

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YANGIN SİMÜLASYON SONUÇLARINA BAĞLI  
OLARAK TAHLİYE SENARYOLARININ  
GELİŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İsmet YÜZÜCÜ**

**Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hakan Serhad SOYHAN**

**Temmuz 2017**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YANGIN SİMÜLASYON SONUÇLARINA BAĞLI  
OLARAK TAHLİYE SENARYOLARININ  
GELİŞTİRİLMESİ


YÜKSEK LİSANS TEZİ

İsmet YÜZÜCÜ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 17/07/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

  
Prof. Dr.  
Hakan Serhad SOYHAN  
Jüri Başkanı

  
Doç. Dr.  
Halit YAŞAR  
Üye

  
Doç. Dr.  
Cenk ÇELİK  
Üye

## BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

İsmet YÜZÜCÜ

17.07.2017

## ÖNSÖZ

Günümüzde hızla artarak gelişen inşaat sektörüyle birlikte farklı tasarımlarda ve mimarilerde yapılarda karmaşıklaşmaktadır. Bununla birlikte can güvenliğine yönelik olarak tedbirler teknolojinin de gelişimiyle artırılmaktadır. Güvenlik açısından alınması gereken tedbirlerden birisi de duman kontrolü ve yönlendirilmesiyle birlikte uygun kaçış senaryolarının geliştirilmesidir.

Bu çalışmada örnek olarak baz aldığımız Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binalarında yangın senaryosu oluşturularak duman hareketlerinin nasıl bir yol izlediği incelenmiştir. Gözlemler sonucunda yangın anında dumanın yönlendirilmesinin ve uygun kaçış senaryosunun oluşturulmasının can güvenliği için ne derece önemli olduğu bu çalışma ile ortaya konmuştur.

Yüksek lisans eğitimim süresince değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, çalışmalarımın başından sonuna kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Hakan Serhad SOYHAN'a, yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Üsame DEMİR ve Arş. Gör. Dr. Gökhan COŞKUN'a teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ÖZET .....	xiii
SUMMARY .....	xiv
BÖLÜM 1 .	
GİRİŞ .....	1
1.1. Kaynak Araştırması.....	3
BÖLÜM 2.	
DUMAN KONTROLÜ VE MERDİVEN BASINÇLANDIRMA SİSTEMİ.....	9
2.1. Genel .....	9
2.2. Yangın Anında Açığa Çıkan Dumanın İnsan Sağlığına Zararları.....	9
2.3. Yangın Hesaplamalarında Kullanılan Denklemler .....	13
2.4. Meydana Gelme Açısından Yangının Tipleri.....	16
2.4.1. A tipi yangınlar .....	16
2.4.2. B tipi yangınlar.....	17
2.4.3. C tipi yangınlar.....	17
2.4.4. D tipi yangınlar .....	17
2.5. Söndürme Maddeleri.....	18
2.6. İşletmelerde Elektrik Sistemleri Sebebiyle Çıkabilecek Yangınlara Karşı Alınabilecek Tedbirler.....	18
2.7. Yangının Evreleri .....	20
2.8. Tam Gelişmiş Yangın Modeli .....	21

2.9. Yangın Büyüklüğü .....	21
2.10. Açığa Çıkan Isı Şekli Bakımından Yangın Tipleri .....	22
2.10.1. Düzenli yangınlar .....	22
2.10.2. Düzensiz yangınlar .....	22
2.11. Merdiven Yuvalarında Basınçlandırma Sistemi .....	23
2.11.1. Basınçlandırma İle Duman Kontrolü Esasları.....	23
2.11.2. Merdiven Kovası Basınçlandırma Sistemi .....	24

### BÖLÜM 3.

KULLANILAN PROGRAMLAR VE UYGULANAN YÖNTEMLER .....	27
3.1. 3 Boyutlu CAD Modeli İçin KullanılanYazılımlar.....	27
3.2. PyroSim Yazılımı.....	27
3.3. Modellemelerde Uygulanan Parametreler .....	28
3.3.1. 3 Boyutlu CAD Modelinin Hazırlanması.....	28
3.3.2. Ağ Yapısı (Mesh).....	28
3.3.3. İdeal Mesh Sayısı Hesabı .....	29
3.3.4. Simülasyon Parametreleri.....	30
3.3.5. Yüzey Oluşturma .....	31

### BÖLÜM 4.

ANALİZ ÇALIŞMALARI.....	33
4.1. Model Oluşturma .....	34
4.2. Analiz sonuçları.....	39
4.2.1. Farklı senaryolar için M1 binası içerisindeki basınç dağılımının incelenmesi.....	39
4.2.2. Farklı senaryolar için M1 binası içerisindeki duman dağılımının incelenmesi.....	40
4.2.3. Farklı senaryolar için M1 binası içerisindeki görünürlük dağılımının incelenmesi.....	42
4.2.4. Farklı senaryolar için M1 binası içerisindeki hız dağılımının incelenmesi.....	43

4.2.5. Farklı senaryolar için M1 binası içerisindeki sıcaklık dağılımının incelenmesi.....	44
4.2.6. M1 binası ısı salınım oranı grafiği.....	45
4.2.7. Farklı senaryolar için M2 binası içerisindeki basınç dağılımının incelenmesi.....	46
4.2.8. Farklı senaryolar için M2 binası içerisindeki duman dağılımının incelenmesi.....	47
4.2.9. Farklı senaryolar için M2 binası içerisindeki görünürlük dağılımının incelenmesi.....	48
4.2.10. Farklı senaryolar için M2 binası içerisindeki hız dağılımının incelenmesi.....	49
4.2.11. Farklı senaryolar için M2 binası içerisindeki sıcaklık dağılımının incelenmesi.....	50
4.2.12. M2 binası ısı salınım oranı grafiği.....	50
4.2.13. Farklı senaryolar için M3 binası içerisindeki basınç dağılımının incelenmesi.....	51
4.2.14. Farklı senaryolar için M3 binası içerisindeki duman dağılımının incelenmesi.....	52
4.2.15. Farklı senaryolar için M3 binası içerisindeki görünürlük dağılımının incelenmesi.....	53
4.2.16. Farklı senaryolar için M3 binası içerisindeki hız dağılımının incelenmesi.....	54
4.2.17. Farklı senaryolar için M3 binası içerisindeki sıcaklık dağılımının incelenmesi.....	55
4.2.18. M3 binası ısı salınım oranı grafiği.....	56
4.2.19. Farklı senaryolar için M4 binası içerisindeki basınç dağılımının incelenmesi.....	57
4.2.20. Farklı senaryolar için M4 binası içerisindeki duman dağılımının incelenmesi.....	58
4.2.21. Farklı senaryolar için M4 binası içerisindeki görünürlük dağılımının incelenmesi.....	60

4.2.22. Farklı senaryolar için M4 binası içerisindeki hız dağılımının incelenmesi.....	61
4.2.23. Farklı senaryolar için M4 binası içerisindeki sıcaklık dağılımının incelenmesi.....	62
4.2.24. M4 binası ısı salınım oranı grafiği.....	63
4.2.25. Farklı senaryolar için M5 binası içerisindeki basınç dağılımının incelenmesi.....	64
4.2.26. Farklı senaryolar için M5 binası içerisindeki duman dağılımının incelenmesi.....	65
4.2.27. Farklı senaryolar için M5 binası içerisindeki görünürlük dağılımının incelenmesi.....	67
4.2.28. Farklı senaryolar için M5 binası içerisindeki hız dağılımının incelenmesi.....	69
4.2.29. Farklı senaryolar için M5 binası içerisindeki sıcaklık dağılımının incelenmesi.....	70
4.2.30. M5 binası ısı salınım oranı grafiği.....	70
4.2.31. Farklı senaryolar için M6 binası içerisindeki basınç dağılımının incelenmesi.....	71
4.2.32. Farklı senaryolar için M6 binası içerisindeki duman dağılımının incelenmesi.....	72
4.2.33. Farklı senaryolar için M6 binası içerisindeki görünürlük dağılımının incelenmesi.....	75
4.2.34. Farklı senaryolar için M6 binası içerisindeki hız dağılımının incelenmesi.....	76
4.2.35. Farklı senaryolar için M6 binası içerisindeki sıcaklık dağılımının incelenmesi.....	77
4.2.36. M6 binası ısı salınım oranı grafiği.....	78

## BÖLÜM 5.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME .....	79
------------------------------	----

KAYNAKLAR.....	82
----------------	----



ÖZGEÇMİŞ.....	84
---------------	----

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

C	: Boyutsuz akış katsayısı
CFD	: Computational fluid dynamics, hesaplamalı akışkanlar dinamiği
$C_p$	: Kirli gazlarının özgül ısısı
CTIF	: Comite techniques international of fire extinguishing prevention, Uluslararası Yangın Önleme ve Söndürme Teknik Komitesi
$D^*$	: Karakteristik yangın çapı
$D_x$	: Mesh ölçüsü
HRR	: Heat Release Rate, Isı Yayılım Oranı
h	: Yükseklik
hffr	: Halojensiz alev iletmeyen kablo
k	: Duvar faktörü (1, $\frac{3}{4}$ , $\frac{1}{2}$ , $\frac{1}{4}$ )
kw	: Kilowatt
$\dot{m}$	: Kütleli akış miktarı
NFPA	: National Fire Protection Association, Ulusal Yangın Önleme Derneği
NIST	: National Institute of Standards and Technology, Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü
P	: Basınç
ppm	: Parts per million, milyonda bir parçacık
SRSA	: Swedish Rescue Services Agency, İsveç Kurtarma Hizmetleri Ajansı
t	: Efektif tutuşmadan itibaren geçen süre
$T_p$	: Dumanın ortalama sıcaklığı
V	: Hacimsel akış miktarı
$\chi$	: Konvektif kesir katsayısı
W	: Duman genişliği
$Q_c$	: Yangın ısı yükü
V	: Hacimsel duman akış miktarı

- $z$  : Yakıt yüzeyinden duman tabakası alt kısmına kadar olan yükseklik  
 $Z_f$  : Alev yüksekliği  
 $Z_t$  : Sınırlayıcı yükseklik  
 $\alpha$  : Büyüme faktörü  
 $\Delta P$  : Basınç farkı  
 $\rho$  : Gaz yoğunluğu

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Binanın katı model görünümü [5] .....	3
Şekil 1.2.	Jet fan, taze hava ve egzoz menfezleri yerleşimlerinin gösterimi [5]...	4
Şekil 1.3.	Yangın çıkan bölge [5].....	4
Şekil 1.4.	(1.7) m yükseklikte hava akış hızı [5].....	5
Şekil 1.5.	Taze hava ve egzoz havası menfezleri [6] .....	6
Şekil 1.6.	Hava değişim sayısına bağlı ortam sıcaklıkları [6] .....	6
Şekil 1.7.	8. dakikada yangın sıcaklık değerleri [7].....	8
Şekil 1.8.	10. dakikada yangın sıcaklık değerleri [7].....	8
Şekil 2.1.	Karbondioksit (CO <sub>2</sub> ) etkileri .....	12
Şekil 2.2.	Yangın konumunun alev yüksekliğine etkisi [10].....	14
Şekil 2.3.	Yangın evreleri .....	21
Şekil 4.1.	M1 binası 3 boyutlu model görünümü ve fan yerleşimleri.....	34
Şekil 4.2.	M1 binası 2 boyutlu model görünümü ve pano yerleşimleri .....	35
Şekil 4.3.	M2 binası 3 boyutlu model görünümü ve fan yerleşimleri.....	35
Şekil 4.4.	M2 binası 2 boyutlu model görünümü ve pano yerleşimleri .....	35
Şekil 4.5.	M3 binası 3 boyutlu model görünümü ve fan yerleşimleri.....	36
Şekil 4.6.	M3 binası 2 boyutlu model görünümü ve kat panosu yerleşimleri .....	36
Şekil 4.7.	M4 binası 3 boyutlu model görünümü ve fan yerleşimleri.....	36
Şekil 4.8.	M4 binası 2 boyutlu model görünümü ve kat panosu yerleşimleri .....	37
Şekil 4.9.	M5 binası 3 boyutlu model görünümü ve fan yerleşimi .....	37
Şekil 4.10.	M5 binası 2 boyutlu model görünümü ve kat panosu yerleşimleri .....	37
Şekil 4.11.	M6 binası 3 boyutlu model görünümü ve fan yerleşimi .....	38
Şekil 4.12.	M6 binası 2 boyutlu model görünümü ve kat panosu yerleşimleri .....	38
Şekil 4.13.	M1 binası fanlı ve fansız durum için basınç dağılımı .....	39
Şekil 4.14.	M1 binası fanlı ve fansız durum için duman dağılımı.....	40
Şekil 4.15.	M1 binası fanlı durum için duman dağılımı 1000. sn üst görünüş .....	41

Şekil 4.17. M1 binası fanlı ve fansız durum için hız dağılımı .....	43
Şekil 4.18. M1 binası 1000. sn fanlı ve fansız sıcaklık analizi .....	44
Şekil 4.19. M1 binası ısı salınım oranı grafiği .....	45
Şekil 4.20. M2 binası fanlı ve fansız durum için basınç dağılımı .....	46
Şekil 4.21. M2 binası fanlı ve fansız durum için duman dağılımı.....	47
Şekil 4.22. M2 binası fanlı ve fansız durum için görünürlük dağılımı .....	48
Şekil 4.23. M2 binası fanlı ve fansız durum için hız dağılımı .....	49
Şekil 4.24. M2 binası 1000. sn fanlı ve fansız sıcaklık analizi .....	50
Şekil 4.25. M2 binası ısı salınım oranı grafiği .....	50
Şekil 4.26. M3 binası fanlı ve fansız durum için basınç dağılımı .....	51
Şekil 4.27. M3 binası fanlı ve fansız durum için duman dağılımı.....	52
Şekil 4.28. M3 binası fanlı ve fansız durum için görünürlük dağılımı .....	53
Şekil 4.29. M3 binası fanlı ve fansız durum için hız dağılımı .....	54
Şekil 4.30. M3 binası 1000. sn fanlı ve fansız sıcaklık analizi .....	55
Şekil 4.31. M3 binası ısı salınım oranı grafiği .....	56
Şekil 4.32. M4 binası fanlı ve fansız durum için basınç dağılımı .....	57
Şekil 4.33. M4 binası fanlı ve fansız durum için duman dağılımı.....	64
Şekil 4.34. M4 binası 1000. sn fanlı duman analizi üst görünüş.....	59
Şekil 4.35. M4 binası fanlı ve fansız durum için görünürlük dağılımı .....	60
Şekil 4.36. M4 binası fanlı ve fansız durum için hız dağılımı .....	61
Şekil 4.37. M4 binası 1000. sn fanlı ve fansız sıcaklık analizi .....	62
Şekil 4.38. M4 binası ısı salınım oranı grafiği .....	63
Şekil 4.39. M5 binası fanlı ve fansız durum için basınç dağılımı .....	64
Şekil 4.40. M5 binası fanlı ve fansız durum için duman dağılımı.....	65
Şekil 4.41. M5 binası 1000. sn fanlı duman analizi üst görünüş.....	66
Şekil 4.42. M5 binası fanlı ve fansız durum için görünürlük dağılımı .....	67
Şekil 4.43. M5 binası fanlı ve fansız durum için hız dağılımı .....	69
Şekil 4.44. M5 binası fanlı ve fansız durum için sıcaklık dağılımı .....	70
Şekil 4.45. M5 binası ısı salınım oranı grafiği .....	70
Şekil 4.46. M6 binası fanlı ve fansız durum için basınç dağılımı .....	71
Şekil 4.47. M6 binası fanlı ve fansız durum için duman dağılımı .....	72
Şekil 4.48. M6 binası 1000. sn fanlı duman analizi üst görünüş.....	74

Şekil 4.49. M6 binası fanlı ve fansız durum için görünürlük dağılımı .....	75
Şekil 4.50. M6 binası fanlı ve fansız durum için hız dağılımı.....	76
Şekil 4.51. M6 binası 1000. sn fanlı ve fansız sıcaklık analizi.....	77
Şekil 4.52. M6 binası ısı salınım oranı grafiği.....	78

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Bazı zehirli gazların tehlike sınırları.....	10
Tablo 4.1. Çeşitli standartların karşılaştırılması.....	24
Tablo 6.1. Malzeme özellikleri .....	30
Tablo 6.2. Ortam parametreleri .....	31
Tablo 6.3. Yüzey özellikleri.....	32
Tablo 6.4. Modele atanan yüzeyler .....	32

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Yangın Modelleme, Duman İlerlemesi

Binalarda meydana gelen yangınlar sonucu birçok insan hayatını kaybetmekte veya ciddi olarak yaralanmaktadır. Bu ölümlerin veya yaralanmaların büyük bölümü yoğun duman ve tehlikeli gazlardan kaynaklanmaktadır. Yangınlar bunun yanında mülkiyete hasardan, iş kaybına büyük ekonomik zararlara sebebiyet vermektedir.

Bu çalışmada Sakarya Üniversitesi Bazı Mühendislik Fakültesi Binaları'nın sunucu odalarında elektrik kaçağı veya aşırı yüklenme nedeniyle fazla ısınan ana şalter ve plastik kabloların tutuşması sonucu ortaya çıkabilecek yangınlar modellenmiştir. Belirtilen nedenlerle oluşabilecek bir yangında dumanın ilerleyişi modellenerek oluşabilecek can kayıplarını ortadan kaldıracak tedbirlerin tespit edilmesi ve inşaat boyutunda gerekebilecek fiziki düzenlemelerin ortaya çıkarılması amaçlanmaktadır.



# INVESTIGATION OF DISCHARGE SCENERY IN ACCORDANCE WITH FIRE SIMULATION RESULTS

## SUMMARY

Keywords: Fire Modeling, Smoke Progress

Many people lose their lives or are severely injured in fires coming into the building. Much of these deaths or injuries are caused by intense smoke and dangerous gases. The fires cause damage to the property, causing serious economic damage.

In this study, some of the main rooms of the Sakarya University Engineering Faculty Buildings in the server rooms were overloaded due to electrical leakage or overloading and the fires that resulted from the ignition of the plastic cables were modeled. It is aimed to determine the measures to remove the loss of lives which may occur by modeling the progress of smoke in a fire which may occur due to the reasons stated and to find out the physical arrangements that may be required in the construction dimension.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Yanma olayı, yanıcı maddelerin ısı ve oksijenle uygun şartlarda birleşmesi sonucu meydana gelen kimyasal reaksiyondur. Yangın ise, bu birleşmelerin istemsiz bir şekilde gerçekleştiği yanma olayıdır.

Doğadaki yanıcı maddelerin birçoğu Organik Bileşikli Fosiller'dir. Herhangi bir ortamda yüksek ısı ve yine aynı ortamda yanma için yeterli oksijen de mevcut ise tüm maddelerin yanması sağlanabilir. Yanıcı maddelerin yapı birleşimlerinde Karbon, Kükürt, Fosfor ve Hidrojen vardır. Yanıcı maddeler doğada katı, sıvı ve gaz olarak üç halde bulunur.

Oksijen; kendisi yanma özelliği göstermeyen fakat yanmayı meydana getiren renksiz ve kokusuz bir gazdır. Temiz ortamdaki havada ideal koşullarda % 20 oranında oksijen bulunmaktadır. Oksijen oranının %16'nın altına düşmediği durumlarda yanma gerçekleşir. Bu oranın altına düşmesi durumunda yanma sönmeye başlar. %14'ün altına düşmesi durumunda ise yanma oluşmaz.

Yangın sonucu meydana çıkan ürünlerden öncelikli olanı ısıdır. İlk dakikalar hatta saniyeler yangında çok önemlidir. Isı artışı yangında ilk beş dakikalık periyotta çok hızlı bir gelişim gösterir. Yangının ilk saniyelerinde bir bardak su ile söndürülebilecek bir yangın, ikinci dakikalarda bir kova suyla, üçüncü dakikalarda ise bir varil su ile ancak söndürülebilir. Normal bir katı madde yangınında yaklaşık 5. dakikada 550 °C, 10. dakikada 650 °C, 15. dakikada 710 °C, 30. dakikada 830 °C'ye ulaşılmaktadır. En fazla sıcaklık artışının ilk beş dakikada meydana geldiği görülmektedir. İnsan vücudu ve solunum sistemi 64°C sıcaklığa sınırlı bir süre, 125 °C sıcaklığa 15 dakika, 140°C sıcaklığa 5 dakika, 175°C sıcaklığa ise sadece 1 dakika dayanabilir. Bu sebeple yangında ilk anlar çok önemlidir [1].

Yangından korunma önlemlerinin alınmaması veya teçhizatların bakımlarının zamanında yaptırılmamış olması, uygun malzemeler kullanılmaması, ihmal tabiat olayları, kazalar, dikkatsizlik, en yaygın yangın sebeplerindedir.

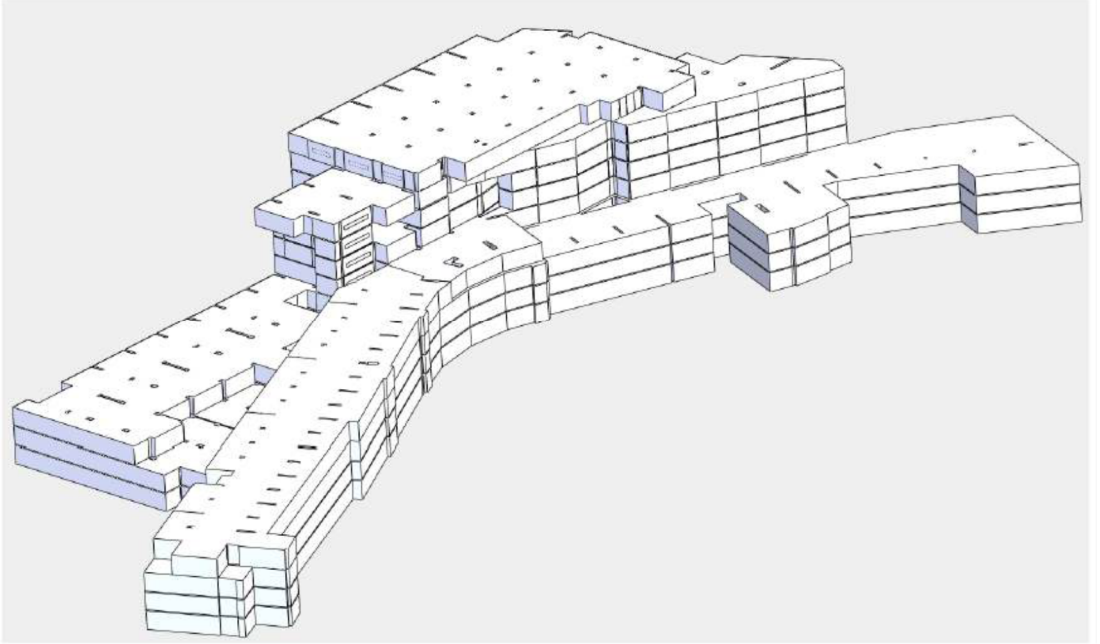
Yangında asıl amaç, duman oluşumuna engel olunmasıdır. Çünkü duman yangın sonucu can kayıplarının en önemli sebebidir. Bunun için tasarım aşamasında kullanılacak malzemeler yanmaya karşı dayanıklı veya zararlı gaz yaymayan malzemelerden seçilmelidir. Örneğin; halojen kablo yerine hffr(halojensiz alev iletmeyen kablo) kablo kullanılmak elektrik panolarından çıkabilecek yangınlarda meydana gelecek zararlı malzemelere engel olacaktır. Halojen malzeme flor, klor, brom vb. zararlı kimyasallar barındırır. Bunun haricinde yapısal olarak bina mimarisi, kaçış güzergâhlarının belirlenmesi, yangın kompartmanlarının oluşturulması gibi önlemler alınmalıdır. Tüm bu tedbirlere ragmen çıkabilecek yangına karşı ise dumanın yönlendirilmesi ve insanlara zarar vermeden tahliye programlarının yapılması gerekir. Öyle ki; en belirgin yangından ölüm sebebi gaz ve dumanlar sebebiyle can kaybıdır ve bütün yangın kaynaklı ölümlerin %45'ini oluşturur [2].

Avrupa'da her sene, yangın nedeniyle oluşan gaz ve dumandan 30.000 kişi hayatını kaybetmektedir [3].

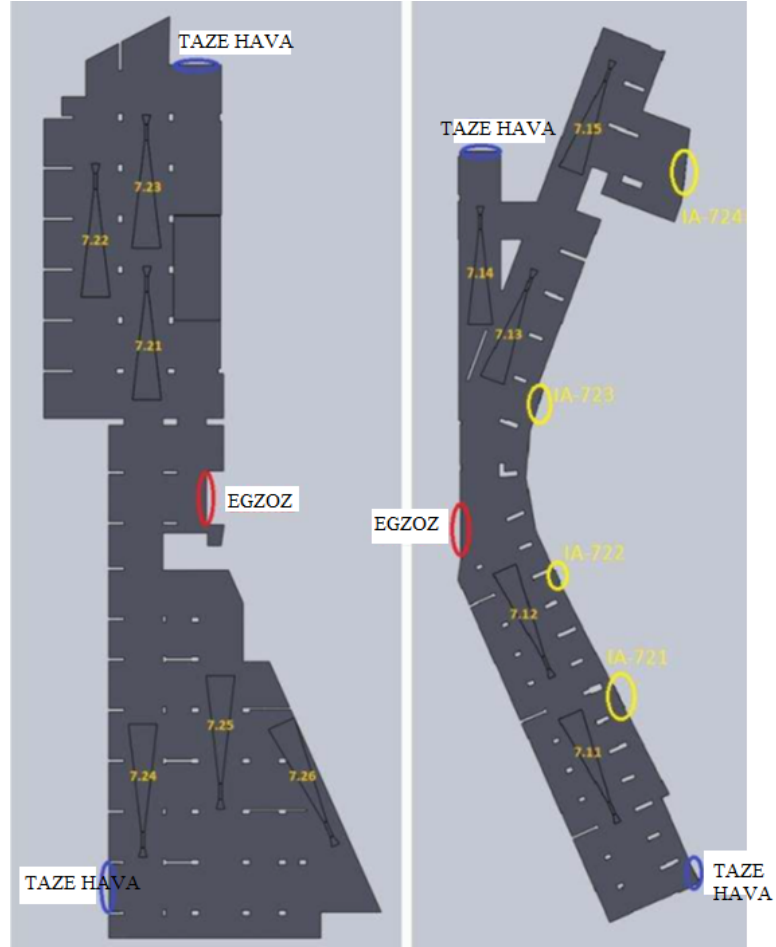
İsveç'in SRSA (İsveç Kurtarma Hizmetleri Ajansı) yangınları önleme ile ilgili bir raporunda: “1950’lerde yangının ortaya çıkmasından alevlenmesine kadar geçen süre 15 dakikaydı. 25 yıl önce, bu süre 5 dakikaya düştü ve günümüzde ölümcül durumlar 3 dakikadan sonra ortaya çıkıyor” denmektedir. Bunun nedeninin evlerde kullanılan plastik malzeme sayısındaki artış olduğu tespit edilmiştir [4].

### 1.1. Kaynak Araştırması

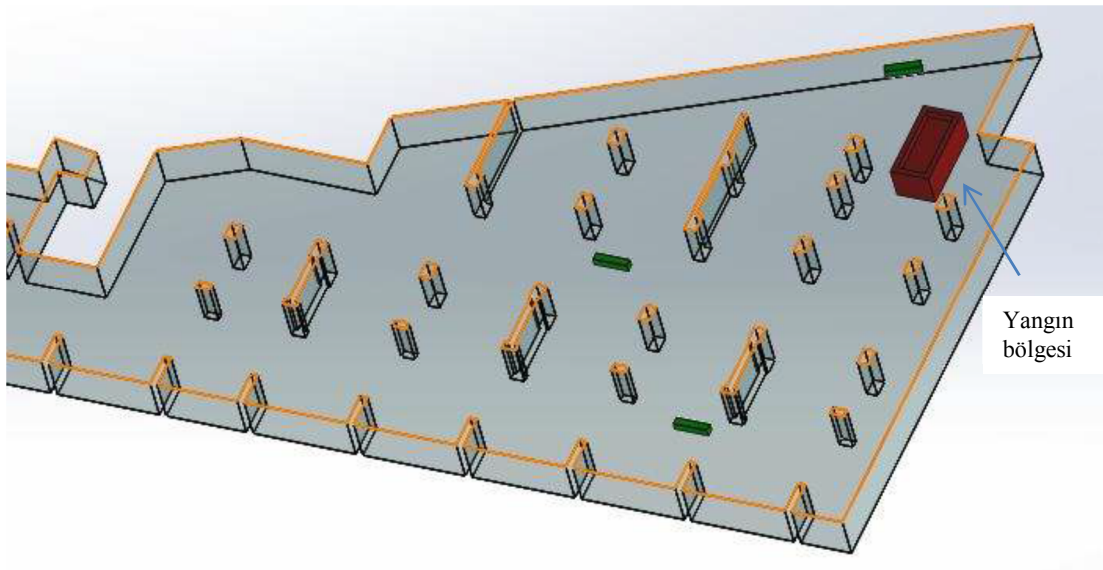
Senveli ve ark. yaptıkları çalışmada İstanbul'daki önemli bir ticaret merkezinin 8 katlı kapalı otoparkında jet fanlarla dumanın kontrolü için CFD (Computational fluid dynamics) ile analizini yapmışlardır. Çalışma ile jet fanlarının konumunun ve seçiminin uygunluğunu CFD analizi ile çözümlenerek uygun methodu ekonomik ve işlevsel yolla elde etmişlerdir. Çalışmalarını yaparken Autodesk Simulation CFD programını kullanmışlardır [5].



Şekil 1.1. Binanın katı model görünümü [5].

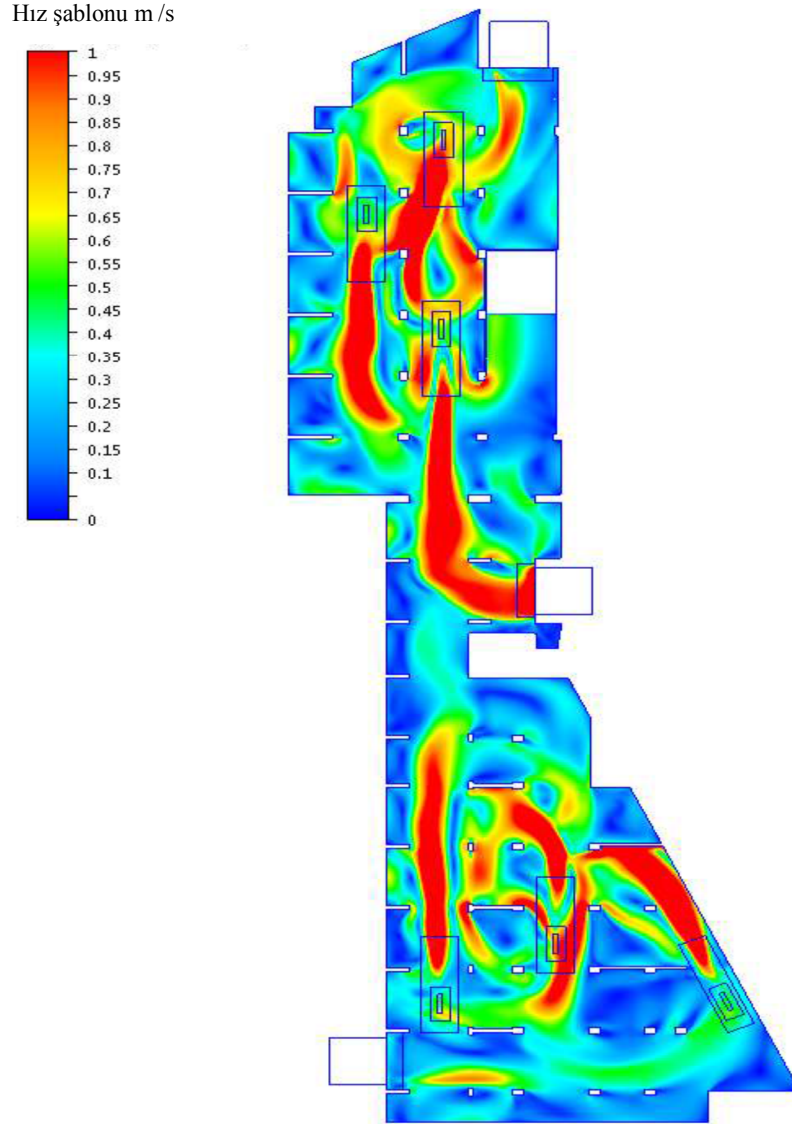


Şekil 1.2. Jet fan, taze hava ve egzoz menfezleri yerleşimlerinin gösterimi [5].



Şekil 1.3. Yangın çıkan bölge [5].

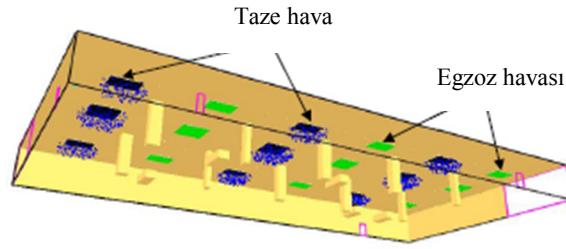
Bina duman senaryosu için 3 zona ayrılmış ve 14 metre uzunlukta 2x5 m ölçüsünde gerçekleştirilmiştir. Yangın, 123 sn sonra 4 MW'lık bir güce ulaşmıştır. 550 sn sonra jet fanların yerleşimlerine göre yangın bittiğindeki sıcaklık, hız ve duman gelişimini incelemiştir.



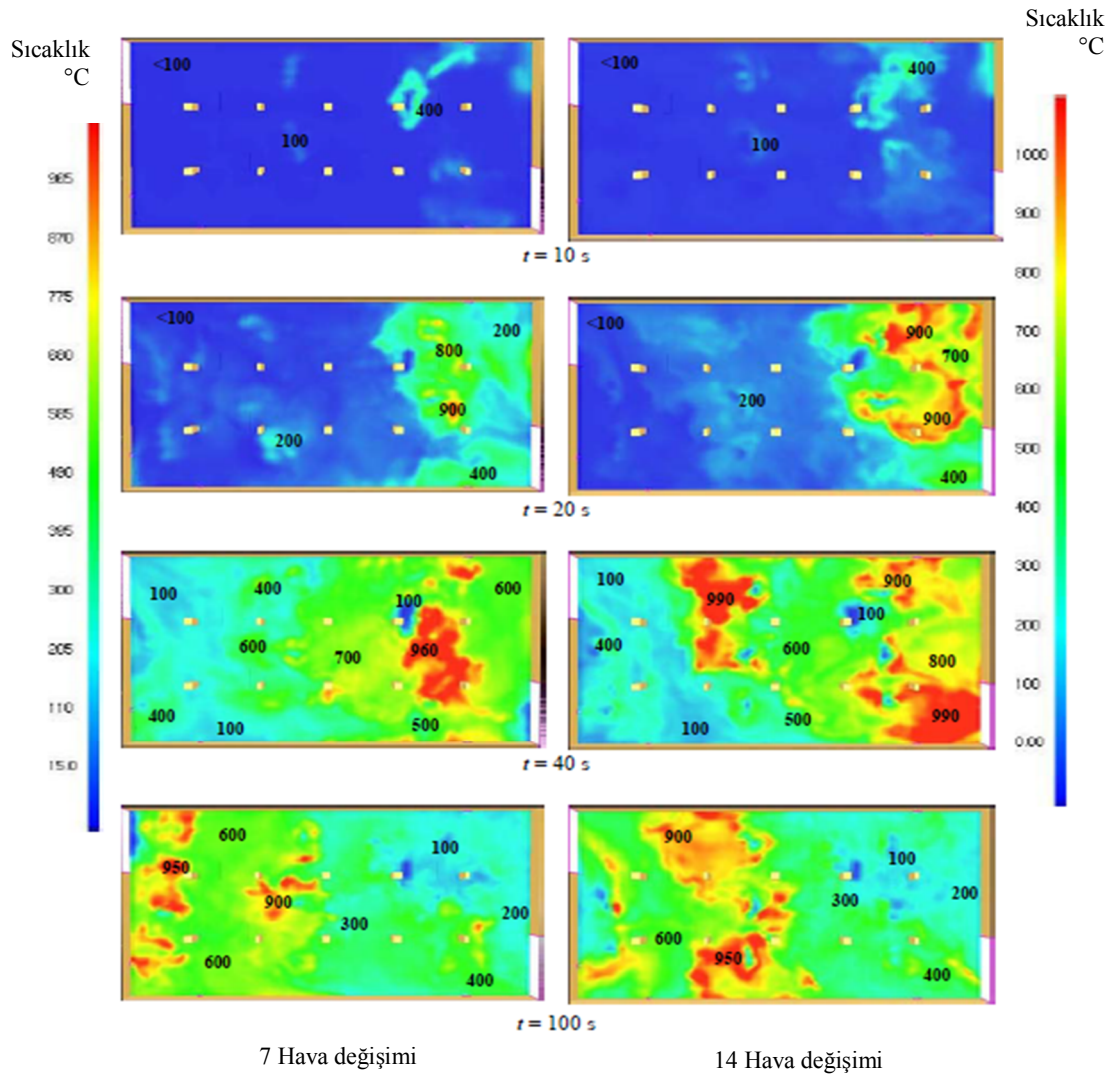
Şekil 1.4. (1.7) m yükseklikte hava akış hızı [5].

Yaptıkları farklı analizler sonucunda gerçekleştirdikleri jet fan konumlandırmalarının uygun olduğunu Şekil 1.4.'de görüldüğü gibi ortaya koymuşlardır. Duman akış hızının 0,1 m/s'nin altına düşmemesi akışın durağan hale gelmediğinin kanıtıdır. Böylelikle senaryosu gerçekleştirilen kat içinde ölü hacim kalmadığını analizler sonucu görmüşlerdir.

Chow ve ark. yaptıkları çalışmada büyük bir yeralti otoparkında gerçekleşen yangın sonucunda havalandırma miktarının duman ve sıcaklık yayılımına etkisini incelemişlerdir [6].



Şekil 1.5. Taze hava ve egzoz havası menfezleri [6].



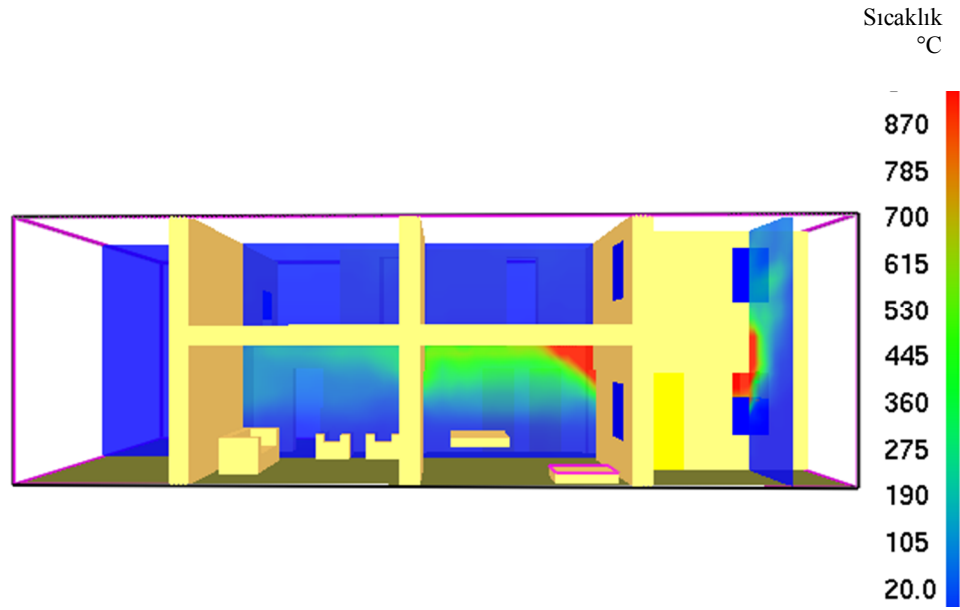
Şekil 1.6. Hava değişim sayısına bağlı ortam sıcaklıkları [6].

Artan havalandırma oranı ile birlikte yangın ve duman yayılımında arttığını görmüşlerdir. Sıcaklığın da havalandırma oranıyla doğru orantılı arttığını görmüşlerdir. Farklı bir havalandırma yöntemiyle kaçış süresinin kısaltılması gerektiğini görmüşlerdir. Bu tip bir yangın anında kaçışı ve yangına müdahaleyi kolaylaştırmak açısından yağmurlama sistemi kullanılarak kaçışa uygun bir sıcaklık, görünürlük ve duman yüksekliği uygun seviyede tutularak çözüm sağlanabilir. Bir başka yöntem ise jet fanlarla dumanı ve alevi kaçış istikametinin tersinde yönlendirmek olabilir. Yangın anında öncelikli hedef yangının büyümesinden ziyade oluşabilecek can kayıplarını engellemektir.

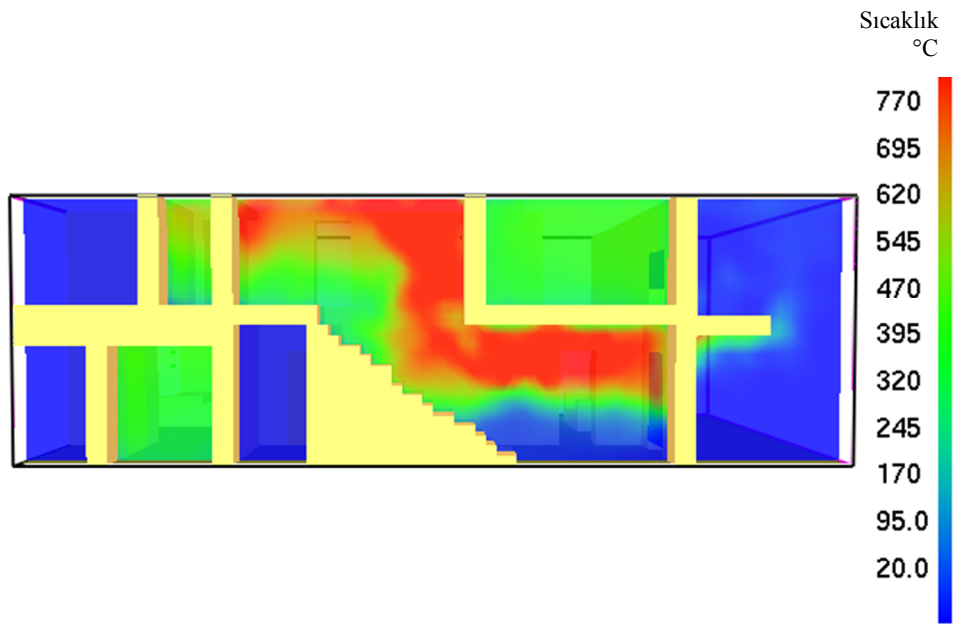
National Institute of Standards and Technology (NIST), 2 katlı dubleks bir evde yangın sırasında meydana gelebilecek ısı koşullar hakkında bilgi sağlamak amacıyla çalışma yapılmıştır. Zemin katın mutfağında ocakta çıkan yangının 60 sn içerisinde yemek odası, oturma odası ve merdiven arasında yayıldığı izlenmiştir [7].

NIST, yangın gelişimi ve tutuşma sırasında konutta mevcut olabilecek ısı koşulları elde edebilmek için Fire Dynamics Simulator (FDS) ve Smokiev programlarını kullanarak yangının bilgisayar simülasyonunu gerçekleştirmiştir. Yaklaşık 60 sn içerisinde salondaki sıcak gaz sıcaklığı 300 °C'ye çıkmış ve dakikalar içinde 600 °C'ye yükselmiştir. Duman simülasyonunda yangının 8. dakikada henüz mutfaktan dışarıya çıkmadığı görülmektedir. 9. ve 10. dakikalarda yangının zemin katın mutfak mahalinden merdivenler boyunca üst kata ilerlediğini görmüşlerdir.





Şekil 1.7. 8. dakikada yangın sıcaklık değerleri [7].



Şekil 1.8. 10. dakikada yangın sıcaklık değerleri [7].

Bu tip bir yangında yangın çıkma ihtimali yüksek olan mutfak gibi bir mahale duman dedektörü koyulmalıdır. Duman dedektörü algıladığı zehirli gazlar sonucu çalışacaktır. Ayrıca; mutfak diğer mahallerden ayıran kapının yanmaz ve sızdırmaz olması ile muhakkak dumanın yayılımı ve sıcaklık dağılımı insan kaçışına daha müsait bir ortam sağlayacaktır.

## **BÖLÜM 2. DUMAN KONTROLÜ VE MERDİVEN BASINÇLANDIRMA SİSTEMİ**

### **2.1. Genel**

Bir maddenin yanması sonucu açığa çıkan içinde katı partiküller ve buğu bulunan gaz halindeki hava karışımına duman denir. Yangınlarda can kaybı % 90 oranında duman zehirlenmesi sonucu meydana gelmektedir. Yangında duman yoğunluğuyla görünebilirlik ters orantılıdır. Duman yoğunluğu arttıkça, görünebilirlik azalır ve kaçış zorlaşır. Aynı zamanda duman yoğunluğuyla birlikte açığa çıkan toksik madde yoğunluğuda artarak yangın, kaçışa engel ve ölümcül hale gelebilmektedir.

Yapılar projelendirilirken yangın anında insanların güvenli şekilde yapıları terk etmesine ve kurtarma ekiplerinin müdahalesini kolaylaştıracak şekilde tasarım şarttır. Yangınlarda ölüm ve yaralanmalar en fazla katlar arasındaki boşluklarda ve merdivenlerde meydana gelmektedir. Yangın sırasında oluşan zehirli duman solunum sistemine ve sıcaklığa bağlı olarak deride önemli zararlara yol açabilmektedir.

### **2.2. Yangın Anında Açığa Çıkan Dumanın İnsan Sağlığına Zararları**

Duman içerisinde bulunan zehirli kimyasal maddeler insanın sağlığını tehdit etmekte deri, solunum ve göz gibi organları doğrudan etkilemektedir. Yangın esnasında açığa çıkan duman görüş mesafesini azaltmakta ve insanlarda oluşan panik nedeniyle dumandan etkilenilen süre artmakta hatta can kaybına kadar gitmektedir.

Yoğun duman ve tehlikeli gazlar yangın anında ölümün temel sebepleridir.

Bu gazlar;

- Sıcaktır: Duman ve gazlar sıcak olduklarından dolayı yanmayı iletirler.
- Opaktır: Yoğun siyah ve opak duman insanların görme ve duyma fonksiyonlarını kısıtlar, bu sebeple tahliye anında insanların oryantasyonunu bozar.
- Hareketlidir: Duman, yangının binanın diğer bölümlerine yayılmasını sebep olur.
- Çabuk tutuşur: Karbon ve yanmamış partiküllerden oluşan duman bir yakıt gibi davranmaktadır.
- Zehirlidir: Çok az miktarlarda bile tehlikeli gazların solunumu insanların başını döndürür, nefesini keser, tahliye ve kurtarma sırasında insan davranışlarını ağır bir şekilde etkiler [8].

Tablo 2.1. Bazı zehirli gazların tehlike sınırları

Zehirli Gazlar	Tehlike Sınırı (ppm)
Karbon monoksit	50-100
Formaldehit	2
Formik asit	5
Metil Alkol	200
Asetik asit	10
Hidrojen klorür	5
Hidrojen siyanür	10
Azot oksitler	5
Kükürt dioksit	5
Kükürtlü oksijen	10
NH <sub>3</sub>	25

Ortamda bulunan oksijen oranı yaklaşık % 10 mertebelerinde solumada güçlükler meydana gelmeye başlar. Yangın esnasında yararlı gaz oksijen seviyesi azalırken, karbonmonoksit, korbondioksit vb. diğer zehirli gazların etkisi de artar. Açığa çıkan kurum, kül artıkları vb. zararlı maddelerde zehirlenme oluşturur Tahriş edici maddeler yakıcıdır. İnsan vücudunun yüzeyindeki mukozaya zarar verirler. Suda erime yeteneğine sahiptirler ve nefes borusunun üst kısmına hücum ederler. Ozon, nitrojen, triklorik fosfor, tetroksit gibi gazlar suyun içinde kolay erimez, fakat nefes borusunun içine girebilir. Yangınlarda, karbonmonoksit haricindeki gazlar kokuları

sebebiyle fark edilebilir. Karbonmonoksit gazı kokusuz ve renksiz olduğundan dolayı zehirlenme vakalarına daha fazla rastlanır. Yangınlardaki ölümlerin yaklaşık % 50'sinin karbonmonoksit zehirlenmesinden olduğu tespit edilmiştir. Diğer kısmı ise çeşitli zehirli gazlar, basınç ve doğrudan yanmadan sebeptir. Duman içerisinde zehirleyici ve boğucu gazlar da bulunur. Başta karbondioksit olmak üzere hidrojen sülfat ve sodyum nitrat gibi gazlar solunum esnasında boğucu etki yaratır. Yüksek sıcaklık ise şiddetli yanıklara yol açabilir. 100 °C civarında olan nemli hava ya da buharın solunum sisteminde yanmalara sebep olur. Sıcaklığı yaklaşık 300 °C olan kuru hava, gırtlakta birkaç dakika içerisinde yanmaya sebep olur. Solunarak içeri çekilen tahriş edici duman ve zehirli gazlar yaklaşık 30 dakika içinde öldürücü etki yapar [9].

Yaşadığımız her yerde yokluğu ile hayatımızı riske sokan en önemli gaz oksijendir.

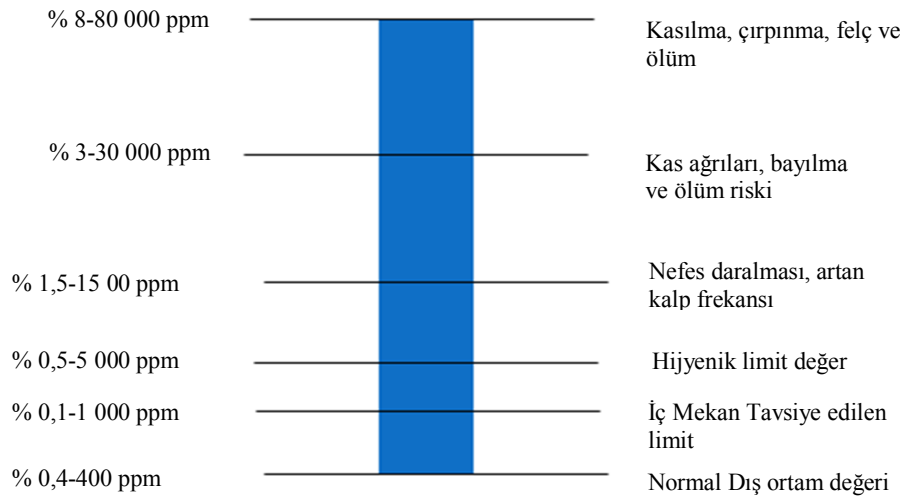
Yanıcı maddelerin yanması sırasında oksijenin tüketimi artar. Kapalı mekânlarda insan sayısı ve insanların hareketi de oksijen tüketim hızını belirler.

Oksijen oranlarının farkına bağlı zarar seviyeleri aşağıdaki gibidir:

- %20.9-23.5: Normal olan en üst düzey oranıdır. Olumsuz bir etkisi yoktur.
- %20: Normal şartlarda ortamda doğal bulunan değerdir. Olumsuz bir etkisi yoktur. %19: İzin verilen en alt seviyedir. Olumsuz bir etkisi yoktur.
- %15-19: Çalışma kabileyitinde azalma oluşur. Koroner yetmezlik ve koordinasyon kaybı yaşanır. Akciğer hastalığı ve dolaşım bozukluğu olan kişilerde belirtilerini daha fazla gösterir.
- %12-15: Nabızda artışı gözlenir. Ayrıca, soluk alıp verme sıklığı da artar. Algı ve koordinasyon bozulur.
- %10-12: Daha hızlı ve derin soluklanma oluşur. Dudaklarda morlaşma meydana gelir.
- %8-10: Dudaklarda morlaşma artar, şuur kaybı, bulantı ve kusma oluşur.
- %8-6: 4-5 dakikada uygun müdahale ile yaralı kurtarılabilir. 6 dakikada % 50 ölüm oluşur. 8 dakikada- %100 ölüm oluşur.

- %4-6: 40 sn sonra kasılma, çirpınma ve koma, solunum duruşu sonucunda ölüm meydana gelir.

Karbondioksit etkileri: Yangın sırasında yüksek miktarda CO<sub>2</sub> meydana çıkar. Ortamda bulunan oksijeni azaltma özelliği ile, insan nefesinde %4 oranında ortama atılan karbondioksit (CO<sub>2</sub>) gazı boğucu özelliğe sahip bir gazdır. CO<sub>2</sub> konsantrasyonuna bağlı olarak oluşan zarar seviyeleri Şekil 2.1.'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Karbondioksit(CO<sub>2</sub>) etkileri

Karbondioksit gazı gibi karbonmonoksit (CO) gazı da; şömine, kombi, ocak veya eksik yanma sonucunda ortama yayılan ve bulunduğu yüksek oranda zehirleyicilik özelliği olan bir gazdır. CO zehirlenmesinin ilk belirtileri, nezle ve üşütme gibi benzeri yaygın hastalıklarla benzerlikler göstermesiyle karıştırılabilmektedir. İnsanlar bu durumu algılayamadıkları için kurtarılmaları da zorlaşmaktadır. Ülkemizde yasal limiti 50 ppm olan Karbonmonoksit (CO) gazının farklı oranlara göre zarar seviyeleri şu şekildedir:

- 1600 ppm: İlk 20 dakikada, bulantı halsizlik ve baş ağrısı oluşur. 1 saate kadar da ölüm meydana gelir.
- 3200 ppm: 5-10 dakikada bulantı halsizlik ve baş ağrısı oluşur. 1 saate kadar da ölüm meydana gelir.

- 6400 ppm: 1-2 dakikada bulantı halsizlik ve baş ağrısı oluşur. 5-30 dakika içinde de ölüm meydana gelir.
- 12,800 ppm: 1-3 dakikada ölüm meydana gelmektedir.

### 2.3. Yangın Hesaplamalarında Kullanılan Denklemler

Yangın sırasında duman hareketine etki eden başlıca etmenler; baca etkisi, rüzgâr basıncı, sıcaklık farkları, sıcak gazların kaldırma kuvveti, yanma sonu gazlarının sıcaklığa bağlı genişmesi, yükseklikten kaynaklı basınç farkı ve bina içindeki hava hareketleri olarak sıralanabilir. Yangın anında açığa çıkabilecek duman miktarı hesabı (Denklem 2.1) ile ifade edilmektedir.

$$\dot{m} = 0.071k^{2/3}Q_c^{1/3}z^{5/3} + 0.0018Q_c \quad (2.1)$$

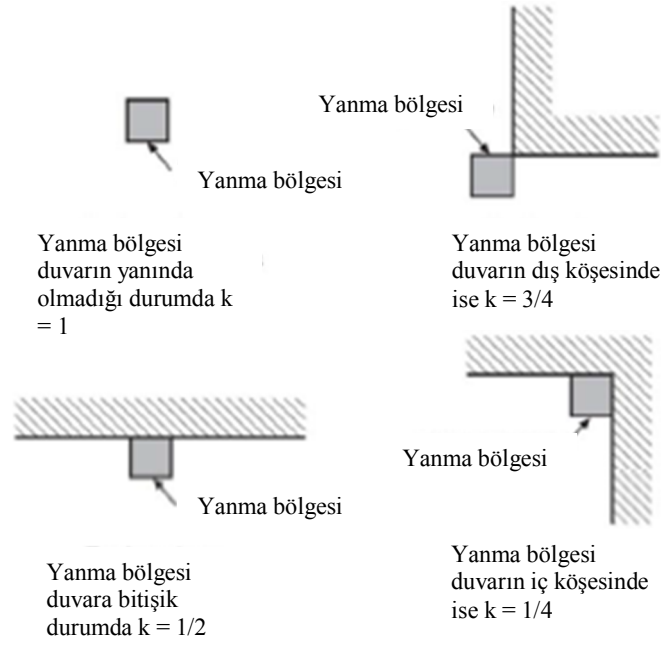
$\dot{m}$  = z yüksekliğinde kütleli akış miktarı (kg/s),

$z_t$  = sınırlayıcı yükseklik (m) ,

$z$  = yangın tabanından duman tabakası ara yüzeyine kadar olan uzaklık (m),

$Q_c$  = Yangın gücü (kw)

Yangın anında açığa çıkabilecek alev yüksekliği aşağıdaki eşitlik kullanılarak (Denklem 2.2) ifade edilmektedir.



Şekil 2.2. Yangın konumunun alev yüksekliğine etkisi [10]

$$Z_f = 0.166 \left( \frac{Q}{k} \right)^{0.4} \quad (2.2)$$

$Z_f$  = alev yüksekliği (m)

$Q$  = yangın alev gücü (kw)

$k$  = Duvar faktörü (1,  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$ )

Yangın anında açığa çıkabilecek duman sıcaklığı aşağıdaki eşitlik kullanılarak (Denklem 2.3) hesaplanmaktadır.

$$T_p = \left[ \frac{Q_c}{(\dot{m} c_p)} \right] + T_0 \quad (2.3)$$

$T_p$  = Ortalama duman sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\dot{m}$  = kütle akışı (kg / sn)

$Q_c$  = ısı tahliye hızı (kw)

$c_p$  = Kirli gazlarının özgül ısısı, 1.00 kJ / kg $^{\circ}\text{C}$

$T_0$  = Ortam sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )

Yangın anında duman akışı aşağıdaki eşitlik kullanılarak (Denklem 2.4) hesaplanmaktadır.

$$V = 3.199,1 \dot{m} (T_p + 442,78) \quad (2.4)$$

$V$  = Hacimsel duman akış miktarı ( $m^3/sn$ )

$\dot{m}$  = kütlesele duman akışı ( $kg/sn$ )

$T_p$  = Dumanın ortalama sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )

Yangın anında açıklılardaki akış aşağıdaki eşitlik kullanılarak (Denklem 2.5) hesaplanmaktadır [10].

$$V = CA \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (2.5)$$

$\Delta P$  = açıklığın iki tarafı arasındaki basınç farkı (Pa),

$\rho$  = açıklıktaki gaz yoğunluğu ( $kg/m^3$ )'dür.

$C$ ; boyutsuz akış katsayısı,

$A$ ; akış alanı (açıklık alanı) ( $m^2$ ),

$V$ ; açıklıktan olan hacimsel akış değeri ( $m^3/s$ ),

Yapısal açıklıklar ve kapılardan meydana gelen akışta boyutsuz katsayı genel olarak 0,6 ve 0,7 arasında değişmektedir. Standart olarak hava yoğunluğu  $\rho = 1,20 \text{ kg/m}^3$  ve  $C = 0,65$  için aşağıdaki (Denklem 2.5) şeklinde alınabilir.

$$V = 0,839A \sqrt{\Delta P} \quad (2.6)$$

Yangın anında açıklılardaki basınç farkı aşağıdaki gibi (Denklem 2.7) hesaplanmaktadır.

$$\Delta P = K_S \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_f} \right) h \quad (2.7)$$



$\Delta P$  = basınç farkı (Pa),

$T_0$  = dış havanın mutlak sıcaklığı, (K)

$T_f$  = mili içindeki havanın mutlak sıcaklığı, (K)

$h$  = Nötr düzlemin üzerindeki mesafe, ft (m)

$K_S$  = katsayı

Yangın anında rüzgâr etkisi aşağıdaki gibi (Denklem 2.8) hesaplanmaktadır.

$$P_W = \frac{1}{2} C_w \rho_0 V^2 \quad (2.8)$$

$P_W$  = rüzgâr basıncı

$C_w$  = boyutsuz basınç katsayısı (bina geometrisi ve yüksekliğe bağlı bir değerdir. -0,8 ile +0,8 arasında değişmektedir).

$\rho_0$  = dış hava yoğunluğu

$V$  = rüzgâr hızı.

#### 2.4. Meydana Gelme Açısından Yangının Tipleri

Yangının ilk anlarında uygun bir müdahalede bulunmak için yangın tipine göre söndürücü tercihi yapılmalıdır. Bu nedenle yangın türünün doğru tespit edilmesi gerekir. Bunlar;

##### 2.4.1. A tipi yangınlar

Yanıcı basit katı maddeler yangınıdır. Örneğin; kumaş, odun, kâğıt vb.'dir. Bu tür maddeler temel olarak kor oluştururlar. Bu yangınların söndürme şekli soğutma ile yapılmalıdır. Söndürmede kullanılacak madde ise sudur.

### 2.4.2. B tipi yangınlar

Sıvı maddeler yangınıdır (mesela, benzol, makine yağları ve yağlı boyalar, solvent, katran vb.). Genel özellikleri alevli şekilde korsuz yanarlar. Bu tür yangınlar boğma yapılarak ortamdaki oksijenin azaltılmasıyla yapılır Bunu sağlayan maddeler köpük ve kimyasal tozlardır.

Sıvı yanıcı maddeleri 3'e ayrılır. Bunlar:

- Su ile karışım sağlamayan sıvı yanıcılar: Benzin, yağlar, petrol, boyalar vb.
- Gres, katran gibi ağır yağlar: Bu tür yangınlarında boğma reaksiyonlarının kırılması ve soğutma gibi etkili yöntemler tercih edilmelidir.
- Su ile karışım sağlayan sıvı yanıcılar: Alkoller. Bunların oluşturduğu yangınlarda boğma, soğutma, zincir reaksiyonları kırmak konsantrasyonlarını düşürme için etkin söndürücü maddeler seçilir. Sıvı yangınlar için ideal söndürücü malzeme köpüktür. CO<sub>2</sub> ve kuru kimyevi tozlar ise küçük ölçekli yangınlarda kullanılabilir.

### 2.4.3. C tipi yangınlar

Yanıcı gaz maddeler yangınıdır. Mesela; asetilen, havagazı, doğalgaz vb.'dir Temel özellikleri patlama şeklinde yangın başlatmalarıdır. Söndürme şekilleri boğma, temel söndürme maddesi kuru kimyasal tozlardır.

### 2.4.4. D tipi yangınlar

Yanabilen hafif metaller yangınıdır. Örneğin; titanyum, çinko ve potasyum vb.'dir Temel yanma özellikleri alevsiz, korlu ve yüksek sıcaklıklarda yangın oluşturabilmeleridir. Söndürme biçimi boğmadır. Su kesinlikle kullanılmaması gereken maddedir. Bu şekildeki yangınları söndürmek için Özel D tipi söndürme tozları kullanılır. Bu kimyasal bulunamadığında kuru kum ile örtterek söndürülebilir. E sınıfı yangınlar, elektrik yangınları; ileriki kısımda detaylıca açıklanmıştır.

## 2.5. Söndürme Maddeleri

Yangınlarda söndürme maddesi genellikle köpük, su, ABC toz, D tozlu CO<sub>2</sub> BC tozu gibi malzemeler kullanılmaktadır.

- Su: A tipi yangınlarda kullanılır. Yangın anındaki ısıyı ortadan kaldırarak söndürme yapılan yöntemdir.
- Kuru Kimyevi Tozlar: Bu tip tozlar yanıcı ile sıvılar arasına girerek yanma reaksiyonunu sonlandırır.
- Köpük: B tipi yangınlara müdahalede genel olarak tercih edilir. Yanma yüzeyini kaplayarak hava akışını önler ve söndürme sağlar.
- ABC tozlar: Yanıcı malzemeyle ortamı kimyasal reaksiyondan ayırma ve boğma yaparak yangını söndürmektedir.
- Karbondioksit: Ortamdaki oksijeni azaltma yoluyla yapılan söndürme şeklidir. B, C ve E tipi yangınlarda kullanılmaktadır.
- D Tozu (Hafif Metal Tozu): Yüksek ısıya dayanıklı metal yangınlarında boğma usulüyle yangının sonlanmasını sağlar.

## 2.6. İşletmelerde Elektrik Sistemleri Sebebiyle Çıkabilecek Yangınlara Karşı Alınabilecek Tedbirler

İşletmelerde elektrik faktörlü bir yangın meydana gelmesi için ark oluşmalıdır. Ark, iki zıt kutup arasında kısa devre sonucunda oluşan kıvılcımdır. Dış etkenlerle izolasyon malzemesinde oluşan hasar sonucu veya ısınan izolasyon malzemesinin zedelenmesiyle ark oluşabilir. Bu durumun oluşmasına, bağlantılarda gevşeklik, fazla elektriksel yük, kablo kesitlerinin yanlış seçimi makinaların bakımsız olması, röle ve sigorta gibi elemanların arızalanması gibi durumlar neden olabilmektedir. Aşağıda belirtildiği şekilde alınabilecek tedbirlerle elektrik nedenli yangın meydana gelme olasılığı düşürülebilir.

Elektrik kaynaklı yangınların oluşmasının en önemli nedenlerinden biri ana dağıtım panolarıdır. Panolar mümkün mertebede üretim tesislerinden uzak konumlandırılmalıdır. Pamuk ve keçe gibi yanıcılığı yüksek ve hızlı olan ürünlerin bulunduğu depolarda elektrik panosu değil elektrik tesisatının bile bulunmaması gereklidir. Özellikle buharı sonucu kolay yanan kimyasalların bulunduğu tesislerde topraklamanın yapılması büyük önem taşımaktadır. Örneğin, solvent bazlı ürün sevkiyatı sırasında solvent buharının topraklama yapılmadığı takdirde oluşabilecek elektriksel kıvılcımın yangın oluşturması büyük oranda olasıdır. Fabrika ve işletmelerde bu gibi nedenlerle birçok yangın ve neticesinde hasarlar oluşmaktadır. Genel olarak aşağıda belirtilen önlemler alındığında elektrikten meydana gelen yangın sonucu oluşan hasarlar azaltılabilir.

Tesisatın kuvvetli Akım tesisatı ve topraklama yönetmeliğine uygun yapılması gerekmektedir.

Nemli ve tozlu alanlarda armatür, priz gibi elektriksel araçların IP54 (IP kodları elektrik tesisatının toz ve sudan koruma derecelerini gösteren standart) standardında olması ile ark yangınına karşı önlem alınabilir.

Trafo röle ayarları ve trafo bakımlarının düzenli olarak ve yetkili kişilerce yapılması trafo sebebiyle çıkabilecek yangınların oluşma ihtimalini azaltır.

Kolay alevlenivi malzemeler olan pamuk, talaş kâğıt ve bunun gibi malzemelerin bulunduğu tesisler yangın yükü yüksek tesislerdir. Bu gibi tesislerde depolama alanlarında elektrik tesisatı yapılmamalıdır. Eğer ki zaruret durumundan tesisat yapılacaksa tavalara veya kanaletlerle elektrik kablolarının taşınması gerekir. Bu tarz ürünlerin bulunduğu depolarda ürünler tavana yakın yapılmamalıdır. Aydınlatma armatürleri korumalı ve kapalı olarak seçilmeli, depo ürünleriyle yakınlığı olmamalıdır.

Yanıcı kimyasalların olduğu fabrika ve işletmelerde elektrik elemanları üretim tesisi ve depolama alanlarından uzak olmalıdır.

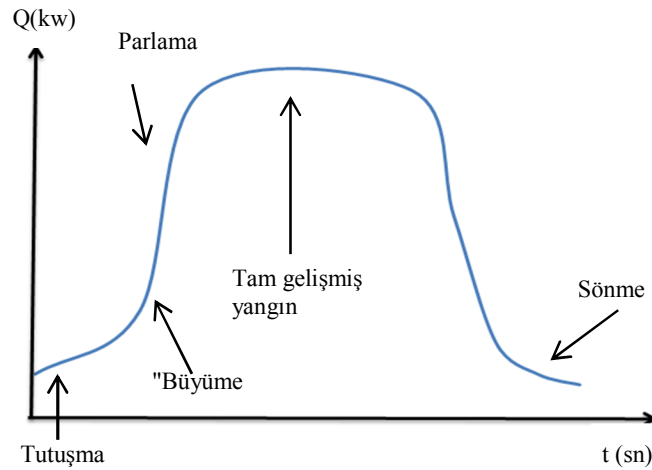
Bu tür mekânlarda yanıcı ürün konsantrasyonu kontrol altında tutularak ölçümlerinin yapılması gereklidir. Ayrıca, bu tür alanlarda havalandırma yapılarak yanıcı ürün konsantrasyonu azaltılmalıdır.

Kablolar yalnızca yangın çıkmasına değil yangının sirayetine de sebep olurlar. Örneğin; yangınlar orta gerilim veya alçak gerilim odasının bulunduğu odadan trafo tesisine, buradan da ana elektrik panosuna sıçrayarak yangının sirayetini ve büyümesine sebep teşkil edebilmektedir. Bu nedenle kablolar en kısa mesafeden veya riskli bölgelerde yer altından korunaklı bir şekilde taşınabilir. Isınan ekipmanların bulunduğu rutubetli ve yağlı alanlarda ekipmanların bakımı ve onarımı düzenli olarak yapılmalıdır. Bu konuda kondenserlerin sürekli kontrolü arızalı is değiştirilmesi önem teşkil etmektedir.

Mesai saatleri dışında yangın algılama sistemleri ve algılama haricinde makinelerin elektrikleri kapatılmalıdır. Projeden farklı elektrik tesisatındaki değişiklikler yetkin personellerce yapılmalıdır. Elektriksel sistem odaları gibi yangın çıkma ihtimali yüksek alanlarda su yerine halokarbon ve CO<sub>2</sub> gibi sistemlerle söndürme sistemleri yapılmalıdır. Eğer; otomatik kontrol sistemleri tercih edilecekse insan bulunan mahallerde CO<sub>2</sub> yerine FM200 ve NOVEC 1230 gibi halon tipli gaz alternatifleri kullanılmalıdır. Tesislerde bulunan tüm ekipmanlara giden elektrik kablolarının sigorta ile korunması muhakkak yapılmalıdır. Kablolar tesis içinde tavalarla veya kanaletlerle düzenli olarak taşınmalıdır.

## **2.7. Yangının Evreleri**

Kompartıman yangın evreleri Şekil 2.3.'de görüldüğü gibi 4 aşamadan oluşmaktadır: Tutuşma, büyüme, tam gelişmiş yangın ve sönmedir. Tüm parlama (Flashover), bir yangın evresi olmayıp büyüme ve tam gelişmiş yangın evreleri arasında hızlı bir geçiştir. Ortam sıcaklığının artması engellenemediği takdirde, ani bir sıcaklık ve basınç artışı olarak meydana gelmektedir.



Şekil 2.3. Yangın evreleri

Bu çalışmada tam gelişmiş yangın modeli kullanılarak hava hızı, duman kütle oranları ve duman yoğunluğunun insan sağlığı açısından tehlike sınırları içerisinde olup olmadığı incelenmiştir.

## 2.8. Tam Gelişmiş Yangın Modeli

Tam gelişmiş yangın modelinde ısı gücünün, tutuşmadan itibaren maksimum yangın büyüklüğü değerinde ve sabit olduğu kabul edilmektedir. Bu kabul;

- Tutuşma ve büyüme süresinin çok kısa ve hızlı olduğu sıvı yangınlarında,
- Sprinkler sisteminin faaliyete geçmesinden sonra açığa çıkan ısıya çıkan ısıya sabit kaldığı durumda,
- Yanıcılardan birinin sönüp diğerinin yanmaya başladığı ve böylece yangın büyüklüğünün sabit kaldığı kabul edilen yangınlarda geçerli olabilmektedir. Bu çalışmada atriumlu yapıda meydana gelen yangın senaryolarında tam gelişmiş yangın modeli kullanılmaktadır [11].

## 2.9. Yangın Büyüklüğü

Bir yangın sırasında açığa çıkan duman ve ısı miktarının hesaplanması için birim alandaki yangının alan büyüklüğü ve ısı akısının bilmesiyle bulunabilir.

Yangın büyüklüğü aşağıdaki (Denklem 2.9) gibi hesaplanmaktadır.

$$q = \alpha \cdot t^2 \quad (2.9)$$

$q$  = yangının ısı salınım miktarı (kw)

$\alpha$  = yangının büyüme sabiti (kw/s<sup>2</sup>)

$t$  = yangının tam gelişme zamanı(s)

## 2.10. Açığa Çıkan Isı Şekli Bakımından Yangın Tipleri

Yangınlar zamana bağlı düzenli ve düzensiz yangın olarak ikiye ayrılır.

### 2.10.1. Düzenli yangınlar

Düzenli yangınlarda açığa çıkan ısı miktarı sabit kalmaktadır. Düzenli yangınlarda yangın, belirli bir değere kadar hızlı bir şekilde büyür daha sonraki büyüme ise yangını kontrol eden faktörlere ve diğer yanıcı maddelere olan mesafeye bağlı olarak değişir. Atrium ve büyük mahallerde havanın bol olması sebebiyle, yangın boyutu çok fazla değişkendir ve sınırı belli değildir. Büyük alanlarda yangın boyutu yangına sebep olan yanıcı malzeme ve ortamdaki diğer malzemelere göre değişir ve bunların toplamıdır. Yangın yüküyle alakalı parametrelerin fazla olmasından dolayı atriumlu binalarda yangın büyüklüğü ile alakalı farklı görüş ve öneriler sunulmaktadır. Bunlardan birisi, en az yangın büyüklüğü 4.6 MW olmak üzere atrium alanı için 500 kw/m<sup>2</sup> değeri kullanılır. NFPA 92B'ye göre ise en az yangın büyüklüğü 1.1 MW olarak önerilmektedir. Bu öneriler, atriumlu binalarda yağmurlama sistemi olup olmamasına göre değişkenlik gösterir [12].

### 2.10.2. Düzensiz yangınlar

Zamana bağlı olarak değişen yangınlardır. Düzensiz yangınlar için açığa çıkan ısı miktarının zamanın karesinin fonksiyonu olduğu düşünülür ve (Denklem 2.10)'daki gibi ifade edilir.

$$\dot{Q} = 1055 \left( \frac{t}{t_g} \right)^2 \quad (2.10)$$

Bu eşitlikte;  $\dot{Q}$ : açığa çıkan ısı miktarı (kw), t: efektif tutuşmadan itibaren geçen süre (s),  $t_g$ : yangın büyüme zamanı (s) dir. Farklı bir ifade ile efektif tutuşma zamanı, yangının 1055 kw değerini aştığı zamana kadar olan aralıktır.NFPA72'ye göre ultra hızlı gelişen yangın efektif tutuşma zamanından 1055 kw ısı miktarına 75 s.'den az bir sürede gelişen yangını, hızlı gelişen yangın, efektif tutuşma zamanından 1055 kw ısı miktarına 150 s.'den az bir sürede ulaşan yangındır. Orta hızda gelişen yangınlar, efektif tutuşma zamanından 1055 kw ısı miktarına 150 s. ile 600 s. arasında ulaşan yangınlardır. Aynı ısı miktarına 600 s. veya daha fazla sürede ulaşan yangınlar ise yavaş gelişen yangınlardır [13]

## 2.11. Merdiven Yuvalarında Basınçlandırma Sistemi

Bir binada yangın anında merdiven yuvalarının insanların kaçışını ve kurtarma ekiplerinin müdahalesini karşılayacak şekilde kullanılabilir halde olmalıdır. Merdiven yuvasına duman girişinin engellenmesi için gerekli debideki havanın merdiven yuvasına fanlar vasıtasıyla basılmasıdır. Bu işlem merdiven basınçlandırılması olarak adlandırılır.

### 2.11.1. Basınçlandırma İle Duman Kontrolü Esasları

Duman kontrolünün iki ana prensibi vardır [14].

- Eğer hava akış hızı büyükse hava akımı ile duman yönlendirilebilir.
- Kısımlar arası basınç farkı da dumanı yönlendirmede kullanılabilir.

Seçeneklerdeki çözümler sistemlere göre farklılık gösterebileceğinden iki yöntemle de hesap yapılmalıdır. Geniş açıklıklarda hız faktörü, küçük aralıklarda basınç faktörü esas alınır.



Yukarıdaki esaslar tasarımın ve duman kontrolü için basınçlandırma sisteminin yeterli olarak kullanımının ana prensipleridir. Bu şekildeki prensipler İngiliz Standartları BS5588 Bölüm 4: 1978'in ve Bölüm 5: 1991'in temellerini oluşturur ve aynı prensipler Tablo 2.2.'de listelenen birçok uluslararası standartlarda da görülmektedir. (Her ne kadar Türkiye'deki Yangın Yönetmeliği farklılıklar gösterse de bunlar temel tasarım kriterlerini fazla etkilemediğinden burada BS 5588 kart 4 ve 5 esas alınmıştır) [15].

Tablo 2.2. Çeşitli standartların karşılaştırılması

Ülke	Standart	Basınç(PA)		Kapıdaki hava hızı	Açık kapı sayısı
		Min.	max		
İngiltere	BS5588 Bölüm 4:1978	50	60	0,75 m/s	Bir (Yangın Katında iki kapı)
	BS5588 Bölüm 5:1991	İlgili Değil		2 m/s	Üç (Yangın katında 2 kapı)
Avustralya	AS 1668 Bölüm 1	50	110		Üç (2 Katta 2 kapı)
Singapur	CP 13	50	110	1 m/sn	Üç (2 Katta 2 kapı)
Kanada	N.B.C.C 1990	Belirtilmemiştir		4.72 m <sup>3</sup> /s + 0,094 m <sup>3</sup> /s (her kapı için)	Dört (3 Katta 2 kapı)
U.S.A 1988	U.B.C	37	-		
	N.F.P.A (92A) 1988	45'e	133		
		kadar			
U.K Bölüm 4:1988	BS 5588	50	60	Kaçış merdiveni 0,75 Yangın Söndürme 2,00	Bir (A&C Sınıfı Sistem) İki (D Sınıfı Sistem) Üç (E Sınıfı Sistem)
Türkiye	Yangından Korunma Yönetmeliği	15	60		En az bir iç, bir dış kapı açık

### 2.11.2. Merdiven Kovalarında Basınçlandırma Sistemi

Türkiye Cumhuriyeti Bayındırlık ve İskân Bakanlığının Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmeliği'nin 89. maddesine göre basınçlandırma ile ilgili yaptığımız analizler ile alakalı bazı gereklilikler;

- Konutlar haricinde bütün binalarda merdiven kovası 30.5 metreden fazla ise kaçış merdivenlerine basınçlandırma sistemi uygulaması yapılmalıdır.
- Yapı yüksekliği 51.50 m'den yüksek olan konutlarda da basınçlandırma şarttır.
- Bodrum kat sayısı 4'den çok binalarda bu bölüme ulaşan kaçış merdivenlerinde basınçlandırma yapılmalıdır.
- Basınçlandırma sistemi devreye girdiği zaman kapı koluna etki edilmesi gereken kuvvetin insanların kapıyı açmasını engellemeyecek şekilde olmalı ve 110 Newton'u geçmemelidir.
- Merdiven basınçlandırma sistemi devrede olduğunda, bütün kapılar kapalıyken bina alanı ve merdiven kovası arası basınç farkı en az 50 Pa olmalıdır. Kapıların açık hali için en az 15 Pa fark olmalıdır.
- Basınçlandırma sistemi devreye girdiğinde açık bir kapıdan korunaklı kısma duman geçişini engelleyecek hızda hava hızı olmalıdır. Bu hız peşpeşe gelen iki katın ve dışa çıkış kapısının açık olduğu durum için sağlanmalıdır. Kapıların tamamen açık olduğu bu durumda ortalama hız en az 1 m/s olmalıdır.
- 2 iç ve 1 dış kapıya göre bulunan değere diğer kapılarda oluşacak sızıntı değerleri de eklenerek sistem tasarlanır.
- Fazla basınç artışı olabileceği düşünülerek basınç rahatlatma damperi ve frekans kontrollü sistemler seçilmelidir.
- 25 m'den yüksek olan merdivenlerde birden fazla üfleme yapılmalıdır. 51.50 m'den yüksek binalarda en fazla her üç katta bir üfleme yapılmalıdır.

Bu yaklaşımlar doğrultusunda her bina yapısına göre hesaplamalar değişebileceğinden fan debisini Pratik hesaplar sonucu fan değeri basınçlandırma yapılan analizlerde  $10 \text{ m}^3/\text{sn}$  500 Pa olarak alınmıştır. Doğru tasarlanan ters basınçlandırma ile merdiven kovasının yangın anında güvenilir alanlar olabileceği anlaşılmıştır.

Genel hava debisi eşitliği:

P (Pa): ortamlar arası basınç farkı,  $A_E$  ( $m^2$ ) : efektif sızıntı alanı,  $\dot{Q}$  ( $m^3/sn$ ) hava akış miktarı aşağıdaki gibi (Denklem 2.11) hesaplanır.

$$\dot{Q} = 0,83A_E P_N^1 \quad (2.11)$$

N: 1 ila 2 arasında sızıntı alanı türüne göre değişir. Bu değer geniş açıklar ve kapı çevre sızıntı alanları için 2, pencereler çevresindeki açıklıklar için 1,6 alınmalıdır.

Pencere bulunmadığı durumlarda yangın merdivenlerinde sızıntı alanlarından geçen hava debisi aşağıdaki şekilde (Denklem 2.12) hesaplanır.

$$\dot{Q} = 0,83A_E P_2^1 \quad (2.12)$$

## BÖLÜM 3. KULLANILAN PROGRAMLAR VE UYGULANAN YÖNTEMLER

### 3.1. 3 Boyutlu CAD Modeli İçin Kullanılan Yazılımlar

CAD modelinin oluşturulması için AutoCad, SolidWorks ve PyroSim programlarından yararlanıldı. Daha önce Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekanlığı tarafından AutoCad programında hazırlanmış, M1, M2, M3, M4, M5 ve M6 binalarının tüm katlarının ayrıntılı ölçüleri 2 boyutlu olarak bulunmaktadır. SolidWorks programı aracılığıyla mevcut ölçüler doğrultusunda katlar çizilip, montaj yapılarak tüm binalar 3 boyutlu olarak elde edilmiştir. Bina 2 farklı durumda analiz yapılacak şekilde modellenmiştir. Bu durumlar şunlardır:

- Normal durum
- Fan uygulaması ile ters basınçlandırma yapıldığı durum (Mevcutta olmayan fakat sonradan eklenmiş basınçlandırma fanı ve merdiven kapıları).

Çizilen bu durumların montajlı hali STL formatında kaydedilip, PyroSim programına aktarılmıştır.

### 3.2. PyroSim Yazılımı

PyroSim programı açık kaynak kodlu FDS yazılımını içerisinde barındıran, yangın modelleri oluşturmak ve analizini yapmak için hazırlanmış bir yazılımdır. PyroSim ile CAD modeller ve yangın analizi entegreli paralel işlemler yapılabilir. Bir yapı tasarımının yangında nasıl olacağı PyroSim ile simüle edilebilir.

### 3.3. Modellemede Uygulanan Parametreler

Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binalarında çıkabilecek bir yangın senaryosu için öncelikle binanın 3 boyutlu CAD modeli oluşturulmuştur. HAD simülasyonunun yapılacağı binaları içeren bir çözüm hacmi belirlenmiştir. Sınırları belirlenen hacim üzerine HAD simülasyonunu yapabilmek için gereken ağ yapısı oluşturulmuştur. Hazırlanan modellere ve yangının çıktığı ana şalter ve elektrik kablolarına sınır koşulları ve malzeme tanımlamaları girildikten sonra simülasyonlar gerçekleştirilmiştir

#### 3.3.1. 3 Boyutlu CAD Modelinin Hazırlanması

Mimari projesi mevcut olan Mühendislik Fakültesi binalarının detaylı ölçüleri teknik resim üzerinden alınmıştır. M3 binasının modellemesi PyroSim programında diğer binaların modellemesi ise solidworks programı ile 3 boyutlu olarak oluşturulmuştur.

#### 3.3.2. Ağ Yapısı (Mesh)

PyroSim programı açık kaynak kodlu FDS yazılımını içerisinde barındırmakta ve bu yazılım arka planda HAD çözücü olarak çalışmaktadır. FDS temelde yangın modellerini oluşturmak için hazırlanmış bir yazılımdır. Ara yüz olarak çalışan PyroSim yazılımı ile 3 boyutlu modeller oluşturup, yangın, reaksiyon ve malzeme özellikleri tanımlanıp ve yangın analizi entegreli paralel çözümler yapılabilir. HAD yazılımında akış çözümü Large Eddy Simulation (LES) türbülans modeli ile yapıldığı için yazılım otomatik olarak akış hacmini katı modelden ayırarak bu hacme düzenli (dörtgensel) ağ yapısı oluşturmaktadır. Yazılımın dörtgensel ağ yapısını kullanmasının temel nedeni türbülans modelinin LES olarak uygulanması ve LES türbülans modelinin düzenli ve oldukça yoğun ağ yapısına ihtiyaç duymasıdır. Bu yüzden modeldeki kıvrımlı yüzeyler ağ yapısının büyüklüğüne göre dörtgenlere bölünmektedir.

### 3.3.3. İdeal Mesh Sayısı Hesabı

Çalışmada mesh sayılarının düzgün seçilmesi sonuçların kalitesi açısından önem arz etmektedir. FDS'deki en önemli sayısal parametre ızgaralı hücre boyutudur. CFD modelleri, sayısal bir grid üzerinde kütle, momentum ve enerjinin korunum denklemlerinin yaklaşık bir formunu çözer. Bu sebeple mesh hesabı yapılırken Yazılım Mühendisi Kristopher Overholt'e ait '<http://www.koverholt.com/fds-mesh-size-calc/>.' sitesinde bulunan FDS mesh hesaplama modülü ile gerekli ızgara ölçüleri rehber olarak kullanılmıştır. Kullanılan mesh değerleri farklı analizlerde arttırıldığında kayda değer değişiklikler olmadığı görülmüştür. Bu sayede model ağ yapısının çözüme etkilerinden bağımsız hale geldiğinden emin olunmuştur. Bu sebeple tüm simülasyonlar 0,21 x 0,21 x 0,21 [m] ölçülerinde eş dörtgen prizmalardan oluşan 2.677.350 adet ağa sahip hacimsel yapı kullanılarak yapılmıştır. FDS kullanım kılavuzunda, çeşitli senaryolardaki yangınları doğru bir şekilde çözmek için 4 ile 16 arasında bir  $D^* / dx$  oranı kullanılmıştır. Çalışmada  $D^* / dx$  değeri (Denklem 3.2) 4 alınarak çözümlenmeler yapılmıştır. [16] Bu değer farklı alındığı durumda gözle görülür değişiklikler olmadığı analizlerle kontrol edildi. Yükselen duman içeren simülasyonlar için, akış alanının ne kadar iyi çözüldüğünün ölçüsü boyutsuz bir ifadeyle hesaplanır. Bu hesaplamalar aşağıdaki boyutsuz formülle yapılabilmektedir [17].

$$D^* = \left( \frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}} \quad (3.1)$$

$$D^* / dx = 4 \quad (3.2)$$

$Q$  = Isıl Yayılım Oranı = 750 kw

$\rho_{\infty}$  = Yoğunluk = 1,204 kg /m<sup>3</sup>

$c_p$  = özgül ısı = 1,005 kJ / kg. K

$T_{\infty}$  = sıcaklık = 293 °K

$g$  = yer çekim ivmesi = 9,81 m / sn<sup>2</sup>

Gerekli hesaplamalar yapıldığında

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

$D * / dx=4$  olduğundan;

$dx=$  mesh ölçüsü = 0,21 m olarak kullanıldı.

Mesh hacmi/mesh ölçüsü = toplam mesh sayısı

M1 Binası: 47 m x 19 m x 20 m / 0,21 m x 0,21 m x 0,21 m = 1 944 000 adet mesh sayısına göre analiz yapılmıştır.

M2 Binası: 45 m x 16 m x 16 m / 0,21 m x 0,21 m x 0,21 m = 1 215 000 adet mesh sayısına göre analiz yapılmıştır.

M3 Binası: 57 m x 29 m x 15 m / 0,21 m x 0,21 m x 0,21 m = 2 677 350 adet mesh sayısına göre analiz yapılmıştır.

M4 Binası: 47 m x 14 m x 13 m / 0,21 m x 0,21 m x 0,21 m = 972 000 adet mesh sayısına göre analiz yapılmıştır.

M5 Binası: 46 m x 27 m x 17 m / 0,21 m x 0,21 m x 0,21 m = 2 211 000 adet mesh sayısına göre analiz yapılmıştır.

M6 Binası: 47 m x 25 m x 20 m / 0,21 m x 0,21 m x 0,21 m = 2 592 000 adet mesh sayısına göre analiz yapılmıştır.

### 3.3.4. Simülasyon Parametreleri

Zemin kattaki koridorda yer alan elektrik kat dağıtım panosu ve kablo kanalları koridorda bulunduğu şekilde ve boyutlarında çizilerek modele eklenmiştir. Yangının kat panosunda çıkabileceği ihtimali daha yüksek olduğundan yangının başlangıç yeri de yine kat dağıtım panosunun ön kısmı olarak tanımlanmıştır. Binaların duvarları modelde beton malzeme olarak tanımlanmıştır. Zemin katta yer alan elektrik panoları için PVC kablo malzemesi tanımlanmıştır. Tanımlanan malzemelerin yoğunluk, özgül ısı, iletkenlik ve ışınım yayma faktörü değerleri Tablo 2.1.'de görülmektedir.

Tablo 2.1. Malzeme özellikleri

Malzeme Özellikleri / Malzeme	Beton	Çelik	Kablo (PVC)
Yoğunluk	2280 kg/m <sup>3</sup>	7850 kg/m <sup>3</sup>	1380 kg/m <sup>3</sup>
Özgül Isı	1,04 kJ/(kg.K)	0,46 kJ/(kg.K)	1,289 kJ/(kg.K)
İletkenlik	1,8 W/(m.K)	45,8 W/(m.K)	0,192 W/(m.K)
Işınım Yayım Faktörü	0,9	0,95	0,9

Zamana bağlı olarak simülasyonun yapılacağı çalışmada kurgulanan yangın için model 1000 sn süresince çalıştırılmış ve bu süre zarfında dumanın bina içerisindeki yayılımı incelenmiştir. Sakarya ilinin günlük ortalama nem oranının yaklaşık %70 olduğu tespit edilmiş, yangın esnasından nem oranı %70 olacak şekilde modele girilmiştir [18]. Modelde kullanılan diğer simülasyon parametreleri Tablo 3.2.'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Ortam parametreleri

Ortam Sıcaklığı	20 °C
Ortam Basıncı	1 atm
Oksijenin kütle oranı	0,232378 kg/kg
Maksimum Görünürlük	30 m
Yer Çekimi İvmesi	9,81 m/s <sup>2</sup>

### 3.3.5. Yüzey Oluşturma

Analizin gerçekleştirilebilmesi için seçilen malzemeler doğrultusunda binalara beton duvar, sac levha, sunta ve kablo isimlerinde yüzeyler oluşturulmuştur. Kablo yüzeyine reaksiyon bölümünde anında yanabilme özelliği seçilmiştir. Böylece yangın belirlenen noktadan başlatılabilmektedir. Oluşturulan yüzeylere aşağıdaki özellikler tanımlanmıştır:



Tablo 3.3. Yüzey özellikleri

Yüzey özellikleri / yüzey	Beton duvar	Kablo	Sunta	Sac levha
Yüzey tipi	Katmanlı	Katmanlı	Katmanlı	Katmanlı
Yüzey rengi	Gri	Siyah	Yeşil	Mavi
Kalınlık	0.3 m	0.0381 m	0.04 m	0,00128016 m
Kütle kesri	1.0	1.0	1.0	1.0
Malzeme	Beton	Kablo (PVC)	Sunta	Çelik

Tamamlanan modelde, modelin uygun bölgelerine PyroSim’de oluşturduğumuz yüzeyler atanmıştır. Modele atanan yüzeyler aşağıdaki gibidir:

Tablo 3.4. Modele atanan yüzeyler

Montajlanmış STL olarak atılan bölümler		PyroSim’de çizilen bölümler	
Modelin bölümleri	Atanan yüzey	Modelin bölümleri	Atanan yüzey
Montaj –masalar	Sunta	Ana Şalter	Sac levha
Montaj - siralar	Sunta		
Montaj – koltuklar	Sunta	Kablo	Kablo (PVC)
Montaj – diğer kısımlar	Beton duvar		
Montaj – diğer kısımlar	Beton duvar		

Sıra, masa ve koltuklar sadece M5 binası için yapılmıştır. Fakat; tutuşma sıcaklığına ulaşılmadığından sonuçları etkilememiştir.

## BÖLÜM 4. ANALİZ ÇALIŞMALARI

Analiz çalışmaları 5 adet binada merdiven basınçlandırması yapılarak gerçekleştirilmiştir. 1 adet bina için ise, atriuma sahip olduğundan duman tahliyesi şeklinde çözümlene yapılmıştır. Bazı binalarda merdivenler kaçış merdiveni olmadığı için çözümlenelerde kapı olduğu varsayılarak duman dağılımı incelenmiştir.

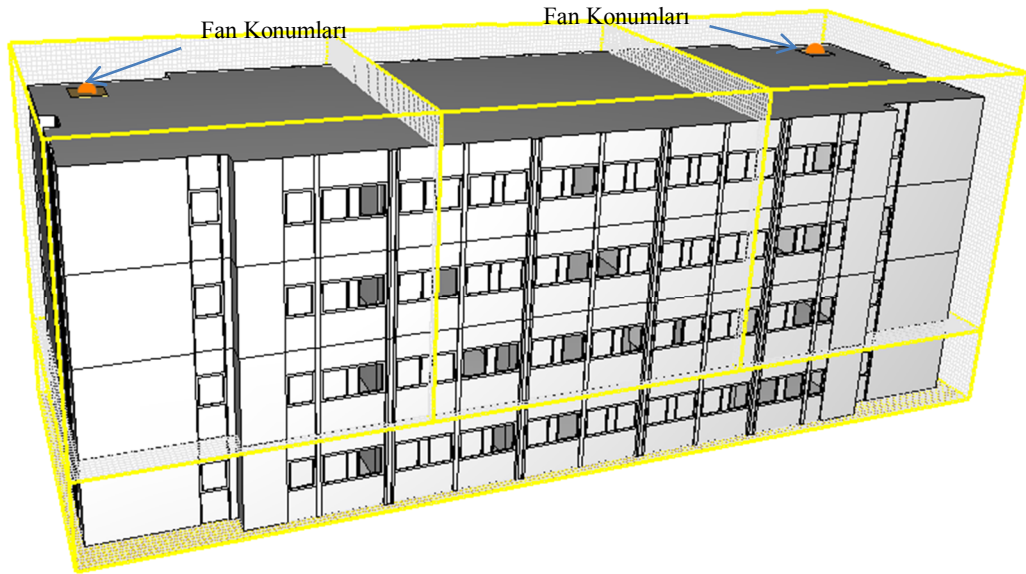
Analiz çalışmalarında bazı varsayımlarda bulunulmuştur. Bu varsayımlar;

- Projelendirmede sızıntı alanı olmayacak şekilde bina tasarımı yapılmıştır.
- Bazı binalardaki merdivenler kapı koyularak kaçış merdiveni olarak modellenmiştir.
- Merdiven basınçlandırma yönetmelik gereği tasarımı yapılan binalarda istenmese de insan yoğunluğu fazla olduğu için böyle bir çalışma yapılmıştır.
- Ortam sıcaklığı 20 °C olarak kabul edilmiştir.
- Dış rüzgar ve basınç etkileri yok sayılmıştır.
- M3 binası haricinde bütün analizlerde 1 adet açık kapı alanı düşünülerek aynı değer olan 10 m<sup>3</sup>/sn, 500 Pa fan kullanılmıştır.
- Duman tahliyesi yapılan M3 binasında ise bina hacminin en az 10 hava değişimi yapılacağı düşünülerek 16 m<sup>3</sup>/sn'lik fan debisi esas alınarak çözümlene yapılmıştır.
- Sadece M5 binasında sıra, masa ve koltuklar eklenmiş ve sisteme tanımlanmıştır. Fakat; tutuşma sıcaklığına ulaşılmadığından bu ürünlerde yanma gerçekleşmemiştir.
- Yangının en yüksek yüke ulaşma zamanı 100 sn olarak hızlı bir yangın kabul edilmiştir. Bu süre sonunda yangın yükünün 750 kw olacağı varsayılmıştır.

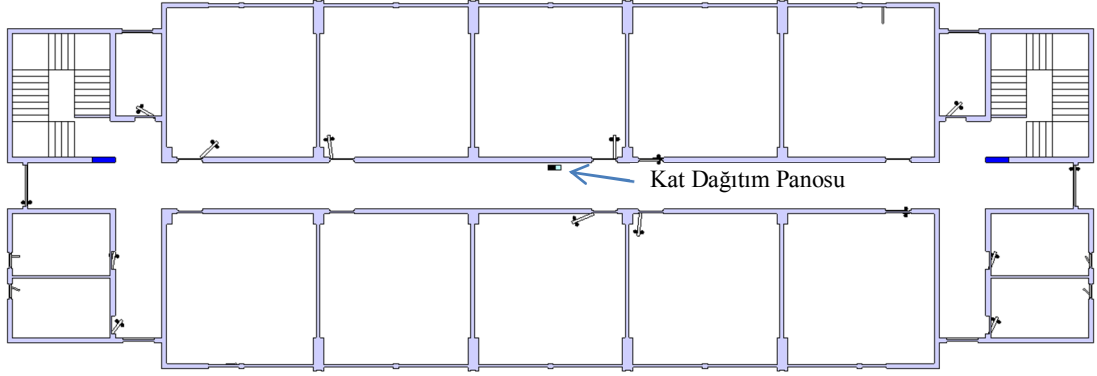
#### 4.1. Model Oluşturma

Binaların teknik ölçüleri Autocad programında çizilmiş mimari projelerinden alınmıştır. Bu ölçülere göre SolidWorks'de 3 boyutlu çizip montajlanan mühendislik binası modelleri STL formatında kaydedilmiştir. Hazır haldeki mühendislik modelleri bu formatta PyroSim'e aktarıldı. PyroSim'de model seçilerek onun üzerinde, ana şalter, kablo ve yangının çıkacağı yer çizilmiştir. Programda, koordinatlar girilerek çizimin boyutları ve konumları belirlenir.

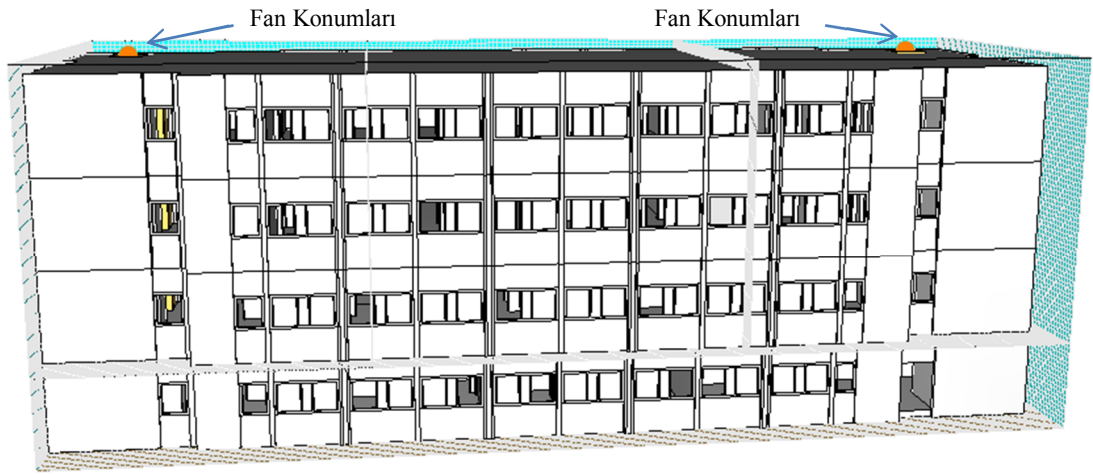
Ana şalter ve kablolar zemin katında koridordaki kat dağıtım panosu veya elektrik odalarında bulunduğu konumda ve boyutlarında çizilerek, modele eklenmiştir. Yangının ana şalterden veya kat dağıtım panosundan çıkabileceği düşünüldüğünden yangın çizimi de ana şalter veya kat panosu yüzeyinin üstüne çizilmiştir. Sadece M3 binası model olarak basit olduğundan Pyrosim programı altyapısında 3 boyutlu katı modeli oluşturulmuştur.



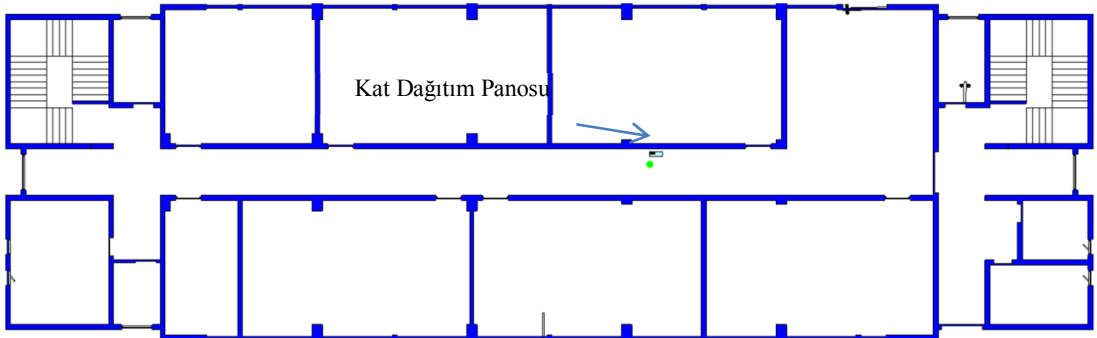
Şekil 4.1. M1 binası 3 boyutlu model görünümü ve fan yerleşimleri



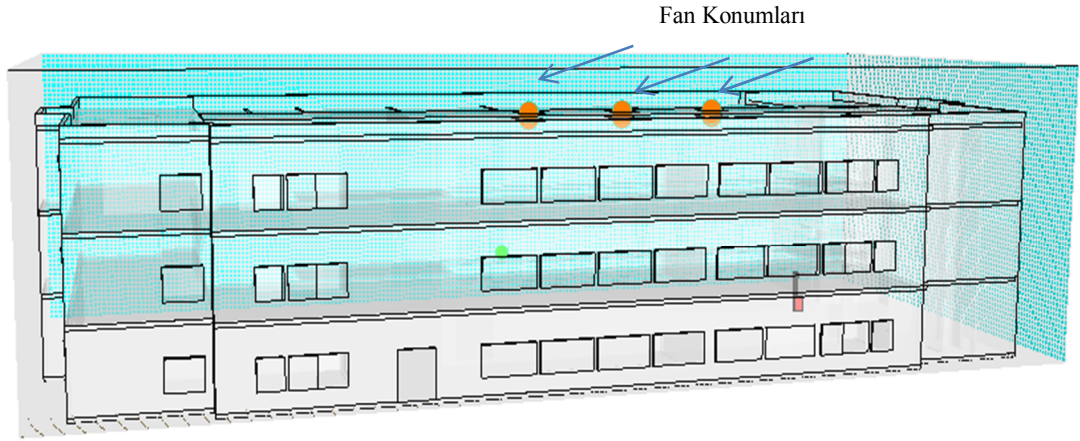
Şekil 4.2. M1 binası 2 boyutlu model görünümü ve pano yerleşimleri



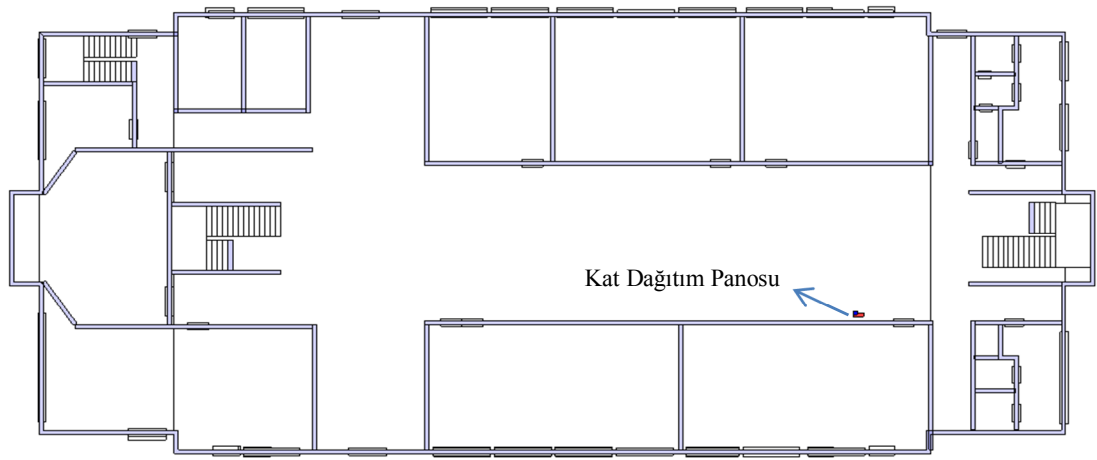
Şekil 4.3. M2 binası 3 boyutlu model görünümü ve fan yerleşimleri



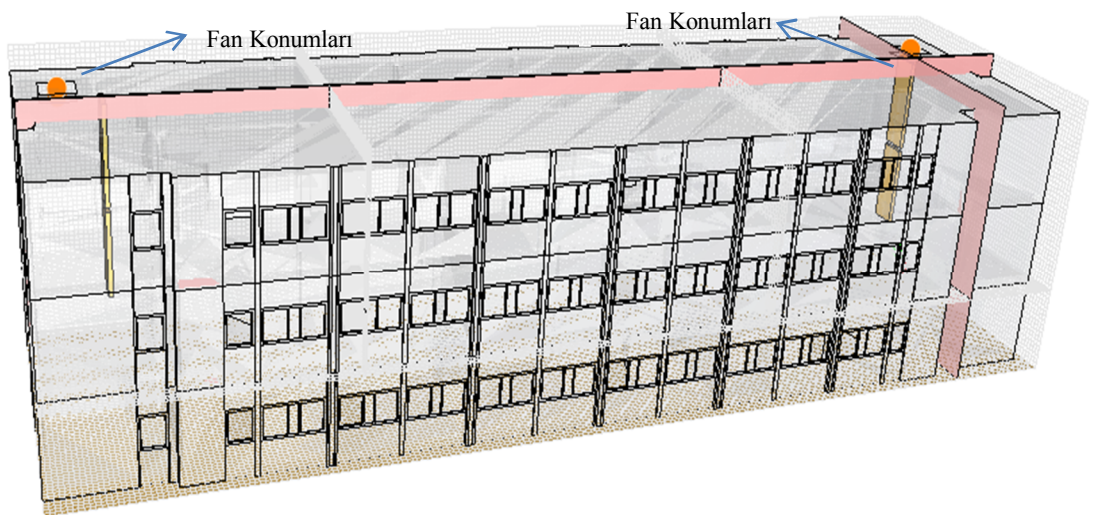
Şekil 4.4. M2 Binası 2 Boyutlu Model Görünümü ve Pano Yerleşimleri



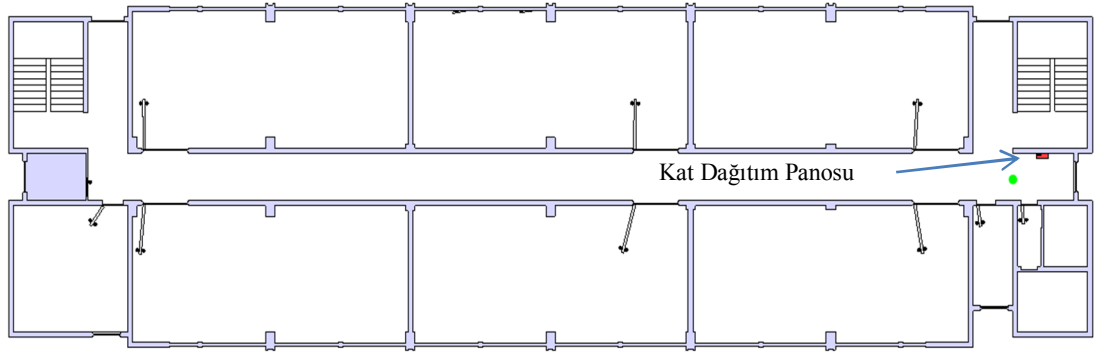
Şekil 4.5. M3 binası 3 boyutlu model görünümü ve fan yerleşimleri



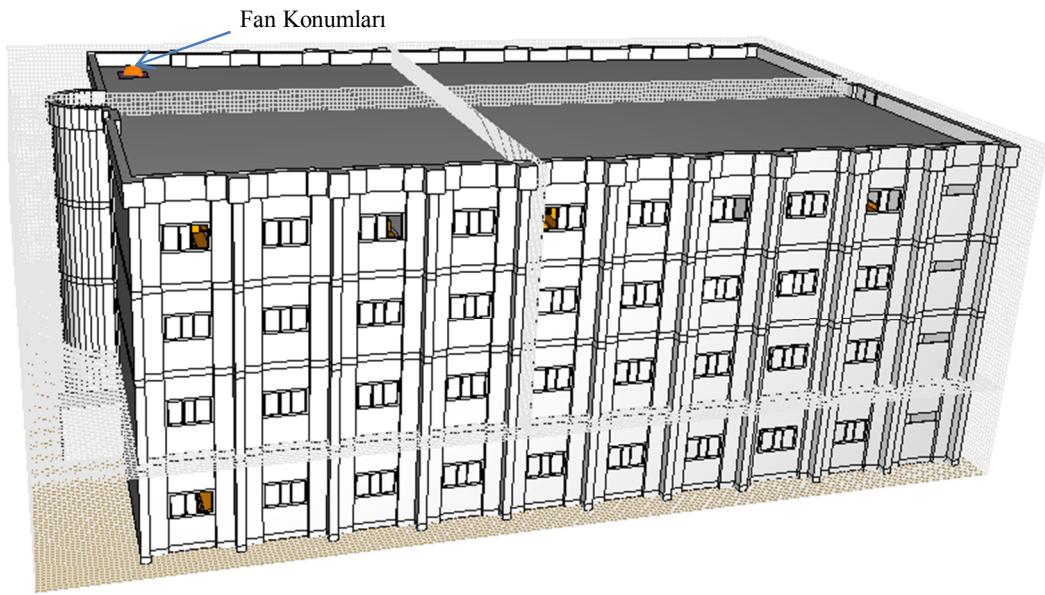
Şekil 4.6. M3 binası 2 boyutlu model görünümü ve kat panosu yerleşimleri



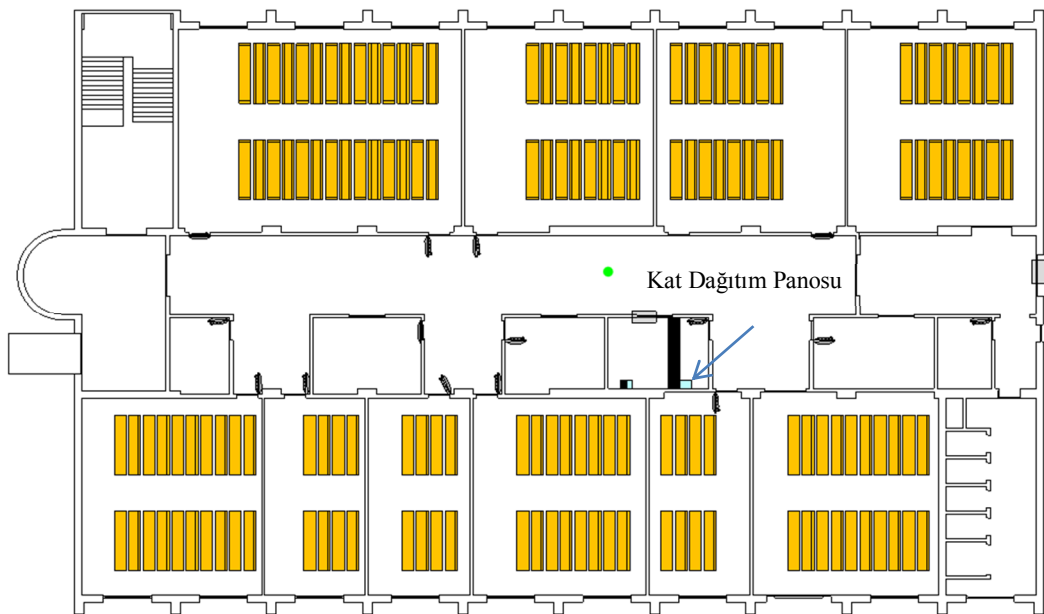
Şekil 4.7. M4 binası 3 boyutlu model görünümü ve fan yerleşimleri



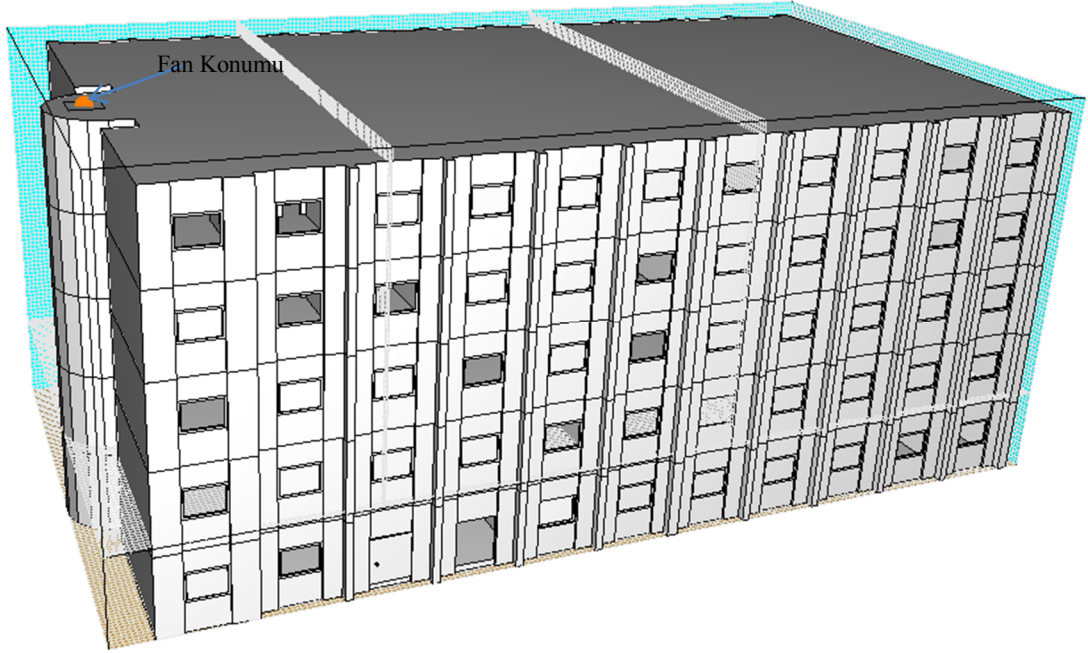
Şekil 4.8. M4 binası 2 boyutlu model görünümü ve kat panosu yerleşimleri



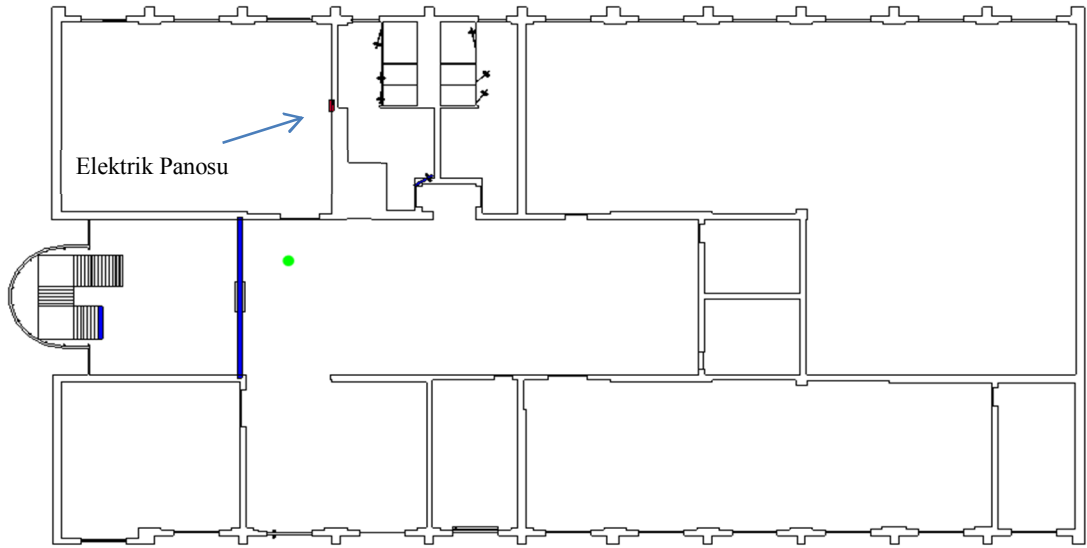
Şekil 4.9. M5 binası 3 boyutlu model görünümü ve fan yerleşimi



Şekil 4.10. M5 binası 2 boyutlu model görünümü ve kat panosu yerleşimleri



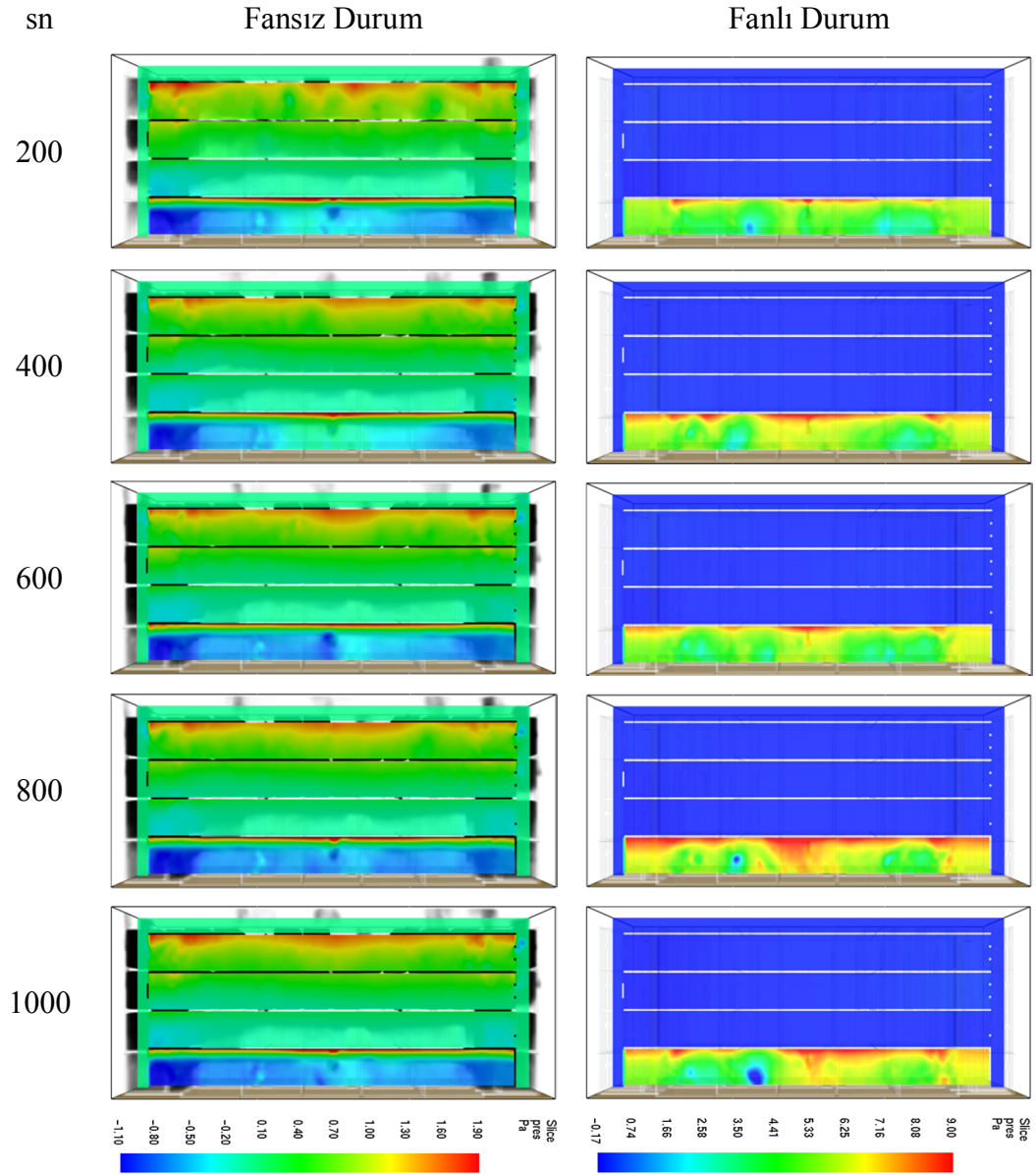
Şekil 4.11. M6 binası 3 boyutlu model görünümü ve fan yerleşimi



Şekil 4.12. M6 binası 2 boyutlu model görünümü ve kat panosu yerleşimleri

## 4.2. Analiz sonuçları

### 4.2.1. Farklı senaryolar için M1 binası içerisindeki basınç dağılımının incelenmesi



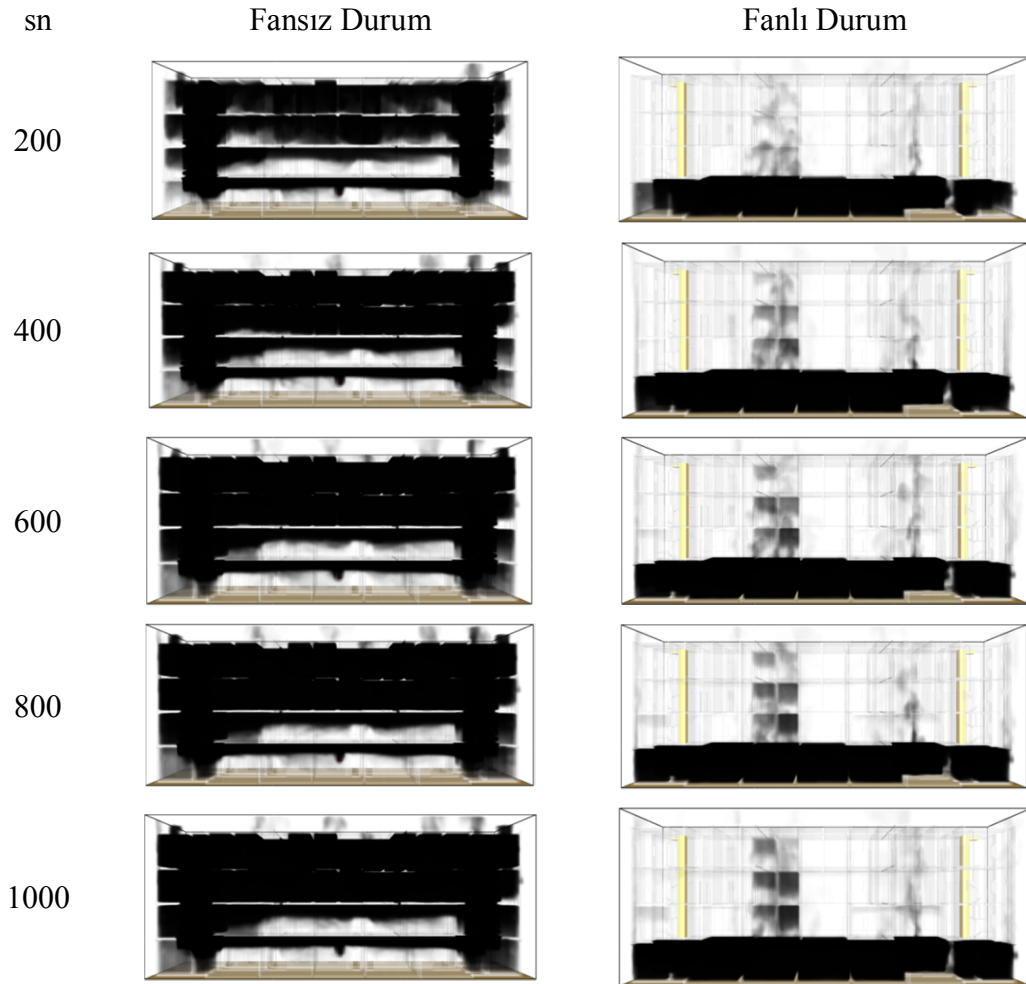
Şekil 4.13. M1 binası fanlı ve fansız durum için basınç dağılımı

Şekil 4.13.'de fansız durum ve fan ile merdiven kovaasına ters basınçlandırma yapılan durumların 1000 sn boyunca basınç dağılımları görülmektedir. Fansız durumda 200. saniyelerde binada duman hemen hemen her noktaya ulaştığından basınç farkı bu dakikadan sonra çok fazla değişmediği görülmüştür. Ters basınçlandırma yapıldığı

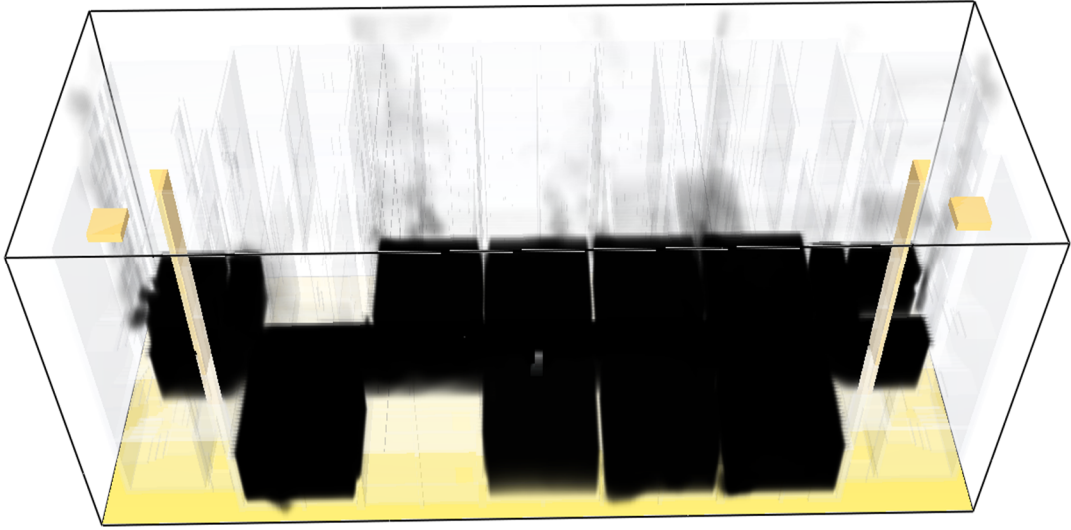


durumda fanlar koridorda kat panosunun yakınında bulunan duman dedektörünün 30. saniyelerde dumanı algılayarak 2 fan devreye girmektedir. Ters basınçlandırmada dumannın merdiven kovasına girmemesi için yapılan çalışmalar ve deneysel araştırmalarca 10 Pa'lık bir basınç farkı olması gerekmektedir. Fansız durumda basınç farkının 1.9 Pa civarında olduğu ve ters basınçlandırma durumunda ise basınç farkının yaklaşık 10 Pa civarında olduğu bu basınç farkı sayesinde merdiven kovasının güvenliği ve müdahaleye uygun hale geldiği görüntülerden görülmektedir.

#### 4.2.2. Farklı senaryolar için M1 binası içerisindeki duman dağılımının incelenmesi



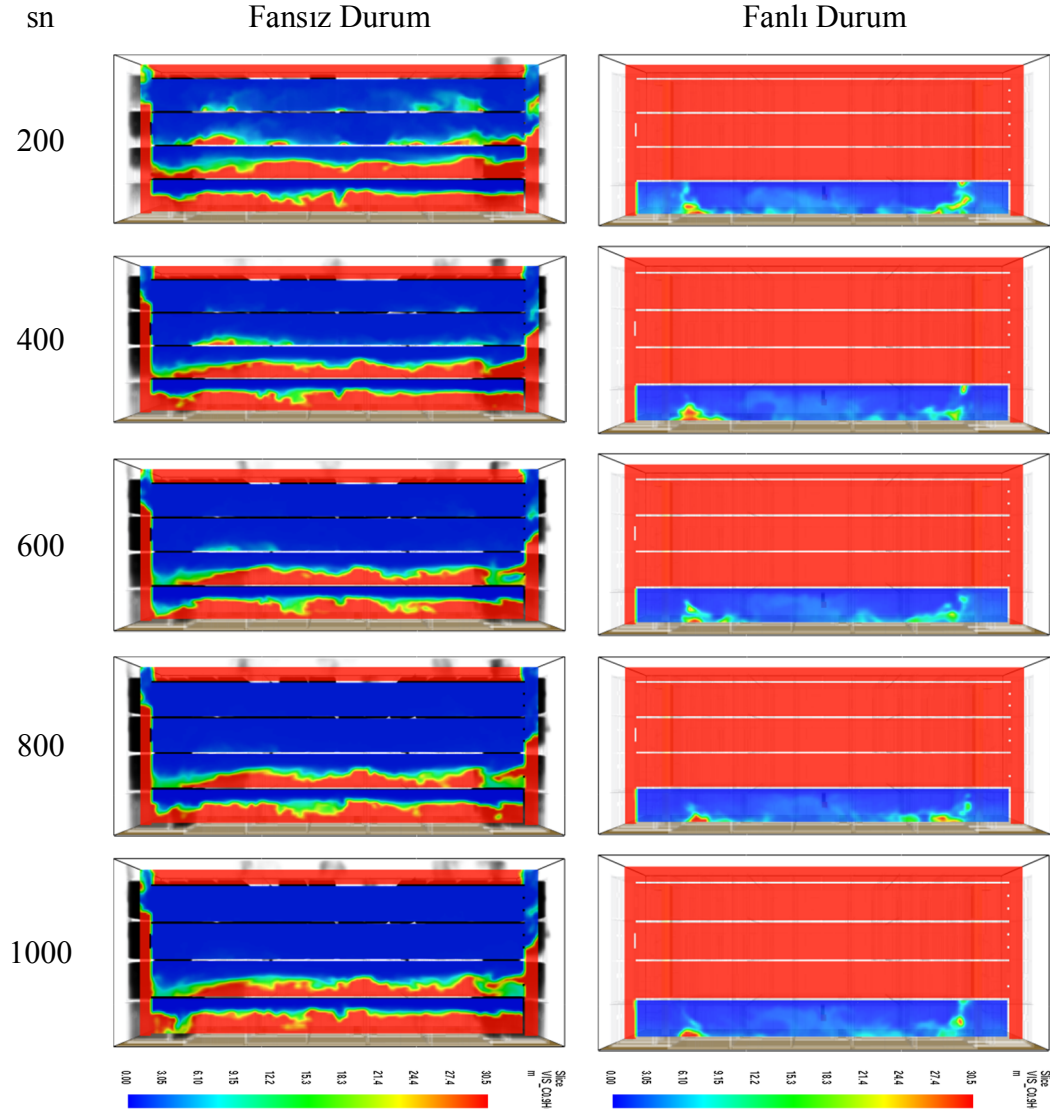
Şekil 4.14. M1 binası fanlı ve fansız durum için duman dağılımı



Şekil 4.15. M1 binası fanlı durum için duman dağılımı 1000.sn üst görünüş

M1 binasının duman analizleri incelendiğinde normal durumda dumanın 60. saniyelerden itibaren binanı her 2 tarafında bulunan merdivenlere ulaştığını ve üst katlara çıkmaya başladığı görülmektedir. 130. saniyede duman her 2 merdivenide kapladığı görülmüştür. 250. saniyede 2. ve 3. katlar tamamen 1.kat kısmen dumanla dolmuştur. Zemin kata ise yangın çıkış katı olmasına rağmen duman yoğunluğu daha azdır. Bu durumun üst katlardaki açık pencerelerin açık olmasından dolayı fazla ısınan dumanın üst bölgelere basınç farkıyla çıkmasından dolayı olduğu düşünülmektedir. Duman hiç görülmeyen odaların kapısı kapalıdır. Şekil 4.14.'te de görüldüğü üzere fanlı durumda binanın 2 adet merdiveni yangın merdiveni, kapıları yangın kapısı gibi düşünülerek merdiven kovasının çatı kısmında ters basınçlandırma ile merdiven kovasının güvenli bölgeye dönüştüğü görülmektedir.

#### 4.2.3. Farklı senaryolar için M1 binası içerisindeki görünürlük dağılımının incelenmesi

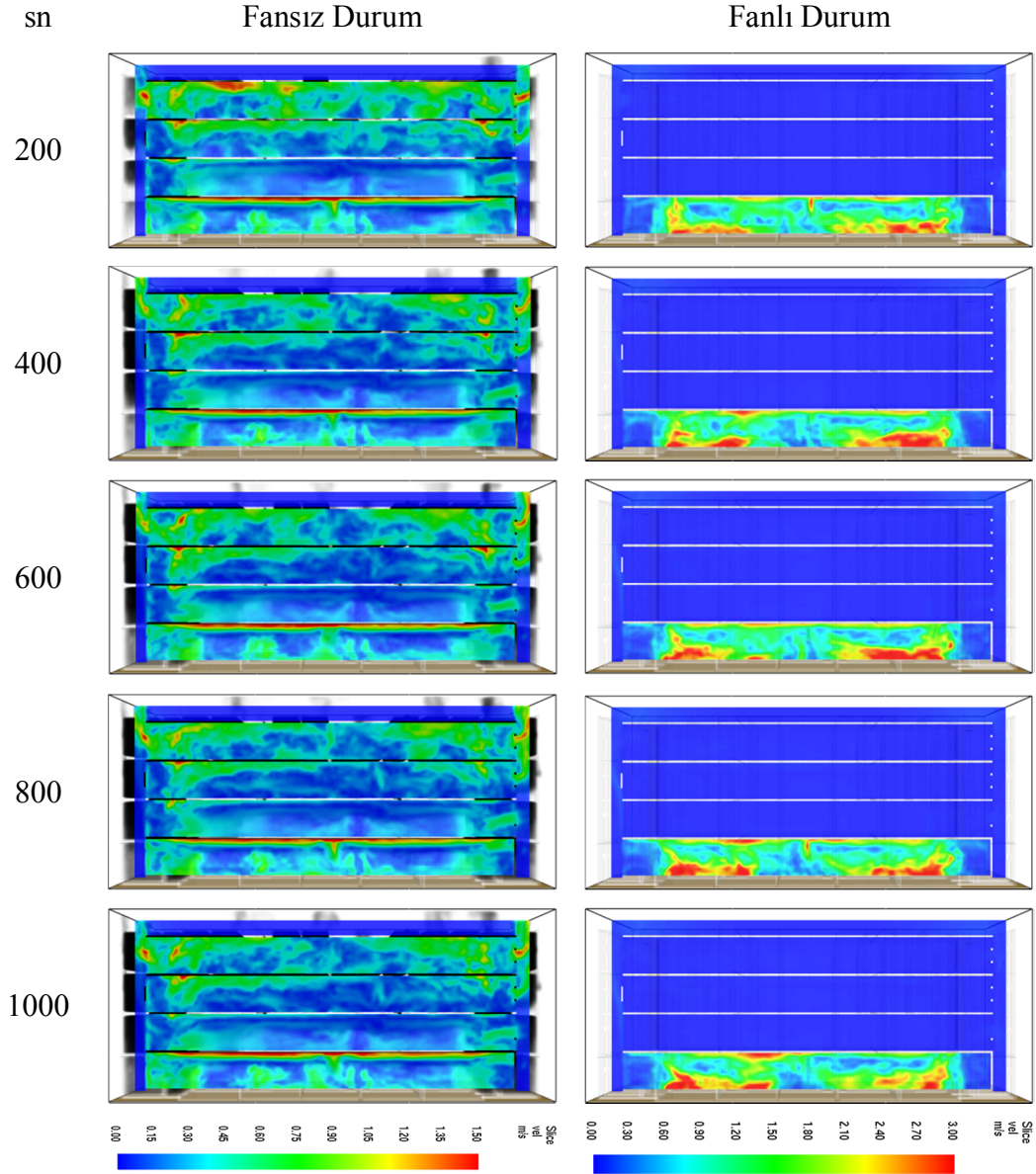


Şekil 4.16. M1 binası fanlı ve fansız durum için görünürlük dağılımı

Şekil 4.16.'da M1 binasının normal durumda binanın koridorunda alınan kesit görünümüne göre 200. saniyelerde görünürlüğün 2. ve 3. katta 0'a düştüğü, zemin ve 1. katta ise tavan bölgesinde duman yoğunluğundan dolayı 0'a düştüğü görülmektedir. Zemin ve 1. katlarda eğilerek kaçışın yapılabileği anlaşılmaktadır. Fan uygulaması yapıldığı durumda Zemin kat haricindeki diğer katların ve merdiven kovanında görünürlüğü maximum olduğu zemin kata ise 100. saniyelerden sonra kaçışın zor olduğu düşünülmektedir. Bu sebeple zemin kattan ayrı bir fanla toplam 2

fanın üflediği miktarda emiş fanı tasarlanarak bu sorunun çözülebileceği düşünülmektedir.

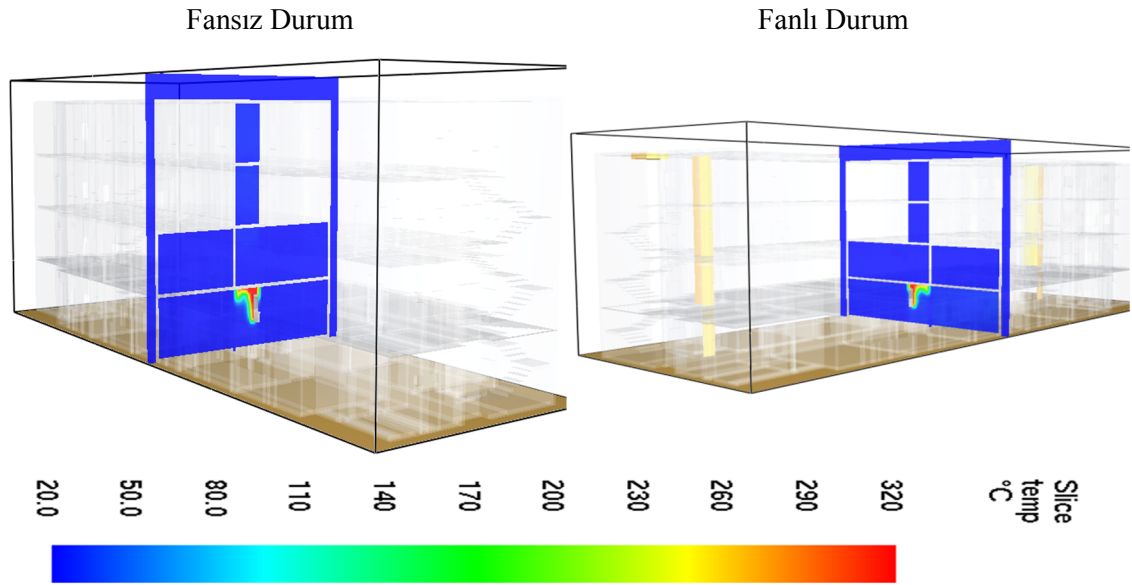
#### 4.2.4. Farklı senaryolar için M1 binası içerisindeki hız dağılımının incelenmesi



Şekil 4.17. M1 binası fanlı ve fansız durum için hız dağılımı

Şekil 4.17.'de M1 binasının fansız normal durumda binanın ortasından alınan kesitten görüldüğü gibi duman hızının en yüksek 1.5 m/sn hıza ulaştığı, ortalama olarak ise 1 m/s dolaylarında olduğu görülmektedir. Fanlı durumda ise en yüksek 3 m /sn, yangın kapısı çıkış noktasında ise 2 m/sn dolaylarında olduğu görülmektedir.

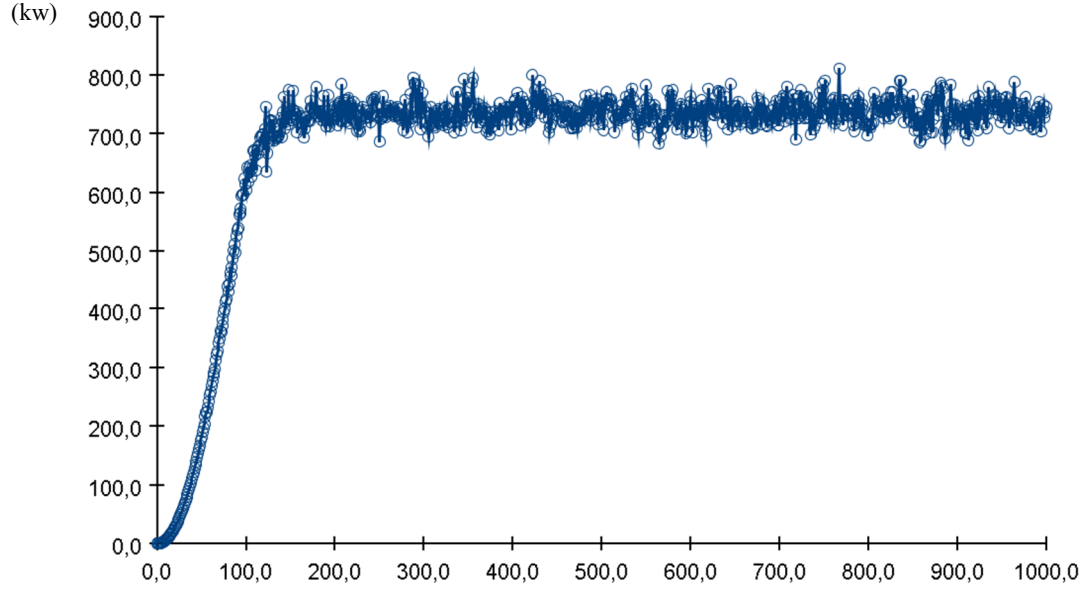
#### 4.2.5. Farklı senaryolar için M1 binası içerisindeki sıcaklık dağılımının incelenmesi



Şekil 4.18. M1 binası 1000. sn fanlı ve fansız sıcaklık analizi

M1 binasında çıkabilecek bir yangında Şekil 4.18.'de görüldüğü üzere yangın çıkan panodan alınan kesite göre sıcaklığın tavan bölgesinde en fazla oluştuğu ve 320 °C olduğu görülmüştür. Fanlı ve fansız durumdan oluşan sıcaklık değişmediği görülmüştür. Her 2 durumdada bu bölgedeki hızın yaklaşık aynı olduğu bu sebeple sıcaklık dağılımının da çok farklı olmadığı anlaşılmaktadır.

#### 4.2.6. M1 binası ısı salınım oranı grafiği

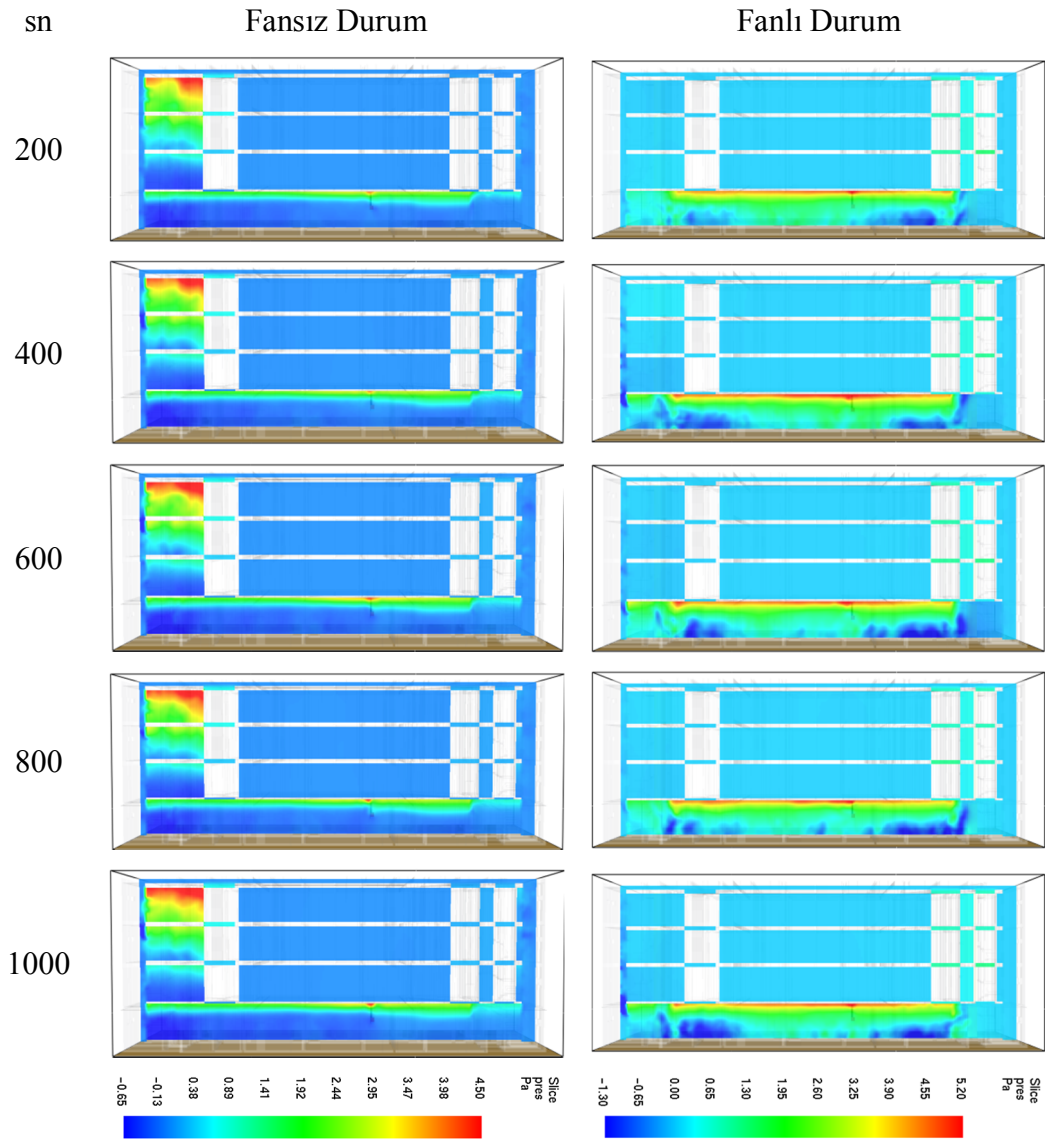


Şekil 4.19. M1 binası ısı salınım oranı grafiği

(sn)

M1 binasında yangın sonucu çıkan ısı 100. saniyede 750 kw değerine çıkmıştır. Analizler boyunca dış etkenlerden dolayı salınım yaparak 750 kw değerinin yaklaşık 50 kw altı ev üstünde devam etmiştir.

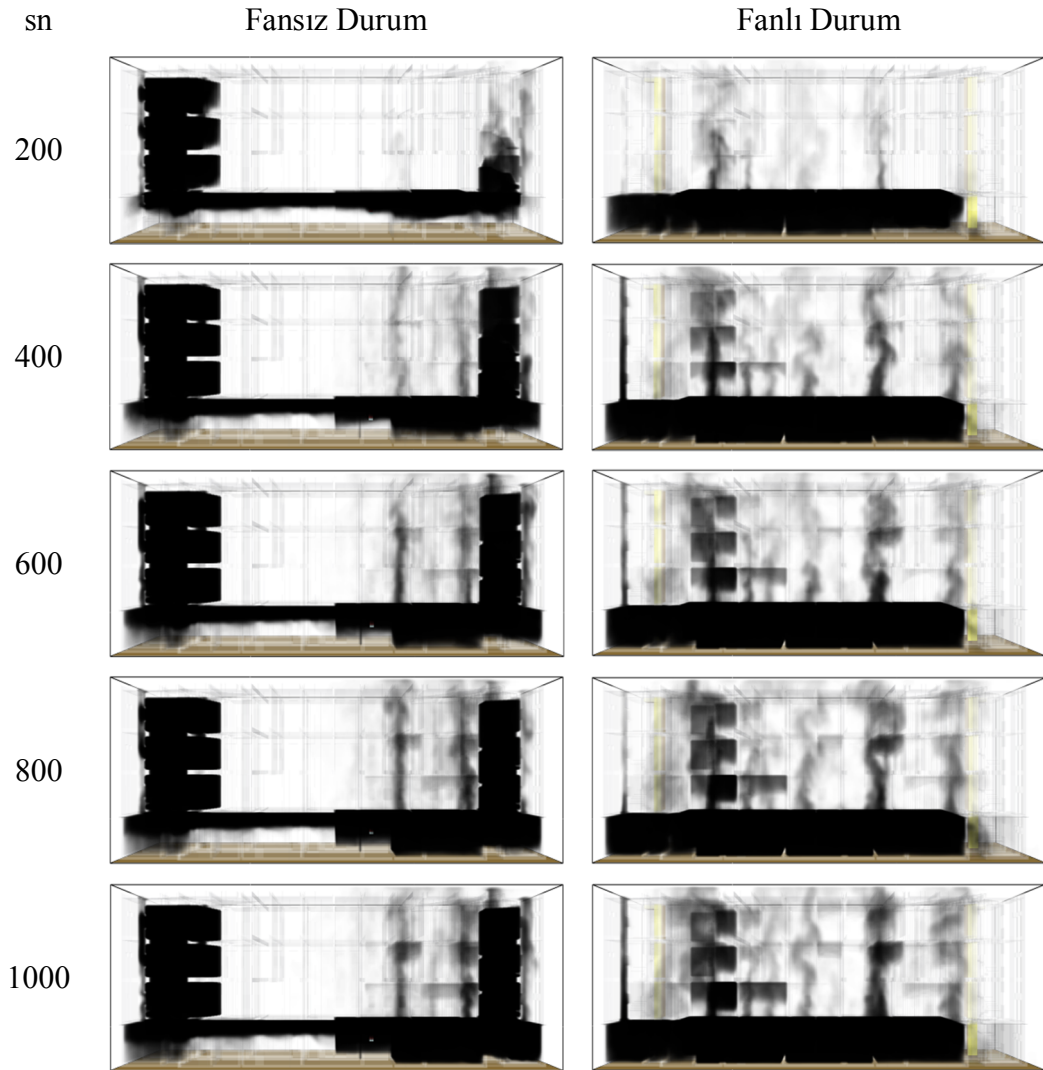
#### 4.2.7. Farklı senaryolar için M2 binası içerisindeki basınç dağılımının incelenmesi



Şekil 4.20. M2 binası fanlı ve fansız durum için basınç dağılımı

M2 binasında Şekil 4.20.'de sol tarafta kalan kısımdaki camlar açık olduğundan duman akışı daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum sol merdiven en üst kısmında basıncın daha yüksek olduğunu göstermektedir. Fanlı durumda ise binanın orta kesitinden alınan görüntüye göre kesitte görülen basıncın tavana yakın konumda 4.5 Pa olduğu Şekil 4.20.'de görülmektedir.

#### 4.2.8. Farklı senaryolar için M2 binası içerisindeki duman dağılımının incelenmesi

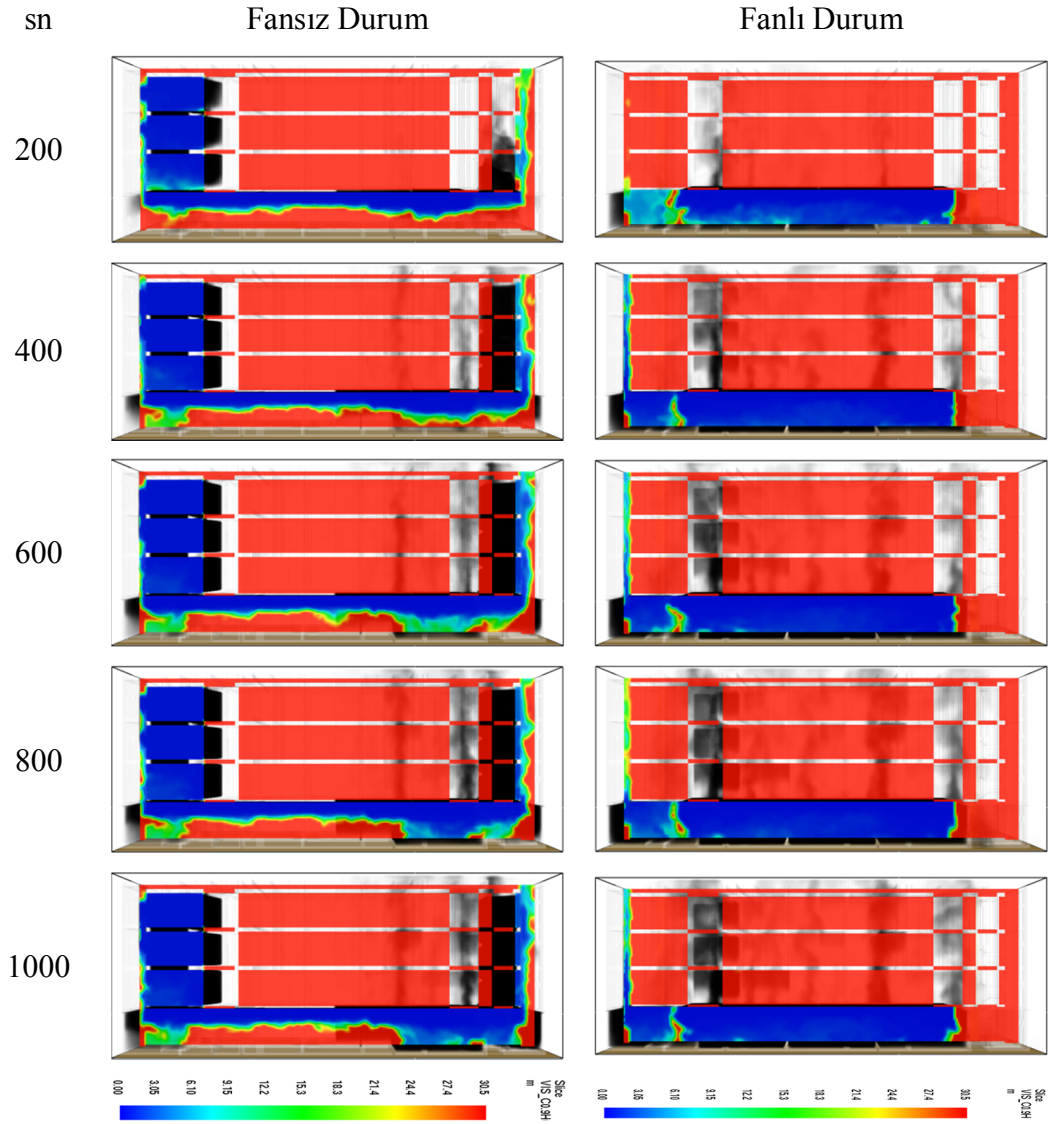


Şekil 4.21. M2 binası fanlı ve fansız durum için duman dağılımı

M2 binasında yapılan duman analizleri sonucunda görüldüğü üzere binanın sol kısmında üst katlarda daha fazla pencere açık olduğundan dumanın daha hızlı yayıldığı Şekil 4.21.'de görülmektedir. Fanlı durumda ise fanlar dedektörden aldığı sinyalle 25. saniyede devreye girerek merdiven kovanında ters basınç ve akış oluşturarak duman geçişine engel olduğu Şekil 4.21.'de görülmektedir.

#### 4.2.9. Farklı senaryolar için M2 binası içerisindeki görünürlük dağılımının incelenmesi

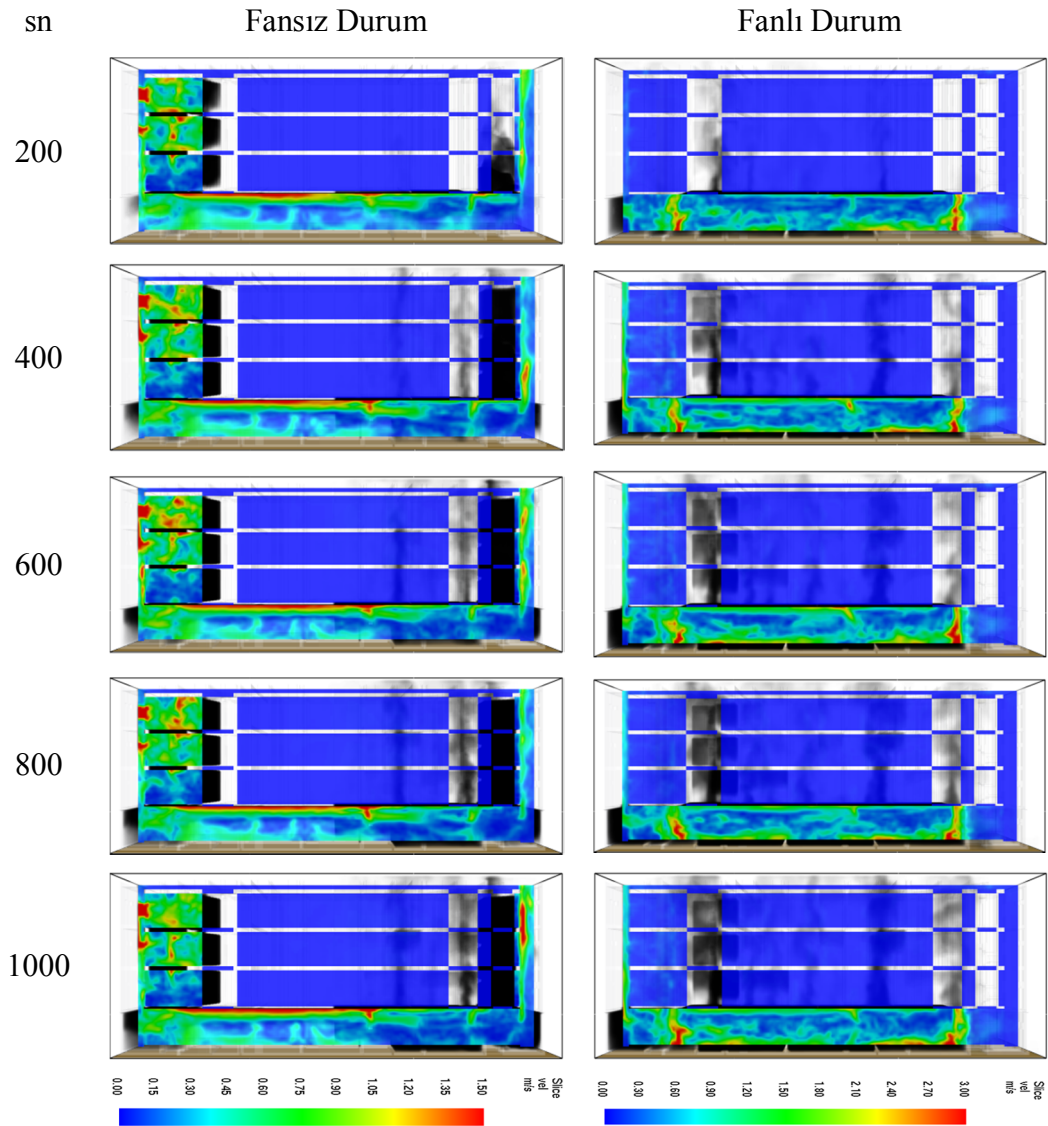




Şekil 4.22. M2 binası fanlı ve fansız durum için görünürlük dağılımı

Şekil 4.22.'de M2 binasının normal durumdaki bir yangın anında 130. saniyede sol kısımdaki merdivende 260. saniyelerde sağ taraftaki merdivenlerde görünürlük tamamen 0 olmaktadır. Fanlı durumda ise fanlar devreye girmesinden itibaren ters basınç ve akış oluştuğundan merdiven kovaları güvenli halde müdahaleye uygun duruma geldiği ve görünürlüğün en üst seviyede olduğu anlaşılmaktadır.

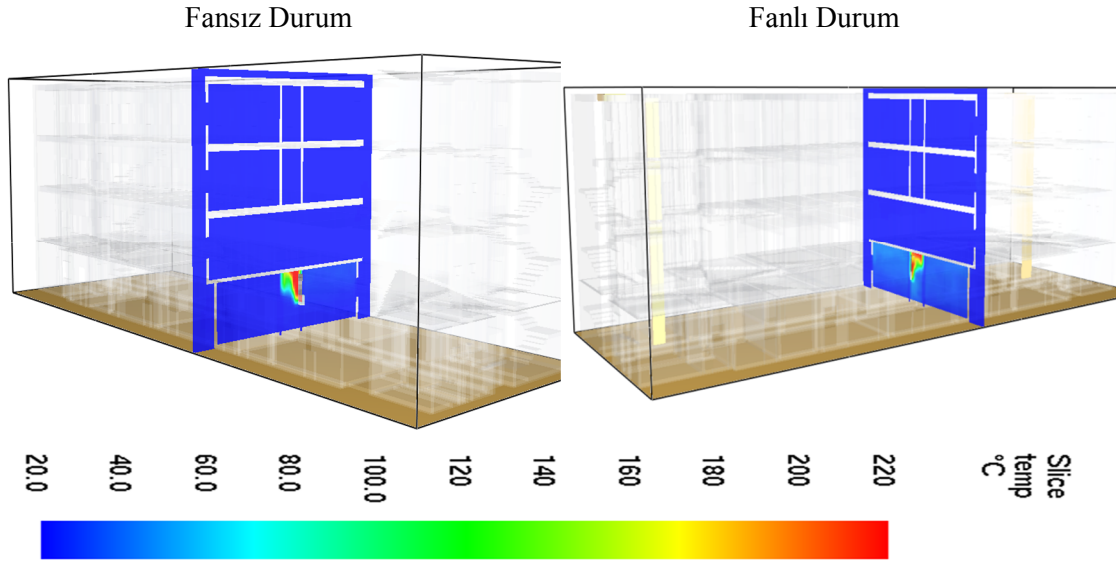
#### 4.2.10. Farklı senaryolar için M2 binası içerisindeki hız dağılımının incelenmesi



Şekil 4.23. M2 binası fanlı ve fansız durum için hız dağılımı

M2 binasında fansız durumda hızın merdiven kovalarında en fazla 1.5 m/s mertebesinde olduğu, fanlı durumda ise merdiven kovalarına duman ulaşmadığı için 0 olduğu Şekil 4.23.'de görülmektedir. Fanlı durumda hız fanların etkisiyle artmış ve hava akış hızı dumanın hızından fazla olduğundan merdivenler korunaklı hale gelmiştir.

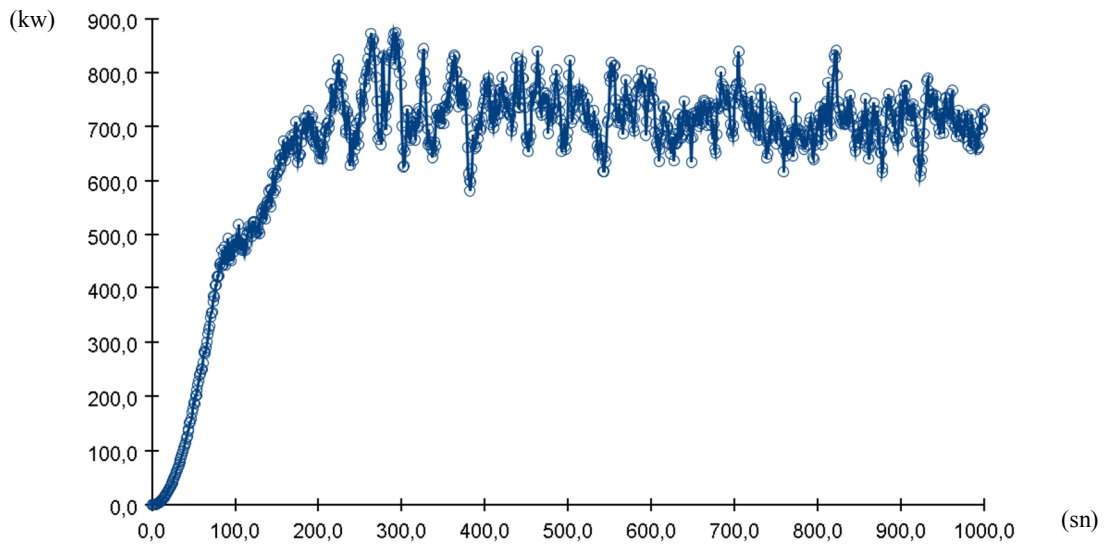
#### 4.2.11. Farklı senaryolar için M2 binası içerisindeki sıcaklık dağılımının incelenmesi



Şekil 4.24. M2 binası 1000. sn fanlı ve fansız sıcaklık analizi

M2 binasında sıcaklık incelenen kesitte fanlı ve fansız durumda da en fazla 220 °C olduğu Şekil 4.24.'de görülmektedir.

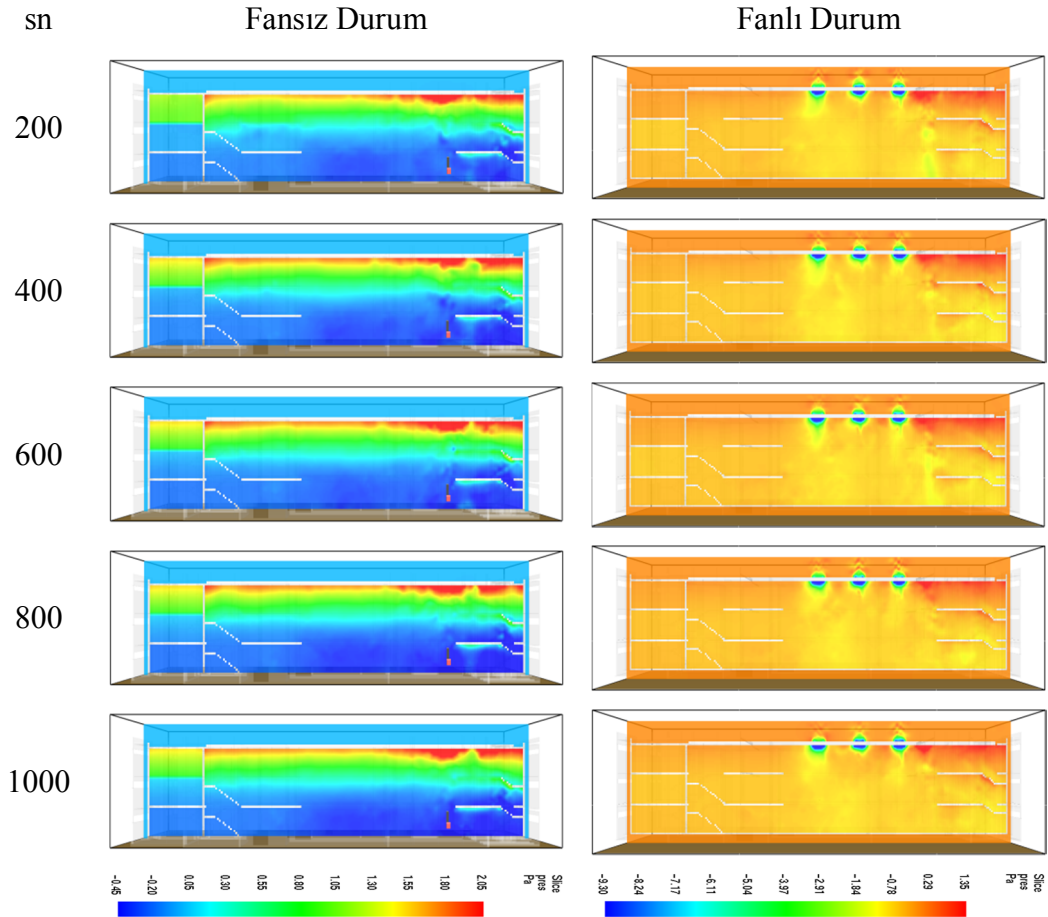
#### 4.2.12. M2 binası ısı salınım oranı grafiği



Şekil 4.25. M2 binası ısı salınım oranı grafiği

M2 binasında yangın sonucu çıkan ısı 100. saniyede 450 kw değerine çıkmıştır. Analziler boyunca dış etkenlerden dolayı salınım yaparak 750 kw değerinin yaklaşık 100 kw altı ev üstünde devam etmiştir.

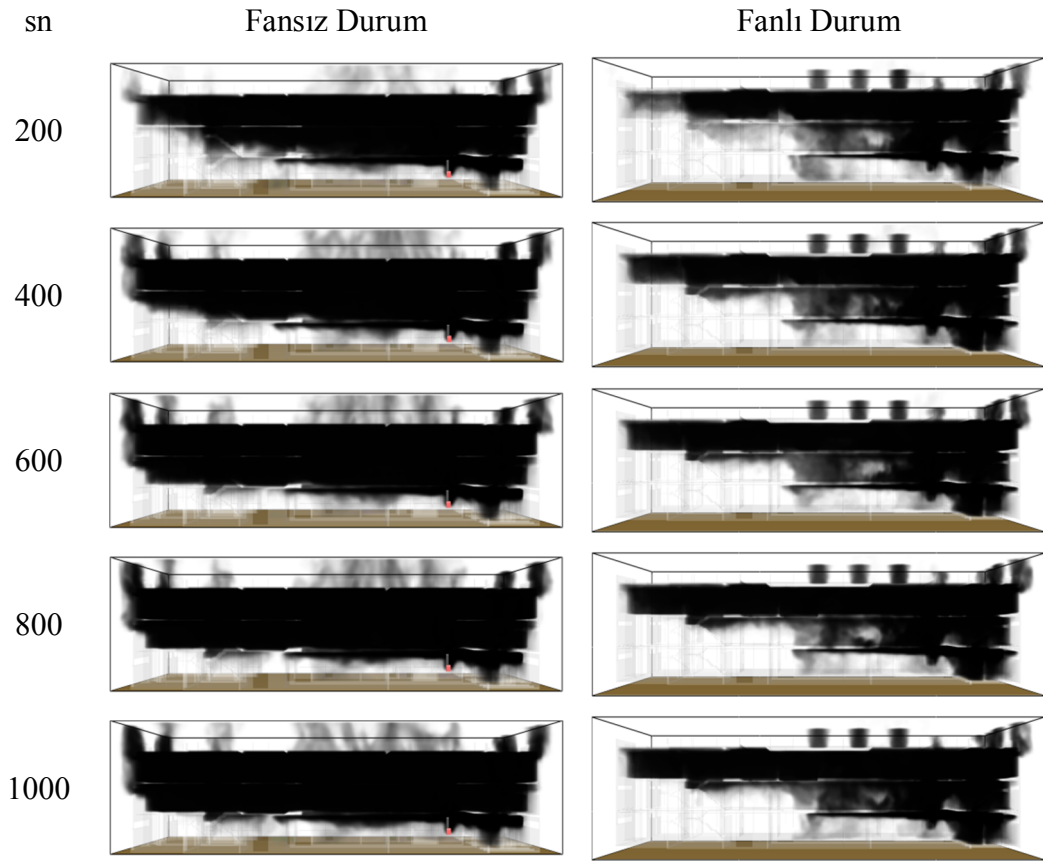
#### 4.2.13. Farklı senaryolar için M3 binası içerisindeki basınç dağılımının incelenmesi



Şekil 4.26. M3 binası fanlı ve fansız durum için basınç dağılımı

M3 binasında diğer binalardan farklı olarak fanlı durumda ters basınçlandırma değil, bina atriuma sahip olduğu için emiş fanlarıyla duman tahliye yöntemi tercih edilmiştir. Fanlı durumda fanlarla duman tahliye edildiği için fansız duruma göre duman üst noktalarda birikmeyerek daha az basınç oluşmuştur. Fansız çözümde en yüksek basınç değeri en üst katın tavanında 2.05 Pa olurken, fanlı durumda 1.35 Pa olduğu Şekil 4.26.'da görülmektedir.

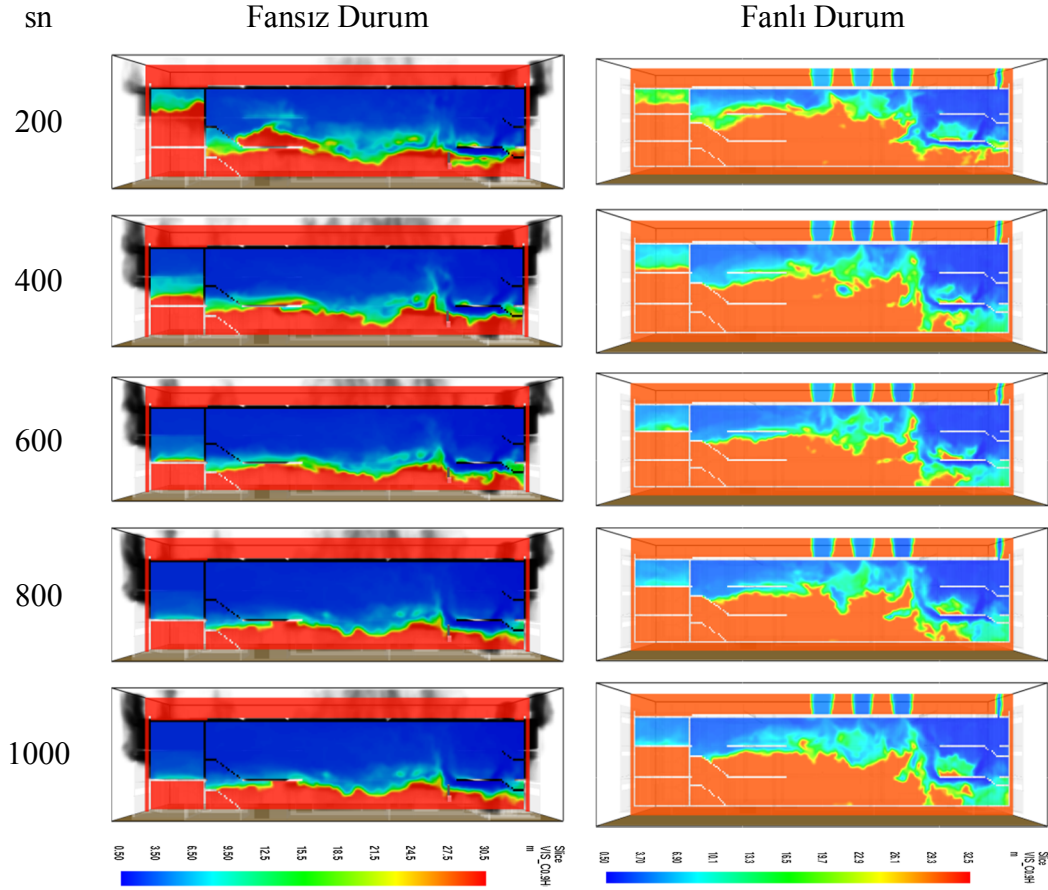
#### 4.2.14. Farklı senaryolar için M3 binası içerisindeki duman dağılımının incelenmesi



Şekil 4.27. M3 binası fanlı ve fansız durum için duman dağılımı

M3 binasında dumanın atriumlu bina olması sebebiyle fansız durumda hızla atrium boşluğundan yükselerek binayı doldurduğu ve üst katlarda kaçışa engel oluşturduğu görülmüştür. 3 adet fan ile emiş yapıldığı durumda ise gözle görülür açıklıkların olduğu en üst kat haricinde dumanın kaçışa çok fazla engel olmadığı anlaşılmaktadır. Buna rağmen en üst kattaki açıklığı ve görünürlüğü arttırmak için fan debilerini veya adedini arttırmakta fayda olacağı düşünülmektedir.

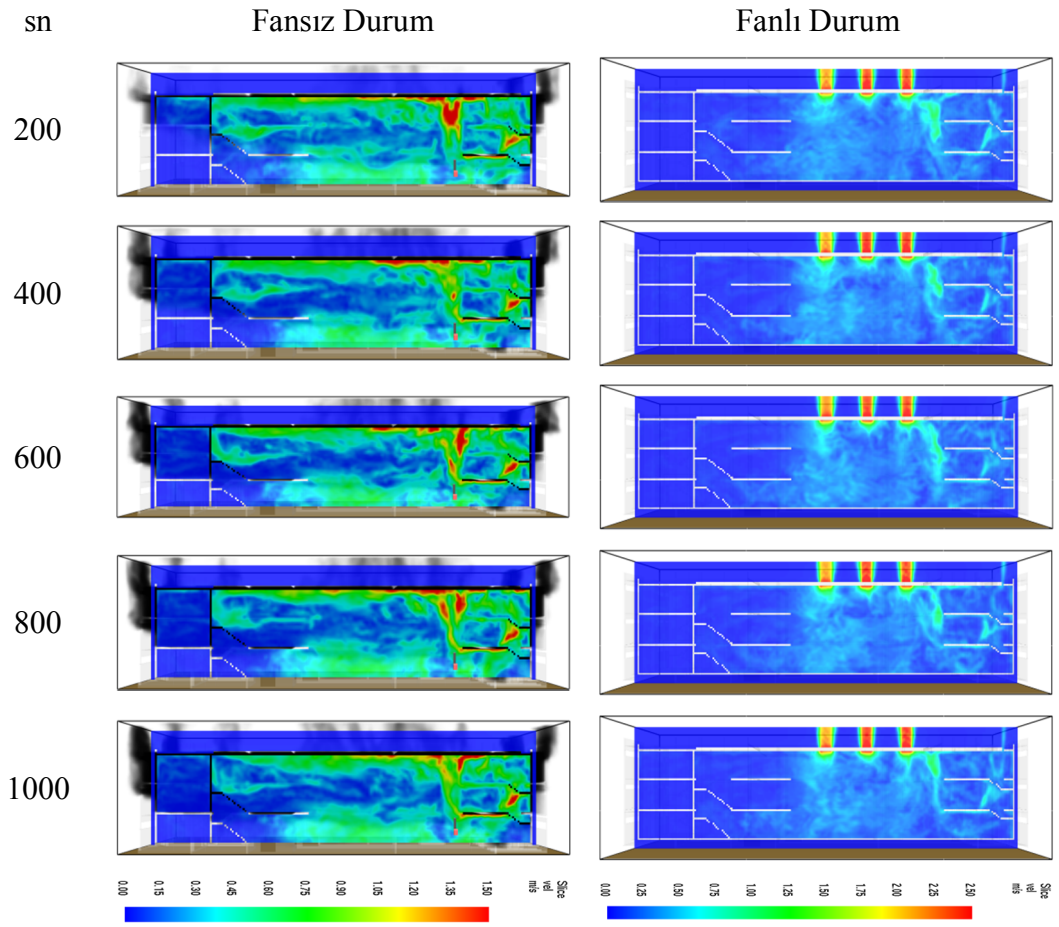
#### 4.2.15. Farklı senaryolar için M3 binası içerisindeki görünürlük dağılımının incelenmesi



Şekil 4.28. M3 binası fanlı ve fansız durum için görünürlük dağılımı

M3 binası atriumlu bir bina olduğundan duman binayı tamamıyla sarmamıştır. Fansız durumda dahi duman atrium boşluğunda yeterince yükselmiş ve zemin katta zor dahi olsa kaçışa imkân tanımaktadır. Görünürlük 150. saniyelerde üst katlarda tamamen azalmıştır. Üst kattaki pencere açıklıkları dumanın zemin katta tamamen çökmemesini sağlamıştır. Emiş fanları kullanıldığı durumda ise 200. saniyelere kadar en üst katlarda dahi kaçışa imkân tanımaktadır. Fan kullanıldığı durumda duman yoğunluğunun zemin ve 1. katlarda gözle görülür şekilde azaldığı anlaşılmaktadır. Fan debisi bir miktar daha arttırılsaydı tamamen güvenli kaçışların oluşabileceği Şekil 4.28.'de görülmektedir.

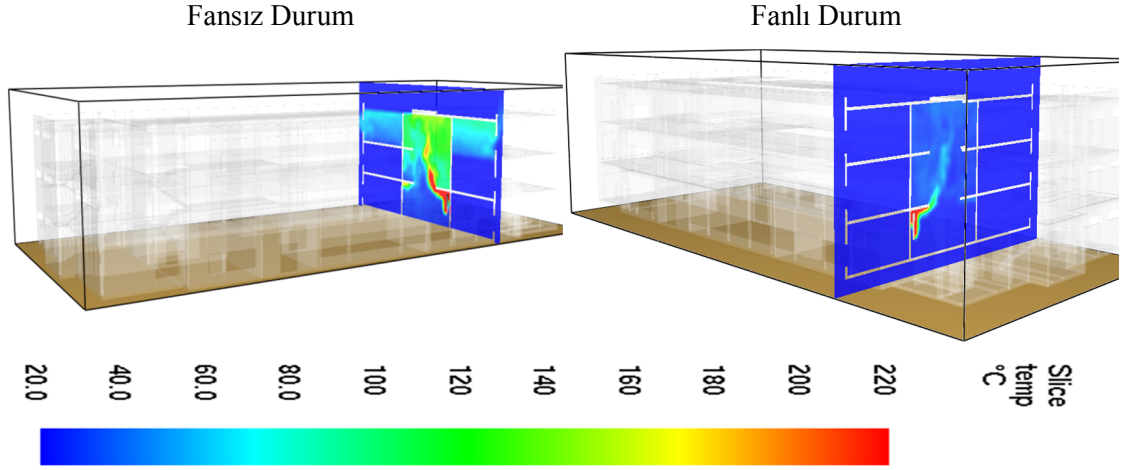
#### 4.2.16. Farklı senaryolar için M3 binası içerisindeki hız dağılımının incelenmesi



Şekil 4.29. M3 binası fanlı ve fansız durum için hız dağılımı

M3 binasında fan kullanılmayan durumda duman hızının bölgesel olarak en fazla 1.5 m/s mertebelerinde olduğu ortalama olarak ise 1 m/s olduğu Şekil 4.29.'da görülmektedir. Fan kullanılan durumda ise fan çıkış noktalarından dolayı en yüksek hızın 2.5 m/s olduğu Şekil 4.29.'da görülmektedir.

#### 4.2.17. Farklı senaryolar için M3 binası içerisindeki sıcaklık dağılımının incelenmesi

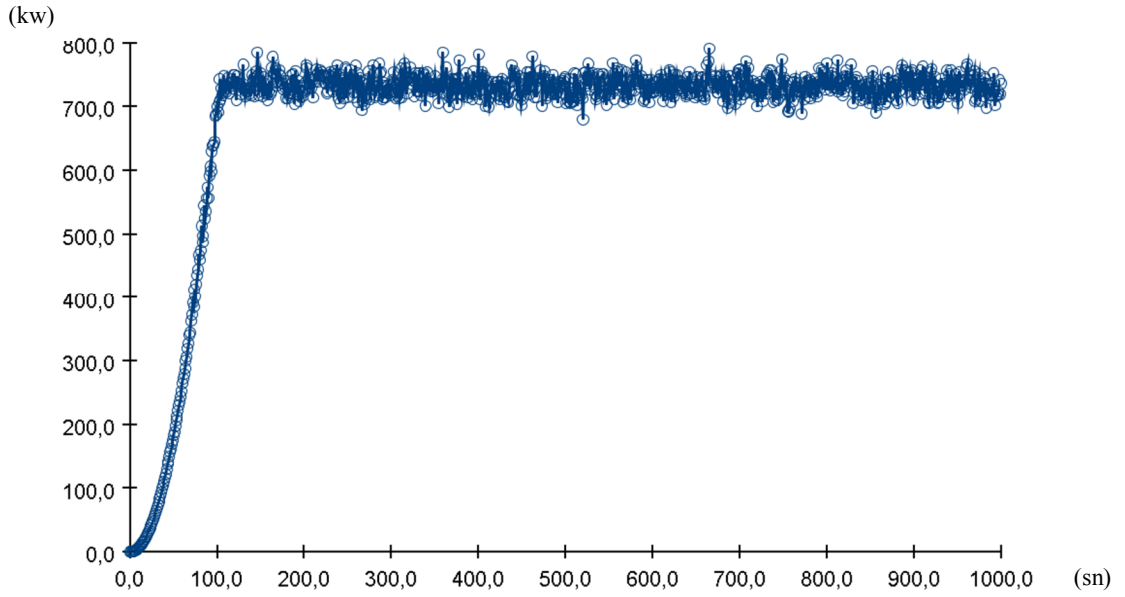


Şekil 4.30. M3 binası 1000. sn fanlı ve fansız sıcaklık analizi

M3 binasında yangın çıkış noktasına dik kesitinden görülen sıcaklık 220 °C olduğu Şekil 4.30.'da görülmektedir. Fansız durumda atrium boşluğunda duman birikimi fazla olduğundan sıcaklıkta fazla olmaktadır. Fanlı durumda ise sürekli ve fansız duruma göre daha fazla duman akışı olduğundan sıcaklık birikmeden binayı terk ettiği Şekil 4.30.'da görülmektedir. Fanlar oluşan ısıyı binadan uzaklaştırarak kaçışa ve can güvenliğine katkı sağladığı düşünülmektedir.



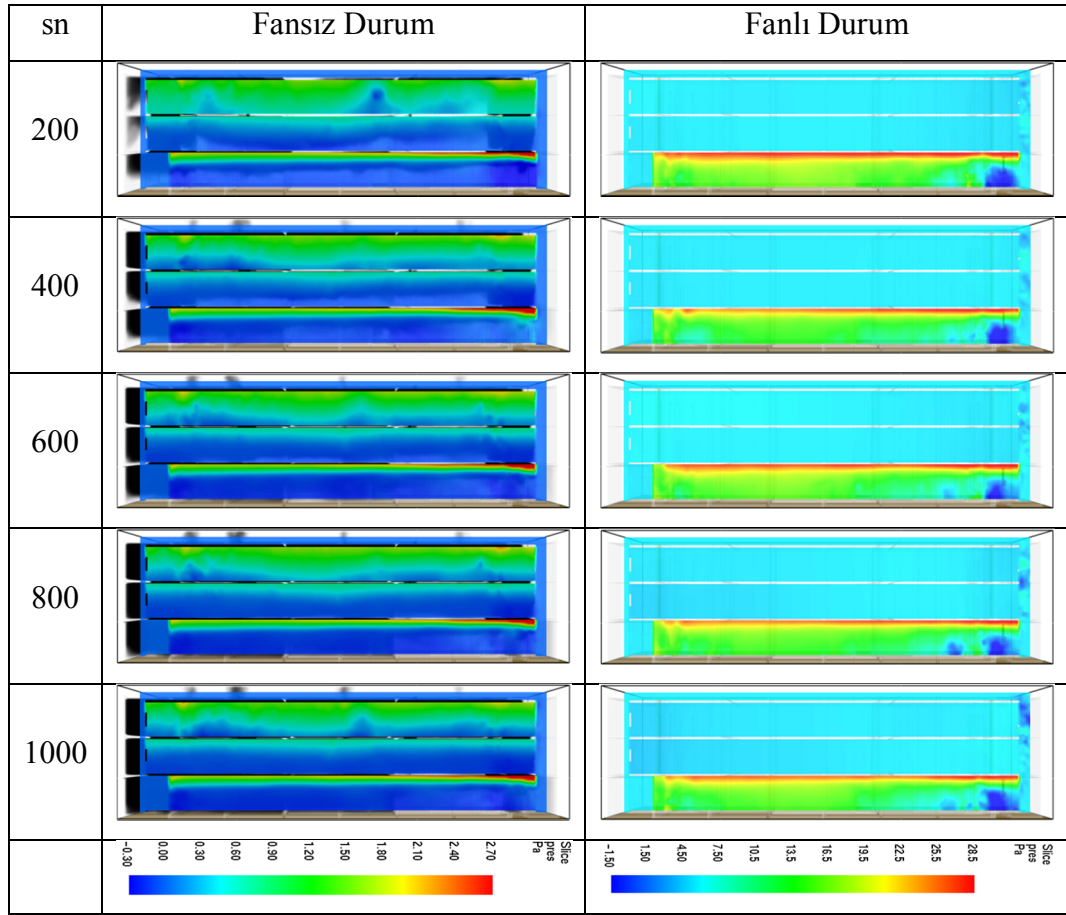
#### 4.2.18. M3 binası ısı salınım oranı grafiği



Şekil 4.31. M3 binası ısı salınım oranı grafiği

M3 binasında yangın sonucu çıkan ısı 100. saniyede 750 kw değerine çıkmıştır. Analziler boyunca dış etkenlerden dolayı salınım yaparak 750 kw değerinin yaklaşık 50 kw altı ev üstünde devam etmiştir.

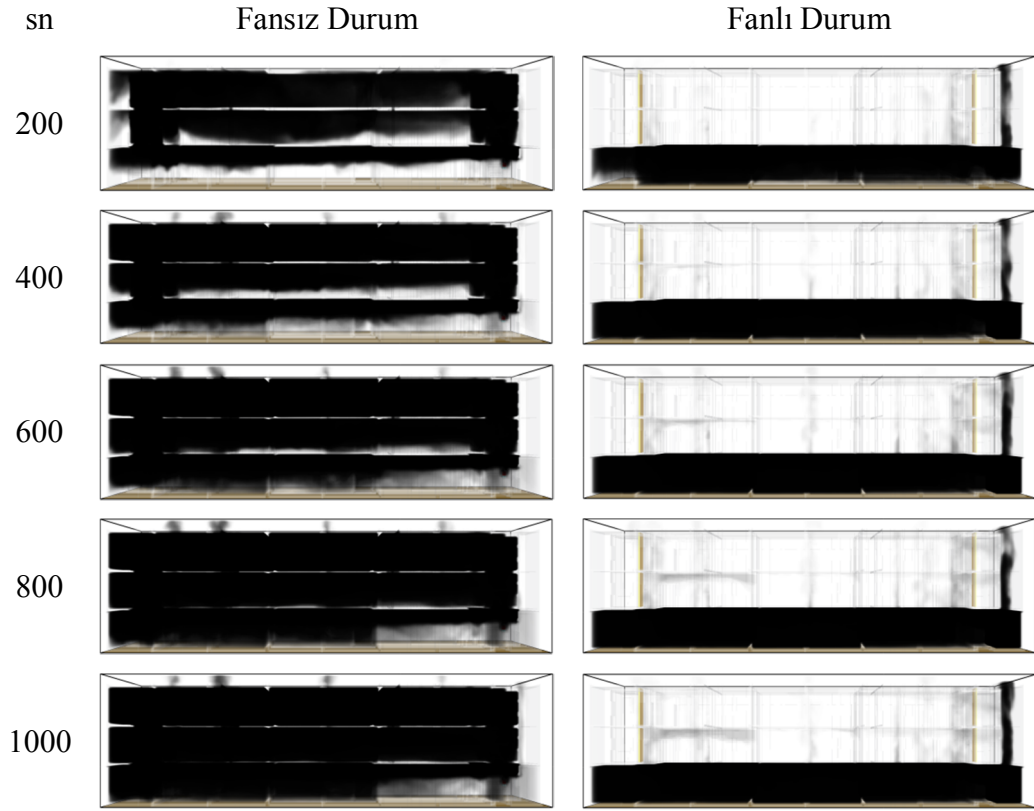
## 4.2.19. Farklı senaryolar için M4 binası içerisindeki basınç dağılımının incelenmesi



Şekil 4.32. M4 binası fanlı ve fansız durum için basınç dağılımı

M4 binasında fan kullanılmadığı durumda çıkan bir kablo yangınında en yüksek basıncın en yüksek sıcaklığın olduğu bölge olan yangın noktası tavan bölümü olduğu Şekil 4.32.'de görülmektedir. Burada en fazla 2.7 Pa basınç olduğu basınç şablonundan okunmaktadır. Ters basınçlandırma yapıldığı durumda duman zemin katta yoğunlaştığından ve fan etkisi olduğundan basınç zemin kat tavanında 28.5 Pa olmaktadır.

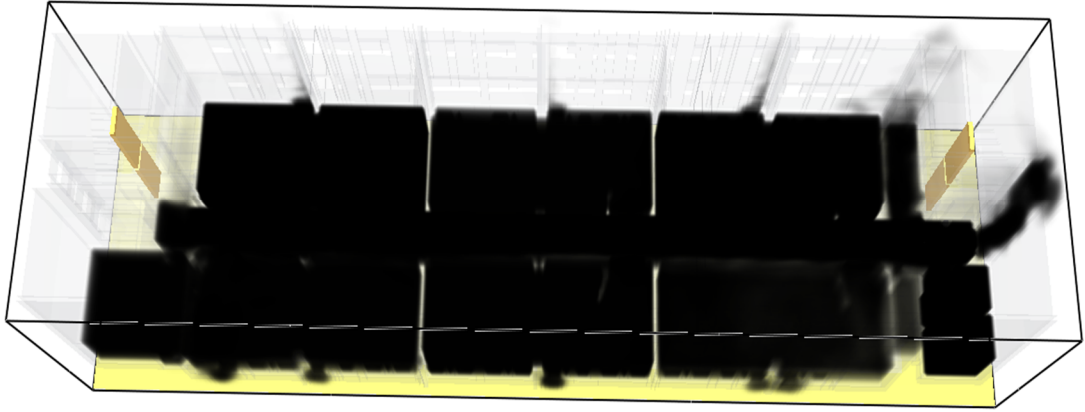
#### 4.2.20. Farklı senaryolar için M4 binası içerisindeki duman dağılımının incelenmesi



Şekil 4.33. M4 binası fanlı ve fansız durum için duman dağılımı

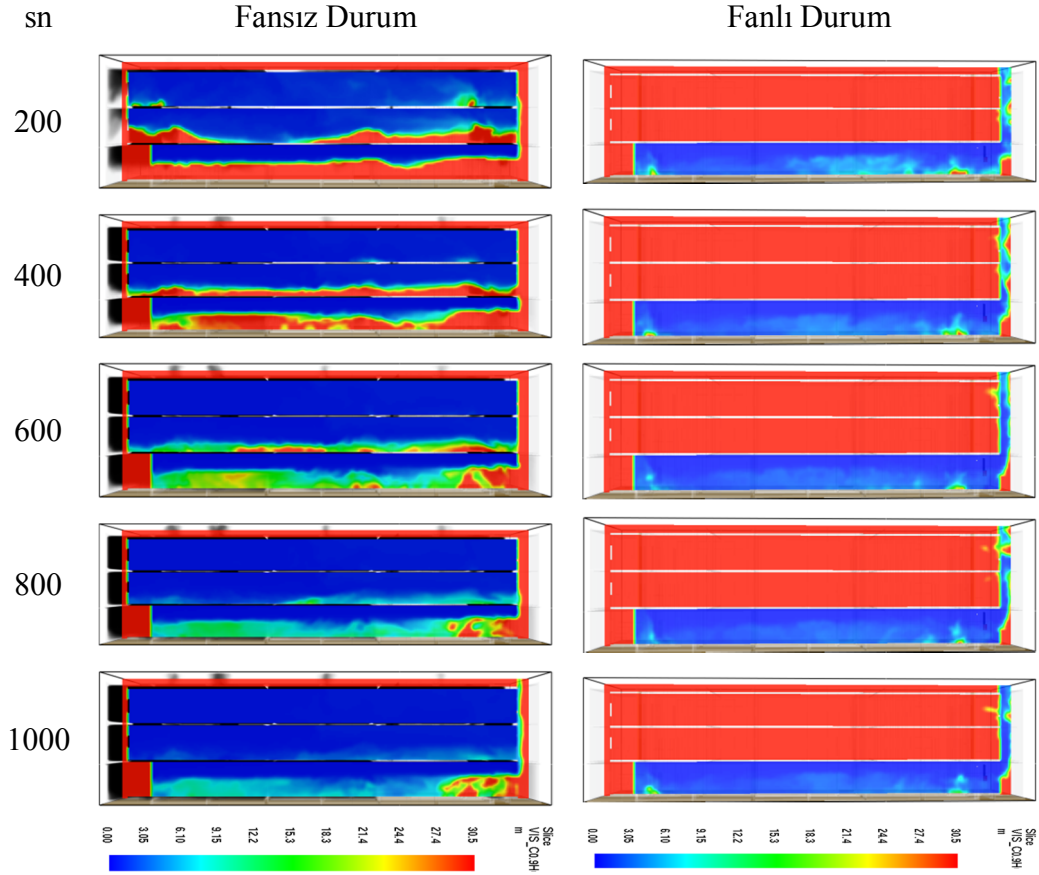
M4 binasında yangın binanın sağ bölgesinde çıktığı düşünüldüğü için duman fansız durumda öncelikle 35. saniyeden sonra merdiven kovalarına dolmaya başlamıştır. Duman 75. saniyelerde sol koridor boyunca ilerlemiş ve sol merdiveni de doldurmaya başlamıştır. 100. saniyede duman sağ merdiveni doldurmuştur. 130. saniyelerde de duman sol merdiveni de tamamen doldurmuştur. 200. saniyede 2. Kat tamamen dumanla kaplanmıştır. 250. saniyelerde 1. Katta dumanla kaplanmıştır. Bu durumda 1. Kattan kaçış ve zeminden kaçış sürünerekte olsa mümkün gibidir. Fakat; 400. saniyeden sonra yalnızca zemin kattan sürünme yoluyla kaçış yapılabileceği düşünülmektedir. 800. saniyede binanın zemin katı da dahil tamamen dumanla dolmuştur. Sadece yangın çıkan bölgede bir miktar açıklık kalmıştır. Merdivenlerin sadece 1 dakika gibi kısa sürede dolması üst kattaki insanların kaçışına engel teşkil ettiği görüldüğünden merdiven kovalarına fanlarla ters basınçlandırma yapılarak analizler incelenmiştir. Yapılan incelemelerde şekil 4.33.'de de görüldüğü gibi

yanma noktasına yakın konumlandırılan duman dedektörü dumanı 20. saniyelerde algılayarak fanları devreye sokmuştur. Fanların oluşturduğu basınç ve ters hava akışı ile birlikte duman açık düşünülen zemin kattaki kapıdan yukarıya çıkamamakta ve merdiven kovaları güvenli bölge olarak kalmaktadır. Her ne kadar zemin katta tamamen duman dolsa da alt kattakilerin kısa sürede binayı terk edebileceği düşünülerek fan uygulamasıyla üst kattakilerinden dumandan uzun süre korunabileceği ve bu süre zarfında müdahalenin yapılabileceği Şekil 4.33.'de görülmektedir. Zemin katta ayrıca biriken dumanı emiş fanı ekleyerek tahliye etmek tam anlamıyla güvenli bir çözüm olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 4.34. M4 binası 1000. sn fanlı duman analizi üst görünüş

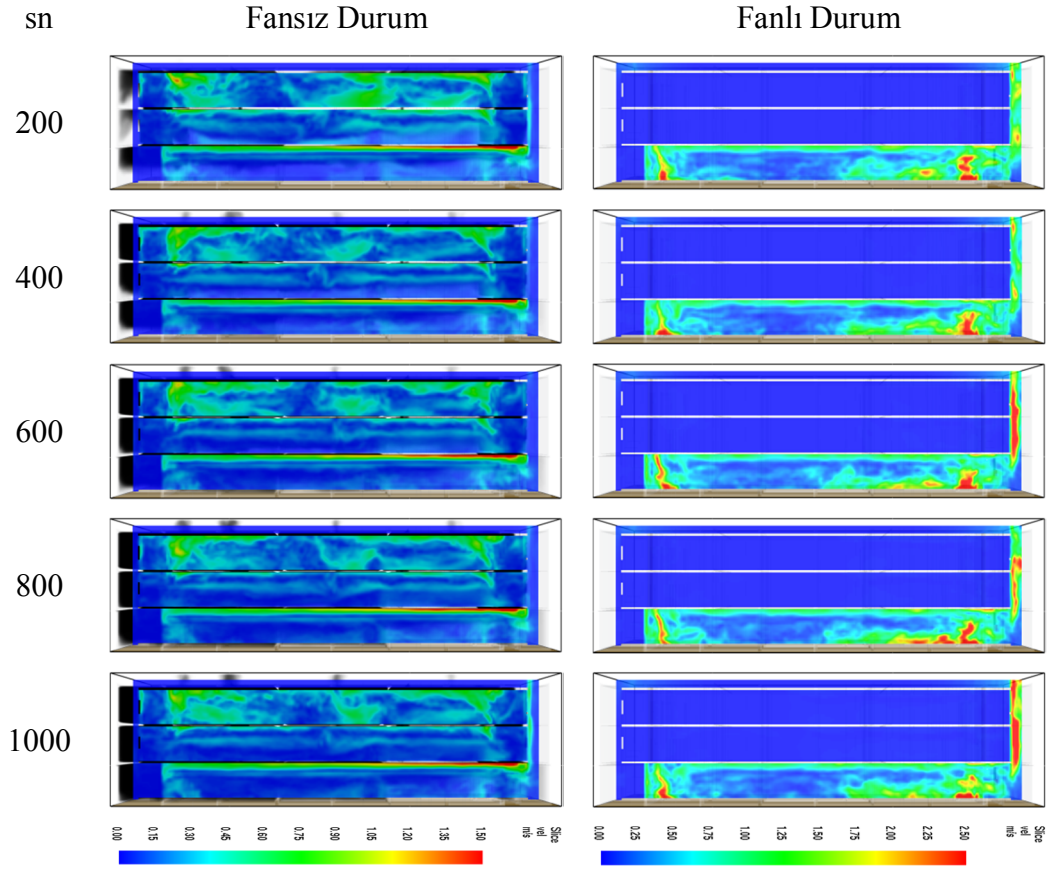
#### 4.2.21. Farklı senaryolar için M4 binası içerisindeki görünürlük dağılımının incelenmesi



Şekil 4.35. M4 binası fanlı ve fansız durum için görünürlük dağılımı

Şekil 4.35.'de M4 binasında fansız durumda 200. saniyede en üst katta görüşün tamamen 0 olduğu görülmektedir. 400. saniyede ise 1. Katta da görüşün 0 olduğu görülmektedir. Fan uygulandığı durumlarda 70. saniyeden sonra zemin katta duman katı tamamen sarmıştır. Bu durumdan dolayı 70. saniyelerden sonra kaçış zorlaşmakta ve can güvenliği azalmaktadır. Zemin katta hapsolan duman da tahliye edilebilirse bu sürenin daha da arttırılabileceği düşünülmektedir.

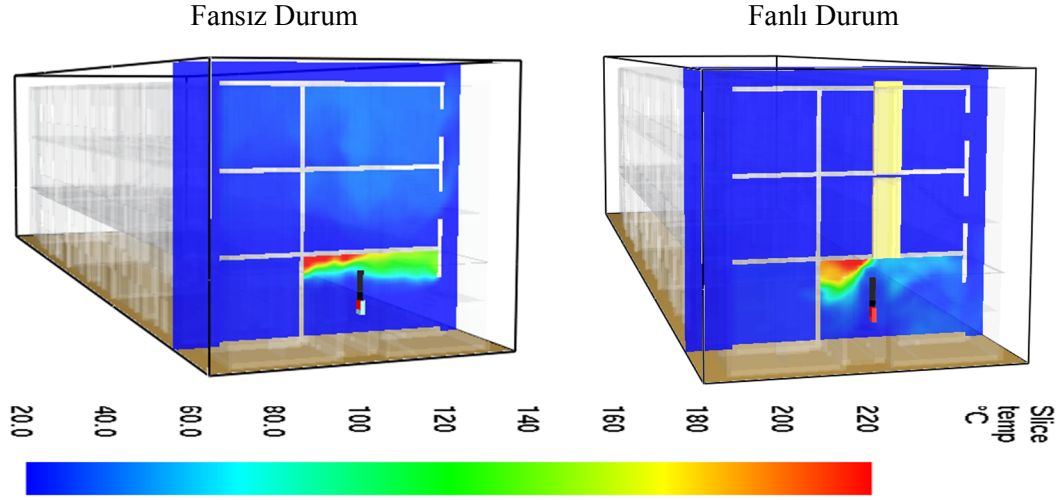
#### 4.2.22. Farklı senaryolar için M4 binası içerisindeki hız dağılımının incelenmesi



Şekil 4.36. M4 binası fanlı ve fansız durum için hız dağılımı

M4 binasında duman hızı normal durumda yangın çıkış noktasının tavanında en fazla 1.5 m/s değerlerine ulaştığı Şekil 4.36.'da görülmektedir. En üst katta ise 1 m/s olmaktadır. Isınan dumanın hacminin artması ve basıncın üst katlarda düşük olmasının bu durumu oluşturduğu düşünülmektedir.

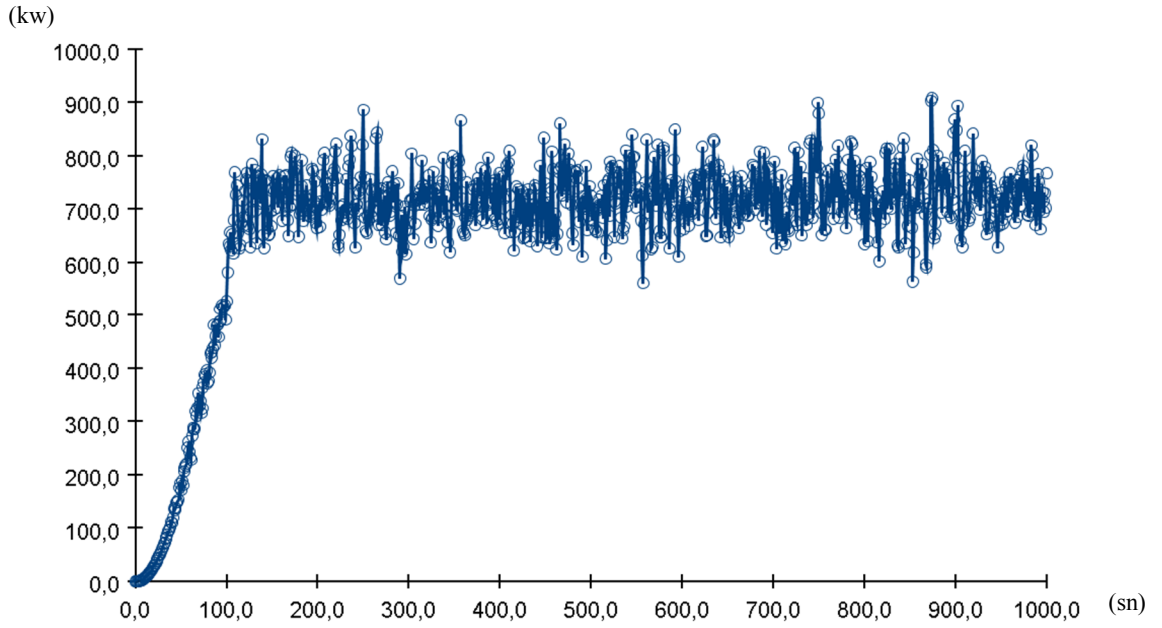
#### 4.2.23. Farklı senaryolar için M4 binası içerisindeki sıcaklık dağılımının incelenmesi



Şekil 4.37. M4 binası 1000. sn fanlı ve fansız sıcaklık analizi

Şekil 4.37.'de M4 binasında sıcaklığın yangın oluşan bölgenin kesit görüntülerinde görüldüğü gibi yangın anında tavan bölgesinde en fazla 220 °C olduğu ve duman akış doğrultusunda sıcaklığın azalarak 80 °C dolaylarına geldiği anlaşılmaktadır. Fanlı durumda ise ters basınçlandırma yapıldığı için hava akışından dolayı sıcaklığın daha dar bir bölgede kısıtlandığı üst katlara sıcaklığın yükselmediği görülmektedir.

#### 4.2.24. M4 binası ısı salınım oranı grafiği

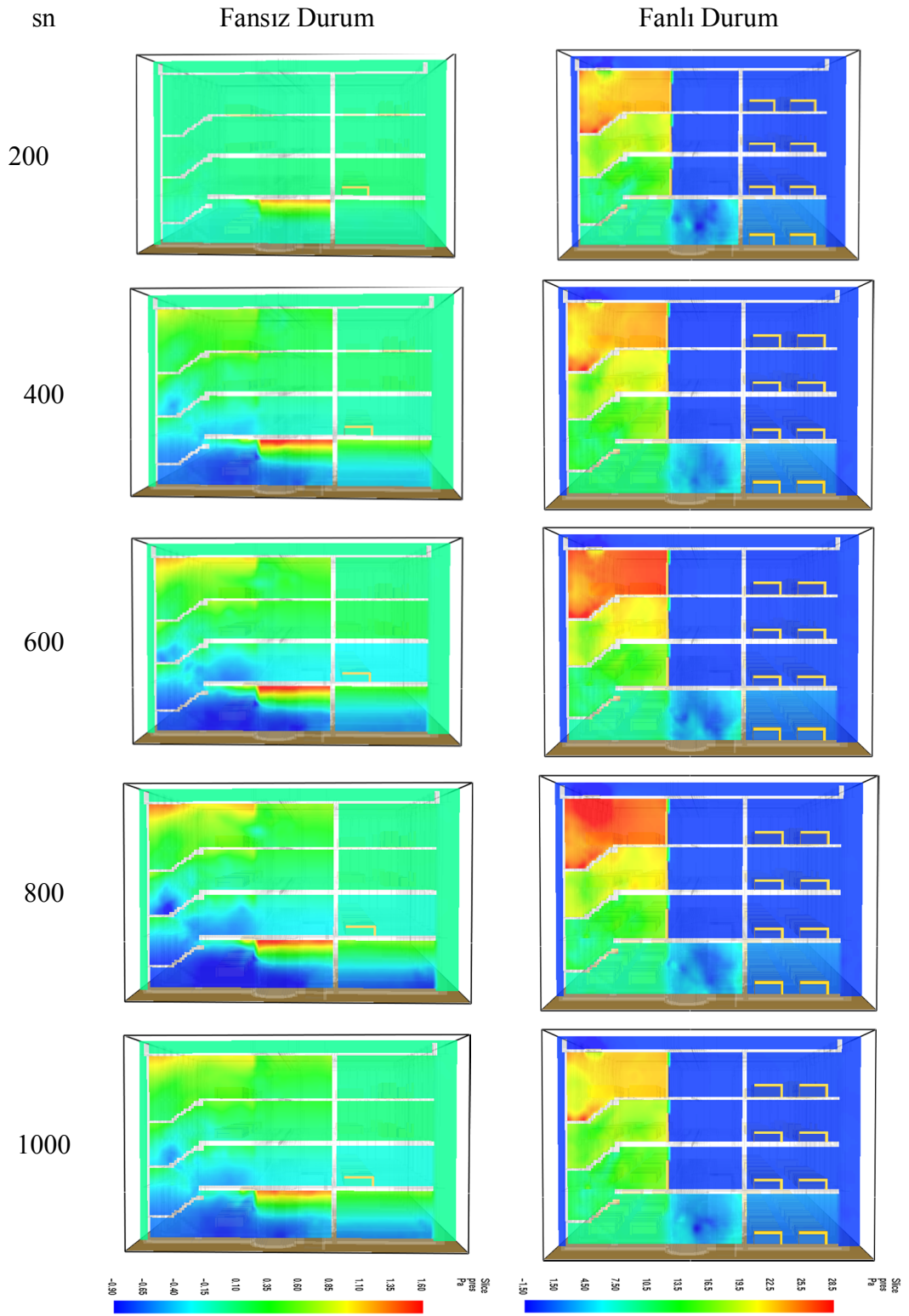


Şekil 4.38. M4 binası ısı salınım oranı grafiği

M4 binasında yangın sonucu çıkan ısı 100. saniyede 500 kw değerine çıkmıştır. Analziler boyunca dış etkenlerden dolayı salınım yaparak 750 kw değerinin yaklaşık 100 kw altı ve üstünde devam etmiştir.



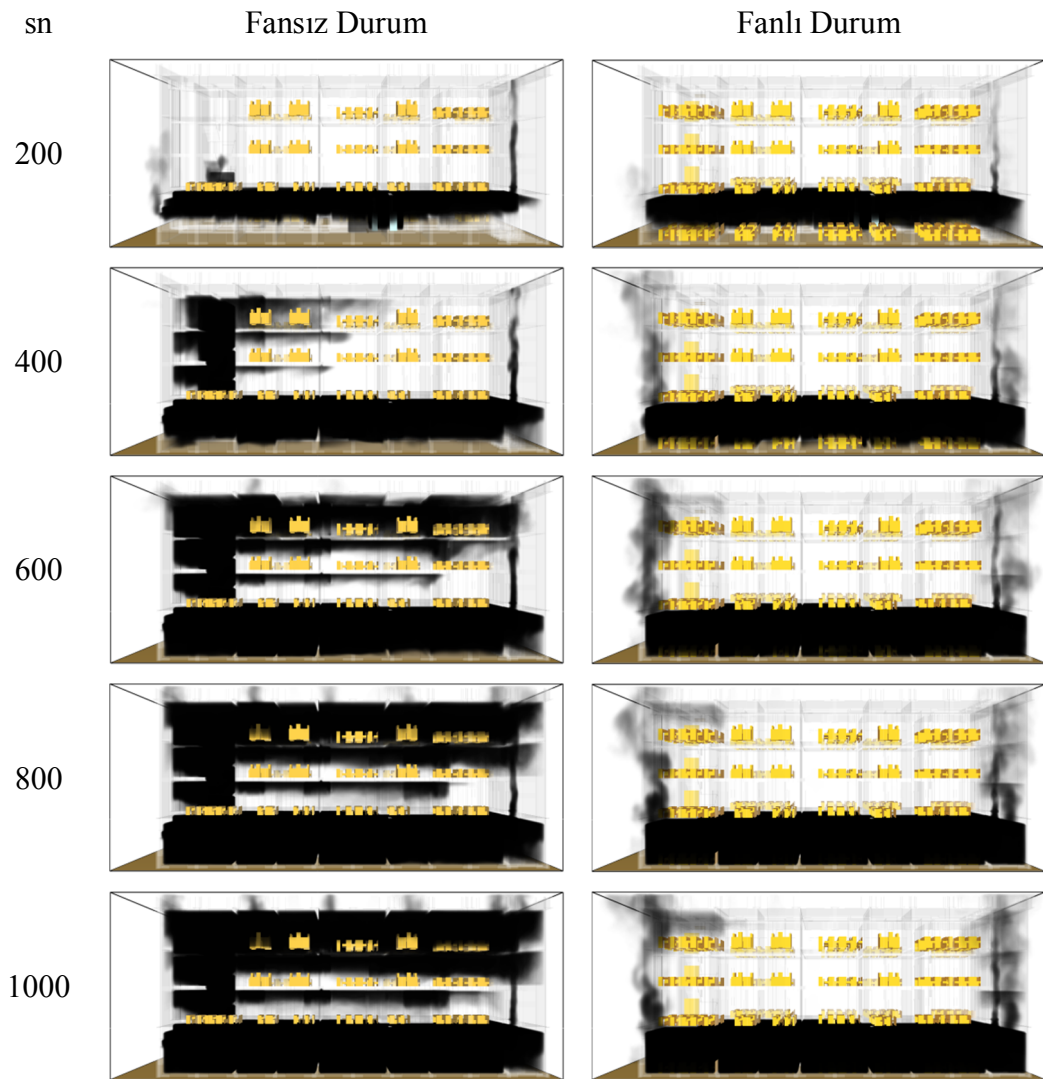
## 4.2.25. Farklı senaryolar için M5 binası içerisindeki basınç dağılımının incelenmesi



Şekil 4.39. M5 binası fanlı ve fansız durum için basınç dağılımı

Şekil 4.39.'da M5 binasında fansız durumda yangının zemin kattaki elektrik odasındaki çıkışıyla beraber basıncın zemin kat tavanında en fazla 1.6 Pa olduğu görülmektedir. Fan uygulanan durumda kapı çıkış noktalarında uluslararası standartlar ve yapılan deneysel çalışmalar sonucu kapı çıkış noktalarında minimum 10 Pa, maximum 50 Pa dolaylarında basınç istendiğinden oluşan basınç değerleri belirlenen aralıklarda kaldığı görülmektedir.

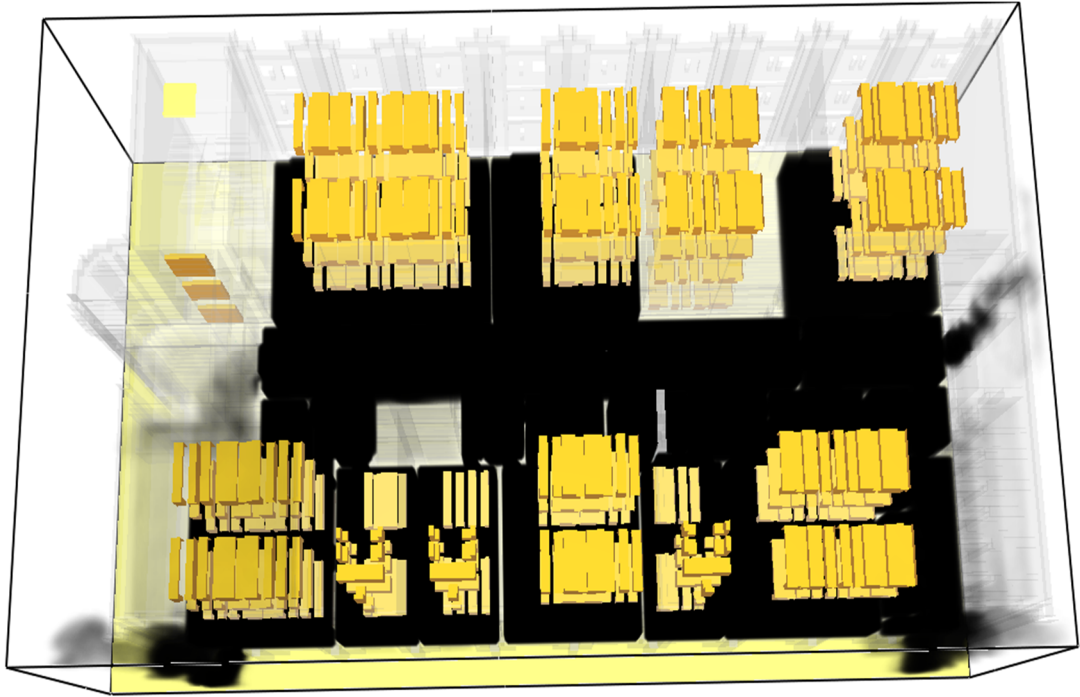
#### 4.2.26. Farklı senaryolar için M5 binası içerisindeki duman dağılımının incelenmesi



Şekil 4.40. M5 binası fanlı ve fansız durum için duman dağılımı

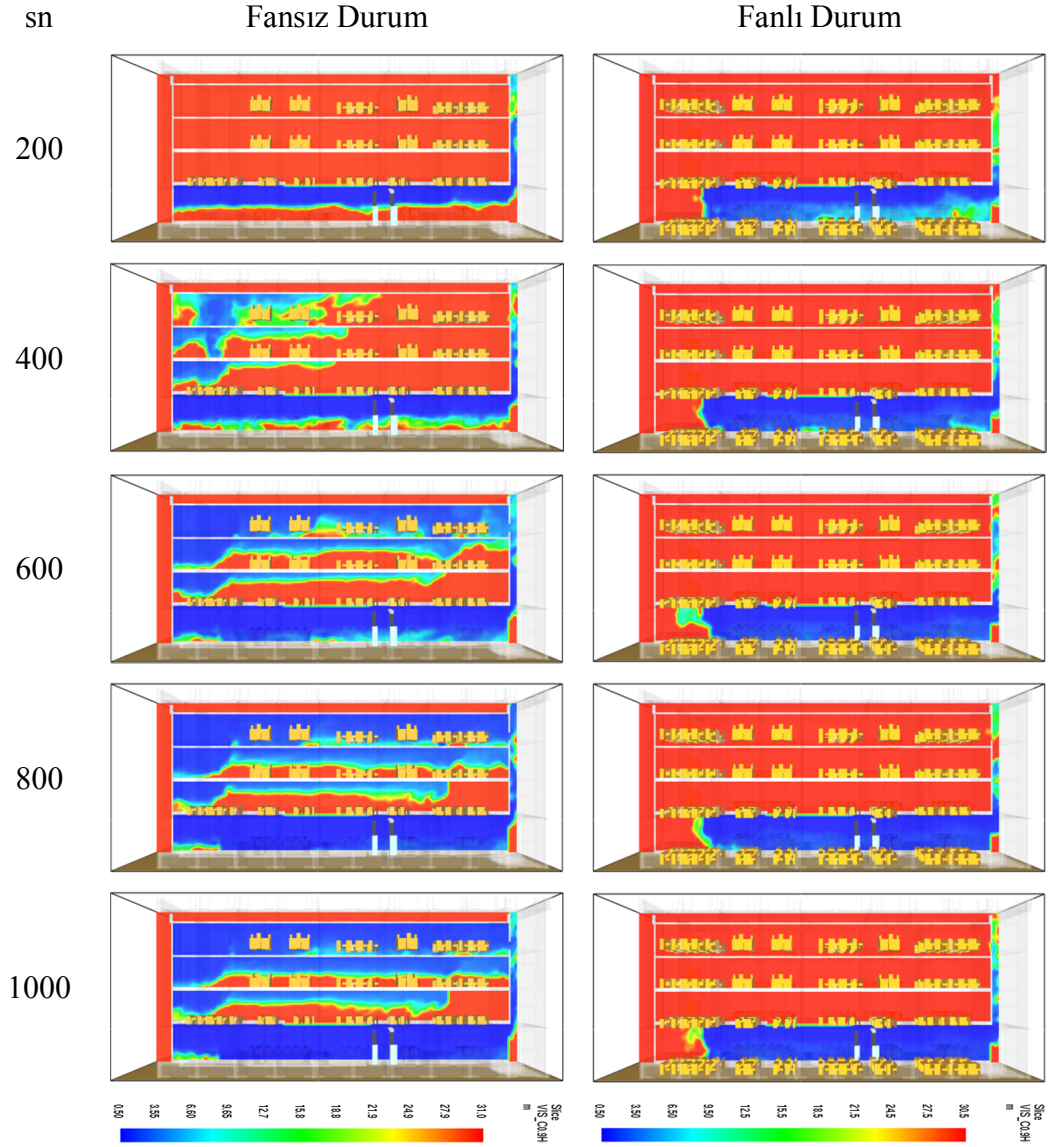
Şekil 4.40.'da M5 binasında zemin kattaki sunucu odasında çıkabilecek bir yangın sonucunda duman 130. saniyelerde zemin katın koridoru boyunca ilerleyerek sol

tarafında bulunan merdiven kovasından üst katlara çıkmaya başlamıştır. 400. saniyede duman sol kısımdaki merdiven kovasını tamamen doldurduğu görülmektedir. 600. saniyelerde en üst katı duman sardığı görülmektedir. Üst katlarda duman yoğunluğu daha fazla olduğu yapılan analizlerce anlaşılmaktadır. En üst katta kısmen açık olan pencereler ve ısınan dumanın basınç farkıyla yoğunluğunun azalarak yükselme isteği bu durumu oluşturduğu düşünülmektedir. Fan uygulaması yapıldığı durumda ise 150. saniyelerde duman zemin katın her bölgesine ulaşarak çökmeye başlamış ve 600. saniyelerde neredeyse tüm hacmi kapladığı görülmektedir. Zemin katta da ilave olarak tahliye fanı koyularak duman yoğunluğu azaltılarak bu bölgede güvenlik sağlanabileceği düşünülmektedir.



Şekil 4.41. M5 binası 1000. sn fanlı duman analizi üst görünüş

#### 4.2.27. Farklı senaryolar için M5 binası içerisindeki görünürlük dağılımının incelenmesi

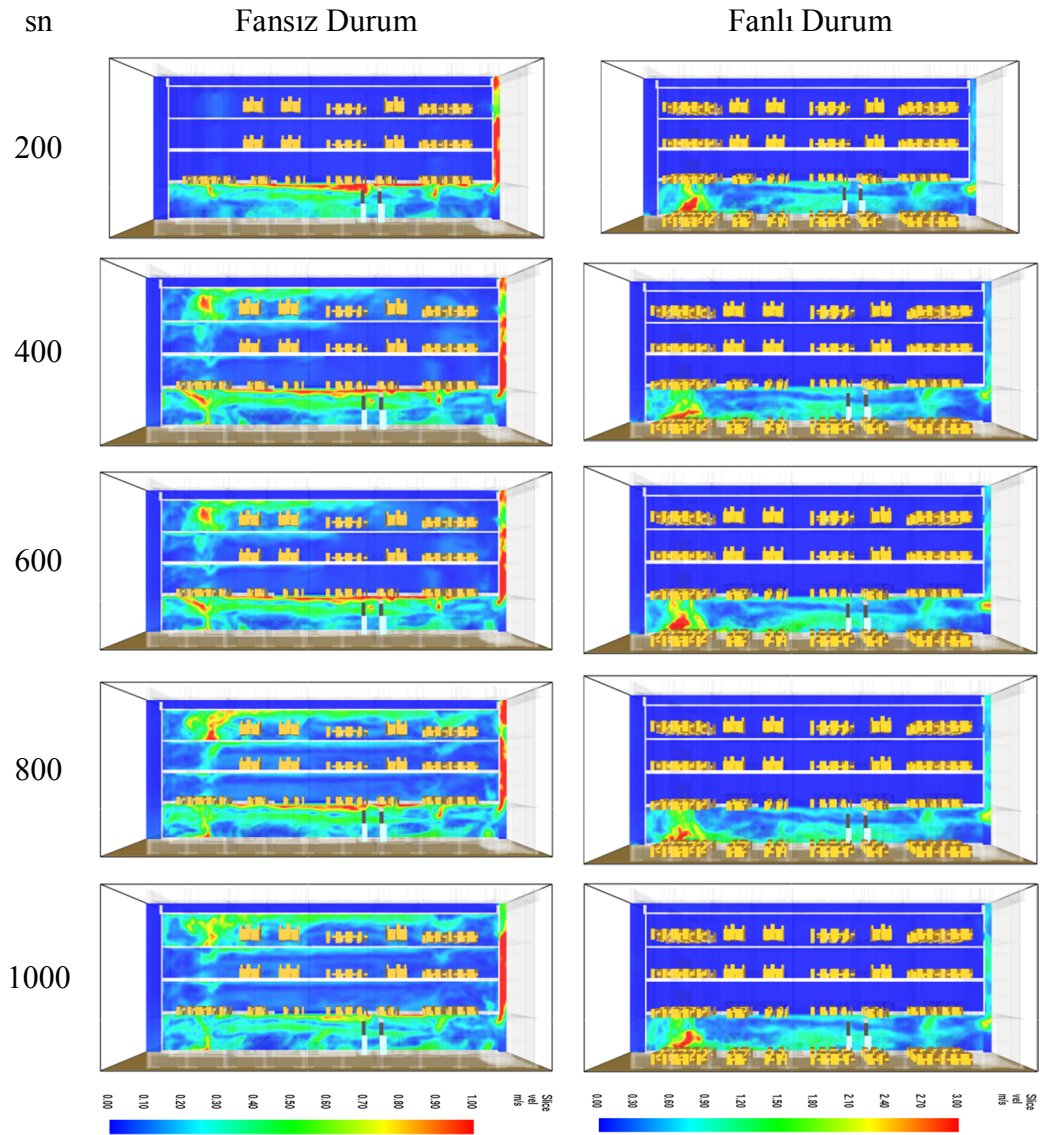


Şekil 4.42. M5 binası fanlı ve fansız durum için görünürlük dağılımı

M5 binasında görünürlük fansız durumda 130. saniyede duman zemin katın koridorunda uç bölgelere ulaştığı için hızla azalmaya başlamıştır. 200. saniyelerde zemin katın koridorunda katın yarısından daha alçak yükseklikte duman biriktiği ve görünürlüğü zorlaştırdığı, bu dakikadan sonra zemin kattaki kaçışın yalnızca eğilerek yapılabileceği düşünülmektedir. Duman 400. saniyelerden sonra üst katları da tamamen sararak kaçışa engel olmakta ve zehirlenme ihtimalini arttırdığı

düşünülmektedir. 600. saniyelerde artık duman her katı ve kaçış bölgelerini sarmış ve müdahale imkânlarını azaltığı görülmektedir. Fan uygulaması yapıldığı durumlarda koridordaki dedektörün dumanı algılamasıyla fan 30. saniyede devreye girmiştir ve 140. saniyelerde kata dolan duman zemine doğru hızla çökmeye başlamıştır. Fan uygulaması üst katlarda güvenliği arttırırken zemin katta hızla çökme yaratması istenilen bir durum değildir. Fakat; buna rağmen bu saniyelere kadar zemin katta kaçışın sağlandığı düşünülürse çözümün çokta kötü olmadığı düşünülmektedir. Yine de zemin kata tahliye fanı ilave edilerek bu duman da atıla bilirse tüm bina için duman kontrolü sağlanmış olacaktır.

#### 4.2.28. Farklı senaryolar için M5 binası içerisindeki hız dağılımının incelenmesi

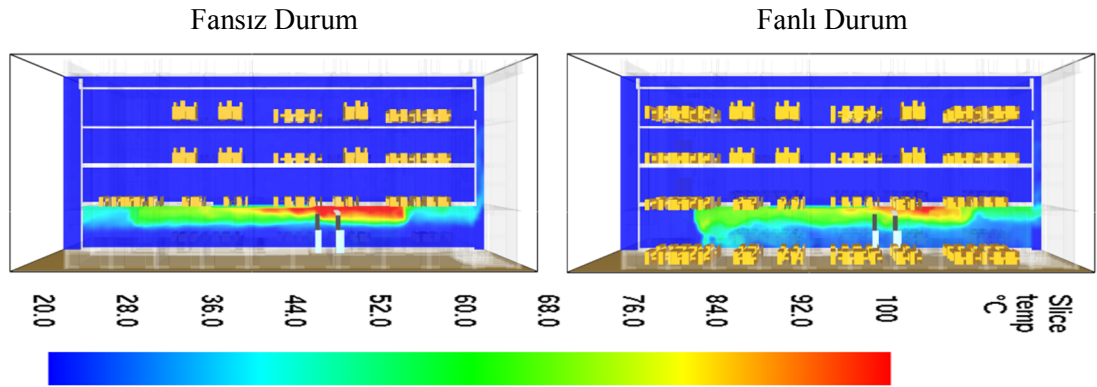


Şekil 4.43. M5 binası fanlı ve fansız durum için hız dağılımı

M5 binasında normal durumda çıkan bir yangında hız şablonundan da görüldüğü gibi hızın en fazla 1 m/s dolaylarında olduğu anlaşılmaktadır. En üst katta hızın daha fazla olması dumanın hızla yoğunluğu havadan az olduğu için en üst noktalarda toplanmasından kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Fan uygulaması yapıldığı durumda ters hava akımı etkisiyle 3 m/s hızlara ulaşmaktadır. Oluşan bu hızın dumanın üst katlara çıkışına engel olduğu Şekil 4.43.'de görülmektedir.

#### 4.2.29. Farklı senaryolar için M5 binası içerisindeki sıcaklık dağılımının

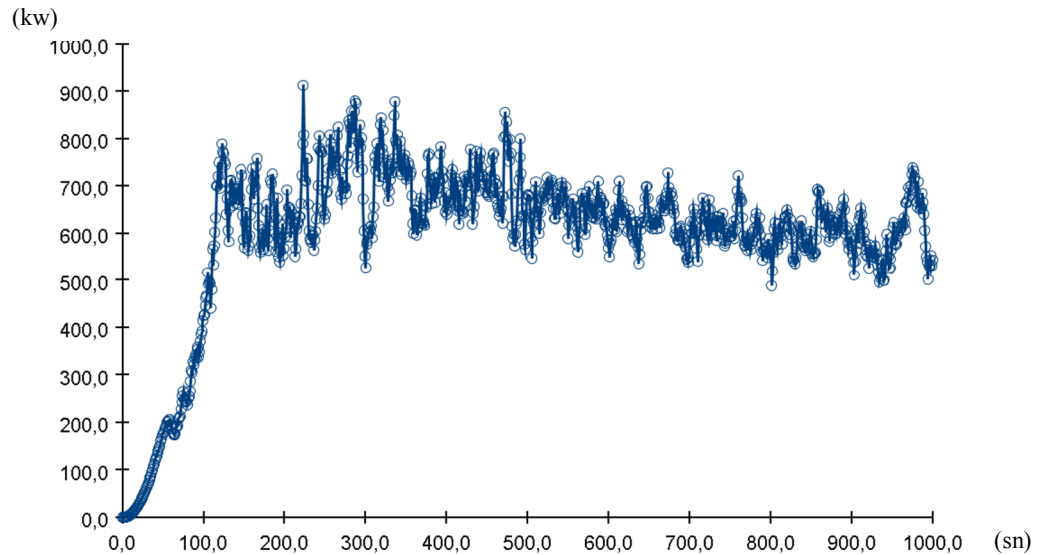
## incelenmesi



Şekil 4.44. M5 binası fanlı ve fansız durum için sıcaklık dağılımı

M5 binasında çıkabilecek bir kablo yangınında en fazla sıcaklığın 100 °C olduğu Şekil 4.44.'de görülmektedir. Bu değer az olmasının sebebi sıcaklık analizinin alındığı kesitten kaynaklandığı düşünülmektedir. Fanlı durumda sıcaklığın hava akımı etkisiyle daha geniş bir hacime yayıldığı, zemin katın alt noktalarına kadar ulaştığı görülmektedir.

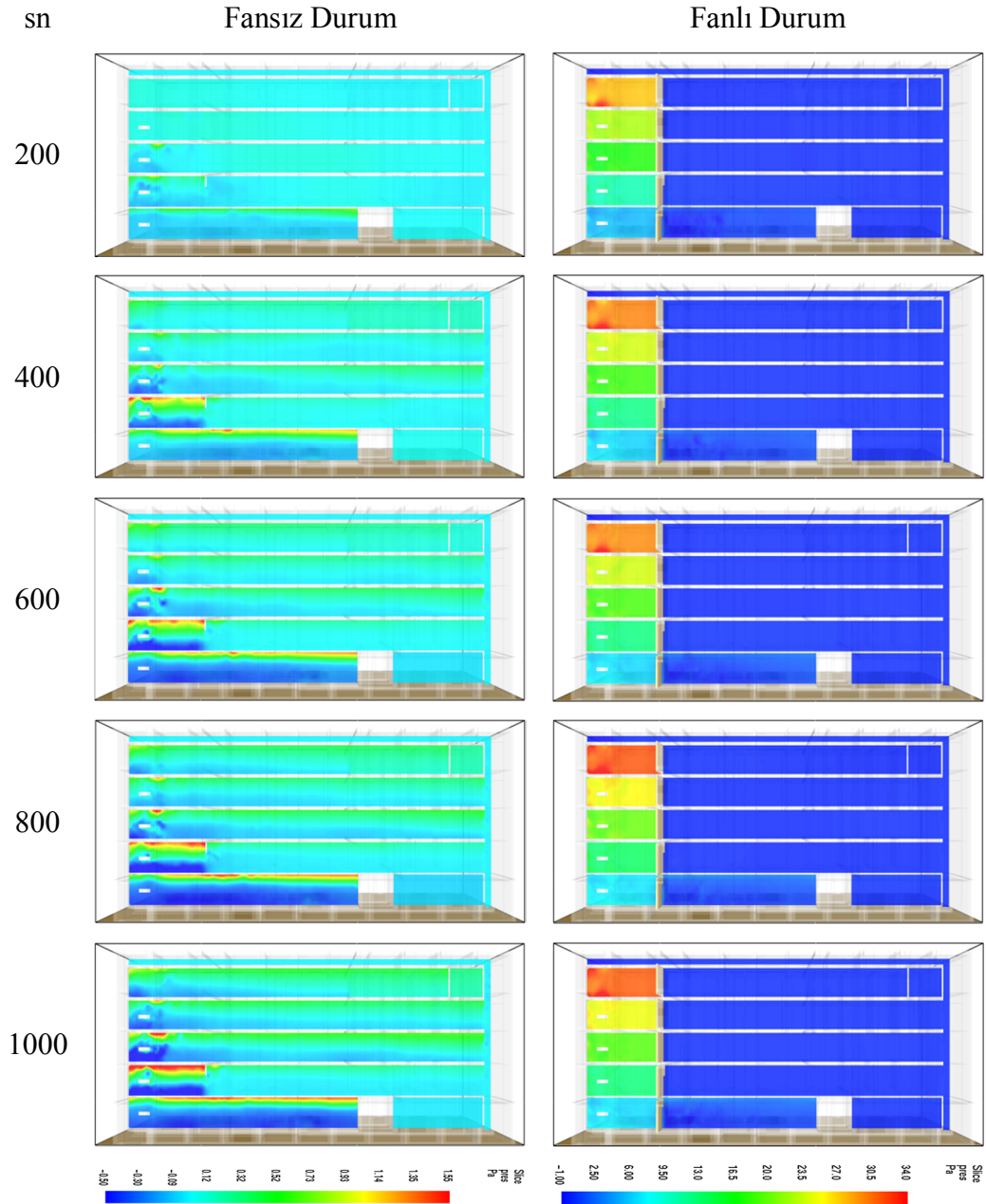
### 4.2.30. M5 binası ısı salınım oranı grafiği



Şekil 4.45. M5 binası ısı salınım oranı grafiği

M5 binasında yangın sonucu çıkan ısı 100. saniyede 300 kw değerine çıkmıştır. Analziler boyunca dış etkenlerden dolayı bir süre salınım yaparak 750 kw değerinin yaklaşık 100 kw altı ve üstünde devam etmiş, sonrasında bir miktar düşüş olmuştur.

#### 4.2.31. Farklı senaryolar için M6 binası içerisindeki basınç dağılımının incelenmesi



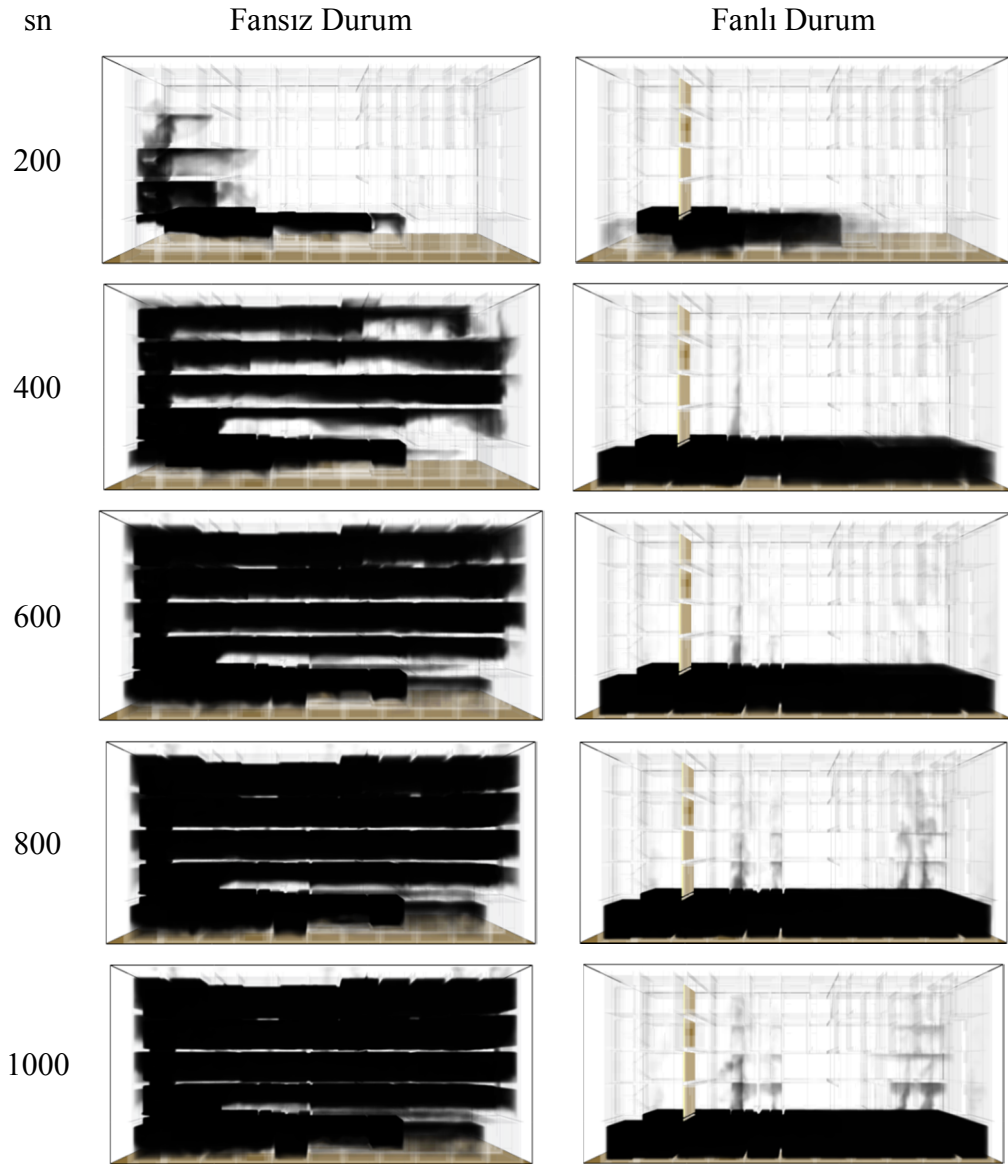
Şekil 4.46. M6 binası fanlı ve fansız durum için basınç dağılımı

M6 binasının bodrum katında bulunan elektrik odasında çıkan bir yangın sonucunda fansız durumda basıncın kat tavanları bölgesinde en yüksek 1.55 Pa olduğu Şekil



4.46.'da görülmektedir. Fan uygulandığı durumda ise fanın ters basınç etkisiyle binanın koridor kesitinden alınan görüntülere göre 3. Katta 34 Pa, 2. Katta 27 Pa, 1. Katta 20 Pa, zemin katta 15 Pa, bodrum katta 12 Pa seviyelerinde olduğu görülmektedir.

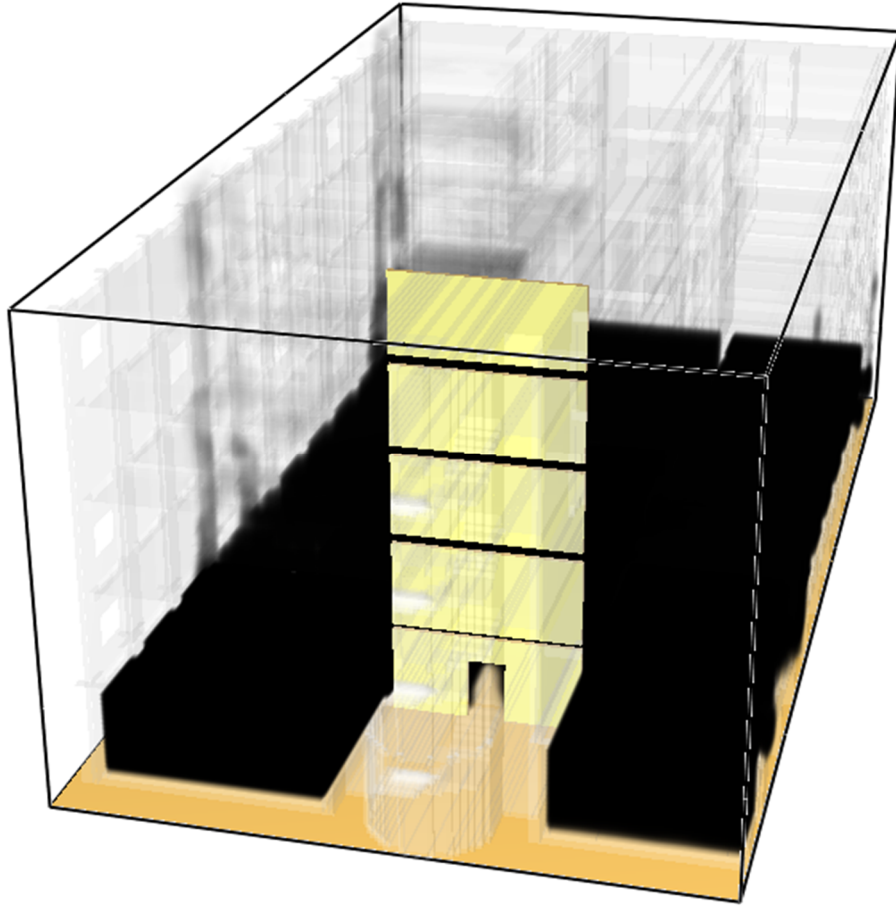
#### 4.2.32. Farklı senaryolar için M6 binası içerisindeki duman dağılımının incelenmesi



Şekil 4.47. M6 binası fanlı ve fansız durum için duman dağılımı

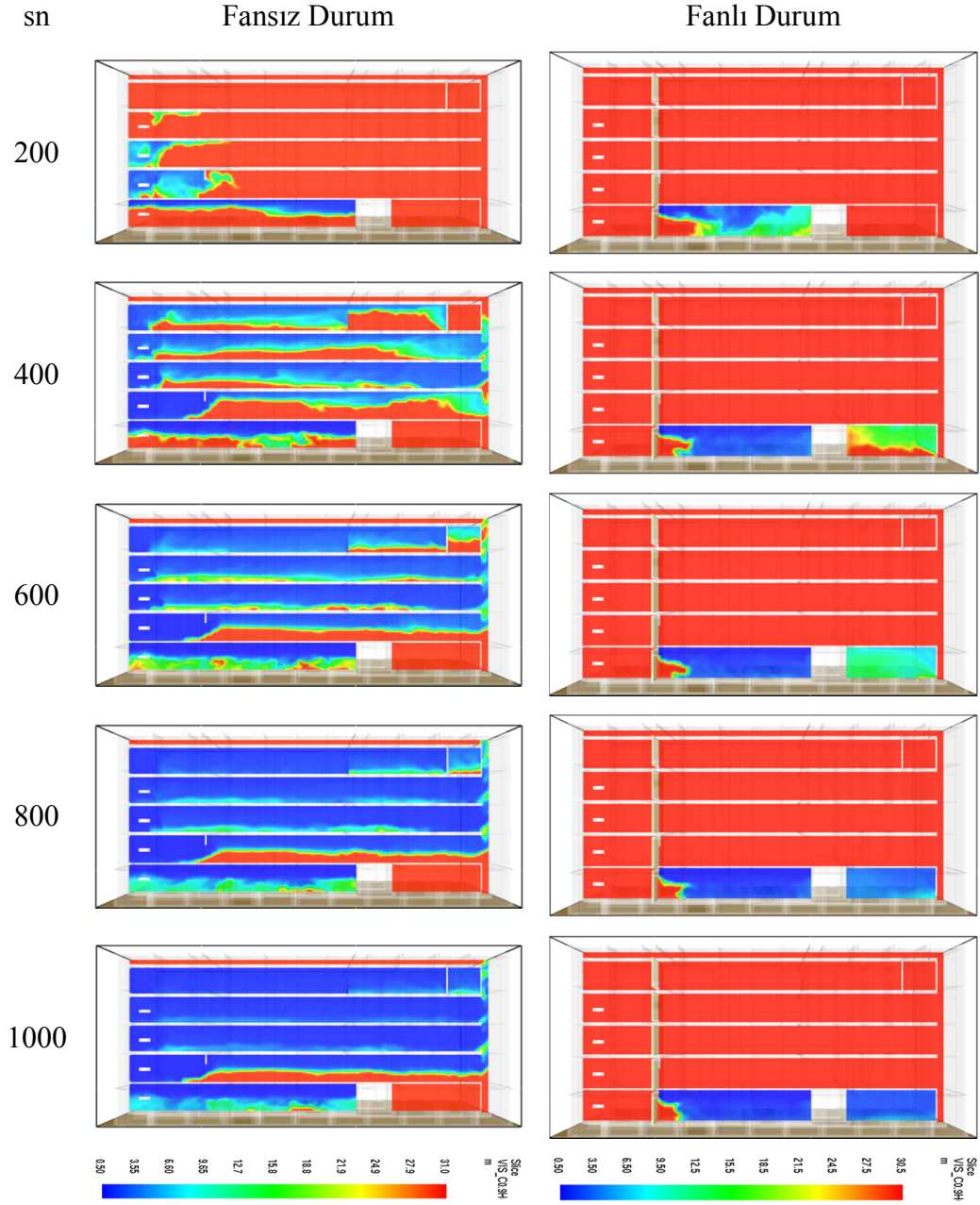
Şekil 4.47.'de görüldüğü üzere M6 binasında fansız durumda bodrum katta çıkabilecek bir yangın neticesinde duman ilk 80 saniyede elektrik odasının tavanını doldurmakta ve aşağıya doğru çökerek kapı açıklığından koridora dolmaya

başlamaktadır. 140. saniyelerde duman merdiven kovasına doğru ilerlemekte ve 200. saniyelerde üst katlara çıkmaya başlamakta olduğu Şekil 4.47.'de görülmektedir. Bu andan itibaren üst katlarda kaçışın çok zor olduğu düşünülmektedir. 400. saniyede dumanın tüm katlara ulaştığı şekil 4.47.'den anlaşılmaktadır. Geniş açıklıklar olduğu ve dumanın tamamen kat zeminlerine çökmediği Şekil 4.47.'de görülmektedir. Fakat; 600. saniyelerde artık üst katlarda nefes alma şansının olmadığı anlaşılmaktadır. 800. saniyelerde alt katlarda da aynı durumun olduğu görülmektedir. 100. sn de tüm bina dumanla sarılmış durumda olduğu görülmektedir. Fan uygulaması yapılan durumda fanların dumanı algılayarak 30. Saniyelerde devreye girmesiyle elektrik odasından çıkan dumanların koridor boyunca merdiven kovasına doğru ilerlediği fakat ters akış ve basıncın etkisiyle merdiven kovalarını dolduramadığı Şekil 4.47.'de görülmektedir. Üst katlara duman ulaşmadığı tüm durumlar incelendiğinde görülmektedir. Fakat; fanlı durumda fansız duruma göre duman akışı tüm binaya yayılmadığı ve ters basınç olduğu için bodrum katta duman çökmesi çok daha hızlı olmaktadır. Fansız durumlarda 400. saniyelerden sonra oluşan çökme fanlı durumda 200. saniyelerde oluşmaktadır. 2 dakikalık süreçte binanın tahliyesi yapılabileceği düşünülürse bu durumun fansız durumda daha iyi bir çözüm olacağı anlaşılmaktadır. Kaçış güvenliği daha fazla arttırmak için katlarda duman birikimini önlemek açısından tahliye fanları ilave edilebileceği düşünülmektedir.



Şekil 4.48. M6 binası 1000. sn fanlı duman analizi üst görünüş

#### 4.2.33. Farklı senaryolar için M6 binası içerisindeki görünürlük dağılımının incelenmesi

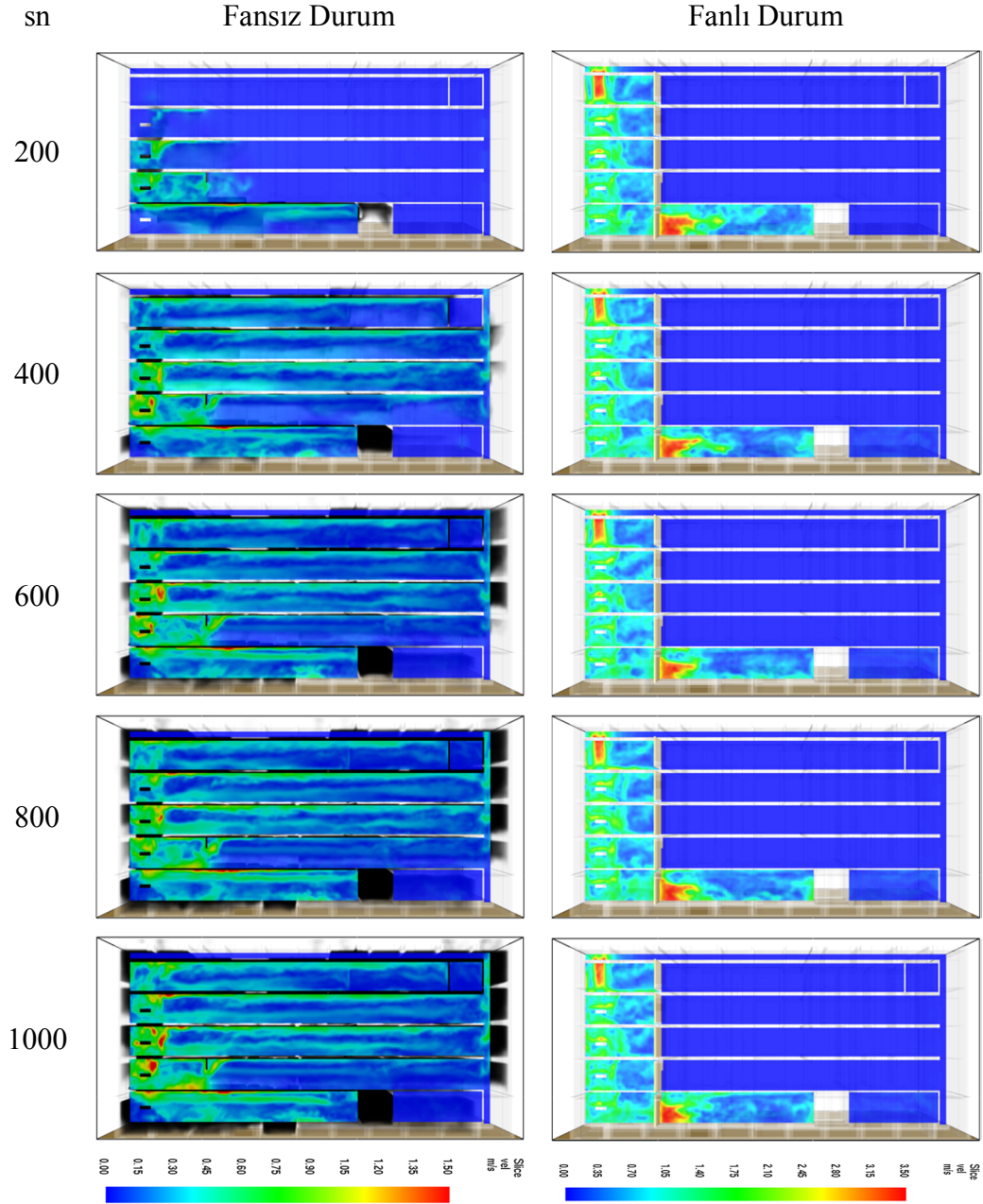


Şekil 4.49. M6 binası fanlı ve fansız durum için görünürlük dağılımı

M6 binasında 100. saniyelerden sonra merdiven kovası dumanla dolmaya başladığından görünürlük 10 metrenin altına düşmüştür. 400. saniyelerde üst katlarda sadece kat zeminlerinde görüş en yüksektir. 600. saniyelerden sonra görüş tamamen yok olmaktadır. Fanlı analizler incelendiğinde duman bodrum kattan üst katlara

ilerleyemediğinden görünürlük yüksektir. Fakat bodrum katta ters hava akımı etkisi ve dumanın çökmesiyle 200. saniyelerde görüş 10 metrenin altına düşmektedir.

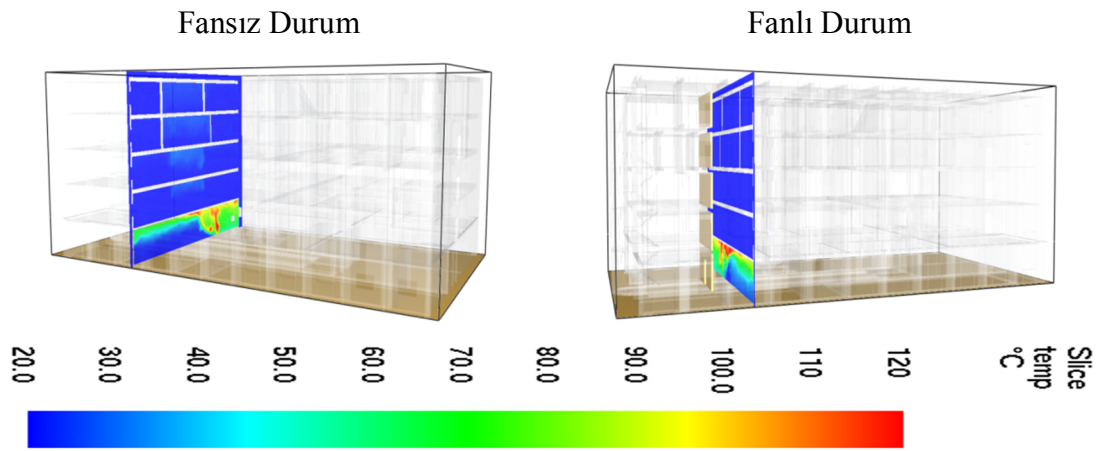
#### 4.2.34. Farklı senaryolar için M6 binası içerisindeki hız dağılımının incelenmesi



M6 binasında fan uygulanmadığı durumda hız en fazla tavan bölgelerinde olmak üzere 1.5 m/s değerlerine ulaşmaktadır. Ortalama hız değerinin 1 m/s olduğu fansız durum incelemelerinden anlaşılmaktadır. Fan uygulamasının yapıldığı analizde ise

merdiven kovasının orta kısımdan alınan kesitte görüldüğü gibi fan bölgesi etrafında ve en alt katta bulunan açık kapı etrafında hızın 3.5 m/s değerlerine ulaştığı Şekil 4.50.'de görülmektedir. Bu ters yönlü akışın dumanın merdiven kovasına girişini engellediği düşünülmektedir. Fan uygulaması yapıldığı durumda kesitlerde de görüldüğü gibi hızın ortalama değerinin 2 m/s olduğu Şekil 4.50.'de görülmektedir.

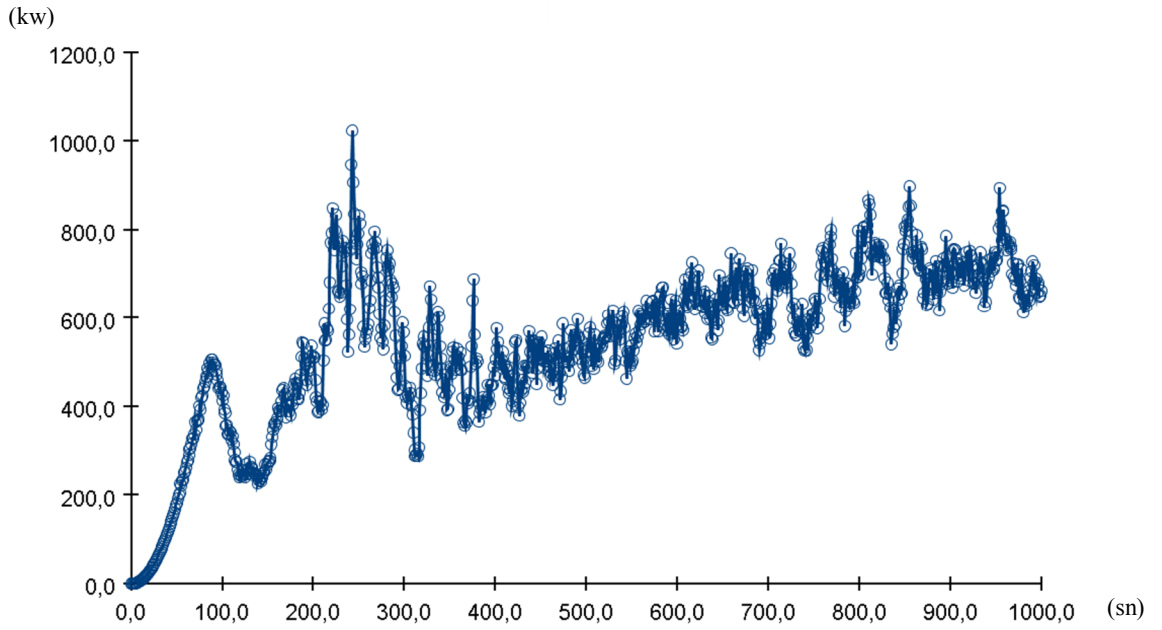
#### 4.2.35. Farklı senaryolar için M6 binası içerisindeki sıcaklık dağılımının incelenmesi



Şekil 4.51. M6 Binası 1000. sn Fanlı ve Fansız Sıcaklık Analizi

M6 binasında hız analizleri incelendiğinde sıcaklığın en fazla yangın çıkan bölgenin tavan kısmında 120 °C değerine ulaştığı Şekil 4.51.'de görülmektedir. Bu değer az olmasının sebebi alınan kesitin yangın noktasına uzaklığıyla ilgili olduğu kanaatine varılmıştır. Fan uygulanan durumda ters duman akışı olduğundan dolayı sıcaklığın daha fazla alana yayıldığı anlaşılmaktadır.

#### 4.2.36. M6 binası ısı salınım oranı grafiği



Şekil 4.52. M6 binası ısı salınım oranı grafiği

M6 binasında yangın sonucu çıkan ısı 100. saniyede 500 kw değerine çıkmıştır. 200. saniyede hızla düşere 250 kw değerine düşmüştür. Sonrasında tekrardan yükselerek 750 kw değerine ulaşmıştır. 300. saniyelerde yeniden 250 kw'ya kadar düşmüş, sonrasında tekrardan artarak 750 kw değerinin 50 kw alt ve üstünde salınım yapmıştır.

## BÖLÜM 5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Yapılan çalışmalar ve araştırmalar neticesinde yangın esnasında açığa çıkabilecek duman miktarı ve yangın yükünde çok fazla parametre etken olduğundan analizlerde birçok kabulde bulunulmuştur. Çünkü ortaya çıkabilecek yangın tipi, yangının ne tür ürünlere sirayet ettiği ve ne miktarda ürün yandığı gibi etkenler sonucu, yangın yükü ve duman miktarı varsayım olarak tespit edilmiştir. Buradan da yapı tipine ve yapının kullanım şekline göre deneysel sonuçların verdiği değerlerden faydalanılmıştır. Her ne kadar yangının parametreleri fazla olsa da bu etkenler dumanın yönünü ve yapıda ilerleyişini çok fazla etkilemeyecektir. Kabuller neticesinde duman analizleri yapılarak yangının ne yönde yönlendirilebileceği ve dumanın yapı dışına nasıl tahliye edilebileceği öngörülebilecektir. Bu çalışma da Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Binalarında çıkabilecek elektrikselsel bir yangında dumanın nasıl ilerlediğini ve bu dağılıma göre nasıl tahliyeler gerçekleştirilebileceği görülmüştür. Çalışmalarda yangın senaryosuna göre çıkan duman miktarını ve yayılmasını görmenin yanında fanlı basınçlandırma veya fanlı emiş sistemleriyle de analizler yapılarak bu çözümün de etkinliği yorumlanmıştır.

M1 binasının duman analizleri incelendiğinde normal durumda dumanın 60. saniyelerden itibaren binanı her 2 tarafında bulunan merdivenlere ulaştığını ve üst katlara çıkmaya başladığı Şekil 4.14.'te görülmektedir. 130. saniyede duman her 2 merdivenide kapladığı görülmüştür. 250. saniyede 2. ve 3. katlar tamamen 1.kat kısmen dumanla dolmuştur. Zemin kata ise yangın çıkış katı olmasına rağmen duman yoğunluğu daha azdır. Bu durumun üst katlardaki açık pencerelerin açık olmasından dolayı fazla ısınan dumanın üst bölgelere basınç farkıyla çıkmasından oluşmuştur. Şekil 4.14.'te de görüldüğü üzere fanlı durumda binanın 2 adet merdiveni yangın merdiveni, kapıları yangın kapısı gibi düşünülerek merdiven kovasının çatı kısmında ters basınçlandırma ile merdiven kovasının güvenli bölgeye dönüştüğü



anlaşılmaktadır. Zemin kattaki oluşan fazla yoğunluğu da gidermek için her kata tahliye fanları da koyularak tam çözüm sağlanabilir.

M2 binasında yapılan duman analizleri sonucunda Şekil 4.21.'de görüldüğü üzere binanın sol kısmında üst katlarda daha fazla pencere açık olduğundan dumanın daha hızlı yayıldığı görülmüştür. Fanlı durumda ise fanlar dedektörden aldığı sinyalle 25. saniyede devreye girerek merdiven kovalarında ters basınç ve akış oluşturarak duman geçişine engel olmuştur. Böylelikle; kaçışa uygun ve güvenli ortam yaratılmıştır. Normal durumdaki bir yangın anında 130. saniyede sol kısımdaki merdivende 260. saniyelerde sağ taraftaki merdivenlerde görünürlük tamamen 0 olmaktadır. Fanlı durumda ise fanlar devreye girmesinden itibaren ters basınç ve akış olduğundan merdiven kovaları güvenli halde müdahaleye uygun duruma geldiği Şekil 4.21.'de görülmüştür.

M3 binasında diğer binalardan farklı olarak fanlı durumda ters basınçlandırma değil, bina atriuma sahip olduğu için emiş fanlarıyla duman tahliye yöntemi tercih edilmiştir. 3 adet fan ile emiş yapıldığı durumda ise gözle görülür açıklıkların olduğu en üst kat haricinde dumanın kaçışa çok fazla engel olmadığı Şekil 4.27.'de görülmüştür. Buna rağmen en üst kattaki açıklığı ve görünürlüğü arttırmak için fan debilerini veya adedini arttırmakta fayda olacağı düşünülmektedir.

M4 binasında Şekil 4.33.'te görüldüğü üzere merdivenlerin sadece 1 dakika gibi kısa sürede dolması üst kattaki insanların kaçışına engel teşkil ettiği anlaşıldığından merdiven kovalarına fanlarla ters basınçlandırma yapılarak analizler yapılmıştır. Fanların oluşturduğu basınç ve ters hava akışı ile birlikte duman açık düşünülen zemin kattaki kapıdan yukarıya çıkamamakta ve merdiven kovaları güvenli bölge olarak kaldığı anlaşılmıştır. Her ne kadar zemin katta tamamen duman dolsa da alt kattakilerin kısa sürede binayı terk edebileceği düşünülerek fan uygulamasıyla üst kattakilerinden dumandan uzun süre korunabileceği ve bu süre zarfında müdahalenin yapılabilecektir. Zemin katta; ayrıca biriken dumanı emiş fanı ekleyerek tahliye etmek tam anlamıyla güvenli bir kaçış oluşturacaktır.

M5 binasında zemin kattaki sunucu odasında çıkabilecek bir yangın sonucunda Şekil 4.40.'da görüldüğü üzere duman 130. saniyelerde zemin katın koridoru boyunca ilerleyerek sol tarafta bulunan merdiven kovanından üst katlara çıkmış 600. saniyelerde tüm binayı duman sarmıştır. Fan uygulaması yapıldığı durumda ise 150. saniyelerde duman zemin katın her bölgesine ulaşarak çökmeye başlamış ve 600. saniyelerde neredeyse tüm hacmi kaplamıştır. Zemin katta da ilave olarak tahliye fanı koyularak duman yoğunluğu azaltılarak bu bölgede de kaçış ve müdahale sağlanabilecektir.

M6 binasında 400. saniyede dumanın tüm katlara ulaştığı şekil 4.47.'den anlaşılmaktadır. Fan uygulandığı zaman geniş açıklıklar olduğu ve dumanın tamamen kat zeminlerine çökmediği görülmektedir. Fakat; 600. saniyelerde artık üst katlarda nefes alma şansının olmadığı görülmüştür. 800. saniyelerde alt katlarda da aynı durumun oluşmuştur. Şekil 4.47.'de görüldüğü üzere fan uygulaması yapılan durumda fanların dumanı algılayarak 30. saniyelerde devreye girmesiyle elektrik odasından çıkan dumanların koridor boyunca merdiven kovanına doğru ilerlediği fakat ters akış ve basıncın etkisiyle merdiven kovalarını dolduramadığı anlaşılmıştır. Üst katlara duman ulaşmadığı tüm durumlar incelendiğinde görülmektedir. Fakat; fanlı durumda fansız duruma göre duman akışı tüm binaya yayılmadığı ve ters basınç olduğu için bodrum katta duman çökmesi çok daha hızlı oluşmuştur. Fansız durumlarda 400. saniyelerden sonra oluşan çökme fanlı durumda 200. saniyelerde oluşmuştur. 2 dakikalık süreçte binanın tahliyesi yapılabileceği düşünülürse bu durumun fansız durumda daha iyi bir çözüm olmuştur. Kaçış güvenliği daha fazla arttırmak ve katlarda duman birikimini önlemek açısından tahliye fanları ilave edilebileceği anlaşılmıştır.

Genel olarak bütün analizlerde görünen binalarda çıkabilecek yangınlarda dumanın hızlı bir şekilde nasıl yayıldığı görülmüştür. İncelenen duman yayılımına göre seçilen duman tahliye veya ters basınçlandırma yöntemleriyle çözümler oluşturulabileceği anlaşılmıştır. Pyrosim programıyla yapılan bu analizlerle binalarda henüz tasarım aşamasında alınabilecek önlemlerle bina yangın güvenliğinin, dumanın yönlendirilmesi ve tahliyesiyle en üst seviyelere çıkarılabileceği görülmüştür.

## KAYNAKLAR

- [1] İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Yangın ve Kazalarla Mücadele Eğitim Kitabı, 2015.
- [2] İngiltere Topluluklar ve Yerel Hükümet Departmanı, 2005.
- [3] Comite Techniques International Of Fire Extinguishing (CTIF), 2014.
- [4] Swedish Rescue Services Agency (SRSA, İsveç Kurtarma Hizmetleri), 2015.
- [5] Senveli, A., Dizman, T., Celen, A., Bilge, D., Dalkılıç, A., Wongwises, S., CFD Analysis of Smoke and Temperature Control System of an Indoor Parking Lot with Jet Fans. Journal of Thermal Engineering, 1 (2), 116-130. (2015).
- [6] Chow, T.T., Zhang, L., and Tsang, C.F., Building Energy & Environmental Technology Research Unit, International Journal on Architectural Science, Volume 7, 2006.
- [7] Overholt, K., Weinschenk, C., Madrzykowski, D., National Institute of Standards and Technology (NIST) Technical Note 1856, 2014.
- [8] www.nexans.com., Erişim Tarihi: 08.04.2017.
- [9] Kılıç, A., Beceren, K., Duman Kontrol Gerekliliği, IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 1999.
- [10] Klote, J.H., Nelson, H.E., Smoke Movement in Buildings, Fire Protection Handbook, 18th Edition. NFPA FPH1897, Section 7, Chapter 6, 1997.
- [11] Çabi, F., Atrium İçeren Çok Katı Binalarda Duman Dağılımının Sayısal İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2013.
- [12] Balık, G., Geniş Hacim Yangınlarında Duman Tahliyesinin Sayısal Olarak İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2003.
- [13] NFPA72, National Fire Alarm and Signaling Code, 2013.
- [14] Klote, J.H., An Overview Of Smoke Control Technology, National Bureau of Standards, Paper NBSIR 87-3628, 1987.

- [15] British Standards, BS 5588 Fire Precautions in the Construction of Buildings, Part 4 1978.
- [16] Nükleer Güç Santralı Uygulamalarında Seçilen Yangın Modellerinin Doğrulanması ve Onaylanması NUREG 1824, ABD Nükleer Düzenleme Komisyonu, 2007.
- [17] NIST Special Publication 1019 Sixth Edition Fire Dynamics Simulator User's Guide Kevin McGrattan Simo Hostikka Randall McDermott Jason Floyd Craig Weinschenk Kristopher Overholt.
- [18] Seçilmiş Göstergelerle Sakarya 2013, Türkiye İstatistik Kurumu. Yayın No: 4218 ISSN: 1307-0894.

## ÖZGEÇMİŞ

İsmet YÜZÜCÜ, 05.07.1988'de Sakarya'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı. 2005 yılında Kocaali Lisesi'nden mezun oldu. 2006 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü 2010 yılında bitirdi. 2010 yılında vatani görevine asteğmen olarak başladı 2011 de askerlik görevini tamamladı. 2011 yılında Tesa Otomotiv San. ve Tic.Ltd. Şti firmasında çalıştı. 2012 yılında çalışmaya başladığı Karasu Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğü'nde Makina İkmal Sorumlusu olarak görev yaptı. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. Daha sonra 2014 yılında Sakarya Büyükşehir Belediyesi'nde çalışmaya başladı. Halen Sakarya Büyükşehir Belediyesi'nde Makine Mühendisi olarak görevine devam etmektedir.