



## Analysis of the open or closed conditions of drum windows effect on visibility and temperature propagation with fire dynamics simulation in domed mosque design

Semahat Merve Top\*<sup>ID</sup>, Abdurrahman Yağmur Topraklı<sup>ID</sup>

Department of Architecture, Faculty Architecture, Gazi University, 06570, Maltepe, Ankara, Turkey

### Highlights:

- Fire dynamics simulation in the domed mosque
- The effect of the dome drum windows (i.e. open or closed) on fire safety
- Examination of the available safe egress time (ASET) of domed mosque design

### Graphical/Tabular Abstract

Name of Floor	Risk Factor	Limit	Risk Time (Fire size-750 kW)	
			Scenario 1 (Dome windows closed)	Scenario 2 (Dome windows open)
Ground Floor	Temperature	60°C	-	-
	Visibility	3m	220s	230s
Ladies' Section (First Floor)	Temperature	60°C	360s (ASET)	485s (ASET)
	Visibility	3m	130s (ASET)	150s (ASET)

**Table A.** Available Safe Egress Time (ASET) of The Domed Mosque Floors

### Keywords:

- domed mosque design
- dome drum windows
- fire analysis in mosques
- fire dynamics simulation
- pyrosim

**Purpose:** Investigating effects of open or closed scenarios of dome drum windows of the Type 6 Mevlana Mosque. Temperature and visibility on human safety in the first 500 seconds from the beginning of the fire are also investigated.

### Theory and Methods:

This study is focusing on the effects of the fire situation in a 750 people capacity mosque which is one of the domed mosque projects prepared by Presidency of Religious Affairs of Turkey. In this study, the package program "PyroSim", which is one of the prevalent programs for fire dynamic simulations (FDS) is used.

### Article Info:

Research Article  
Received: 27.05.2021  
Accepted: 06.11.2021

### Results:

As an outcome of the simulation, it is found that the available safe egress time (ASET) on the ground floor is 220 seconds in closed windows condition (Scenario 1) and 230 seconds in open windows condition (Scenario 2). The available safe egress time (ASET) in the ladies' section is found as 130 seconds for in closed windows condition (Scenario 1), 150 seconds for in open windows condition (Scenario 2). It is concluded that in open windows condition ASET time is increased respectively 10 seconds and 20 seconds for ground and first floor.

### DOI:

10.17341/gazimmfd.943656

### Correspondence:

Author: Semahat Merve Top  
e-mail:  
s.ERVE94M@GMAIL.COM  
phone: +90 506 217 6694

### Conclusion:

Using operable windows in mosque dome drums with open condition increases available safe egress time (ASET) by exhausting the smoke in a fire.

- Fire simulation in the domed mosque
  - The effect of the dome drum windows (i.e. open or closed) on fire safety
- Examination of the available safe egress time (ASET) in 750 kW fire in the Type 6 Mevlana Mosque with a capacity of 750 people



## Kubbeli cami tasarımında kasnak pencerelerinin açık veya kapalı durumunun görünürlük ve sıcaklık yayılımına etkisinin yangın dinamik simülasyonu ile analizi

Semahat Merve Top\*<sup>ID</sup>, Abdurrahman Yağmur Topraklı<sup>ID</sup>

Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 06570, Maltepe, Ankara, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Kubbeli camide yangın dinamik simülasyonu
- Kubbe pencerelerinin (açık veya kapalı olduğu durumların) yangın güvenliğine etkisi
- Kubbeli cami tasarımında mevcut güvenli tahliye süresinin (ASET) incelenmesi

### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 27.05.2021

Kabul: 06.11.2021

### DOI:

10.17341/gazimmfd.943656

### Anahtar Kelimeler:

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

### ÖZ

Bu çalışmada, Diyanet İşleri Başkanlığı tarafından hazırlanan kubbeli cami projelerinden biri olan 750 kişilik Tip 6 Mevlâna Camii'nde 750 kW büyüklüğündeki yangının farklı senaryolarında ortaya çıkabilecek sonuçlar üzerinde durulmaktadır. Bu senaryolar; Senaryo 1 (kubbe kasnak pencereleri kapalı) ve Senaryo 2 (kubbe kasnak pencereleri açık) olmak üzere 2 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 "PyroSim" simülasyon programı kullanılmıştır. Çıkan sonuçlara göre, zemin kattaki risk süresi kubbe pencerelerinin kapalı olduğu durumda 200 saniye, pencerelerin açık olduğu durumda 350 saniye olduğu bulunmuştur. Hanımlar mahfilindeki risk süresi; pencerelerin kapalı olduğu durumda 120 saniye, pencerelerin açık olduğu durumda 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.

## Analysis of the open or closed conditions of drum windows effect on visibility and temperature propagation with fire dynamics simulation in domed mosque design

### H I G H L I G H T S

- Fire dynamics simulation in the domed mosque
- The effect of the dome drum windows (i.e. open or closed) on fire safety
- Examination of the available safe egress time (ASET) of the domed mosque design

### Article Info

Research Article

Received: 27.05.2021

Accepted: 06.11.2021

### DOI:

10.17341/gazimmfd.943656

### Keywords:

Domed mosque design,  
dome drum windows,  
fire analysis in mosques,  
fire dynamics simulation,  
pyrosim

### ABSTRACT

This study is focusing on the consequences of different scenarios of 750 kW fire in the Type 6 Mevlâna Mosque with a capacity of 750 people, which is one of the domed mosque projects prepared by Presidency of Religious Affairs. These scenarios include 2 types that are Scenario 1 (i.e. dome drum windows closed) and Scenario 2 (i.e. dome drum windows open). In these scenarios, the available safe egress time (ASET) was found by examining the effects of temperature and visibility on people's safety in the first 500-second period from the beginning of the fire. In this study, the simulation program "PyroSim", which is one of the fire dynamics simulations (FDS) is used. Results of the simulation show that, ASET of the ground floor is 200 seconds when the dome windows are closed, when the windows are open, it is 350 seconds. For the ladies' section, ASET is 120 seconds when the windows are closed, when they are open it is 135 seconds. 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.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Mimari tasarımın çözüm aradığı problemlerinden biri insanların temel gereksinimlerinden olan emniyettir [1]. A. H. Maslow'un insanın temel gereksinimleri önem sırasına göre sıralaması; fizyolojik gereksinimler, güvenlik gereksinimi, toplumsal gereksinimler, benlik gereksinimleri ve kendini gerçekleştirme gereksinimi şeklindedir [2]. Emniyet temel gereksinimlerde, fizyolojik gereksinimlerden sonra ikinci sırada yer almaktadır.

Binalar, genellikle 60 yıldan fazla dayanacak şekilde tasarlanmış uzun ömürlü yapılardır [3]. 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 tanımlanabilir [3]. Binalarda çıkan yangınlar hem emniyet üzerinde hem de yapılar üzerinde ciddi hasarlar oluşturmaktadır. Türkiye'de ortalama her yıl 10 000-20 000 yangın çıkmakta 200-1000 insan ölmektedir [4]. Yangınlarda ölümlerin asıl sebebi duman zehirlenmesidir. İstatistikler, yangında, duman parçacıklarının solunmasında, toksik gaz boğulmasının toplam ölüm sayısının %85'ini oluşturduğunu göstermektedir [5]. Duman yangında insan hayatını tehlikeye atan en büyük risktir.

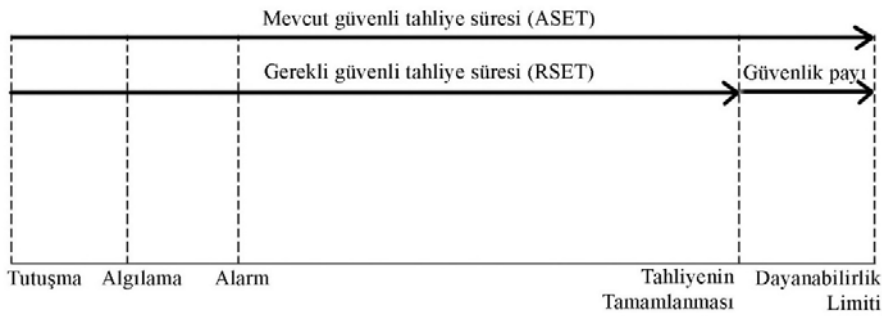
Yangın emniyetini sağlamada duman kontrolünü sağlamak can kayıplarını ve yaralanmaları önleyebilmek için gereklidir [6]. Dumanın kontrol altına alınabilmesi için birçok değişken değerlendirilmektedir. Bunlardan en önemlileri yangının büyüklüğü ve yangının çıktığı mekânın mimari yapısıdır [7]. Tasarımda 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 [7, 8]. Duman yayılımının tahmini hesaplaması, insan hayatını kurtarmaya yardımcı olmaktadır.

Ayrıca, yangın emniyeti stratejisinin bir parçası olarak duman yayılımının tahminiyle yangın anında binadaki insanların binayı boşaltmaları için gereken mevcut güvenli tahliye süresi (ASET) bulunabilmektedir. Bir binadaki

yangın emniyeti, 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 emniyetli şekilde tahliye edebilmektedir [9]. Şekil 1'de tahliye zaman çizelgesi gösterilmektedir.

Camiler Müslümanlar için ibadet yeri ve çok fonksiyonlu toplanma alanı olarak önemli bir yapı tipolojisidir. Kamusal toplanma alanı ve kentsel merkezlerden biridir camiler. Bu sebeplerden ötürü cami, işlevini aşarak kentsel ve toplumsal mekân olarak görülerek imgesel yapı olarak algılanmaktadır [11]. 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 emniyeti üzerine az sayıda çalışma bulunmaktadır. Türkiye'de yaklaşık 936 kişi başına 1 cami düşmektedir. Ülkemizin hemen hemen her yerinde bulunan camiler, yerleşim merkezlerinde önemli bir yere sahip olduğunu göstermektedir [1].

Camilerin en önemli fonksiyonu 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. Oluşabilecek yangın durumunda camideki insanların zamanında tahliye edilmesi önemlidir. Bu yüzden camilerde yangın ve duman yayılımının bilinebilmesi için araştırılması gerekmektedir. Tablo 1'de 2015-2020 yılları arasında camilerde yaşanan yangın olayları incelendiğinde; camilerde meydana gelen yangınların genelde maddi hasara neden olduğu ve yangınların en çok elektrik ve kundaklama sebebiyle çıktığı görülmektedir. İncelenen 64 camide gerçekleşen yangın olayının 30 tanesi kubbeli camilerde 34 tanesi kırma çatılı camilerde meydana gelmiştir.

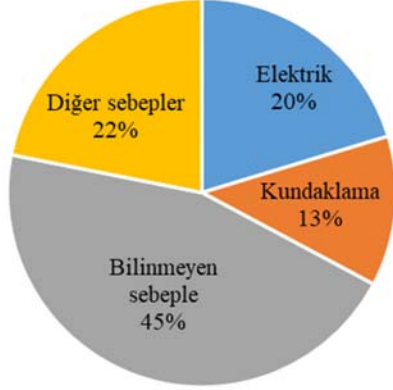


Şekil 1. Tahliye zaman çizelgesi [10] (Evacuation timeline)

**Tablo 1.** 2015- 2020 yılları arasında camilerde yaşanan yangın olayları (Fire incidents in mosques between 2015-2020)

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 ısınlma nedeniyle	Ahşap tavan, kubbe ve döşemelerde hasar
2020	Kocaeli / Türkiye	Hz. Ömer Camii	Kubbeli	izolasyonun tutuşması Bahçedeki çardakta bulunan odunların tutuşması	Maddi hasar
2020	Nevşehir / Türkiye	Kurşunlu Cami	Kubbeli	Bilinmiyor	Maddi hasar
2020	Ardahan / Türkiye	Yani Beyrehatun Köyü Camii	Kırma Çatılı	Soba	Maddi hasar
2020	Lyon / Fransa	Omar 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	Fatullah Tolla Baitus-Salam 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	Çatı 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 Ustaoglu Mah. Cami	Kırma Çatılı	Bilinmiyor	Cami kullanılamaz durumda
2019	Niğde / Türkiye	Alaaddin Camii	Kubbeli	Elektrik kontağı	Maddi hasar
2019	Denizli / Türkiye	Muratdede Camii	Kırma Çatılı	Yan taraftaki metruk binadan yangının sıçraması	Cami kullanılamaz durumda
2019	Kocaeli / Türkiye	Arapçeşme Mah. Merkez Camii	Kubbeli	İnşaat çalışmaları	Çatıda 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	Çatıda maddi hasar
2019	Bolu / Türkiye	Elmacık Dereköy Abdullar Mah. 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	Fatih 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	ITU Cami	Kubbeli	Camide izolasyon malzemelerinin tutuşması	Maddi hasar
2018	Giresun / Türkiye	Boztekke Köyü Merkez Camii	Kırma Çatılı	Bilinmiyor	Cami kullanılamaz durumda
2018	Şanlıurfa / Türkiye	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 kontağı	Cami kullanılamaz durumda
2018	Aydın / Türkiye	Kozalaklı Mahallesi Cami	Kırma Çatılı	Minareye yıldırım düşmesi	Maddi hasar
2018	Bolu / Türkiye	Ağaçlılar Köyü Camisi	Kubbeli	Bilinmiyor	Maddi hasar
2018	Sakarya / Türkiye	Yunus Emre Camisi	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
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 siteminin 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	Fahrnissa Cami	Kırma Çatılı	Bilinmiyor	Maddi hasar

Şekil 2’de 2015-2020 yılları arasında camilerde çıkan yangınların sebepleri incelendiğinde; %20’sinin elektrik, %13’ünün kundaklama, %45’inin bilinmeyen sebeple ve %22’sinin diğer sebeplerle yangının çıktığı görülmektedir.



**Şekil 2.** 2015- 2020 yılları arasında camilerde çıkan yangınların sebepleri  
(Causes of fires in mosques between 2015-2020)

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 [12] ve kubbeli cami tipi olan 750 kişi kapasiteli Tip 6 Mevlâna Cami’de farklı yangın senaryolarının simülasyonu ile yangın ve duman yayılımı tespit edilip mevcut güvenli tahliye süresinin (ASET) belirlenmesi amaçlanmaktadır.

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 Mevlâna Cami’de kubbe kasnağındaki pencereler açık veya kapalı olduğu duruma göre ve 750 kW’lık yangının çıkma ihtimalinin en yüksek olduğu zemin katta farklı senaryolar kurgulanmaktadır. Bu senaryolar; kubbe kasnak pencerelerinin kapalı modellendiği Senaryo 1 ve kubbe kasnak pencereleri açık modellendiği Senaryo 2’dir. Kurgulanan bu senaryolarda yangın çıktıktan sonraki 500 saniye boyunca; duman, sıcaklık, görüş mesafesi ve gazların akış hızı parametrelerinin insanların emniyetine etkisi incelenmektedir.

Günümüzde, yangının bilgisayarla simülasyonu belirli bir yapıda gerçek yangını taklit eden bir araç olarak kullanılabilir. Yangın, model deneyleriyle yapılabilmekle 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 edilebilmektedir.

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 [13].

Yangın Dinamik Simülasyonu (FDS), 2000 yılında yayınlanan, yangın emniyeti için özel olarak geliştirilmiş ücretsiz bir yazılımdır [14]. FDS yangın emniyeti problemlerinin çözümü için kullanılmaktadır. Yangın dinamiği simülasyonu (FDS), yangından çıkan duman ve sıcak gazların akışını modelleyen hesaplamalı akışkan dinamiği (CFD) modelidir [15]. PyroSim, NIST tarafından geliştirilen Yangın Dinamik Simülasyonu (FDS)’nin grafiksel ara yüzüdür [16]. PyroSim, FDS simülasyonları için girdilerin hazırlanmasını kolaylaştırmak, yangın modelleri oluşturmak ve analizini yapmak amacıyla geliştirilmiştir [17]. FDS ve SmokeView, arayüz programı PyroSim ile entegreli olarak çalışmaktadır. PyroSim simülasyonu sonuçları, inşaata başlamadan önce binaların emniyetini sağlamak, kaza sonrası soruşturma ve araştırma için yangınları yeniden inşa etmek ve itfaiyecilerin eğitimine yardımcı olmak için kullanılmaktadır [18].

Khandoker, Mou, Muntaha ve Rahman yaptıkları çalışmada PyroSim kullanarak fabrika binası yangın durumunu modelleyerek kullanıcıların risk süresi incelenmiştir. Sıcaklık, görünürlük düzeyi, CO konsantrasyonu gibi faktörlerin, farklı bölge ve zeminlerdeki etkileri araştırılmıştır [16]. Li, Zhu, Wang ve Zhou yaptıkları çalışmada Nanjing Üniversite Kütüphanesinde yangın durumundaki, duman yayılımı ve insan tahliyesini simüle etmek için PyroSim ve Pathfinder yazılımı kullanılmıştır. Yangın söndürme sistemi başarısız olduğu durumdaki yangının yayılımını ve tahliye durumunu araştırılmışlardır. Sıcaklık, duman katmanın yüksekliği, görünebilirlik, CO konsantrasyonu ve FED değerinin simülasyonda karşılaştırmalı analizlerinden sonuçlar elde edilmiştir [19]. Long, Zhang ve Lou 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. Elde edilen

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 bulunmuştur [20]. Dong Li ve Lin bir süpermarketin 3 boyutlu halini Pyrosim yazılımını kullanarak yangın sahnesiyle modellemişlerdir. Yangın mahallinin tehlike süresi; duman sıcaklığı ve farklı zamanlardaki görüş mesafesine göre analiz edilmiştir [21]. Chi 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 [22].

Literatürde de yaygın olarak kullanılan FDS'nin grafik kullanıcı ara yüzü olan PyroSim programı, cami yangınının bilgisayar simülasyonu için bu çalışmada kullanılmıştır. Düşük maliyetli bu modellemeyle, yangın senaryoları test edilerek binaların daha tasarım aşamasındayken denemeye imkân sağlamaktadır. Yangın sahnesi simülasyonu yapılması, yangın süreçleri inşa edilmesini, yangın gelişimi ve duman hareketi simülasyon ile incelenmesine olanak sağlamaktadır.

## 2. DENEYSSEL YÖNTEM (EXPERIMENTAL METHOD)

Diyanet İşleri Başkanlığı'nın cami tip projelerinden yaygın olarak kullanılan Tip 6 Mevlâna Cami modellenmiştir. Simülasyonda yangın durumunu incelemek için cami modeli sadeleştirilmiştir. Model PyroSim yazılımında yapılarak simüle edilmesinden sonra çıkan sonuçlar ve bunların Smokeview arayüz programındaki çıktıları grafikler halinde verilmektedir. Bu çalışmada FDS 6.7.5 ve Smokeview 6.7.15 kullanılmıştır.

### 2.1. İncelenen cami tipi ve 3 boyutlu CAD modeli (Investigated mosque type and its 3D CAD model)

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 [12]. 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 yapacağı araziye göre camiye bodrum kat ekleyerek veya çıkararak revizyonlarla uygulamaktadırlar. Böylelikle projelerde yapılan yanlışlar azaltılarak cami projelendirme sürecinde standart tiplerden yararlanılmasıyla kolaylaştırılmıştır. Bu çalışmada DİB'in cami tip projelerinden biri olan 750 kişi kapasiteli Tip 6 Mevlâna Cami incelenecektir. Diyanet'in tip projeleri uygulanırken araziye göre bodrum kat eklenebilmekte ya da camiden çıkartılabilmektedir. Bu çalışmada bodrum katın duman ve

yangın yayılımına etkisi çok az olacağından incelenen cami modelinde bodrum kat hariç tutulmuştur. Tip 6 Mevlâna Cami'nin bodrum katı çıkartılarak, cami sadeleştirilerek modellenmiştir. Tip 6 Mevlâna Cami'nin CAD modelini yapmak için Revit ve PyroSim kullanılmıştır. Simülasyonu yapılan cami modeli 2 kattan oluşmaktadır. Zemin katta ana ibadet mekânı olarak namazgah, 1.kat bayanların ibadet etmesi için ayrılan hanımlar mahfeli asma kat gibi çalışmakta ve son cemaat yerinden merdivenle çıkılmaktadır. Şekil 3'te Tip 6 Mevlâna Cami'nin PyroSim modellemesinde kullanılan basitleştirilmiş zemin ve mahfel kat planları gösterilmiştir.

Çatı modellemesi yapılırken kırma çatının olduğu yerler eğimsiz düz bir döşeme olarak modellenmesi yapılmıştır. Camilerin ışık alması için yapılan kubbe kasağındaki pencereler sabit olarak yapılmakta ve açılmamak üzere tasarlanmıştır. Tip 6 Mevlâna Cami'nde 20 adet 80 cm x 120 cm ölçülerinde kubbe kasağında sabit pencereler bulunmaktadır. Bu çalışmada kubbe kasağında yer alan pencerelerin yangına etkisini incelemek için kasağında 4 adet 100 cm x 100 cm ölçülerinde otomatik açılır pencereler tasarlanmıştır. Şekil 4'te Tip 6 Mevlâna Caminin kubbe kasağındaki pencere halinin basitleştirilmiş kubbe kat planı ve PyroSim'de basitleştirilmiş modeli gösterilmektedir.

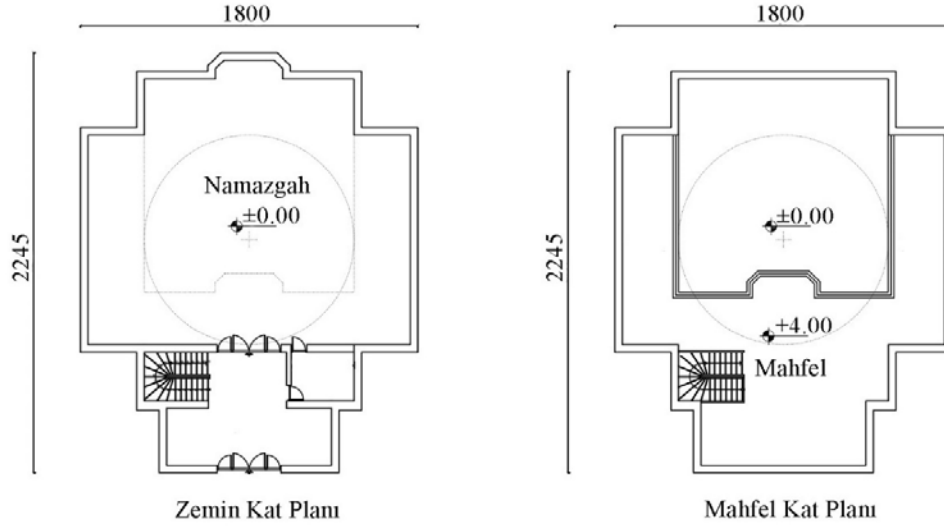
### 2.2. Yangın tasarımı ve yangın senaryosu (Fire design and fire scenario)

Yapılarda çıkabilecek yangının büyüklüğü veya yangın yükü yanma sonucunda ortaya çıkan ısı gücü miktarına denk gelir. Yangının farklı evrelerine göre farklılık gösteren bu değer 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/m<sup>2</sup> arasındadır [23]. Kubbeli camilerde bu değer net olmadığı için kubbenin atriyumla benzer şekilde geniş hacim oluşturması sebebiyle Demir ve Coşkun'un yaptığı atriyumlu bina araştırmasında belirlenen ısı yayılım hızı 750 kW/m<sup>2</sup> yangın yükü olarak güvenli bir tasarıma olanak sağlaması için girilmiştir [24]. Camilerde yangın genellikle kundaklama sebebiyle çıkmakta ve yangının büyüklüğü de yanan maddenin cinsine, söndürülme süresine göre değişmektedir. Cami modellemelerinde yangın yükü güvenli bir tasarıma olanak sağlaması için ısı yayılım hızı 750 kW/m<sup>2</sup> olarak girilmiştir. Yangın esnasında açığa çıkan ısı ve duman değerinin hesaplanması için yangının ısı yayılım miktarı 750 kW olarak girilmiştir. Yangının büyüklüğü Eş. 1'deki gibi hesaplanmaktadır [25].

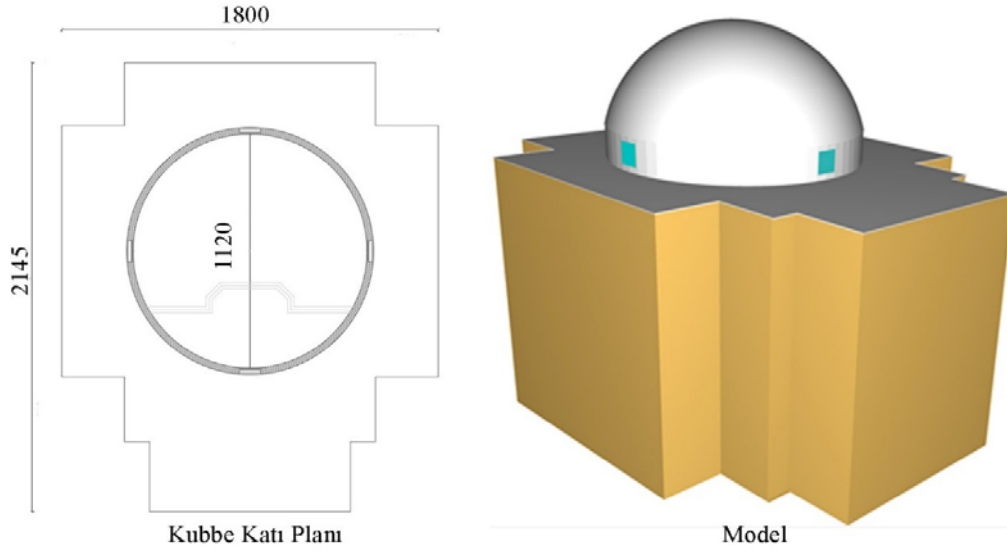
$$q = \alpha \cdot t^2 \quad (1)$$

Yangının ısı yayılım miktarını (kw)  $q$ , yangının büyüme sabitini (kw/s<sup>2</sup>)  $\alpha$ , yangının tam gelişme zamanı (s)  $t$  belirtmektedir. Yangın modelinde ilk 100 saniye için  $t^2$  denklemi kullanılmıştır. Yangının hızlı geliştiği varsayılarak, açığa çıkan ısı gücü 100. saniyede en yüksek değerine ulaştıktan sonra açığa çıkan ısı miktarı sabit olarak





Şekil 3. Tip 6 Mevlana Caminin basitleştirilmiş zemin kat ve mahfel kat planı (Simplified ground floor and ladies' section plan of Type 6 Mevlana Mosque)



Şekil 4. Tip 6 Mevlana Caminin kubbe kasağındaki pencere halinin basitleştirilmiş kubbe kat planı ve PyroSim'de basitleştirilmiş modeli (Simplified dome plan and PyroSim model of Type 6 Mevlana Mosque with dome windows)

alınmıştır. Karakteristik yangın çapı Eş. 2'deki gibi hesaplanmaktadır [26].

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

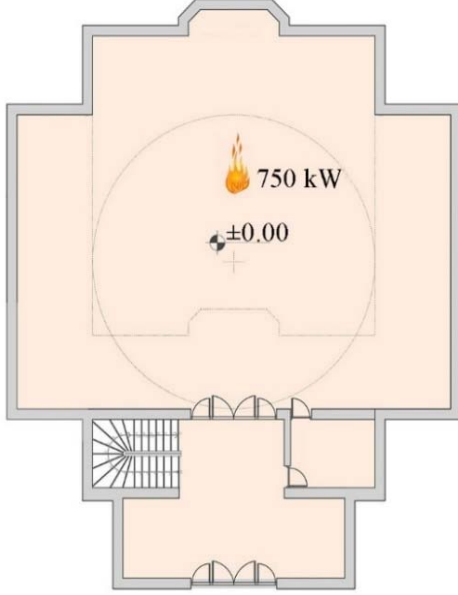
Isı yayılım hızı (HRR)  $\dot{Q}$  750 kw, yoğunluk  $p_{\infty}$  1,204 kg/m<sup>3</sup>, özgül ısı  $c_p$  1,005 kJ/kg.K, sıcaklık  $T_{\infty}$  293 °K, yer çekim ivmesi  $g$  9,81 m/sn<sup>2</sup> değerleri alınarak; karakteristik yangın çapı  $D^*$  0,855m olarak bulunur. Camide kundaklama, sabotaj veya başka sebeple çıkabilecek yangın için zemin katta yangın yeri caminin merkezine yakın bir yer belirlenmiştir. Şekil 5'te yangın yeri kadınlar mahfili ve mihrap arasındaki boşluğun orta noktasına, yerleştirildiği görülmektedir. Yangının çıktığı ortamın sıcaklığı başlangıçta 20°C'ye

ayarlanmıştır. Zemin katta 750 kW'lık yangın yüküne sahip yangın modellenmiştir. Tablo 2'de 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 750 kW olacağı varsayılmıştır. FDS yazılımı, yangın başladıktan sonra 500 saniye içindeki yangın sahnesini simüle etmek için kullanılmıştır. Tablo 2'de yangının yeri ve büyüklüğü, Şekil 6'da yangının ısı yayılım hızının zamana göre değişim grafiği verilmiştir.

### 2.3. Ağ yapısı (Mesh)

FDS kullanım kılavuzuna göre, çeşitli senaryolardaki yangınları modellemede  $D^* / dx$  oranı 4 ile 16 arasında

önerilmiştir [27]. Çalışmada  $D^* / dx$  değeri 4 alınmıştır (Eş. 3). Bu değer farklı alındığı durumlarda göze çarpan değişiklikler olmadığı bilinmektedir [28]. Yükselen duman içeren simülasyonlar için, akış alanının ne kadar iyi çözüldüğünün ölçüsü boyutsuz bir ifadeyle hesaplanır. Aşağıdaki boyutsuz formülle bu hesaplamalar yapılabilmektedir (Eş. 3)[26].



**Şekil 5.** Yangının zemin kat planındaki yeri ve büyüklüğü  
(Location and size of the fire in the ground floor plan)

$$D^* / dx = 4 \quad (3)$$

Karakteristik yangın çapı  $D^*$  0,855 m, mesh ölçüsü  $dx$  0,21 m olarak bulunur. PyroSim programının ağ yapısı arka planda çalışmaktadır. Arka planda katı kütleli akış hacminden farklılaştırarak bu hacme dörtgenel ağ yapısı oluşturmaktadır. FDS' deki en kritik parametrelerden biri ızgaralı hücre ebadıdır. 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.

#### 2.4. Ortam parametreleri (Environment Parameters)

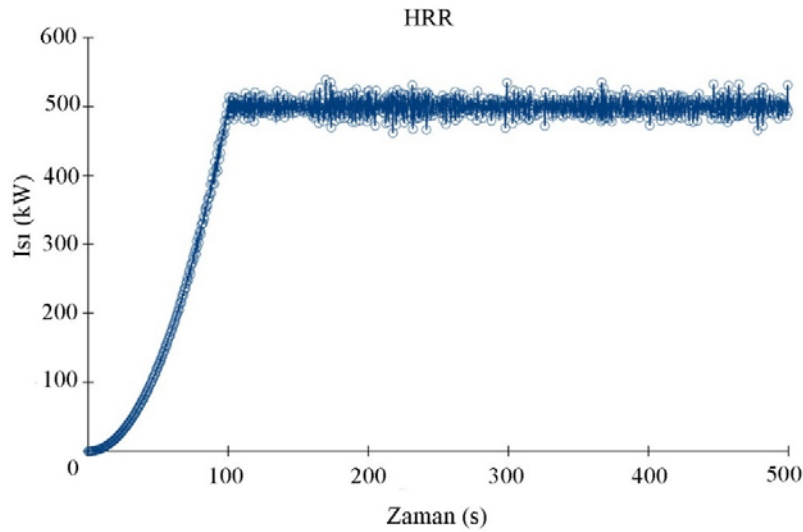
Tablo 3'de simülasyona girilen ortam parametrelerinin değerleri verilmektedir.

#### 2.5. Sonuçların analiz edildiği düzlem ve noktalar (Plane and points where results are analyzed)

Ortam sıcaklığı ve görüş mesafesi gibi faktörler güvenli kaçış süresi ve söndürme ekiplerinin müdahalesini etkilemektedir. Bu yüzden 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 sonuçlarının incelendiği düzlem ve noktalar Şekil 7'de gösterilmektedir. Analiz sonuçlarında yangın başladıktan sonraki 500 saniye 100 saniye aralıklarla incelenmektedir.

**Tablo 2.** Yangının yeri ve büyüklüğü (Location and size of the fire)

Yangın Konumu	Alan Başına Isı yayılım hızı (HRRPUA)	Isı Yayılım Hızı (HRR)	Simülasyon Süresi
0.00 kotu	750 kW/m <sup>2</sup>	750 kW	500 sn

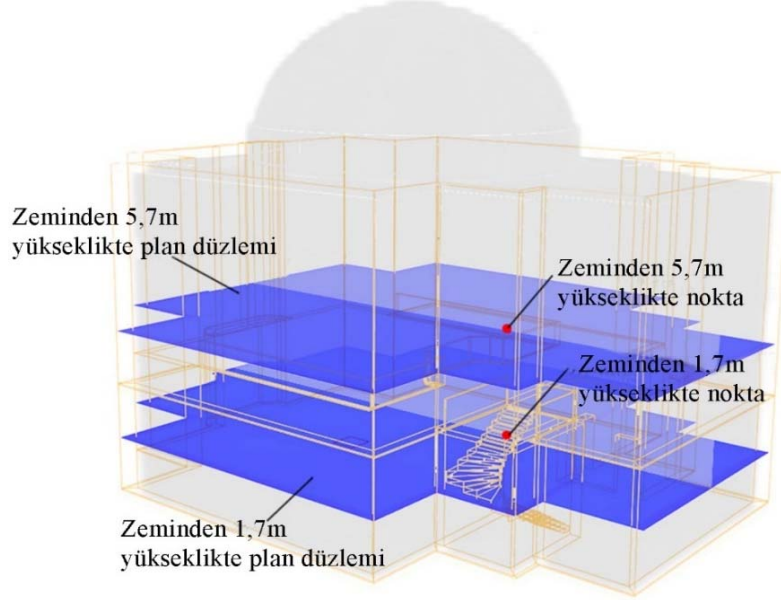


**Şekil 6.** Zamana göre ısı yayılım hızının değişimi (Variation of heat release rate with respect to time)



**Tablo 3.** Ortam parametreleri (*Environment Parameters*)

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

**Şekil 7.** Analiz sonuçlarının incelendiği düzlem ve noktalar (Plane and points where analysis results are investigated)

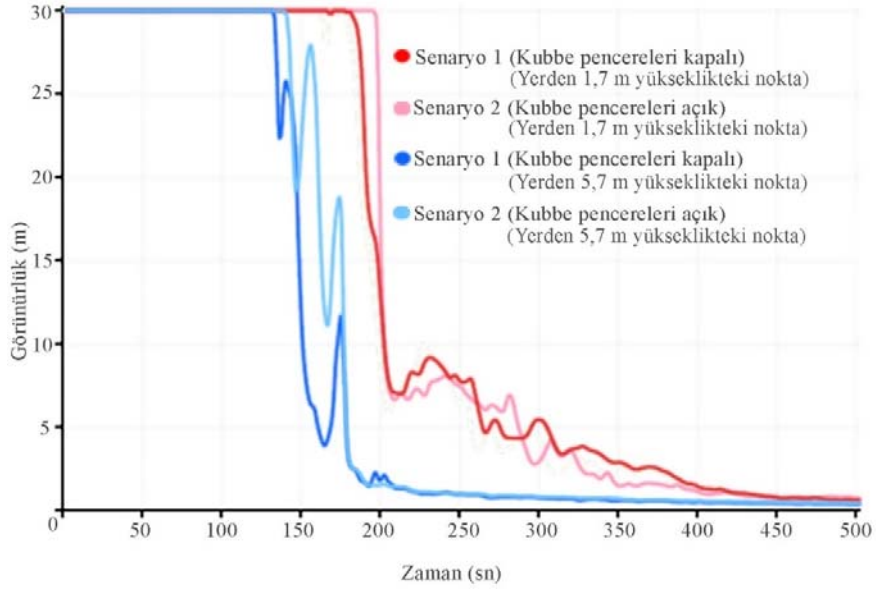
### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND CONCLUSIONS)

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 yaptığı atriyumlu bina araştırmasında belirlenen ısı yayılım hızı 750 kW/m<sup>2</sup> yangın yükü olarak alınmıştır [24]. Bu çalışmada, kubbe kasnağındaki pencereler açık veya kapalı olduğu duruma göre ve 750 kW'lık yangının çıkma ihtimalinin en yüksek olduğu yangın konumunda (kundaklama, sabotaj veya başka sebeple çıkabilecek yangın için zemin katta) 2 farklı senaryo kurgulanmıştır. Kurgulanan senaryolar; Senaryo 1 (kubbe kasnak pencereleri kapalı) ve Senaryo 2 (kubbe kasnak pencereleri açık) olmak üzere 2 çeşitten oluşmaktadır. 750 kişilik Tip 6 Mevlâna Cami'de yangının başlangıcından 500 saniyeye kadar olan sıcaklık ve görüş mesafesi dağılımları senaryolarda analiz edilmiştir. İnsanların herhangi bir zarar görmeden camiye tahliye edebilmeleri için gereken mevcut güvenli tahliye süresi (ASET) hesaplanmıştır. Görünürlük, bir çıkış yolu üzerinden insanların hareketini, hızlarını ve yol bulma yeteneklerini etkileyebilmektedir. Bazı çalışmalar, binaya aşına olan insanlar için minimum 3-5 m, binaya aşına olmayanlar için 10-20 m minimum görüş mesafesi

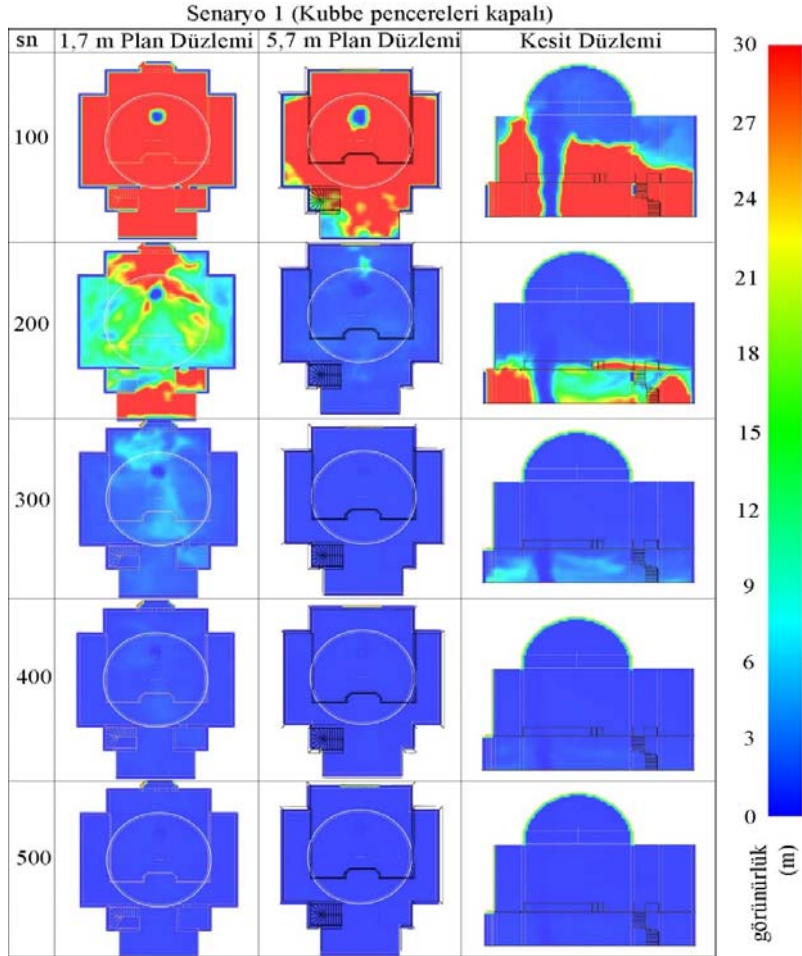
önermektedir. Bu değer 3 metrenin altına indiğinde insanların rotalarında daha ileri gidemezler [29]. İncelenen camide kütle genel olarak tek bir hacimden oluştuğu için insanların görüş mesafesinin 3 metrenin altına düştüğünde insanların kaçmasında risk oluşmasına sebep olacağı düşünüldükçe bu değer risk faktörü olarak alınmıştır. Şekil 8'de yerden 1,7 metre yükseklikteki noktada görüş mesafesi verileri incelendiğinde kubbe pencerelerinin kapalı ve açık olduğu durumda 320. saniyelerde görüş mesafesi 3 metrenin altına inerek kritik durma gelmektedir. Yerden 5,7 metre yükseklikteki noktada görünürlük verileri incelendiğinde; kubbe pencerelerinin açık ve kapalı olduğu durumda 180. saniyelerde görüş mesafesi 3 metrenin altına inerek kritik durma geldiği görülmektedir. Şekil 9'da plan ve kesit düzleminde görünürlük analizleri incelendiğinde; Senaryo 1'de 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.

Şekil 10'da plan ve kesit düzleminde görünürlük analizleri incelendiğinde; Senaryo 2'de 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.

Yangın bölgesi hariç sıcaklığın solunabilir hava sıcaklığının 60°C altında olduğunda güvenlidir [29]. Eşik sıcaklık değeri 60°C olarak alınmıştır.



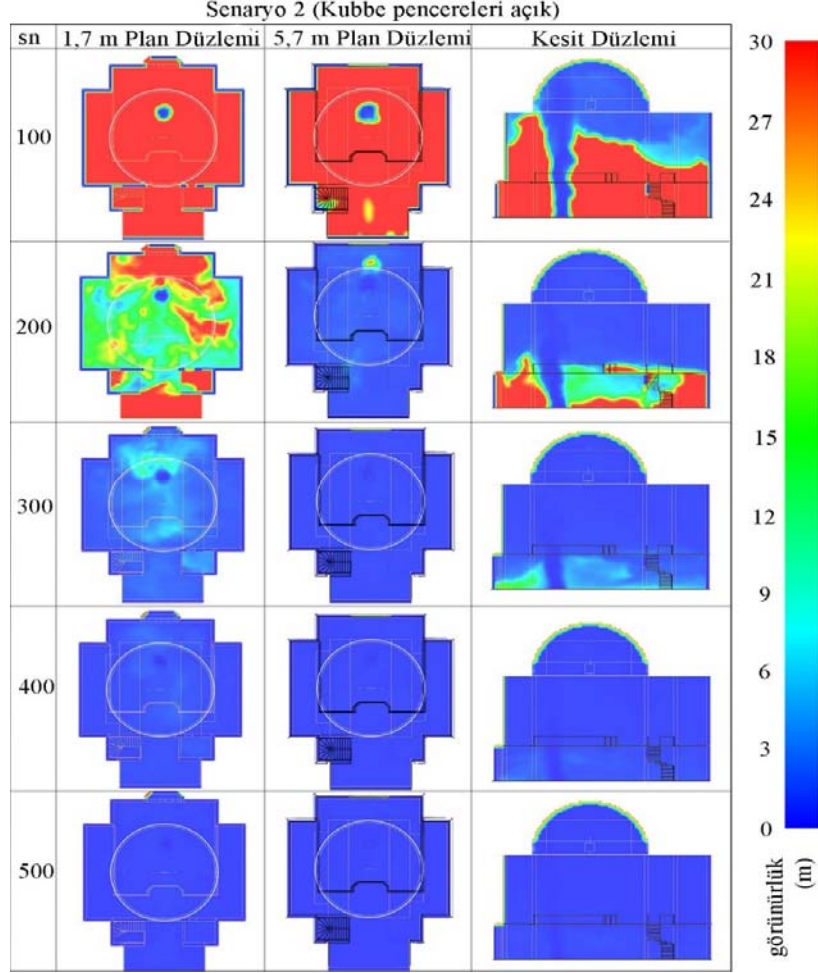
**Şekil 8.** Yerden 1,7 m ve 5,7 m yükseklikteki iki noktanın zamana göre görüş mesafesi grafiği  
(Visibility graph of two points at 1,7 m and 5,7 m height from the ground with respect to time)



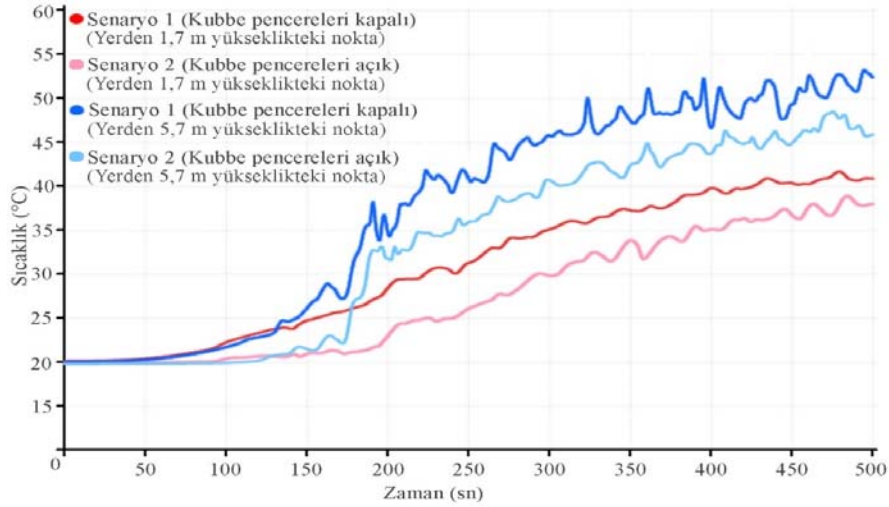
**Şekil 9.** Senaryo 1’de plan ve kesit düzlemlerinde zamana göre görüş mesafesi dağılımı  
(Visibility distribution of plan and section planes with respect to time in Scenario-1)

Şekil 11'de yerden 1,7 metre yükseklikteki noktada sıcaklık verileri incelendiğinde 500 saniyenin sonunda sıcaklık; kubbe kasağındaki pencerelerin kapalı olduğu durumda

41°C'ye, bu pencerelerin açık olduğu durumda 37°C'ye ulaşmıştır. Yerden 5,7 metre yükseklikteki noktada sıcaklık verileri incelendiğinde 500 saniyenin sonunda sıcaklık,



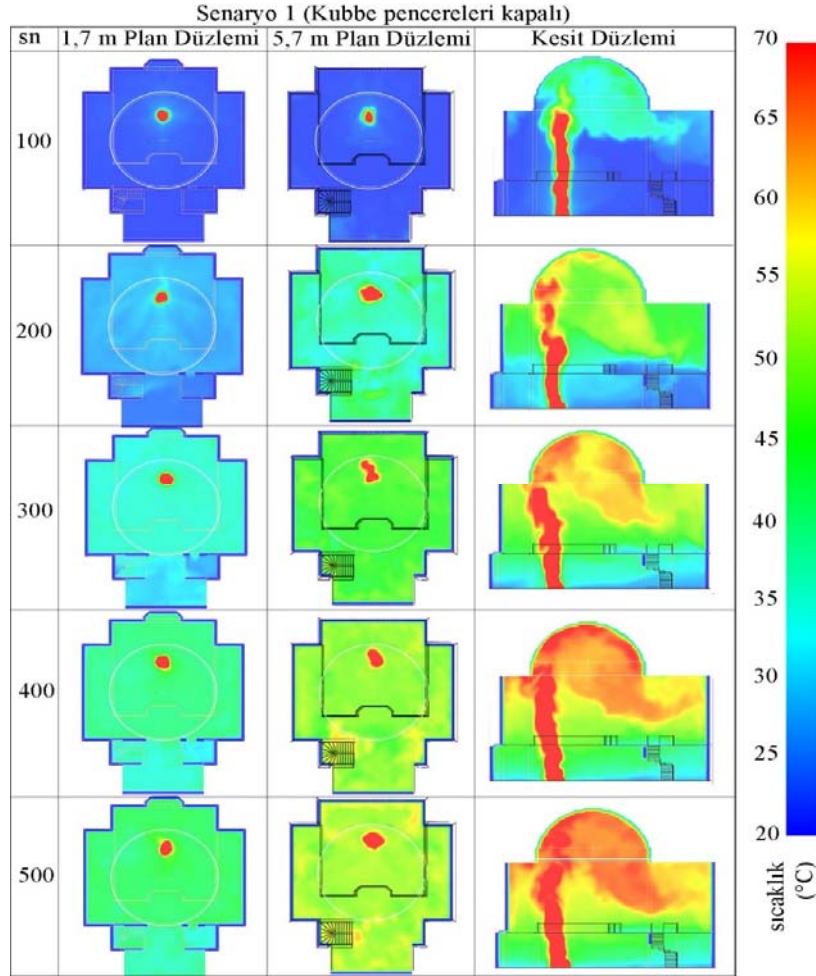
**Şekil 10.** Senaryo 2'de plan ve kesit düzlemlerinde zamana göre görüş mesafesi dağılımı (Visibility distribution of plan and section planes with respect to time in Scenario-2)



**Şekil 11.** Yerden 1,7 m ve 5,7 m yükseklikteki iki noktanın zamana göre sıcaklık grafiği (Temperature graph of two points at 1,7 m and 5,7 m height from the ground with respect to time)

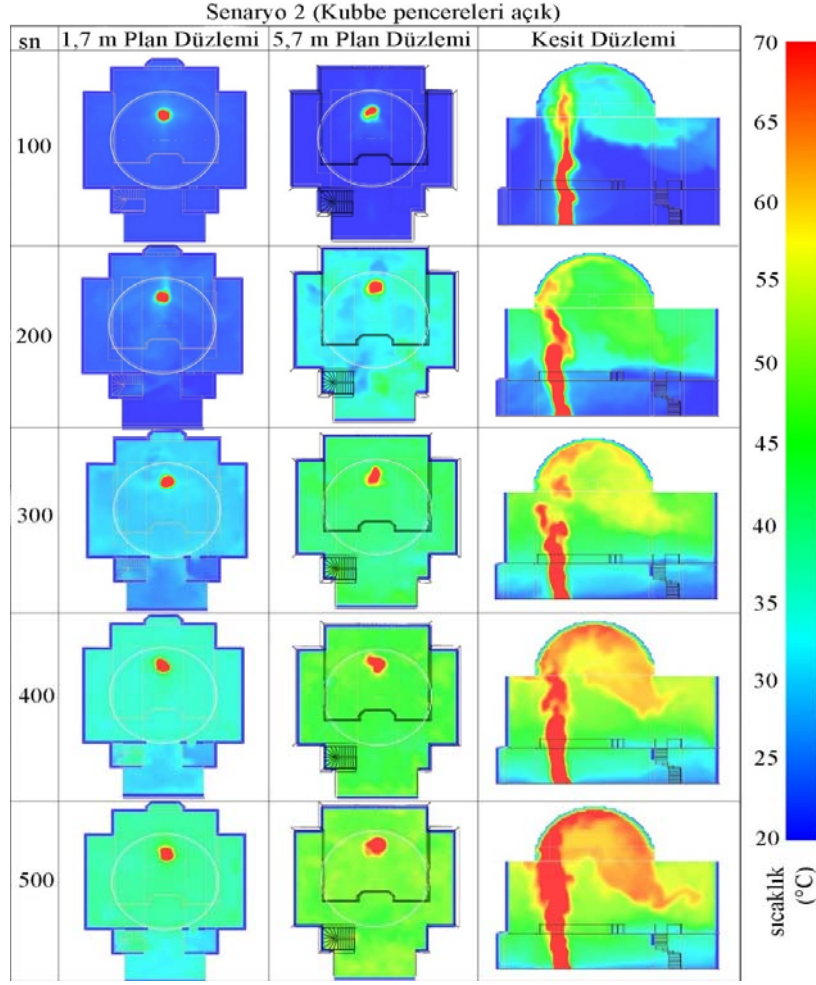
kubbe kasnağındaki pencerelerin kapalı olduğu durumda 53°C'ye, bu pencerelerin açık olduğu durumda 46°C'ye ulaşmıştır. Şekil 12'de plan ve kesit düzleminde görünürlük analizleri incelendiğinde; Senaryo 1'de yangın dışındaki bölgelerde 500 saniyenin sonunda, zemin katta, yangın dışındaki bölgelerde 500 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. Şekil 13'te plan ve kesit düzleminde görünürlük analizleri incelendiğinde; Senaryo 2'de 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. 750 kişilik Tip 6 Mevlâna Cami'de yangının başlangıcından 500 saniyeye kadar olan sıcaklık ve görüş mesafesi 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, sıcaklık eşik değeri 60°C olarak alınmıştır. 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. Tip 6 Mevlâna Cami katlarındaki mevcut güvenli tahliye süresi (ASET); Senaryo 1'de 220 saniyede, Senaryo 2'de 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'de 130 saniye, Senaryo 2'de 150 saniyedir. 750 kişilik Tip 6 Mevlâna Cami'de güvenli tahliyenin gerçekleşebilmesi için gerekli güvenli tahliye süresi (RSET)'in hesaplanan mevcut güvenli tahliye süresi (ASET)'i aşmaması gerekmektedir.



**Şekil 12.** Senaryo 1'de plan ve kesit düzlemlerinde zamana göre sıcaklık dağılımı  
(Temperature distribution of plan planes and section planes with respect to time in Scenario-1)





**Şekil 13.** Senaryo 2’de plan ve kesit düzlemlerinde zamana göre sıcaklık dağılımı  
(Temperature distribution of plan planes and section planes with respect to time in Scenario-2)

#### 4. SİMGELER (SYMBOLS)

- $c_p$  : Özgül ısı  
 $D^*$  : Karakteristik yangın çapı  
 $dx$  : Mesh ölçüsü  
 $g$  : Yer çekim ivmesi  
 $p_\infty$  : Yoğunluk  
 $q$  : Yangının ısı yayılım miktarı  
 $\dot{Q}$  : Isı Yayılım Hızı  
 $t$  : Yangının tam gelişme zamanı  
 $T_\infty$  : Sıcaklık  
 $A$  : Yangının büyüme sabiti

#### 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

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 yönlendirilir. Duman kubbenin tepesine ulaşır ulaşmaz kubbeyi doldurmaya başlar, sonrasında caminin ana hacmine yayılmaya başlar. Kubbeler yangında dumanın depolanması

için alan oluşturarak dumanın ana mekanlara yayılımını azaltmaktadır. Cami kubbesini ısıyan dumanın doldurmasıyla kubbeye 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 [24]. 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 [30]. İncelenen bu araştırmalarda; oda pencerelerinin açılması mekâna temiz hava girişini sağlayarak ortamdaki yanıcı olan oksijen oranını artırmasıyla yangının yayılımını hızlandırmaktadır. Ancak camilerde kubbeye pencerelerin açılması tam tersi etki oluşturmaktadır. Camilerde kubbe kasnağındaki pencerelerin açılması içerideki 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 [31].

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 yapılabileceği 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 (REFERENCES)

1. Top, S. M., ve Topraklı, A. Y., Camilerde panik durumunun değerlendirilmesi üzerine derleme çalışması. *Journal of Social Humanities Sciences Research*, 6 (38), 1555-1565, 2019.
2. Maslow, A. H., A theory of human motivation. *Psychological review*, 50 (4), 370, 1943.
3. Rathnayake, R., Sridarran, P., and Abeynayake, M., Factors contributing to building fire incidents: A review. Paper presented at the Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Dubai, 2020.
4. CTIF, World fire statistics. URL: <https://www.ctif.org/world-fire-statisticsn>. Son Erişim Tarihi: Aralık 2020.
5. Yu, Y., Chu, Y.-Y., Zhang, Q.-X., and Liang, D., Numerical Study on Smoke Exhaust in Large-Scale Underground Public Buildings. 7th International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, IEEE, 2014.
6. Balık, G., Geniş hacimlerde duman hareketinin sayısal incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-5, 2003.
7. Du, T., Yang, D., Peng, S., Liu, Y., and Xiao, Y., 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, 2016.
8. Qin, T. X., Guo, Y. C., Chan, C. K., and Lin, W. Y., Numerical investigation of smoke exhaust mechanism in a gymnasium under fire scenarios. *Building and Environment*, 41 (9), 1203-1213, 2006.
9. Averill, J. D., Mileti, D. S., Peacock, R. D., Kuligowski, E. D., Groner, N., Proulx, G., Reneke, P. A., and Nelson, H. E., 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, 2005.
10. Gwynne, S. M. V, ve Boyce, K. E. Engineering Data. In M. J. Hurley, D. Gottuk, J. R. Hall, K. Harada, E. Kuligowski, M. Puchovsky, C. Wieczorek (Eds.), *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Springer, New York, 2453, 2016.
11. Sime, J. D., Escape behaviour in fires: 'Panic' or affiliation? PhD thesis, Department of Psychology, University of Surrey, Guilford, 1984.
12. Diyanet İşleri Başkanlığı Arşivi, Cami tip projeleri, Ankara, 2020.
13. Glasa, J., Valasek, L., Weisenpacher, P., and Halada, L., Use of PyroSim for simulation of cinema fire. *International Journal on Recent Trends in Engineering and Technology*, 7 (2), 51-56, 2012.
14. A. Albis, K., 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, 2015.
15. Shen, T.-S., Huang, Y.-H., and Chien, S.-W., Using fire dynamic simulation (FDS) to reconstruct an arson fire scene. *Building and Environment*, 43 (6), 1036-1045, 2008.
16. Khandoker, M. A. R., Mou, R. J., Muntaha, M. A., and Rahman, M. A., 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, 2018.
17. Valasek, L., 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, 2013.
18. Pitana, T., Zaman, M. B., Perdana, D. C. K., and Nurwahyudi, A., 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), 2017.
19. Li, M.-x., Zhu, S.-b., Wang, J.-h., and Zhou, Z. Research on fire safety evacuation in a university library in Nanjing. *Procedia Engineering*, 211, 372-378, 2018.
20. Long, X., Zhang, X., and Lou, B. 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, 2017.
21. Dong, S. H., Li, M., and Lin, Y. H. Study on numerical simulation of fire and evacuation for a supermarket. *Applied Mechanics and Materials*, 744, 1736-1740, 2015.
22. Chi, J.-H. Using FDS program and an evacuation test to develop hotel fire safety strategy. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 37 (3), 288-299, 2014.
23. NFPA-92B, NFPA 92B: Guide for Smoke Management Systems in Malls, Atria, and Large Spaces.



- Massachusetts: National Fire Protection Association, Quincy, 2009.
24. Coşkun, G., Demir, U., ve Soyhan, H. S., Sakarya Üniversitesi M-7 Binası için Yangın Simülasyonu ve Duman Tahliye Stratejilerinin İncelenmesi. Sakarya University Journal of Science, 22 (2), 135-149, 2018.
  25. NFPA 204, NFPA 204, Guide for smoke and heat venting. Massachusetts: National Fire Protection Association, Quincy, 2021.
  26. McGrattan, K., Hostikka, S., McDermott, R., Floyd, J., Weinschenk, C., and Overholt, K., Fire dynamics simulator user's guide. NIST special publication, 1019 (6), 2013.
  27. McGrattan, K., McDermott, R., Hostikka, S., and Floyd, J., Fire Dynamics Simulator (Version 5), User's Guide. NIST special publication, 1019 (5), 1-186, 2010.
  28. Yüzücü, İ., Yangın Simülasyon Sonuçlarına Bağlı Olarak Tahliye Senaryolarının Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Sakarya, 1-13, 2017.
  29. Parra Diettes, S., 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, 2019.
  30. Long, X., Zhang, X., and Lou, B., 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, 2017.
  31. Top, S. M., Kubbeli Cami Tasarımında Kasnak Pencerelerinin Açık veya Kapalı Durumunun Duman ve Sıcaklık Yayılımına Etkisinin Yangın Dinamik Simülasyonu ile Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2021.

