



**KUBBELİ CAMİ TASARIMINDA KASNAK PENCERELERİNİN AÇIK
VEYA KAPALI DURUMUNUN DUMAN VE SICAKLIK YAYILIMINA
ETKİSİNİN YANGIN DİNAMİK SİMÜLASYONU İLE ANALİZİ**

Semahat Merve TOP

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

NİSAN 2021

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.

Semahat Merve TOP

15/04/2021

**KUBBELİ CAMİ TASARIMINDA KASNAK PENCERELERİNİN AÇIK VEYA
KAPALI DURUMUNUN DUMAN VE SICAKLIK YAYILIMINA ETKİSİNİN
YANGIN DİNAMİK SİMÜLASYONU İLE ANALİZİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Semahat Merve TOP

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Nisan 2021

ÖZET

Camiler, Müslümanlar için ibadet yeri ve çok fonksiyonlu toplanma merkezidir. Türkiye’de sayısı gün itibariyle yaklaşık 89 300 olan camilerin sayısı günden güne artış göstermektedir. Cami, içinde aynı anda birçok insanı bulundurması sebebiyle yangın incelemesi açısından önemli bir yapı tipidir fakat literatürde camilerde yangın güvenliğiyle ilgili yeterli çalışma bulunmamaktadır. Günümüzde simülasyon tekniği, kullanım kolaylığı, hızlı ve duyarlı sonuçları, ayrıca gerçek yangın testlerinin yüksek tehlike ve maliyete neden olması nedeniyle modern yangın biliminde birincil araştırma yöntemlerinden biri haline gelmiştir. Büyük ve kalabalık binalarda yangının gelişimini modelleyebilmek için simülasyon yazılımı kullanmak, yangın dinamiği araştırmalarında en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Bu çalışmada, Diyanet İşleri Başkanlığı tarafından hazırlanan kubbeli cami projelerinden biri olan 750 kişilik Tip 6 Mevlana Camii’nde 750 kW büyüklüğündeki yangının farklı senaryolarında ortaya çıkabilecek sonuçlar üzerinde durulmaktadır. Bu senaryolar; Senaryo 1-A (kubbe kasnak pencereleri kapalı ve yangın zemin katta), Senaryo 2-A (kubbe kasnak pencereleri açık ve yangın zemin katta), Senaryo 1-B (kubbe kasnak pencereleri kapalı ve yangın hanımlar mahfilinde), Senaryo 2-B (kubbe kasnak pencereleri açık ve yangın hanımlar mahfilinde) olmak üzere 4 çeşitten oluşmaktadır. Bu senaryolarda, yangının başlangıcından itibaren ilk 500 saniyelik süreçte gazların duman, sıcaklık, görünürlük ve akış hızının insan güvenliği üzerindeki etkileri incelenerek mevcut güvenli tahliye süresi (ASET) bulunmuştur. Araştırmada yangın dinamik simülasyonlarından (FDS) biri olan ve akademik araştırmalarda yaygın olarak kullanılan paket program “PyroSim” kullanılmıştır. Çıkan sonuçlara göre, zemin kattaki mevcut güvenli tahliye süresi (ASET) Senaryo 1-A’da 220 saniye, Senaryo 2-A’da 230 saniye olduğu bulunmuştur. Senaryo 1-B ve Senaryo 2-B’de yangın zemin kata yayılmadığı için bu katta ilk 500 saniye içinde ölüm ya da yaralanma riski oluşmamıştır. Hanımlar mahfilindeki mevcut güvenli tahliye süresi (ASET) Senaryo 1-A’da 130 saniye, Senaryo 2-A’da 150 saniye, Senaryo 1-B’de 120 saniye, Senaryo 2-B’de 135 saniye olduğu bulunmuştur. Kubbe elemanı yangında dumanının depolanması için alan oluşturarak dumanın ana mekanlara yayılımını azaltmakta ve dolayısıyla mevcut güvenli tahliye süresini (ASET) uzatmaktadır. Kubbede doğal havalandırmayı sağlayan pencerelerin açılması yangında dumanın tahliye ederek mevcut güvenli tahliye süresinin (ASET) artmasına sebep olmuştur.

Bilim Kodu : 80103

Anahtar Kelimeler : Kubbeli cami tasarımı, Kubbe kasnak pencereleri, Camilerde yangın analizi, Yangın dinamik simülasyonu, Pyrosim

Sayfa Adedi : 95

Danışman : Doç. Dr. Abdurrahman Yağmur TOPRAKLI

ANALYSIS OF THE OPEN OR CLOSED CONDITIONS OF DRUM WINDOWS
EFFECT ON SMOKE AND TEMPERATURE PROPAGATION WITH FIRE
DYNAMICS SIMULATION IN DOMED MOSQUE DESIGN

(M. Sc. Thesis)

Semahat Merve TOP

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

April 2021

ABSTRACT

Mosques are the places for worship and multifunctional gathering centers for Muslims. The number of mosques in Turkey is about 89 300 and it is still increasing day by day. The mosque is a noteworthy building type in terms of fire research since it hosts many people at the same time, but there is not enough study available in the literature for the fire safety in mosques. Today, the simulation technique has become one of the primary research methods in modern fire science due to its ease of use, fast and sensitive results, as well as the high hazard and cost of real fire tests. Using a simulation software to be able to model the fire growth in large and crowded buildings is one of the most frequently used methods in fire dynamics research. This study is focusing on the consequences of different scenarios of 750 kW fire in the Type 6 Mevlana Mosque with a capacity of 750 people, which is one of the domed mosque projects prepared by Presidency of Religious Affairs. These scenarios include 4 types that are Scenario 1-A (i.e. dome drum windows closed and fire in the ground floor), Scenario 2-A (i.e. dome drum windows open and fire in the ground floor), Scenario 1-B (i.e. dome drum windows closed and fire in the ladies' section), Scenario 2-B (i.e. dome drum windows open, fire in the ladies' section). In these scenarios, the available safe egress time (ASET) was found by examining the effects of smoke, temperature, visibility and flow velocity of gases on people's safety in the first 500-second period from the beginning of the fire. The package program "PyroSim", which is one of the fire dynamic simulations (FDS) and widely used in academic research, is used in this research. According to the results, it is found that the available safe egress time (ASET) on the ground floor is 220 seconds in Scenario 1-A and 230 seconds in Scenario 2-A. In Scenario 1-B and Scenario 2-B, since the fire don't spread to the ground floor, there is no risk of death or injury in the first 500 seconds on this floor. The available safe egress time (ASET) in the ladies' section is found as 130 seconds for Scenario 1-A, 150 seconds for Scenario 2-A, 120 seconds for Scenario 1-B, and 135 seconds for Scenario 2-B. The dome creates a space for storing the smoke, which is reducing the spread of smoke in the main space and hence raising the available safe egress time (ASET). Opening windows that provide natural ventilation in the dome causes increased available safe egress time by exhausting the smoke in a fire.

Science Code : 80103
Key Words : Domed mosque design, Dome drum windows, Fire analysis in mosques, Fire dynamics simulation, Pyrosim
Page Number : 95
Supervisor : Doç. Dr. Abdurrahman Yağmur TOPRAKLI

TEŞEKKÜR

Tez çalışma sürecinde değerli katkılarıyla beni yönlendiren başta danışmanım Doç. Dr. A. Yağmur TOPRAKLI'ya, sevincimi, üzüntümü, her anımı benimle paylaşarak bana hep destek olan anneme, tez çalışmam boyunca tezimi detaylarıyla tartışabildiğim babama, simülasyonları almam için bilgisayarını veren abim Ahmet'e, kardeşim Melik'e, tüm çalışmam boyunca arkamda olup beni anlayışla dinleyen ve süreçte yaşadığım zorlukları kolay atlatmamı sağlayan sevgili Merve ÖZTÜRK ve Sinemcan OKUMUŞ'a ve tüm dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	7
2.1. Yangın ile İlgili Yapılan Araştırmalar	7
2.1.1. Yanma ve yangın.....	8
2.1.2. Isı transfer türleri	10
2.1.3. Yangına neden olan durumlar	11
2.1.4. Avrupa, Amerika ve Türkiye’deki yangın sınıfları	14
2.1.5. Yangından dolayı değişen ortam koşullarının insan sağlığına etkileri	16
2.1.6. Yangın güvenliği.....	19
2.1.7. Yangın yönetmelikleri.....	22
2.1.8. Camilerde yangın	23
2.2. Metot ile İlgili Yapılan Araştırmalar.....	31
2.2.1. Yangın dinamik simülasyonu (FDS).....	31
2.2.2. PyroSim	35
2.3. Kubbe ile İlgili Yapılan Araştırmalar.....	38
2.3.1. Atriyum çalışmaları.....	38

	Sayfa
2.3.2. Kubbe çalışmaları	40
3. METOT	41
3.1. Modellemede Kullanılan Cami Tipi.....	41
3.1.1. Cami tip projeleri	41
3.1.2. Tip 6 Mevlana Cami'nin modellenmesi.....	47
3.2. Yangın Tasarımı, Kullanılan Ağ Yapısı (Mesh) ve Ortam Parametreleri	52
3.2.1. Yangın tasarımı	52
3.2.2. Kullanılan ağ yapısı (mesh)	56
3.2.3. Ortam parametreleri	56
4. ANALİZ ÇALIŞMALARI	57
4.1. Analiz Sonuçlarının İncelendiği Düzlem ve Noktalar	57
4.1.1. Duman dağılımı.....	58
4.1.2. Görüş mesafesi dağılımı.....	64
4.1.3. Sıcaklık dağılımı	70
4.1.4. Gazların akış hızı dağılımı	76
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	83
KAYNAKLAR	87
ÖZGEÇMİŞ	95

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. 2015-2020 yılları arasındaki yangının çıkış sebebi	12
Çizelge 2.2. Avrupa, Amerika ve Türkiye’deki yangın sınıfları ve söndürme yöntemleri	15
Çizelge 2.3. Sıcaklığın insanlar üzerindeki fiziksel etkileri.....	17
Çizelge 2.4. Azalan oksijen ve belirtileri.....	18
Çizelge 2.5. Karbondioksit (CO ₂) etkileri	19
Çizelge 2.6. Karbonmonoksitin insan vücudu üzerindeki etkisi.....	19
Çizelge 2.7. Türkiye ve gelişmiş bazı ülkelerde standartlar ve yangın mevzuatları.....	22
Çizelge 2.8. 2015- 2020 yılları arasında camilerde yaşanan yangın olayları.....	27
Çizelge 2.9. Yangın dinamik simülasyonun kullanıldığı araştırmalar	35
Çizelge 2.10. PyroSim’in kullanıldığı araştırmalar	38
Çizelge 2.11. Atriyum araştırmaları.....	40
Çizelge 2.12. Kubbe araştırmaları.....	40
Çizelge 3.1. Senaryolara göre yangın yeri ve büyüklüğü.....	55
Çizelge 3.2. Ortam parametreleri	56
Çizelge 4.1. Analiz sonuçlarının incelendiği parametrelerin eşik değerleri	57
Çizelge 4.2. Analiz sonuçlarının incelendiği senaryolar.....	58
Çizelge 5.1. Senaryolara göre sıcaklık ve görüş mesafesinin 500 saniyelik simülasyonda riskli hale geldiği saniyeler	85

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Yangında ısı salınım hızı-zaman grafiği.....	9
Şekil 2.2. Yangında sıcaklık-zaman grafiği.....	10
Şekil 2.3. 2017’de Dünya’da tahmini her 100 bin kişi başına düşen yangın, sıcak ve sıcak maddelerden ölümlerin dağılımı.....	12
Şekil 2.4. 2019 yılındaki yangınların çıkış sebeplerinin dağılımları	13
Şekil 2.5. Tahliye zaman çizelgesi.....	22
Şekil 2.6. 2015- 2020 yılları arasında cami tiplerinde yaşanan yangın olayları sayısı ...	30
Şekil 2.7. 2015-2020 yılları arasında camilerde yaşanan yangın olaylarının sebepleri..	30
Şekil 3.1. Tip 6 Mevlana Cami bodrum kat planı.....	42
Şekil 3.2. Tip 6 Mevlana Cami zemin kat planı	43
Şekil 3.3. Tip 6 Mevlana Cami mahfel kat planı	44
Şekil 3.4. Tip 6 Mevlana Cami kubbe kat planı	45
Şekil 3.5. Tip 6 Mevlana Cami ön ve sağ yan cephe görünüşleri.....	46
Şekil 3.6. Tip 6 Mevlana Cami arka ve sol yan cephe görünüşleri	46
Şekil 3.7. Tip 6 Mevlana Caminin basitleştirilmiş zemin kat planı.....	47
Şekil 3.8. Tip 6 Mevlana Caminin basitleştirilmiş mahfel kat planı	48
Şekil 3.9. Tip 6 Mevlana Caminin basitleştirilmiş kubbe kat planı.....	49
Şekil 3.10. Tip 6 Mevlana Cami’nin PyroSim’de basitleştirilmiş modeli.....	50
Şekil 3.11. Tip 6 Mevlana Caminin kubbe kasnağındaki pencereli halinin basitleştirilmiş kubbe kat planı	51
Şekil 3.12. Tip 6 Mevlana Caminin kubbe kasnağındaki pencereli halinin PyroSim’de basitleştirilmiş modeli.....	51
Şekil 3.13. Yangının senaryolarda A durumundaki plandaki konumu.....	54
Şekil 3.14. Yangının senaryolarda B durumundaki plandaki konumu	54

Şekil	Sayfa
Şekil 3.15. Kurgulanan senaryolarda ısı salınım hızının zamana göre değişimi	55
Şekil 4.1. Analiz sonuçlarının incelendiği düzlem ve noktalar	58
Şekil 4.2. Senaryolara ve zamana göre perspektif görüntüsünde duman dağılımı	59
Şekil 4.3. Senaryo 1-A'da zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde duman dağılımı ..	60
Şekil 4.4. Senaryo 2-A'da zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde duman dağılımı ..	61
Şekil 4.5. Senaryo 1-B'de zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde duman dağılımı ..	62
Şekil 4.6. Senaryo 2-B'de zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde duman dağılımı ..	63
Şekil 4.7. Senaryolara göre yerden 1,7 metre yükseklikteki noktanın görüş mesafesi-zaman grafiği	64
Şekil 4.8. Senaryolara göre yerden 5,7 metre yükseklikteki noktanın görüş mesafesi-zaman grafiği	65
Şekil 4.9. Senaryo 1-A'da zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde görüş mesafesi dağılımı	66
Şekil 4.10. Senaryo 2-A'da zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde görüş mesafesi dağılımı	67
Şekil 4.11. Senaryo 1-B'de zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde görüş mesafesi dağılımı	68
Şekil 4.12. Senaryo 2-B'de zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde görüş mesafesi dağılımı	69
Şekil 4.13. Senaryolara göre yerden 1,7 metre yükseklikteki noktanın sıcaklık-zaman grafiği	70
Şekil 4.14. Senaryolara göre yerden 5,7 metre yükseklikteki noktanın sıcaklık-zaman grafiği	71
Şekil 4.15. Senaryo 1-A'da zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde sıcaklık dağılımı	72
Şekil 4.16. Senaryo 2-A'da zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde sıcaklık dağılımı	73
Şekil 4.17. Senaryo 1-B'de zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde sıcaklık dağılımı	74

Şekil	Sayfa
Şekil 4.18. Senaryo 2-B’de zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde sıcaklık dağılımı	75
Şekil 4.19. Senaryolara göre yerden 1,7 metre yükseklikteki noktanın gazların akış hızı-zaman grafiği	76
Şekil 4.20. Senaryolara göre yerden 5,7 metre yükseklikteki noktanın gazların akış hızı-zaman grafiği	77
Şekil 4.21. Senaryo 1-A’da zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde gazların akış dağılımı	78
Şekil 4.22. Senaryo 2-A’da zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde gazların akış dağılımı	79
Şekil 4.23. Senaryo 1-B’de zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde gazların akış dağılımı	80
Şekil 4.24. Senaryo 2-B’de zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde gazların akış dağılımı	81

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

m³	Metreküp
m²	Metrekare
m	Metre
C	Celcius
dk	Dakika
t	Zaman
sn	Saniye
MW	MegaWatt
kW	KiloWatt

Kısaltmalar

Açıklamalar

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ABMS	Ajan Tabanlı Modelleme ve Simülasyon
ASTM	Amerika Standartları
ASET	Mevcut Güvenli Tahliye Süresi
BS	İngiliz Standartları
BIM	Bina Bilgi Modellemesi
CFD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
DIN	Alman Standartları
EN	Avrupa Normları
FED	Fractional Effective Dose
FDS	Yangın Dinamik Simülasyonu
HRR	Isı yayılım hızı
IMO	Uluslararası Denizcilik Organizasyonu
ISO	Uluslararası Standart

Kısaltmalar**Açıklamalar****LES**

Büyük Girdap Modellemesi

NIST

Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü

NFPA

National Fire Protection Association

NCC

Avustralya Ulusal Yapı Kodu

RSET

Gerekli Güvenli Tahliye Süresi

SNIP

Rus Standartları

TS

Türk Standartları

3D

3 Boyutlu

1. GİRİŞ

Mimari tasarım probleminin çözümü genellikle birçok disiplinle ilgilidir. Mimari tasarımın çözüm aradığı problemlerinden biri insanların temel gereksinimlerinden olan emniyettir (Top ve Topraklı, 2019). A. H. Maslow'un insanın temel gereksinimleri önem sırasına göre sıralaması; fizyolojik gereksinimler, emniyet gereksinimi, toplumsal gereksinimler, benlik gereksinimleri ve kendini gerçekleştirme gereksinimi şeklindedir (Maslow, 1943). Emniyet temel gereksinimlerde, fizyolojik gereksinimlerden sonra ikinci sırada yer almaktadır.

Binalar, genellikle 60 yıldan fazla dayanacak şekilde tasarlanmış uzun ömürlü yapılardır (Rathnayake, Sridarran ve Abeynayake, 2020). Binanın dayanıklılığı veya performansı çeşitli nedenlerden etkilenir ve bunların arasında yangın da yer almaktadır. Bina çökmeleri, maddi zararlar, potansiyel ölüm ve yaralanmalar yangın olaylarının sonuçları olarak tanımlanabilmektedir (Rathnayake vd., 2020). Binalarda çıkan yangınlar hem emniyet üzerinde hem de mülkiyet üzerinde ciddi hasarlar oluşturmaktadır. Türkiye'de ortalama her yıl 10000-20000 yangın çıkmakta 200-1000 insan ölmektedir (CTIF, 2020). Yangınlarda ölümlerin asıl sebebi duman zehirlenmesidir. İstatistikler; yangında, duman parçacıklarının solunmasında, toksik gaz boğulmasının toplam ölüm sayısının %85'ini oluşturduğunu göstermektedir (Yu, Chu, Zhang ve Liang, 2014). Duman yangında insan hayatını tehlikeye atan en büyük risktir.

Yangın emniyetini sağlamada duman kontrolünü sağlamak can kayıplarını ve yaralanmaları önleyebilmek için şarttır (Du, Yang, Peng, Liu ve Xiao, 2016). Dumanın kontrol altına alınabilmesi için birçok değişken değerlendirilmektedir. Bunlardan en önemlileri yangının büyüklüğü ve yangının çıktığı mekanın mimari yapısıdır (Balık, 2003). Tasarımda ideal olarak, binadan insanların güvenli tahliye edebilmesi ve itfaiye ekiplerinin görüş açısından yangına kolay müdahale edebilmesi için, tavanda biriken dumanın yüksekliği belirli bir derinliğin (insan boyuna) altına mevcut güvenli tahliye süresi (ASET) boyunca düşmemesi amaçlanmaktadır (Balık, 2003; Qin, Guo, Chan ve Lin, 2006). Duman yayılımının tahmini hesaplaması, insan hayatını kurtarmaya yardımcı olmaktadır. Ayrıca, yangın güvenliği stratejisinin bir parçası olarak duman yayılımının tahminiyle yangın anında binadaki insanların binayı boşaltmaları için gereken mevcut güvenli tahliye süresi (ASET) bulunabilmektedir. Bir binadaki duman akışının tahmini ve kontrolü; yangın söndürmeye

yardımcı olması, yayaların binadan güvenli kaçışının sağlanması ve mülkiyetin korunması için kullanılmaktadır (Gawad ve Ghulman, 2015).

Camiler Müslümanlar için ibadet yeri ve çok fonksiyonlu toplanma alanı olarak önemli bir yapı tipolojisidir. Kentte merkez ve buluşma mekanı işlevini taşımaktadır. Kentin yapısal dokusunda farklılaşarak camiler çevresini tanımlayarak bulunduğu fiziksel ortamı temsil etmektedir. Böylece toplumsal bellek ve kimlik aracı haline gelir. Bu sebeplerden ötürü cami, işlevini aşarak kentsel ve toplumsal mekan olarak görülerek imgesel yapı olarak algılanmaktadır (Sime, 1984).

Çalışmanın Motivasyonu

Camilerde, ibadet edenlerin rahat ve konforlu olabilmeleri, huzuru ve barışı hissedebilmeleri için emniyetlerini sağlayacak uygun ortam koşullarının oluşturulması gerekmektedir. Türkiye’de camilerin sayısının son 20 yıldaki cami sayısı verilerinde artış eğiliminde olması ve içinde aynı anda çok sayıda insan bulundurması nedeni ile yangın emniyeti açısından önemli bir yapı tipi olmasına rağmen ülkemizde ve uluslararası literatürde camilere ait yangın güvenliği üzerine az sayıda çalışma bulunmaktadır. Ankara ve diğer illerdeki çeşitli camileri farklı zamanlarda ziyaretlerle birlikte fark edilen özel günlerde safların sıklaştırılarak kapasitesi artırılan namazgahlarda yangın araştırması yapılmasının önemi ve gerekliliği fark edilmiştir. İbadetini cemaatle gerçekleştiren camideki topluluğun, yaklaşık olarak aynı vakitlerde camiye boşaltmaları, cami çıkışlarında yığılmalar oluşturmalarının deneyimlenmesiyle birlikte, oluşabilecek yangın durumunda içinde bulunan bütün insanlar için güvenli tahliye süresinin ne kadar olacağı araştırmanın yapılması için motivasyon oluşturmuştur. Camilerde hanımlara ayrılan mekan, genellikle üst katlarda bulunmakta ve hanımlar mahfilindeki insanların tahliyesi merdivenle zemin kata bağlanarak tek çıkıştan gerçekleşmektedir. Hanımların camilerden çıkış süresi erkeklere göre uzamaktadır. Bu sebeple yangın durumunda hanımlar mahfilindeki mevcut güvenli tahliye süresinin (ASET) ne kadar olacağı da araştırma konusuna dahil edilmiştir. Tez danışmanının yönlendirmesiyle birlikte kubbe kasnağında caminin ışık alması için kullanılan ve açılmayan kubbe kasnak

pencerelerinin otomatik açıldığı durumda; yangın ve duman yayılımına ve mevcut güvenli tahliye süresine (ASET) etkisi bu çalışmada ele alınmıştır.¹

Çalışmanın Amacı

Camilerde ne zaman çıkacağı bilinmeyen yangın durumu, aynı anda birçok insanı bulundurması ve duman nedeniyle son derece tehlikeli olabilmektedir. Bu yüzden kubbeli camilerde yangın ve duman yayılımının bilinebilmesi için araştırılması gerekmektedir. Son dönemde Diyanet İşleri Başkanlığı tarafından projelendirilerek cami uygulaması yapmak isteyenlere verilen tip projelerden biri olan ve hala popüler olarak yapılmaya devam edilen kubbeli cami tipinin yangın durumu açısından incelenmesi amaçlanmaktadır. Yapılan görüşmelerde DİB (Diyanet İşleri Başkanlığı) net sayısı bilinmemekle birlikte en çok kullanılan cami tiplerinin 500 ve 1000 arasındaki kişi kapasitesine sahip olan cami tipleri olduğunu belirtmiştir. Diyanet İşleri Başkanlığı'nın hazırladığı cami tip projelerinden yaygın olarak kullanılan (DİB, 2020) ve kubbeli cami tipi olan 750 kişi kapasiteli Tip 6 Mevlana Cami'de farklı yangın senaryolarının simülasyonu ile yangın ve duman yayılımı tespit edilip mevcut güvenli tahliye süresinin (ASET) belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Çalışmanın Kapsamı ve Sınırları

Çalışma kapsamında yangın durumu incelemesi için Osmanlı Klasik Dönem Cami tipinden esinlenilerek yapılan güncel DİB'in hazırladığı kubbeli cami tip projelerinden biri olan 750 kişi kapasiteli Tip 6 Mevlana Cami seçilmiştir.

Çalışılan binanın seçilmesinde; cami tipinin tek bir merkezi kubbeye sahip olması, kullanıcı kapasitesinin orta büyüklükte olması ve cami projelendirmeleri yapılırken bu tipin sıkça tercih edilmesi etkili olmuştur. Bu yapı grubunda yangın sonucunda ortaya çıkan dumanın mevcut güvenli tahliye süresine (ASET) etkisi araştırılmıştır. 750 kişi kapasiteli Tip 6 Mevlana Cami'de kubbe kasnağındaki pencereler açık veya kapalı olduğu duruma göre ve 750 kW'lık yangının çıkma ihtimalinin en yüksek olduğu yerlere (zemin katta ve mahfel katında konumlandırıldığı) göre farklı senaryolar kurgulanmıştır. Bu senaryolar; Senaryo 1-

¹ Camilerde üst örtü olarak kullanılan kubbeye veya kasnağında genelde içeriye ışık girmesi için açılmayan sabit pencereler yer almaktadır. Buralardan ısı kaybı yaşanmakta, taze hava girişi açılmadıkları için gerçekleşmemektedir. Kubbe kasnağındaki pencerelerin otomatik açılabilir olmasıyla taze hava giriş çıkışının gerçekleşebileceği doğal havalandırmanın yangına olumlu etkisi olacağını varsayılarak araştırmaya dahil edilmiştir.

A (kubbe kasnak pencereleri kapalı, yangın alt katta), Senaryo 2-A (kubbe kasnak pencereleri açık, yangın alt katta), Senaryo 1-B (kubbe kasnak pencereleri kapalı, yangın üst katta), Senaryo 2-A (kubbe kasnak pencereleri açık, yangın üst katta) olmak üzere 4 çeşitten oluşmaktadır. Kurgulanan bu senaryolarda yangın çıktıktan sonraki 500 saniye boyunca; duman, sıcaklık, görüş mesafesi ve gazların akış hızı parametrelerinin insanların emniyetine etkisi incelenmektedir.

Çalışmanın Yöntemi

Günümüzde, yangının bilgisayarla simülasyonu belirli bir yapıda gerçek yangını taklit eden bir araç olarak kullanılabilir. Yangın, model deneyleriyle yapılabilir. Birlikte, bunun pahalı ve tehlikeli bir metot olması ve deneylerden elde edilen çözümler, yalnız benzer hacimler için geçerli olmaktadır. Bu yüzden simülasyon modeli tercih edilmiştir. Sayısal çözüm modelleri kullanılarak da deneysel çalışmalarda olduğu gibi, yararlı neticeler elde edilebilir. Düşük maliyetli bu modellemeyle, yangın senaryoları test edilerek binaların daha tasarım aşamasındayken denemeye imkan sağlamasından dolayı, araştırmada simülasyon programı kullanılmaktadır. Yangın sahnesi simülasyonu yapılarak, farklı yangın sahneleri üretilecek, yangın süreçleri inşa edilerek, yangın gelişimi ve duman hareketi simülasyon ile incelenmektedir.

1900 yılların başında el hesaplamalarıyla nümerik çözümlerin üretilmesini sağlayan hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) 1940'lı yıllarda bilgisayar tabanına aktarılmasıyla ve zaman içinde geliştirilmesiyle yangın modellerinin hızlı ve kolay yapılabilmesine olanak sağlamıştır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde (CFD); bölge modellerinin hesaplamalarında kütle ve enerjinin korunma kanunu temeline dayanarak duman bulutunun yayılması, gaz akışları, ısı transferi ve katı maddelerin pirolizi gibi fiziksel süreçleri tanımlayan denklemler kullanılmaktadır. Yangın senaryolarını etkin bir şekilde çözülebilmesi için basitleştirilmesi gerekmiş ve bunun için FDS simülasyonunun da içinde bulunduğu birçok CFD yangın simülasyon programları geliştirilmiştir (Glaser, Valasek, Weisenpacher ve Halada, 2012).

Yangın Dinamik Simülasyonu (FDS), 2000 yılında yayınlanan, yangın güvenliği için özel olarak geliştirilmiş ücretsiz bir yazılımdır (Albis, 2015). FDS yangın emniyeti problemlerinin çözümü için kullanılmaktadır. Yangın dinamiği simülasyonu (FDS),

yangından çıkan duman ve sıcak gazların akışını modelleyen hesaplamalı akışkan dinamiği (CFD) modelidir (Shen, Huang ve Chien, 2008). PyroSim, NIST (Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü) tarafından geliştirilen Yangın Dinamik Simülasyonunun (FDS) grafik kullanım ara yüzüdür (Khandoker, Mou, Muntaha ve Rahman, 2018). PyroSim, FDS simülasyonları için girdilerin hazırlanmasını kolaylaştırmak, yangın modelleri oluşturmak ve analizini yapmak amacıyla geliştirilmiştir (Valasek, 2012). FDS ve SmokeView, arayüz programı PyroSim ile entegreli olarak çalışmaktadır. PyroSim simülasyon sonuçları, inşaata başlamadan önce binaların emniyetini sağlamak, mevcut binaların yangın güvenliğini değerlendirmek, kaza sonrası soruşturma ve araştırma için yangınları yeniden inşa etmek ve itfaiyecilerin eğitimine yardımcı olmak için kullanılmaktadır (Pitana vd., 2017). Cami yangınının bilgisayar simülasyonu için FDS'nin grafik kullanıcı ara yüzü ve bir FDS programı olan PyroSim programı kullanılmıştır.

Çalışmanın Düzeni

Çalışmanın giriş bölümünde çalışmanın motivasyonu, amacı, kapsamı ve sınırları, yöntemi, düzeni açıklanmıştır. İkinci bölümde yangın, yangın dinamik simülasyonu, kullanılan program PyroSim ve kubbe ile ilgili literatür taraması yapılmıştır. Üçüncü bölümde kullanılan metot ve dördüncü bölümde analiz çalışmalarında incelenen cami tipinde yangın durumu duman, sıcaklık, görüş mesafesi ve gazların akış hızı parametreleri verilmiştir. Beşinci bölümde ise elde edilen sonuçlar ve çıkarımlar sunulmuştur.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Yangın ile İlgili Yapılan Araştırmalar

Ateş, insanlığın ilk keşiflerinden biridir ve milattan önce kullanılmaya başlanmıştır. Ateşin ısısından ve ışığından faydalanarak, ateşi denetimde tutabildikleri sürece insanlar ateşten kendilerine yarar sağlamışlardır. Kazara ya da kasti olarak ateşin kontrolden çıkması yangına sebebiyet vermiştir. Yangın insanlara, yapılara ve kentlere büyük zararlar vermiş ve kimi zaman da onları yok etmiştir. Yangın; nerde, ne zaman ve nasıl oluşacağı saptanamayan bir tehlikedir.

Teknolojik ve endüstriyel gelişmeyle birlikte farklılaşan yapılarda; enerji kullanım düzeyi, toplu yerleşim alanları ve kullanıcı sayısı artmıştır (Arpacıoğlu, 2004; Savaş, 2015). Yangın istatistiklerine göre kişi başına düşen enerji miktarı ile yangının sebep olduğu can ve mal kayıpları arasında doğru orantı bulunmaktadır. Yangın riski enerji kullanımı ve endüstrileşme ile birlikte artış göstermektedir (Gültek, 2005). Üretilen yeni ve sentetik maddelerin binalarda kullanımının artışıyla, yangınların toplumun yaşam emniyetini tehdit etmesine ek olarak yangınla oluşabilecek maddi kayıpların miktarı da artmaktadır (İplikçi, 2006). Modern binalarda, birçok organik ve inorganik kimyasal bileşik, malzemelerin ısınması ve yakılması ile salınmakta veya sentezlenmektedir. Hem yapı malzemelerinin hem de mobilyaların yanması, geleneksel malzemelerden üretilenlerden çok daha fazla miktarda toksik kimyasal oluşumuna neden olmaktadır. Bu ürünler oluştuktan sonra, birçoğu kendi içinde kimyasal olarak reaktif olarak, yangın sona erdikten sonra da kimyasal madde oluşturmaya devam edebilmektedir (Stefanidou, Athanaselis ve Spiliopoulou, 2008). Bu sebeplerle, yapılar daimi olarak yangın tehdidi altındadır. Önlemler alınsa bile yapılarda yangın çıkma olasılığı her daim bulunmaktadır.

Yangın durumu; binadaki yangının çıktığı konuma, yangının kaynağına, binanın fonksiyonuna ve çıkış yollarına göre farklılık göstermektedir. Genellikle bir yangın beklenmedik bir şekilde gerçekleşmektedir. Yangın nedeni ve yangın çıkış noktası gibi bilinmeyen yangın faktörleri; yangın durumunu ve hasar seviyesini etkilemektedir (Zhao ve Lin, 2010). Yangın çıkış sebebine ve konumuna göre yapılarda oluşan maddi kayıplar değişkenlik göstermektedir.

Yangının başlamasından daha önemli ve tehlikeli olan gelişmesi ve etrafına sıçraması riskidir (Özkan, 2002). Yangın riski yapılarda büyük bir tehlike etkeni olmakla birlikte, tedbiri alınabilir ve önlenabilir bir risktir. Alınabilecek önlemlerle yangının yayılması ve yapının taşıyıcısının çökmesi önlenabilir ya da geciktirilebilir. Ayrıca yangında erken farkına varıp yangın büyümeden müdahale edilmesi de önemlidir. Yangın tehlikesinin önlenerek zararlarının azaltılmasında her çeşit gecikmenin önlenmesi mühimdir.

2.1.1. Yanma ve yangın

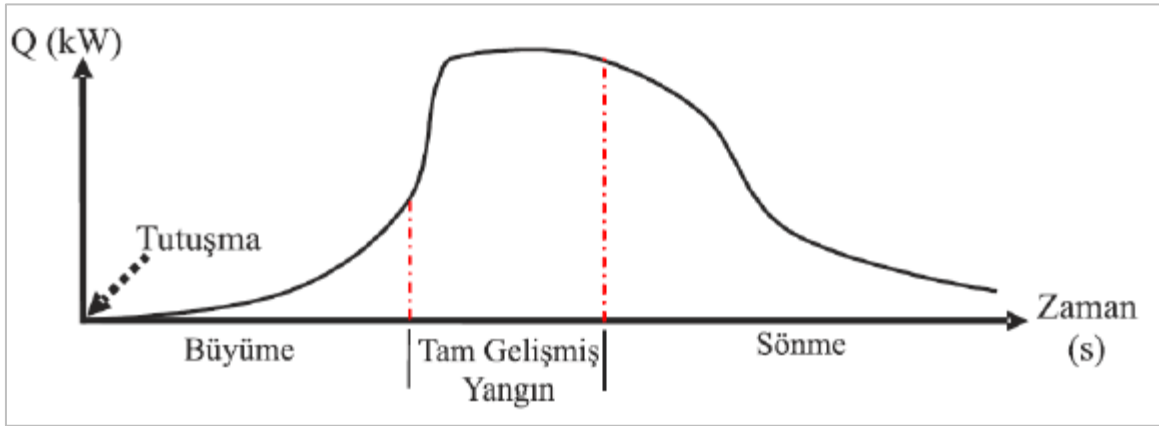
Yanma, belirli koşullar altında çıkan bir tür kimyasal reaksiyondur. Bu reaksiyon işlemi, yanıcı maddenin özgül kimyasal enerjisini, ısı enerjisine dönüştürmektedir (Fang, Li, Jiao ve Khaletski, 2019). Yangın yanıcı ve yakıcı maddelerin ısıyla birlikte tepkimesiyle oluşmakta ve ekzotermik bir olaydır. Her yanıcı maddenin kendine özgü bir tutuşma sıcaklığı vardır ve bu sıcaklığa ulaşan yanıcı madde havadaki oksijenle ısı çıkaran kimyasal tepkimeye girmektedir (İnce, 2016). Yanma gerçekleşirken yanma için gereken enerjiden daha fazla enerji ortaya çıkmakta ve ortama ısı salınmaktadır. Yanmanın gerçekleşmesi için, maddenin kendi tutuşma sıcaklığına erişmesi gerekmektedir (Kırtaş, 2017).

Atmosferde % 21 oranında bulunan oksijen yanıcı değildir ancak yanıcı maddelerle belirli oranda birleştiği zaman yakıcı madde olarak yanmayı başlatmaktadır. % 16 ve üzerindeki oranlarda havada oksijenin bulunması yanmayı başlatabilmektedir. Gündelik yaşamda oksijen ve yanıcı maddenin teması devamlı olmaktadır, fakat yanmayı başlatacak olan faktör aktivasyon enerjisidir. Yanma sonucu farklı yoğunlukta duman, ısı ve ışık yayılmaktadır.

Yangın, alev, ısı, oksijen tükenmesi, duman ve zehirli gazları içeren geri dönüşümsüz bir süreçtir. Organik materyalin tamamen yanması, öncelikle su buharı ve karbondioksit üreten bir oksidasyon işlemidir (Stefanidou vd., 2008). Yangın başladıktan sonra kimyasal zincirleme reaksiyon gerçekleşmektedir. Bu etkenler kontrol altında tutularak yangının oluşması engellenmektedir. Yangın başladıktan sonra bu faktörlerden en az birinin devre dışı bırakılmasıyla söndürme gerçekleşebilmektedir (İnce, 2016).

Yangın evreleri

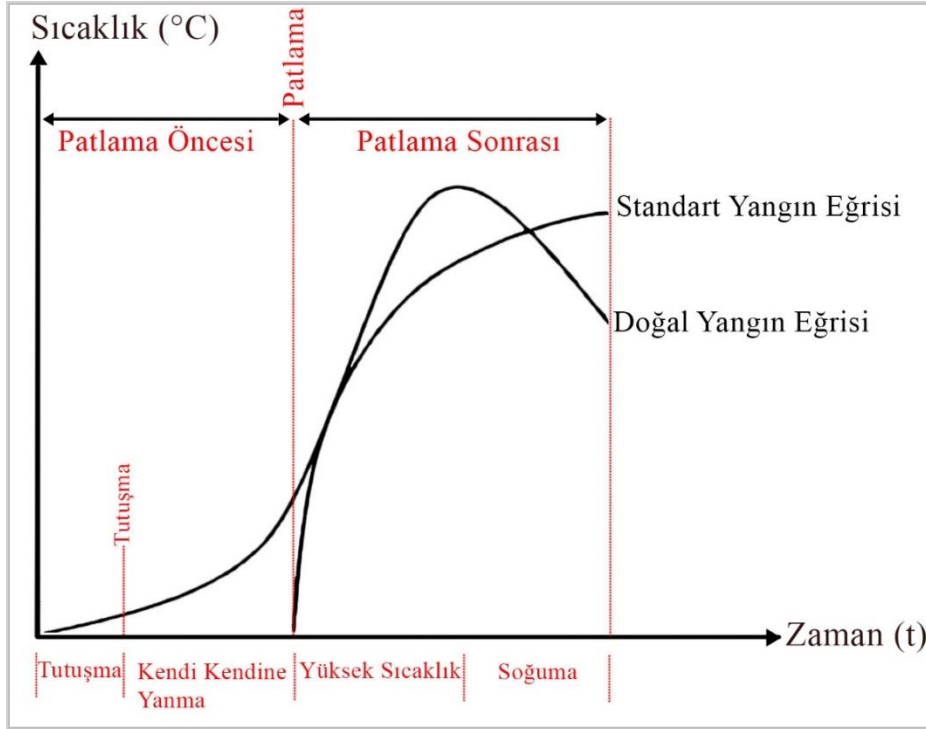
Yangın 4 evreden oluşmaktadır; tutuşma, gelişme (kendi kendine yanma), patlamayla yüksek sıcaklığa ulaşma ve soğuma evresi. Tutuşma safhasında yangının can ve mal kaybı riski azdır. Bu aşamada yanma kısmi bir bölgede gerçekleşir ve büyüme hızı da azdır. Yangının büyüme evresinde, yangın mekandaki oksijen miktarına, yanan maddenin cinsine ve yanma tipi gibi bazı özelliklere bağlı olarak yavaş ya da hızlı gelişebilir. Bu evrede yapılan müdahale ile yangının gelişmesi önlenabilmektedir. Gelişme evresinde mekan içindeki maddeler ortam sıcaklığının artmasıyla oksitlenir ve ısının yükselmesiyle kendi kendine yanmaya başlamaktadır. Yangında yanan malzemeler ortama yarım yanmış gazlar salmakta ve bu gazlar yeteri kadar oksijen ve sıcaklığa ulaşınca patlamalar gerçekleşmektedir. Patlama (flashover) yüksek sıcaklığın çıkmasına neden olmaktadır. Yüksek sıcaklığın verdiği zarar kadar patlama da büyük hasarlara sebep olmaktadır. Yangının son fazı soğuma yani sönme fazıdır. Bu aşamada ortamda bulunan yanıcı maddelerin bitmesiyle yangın şiddeti düşmekte ve sönümlenmektedir (Özkan, 2002). Şekil 2.1’de yangının büyüme, gelişme ve sönme evrelerinin ısı salınım hızı-zaman grafiği verilmektedir.



Şekil 2.1. Yangında ısı salınım hızı-zaman grafiği

NFPA 204’te gelişmekte olan yangın denklemi (Eş. 2.1)’deki gibi hesaplanmaktadır. Bu denklemde q ; yangının ısı salınım miktarını (kw), t ; yangının tam gelişme zamanını (s), α ; yangının büyüme sabitini (kw/s²) tanımlamaktadır.

$$q = \alpha \cdot t^2 \quad (2.1)$$



Şekil 2.2. Yangında sıcaklık-zaman grafiği

Şekil 2.2’de yangında sıcaklık-zaman grafiği gösterilmektedir. Yangının gerçekleştiği yerde başlangıcından itibaren sıcaklık çok hızlı olarak yükselmektedir. Bu sebeple yangında ilk dakikalar hatta saniyeler oldukça önemlidir. Çünkü ilk beş dakikada yangında sıcaklık 500 °C üzerine ulaşmaktadır. Yangında sıcaklığın değişimi ilk 1 saat içinde 927 °C olmaktadır. Yangın fonksiyonunda en büyük yükseliş ilk 5 dakika içinde gerçekleşmektedir. İlk beş dakikanın önemi bundan dolayıdır (Ballı, 2010).

2.1.2. Isı transfer türleri

Yangın ekzotermik bir tepkime olduğu için devamlı olarak ısı üretimi gerçekleşmektedir. Yanma olgusu devam ettikçe etraftaki maddeler tutuşma sıcaklığına ulaşarak yanmaya başlamaktadır. Yangında ısı üç ayrı yol ile iletilmektedir. Bunlar; iletim (kondüksiyon), taşıma (konveksiyon) ve ışınlım (radyasyon) olarak adlandırılmaktadır.

İletim (kondüksiyon)

Birbirleriyle fiziksel teması bulunan veya aynı ortamda bulunan yanıcı maddeler arasında gerçekleşen ısı transferine kondüksiyon denilmektedir. Genellikle katı cisimlerde

görülmektedir. Isı enerjisi katı maddelerde yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru ilerlemektedir. Atom ve moleküllerin hareketleri sonucunda gerçekleşen bu ilerleme ile madde hareket etmeden ısı enerjisi, farklı bir noktaya iletilebilmektedir. Yangında yüksek kinetik enerjili moleküller kinetik enerjinin düşük olduğu yere doğru hareket etmektedirler. Bu iletim transferi termal dengeye ulaşıldığında durmaktadır.

Taşınım (konveksiyon)

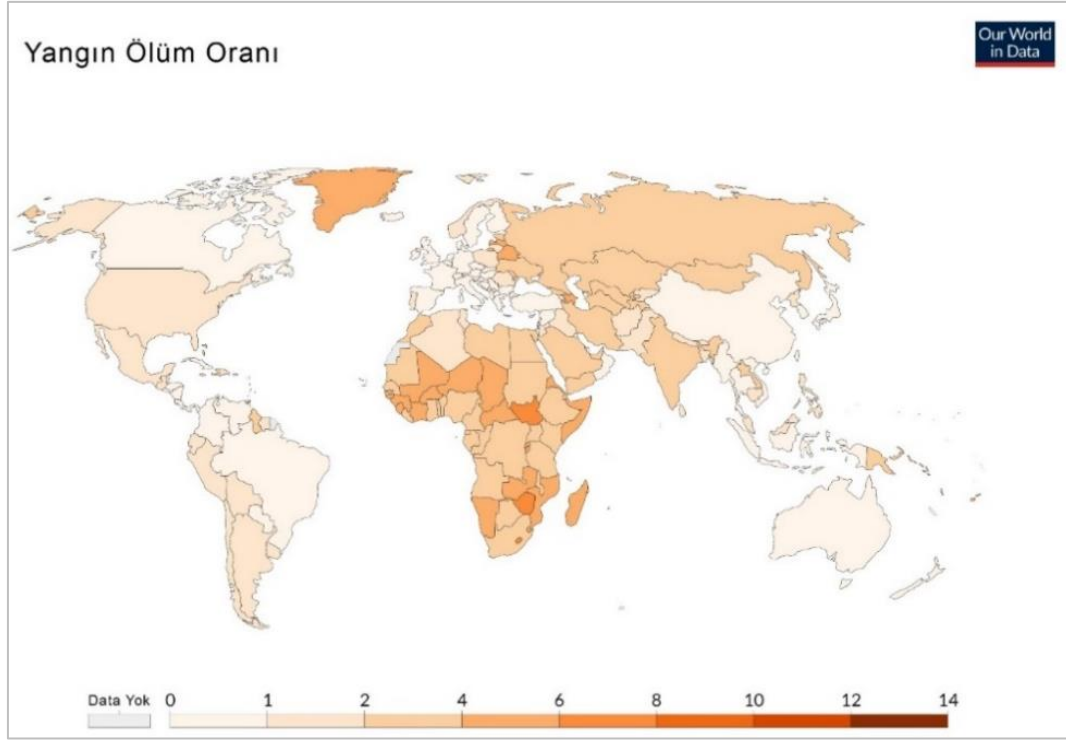
Konveksiyon genellikle akışkanlarda (gaz ya da sıvılarda) görülmektedir. Akışkanlar ısındıklarında kinetik enerjisi artarak ısı kaynağından uzaklaşmaktadırlar. Yangında açığa çıkan enerjinin %80'i konveksiyon yoluyla yayılmaktadır. Bu yayılım yöntemi zehirli gazların ve dumanın ortama hızla yayılmasına sebep olmaktadır. Yangın sonucu oluşan dumanın baca etkisi ile yangının üst katlara yayılmasına da sebep olmaktadır.

Işınım (radyasyon)

Isı, elektromanyetik dalgalar (ya da fotonlar) olarak yayılarak etrafındaki maddeleri tutuşma sıcaklığına yükseltmektedir. Mutlak sıfırın üzerinde sıcaklığa ulaşan bütün malzemeler ışıınım yapmaktadır. Işınım, yangının yayılmasına neden olan en etkili ısı transfer türüdür.

2.1.3. Yangına neden olan durumlar

Kentlerdeki yangın olaylarının sayısı ve çıkış sebebi; insanların eğitim düzeyine, kentin nüfusuna, kentin alt yapısına, kişi başına düşen enerji tüketim miktarına ve tüketilen enerji türüne bağlıdır. Kişi başı enerji tüketimi ve nüfusun tükettiği enerji miktarı artarsa yangınların sayısı da yükselmekte, yangın önlemleri arttıkça yangın sayısı düşmektedir (Kılıç, 2018). Şekil 2.3'te Dünya'daki yangın, sıcak ve sıcak maddelerden ölümlerin dağılımına bakıldığında genel olarak ülkelerin gelişmişlik düzeyi arttıkça bu ölümlerin azaldığı görülmektedir. Türkiye'de ortalama her yıl 10000-20000 yangın çıkmakta ve bu yangınlardan 200 ile 1000 arasında insan ölmektedir (CTIF, 2020).

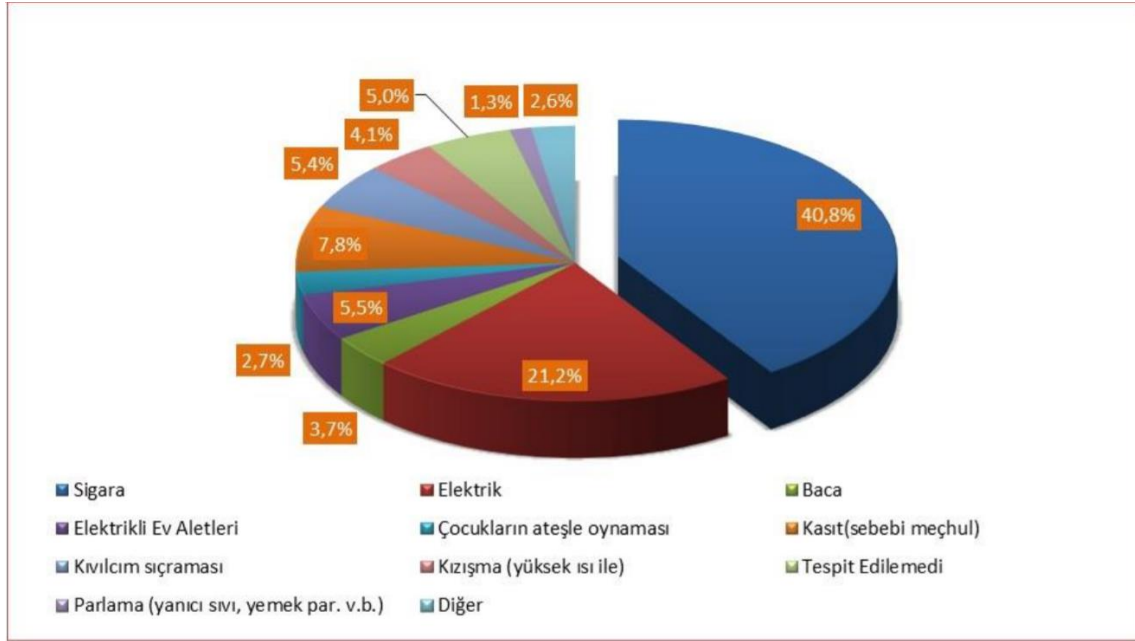


Şekil 2.3. 2017’de Dünya’da tahmini her 100 bin kişi başına düşen yangın, sıcak ve sıcak maddelerden ölümlerin dağılımı (OWID, 2020)

Çizelge 2.1’de 2015-2020 yıllarındaki yangın çıkış sebebi ortalamasına bakıldığında ilk üç sırada yangınların sigara, elektrik ve kasıt nedenli yangınlardan kaynaklandığı görülmektedir (İİMİ, 2020).

Çizelge 2.1. 2015-2020 yılları arasındaki yangının çıkış sebebi (İİMİ, 2020)

Kaynak	Yıl											
	2015		2016		2017		2018		2019		2020 Ocak	
	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde
Sigara	10.532	39,0%	11.341	39,7%	8.420	33,6%	7.153	35,0%	9.201	40,8%	577	31,0
Elektrik	6.564	24,3%	6.155	21,5%	6.259	25,0%	5.442	26,7%	4.780	21,2%	550	29,6
Kasıt	2.058	7,6%	2.729	9,5%	1.981	7,9%	1.486	7,3%	1.749	7,8%	114	6,1
Kıvılcım Sıçraması	1.021	3,8%	1.122	3,9%	1.178	4,7%	1.208	5,9%	1.214	5,4%	99	5,3
Baca	1.185	4,4%	1.093	3,8%	1.100	4,4%	858	4,2%	840	3,7%	110	5,9
Elektrikli Ev Aletleri	1.245	4,6%	1.272	4,4%	1.206	4,8%	1.138	5,6%	1.238	5,5%	96	5,2
Kızışma (yüksek ısı ile)	1.107	4,1%	842	2,9%	943	3,8%	862	4,2%	924	4,1%	89	4,8
Tespit Edilemedi	956	3,5%	1.060	3,7%	1.824	7,3%	647	3,2%	1.129	5,0%	94	5,1
Diğer	823	3,1%	1.276	4,5%	1.014	4,0%	785	3,8%	575	2,6%	72	3,9
Çocukların Ateşle Oynaması	1.159	4,3%	1.374	4,8%	867	3,5%	553	2,7%	614	2,7%	30	1,6
Parlama (yanıcı sıvı (yemek parlaması vb.))	328	1,2%	322	1,1%	281	1,1%	284	1,4%	282	1,3%	29	1,6
Toplam	26.978	100%	28.586	100%	25.073	100%	20.416	100%	22.546	100%	1.860	100%



Şekil 2.4. 2019 yılındaki yangınların çıkış sebeplerinin dağılımları (İİMİ, 2020)

Şekil 2.4'te 2019 yılındaki yangınların çıkış sebeplerine göre dağılımı verilmektedir.

Yangınların nedenleri; doğal yangınlar, kaza, ihmal, bilinmeyen ve yeniden yanma olarak sınıflandırılabilir.

Doğal nedenlerle oluşan yangınlar

İnsan faktörü olmadan gerçekleşen doğal afetler sonucu oluşan yangınlardır. Bunlar volkanik patlamalar, yıldırım, deprem, gaz emisyonu gibi sebeplerle başlayan yangınlardır.

Kazayla oluşan yangınlar

İnsanların bu yangınlara doğrudan katkısı bulunmamakla birlikte istemeyerek dolaylı olarak ateş kullanımı nedeniyle meydana gelen yangınlardır. Elektrikli ev aletleri, baca, elektriğin kısa devre oluşturması, kıvılcım sıçraması gibi sebeplerle ortaya çıkan yangınlardır.

İhmal sonucu oluşan yangınlar

Sigara, tütün veya parlak nesne kullanımı gibi sebeplerle başlayan yangınlardır.

Kundaklama nedeniyle oluşan yangınlar

İnsanlar bilerek ve isteyerek yangına sebep olabilmektedir. Kundaklama; siyasi ya da dini sebeplerle sansasyon yaratmak, öç ve intikam almak, para veya başka bir yolla kazanç sağlamak, gözdağı vermek, maddi zarar vermek, yapılan başka bir suçu gizlemek, kin, nefret, kıskançlık, ticari kaygı gibi duygularla çıkartılan yangınlardır. Piromani (patolojik yangın çıkarma) hastaları heyecan duymak amacıyla, birçok kez kasıtlı ve amaca yönelik dürtüsel biçimde yangın çıkarmaktadır. Bu kişiler yangına ve yangınla ilgili nesnelere karşı büyük bir ilgi ve merak beslemektedir. Yangının hasar oluşturmaktan haz duymaktadırlar.

Yeniden yanma nedeniyle oluşan yangınlar

Gizli ısı veya kor nedeniyle önceki bir yangının tekrar tutuşmasından kaynaklanmaktadır. İtfaiyeler bu yüzden yangını söndürseler de soğutma işlemi yapmaya devam etmektedir.

Sebebi bilinmeyen yangınlar

Çıkış nedeni belirlenemeyen yangınlardır.

2.1.4. Avrupa, Amerika ve Türkiye’deki yangın sınıfları

Çizelge 2.2’de Avrupa, Amerika ve Türkiye’de yanan maddeye göre sınıflandırılan yangın çeşitleri ülke standardındaki sınıfları ve söndürme yöntemleriyle gösterilmektedir.

Çizelge 2.2. Avrupa, Amerika ve Türkiye’deki yangın sınıfları ve söndürme yöntemleri

<u>Yanan Madde</u>	<u>Avrupa (EN Standardı)</u>	<u>Türkiye (TS EN Standardı)</u>	<u>ABD (NFPA Kodu)</u>	<u>Söndürme Yöntemi</u>
Katı yanıcı maddeler; kömür, odun, kâğıt, plastik vb.	A Sınıfı	A Sınıfı	A Sınıfı	Çoğu söndürme teknikleri
Yanıcı sıvılar	B Sınıfı	B Sınıfı	B Sınıfı	Kuru kimyasallarla veya Halon ile kimyasal reaksiyonların engellenmesi
Yanıcı gazlar	C Sınıfı	C Sınıfı	B Sınıfı	Kuru kimyasallarla veya Halon ile kimyasal reaksiyonların engellenmesi
Yanıcı metaller	D Sınıfı	D Sınıfı	D Sınıfı	Uzmansal önleme gerektirir.
Elektrikli yangın	E Sınıfı	E Sınıfı	C Sınıfı	Sıradan yanıcı maddeleri söndürmede su gibi iletken maddeler kullanılmamalıdır.
Yemeklik sıvı ve katı yağlar	F Sınıfı	F Sınıfı	K Sınıfı	Oksijen veya su buharını keserek engelleme

Türkiye’de TS EN standardında yangınlar, yanıcı madde göz önünde bulundurularak 5 sınıfa ayrılmıştır. TS EN 2 ve TS EN 2/A1’e göre yangın A, B, C, D ve F olmak üzere 5 çeşittir. Yangın türünün bilinmesi, söndürmek için kullanılacak yöntemin belirlenmesi için önemlidir. Avrupa’da, "elektrik yangınları" daha önceden sınıflandırmada yer alırken, elektriğin kendisi yanamayacağı için, yangın sınıflandırmasından kaldırılmıştır. Statik boşalmaları, elektrik arkı ve elektrik sistemindeki kısa devreler nedeniyle elektrik kaynağının etrafındaki nesneler yanabilmektedir. Elektrik kaynağının kapatılarak önce elektrik akımı kesilmekte, sonrasında yanıcı cismin türüne göre diğer sınıf yangın söndürücülerden biriyle müdahale edilmektedir (Savaş, 2015).

A sınıfı yangınlar ve söndürme yöntemi

Katı yanıcı maddelerin; kömür, odun, kâğıt, plastik, ot, pamuk, kumaş gibi maddelerin yanmasıyla oluşan yangınlardır. Metalleri kapsamaz. Soğutma işlemi yapmak, yanıcı maddeden uzaklaştırmak, oksijenle ilişkisini kesmek, oksijeni azaltmak ve zincir reaksiyonları bozmak yangının sönmesini sağlamaktadır (Carter, 1998). Köpüklü, kuru kimyasal, sıvı söndürücü, su vb. söndürücüler kullanılarak söndürülebilmektedir.

B sınıfı yangınlar ve söndürme yöntemi

Bu tür yangınlar, benzol, benzin, tiner, katran, makine yağları, asfalt, yağlı boyalar, laklar vb. sıvı yanıcı yanmasıyla oluşmaktadır. Bu yangınlara karbondioksitli, tozlu veya köpüklü söndürücülerle müdahale edildikten sonra yanan maddenin oksijenle teması kesilerek söndürülmektedir.

C sınıfı yangınlar ve söndürme yöntemi

Yanıcı gazların sebep olduğu yangınlardır. Likit petrol gazı, asetilen, hidrojen gazı, doğal gaz, metan, propan, butan gibi gazların yanmasıyla oluşan yangındır. Bu yangın türü hızlı yayılmanın, parlamanın ve patlama ihtimalinin en yüksek olduğu yangın türüdür. C sınıfı yangınların söndürme işleminde ilk olarak yangının kaynağı CO₂, kuru kimyevi toz vb. kullanılarak kesilebilmektedir. Sonrasında soğutma işlemi yapılmaktadır.

D sınıfı yangınlar ve söndürme yöntemi

Sodyum, lityum, magnezyum, alüminyum, potasyum vb. yanıcı aktif ve hafif metallerin radyoaktif maddeler ile yanmasıyla meydana gelen yangınlardır. Bu tür yangınlarda alev oluşmaz, kor halinde yanma görülür. D sınıfı yangınların söndürülmesinde kuru kum, özel olarak üretilmiş hafif metal söndürme tozları ve döküm talaşı kullanılmaktadır. D sınıfı yanıcı maddelerin toz hali hava ile uygun karışımı ve tutuşma sıcaklığına ulaştığında güçlü patlamalara yol açabilmesi sebebiyle çok tehlikelidir.

F sınıfı yangınlar ve söndürme yöntemi

Hayvansal ve bitkisel ve pişirme yağlarından dolayı oluşan yangın türüdür. Söndürme işleminde oksijenle ve suyla teması kesilmektedir. Bu tip yangınları söndürmede sulu kimyasal ya da toz söndürücüler kullanılmaktadır.

2.1.5. Yangından dolayı değişen ortam koşullarının insan sağlığına etkileri

Yangının bulunduğu ortamda değişen sıcaklık, duman ve zehirli gaz insan sağlığına zarar vermektedir. Bunlar detaylı olarak bu bölümde incelenmektedir.

Sıcaklığın insan sağlığına etkisi

Yangında sıcaklık çok hızlı artmaktadır. En fazla sıcaklık yükselişi ilk 5 dakikada gerçekleşmekte ve bu yüzden ilk dakikalar ve saniyeler çok önemlidir. Sıcaklık yangının başlangıcından 5 dakika sonra 555 °C, 10 dakika sonra 660 °C, 30 dakika sonra 820 °C, 60 dakika sonra 927 °C'ye ulaşmaktadır (Yazıcı, 2013).

Yüksek sıcaklıklarda, derinin yanmasıyla deri tabakasının altında bulunan ter bezleri zarar görmektedir. Vücutta yer alan toksin maddeler ter bezleriyle dışarı atılamadığından kan zehirlenmesine sebep olmaktadır.

Sıcaklığın insanlar üzerindeki fiziksel etkileri Çizelge 2.3'te verilmektedir. Sıcaklık 60 °C'nin üstüne çıkmasından itibaren insan sağlığı üzerinde tehlike oluşturmaya başlamaktadır. İnsan vücudu 115 °C'ye 20 dakika, 199 °C'ye 4 dakikadan az dayanabilmektedir.

Çizelge 2.3. Sıcaklığın insanlar üzerindeki fiziksel etkileri (İplikçi, 2006)

Fiziksel etkiler	Sıcaklık (°C)
Olası güneş çarpması	60
49 dakika süresince sıcaklığa dayanım	80
Nemli havada çok hızlı deri yanmaları	100
20 dakika dayanım	115
Burundan güçlükle nefes alma	125
Ağızdan güçlükle nefes alma	149
Kaçış için sınır sıcaklık değeri	149
Kuru ciltte dayanılmaz ağrılar	160
4 dakikadan daha az sürede dayanım düşer	199
Solunum sistemi eşik değerdedir	199

Dumandaki zehirli gazların insan sağlığına etkisi

Maddede yanma sonucu ortaya çıkan katı parçacıklar ve buğudan oluşan gaz halindeki hava karışımına duman adı verilmektedir. Yangınlardan kaynaklanan ölümlerin çoğu yanmadan değil, yanma sırasında üretilen zehirli gazların solunmasından kaynaklanmaktadır (Yu, Chu, Zhang ve Liang, 2014). Binalarda çok çeşitli sentetik malzemeler kullanıldığından (yalıtım, mobilya, halı ve dekoratif ürünler gibi) bina yangınları sırasında yanma ürünlerinin solunmasından kaynaklanan riskler sürekli artmaktadır (Stefanidou vd., 2008). Duman;

sıcaklığın artmasına, yangının yayılmasına neden olarak can ve mal kaybına sebep olmaktadır. İstatistikler, yangında, duman parçacıklarının solunmasında, toksik gaz boğulmasının toplam ölüm sayısının %85'ini oluşturduğunu göstermektedir (Yu vd., 2014). Yangında dumanla görüş mesafesi ters orantılıdır ve dumanın yoğunluğu arttıkça görüş mesafesi azalır, paniğe yol açar ve kaçış zorlaşır. Bütün hacmin dumanla kaplanması itfaiye ekiplerinin müdahalesini engellemektedir. Dumanla birlikte ortaya çıkan toksik madde yoğunluğu da artarak kaçışı engelleyerek ölümcül duruma gelebilmektedir (Yüzücü, 2017).

Yangında, ortamdaki havada çıkan toksik gazlar nedeniyle oksijen oranı %16'nın altına düştüğü zaman insanlar için tehlike oluşmaktadır. Bu yüzden oksijen haricindeki tüm gazlar zehirli kabul edilir. Azalan oksijen ve belirtileri Çizelge 2.4'te verilmektedir.

Çizelge 2.4. Azalan oksijen ve belirtileri (OSHA, 2020)

Havadaki oksijen oranı	Belirtiler
%20.9-23,5	Normal olan en üst düzey oranı
%19,5	İzin verilen en alt ortam seviyesi, olumsuz bir etkisi yok
%16-19,5	Çalışma kabiliyetinde azalma, koroner yetmezlik ve koordinasyon kaybı
%12,5-16	Nabızda artış, soluk alıp verme sıklığının artması, algı ve koordinasyon bozulması
%10-12	Daha hızlı ve derin soluklanma, dudaklarda morlaşma
%8-10	Dudaklarda morlaşma artar, şuur kaybı, bulantı ve kusma
%8-6	4-5 dk uygun müdahale ile yaralı kurtarılabilir. 6. dk %50 ölüm, 8. dk %100 ölüm
%4-6	40 sn sonra kasılma, çarpınma ve koma, solunum duruşu sonucu ölüm

Duman; havada taşınabilen katı, sıvı partiküller ve yanma sonucu oluşan gazlarla havadan oluşan bir karışımdır. Yanma ürünleri çoğunlukla karbondioksit (CO_2), karbonmonoksit (CO), su buharı ve benzeri zehirleyici gazları içermektedir. Yanan ürünlerin bazıları alevsiz yanarak yoğun duman çıkarır, bazıları sadece alevle yanarak aynı miktarda duman çıkarır. Yangınlarda meydana gelen ölümlerin temel nedeni zehirli ve boğucu gazlar içeren dumandır. Dumanın bir diğer olumsuz etkisi de özellikle kapalı mekanlarda yangınlarında görüş mesafesini sınırlamasıdır (Yangın, 2020).

Yangın sırasında yüksek miktarda ortaya çıkan CO_2 ortamda bulunan oksijeni azaltır. İnsan nefesinde %4 oranında dışarı verilen karbondioksit (CO_2) gazı boğucu özelliğe sahiptir. CO_2 konsantrasyonuna bağlı olarak oluşan zarar seviyeleri Tablo 2.5'de verilmektedir.

Çizelge 2.5. Karbondioksit (CO₂) etkileri (Bas, 2004; Wessel, 2001)

CO ₂ Miktarı	Belirtiler
600 ppm (%0,04)	Normal
1 000 ppm (%0,1)	İç mekanda tavsiye edilen limit
35 000 ppm (%3,5)	Nefes almanın durması

Karbonmonoksit her yangında ortaya çıkan renksiz, kokusuz ve tatsız gazdır. Karbonmonoksitin doğrudan zehirleyici etkisi bulunmaktadır ve kana, sinir sistemine ve hücrelere etki ederek CO ölümüne sebep olmaktadır (Yangın, 2020). Karbonmonoksit, yangın kaynaklarından salınan gazların en toksik olanıdır ve genellikle yangınların sonucunda gerçekleşen ağır kayıpların sebebidir (Gao, Li, Zhang ve Luo, 2015). Karbonmonoksitin insan vücudu üzerindeki etkisi Çizelge 2.6’da verilmektedir.

Çizelge 2.6. Karbonmonoksitin insan vücudu üzerindeki etkisi (Li, Zhu, Wang ve Zhou, 2018)

CO Miktarı (x10 ⁻⁶ veya ppm)	Maruz Kalma Süresi	Belirtiler
100 (%0,01)	8 saat içinde	Hissedilmez
400 -500 (%0,05)	1 saat içinde	Hissedilmez
600-700 (%0,07)	1 saat içinde	Baş ağrısı, bulantı, solunum bozuklukları
1000-2000 (%0,2)	2 saat içinde	Bilinç, solunum bozuklukları, koma, 2 saat içinde ölür
3 000-5 000 (%0,5)	20-30 dk içinde	Ölüm
10 000 (%1)	1dk içinde	Ölüm

2.1.6. Yangın güvenliği

Yangınlarda ortama yayılan zehirli duman, insan sağlığı üzerinde büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Bu toksik tehlikeleri ölçmek için etkili yöntemlere duyulan ihtiyaç, yangın güvenliği araştırmasının ilerlemesinde çok önemlidir (Alarifi, Phylaktou ve Andrews, 2016). Giderek büyüyen yangın problemine karşı alınacak güvenlik önlemlerinin teknik ve bilimsel açıdan incelenmesi ve araştırılması gerekmektedir. Yangın bilimi, disiplinler arası bir alandır. Yangın güvenliğinin binaların tasarımından işletmesine, bakımından kullanım sürecine irdelenmesi gerekmektedir. Bunun içinde mimarlık, makine, elektrik, inşaat ve işletme mühendisliği gibi çoklu disiplinin bir arada çalışması gerekmektedir (İplikçi, 2006). Ayrıca fizyoloji, insan psikolojisi, yanma bilimi, akışkanlar dinamiği, bilgi işlem, istatistik,

malzeme bilimi, ekoloji, toksikoloji, çoğu mühendislik, adli bilim, termodinamik ve optik yangın biliminin ilgilendiği konulardır (Alarifi vd., 2016).

Yangın güvenliği; yangını önleme, yangın ve duman yayılmasını sınırlama, yangın söndürme, hızlı ve güvenli tahliye olarak tanımlanabilmektedir. Kaçış süresi, yangın özelliklerine (örneğin; büyüklüğüne, duman salınımına, toksitliliğine ve ısı üretimine), insan özelliklerine (örneğin; kişilik, gözlemsel yeteneklere, diğer insanların tahliyesi için sorumluluğa ve bina düzenine tanıdık olup olmama) ve binanın özelliklerine (örneğin; düzeni, bileşen malzemeleri, bölmeler, kullanıcı yoğunluğu, bina içinde yol bulma kolaylığı) bağlıdır (Wang vd., 2015).

Yangın tehlikelerini önlemek, tespit etmek veya ortadan kaldırmak amacıyla binalar, malzemeler veya sistemler tasarlanabilmektedir. Yangın bilimi, risk analizi ve zorlu tasarımlar için güvenli tahliye planlarının tasarlanması gibi yönetim alanlarında ve yangınla mücadele faaliyetlerinde çok önemlidir. Yangın bilimi, nedenleri ve sonuçları anlamının gerekli olduğu yangın olayı gerçekleştikten sonra bile inceleme yapılarak yangın araştırmalarına katkıda bulunabilir. Yangın güvenliğinin temel amacı, daha emniyetli bir ortam sağlamak ve bu hedefi gerçekleştirebilecek pratik çözümler üretmek için bilimsel kanıtlar kullanarak kayıpları azaltmaktır (Alarifi vd., 2016).

Yeni bir inşaat projesinin planlama ve tasarım aşamalarında mimar; planlanan yangın kompartımanlarının, kaçış güzergahının ve yangın güvenlik ekipmanının kurallara uygun olup olmadığını değerlendirmelidir (Wang vd., 2015). İşletme aşamasında; binanın kullanıcıları yangın olma ihtimaline karşılık kaçış yollarına aşina olmalıdır, bina bakım personeli yangın güvenlik ekipmanları ile ilgili bilgilere sahip olmalıdır ve ekipmanın çalıştığından emin olmalıdır (Wang vd., 2015).

Yangın güvenlik önlemleri

Binalarda yangın güvenliği tasarımı yapılırken amaç yangın çıktığında kullanıcıların güvenli tahliyesini sağlamak, yangının yayılmasını ve sıçramasını önlemek, acil kurtarma ve itfaiye ekiplerinin söndürme ve kurtarma süreleri boyunca yapının sağlamlığını koruyarak çökmesini engellemektir (Altındaş, 2010). Yangın güvenlik tedbirleri yönetmeliklerde ana hatlarıyla bakıldığında; pasif ve aktif yangın güvenlik önlemleri olarak iki alt başlıkta

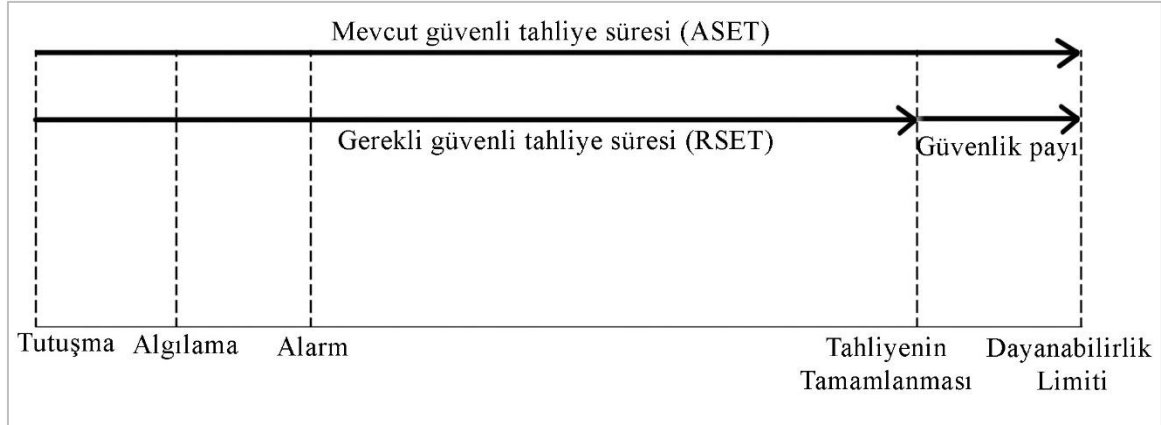
toplanabilir ve yangın güvenliğinin bütünlüğünü sağlamaktadır. Pasif yangın güvenlik önlemleri etkin kullanıldığı oranda aktif yangın güvenlik önlemlerine ihtiyaç azalmaktadır.

Pasif yangın güvenlik önlemleri öncelikle yapının tasarım aşamasında yani projelendirme aşamasında başlamakta ve yapı fizikine yönelik mimari öğeleri temel almaktadır. Pasif yangın güvenlik önlemlerinde, yangın sonucu ortaya çıkan zehirli gaz ve dumanın yapıdan uzaklaştırılması, yangın kaçış yollarının tasarlanması, yangını geçirmeyen bölümlerin (kompartmanların) tasarlanması, malzeme olarak yanma ısısı yüksek olan ya da yanmayan, duman çıkarmaz yapı malzemelerinin seçilmesi, kullanıcıların kolay algılayabileceği kaçış yollarının tasarlanması, yapıyı ayakta tutan taşıyıcı sistemin tahliye sırasında ve itfaiye tarafından söndürüleceği zaman boyunca ayakta kalması hedeflenmektedir (Arpacıoğlu, 2009; Başdemir ve Demirel, 2010). Tasarım safhasındaki alınan pasif önlemler mekanik yani aktif sisteme olan gereksinimi düşürmekte ve bu da maliyeti azaltmaktadır (Kılıç ve Beceren, 1999).

Aktif önlemler genelde yangın başlangıcında yangını algılayarak, büyüüp yayılmasına engel olarak, tahliyeyi ve yangına müdahaleyi kolaylaştıran, yangını söndürmeyi amaçlayan önlemlerin tamamını kapsamaktadır. Aktif önlemler; yangın algılayıcı ve uyarıcı sistemler ile yangını engelleyici, söndürme ve duman kontrol elemanları olarak ikiye ayrılmaktadır (Kılıç, 2003).

ASET ve RSET

Bir binadaki yangın güvenliği, insanların binayı boşaltabilmesi için gereken zaman yani gerekli güvenli tahliye süresi (RSET) ve bunu yapabilmeleri için mevcut güvenli tahliye süresine (ASET) bağlıdır. Gerekli güvenli tahliye süresi (RSET), mevcut güvenli tahliye süresini (ASET) aştığında ($RSET > ASET$) ölüm, yaralanma ve kayıplara sebep olmaktadır. ASET, RSET'i aştığında ($ASET > RSET$) ise nerdeyse herkes binayı güvenli şekilde tahliye edebilmektedir (Averill, Mileti, Peacock, Groner, Proulx, Reneke, ve Nelson, 2005). Şekil 2.5'te tahliye zaman çizelgesi gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Tahliye zaman çizelgesi (Gwynne ve Boyce, 2016)

2.1.7. Yangın yönetmelikleri

Yangın riskine karşı alınabilecek tedbirlerle oluşabilecek hasar ve kayıplar azaltılabilmekte, bu da yangın güvenlik önlemleriyle gerçekleştirilmektedir. Bu önlemler, şehircilik ölçeğinde başlayarak, bina, mekân, eleman ve malzeme seçimini de kapsamaktadır. Yangın güvenlik önlemlerinin teknolojiyle teknik olarak çözülebilmesi kadar idari ve yasal tarafı da bulunmaktadır. Ülkelerin vatandaşlarının can ve mal emniyetini sağlama yükümlülüğü bulunmaktadır. Bu durum yasal düzenlemeler, mevzuatlar vasıtasıyla yapılmakta ve ülkelerin medeniyet seviyesini göstermektedir.

Ülkelerin kendine özgü standart ve yönetmelikleri bulunmaktadır. Bu standart ve yönetmelikler tasarımcılara hangi durumda ne önlemler alması gerektiği konusunda yol göstererek yangın riskini azaltmayı amaçlamaktadır. Çizelge 2.7’de Türkiye ve gelişmiş bazı ülkelerde standartlar ve yangın mevzuatları verilmektedir.

Çizelge 2.7. Türkiye ve gelişmiş bazı ülkelerde standartlar ve yangın mevzuatları

Ülke Adı	Standart Adı	Yangınla ilgili Mevzuatlar ve Düzenlemeler
İngiltere	BS (İngiliz Standartları)	Approved Document B
Almanya	DIN (Alman Standartları)	Ulusal yapı koduna bağlı olarak eyaletler kendi mevzuatlarını belirliyor.
Rusya	SNIP (Rus Standartları)	NPB Fire Safety Regulations
ABD	ASTM (Amerika Standartları)	NFPA (National Fire Protection Association) (Amerika Kodları)
Türkiye	TSE (Türk Standartları)	BYKHY (Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik)

Gelişmiş Avrupa ülkelerinde; DIN (Alman standartları), BS (İngiliz Standartları) olmak üzere SNIP (Rus Standartları) gibi pek çok standart ve ülke yönetmelikleri, gelişmiş ülkelerin yangın emniyetine verdiği önemi göstermektedir (RIBAJ, 2020; NFB, 2020). Amerika’da NFPA (National Fire Protection Association) kodlarında yangın kuralları yer almaktadır (NFPA, 2020). Çoğu Avrupa ülkesinde ulusal hükümet yangın yönetmeliklerini belirler. Ancak Almanya’da bu eyaletlerin sorumluluğundadır ve ulusal yapı koduna bağlı olarak eyaletler kendi mevzuatlarını belirlemektedir (RIBAJ, 2020).

Ülkemizdeki ilk yangın hükmü, 1579 yılında III. Murat tarafından çıkarılmıştır. Sonraki dönemden günümüze kadar, yangın hükümleri ve kuruluşlarının amacı yangını söndürmek olmuştur. Günümüz Türkiye’inde geniş çapta hazırlanan ilk yangın yönetmeliği, 1992’de çıkarılan “İstanbul Belediyesi Yangından Korunma Yönetmeliği”dir. İstanbul’dan sonra, İzmir, Mersin, Antalya ve Bursa benzer yönetmelikler çıkarmış ancak, diğer illerde yangın güvenlik önlemine yönelik mevzuat çalışması yapılmamıştır (Sevindi, 2006). Türkiye’deki yangınla ilgili standartlar NFPA ve EN’lerden tercüme edilerek hazırlanmıştır. Ayrıca Bakanlar Kurulu kararı ile ilk defa 26 Temmuz 2002 tarihinde Türkiye genelinde kullanılmak üzere BYKHY (Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik) yürürlüğe girmiştir (Gültek, 2005). Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmeliği; 2004, 2007, 2009, 2012, 2015, 2017, 2018 ve en son 2020 yılında yapılan düzenleme ve değişikliklerle en son halini almıştır.

2.1.8. Camilerde yangın

Bugün ülkemizde yaklaşık olarak 89.300 cami bulunmaktadır (DİB, 2020). 2020 TÜİK verilerine göre “Türkiye nüfusu 83 milyon 614 bin 362 kişidir.” (TÜİK, 2021). Bu verilere göre Türkiye’de yaklaşık 936 kişi başına 1 cami düşmektedir. Ülkemizin hemen hemen her yerinde bulunan camiler, yerleşim merkezlerinde önemli bir yere sahip olduğunu göstermektedir (Top ve Topraklı, 2019).

Camilerin en önemli dini faaliyeti cemaat namazlarından oluşmaktadır. Cemaatle camide kılınan günlük beş vakit namazlarda, cuma ve bayram namazlarında, kandillerde ve teravîh namazlarında camiler kalabalık olmaktadır. Cami, içine kısa aralıklarla yüzlerce/binlerce insan girip çıkmakta ve özellikle bu kalabalık vakitlerde kalabalığın emniyetinin sağlanması daha da önemli hale gelmektedir. Metrekare başına düşen insan sayısının en fazla olduğu

yapı türlerinden biri camidir. Diğer kalabalık yapılardan olan konferans salonları, kiliseler vb. binalarda mekanın çoğunluğunu oturma elemanları kaplamaktadır, ayrıca bu elemanların aralarında hem enine hem de boyuna geçiş alanları bulunmaktadır. Bu binalar içinde bulunan koltuk sayısı kadar insan alır ve dışarı çıkışta kullanılması için boş bırakılmış koridorlar bulundurmaktadırlar. Camide ise sabit oturma elemanları bulunmadığından, tam dolmuş bir camide saflar arasında hiçbir boşluk kalmamaktadır (Berkas, 2020). Namaz esnasında bir kişinin kapladığı alan yaklaşık $0,80 \text{ m} \times 1,2 \text{ m} = 0,96 \text{ m}^2$ 'dir (Abdou, 2003). Camilerin kişi kapasitesi, ibadet alanının kişi başı ibadet alanına bölünmesi ile elde edilmektedir. Camilerde kandil, teravih, cuma, bayram gibi özel günlerde saflar daha da sıklaştırılmaktadır. Bu durumda kişi başına düşen ibadet alanı $0,96 \text{ m}^2$ 'nin altına düşmektedir. Bu alan Türkiye'deki mevcut camiler için $0,60 \text{ m}^2$ olarak hesaplanmaktadır (Topraklı, 2019). Bu kadar çok insanı bir arada aynı anda bulundurması sebebiyle camilerde bulunan insanların emniyetini sağlamak önemlidir (Berkas, 2020). Oluşabilecek yangın durumunda camideki insanların zamanında tahliye edilmesi önemlidir (Top ve Topraklı, 2019).

Cami

“Arapça'da "toplamak, bir araya getirmek" anlamındaki “cem” kökünden türeyen "toplayan, bir araya getiren, buluşturup birleştiren" anlamına gelen “cami” sözcüğü, ilk zamanlarda sadece cuma namazı kılınan büyük mescitler anlamında kullanılan el-mescidül-cami'nin (cemaati toplayan mescid) kısaltmış şeklidir.” (Önkal ve Bozkurt, 1993; Topaloğlu, 1993). Türk kentlerinde ibadet mekanının katedral niteliğinde büyük olan camilere “ulucami, cami-i kebir”, Osmanlı zamanında sultanların yaptırdığı büyük camilere ise “selatin cami” denilmektedir (Önkal ve Bozkurt, 1993).

İslam dininin ve faaliyetlerinin merkezi olan cami, Müslüman yerleşimlerinde özel bir öneme sahiptir. Müslüman topluluklar sadece namaz için değil, aynı zamanda bazı farklı dini ve sosyal hizmetler için de cami inşa etmektedirler (Ahmad, Thaheem, Anwar ve Din, 2016).

Cami İslam'ın dini yapısıdır ve birçok işlevi arasından en önemli işlevi, namaz kılmaya olanak sağlamasıdır (Imam, 2000). Caminin asıl fonksiyonu ibadet mekanı olmakla birlikte, manevi inziva, evlilik, eğitim gibi farklı amaçlarla kullanılmış ve kullanılmaya devam

edilmektedir. Camiler Müslümanlar için ibadet yeri ve çok fonksiyonlu toplanma alanı olarak önemli bir yapı tipolojisidir (Abdullah, Majid ve Othman, 2016).

Camiler, en büyük faaliyeti olan cemaatle namaz kılmayı insanlara kolaylaştırmaktır (Imam, 2000). Günlük camide cemaatle kılınan beş vakit farz namaz, Müslümanların gün içinde beş defa camiye ziyaret etmesine sebep olmaktadır (Rahman, Mastuki ve Yusof, 2015).

Camilerde bazı elemanların kullanımı zaman içinde sembolleşerek, cami kimliğinin vazgeçilmez unsurları haline gelmiştir. Cami; mihrap, kubbe, kemer, minare ve dekoratif desenler gibi unsurların tümüne veya bir kısmına sahipse kolayca tanınabilmektedir (Imam, 2000).

Kubbe

Genel olarak, namaz için kullanılan ve muhafaza edilen herhangi bir yer, sığınağı olmasa bile cami olarak tanımlanabilmektedir. Ancak cemaatle kılınması gereken namazlar sonucu mekan arayışına gidilerek cami yapıları ortaya çıkmıştır (Uysal, 2015). İlk yapılan câmilerde dış duvar yoktur, sınırları hendekle belirlenmiştir (Haseki, 2006). Camilerde ibadet edenleri güneşten ve yağmurdan korumak için namaz salonunu veya secde yeri bir malzemeye örtülmesi gerekmiştir. İlk günlerde kabuk, hurma yaprakları ve çamurdan oluşan bir çatıyla kaplanmıştır. Daha sonra, cami mimarisinin değişiminde farklı kubbe türleri kullanılmıştır. Kubbenin şekli ve sayısı, farklı bölgelerde geliştirilen cami mimarisinin karakterini simgelemektedir ve bölgesel kimliği ortaya koymaktadır. Örneğin, Osmanlı Mimarisinde merkezi kubbeli camiler, İran'da dört eyvanlı camiiler dört tarafta dört hakim kubbeden oluşan ve Hindistan'da üç kubbeli Babür camileri yapılmıştır (Imam, 2000). Kubbe, minare, mihrap ve minber de dahil olmak üzere binanın tasarımı, formları ve özel özellikleri genellikle yüzyıllar boyunca sürekli tekrarlanması sonucunda bireylerin zihinlerinde aşılantmış tanıtık mimari görüntülere göre yeniden üretilmiştir (Taib ve Rasdi, 2012).

Camilerde yaygın olarak kullanılan, kubbelerin çok uzun bir tarihi vardır, ilki Roma'daki Pantheon için inşa edilmiştir. Kubbe, doğal ortamın olumsuz koşullarından (ısı, nem ve rüzgar) koruma sağlanması için ve doğal ortama benzer bir ortam oluşturmak için kullanılmaktadır (Lin ve Zmeureanu, 2008). Kubbeli çatılar geleneksel olarak geniş alanları kapsamak için kullanılmıştır (Faghih ve Bahadori, 2011). Cami tasarımında kubbeler,

aydınlatmayı iyileştirmekte ve görsel güzellik sunmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, kubbeler cami örtüsünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Camide kubbe; geniş açıklık ve yükseklik geçerek geniş mekan oluşturmakta, iç mekan ortamının kalitesini değiştirmektedir.

Caminin tarihsel sürecinde farklı toplumlarda iklimsel, coğrafi, kültürel etkiler neticesinde kendi dönemlerini yansıtan tipler ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla Anadolu, Afrika, Asya ve Ortadoğu'daki cami tipleri birbirinden farklıdır ancak kurguları ve temel fonksiyonları aynıdır. Anadolu'da cami mimarisinde, toplumsal ve iklimsel verilerden etkilenecek farklı bir tipoloji oluşmuştur (Aksoy, 2001).

Cami yapılarında kullanılan prizmatik gövde, minare ve kubbe gibi ögeler belirleyici ögeler olmuşlardır. İstanbul'un fethedilmesiyle birlikte mimaride egemen olan değişimle, Mimar Sinan'ın merkezi mekan anlayışı birleşerek yeni bir tip ortaya çıkmıştır. Klasik Osmanlı Dönemi denilen bu döneme ait camilerin elemanları kübik bir gövde, mihrap, minare, kubbe, avlu, revak ve eyvandan bir araya gelmektedir (Aksoy, 2001). Klasik Osmanlı Döneminde camilerde çatı örtüsü olarak kubbe kullanılmaya başlanmış ve zamanla kubbe camilerin sembolik unsuru haline gelmiştir. Sinan döneminden itibaren kubbe elemanı Klasik Osmanlı cami tipinin ana ögesi olmuştur. Sinan dönemiyle kullanılmaya başlanılan kubbe ülkemizde cami yapılarında yaygınlaşmış ve günümüzde hala camilerde yaygın olarak kullanılmaya devam edilmektedir.

Camilerde yaşanan yangın olayları

Camilerin işletme ve kullanım süreçlerinde teknik konulara uyulmaması, paratoner benzeri yangını engelleyici elemanların bakım ve tadilatlarının vaktinde uygulanmaması yangın riskini arttırmaktadır. Özellikle ahşap camilerde kışın ısıtılması için yararlanılan soba gibi ısıtıcılar yangın tehlikesi oluşturmaktadır. Ayrıca yer döşemesinde kullanılan halılar yangının etrafa yayılmasında tehlike arz etmektedir (Akyön ve Özcan, 2017).

Çizelge 2.8'de 2015-2020 yılları arasında camilerde yaşanan yangın olayları verilmektedir. Camilerde meydana gelen yangınların genelde maddi hasara neden olduğu görülmektedir.

Çizelge 2.8. 2015-2020 yılları arasında camilerde yaşanan yangın olayları

Yıl	Şehir / Ülke	Caminin Adı	Cami Tipi	Yangının Oluşma Nedeni	Yangının sonucu
2020	Siirt / Türkiye	Şeyh Maruf Cami	Kubbeli	Bilinmiyor	Maddi hasar
2020	İstanbul / Türkiye	Vaniköy Cami	Kubbeli	Elektik tesisat kablolarındaki ısınma nedeniyle izolasyonun tutuşması	Ahşap tavan, kubbe ve döşemelerde hasar
2020	Kocaeli / Türkiye	Hız. Ömer Camii	Kubbeli	Bahçedeki çardakta bulunan odunların tutuşması	Maddi hasar
2020	Nevşehir / Türkiye	Kurşunlu Cami	Kubbeli	Bilinmiyor	Maddi hasar
2020	Ardahan / Türkiye	Yanibeyrehatun Köyü Camii	Kırma Çatılı	Soba	Maddi hasar
2020	Lyon / Fransa	Essalem Cami	Kırma Çatılı	Kundaklama	Maddi hasar
2020	Achern / Almanya	Achern Selimiye Cami	Kırma Çatılı	Mutfak-depo kısmında bilinmeyen sebeple	Maddi hasar
2020	Essen / Almanya	Essen Frohnhausen Merkez Cami	Kubbeli	İnşaat temizliğinde bilinmeyen sebeple	Maddi hasar
2020	Ankara / Türkiye	Hicret Cami	Kubbeli	Yıldırım	Elektrik tesisatta hasar
2020	Kayseri / Türkiye	Barbaros Cami	Kubbeli	Doğalgaz kutusundan bilinmeyen sebeple	Maddi hasar
2020	Gaziantep / Türkiye	Akkent Cami	Kubbeli	İnşaatta bilinmeyen sebeple	Maddi hasar
2020	Bursa / Türkiye	Keles Merkez Camii	Kubbeli	Yıldırım	Maddi hasar
2020	Dakka / Bangladeş	Narayanganj Cami	Kırma Çatılı	Klimaların patlaması	3 ölü, 50 yaralı
2020	Durban / Güney Afrika	Juma Camii	Kırma Çatılı	Bilinmiyor	Maddi hasar
2020	Kopenhag / Danimarka	Danimarka İslam Merkezi Cami	Kırma Çatılı	Kundaklama	Cami kullanılamaz durumda
2020	Trabzon / Türkiye	Yeşilköy Mahallesi Tarihi Cami	Kırma Çatılı	Bilinmiyor	Cami kullanılamaz durumda
2020	Kastamonu / Türkiye	Civcivler Köyü Cami	Kırma Çatılı	Elektrik kontağı	Cami kullanılamaz durumda
2020	Mersin / Türkiye	Şarлак Cami	Kırma Çatılı	Elektrik kontağı	Camide büyük hasar
2020	Bolu / Türkiye	Karamanlar Mahallesi	Kırma Çatılı	Bilinmiyor	Cami kullanılamaz durumda
2019	Bursa / Türkiye	Kayacık Camii	Kırma Çatılı	Bilinmiyor	Cami çatısı kullanılamaz durumda
2019	İstanbul / Türkiye	Şirintepe Barbaros Camii	Kırma Çatılı	Bilinmiyor	Maddi hasar
2019	New Haven / Amerika	Diyanet Cami	Kubbeli	Kundaklama	Maddi hasar
2019	Van / Türkiye	Mehmet Atıf Camii	Kubbeli	Elektrik kontağı	Maddi hasar
2019	Karabük / Türkiye	Gökbel Köyü Ustaoğlu Mahallesi Cami	Kırma Çatılı	Bilinmiyor	Cami kullanılamaz durumda
2019	Niğde / Türkiye	Alaaddin Camii	Kubbeli	Elektrik kontağı	Maddi hasar

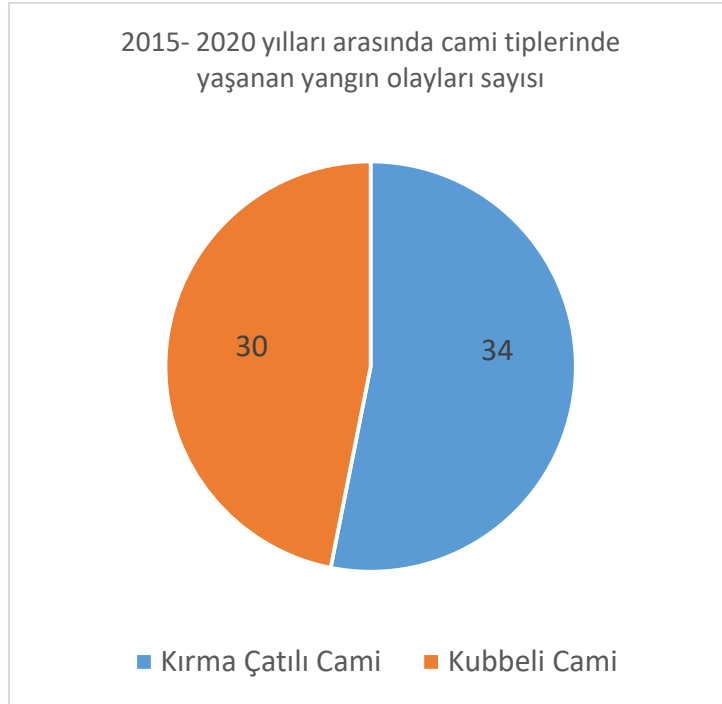
Çizelge 2.8.(devam) 2015-2020 yılları arasında camilerde yaşanan yangın olayları

Yıl	Şehir / Ülke	Caminin Adı	Cami Tipi	Yangının Oluşma Nedeni	Yangının sonucu
2019	Denizli / Türkiye	Muratdede Camii	Kırma Çatılı	Yan taraftaki metruk binadan yangının sıçraması	Cami kullanılamaz durumda
2019	Kocaeli / Türkiye	Arapçeşme Mahallesi Merkez Camii	Kubbeli	İnşaat çalışmaları	Caminin çatı kısmında maddi hasar
2019	Giresun / Türkiye	Hacı Hasan Köyü Camii	Kubbeli	Prizde unutulmuş elektrikli sobanın elektrik tesisatında ısınmaya sebep olması	Maddi hasar
2019	Hagen / Almanya	Hagen Ulu Cami	Kırma Çatılı	Kundaklama	Maddi hasar
2019	Malatya / Türkiye	İbrahim Perk Cami	Kırma Çatılı	Bilinmiyor	Caminin çatı kısmında maddi hasar
2019	Bolu / Türkiye	Elmacık Dereköy Abdullah Mahallesi Cami	Kırma Çatılı	Bilinmiyor	Cami kullanılamaz durumda
2019	Karabük / Türkiye	Yeşiltepe Köy Camisi	Kırma Çatılı	Bilinmiyor	Cami kullanılamaz durumda
2019	Ordu / Türkiye	Gökçeli Mahallesi Cami	Kırma Çatılı	Yıldırım	Maddi hasar
2019	Kopenhag / Danimarka	Fetih Camii	Kırma Çatılı	Elektrik kontağı-sabotaj	Maddi hasar
2018	İstanbul / Türkiye	Gülez Cami	Kırma Çatılı	Bilinmiyor	Maddi hasar
2018	İstanbul / Türkiye	Tarihi Teşvikiye Camii	Kubbeli	Bilinmiyor	Maddi hasar
2018	İstanbul / Türkiye	İTÜ Cami	Kubbeli	Camide izolasyon malzemelerinin tutuşması	Maddi hasar
2018	Giresun / Türkiye	Boztekke Köyü Merkez Camii	Kırma Çatılı	Bilinmiyor	Cami kullanılamaz durumda
2018	Şanlıurfa / Türkiye	Tarihi Mağara Cami	Kırma Çatılı	Bilinmiyor	Cami kullanılamaz durumda
2018	Berlin / Almanya	Koca Sinan Camii	Kırma Çatılı	Kundaklama	Maddi hasar
2018	Ordu / Türkiye	Fehmi Cerrahoğlu Camii	Kubbeli	Elektrik tesisatı	Cami kullanılamaz durumda
2018	Aydın / Türkiye	Kozalaklı Mahallesi Cami	Kırma Çatılı	Minareye yıldırım düşmesi	Maddi hasar
2018	Bolu / Türkiye	Ağaçcılar Köyü Camisi	Kubbeli	Bilinmiyor	Maddi hasar
2018	Sakarya / Türkiye	Yunus Emre Cami	Kubbeli	Bilinmiyor	Maddi hasar
2017	Çanakkale / Türkiye	Baklacı Cami	Kırma Çatılı	Bilinmiyor	Cami kullanılamaz durumda
2017	Ordu / Türkiye	Bük Cami	Kırma Çatılı	Bilinmiyor	Cami kullanılamaz durumda
2017	Şanlıurfa / Türkiye	Salih İnci Camii	Kubbeli	Elektrik kontağı	Minarede hasar

Çizelge 2.8.(devam) 2015-2020 yılları arasında camilerde yaşanan yangın olayları (devamı)

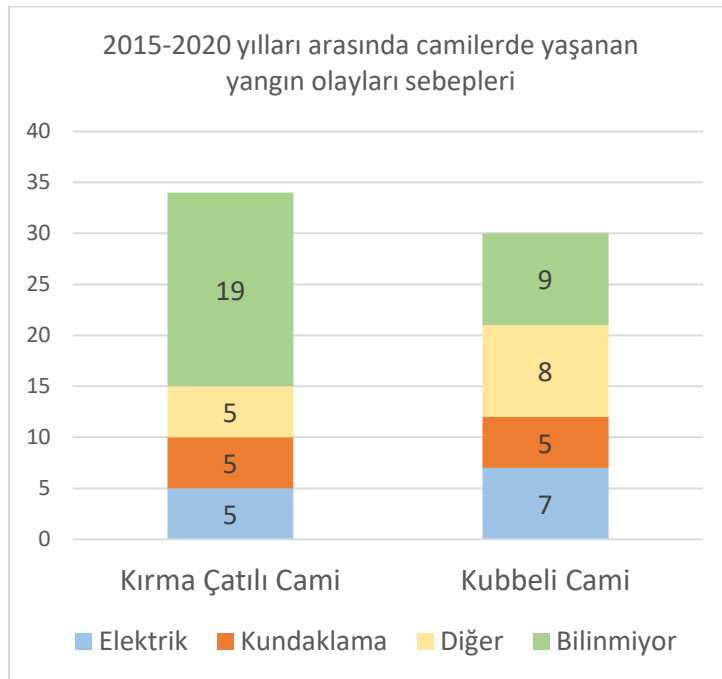
Yıl	Şehir / Ülke	Caminin Adı	Cami Tipi	Yangının Oluşma Nedeni	Yangının sonucu
2017	Örebro / İsveç	Örebro Cami	Kırma Çatılı	Kundaklama	Cami yıkıldı
2017	İstanbul / Türkiye	Kartal Cami	Kubbeli	Kundaklama	Maddi hasar
2017	Victoria / ABD	Victoria Cami	Kırma Çatılı	Bilinmiyor	Cami yıkıldı
2017	Tokat / Türkiye	Sanayi Sitesi Cami	Kubbeli	Ses sisteminin patlaması	Maddi hasar
2017	Evros / Yunanistan	Çelebi Sultan Mehmet Cami	Kırma Çatılı	Bilinmiyor	Cami kullanılamaz durumda
2016	Linz/ Avusturya	Linz Cami	Kubbeli	Kundaklama	Maddi hasar
2016	Sakarya / Türkiye	Yüzevler Cami	Kırma Çatılı	Elektrik kontağı	Cami kullanılamaz durumda
2016	Filibe / Bulgaristan	Taşköprü Camii	Kubbeli	Bilinmiyor	Cami kullanılamaz durumda
2016	Bursa / Türkiye	Nur Muhammed Cami	Kubbeli	Klimanın patlaması	Cami kullanılamaz durumda
2016	İstanbul / Türkiye	Şakirin Camii	Kubbeli	Elektrik kontağı	Maddi hasar
2015	Filibe / Bulgaristan	Hüdavendigar Cami	Kubbeli	Kundaklama	Maddi hasar
2015	Diyarbakır / Türkiye	Kurşunlu Cami	Kubbeli	Kundaklama	Cami kullanılamaz durumda
2015	Yozgat / Türkiye	Şeyh Hacı Ahmet Efendi Camisi	Kırma Çatılı	Elektrik sobası	Maddi hasar
2015	Edirne / Türkiye	Fatih Camii	Kubbeli	Yıldırım	Maddi hasar
2015	Aksaray / Türkiye	Belisırma Köyü Cami	Kubbeli	Bilinmiyor	Maddi hasar
2015	İstanbul / Türkiye	İhsaniye Köyü Cami	Kırma Çatılı	Bilinmiyor	Cami kullanılamaz durumda
2015	Konya / Türkiye	Fahrunnisa Cami	Kırma Çatılı	Bilinmiyor	Maddi hasar

Şekil 2.6’da 2015-2020 yılları arasında cami tiplerinde yaşanan yangın olayları sayısının dağılımı gösterilmektedir. İncelenen 64 camide gerçekleşen yangın olayının 30 tanesi kubbeli camilerde 34 tanesi kırma çatılı camilerde meydana gelmiştir.



Şekil 2.6. 2015- 2020 yılları arasında cami tiplerinde yaşanan yangın olayları sayısı

Şekil 2.7’de 2015-2020 yılları arasında camilerde yaşanan yangın olayları sebeplerinin sayısal dağılımı gösterilmektedir. Camilerde yaşanan yangınların en çok elektrik ve kundaklama sebebiyle çıktığı görülmektedir.



Şekil 2.7. 2015-2020 yılları arasında camilerde yaşanan yangın olaylarının sebepleri

2.2. Metot ile İlgili Yapılan Araştırmalar

Bu çalışmada kullanılan Yangın Dinamik Simülasyonu ve bunu kullanmaya yardımcı olan FDS ön işlemcili PyroSim üzerine literatür araştırması bu bölümde verilmektedir.

2.2.1. Yangın dinamik simülasyonu (FDS)

Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin (CFD) 1940'lı yıllarda bilgisayara aktarılmasıyla yangın koruma sistemlerinin tasarımında, yangın risklerinin araştırılmasında ve yangının insanlar üzerindeki etkilerinin araştırılmasında yangın modellemesi olarak kullanılabilmektedir (Mirahadi, McCabe ve Shahi, 2019).

Yangın dinamiği simülasyonu (FDS), bir yangından çıkan duman ve sıcak gazların akışını tanımlayan hesaplamalı bir akışkan dinamiği (CFD) modelidir (Shen, Huang ve Chien, 2008). Hesaplamalı akışkan dinamiği (CFD), kimyasal reaksiyonlar veya ısı transferinin simülasyonunda kullanılmaktadır (Diettes, 2019).

FDS, Amerika Birleşik Devletleri Ticaret Bakanlığı'nın Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST) tarafından Finlandiya VTT Teknik Araştırma Merkezi ile işbirliği içinde geliştirilen Şubat 2000'de yayınlanan ücretsiz ve yangın güvenliği için özel olarak geliştirilmiş bir yazılımdır (Albis, 2015). Yangın dinamiği simülasyonu yayınladıktan sonra, yurtiçinde ve yurtdışında akademisyenler tarafından yangın araştırmalarında kullanılan ana yöntemlerden biri haline gelmiştir (Long, Zhang ve Lou, 2017). FDS, yangın ve duman gelişiminin modellenmesi, termal akışların tahmini ve yangın sırasında salınan toksik maddelerin konsantrasyonlarının hesaplanması için tasarlanmıştır (Glaser, 2012). FDS, hemen hemen tüm bina tiplerinde yangın senaryolarının ve duman yayılımının tahmini için bir hesaplama aracıdır. Yangın dinamik simülasyonu yangına bağlı akış ve yanmayı tasarlayan denklemlerin çözümüyle çalışmaktadır (Gawad ve Ghulman, 2015). Dumanın ve ısının yayılımı hesabında, Navier-Stokes denklemlerinin sayısal çözümü kullanılmaktadır. Yazılımda büyük girdap modellemesi koduyla (Large Eddy Simulation, LES) yangındaki duman ve ısı yayılımı sayısal olarak çözülmektedir (Albis, 2015).

Yangın dinamik simülasyonunun kullanıldığı araştırmalar

Bu bölümde literatürde incelenen yangın dinamik simülasyonunun kullanıldığı araştırmalar kronolojik sırayla verilmektedir.

Son yıllarda artış gösteren tünel yangını felaketleriyle; güvenli tahliye, hasarın en aza indirilmesi ve havalandırma gibi konuların önem kazanması sebebiyle Weng ve diğer araştırmacılar (2020) tünel yangınına yangın dinamik simülasyonu ile incelemişlerdir. Çin'deki Zhong Liangshan Tünelinde jet fan aralıklarını optimize etmek için FDS kullanılmıştır. Tünel 500 m, 550 m ve 600 m uzunluğunda ve 30,72 m² kesit alanında modellenmiş; farklı mesafelerle (100 m, 150 m ve 200 m) yerden 5,60 metre yüksekliğe yerleştirilmiş jet fanlarla birlikte simüle edilmiştir. Tünel girişinden 200, 175 ve 150 m uzaklıklarda 5 MW büyüklüğünde yangın modellenmiştir. FDS yazılımı kullanılarak beş farklı senaryodaki hava akış hızı ve sıcaklık sonuçları karşılaştırılmıştır. Çıkan sonuçlarda; hava sıcaklığının 60 °C'nin (yangından tahliye sırasında insan vücudunun dayanabileceği eşik değer) altında kaldığını, hava hızının ise neredeyse sabit kaldığı bulunmuştur. Simülasyonu doğrulamak için 1/15 ölçekli bir deneysel model oluşturulmuş, simülasyon ve deney sonuçlarının uyuştukları iddia edilmiştir (Weng, Obadi, Wang, Liu ve Liao, 2020).

Shoshe ve Rahman (2019) alışveriş merkezinde farklı yangın senaryolarındaki yangın yayılımını FDS yazılımı kullanarak araştırılmaktadır. 246 m² ve 315 m² taban alanına sahip iki tipik alışveriş merkezinde, iki farklı ısı yayılım hızına (HRR) sahip iki farklı yangın kaynağı ile, toplam yedi farklı yangın senaryosunun simülasyonu yapılmıştır. Yangın ve duman yayılımı, sıcaklık dağılımı, karbonmonoksit konsantrasyonu; dükkanlar, koridorlar ve merdivenler için ayrı ayrı analiz edilmiştir. Araştırmada yangın ve dumanın yayılımının, alışveriş merkezinde yangın kaynağının konumuna, yangın kaynağının türüne ve yangının yayılımına bağlı olduğu kadar bina geometrisine de büyük ölçüde bağlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yangın kaynağı dağılımında standart grid sistemi; maksimum sıcaklığı ve ölümcül CO konsantrasyonu seviyesini yaklaşık 100 saniye geciktirebileceği iddia edilmiştir (Shoshe ve Rahman, 2019).

Pitana ve diğer araştırmacılar (2017) Endonezya'da 2017 yılının başlarında KM Zahro Express gemisinde meydana gelen yangını modelleyerek tahliye süresini araştırmışlardır. İlgili kazada 248 kişinin bulunduğu teknede, makine dairesindeki güç kaynağından

kaynaklanan yangın nedeniyle 24 kişi ölmüştür. Yapılan araştırmada, tahliye süresi ve tahliye süresine etki eden yangın tehditleri açıklanmaktadır. Uluslararası Denizcilik Organizasyonu (IMO)'nun temel kurallarına dayanarak yapılan yangın modellemesinde Ajan Tabanlı Modelleme ve Simülasyon (ABMS) ve FDS kullanılmaktadır. Tahliye simülasyonunun sonucu 29,783 dakika bulunmuş ve bu tahliye süresinin performans standardının altında olmadığı sonucuna ulaşılmıştır (Pitana, Zaman, Perdana ve Nurwahyudi, 2017).

Son zamanlarda dünyada araştırılan Bina Bilgi Modellemesi (BIM)'in uygulama alanına yangın güvenliğini Wang ve diğer araştırmacılar (2015) çalışmalarını yaptıkları BIM tabanlı bir modelle eklemişlerdir. Kurgulanan model; tahliye değerlendirme, kaçış rotası planlama, güvenlik eğitimi ve ekipman bakımı olmak üzere dört modülden oluşmaktadır. Tahliye değerlendirme modülü; FDS ile BIM'e entegre olarak, gereken ve mevcut güvenli kaçış zamanını hesaplamak için kullanılmaktadır. Kaçış rotası planlama modülü; kaçış rotası ve kaçış mesafesinin güvenli tahliye için uygun olup olmadığını belirlemek için kullanılmıştır. Güvenlik eğitim modülü; bina sakinlerine yangın güvenliği konusunda eğitmek için tehlikeli alanlar, kaçış yolları ve yön haritalarıyla ilgili üç boyutlu videoları üretimi için kullanılmıştır. Ekipman bakım modülü; ekipman bakımını (bakım kayıtları, ekipman üreticileri vb.) uzaktan kontrol için web tabanlı bir prototip olarak kullanılmaktadır. Araştırmada BIM'in; yangın güvenliği değerlendirmesine ve planlamasına etkin bir şekilde 3D veri sağlayabildiği, web tabanlı ortamda güvenlik yönetimi ve bina işletme yönetimine destek bilgileri sağlayabildiği sonucuna varılmıştır (Wang, Wang, Wang ve Shih, 2015).

Glasa ve diğer araştırmacıların (2013) yaptığı araştırmada yangın dinamik simülasyonu (FDS), sinema yangın modellemesi için kullanılmaktadır. Bir sinema salonundaki yangının seyri, yangın ile ilgili güvenlik risklerine odaklanarak açıklanmaktadır. Simülasyonda kullanılan yanıcı maddelerin yanma özellikleri laboratuvar ölçümleri ile belirlenmiş, yangın testleri ve bilgisayar simülasyonları ile uyumlu olduğu belirtilmektedir (Glasa, Valasek, Weisenpacher ve Halada, 2013).

Shen ve diğer araştırmacılar (2008), Tayvan'da bir oteldeki kundaklama yangını simüle etmek için Yangın Dinamik Simülasyonu (FDS Sürüm 4.0.5) kullanılmaktadır. Simülasyonla yangın sahnesi yeniden üreterek, yangın süreçleri yeniden inşa ederek, yangının gelişimini açıklanmaktadır. Böylece yakıt yapılandırması, havalandırma etkileri,

bina tasarımı, manuel veya otomatik sistemler ve yangın kaynağı etkisi tanımlanarak; duman hareketi gösterilmektedir. Simülasyon sonuçları araştırma bulgularıyla karşılaştırılarak, yangın ve duman gelişimine yönelik daha fazla kanıt elde edilmektedir. Simülasyon otel yangını kanıtlarıyla karşılaştırıldığında, yangın sahnesinin canlandırılmasını sağlayarak yangın gelişimi ve duman hareketinin iyi bir tahmini olduğu iddia edilmiştir (Shen vd., 2008).

Qin ve diğer araştırmacılar (2006) bir spor salonundaki farklı duman tahliye yöntemlerinin performansını incelemişlerdir. Farklı doğal ve mekanik duman çıkış yöntemlerinin duman tahliyesine etkisi incelenmiştir. FDS'deki sonuçlara göre; duman çıkış deliklerinin spor salonunun tavanında olduğunda doğal duman çıkış yöntemlerinin tercih edilmesinin daha uygun olduğu bulunmuştur. Bu durumun, gerçek bir yangında ısı yayma oranı önceden bilinemediğinden özellikle yararlı olacağı vurgulanmıştır. Duman çıkış delikleri spor salonunun duvarlarına yerleştirildiğinde, duman çıkışını arttıran yöntemlerin yani mekanik olanların tercih edilmesinin daha uygun olduğu bulunmuştur. Spor salonunun tavan sıcaklığının, dumanın yayılma süresine etkisi de incelenmiştir. Sonuçlarda; yüksek tavan sıcaklığının tavanda yatay olarak hareket eden dumanı yavaşlattığı, düşük tavan sıcaklığının dumanı hızlandırdığı bulunmuştur (Qin vd., 2006).

Ryder ve diğer araştırmacılar (2004) Yangın Dinamik Simülasyonu (FDS) küçük ve büyük ölçekteki birçok doğrulama çalışmasıyla uyumluluğu incelenmiştir. Makalede iki yangın deneyi; küçük oda yangını ve büyük havuz yangını (15 m çapında) incelenmiştir. Model sonuçları deneysel verilerle karşılaştırılmış, modeller ile veriler arasında iyi bir eşleşme olduğu bulunmuştur. Daha sonra inceleme genişletilerek bir depo yangınının modeli ve kapalı bir alanda gaz halindeki bir yakıtın yanmasının modeli detaylı olarak incelenmiştir. Bu simülasyonda, bir oda propan ile doldurularak, gazın dağılması için zaman verildikten sonra tutuşturulmuştur. Modelde, gazın boşluk boyunca dağılımının doğru sonuçları verdiği söylenmiştir (Ryder, Sutula, Schemel, Hamer ve Van Brunt, 2004).

Bu bölümde literatürde incelenen yangın dinamik simülasyonunun kullanıldığı araştırmalar kronolojik sırayla verilmektedir.

Çizelge 2.9'da yangın dinamik simülasyonun kullanıldığı çalışmaların literatür taraması özet olarak verilmektedir.

Çizelge 2.9. Yangın dinamik simülasyonun kullanıldığı araştırmalar

Yazar	Çalışma	Tür	Yıl
Weng, Obadi, Wang, Liu ve Liao	Optimal distance between jet fans used to extinguish metropolitan tunnel fires: A case study using fire dynamic simulator modeling	Makale	2020
Shoshe ve Rahman	Spread and propagation of generic shopping mall fire of Bangladesh under different scenarios	Kitap bölümü	2019
Pitana, Zaman, Perdana ve Nurwahyudi	Analysis evacuation route for KM Zahro Express on fire condition using agent based modeling and fire dynamics simulator	Makale	2017
Wang, Wang, Wang ve Shih	Applying building information modeling to support fire safety management	Makale	2015
Glasa, Valasek, Weisenpacher ve Halada	Cinema fire modelling by FDS	Makale	2013
Shen, Huang ve Chien	Using fire dynamic simulation (FDS) to reconstruct an arson fire scene	Makale	2008
Qin, Guo, Chan ve Lin	Numerical investigation of smoke exhaust mechanism in a gymnasium under fire scenarios	Makale	2006
Ryder, Sutula, Schemel, Hamer ve Van Brunt	Consequence modeling using the fire dynamics simulator	Makale	2004

2.2.2. PyroSim

PyroSim, NIST (Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü) tarafından geliştirilen FDS (Yangın Dinamik Simülasyonu)'nun grafik kullanıcı ara yüzüdür (Khandoker, Mou, Muntaha ve Rahman, 2018). PyroSim, FDS simülasyonları için girdilerin hazırlanmasını kolaylaştırmak, yangın modelleri oluşturmak ve analizini yapmak amacıyla Thunderhead Engineering Consultants tarafından Amerika'da geliştirilmiştir (Valasek, 2012). Hem FDS hem de SmokeView arayüzü PyroSim ile yakından entegrelidir. FDS programının bütün özellikleri kısıtlama olmaksızın PyroSim ara yüzüyle kullanılabilmekte ve modellemeyi daha hızlı, kolay ve hatasız hale getirmektedir. PyroSim ara yüzü hızlı giriş geri bildirimi sağlayarak aynı zamanda FDS giriş dosyası için doğru formatı sağlamaktadır. Ayrıca PyroSim, her türlü engel, duvar, boşluk ve deliklerle gerçekçi bina modelleri oluşturmaya yardımcı olan yüksek seviyeli bir 2 boyutlu ve 3 boyutlu geometri oluşturma özelliklerini sunmaktadır (Khandoker vd., 2018). FDS modelinin hızlı ve doğru bir şekilde çalışması için kullanılan PyroSim, çeşitli yangın simülasyonlarında, BIM dosyalarının yanı sıra CAD ve resim türleri (.png, .jpg, .tif, .bmp) gibi formatları içe aktarmayı sağlayan özel bir yazılımdır (Sun ve Turkan, 2019).

PyroSim simülasyon sonuçları, inşaattan önce binaların emniyetini sağlamak, mevcut binaların yangın güvenliğini değerlendirmek, kaza sonrası soruşturma ve araştırma için yangınları yeniden inşa etmek ve itfaiyecilerin eğitimine yardımcı olmak için kullanılmaktadır (Pitana vd., 2017).

PyroSim'in kullanıldığı araştırmalar

Bu bölümde literatürde incelenen PyroSim'in kullanıldığı araştırmalar kronolojik sırayla verilmektedir.

Khandoker ve diğer araştırmacılar (2018) yedi katlı hazır giyim fabrika binasının çizimlerinden yola çıkılarak, PyroSim'de yangın modellenmiş ve kullanıcıların risk süresi incelenmiştir. Sıcaklık, görünürlük düzeyi, CO konsantrasyonu gibi faktörlerin, farklı bölge ve zeminlerdeki etkileri incelenmiştir. Yangının kaynağı, zemin kattaki kumaş deposu kabul edilmiş ve hazır giyim endüstrilerinde yaygın olarak kullanılan, yüksek ısı yayma oranına sahip elyaf yakıt olarak seçilmiştir. Yangının başlamasından sonraki 3 dakika içinde; dumanının koridorlara ve merdivenlere çok hızlı bir şekilde yayılarak, binanın kaçış yollarını tamamen engellediği söylenmiştir. 1. katta yangının ve yoğun dumanın kaçış yollarını kaplayarak yüksek derecede görüş mesafesini azaltmasıyla tahliye için en kritik hale 2 dakika içinde gelindiği bulunmuştur. Duman hareketinin; yangın kapıları ve diğer duman tahliye teknikleri kullanılarak azaltılmadıkça, güvenli çıkış süresini kısalttığı bulunmuştur (Khandoker vd., 2018).

Li ve diğer araştırmacılar (2018) yangın söndürme sistemi başarısız olduğu durumdaki yangının yayılımını ve tahliye durumunu araştırılmışlardır. Nanjing Üniversite Kütüphanesinde yangın durumundaki, duman yayılımı ve insan tahliyesini simüle etmek için PyroSim ve Pathfinder yazılımı kullanılmıştır. Sıcaklık, duman katmanının yüksekliği, görünebilirlik, CO konsantrasyonu ve FED değerinin simülasyonda karşılaştırmalı analizlerinden sonuçlar elde edilmiştir. Çıkan sonuçlara göre, 4 MW yangın büyüklüğünde kütüphanedeki risk süresinin 280 saniye olduğu, 8 MW yangın büyüklüğünde okuma odasındaki risk süresinin 125 saniye olduğu bulunmuştur. Tahliye simülasyon sonuçlarından; tüm kütüphane ve okuma odasından tahliye sürelerinin sırasıyla 411 saniye ve 165 saniye olduğu bulunmuştur. Kütüphanede yangın güvenliği, risk süresi ve tahliye süresi karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Kütüphanenin ve okuma odasının risk süresinin,

dumanın yerden 2 metre yüksekliğe düştüğü zaman olduğu söylenmiştir. Bu nedenle duman kontrolü sistem tasarımı, personel eylem durumu, duman yoğunluğu ve yangın algılama alarmı ve diğer faktörlerin dikkate alınması gerektiği söylenmiştir(Li vd., 2018).

Long ve diğer araştırmacılar (2017) yurt binalarındaki yangın riskini analiz etmek için, bir üniversitenin yurdunu PyroSim kullanarak modellenmişlerdir. Modelde, tüm pencereler ve kapılar açıkken; sıcaklık, görünürlük, duman katman yüksekliği, ısı akışı ve duman hareketi analiz edilmiştir. Sonrasında bu sonuçlar yangın çıkan odanın pencerelerinin kapalı olduğu durum ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre, tüm pencereler açık olduğunda; en yüksek sıcaklık bölgesinin yangın çıkan odada olduğu ve zemindeki sıcaklığın diğer katlardan daha yüksek olduğu söylenmiştir. Yangın kaynağına olan yakınlığın görüş mesafesini düşürdüğü söylenmiştir. Pencere kapalıyken, pencerenin açık olduğu duruma göre yangın tabakası, oda sıcaklığı ve ısı akışı, çok daha yüksekken duman katmanı yüksekliği çok daha düşük olduğu bulunmuştur. Yatay koridorların ve merdivenlerin dumandan daha çok etkilendiği gözlenmiştir. Tüm pencereler açıldığında, üst kattaki odaların dumandan daha çok etkilendiği bulunmuştur. Pathfinder simülasyon sonuçlarına göre tahliye için en iyi zamanın 164,8 sn içinde olduğu bulunmuştur. Yaya tahliyesinin emniyetini etkilememek için, çıkış kapılarının genişliği 3 m'den az, merdiven genişliği ise 1,75 m'den az olmaması gerektiği iddia edilmiştir (Long vd., 2017).

Dong ve diğer araştırmacılar (2015) bir süpermarketin 3 boyutlu halini Pyrosim yazılımını kullanarak yangın sahnesiyle modellemişlerdir. Yangının gelişim süreci ve yayaların tahliyesi simüle edilmiştir. Yangın mahallinin tehlike süresi; duman sıcaklığı ve farklı zamanlardaki görünüş mesafesine göre analiz edilmiştir. Süpermarkette yaya tahliyesi, tahliye yazılımı olan Evac ile simüle edilmiş ve güvenli çıkış süresi hesaplanmıştır. Yangın tehlike süresi ve güvenli tahliye süresi karşılaştırılarak, süpermarket kaçış yollarının güvenli tahliyeyi karşılayamadığı sonucuna varılmıştır. Süpermarketteki güvenli tahliye koşullarının iyileştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır (Dong, Li ve Lin, 2015).

Chi (2014) Tayvan tarihindeki otel yangınında en ciddi kayıplardan biri olan yangını incelemiştir. Resmi yangın soruşturma raporu ve NFPA 921'deki bilgiler kullanılarak, yangın ve yaya tahliye sahneleri FDS ve EVAC programı kullanılarak yeniden canlandırılmıştır. Tahliye modelinin sonuçlarında; yaş ve cinsiyetin kaçma yeteneğini etkilediği, yayaların bina düzenine ne kadar aşına olursa, kaçış sürelerinin o kadar kısa

olacağı, tahliye eden insan gruplarında kişilerin birbirlerini tanımalarının yanlış yönlendirme durumunda yaralı sayısını büyük ölçüde artırabileceği bulunmuştur (Chi, 2014).

Çizelge 2.10'da PyroSim'in kullanıldığı çalışmaların literatür taraması özet olarak verilmiştir.

Çizelge 2.10. PyroSim'in kullanıldığı araştırmalar

Yazar	Çalışma	Tür	Yıl
Khandoker, Mou, Muntaha, ve Rahman	Numerical simulation of fire in a multistoried ready-made garments factory using PyroSim	Kitap bölümü	2018
Li, Zhu, Wang ve Zhou	Research on fire safety evacuation in a university library in Nanjing.	Makale	2018
Long, Zhang ve Lou	Numerical simulation of dormitory building fire and personnel escape based on PyroSim and Pathfinder	Makale	2017
Dong, Li ve Lin	Study on numerical simulation of fire and evacuation for a supermarket	Kitap bölümü	2015
Chi	Using FDS program and an evacuation test to develop hotel fire safety strategy	Makale	2014

2.3. Kubbe ile İlgili Yapılan Araştırmalar

Bu bölümde camide üst örtü olan kubbe elemanı üzerine yapılan yangın araştırmaları incelenecektir. Kubbe elemanının duman üzerindeki etkisiyle ilgili çok az çalışma bulunması sebebiyle yukarı doğru genişleyen benzer hacim olarak atriyum üzerine de literatür araştırması yapılarak bu bölümde verilmektedir.

2.3.1. Atriyum çalışmaları

Bu bölümde literatürde incelenen atriyum araştırmalar kronolojik sırayla verilmektedir.

Xu ve diğer araştırmacılar (2018) Şanghay Kulesi'nin 60 m yüksekliğindeki atriyumunda sıcak duman testi gerçekleştirmiş, duman hareketi ve yangın salınım hızı farklı havalandırma koşulları altında incelenmiştir. Atriyumdaki farklı hava kaynağı hacminin mekanik duman egzozuna etkisi simülasyon ile incelenmektedir. Atriyumda, dumanın “baca etkisi” nedeniyle 2-3 m/sn hızla yükseldiği, yangın gücü küçük olduğunda “termal bariyer etkisi” ile dumanın çökme eğiliminde olduğu ve dumanın etkili bir şekilde tahliye edilmediği sonuçları bulunmuştur (Xu, Wang, Liu, Ji, Yu, Zhu, Li ve Wang, 2018).

Shan-jun ve diğer araştırmacılar (2011) Amerika'daki öğrenci konseyinin kullandığı, yangın ve duman koruması zor olan atriyumlu bina incelenmektedir. Atriyumda duman tahliyesi araştırılmıştır. İlk önce atriyumlu binalarda duman kontrolü yöntemi tanıtılmış, duman kontrol sistemi tasarımı örnekleri ile atriyumda duman kontrolü için FDS kullanılarak, çeşitli duman tahliye tasarımları modellenmiş, sonuçlar karşılaştırılarak duman tasarımının bilimsel ve ekonomikliği arttırılmıştır (Shan-jun, Zhe, Dong ve Zhi-jian, 2011).

Gutierrez-Montes ve diğer araştırmacılar (2009) 20 m³ hacmindeki mekanda 1,3 ve 2,3 MegaWatt'lık yangının modellemesi yaparak ve deneysel verileri belirlemişlerdir. Çalışmada 3 farklı test gerçekleştirilmiştir. Uygulanan üç testten birincisinde 1,32 MegaWatt, ikincisinde 2,28 MegaWatt yangın yüküyle birlikte doğal ve mekanik havalandırma yapılmıştır. 3. testte 2,34 MegaWatt yangın yüküyle birlikte doğal havalandırma kullanılmıştır. Araştırmanın sonuçlarında, mekanik havalandırmanın çatıdaki duman sıcaklık artışında %19 daha az sıcaklığa sebep olduğu, ayrıca çöken duman tabakasının hızında %40 düşüşe neden olduğu bulunmuştur (Gutiérrez-Montes, Sanmiguel-Rojas, Viedma ve Rein, 2009).

Gutierrez-Montes ve diğer araştırmacılar (2008) İspanya Murcia'daki Teknolojik Metal Merkezi'nin tam ölçekli yangın testi tesisinde hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin (CFD) hesaplamalarını kontrol etmek için, deneysel testler gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerden elde edilen veriler daha sonra duvar sıcaklığı, ortam sıcaklığı tahmini ve egzoz fanı değerlendirmesi için uygulanan CFD simülasyonunun doğrulama çalışmasında kullanılmıştır. Deneyler ve simülasyon sonuçlarının benzer olduğu ve yangın testinde 1,6 MW ortalama ısı salınımında, egzoz ve havalandırma sisteminin yanmada çıkan ürünleri çıkarmak için yeterli olmadığı söylenmiştir. Atriyumun tavan kısmında tehlikeli ve çok miktarda sıcak gaz birikimi olduğu ve çatı fanlarının boşaltım kapasitesinin arttırılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır (Gutiérrez-Montes, Sanmiguel-Rojas, Kaiser ve Viedma, 2008).

Çizelge 2.11'de atriyum çalışmalarının literatür taraması özet olarak verilmiştir.

Çizelge 2.11. Atriyum araştırmaları

Yazar	Çalışma	Tür	Yıl
Xu, Wang, Liu, Ji, Yu, Zhu, Li ve Wang	Study on fire smoke control in super-high building atrium	Makale	2018
Shan-jun, Zhe, Dong ve Zhi-jian	Engineering simulation of smoke extraction design in atrium fires of student union	Makale	2011
Gutierrez-Montes, Sanmiguel-Rojas, Viedma ve Rein	Experimental data and numerical modelling of 1.3 and 2.3 MW fires in a 20 m cubic atrium	Makale	2009
Gutierrez-Montes, Sanmiguel-Rojas, Kaiser ve Viedma	Numerical model and validation experiments of atrium enclosure fire in a new fire test facility	Makale	2008

2.3.2. Kubbe çalışmaları

Gao ve diğeri araştırmacılar (2015) yeraltındaki mekanlarda, insanların üzerindeki baskı duygusunu azaltmak için yaygın olarak kullanılan kubbenin, metro istasyonlarında yangına bağı duman kontrolü üzerindeki etkisinin bir analizi yapılmıştır. Analizde hesaplamalı akışkanlar dinamiğı (CFD) yazılımı olan FDS kullanılmıştır. Yangınların neden olduğı dumanın izdiham, depolanma ve bastırma etkileri analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kubbesi olan metro istasyonun kubbesi olmayan bir metro istasyonuna kıyasla ana salonundaki karbonmonoksit (CO) konsantrasyonunun, önemli ölçüde düşük olduğı bulunmuştur (Gao vd., 2015).

Çizelge 2.12’de kubbe çalışmalarının literatür taraması özet olarak verilmiştir.

Çizelge 2.12. Kubbe araştırmaları

Yazar	Çalışma	Tür	Yıl
Gao, Li, Zhang ve Luo	How domes improve fire safety in subway stations.	Makale	2015

3. METOT

Bu bölümde kubbeli cami örnekleme olarak ele alınan cami tipi tanıtılmakta ve PyroSim’de yangın simülasyonu için girilen parametreler açıklanmaktadır. Araştırmada PyroSim’le birlikte simülasyonda yardımcı yazılımlar olan; FDS 6.7.5 ve Smokeview 6.7.15 versiyonları kullanılmıştır.

3.1. Modellemede Kullanılan Cami Tipi

Diyanet İşleri Başkanlığı’nın cami tip projelerinden yaygın olarak kullanılan Tip 6 Mevlana Cami modellenmiştir. Simülasyonda yangın durumunu incelemek için cami modeli sadeleştirilmiştir.

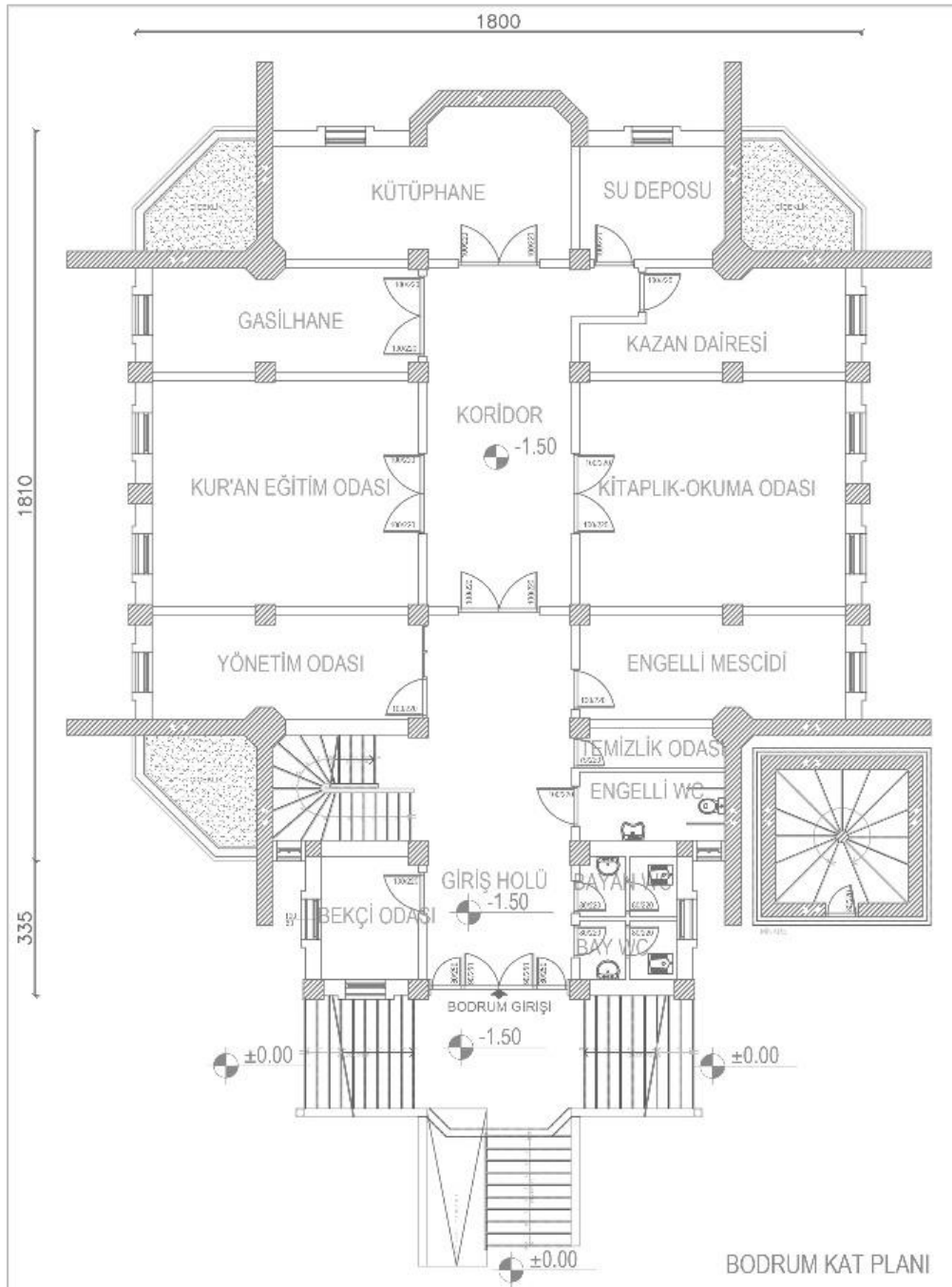
3.1.1. Cami tip projeleri

Diyanet İşleri Başkanlığı tarafından 2000’li yılların başında cami projelerinde yapım kalitesini arttırmak ve yapılan yanlışları azaltabilmek için cami tip projeleri hazırlanmıştır. Cami tip projeleri cami yaptırma ve yaşatma dernekleri ve müftülüklerin kullanımına sunulmuştur. 18 adet cami tipi arşivi; taşıyıcı sistemine (kagir veya betonarme), çatı sistemine (kubbe veya çatılı), kişi kapasitesine (100-2500 arası) göre farklı tiplerden oluşmaktadır (DİB Arşivi, 2020). Cami yapımına başlayacak olan vakıf veya dernek DİB’e müftülüğe ya da Diyanet Vakfı’na müracaat ederek bu projelere erişebilmektedir. Vakıf ve dernekler tip projesini aldıkları cami tipini yapılacağı araziye göre camiye bodrum kat ekleyerek veya çıkararak revizyonlarla uygulamaktadırlar. Böylelikle projelerde yapılan yanlışlar azaltılarak cami projelendirme sürecinde standart tiplerden yararlanılmasıyla kolaylaştırılmıştır. Net sayısı bilinmemekle birlikte DİB ile yapılan görüşmelerde en çok kullanılan cami tiplerinin 500 ve 1000 arasındaki kişi kapasitesine sahip olan cami tipleri olduğu öğrenilmiştir. Bu araştırmada DİB’in kubbeli cami tip projelerinden biri olan 750 kişi kapasiteli Tip 6 Mevlana Cami incelenecektir.

Tip 6 Mevlana Cami

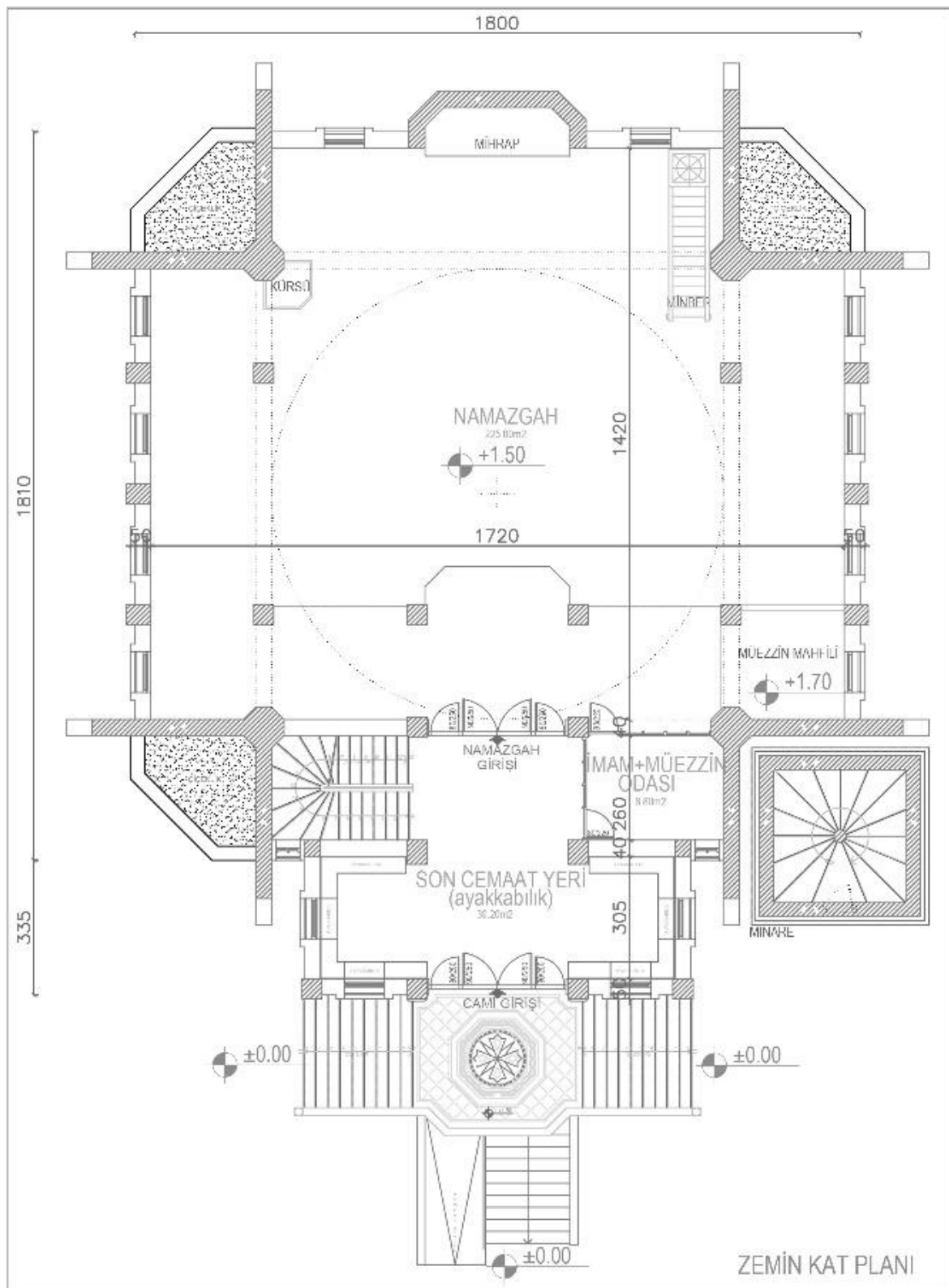
Cami projelerinde en çok kullanılan cami tiplerinden biri olan 750 kişi kapasiteli Tip 6 Mevlana Cami Osmanlı Klasik Dönem Cami tipinden esinlenilerek yapılan güncel DİB

kubbeli cami tiplerinden biridir. Tip 6 betonarme taşıyıcı sistemine sahiptir ve bodrum, zemin mahfil olmak üzere üç kattan oluşmaktadır. Bodrum katta; kütüphane, gasilhane, kazan dairesi, su deposu, Kur'an eğitim odası, okuma odası, yönetim odası, engelli mescidi, temizlik odası, bekçi odası ve wc'ler bulunmaktadır. Zemin katta; ayakkabılıkların bulunduğu son cemaat yeri, imam ve müezzin odası ve namazgah bulunmaktadır. Mahfel katında kadınlar için ayrılan ancak gerektiğinde erkeklerin kullanımına sunulan namazgah bulunmaktadır. Şekil 3.1'de Tip 6 Mevlana Cami'nin bodrum kat planı gösterilmektedir.



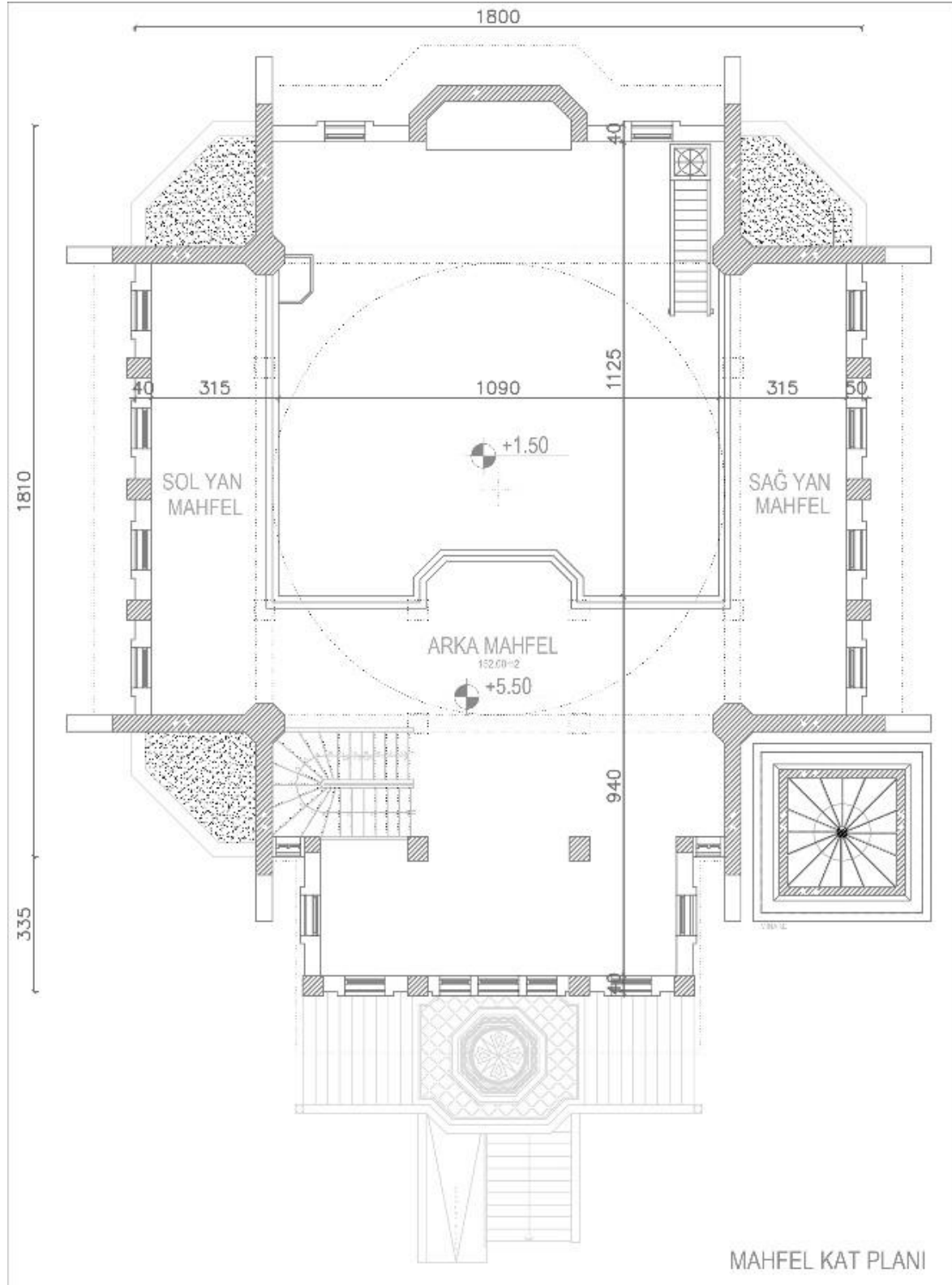
Şekil 3.1. Tip 6 Mevlana Cami bodrum kat planı

Şekil 3.2’de Tip 6 Mevlana Cami’nin zemin kat planı gösterilmektedir.



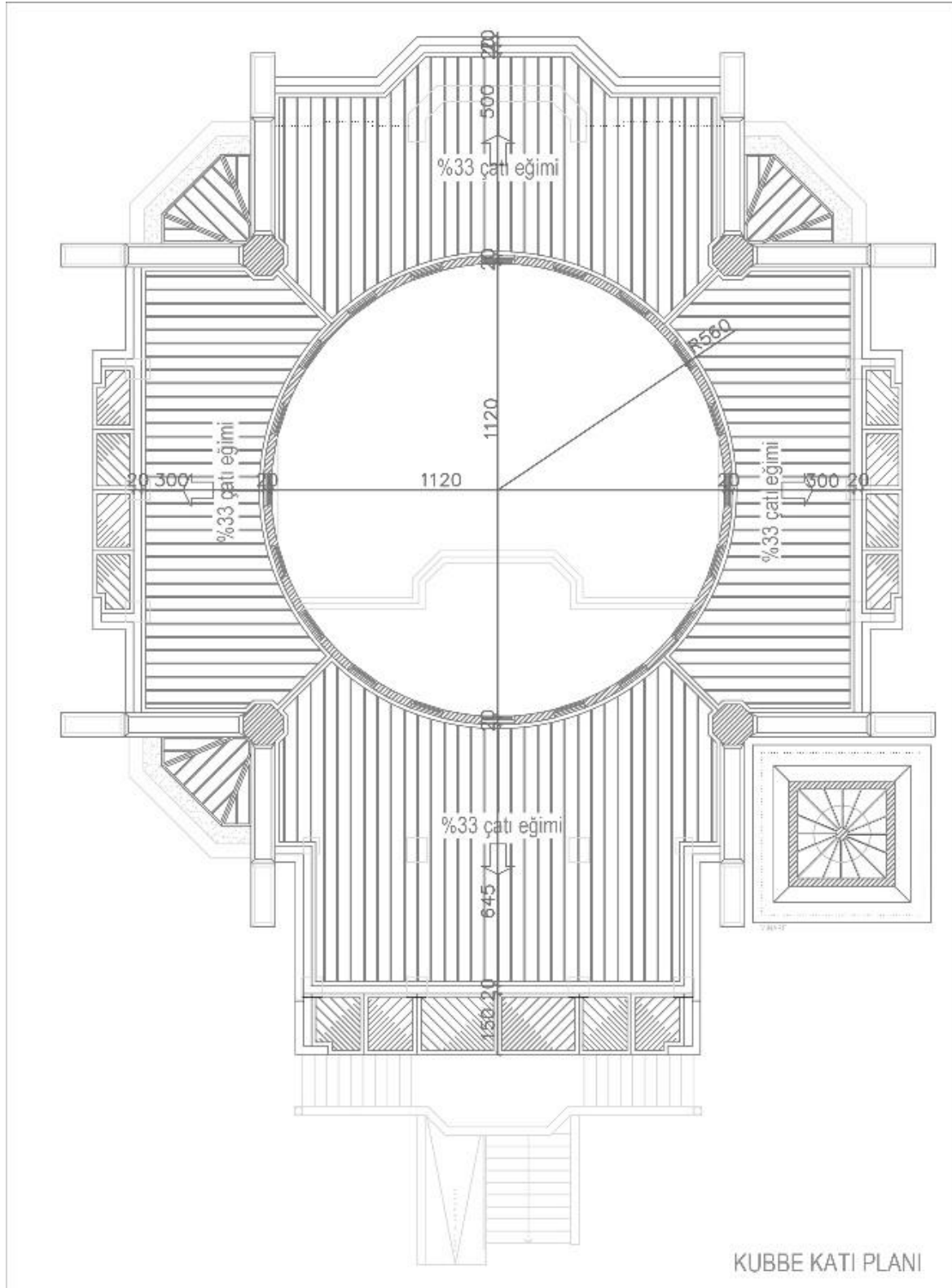
Şekil 3.2. Tip 6 Mevlana Cami zemin kat planı

Şekil 3.3’de Tip 6 Mevlana Cami’nin mahfel kat planı gösterilmektedir.



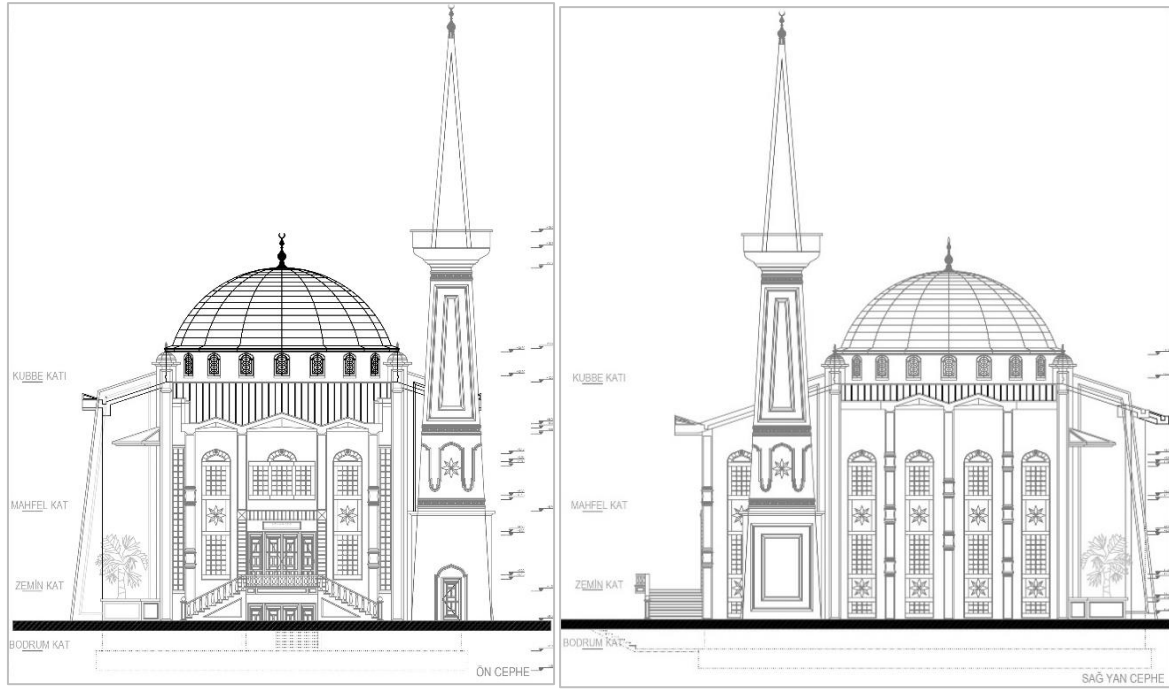
Şekil 3.3. Tip 6 Mevlana Cami mahfel kat planı

Şekil 3.4'te Tip 6 Mevlana Cami'nin kubbe kat planı gösterilmektedir.

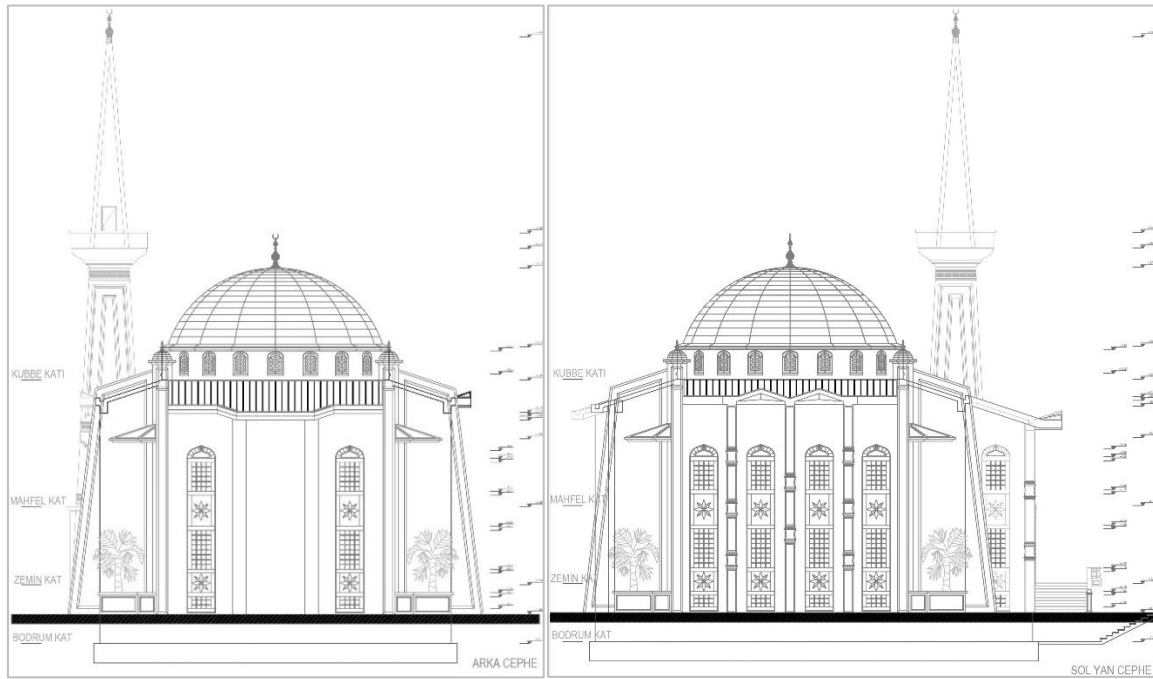


Şekil 3.4. Tip 6 Mevlana Cami kubbe kat planı

Şekil 3.5'te Tip 6 Mevlana Cami'nin ön ve sağ yan cephe görüşleri, Şekil 3.6'da arka ve sol yan cephe görüşleri gösterilmektedir.



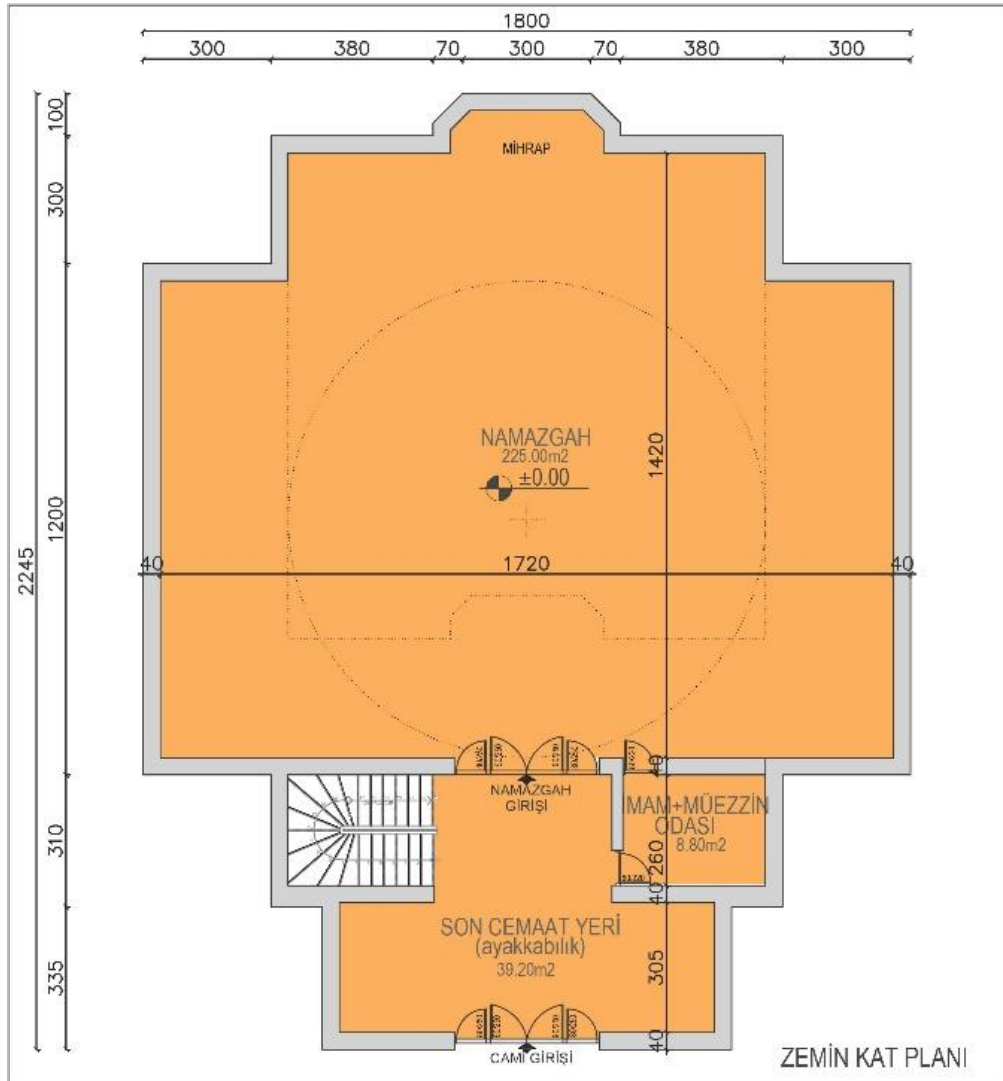
Şekil 3.5. Tip 6 Mevlana Cami ön ve sağ yan cephe görünüşleri



Şekil 3.6. Tip 6 Mevlana Cami arka ve sol yan cephe görünüşleri

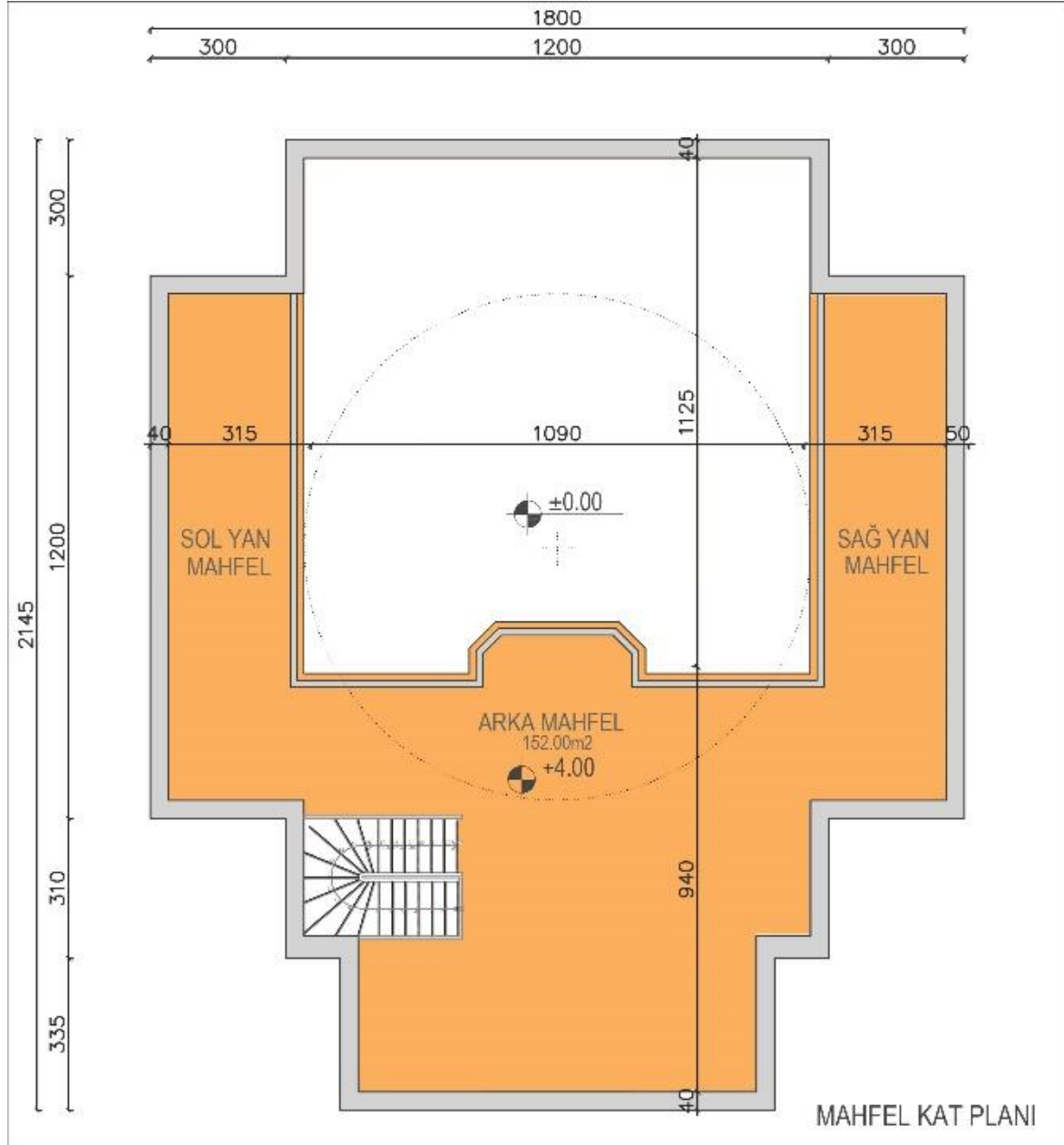
3.1.2. Tip 6 Mevlana Cami'nin modellenmesi

Diyanet'in tip projeleri uygulandığı araziye göre camide bodrum kat eklemesi veya çıkarması yapılabilmektedir. Bu araştırmada bodrum katın duman ve yangın yayılımına etkisi çok az olacağından incelenen cami modelinde bodrum kat hariç tutulmuştur. Tip 6 Mevlana Cami'nin bodrum katı çıkartılarak, cami sadeleştirilerek modellenmiştir. Tip 6 Mevlana Cami'nin CAD modelini yapmak için Revit ve PyroSim kullanılmıştır. Simülasyonu yapılan cami modeli 2 kattan oluşmaktadır. Zemin katta ana ibadet mekanı olarak namazgah, mahfel katı bayanların ibadet etmesi için ayrılan namzgaah asma kat gibi çalışmakta ve son cemaat yerinden merdivenle çıkılmaktadır. Şekil 3.7'de Tip 6 Mevlana Cami'nin PyroSim modellemesinde kullanılan basitleştirilmiş zemin kat planı gösterilmektedir.



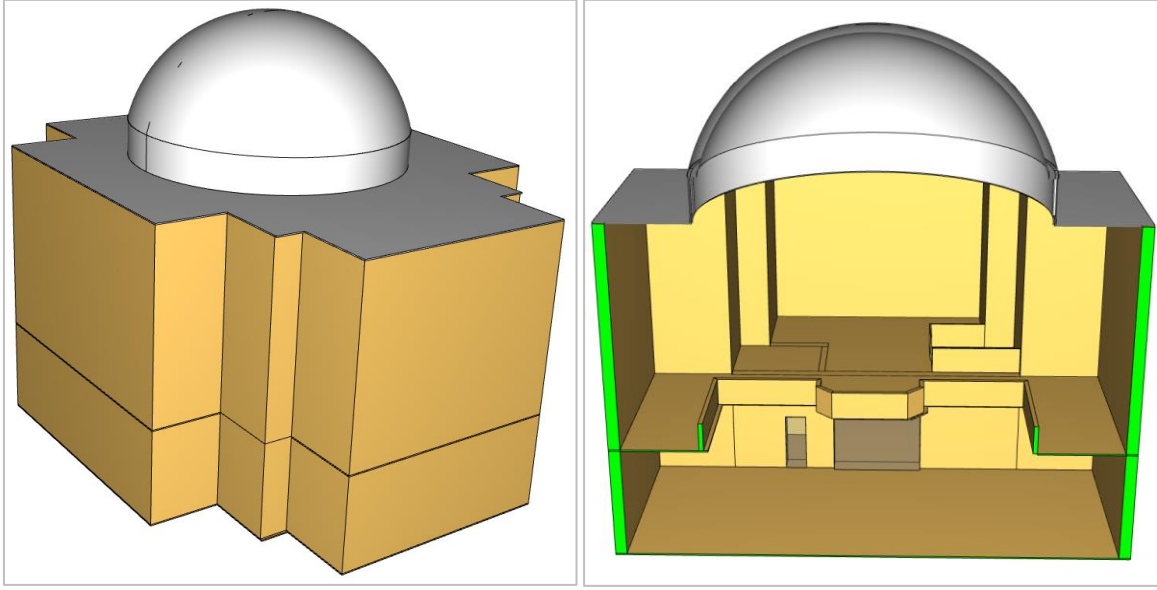
Şekil 3.7. Tip 6 Mevlana Caminin basitleştirilmiş zemin kat planı

Şekil 3.8’de Tip 6 Mevlana Cami’nin PyroSim modellemesinde kullanılan basitleştirilmiş mahfel kat planı gösterilmektedir.



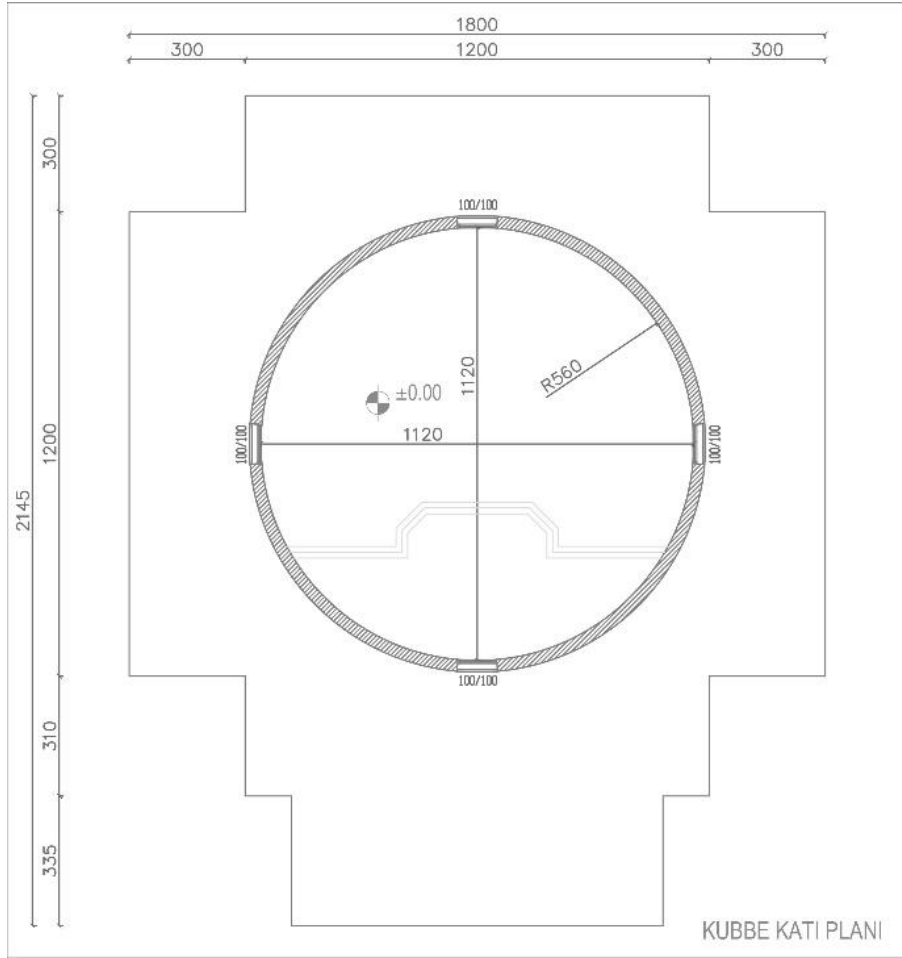
Şekil 3.8. Tip 6 Mevlana Caminin basitleştirilmiş mahfel kat planı

Çatı modellemesi yapılırken kırma çatının olduğu yerler eğimsiz düz bir döşeme olarak modellemesi yapılmıştır. Şekil 3.9’da basitleştirilmiş kubbe kat planı görülmektedir.

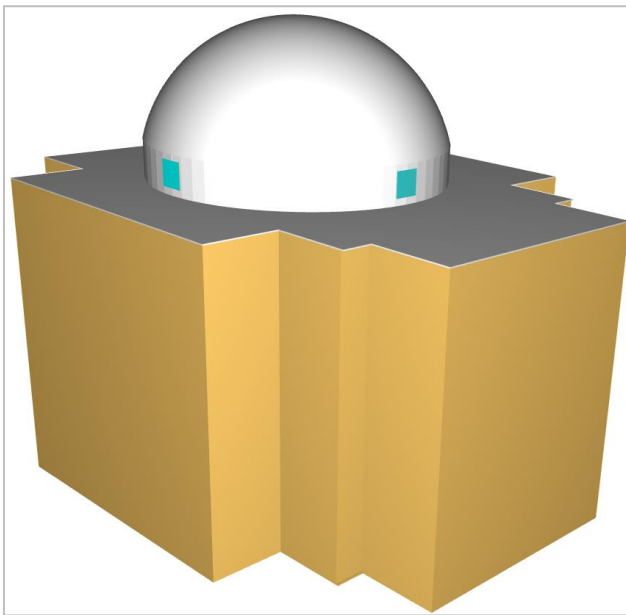


Şekil 3.10. Tip 6 Mevlana Cami'nin PyroSim'de basitleştirilmiş modeli

Camilerin ışık alması için yapılan kubbe kasnağındaki pencereler sabit ve açılmaz olarak tasarlanmaktadır. Tip 6 Mevlana Cami'nde 20 adet 80 cm x 120 cm ölçülerinde kubbe kasnağında sabit pencereler bulunmaktadır. Bu çalışmada kubbe kasnağında yer alan pencerelerin yangına etkisini incelemek için kubbe kasnağında 4 adet 100 cm x 100 cm ölçülerinde otomatik açılır pencereler tasarlanmıştır. Tip 6 Mevlana Caminin kubbe kasnağındaki pencereli halinin Şekil 3.11'de basitleştirilmiş kubbe kat planı, Şekil 3.12'de PyroSim'de basitleştirilmiş modeli gösterilmektedir.



Şekil 3.11. Tip 6 Mevlana Caminin kubbe kasnağındaki pencereli halinin basitleştirilmiş kubbe kat planı



Şekil 3.12. Tip 6 Mevlana Caminin kubbe kasnağındaki pencereli halinin PyroSim’de basitleştirilmiş modeli

3.2. Yangın Tasarımı, Kullanılan Ağ Yapısı (Mesh) ve Ortam Parametreleri

PyroSim’de yapılan cami modellemesinden sonra programa yangın, ağ büyüklüğü ve ortam parametreleri girilerek simülasyonlar alınmıştır.

3.2.1. Yangın tasarımı

Yapılarda çıkabilecek yangının büyüklüğü veya yangın yükü yanma sonucunda ortaya çıkan ısı gücü miktarına denk gelir. Yangının farklı evrelerine göre farklılık gösteren bu değerlerde en büyük miktar dikkate alınmaktadır. NFPA 92B’ye göre otel odası, ofisler ve endüstriyel hacimler için çeşitli kişilerin önerdiği ısı yayılım hızı değerleri bulunmaktadır. Bu değerler 200-300 kW/m² arasındadır (NFPA-92B, 2009). Kubbeli camilerde bu değer net olmadığı için kubbenin atriyumla benzer şekilde geniş hacim oluşturması sebebiyle Demir ve Coşkun’un (2018) yaptığı atriyumlu bina araştırmasında belirlenen ısı yayılım hızı 750 kW/m² yangın yükü olarak güvenli bir tasarıma olanak sağlaması için girilmiştir. Camilerde yangın genellikle elektrik veya kundaklama sebebiyle çıkmakta ve yangının büyüklüğü de yanan maddenin cinsine, söndürülme süresine göre değişmektedir. Camilerde elektrik kaynaklı yangınlar akımda aşırı yük olmasından, elektrikli ekipmanların planlı bakım eksikliğinden, akım taşıyan metallerin yorgunluğu veya metalik arızalardan ya da elektriksel tesisat, pano gibi elemanların izolasyon eksikliği ya da hasardan meydana gelebilmektedir. Bu sebeple elektrik tesisatının camide geçtiği herhangi bir yerde oluşan aksaklık nedeniyle yangın çıkabilmektedir. Yangın esnasında açığa çıkan ısı ve duman değerinin hesaplanması için yangının ısı salınım miktarı 750 kW olarak girilmiştir. Yangının büyüklüğü (Eş. 3.1)’deki gibi hesaplanmaktadır (NFPA 204, 2021).

$$q = \alpha \cdot t^2 \quad (3.1)$$

$$q = \text{yangının ısı salınım miktarı (kw)} = 750 \text{ kw}$$

$$t = \text{yangının tam gelişme zamanı(s)} = 100 \text{ s}$$

$$\alpha = \text{yangının büyüme sabiti (kw/s}^2\text{)} = 0,075 \text{ kw/s}^2$$

Yangın modelinde ilk 100 saniye için t² denklemi kullanılmıştır. Yangının 100 saniyede 750 kilowatta ulaştığı varsayılmıştır. Açığa çıkan ısı gücü 100. saniyede en yüksek değerine ulaştıktan sonra açığa çıkan ısı miktarı sabit olarak alınmıştır. NFPA 204’e göre modellenen

bu yangın hızlı gelişen bir yangındır. Karakteristik yangın çapı (Eş. 3.2)'deki gibi hesaplanmaktadır (McGrattan, Hostikka, McDermontt, Floyd, Weinschenk, ve Overholt, 2013).

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{p_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g}} \right)^{2/5} \quad (3.2)$$

$\dot{Q}$ = Isıl Yayılım Hızı (HRR) = 750 kw

p_{∞} = Yoğunluk = 1,204 kg /m³

c_p = Özgül ısı = 1,005 kJ / kg. K

T_{∞} = Sıcaklık = 293 °K

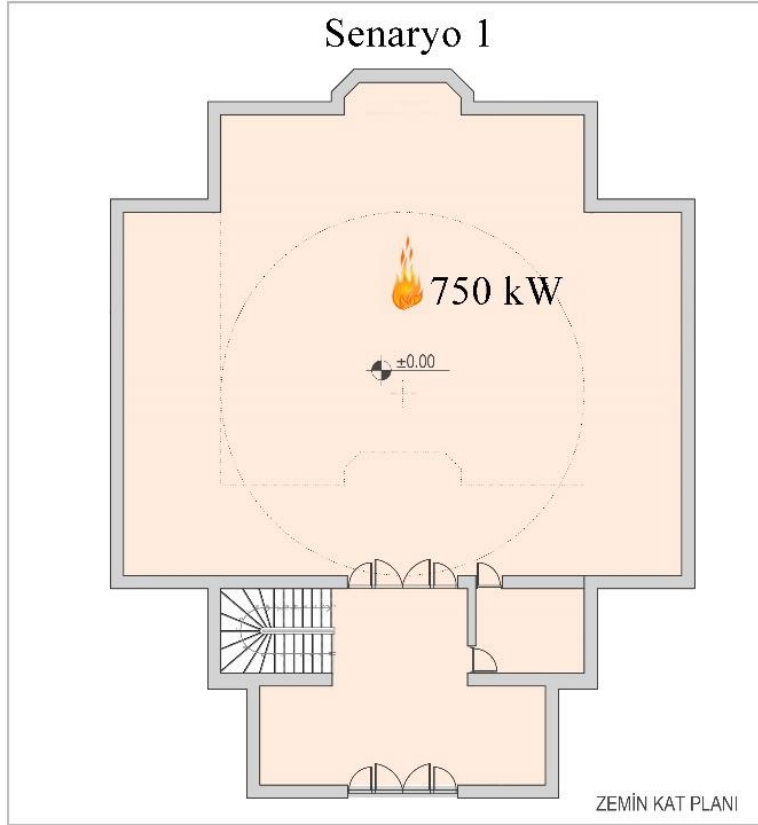
g = Yer çekim ivmesi = 9,81 m / sn²

D^* = Karakteristik yangın çapı = 0,855m olarak bulunur.

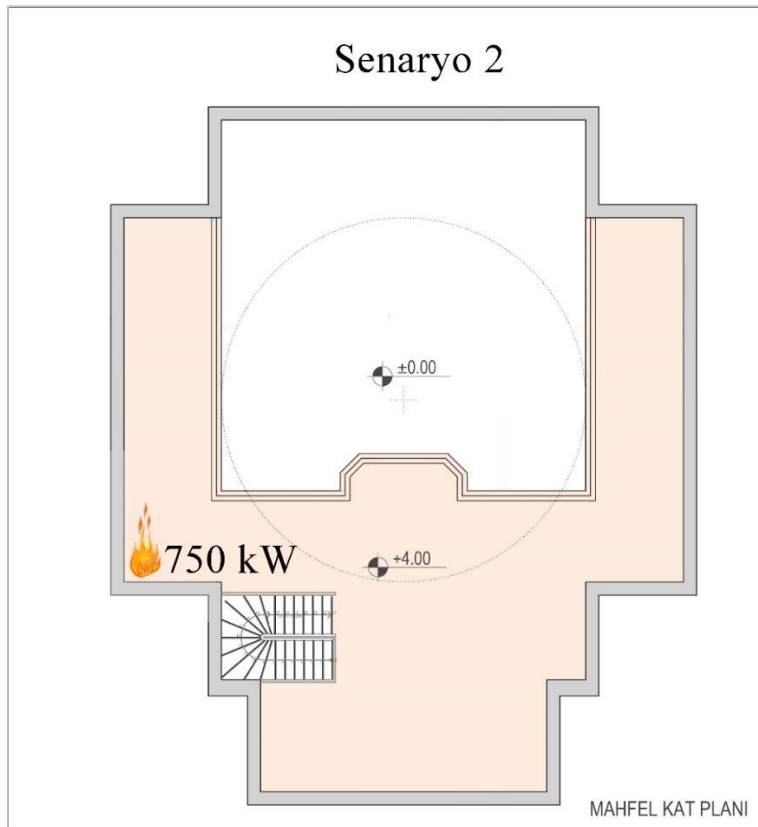
Yangın senaryoları

Tip 6 Mevlana Caminde 750 kW'lık yangın için 2 farklı senaryo kurgulanmıştır. Senaryolarda cephede yer alan kapı, pencereler kapalı, kubbe kasnağındaki pencereler açık veya kapalı olarak modellenmiştir. Senaryo-1'de kubbe kasnağındaki pencereler kapalı, Senaryo-2'de kubbe kasnağındaki pencereler açık olarak modelleme yapılmıştır.

Yangın yerleri, yangın çıkma ihtimalinin en yüksek olduğu konumlara yerleştirilmiştir. Camide kundaklama, sabotaj veya başka sebeple çıkabilecek yangın için zemin katta yangın yeri caminin merkezine yakın bir yer belirlenmiştir. Elektrik tesisatında aşırı yükte çıkabilecek yangın için asma katta yangın yeri yan mahfelde duvar kenarı olarak belirlenmiştir. Senaryolarda A durumunda zemin katta, B durumunda hanımlar mahfilinde 750 kW'lık yangın yüküne sahip yangın modellenmiştir. Şekil 3.13'te yangının senaryolarda A durumundaki plandaki konumu kadınlar mahfili ve mihrap arasındaki boşluğun orta noktası olarak alınmıştır. Şekil 3.14'te yangının senaryolarda B durumundaki plandaki konumu sol yan mahfelde duvar kenarı olarak alınmıştır. Yangının çıktığı ortamın sıcaklığı başlangıçta 20 °C olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.13. Yangının senaryolarda A durumundaki plandaki konumu



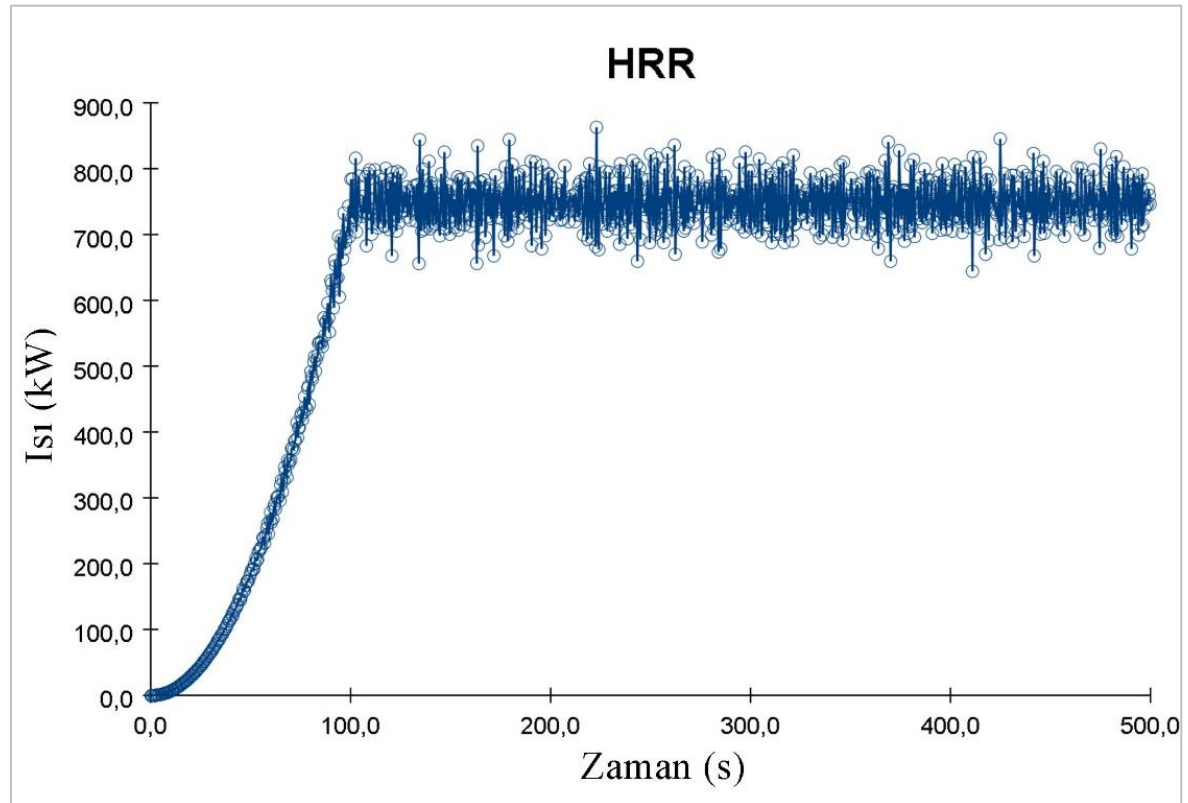
Şekil 3.14. Yangının senaryolarda B durumundaki plandaki konumu

Çizelge 3.1’de senaryolara göre yangın yeri, büyüklüğü ve simülasyon süresi verilmiştir. Yangının en yüksek yüke ulaşma zamanı t^2 denkleminde 100 sn olarak hızlı bir yangın kabul edilmiştir. Bu sürenin sonunda yangın yükünün Senaryo 1 ve Senaryo 2’de 750 kW olacağı varsayılmıştır. FDS yazılımı, yangın başladıktan sonra 500 saniye içindeki yangın sahnesini simüle etmek için kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Senaryolara göre yangın yeri ve büyüklüğü

Senaryo Adı	Kubbe Kasnak Pencerelelerinin Durumu	Yangın Konumu	Alan Başına Isı yayılım hızı (HRRPUA)	Isı yayılım hızı (HRR)	Simülasyon Süresi
Senaryo 1-A	Kapalı	0.00 kotu	750 kW/m ²	750 kW	500 sn
Senaryo 2-A	Açık	0.00 kotu	750 kW/m ²	750 kW	500 sn
Senaryo 1-B	Kapalı	4.00 kotu	750 kW/m ²	750 kW	500 sn
Senaryo 2-B	Açık	4.00 kotu	750 kW/m ²	750 kW	500 sn

Şekil 3.15’te Kurgulanan senaryolarda ısı salınım hızının zamana göre değişimi verilmektedir.



Şekil 3.15. Kurgulanan senaryolarda ısı salınım hızının zamana göre değişimi

3.2.2. Kullanılan ağ yapısı (mesh)

FDS kullanım kılavuzuna göre, çeşitli senaryolardaki yangınları modellemede D^* / dx oranı 4 ile 16 arasında önerilmiştir (McGrattan, McDermonnt, Hostikka, ve Floyd, 2010). Çalışmada D^*/dx değeri “4” alınmıştır (Eşitlik 3.3) (McGrattan vd., 2013). Bu değerin farklı alındığı durumlarda göze çarpan değişiklikler olmadığı bilinmektedir (Yüzücü, 2017). Yükselen duman içeren simülasyonlar için, akış alanının ne kadar iyi çözüldüğünün ölçüsü boyutsuz bir ifadeyle hesaplanır. Aşağıdaki boyutsuz formülle bu hesaplamalar yapılabilmektedir (McGrattan vd., 2013).

$$D^* / dx = 4 \quad (3.3)$$

D^* = Karakteristik yangın çapı = 0,855m

dx = Mesh ölçüsü = 0,21m olarak bulunur.

PyroSim programının ağ yapısı arka planda çalışmaktadır. Arka planda katı kütleli akış hacminden farklılaştırarak bu hacme dörtgensel ağ yapısı oluşturmaktadır. FDS' deki en kritik parametrelerden biri ızgaralı hücre ebatıdır. PyroSim'deki cami modellemesinde 0,21 x 0,21 x 0,21 [m] boyutlarında eş kare prizmalardan meydana gelen eşit ağlara bölünerek simülasyon analizi yapılmıştır.

3.2.3. Ortam parametreleri

Çizelge 3.2'de simülasyona girilen ortam parametreleri verilmektedir.

Çizelge 3.2. Ortam parametreleri

Ortam Basıncı	1 atmosfer (101325 Pascal)
Yer Çekimi İvmesi	9,81 m/s ²
Oksijenin Kütle Oranı	0,232378 kg/kg
Maksimum Görünürlük	30 m
Ortam Sıcaklığı	20 °C (293 °K)

4. ANALİZ ÇALIŞMALARI

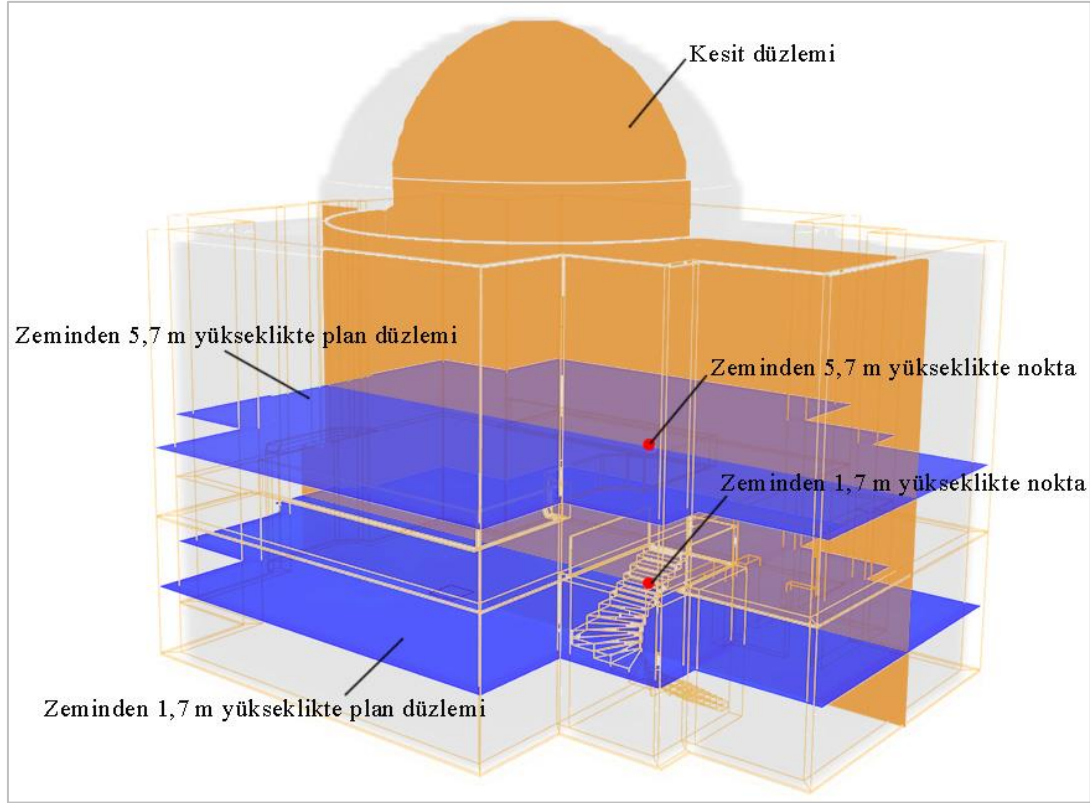
Bu bölümde Tip 6 Mevlana Cami'nde incelenen farklı yangın senaryolarda; duman, görüş mesafesi, sıcaklık ve gazların akış hızı analizleri incelenmektedir. PyroSim yazılımında oluşturulan cami modelinin, simülasyondan çıkan sonuçları yangın modellerinin görselleştirilmesini sağlayan PyroSim'in yardımcı yazılımı olan Smokeview arayüz programıyla grafikler halinde verilmektedir.

4.1. Analiz Sonuçlarının İncelendiği Düzlem ve Noktalar

Ortam sıcaklığı, duman katmanı yüksekliği, görüş mesafesi ve gazların akış hızı gibi faktörler güvenli kaçış süresi ve söndürme ekiplerinin müdahalesini etkilemesinden dolayı çalışmada bu faktörler incelenmiştir. Araştırmada analiz sonuçlarının incelendiği yerler, insanların burun ve göz hizası düşünülerek zeminden 1,7 metre yükseklikte düzlem ve noktalar belirlenmiştir. Zemin kat kotu ± 0.00 olduğundan bu kattaki eşik değerleri belirleyebilmek için +1.70 kotundaki plan düzlemi ve nokta incelenmektedir. Hanımlar mahfilinin kotu +4.00 olduğundan bu kattaki eşik değerleri belirleyebilmek için +5.70 kotundaki plan düzlemi ve nokta incelenmektedir. Hanımlar mahfili ve mihrabın ortasından geçen kesit düzlemi de incelenmiştir. Analiz sonuçlarında yangın başladıktan sonraki 500 saniye, 100 saniye aralıklarla incelenmiştir. Analiz sonuçlarının incelendiği parametrelerin eşik değerleri Çizelge 4.1'de, analiz sonuçlarının incelendiği düzlem ve noktalar Şekil 4.1'de, analiz sonuçlarının incelendiği senaryolar Çizelge 4.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Analiz sonuçlarının incelendiği parametrelerin eşik değerleri

İncelenen Parametre	Eşik Değer
Duman	1,7 metre
Görüş Mesafesi	3 metre
Sıcaklık	60° C
Gazların Akış Hızı	-



Şekil 4.1. Analiz sonuçlarının incelendiği düzlem ve noktalar

Çizelge 4.2. Analiz sonuçlarının incelendiği senaryolar

Senaryo Adı	Kubbe Kasnak Pencerelerinin Durumu	Yangın Konumu
Senaryo 1-A	Kapalı	Alt Katta
Senaryo 2-A	Açık	Üst Katta
Senaryo 1-B	Kapalı	Alt Katta
Senaryo 2-B	Açık	Üst Katta

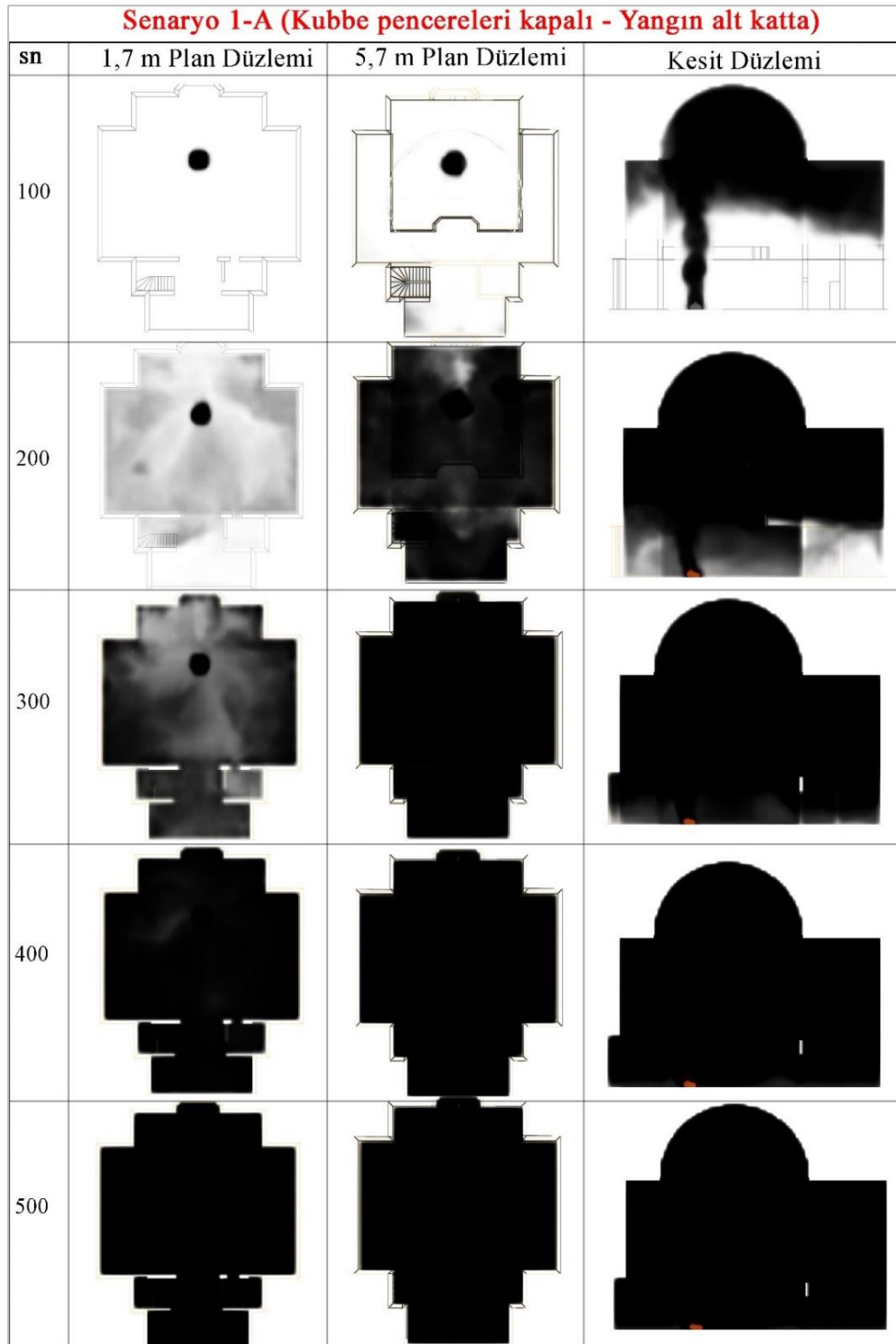
4.1.1. Duman dağılımı

BSI (2004)'e göre; duman tabakası yüksekliği 2,5 metreden az olduğunda, insan kaçıışı ciddi şekilde etkilenecektir; duman katmanı yüksekliği 1,5 metreden az olduğunda, insanlar kaçışlarını tamamlayamaz (Long vd., 2017). İnsanın göz mesafesi olan 1,7 metreye duman katmanı yayıldığında kaçış için risk oluşturacaktır. İki senaryoda kubbe kasnağındaki pencerelerin açık ve kapalı olduğu durumlarda saniyelere göre duman yayılımı yapının perspektif görüntüsü üzerinden incelenmiştir. Duman dağılımı görüş mesafesini etkilemektedir.



Şekil 4.2. Senaryolara ve zamana göre perspektif görüntüsünde duman dağılımı

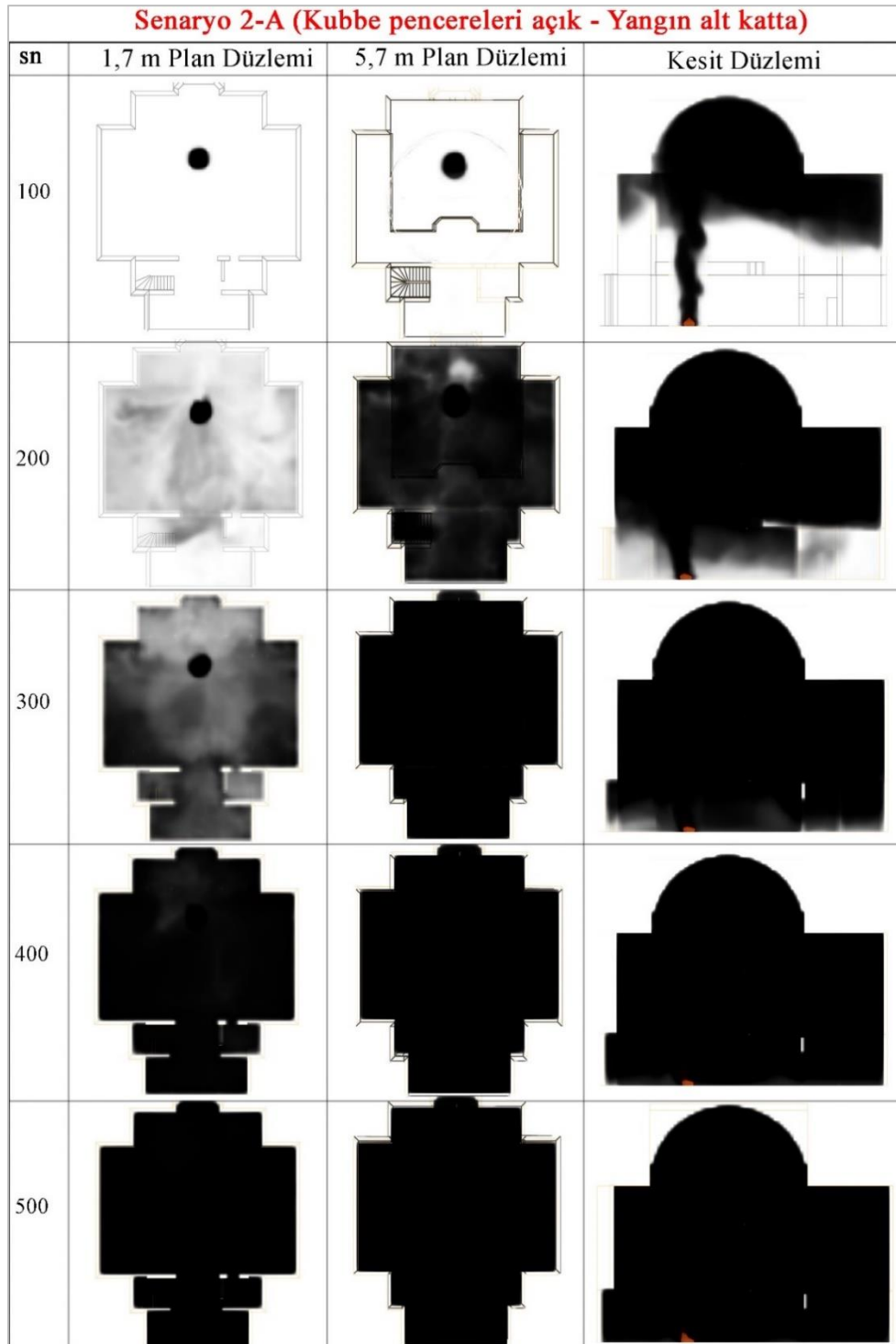
Şekil 4.2’de perspektif görüntüsünde duman dağılımı incelendiğinde Senaryo 1-A ve Senaryo 2-A’da dumanın 300. saniyelerden itibaren caminin içinde tamamen yayıldığı görülmektedir. Senaryo 1-B ve Senaryo 2-B’de 300. saniyelerden itibaren asma kata yayıldığı ancak zemin kata dumanın yayılmadığı gözlenmektedir. Senaryolarda kubbe kasnağındaki pencerelerin açık olduğu senaryolarda (Senaryo 2-A ve Senaryo 2-B) kapalı olduğu senaryolara göre (Senaryo 1-A ve Senaryo 1-B) dumanın hacimde daha az yayıldığı görülmektedir.

Senaryo 1-A

Şekil 4.3. Senaryo 1-A’da zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde duman dağılımı

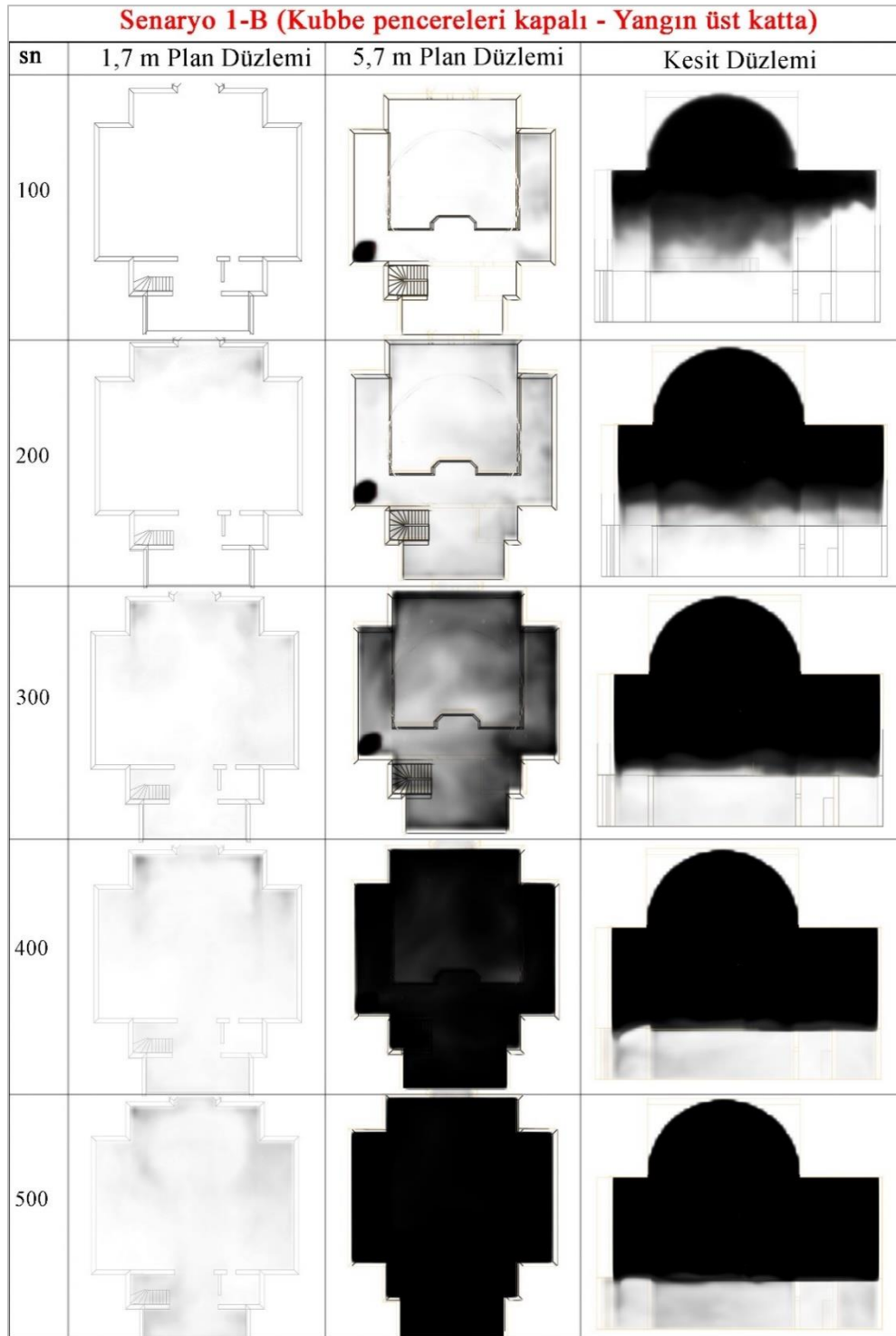
Şekil 4.3’te Senaryo 1-A’da zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde duman dağılımı incelendiğinde; zemin kata 300. saniyelerde, asma kata 200. saniyelerde dumanın yayıldığı görülmektedir.

Senaryo 2-A



Şekil 4.4. Senaryo 2-A’da zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde duman dağılımı

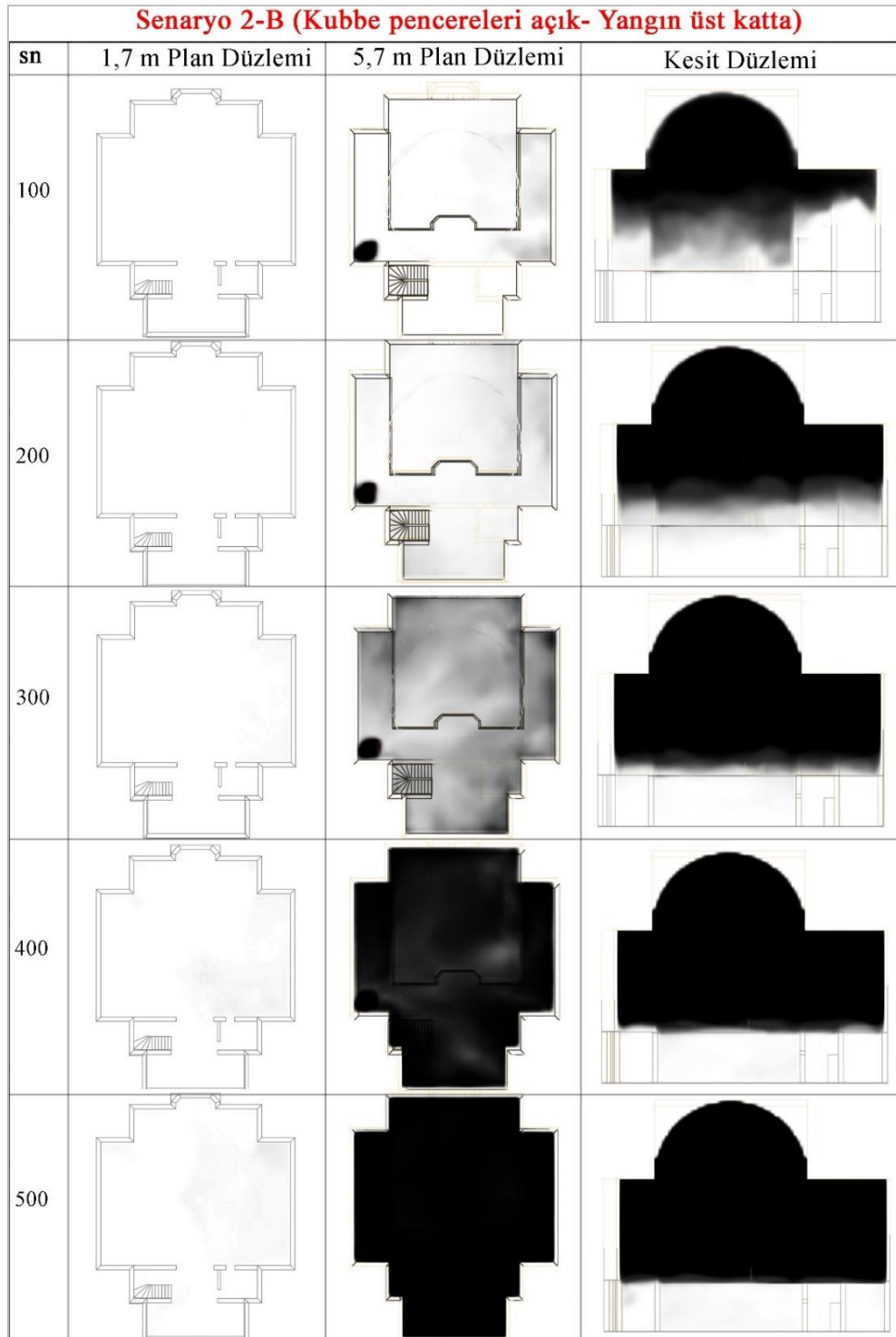
Şekil 4.4’te Senaryo 2-A’da zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde duman dağılımı incelendiğinde; duman zemin kata 300. saniyelerde, asma kata 200. saniyelerde yayılmaktadır.

Senaryo 1-B

Şekil 4.5. Senaryo 1-B’de zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde duman dağılımı

Şekil 4.5’te Senaryo 1-B’de zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde duman dağılımı incelendiğinde; 500 saniyenin sonunda zemin kata duman çok az miktarda yayılırken, asma kata dumanın 300. saniyelerde yayıldığı görülmektedir.

Senaryo 2-B

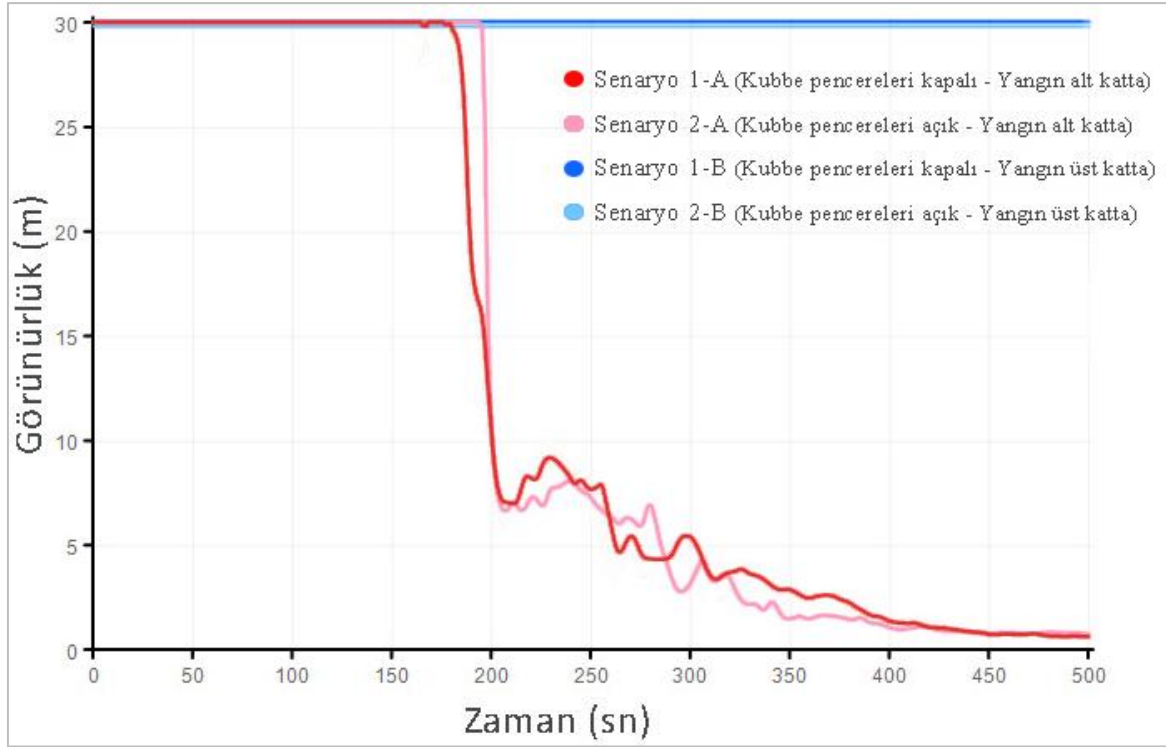


Şekil 4.6. Senaryo 2-B’de zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde duman dağılımı

Şekil 4.6’da Senaryo 2-B’de zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde duman dağılımı incelendiğinde; 500 saniyenin sonunda zemin kata duman yayılmazken, asma kata dumanın 300. saniyelerde yayıldığı görülmektedir.

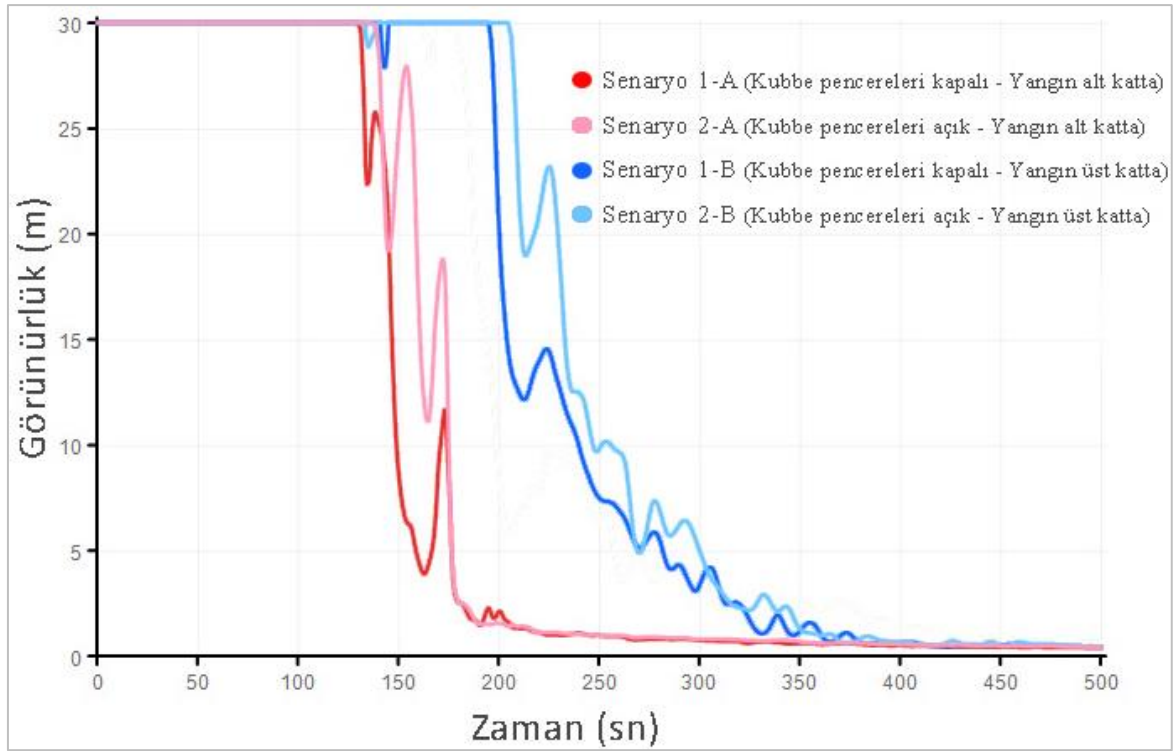
4.1.2. Görüş mesafesi dağılımı

Görünürlük, bir çıkış yolu üzerinden insanların hareketini, hızlarını ve yol bulma yeteneklerini etkileyebilmektedir. Bazı çalışmalar, binaya aşına olan insanlar için minimum 3-5 metre, binaya aşına olmayanlar için 10-20 metre minimum görüş mesafesi önermektedir. Bu değer 3 metrenin altına indiğinde insanların rotalarında daha ileri gidemezler (Diettes, 2019). İncelenen camide kütle genel olarak tek bir hacimden oluştuğu için insanların görüş mesafesinin 3 metrenin altına düştüğünde insanların kaçmasında risk oluşmasına sebep olacağı düşünülerek bu değer risk faktörü olarak alınmıştır. Yangında dumanla görüş mesafesi ters orantılıdır ve dumanın yoğunluğu arttıkça görüş mesafesi azalarak tahliye zorlaşmaktadır.



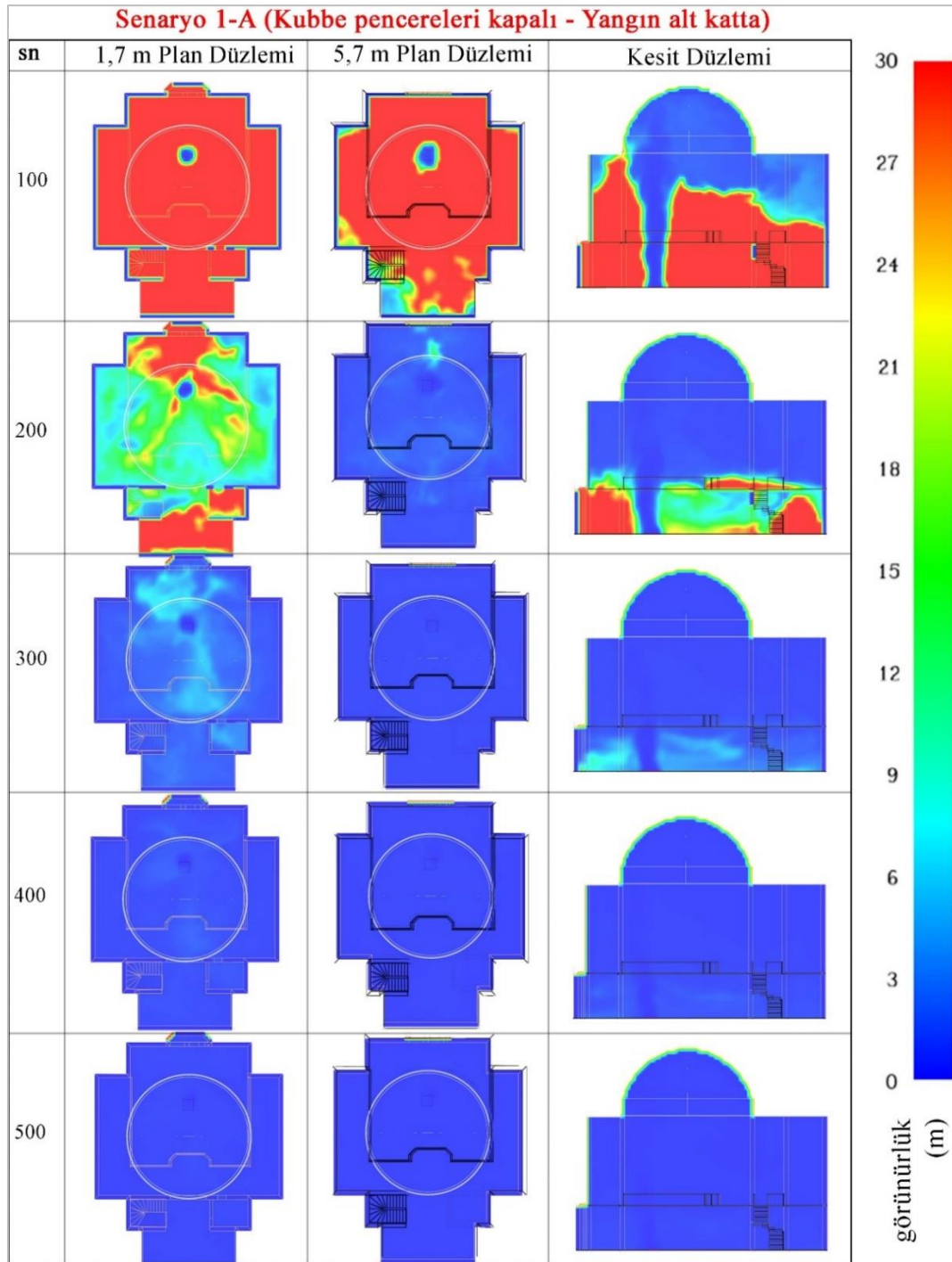
Şekil 4.7. Senaryolara göre yerden 1,7 metre yükseklikteki noktanın görüş mesafesi-zaman grafiği

Şekil 4.7’de yerden 1,7 metre yükseklikteki noktada görüş mesafesi verileri incelendiğinde; yangının alt katta çıktığı Senaryo 1-A ve Senaryo 2-A’da 320. saniyelerde görüş mesafesinin 3 metrenin altına inerek kritik duruma gelmektedir. Yangının üst katta çıktığı Senaryo 1-B ve Senaryo 2-B’de görüş mesafesi 30 metrede sabit kalarak riskli hale gelmemiştir.



Şekil 4.8. Senaryolara göre yerden 5,7 metre yükseklikteki noktanın görüş mesafesi-zaman grafiği

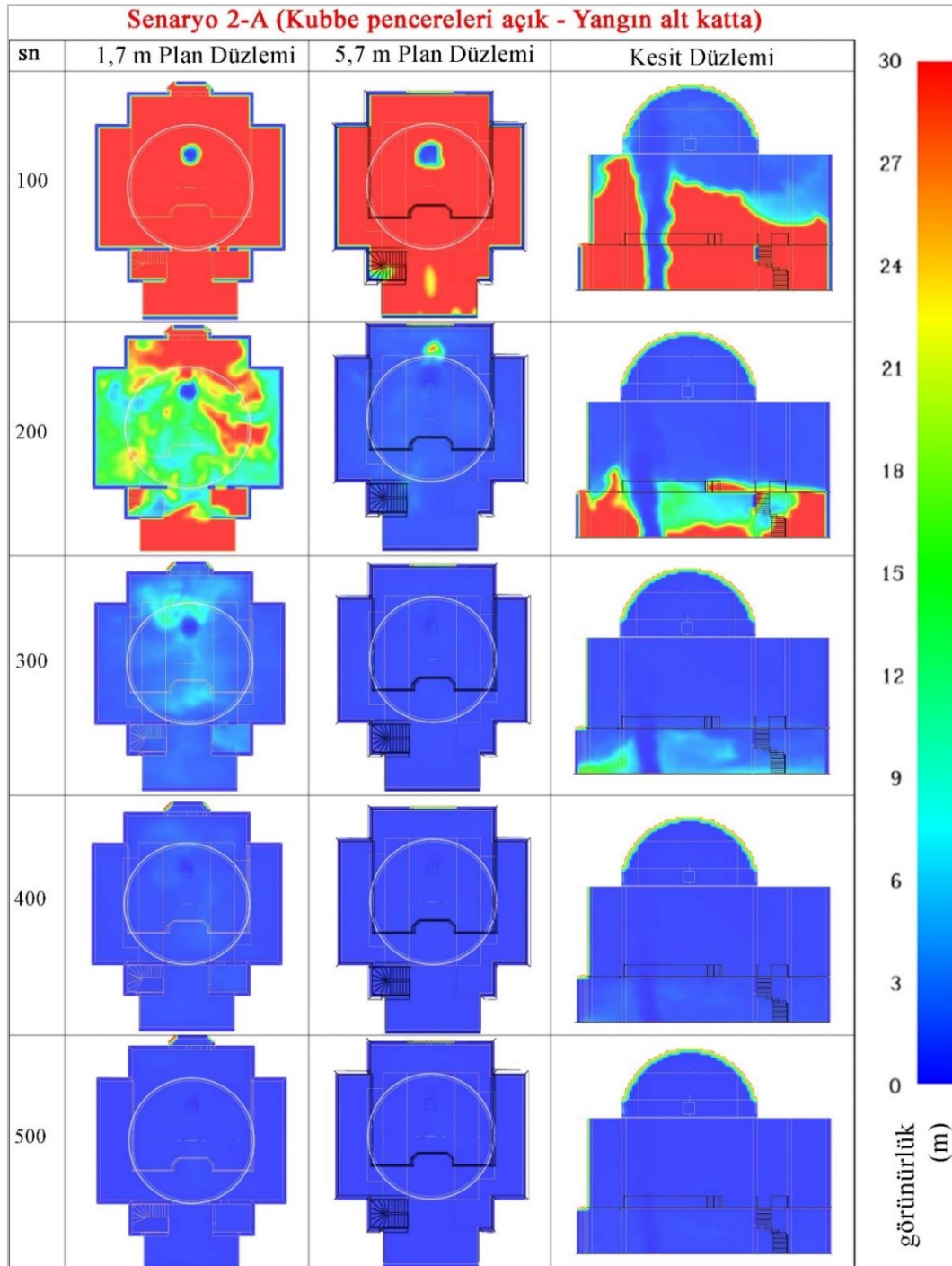
Şekil 4.8’de yerden 5,7 metre yükseklikteki noktada görünürlük verileri incelendiğinde yangının alt katta çıktığı Senaryo 1-A ve Senaryo 2-A’da; 180. saniyelerde görüş mesafesinin 3 metrenin altına inerek kritik duruma geldiği görülmektedir. Yangının üst katta çıktığı Senaryo 1-B ve Senaryo 2-B’de ise incelenen bu noktada; 320. saniyelerde görüş mesafesinin riskli hale geldiği gözlenmektedir.

Senaryo 1-A

Şekil 4.9. Senaryo 1-A’da zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde görüş mesafesi dağılımı

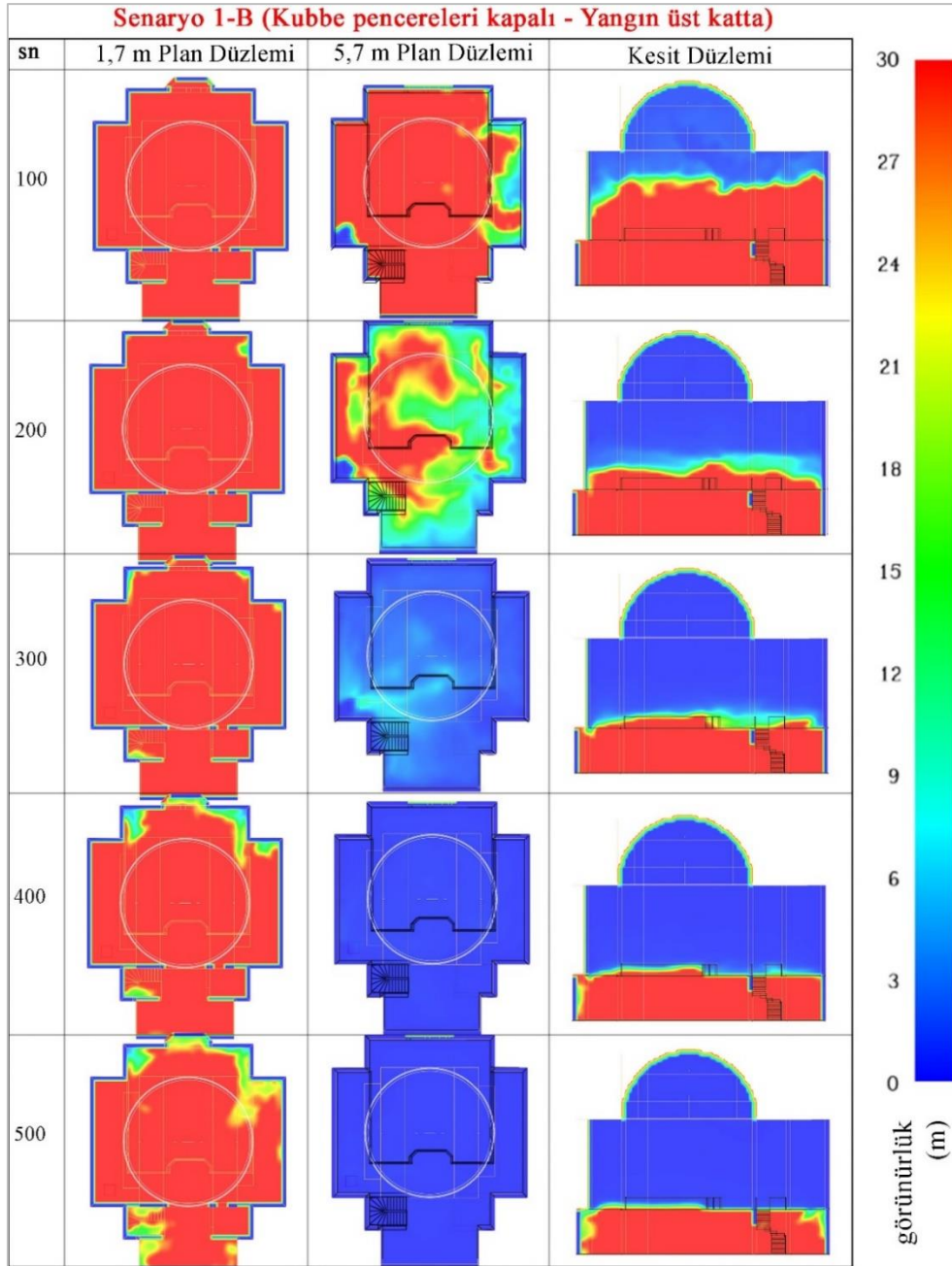
Şekil 4.9’de Senaryo 1-A’da zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde görünürlük analizleri incelendiğinde; zemin katta 220. saniyede, asma katta 130. saniyede görüş mesafesinin 3 metrenin altına düşerek kaçış riskli hale gelmektedir. Kesit düzleminde ise 400. saniyelerde tüm hacmin görüş mesafesinin 0 metreye düştüğü görülmektedir.

Senaryo 2-A



Şekil 4.10. Senaryo 2-A’da zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde görüş mesafesi dağılımı

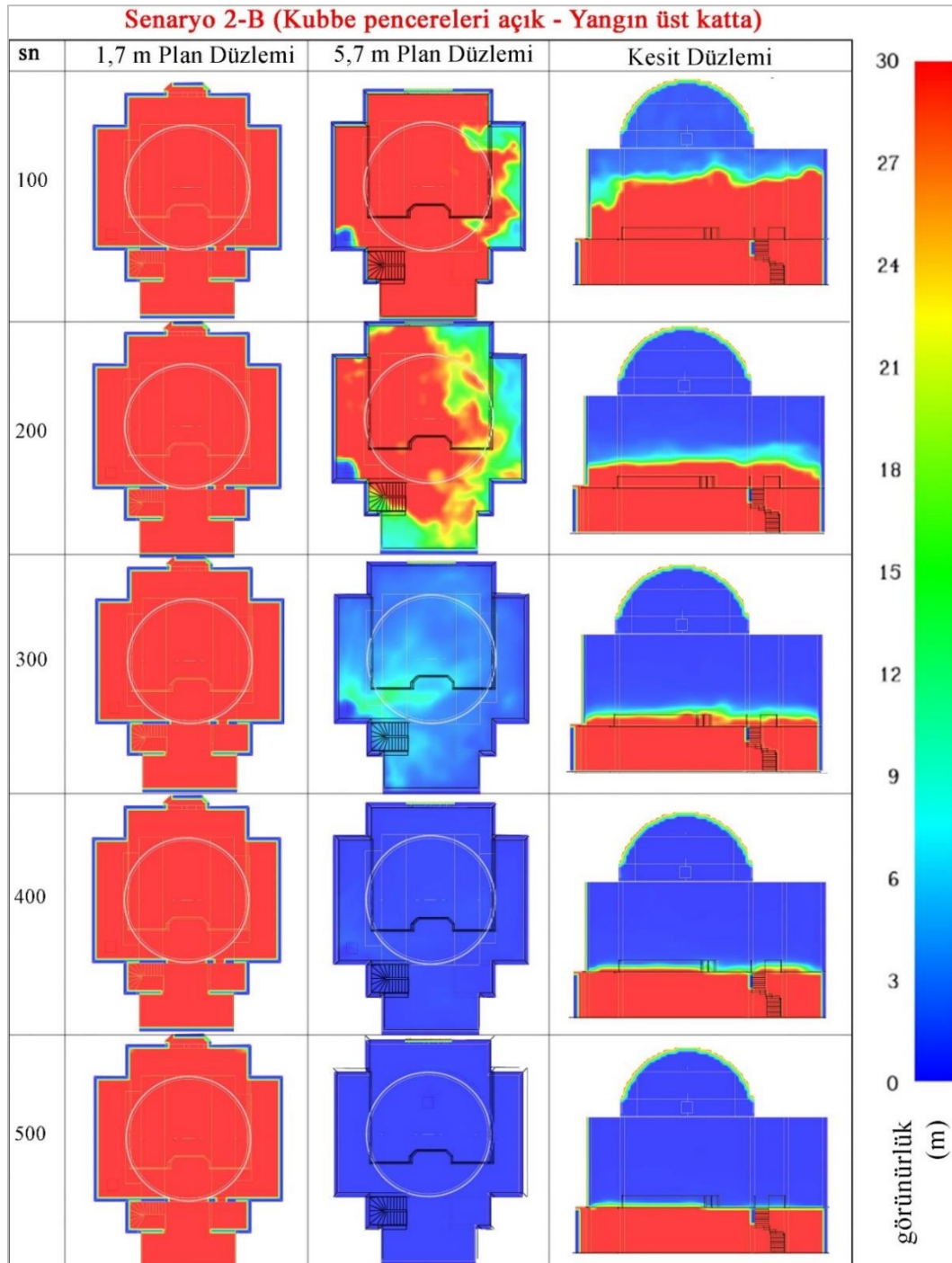
Şekil 4.10’da Senaryo 2-A’da zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde görünürlük analizleri incelendiğinde; zemin katta 230. saniyede, asma katta 150. saniyede görüş mesafesinin 3 metrenin altına düşerek riskli hale geldiği görülmektedir. Kesit düzleminde ise 400. saniyelerde tüm hacmin görüş mesafesinin 0 metreye düştüğü görülmektedir.

Senaryo 1-B

Şekil 4.11. Senaryo 1-B’da zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde görüş mesafesi dağılımı

Şekil 4.11’de Senaryo 1-B’de zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde görünürlük analizleri incelendiğinde; zemin katta görüş mesafesi 500 saniyenin sonunda 10 metrenin altına düşmeyerek kaçış için risk oluşturmazken, asma katta 170. saniyede görüş mesafesinin 3 metrenin altına düşerek kaçış için riskli hale geldiği görülmektedir. Kesit düzleminde 500 saniye sonunda zemin katın görünürlük dağılımındaki azalmanın caminin çeperlerinde çok az olduğu görülmektedir.

Senaryo 2-B

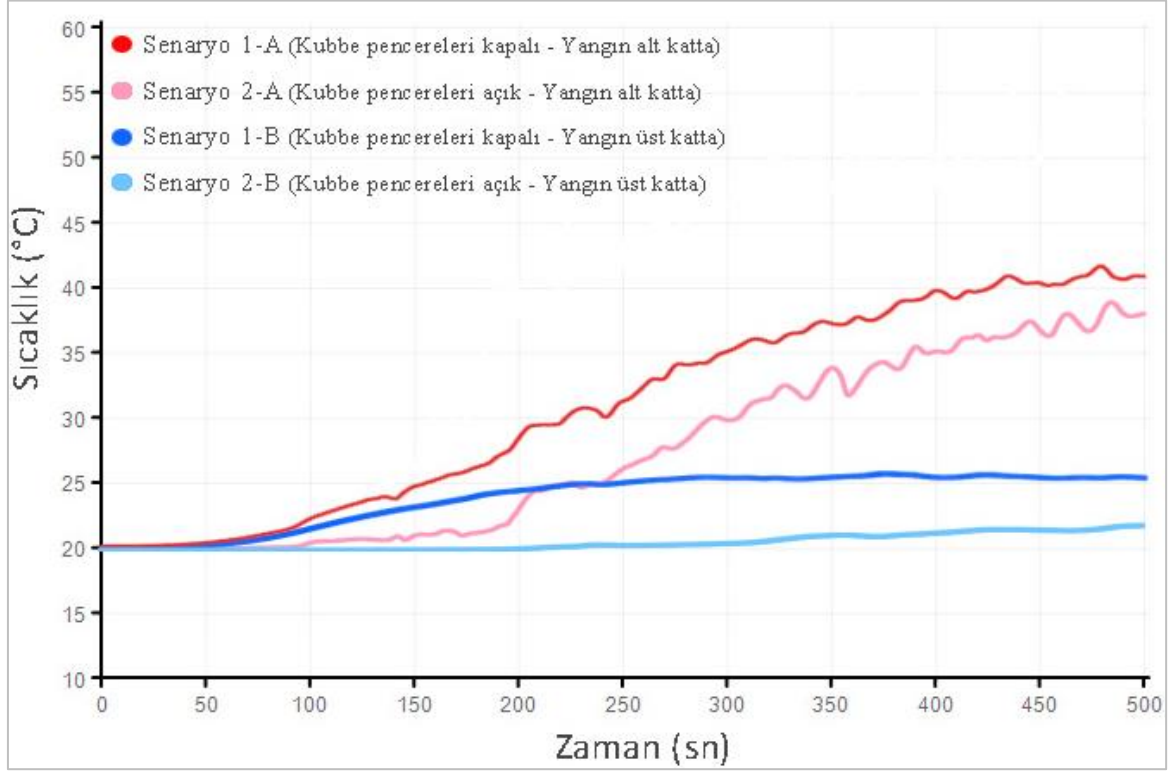


Şekil 4.12. Senaryo 2-B’de zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde görüş mesafesi dağılımı

Şekil 4.12’de Senaryo 2-B’de zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde görünürlük analizleri incelendiğinde; zemin katta görüş mesafesi 500 saniyenin sonunda 30 metrenin altına düşmeyerek kaçış için risk oluşturmazken, asma katta 210. saniyede görüş mesafesinin 3 metrenin altına düşerek kaçış için riskli hale geldiği görülmektedir.

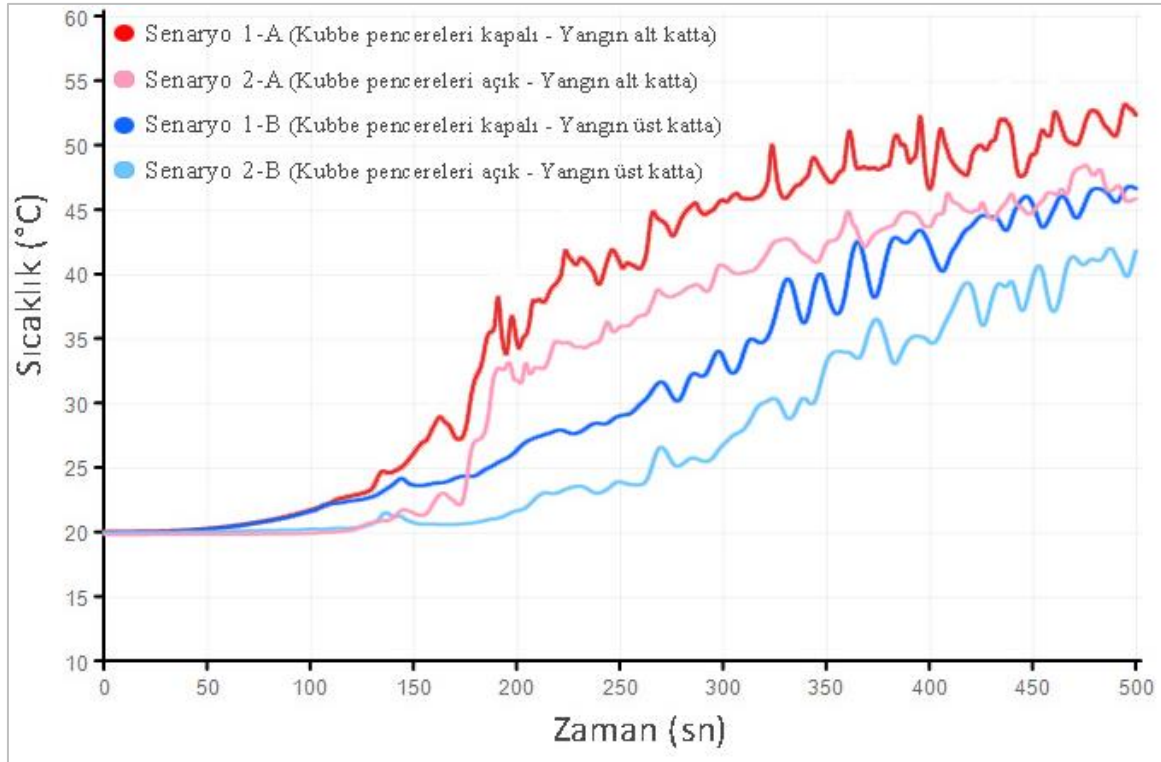
4.1.3. Sıcaklık dağılımı

Yangın bölgesi hariç solunabilir hava sıcaklığı 60 °C'nin altında olduğunda güvenlidir (Diettes, 2019). Eşik sıcaklık değeri 60 °C olarak alınmıştır.



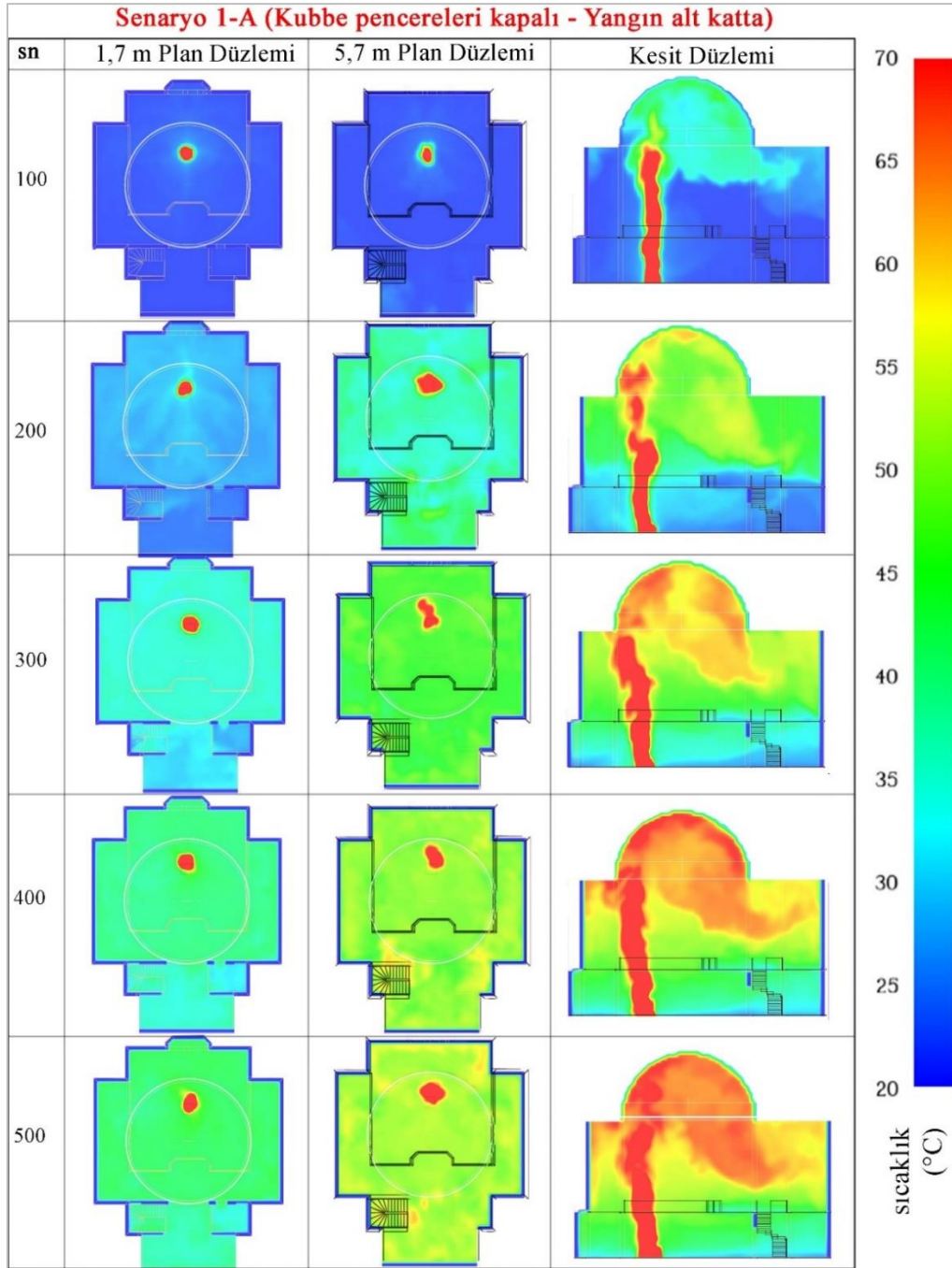
Şekil 4.13. Senaryolara göre yerden 1,7 metre yükseklikteki noktanın sıcaklık-zaman grafiği

Şekil 4.13'te yerden 1,7 metre yükseklikteki noktada sıcaklık verileri incelendiğinde 500 saniyenin sonunda sıcaklık; Senaryo 1-A'da 41 °C'ye, Senaryo 2-A'da 37 °C'ye, Senaryo 1-B'de 26 °C'ye, Senaryo 2-B'de 21 °C'ye ulaşmıştır. Senaryolarda incelenen bu noktada sıcaklık riski oluşmamıştır.



Şekil 4.14. Senaryolara göre yerden 5,7 metre yükseklikteki noktanın sıcaklık-zaman grafiği

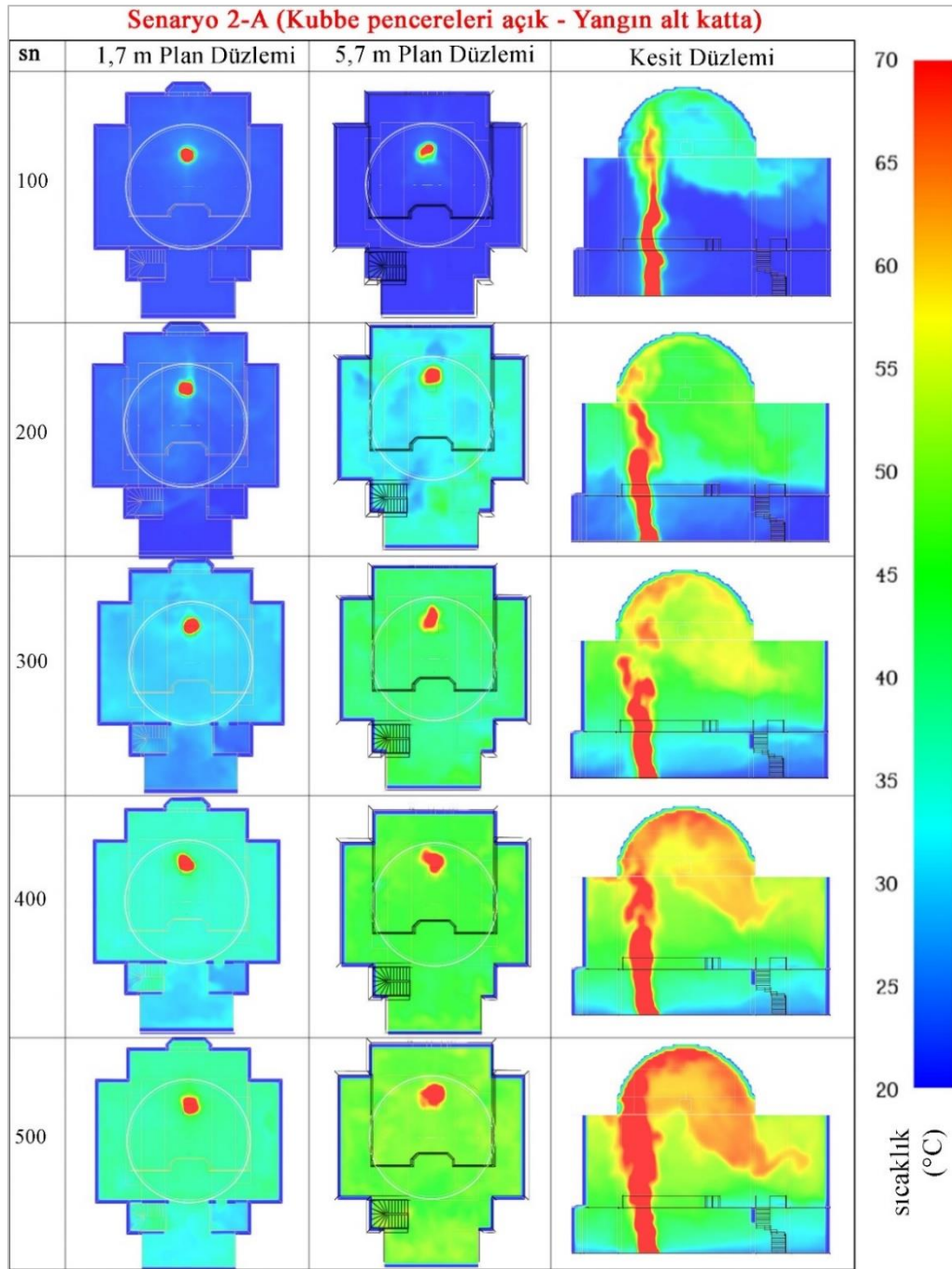
Şekil 4.14'te yerden 5,7 metre yükseklikteki noktada sıcaklık verileri incelendiğinde 500 saniyenin sonunda sıcaklık; Senaryo 1-A'da 53 °C'ye, Senaryo 2-A'da 46 °C'ye, Senaryo 1-B'de 47 °C'ye, Senaryo 2-B'da 42 °C'ye ulaşmıştır. Senaryolarda incelenen bu noktada sıcaklık riski oluşmamıştır.

Senaryo 1-A

Şekil 4.15. Senaryo 1-A’da zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde sıcaklık dağılımı

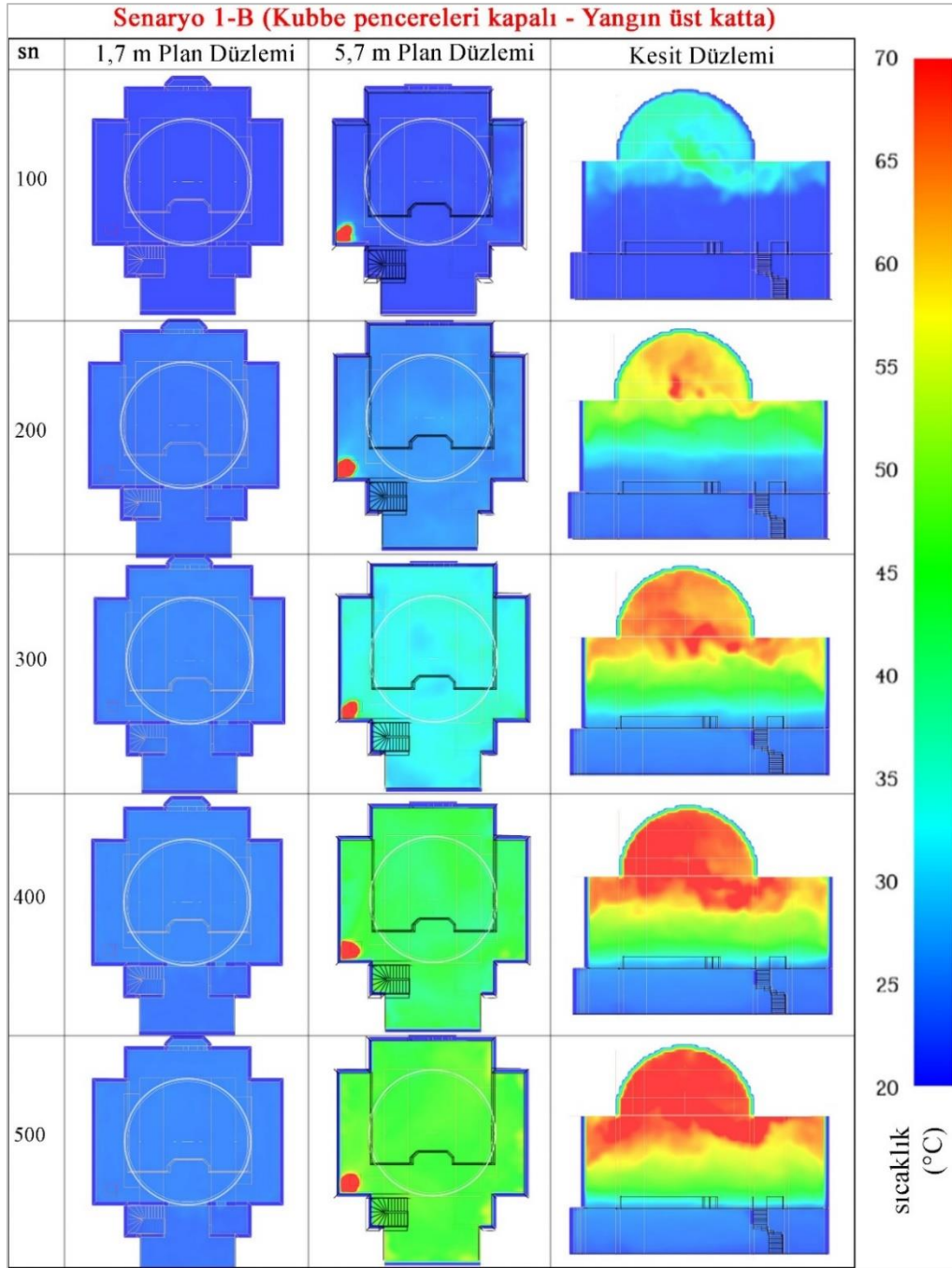
Şekil 4.15’te Senaryo 1-A’da zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde sıcaklık dağılımları incelendiğinde; zemin katta, yangın dışındaki bölgelerde 500 saniyenin sonunda sıcaklık 46 °C’ye yükselerek tehlike oluşturmazken, asma katta sıcaklık 60 °C’ye 360. saniyede ulaşarak tehlike oluşturmaktadır. Kesit düzleminde sıcaklık analizleri incelendiğinde sıcaklığın kubbeden ana hacme doğru yayılım gösterdiği görülmektedir.

Senaryo 2-A



Şekil 4.16. Senaryo 2-A’da zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde sıcaklık dağılımı

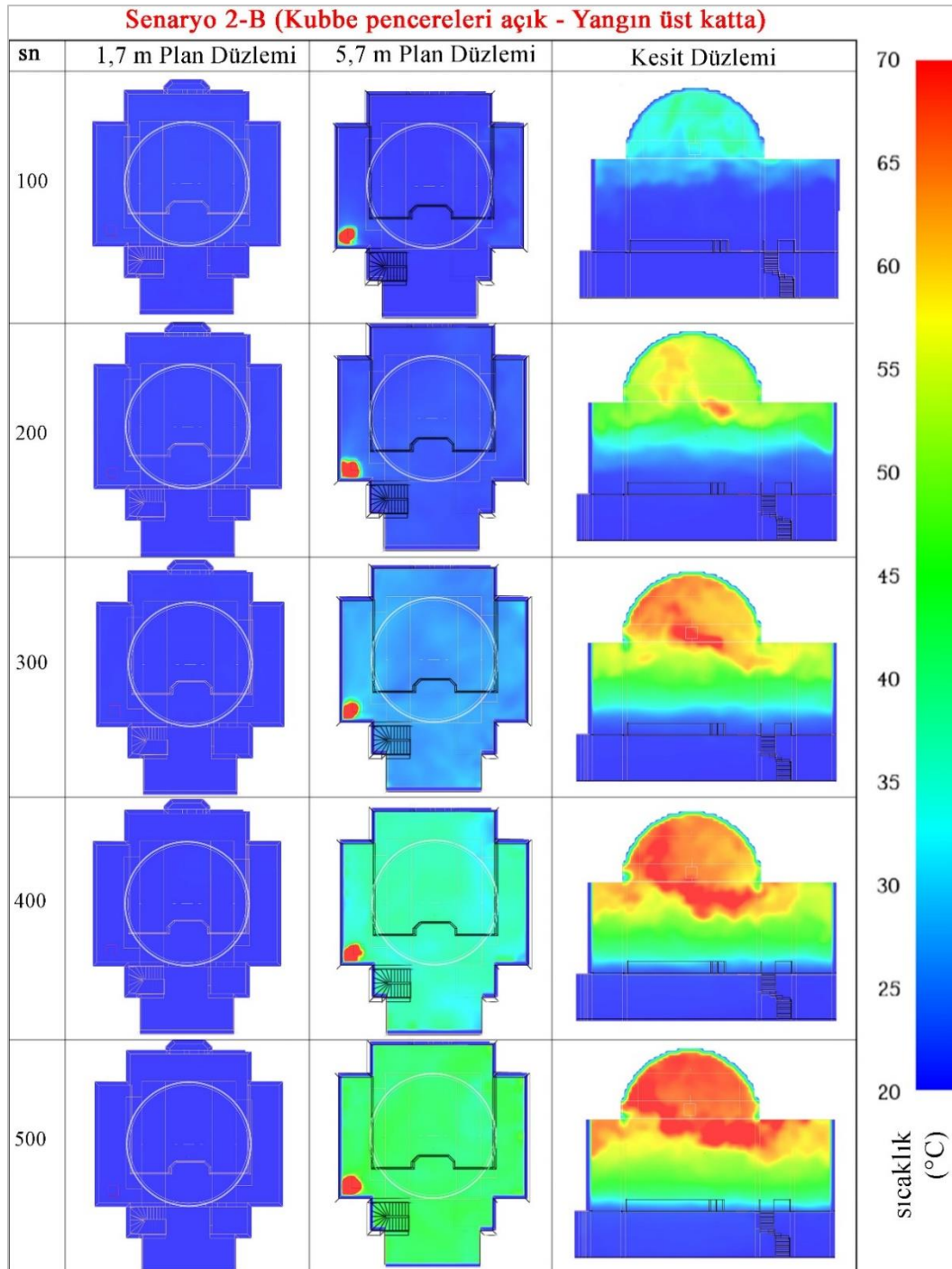
Şekil 4.16’da Senaryo 2-A’da zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde sıcaklık dağılımları incelendiğinde; zemin katta, yangın dışındaki bölgelerde 500 saniyenin sonunda sıcaklık 42 °C’ye yükselerek kaçış için risk oluşturmazken, asma katta sıcaklık 60 °C’ye 485. saniyede ulaşarak kaçış için risk oluşturmaktadır. Kesitte sıcaklığın kubbe ve etrafında yayılım gösterdiği gözlenmektedir.

Senaryo 1-B

Şekil 4.17. Senaryo 1-B’de zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde sıcaklık dağılımı

Şekil 4.17’de Senaryo 1-B’de zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde sıcaklık analizleri incelendiğinde; 500 saniyenin sonunda sıcaklık zemin katta 25 °C’ye, asma katta 50 °C’ye yükselerek insan sağlığı üzerinde herhangi bir risk oluşturmamaktadır. Senaryo 1-B’de 500 saniyenin sonunda sıcaklık, zemin kat ve hanımlar mahfilinde eşik değerin altında kalarak tehlike oluşturmamaktadır.

Senaryo 2-B

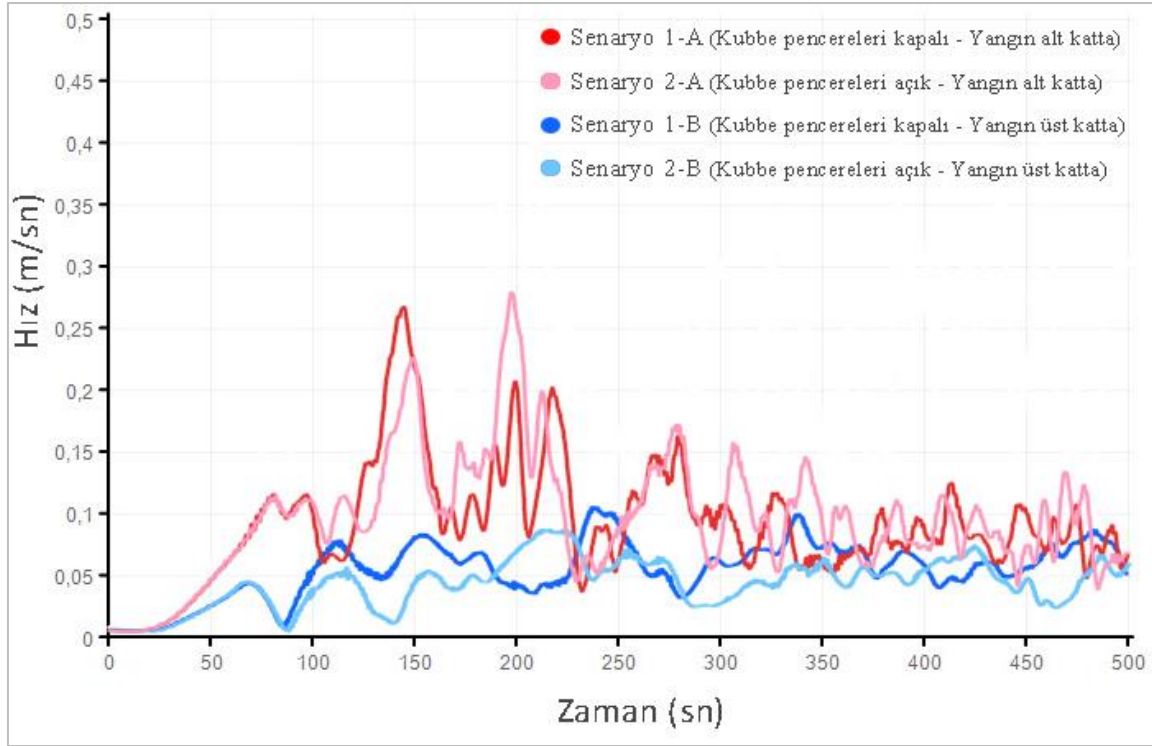


Şekil 4.18. Senaryo 2-B’de zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde sıcaklık dağılımı

Şekil 4.18’de Senaryo 2-B’de zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde sıcaklık analizleri incelendiğinde; 500 saniyenin sonunda sıcaklık zemin katta 21 °C’ye, asma katta 45 °C’ye yükselerek insan sağlığı üzerinde tehlike oluşturmamaktadır. Senaryo 2-B’de incelenen 500 saniyede sıcaklık, zemin kat ve hanımlar mahfilinde risk oluşturmamaktadır.

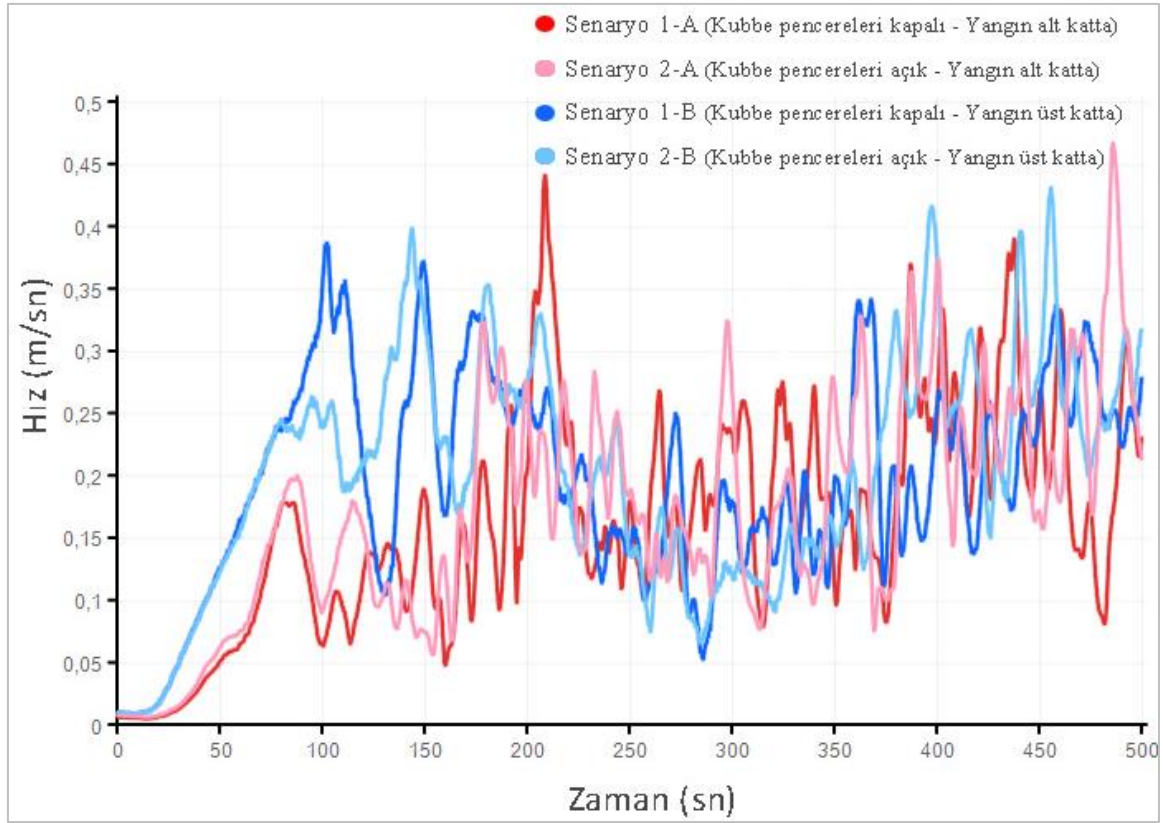
4.1.4. Gazların akış hızı dağılımı

Senaryolardaki yangının başlamasından itibaren hacimde bulunan bütün gazların akış hızlarının dağılımı kesit ve plan düzlemlerinde, zeminden 1,7 metre ve 5,7 metre yükseklikte bulunan noktalarda incelenmektedir. Kesitteki gazların hareketlerinin dumanın ve yangının cami içerisindeki dağılımının irdelenmesi bakımından önemlidir.



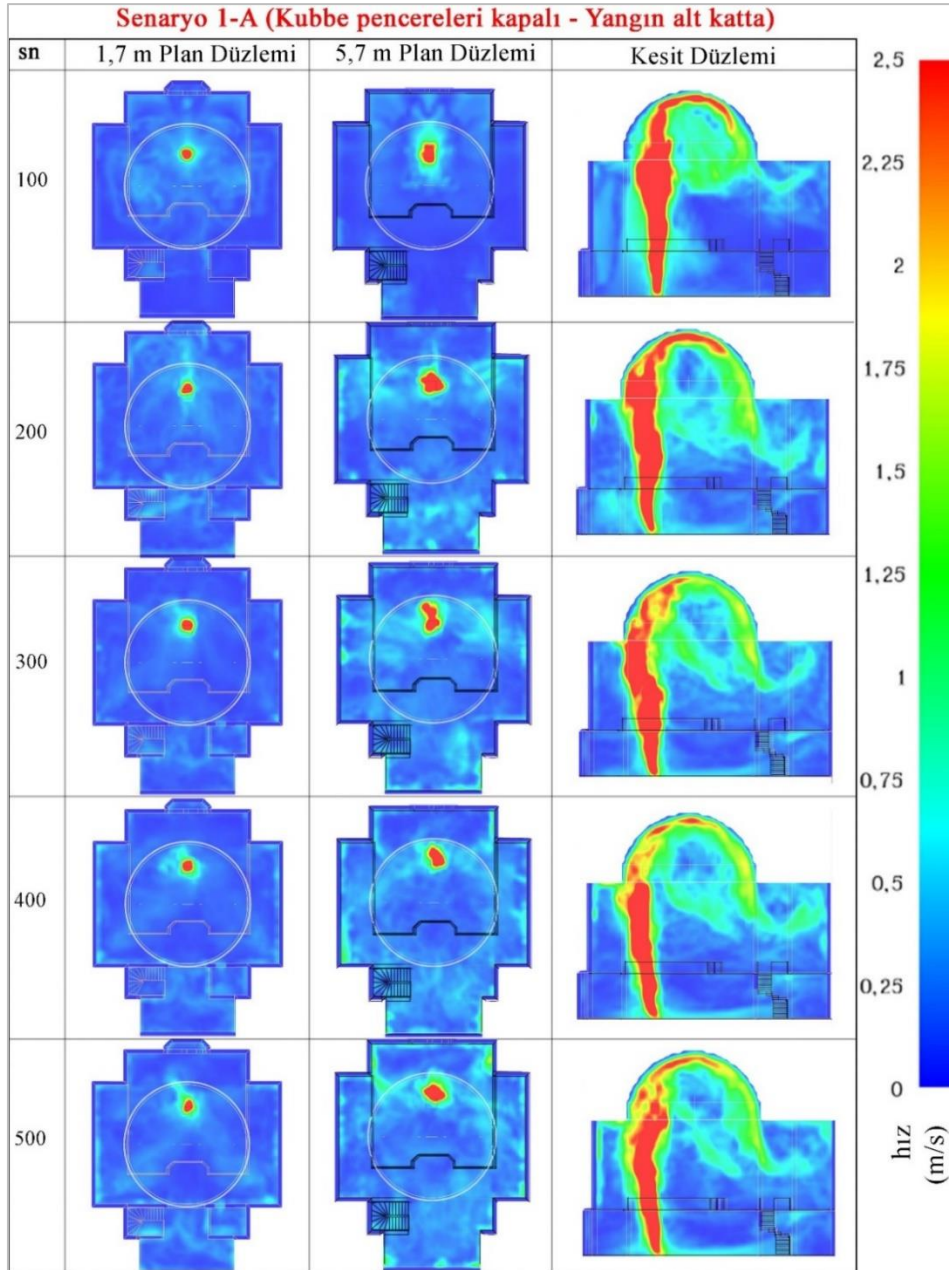
Şekil 4.19. Senaryolara göre yerden 1,7 metre yükseklikteki noktanın gazların akış hızı-zaman grafiği

Şekil 4.19'da yerden 1,7 metre yükseklikteki noktada gazların akış hızı verileri incelendiğinde kubbe kasnağındaki pencerelerin kapalı ve açık olduğu senaryolarda gazların hızlarının birbirlerine yakın seyrettiği görülmektedir. İncelenen bu noktada yangının alt katta çıktığı Senaryo 1-A ve Senaryo 2-A'nın, yangının üst katta çıktığı Senaryo 1-B ve Senaryo 2-B'ye göre gazların akış hızının daha hızlı olduğu görülmektedir. Senaryolardaki hız dağılımları cami içindeki hava akışına göre oluşmaktadır.



Şekil 4.20. Senaryolara göre yerden 5,7 metre yükseklikteki noktanın gazların akış hızı-zaman grafiği

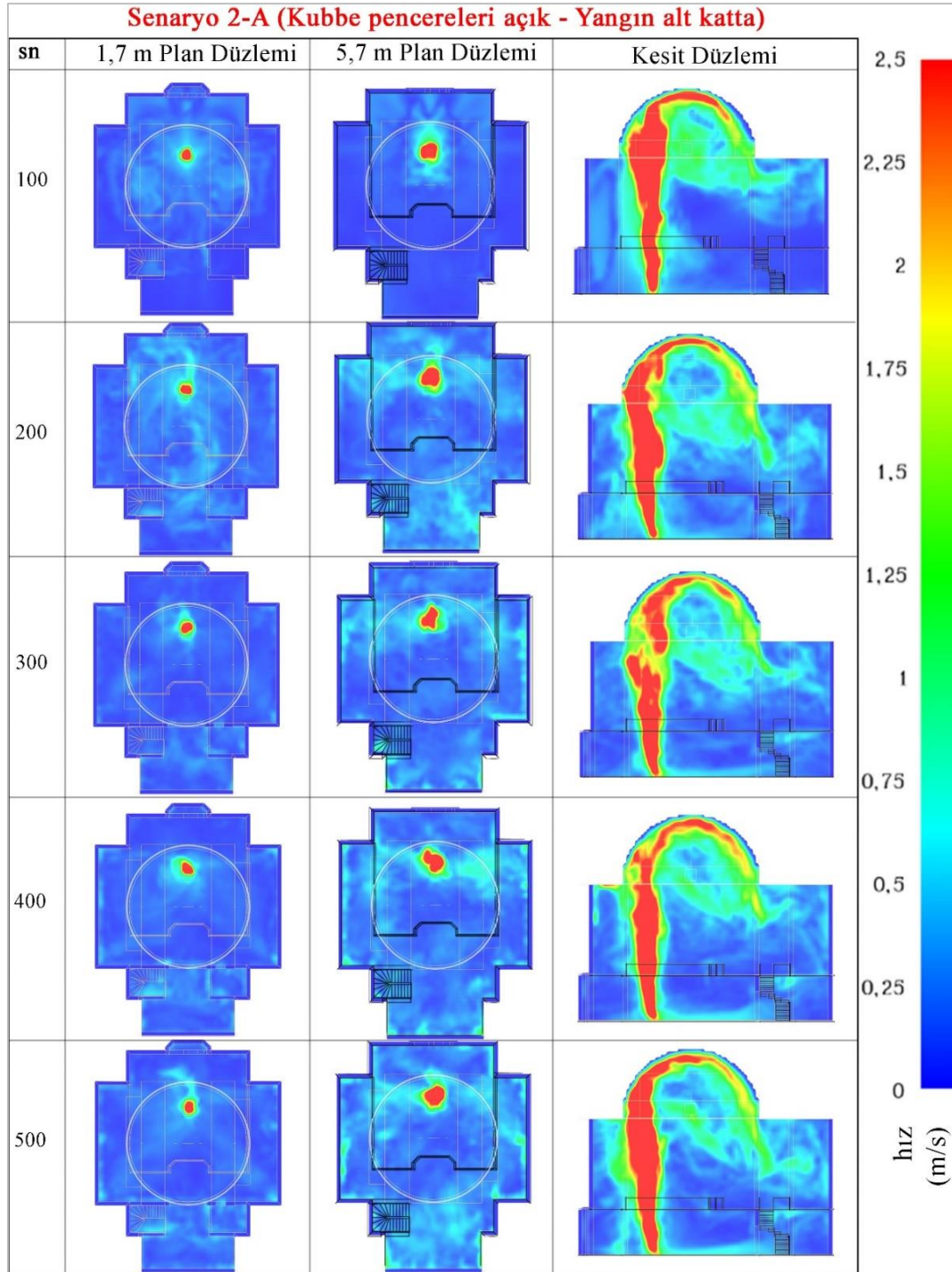
Şekil 4.20’de yerden 5,7 metre yükseklikteki noktada gazların akış hızı verileri incelendiğinde gazların akış hızının yangının alt katta çıktığı Senaryo 1-A ve Senaryo 2-A’nın, yangının üst katta çıktığı Senaryo 1-B ve Senaryo 2-B’ye göre daha yavaş seyrettiği görülmektedir.

Senaryo 1-A

Şekil 4.21. Senaryo 1-A'da zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde gazların akış hızı dağılımı

Şekil 4.21'de Senaryo 1-A'da zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde gazların akış hızı dağılımları incelendiğinde duman hızının en yüksek; zemin katta 0,80 m/sn, asma katta 1,75 m/sn olduğu görülmektedir. Kesit düzleminde gazların akış hızı dağılımı incelendiğinde gazların caminin kubbesinde birikerek, kubbe içinde hızlarının arttığı gözlenmektedir. Duman hareketlerinin az olduğu ve yangına müdahalenin gaz akış hızının düşük olduğu yerlerden yapılması, daha etkili ve hızlı müdahaleye imkân verecektir.

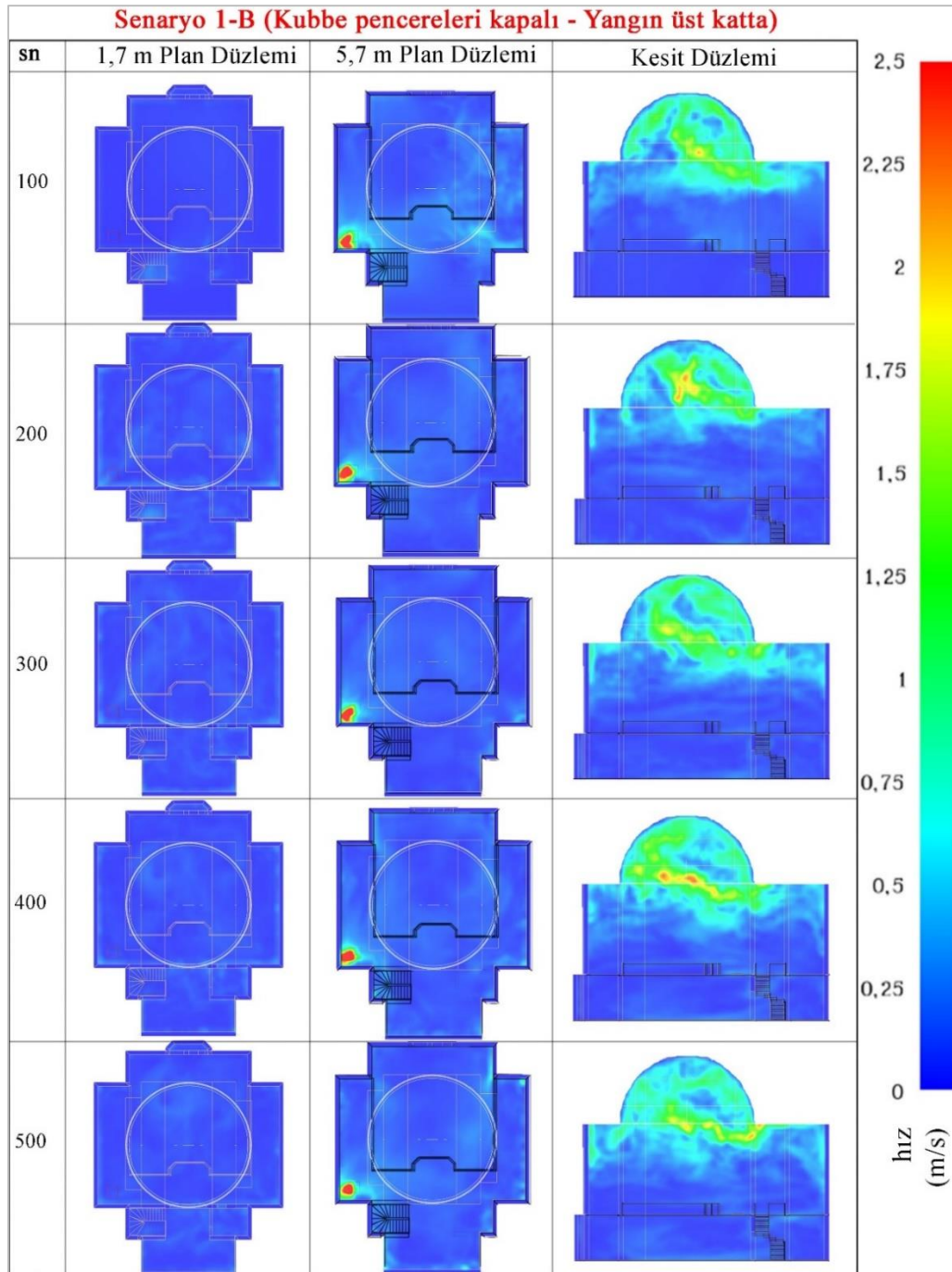
Senaryo 2-A



Şekil 4.22. Senaryo 2-A'da zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde gazların akış hızı dağılımı

Şekil 4.22'de Senaryo 2-A'da zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde gazların akış hızı dağılımları incelendiğinde; en yüksek duman hızının zemin katta 0,75 m/sn, asma katta 1,50 m/sn olduğu görülmektedir.

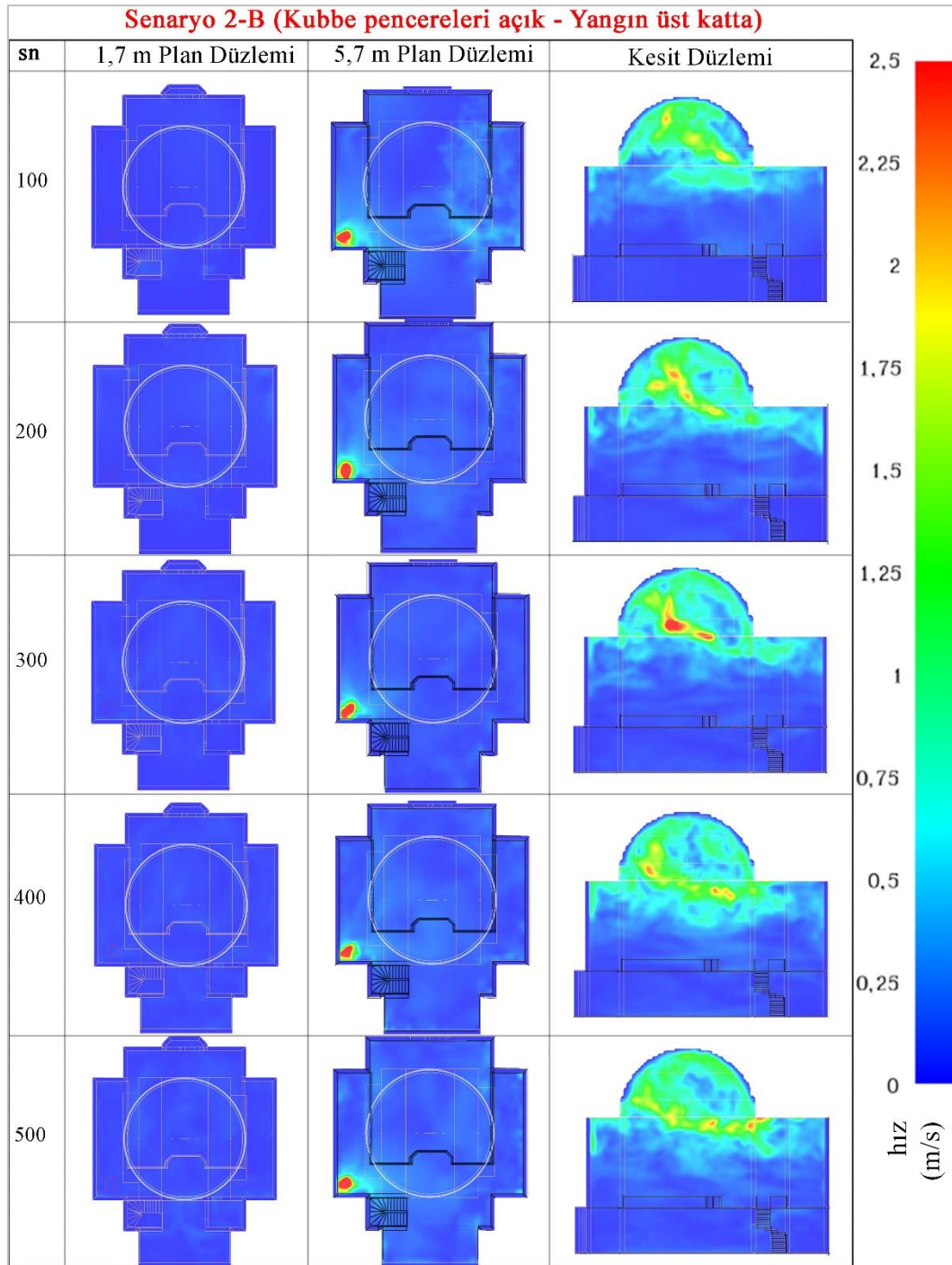
Senaryo 1-B



Şekil 4.23. Senaryo 1-B’de zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde gazların akış hızı dağılımı

Şekil 4.23’te Senaryo 1-B’de zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde gazların akış hızı dağılımları incelendiğinde duman hızının en yüksek; zemin katta 0,25 m/sn, asma katta 1,00 m/sn olduğu görülmektedir. Kesit düzleminde gazların akış hızı dağılımı incelendiğinde gazların caminin kubbesini doldurarak, zemin katta yayılım göstermediği görülmektedir.

Senaryo 2-B



Şekil 4.24. Senaryo 2-B’de zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde gazların akış hızı dağılımı

Şekil 4.24’te Senaryo 2-B’de zamana göre plan ve kesit düzlemlerinde gazların akış hızı dağılımları incelendiğinde; en yüksek duman hızının zemin katta 0,15 m/sn, asma katta 0,70 m/sn olduğu görülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yangın; camilerde ne zaman ve nasıl oluşacağı saptanamayan tehlike olması sebebiyle camilerde her an oluşabilecek yangın tehlikesinin araştırılması yapılmıştır. Yapılan incelemeler ve araştırmalar neticesinde farklı yangın senaryoları oluşturularak, analizleri incelenmiştir. Camilerde oluşabilecek yangın büyüklüğü güvenli bir tasarım yapabilmek amacıyla, kubbenin atriyumla benzer şekilde geniş hacim oluşturması sebebiyle Demir ve Coşkun'un (2018) yaptığı atriyumlu bina araştırmasında belirlenen ısı yayılım hızı 750 kW/m^2 yangın yükü olarak alınmıştır.

Bu çalışmada, kubbe kasnağındaki pencereler açık veya kapalı olduğu duruma göre ve 750 kW 'lık yangının çıkma ihtimalinin en yüksek olduğu iki farklı yangın konumuna göre 4 farklı senaryo kurgulanmıştır. Yangının konumu; kundaklama, sabotaj veya başka sebeple çıkabilecek yangın için zemin kat ve elektrik tesisatında aşırı yük sebebiyle çıkabilecek yangın için hanımlar mahfilinde duvar kenarı olarak alınmıştır. Kurgulanan senaryolar; Senaryo 1-A (kubbe kasnak pencereleri kapalı, yangın alt katta), Senaryo 2-A (kubbe kasnak pencereleri açık, yangın alt katta), Senaryo 1-B (kubbe kasnak pencereleri kapalı, yangın üst katta), Senaryo 2-B (kubbe kasnak pencereleri açık, yangın üst katta) olmak üzere 4 çeşitten oluşmaktadır.

750 kişilik Tip 6 Mevlana Cami'de yangının başlangıcından 500 saniyeye kadar olan duman, sıcaklık, görüş mesafesi ve gazların akış hızı dağılımları senaryolarda analiz edilmiştir. İnsanların herhangi bir zarar görmeden camiye tahliye edebilmeleri için gereken mevcut güvenli tahliye süresi (ASET) hesaplanmıştır. Duman dağılımı görüş mesafesini etkilemektedir, görünürlük dağılımında daha hassas ölçüm yapılabilmesinden dolayı ASET belirlenirken görüş mesafesi ve sıcaklık değerleri dikkate alınmıştır. Bu hesaplama yapılırken görüş mesafesinde eşik değer olarak 3 metre alınmıştır, çünkü bu değer altına indiğinde insanlar rotalarında daha ileri gidememektedirler. Yangın bölgesi hariç solunabilir hava sıcaklığı 60°C 'nin altında olduğunda güvenli olmasından dolayı sıcaklık eşik değeri 60°C olarak belirlenmiştir. Görüş mesafesi sıcaklığa göre daha kısa sürede tehlikeye sebep olduğu için görüş mesafesinin 3 metreye düşerek riskli hale geldiği süre mevcut güvenli tahliye süresi (ASET) olarak alınmıştır.

Yangının alt katta çıktığı Senaryo 1-A ve Senaryo 2-A'da duman; zemin kata 300. saniyelerde, asma kata 200. saniyelerde yayılarak kaçış için risk oluşturmaktadır. Yangının üst katta çıktığı Senaryo 1-B ve Senaryo 2-B'de duman; zemin katta 500 saniyenin sonunda çok az miktarda yayılırken, 300. saniyelerde asma kata yayılarak tehlike oluşturmaktadır.

Senaryo 1-A'da zemin katta 220. saniyelerde, hanımlar mahfili katında yaklaşık 130. saniyelerde görüş mesafesi 3 metrenin altına düşmeye başlayarak kaçış için risk oluşturmuştur. Senaryo 2-A'da; zemin katta 230. saniyede, hanımlar mahfili katında yaklaşık 150. saniyelerde görüş mesafesi 3 metrenin altına inerek kaçış için tehlike oluşturmuştur. Senaryo 1-B ve Senaryo 2-B'de zemin katta 500 saniyenin sonunda görüş mesafesi için risk oluşmamıştır. Asma katta ise Senaryo 1-B'de 170. saniyelerden itibaren, Senaryo 2-B'de 210. saniyelerden itibaren görüş mesafesi 3 metrenin altına düşerek tahliye için risk oluşturmaktadır.

Zemin katta 500 saniye sonunda sıcaklıklar yaklaşık olarak; Senaryo 1-A'da 46 °C'ye, Senaryo 2-A'da 42 °C'ye, Senaryo 1-B'de 25 °C'ye, Senaryo 2-B'de 21 °C'ye ulaştığı gözlenmiştir. Zemin katta sıcaklık tehlike oluşturmamaktadır. Mahfel katında Senaryo 1-A'da 360. saniyelerde, Senaryo 2-A'da 485. saniyelerde sıcaklık 60 °C'ye ulaşarak insan sağlığı üzerinde tehdit oluşturmaktadır. Mahfel katında 500 saniyenin sonunda sıcaklık; Senaryo 1-B'de 50 °C'ye, Senaryo 2-B'de 45 °C'ye ulaşarak risk oluşturmamaktadır.

Zemin katın mevcut güvenli tahliye süresi (ASET); Senaryo 1-A'da 220 saniyede, Senaryo 2-A'da 230 saniyedir ve bu süre içinde camiden insanların boşaltılması gerekmektedir. Asma katın, duman ilk buraya yayıldığı için zemin kata göre daha hızlı tahliye edilmesi gerekmektedir. Asma katın mevcut güvenli tahliye süresi (ASET); Senaryo 1-A'da 130 saniye, Senaryo 2-A'da 150 saniye, Senaryo 1-B'de 170 saniye, Senaryo 2-B'de 210 saniyedir.

750 kişilik Tip 6 Mevlana Cami'de güvenli tahliyenin gerçekleşebilmesi için gerekli güvenli tahliye süresi (RSET)'in hesaplanan mevcut güvenli tahliye süresi (ASET)'i aşmaması gerekmektedir.

Çizelge 5.1'de senaryolara göre sıcaklık ve görüş mesafesinin 500 saniyelik simülasyonda riskli hale geldiği saniyeler verilmektedir.

Çizelge 5.1. Senaryolara göre sıcaklık ve görüş mesafesinin 500 saniyelik simülasyonda riskli hale geldiği saniyeler

<u>Kat Adı</u>	<u>Risk Faktörü</u>	<u>Eşik Değerler</u>	Senaryo 1-A	Senaryo 2-A	Senaryo 1-B	Senaryo 2-B
Zemin Kat	Sıcaklık	60 °C	-	-	-	-
	Görüş Mesafesi	3 metre	220. saniye (ASET)	230. saniye (ASET)	-	-
Asma Kat	Sıcaklık	60 °C	360. saniye	485. saniye	-	-
	Görüş Mesafesi	3 metre	130. saniye (ASET)	150. saniye (ASET)	170. saniye (ASET)	210. saniye (ASET)

İncelenen yangın senaryolarında; gazların akış hızı dağılımı incelendiğinde gazların caminin tavanında birikerek bu noktalarda hızlarının en yüksek olduğu gözlenmektedir. Kubbe yangında çıkan toksik gazların depolanabileceği hacim oluşturmaktadır.

Kubbeler, cami örtüsü olarak kullanıldığında geniş alanlar oluşturmaktadır. Camide kubbenin altında herhangi bir yerde yangın meydana geldiğinde, kaldırma kuvvetinden dolayı yukarı duman akışı duman akışı doğru yönlenmektir. Duman kubbenin tepesine ulaşır ulaşmaz kubbeyi doldurmaya başlayarak, sonrasında caminin ana hacmine yayılmaya başlamaktadır. Kubbeler yangında dumanının depolanması için alan oluşturarak dumanın ana mekanlara yayılımını azaltmaktadır. Cami kubbesini ısıyan dumanın doldurmasıyla kubbede yüksek basınç oluşmaktadır. Coşkun ve diğer araştırmacıların yaptığı araştırmada üniversite binasında yer alan oda pencerelerinin tamamen açık olduğu durumlarda duman bina içerisine çok daha hızlı bir şekilde yayıldığı bulunmuştur (Coşkun, Demir ve Soyhan, 2018). Benzer olarak Long ve diğer araştırmacıların yaptığı araştırmada yurt binasında odaların pencereleri kapalıyken, pencerelerin açık olduğu duruma göre yangın tabakasının, oda sıcaklığının ve ısı akışının çok daha yüksek olduğu bulunmuştur (Long vd., 2017). İncelenen bu araştırmalarda; oda pencerelerinin açılması mekana temiz hava girişini sağlayarak ortamdaki yanıcı olan oksijen oranını arttırmasıyla yangının yayılımını hızlandırmaktadır. Ancak camilerde kubbedeki pencerelerin açılması tam tersi etki oluşturmaktadır. Camilerde kubbe kasnağındaki pencerelerin açılması içerdeki yüksek basınç oluşturan dumanın dışarı atılmasını sağlayarak ve dışardaki düşük basınçtaki havanın içeriye girmesine engel olmaktadır. Kubbe kasnağında açılan pencereler olumlu etki yaparak sıcaklık değerini düşürmüş, görünürlüğün 3 metrenin altına inme süresini de uzatmıştır.

Kubbe kasnağındaki pencerelerin açık olduğu durumda camide doğal havalandırma yapılmasını sağlayarak, yangında dumanın tahliye edilmesine yardımcı olmuş ve daha iyi sonuçlar vermiştir. Kubbe kasnağındaki 4 pencerenin yangın anında otomatik açılması yangında oluşan ısıyı ve dumanı camiden uzaklaştırarak kaçışa ve can güvenliğine katkı sağlamıştır. Yangın anında kubbe kasnağındaki otomatik açılır pencerelerin sayısının artırılması tahliye süresinin uzamasına katkı sağlayarak yangında can güvenliğini sağlamaya olumlu etki edeceği düşünülmektedir.

Yangının üst katta çıktığı senaryoda dumanın alt kata 500 saniye içerisinde yayılımı çok az olmuş ve alt katta tehlike oluşmamıştır. Asma katta da yangının alt katta çıktığı senaryoya göre daha uzun sürede tehlike durumu oluşmuştur. Yangın üst katta çıktığında camiye yangın ve duman yayılımı daha uzun sürmüştür. Kubbenin ısınan dumanı depolamaya olanak sağlaması bu sonuçların oluşmasında etkili olmuştur.

Bu çalışmada hesaplamalı akışkanlar dinamiği prensiplerine göre çalışan PyroSim programı kullanılarak, incelenen cami tipinde duman, sıcaklık, görüş mesafesi ve gazların akış hızı verileri incelenmiştir. PyroSim ile yapılan bu analizlerle yapıların henüz tasarım aşamasında iken alınabilecek önlemlerle bina yangın güvenliğinin en etkili şekilde yapılabilmesi görülmüştür.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, camide yangın senaryoları ve doğal havalandırma deliklerinin durumları çoğaltılarak can güvenliği için en uygun durumun belirlenmesi yangın güvenliği açısından faydalı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Albis, K. A. (2015). Fire dynamics simulation and evacuation for a large shopping center (mall): Part I, fire simulation scenarios. *American Journal of Energy Engineering*, 3(4), 52-71.
- Abdou, A. A. (2003). *Comparison of the acoustical performance of mosque geometry using computer model studies*. Eighth International IBPSA Conference, Eindhoven, 39-46.
- Abdullah, F. H., Majid, N. H. A., and Othman, R. (2016). Defining issue of thermal comfort control through urban mosque façade design. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 234, 416-423.
- Ahmad, T., Thaheem, M. J., Anwar, A., and Din, Z. u. (2016). Implications of stereotype mosque architecture on sustainability. *Procedia Engineering*, 145, 96-103.
- Aksoy, Z. V. (2001). *Klasik Osmanlı Dönemi Sinan camilerinin biçim grameri açısından irdelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-6.
- Akyön, F.V., Özcan, S. (2017). Camilerde Yangın Emniyetli Kriterlerinin Değerlendirilmesi, TÜYAK Uluslararası Yangın ve Emniyeti Sempozyumu, İstanbul.
- Alarifi, A., Phylaktou, H. N., and Andrews, G. E. (2016). *What kills people in a fire? Heat or smoke?*. 9th Saudi Students Conference Proceedings, Birmingham, England.
- Altındaş, S. (2010). *Kapalı hacim özelliklerine göre binalarda öngörülen yangına direnç sürelerinin belirlenmesine yönelik bir model önerisi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-6.
- Arpacıoğlu, Ü. (2004). *Yangın olgusu ve yüksek yapılarda yangın güvenliği*. Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-2.
- Arpacıoğlu, Ü. (2009). Yangınların yüksek yapılarda yangın güvenliği gelişimine etkisi. *Tasarım+ kuram dergisi*, 5(8), 30-42.
- Averill, J. D., Mileti, D. S., Peacock, R. D., Kuligowski, E. D., Groner, N., Proulx, G., Reneke, P. A., and Nelson, H. E. (2005). *Occupant behavior, egress, and emergency communications- federal building and fire safety investigation of the World Trade Center disaster*. National Institute of Standards and Technology National Construction Safety, Gaithersburg, MD (USA), 1-7.
- Balık, G. (2003). *Geniş hacimlerde duman hareketinin sayısal incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-5.
- Balık, G., Beceren, K., ve Kılıç, A. (2003). *Doğal duman tahliyesinde optimum havalandırma açıklığının sayısal yöntemle belirlenmesi*. VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, İzmir.
- Bas, E. (2004). *Indoor air quality: A guide for facility managers*. Fairmont Press, New York.

- Başdemir, H., ve Demirel, F. (2010). Binalarda pasif yangın güvenlik önlemleri bağlamında bir literatür araştırması. *Politeknik Dergisi*, 13(2), 101-109.
- BSI (British Standards Institution), 2004. The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings, European Standard, PD7974-6, London.
- Carter, H. R. (1998). *Fire fighting strategy and tactics: featuring an 8-step process for sizeup*. Fire Protection Publications, Oklahoma State University.
- Chi, J.-H. (2014). Using FDS program and an evacuation test to develop hotel fire safety strategy. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 37(3), 288-299.
- Coşkun, G., Demir, U., ve Soyhan, H. S. (2018). Sakarya üniversitesi M-7 binası için yangın simülasyonu ve duman tahliye stratejilerinin incelenmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 135-149.
- Çebi, F., ve Böke, Y. E. (2013). Atrium içeren çok katlı binalarda duman dağılımının sayısal incelenmesi. *TTMD*, 23-29.
- Demir, Ü., ve Coşkun, G. (2018). Atriumlu binalarda duman emiş fanı seçiminin hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi ile belirlenmesi. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 6(3), 138-144.
- Diyanet İşleri Başkanlığı Arşivi, (2020). Cami tip projeleri, Ankara.
- Dong, S. H., Li, M., and Lin, Y. H. (2015). Study on numerical simulation of fire and evacuation for a supermarket. *Applied Mechanics and Materials*, 744, 1736-1740.
- Du, T., Yang, D., Peng, S., Liu, Y., and Xiao, Y. (2016). Performance evaluation of longitudinal and transverse ventilation for thermal and smoke control in a looped urban traffic link tunnel. *Applied Thermal Engineering*, 96, 490-500.
- Faghil, A. K., and Bahadori, M. N. (2011). Thermal performance evaluation of domed roofs. *Energy and Buildings*, 43(6), 1254-1263.
- Fang, T. Y., Li, T., Jiao, Y., and Khaletski, V. (2019). *Simulation study on the effects of different flow conditions on the combustion of square fire*. E3S Web of Conferences, EDP Sciences.
- Gao, R., Li, A., Zhang, Y., and Luo, N. (2015). How domes improve fire safety in subway stations. *Safety Science*, 80, 94-104.
- Gawad, A. A., Ghulman, H. (2015). Prediction of smoke propagation in a big multi-story building using fire dynamics simulator (FDS). *American Journal of Energy Engineering*, 3(4-1), 23-41.
- Glasi, J., Valasek, L., Weisenpacher, P., and Halada, L. (2013). *Cinema fire modelling by FDS*. Journal of Physics: Conference Series, 410(1).
- Glasi, J., Valasek, L., Weisenpacher, P., and Halada, L. (2012). Use of PyroSim for simulation of cinema fire. *International Journal on Recent Trends in Engineering and Technology*, 7(2), 51-56.

- Gutierrez-Montes, C., Sanmiguel-Rojas, E., Kaiser, A. S., and Viedma, A. (2008). Numerical model and validation experiments of atrium enclosure fire in a new fire test facility. *Building and Environment*, 43(11), 1912-1928.
- Gutierrez-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.
- Gültek, M. Ö. (2005). *Yangın güvenliği çerçevesinde atriumlu alışveriş merkezlerinin mevzuat değerlendirmesi ve örnek projeler aracılığı ile kaçış yollarının simülasyonu*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-45.
- Gwynne, S. M. V, and Boyce, K. E. (2016). Engineering Data. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, Springer, New York, 2429-2551.
- İnce, A. (2016). *Hastanelerde yangın güvenliği ve tahliye gerekleri üzerine bir irdeleme*. Yüksek Lisans Tezi, Üsküdar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 4-5.
- İnternet: CTIF, World fire statistics. URL: <https://www.ctif.org/world-fire-statisticsn>. Son Erişim Tarihi: Aralık 2020.
- İnternet: Diyanet İşleri Başkanlığı, İstatiksel Tablolar. URL: <https://stratejigelistirme.diyanet.gov.tr/sayfa/57/istatistikler>. Son Erişim Tarihi: Aralık 2020.
- İnternet: Berksan, M., Kusurlu bir yapı olarak cami. URL: <http://www.arkitera.com/gorus/591/kusurlu-bir-yapi-olarak-cami>. Son Erişim Tarihi: Aralık 2020.
- İnternet: NFB, NFB fire safety regulations. URL: <http://www.universe.us/russian-national-standards.cfm?type=NPB&t=Fire%20Safety%20Regulations&dt=35&d=0&start=51&srchval=>. Son Erişim Tarihi: Aralık 2020.
- İnternet: NFPA, NFPA codes and standards. URL: <https://www.nfpa.org/Codes-and-Standards/All-Codes-and-Standards/List-of-Codes-and-Standards>. Son Erişim Tarihi: Aralık 2020.
- İnternet: Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Respiratory Protection. URL: <https://www.osha.gov/laws-regs/federalregister/1998-01-08>. Son Erişim Tarihi: Aralık 2020.
- İnternet: Our World in Data, Date rate from fires. URL: <https://ourworldindata.org/grapher/fire-death-rates>. Son Erişim Tarihi: Aralık 2020.
- İnternet: RIBAJ, How Europe regulates fire safety. URL: <https://www.ribaj.com/intelligence/how-europe-does-it-grenfell-intelligence-tom-de-castella>. Son Erişim Tarihi: Aralık 2020.
- İnternet: TÜİK, Türkiye nüfusu. URL: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2020-37210>. Son Erişim Tarihi: Mart 2021.

İnternet: Yangın, Yangının Yapısı ve Gelişimi. URL: <http://hatira.4mg.com/yanmar.htm>. Son Erişim Tarihi: Aralık 2020.

İplikçi, E. (2006). *Binalarda yangın güvenlik önlemlerinin analizi ve yangın güvenli bina tasarımına ilişkin performans kriterlerinin ortaya konulması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-4.

İstanbul İtfaiye Müdürlüğü İstatistikleri 2015-2020, İtfaiye Müdürlüğü, İstanbul.

Karakoyun, Ç. E. (2018). *Kapalı hacim yangınlarında güneş kırıcı elemanların düşey yangın yayılımına etkisinin sayısal modelleme yöntemi ile incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-5.

Kaya, O., ve Isıkan, M. O. (2019). Yüksek kamu binalarında duman tahliyesinin simülasyon metoduyla incelenmesi. *International Journal of Advances in Engineering Pure Sciences*, 31(3), 223-231.

Kayılı, S., ve Eralp, O. C. (2011). Fire dynamics simulator programıyla yer altı toplu taşıma sistemleri istasyonlarında yangın ve havalandırma simülasyonu. *Engineer the Machinery Magazine*, 52(612).

Khandoker, M. A. R., Mou, R. J., Muntaha, M. A., and Rahman, M. A. (2018). *Numerical simulation of fire in a multistoried ready-made garments factory using PyroSim*. AIP Conference Proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering, AIP Publishing LLC.

Kılıç, A. (2018). Gelişmiş ülkelerde ve Türkiye’de yangın istatistikleri. *Yangın ve Güvenlik Dergisi*, 199, 8-10.

Kılıç, A., ve Beceren, K. (1999). *Mimari tasarımda yangın güvenliği*. IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, İzmir.

Kılıç, M. (2003). Yapılarda yangın güvenliği ve söndürme sistemleri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 8(1), 59-70.

Kırtaş, H. A. (2017). *Engelli bireylerin yangın tahliyesinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 3.

Li, M.-x., Zhu, S.-b., Wang, J.-h., and Zhou, Z. (2018). Research on fire safety evacuation in a university library in Nanjing. *Procedia Engineering*, 211, 372-378.

Lin, Y., and Zmeureanu, R. (2008). Computer model of the airflow and thermal phenomena inside a large dome. *Energy and Buildings*, 40(7), 1287-1296.

Long, X., Zhang, X., and Lou, B. (2017). Numerical simulation of dormitory building fire and personnel escape based on Pyrosim and Pathfinder. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 40(3), 257-266.

Maslow, A. H. (1943). A theory of human motivation. *Psychological review*, 50(4), 370.

McGrattan, K., Hostikka, S., McDermott, R., Floyd, J., Weinschenk, C., and Overholt, K. (2013). Fire dynamics simulator user’s guide. *NIST special publication*, 1019(6).

- McGrattan, K., McDermontt, R., Hostikka, S., and Floyd, J. (2010). Fire dynamics simulator (Version 5), User's Guide. *NIST special publication*, 1019(5), 1-186.
- Mirahadi, F., McCabe, B., and Shahi, A. (2019). IFC-centric performance-based evaluation of building evacuations using fire dynamics simulation and agent-based modeling. *Automation in Construction*, 101, 1-16.
- Imam, S. M. N. (2000). *Mosque architecture: formulation of design criteria and standards in the context of Bangladesh*. Master Thesis, Bangladesh University of Engineering and Technology (DUET), Bangladesh.
- NFPA-92B. (2009). NFPA 92B: Guide for smoke management systems in malls, atria, and large spaces. Massachusetts: National Fire Protection Association, Quincy.
- NFPA 204. (2021). NFPA 204, Guide for smoke and heat venting. Massachusetts: National Fire Protection Association, Quincy.
- Önkal, A., ve Bozkurt, N. (1993). Cami 'dini ve sosyokültürel tarihi'. *TDV İslam Ansiklopedisi*. Türkiye Diyanet Vakfı Yayın Matbaacılık ve Ticaret İşletmesi, İstanbul, 47-55.
- Özkan, E. (2002). *Çelik yapı bileşenlerinde alınması gereken yangın güvenlik önlemleri ve bir uygulama örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Diettes, S. M. P. (2019). *Evaluation of strategies for the integration of building information modelling (BIM) with simulation of fires in enclosures*. Master Thesis, Lund University of Fire Safety Engineering, Lund.
- Pitana, T., Zaman, M. B., Perdana, D. C. K., and Nurwahyudi, A. (2017). Analysis evacuation route for KM Zahro Express on fire condition using agent based modeling and fire dynamics simulator. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, 1(4).
- Qin, T. X., Guo, Y. C., Chan, C. K., and Lin, W. Y. (2006). Numerical investigation of smoke exhaust mechanism in a gymnasium under fire scenarios. *Building and Environment*, 41(9), 1203-1213.
- Rahman, M. F. B. A., Mastuki, N. a., and Yusof, S. N. S. (2015). Performance measurement model of mosques. *Procedia Economics and Finance*, 31, 26-35.
- Rathnayake, R., Sridarran, P., and Abeynayake, M. (2020). *Factors contributing to building fire incidents: A review*. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Dubai.
- Ryder, N. L., Sutula, J. A., Schemel, C. F., Hamer, A. J., and Brunt, V. V. (2004). Consequence modeling using the fire dynamics simulator. *Journal of hazardous materials*, 115(1-3), 149-154.

- Savaş, E. (2015). *Hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı (Fluent) kullanılarak bir işyerinde yangın acil durumunda duman tahliyesi modellenmesi*. İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Sevindi, F. (2006). *Yangınla ilgili mevzuatlar çerçevesinde toplanma amaçlı yapılarda kaçış yollarının analizi ve bir örnek çalışma*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-9.
- Shan-jun, M. O., Zhe, Z., Dong, L., and Zhi-jian, H. U. (2011). Engineering simulation of smoke extraction design in atrium fires of student union. *Procedia Engineering*, 11, 325-334.
- Shen, T.-S., Huang, Y.-H., and Chien, S.-W. (2008). Using fire dynamic simulation (FDS) to reconstruct an arson fire scene. *Building and Environment*, 43(6), 1036-1045.
- Shoshe, M., and Rahman, M. (2019). *Spread and propagation of generic shopping mall fire of Bangladesh under different scenarios*. Proceedings of International Conference on Disaster Risk Management, Dhaka.
- Sime, J. D. (1984). *Escape behaviour in fires: 'Panic' or affiliation?* PhD thesis, Department of Psychology, University of Surrey, Guilford.
- Stefanidou, M., Athanaselis, S., and Spiliopoulou, C. (2008). Health impacts of fire smoke inhalation. *Inhalation toxicology*, 20(8), 761-766.
- Sun, Q., and Turkan, Y. (2019). A BIM Based Simulation Framework for Fire Evacuation Planning. In *Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering*, Springer, Cham, 431-438.
- Şimşek, Z. (2013). *Sağlık yapılarında yangın güvenliğinin ve duman kontrolünün sağlanmasına ilişkin modelleme yöntemi*. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 1-6.
- Taib, M. Z. M., and Rasdi, M. T. (2012). Islamic architecture evolution: perception and behaviour. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 49, 293-303.
- Top, S. M., ve Topraklı, A. Y. (2019). Camilerde panik durumunun değerlendirilmesi üzerine derleme çalışması. *Journal of Social Humanities Sciences Research*, 6(38), 1555-1565.
- Topraklı, A.Y. (Editör), (2019). *Cami Planlama ve Tasarımı Projesi 1. Çalıştay*. Basılmamış kitap.
- Topaloğlu, B. (1993). Cami. *TDV İslam Ansiklopedisi*. Türkiye Diyanet Vakfı Yayın Matbaacılık ve Ticaret İşletmesi, İstanbul, 92-93.
- TS EN 2-Yangınların Sınıfları. (1998) TSE, Ankara.
- TS EN 2/A1-Yangınların Sınıfları. (2013). TSE, Ankara.

- Valasek, L. (2012). *The use of PyroSim for creation of the input FDS geometry for cinema fire simulation*. Recent Advances in Systems Science and Mathematical Modelling, Proc. of the European Conference of Systems, Paris.
- Valasek, L. (2013). The use of PyroSim graphical user interface for FDS simulation of a cinema fire. *International Journal of Mathematics Computers in Simulation*, 7(3), 258-266.
- Wang, S.-H., Wang, W.-C., Wang, K.-C., and Shih, S.-Y. (2015). Applying building information modeling to support fire safety management. *Automation in Construction*, 59, 158-167.
- Weng, M., Obadi, I., Wang, F., Liu, F., and Liao, C. (2020). Optimal distance between jet fans used to extinguish metropolitan tunnel fires: A case study using fire dynamic simulator modeling. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 95.
- Wessel, D. J. (2001). ASHRAE fundamentals handbook 2001 (SI edition). *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers*, 31.
- Xu, X.-y., Wang, Z.-h., Liu, X.-y., Ji, C., Yu, N.-h., Zhu, H.-y., Li, J.-j., and Wang, P.-f. (2018). Study on fire smoke control in super-high building atrium. *Procedia Engineering*, 211, 844-852.
- Yazıcı, Ö. (2013). *Metro istasyonları ve tünellerinde yangın ve tedbirlerinin analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 9-11.
- Yu, Y., Chu, Y.-Y., Zhang, Q.-X., and Liang, D. (2014). *Numerical Study on Smoke Exhaust in Large-Scale Underground Public Buildings*. 7th International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, IEEE.
- Yüzücü, İ. (2017). *Yangın Simülasyon Sonuçlarına Bağlı Olarak Tahliye Senaryolarının Geliştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Sakarya, 1-13.
- Zhao, G., and Lin, J. (2010). *Study on the emergency response at fire scene*. 5th Conference on Performance-Based Fire and Fire Protection Engineering, Guang-Zhou, China.



GAZİ GELECEKTİR..