara göre hava çıkışının girişe oranı 2’den büyük olduğunda ve duvar yüzeylerine uygulanan sıcaklık artırıldığında boşluktaki nötral basınç düzlemi baca seviyesine çıkarak kullanım alanlarına duman geçişi önlenmiştir [99].



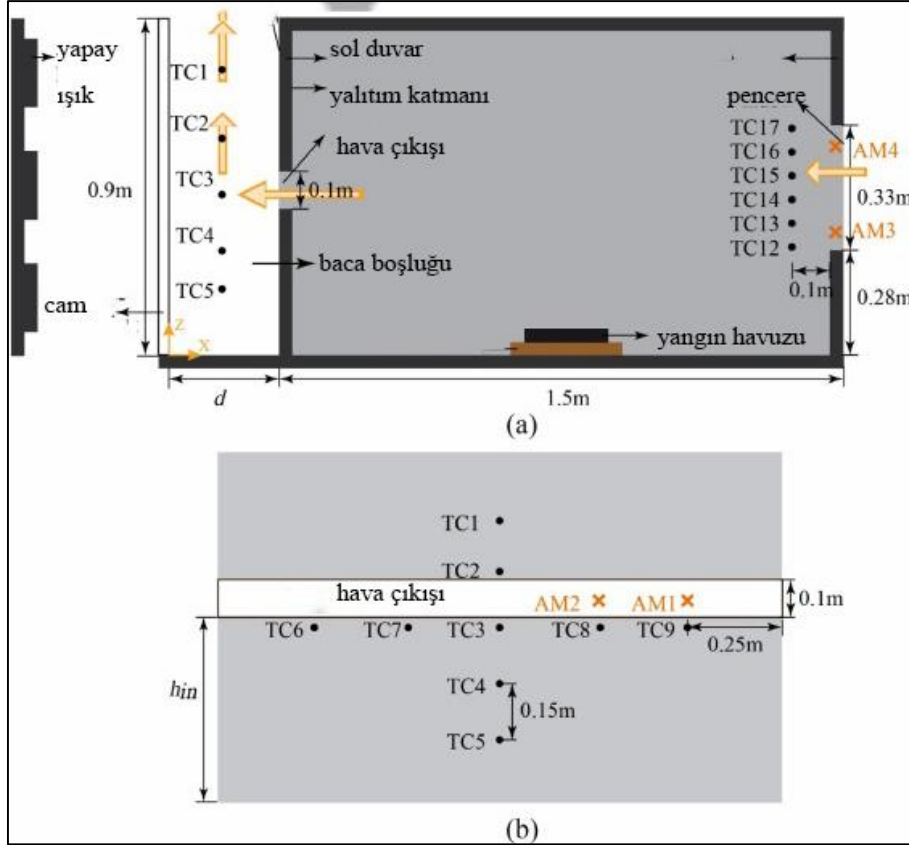
Şekil 3.8. Prototip bina modeli özellikleri [99]

Çizelge 3.7. Prototip binada uygulanan tasarım senaryoları

Senaryo	DUVAR1 (°C)	DUVAR2 (°C)	DUVAR3 (°C)	DUVAR4 (°C)	GİRİŞ (m ²)	ÇIKIŞ (m ²)
1	35	35	35	50	6	6
2	40	40	40	55	6	12
3	40	45	45	60	6	18

Güneş bacası yoluyla doğal havalandırma ve duman tahliyesi yapılması amacıyla 1,5 m × 1,5 m × 0,9 m boyutunda 1:3 oranında küçültülmüş ölçekli deneyde hava çıkışının zeminden yüksekliği, güneş bacası boşluk genişliği, güneş radyasyonu değerleri ve yangın boyutu olmak üzere dört etkileyici faktör dikkate alınarak optimizasyon çalışması yapılmıştır (Şekil 3.9). Çizelge 3.8’de senaryolara ait değerlerin verildiği deney sonuçları neticesinde 1/3

ölçeğe göre 0,5 m yüksekliğinde hava çıkışı ve 12,5 cm genişliğinde boşluğun en uygun duman tahliyesini sağladığı belirlenmiş olup, güneş radyasyonunun doğal havalandırma üzerinde etkisinin bulunduğu, duman tahliyesi üzerinde etkisinin sınırlı olduğu gözlemlenmiştir [100].



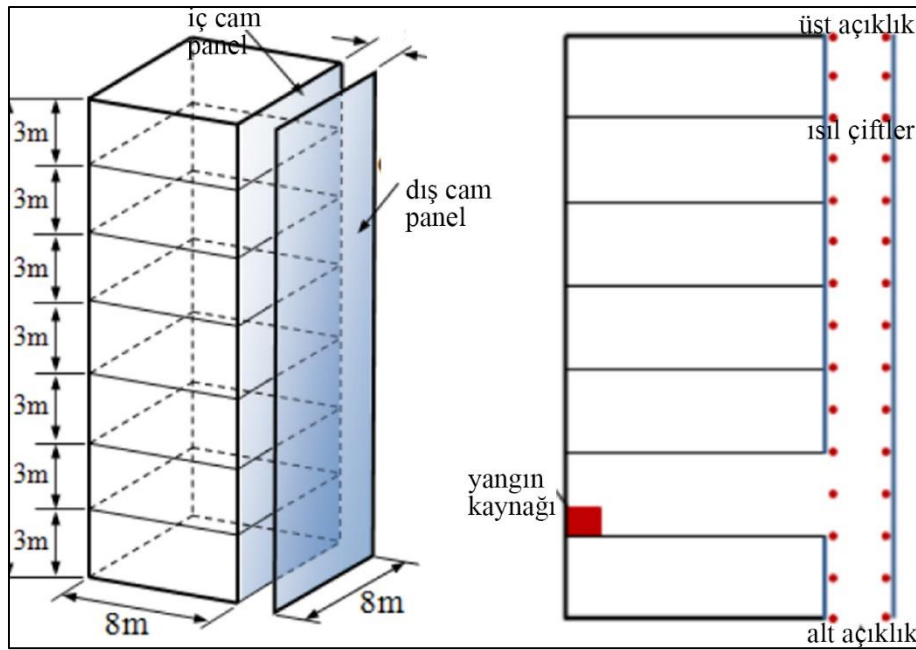
Şekil 3.9. Deneysel platformun şematik bir görünümü

Çizelge 3.8. 1:3 ölçekli deneyde uygulanan tasarım senaryoları

Senaryo	Hava çıkışı yüksekliği (m)	Boşluk genişliği (cm)	Güneş radyasyonu (W/m^2)	Yangın boyutu (kW)
1-7	0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8	5	800	6,8
8-13	0,5	2,5, 5, 7,5, 10, 12,5, 15, 17,5	800	6,8
14-17	0,5	12,5	400, 600, 1000, 1200	6,8
18-20	0,5	15	800	6,8, 9,2, 15,8

Çift kabuklu cephe boşluğunda yangın risklerinin sıcaklık ve duman yayılımı çerçevesinde ele alındığı bir çalışmada yangın mahalının konumu, çift kabuk dış yüzeyinin eğim açısı,

boşluk genişliği ve ısı yayma oranlarının etkisi ele incelenmiştir (Şekil 3.10). 7 katlı prototip binada senaryolara ait değerler Çizelge 3.9’ da verilmekte olup, yangın mahalinin birinci katta olması boşlukta baca etkisini artırmış ve boşluk dış ve iç cama benzer etki göstermişken, üst katlarda olduğu senaryolarda yangın mahalinin duman iç cama yapışarak yukarı doğru hareket etmiştir. Boşluk dış yüzeyinin dışa eğimli olduğunda duman yukarı doğru hareket ettiğinde, ters basınç gradyanının etkisinden dolayı türbülanslı bir girdap oluşmuştur. İçe doğru eğimli senaryoda ise iç yüzeye yapışarak camların sıcaklıklarında artıştan dolayı patlama riskini artırmıştır [106].



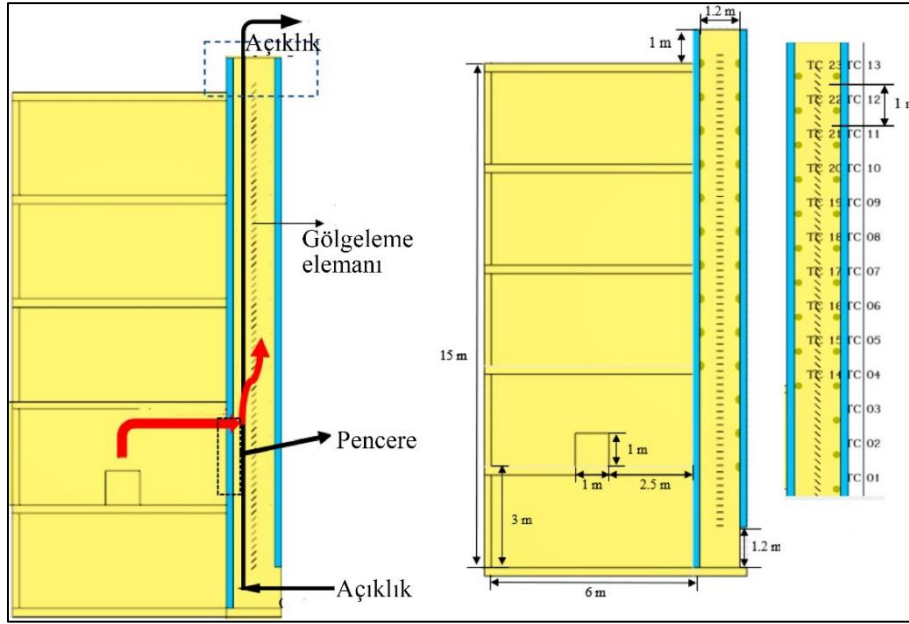
Şekil 3.10. Prototip bina modeli özellikleri

Çizelge 3.9. Senaryolara ait değerler

Toplam kat	Isı yayma oranı (MW)	Yangın mahali	Boşluk genişliği (m)	Eğim açısı (°)
7	1 ve 5	1, 2, 4, 6	0,8, 1, 1,4, 2	80, 90, 100

Çift kabuklu cephe boşluğuna sahip prototip binada boşluğa yerleştirilen gölgeleme elemanlarının konum ve açılarından oluşturulan senaryolar ile boşluktaki sıcaklık değerlerinin incelendiği çalışmada gölgeleme elemanlarının soğutmaya sunduğu katkının potansiyel yangın riskleri ortaya koyulmuştur. Prototip bina birinci katındaki odaya yerleştirilen 5 MW HRR poliüretan GM27 reaksiyon kaynağından başlayan yangın

senaryolarında gölgeleme elemanları sırasıyla iç camdan 0,4 m uzağa, boşluğun ortasına ve dış camdan 0,4 m uzağa yerleştirilmiştir. Gölgeleme elemanı çıtalarının açısı ise sırasıyla 0°, 45°, 90° ve 135° olarak tasarlanmış olup, senaryolarda boşluk iç sıcaklığının gölgeleme elemanı konumuna ve çıta açılma açısına bağlı olarak 283 °C ila 840 °C arasında değişen geniş değer aralıklarını göstermiştir (Şekil 3.11) [88].



Şekil 3.11. Prototip bina modeli özellikleri

Yukarıda yangın modellerine ait detaylı analizleri verilen çalışmalar tez kapsamında geliştirilen tasarım modeli için referans olmaktadır. Özellikle güneş bacası çalışma prensibiyle nötral düzlemin boşluk içerisinde bina seviyesi üzerinde tutulmasını sağlayacak tasarım yaklaşımı ile yangında dumanın yangın mahalinden boşluğa geçerek diğer mekânlara yayılmaksızın bina dışına tahliyesinin gerçekleşebileceği görülmektedir. Referans çalışmalar genel olarak hava çıkış ve havalandırma boşluklarının, güneş radyasyonun, yangın mahali konumunun, atrium veya çift kabuklu cephe boşluğu olarak tanımlanan boşluk genişliğinin yangında duman yayılımı, sıcaklık seviyeleri üzerine etkileri incelenmiştir. Tez kapsamında ise duman tahliyesi, alev ve sıcaklık kontrolünün hedeflendiği boşluğun optimizasyonuna odaklanılmıştır. Boşluğun bina seviyesinden yüksekliği, boşluğun genişliği (referans çalışmalardaki değer aralığından faydalanılmıştır), boşluğa açılan havalandırma boşlukları ve duman tahliyesi için hava giriş çıkışlarının boyutlarının değişken olarak belirlenmesi neticesinde tasarım senaryoları oluşturulmuştur.

3.6. Düşey Boşluklarda Hava Akımı Ve Duman Hareketine Etki Eden Doğal Faktörler

Düşey boşluklarda oluşan hava akımları ve duman hareketi için kritik faktör olan baca etkisini sıcaklık, konvektif hareket, basınç değişimleri, rüzgâr faktörleri etkilemektedir. Baca etkisi kaldırma kuvveti kaynaklı bir fiziksel olay olup, iklim koşullarına göre bölgesel olarak etkisi değişmektedir. Baca etkisinin üzerindeki temel güç iç mekân ile dış çevre arasındaki sıcaklık ve buna bağlı yoğunluk farkıdır. Baca etkisi yükseklik ile de doğru orantılı olması sebebiyle yüksek katlı binalarda daha etkili görülmektedir.

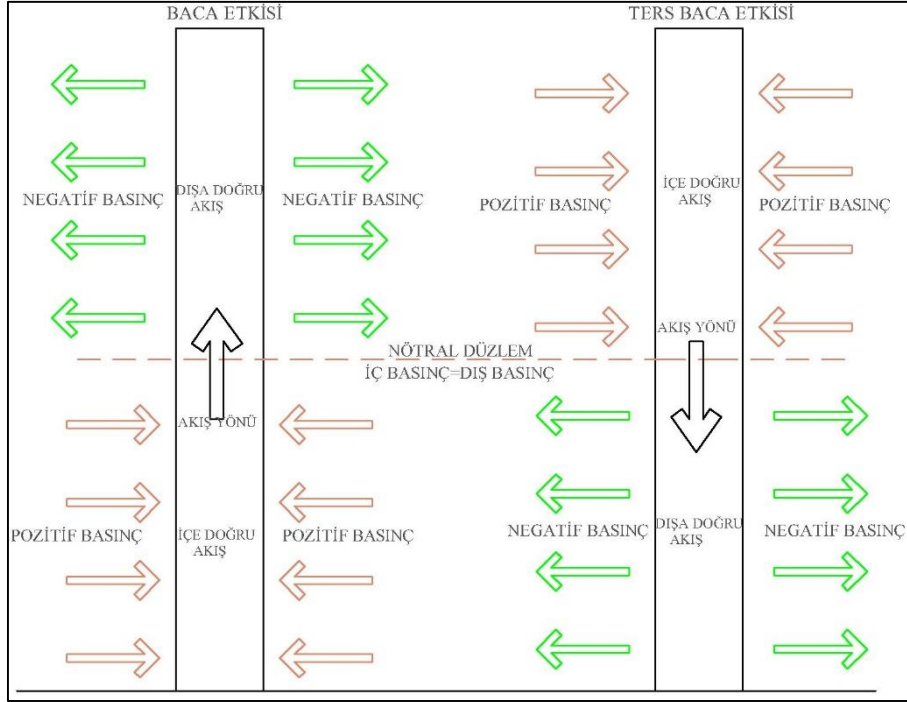
Binalar için doğal havalandırma tasarımları, bina iç ve dış çevredeki hava akışı arasındaki uygun değişimle elde edilebilecek olan en uygun termal konforu sağlamayı amaçlamaktadır. Isınan havanın yükselerek bina dışına atılması prensibine dayanan baca etkisinin görüldüğü düşey boşluklar aracılığıyla doğal havalandırma tasarımı birçok verimlilik faktörü sebebiyle yeşil binalarda tercih edilmektedir. Böylece boşluklara komşu mekânlarda taze hava girişi ve ısınan ve kirlenen havanın boşluk aracılığıyla mekândan atılması sağlanarak iç mekân kullanıcı konforu sağlanmaktadır. Doğal havalandırma etkinliğini iyileştirmek için, atrium, çift kabuklu cephe, galeri, şaft gibi boşlukların ve boşluklara bakan mekânlardaki açıklıklıların; düşey ve yatayda kesintisiz alanlar oluşturması ve hava akımının iç mekânda kontrolsüz dolaşmasına sebep olması yangın güvenliği tasarımını içeren binaları tasarlayan geleneksel yöntemlerine aykırı olmaktadır.

Baca etkisi bina içerisindeki boşluklarda oluşan bir faktör olup, boşluğun yüksekliği (alt giriş ve üst çıkış arasındaki) ile boşluk içi ve dışı arasındaki sıcaklık farkının bir fonksiyonudur. Bu bağlamda bina içerisindeki boşluk ile boşluğa bitişik mekânlar ve dış çevre arasındaki sıcaklık ve basınç farklarından faydalanılarak doğal havalandırma tasarımına imkân vermesi sebebiyle yeşil binalarda boşluk konumu, boyutu, çevresindeki ve bina kabuğu ile ilişkisi, boşluğa açılan açıklıklar doğal havalandırma tasarım prensiplerini oluşturmaktadır. Temel olarak bina içerisindeki boşluklar; bina kabuğuna yakın kısımlarda tasarlanan ve dış çevre ile mekânlar arasında doğrudan hava akışlarına sebep olan yan boşluklar ile bina merkezi noktalarında tasarlanan ve merkezi noktadan mekânları çevreleyerek hava akışlarına sebep olan merkezi boşluklar olmak üzere iki boşluk ve iki hava akış türü olarak sınıflandırılmaktadır. Yan boşluklarda oluşan hava akışı ile doğal havalandırma stratejisi, havanın kabuğa yakın düşey şaft, çift kabuklu cephe boşluğu, rüzgâr bacası ve kabuk konstrüksiyonundan kaynaklı boşluklardan hareket ederek bina boyunca dolaşması ve yan

boşluk veya üst boşluktan dışarı atılması prensibine sahiptir. Merkezi boşluklardaki hava akışı ile doğal havalandırma stratejisi, havanın atrium veya merkezi şafttan dışarı atılmak üzere yanlardan merkeze doğru akması ve üst kısımdan dışarı atılması olarak değerlendirilmektedir [102]. Verimli ve konforlu doğal havalandırma stratejisi için boşluklarda ısınan veya kirlenen havanın boşluğa akması ve buradan diğer mekânlara geçmeden doğrudan boşluk yoluyla bina dışarısına atılması gereklilikleri ile bina içerisinde meydana gelecek yangında dumanın boşluk yoluyla tahliyesi gereklilikleri benzer stratejilere ihtiyaç duyacaktır. İki tasarımda da hava akımının kontrollü şekilde yönlendirilmesi gerekmektedir.

Bina içerisinde boşluklar aracılığıyla doğal hava hareketleri ile paralel hareket eden duman hareketinin başlıca sebebi olan baca etkisinin şiddetini bina yüksekliği, bina kabuğunun sızıntısı, boşluk boyutları, boşluğun açıldığı mekânlar ile ilişkileri ve boşluk iç-dış sıcaklık farklılıkları gibi parametre etkilemektedir. Binalarda baca etkisinden kaynaklı hava hareketinin yoğun gözlemlendiği düşey boşluklardaki duman, yüksek basınç alanından alçak basınç alanına doğru hareket etmesinden dolayı üst açıklıklardan dumanı çekebilmek için, bina içindeki basıncın dışarıdaki basınçtan daha yüksek olması gerekmektedir. Ters durumda ise, havanın alt açıklıklardan çekilmesi için dışarıdaki basıncın içindeki basınçtan daha yüksek olmalıdır [102].

Binanın içi ve dışı arasında basınç farkının olmadığı yatay düzleme, hava akışının olmadığı nötral düzlem oluşmaktadır. Nötral düzlem konumu, "mutlak sıcaklık oranının" bir fonksiyonudur ve iç mekân dış çevreden daha sıcak olduğunda oluşan yukarı doğru hava akışı, sıcak havanın üst açıklıklardan bina dışına aktığı ve serin olduğu "normal" baca etkisi olarak bilinmektedir. İç mekânın dış çevreden daha soğuk olduğu zaman oluşan aşağı doğru hava akışı, sıcak havanın üst açıklıklardan binaya çekildiği ve soğuk havanın alt açıklıklardan binadan dışarı aktığı "ters" baca etkisi olarak bilinmektedir (Şekil 3.12) [103, 104].



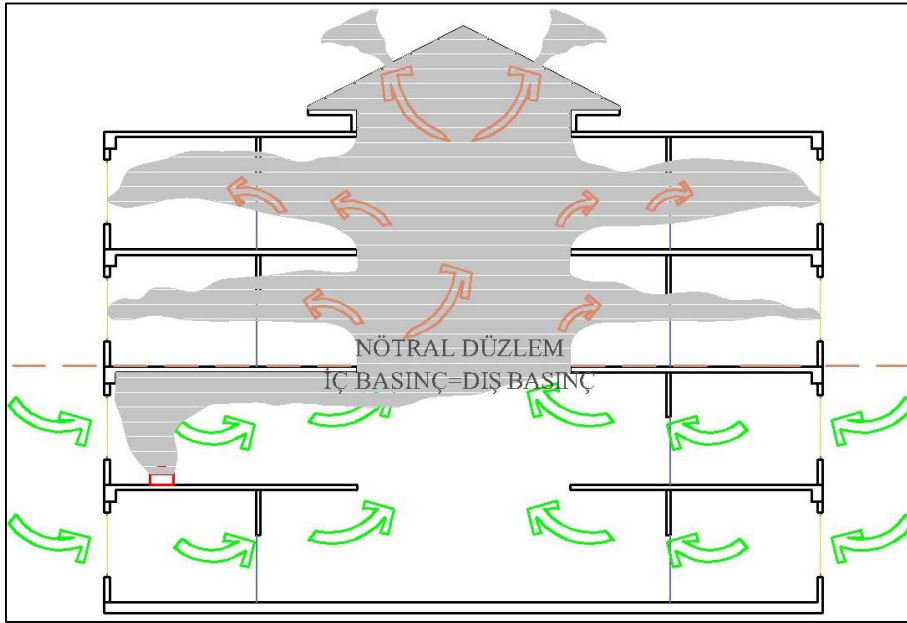
Şekil 3.12. Baca etkisi çalışma prensibi

Temel olarak boşluklarda gerçekleştirilen doğal havalandırma tasarımında, rüzgâr ve basınç farklılıklarından faydalanılır. İç ortamın konforu, ısı ve iç mekândaki havanın kalitesinin sağlanması için dış mekândan alınan hava, baca etkisi yoluyla dışarıya tahliye edilir. Doğru şekilde tasarlanmayan boşluk ve çevreleyen mekânlar sebebiyle, basınç farklılıkları oluşarak iç mekânda düzensiz hava hareketleri oluşur. Basınç farklılıklarının kontrol edilememesi sebebi ile meydana gelen düzensiz hava hareketliği hem iç mekân havalandırmasını hem de yangında duman hareketlerini olumsuz etkilemektedir. Sonuç olarak boşluk tasarımında baca etkisinin kullanımında dışarıdan alınan hava termal konfora zarar vermeden hava boşluğunda yükselerek kat boylarından ya da kabuğun üst noktasındaki açıklıklardan dışarı atılarak doğal havalandırma ve doğal duman tahliyesinin gerçekleştirilmesi stratejileri bir arada gerçekleştirilmelidir [102].

Basınç farklılıkları ile oluşan nötral düzlemin konumu, havalandırma ve duman tasarımı için baca akış hesaplamalarında önemli bir faktördür. Boşluktaki açıklıkların giriş, çıkış alanları, boşluğun boyutu, sıcaklık, rüzgâr, gibi parametrelere bağlı olan nötral düzlem konumu, duman tahliyesini doğrudan etkilemektedir. Boşluk ile çevresi arasındaki nötral düzlemin konumu, sıcaklığın zayıf bir fonksiyonu, boşluk ve boşluğa giriş ve çıkış açıklıklarının boyutu ile güçlü bir fonksiyonu oluşturmaktadır [105]. Diğer bir deyişle, baca etkisine maruz

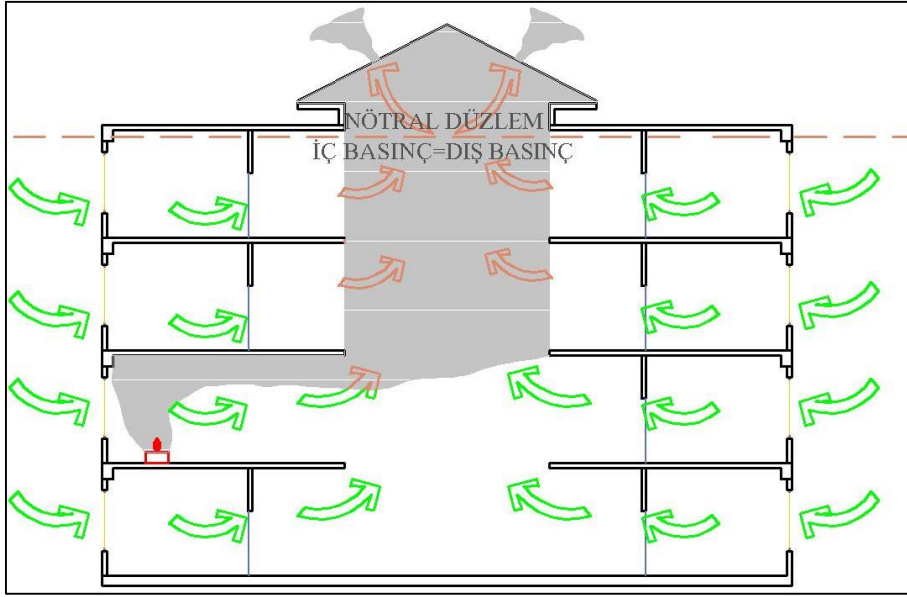
kalan bina içi boşlukta duman akış hızı, boşluk ile yangın zemini arasındaki açıklıkların boyutuna bağlıdır. Dumanın bina dışına tahliyesinde baca etkisinin performansını artırmak için, giriş açıklığı alanı çıkış açıklığı alanı ile boşluk boyutları analiz edilerek optimum tasarım yapılmalıdır [104].

Nötral düzlem, giriş alanı ve çıkış alanı eşit olduğunda duman katmanının orta seviyesinde bulunurken, giriş alanı çıkış alanından daha küçükse nötral düzlem yükselmektedir. Normal baca etkisi için, boşluklarda nötral düzlemin altındaki seviyelerdeki basıncın, birbirine bağlanan alanlardan daha düşük olduğunu ve akışın boşluğa doğru olduğunu göstermektedir. Ancak nötral düzlemin üzerindeki mekânlarda duman hareketi düzensiz gerçekleşmektedir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Nötral düzlem konumu boşluğun orta seviyesindeyken duman akışı

Nötral düzlem seviyesinin en yüksek sızdıran katın üzerinde olduğu ve görünürde giriş havasının olmadığı ortam oluşturulması ile "doğal basınçsızlaştırma" meydana gelerek nötral düzlem altı seviyelerindeki boşluk ile ilişkili mekânlarda duman ve diğer yangın unsurların yayılmasının engellenmesi ve boşluk yolu ile duman tahliyesini gerçekleştirilmesi sağlanacaktır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Nötral düzlem konumu boşluğun üst seviyesindeyken duman akışı

4. YEŞİL BİNALARDAKİ DÜŞEY BOŞLUKLAR YOLUYLA PERFORMANSA DAYALI YANGIN GÜVENLİĞİ TASARIMI

Yeşil binalarda iç hava akımlarının kontrollü bir şekilde iç mekânlara alınarak konfor koşullarını artırmak için tasarlanan düşey iç boşluklar yangın güvenliği bağlamında duman ve alevlerin yangın mahalinden diğer mekânlara yayılımı noktasında risk oluşturmaktadır. Ancak uygun tasarım stratejileri ile tasarlanacak bu düşey boşluklar yangında duman tahliyesi ile alev ve sıcaklık kontrolü için fırsata dönüşebilir. Yangında duman hava akımlarına paralel hareket edeceği için iç mekân hava akımlarının kontrolü duman tahliyesine de yardımcı olabilir.

Düşey boşluklar yoluyla duman tahliyesi yapılabilmesi için belirlenecek stratejilere ait kararların tasarım aşamasında alınması ve uygunluğunun kontrolünün yapılması gerekmektedir. Bunun için tasarım aşamalarının tanımlandığı, kapsam, hedef ve kriterlerin belirlendiği süreçler izlenerek hesaplamalı akışkanlar dinamiği yardımıyla da sayısal model aracılığıyla tasarımın uygunluğu kontrol edileceği performansa dayalı model kullanılabilir. Belirlenecek tasarımlara ait bileşenlerden model üzerindeki etki derecelerinin ve bileşenlerin önceliklerinin belirlenmesi için ise hassasiyet analizi yöntemi uygulanabilir. Bu bölümde performansa dayalı yangın güvenliği aşamaları ile hassasiyet analizi yöntemleri açıklanarak tez çalışmasının yönteminin materyalleri ortaya koyulmaktadır.

4.1. Performansa Dayalı Yangın Güvenliği Tasarımı

Binaların yangın güvenliği tasarımı hükme dayalı ve performansa dayalı olmak üzere iki yöntemle yapılmaktadır. Mevzuatlarda belirlenen kriterler ve sayısal değerler doğrultusunda tasarlanan yangın güvenliği hükme dayalı yangın güvenliği tasarımı olup, teknoloji ve gereksinimlere bağlı olarak mevzuatlar gelişerek hükümler de değişmektedir. Mevzuatlar gelişmesine bağlı olarak yangın güvenliği tasarımı da güncellenmesine rağmen mevzuat hükümleri ile sınırlanan tasarım anlayışı maliyet etkin tasarıma, esnek ve yenilikçi çözümlere imkân vermeyerek sürdürülebilir yaklaşımları zorlaştırmaktadır [106].

Performansa dayalı tasarım yöntemi ile yangın güvenliği teknolojiye uyum sağlayan mühendislik yaklaşımlarına göre her tasarıma özgü amaç hedef, performans kriterlerine uyum sağlanmaktadır. Performansa dayalı yöntem mimari tasarımın ilk aşamalarında

hesaplamalar, simülasyonlar kullanılarak performans analizlerinin yapılarak erken aşamalarda uygun tasarımların seçilmesine imkân vermektedir [107].

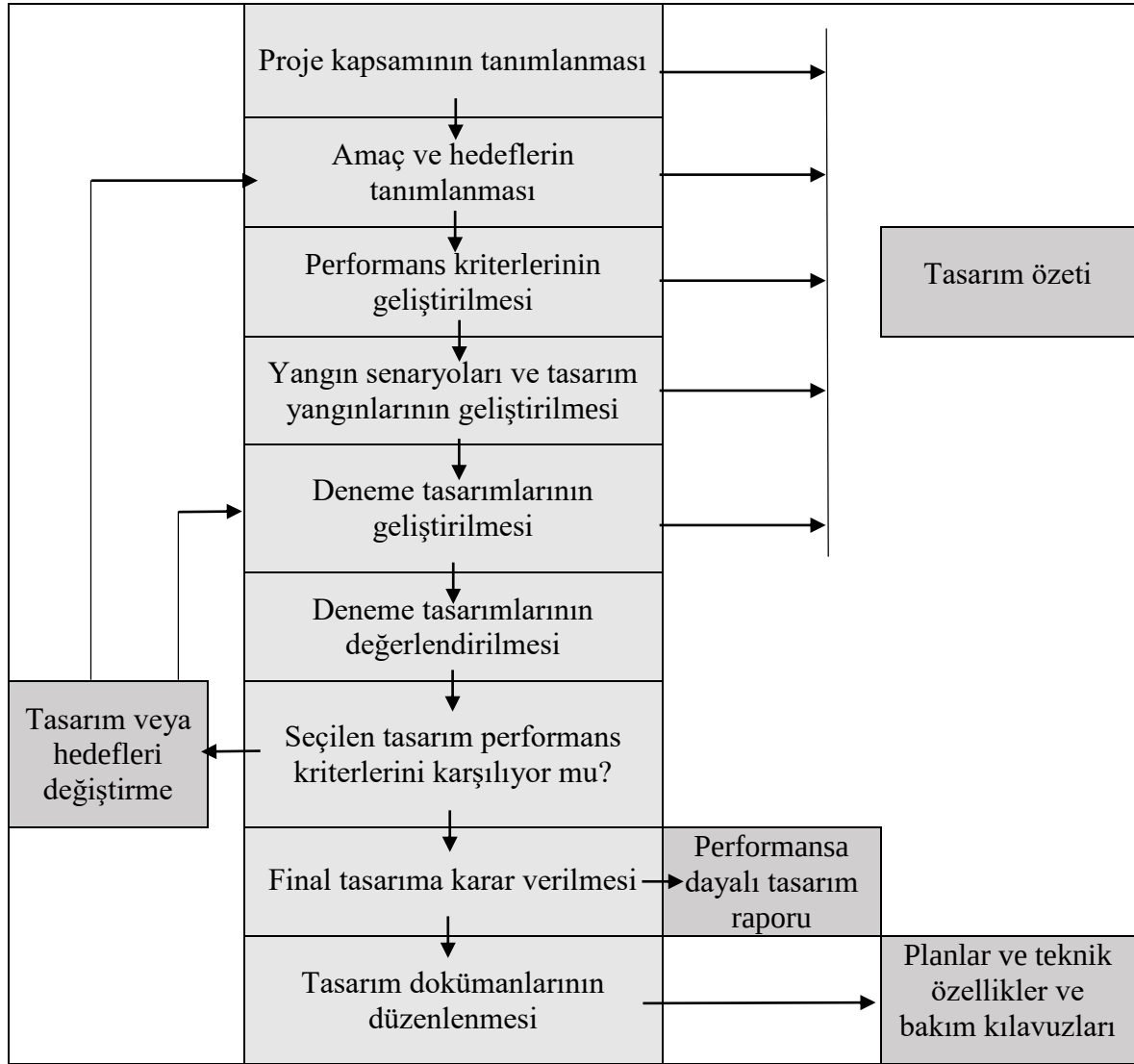
Society of Fire Protection Engineers (SFPE) tarafından yayımlanan performansa dayalı yangın güvenliği tasarımı için mühendislik kılavuzunda performansa dayalı yangından korunma mühendislik yaklaşımlarını:

1. Yangın güvenliği amaç ve hedefleri,
2. Yangın senaryolarının deterministik ve/veya olasılıksal analizi
3. Kabul edilmiş mühendislik araçlarını, metodolojilerini ve performans kriterlerini kullanarak yangın güvenliği amaçlarına ve hedeflerine göre tasarım alternatiflerinin nicel değerlendirmesi olarak aşamalara ayırarak tanımlamaktadır [108].

Performansa dayalı yangından korunma mühendislik yaklaşımlarının ilk özelliği bir binada olası yangın için binadan istenen yangın güvenliği amaç ve hedeflerine ait seviyelerin tanımlanmasıdır. İkinci olarak tasarımın temelini içerir ve binadaki yangın güvenlik sistemlerinin koruma sağlaması amaçlanan yangın türlerinin, bina sakinlerinin ve bina özelliklerinin tanımlanmasıdır. Performansa dayalı tasarım dilinde, bu yangınlara "tasarım yangını senaryoları" denilmektedir. Üçüncü özellik ise tasarım yangın senaryoları durumunda amaçlanan güvenlik seviyelerini test etmek için önerilen tasarım stratejilerinin mühendislik analizlerini kapsamaktadır.

Performansa dayalı yangın güvenliği tasarımı binada farklı yangın tehlike sınıflarına sahip alanlar için farklı önlemler alınmasını sağlama, bir yangın olayında yangın güvenlik önlemlerinin nasıl performans göstereceğini izleme, yangın türlerine göre kabul edilebilir performansları belirleme, tasarımları sınırlandırmayarak esnekliğe izin verme avantajlarına sahiptir [109].

SFPE tarafından yayımlanan performansa dayalı yangın güvenliği tasarımı için mühendislik kılavuzu, performansa dayalı tasarım süreçleri ve çerçevelerini gösteren akış şeması sunmaktadır. Bu akış şeması, bireysel bir tasarımın geliştirilmesi veya değerlendirilmesiyle ilgili özel hesaplamaları gerçekleştirmek için hangi yöntemlerin veya modellerin kullanılması gerektiğini belirtmeden performansa dayalı tasarımda yer alan adımları tanımlamaktadır. Şekil 4.1' de verilen performansa dayalı yangın güvenliği akış şemasına ait aşamalar aşağıda açıklanmaktadır [108].



Şekil 4.1. SFPE tarafından tanımlanan performansa dayalı yangın güvenliği aşamalar

Proje kapsamının tanımlanması

Performansa dayalı yangın güvenliği aşamaları proje için gerekli ve anlaşılabilir bilgi belgelerin toplandığı proje kapsamının tanımlanması ile başlamaktadır. Proje kapsamı ile bina özellikleri, tasarıma dahil edilecek kısımlar, beklenen tasarım kriterleri ve tasarımda gerekli mevzuatlar belirlenmektedir. Ayrıca bu aşamada tasarıma dâhil olacak bina sahipleri ve temsilcileri, sigorta şirketleri, bina sektöründe görevli ve mevzuat düzenleyici kuruluşları, itfaiye ofisi, ilgili mühendislik ekipleri gibi paydaşlar tanımlanmaktadır [109].

Proje kapsamı, bir bina veya tesisin tasarım tarafından dikkate alınacak bölümlerini, tasarımda istenen özellikleri, binanın amaçlanan özelliklerini ve tasarıma uygulanabilir

düzenlemeleri tanımlar. Kapsam aynı zamanda proje paydaşlarının, yani tasarımın başarısında çıkarı olanların belirlenmesini de içerir.

Amaç ve hedeflerin belirlenmesi

Proje amaçlarının belirlenmesi aşaması mühendislik uzmanlığı olmayan kişilerce dahi kolayca anlaşılabilir nitel ifadeleri içeren bir yangın anında binadan beklenen yangın güvenliği sonuçlarını açıklamaktadır. SFPE tarafından yayımlanan Performansa dayalı yangın güvenliği rehberi yangın güvenliği için can güvenliği, mülkün korunması, hizmetlerin devamlılığı ve çevrenin korunması olmak üzere 4 hedef tanımlamaktadır. Bu hedefler yangın güvenliği için genel ifadeler olsa da tasarım aşamasında farklı binalar için amaçların öncelik sırası değişeceği için gereklidir.

National Fire Protection Association (NFPA) 101 Life Safety Code yangın güvenliği amaçlarını aşağıdaki gibi açıklamaktadır [110].

1. Yangın: Yangın mahaline yakın ve yakın olmayan kişilerin güvenliği tanımlanmaktadır. Yangın mahaline yakın olmayan mahallerdeki kişilerin korunması ve yangın mahaline yakın kişilerin ise hayatta kalmasının sağlanması için güvenli ortamlar oluşturulmalıdır.
2. Karşılaştırılabilir acil durumlar: Yangın güvenliğine ek bir amaç olarak acil durumlarda öncelik sıralamalarının yapılarak önem sırasına göre önlemler almaktır.
3. Kalabalık hareketi: Güvenli acil durum kalabalık hareketini yönetmektir.

Paydaş ve tasarım hedefleri olmak üzere iki tip performansa dayalı yangın güvenliği hedefi bulunmaktadır. Paydaş hedefleri kabul edilebilir yaralanma seviyeleri, bina ve bina ekipman hasar düzeyleri, hizmet kaybı düzeyleri olarak ifade edilir. Tasarım hedefleri, yangından korunması amaçlanan öğelere odaklanır ve paydaş hedeflerine ulaşmak için gereken maksimum veya minimum kabul edilebilir yangın koşullarını tanımlamaktadır [109].

NFPA 101 yangın güvenliği hedeflerini aşağıdaki gibi açıklamaktadır [110]:

1. Kullanıcı korunması: Bina tahliye, yangın söndürme işlemleri için gereken süre boyunca yangın gelişimine yakın olmayan kullanıcıları korumak için uygun tasarım, yapım ve işletmeye sahip olmalıdır.

2. Strüktürel bütünlük: Bina strüktürü tahliye, yangın söndürme işlemleri için gereken süre boyunca yangın gelişimine yakın olmayan kullanıcıları korumak için gerekli dayanıma sahip olmalıdır.
3. Sistem Etkinliği: Yangın güvenliği amaçları için kullanılacak sistemler riskleri azaltmalı ve tasarlandıkları seviyede çalışır durumda korunmalıdır.

Performans kriterlerinin geliştirilmesi

Performans kriterleri, aşıldığı takdirde kabul edilemez bir hasarın meydana geldiğini gösteren eşik nitel ve nicel değerleri ifade etmektedir. performans kriterleri malzeme sıcaklıklarını, gaz sıcaklıklarını, duman konsantrasyonunu, karbon monoksit ile temas ettiğinde kırmızı kan hücrelerinde oluşan kararlı bir hemoglobin kompleksi olan karboksihemoglobin düzeylerini veya radyan ısı akış düzeylerini içerebilir.

Performans kriterleri can güvenliği ile ilgili ve can güvenliği ile ilgili olmayan olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Yangına maruz kalan insanların hayatta kalmalarını dikkate alan can güvenliği ile ilgili kriterler; yangının insanlar üzerindeki termal etkileri (örneğin, yüksek gaz sıcaklıklarına veya termal radyasyona maruz kalma), yangın ürünlerinin toksisitesi veya duman yoluyla görünürlük alanlarında performans kriterlerinin geliştirilmesini kapsamaktadır. Mülkiyet koruması, görev sürekliliği veya çevre korumasını dikkate alan can güvenliği ile ilgili olmayan kriterler; yangın yayılması, duman hasarı, yangın sınırı hasarı, yapısal bütünlük, açıkta kalan öğelere hasar veya çevreye verilen hasarları kapsamaktadır [108].

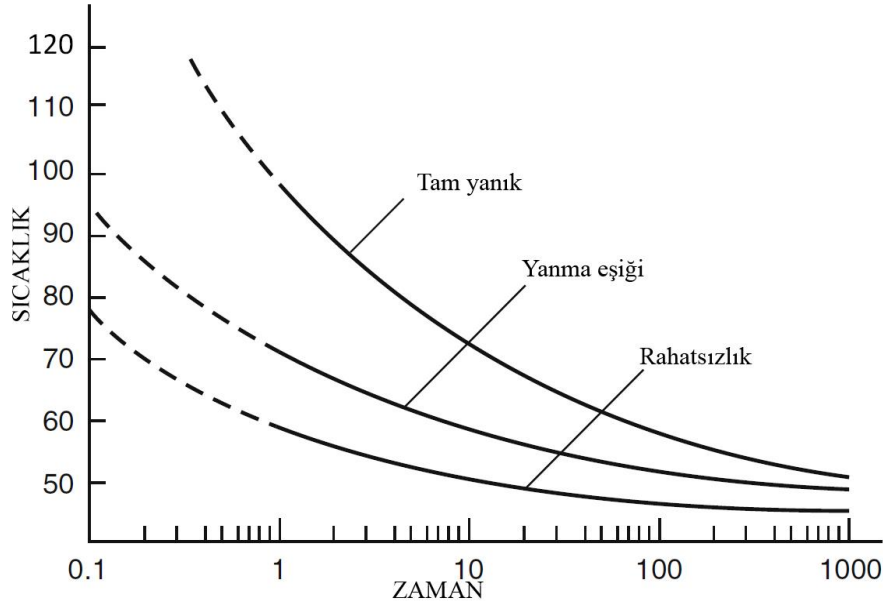
Performans kriterleri bina ve tasarım özelliklerine bağlı olarak değişkenlik göstermekle birlikte SFPE tarafından yayımlanan Performansa dayalı yangın güvenliği rehberinden yararlanarak hazırlanan örnek amaç, hedef ve performans kriterleri örnekleri Çizelge 4.1' de verilmektedir.

Çizelge 4.1. Yangından korunma amaç, paydaş ve tasarım hedefleri ile performans kriterlerine ait örnekler [113]

Yangın amaçları	güvenlik	Paydaş hedefleri	Tasarım hedefleri	Performans kriterleri
Yaralanmaları en aza indirme ve can kaybını önleme		Yangın mahali dışında can kaybı olmaması	Yangının çıktığı odada flashover önlenmesi	Üst katman sıcaklığı 200 °C'den büyük olmamalı
Bina ve ekipmanların en az seviyede etkilenmesi		Yangın mahali dışında önemli termal hasar olmaması	Yangının çıktığı odadan yangının yayılmasının önlenmesi	Üst katman sıcaklığı 200 °C'den büyük olmamalı
İş ve hizmetlerin kaybının en aza indirilmesi		8 saati aşan kesintinin olmaması	Mahallerin dumana maruz kalmasının sınırlandırılması	HCl 5 ppm'den büyük olmamalı Partikül 0,5 g/m ³ 'ten büyük olmamalı
Yangın ve yangından korunmanın çevresel etkilerinin sınırlandırılması		Yangın söndürmede kullanılan suyun çevre ve su kirliliğine neden olmaması	Yangın söndürmede kullanılan suyun akışının kontrol edilmesi	Tasarımdaki tahliye hesabının en az 1,20 katı havuz kapasitesi

Yangında sıcaklık artışı ile birlikte insan derisinin maruz kaldığı ısıya bağlı olarak acı duygusu başlaması daha sonra yanma eşiğine ulaşması ve son olarak tam yanma gerçekleşmesi neticesinde ağır yaralanma ve ölüm ile sonuçlanan durumlar oluşmaktadır. Cildin ısınmasının etkileri, ısının sıcak bir cisimden iletim yoluyla, hava temasından konveksiyonla veya doğrudan radyasyonla sağlanıp sağlanmadığı temelde aynı etkiye sahiptir. 0,1 mm derinlikte oluşan cilt sıcaklığı 43-44,8 °C' ye ulaşması ile acı duygusu başlayarak rahatsız edici durum oluşmaktadır [111].

İletim yoluyla 43 °C 'lik bir cilt sıcaklığı ağrıya ve bir miktar hücrel hasara neden olurken, 60 °C 'lik sıcaklığa ulaşıldığından dokuda pıhtılaşma meydana gelmektedir. Cilt 60 °C' ye 10 saniye boyunca maruz kalınca cilt yanığı, 100 saniye sonra ise tam kalınlıkta bir yanık oluşmaktadır. Konveksiyon yoluyla ısı yayılımında insan vücudu 120 °C altındaki sıcaklıklarda yanıklara karşı daha dayanıklı olmaktadır. Bir yangından kaçmaya çalışan bir insan için, ısıya maruz kalmanın en önemli kaynakları, sıcak alanlardan gelen radyasyon ve sıcak gazlardan kaynaklanan konveksiyondur. Ağrı ve cilt yanıkları olasılığı, yaklaşık 120 °C' nin üzerindeki hava sıcaklıklarında ortaya çıkar. Sıcaklığın insan üzerindeki maruz kalma süresine göre etkisini gösteren sıcaklık zaman grafiği Şekil 4.2' de verilmektedir [112].



Şekil 4.2. Sıcaklığın insan üzerindeki maruz kalma süresine göre etkisini gösteren sıcaklık zaman grafiği [112].

Yanma sonucu ortaya çıkan zehirli gazlar insan vücudunda oksijenin azalması, akciğer zedelenmesine neden olarak boğucu etki yapmaktadır. Boğucu etki yapan Hidrojen siyanür (HCN), Karbon monoksit (CO), Karbondioksit (CO₂) gazlarının yanan ürünün özelliğine göre çıkardığı zehirli gaz miktarları değişmektedir [118]. Gözler ve üst solunum yollarında duyusal tahrişe neden olan Hidroklorik asitte (HCl), maruz kalma süresi uzadıkça üst solunum yolları ile birlikte akciğer zedelenmesi meydana gelerek yangından birkaç saat sonra ortaya çıkan yaralanma ve ölümler meydana gelmektedir. Farklı yanan ürünlerin özelliklerine göre zehirli gazlardaki yaralanma ve ölümle sonuçlanan dayanabilirlik sınırları Çizelge 4.2' de verilmektedir [112].

Çizelge 4.2. Zehirli gazlardaki yaralanma ve ölümle sonuçlanan ortalama dayanabilirlik sınırları [112]

Zehirli gaz	5 dakika boyunca maruz kalma		30 dakika boyunca maruz kalma	
	Yaralanma	Ölüm	Yaralanma	Ölüm
HCl (ppm)	75-300	12,000–16,000	300-1100	2000-4000
CO (ppm)	6000-8000	12,000–16,000	1400-1700	2500-4000
HCN (ppm)	150–200	250–400	90–120	170–230
CO ₂ (%)	7–8 %	>10 %	6–7 %	>9 %
Düşük O ₂ (%)	10–13 %	<5 %	<12 %	6–7 %

Sıcaklığın birincil problem olmadığı yangınlarda bir kapalı alanı veya kaçış yolunu dolduran alçalan duman üst katmanı için SFPE Mühendislik Kılavuzu zeminden minimum 2,5 m yükseklikte, NFPA, 101 ise zeminden minimum 2.20 m yükseklikte olması gerektiğini mühendislik hesaplamaları ile açıklamaktadır. Binada oturanların böyle bir tabakanın altında temiz havada kaçmaya istekli ve muktedir olduğu kabul edilmektedir [108, 110].

Yangında dumandan kaynaklı görüş mesafesi 3 m'den azsa (optik yoğunluk OD/m= 0.33) bina sakinlerinin bir kaçış yolunu kullanamayacağı kabul edilir. Ancak, bu optik yoğunlukla kirlenmiş bir kaçış yoluna girerler ve dumana maruz kalırlarsa, ilerleyebilmeleri hem optik yoğunluğa hem de dumanın tahriş ediciliğine bağlıdır. Tahriş edici dumanda insanların 5 m görüş mesafesinde karanlıktaymış gibi hareket ettikleri ve çoğu yangından çıkan dumanın çeşitli tahriş edici kimyasal türler içerdiği bulgusuna dayanarak, bu seviyeleri aşan durumlarda meydana gelecek zararlar göz önüne alınarak dayanıklılık limitleri Çizelge 4.3' de verilmektedir [111].

Çizelge 4.3. Duman katmanı seviyesi ve dumandan kaynaklı görüş mesafesi için ortalama sınır değerler

Küçük mekânlar ve kaçış yolları	Büyük mekânlar ve kaçış yolları	Duman katmanı seviyesi
5 m OD/m= 0.2	10 m OD/m= 0.2	2200-2500 mm

Yangın senaryoları ve tasarım yangınlarının geliştirilmesi

Bir deneme tasarımının kabul edilebilir olup olmadığını değerlendirmek için gerekli olan tasarım yangın senaryoları, bir tasarımın koruma sağlamayı amaçladığı yangın türleri, bina ve kullanıcı koşulları gibi özellikleri açıklamaktadır. Tasarım yangın senaryoları, binada meydana gelebilecek olası tüm yangın senaryolarının ele alınması ve olası yangın senaryolarından yönetilebilir tasarım yangın senaryolarına indirgenmesi olmak üzere iki aşamada değerlendirilmektedir [109].

Belirli bir performansa dayalı tasarım projesi için çok sayıda olası yangın senaryosu göz önüne alındığında, genellikle deneme tasarımlarını değerlendirmek için olası yangın senaryolarını yönetilebilir sayıda tasarım yangını senaryosuna indirmek gerekir. Tasarım deterministik bir temelde yapılıyorsa indirgeme, meydana gelme olasılığı çok düşük olan

veya tahmin edilebilir bir sonuca ulaşacak senaryoları hariç tutarak gerçekleştirilebilir. Bununla birlikte, bir yangın senaryosunun çok olası görülmediği için analizden çıkarılması için tüm paydaşlar tarafından, senaryo gerçekleşirse kabul edilebilir bir sonuca yol açabileceği öngörülmalıdır. Riske dayalı analizler için ise senaryolar ortak tanımlayıcı özelliklere göre (örneğin, aynı odada başlayan tüm yangın senaryoları) benzer senaryo kümeleri halinde gruplandırma yapıldıktan sonra indirgeme yapılabilir [114].

NFPA 101 ve NFPA5000 Building Construction and Safety Code, performansa dayalı tasarımlarda bina özellikleri, kullanıcı özellikleri ve yangın özellikleri için ele alınması gereken yangın senaryolarını belirtmektedir. Bina özellikleri, bina fiziksel özellikleri, ekipmanları ve bina çevresini tanımlar. Bina sakinlerinin tahliyesini, yangının büyümesini ve yayılmasını ve yanma ürünlerinin hareketi yangın senaryolarını etkileyebilir. Kullanıcı özellikleri için yangın senaryolarının seçimini, bina sakinlerinin bir yangın durumu sırasında müdahale etme ve tahliye etme kabiliyetini, bir yangının bina sakinleri üzerinde yaratacağı potansiyeller etkileri belirlemektedir. Yangın özellikleri, ilk tutuşan öge, yangının büyümesi, parlama, tam gelişme ve sönme dahil olmak üzere bir yangın senaryosunun geçmişini tanımlamaktadır [110, 115].

Deneme tasarımlarının geliştirilmesi

Deneme tasarımları aşamasında yangın güvenliği amaç ve hedeflerine yönelik stratejiler geliştirilmektedir. SFPE tarafından yayımlanan Performansa dayalı yangın güvenliği rehberi deneme tasarımlarını altı alt sisteme bölmektedir [108].

1. Yangın başlangıcı ve gelişimi: Tutuşma olasılığını azaltma veya yangın başlangıcında gelişme oranını düşürmek için yöntemler kullanılır.
2. Duman kontrolü ve yönetimi: Duman üretimini azaltma veya üretildikten sonra duman hareketini yönetmek için yöntemler kullanılır.
3. Yangın algılama ve bildirim: Bir yangında bina sakinlerini ve ilk müdahale ekiplerini bilgilendirme ile bir yangın söndürme sistemini etkinleştirme amacıyla yöntemler kullanılır.
4. Yangın söndürme: otomatik sistemler ve insan aracılığıyla yangın söndürme yöntemleri için kullanılır.

5. Kullanıcı davranışı ve tahliye: Yangında riskli seviyeler başlamadan önce bina sakinlerinin güvenli alanlara tahliyesi için kullanıcının risk anındaki hareketlerinden yola çıkarak tahliye için yöntemler kullanılır.
6. Pasif yangın koruma: Yangının bina boyunca yayılımının önüne geçilmesi ve bina strüktürünün dayanımının sağlanması için yöntemler kullanılır.

Deneme tasarımları geliştirilirken tasarımcılar analizin amaçlarını kontrol ederek amaca ve hedefe uygun stratejiler geliştirilmelidir. NFPA 550, Guide to the Fire Safety Concepts Tree, yangın güvenliği deneme tasarımı stratejilerinin potansiyel etkisini analiz etmektedir. Ağacın üst dalları, tasarımın hedefleriyle yakından uyumlu olarak, tasarım hedefleriyle örtüşen yağın başlangıcı, yayılımı, duman kontrolü, tahliye, yangın söndürme, pasif yangın tasarımı stratejilerindeki koruma yöntemleri, deneme tasarımları olarak kullanılmaktadır [116].

Deneme tasarımlarının değerlendirilmesi

Değerlendirme, deneme tasarımının, tasarım yangın senaryolarının her birinde tüm performans kriterlerini karşılayıp karşılamadığını belirleme sürecidir.

Bir tasarım değerlendirme seviyesini veya detayını, geometrinin karmaşıklığı, deneme tasarımı geliştirme yöntemlerindeki alt sistemlerin etkileşiminin seviyesi ve değerlendirme çıktısı ile performans kriterleri arasındaki kabul edilebilir tolerans gibi faktörler etkilemektedir. SFPE, değerlendirme seviyesini, alt sistem, sistem ve tüm bina olarak ayırmaktadır [108].

1. Alt sistem: Performans değerlendirmesi deneme tasarımının bir bileşen veya alt sistemlerinin (tahliye, yangın algılama ve bildirim, yangın söndürme vb.) bireysel analizinden oluşmaktadır. Bu analiz neticesinde deneme tasarımının kabul edilebilir olması için mevzuatlar ve kodlar çerçevesinde belirlenen kodun veya standardın gerektirdiği performansa eşit veya daha yüksek performans sağlaması gerekir.
2. Sistem: Sistem performansı değerlendirmesi mevzuat ve kodlardaki gereksinimlerin karşılaştırılması veya belirli bir performans gereksinimlerine dayalı analizleri içermektedir. Birden fazla yangından korunma alt sistemi söz konusu olduğunda sistem performans değerlendirmesi kullanılır. Alt sistemler arasındaki etkileşim de hesaba katıldığı için alt sistem değerlendirmesinden daha karmaşıktır.

3. Tüm bina: Tüm binanın performansa dayalı yangın güvenliği tüm binanın yangın güvenlik hedeflerine czmler sunduğu için alt sistem ve sistem değerlendirmesinden daha kapsamlıdır. Tipik olarak, deneme tasarımlarını değerlendirmek için mühendislik araçları kullanılmaktadır. Seçilen araçlar, performans kriterlerine ulaşılp ulaşılmadığını belirlemek için kullanılabilecek bilgileri sağlamalıdır.

Final tasarım ve tasarım dokümanlarının düzenlenmesi

Nihai tasarımın değerlendirilmesi ve seçiminin tamamlanmasının ardından, tasarım sürecinin ayrıntılı dokümantasyonu hazırlanmalıdır. Tasarım dokümanları yangından korunma mühendisliği tasarım zeti performansa dayalı tasarım raporu, teknik özellikler, çizimler, uygulama ve bakım kılavuzlarıyla ilişkili belgeleri içermektedir. Bu dokümantasyon üç ana amaca hizmet eder:

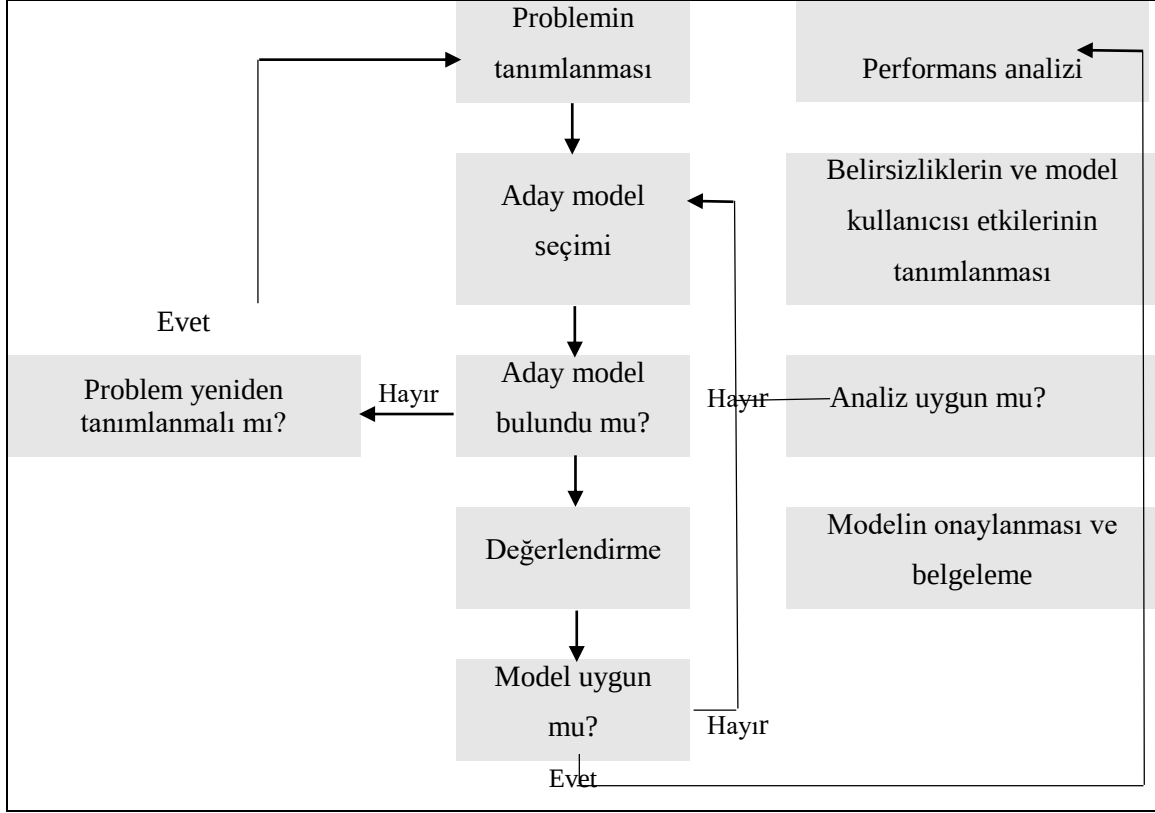
1. Performansa dayalı tasarımı ve temel analizi düzenleyici yetkililer gibi proje paydaşları tarafından incelenebilecek ve anlaşılabilecek şekilde sunma,
2. Performansa dayalı tasarımı uygulayıcıya iletme,
3. Gelecekteki değişiklikler veya bir yangının ardından adli tıp incelemesi için kayıt tutulmasıdır [109].

4.2. Performansa Dayalı Tasarımda Yangın Modelleri

Yangın dinamiklerinin sayısal olarak incelenebileceği fikri, bilgisayar çağının başlangıcına kadar uzanmaktadır. Akışkan dinamiği, ısı transferi ve yanmayı yöneten temel korunum denklemleri ile ilgili çalışmaların başlangıcı yüzyılı aşkın olmasına rağmen matematiksel yangın modelleri, karmaşıklık yapısı nedeniyle gelişmeye devam etmektedir. Nitekim Hoyt Hottel, "Yangın araştırmaları yaşam süreçlerinden sonra anlaşılmaması en karmaşık fenomen olduğu iddia edilebilir" demiştir [117].

SFPE tarafından yayımlanan belirli bir uygulama için yangın modelini doğrulama kılavuzu, bir yangın modelinin uygunluğunu belirlemek için beş adımlı bir süreç tanımlamaktadır. Problemin tanımlanması, aday modelin seçilmesi, modelin doğrulanması ve onaylanması, belirsizliklerin ve kullanıcı etkilerinin model sonuçları üzerindeki etkisinin belirlenmesi ve

son olarak model değerlendirmesinin belgelenmesi içeren aşamalar. Şekil 4.3' te verilmektedir [118].



Şekil 4.3. Uygun yangın modelinin belirlenmesi aşamaları

4.2.1. Problemin tanımlanması

Yangın modeli belirlenme sürecinin ilk adım olan problem tanımı, ilgili fenomeni ve temel fiziği tanımlama, mevcut bilgileri toplama ve analiz hedeflerini belirlemeyi kapsamaktadır. Yangın modellemesinde yaygın olarak karşılaşılan temel fizik, termodinamik, akışkanlar dinamiği, ısı transferi, yanma veya malzeme tepkisi ile ilgilidir. İlgili fenomenlerin ve temel fiziğin tanımlanması, ilgilenilen problemin ayrıntılarının yanı sıra ilgili kimyasal ve fiziksel süreçlere ait bilgileri de içermektedir [118].

Yangın modeline ait mekânsal alan ve bu alan içindeki nesneler tanımlanarak geometri belirlenmektedir. Genel binalar için mekânlara ait duvar, tavan, döşeme, boşluklar gibi fiziksel sınırlar geometriyi tanımlamaktadır. Özellikle boşluklardan kaynaklı yangın etki alanının geniş olacağı düşünülerek geometrinin sınırları belirlenmelidir. Yangına yakıt

katkısı sorunları için yanıcı maddeler, cihazlar, yapı elemanları yangın modeli tasarımına özel olarak tanımlanmalıdır [109].

Temel fiziğin tanımlanması ve geometrinin belirlenmesinden sonra SFPE kılavuzu zaman çizelgesi oluşturulmasını önermektedir. Bu çizelge bilgi toplama sürecinden elde edilecek veriler ile yangının süresini ve olayların sırasını göstermektedir. Çizelgede örneğin kapı ve pencerelerin tutuşması veya açılması, mobilyaların yanması, sprinkler ve mekanik egzoz sistemlerinin çalışmasını göstermektedir [109].

Genellikle yangın sorunu için en önemli özellikler malzemenin yanıcı olup olmadığı ile ilgili olması sebebiyle ilgili malzemelerin bir listesi oluşturulmalı ve her malzeme ait viskozite, özgül ısı, yanma ısısı, termal iletkenlik ve buharlaşma ısısı özellikleri atanmalıdır. Spesifik malzeme özelliklerinin dâhil edilmesi, analizde kullanılan model tipine bağlı olabilir [119].

İlgili sorunu tam olarak tanımlamanın son parçası, yangın modeli analizinin amaçlarını ve ölçülebilir çıktısını açıkça tanımlayarak analizin amacı, modellenen alan boyunca duman tabakasını ve/veya dayanıklılık koşullarını değerlendirmektir. Burada performans kriterleri ile karşılaştırma yapılarak dayanıklılık limitleriyle belirlenir. Dayanıklılık koşullarının, modellenen alan boyunca ve model analiz zaman çizelgesi boyunca çeşitli konumlarda değerlendirilmesi gerekmektedir [119].

4.2.2 Aday model seçimi

SFPE kılavuzu aday model seçmek için mevcut model girdilerinin belirlenmesi, istenen model çıktılarının belirlenmesi ve model tipinin belirlenmesi olmak üzere 3 unsur kullanılır. Potansiyel aday yangın modelleri ve istenen çıktı değerleri hem mevcut girdi değişkenlerine hem de seçilen model tipine bağlıdır.

Literatür, mevzuat ve mühendislik hesaplamalarından yararlanılarak girdilere ait değişkenlerin değer aralıkları belirlenir. Girdi değişkenlerine bağlı olarak çıktılar ise sıcaklık, duman katmanı, ısı yayma oranı gibi yangın modelinin çıktıları oluşturulmaktadır. Yangın olaylarının tahmini için çeşitli yangın modeli biçimleri bulunmaktadır. Mekân ve/veya zamanın bir fonksiyonu olarak bir veya daha fazla değişkenin değerini tahmin etmek için kullanılan matematiksel denklemler olan cebirsel modeller en basit modeldir. Daha

karmaşık olan, belirli bir hacmin veya bölgenin homojen, tekdüze veya iyi karışmış olduğu yaklaşımından yola çıkarak bir sistemin davranışını basitleştiren bölge (zone) modelleridir. En karmaşık olanı, alan (field) modelleri olarak da bilinen hesaplamalı akışkanlar dinamiği modelleridir [109].

Cebirsel modeller

Cebirsel modeller, yangın testi verilerinden elde edilen gözlemler kullanılarak ampirik olarak veya fiziksel özellikler ve davranışların doğrudan hesaplanması yoluyla matematiksel olarak geliştirilen denklemleri kullanır. Bu denklemler çoğu zaman sabit durum sonuçları vererek basit yangın dinamiği sorunlarına ve temel yangın olaylarına yanıt verebilmektedir.

Bölge (zone) modelleri

Bir cebirsel denklem, yangın fenomenini belirlemek için yeterli ayrıntı veya doğruluk sağlamadığında, bir sonraki adım genellikle bölge modeli kullanmaktır. Bölge modelleri belirli bir alanın akış özelliklerini belirlemek için alanın hacimlere ve bölgelere bölünerek bir dizi cebirsel denklemin çözülmesine dayanmaktadır. Bilgisayar modellemesi aracılığıyla, bu modeller genellikle alt katman, üst katman ve yangının olduğu bölmedeki dumanı veya tavan jetini temsil etmek için kullanılan yangın başlangıç bölgesi olmak üzere üç bölgeye ayrılır. Sıcaklıklar, hızlar ve diğer özellikler bu bölgeler için tekdüze olduğu varsayılır; kütle, enerji, momentum transferi ise uyarlanmış denklemler aracılığıyla izlenir [120].

Alan (field) modelleri

Alan modelleri olarak bilinen CFD modelleri, toplam kütlenin, kimyasal türlerin, momentumun ve enerjinin korunumu için geçerli denklemlerin sayısal çözümlerini kullanarak bir hacim boyunca sıvı akışını hesaplamak için bir yöntem sunmaktadır. Bölge modelinde olduğu gibi iki veya üç kontrol bölgesi kullanmak yerine, CFD modeli tipik olarak yüzbinlerce kontrol hacminden oluşarak daha iyi çözünürlük düzeyine ulaşmaktadır. Ancak daha fazla hesaplama kaynağı ve günler, haftalar süren simülasyon süreleri gerektirmektedir. CFD modelleri akışkanlar dinamiğinin temellerini kullanarak, çok çeşitli ve esnek sınır koşulların simülasyonu ile ayrıntılı geometri modeline izin vermektedir [120].

Temel olarak, bir CFD modelinde, termodinamik ve aerodinamik değişkenlerin kısmi diferansiyel denklemleri (Navier-Stokes denklemleri) bölmelerdeki çok sayıda noktada çözülür [121]. Kapalı alan yangınları için CFD modeli, yangınlardan duman ve ısı aktarımına vurgu yapan düşük hızlı, termal olarak yönlendirilen akışa uygun olması sebebiyle tez kapsamında performansa dayalı yangın modeli için kullanılmaktadır

4.2.3. Modelin doğrulanması ve onaylanması

Kullanıcı tarafından seçilen aday model ne olursa olsun SFPE Kılavuzu, modelin kullanım amacına uygun olduğundan emin olmak için kullanıcı tarafından aday modelin doğrulanması ve onaylanmasının önemini vurgulamaktadır [118]. Doğrulama süreci, modelin matematiğinin doğru olmasını ve fiziğin uygun denklemlerle doğru bir şekilde tanımlanacağını garanti etmeye yöneliktir. Onaylama sürecinin amacı ise, kullanıcının ilgilenilen yangın fenomenin fiziksel özelliklerini doğru bir şekilde tanımlamak için modelin tahmin yeteneğinin onaylanmasıdır [109].

Kısacası doğrulama, kaynak kodun hata içermediğinin ve kod belgelerinde açıklananlara tam olarak karşılık geldiğinin kontrol edilmesi anlamına gelir. Doğrulama, altta yatan fiziksel problemlerin matematiksel ve sayısal çözümü ile ilgilenir. Uygulamada kaynak kodun hata içermediğinin ve kod belgelerinde açıklananlara tam olarak karşılık gelip gelmediğinin kontrol edilmesi anlamına gelir [119]. "Doğrulama paketi", tipik olarak modelin belirli bazı özelliklerini test eden basit hesaplamalardan oluşan bir koleksiyondur. Geliştiricileri tarafından tanımlanan denklemlerden oluşan aday modellerde doğrulama, açık kaynaklı simülasyon programlarının kalite ve güvence sürecinin birincil bileşenleri hem kabul edilebilir kullanımlarını hem de sınırlamalarını belirlemek için standart ve kılavuzlara (NFPA, ASTM vb.) uyumluluklarını beyan etmektedir.

Onaylama, amaçlanan kullanımda kodun doğruluğunun değerlendirilmesidir. Onaylama paketi, dünya genelindeki bazı yangın laboratuvarlarında gerçekleştirilmiş yüzlerce simüle edilmiş yangın deneyinden oluşur. Testlerin tamamının belgelendiği ve deneysel verilerin sağlandığı gerçeği göz önüne alındığında, onaylama paketi deneyler ile simülasyonların karşılaştırılması şeklinde olmaktadır. Açık kaynaklı simülasyon programları geliştiricileri ile yangın modelleri üzerine çalışan kuruluş ve akademisyenler tarafından gerçekleştirilen tam ölçekli deneyler ile aday modeller aracılığıyla yapılan hesaplamaların karşılaştırılması

yapılarak onaylama tamamlanmaktadır. Tam ölçekli deneyler maliyetli çalışmalar olup, onaylama için mevcut çalışmalardaki analizler ve değerlendirmeler kullanılabilir [122].

4.2.4. Belirsizliklerin ve model kullanıcısı etkilerinin tanımlanması

Doğrulama ve onaylama yapıldıktan sonra, belirli bir uygulama için yangın modelini doğrulama kılavuzu tahmine dayalı bir modelin kullanılması nedeniyle ortaya çıkan belirsizliğe odaklanmaktadır. Muhtemel belirsizlik kaynakları, model sınırının veya hesaplama alanının tanımı ve girdi parametrelerinin seçimini içermektedir. Kullanıcı etkileri hesaplamaların tahmin yeteneği dışında ek hatalara neden olması sebebiyle kullanıcı girdi parametrelerinin hassasiyetini ve bunların model çıktısı üzerindeki etkisi doğru anlaşılmalıdır. Yangın modelinde belirsizlik temel kaynakları aşağıda özetlenmektedir:

Uzamsal alan: Hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonunu gerçekleştirmek için geometrik alanı tanımlanarak hücre yapısı oluşturulmaktadır. Hesaplamalı alanın her bir hücresinde, hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı Navier-Stokes denklemlerini sayısal olarak çözmektedir. Uygun hücre ağ yapısı ve boyutlarının seçimi modelin çözünürlüğü ve çıktı değerlerinin yüzdesel doğruluğu için kritik öneme sahiptir [119].

Isı yayma oranı: Tasarımın ilk aşamalarında alan içindeki potansiyel yanıcı malzeme ve mobilyalar hakkında sınırlı bilgi olduğundan, yangın modeli geliştirme sürecinde model kullanıcısı için belirsizlik oluşturmaktadır. Isı yayma oranı alandaki tutuşabilir malzemelerin çıkaracağı ısı hakkında bilgi vermektedir. Isı yayma oranı tahmin edildiğinde, ısı akışı, duman sıcaklığı ve duman tabakası kalınlığı, duman akış hızı ve yapı malzemelerinin üzerindeki etkileri bilinmektedir. Isı yayma oranı yangının enerjiyi serbest bırakma oranıdır ve güç olarak da bilinir. Isı yayma oranı saniyede bir Joule eşit Uluslararası Sistem birimi olan Watt (W) birimi cinsinden ölçülmektedir [106].

Yangın yeri: Modellenen alandaki yangının başlangıç noktası ısı yayma oranı ile bağlantılı olarak duman üretim miktarını doğrudan etkilemektedir. Ayrıca yangın başlangıç noktası model çıktılarında istenilen veriler tasarım hipotezini karşılayıp karşılamadığını göstermesi bağlamında etkilidir. Modellenen alandaki kritik mekânlarda yangın etkisi için yangın başlangıç noktasının seçimi önemlidir.

Söndürme sistemleri: Yangının söndürülmesi için kullanılan yağmurlama sistemleri ve mekanik egzoz sistemlerinin özellikleri, sayısı ve konumunun tanımlanmasını ifade etmektedir.

Ölçümlerin yeri ve türü: Sıcaklık, duman, hız vb. yangın unsurlarının yangın senaryolarında değişimlerini incelemek için simülasyonlarda yerleştirilen ölçüm cihazları ve düzlemleri tanımlamaktadır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyon programlarında her bir yangın unsuru için ölçüm cihazları ve düzlemleri yer almakta olup, ölçüm ihtiyacının olduğu noktalara tasarımcılar tarafından yerleşim yapılmaktadır.

Genel olarak, yukarıda tartışılan belirsiz girdi parametreleri, modelleme sonuçlarının dolaylı olarak daha doğru ölçülen değerler vermesini ve ihtiyatlı bir analizle sonuçlanmasını sağlamak için gereklidir. Parametrelerin birçoğunun hassasiyeti -nicel olarak belirlenmemiş olsa da, mevzuatlardaki hükümler, literatürdeki fiziksel model çalışmalarında kullanılan ve uygunluğu test edilmiş değerler kullanılabilir.

4.2.5. Belgeleme

Son olarak değerlendirme sonuçları modelin kullanım amacına uygun olduğunun nasıl belirlendiğini anlamak isteyen kişiler tarafından anlaşılabilmesi için belgelendirilmelidir. Bu tür dokümantasyon, bir modeli istenen uygulamalar için uygun olarak nitelendirerek kapsamlı bir gerekçe olarak kullanılabilir bir şablon sağlamaktadır [109]. Performansa dayalı yangın güvenliği ve performansa dayalı yangın modelinin aşamalarının uygulanması neticesinde oluşturulan yangın tasarımı sonuçlarından yola çıkarak bir sonraki bölümde SFPE belirli bir uygulama için yangın modelini doğrulama kılavuzu tarafından tanımlanan tamamlanan modeldeki girdiler ve çıktı sonuçları arasındaki belirsizliklerin analizi için yöntemler açıklanmaktadır.

4.3. Performansa Dayalı Yangın Modelinin Çıkarımları – Belirsizliklerin Giderilmesi

Performansa dayalı yangın güvenliği ve yangın modelinin oluşturulması aşamalarının uygulanması neticesinde tasarım yangın modeline ait sonuçlardaki belirsizliklerin giderilmesi amacıyla performans kriterlerinin analizi, parametrik analiz, sınırlılıkların belirlenmesi ve hassasiyet analizi yöntemleri kullanılmaktadır [118]. Bu yöntemler

tamamlanan performansa dayalı yangın modelinin belgelenmesi ve sonuç çıktılarının sistematik özetini sunmaktadır.

1. Parametrik analiz: Hassasiyet analizi alt araştırma alanı olan parametrik analizde belirli bir girdi değişkeninin model çıktısı üzerindeki etkisinin ayrıntılı analizi için değişkenin girdi değeri sistematik olarak değiştirilip diğer değişkenler sabit tutulması yöntemi uygulanmaktadır. Girdi değişkenlerinden biri değiştirilip diğer değişkenler sabit bırakıldıktan sonra, beklenen performans kriterleri için en iyi sonuç elde edilmesi neticesinde diğer değişkenin parametrik analizi sürecine başlanmaktadır. Sonuç olarak değişkenlerin bağımsız olarak sırayla analiz edildiği bir değerlendirme sonucu ortaya çıkmaktadır.

2. Performans kriteri: Yangın modelleri genellikle, sonuçların eşik performans kriterlerine göre değerlendirildiği tasarım sürecinin parçası olarak kullanılır. Bir analizden çıkarılabilecek sonuçlar, modelin tahmini doğruluğu ve girdi parametrelerindeki potansiyel belirsizlikle sınırlıdır. Performans kriteri eşikleri belirlenirken, modellerdeki ve girdilerdeki belirsizlikler hesaba katılarak aralıklar verilmelidir. Bu doğrultuda sonuç çıktıları ile belirlenen sıcaklık, duman katmanı, görüş mesafesi, zehirli gazların dayanabilirlik sınırları gibi performans kriterleri karşılaştırması geniş aralıkta yapılarak değerlendirme yapılabilir.

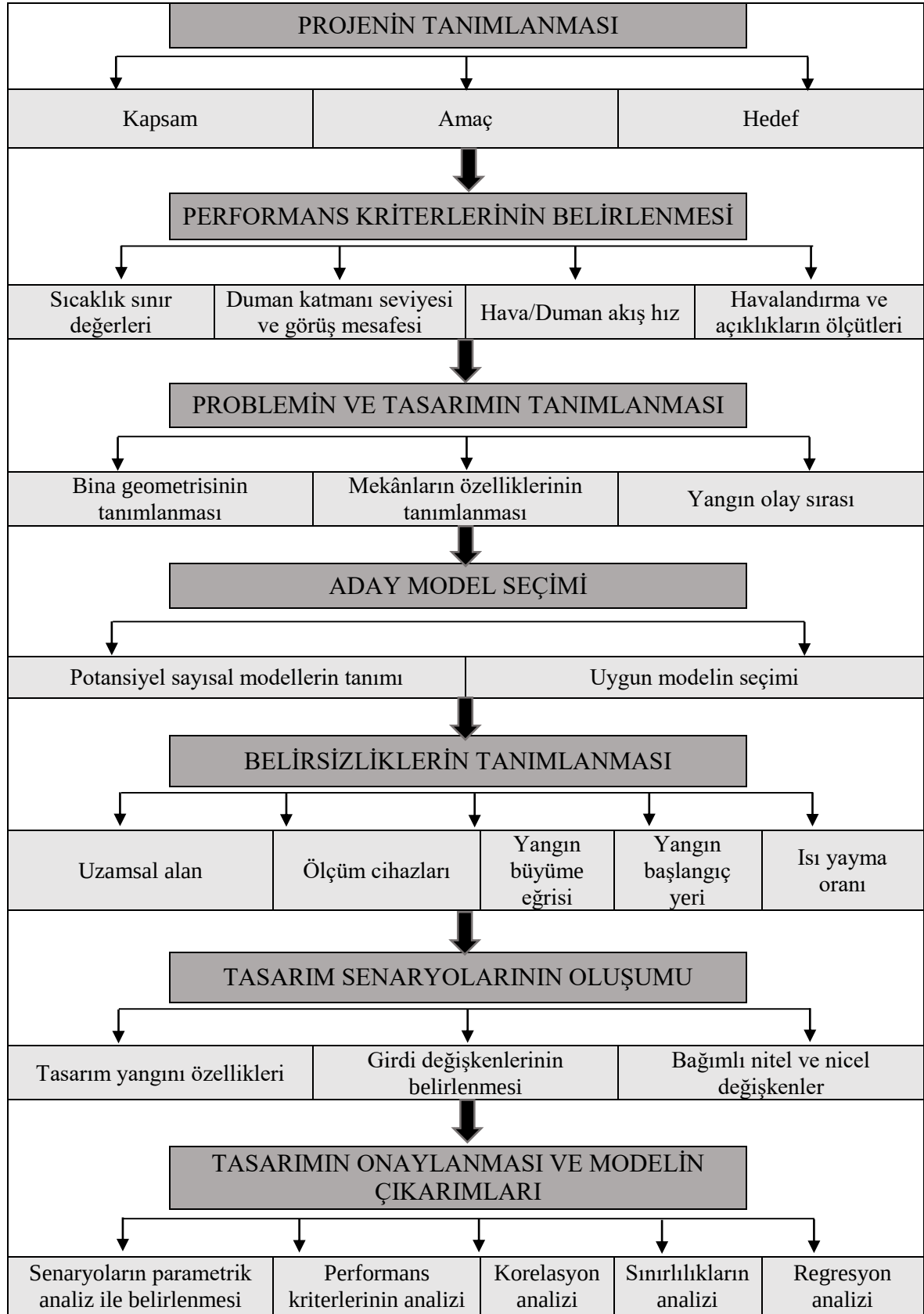
3 Sınırlılık analizi: Bir belirsizliğin veya yangın senaryosunun olası değerlerinin aşırı uçlarının sonuçlarını değerlendiren bir hassasiyet analizi alt çalışması biçimidir. Belirsiz girdi aralığının her iki ucundaki sonuç değerleri bazı kriterler ve kabullere göre belirlenerek, değer aralığı dışında kalanlar için temel hassasiyet analizinden kaçınılabilir. Sınırlandırma, yalnızca giriş parametrelerine değil, aynı zamanda sınır koşulları seçimlerine de uygulanabilir. Özetle yangın modeline katkısı olmayan belirsizlik ve yangın senaryolarının belirlenerek gereksiz hassasiyet analizlerinin yapılmaması sağlanır.

4. Hassasiyet Analizi: Tamamlanan yangın modeline ait belirsizliklerin ve çıkarımların analizinin son aşamasını hassasiyet analizi oluşturmaktadır. Hassasiyet analizi, girdi değişkenlerindeki belirsizlik ile sonuç çıktısındaki belirsizlik arasındaki ilişkileri incelemektedir. Hassasiyet analizi, model çıktısındaki belirsizliğin model girdisindeki farklı varyasyon kaynaklarına nasıl paylaştırılabileceği hakkında bilgi sağlamaktadır. Hassasiyet analizi, sonuç için en önemli olan parametrelerin tanımlanmasına izin vermektedir.

5. MATERYAL YÖNTEM

Yeşil binalarda doğal havalandırma ve/veya aydınlatma amacıyla tasarlanan düşey boşluklarda yangın güvenliğinin sağlanmasını hedefleyen bu tez çalışmasında, bir yangın olayında yangının yayılması ve büyümesi bağlamında risk alanı oluşturan düşey boşlukların konumu, boyutları ve komşu mekânla ilişki kurduğu açıklıklarının tasarım özellikleri dikkate alınarak performansa dayalı tasarım yöntemi esaslı çözüm stratejileri incelenmiştir. Bu kapsamda yeşil bina tasarım hedeflerine hizmet veren düşey boşlukların doğru geliştirilen tasarım özellikleri ile bir yangın olayı esnasında duman tahliyesi ve sıcaklık/alev kontrolü amacıyla kullanılabileceğini öngören bir yöntem geliştirilmiştir.

Düşey boşluklar yoluyla yangında duman tahliyesi ile sıcaklık ve alev kontrolünün yapılması amacıyla oluşturulacak modelin yönteminin oluşturulması için literatür bölümünde açıklanan performansa dayalı yangın güvenliği aşamaları, yangın modelinin belirlenmesi aşamaları ve performansa dayalı yangın modelinin çıkarımları başlıklarında açıklanan aşamalar esas alınmaktadır. Bu üç başlıkta açıklanan aşamaların sıralaması ve sistematik hale getirilmesi ile bir yöntem belirlenmiş olup, yeşil bina düşey iç boşluğu yoluyla duman tahliyesi ile alev ve sıcaklık kontrolü için uygulanan performansa dayalı yangın güvenliği aşamaları Şekil 5.1' de verilmektedir.



Şekil 5.1. Tez kapsamında geliştirilen model

5.1. Projenin Tanımlanması

Performansa dayalı model yaklaşımına ait yöntemin ilk aşaması kapsam, amaç ve hedeflerin belirlendiği projenin tanımlanması aşamasıdır. Yeşil binalardaki düşey iç boşluklar, bu boşluklardaki yangın yayılımı ve duman tahliyesi ile alev ve sıcaklık kontrolü projenin kapsamını oluşturmaktadır. Yeşil binaların birincil amacını oluşturan sürdürülebilirlik ilkeleri dâhilinde can güvenliğinin sağlanması, mülkiyetin korunması ve iş kaybının önlenmesi projenin amaçlarıdır. Amaçlar doğrultusunda yangın yayılım alanının küçültülmesi, sıcaklığın ve alevlerin kontrol edilmesi ile duman tahliyesinin yapılması için duman katmanı, sıcaklık seviyesi ve alev hızı analizlerinin yapılması hedeflenmektedir (Şekil 5.2).

Kapsam	→ Yeşil binalardaki düşey boşluklar → Yangın riskleri → Yangın fırsatları	→ Atrium, galeri, çift kabuklu cephe, şaft, güneş bacası, güneş odaları vb. → Yangın yayılım riskleri (hava akımlarına paralel duman ve alev hareketleri) → Boşluk aracılığıyla duman tahliyesi ile sıcaklık ve alev kontrolü
Amaç	→ Can güvenliğinin sağlanması → Mülkiyetin korunması → İş kaybının önlenmesi	Sürdürülebilirlik ilkeleri
Hedef	→ Belirlenen kapsam, amaç, risk ve fırsatlara yönelik istenen düzeylerin belirlenmesi	Yayılım alanının küçültülmesi, sıcaklığın kontrol edilmesi ve duman tahliyesinin yapılması Duman katmanı, sıcaklık seviyesi, duman ve alev hızı analizi

Şekil 5.2. Projenin kapsam, amaç ve hedefleri

5.2. Performans Kriterlerinin Belirlenmesi

Yöntemin ikinci aşaması proje kapsam, amaç ve hedeflerine yönelik performans kriterlerinin belirlenmesidir. Performans kriterleri doğrudan kullanıcı güvenliği odaklı olup, aşıldığı zaman can güvenliği ile ilgili tehditler oluşturacak eşik değerlerin tanımlanmasıdır. Tasarımın performans değerlerinin belirlenmesi için 4. bölümde açıklanan sıcaklık, duman ve alev hızı etkilerindeki eşik değerlerden faydalanılmıştır. İletim, taşınım ve radyasyon ısı iletim yolları için sınır değer kabul edilen ve 10 saniye maruz kalınca cilt yanığına, 100 saniye sonunda ise ciltte tam yanığa neden olan 60 °C kullanıcılar için dayanılabilir sınır değerdir. Sıcaklığın birincil problem olmadığı ve yangın mahali haricindeki alanlarda duman dolumu neticesinde duman katmanı üst seviyesinin kullanıcı temiz hava ile güvenli kaçıışı için farklı kod ve kılavuzlarda geçen değerlerden en alt sınır olan duman katmanı seviyesi 2.20 m eşik değer kabul edilmiştir. Kullanıcıların kaçış yolunu güvenli kullanmaları ve ilerlemeleri için 5 m ve üzeri görüş mesafesi belirlenmektedir. 5 m altındaki görüş mesafesi için kullanıcıların kaçış yolunu kullanmaya istekli olmayacağı göz önüne alınmıştır.

Ayrıca yangından çıkan dumanın etkisinin azaltılması için yayımlanan NFPA 92 Standard for Smoke Control Systems standardına göre iç mekânda oluşan 1 m/s üzeri hava akımları dumanın ve alevin yönlendirilmesinde etkili olmakta ve 1 m/s altındaki hava akımlarının sayısal model analizlerinde dikkate alınmamaktadır. Tasarım için 1 m/s üzeri hava akımının duman ve alevi yönlendirerek kullanıcıları etkileyebileceği göz önüne alınarak kaçış yolu ve yangın mahali hariç kullanım alanlarında hava akımlarının alt eşik değeri 1 m/s olarak belirlenmiştir [123].

Tasarım pasif havalandırma sistemlerine yönelik araştırmayı içermesi sebebiyle mekânîk havalandırma olmaksızın havalandırma koşulları doğal havalandırma, yangının yayılım alanları ise yangın mahalinden kapı ve pencere boşlukları yoluyla diğer mekânlara düşey boşluklar aracılığıyla olacak şekilde belirlenmiştir. Sonuç olarak can güvenliği odaklı tasarımdan beklenen performans kriterleri Çizelge 5.1’de özetlenmektedir.

Çizelge 5.1. Projenin performans ölçütleri

Performans ölçütü	Eşik değer
Sıcaklık	60 °C altı
Duman katmanı seviyesi	2.20 m üstü
Görüş mesafesi	5 m üstü
Hava akım hızı	1 m/s altı
Havalandırma	Doğal havalandırma (kapı, pencere boşlukları)
Yangın yayılım alanları	Kapı, pencere ve hava çıkışları ile düşey boşluklar

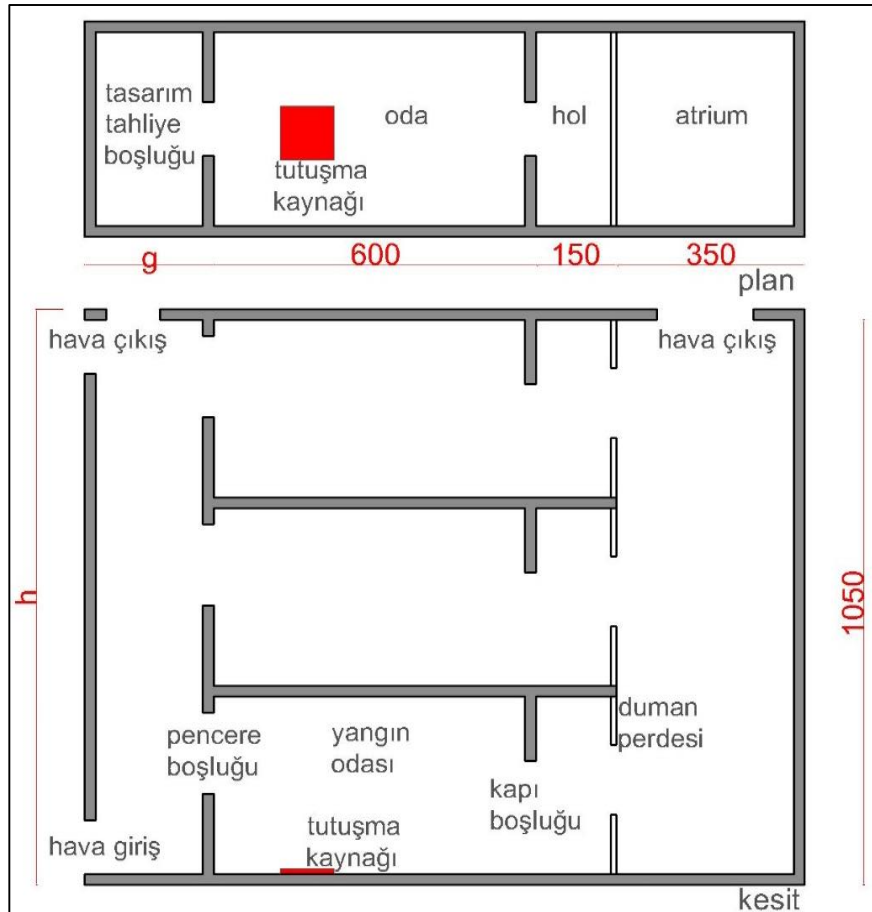
5.3. Problemin ve Tasarımın Tanımlanması

Tez çalışması kapsamında yeşil binalarda doğal havalandırma ve aydınlatmanın iç mekânda verimli kullanımı için tasarlanan düşey boşluklarda yangın güvenliğigüvenliğinin sağlanması ve riskin gerçekleşmesi durumunda ilgili boşlukların duman tahliyesi için kullanım potansiyelinin araştırılması ele alınmaktadır. Atrium, şaft, çift kabuklu cephe boşluğu, güneş ve rüzgâr bacası gibi boşluklarda yangın yayılımı ile ilgili fiziksel model çalışmaları tez kapsamında tasarım modelinin geliştirilmesi için referans olmaktadır.

Düşey boşluklarla bağlantılı mekânda çıkan bir yangının bu boşluklar aracılığıyla diğer mekânlara yayılımı neticesinde yangın mahali dışındaki mekânlarda duman, alev yayılımı ve sıcaklık artışı gibi risklere sebep olması problemi doğrultusunda, farklı düşey boşluklara sahip bir binada duman katmanı seviyesi, alev ve sıcaklık kontrolü için model önerisi getirilmektedir.

Olası bir yangında düşey boşluğun uygun parametrelerde tasarlanması neticesinde binada duman tahliyesi, alev ve sıcaklık kontrolü yapılması hedefiyle yangın senaryoları için 3 katlı 10,50 m yüksekliğinde bir bina modeli tasarlanmıştır. Literatür bölümünde açıklanan fiziksel model çalışmalarındaki çift kabuklu cephe boşluğu ile binalardaki güneş ve rüzgâr bacası çalışma prensibi ve optimum boyutları esas alınarak tasarlanan bina kabuğuna bitişik bir düşey boşluk (çalışmada tasarım tahliye boşluğu olarak tanımlanacaktır) ve karşılaştırma yapılmak amacıyla ikinci boşluk olarak bir atrium boşluğu planlanmıştır. Her katta birer adet olmak üzere 4,00 x 6,00 x 3,50 m (genişlik x uzunluk x yükseklik) boyutlarında tasarlanan mahallerin boşluğa bakan cephe yüzeylerinin alt ve üst kısımlarında hava giriş ve çıkışları

bulunan tasarım tahliye boşluğuna ve diğer cephesinde ise sirkülasyon holü ile atriuma komşuluğu sağlanmıştır. Malzeme analizi tez kapsamında olmaması sebebiyle Binaların Yangın Korunması Hakkında Yönetmelik gereği A1 yanmaz özelliğe sahip ve ısıl ataleti kpc yaklaşık $2 \text{ kW s / m}^4 \text{ k}^2$ olan betonarme duvar, tavan ve döşemesi seçilmiştir. Mahallere hol aracılığıyla komşu atriumun boyutları $4,00 \times 3,50 \times 10,50 \text{ m}$ olarak belirlenmiş, atrium boşluğunun tavan kısmında ise $100 \times 300 \text{ cm}$ boyutlarında bir hava çıkışı planlanmıştır. Binaların Yangın Korunması Hakkında Yönetmelik gereği 90 m^2 'den küçük olan atrium alanı her kat döşemesinde tavandan 60 cm yüksekliğinde sarkan duman perdesi ile çevrelenmiştir [124]. Yangın senaryoları için tasarlanan bina modeli Şekil 5.3' de verilmektedir.



Şekil 5.3. Tasarım bina plan ve kesiti

Bina tasarımının tanımlanmasından sonra yangın başlaması ve yayılma alanlarına yönelik olayların gerçekleşme seyrini gösteren yangın olay sırası Çizelge 5.2'de verilmektedir. Yangın olayları için zaman olay döngüsü olarak da tanımlanan zaman sıralamasına göre

zemin kat döşeme seviyesindeki yanıcı özelliğe sahip bir maddenin tutuşması ile başlayan yangın, yangın mahalinin tavanına ulaşp ilk olarak havalandırma boşluğundan tasarım tahliye boşluğuna daha sonra kapı boşluğundan atrium boşluğuna yayılacak şekilde planlanmıştır. Çizelge 5.2’ de standart olarak planlanan ve bütün binaya yayılan yangın olay sırasının tasarım tahliye boşluğunda yapılacak iyileştirme stratejileri ile olumlu yönde düzenlenmesi neticesinde yangının yangın mahali haricindeki diğer odalara ve atrium boşluğuna yayılmadan tasarım tahliye boşluğu aracılığıyla tahliye edilmesi ve bina içerisinde sıcaklık kontrolünün yapılması hedeflenmektedir.

Çizelge 5.2. Yangın olay sırası

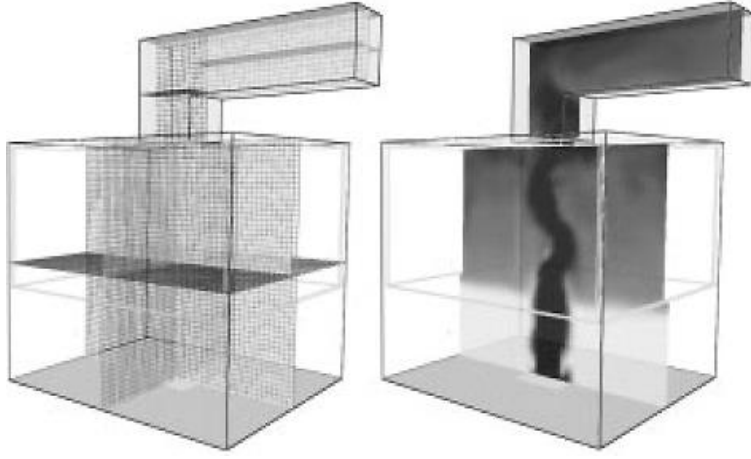
Sıra	Olay
1	Zemin kat odadaki maddenin tutuşması
2	Yangın mahali tavanına ulaşp aşağı doğru inerek odayı doldurma
3	Havalandırma boşluğundan tasarım tahliye boşluğuna yayılım
4	Kapı boşluğundan hole ulaşma
5	Tasarım tahliye boşluğundan üst kat mekânlara ulaşma
6	Zemin kat holden atriuma geçiş
7	Tasarım tahliye boşluğu hava çıkışından bina dışına geçiş
8	Atrium boşluğundan üst kat hollere yayılım
9	Atrium boşluğu hava çıkışından bina dışına geçiş
10	Üst kat hollerden odalara yayılım

5.4. Aday Model Seçimi

Çalışma kapsamında sayısal model için akışkanlar dinamiğinin temellerini kullanarak, çeşitli sınır koşulların simülasyonuna ve ayrıntılı geometri modeline izin veren CFD modelleri (alan modelleri) aday model olarak seçilmiştir. Yazılım olarak ise CFD Navier-Stokes denklemlerini kullanarak kütle, momentum, basınç ve türbülansın korunumu için çözümler üreten Fire Dynamic Simulation (FDS) ile simülasyon sonuçlarını görselleştirebilen Smokeview programları kullanılmıştır.

CFD modelleri, verilen sınır ve yükleme koşulları altında alan fonksiyonlarının değerlerini hesaplamak için kullanılır. CFD fonksiyonları, sıcaklık (bir skaler alan) veya hız (bir vektör

alanı) gibi geometrik konumlarına bağlı olan fiziksel niceliklerdir. Günümüzde yaygın olarak uygulanan sonlu hacimler yöntemi, sonlu farklar yöntemi ve sonlu eleman yöntemi alan problemlerinin çözümü için geçerli sayısal yöntemler olup, üç yöntemde alanı ızgara hücrelerine veya basit şekillere sahip geometrik öğelere ayrıştırarak hesaplama yapmaktadır. Bu yöntemler ızgara hücreleri için kısmi diferansiyel denklemleri, sayısal tam model için sayısal olarak çözülebilen cebirsel denklem sistemi kullanır. Gerçek ölçekli yangınları simüle etmek için tasarlanmış CFD model programları yangın muhafazası hacmini sonlu farklar yöntemi ile üç boyutlu ızgara oluşturan dikdörtgen hücrelere bölerek hesaplama yapmaktadır (Şekil 5.4) [125].



Şekil 5.4. CFD modeli hesaplama için hücre bölünmesi [125]

American National Institute of Standards and Technology (NIST) tarafından Finlandiya'daki VTT Technical Research Centre işbirliği ile geliştirilen FDS, hem akademik hem de ticari yangın simülasyonu için kullanılan CFD yangın modelleme yazılımıdır. Açık kaynak yazılımı olan FDS, yangınlardan duman ve ısı taşınmasına vurgu yaparak, düşük hızlı, termal olarak yönlendirilen akış için uygun Navier-Stokes denklemlerini sayısal olarak çözmektedir. Kütle, momentum ve enerjinin korunum denklemlerinin kısmi türevlerine sonlu farklar olarak yaklaşılır ve çözümü üç boyutlu, doğrusal bir ızgara üzerinde sunmaktadır.

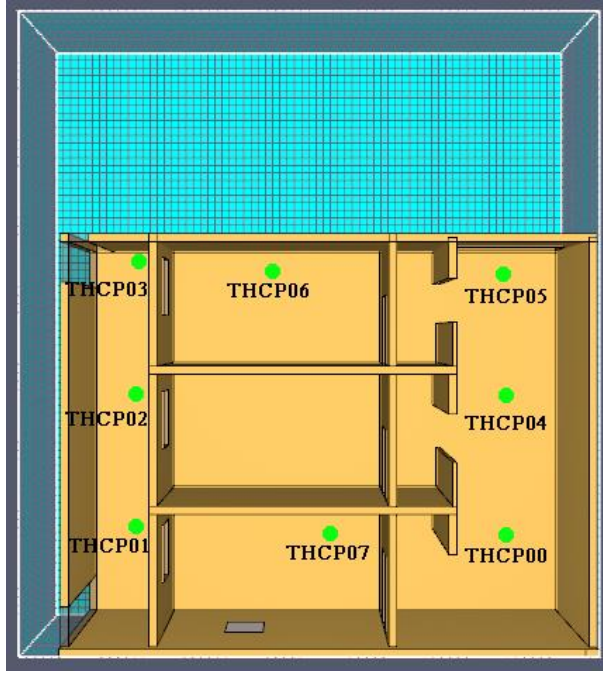
FDS, girdi parametrelerini ve denklemleri metin dosyası üzerinden yöneten ve çözen, kullanıcı tanımlı çıktı verilerini dosyalara yazan bir program iken, Smokeview, FDS çıktı dosyalarını okuyan, grafiklere ve animasyonlara yardımcı programdır. FDS metin dosyası

odaklı olduğundan dolayı FDS' nin ihtiyaç duyduğu giriş parametrelerini içeren metin dosyasını oluşturmak için geliştirilmiş çeşitli üçüncü taraf programları vardır. Bu çalışmada FDS ve Smokeview fonksiyonlarını içerisinde barındıran, geometrik düzenlemeyi ve sınırları çizmeye izin veren Pyrosim simülasyon programı kullanılmıştır. Pyrosim simülasyon programı arka planında CFD denklemlerini çözen ve açık kaynak kodlu FDS yazılımı içerisinde bulunduran kullanıcılar için bir arayüzdür. FDS modelleri tarafından tahmin edilen yangınlar sırasında duman yayılımı, sıcaklık, karbon monoksit ve diğer maddelerin analizi Pyrosim ile elde edilmektedir.

5.5. Belirsizliklerin Tanımlanması

Yangın modeli için gerekli yazılımların ve kullanılacak programların tanımlanmasından sonra tasarım senaryolarının oluşturulması için modelde gerekli temel kaynakların tanımlanması gerekmektedir. Tasarım binanın hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonlarını gerçekleştirmek için uzamsal alanının, yangında çıkacak ısı yayma oranının, yangının başlangıç noktasının, sıcaklık, duman, hız vb. yangın unsurlarının yangın senaryolarında değişimlerini incelemek için simülasyonlarda yerleştirilen ölçüm cihazları ve düzlemlerinin modele entegre edilmesi neticesinde tasarım senaryoları için sabit girdiler belirlenmektedir.

Tasarım senaryoları başlığında detaylandırılacak olan tasarım bina hacimlerine göre en küçük bina ölçüleri 11,50 m x 4,00 m x 10,50 m, en yüksek ise 13,00 m x 4,00 m x 15,75 m olup, sayısal model programında uzamsal alan 14,50 m x 4,00 m x 16,00 m olarak belirlenmiştir. Pyrosim programında üç boyutlu modelin hazırlanması için sınırlılıkların belirlendiği 0,2 m x 0,2 m x 0,2 m olarak atanan toplam 105. 000 adet hücre yer almaktadır. Sıcaklık, duman hareketi ve hızını ölçmek için X2 yönünde dilimler (slice), tasarım tahliye boşluğu ve atrium boşlukları kat seviyelerinde birer adet ve duman ve sıcaklık riski fazla olan son kat odada ve yangın mahlinde bir adet olmak üzere toplam 8 adet ısı çifti (thermocouple) yerleştirilmiştir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Bilgisayar modeli uzamsal alan özellikleri

Herhangi bir öge için yangın büyüme oranını ifade eden ısı yayma oranı zamanın karesiyle orantılı bir eğri ile ifade edilir. Eğri, en yüksek ısı yayma oranı ve belirli bir ısı yayma oranı değerine ulaşması için gereken süre ile tanımlanır. Tasarım yangınları için yangının büyümesinin sayısal modele girilmesi için basitleştirilmiş Eş. (5.1) kullanmaktadır:

$$Q=\alpha t^p \quad (5.1)$$

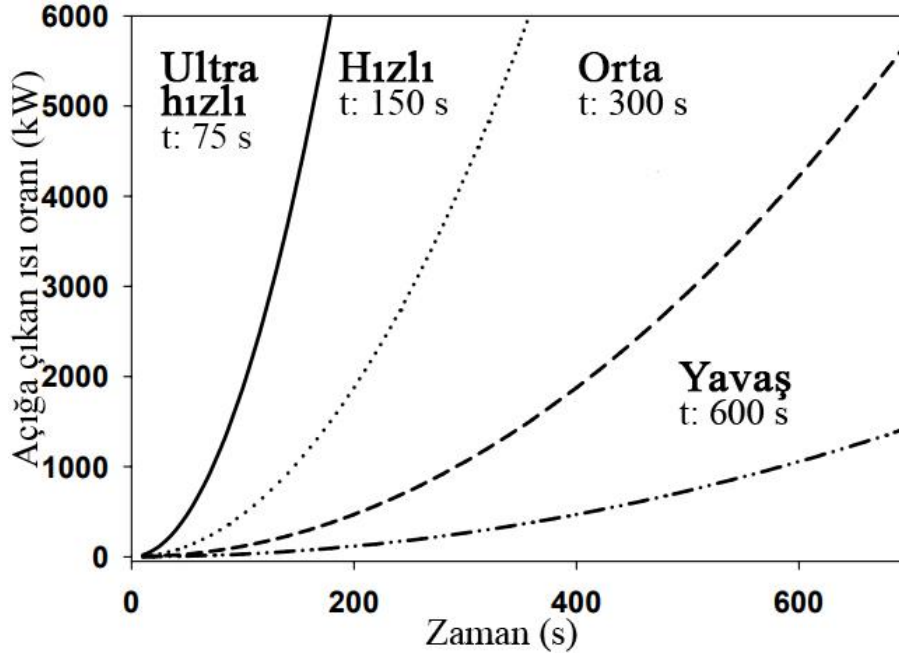
Q: Açığa çıkan ısı oranı

α : Yangın büyüme katsayısı

t: Zaman

p: Pozitif üs

NFPA 92B Smoke Management Systems In Malls, Atria, And Large Areas standardına göre yangın büyüme oranı yavaş, orta, hızlı ve ultra hızlı olarak sınıflandırılmakta ve referans ısı yayma oranı 1055 kW alınmaktadır. Buna göre yangın büyüme eğrisi yavaş, orta, hızlı ve ultra hızlı büyüme oranları için 1055 kW referans ısı yayma oranına ulaşma süreleri Şekil 5.6’ da verilmektedir.



Şekil 5.6. Yangın büyüme eğrisi [131]

Eş. (5.1)' e göre farklı yangın büyüme oranlarının 1055 kW ısı yayma oranına ulaşması için büyüme katsayıları Çizelge 5.3' de verilmekte olup, çalışma kapsamında referans yayma oranı 1055 kW, yangın büyüme oranı hızlı seçilmiştir. Bu değerlere göre sayısal modelleme programına aktarılacak yangın büyüme katsayısı 0.047 kW/s^2 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.3. Farklı yangın büyüme oranlarının 1055 kW' a ulaşma katsayısı

Yangın büyüme oranı	Zaman	Yangın büyüme katsayısı
Yavaş	600	0,003
Orta	300	0,012
Hızlı	150	0,047
Ultra hızlı	75	0,188

Tasarım binada mekânlar arasında yangın yayılımının analizi ve düşey boşluklar arasında karşılaştırmanın uygun koşullarda yapılması için yangının başlangıç mahali kritik öneme sahiptir. Baca etkisi çalışma prensibinden en üst düzeyde faydalanmak ve yangının bütün oda, hol ve boşluklara yayılma riskini analiz etmek amacıyla yangın başlangıç noktası zemin kattaki oda seçilmiş ve odadan pencere ve kapı boşluğu aracılığıyla tüm mekânlara yayılacağı olay zaman sırasının verildiği Çizelge 5.2' de belirtilmiştir.

5.6. Tasarım Senaryolarının Oluşturulması ve Değerlendirme

Problemin ve tasarımın tanımlanması başlığında 3 katlı binanın her katında yer alan 4,00 m x 6,00 m x 3,50 m boyutlarındaki odalar karşılıklı olarak bir taraftan havalandırma boşluğu ile tasarım tahliye boşluğuna, diğer taraftan da kapı boşluğu ile sirkülasyon holü ve atriuma açılan ve bu düşey boşluklar aracılığıyla odalar arasında bağlantı sağlanan bir tasarım tanımlanmıştır. Yangında duman ve alevlerin tüm mekânlarda yayılım riski temel problem edinilmiş ve yangın mahali olarak tayin edilen zemin kat odada çıkan yangının önce tasarım tahliye boşluğuna sonra hol ve atriuma son olarak da üst kat odalara yayılımını içeren bir yangın olayı zaman sırası belirlenmiştir.

Zemin kat odadaki döşemede 1 m² yüzey alanına sahip ana maddesi esnek poliüretan köpük olan bir malzeme yangın kaynağı olarak seçilmiştir. Yangın reaksiyon kaynağı 1,00 karbon, 1,7 hidrojen, 0,3 oksijen, 0,08 nitrojen atomlarından oluşan poliüretan GM27 (esnek poliüretan köpük) olup, açığa çıkan ısı oranı belirsizliklerin tanımlanması başlığında 1055 kW seçilerek, Eş. (5.1)' e göre 1055 kW ulaşma süresi 150 saniye olarak hesaplanmıştır. Tutuşma başlaması 10 saniye olarak tanımlandıktan sonra toplam yangın simülasyonu 160 saniye olmuştur. Tasarıma yer ve hâkim rüzgâr gibi iklimsel elemanların etkisi ihmal edilmiş ve tutuşma başlamadan önceki ortam sıcaklığı sabit 10 °C belirlenen tasarım yangınına ait özellikleri Çizelge 5.4' de verilmiştir.

Çizelge 5.4. Tasarım yangını özellikleri

Özellik	Değer
Yangın türü	Alevli yangın
Reaksiyon türü	Poliüretan GM27
Yangın büyümesi	t ² yangını
Duman üretimi	0,198 g/g
CO üretimi	0,042 g/g
Açığa çıkan ısı oranı	1055
Yangın büyüme katsayısı	0,047
Tutuşma başlama süresi	10 s
Simülasyon süresi	160 s
Malzeme	Betonarme (ısıl atelet: 2 kW s /m ⁴ k ²)
Ortam sıcaklığı	10 °C

Projenin kapsamı ve amacı doğrultusunda tasarım tahliye boşluğu aracılığıyla duman tahliyesinin yapılması, yangın mahali harici mekânlarda sıcaklık ve alev kontrolünün belirlenen performans kriterleri sınır değerlerini aşmaması hedefiyle tasarım yangınına ait girdi değişkenlerinin değer aralıkları Çizelge 5.5’ de verilmektedir. Tahliye boşluğunun belirlenen hedefler doğrultusunda tasarlanması için belirlenen girdi değişkenleri boşluk genişliği ve yüksekliği, boşluk hava giriş ve çıkışlarının genişliği ve yüksekliği ile boşluğa bakan odalardaki havalandırma boşluklarının genişlik ve yükseklikleri olarak belirlenip senaryolar oluşturulmuştur. Girdi değişkenlerinin alt ve üst değerlerinin belirlenmesinde tez çalışmasının 3. bölümünde detaylı incelenen ilgili fiziksel model çalışmalarından faydalanılmıştır. Boşluk genişliği ve boşluk hava giriş çıkış boyutları için çift kabuklu cephe ve güneş bacaları ile ilgili fiziksel model çalışmalarında kullanılan değerler aralık olarak alınırken, boşluk yüksekliği için öncelikle 1050 cm olan bina yüksekliğinden bir kat artırılmış ve toplam bina yüksekliğinin yarısı kadar artırılmış boşluk yüksekliği tanımlanmıştır. Odalardaki pencereler ise boşluk olarak tanımlanmış ve oda boyutları doğrultusunda genel binalara uygun değer aralıkları seçilmiştir.

Çizelge 5.5. Tasarım yangın senaryoları girdi değişkenlerine ait değer aralıkları

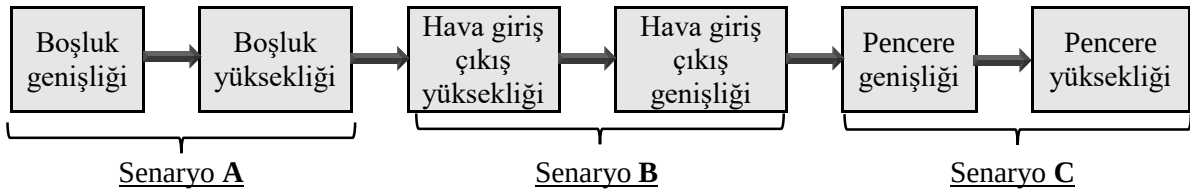
Girdi değişkeni	Değer aralığı (cm)
Boşluk genişliği	50-200
Boşluk yüksekliği	1050-1575
Boşluk hava giriş çıkış genişliği	50-360
Boşluk hava giriş çıkış yüksekliği	50-250
Oda havalandırma boşluğu genişliği	50-200
Oda havalandırma boşluğu yüksekliği	50-200

5.7. Tasarımın Onaylanması ve Modelin Çıkarımları – Hassasiyet Analizi

Hassasiyet analizi yöntemi kullanılarak girdi değişkenlerinin modele bireysel ve bir arada olması durumundaki katkı seviyelerinin ve sıralamalarının belirlendiği model çıktılarının olduğu performansa dayalı yangın güvenliği modelinin sonuç evresi olan bu aşamada literatürde yer alan performansa dayalı yangın modelinin çıkarımları ve belirsizliklerin giderilmesi aşamaları izlenerek yangın senaryolarının sıralanması ve model sonuçlarının tasniflenerek analizlerin yapılması için yöntem belirlenmiştir.

1. Senaryoların parametrik analiz ile belirlenmesi

Girdi değişkenleri değer aralıklarıyla senaryoların oluşturulması sürecinde; girdi değişkenlerinden birinin sistematik olarak değiştirilmesi neticesinde beklenen performans için en iyi sonucun alınmasından sonra sırasıyla değişkenlere ait değer aralıklarından oluşan senaryoların analizine dayalı bir yöntem olan parametrik analiz kullanılmıştır. Bu doğrultuda ilk olarak boşluğun boyutları, ikinci olarak hava giriş çıkış boyutları ve son olarak da havalandırma boşluğu boyutları için en iyi performans sonuçları analizi yapılması planlanmıştır. Parametrik analiz doğrultusunda girdi değişkenlerinin sıranmasına ait sıralama Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.7. Yangın senaryoları için girdi değişkenlerinin sıranması

Parametrik analiz yöntemi ile senaryolar sırasıyla boşluk genişliği, boşluk yüksekliği, hava giriş-çıkış genişliği, hava giriş-çıkış yüksekliği, havalandırma boşluğu genişliği ve havalandırma boşluğu yüksekliği olarak belirlenmiş ve birinci değişkene ait senaryolarda diğer değişkenler sabitlenmiş, daha sonra sıralı olarak ikinci ve diğer değişkenler için aynı yöntem uygulanmıştır. Bu amaçla A senaryoları için 10, B senaryoları için 9 ve C senaryoları için 9 senaryo tasarlanarak toplam 28 senaryo öngörülmüştür. Tasarım senaryolarının detayları yöntemin sınıdığı uygulama ve bulgular bölümünde verilecektir.

2. Performans kriterlerinin analizi

Projenin amaç ve hedefleri doğrultusunda tasarım modeli için belirlenen performans kriterlerine göre analiz; parametrik analiz ile sıralı olarak her değişken için en iyi performansı sağlayan senaryolara ait sonuçlarla belirlenmektedir. Senaryo sonuçlarının bir arada değerlendirildiği hassasiyet analizi sürecinde de performans kriterleri referans değerler olmaktadır.

3. Sınırlılıkların analizi

Bir belirsizliğin veya yangın senaryosu olası değerlerinin aşırı uçlarının sonuçlarını değerlendiren bir hassasiyet analizi alt çalışması biçimi olan bu aşamada belirsiz girdi aralığının her iki ucundaki sonuç değerleri istatistik çalışmalarında yaygın kullanılan Mahalanobis' Distance, Cook's Distance ve Centere Leverage Value yaklaşımlarındaki kriterler ve kabullere göre belirlenmektedir. Bu üç yöntemden en az ikisinde değer aralığı dışında kalan senaryolar bulunması durumunda modele katkı sağlamadığı yorumu yapılarak temel hassasiyet analizine dâhil edilmemektedir.

Mahalanobis' Distance: Girdi değişkenleri içerisindeki aykırı değerlerin tespitinde parametre tahminleme amacıyla kullanılan Mahalanobis' Distance yaklaşımı varyans - kovaryans matrisi ile gözlemlerin dağılımlarını dikkate almaktadır. Bu yaklaşımda, normal dağılım gözlemler ki-kare olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanılarak olasılıklara çevrilip uzaklık değerleri hesaplanmakta ve uzaklık değerleri ki-kare tablosundaki değerlerle karşılaştırılıp aykırı gözlemler tespit edilmektedir. Bu yaklaşım veri setinde çok değişkenli gözlem yapmasından dolayı, veri setindeki anormal değerlerin tespiti için elverişlidir [127, 128].

Cook's Distance: Dennis Cook 1977 yılında tam sıra doğrusal regresyon modellerinde parametre vektörünün en küçük kareler tahmininin belirlenmesi ve her bir veri noktasının katkısının değerlendirilmesi için güven elipsoitlerine dayalı Cook's Distance yaklaşımını geliştirmiştir. Aykırı değerleri belirlemek amacıyla en küçük kareler regresyonunda bir veri noktası etkisinin tahminini kullanmaktadır. Belirli bir gözlemi regresyon modelinden çıkarılmasıyla sonucun ne kadar değiştiğini analiz eden bu yaklaşımda artık değer ne kadar fazla olursa uzaklık o kadar fazla olmaktadır [129]. Cook Distance değerini hesaplama için aşağıdaki denklem kullanılmaktadır:

$$D_i = 4 / (n - k - 1) \quad (5.2)$$

D_i : Cook Distance

n : Katılımcı sayısı (senaryo sayısı)

k : Bağımsız değişken sayısı

Centered Leverage Value: Veri kümesinin x ve/veya y yönünde en uzak olan gözlemlere dayalı bir yaklaşım olan Centere Leverage Value, çok değişkenli uç değerleri belirlemek için kullanılmaktadır. Bu değer 0 ile 1 arasında olup, 1' e yaklaştıkça gözlemin uç değere sahip olma olasılığı artarken, 0' a yaklaştıkça ise gözlemlerin etkisi yok olarak ifade edilmektedir. Centered Leverage Value değerini hesaplama için aşağıdaki denklem kullanılmaktadır:

$$V_i = (2k+2) / n \quad (5.3)$$

V_i : Centered Leverage Value

n: Katılımcı sayısı (senaryo sayısı)

k: Bağımsız değişken sayısı

Mahalanobis' Distance, Cook's Distance ve Centered Leverage Value regresyon tabanlı hassasiyet analizi altında geliştirilmiş yaklaşımlar olup, tez kapsamında da hassasiyet analizi için kullanılan çok değişkenli regresyon analizi aşamalarında bu değerler hesaplanarak uç değerler tespit edilip, senaryolarda bu değerlerin varlığına göre değerlendirme yapılmaktadır.

4. Hassasiyet analizi:

Performans kriterlerinin analizi, sınırlılıkların belirlenmesi aşamaları hassasiyet analizinin doğruluğu ve anlamlılığı için hassasiyet analizinin destek yaklaşımları olarak alt bileşenleri oluşturmaktadır. Hassasiyet analizi bağımsız girdi değişkenleri ile bağımlı çıktıların ilişkilerinin anlaşılmasını ve model sonuçlarında en etkili girdi değişkenlerinin tanımlanmasını amaçlamaktadır. Hassasiyet analizi lokal ve global olarak sınıflandırılmakta olup, lokal hassasiyet analizinde yalnızca bir girdi değeri değiştirilip diğer girdilerin sabit bırakılmasıyla girdi değişkenlerinin bağımlı çıktılar üzerindeki etkisi bireysel olarak ölçülmektedir. Global hassasiyet analizinde ise girdi değişkenlerinin ölçümü bir arada yapılır ve bağımlı çıktılar üzerindeki toplam hassasiyeti hesaplanmaktadır. Tez kapsamında modeldeki bütün değişkenlerin bir arada ölçülmesi ve etki değerlerinin hesaplanması için global hassasiyet analizi kullanılmıştır. Global hassasiyet analizi yöntemlerinden ise korelasyon analizi ve çok değişkenli doğrusal regresyon analizi kullanılmıştır.

Korelasyon analizi hem bağımsız değişkenlerin kendi arasındaki hem de bağımsız değişkenlerin bireysel olarak bağımlı değişkenler üzerindeki etki derecelerini göstermektedir. Bağımsız değişkenlerden birinin değeri artarken bağımlı değişken de artıyorsa pozitif korelasyon, birinin değeri artıyorken diğeri azalıyorsa negatif korelasyon olmaktadır. Korelasyonun derecesinin ölçüldüğü korelasyon katsayısı (r) değeri -1 ile 1 arasında olup, mutlak değer 1' e yaklaştıkça korelasyon değeri artmaktadır.

Bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasında korelasyon belirlendiğinde bir sonraki aşama regresyon analizidir. Çok değişkenli regresyon analizi bilinen normal dağılan ve aralarında çoklu doğrusallık bulunmayan değişkenlerden bilinmeyen aralarında korelasyon olan sayısal değişkeni tahmin etmek ve bilinen değişkenlerin bir arada yer alması ile bilinmeyen değişken üzerindeki etki derecesini bulmak için bu çalışmada kullanılmıştır. Değişkenler bilindiği zaman bağımlı değişkeni bulmak için kullanılan eşitliğe regresyon denklemi denir ve aşağıda verilmektedir:

$$Y_n = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_n X_n \quad (5.4)$$

Y_n : tahmin edilecek değer

β_0 : sabit sayı (intercept)

$\beta_1 \beta_2 \beta_n$: değişkenlere ait regresyon katsayıları

6. YÖNTEMİN UYGULANMASI VE BULGULAR

Yeşil binalardaki düşey iç boşluklarda yangın yayılımlarının analiz edilerek yangın tahliye stratejilerinin geliştirilmesi amacıyla tasarlanan prototip binada, belirsizlik tanımlamaları ve yangın özellikleri ile amaç ve hedeflere uygun tasarım senaryolarının modellenerek duman, sıcaklık, alev ve iç hava akım hızlarının analizleri gerçekleştirilmektedir. Projenin hedefi öncelikle kullanım alanları için duman yayılımının azaltılması ve sıcaklığın performansı belirlenen sınır değerinin altında tutulması olması sebebiyle tasarım yangın senaryoları girdi değişkenlerine ait değer aralıkları parametrik analizi uygun olarak sırayla sınanarak proje hedefine en uygun değişken değeri belirlendikten sonra sıradaki girdi değişkenine geçilmektedir. Bu bağlamda tasarlanan A, B ve C senaryolarına ait uygulamalar ve bulgular aşağıda verilmektedir.

6.1. Senaryo A

Prototip binada duman tahliyesinin hedeflendiği tasarım tahliye boşluğunun uygun boyutlarının belirlenmesi amacıyla oluşturulan senaryolar Çizelge 6.1’ de verilmektedir.

Çizelge 6.1. Boşluk genişliği ve yüksekliğinin analiz edildiği A senaryoları (cm)

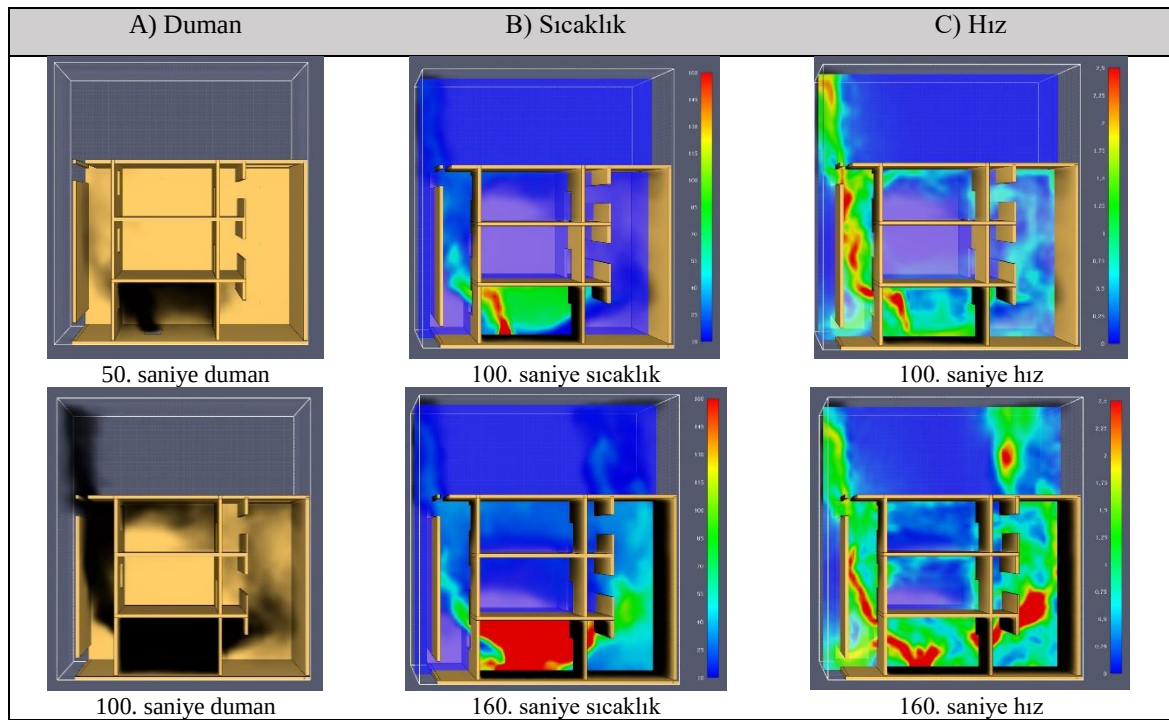
Senaryo	Boşluk genişliği	Boşluk yüksekliği	Hava giriş çıkış genişliği	Hava giriş çıkış yüksekliği	Pencere genişliği	Pencere yüksekliği
A1	200	1050	360	100	100	150
A2	150	1050	360	100	100	150
A3	100	1050	360	100	100	150
A4	50	1050	360	100	100	150
A5	150	1400	360	100	100	150
A6	150	1575	360	100	100	150
A7	50	1400	360	100	100	150
A8	50	1575	360	100	100	150
A9	100	1400	360	100	100	150
A10	200	1400	360	100	100	150

Senaryo A1

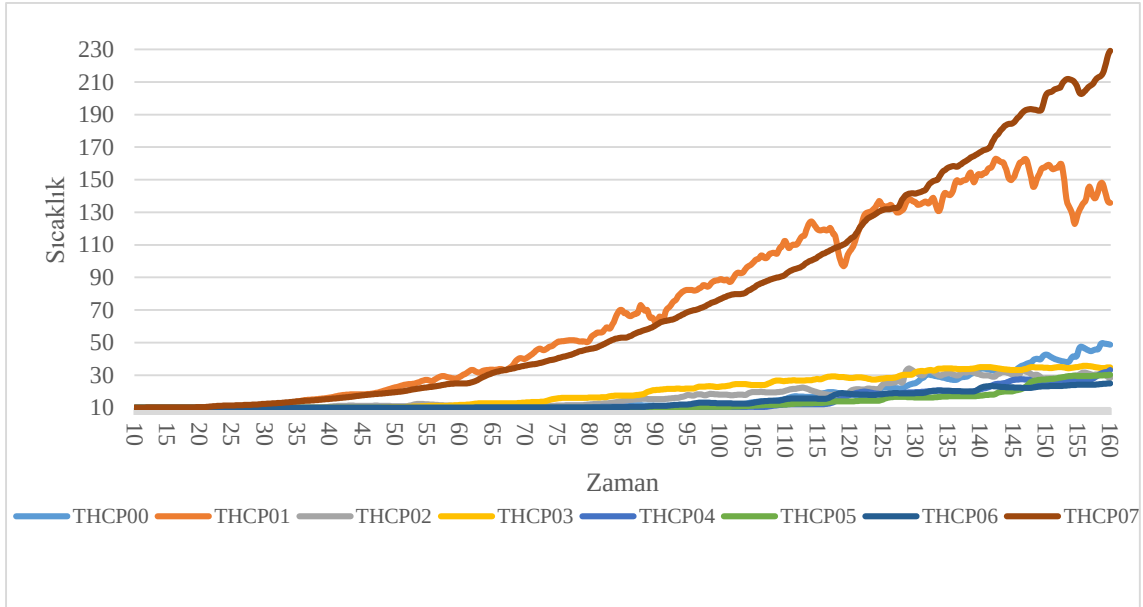
Tasarım tahliye boşluğu genişliğinin 200 cm, yüksekliğinin bina yüksekliği seviyesinde alındığı A1 senaryosuna ait duman, sıcaklık, alev ve hava akımı hız görünümüleri Çizelge 6.2’ de verilmektedir. Duman 50. saniyede son kat pencere seviyesine gelirken, 100. saniye

sonunda tüm boşluk boyunca dolup bina dışına çıkmıştır. Ayrıca duman 100. saniyede son kat odayı doldurmuş ve atrium boşluğu hava çıkışına ulaşmışken, simülasyon sonunda bina tamamen duman ile kaplanmıştır. Alev bulutu 100. Saniyede tasarım tahliye boşluğu birinci kat pencere seviyesinde ve dış duvarına doğru yayılmışken, simülasyon sonunda atriuma yayılım tasarım tahliye boşluğuna oranla artmıştır. Alev ve hava akım hızları 2.5 m/s' ye tasarım tahliye boşluğunda 100. saniyede, atrium boşluğunda ise simülasyon sonunda ulaşmıştır.

Çizelge 6.2. A1 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri



A1 senaryosu için simülasyon süresi boyunca ısı çiftlerinden en yüksek sıcaklık yangın mahalinde 229,07 °C, son kat odada ise 24,94 °C olarak ölçülmüştür. Tasarım tahliye boşluğunda en yüksek sıcaklık 162,93 °C iken, atrium boşluğunda en yüksek sıcaklık 49,69 °C seviyesine yükselmiştir (Şekil 6.1).

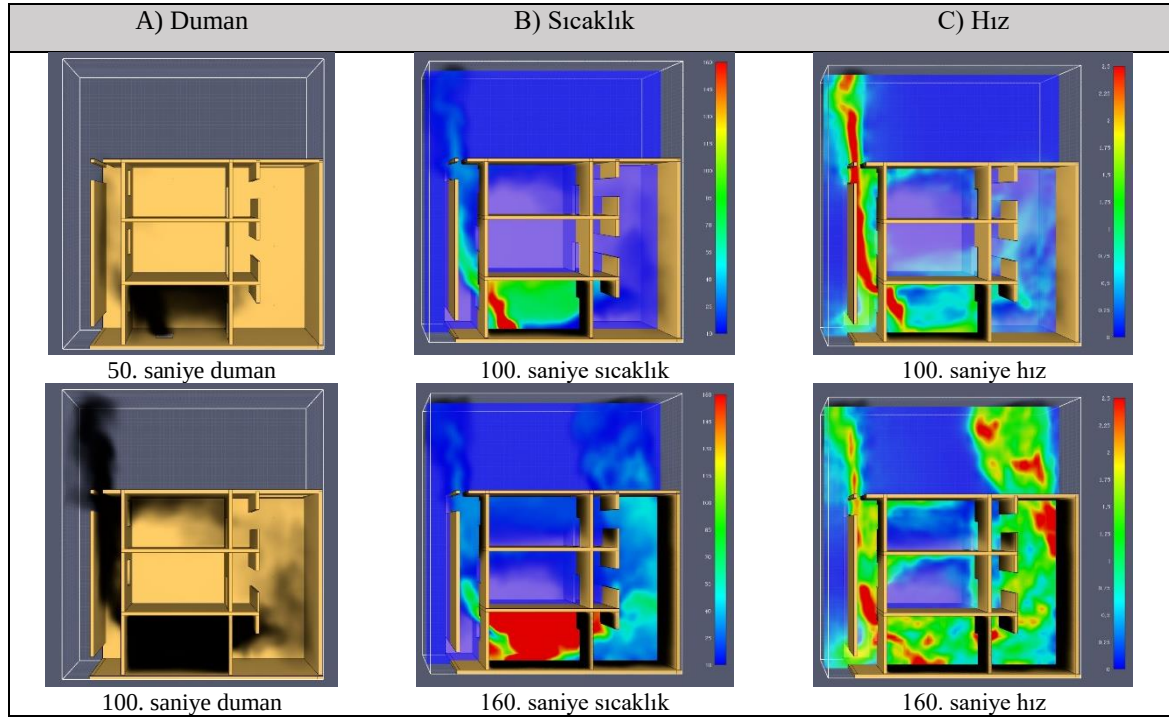


Şekil 6.1. A1 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler

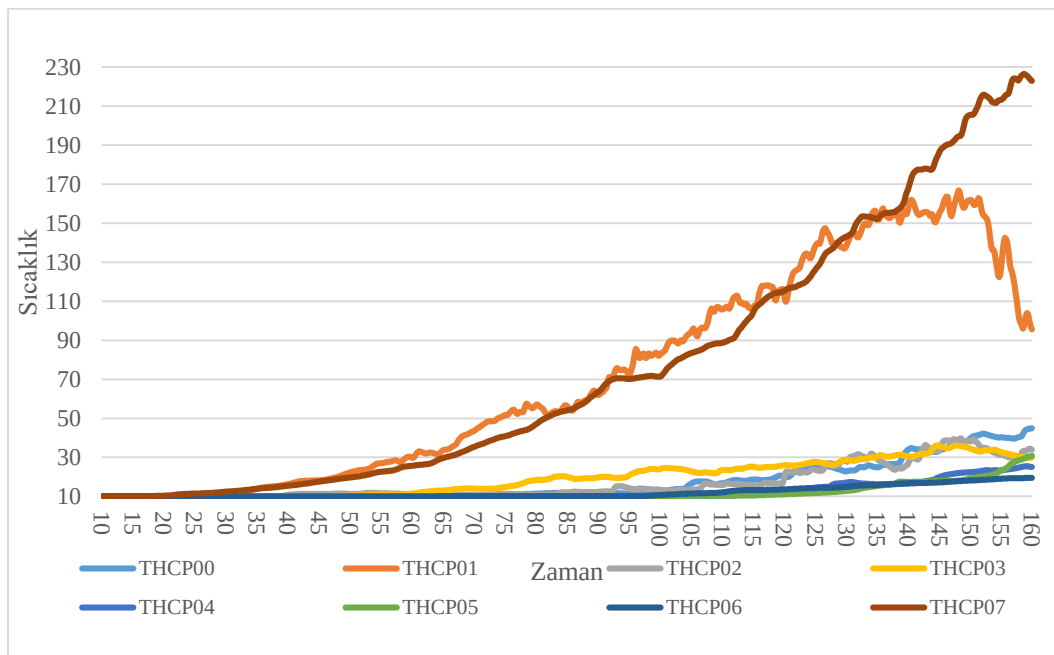
Senaryo A2

Tasarım tahliye boşluğu genişliğinin 150 cm, yüksekliğinin bina yüksekliği seviyesinde alındığı A2 senaryosuna ait duman, sıcaklık, alev ve hava akımı hız görünümüleri Çizelge 6.3’ te verilmektedir. Duman 50. saniyede üst yan hava çıkış seviyesinde iken, 100. saniye sonunda tüm boşluk boyunca dolup bina dışına çıkmıştır. Ayrıca duman 100. saniyede son kat odayı doldurmuş ve atrium son katın ortalarına ulaşmışken, simülasyon sonunda bina tamamen duman ile kaplanmış. Alev bulutu 100. Saniyede tasarım tahliye boşluğu son kat döşeme seviyesinde ve boşluk dış duvarına doğru yayılmışken, simülasyon sonunda alev bulutu geri çekilerek tasarım tahliye boşluğu birinci kat seviyesine geçmiş ve atrium tavan seviyesine düşük sıcaklıkta geçmiştir. Alev ve hava akım hızları 2.5 m/s’ ye tasarım tahliye boşluğunda 100. saniyede, atrium boşluğunda ise simülasyon sonunda son kat seviyesinde ulaşmıştır.

Çizelge 6.3. A2 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri



A2 senaryosu için simülasyon süresi boyunca ısılı çiftlerden en yüksek sıcaklık yangın mahalinde 226,44 °C, son kat odada ise 19,56 °C olarak ölçülmüştür. Tasarım tahliye boşluğunda en yüksek sıcaklık 166,74 °C iken, atrium boşluğunda en yüksek sıcaklık 44,88 °C seviyesine yükselmiştir (Şekil 6.2).

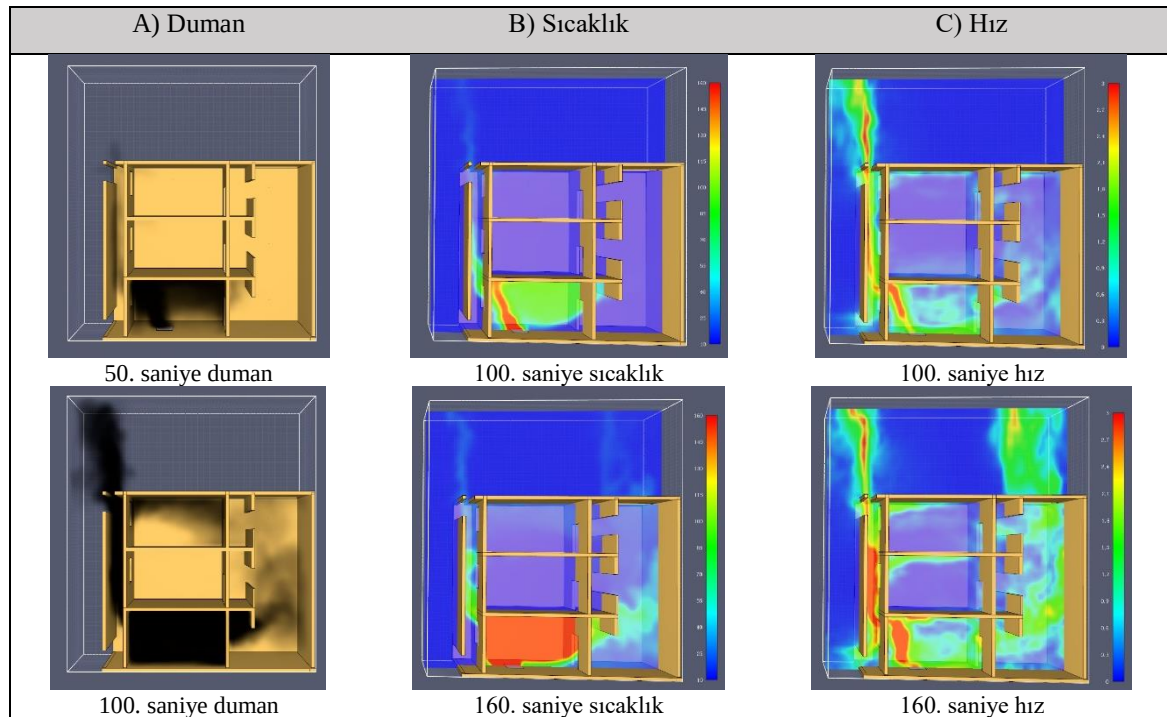


Şekil 6.2. A2 senaryosu ısılı çiftlerden ölçülen değerler

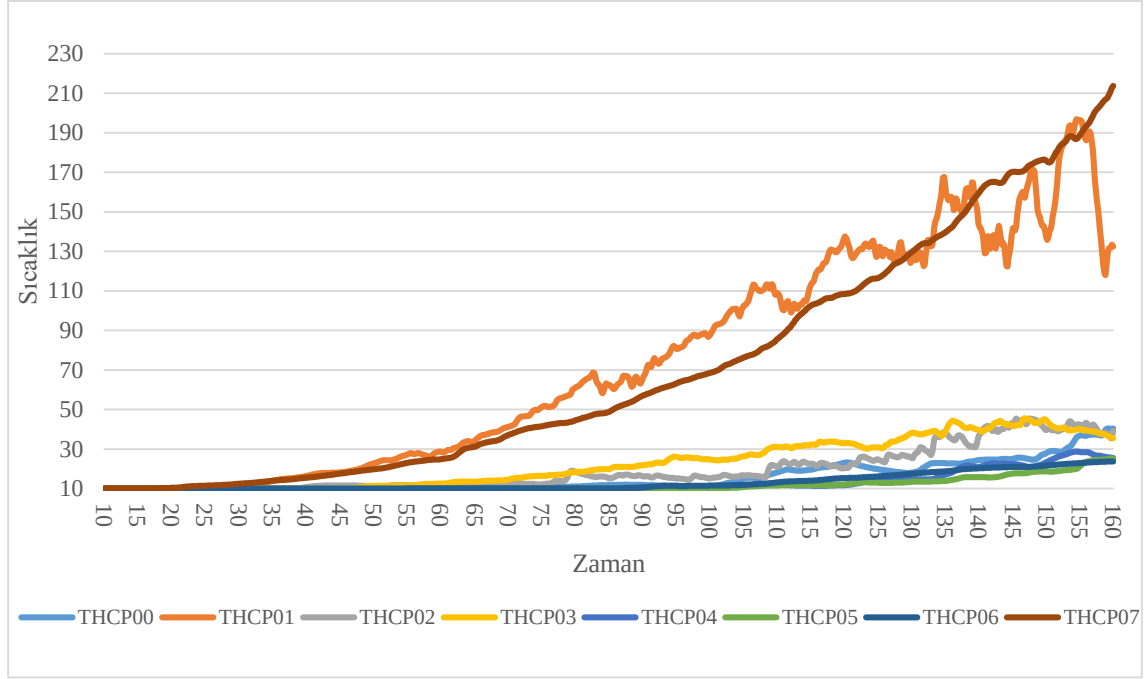
Senaryo A3

Tasarım tahliye boşluğu genişliği 100 cm, yüksekliği bina yüksekliği seviyesinde olan A3 senaryosuna ait duman, sıcaklık, alev ve hava akımı hız görünüşleri Çizelge 6.4' te verilmektedir. Duman 50. saniyede üst hava çıkışından geçmişken, 100. saniye sonunda tüm boşluk boyunca dolup bina dışına çıkmıştır. Ayrıca duman 100. saniyede son kat odayı doldurmuş ve atrium tavan seviyesine ulaşmışken, simülasyon sonunda bina birinci kat oda hariç tamamen duman ile kaplanmıştır. Alev bulutu 100. Saniyede tasarım tahliye boşluğu son kat döşeme ve atrium zemin kat seviyesinde, simülasyon sonunda ise alev bulutu atrium dış duvarına doğru yönelerek birinci kat tavan seviyesine ulaşmıştır. Alev ve hava akım hızları 3 m/s' ye tasarım tahliye boşluğunda 100. saniyede ulaşmış, atrium boşluğunda ise en yüksek 1,5 m/s olarak görülmüştür.

Çizelge 6.4. A3 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünüşleri



A3 senaryosu için simülasyon süresi boyunca ısı çiftlerinden en yüksek sıcaklık yangın mahalinde 213,65 °C, son kat odada ise 23,72 °C olarak ölçülmüştür. Tasarım tahliye boşluğunda en yüksek sıcaklık 196,75 °C iken, atrium boşluğunda en yüksek sıcaklık 40,32 °C seviyesine yükselmiştir (Şekil 6.3).

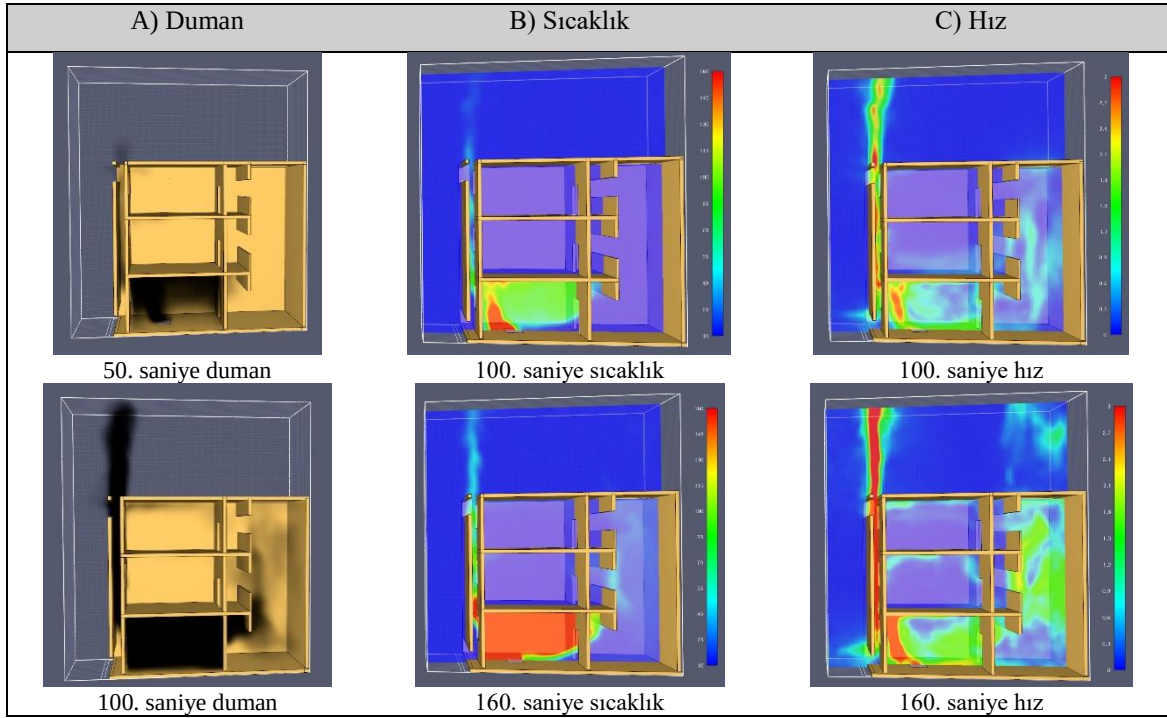


Şekil 6.3. A3 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler

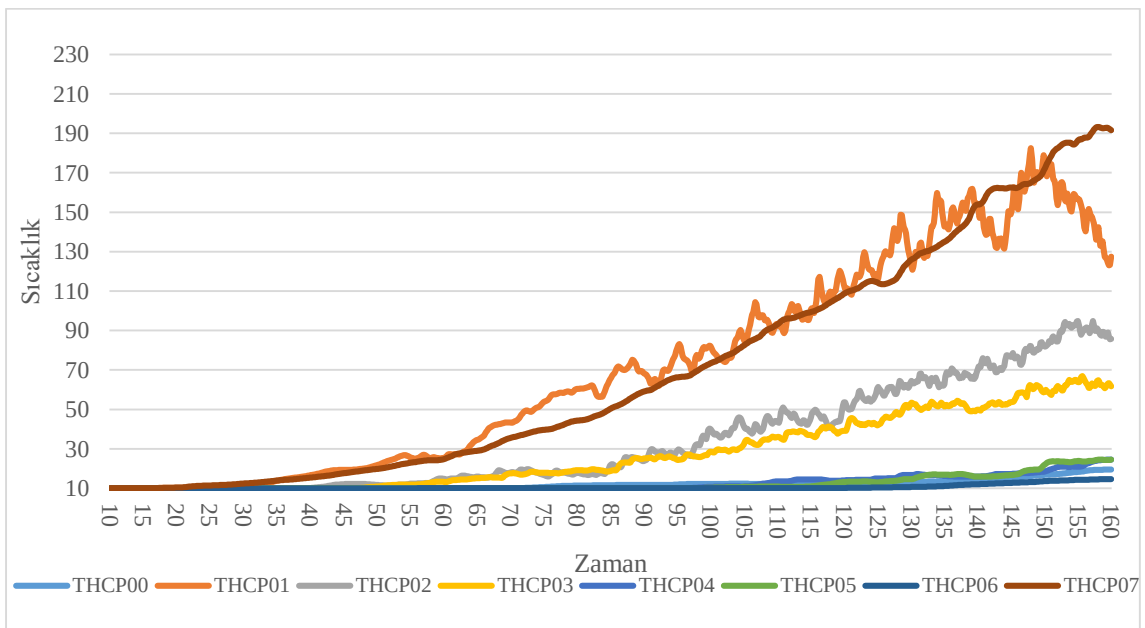
Senaryo A4

Tasarım tahliye boşluğu genişliği 50 cm, yüksekliği bina yüksekliği seviyesinde olan A4 senaryosuna ait duman, sıcaklık, alev ve hava akımı hız görünüşleri Çizelge 6.5’ te verilmektedir. Duman 50. saniyede üst hava çıkışından geçmişken, 100. saniye sonunda tüm boşluk boyunca dolup bina dışına çıkmıştır. Ayrıca duman 100. saniyede yangın mahali harici odalara geçmemiş, atriumda ise tavan seviyesine ulaşmışken, simülasyon sonunda yangın mahali hariç odalarda 2200 mm altına inmemiş, atrium tamamen duman ile kaplanmış. Alev bulutu 100. saniyede tasarım tahliye boşluğu üst hava çıkışından geçmiş, atrium alanında ise zemin kattaki duman perdesi yüzeyinde kalarak atrium boşluğuna geçmemiştir. Simülasyon sonunda alev bulutunun tasarım tahliye boşluğuna yönelimi devam etmiş ve atriuma geçiş düşük sıcaklıkta ve zemin seviyesinde kalmıştır. Alev ve hava akım hızları 3 m/s’ ye tasarım tahliye boşluğunda 100. saniyede ulaşmış, atrium boşluğunda ise en yüksek 1,5 m/s olarak görülmüştür.

Çizelge 6.5. A4 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümleri



A4 senaryosu için simülasyon süresi boyunca ısı çiftlerinden en yüksek sıcaklık yangın mahalinde $193,25^{\circ}\text{C}$, son kat odada ise $14,68^{\circ}\text{C}$ olarak ölçülmüştür. Tasarım tahliye boşluğunda en yüksek sıcaklık $182,57^{\circ}\text{C}$ iken, atrium boşluğunda en yüksek sıcaklık $24,52^{\circ}\text{C}$ seviyesine yükselmiştir (Şekil 6.4).

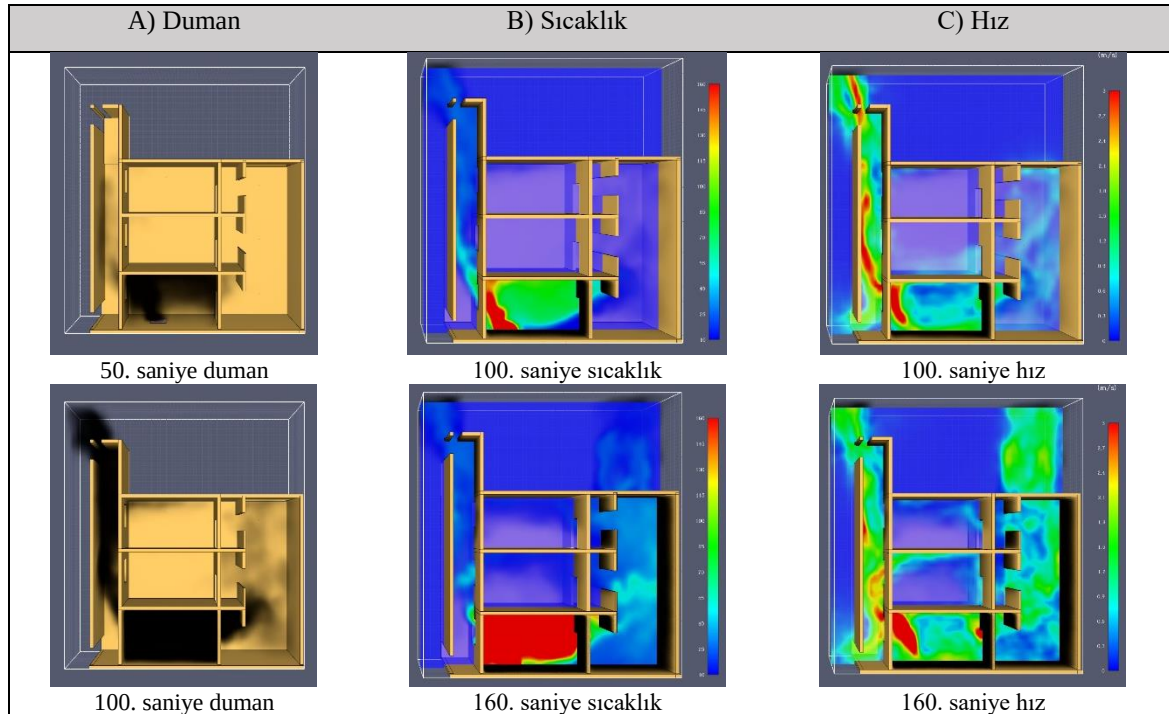


Şekil 6.4. A4 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler

Senaryo A5

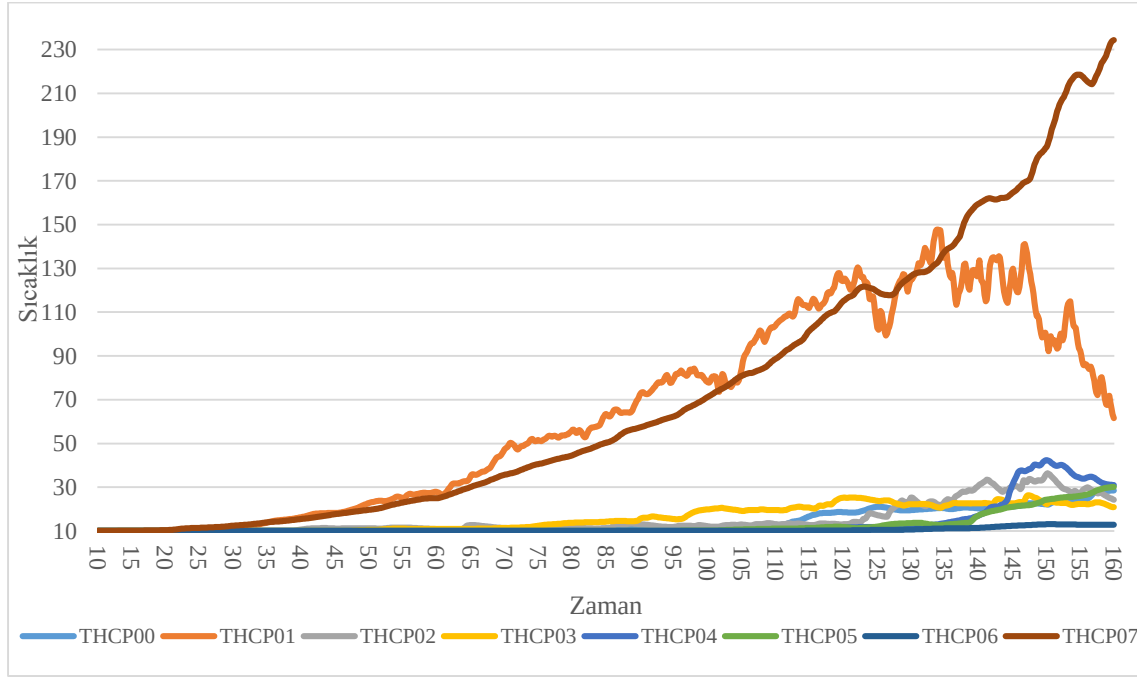
Tasarım tahliye boşluğu genişliği 150 cm, yüksekliği 1400 cm olan A5 senaryosuna ait duman, sıcaklık, alev ve hava akımı hız görünüşleri Çizelge 6.6' da verilmektedir. Duman 50. saniyede tasarım tahliye boşluğunda son kat pencere seviyesindeyken, 100. saniye sonunda tüm boşluk boyunca dolup bina dışına çıkmış ve atrium tavan seviyesine ulaşmıştır. Ayrıca duman 100. saniyede yangın mahali harici odalara geçmemiş, simülasyon sonunda tüm binada duman dolumu gerçekleşmiştir. Alev bulutu 100. Saniyede tasarım tahliye boşluğu son kat pencere seviyesinde, atrium alanında ise zemin kattaki duman perdesi yüzeyinde kalarak atrium boşluğuna geçmemiştir. Simülasyon sonunda alev bulutunun yöneliminin tasarım tahliye boşluğundan atrium boşluğuna düşük sıcaklıkta geçtiği görülmüştür. Alev ve hava akım hızları 100. saniyede tasarım tahliye boşluğunda 3 m/s' ye ulaşmış, simülasyon süresi sonunda ise tasarım tahliye boşluğunda genel olarak hız düşmüş, atrium boşluğunda ise en yüksek 1,5 m/s olarak görülmüştür.

Çizelge 6.6. A5 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünüşleri



A5 senaryosu için simülasyon süresi boyunca ısı çiftlerinden en yüksek sıcaklık yangın mahalinde 234,37 °C, son kat odada ise 13,08 °C olarak ölçülmüştür. Tasarım tahliye

boşluğunda en yüksek sıcaklık 147,79 °C iken, atrium boşluğunda en yüksek sıcaklık 42,37 °C seviyesine yükselmiştir (Şekil 6.5).

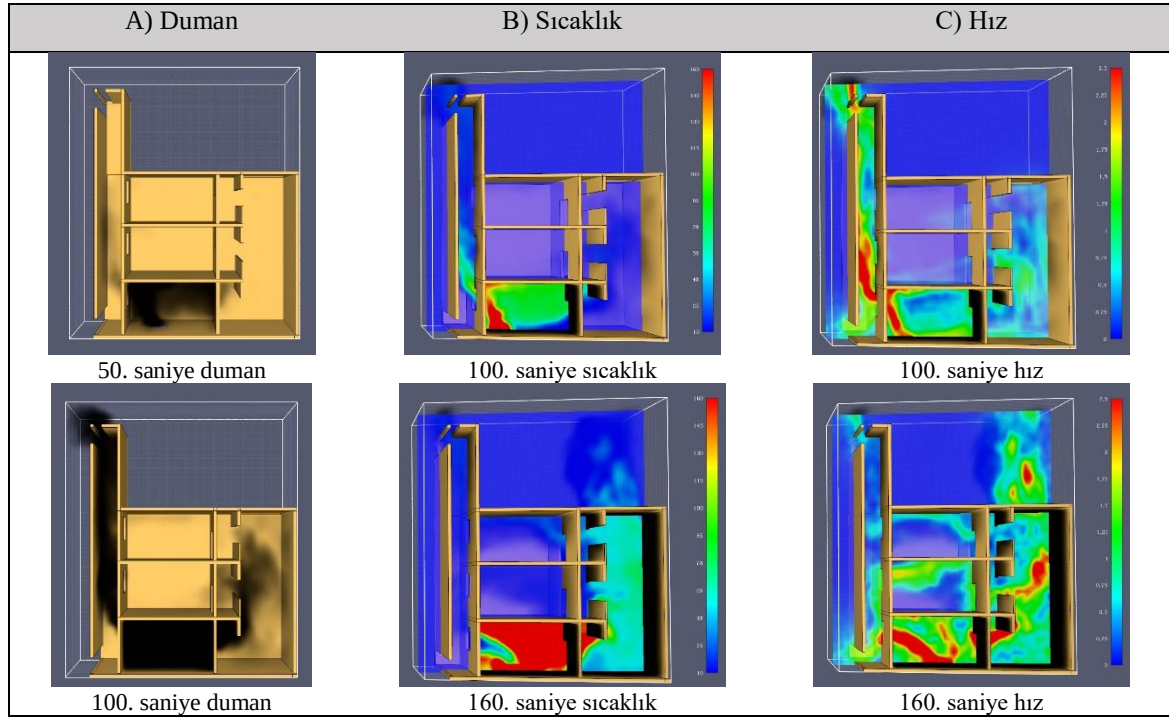


Şekil 6.5. A5 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler

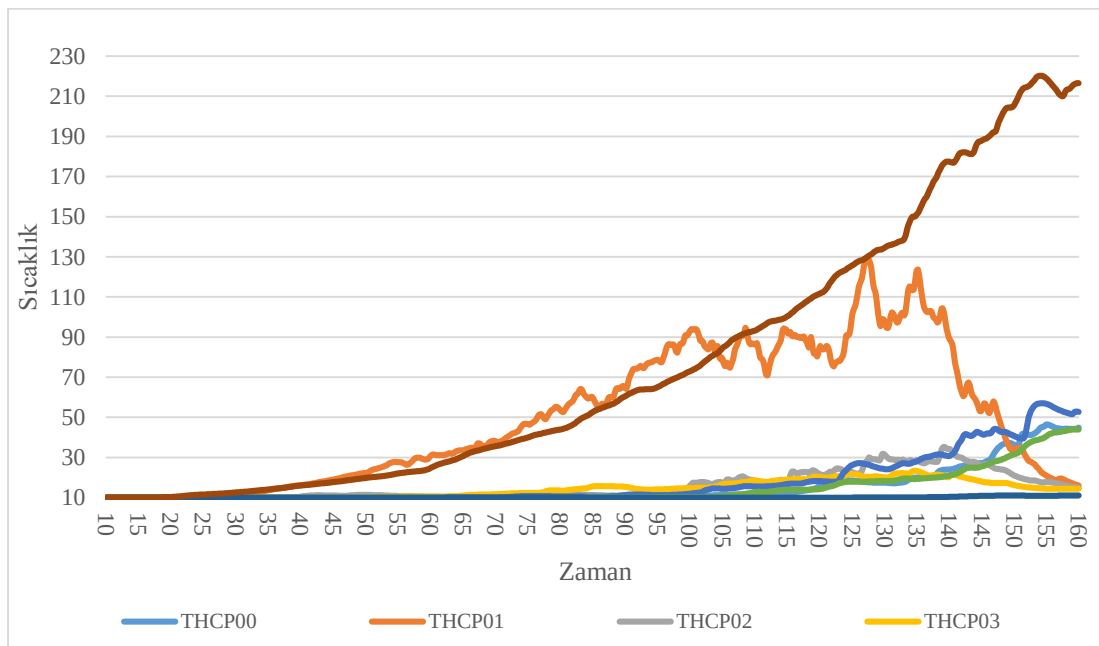
Senaryo A6

Tasarım tahliye boşluğu genişliği 150 cm, yüksekliği 1575 cm olan A6 senaryosuna ait duman, sıcaklık, alev ve hava akımı hız görünüşleri Çizelge 6.7’ de verilmektedir. Duman 50. saniyede tasarım tahliye boşluğunda son kat pencere seviyesindeyken, 100. saniye sonunda tüm boşluk boyunca dolup bina dışına çıkmış ve atrium tavan seviyesine yoğun olarak ulaşmıştır. Ayrıca duman 100. saniyede yangın mahali hariç diğer odalara geçmemiş, simülasyon sonunda tüm binada duman dolumu gerçekleşmiştir. Alev bulutu 100. Saniyede tasarım tahliye boşluğu birinci kat tavan seviyesindeyken, atrium alanında ise zemin kattaki duman perdesi yüzeyinde kalarak atrium boşluğuna geçmemiştir. Simülasyon sonunda alev bulutu tasarım tahliye boşluğunda geri çekilmiş ve atrium boşluğuna geçerek üst hava çıkışından bina dışına geçmiştir. Alev ve hava akım hızları 100. saniyede tasarım tahliye boşluğunda 2,5 m/s’ ye ulaşmışken, simülasyon süresi sonunda tasarım tahliye boşluğunda 1,5 m/s’ ye düşmüş, atrium boşluğunda ise hız yükselerek 2,5 m/s olarak görülmüştür.

Çizelge 6.7. A6 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri



A6 senaryosu için simülasyon süresi boyunca ısı çiftlerinden en yüksek sıcaklık yangın mahalinde 220,26 °C, son kat odada ise 11,13 °C olarak ölçülmüştür. Tasarım tahliye boşluğunda en yüksek sıcaklık 128,44 °C iken, atrium boşluğunda en yüksek sıcaklık 56,99 °C seviyesinde görülmüştür (Şekil 6.6).

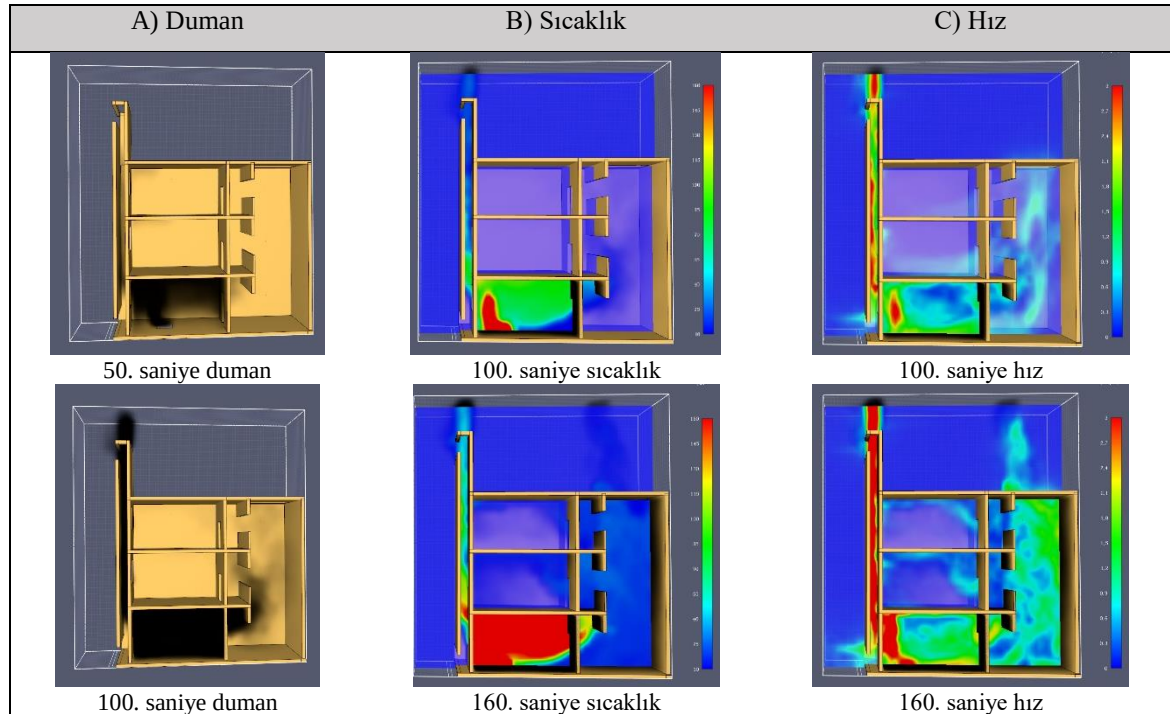


Şekil 6.6. A6 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler

Senaryo A7

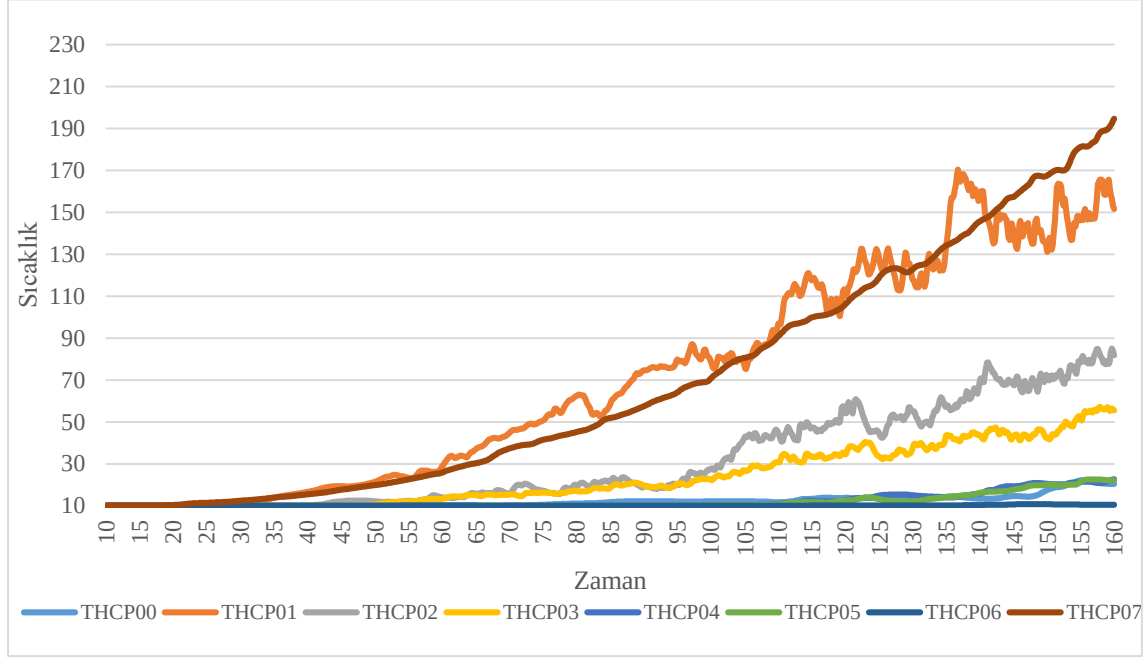
Tasarım tahliye boşluğu genişliği 50 cm, yüksekliği 1400 cm olan A7 senaryosuna ait duman, sıcaklık, alev ve hava akımı hız görünüşleri Çizelge 6.8’ de verilmektedir. Duman 50. saniyede tasarım tahliye boşluğunda son kat tavan seviyesindeyken, 100. saniye sonunda tüm boşluk boyunca dolup bina dışına çıkmış ve atrium birinci kat seviyesinde yoğunlaşmıştır. Ayrıca duman 100. saniyede yangın mahali hariç diğer odalara geçmemiş, simülasyon sonunda yangın mahali hariç diğer odalarda 2200 mm altına inmemiş, atrium tamamen duman ile kaplanmıştır. Alev bulutu 100. Saniyede tasarım tahliye boşluğu son kat tavan seviyesindeyken, atrium alanında ise zemin kattaki duman perdesi yüzeyinde kalarak atrium boşluğuna geçmemiştir. Simülasyon sonunda alev bulutu tasarım tahliye boşluğundan bina dışın ulaşmış ve atrium boşluğuna geçmemiştir. Alev ve hava akım hızları 100. saniyede tasarım tahliye boşluğunda 3 m/s’ ye ulaşmışken, simülasyon süresi sonunda tasarım tahliye boşluğunda 3 m/s, atrium boşluğunda ise 1,5 m/s olarak görülmüştür.

Çizelge 6.8. A7 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünüşleri



A7 senaryosu için simülasyon süresi boyunca ısı çiftlerinden en yüksek sıcaklık yangın mahalinde 194,63 °C, son kat odada ise 10,82 °C olarak ölçülmüştür. Tasarım tahliye

boşluğunda en yüksek sıcaklık 170,33 °C iken, atrium boşluğunda en yüksek sıcaklık 22,65 °C seviyesinde görülmüştür (Şekil 6.7).

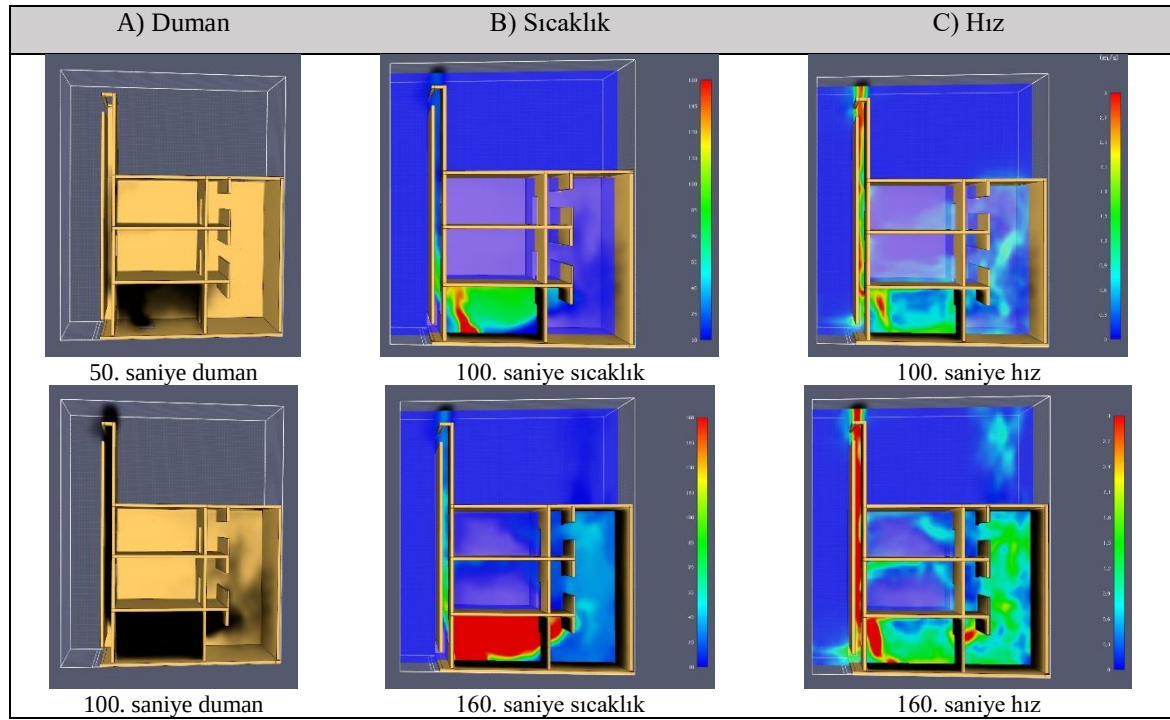


Şekil 6.7. A7 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler

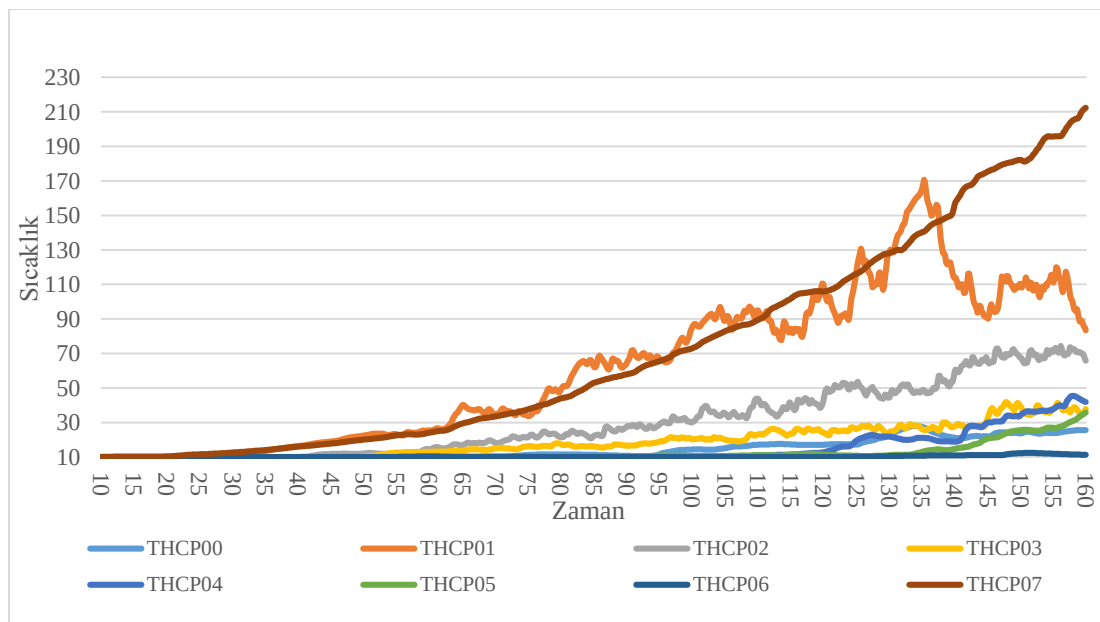
Senaryo A8

Tasarım tahliye boşluğu genişliği 50 cm, yüksekliği 1575 cm olan A8 senaryosuna ait duman, sıcaklık, alev ve hava akımı hız görünüşleri Çizelge 6.9’ da verilmektedir. Duman 50. saniyede tasarım tahliye boşluğunda son kat tavan seviyesindeyken, 100. saniye sonunda tüm boşluk boyunca dolup bina dışına çıkmış ve atrium son kat seviyesinde yoğunlaşmıştır. Ayrıca duman 100. saniyede yangın mahali hariç diğer odalara geçmemiş, simülasyon sonunda yangın mahali hariç diğer odalarda 2200 mm altına yalnızca kapı boşlukları çevresinde inmiş, atrium tamamen duman ile kaplanmıştır. Alev bulutu 100. Saniyede tasarım tahliye boşluğu birinci kat tavan seviyesindeyken, atrium alanında ise zemin kattaki duman perdesi yüzeyinde kalarak atrium boşluğuna geçmemiştir. Simülasyon sonunda alev bulutu tasarım tahliye boşluğundan bina dışın ulaşmış ve atrium boşluğuna düşük sıcaklıkta yayılmıştır. Alev ve hava akım hızları 100. saniyede tasarım tahliye boşluğunda 3 m/s’ ye ulaşmışken, simülasyon süresi sonunda tasarım tahliye boşluğunda 3 m/s, zemin kat holde 3 m/s, atrium boşluğunda ise 1,5 m/s olarak görülmüştür.

Çizelge 6.9. A8 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri



A8 senaryosu için simülasyon süresi boyunca ısı çiftlerinden en yüksek sıcaklık yangın mahalinde 212,35 °C, son kat odada ise 12,42 °C olarak ölçülmüştür. Tasarım tahliye boşluğunda en yüksek sıcaklık 170,67 °C iken, atrium boşluğunda en yüksek sıcaklık 45,52 °C seviyesinde görülmüştür (Şekil 6.8).

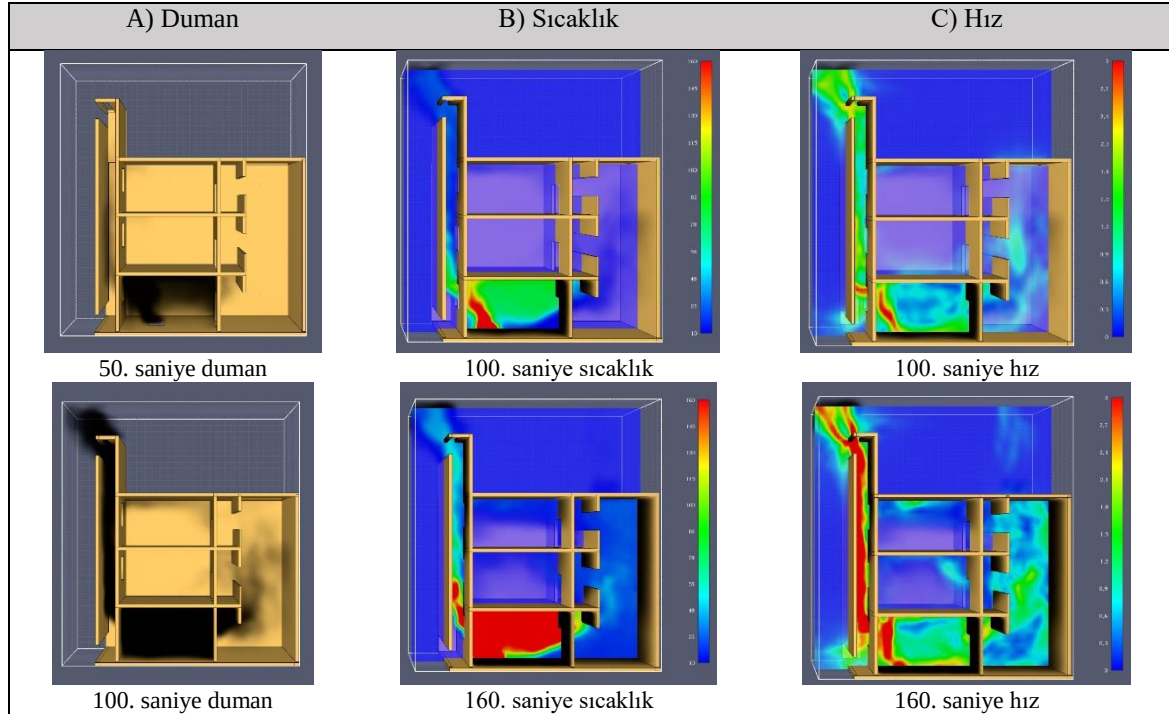


Şekil 6.8. A8 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler

Senaryo A9

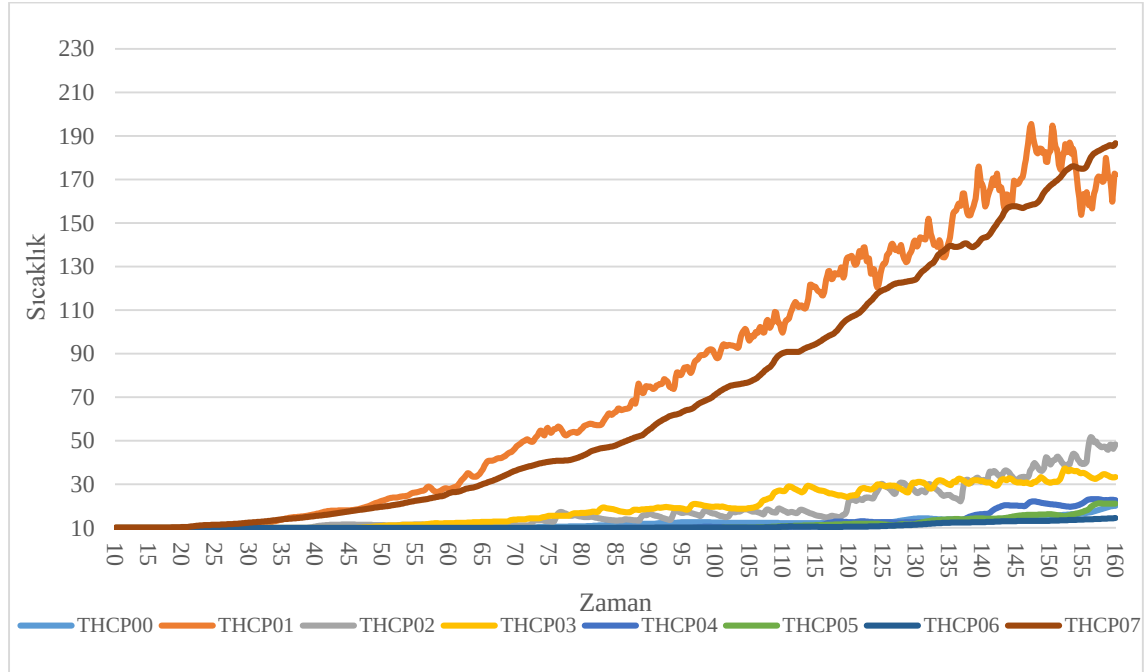
Tasarım tahliye boşluğu genişliği 100 cm, yüksekliği 1400 cm olan A9 senaryosuna ait duman, sıcaklık, alev ve hava akımı hız görünüşleri Çizelge 6.10’ da verilmektedir. Duman 50. saniyede tasarım tahliye boşluğunda son kat pencere seviyesindeyken, 100. saniye sonunda tüm boşluk boyunca dolup bina dışına çıkmış, atrium son kat seviyesine ulaşmış ve son kat odaya yayılmaya başlamıştır. Simülasyon sonunda birinci kat oda harç tüm bina duman ile kaplanmıştır. Alev bulutu 100. Saniyede tasarım tahliye boşluğu birinci kat tavan seviyesindeyken, atrium alanında ise zemin kattaki duman perdesi yüzeyinde kalmıştır. Simülasyon sonunda alev bulutu tasarım tahliye boşluğundan bina dışına düşük sıcaklıkta ulaşmış ve atrium boşluğu birinci kat seviyesine kadar düşük sıcaklıkta yayılmıştır. Alev ve hava akım hızları 100. saniyede tasarım tahliye boşluğunda ortalama 2 m/s, simülasyon sonunda ise 3 m/s’ ye ulaşmışken, atrium boşluğunda ise en yüksek 1,5 m/s olarak görülmüştür.

Çizelge 6.10. A9 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünüşleri



A9 senaryosu için simülasyon süresi boyunca ısı çiftlerinden en yüksek sıcaklık yangın mahalinde 186,73 °C, son kat odada ise 14,50 °C olarak ölçülmüştür. Tasarım tahliye

boşluğunda en yüksek sıcaklık 195,56 °C iken, atrium boşluğunda en yüksek sıcaklık 23,27 °C seviyesinde görülmüştür (Şekil 6.9).

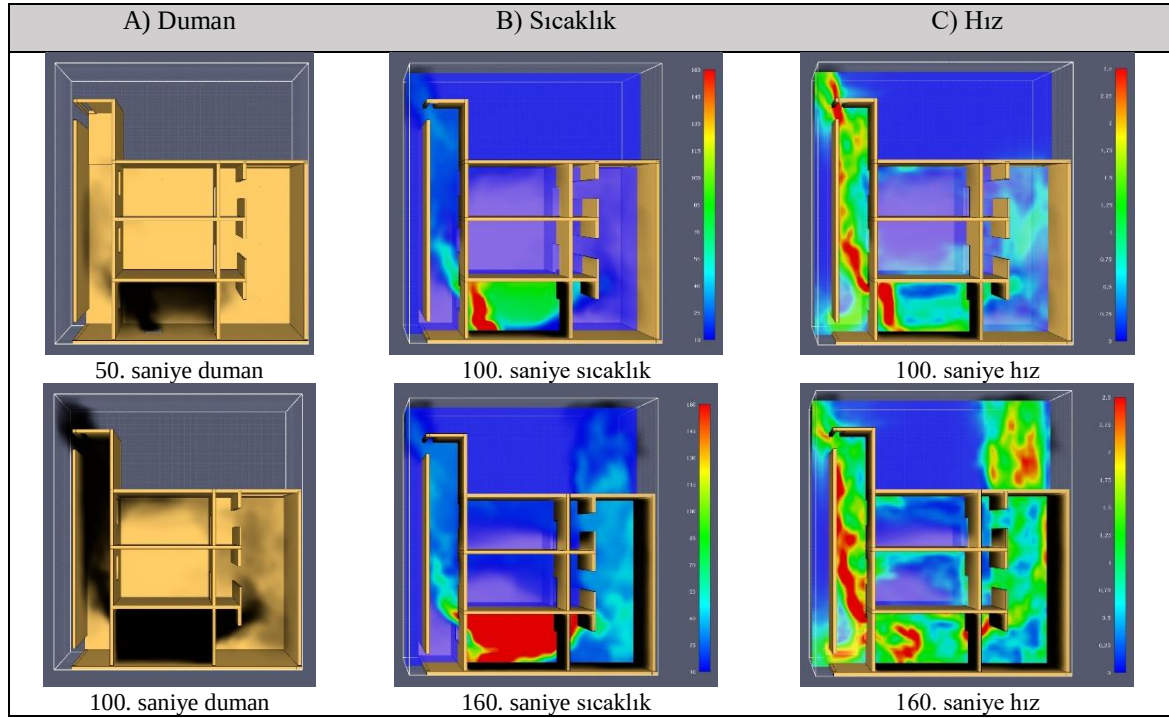


Şekil 6.9. A9 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler

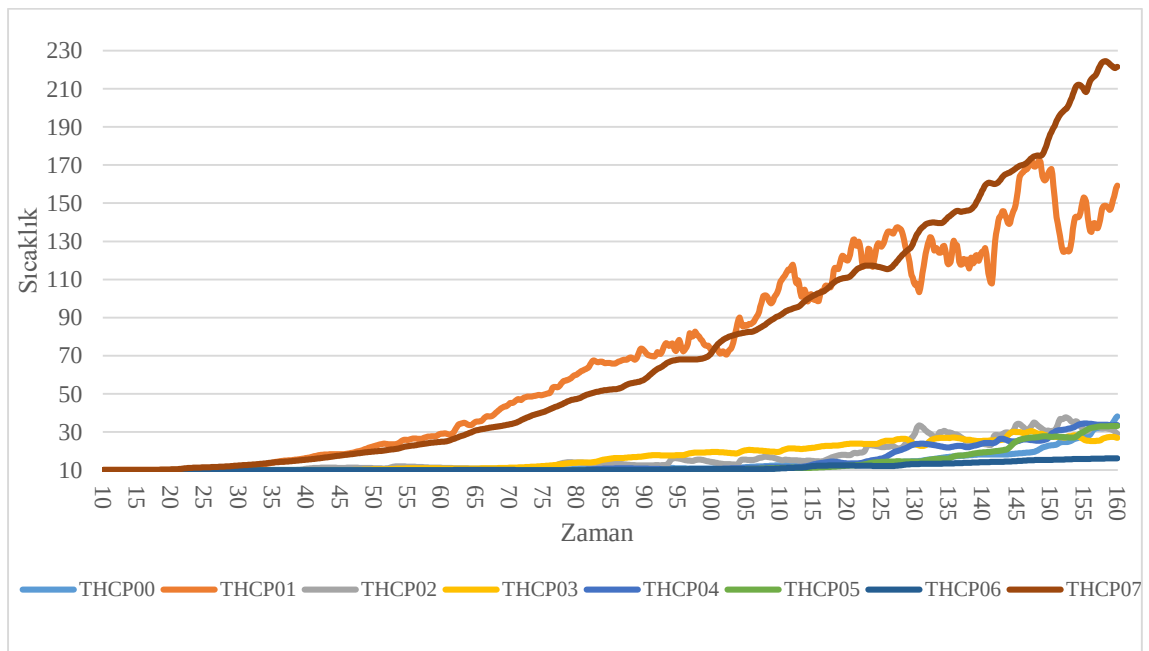
Senaryo A10

Tasarım tahliye boşluğu genişliği 200 cm, yüksekliği 1400 cm olan A10 senaryosuna ait duman, sıcaklık, alev ve hava akımı hız görünümleri Çizelge 6.11’ de verilmektedir. Duman 50. saniyede tasarım tahliye boşluğunda son kat pencere seviyesindeyken, 100. saniye sonunda tüm boşluk boyunca dolup bina dışına çıkmış, atrium tavan seviyesine ulaşmış ve son kat odaya yayılmıştır. Simülasyon sonunda tüm bina duman ile kaplanmıştır. Alev bulutu 100. Saniyede tasarım tahliye boşluğu birinci kat pencere seviyesindeyken, atrium alanında ise zemin kattaki duman perdesi yüzeyinde kalmıştır. Simülasyon sonunda alev bulutu bina dışına tasarım tahliye boşluğu ve atrium hava çıkışından düşük sıcaklıkta bina dışına geçmiştir. Alev ve hava akım hızları 100. saniyede tasarım tahliye boşluğunda ortalama 2,5 m/s olarak boşluk dış kabuğuna doğru yoğunlaşmışken, simülasyon sonunda tasarım tahliye boşluğu ve atrium boşluğunda benzer hareket ederek 2,5 m/s olarak görülmüştür.

Çizelge 6.11. A10 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri



A10 senaryosu için simülasyon süresi boyunca ısı çiftlerinden en yüksek sıcaklık yangın mahalinde $224,48^{\circ}\text{C}$, son kat odada ise $16,16^{\circ}\text{C}$ olarak ölçülmüştür. Tasarım tahliye boşluğunda en yüksek sıcaklık $172,72^{\circ}\text{C}$ iken, atrium boşluğunda en yüksek sıcaklık $38,23^{\circ}\text{C}$ seviyesinde görülmüştür (Şekil 6.10).



Şekil 6.10. A10 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler

A tasarım senaryolarına ait bulguların değerlendirilmesi

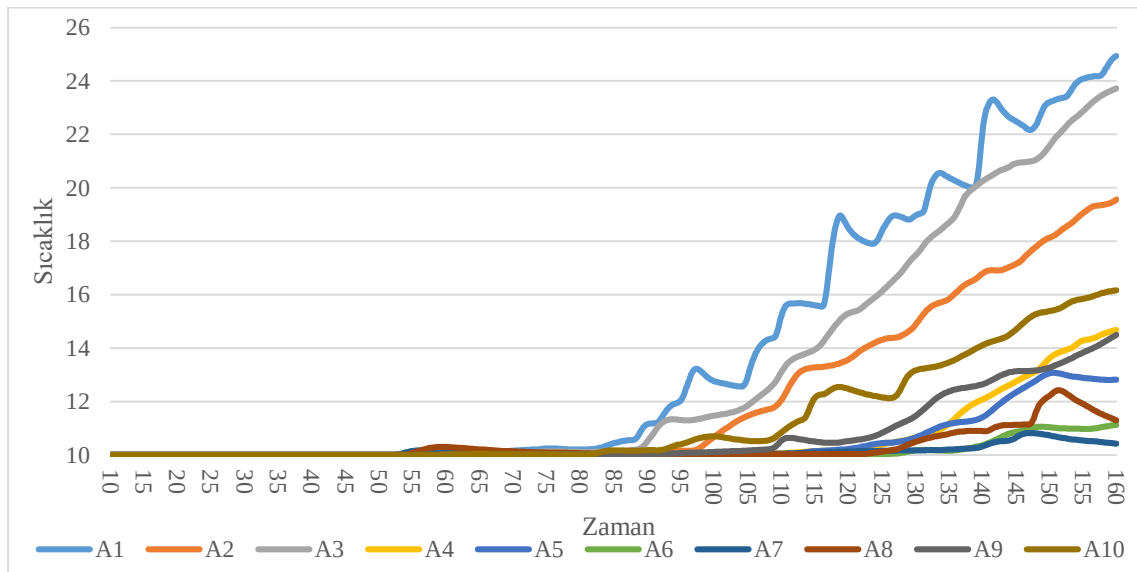
Tasarım tahliye boşluğuna ait genişlik ve yükseklik girdilerinin değiştirilerek sınındığı A senaryolarında duman katmanı seviyesi, sıcaklık, alev ve hava akım hızlarının analizi neticesinde boşluk genişliği azaldıkça duman katmanı ve alev bulutunun tasarım tahliye boşluğuna yöneliminin ve yoğunluğunun arttığı gözlemlenmiştir. Sıcaklık arttıkça baca etkisi ve bununla birlikte çekim gücünün artacağı için tasarım tahliye boşluğu ile atrium boşluğundaki sıcaklık oranları değerlendirildiğinde boşluk genişliği azaldıkça atriumdaki ölçülen sıcaklık değeri önemli ölçüde azalarak duman ve alevin tasarım tahliye boşluğuna yöneldiği ve atriumdaki baca etkinin azaldığı tespit edilmiştir. Boşluk genişliği arttıkça alev bulutu yangının ilk 100 saniyesinde tasarım tahliye boşluğuna daha sonra ise atrium boşluğuna yönelmiştir.

Tasarım tahliye boşluk genişliği azaldıkça dumanın atriuma ve odalara geçiş süresi uzamış olup, boşluk genişliği 200 cm olan A1 senaryosunda duman son kat odaya 60. saniye itibariyle geçmişken, boşluk genişliği 50 cm olan A4 senaryosunda duman son kat odaya 90. saniye itibariyle geçmiştir. Boşluk genişliği 200 cm ve 150 cm olan A1 ve A2 senaryolarında duman ve alev yayılımı benzer yayılım hareketi göstermişken, 100 cm ve daha düşük senaryolarda duman ve alev yayılımı değişmiştir. A1 ve A2 senaryolarında alev bulutu yangının başlarında tasarım tahliye boşluğuna, simülasyonun 100. saniyesi itibariyle ise atrium boşluğuna yönelmiştir. Tasarım tahliye boşluk genişliği 100 cm olan A3 senaryosu itibariyle alev bulutunun simülasyon süresince atrium boşluğuna yönelimi azalmış, alev bulutu A4 senaryosunda ise atriumda zemin kat duman perdesi etrafında kalmıştır. Ayrıca A1 ve A2 senaryolarında tasarım tahliye boşluğunda ulaşılan en yüksek hız 2,5 m/s, A3 ve A4 senaryolarında ise 3 m/s olarak ölçülmüştür. Bu durumda boşluk genişliği azaldıkça duman ve alevin atrium ve odalara yayılımının azalması ve boşluktaki hızın artması sebebiyle parametrik analiz doğrultusunda diğer değişkenlerin analiz edildiği senaryolarda boşluk genişliği 50 cm olarak belirlenmiştir.

Tasarım tahliye boşluğunda baca etkisi artırılarak duman ve alevin boşluğa yayılım seviyesini ve hızını artırmak amacıyla boşluk yüksekliğinin değişken olarak belirlendiği senaryolarda, yüksekliğin bir kattan fazla artırılması durumunda duman ve alevin atriuma geçiş süresi kısalmış ve atriumda duman ve alev seviyesi yükselmiştir. Tasarım tahliye boşluğu yüksekliğinin bir kat artırıldığı senaryolarda bina yüksekliği seviyesindeki benzer

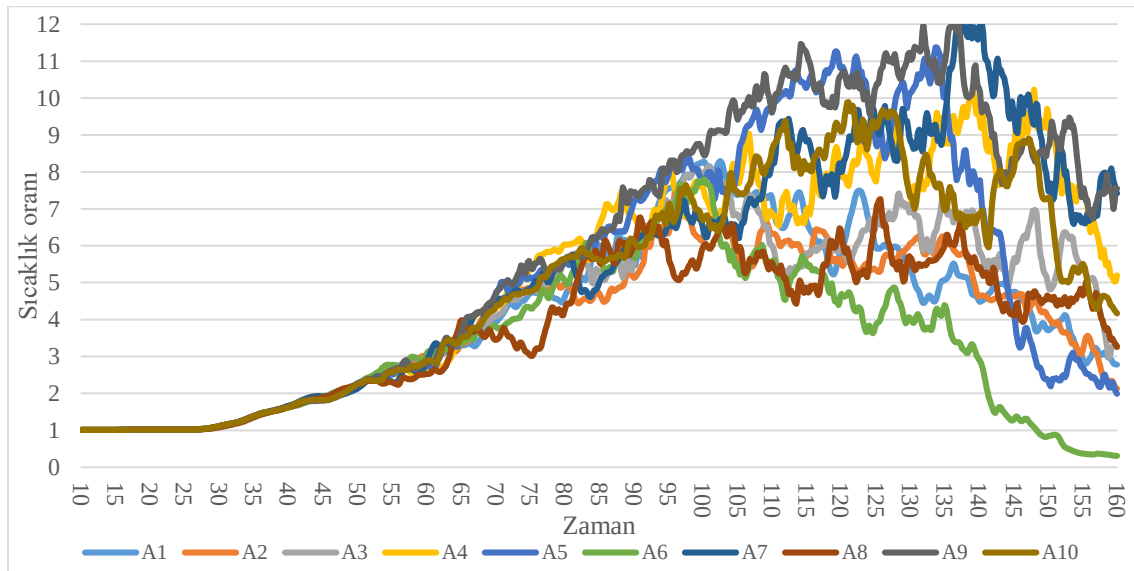
senaryolara göre duman ve alevin atrium ve odalara geçiş süresi uzamıştır. Boşluk yüksekliğinin bir kat seviyesinde artırılmasının baca etkisi için en uygun tasarıma sahip olduğu ve yüksekliğin daha fazla artırılmasının baca etkisine olumsuz etki oluşturduğu tespit edilmiştir. Tasarım tahliye boşluğu genişliğinin 50 cm, yüksekliğinin bina yüksekliğinden 350 cm fazla olduğu A7 senaryosunda dumanın son kat odaya 130. saniyeden sonra geçmesi, atriuma yayılım süresinin uzaması ve alev bulutunun atriuma doğru hareket etmemesi sebebiyle en uygun parametreye sahip tasarım olarak belirlenmiştir.

Son kat odada ve kaçış alanı olan atrium zemin kat seviyesinde sıcaklık seviyesi bütün senaryolarda performans kriteri olarak belirlenen 60 °C' nin altında ölçülmüş olup, tasarım tahliye boşluğu genişliklerinin değişken olarak belirlendiği senaryolarda son kat odadaki ısı çiftte ölçülen sıcaklık değerlerine göre boşluk genişliği ile son kat odadaki sıcaklık arasında pozitif veya negatif korelasyon bulunmamakla birlikte A4 senaryosunda sıcaklık, 14,68 °C ile A1, A2 ve A3 senaryosuna göre en düşük seviyede ölçülmüştür. Boşluk yüksekliğinin bir kat artırıldığı senaryolarda ise boşluk yüksekliğinin bina yüksekliği seviyesinde olduğu benzer senaryolara göre ters korelasyona sahip olarak yüksekliği fazla olan senaryolarda sıcaklık seviyesinin düştüğü görülmüştür. Duman ve alev bulutunun atrium ve odalara yayılımı en az seviyede olan A7 senaryosunda son kat oda sıcaklığı 10,82 °C ile A senaryoları içerisinde en düşük seviyede olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6.11). Bulgular neticesinde sonraki tasarım senaryoları için parametrik analize uygun olarak A7 senaryosu kabul edilmiş ve boşluk genişliği 50 cm, boşluk yüksekliği 1400 cm olarak girdi alınmıştır.



Şekil 6.11. A senaryolarında son kat odalardaki ısı çiftlerinden ölçülen sıcaklık değerleri

Yangın güvenliği bağlamında uygun tasarım prensiplerinden diğeri ise tasarım tahliye boşluğunda sıcaklık arttıkça basıncın artması sebebiyle duman ve alevin boşluğa geçişi ve tasarım tahliye boşluğunda artmasıdır. Bu doğrultuda atriumda sıcaklık seviyesinin düşük, tasarım tahliye boşluğunda yüksek olduğu senaryolar baca etkisi için en uygun boşluk parametrelerini göstermesi nedeniyle tasarım tahliye boşluğu ile atrium sıcaklıkları arasındaki oransal değerler incelenmiştir (Şekil 6.12). Tasarım tahliye boşluğundaki sıcaklığın atriumdaki sıcaklığa oranı yaklaşık 12 olan tasarım tahliye boşluk yüksekliği 1400 cm, genişliği 50 cm ve 100 cm boyutlarındaki A7 ve A9 senaryolarının en yüksek orana sahip tasarımlar olduğu görülmüştür. A7 ve A9 senaryolarında boşluktaki baca etkisi diğer A senaryolarına göre daha etkin çekim gücü göstermiştir.



Şekil 6.12. A senaryolarında tasarım tahliye boşluğu ile atrium sıcaklık oranları

Tasarım tahliye boşluğu genişliği ve yüksekliği değerleri ile belirlenen değişkenlerle tasarlanan senaryolarda dumanın odalara ve atriuma yayılımının sınırlandırılması ve alev ile sıcaklığın beklenen performans kriterlerinin altında kalması sağlanmış, ancak A senaryolarının tamamında simülasyon sonunda atriumda duman dolumu gerçekleşmiş ve odalara farklı oranlarda duman yayılımı meydana gelmiştir. Bu durumda dumanın tasarım tahliye boşluğu yoluyla binanın diğer alanlarına yayılmasının önüne geçilmesi amacıyla tasarım tahliye boşluğu ile ilişkili hava giriş çıkışlarının ve havalandırma boşluklarının analizi yapılmıştır.

6.2. Senaryo B

Prototip binada duman tahliyesinin hedeflendiği tasarım tahliye boşluğuna açılan hava giriş ve çıkışları için uygun boyutların belirlenmesi amacıyla oluşturulan senaryolar Çizelge 6.12’ de verilmektedir.

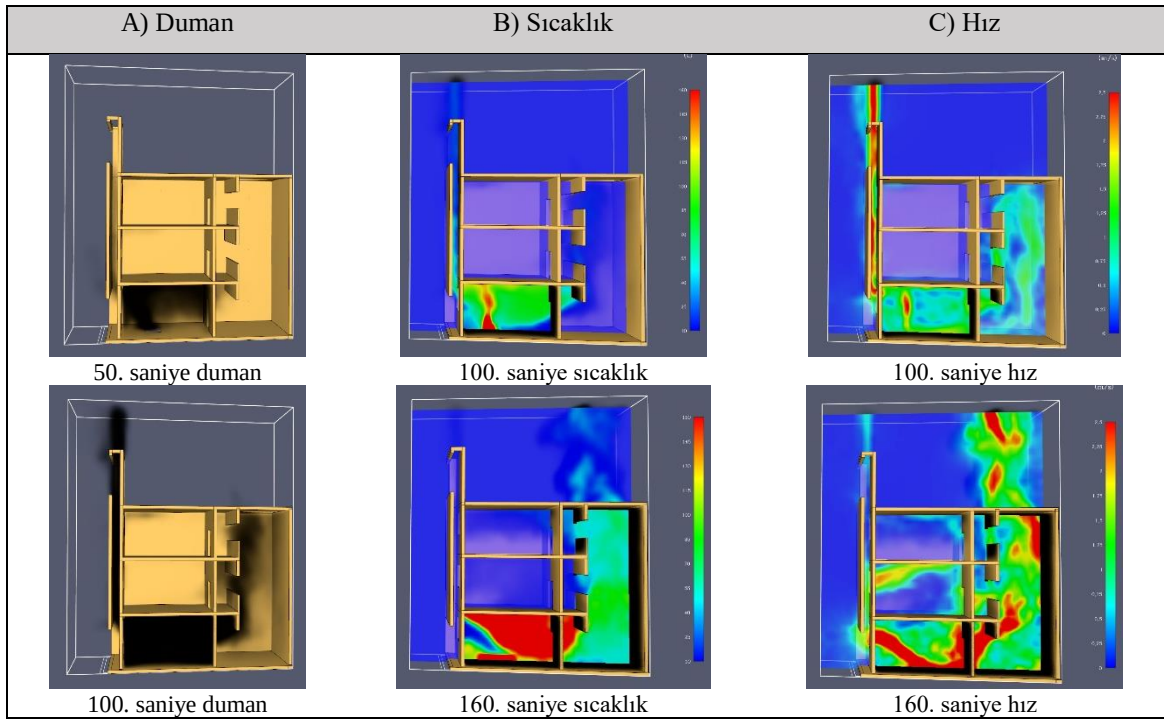
Çizelge 6.12. Hava giriş ve çıkışları boyutlarının analiz edildiği B senaryoları (cm)

Senaryo	Boşluk genişliği	Boşluk yüksekliği	Hava giriş çıkış genişliği	Hava giriş çıkış yüksekliği	Pencere genişliği	Pencere yüksekliği
B1	50	1400	360	250	100	150
B2	50	1400	360	200	100	150
B3	50	1400	360	150	100	150
B4	50	1400	360	50	100	150
B5	50	1400	250	50	100	150
B6	50	1400	200	50	100	150
B7	50	1400	150	50	100	150
B8	50	1400	100	50	100	150
B9	50	1400	50	50	100	150

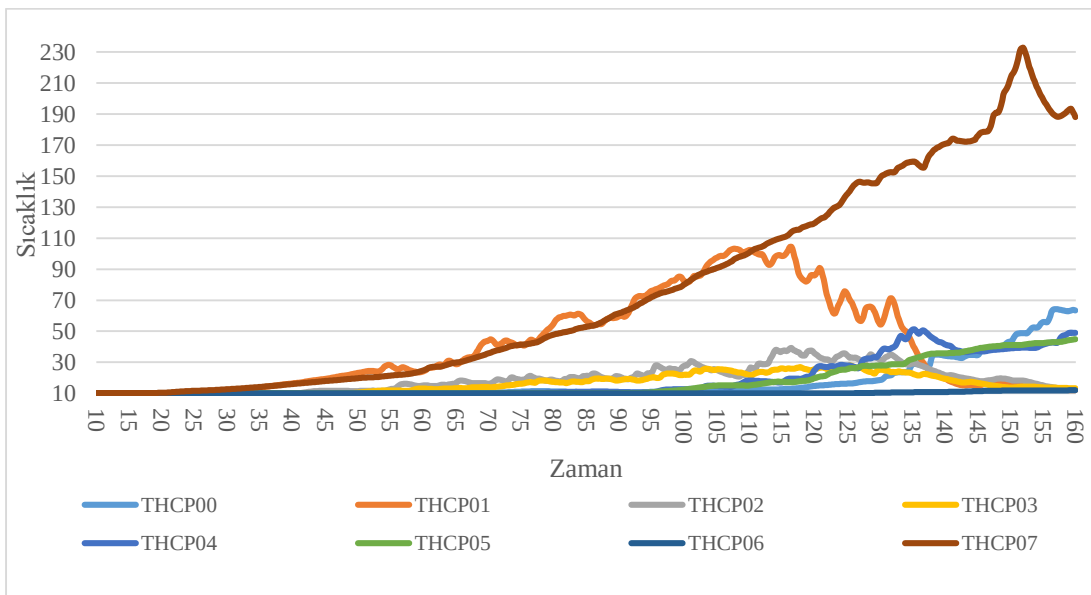
Senaryo B1

Tasarım tahliye boşluğu hava giriş çıkış yüksekliği 250 cm genişliği 360 cm olan B1 senaryosuna ait duman, sıcaklık, alev ve hava akımı hız görünümleri Çizelge 6.13’ te verilmektedir. Duman 50. saniyede tasarım tahliye boşluğunda son kat tavan seviyesindeyken, 100. saniye sonunda hem tasarım tahliye boşluğu hava çıkışı hem de atrium üst hava çıkışından bina dışına ulaşmıştır. Simülasyon sonunda ise duman tasarım tahliye boşluğunda azalmış, atrium boşluğu tamamen duman ile kaplanmıştır. Alev bulutu 100. saniyede tasarım tahliye boşluğu son kat pencere seviyesindeyken, atrium alanında ise zemin kattaki duman perdesi yüzeyinde kalmıştır. Simülasyon sonunda tasarım tahliye boşluğunda alev bulutu bulunmazken, atrium boşluğu üst hava çıkışına ulaşarak bina dışına geçmiştir. Alev ve hava akım hızları 100. saniyede tasarım tahliye boşluğunda ortalama 2,5 m/s, atrium boşluğunda 1,25 m/s’ ye ulaşmışken, simülasyon sonunda tasarım tahliye boşluğunda hız azalmış, atrium boşluğunda 2,5 m/s’ ye kadar yükselmiştir.

Çizelge 6.13. B1 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümleri



B1 senaryosu için simülasyon süresi boyunca ısı çiftlerinden en yüksek sıcaklık yangın mahalinde $232,77^{\circ}\text{C}$, son kat odada ise $12,00^{\circ}\text{C}$ olarak ölçülmüştür. Tasarım tahliye boşluğunda en yüksek sıcaklık $104,48^{\circ}\text{C}$ iken, atrium boşluğunda en yüksek sıcaklık $64,17^{\circ}\text{C}$ seviyesinde görülmüştür (Şekil 6.13).

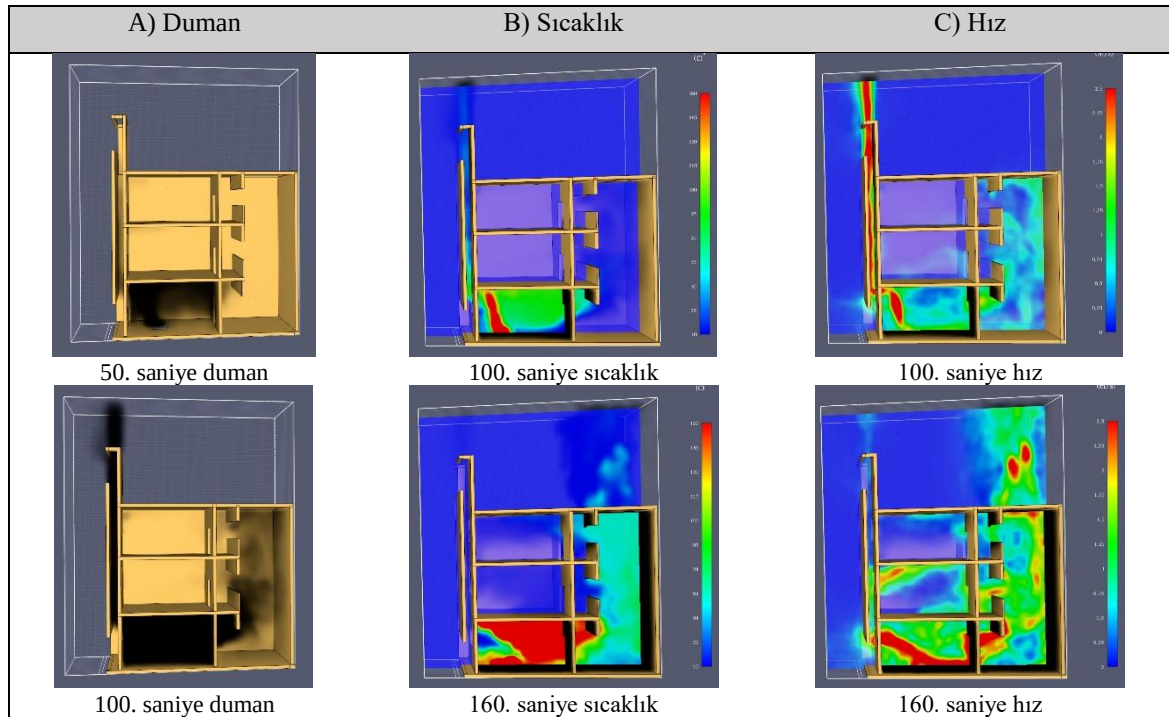


Şekil 6.13. B1 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler

Senaryo B2

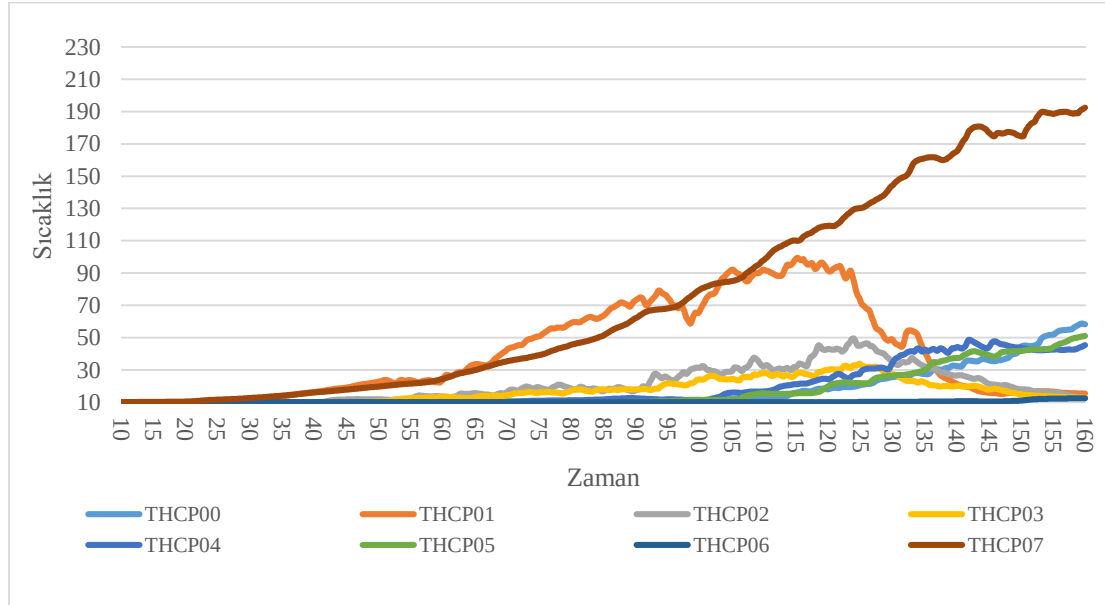
Tasarım tahliye boşluğu hava giriş çıkış yüksekliği 200 cm genişliği 360 cm olan B2 senaryosuna ait duman, sıcaklık, alev ve hava akımı hız görünüşleri Çizelge 6.14' te verilmektedir. Duman 50. saniyede tasarım tahliye boşluğunda son kat tavan seviyesindeyken, 100. saniye sonunda tasarım tahliye boşluğu hava çıkışından bina dışına geçmiş, atriumda ise tavan seviyesine ulaşmıştır. Simülasyon sonunda atrium tamamen dumanla kaplanarak duman atrium hava çıkışından bina dışına çıkmışken, tasarım tahliye boşluğunda duman yoğunluğu azalmıştır. Alev bulutu 100. saniyede tasarım tahliye boşluğu son kat seviyesindeyken, atrium alanında ise zemin kattaki duman perdesi yüzeyinde kalmıştır. Simülasyon sonunda tasarım tahliye boşluğunda alev bulutu bulunmazken, atrium boşluğu üst hava çıkışına ulaşarak bina dışına geçmiştir. Alev ve hava akım hızları 100. saniyede tasarım tahliye boşluğunda ortalama 2,5 m/s, atrium boşluğunda 1,25 m/s' ye ulaşmışken, simülasyon sonunda tasarım tahliye boşluğunda hız azalmış, birinci kat odada ve atrium boşluğunda 2,5 m/s' ye kadar yükselmiştir.

Çizelge 6.14. B2 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünüşleri



B2 senaryosu için simülasyon süresi boyunca ısı çiftlerinden en yüksek sıcaklık yangın mahalinde 192,53 °C, son kat odada ise 12,44 °C olarak ölçülmüştür. Tasarım tahliye

boşluğunda en yüksek sıcaklık 99,37 °C iken, atrium boşluğunda en yüksek sıcaklık 58,78 °C seviyesinde görülmüştür (Şekil 6.14).

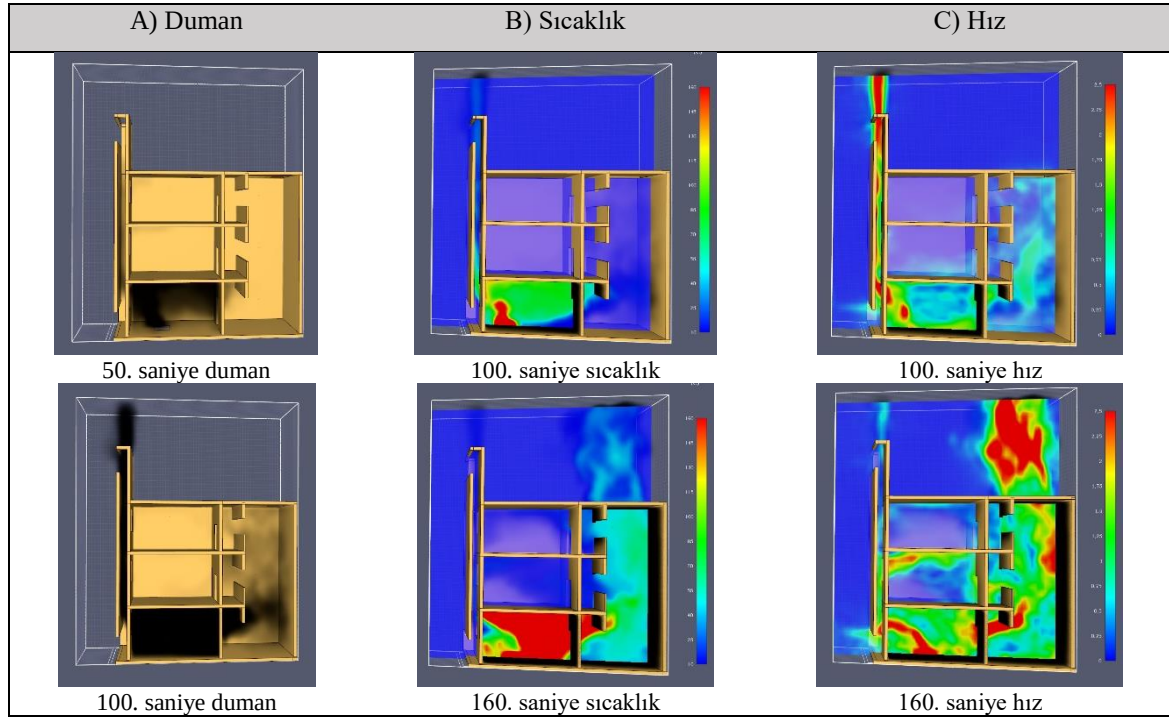


Şekil 6.14. B2 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler

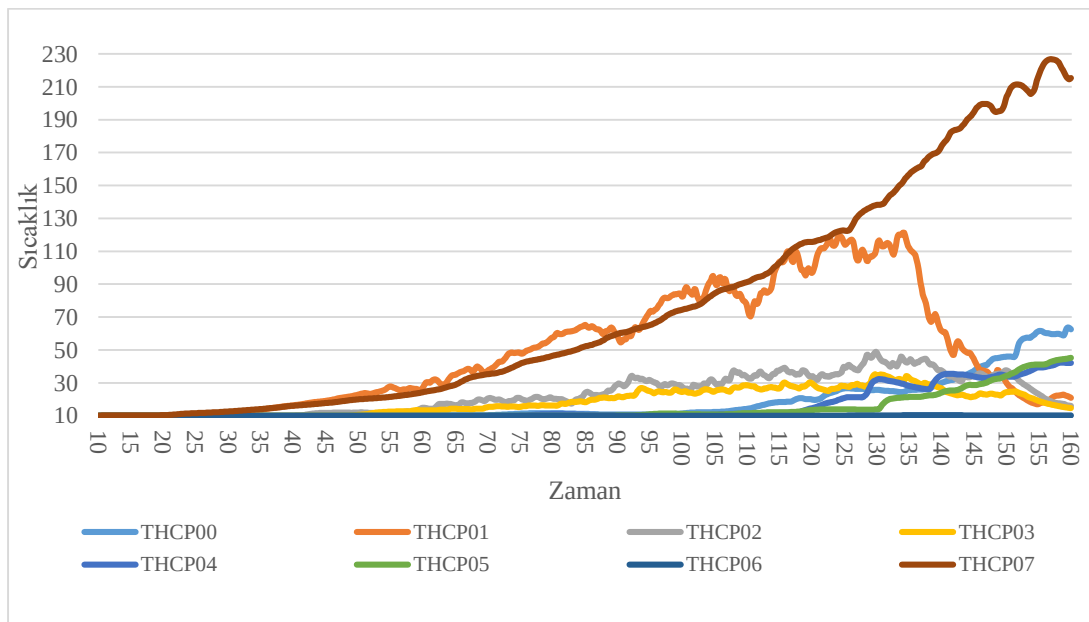
Senaryo B3

Tasarım tahliye boşluğu hava giriş çıkış yüksekliği 150 cm genişliği 360 cm olan B3 senaryosuna ait duman, sıcaklık, alev ve hava akımı hız görünüşleri Çizelge 6.15’ te verilmektedir. Duman 50. saniyede tasarım tahliye boşluğunda son kat tavan seviyesindeyken, 100. saniye sonunda tasarım tahliye boşluğu hava çıkışından bina dışına geçmiş, atriumda ise tavandaki hava çıkış seviyesine ulaşmıştır. Simülasyon sonunda atrium tamamen dumanla kaplanarak duman atrium hava çıkışından bina dışına çıkmışken, tasarım tahliye boşluğunda bina dışına tahliye devam etmiş, ancak duman yoğunluğu azalmıştır. Alev bulutu 100. Saniyede tasarım tahliye boşluğu son kat döşeme seviyesindeyken, atrium alanında zemin kattaki duman perdesi yüzeyinde kalmıştır. Simülasyon sonunda tasarım tahliye boşluğunda alev bulutu bulunmazken, atrium zemininden tavanına doğru sıcaklığı azalarak üst hava çıkışından bina dışına geçmiştir. Alev ve hava akım hızları 100. saniyede tasarım tahliye boşluğunda ortalama 2,5 m/s, atrium boşluğunda 1 m/s’ ye ulaşmışken, simülasyon sonunda tasarım tahliye boşluğun birinci kat seviyesinden yukarıda hız azalmış, birinci kat odada ve atrium boşluğunda 2,5 m/s’ ye kadar yükselmiştir.

Çizelge 6.15. B3 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümleri



B3 senaryosu için simülasyon süresi boyunca ısılı çiftlerden en yüksek sıcaklık yangın mahalinde 226,79 °C, son kat odada ise 10,36 °C olarak ölçülmüştür. Tasarım tahliye boşluğunda en yüksek sıcaklık 121,27 °C iken, atrium boşluğunda en yüksek sıcaklık 63,79 °C seviyesinde görülmüştür (Şekil 6.15).

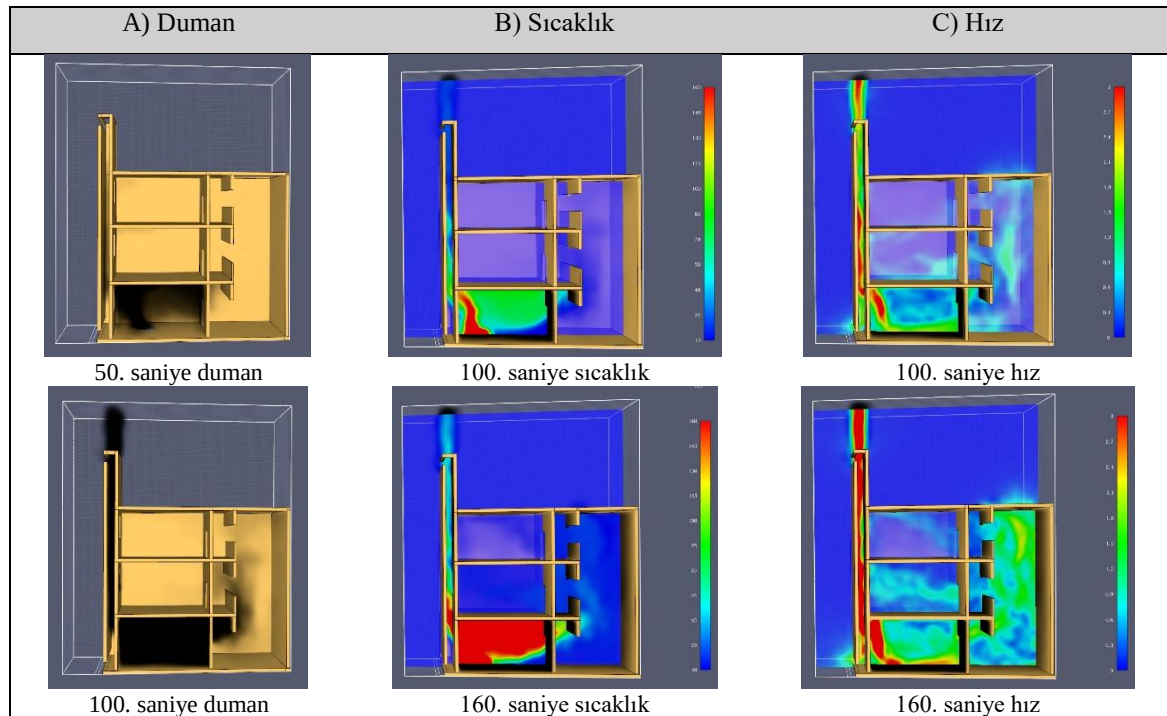


Şekil 6.15. B3 senaryosu ısılı çiftlerden ölçülen değerler

Senaryo B4

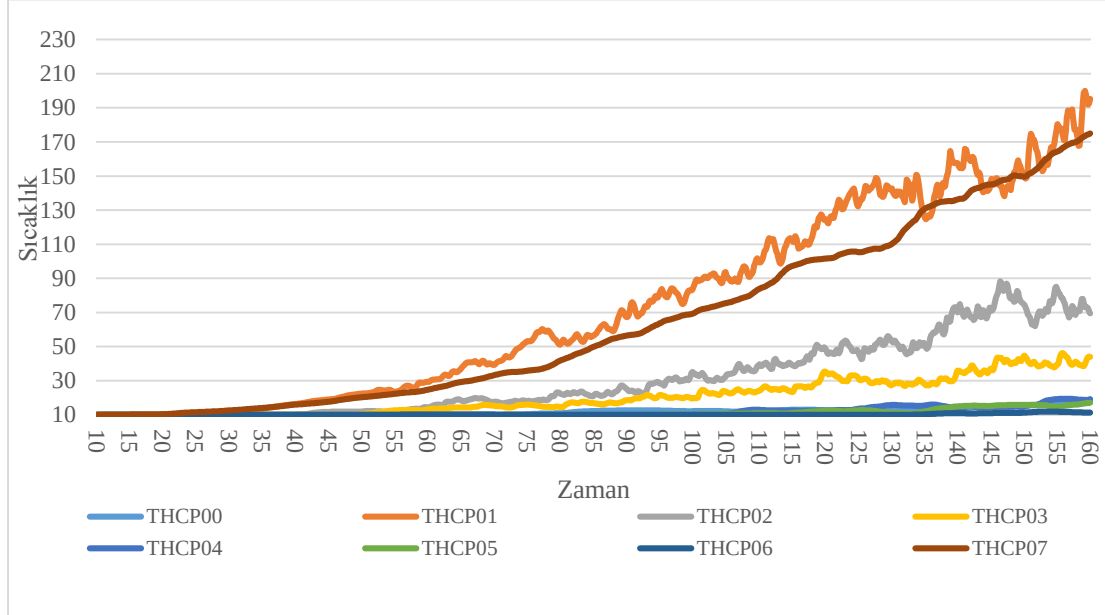
Tasarım tahliye boşluğu hava giriş çıkış yüksekliği 50 cm genişliği 360 cm olan B4 senaryosuna ait duman, sıcaklık, alev ve hava akımı hız görünümüleri Çizelge 6.16' da verilmektedir. Duman 50. saniyede tasarım tahliye boşluğunda son kat tavan seviyesini geçmişken, 100. saniye sonunda tasarım tahliye boşluğu hava çıkışından bina dışına geçmiş, atriumda ise birinci kat seviyesinde kalmıştır. Simülasyon sonunda atrium tamamen duman atrium hava çıkışına kadar gelmişken, yangın mahallihariç odalarda 2200 mm altında inmemiştir. Alev bulutu 100. saniyede tasarım tahliye boşluğu son kat pencere seviyesindeyken, atrium alanında zemin kattaki duman perdesi yüzeyinde kalmıştır. Simülasyon sonunda tasarım tahliye boşluğunda alev bulutu yoğunluğu devam ederek bina dışına çıkmışken, atrium duman perdesi yüzeyinde kalmıştır. Alev ve hava akım hızları 100. saniyede tasarım tahliye boşluğunda ortalama 3 m/s, simülasyon sonunda tasarım tahliye boşluğunun tamamında 3 m/s, atrium boşluğunda 1,5 m/s' ye kadar yükselmiştir.

Çizelge 6.16. B4 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri



B4 senaryosu için simülasyon süresi boyunca ısı çiftlerinden en yüksek sıcaklık yangın mahallinde 175,01 °C, son kat odada ise 11,93 °C olarak ölçülmüştür. Tasarım tahliye

boşluğunda en yüksek sıcaklık 199,91 °C iken, atrium boşluğunda en yüksek sıcaklık 19,46 °C seviyesinde görülmüştür (Şekil 6.16).

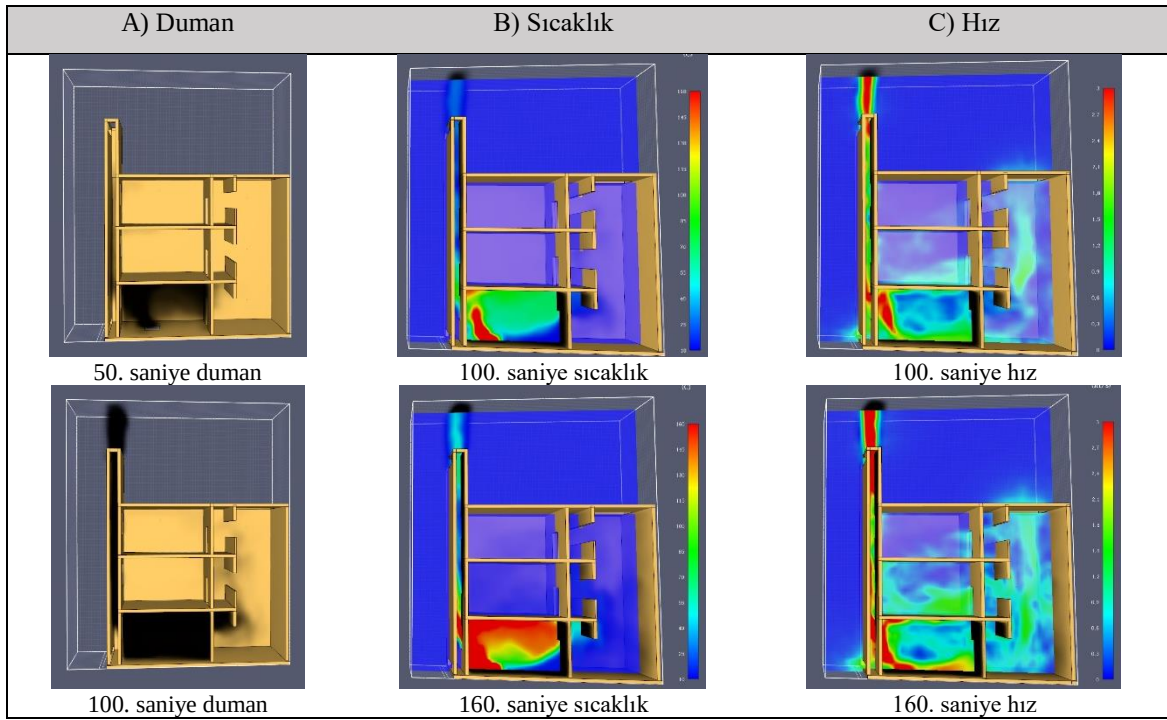


Şekil 6.16. B4 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler

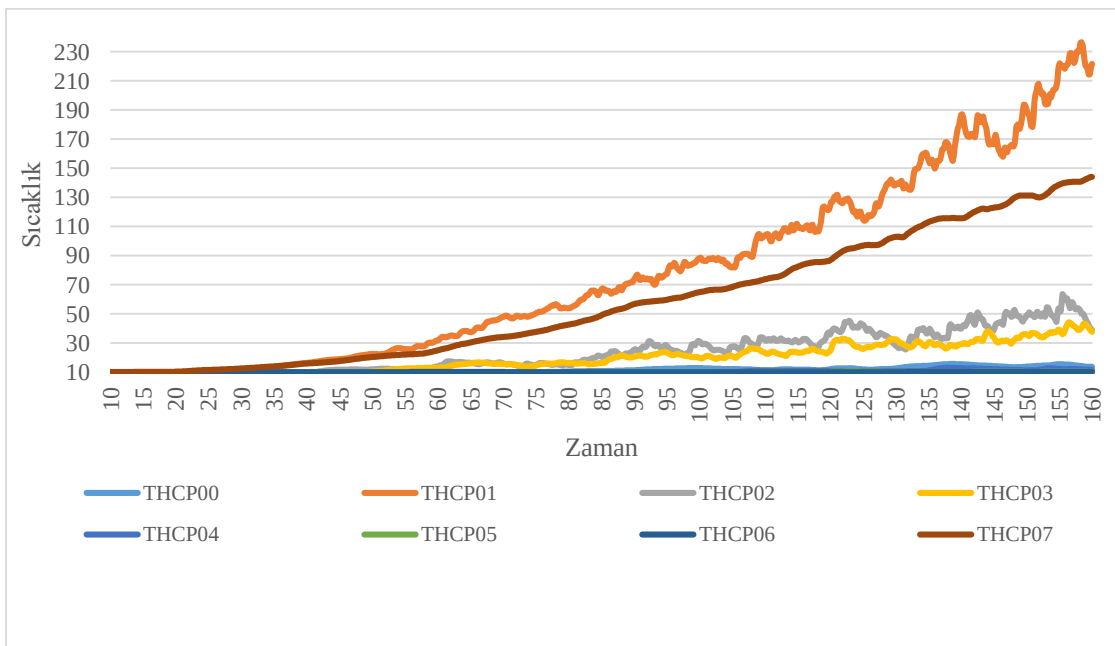
Senaryo B5

Tasarım tahliye boşluğu hava giriş çıkış yüksekliği 50 cm genişliği 250 cm olan B5 senaryosuna ait duman, sıcaklık, alev ve hava akımı hız görünümüleri Çizelge 6.17’ de verilmektedir. Duman 50. saniyede tasarım tahliye boşluğunda son kat tavan seviyesindeyken, 100. saniye sonunda tasarım tahliye boşluğu hava çıkışından bina dışına geçmiş, atriumda ise birinci kat seviyesine gelmiştir. Simülasyon sonunda duman atriumda tavan seviyesine gelmiş ve atriumdan hol aracılığıyla birinci kat odaya geçmiş ve son kat odaya geçişi olmamıştır. Alev bulutu 100. saniyede tasarım tahliye boşluğu birinci kat pencere seviyesinde olup, atriuma alev bulutunun geçişi olmamıştır. Simülasyon sonunda alev bulutu tasarım tahliye boşluğunda birinci kat tavan seviyesine kadar yüksek sıcaklıkta olmak üzere bina dışına çıkmışken, atrium duman perdesi yüzeyinde kalmıştır. Alev ve hava akım hızları 100. saniyede tasarım tahliye boşluğunda ortalama 3 m/s, simülasyon sonunda tasarım tahliye boşluğunun tamamında 3 m/s, atrium boşluğunda 1,5 m/s’ ye kadar yükselmiştir.

Çizelge 6.17. B5 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri



B5 senaryosu için simülasyon süresi boyunca ısılı çiftlerden en yüksek sıcaklık yangın mahalinde 144,10 °C, son kat odada ise 10,30 °C olarak ölçülmüştür. Tasarım tahliye boşluğunda en yüksek sıcaklık 236,53 °C iken, atrium boşluğunda en yüksek sıcaklık 15,69 °C seviyesinde görülmüştür (Şekil 6.17).

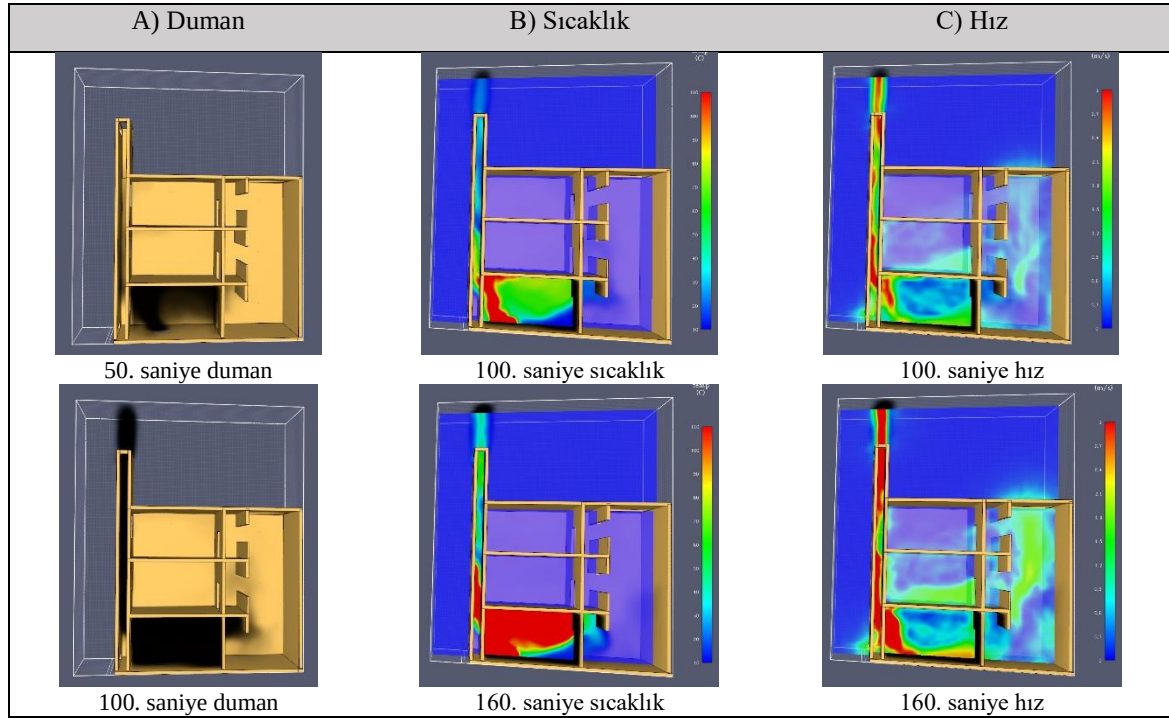


Şekil 6.17. B5 senaryosu ısılı çiftlerden ölçülen değerler

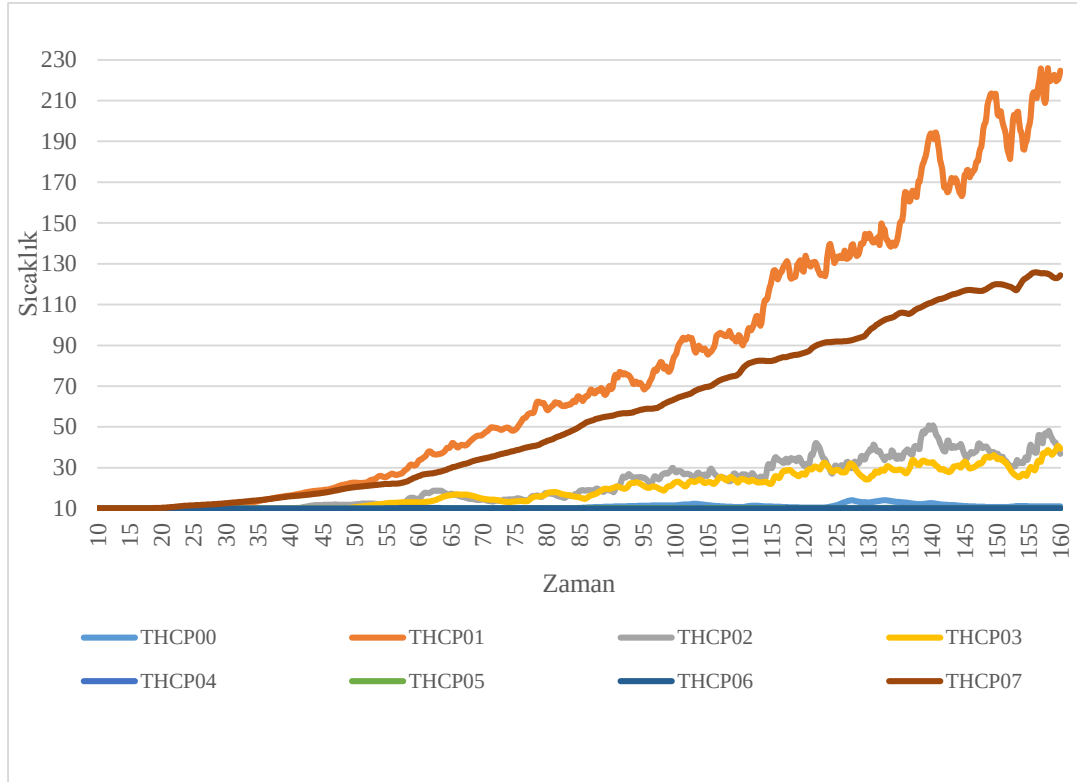
Senaryo B6

Tasarım tahliye boşluğu hava giriş çıkış yüksekliği 50 cm genişliği 200 cm olan B6 senaryosuna ait duman, sıcaklık, alev ve hava akımı hız görünümüleri Çizelge 6.18’ de verilmektedir. Duman 50. saniyede tasarım tahliye boşluğunda son kat tavan seviyesindeyken, 100. saniye sonunda tasarım tahliye boşluğu hava çıkışından bina dışına geçmiş, atriumda ise duman perdesi çevresinde yoğunlaşmış ve birinci kat seviyesine doğru yoğunluğu az olarak geçmiştir. Simülasyon sonunda duman atriumda duman perdesi çevresinde yoğun olarak kalmış ve üstlere ve odalara geçiş olmamıştır. Alev bulutu 100. saniyeden simülasyon sonuna kadar tasarım tahliye boşluğundan bina dışına geçişini sürdürmüş olup, atrium duman perdesi yüzeyinde kalmıştır. Alev ve hava akım hızları 100. Saniyeden itibaren tasarım tahliye boşluğundan 3 m/s’ye ulaşmış ve atriumda en fazla 1,2 m/s’ ye kadar yükselmiştir.

Çizelge 6.18. B6 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri



B6 senaryosu için simülasyon süresi boyunca ısı çiftlerinden en yüksek sıcaklık yangın mahalinde 125,86 °C, son kat odada ise 10,26 °C olarak ölçülmüştür. Tasarım tahliye boşluğunda en yüksek sıcaklık 225,97 °C iken, atrium boşluğunda en yüksek sıcaklık 14,06 °C seviyesinde görülmüştür (Şekil 6.18).

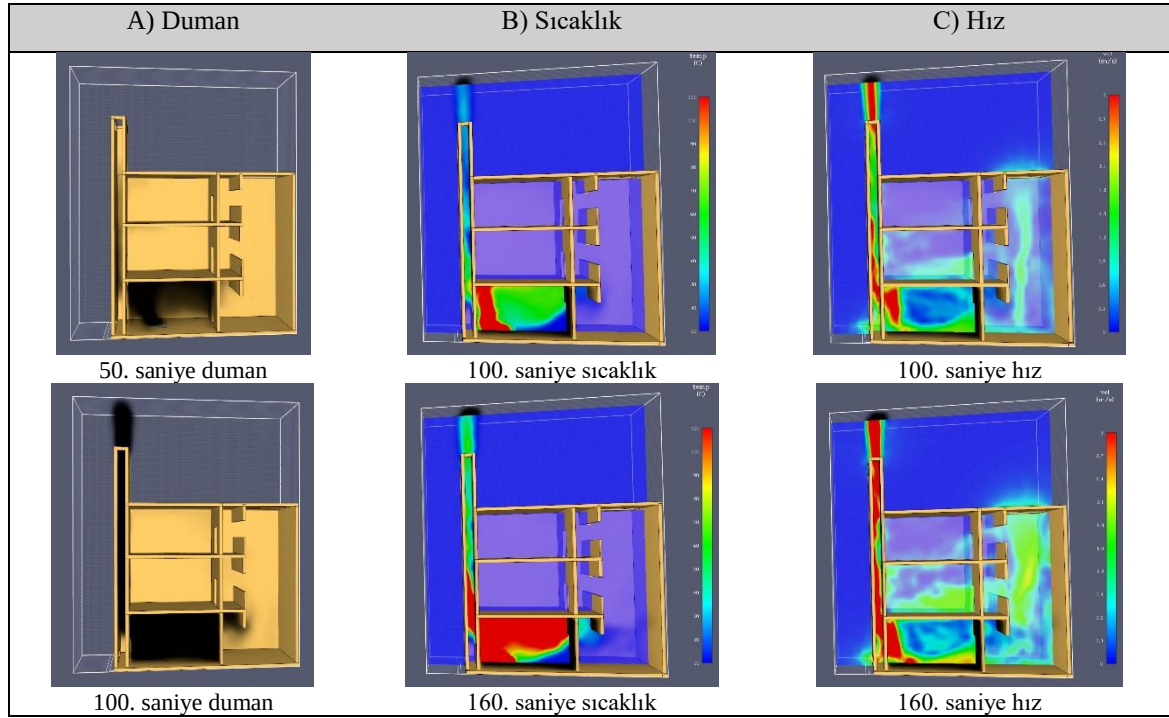


Şekil 6.18. B6 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler

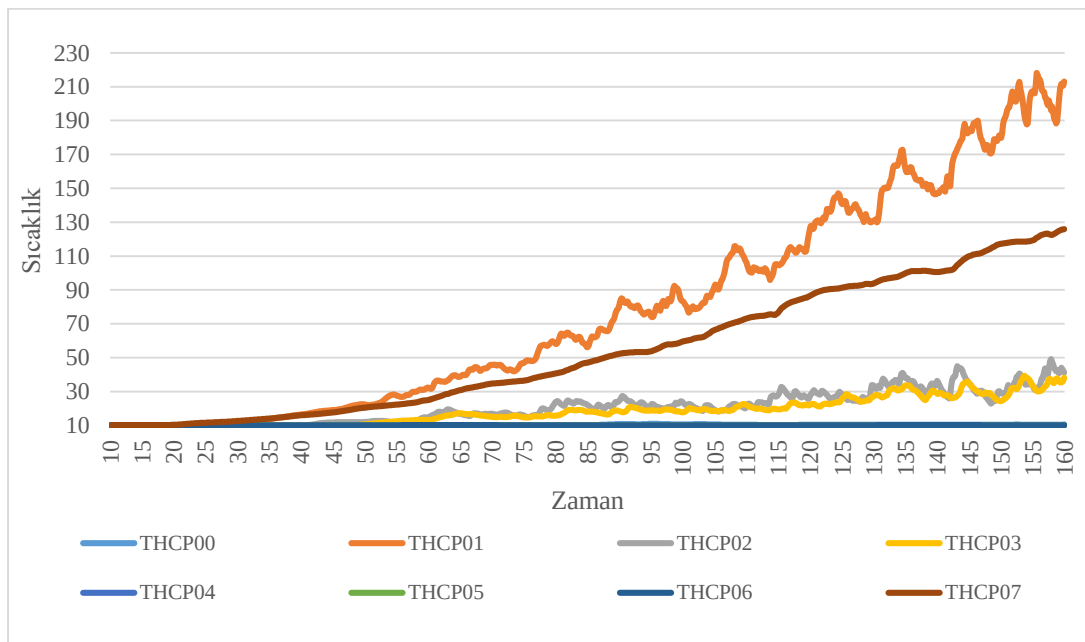
Senaryo B7

Tasarım tahliye boşluğu hava giriş çıkış yüksekliği 50 cm genişliği 150 cm olan B7 senaryosuna ait duman, sıcaklık, alev ve hava akımı hız görünümüleri Çizelge 6.19' da verilmektedir. Duman 50. saniyede tasarım tahliye boşluğunda son kat tavan seviyesini geçmişken, 100. saniye sonunda tasarım tahliye boşluğu hava çıkışından bina dışına geçmiş, atriumda ise duman perdesi çevresinde kalmıştır. Simülasyon sonunda duman atriumda duman perdesi çevresinde yoğunlaşarak zemin kat seviyesinde kalmış ve yukarı yönde yayılım göstermemiştir. Alev bulutu 100. saniyede birinci kat seviyesinde yukarı doğru azalan sıcaklık değeri ile yükselerek hava çıkışından bina dışına geçmiş, simülasyon sonunda birinci kat seviyesine kadar en yüksek sıcaklık seviyesine yükselmiş ve hava çıkışından bina dışına geçişini sürdürmüştür, diğer taraftan yangın mahali kapı boşluğundan dışarı çıkmış ancak atriuma ulaşmamıştır. Alev ve hava akım hızları 100. saniyeden simülasyon süresi sonuna kadar tasarım tahliye boşluğunda 3 m/s olarak görülmüş, atriumda tavan seviyesine kadar ulaşan ve en fazla 1,2 m/s' ye kadar yükselen hız görünümü elde edilmiştir.

Çizelge 6.19. B7 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümleri



B7 senaryosu için simülasyon süresi boyunca ısı çiftlerinden en yüksek sıcaklık yangın mahalinde 125,82 °C, son kat odada ise 10,24 °C olarak ölçülmüştür. Tasarım tahliye boşluğunda en yüksek sıcaklık 218,08 °C iken, atrium boşluğunda en yüksek sıcaklık 10,93 °C seviyesinde görülmüştür (Şekil 6.19).

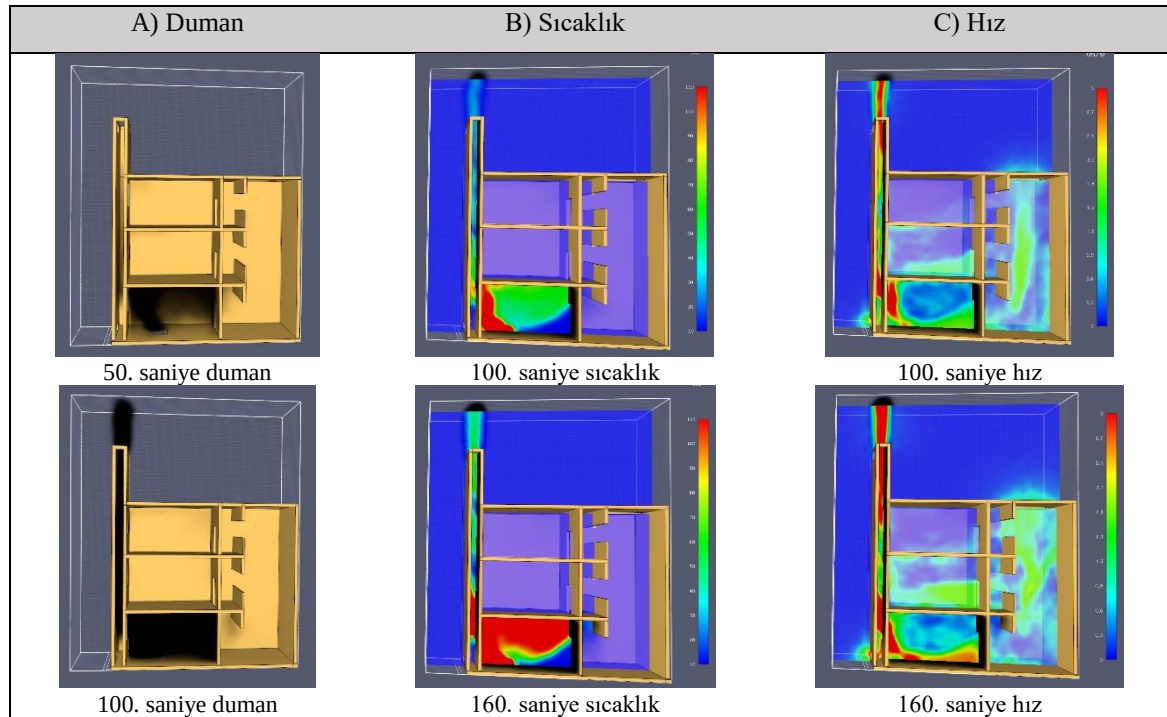


Şekil 6.19. B7 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler

Senaryo B8

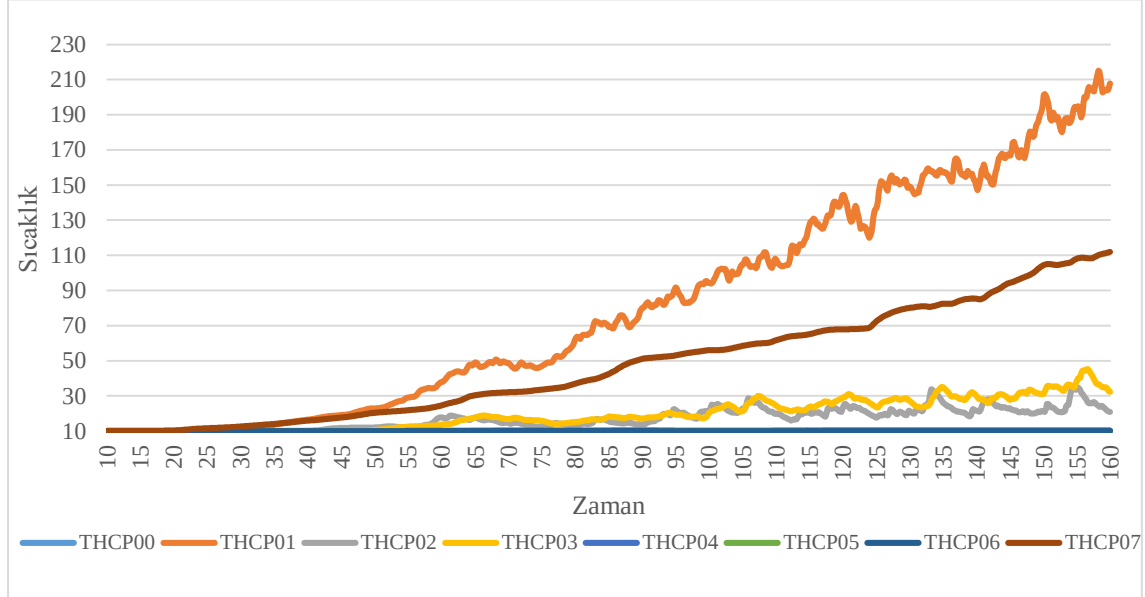
Tasarım tahliye boşluğu hava giriş çıkış yüksekliği 50 cm genişliği 100 cm olan B8 senaryosuna ait duman, sıcaklık, alev ve hava akımı hız görünümüleri Çizelge 6.20' de verilmektedir. Duman 50. saniyede tasarım tahliye boşluğunda son kat tavan seviyesini geçmişken, 100. saniye sonunda tasarım tahliye boşluğu hava çıkışından bina dışına geçmiş, simülasyon süresi sonuna kadar binada tasarım tahliye boşluğu haricinde yangın mahali kapı boşluğu ile duman perdesi arasında düşük yoğunlukta yer almış, atrium ve diğer odalar geçmemiştir. Alev bulutu 100. saniyeden birinci kat seviyesinde yukarı doğru azalan sıcaklık değeri ile yükselerek hava çıkışından bina dışına geçmiş, simülasyon sonunda birinci kat seviyesine kadar en yüksek sıcaklık seviyesine ulaşmış ve hava çıkışından bina dışına geçişini sürdürmüşken, atrium ve diğer odalara alev bulutu geçmemiştir. Alev ve hava akım hızları 100. saniyeden simülasyon süresi sonuna kadar tasarım tahliye boşluğunda 3 m/s seviyelerinde iken, atriumda tavan seviyesine kadar ulaşan ve en fazla 1 m/s' ye kadar yükselen hız görülmüştür.

Çizelge 6.20. B8 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri



B8 senaryosu için simülasyon süresi boyunca ısıl çiftlerden en yüksek sıcaklık yangın mahalinde 111,95 °C, son kat odada ise 10,18 °C olarak ölçülmüştür. Tasarım tahliye

boşluğunda en yüksek sıcaklık 215,02 °C iken, atrium boşluğunda en yüksek sıcaklık 10,34 °C seviyesinde görülmüştür (Şekil 6.20).

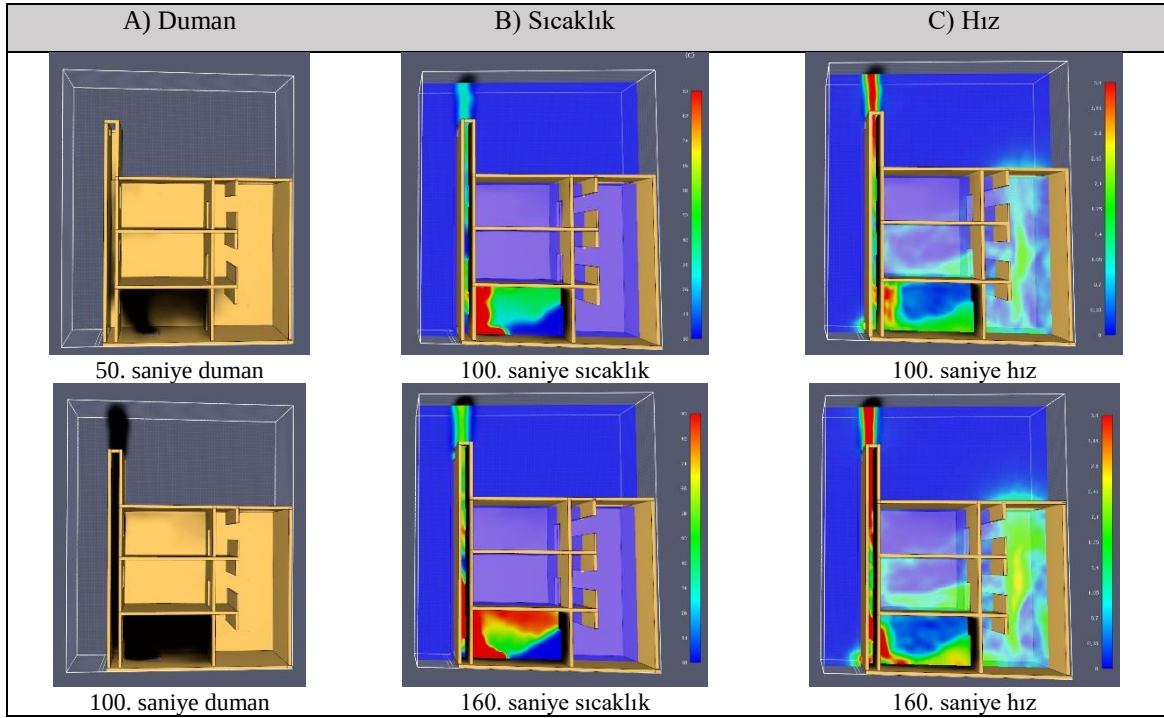


Şekil 6.20. B8 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler

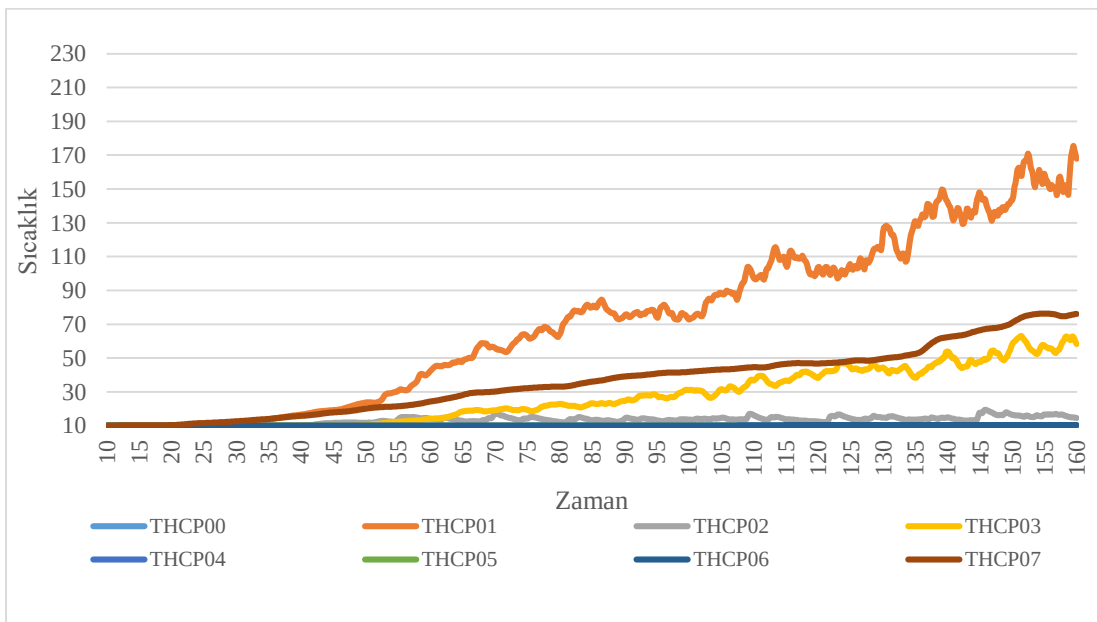
Senaryo B9

Tasarım tahliye boşluğu hava giriş çıkış yüksekliği 50 cm genişliği 50 cm olan B9 senaryosuna ait duman, sıcaklık, alev ve hava akımı hız görünimleri Çizelge 6.21’ de verilmektedir. Duman 50. saniyede tasarım tahliye boşluğunda son kat tavan seviyesini geçmişken, 100. saniye sonunda tasarım tahliye boşluğu hava çıkışından bina dışına geçmiş, simülasyon süresi sonuna kadar binada tasarım tahliye boşluğu haricinde herhangi bir alana duman geçişi olmamıştır. Alev bulutu da duman ile benzer olarak simülasyonun başlangıcından itibaren tasarım tahliye boşluğuna yönelmiş, atrium ve yangın mahali harici odalara duman bulutu geçişi ve sıcaklık artışı olmamıştır. Alev ve hava akım hızları 100. saniyeden simülasyon süresi sonuna kadar tasarım tahliye boşluğunda 3,5 m/s seviyelerine ulaşmışken, atriumda tavan seviyesine kadar ulaşan ve en fazla 1,5 m/s’ ye kadar yükselen hız görülmüştür.

Çizelge 6.21. B9 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümleri



B9 senaryosu için simülasyon süresi boyunca ısı çiftlerinden en yüksek sıcaklık yangın mahalinde 76,31 °C, son kat odada ise 10,10 °C olarak ölçülmüştür. Tasarım tahliye boşluğunda en yüksek sıcaklık 175,41 °C iken, atrium boşluğunda en yüksek sıcaklık 10,33 °C seviyesinde görülmüştür (Şekil 6.21).



Şekil 6.21. B9 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler

B tasarım senaryolarına ait bulguların değerlendirilmesi

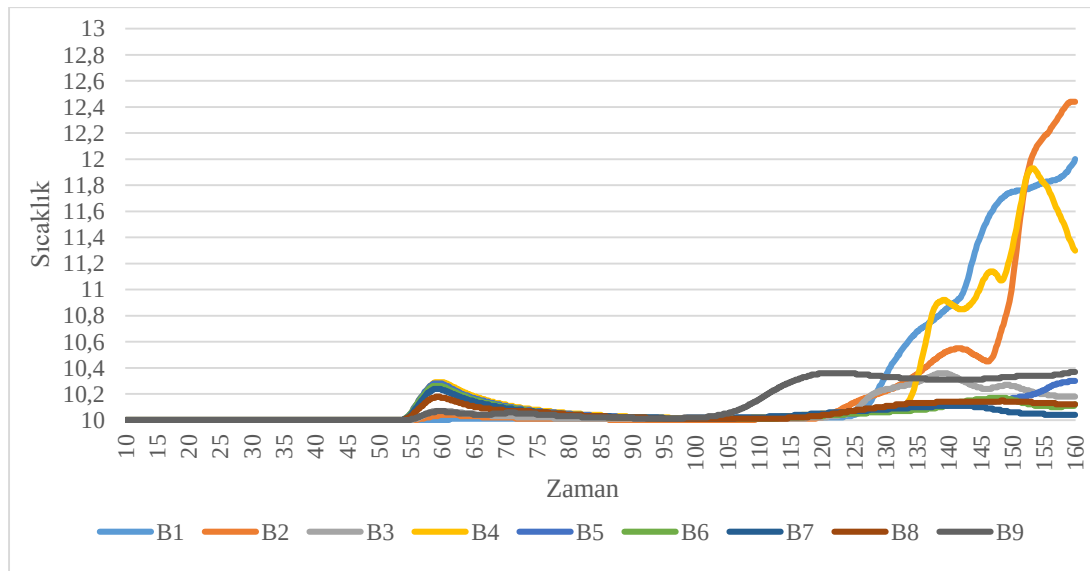
Tasarım tahliye boşluğuna ait genişlik ve yükseklik girdilerinin değiştirilerek sınındığı A senaryolarında özellikle duman ve alev bulutu yayılımı bağlamında en uygun sonuçların elde edilmesinden sonra tasarım tahliye boşluğu dış duvarında yer alan hava giriş çıkışları için uygun boyutlar analiz edilmiştir. B senaryolarının tümünde odalara alev bulutu geçişi olmayarak sıcaklık performans kriteri olarak belirlenen riskli seviyelere ulaşmamıştır. Hava giriş çıkış yüksekliği arttıkça alev bulutu ve duman yangının ilk 100 saniyesinde tasarım tahliye boşluğuna yönelmiş, simülasyon sonlarında ise tasarım tahliye boşluğunda yoğunluk azalarak atrium boşluğunda yayılım artmıştır. Hava giriş çıkış yüksekliğinin 50 cm olduğu B4 senaryosunda hem ortam sıcaklığı hem de atriumdaki sıcaklık en düşük seviyede görülmüştür.

Tasarım tahliye boşluğuna açılan hava giriş çıkış yüksekliği azaldıkça dumanın odalara yayılımı azalmış ve yüksekliğin 50 cm alındığı B4 senaryosunda duman birinci ve son kat odada riskli seviye olarak belirlenen 2200 mm altına inmemiştir. B1, B2 ve B3 senaryolarında atrium alev bulutu ile tamamen kaplanmışken, B4 senaryosunda alev zemin kat perde duvarı seviyesinde kalmıştır. Hava giriş çıkış yüksekliğinin değişken olduğu B1, B2 ve B3 senaryolarında tasarım tahliye boşluğunda en yüksek hız 2,5 m/s iken, B4 senaryosunda 3 m/s' ye ulaşmıştır. Bu doğrultuda B4 senaryosunun tasarım tahliye boşluğunda baca etkisinin en yüksek seviyede ve ortam sıcaklığının en düşük derecede olması, atriuma duman geçişinin gecikmesi ve alev bulutunun tasarım tahliye boşluğu haricindeki alanlara yayılmaması sebebiyle en uygun tasarım olduğu görülmüştür.

Tasarım tahliye boşluğuna açılan hava giriş çıkışların genişliklerinin değişken olduğu tasarım senaryolarında alev bulutu atrium boşluğuna geçmemiş olup, hava giriş çıkış genişlikleri azaldıkça dumanın atriumdaki seviyesi azalmıştır. Hava giriş çıkış genişlikleri azaldıkça tasarım tahliye boşluğu ile atrium ve odalar arasındaki sıcaklık ve basınç farkı ve buna bağlı olarak baca etkisi artmıştır. Böylece dumanın tasarım tahliye boşluğu aracılığıyla tahliyesi gerçekleşmiş ve yangın mahali harici odalara ve atriuma duman geçişi genişlik azaldıkça yavaşlamıştır. Hava giriş çıkış genişliği 200 cm ve altında olan senaryolarda simülasyon süresi boyunca duman birinci ve son kattaki odalara geçmemiştir. Hava giriş çıkış genişliği 150 cm olan B7 senaryosundan itibaren duman atriumda zemin kat seviyesinde kalmıştır. Hava giriş çıkış boyutları için 50 cm x 50 cm değerleri uygulanan B9

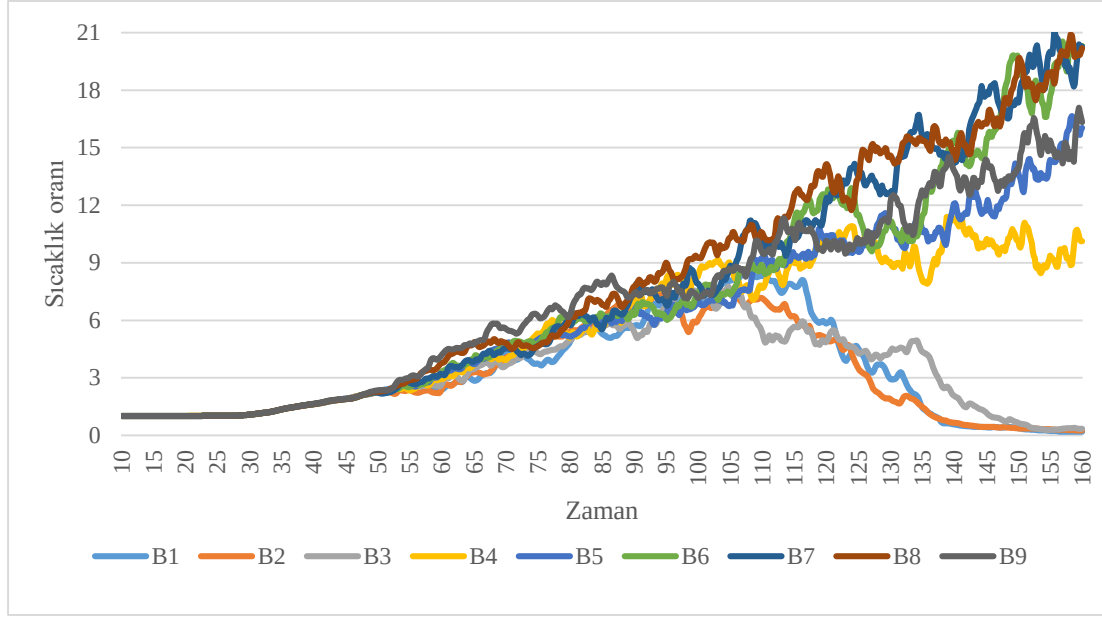
tasarım senaryosu; duman ve alev bulutu simülasyon süresince tasarım tahliye boşluğu haricinde herhangi bina mahalinden geçmeyerek, hız 3,5 m/s ile diğer simülasyonlara göre daha yüksek seviyelere ulaşarak ve ortam sıcaklığı diğer simülasyonlara göre önemli ölçüde düşürerek en uygun modeli sunmuştur.

B senaryolarında yangın mahali haricindeki odalarda sıcaklık seviyeleri performans kriteri olarak belirlenen 60 °C' nin de çok altında ölçülerek en yüksek 12,44 °C ile B2 senaryosunda ölçülmüştür. Hava giriş çıkış yüksekliği 50 cm olarak belirlendikten sonra genişliğin değişken olarak sınındığı senaryolarda sıcaklık 10, 50 °C altında kalmıştır (Şekil 6.22).



Şekil 6.22. B senaryolarında son kat odalardaki ısı çiftlerinden ölçülen sıcaklık değerleri

Tasarım tahliye boşluğundaki baca etkisinin gücü hakkında yorum imkânı veren tasarım tahliye boşluğu ile atrium boşluğundaki sıcaklık oranlarına göre hava giriş çıkış yüksekliği 50 cm üzerinde olan senaryolarda oranın 1'in altına indiği görülmüştür. Bu durum yüksekliğin fazla olmasının atriumdaki baca etkisinin gücünü artırdığını göstermiştir. Hava giriş çıkış yüksekliği 50 cm alınarak boşluk genişliğinin değişken olduğu senaryolarda ise oranın lineer bir şekilde yükseldiği B6, B7 ve B8 senaryolarında oran 20' ye ulaşmıştır. Bu durum hava giriş çıkış boyutu küçüldükçe tasarım tahliye boşluğundaki baca etkisi gücünün arttığını göstermiştir (Şekil 6.23).



Şekil 6.23. B senaryolarında tasarım tahliye boşluğu ile atrium sıcaklık oranları

6.3. Senaryo C

Prototip binada duman tahliyesi ve sıcaklık kontrolü için tasarım tahliye boşluğuna açılan pencere boşluklarının uygun boyutlarda belirlenmesi amacıyla oluşturulan senaryolar Çizelge 6.22’ de verilmektedir.

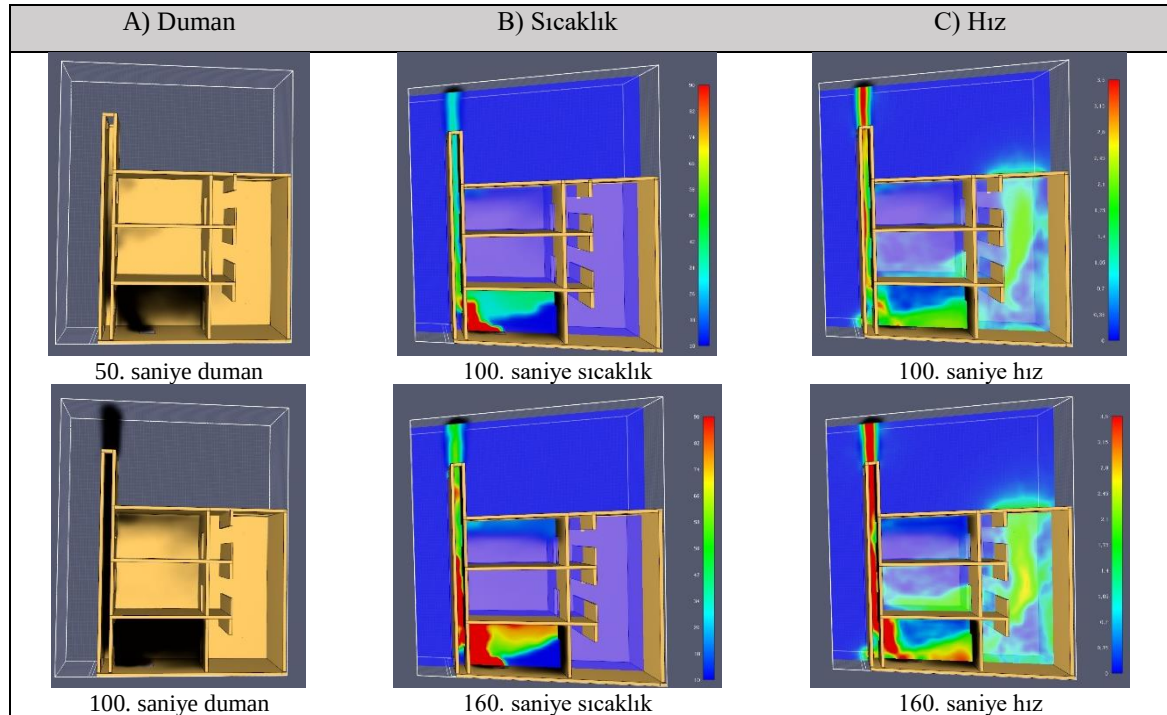
Çizelge 6.22. Hava giriş ve çıkışları boyutlarının analiz edildiği C senaryoları (cm)

Senaryo	Boşluk genişliği	Boşluk yüksekliği	Hava giriş çıkış genişliği	Hava giriş çıkış yüksekliği	Pencere genişliği	Pencere yüksekliği
C1	50	1400	50	50	200	150
C2	50	1400	50	50	150	150
C3	50	1400	50	50	50	150
C4	50	1400	50	50	50	200
C5	50	1400	50	50	50	100
C6	50	1400	50	50	50	50
C7	50	1400	50	50	100	50
C8	50	1400	50	50	150	50
C9	50	1400	50	50	200	50

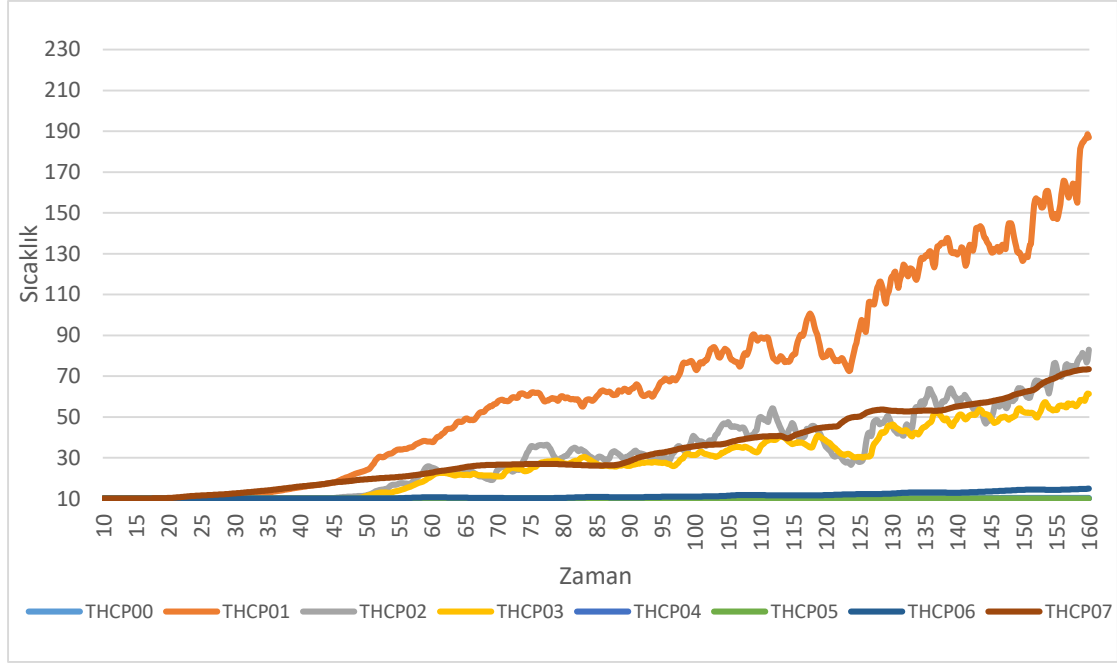
Senaryo C1

Tasarım tahliye boşluğuna odalardan açılan pencere boşluğunun genişliği 200 cm, yüksekliği 150 cm olan C1 senaryosuna ait duman, sıcaklık, alev ve hava akımı hız görünümleri Çizelge 6.23’ te verilmektedir. Duman 50. saniyede tasarım tahliye boşluğunda son kat tavan seviyesini geçmiş ve üst kat odalara duman yayılımı başlamıştır. 100. saniye sonunda tasarım tahliye boşluğu hava çıkışından bina dışına geçmiş, son kat odaya duman dolumu artmışken, simülasyon süresi sonunda son kat odada duman katmanı 2200 mm üstünde kalmış ve atriuma ve diğer mahallere yayılım olmamıştır. Alev bulutu 100. Saniyede tasarım tahliye boşluğunu doldurarak bina dışına çıkmış, simülasyon süresi sonunda tasarım tahliye boşluğunda sıcaklık artmış ve son kat odada tavan seviyesinde düşük sıcaklıkta alev bulutu gözlemlenmiştir. Atrium, holle ve birinci kat odaya alev bulutu yayılımı gerçekleşmemiştir. Alev ve hava akım hızları 100. saniyeden simülasyon süresi sonuna kadar tasarım tahliye boşluğunda 3,5 m/s seviyelerinde görülmüş, atriumda ise 100. saniye itibariyle üst hava çıkışından bina dışına ulaşan ve en fazla 1,5 m/s’ ye kadar yükselen hız oluşmuştur.

Çizelge 6.23. C1 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümleri



C1 senaryosu için simülasyon süresi boyunca ısı çiftlerinden en yüksek sıcaklık yangın mahalinde 73,38 °C, son kat odada ise 14,88 °C olarak ölçülmüştür. Tasarım tahliye boşluğunda en yüksek sıcaklık 188,48 °C iken, atrium boşluğunda en yüksek sıcaklık 10,36 °C seviyesinde görülmüştür (Şekil 6.24).



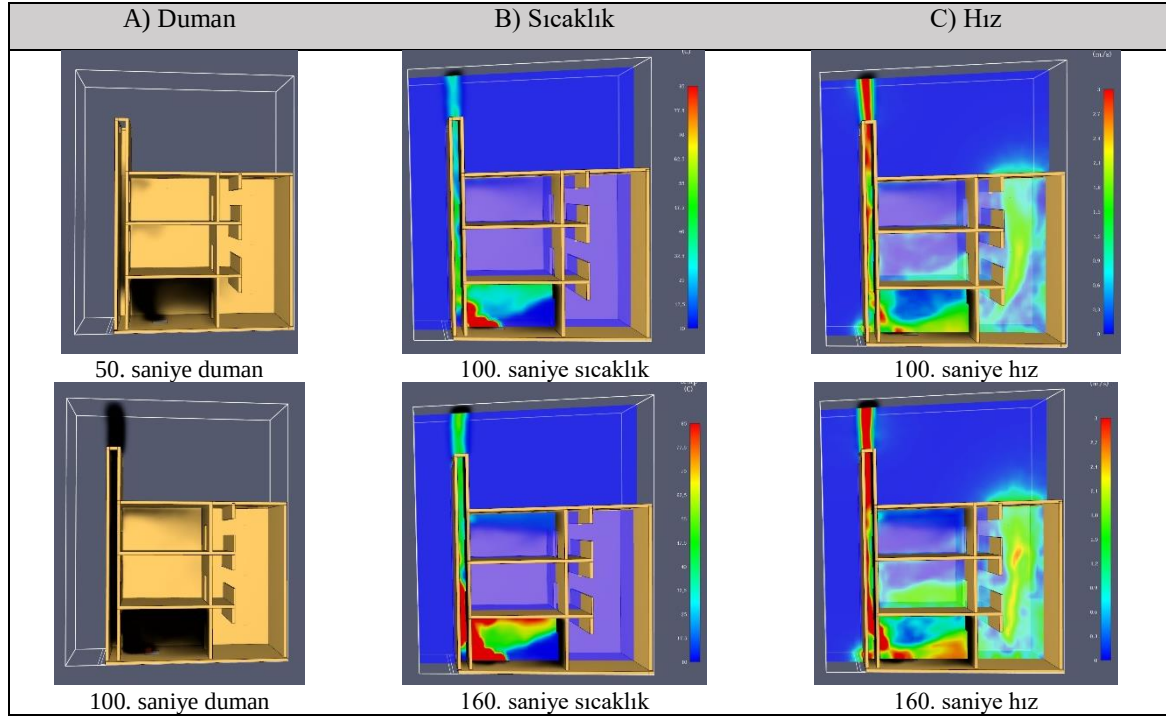
Şekil 6.24. C1 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler

Senaryo C2

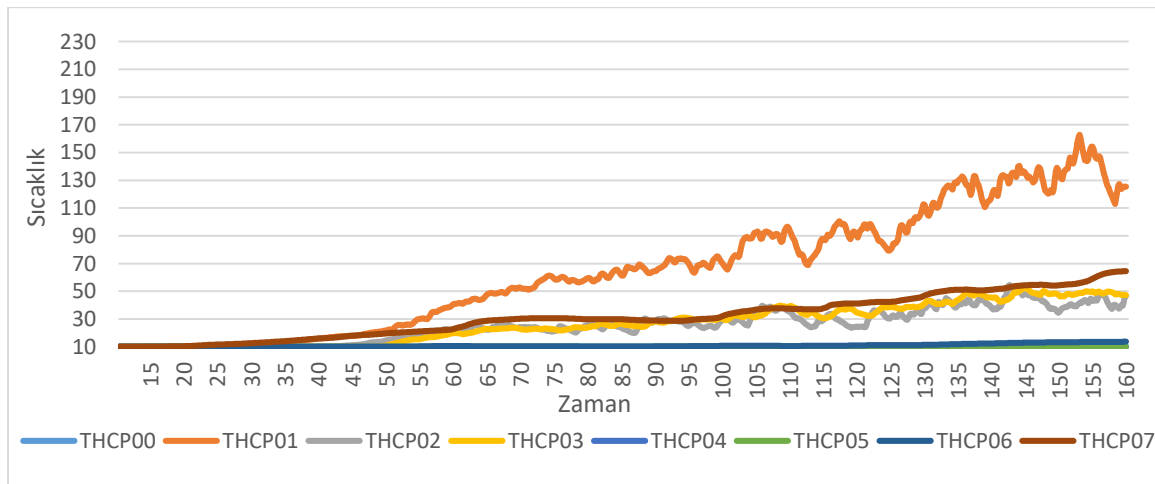
Tasarım tahliye boşluğuna odalardan açılan pencere boşluğunun genişliği 150 cm, yüksekliği 150 cm olan C2 senaryosuna ait duman, sıcaklık, alev ve hava akımı hız görünümleri Çizelge 6.24' te verilmektedir. Duman 50. saniyede tasarım tahliye boşluğunda son kat tavan seviyesini geçmişken, 100. saniye sonunda tasarım tahliye boşluğu hava çıkışından bina dışına geçmiş, son kat odaya duman dolumu başlamış ve simülasyon süresi sonunda son kat odada duman katmanı 2200 mm üstünde kalmıştır. Simülasyon süresince atrium, birinci kat oda ve hollere duman yayılımı olmamıştır. Alev bulutu 100. Saniyede tasarım tahliye boşluğunu doldurarak bina dışına çıkmış, simülasyon süresi boyunca atrium boşluğuna geçmeyerek tasarım tahliye boşluğunda yoğunlaşmıştır. Alev ve hava akım hızları 100. saniyeden simülasyon süresi sonuna kadar tasarım tahliye boşluğunda 3,0 m/s seviyelerinde görülmüş, atriumda ise 100. saniye itibarıyla üst hava çıkışından bina dışına

ulaşan ve en fazla 1,5 m/s' ye kadar yükselen ve birinci kat odaya kapı boşluğundan geçen hız oluşmuştur.

Çizelge 6.24. C2 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünüşleri



C2 senaryosu için simülasyon süresi boyunca ısı çiftlerinden en yüksek sıcaklık yangın mahalinde 64,38 °C, son kat odada ise 13,64 °C olarak ölçülmüştür. Tasarım tahliye boşluğunda en yüksek sıcaklık 162,84 °C iken, atrium boşluğunda en yüksek sıcaklık 10,34 °C seviyesinde görülmüştür (Şekil 6.25).

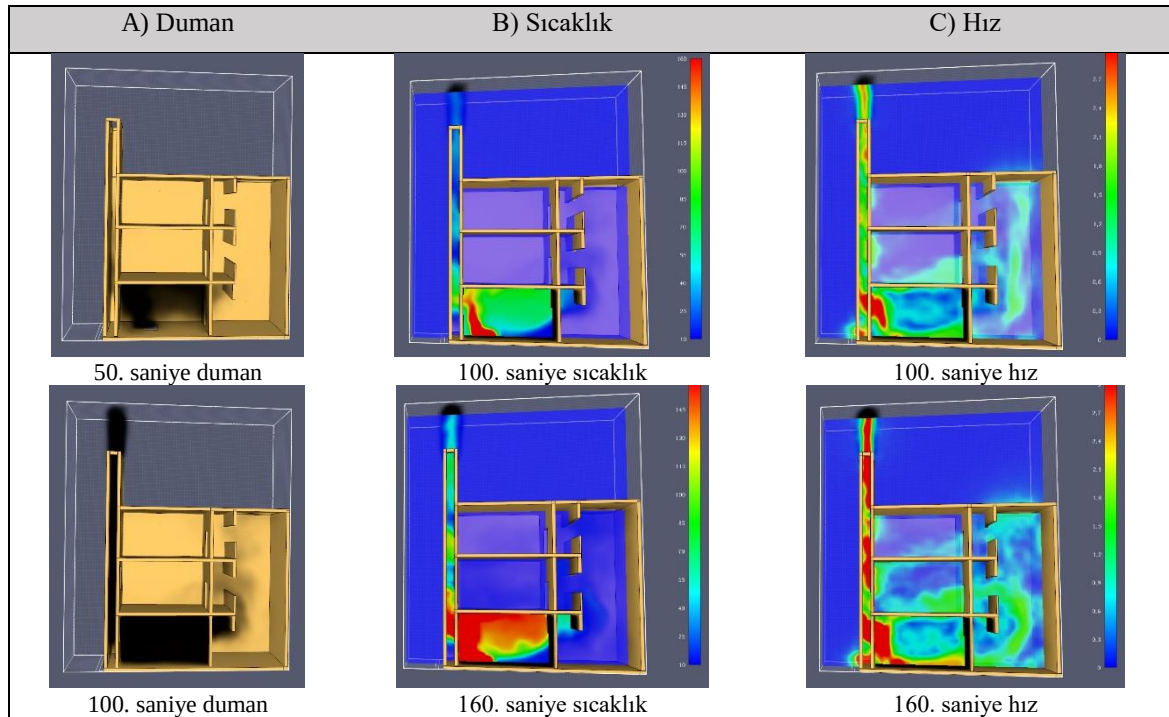


Şekil 6.25. C2 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler

Senaryo C3

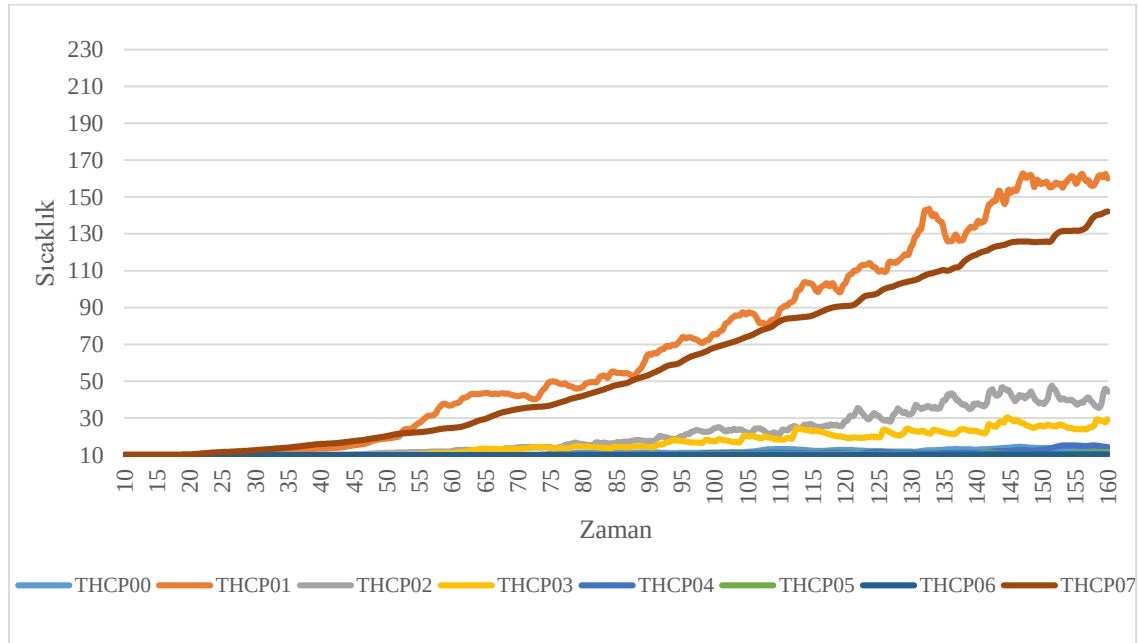
Tasarım tahliye boşluğuna odalardan açılan pencere boşluğunun genişliği 50 cm, yüksekliği 150 cm olan C3 senaryosuna ait duman, sıcaklık, alev ve hava akımı hız görünümüleri Çizelge 6.25’ te verilmektedir. Duman 50. saniyede tasarım tahliye boşluğunda son kat pencere seviyesini geçmişken, 100. saniye sonunda tasarım tahliye boşluğu hava çıkışından bina dışına geçmiş atriumda birinci kat seviyesine ulaşmış ve odalara duman geçişi olmamıştır. Simülasyon süresi sonunda duman atrium tavanı seviyesine gelmiş ve atriumdan hole açılan kapı boşluğu aracılığıyla birinci kat odaya duman yayılmıştır. Alev bulutu 100. saniyede birinci kat seviyesinden sonra sıcaklığı düşerek tasarım tahliye boşluğundan bina dışına çıkmış, simülasyon süresi sonunda atriumda zemin kat duman perdesi seviyesinde kalmıştır. Alev ve hava akım hızları 100. saniyede tasarım tahliye boşluğunda zemin kat seviyesinde 3 m/s, üst kat seviyelerinde ise 1,8 m/s ortalama hıza ulaşmış, simülasyon süresi sonuna tasarım tahliye boşluğu boyunca 3,0 m/s, atriumda ise ortalama 1,5 m/s’ ye kadar yükselen ve birinci kat odaya kapı boşluğundan geçen hız oluşmuştur.

Çizelge 6.25. C3 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri



C3 senaryosu için simülasyon süresi boyunca ısılı çiftlerden en yüksek sıcaklık yangın mahalinde 142,22 °C, son kat odada ise 10,37 °C olarak ölçülmüştür. Tasarım tahliye

boşluğunda en yüksek sıcaklık 162,83 °C iken, atrium boşluğunda en yüksek sıcaklık 14,38 °C seviyesinde görülmüştür (Şekil 6.26).

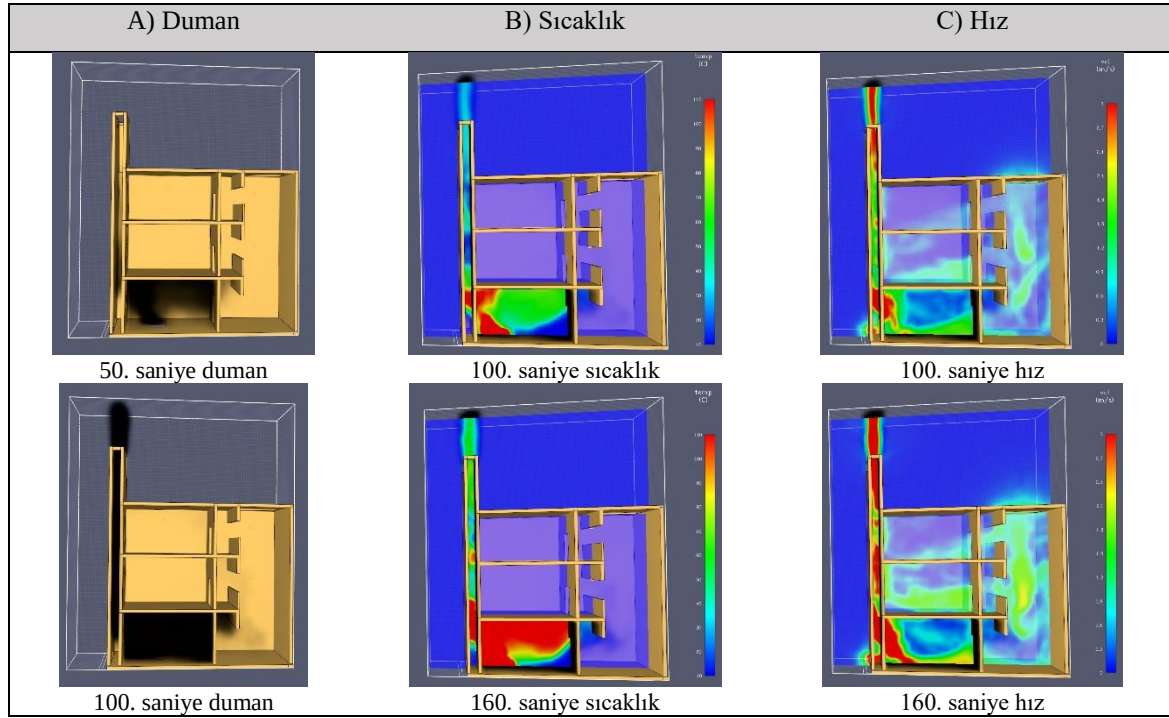


Şekil 6.26. C3 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler

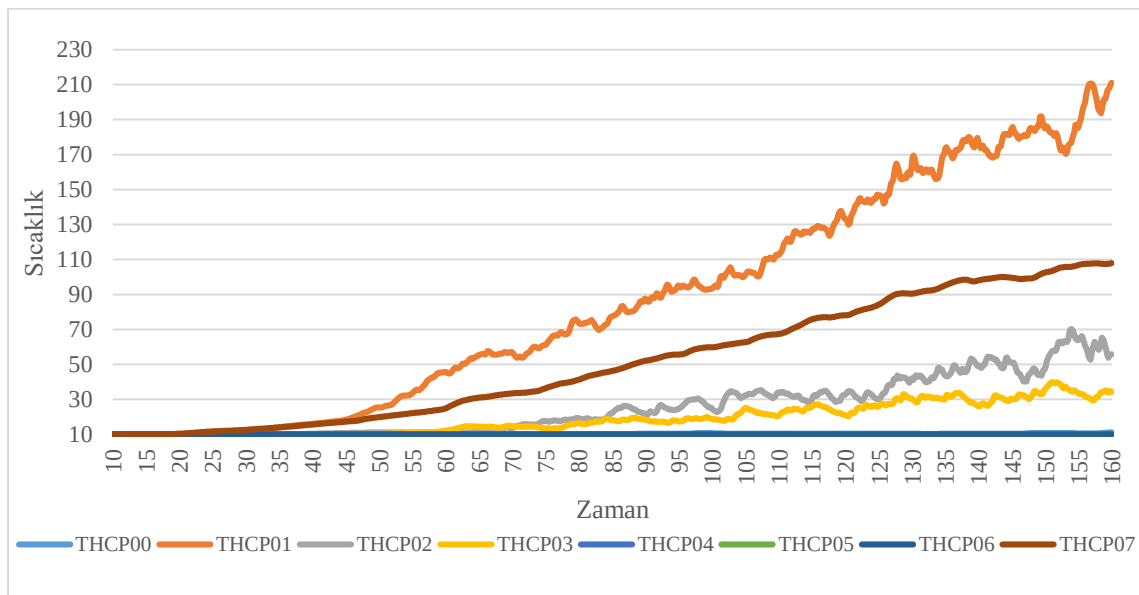
Senaryo C4

Tasarım tahliye boşluğuna odalardan açılan pencere boşluğunun genişliği 50 cm, yüksekliği 200 cm olan C4 senaryosuna ait duman, sıcaklık, alev ve hava akımı hız görünüşleri Çizelge 6.26’ da verilmektedir. Duman 50. saniyede tasarım tahliye boşluğunda son kat pencere seviyesini geçmişken, 100. saniye sonunda tasarım tahliye boşluğu hava çıkışından bina dışına geçmiş atriumda zemin kat duman perdesi çevresine yoğunlaşmış ve odalara duman geçişi olmamıştır. Simülasyon süresi sonunda duman atrium zemin kat seviyesinde kalmış ve yangın mahali hariç diğer odalara duman geçişi olmamıştır. Alev bulutu 100. saniyede zemin kat seviyesinden sonra sıcaklığı düşerek tasarım tahliye boşluğundan bina dışına çıkmış, simülasyon süresi sonunda atriumda zemin kat duman perdesi seviyesinde düşük sıcaklıkta kalmıştır. Alev ve hava akım hızları 100. saniyeden itibaren tasarım tahliye boşluğunda ortalama 3 m/s, atriumda ise ortalama 1,2 m/s’ ye kadar yükselen ve birinci kat odaya kapı boşluğundan geçen hız yayılımı görülmüştür.

Çizelge 6.26. C4 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümleri



C4 senaryosu için simülasyon süresi boyunca ısı çiftlerinden en yüksek sıcaklık yangın mahalinde 107,99 °C, son kat odada ise 10,05 °C olarak ölçülmüştür. Tasarım tahliye boşluğunda en yüksek sıcaklık 211 °C iken, atrium boşluğunda en yüksek sıcaklık 11,14 °C seviyesinde görülmüştür (Şekil 6.27).

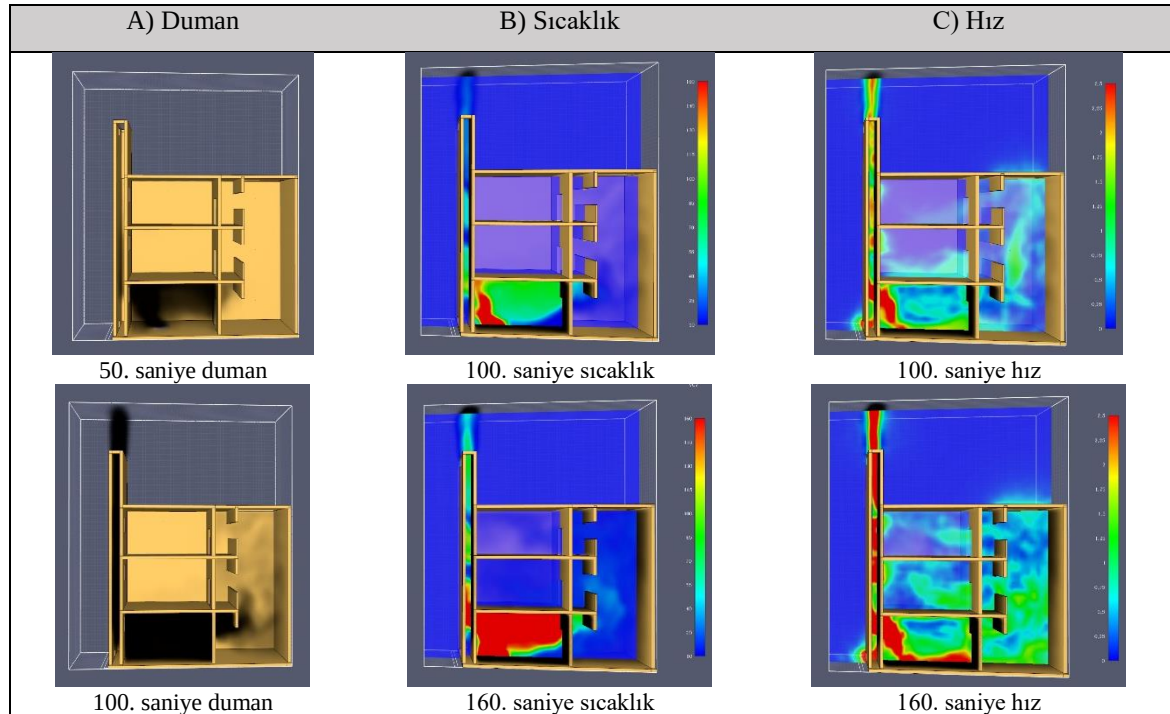


Şekil 6.27. C4 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler

Senaryo C5

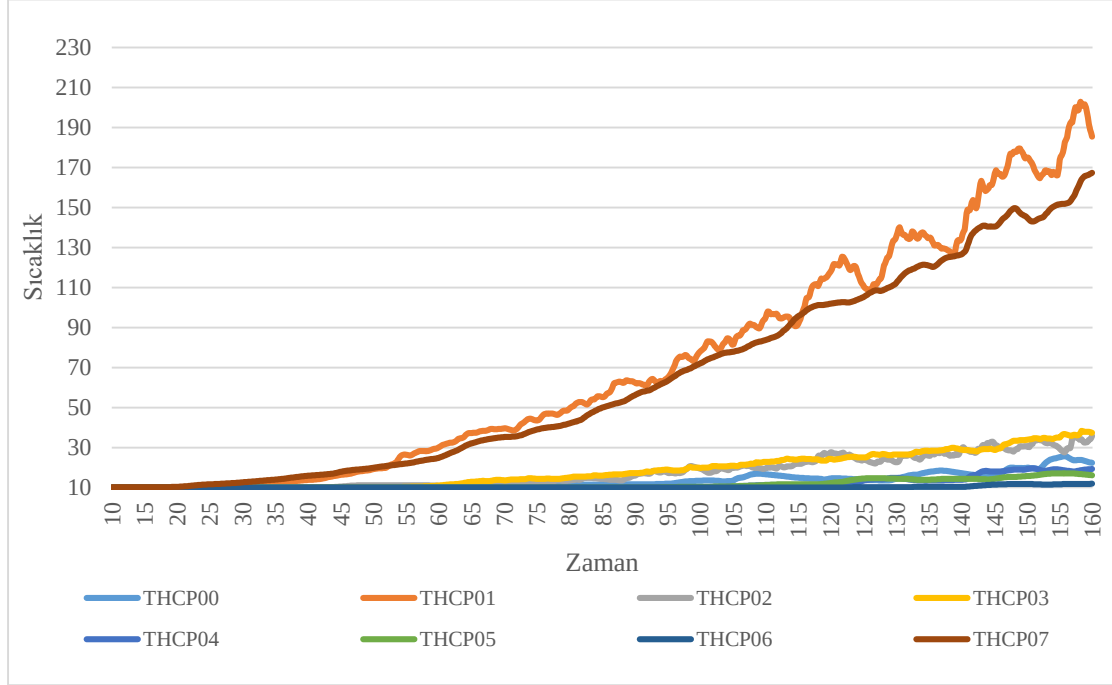
Tasarım tahliye boşluğuna odalardan açılan pencere boşluğunun genişliği 50 cm, yüksekliği 100 cm olan C5 senaryosuna ait duman, sıcaklık, alev ve hava akımı hız görünümüleri Çizelge 6.27’ de verilmektedir. Duman 50. saniyede tasarım tahliye boşluğunda son kat döşeme seviyesindeyken, 100. saniye sonunda tasarım tahliye boşluğu hava çıkışından bina dışına geçmiş atriumda ise zemin kat seviyesinde yoğun olmak üzere atrium tavan seviyesine ulaşmış ve odalara duman geçişi olmamıştır. Simülasyon süresi sonunda atrium tamamen duman ile dolmuş ve atriumdan odalara duman yayılmıştır. Alev bulutu 100. saniyede düşük sıcaklıkta tasarım tahliye boşluğundan bina dışına çıkmış, simülasyon süresi sonunda tasarım tahliye boşluğunda sıcaklık seviyesi yükselmiş, atriumda ise zemin kat duman perdesi çevresinde kalmıştır. Alev ve hava akım hızları 100. Saniyeden itibaren tasarım tahliye boşluğunda ortalama 2,5 m/s, atriumda ise simülasyon sonunda ortalama 1,2 m/s hızda tavana ulaşan ve birinci kat odaya kapı boşluğundan geçen hız yayılımı görülmüştür.

Çizelge 6.27. C5 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümüleri



C5 senaryosu için simülasyon süresi boyunca ısı çiftlerinden en yüksek sıcaklık yangın mahalinde 167,32 °C, son kat odada ise 11,86 °C olarak ölçülmüştür. Tasarım tahliye

boşluğunda en yüksek sıcaklık 202,98 °C iken, atrium boşluğunda en yüksek sıcaklık 25,71 °C seviyesinde görülmüştür (Şekil 6.28).

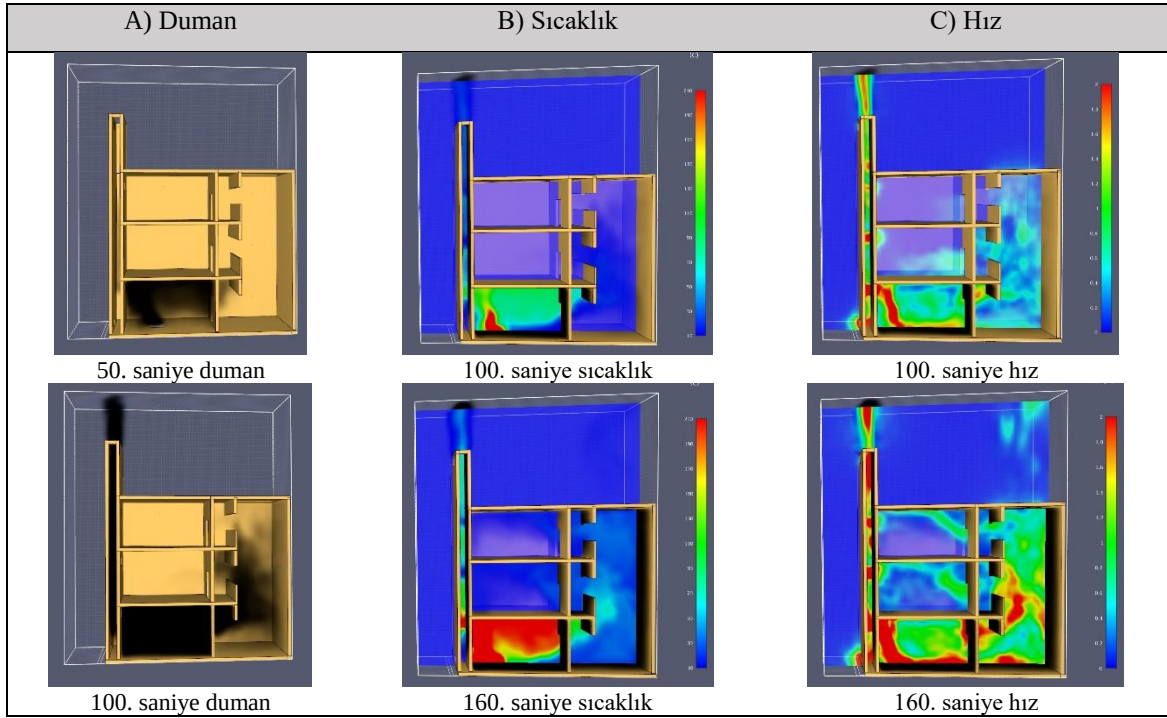


Şekil 6.28. C5 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler

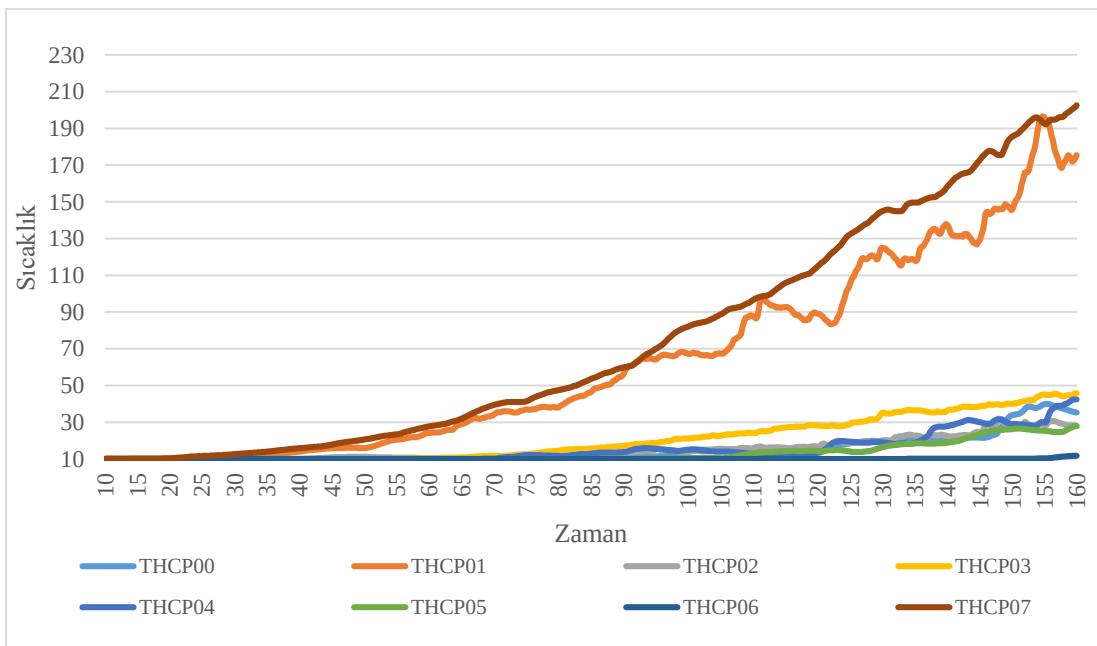
Senaryo C6

Tasarım tahliye boşluğuna odalardan açılan pencere boşluğunun genişliği 50 cm, yüksekliği 50 cm olan C6 senaryosuna ait duman, sıcaklık, alev ve hava akımı hız görünüşleri Çizelge 6.28’ de verilmektedir. Duman 50. saniyede tasarım tahliye boşluğunda son kat döşeme seviyesindeyken, 100. saniye sonunda tasarım tahliye boşluğu hava çıkışından bina dışına geçmiş, atriumda ise birinci kat seviyesine kadar yoğun olmak üzere atrium tavan seviyesine ulaşmış ve odalara duman geçişi olmamıştır. Simülasyon süresi sonunda tasarım tahliye boşluğunun yanı sıra atrium da tamamen duman ile dolmuş ve atriumdan odalara duman yayılmıştır. Alev bulutu 100. saniyede tasarım tahliye boşluğu birinci kat tavan seviyesinde, simülasyon süresi sonunda tasarım tahliye boşluğunda sıcaklık seviyesi yükselerek bina dışına ulaşmış, atriumda ise birinci kat seviyesinde kalmıştır. Alev ve hava akım hızları 100. saniyeden itibaren tasarım tahliye boşluğunda ortalama 2 m/s, simülasyon sonunda ise atrium boşluğunda da 2 m/s hıza ulaşan ve birinci kat odaya kapı boşluğundan geçen yayılım görülmüştür.

Çizelge 6.28. C6 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümleri



C6 senaryosu için simülasyon süresi boyunca ısılı çiftlerden en yüksek sıcaklık yangın mahalinde 202,52 °C, son kat odada ise 11,74 °C olarak ölçülmüştür. Tasarım tahliye boşluğunda en yüksek sıcaklık 196,56 °C iken, atrium boşluğunda en yüksek sıcaklık 40,01 °C seviyesinde görülmüştür (Şekil 6.29).

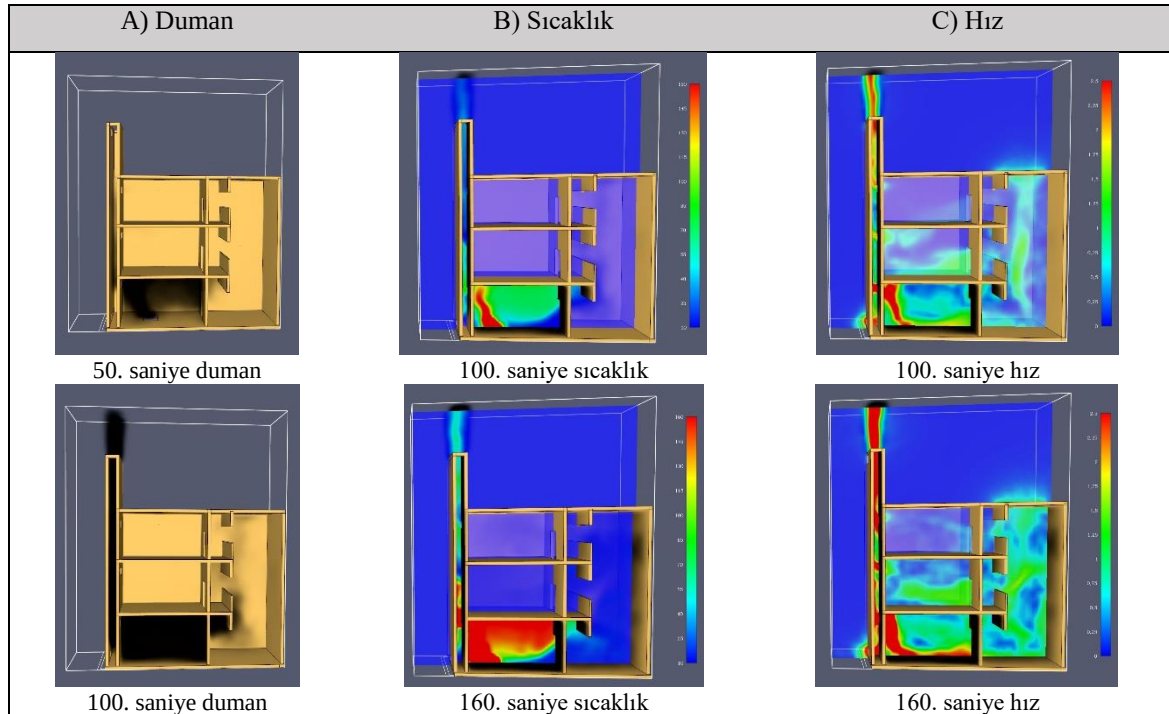


Şekil 6.29. C6 senaryosu ısılı çiftlerden ölçülen değerler

Senaryo C7

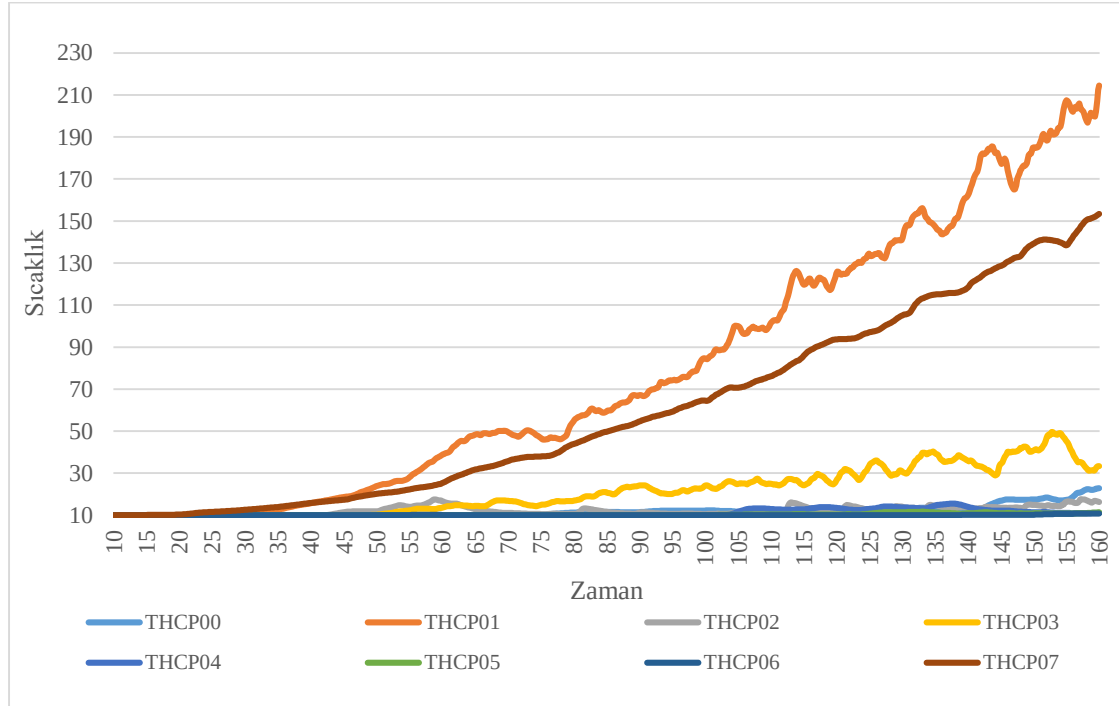
Tasarım tahliye boşluğuna odalardan açılan pencere boşluğunun genişliği 100 cm, yüksekliği 50 cm olan C7 senaryosuna ait duman, sıcaklık, alev ve hava akımı hız görünümleri Çizelge 6.29’ da verilmektedir. Duman 50. saniyede tasarım tahliye boşluğunda son kat pencere seviyesindeyken, 100. saniye sonunda tasarım tahliye boşluğu hava çıkışından bina dışına geçmiş, atriumda ise zemin kat seviyesinde yoğunlaşmış ve odalara duman geçişi olmamıştır. Simülasyon süresi sonunda duman atriumda tavan seviyesine ulaşmışken, atriumdan birinci kat odaya yayılmıştır. Alev bulutu 100. saniyede tasarım tahliye boşluğu birinci kat tavan seviyesinde, simülasyon süresi sonunda tasarım tahliye boşluğunda sıcaklık seviyesi yükselerek bina dışına ulaşmış, atriumda ise zemin kat duman perdesi çevresinde kalmıştır. Alev ve hava akım hızları 100. saniyeden itibaren tasarım tahliye boşluğunda ortalama 2,5 m/s, simülasyon sonunda ise atrium boşluğunda ortalama 1,25 m/s hıza ulaşan ve birinci kat odaya kapı boşluğundan geçen yayılım görülmüştür.

Çizelge 6.29. C7 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümleri



C7 senaryosu için simülasyon süresi boyunca ısı çiftlerinden en yüksek sıcaklık yangın mahalinde 153,39 °C, son kat odada ise 10,81 °C olarak ölçülmüştür. Tasarım tahliye

boşluğunda en yüksek sıcaklık 214,47 °C iken, atrium boşluğunda en yüksek sıcaklık 22,81 °C seviyesinde görülmüştür (Şekil 6.30).

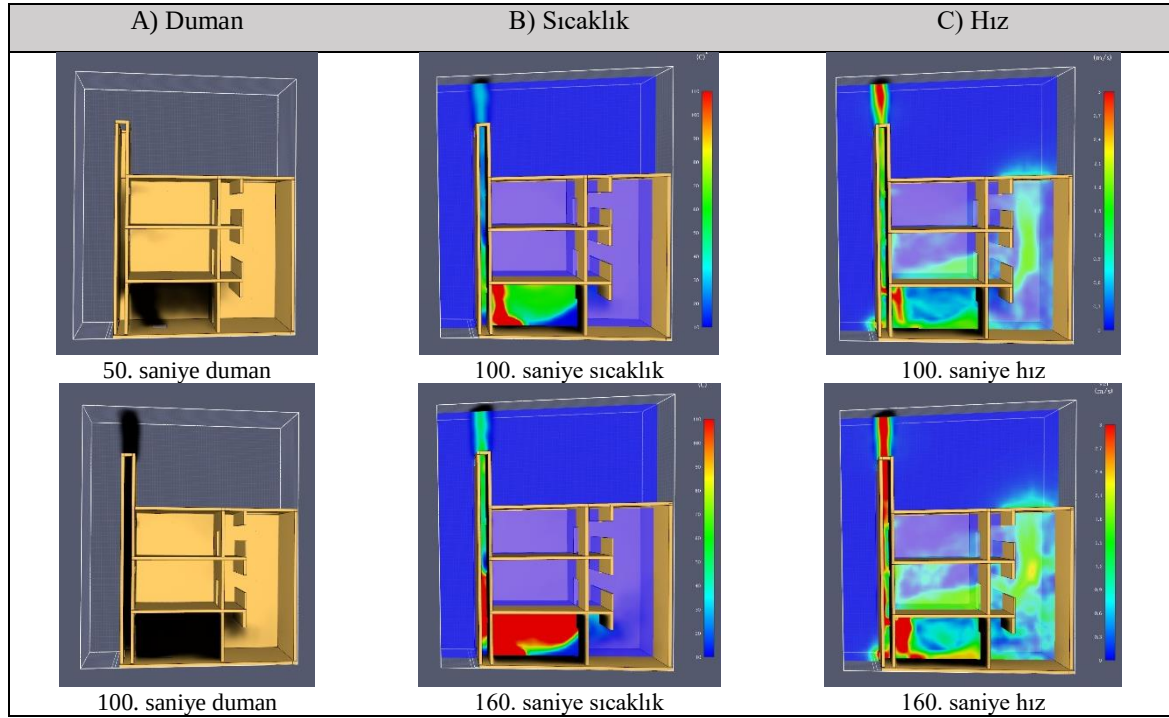


Şekil 6.30. C7 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler

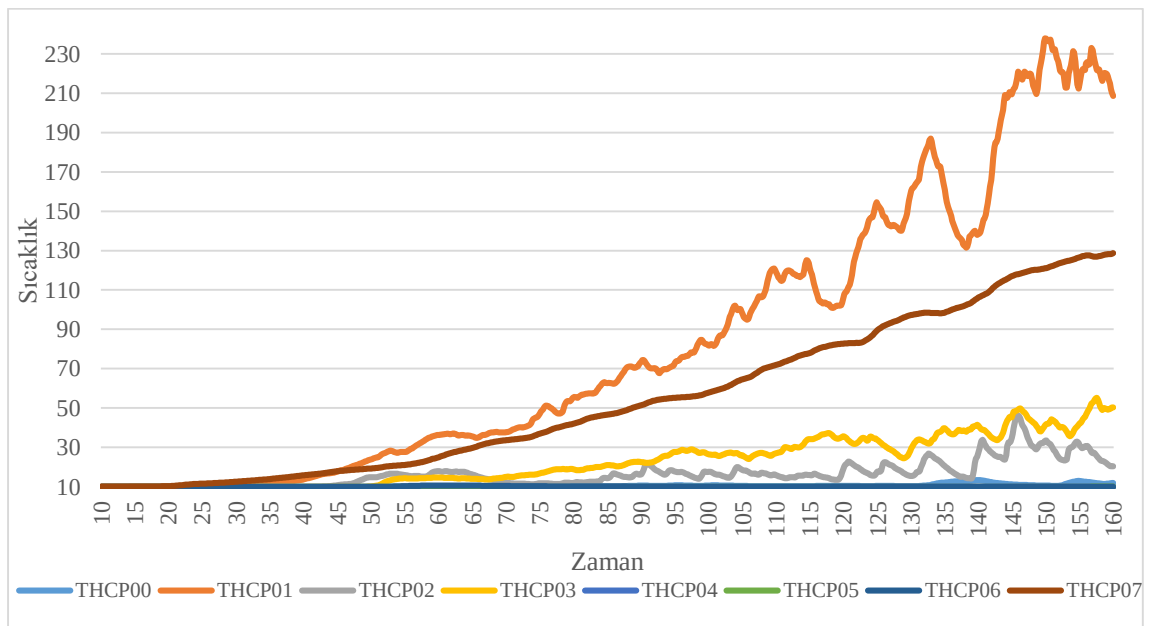
Senaryo C8

Tasarım tahliye boşluğuna odalardan açılan pencere boşluğunun genişliği 150 cm, yüksekliği 50 cm olan C8 senaryosuna ait duman, sıcaklık, alev ve hava akımı hız görünümleri Çizelge 6.30' da verilmektedir. Duman 50. saniyede tasarım tahliye boşluğunda son kat tavan seviyesindeyken, 100. saniye sonunda tasarım tahliye boşluğu hava çıkışından bina dışına geçmiş, atriumda ise zemin kat duman perdesi seviyesinde kalmış ve odalara duman geçişi olmamıştır. Simülasyon süresi sonunda duman atriumda zemin kat seviyesinde kalmışken, diğer alanlara duman geçmemiştir. Alev bulutu 100. saniyede tasarım tahliye boşluğu birinci kat tavan seviyesinden sonra sıcaklığı azalarak bina dışına ulaşmışken, simülasyon süresi sonunda tasarım tahliye boşluğunda sıcaklık seviyesi yükselmiş, atriumda ise zemin kat duman perdesi çevresinde kalmıştır. Alev ve hava akım hızları 100. saniyeden itibaren tasarım tahliye boşluğunda ortalama 3 m/s, simülasyon sonunda ise atrium boşluğunda ortalama 1,20 m/s hıza ulaşan ve birinci kat odaya kapı boşluğundan geçen yayılım görülmüştür.

Çizelge 6.30. C8 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünüşleri



C8 senaryosu için simülasyon süresi boyunca ısı çiftlerinden en yüksek sıcaklık yangın mahalinde 125,74 °C, son kat odada ise 10,67 °C olarak ölçülmüştür. Tasarım tahliye boşluğunda en yüksek sıcaklık 237,68 °C iken, atrium boşluğunda en yüksek sıcaklık 13,39 °C seviyesinde görülmüştür (Şekil 6.31).

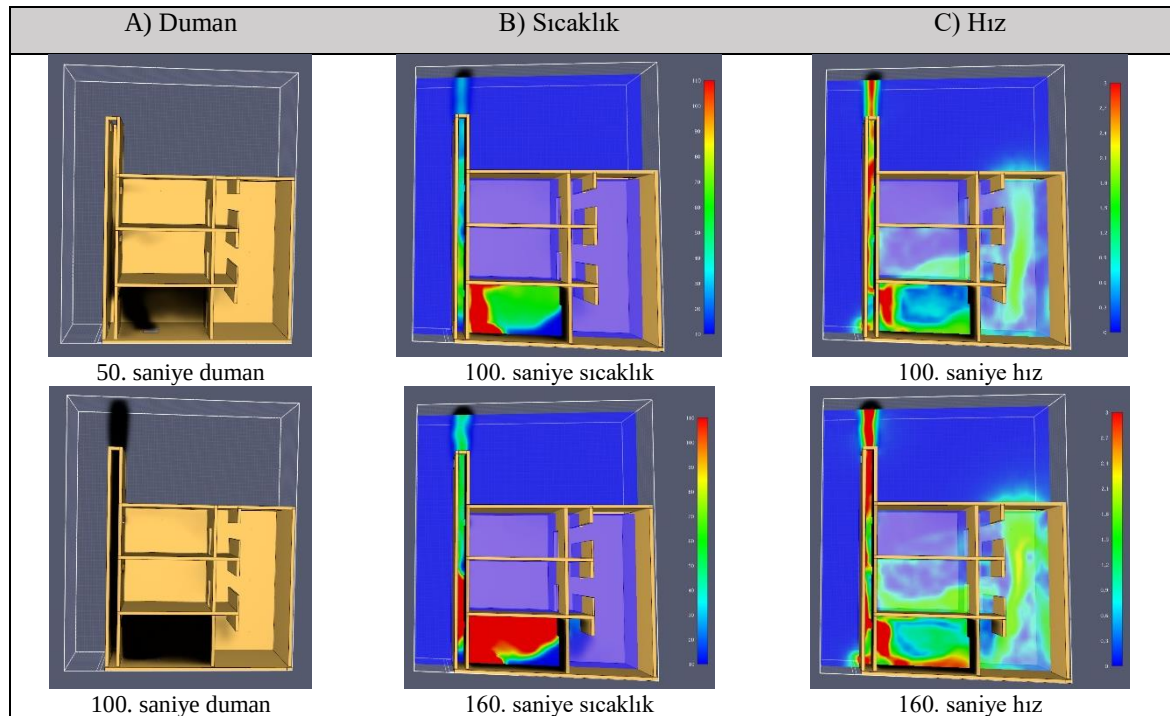


Şekil 6.31. C8 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler

Senaryo C9

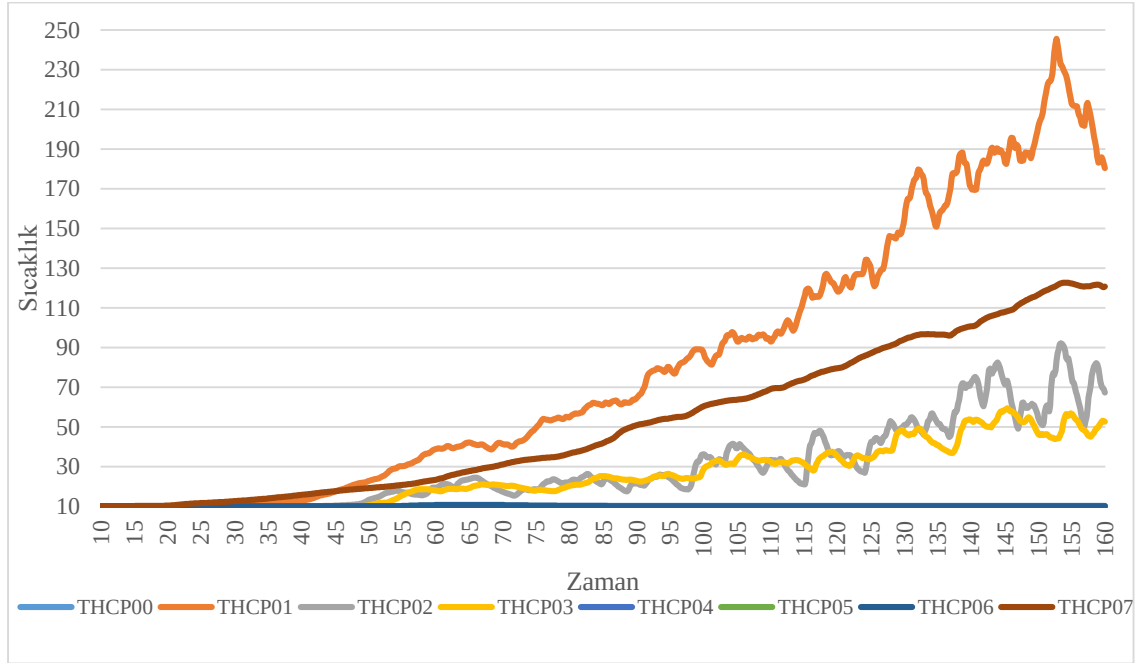
Tasarım tahliye boşluğuna odalardan açılan pencere boşluğunun genişliği 200 cm, yüksekliği 50 cm olan C9 senaryosuna ait duman, sıcaklık, alev ve hava akımı hız görünümleri Çizelge 6.31’ de verilmektedir. Duman 50. saniyede tasarım tahliye boşluğunda son kat tavan seviyesindeyken, 100. saniye sonunda tasarım tahliye boşluğu hava çıkışından bina dışına geçmiş, atriumda ve diğer mahallere duman yayılmamıştır. Simülasyon süresi sonunda duman atriumda duman perdesi çevresinde toplanmış ve diğer mahallere geçmemiştir. Alev bulutu 100. saniyede tasarım tahliye boşluğu son kat tavan seviyesinden sonra sıcaklığı azalarak bina dışına ulaşmışken, simülasyon süresi sonunda tasarım tahliye boşluğunda sıcaklık seviyesi yükselmiş, binanın diğer alanlarına alev geçmemiştir. Alev ve hava akım hızları 100. saniyeden itibaren tasarım tahliye boşluğunda ortalama 3 m/s, simülasyon sonunda ise atrium boşluğunda ortalama 1,20 m/s hızda tavan seviyesine ulaşan ve birinci kat odaya kapı boşluğundan geçen yayılım görülmüştür.

Çizelge 6.31. C9 senaryosu duman, sıcaklık ve hız görünümleri



C9 senaryosu için simülasyon süresi boyunca ısı çiftlerinden en yüksek sıcaklık yangın mahalinde 122,73 °C, son kat odada ise 10,72 °C olarak ölçülmüştür. Tasarım tahliye

boşluğunda en yüksek sıcaklık 245,61 °C iken, atrium boşluğunda en yüksek sıcaklık 10,26 °C seviyesinde görülmüştür (Şekil 6.32).



Şekil 6.32. C9 senaryosu ısı çiftlerinden ölçülen değerler

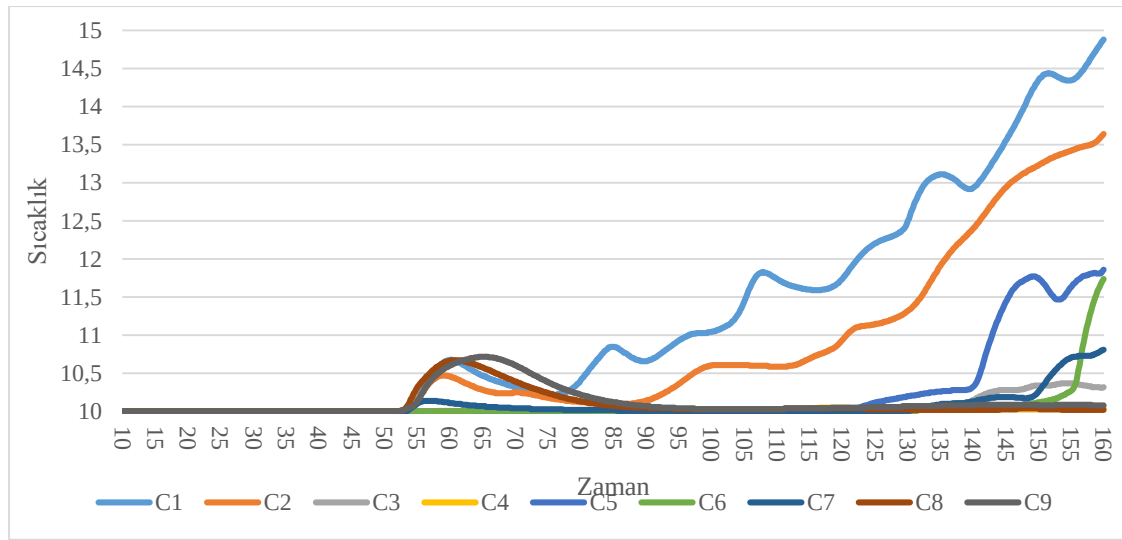
C Senaryolarına ait bulguların değerlendirilmesi

Tasarım tahliye boşluğuna ait genişlik ve yükseklik girdilerinin değiştirilerek sınındığı A senaryoları ile hava giriş çıkış yükseklik ve genişlik girdilerinin değiştirilerek sınındığı B senaryoları neticesinde özellikle duman ve alev bulutu yayılımı bağlamında en uygun sonuçların elde edilmesinden sonra tasarım tahliye boşluğuna açılan pencere boşlukları için uygun boyutlar incelenmiştir. Pencere boşluğu boyutunun yükseklik ve/veya genişliklerinin küçültülmesi duman tahliyesi ve ortam sıcaklığı açısından olumsuz etki yaratmıştır. Pencere boşluk boyutunun 50 cm x 100 cm, 50 cm x 50 cm ve 100 cm x 50 cm alındığı C5, C6 ve C7 senaryolarında atrium tamamen duman ile dolmuş ve odalara duman yayılımı gerçekleşmiş olup, ortam sıcaklıkları da diğer senaryolara göre daha fazla yükselmiştir. Ayrıca bu senaryolardan C5 ve C7 senaryolarında tasarım tahliye boşluğunda ulaşılan en yüksek hız 2,5 m/s, C6 senaryosunda ise 2 m/s ile 28 adet tasarım senaryosundan en düşük seviyede görülmüştür. Pencere boyutlarının analiz edildiği senaryolarda atriumda alev bulutu en fazla zemin kat perde duvarına kadar ulaşmış olup, B9 ve C9 senaryolarında yangın mahali kapısından alev bulutu çıkışı olmamıştır. Ayrıca B9 ve C1 senaryolarında

tasarım tahliye boşluğunda hız 3,5 m/s ile 28 adet senaryo arasından en yüksek seviyeye ulaşmıştır.

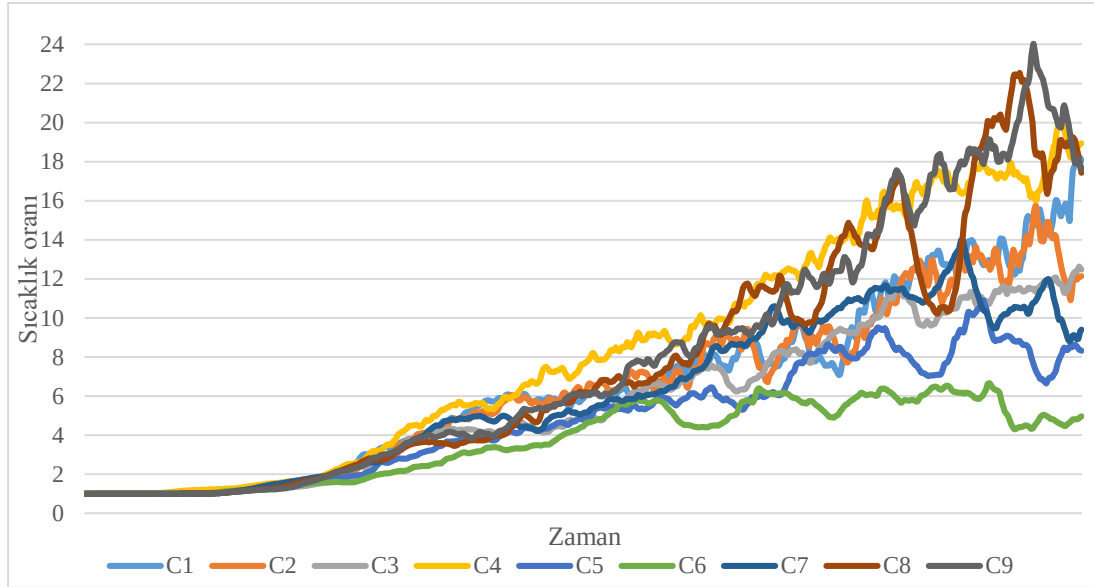
Pencere boşluğu genişliği 100 cm ve üzerinde olan senaryolarda alev bulutu yangın mahali hariç odalara geçmemiş, duman 2200 mm altına inmemiş ve atriumda ise en fazla zemin kat seviyesinde kalmıştır. Pencere genişliğinin 100 cm ve yüksekliğinin 150 cm olduğu B9 senaryosunda duman ve alev bulutu tasarım tahliye boşluğu ve yangın mahali haricinde binadaki diğer alanlara yayılmayarak en uygun tasarımı sunmuştur.

Bütün C senaryolarında yangın mahali haricindeki odalarda sıcaklık seviyeleri belirlenen performans kriterinin çok altında ölçülerek en yüksek 14,88 °C ile C1 senaryosunda ölçülmüştür. Dikdörtgen formdaki pencerelere sahip C3, C4, C8 ve C9 senaryolarında ise sıcaklık seviyesi 10,50 °C altında kalmıştır (Şekil 6.33).



Şekil 6.33. C senaryolarında son kat odalardaki ısı çiftlerinden ölçülen sıcaklık değerleri

Tasarım tahliye boşluğu ile atrium boşluğundaki sıcaklık oranlarına göre pencere boşluğu alanının en düşük olduğu C6 senaryosu tasarım tahliye boşluğu baca etkisi gücünün atriuma göre pozitif olduğu ancak en düşük seviyede olduğu tasarımdır. Pencere yüksekliğinin en az genişliğinin ise en fazla alındığı C9 ile C8 senaryolarında oranın en yüksek seviyede olması sıcaklık için dikdörtgen boyutta ve uzun kenarı ile kısa kenarı arasındaki uzunluk farkının fazla olmasının olumlu katkı sağladığını göstermiştir (Şekil 6.34).



Şekil 6.34. C senaryolarında tasarım tahliye boşluğu ile atrium sıcaklık oranları

Tasarım senaryolarında yapılan incelemeler neticesinde duman yayılımı ile alev bulutunun ve sıcaklığın kontrolü çerçevesinde yapılan analizlerde en uygun tasarım parametreleri belirlenmiştir. Yangında ortam sıcaklığı can güvenliği açısından kritik öneme sahip performans kriteri olduğu göz önüne alındığında tasarımlara ait girdi değişkenlerinin sıcaklığa etkilerinin hesaplanması tezin hedefleri ve çıkarımlarının sistematik ve anlaşılır hale getirilmesi açısından önemlidir. Bu doğrultuda; bağımsız değişkenlerin bağımlı ortam sıcaklığı değişkeni üzerindeki etki derecelerini tespit etmek, belirlenen değişkenler ve senaryoların bağımlı değişken üzerindeki anlamlılık derecelerini belirlemek, bağımsız değişkenlerdeki değişimlerde bağımlı sıcaklık değişkeni değişimini denklem aracılığıyla sayısal olarak tahmin edilebilmek için global hassasiyet analizi yapılmaktadır. Global hassasiyet analizleri arasından ise birden fazla değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkileri istatistiksel olarak sunan çok değişkenli doğrusal regresyon analizi kullanılmaktadır.

6.4. Hassasiyet Analizi

Pyrosim aracılığıyla sonuçları elde edilen senaryolara ait sıcaklık zaman verilerinin düzensiz ve üslü sayıları ifade eden “E” satırları içermesi sebebiyle “csv” uzantılı veriler Matlab programına aktararak sayısal olarak düzenli hale getirilmiş ve gerekli grafikler oluşturulmuştur. Ayrıca her bir senaryo için 1001 adet verilen sıcaklık değerlerini tek tek kullanmak yerine istatistiksel olarak özetlemek için Matlab programından yararlanılmıştır.

Her senaryoya ait zamana bağlı 1001 adet olarak verilen sıcaklık değerlerini istatistiksel olarak tanımlamak için tanımlayıcı istatistik yöntemlerinden merkezi eğilim ölçüleri kullanılmıştır. Merkezi eğilim ölçüleri bir dağılım hakkında fikir veren kritik noktalar olup, sayısal değişkenler için ortalama veya ortanca ile ifade edilir. Sayısal değişkenlerde dağılım normal ise ortalama (mean), normal değilse ortanca (medyan) tercih edilir. Senaryolara ait sıcaklık değişkenleri incelendiğinde genel itibariyle doğrusal olarak yükselen değerler olması sebebiyle çalışma kapsamında değişken verilerini istatistik olarak özetlemek amacıyla ortalama (mean) değerleri alınmıştır. Sonuç olarak Pyrosim programı aracılığıyla gerçekleşen senaryoların matlab programı aracılığıyla düzenlenen ve sıcaklıkların ortalamalarına ait hesap sonuçları Çizelge 6.32’ de verilmektedir.

Çizelge 6.32. Senaryolara ait matlab programından elde edilen ortalama sıcaklık değerleri

Senaryo	Boşluk genişliği	Boşluk yüksekliği	Hava giriş çıkış genişliği	Hava giriş çıkış yüksekliği	Pencere boşluğu genişliği	Pencere boşluğu yüksekliği	Sıcaklık ortanca (°C)
A1	200	1050	360	100	100	150	52.99
A2	150	1050	360	100	100	150	54.00
A3	100	1050	360	100	100	150	48.76
A4	50	1050	360	100	100	150	50.35
A5	150	1400	360	100	100	150	50.29
A6	150	1575	360	100	100	150	52.57
A7	50	1400	360	100	100	150	51.83
A8	50	1575	360	100	100	150	52.89
B1	50	1400	360	250	100	150	53.63
B2	50	1400	360	200	100	150	52.36
B3	50	1400	360	150	100	150	50.51
B4	50	1400	360	50	100	150	48.39
B5	50	1400	250	50	100	150	48.64
B6	50	1400	200	50	100	150	46.30
B7	50	1400	150	50	100	150	44.67
B8	50	1400	100	50	100	150	44.38
B9	50	1400	50	50	100	150	32.53
C1	50	1400	50	50	200	150	25.73
C2	50	1400	50	50	150	150	30.58
C3	50	1400	50	50	50	150	49.02
C4	50	1400	50	50	50	200	45.23
C5	50	1400	50	50	50	100	54.11
C6	50	1400	50	50	50	50	53.49
C7	50	1400	50	50	100	50	47.97
C8	50	1400	50	50	150	50	45.96
C9	50	1400	50	50	200	50	43.58

Prototip binada tasarlanan 28 adet senaryo ile belirlenen bağımsız değişkenlerin sıcaklık üzerindeki hassas ölçümleri yapılarak modele etki derecelerinin incelenmesi için hassasiyet analizleri içerisinde regresyon tabanlı hassasiyet analizi kullanılmıştır. Pyrosim programı ile senaryolara ait 1001 adet sıcaklık verisi matlab programı ile düzenlenip ortalama değerleri bulunduğundan sonra senaryolardaki bağımsız değişkenlere ait veriler ve bağımlı değişken olan ortalama sıcaklık değerleri SPSS programına aktarılmıştır. Program aracılığıyla sırasıyla korelasyon ve anlamlılık analizi, sınırlılıkların belirlenmesi ve çok değişkenli doğrusal regresyon analizi yapılmıştır.

- Korelasyon analizi; her bir değişkenin bağımlı sıcaklık değişkeni üzerindeki diğer değişkenler dikkate alınmaksızın etki derecelerini,
- Anlamlılık ve çoklu doğrusallık analizi; tasarlanan modelin ve senaryoların uygunluğunu ve gücünü,
- Sınırlılık analizi; belirsizliklerin aşırı uçlarının sonuçlarını değerlendirerek modele katkı sağlamayan senaryoların tespit edilmesini,
- Çok değişkenli doğrusal regresyon analizi; bağımsız değişkenlerin tamamının bağımlı sıcaklık değişkeni üzerindeki etki derecelerinin tespit edilmesini ve değişkenler bilindiği zaman bağımlı değişkene ait değerleri bulmak için model denkleminin oluşturulmasını sağlamaktadır.

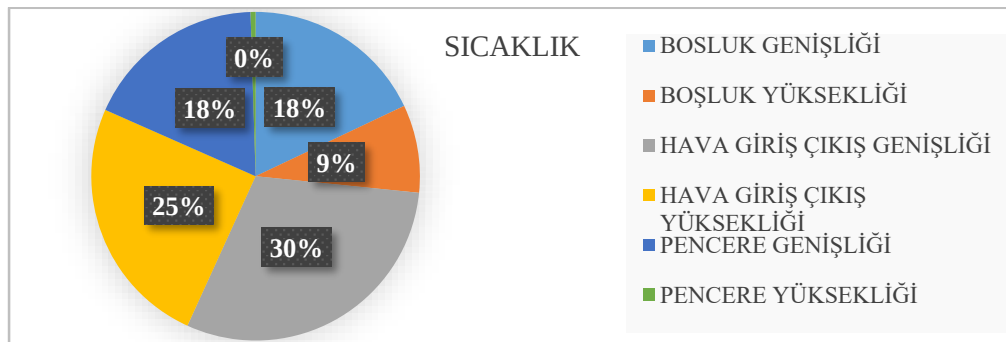
Korelasyon ve Modelin Anlamlılık Analizi

Boşluk genişlik ve yüksekliği, hava giriş çıkış genişliği ve yüksekliği, pencere genişlik ve yüksekliği olmak üzere 6 adet bağımsız değişken ve sıcaklık bağımlı değişkeni arasındaki SPSS programı vasıtasıyla elde edilen korelasyon grafiği Çizelge 6.33' te verilmektedir. Öncelikle bağımsız değişkenler arasında düşük korelasyona bakılarak çoklu doğrusallık olup olmadığı incelenmektedir. Çoklu doğrusallık değişkenler arasındaki gücü ifade ederek modelin anlamlılığı hakkında bilgi vermekte olup, bağımsız değişkenlerin kendi arasında korelasyonun güçlü olması çoklu doğrusallık olduğunu göstererek modelin anlamlılığını zayıflatmaktadır. Bağımsız değişkenlerin kendi arasında 0,80 ve üstü korelasyon katsayısı varsa çoklu doğrusallık olduğu anlaşılmaktadır. Çizelge 6.33' te açık gri olarak ifade edilen alan bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon değerlerini göstermekte olup, değerler 0,80' nin altında olduğundan dolayı çoklu doğrusallık bulunmamaktadır.

Çizelge 6.33. Değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları

		Sıcaklık	Boşluk genişliği	Boşluk yüksekliği	Hava giriş çıkış genişliği	Hava giriş çıkış yüksekliği	Pencere genişliği	Pencere yüksekliği
Pearson Korelasyon	Sıcaklık	1,000	,449	-,216	,755	,620	-,447	,012
	Boşluk genişliği	,449	1,000	-,342	,503	,176	-,054	,202
	Boşluk yüksekliği	-,216	-,342	1,000	-,263	-,092	,028	-,106
	Hava giriş çıkış genişliği	,755	,503	-,263	1,000	,667	-,122	,457
	Hava giriş çıkış yüksekliği	,620	,176	-,092	,667	1,000	-,071	,268
	Pencere genişliği	-,447	-,054	,028	-,122	-,071	1,000	-,232
	Pencere yüksekliği	,012	,202	-,106	,457	,268	-,232	1,000

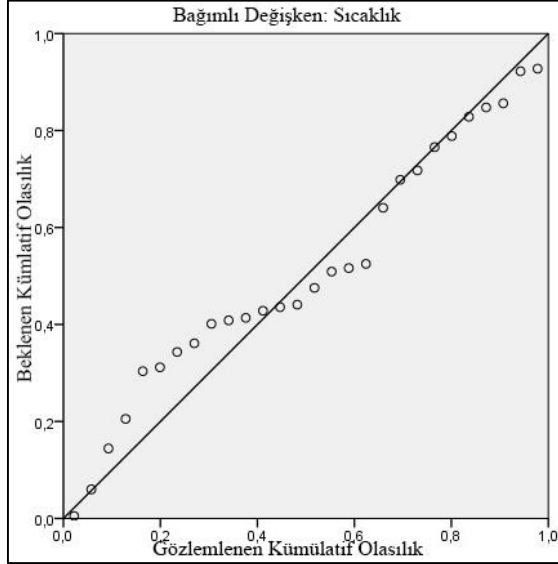
Çizelge 6.33’ teki koyu gri ile gösterilen katsayılar bir bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki diğer değişkenler ile ilişkisiz olarak etki derecesini açıklamaktadır. Örneğin; boşluk genişliği sıcaklık kesişimindeki 0,449 katsayısı boşluk genişliğinin sıcaklık üzerinde yaklaşık % 45 etkisi olduğunu göstermektedir. Şekil 6.35’te bağımsız değişkenlerin her birinin bağımlı değişken üzerindeki etki derecesi yüzdelik dilim ile gösterilmekte olup, bu dilimden yeşil ile gösterilen pencere yüksekliğinin diğer değişkenlerden bağımsız ele alınması durumunda sıcaklık üzerinden neredeyse hiç etkisinin olmadığı, hava giriş çıkış genişliğinin ise en yüksek etkiye sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 6.35. Bağımsız değişkenlerin her birinin sıcaklık üzerindeki etki yüzdesi

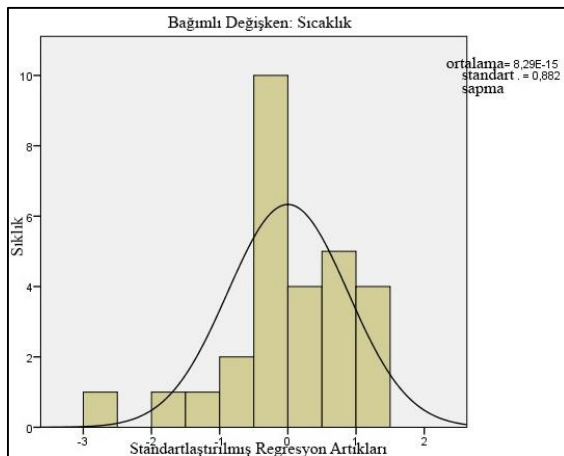
Sayısal değerlerin grafik analizini gösteren normal dağılım grafiği, korelasyonun varlığı ve var ise pozitif ve negatif korelasyon hakkında fikir vermektedir. Şekil 6.36’daki modele ait korelasyon grafiğinde değerlerin doğru çevresinde toplandığı ve artan bir grafik doğrusuna

sahip olduğu görülmesi sebebiyle model için güçlü bir korelasyonun varlığı ve genel olarak pozitif korelasyon olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 6.36. Normal dağılım grafiği

Sayısal değişkenler için yapılacak analizlerden diğeri ise değişken değerlerinin dağılımının normal olup olmadığının tespittir. Değişken için görülen değerler ortalamaya yakınsa veya ortalamadan eşit oranda artıyor ve azalıyorsa, değerler ile ortalama arasında 2 standart sapmadan daha az değer var ise bu değişkenler normal dağılıma sahiptir. Şekil 6.37’ de değişkenlerin dağılımını gösteren histogram verilmektedir. Dağılım tek tepe yaptığı, tepenin ortada yer aldığı, çarpıklık olmadığı ve ortalama arasında 0,882 standart sapma değeri olması sebepleriyle değişkenlerin normal dağıldığı anlaşılmıştır.



Şekil 6.37. Değişkenlere ait normal dağılımı gösteren histogram

Sınırlılıkların Analizi

Uç değerlerin tespiti için kullanılan Mahalanobis' distance, Cook's distance, Centered leverage value için modele ait SPSS programından elde edilen değerler Çizelge 6.34' de verilmekte olup, uç değerler için maksimum değerlerin olduğu sütun kritik öneme sahiptir. Modelde 3 yöntemden iki ve daha fazlasında uç değer tespit edilmesi durumunda modeldeki senaryolardan uç değer tablolarına bakılarak, uç değerleri sahip modele katkısı olmayan senaryolar tespit edilmektedir.

Çizelge 6.34. Yöntemlere ait uç değerler

	Minimum	Maximum	Ortalama	Standart sapma	Senaryo sayısı
Mahal. Distance	1,081	14,637	5,786	3,371	28
Cook's Distance	0,000	0,335	0,054	0,088	28
Centered Leverage Value	0,040	0,542	0,214	0,125	28

Mahalanobis' distance' a göre uç değerleri hesaplamak için Dağılımın kritik değerlerini gösteren Ki-Kare tablosuna bakılmıştır (Şekil 6.38). Tasarım modeline ait bağımsız değişken sayısına göre serbestlik derecesinde 6, anlamlılık düzeyi 0,001 olan satıra karşılık gelen 22,46 kritik değeri uç değeri ifade etme olup, Çizelge 6.34' te verilen modelin Mahalanobis' distance' a göre 14,637 maksimum değeri, 22,46 kritik değerinin altında olduğundan bu yönetime göre uç değer bulunmamıştır.

Serbestlik derecesi					Anlamlılık düzeyi									
df	0.995	0.990	0.975	0.95	0.9	0.75	0.5	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005	0.001
1	0.000039	0.000157	0.000982	0.00393	0.0158	0.102	0.455	1.323	2.706	3.841	5.024	6.635	7.879	10.828
2	0.010	0.020	0.051	0.103	0.211	0.575	1.386	2.773	4.605	5.991	7.378	9.210	10.597	13.816
3	0.072	0.115	0.216	0.352	0.584	1.213	2.366	4.108	6.251	7.815	9.348	11.345	12.838	16.266
4	0.207	0.297	0.484	0.711	1.064	1.923	3.357	5.385	7.779	9.488	11.143	13.277	14.860	18.467
5	0.412	0.554	0.831	1.145	1.610	2.675	4.351	6.626	9.236	11.070	12.833	15.086	16.750	20.515
6	0.676	0.872	1.237	1.635	2.204	3.455	5.348	7.841	10.645	12.592	14.449	16.812	18.548	22.458
7	0.989	1.239	1.690	2.167	2.833	4.255	6.346	9.037	12.017	14.067	16.013	18.475	20.278	24.322
8	1.344	1.646	2.180	2.733	3.490	5.071	7.344	10.219	13.362	15.507	17.535	20.090	21.955	26.124
9	1.735	2.088	2.700	3.325	4.168	5.899	8.343	11.389	14.684	16.919	19.023	21.666	23.589	27.877
10	2.156	2.558	3.247	3.940	4.865	6.737	9.342	12.549	15.987	18.307	20.483	23.209	25.188	29.588
11	2.603	3.053	3.816	4.575	5.578	7.584	10.341	13.701	17.275	19.675	21.920	24.725	26.757	31.264
12	3.074	3.571	4.404	5.226	6.304	8.438	11.340	14.845	18.549	21.026	23.337	26.217	28.300	32.909
13	3.565	4.107	5.009	5.892	7.042	9.299	12.340	15.984	19.812	22.362	24.736	27.688	29.819	34.528
14	4.075	4.660	5.629	6.571	7.790	10.165	13.339	17.117	21.064	23.685	26.119	29.141	31.319	36.123
15	4.601	5.229	6.262	7.261	8.547	11.037	14.339	18.245	22.307	24.996	27.488	30.578	32.801	37.697
16	5.142	5.812	6.908	7.962	9.312	11.912	15.338	19.369	23.542	26.296	28.845	32.000	34.267	39.252
17	5.697	6.408	7.564	8.672	10.085	12.792	16.338	20.489	24.769	27.587	30.191	33.409	35.718	40.790
18	6.265	7.015	8.231	9.390	10.865	13.675	17.338	21.605	25.989	28.689	31.526	34.805	37.156	42.312
19	6.844	7.633	8.907	10.117	11.651	14.562	18.338	22.718	27.204	30.144	32.852	36.191	38.582	43.820
20	7.434	8.260	9.591	10.851	12.443	15.452	19.337	23.828	28.412	31.410	34.170	37.566	39.997	45.315
21	8.034	8.897	10.283	11.591	13.240	16.344	20.337	24.935	29.615	32.671	35.479	38.932	41.401	46.797
22	8.643	9.542	10.982	12.338	14.041	17.240	21.337	26.039	30.813	33.924	36.781	40.289	42.796	48.268
23	9.260	10.196	11.689	13.091	14.848	18.137	22.337	27.141	32.007	35.172	38.076	41.638	44.181	49.728
24	9.886	10.856	12.401	13.848	15.659	19.037	23.337	28.241	33.196	36.415	39.364	42.980	45.559	51.179
25	10.520	11.524	13.120	14.611	16.473	19.939	24.337	29.339	34.382	37.652	40.646	44.314	46.928	52.620
26	11.160	12.198	13.844	15.379	17.292	20.843	25.336	30.435	35.563	38.885	41.923	45.642	48.290	54.052
27	11.808	12.879	14.573	16.151	18.114	21.749	26.336	31.528	36.741	40.113	43.195	46.963	49.645	55.476
28	12.461	13.565	15.308	16.928	18.939	22.657	27.336	32.620	37.916	41.337	44.461	48.278	50.993	56.892
29	13.121	14.256	16.047	17.708	19.768	23.567	28.336	33.711	39.087	42.557	45.722	49.588	52.336	58.301
30	13.787	14.953	16.791	18.493	20.599	24.478	29.336	34.800	40.256	43.773	46.979	50.892	53.672	59.703
40	20.707	22.164	24.433	26.509	29.051	33.660	39.335	45.616	51.805	55.758	59.342	63.691	66.766	73.402
50	27.991	29.707	32.357	34.764	37.689	42.942	49.335	56.334	63.167	67.505	71.420	76.154	79.490	86.661
60	35.534	37.485	40.482	43.188	46.459	52.294	59.335	66.981	74.397	79.082	83.298	88.379	91.952	99.607
70	43.275	45.442	48.758	51.739	55.329	61.698	69.334	77.577	85.527	90.531	95.023	100.425	104.215	112.317
80	51.172	53.540	57.153	60.391	64.278	71.145	79.334	88.130	96.578	101.879	106.629	112.329	116.321	124.839
90	59.196	61.754	65.647	69.126	73.291	80.625	89.334	98.650	107.565	113.145	118.136	124.116	128.299	137.208
100	67.328	70.065	74.222	77.929	82.358	90.133	99.334	109.141	118.498	124.342	129.561	135.807	140.169	149.449

Şekil 6.38. Ki-Kare tablosu

Cook's distance' a göre uç değerleri hesaplamak için Eş. (5.2) kullanılmıştır. Eş. (5.2)' deki hesaplamaya göre ortaya çıkan 0,19 uç değeri, Çizelge 6.34' te verilen modele ait 0,335 değerinin altında kalmıştır. Bu durumda SPSS aracılığıyla senaryolara ait uç değerler tablosuna bakılmıştır (Çizelge 6.35). Burada uç değerin üzerinde kalan 2 adet senaryonun olduğu görülmüştür. Bu iki senaryo Mahalanobis' distance' a göre uç değer üzerinde kalmamakta olup, üçüncü yöntem olan Centered Leverage Value' de uç değer üzerinde kalıp kalmadığı kritik öneme sahiptir.

Centered Leverage Value'ye göre uç değerleri hesaplamak için Eş.5.3 kullanılmıştır. Eş. 5.3' teki hesaplamaya göre ortaya çıkan 0,50 uç değeri Çizelge 6.34' te verilen modele ait 0,352 değerinin üstündedir. Ayrıca Çizelge 6.35' te verilen senaryolara ait uç değerlerden 0,50 değeri üzerinde kalan bir senaryo bulunmakta olup, bu senaryo diğer iki yöntemle göre uç değer olmadığı için ilgili senaryo anlamlı olarak kabul edilmiştir. Uygulanan 3 yöntemden en az ikisinde uç değere sahip senaryo bulunmadığı için senaryoların modele katkısı olduğu kabul edilmiştir.

Çizelge 6.35. Senaryolarda uygulanan sınırlılık analizi yöntemleri için uç değerleri

Senaryo	Mahalanobis' distance	Cook's distance	Centered leverage value
A1	10,04363	0,33481	0,37199
A2	9,13619	0,29	0,33838
A3	10,50386	0,19311	0,38903
A4	2,49728	0,1593	0,09249
A5	4,44026	0,10806	0,16445
A6	5,49122	0,06636	0,20338
A7	14,63667	0,05849	0,5421
A8	4,67494	0,05387	0,17315
A9	7,54652	0,05044	0,2795
A10	9,39597	0,04789	0,348
B1	5,84482	0,04137	0,21647
B2	8,39008	0,03061	0,31074
B3	2,7279	0,02353	0,10103
B4	6,83828	0,01968	0,25327
B5	5,45875	0,01582	0,20218
B6	1,38985	0,01011	0,05148
B7	6,67989	0,00421	0,2474
B8	5,70711	0,00296	0,21137
B9	1,45388	0,00251	0,05385
C1	5,58385	0,00197	0,20681
C2	1,08108	0,00164	0,04004
C3	2,34728	0,00142	0,08694
C4	3,25965	0,00082	0,12073
C5	2,7807	0,00059	0,10299
C6	9,36643	0,00054	0,3469
C7	8,58351	0,00048	0,31791
C8	4,76153	0,00003	0,17635
C9	1,37888	0,00002	0,05107

Korelasyon, anlamlılık ve sınırlılık analizlerine ait değerlendirmeler aşağıda özetlenmektedir:

- Model değerler doğrusal çizgi çevresinde toplanması ve artan grafiğe sahip olması sebebiyle pozitif korelasyona sahiptir.
- Bağımsız değişkenler arasında çoklu doğrusallık bulunmadığı için model anlamlıdır.
- Mahalanobis' distance, Cook's distance, Centered Leverage Value yöntemlerinden en az ikisini kapsayan uç değer bulunmadığı için bütün senaryoların modele katkısının olduğu kabul edilmektedir.
- Bağımsız değişkenlerden her birinin bağımlı değişkene bireysel olarak katkısı ölçüldüğünde pencere yüksekliğinin etkisi sıfıra yakınken, en fazla etkiye sahip değişken, bir birim değişikliğinde bağımlı sıcaklık değişkenini yaklaşık 0.75 değiştiren hava giriş çıkış genişliğidir.
- Histogram grafiğine göre değerler ile ortalama arasında 2 standart sapmadan daha az değere sahip olması ve iki tarafına doğru benzer dağılım göstererek ortada tepe yapması nedeniyle değişkenler normal dağılıma sahiptir.

Çok Değişkenli Doğrusal Regresyon Sonuçları

SPSS programı aracılığıyla elde edilen regresyon sonuçlarında öncelikle bağımlı değişkenin yüzdesel olarak kaçının modeldeki bağımsız değişkenle açıklandığını ifade eden R değeri korelasyon katsayısı ve “R Square” belirtme katsayısını veren model özeti tablosuna bakılmıştır (Çizelge 6.36). Çizelge 6.36’ ya göre bağımsız değişkenlerin kombinasyonun bağımlı değişkene olan kombinasyonunu veren R korelasyon katsayısı 0,967 iken, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkende açıkladığı varyansı gösteren “R Square” ise 0,935 katsayısıdır. Buna göre bağımlı değişkendeki varyasyonu bağımsız değişkenler yaklaşık % 94 oranında açıklamaktadır.

Çizelge 6.36. Değişkenlerin kombinasyonları ve varyanslarının bağımlı değişkene etki değerleri

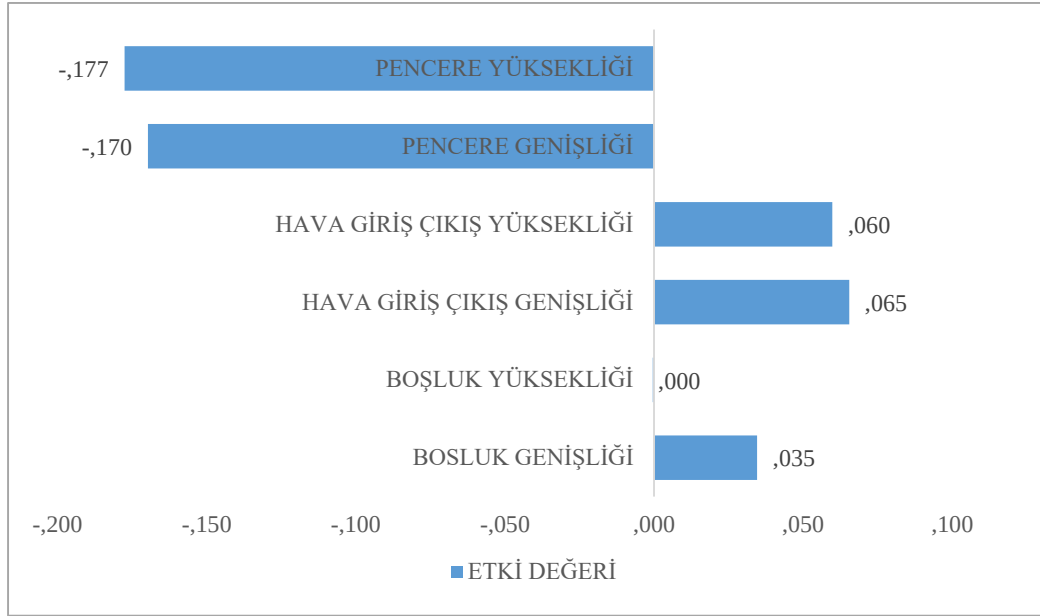
Model	R	R ²	Düzenlenmiş R ²	Tahmini standart sapma
1	0,967 ^a	0,935	,916	3,85993

Son olarak Çizelge 6.37 ile regresyon sonuçları yorumlanmış ve sonuç katsayılarından regresyon denklemi oluşturulmuştur. Çizelge 6.37’ de verilen constant sabit sayıyı, altındaki satırlar ise bağımsız değişkenleri ve karşılarında ilgili değerleri vermektedir. B sütunu beta katsayılarını vermekte olup, bağımsız değişkenin bir birim değişmesi ile bağımlı değişkenin ne kadar etkilendiğini göstermektedir. Buna göre boşluk genişliğinin bir birim değişmesi sıcaklık değişkenini 0,035 oranında pozitif yönde etkilerken, pencere yüksekliğinin bir birim değişmesi sıcaklık değişkeninin 0,177 negatif yönde etkilediğini göstermektedir. Ayrıca beta katsayıları regresyon denklemini oluşturmak için kullanılmaktadır. Significant sütunundaki değerlerin 0.5’ den büyük olması ilgili değişkenin anlamlı olmadığını ve katkı sağlamadığını göstermektedir. Beta katsayılarına ve anlamlılık değerlerini gösteren significant sütununa göre boşluk yüksekliğinin sıcaklık üzerinde etkisi önemsizdir.

Çizelge 6.37. Regresyon sonuçlarına ait katsayılar

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Significant
		B	Std. Error	Beta		
	(Constant)	82,194	9,286		8,851	0,000
	Boşluk genişliği	0,0350	0,019	0,125	1,824	0,082
	Boşluk yüksekliği	0,0001	0,006	-0,0004	-0,071	0,944
	Hava giriş çıkış genişliği	0,0650	0,009	0,721	7,608	0,000
	Hava giriş çıkış yüksekliği	0,0600	0,021	0,220	2,844	0,010
	Pencere genişliği	-0,1700	0,021	-0,455	-7,956	0,000
	Pencere yüksekliği	-0,1770	0,022	-0,507	-7,923	0,000

Şekil 6.39’da bağımsız değişkenlerin bir birim değişmesinden sıcaklık değişkeninin etki katsayısına göre sıralaması verilmektedir. Buna göre pencere boyutları en fazla etkiye sahip ve negatif yönde etkilerken boşluk boyutlarının sıcaklığa etkisi en az seviyededir.



Şekil 6.39. Bağımsız değişkenlerin sıcaklık değişkenine etki sıralamaları

Çizelge 6.37’ deki beta katsayılarının yer aldığı veriler Eş. (5.4)’ teki regresyon denkleminde faydalanılarak hesaplanmaktadır. Modelin sınanması ve doğrulanması için aşağıda verilen denklemde bağımsız değişkenlere rastgele değerler verilmekte ve bu değerler Pyrosim programında modele girilerek simülasyon gerçekleştirilmektedir. Denklemdeki sıcaklık değeri ve simülasyon sonucu çıkan ortalama sıcaklık değeri karşılaştırılmaktadır.

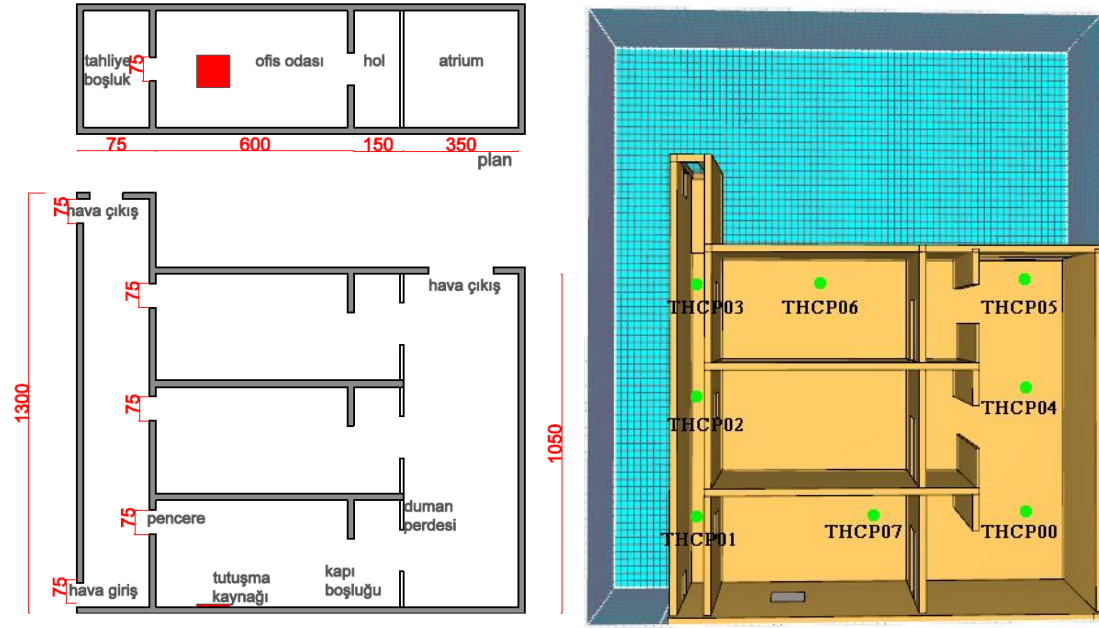
$$Y_n = 82,194 + 0,0350X_1 + 0,0001X_2 + 0,0650X_3 + 0,060X_4 - 0,170X_5 - 0,177X_6 \quad (5.4)$$

6.5. Regresyon Denklemi ile Modelin Karşılaştırılması

Çok değişkenli regresyon analizi neticesinde elde edilen sıcaklık denklemi ile çalışma kapsamında hesaplamalı akışkanlar dinamiğini simülasyonla birlikte sunabilen ve FDS altyapısını içinde barındıran Pyrosim programından yararlanılarak oluşturulan sayısal modelden elde edilen sıcaklık değeri karşılaştırılmıştır. Böylece sayısal model ile simülasyon yapılmadan denklem aracılığıyla hızlı sonuçların alınıp alınmayacağı test edilmiştir. Çalışma kapsamında belirlenen 6 adet bağımsız değişken ile oluşan 28 adet senaryodan farklı olarak modelin sınanması için başka bir örnek model tasarlanmıştır. Örnek modelde değişkenlere ilişkin belirlenen değerler Çizelge 6.38’ de, örnek modelin plan, kesit ve görünüşü ise Şekil 6.40’ ta verilmiştir.

Çizelge 6.38. Modelin sınanması için belirlenen değişken değerleri

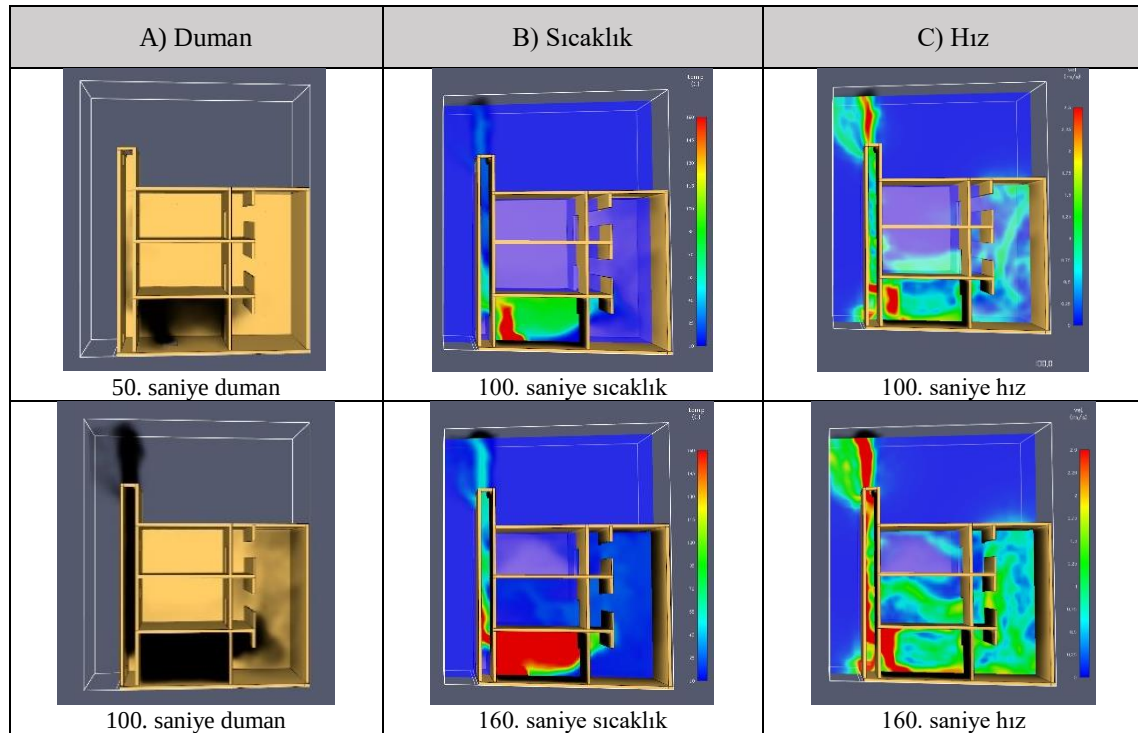
Değişken	Boşluk genişliği	Boşluk yüksekliği	Hava giriş çıkış genişliği	Hava giriş çıkış yüksekliği	Pencere genişliği	Pencere yüksekliği
Sayısal değer	75	1300	75	75	75	75



Şekil 6.40. Örnek model simülasyonuna ait plan kesit ve görünüş

Modelin sınanması için oluşturulan örnek simülasyonda yangın özellikleri tasarım yangını için belirlenen özellikler ile aynı alınmıştır. Daha önce gerçekleştirilen 28 senaryoda olduğu gibi bu örnek senaryoda da duman, alev ve hız analizleri ve denklemin sınanması için ortam sıcaklık değerleri incelenmiştir. Duman yayılımı, alev yayılımını gösteren sıcaklık seviyesi ve ortamdaki alev ve hava akımlarına ait hızlara ait görseller Çizelge 6.39’ da verilmektedir. Duman katmanı öncelikle tahliye boşluğundan hava çıkışlarına ulaşmış ve kullanım alanlarına geçmemiştir. Ancak tahliye boşluğundan sonra atrium boşluğuna geçiş olmuştur. Alevler de tahliye boşluğuna yönelirken atrium boşluğu zemin kat seviyesine geçiş olmuştur. Hava ve alev hızı simülasyon süresince en fazla 2,5 m/s’ ye ulaşmıştır.

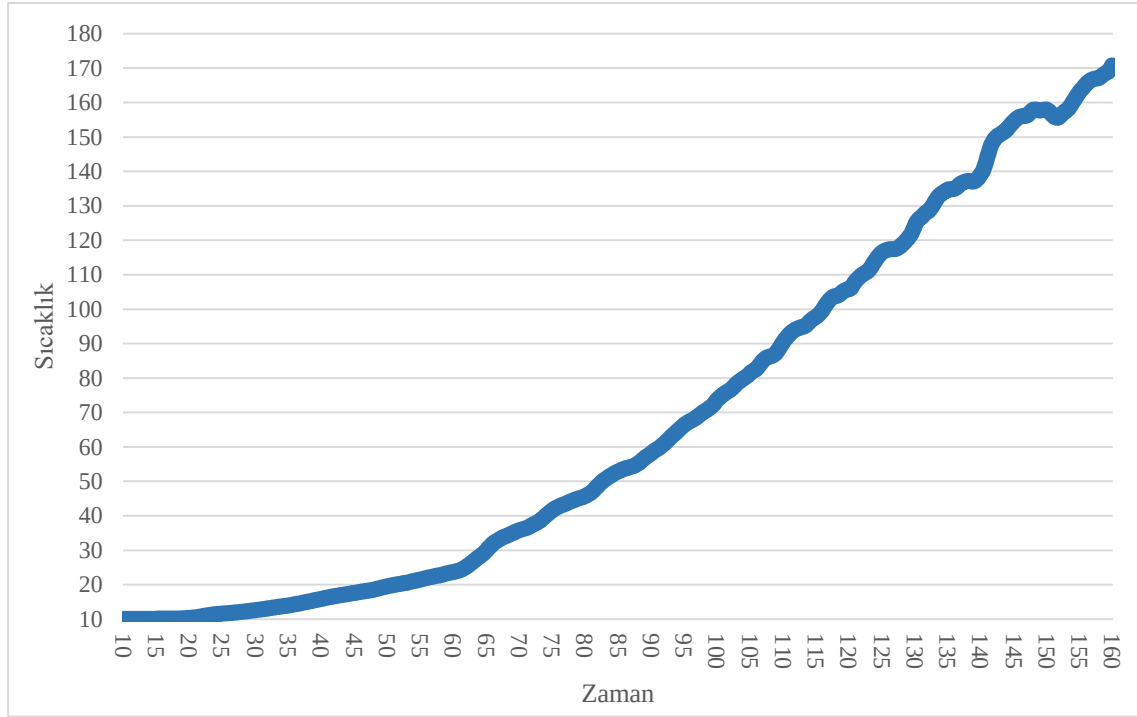
Çizelge 6.39. Örnek senaryo duman, sıcaklık ve hız görünümüleri



160 saniyelik simülasyon süresi boyunca yangın mahaline yerleştirilen ısı çiftteki sıcaklığa ait matlab programı ile düzenlenen sıcaklık zaman grafiği Şekil 6.41’ de verilmektedir. Buna göre ortamdaki en yüksek sıcaklık 170,80 °C, matlab programı aracılığıyla hesaplanan ortalama sıcaklık ise **67,12 °C**’ dir. Modelin sınanması için Eşitlik 5.4 regresyon denklemine örnek simülasyondaki değişkenlere ait değerler girilerek ortalama sıcaklık hesaplanmıştır. Bu denklem ile elde edilecek değer tasarımcının simülasyon kullanmadan hesaplayabileceği değerdir.

$$Y_n = 82,194 + 0,0350 \cdot 75 + 0,0001 \cdot 1300 + 0,0650 \cdot 75 + 0,060 \cdot 75 - 0,170 \cdot 75 - 0,177 \cdot 75 = \mathbf{66,87^\circ C}$$

Denklemden elde edilen 66,87 °C ile simülasyon sonucu elde 67,12 °C sıcaklık değerleri kıyaslandığında % 99.6 oran ile değerlerin örtüştüğü görülmüş olup, simülasyon kullanmadan sıcaklık değerlerinin Eş. (5.4) vasıtasıyla hesaplanabileceği değerlendirilmiştir.



Şekil 6.41. Örnek simülasyon ortam sıcaklığı zaman grafiği

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez kapsamında doğal havalandırmayı etkin bir şekilde kullanmak amacıyla iç hava akımını yönlendirmek için tercih edilen yeşil binalardaki düşey iç boşlukların olası bir yangında duman ve alevlerin bina içerisinde yayılım riskleri karşısında duman tahliyesi ile alev ve sıcaklık kontrolünün sağlanması için fırsata dönüştürülmesini hedefleyen performansa dayalı model geliştirilmiştir. Isınan havanın yükselerek bina dışına atılması prensibine dayanan baca etkisinin görüldüğü düşey iç boşluklarda doğal havalandırma tasarımı boşluğa komşu mekânlara alınan taze havanın ısınarak ve kirlenerek boşluk aracılığıyla mekândan atılmasına dayanan prensibin duman tahliyesi tasarımı için de geçerli olacağı hipotezinden yola çıkarak uygun düşey boşluk tasarım modeli sunulmuştur.

Tasarım modelinin uygulanması amacıyla tasarlanan prototip binada güneş ve rüzgar bacası çalışma prensibi ile çift kabuklu cephe boşluğu boyutlarından faydalanılarak tasarlanan tahliye boşluğunda duman tahliyesi ile mekanlarda sıcaklık ve alev kontrolü yapılması hedeflenmiştir. Ayrıca mekâna geçiş holü aracılığıyla komşu olarak atrium boşluğu tasarlanarak model karmaşık hale gelmiş ve baca etkisinin meydana geldiği tasarım tahliye boşluğu ile atrium boşluğunun karşılaştırılması yapılmıştır. Güneş ve rüzgar bacalarındaki ısınan havanın yükselerek bina dışına atılması prensibinden yola çıkarak prototip binada düşey tahliye boşluğu yüksekliğinin bina yüksekliğinin üzerinde tasarlanması sayesinde boşluktaki baca etkisi artırılmış, dumanın yangın mahalinden boşluğa geçiş süresi kısaltılmış ve boşluktaki duman, alev hareket hızı artırılmıştır. Boşluğun bina yüksekliğinin üzerinde tasarlanacak olan yüksekliğin bir kat yüksekliğinden fazla tasarlanması durumunda ise boşluktaki baca etkisinin azalarak, duman ve alevin akış hızını azalttığı tespit edilmiştir. Tahliye boşluk genişliğinin küçülmesi ise dumanın ve alevlerin boşluğa yöneliminin ve boşlukta duman akış hızının artmasını sağlamıştır.

Tasarım tahliye boşluğu boyutlarının düzenlenmesi yangın güvenliği tasarımına katkı sağlamakla birlikte boşluktaki baca etkisini etkileyen diğer tasarım parametrelerinin dahil edildiği bir tasarım yaklaşımı gerekmektedir. Bu doğrultuda doğal havalandırmayı ve yangında duman ve alev hareketi ile sıcaklığı etkileyen bir diğer parametre olan hava giriş çıkışlarının uygun tasarım parametreleri incelenmiştir. Tasarım tahliye boşluğuna açılan hava giriş çıkış yüksekliği azaldıkça dumanın odalara yayılımı azalmış ve yüksekliğin 50

cm alındığı tasarımda duman odalarda riskli seviye olarak belirlenen 2200 mm altına inmemiş olup, boşlukta duman ve alev hızı yükselmiştir. Tasarım tahliye boşluğu genişliğinin 50 cm alındığı, yüksekliğin ise değişken olduğu bütün senaryolarda alev bulutu atrium boşluğuna geçmemişken, hava giriş çıkış genişliği azaldıkça dumanın da atriumdaki seviyesi azalarak genişliğin 50 cm olduğu tasarım ile dumanın atrium ve odalara geçişi engellenerek tahliye boşluğu aracılığı ile duman tahliyesi gerçekleşmiştir.

Baca etkisini etkileyen doğal havalandırma ile alakalı son parametre olan odalardaki pencere boşluğunun tasarımının incelenmesi neticesinde yangın güvenliği için en uygun mimari tasarım parametreleri Yeşil binalarda düşey boşlukların yangın güvenliği bağlamında tasarım parametrelerine sahip modelin oluşturulması tamamlanmıştır. Pencere boyutu küçülmesi neticesinde odalardaki kapı boşluğu boyutu arasındaki farkın artması neticesinde dumanın yönelimi yangın süresinin ortalarından itibaren odadan atriuma doğru gerçekleşmiştir. Pencere boşluğu genişliği 100 cm ve üzerinde tasarlanan senaryolarda alev bulutu üst kat odalara geçmemiş, duman üst kat odalarda riskli seviye olarak belirlenen 2200 mm altına inmemiş, atriumda ise en fazla zemin kat seviyesinde kalmıştır. Ayrıca dikdörtgen formlu ve uzun kenarı ile kısa kenarı arasındaki uzunluk farkının artırılması durumu hem tasarım tahliye boşluğu ile atrium boşluğu arasındaki sıcaklık oranının artmasına sebep olmuş hem de dumanın diğer katlardaki odalara ve atriuma yayılımı engellenmiştir.

Tasarım tahliye boşluğu boyutları, hava giriş çıkış boyutları ve pencere boşluğu boyutları ayrı ayrı değerlendirildiğinde uygun tasarım parametreleri elde edilmişken, bütün değişkenlerin bir arada değerlendirilmesi durumunda değişkenlerin etki derecelerinin saptanması için hassasiyet analizi yöntemi olan çok değişkenli doğrusal regresyon analizi yapılmıştır. Ayrıca yapılan analizler neticesinde duman tahliyesi ve alev bulutu dağılımı hakkında uygun tasarım parametrelerine sahip model oluşturulmuş ancak ortam sıcaklığına değişkenlerin etkisi karmaşık hale gelmiştir. Bu karmaşık yapının sistematik hale getirilmesi ile modelin güvenilirliği ve gücünü anlamak için 28 adet tasarım senaryosunda yapılan çok değişkenli doğrusal regresyon analizi yapılarak modelin yaklaşık % 94 oranında anlamlı ve güvenilir olduğu saptanmıştır.

Bağımsız değişkenlerin bağımlı sıcaklık değişkeni üzerindeki bireysel etkisini saptamak için kullanılan spearman korelasyon analizi neticesinde pencere yüksekliğinin etkisinin olmadığı, hava giriş çıkış boyutlarındaki değişimin sıcaklığı toplamda % 55 oranında

etkilediği görülmüştür. Bağımsız değişkenlerin bir arada ele alınarak bağımlı sıcaklık değişkeni üzerindeki etkisini saptamak için kullanılan çok değişkenli doğrusal regresyon analizi sonucunda ise boşluk yüksekliğinin sıcaklık üzerinde etkisinin olmadığı, boşluk genişliğinin bir birim değişmesinden sıcaklığın pozitif yönde 0,035 birim değiştiği, pencere boyutlarının negatif korelasyona sahip olarak bir birim değişmesinden sıcaklığın ortalama 0,17 birim değişmesine yol açarak en yüksek etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum tasarım senaryolarında yapılan incelemede özellikle duman tahliyesi açısından kritik öneme sahip olduğu tespit edilen boşluk yüksekliği ve boşluk genişliğinin ortam sıcaklığına etkisinin zayıf olduğunu göstermiştir. Bu doğrultuda; düşey boşluk yoluyla duman tahliyesinde en az etkiye sahip pencere boşluğu boyutları ortam sıcaklığı üzerinde en fazla etkiye sebep olarak pencere boşluğu boyutunun büyütülmesi ile ortam sıcaklığının önemli oranda düşeceği sayısal analiz sonucunda değerlendirilmiştir.

Tez kapsamında tasarlanan prototip binada dar cephe genişliği boyunca devam eden bir boşluk tasarımı gerçekleştirilmiş ve risk durumunda etkinliği incelenerek boşluğun optimum tasarım yöntemi ortaya konmuştur. Bu çalışmada kullanılan tasarım parametreleri ve yöntemi dikkate alınarak yeşil binalarda ihtiyaç duyulan ya da yeşil bina konsepti ile bağdaşan farklı konumlarda kısmi olarak düşey boşluk tasarımlarının gerçekleştirilmesi sağlanabilecektir. Yeşil bina tasarımlarının temel bileşenlerinden olan düşey boşlukların doğru tasarım yaklaşımları ile yangın riskini artırma potansiyeli kontrol altına alınarak binalarda yangın güvenliğinin sağlanması amacıyla risk durumunda dumanın, yanmamış toksik gazların, alevin, yüksek ısının yatayda veya düşeyde yayılmasının önüne geçerek tahliyesinde kullanılabilecek bir tasarım bileşenine dönüştürülebilecektir.

Sürdürülebilirlik bağlamında yapıları çevrelerde önemli bir değeri olan yeşil binalarda yangın güvenliği tasarımının performansa dayalı yaklaşımlar ile analizi ve optimum çözüm stratejilerinden faydalanılarak binalarda can güvenliğinin sağlanmasının yanı sıra yapısal hasarların ve maddi kayıpların azaltılması mümkün olabilmektedir. Riskin kontrol altına alınması neticesinde binalarda işlevsel devamlılığın ve kaynak korunumunun sağlanabilmesi ile çevresel etkilerin indirgenebilmesi yeşil binaların sürdürülebilirliğe dair beklentilerine doğrudan katkı verebilmektedir. Bu bağlamda gerçekleştirilen tez çalışması sistematik bir literatür taramasına dayanarak yeşil binalarda yer alan düşey boşlukların yarattığı risklerin sebeplerini, etkilerini ve sonuçlarını ortaya koyan önemli bir referans kaynak oluşturmaktadır. Ayrıca temel problem alanı olarak ele alınan yeşil binalardaki düşey

boşlukların yangın riskinin gerçekleşmesi durumunda risk boyutlarının kontrol altına alınması amacıyla kullanılabilmek potansiyelinden yola çıkılarak geliştirilen tasarım yöntemi yeşil bina tasarımlarının yanı sıra yangın güvenliği bağlamında tüm binalardaki düşey boşluk tasarımları için kullanılabilecektir. Bu çalışmada ihmal edilen dış ortam koşullarının yöntemde dahil edilmesiyle geliştirilecek akademik çalışmalara yön verebilecek olan tez yöntemi, binalarda yangın güvenliğinin sağlanmasında önemli bir yer tutan dumanın, alevin, yanmamış toksik gazların ve yüksek ısının tahliyesi amacıyla gerçekleştirilecek yapı sektörü uygulamaları için de etkin bir çözüm yaklaşımı ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

1. Kibert, C. (2003). Green buildings: an overview of progress. *Journal of Land Use*, 19(2), 491-502.
2. İnternet: World Green Building Council. What is a sustainable built environment? URL: <https://worldgbc.org/what-is-a-sustainable-built-environment/>, Son Erişim Tarihi: 08.03.2023.
3. İnternet: Kriss, J. (2014). What is green building? URL: <https://www.usgbc.org/articles/what-green-building>, Son Erişim Tarihi: 08.03.2023.
4. İnternet: Doug, C. (2013). Greening the built enviroment. URL: <https://sn.astm.org/features/greening-built-environment-nd13.html>, Son Erişim Tarihi: 08.03.2023.
5. İnternet: Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği. Yeşil bina. URL: <https://cedbik.org/tr/yesil-bina-7-pg>, Son Erişim Tarihi: 08.03.2023.
6. Pulaski, M. H., Horman, M. J., and Riley, D. R. (2006). Constructability practices to manage sustainable building knowledge. *Journal of Architectural Engineering*, 12(2), 83-92.
7. Robbins, A. P. (2012). *Building sustainability and fire-safety design interactions: Scoping study*. Porirua: BRANZ, 2-5.
8. Roberts, B. C., Webber, M. E., and Ezekoye, O. A. (2016). Why and how the sustainable building community should embrace fire safety. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, 3(4), 121-137.
9. Carter, M., Lee, N., Oliver, E., Post, M., Demetry, C., and Vaz, R. (2011). *Promoting the design of buildings that are fire safe and sustainable*. Worcester: Fire Protection Association Australia, 3-13.
10. Meacham, B., Poole, B., Echeverria, J., and Cheng, R. (2012). *Fire safety challenges of green buildings*. New York: Springer, 2-4, 16-30.
11. Tidwell, J. and Murphy, J. J. (2010). *Bridging the gap-fire safety and green buildings*. Louisiana: National Association of State Fire Marshals, 7-41.
12. Joyce, S., Wamakima, D., and Miller, L. (2008). *Fire safety in green buildings*. Washington: Worcester Polytechnic Institute, 16-24, 31-44.
13. Janabi, M. A., Thomas, G., and Donn, M. (2014). *Sustainable building features and fire safety*. Building A Better New Zealand, Auckland, 1-11.
14. Yau, A. and Ho, S. K. M. (2014). Fire risk analysis and optimization of fire prevention management for green building design and high rise buildings: Hong Kong experience. *Nang Yan Business Journal*, 3(1), 41-54.

15. Mangan, S. D. (2015). *Yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından konut binalarının performanslarının değerlendirilmesinde kullanılabilecek bir yaklaşım*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 37-42.
16. Gür, N. V. ve Aygün, M. (2021). Mimaride sürdürülebilirlik kapsamında değişken yapı kabukları için bir tasarım destek sistemi. *İtüdergisi*, 7(1), 74-82.
17. Chow, W. K. (2004). Wind-induced indoor-air flow in a high-rise building adjacent to a vertical wall. *Applied Energy*, 77(2), 225-234.
18. Chow, W. K. and Hung, W. Y. (2003). On the fire safety for internal voids in highrise buildings. *Building Environment*, 38(11), 1317-1325.
19. Bong, P. N. (2000). *Fire spread on exterior walls*. Fire Engineering Research Report, University of Canterbury, Christchurch, 18.
20. Şeğlak, B., Kinowski, J., Sulik, P., and Kimbar, G. (2018). The risks associated with falling parts of glazed facades in case of fire. *Open Engineering*, 8(1), 145-155.
21. Peng, L., Ni, Z., and Huang, X. (2014). *Experimental and numerical study of fire spread upon double-skin glass facades*. MATEC Web of Conferences, Les Ulis, 03009-03019.
22. Kanan, N. ve Beyhan, F. (2013). *Enerji etkin binalarda çift katmanlı cephe sistemlerinin yangın güvenliği*. 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, İzmir, 1515-1528.
23. Ding, W., Hasemi, Y., and Yamada, T. (2005). Smoke control using a double-skin façade. *Fire Safety Science*, 8, 1327-1337.
24. Kahrmann, S. (2016). *Experimental analysis of fire-induced flows for the fire-safe design of double-skin facades*. Doctor of Philosophy, The University of Edinburgh, Edinburgh, 11-13.
25. Kıasf, G. (2016). *Enerji etkin çift kabuk cephe sistemlerinde yangın performansını iyileştirecek yöntemler*. 8. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, İstanbul, 293-301.
26. Vaglio, J. and Patterson, M. (2011). Seing double. *US Glass Magazine*, 46(2), 2.
27. Department for Communities and Local Government. (2013). *Fire performance of green roofs and walls*. London: Department for Communities and Local Government, 5-10.
28. Single Ply Roofing Industry. (2017). *External fire design standard for vegetative roofs*. Waltham: American National Standards Institute, 1-10.
29. Özgünler, M., Özgünler, S. A., ve Ümit, A. (2016). *Sürdürülebilir binaların çatı ve cephelerinde oluşan yangın risklerinin analizi*. 8. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, İstanbul, 55-69.

30. Göçer, Ö. (2006). *Atrium tipi binalarda enerji tüketiminin azaltılması ve kullanıcı konforunun sağlanması için uygun camlama ve denetim sistemi modeli*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 43-47.
31. Engin, N. (2011). Enerji etkin tasarımda pasif iklimlendirme: doğal havalandırma. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 189, 63-70.
32. Wills, R., Milke, J., Royle, S., and Steranka, K. (2014). *Commercial roof-mounted photovoltaic system installation best practices*. Maryland: Fire Protection Research Foundation, 6-8.
33. Sipe, J. (2016). *Development of fire mitigations solutions for pv systems*. California: National Fire Protection Association, 4, 5.
34. Yener, A. (2007). *Binalarda gün ışığından yararlanma yöntemleri: Çağdaş teknikler*. VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 231-241.
35. Çakmanus, İ. (2004). Enerji verimli bina tasarım yaklaşımı. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 84, 20-27.
36. Kılıç, M. (2003). Yapılarda yangın güvenliği ve söndürme sistemleri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 8(1), 59-70.
37. Wahlqvist, J. And Hees, P. (2017). Evaluating methods for preventing smoke spread through ventilation systems using fire dynamics simulator. *Fire Material*, 41(6), 625-645.
38. İnternet: Beyhan, F. (2015). Mimari bir bağlam olarak binalarda çeliğin yangından korunumu. URL: <https://www.tucsa.org/images/yayinlar/makaleler/figenbeyhan-makale.pdf>, Son Erişim Tarihi: 09.03.2023.
39. Arpacıoğlu, Ü. (2005). Yangın olgusu ve yüksek yapılarda yangın güvenliği. *Yangın Güvenlik Dergisi*, 90, 62-75.
40. Kara, İ. B., Gültekin, A. B., ve Dikmen, B. Ç. (2015). *Yapılarda sürdürülebilirlik ölçütleri kapsamında yangın olaylarının incelenmesi*. II. Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu, Ankara, 287-293.
41. Chow, C. and Chow, W. (2010). *Fire safety concern on well-sealed green buildings with low OTTVs*. International High Performance Buildings Conference, Indiana, 3101-3108.
42. Yeniay, M. G. and Arpacıoğlu, Ü. (2005). Sürdürülebilir cephelerde yangın riski değerlendirilmesi. *Tasarım Kuram*, 17(32), 55-69.
43. McKenna, S. T., Jones, N., Peck, G., Dickens, K., Pawelec, W., Oradei, S. Harris, S., Stec, A. A., and Hull, S. T. (2019). Fire behaviour of modern façade materials – Understanding the Grenfell Tower fire. *Journal of Hazardous Materials*, 368, 115-123.

44. Chen, T. B., Yuen, A. C. Y., Yeoh, G. H., Yang, W., and Chan, N. Q. (2019). Fire risk assessment of combustible exterior cladding using a collective numerical database. *Fire*, 2(1), 1-14.
45. Peng, L., Ni, Z., and Huang, X. (2013). Review on the fire safety of exterior wall claddings in high-rise buildings in China. *Procedia Engineering*, 62, 663-670.
46. Madrzykowski, D. and Walton, W. D. (2004). *Cook County Administration Building fire, 69 West Washington, Chicago, Illinois, October 17, 2003: Heat release rate experiments and FDS simulations*, Washington: National Institute of Standards and Technology, 2-20.
47. Fletcher, I. A. (2009). *Tall concrete buildings subject to vertically moving fires : a case study approach*,. Doctor of Philosophy, The University of Edinburgh, Edinburgh, 35-55.
48. İnternet: Beyhan, F. (2018). Gaziosmanpaşa Taksim Eğitim ve Araştırma Hastanesi yangın değerlendirme raporu. URL: http://tgub.org.tr/images/pdf/gaziosmanpasa-taksim-egitim-ve-arastirma-hastanesi-yanigini_raporu_%20_prof._dr._figen_beyhan.pdf, Son Erişim Tarihi: 09.03.2023.
49. Saunders, C. (2018). *Quantifying fire hazards of sustainable initiatives in the built environment*. Degree of Master, The University of North Carolina, Charlotte, 33-35.
50. Pritchard, A. (1969). Statistical bibliography or bibliometrics? *Journal of Documentation*, 25(4), 348-349.
51. Yıldız, M. A. and Beyhan, F. (2022). Bibliometric analysis of fire safety research in green buildings 2000-2021. *Online Journal Of Art And Design*,, 10(4), 343-354.
52. Eck, V. J. N. and Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 532-538.
53. Xue, T., Fan, W., Zhang, X., Zhao, X., Yang, F., and Liu, T. (2021). Layered double hydroxide/graphene oxide synergistically enhanced polyimide aerogels for thermal insulation and fire-retardancy. *Composites Part B*, 219, 963-971.
54. Wang, S., Huang, X., Chen, H., Liu, N., and Rein G. (2015). Ignition of low-density expandable polystyrene foam by a hot particle. *Combustion and Flame*, 162(11), 4112-4118.
55. Ma, Z., Liu, X., Xu, X., Liu, L., and Yu, B. (2021). Bioinspired, highly adhesive, nanostructured polymeric coatings for superhydrophobic fire-extinguishing thermal insulation foam. *ACS Publications*, 15(7), 11667–11680.
56. An, W., Sun, J., Liew, K. M., and Zhu, G. (2017). Effects of building concave structure on flame spread over extruded polystyrene thermal insulation material. *Applied Thermal Engineering*, 121, 802-809.

57. Qian, Z., Yang, M., and Li, R. (2018). Fire-resistant, ultralight, superelastic and thermally insulated polybenzazole aerogels. *Journal of Material Chemistry*, 6(42), 20769–20777.
58. An, W., Wang, Z., Xiao, H., Sun, J., and Liew, K. M. (2014). Thermal and fire risk analysis of typical insulation material in a high elevation area: Influence of sidewalls, dimension and pressure. *Energy Conversion and Management*, 88, 516-524.
59. Tian, J., Yang, Y., Xue, T., Chao, G., Fan, W., and Liu, T. (2022). Highly flexible and compressible polyimide/silica aerogels with integrated double network for thermal insulation and fire-retardancy. *Journal of Materials Science & Technology*, 105, 194-202.
60. Jiang, L., Xiao, H., An, W., Zhou, Y., and Sun, J. (2014). Correlation study between flammability and the width of organic thermal insulation materials for building exterior walls. *Energy Building*, 82, 243-249.
61. Kumar, D., Alam, M., Zou, P. X. W., Sanjayan, J. G., and Memon, R. A. (2020). Comparative analysis of building insulation material properties and performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 131, 110038-110060.
62. Wang, D., Feng, X., Zhang, L., Li, M., Liu, M., Tian, A., and Fu, S. (2019). Cyclotriphosphazene-bridged periodic mesoporous organosilica-integrated cellulose nanofiber anisotropic foam with highly flame-retardant and thermally insulating properties. *Chemical Engineering Journal*, 375, 121933-121943.
63. Guo, W., Wang, X., Zhang, P., Liu, J., Song, L., and Hu, Y. (2018). Nano-fibrillated cellulose-hydroxyapatite based composite foams with excellent fire resistance. *Carbohydrate Polymers*, 195, 71-78.
64. Ju, X., Zhou, X., Zhao, K., Peng, F., and Yang, L. (2018). Experimental study on fire behaviors of flexible photovoltaic panels using a cone calorimeter. *Journal of Fire Science*, 36(1), 63-77.
65. Feng, X., Xiong, Q., Wardel, D., Gattozzi, A. L., Strank, M. S., and Hebner, R. E. (2019). Extra-Fast DC distribution system protection for future energy systems. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 55(4), 3421–3430.
66. Duan, J., Yuan, R., Huang, H., Sun, C., Lei, J., Yuan, X., Fan, J., Chen, Z., Zheng, M., and Dong, Q. (2021). Geminal dicationic ionic liquid-based freestanding ion membrane for high-safety lithium batteries. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 13(14), 16238-16245.
67. Ren, X., Li, C., Ma, X., Chen, F., Wang, H., Sharma, A., Gaba, S. G., and Masud, M. (2021). Design of multi-information fusion based intelligent electrical fire detection system for green buildings. *Sustainability*, 13(6), 3405-3420.
68. Chow, C. L., Han, S. S., and Ni, X. M. (2017). A study on fire behaviour of combustible components of two commonly used photovoltaic panels. *Fire Material*, 41(1), 65-83.

69. Chow, W. K., and Chow, C. L. (2005). Evacuation with smoke control for atria in green and sustainable buildings. *Building Environment*, 40(2), 195-200.
70. Li, M., Gao, Z., Ji, J., and Li, K. (2018). Modeling of positive pressure ventilation to prevent smoke spreading in sprinklered high-rise buildings. *Fire Safety Journal*, 95, 87-100.
71. Mckeen, P. and Liao, Z. (2019). The influence of building airtightness on airflow in stairwells. *Buildings*, 9(10), 208-235.
72. Shi, W. X., Ji, J., Sun, J. H., Lo, M. S., Li, J., and Yuan, X. Y. (2014). Influence of staircase ventilation state on the airflow and heat transfer of the heated room on the middle floor of high rise building. *Applied Energy*, 119, 173-180
73. Chow, W. K., and Zhao, J. H. (2011). Scale modeling studies on stack effect in tall vertical shafts. *Journal of Fire Science*, 29(6), 531-542.
74. Khavari, A. M., Pei, S. and Tabares, P. C. (2016). Energy consumption analysis of multistory cross-laminated timber residential buildings: a comparative study. *Journal of Architectural Engineering*, 22(2), 04016002-04016013.
75. Laguarda, M. F. and Espinoza, O. (2015). Awareness, perceptions and willingness to adopt Cross-Laminated Timber by the architecture community in the United States. *Journal of Cleaner Production*, 94, 198-210.
76. Mohammadi, J. and Ling, L. (2017). Can wood become an alternative material for tall building construction? *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 22(4), 4017014.
77. Passe, U. and Nelson, R. (2013). Constructing energy efficiency: Rethinking and redesigning the architectural detail. *Journal of Architectural Engineering*, 19(3), 193-203.
78. Kalhor, K. and Emaminejad, N. (2020). Qualitative and quantitative optimization of thermal insulation materials: Insights from the market and energy codes. *Journal of Building Engineering*, 30, 101275-101287.
79. Lu, X. and Memari, A. (2019). Comparative energy analysis and life-cycle assessment of innovative residential wall systems in cold regions. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 24(3), 04019015-17.
80. Perera, D., Upasiri, I. R., Poologanathan, K., Gatheeshgar, P., Sherlock, P., Hewavitharana, T., and Suntharalingam, T. (2021). Energy performance of fire rated LSF walls under UK climate conditions. *Journal of Building Engineering*, 44, 103293-15.
81. Suntharalingam, T., Gatheeshgar, P., Upasiri, I. R., Poologanathan, K., Nagaratnam, B., and Navaratnam, S. (2021). Numerical study of fire and energy performance of innovative light-weight 3d printed concrete wall configurations in modular building system. *Sustainability*, 13(4), 1-21.

82. Gatheeshgar, P., Poologanathan, S., Gunalan, S., Tsavdaridis, K. D., Nagaratnam, B., and Iacovidou, E. (2020). Optimised cold-formed steel beams in modular building applications. *Journal of Building Engineering*, 32, 101607-18.
83. Luhar, S. I., Suntharalingam, T., Navaratnam, S., and Gatheeshgar, P. (2020). Sustainable and renewable bio-based natural fibres and its application for 3d printed concrete: A review. *Sustainability*, 12(24), 1-25.
84. Thomson, A., Dick, K., and Walker, P. (2021). Steady-state and dynamic hygrothermal performance of rendered straw bale walls. *Construction Materials*, 174(6), 298-308.
85. Stec, A. A., and Hull, T. R. (2011). Assessment of the fire toxicity of building insulation materials. *Energy and Buildings*, 43(2-3), 498-506.
86. Hidalgo, J. P., Welch, S., and Torero, J. L. (2015). Performance criteria for the fire safe use of thermal insulation in buildings. *Construction and Building Materials*, 100, 285-297.
87. Short, C. A., Whittle, G. E., and Owarish, M. (2006). Fire and smoke control in naturally ventilated buildings. *Building Research and Information*, 34(1), 23-54.
88. Huang, Y., Yeboah, S., and Shao, J. (2023). Numerical investigation of fire in the cavity of naturally ventilated double skin façade with venetian blinds. *Building Services Engineering Research and Technology*, 44(1), 45-61.
89. Chen, Y., Zhou, X., Zhang, T., Hu, Y., and Yang, L. (2015). Turbulent smoke flow in evacuation staircases during a high-rise residential building fire. *International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow*, 25(3), 534-549.
90. Lai, C. M., Chen, C. J., Tsai, M. J., Tsai, M. H., and Lin, T. H. (2013). Determinations of the fire smoke layer height in a naturally ventilated room. *Fire Safety Journal*, 58, 1-14.
91. Król, M. (2016). Numerical studies on the wind effects on natural smoke venting of atria. *International Journal of Ventilation*, 15, 67-78.
92. Meroney, R. N. (2011). Wind effects on atria fires. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 99(4), 443-447.
93. Yuen, A. C. Y., Chen, T., Yang, W., Wang, C., Li, A., Yeoh, G., Chan, Q., and Chan, M. (2019). Natural ventilated smoke control simulation case study using different settings of smoke vents and curtains in a large atrium. *Fire*, 2(1), 7.
94. Chow, C. L. and Li, J. (2010). An analytical model on static smoke exhaust in atria. *Journal of Civil Engineering and Management*, 16(3), 372-381.
95. Ivanov, M., Peng, W., Wang, Q., & Chow, W. (2021). Sustainable smoke extraction system for atrium: a numerical study. *Sustainability*, 13(13), 7406-7428.

96. Gutiérrez-Montes, C., Sanmiguel-Rojas, E., Kaiser, A. S., and Viedma, A. (2009). Numerical model and validation experiments of atrium enclosure fire in a new fire test facility. *Building and Environment*, 43(11), 1912–1928.
97. Gutiérrez-Montes, C., Sanmiguel-Rojas, E., Viedma, A., and Rein, G. (2009). Experimental data and numerical modelling of 1.3 and 2.3 MW fires in a 20 m cubic atrium. *Building and Environment*, 44(9), 1827–1839.
98. Shi, L., Ziem, A., Zhang, G., Li, J., and Setunge, S. (2020). Solar chimney for a real building considering both energy-saving and fire safety – a case study. *Energy and Buildings*, 221, 110016-13.
99. Ding, W., Minegishi, Y., Hasemi, Y., and Yamada, T. (2004). Smoke control based on a solar-assisted natural ventilation system. *Building and Environment*, 39(7), 775–782.
100. Cheng, X., Shi, L., Dai, P., Zhang, G., Yang, H., and Li, J. (2018). Study on optimizing design of solar chimney for natural ventilation and smoke exhaustion. *Energy and Buildings*, 170, 145–156.
101. Ji, J., Li, Y. F., Shi, W. X., and Sun, J. H. (2016). Numerical studies on smoke spread in the cavity of a double-skin façade. *Journal of Civil Engineering and Management*, 22(4), 470–479.
102. Doheim, R. (2011). *Towards an architectural strategy for early integration of natural smoke ventilation in retail buildings*. Doctor of Philosophy, The University of Ulster, Ulster, 31-41.
103. Mowrer, F. W., Milke, J. A., and Torero, J. L. (2004). A comparison of driving forces for smoke movement in buildings. *Journal of Fire Protection Engineering*, 14(4), 237–264.
104. Mowrer, F. W. (2009). Driving forces for smoke movement and management. *Fire Technology*, 45(2), 147–162.
105. Hottel, H. C. (1984). Stimulation of fire research in the united states after 1940 (a historical account). *Combustion Science and Technology*, 39(6), 1–10.
106. SFPE. (2011). *Guidelines for Substantiating a Fire Model for a Given Application*. Bethesda: Society of Fire Protection Engineers.
107. Hofmeister, C. E., Jensen, R., and Hill, S. (2011). *Case study example using sfpe guidelines for substantiating a fire model for a given application*. Fire and Evacuation Modeling Technical Conference, ABD, Maryland, 1-9.
108. McGrattan, K. B., Baum, H. R., Rehm, R. G., Hamins, A., and Forney, G. P. (2000). *Fire Dynamics Simulator – Technical Reference Guide*. Maryland: NIST Interagency/Internal Report, National Institute of Standards and Technology 1, 2.
109. McGrattan, K. (2006). *Fire Dynamics Simulator (Version 4)– Technical Reference Guide*. Washington: NIST Interagency or Internal Reports, 1-3.

110. McGrattan, K. B. and Hostikka, S. A. (2012). *Verification and validation process of a fire model*. Probabilistic Safety Assessment and Management Conference, Finland, Helsinki, 1-9.
111. NFPA. (2021). *NFPA 92: Standard for Smoke Control Systems*. Quincy: National Fire Protection Association.
112. Bakanlar Kurulu (2018). *Binaların yangından korunması hakkında yönetmelik*. Ankara: Bakanlar Kurulu.
113. Grewolls, K. (2010). Computer simulation of fire hazards and evacuation. *Fire Toxicity*, 12(31), 607–618.
114. Bwalya, A. C., Sultan, M. A., and Benichou, N. (2004). *Design fires for fire safety engineering: a state-of-the-art review*. CIB World Building Congress, Netherlands, Rotterdam, 1-13.
115. Zeltermann, D. (2015). *Applied multivariate statistics R*. New York: Springer, 195, 201, 203.
116. Esen, M., Fevzi. M., ve Timor, M. (2019). Çok değişkenli aykırı değer tespiti için klasik ve dayanıklı mahalanobis uzaklık ölçütleri: finansal veri ile bir uygulama. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 25, 267–282.
117. Sorokina, N., Booth, D. E., and Thornton, J. H. (2021). Robust methods in event studies: empirical evidence and theoretical implications. *Journal of Data Science*, 11(3), 575–606.



Gazili olmak ayrıcalıktır