
	<b>SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ</b> <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		 <b>SAKARYA</b> UNIVERSITY
	e-ISSN: 2147-835X		
	Dergi sayfası: <a href="http://dergipark.gov.tr/saufenbilder">http://dergipark.gov.tr/saufenbilder</a>		
	<u>Gelis/Received</u> 08-08-2017		
	<u>Kabul/Accepted</u> 01-08-2017		<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.333526

## Sakarya Üniversitesi M-7 binası için yangın simülasyonu ve duman tahliye stratejilerinin incelenmesi

Gökhan Coşkun<sup>1</sup>, Üsâme Demir<sup>\*1</sup>, Hakan Serhad Soyhan<sup>1</sup>

### ÖZ

Bu çalışmada, bina içi hava hızını mümkün olabilecek en az seviyede arttıran farklı duman tahliye senaryoları ve stratejileri FDS yazılımı ile bilgisayar ortamında modellenerek incelenmiştir. M-7 binası pencereleri ve binanın terasındaki ışıklık bölgesinin açık ve kapalı olması durumu ile ışıklık bölgesine duman tahliye fanı eklenmesi durumuna olmak üzere beş farklı senaryo incelenmiştir. Tüm simülasyonlar yangın merdiveni acil çıkış kapıları açık konumda iken çalıştırılmıştır. Bu senaryolar; tüm pencereler kapalı, tüm pencerelerin tek kanatları açık, tüm pencerelerin her iki kanadı açık, tüm pencereler kapalı iken ışıklık penceresi açık ve son olarak ışıklık bölgesinde duman tahliye fanı çalıştırılması durumları olarak sıralanabilir. Simülasyon sonuçları tüm binaya duman yayılımının en uzun sürdüğü senaryonun fanın kullanıldığı durum için ortaya çıktığını göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yangın, duman yayılımı ve tahliyesi, yangın simülasyonu

### Fire simulation and investigation of the smoke removal strategies for Sakarya University M-7 hall

#### ABSTRACT

In this study several strategies for smoke removal in M7 building of engineering faculty are developed. In these scenarios the air velocity is kept in the lowest level and the developed model was investigated by using FDS software. Five scenarios were examined depending on windows and skylighting open or close positions, and a case having smoke removal fan mounted in the skylighting area. All simulations were run with evocation doors in open position. Scenarios are; all windows casements are closed, all windows single casements are open, all windows casements are open, skylighting open while all windows casements close and finally with smoke removal fan active at the skylighting area. From the simulation results slowest smoke propagation in the building obtained at the smoke removal fan used case

**Keywords:** Fire, plume dispersal and removal, fire simulation

<sup>1</sup>Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Sakarya-gcoskun@sakarya.edu.tr, udemir@sakarya.edu.tr, hsoyhan@sakarya.edu.tr

\* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yangından ve dumandan korunma önlemlerinin dikkatli bir şekilde planlanması ve uygulanması, yangın anında ortaya çıkabilecek can ve mal kayıplarının büyük oranda engellenmesi açısından büyük öneme sahiptir. Yangın anında hızlı bir şekilde tahliyenin gerçekleşmesi ve yangının itfaiye ekiplerine bildirilmesini sağlayan yangın detektörleri gibi koruyucu önlemler mevcut binalarda sıklıkla uygulanmaktadır. Yangın anında özellikle yoğun plastik içerikli ileri teknoloji cihazlar ve yüksek oranda yanıcı özelliğe sahip kimyasalların yandığı binalarda ortaya çıkabilecek yoğun dumanın dış ortama hızlıca tahliye edilmesinin, hem ortamdaki uzaklaşmaya çalışan insanların sağlığı açısından kritik önem taşıdığı hem de yangına müdahale eden ekiplerin hızlı bir şekilde yangın bölgesine ulaşmasına ve yangını kontrol altına almasına büyük oranda katkı sağlayacağı aşikârdır.

Yangın anında duman tahliyesini kolaylaştıracak havalandırma teknikleri üzerine yapılan çalışmalarda havalandırma sistemlerinin duman tahliyesine büyük bir katkıda bulunabileceği görülmüştür. Fang ve diğ. [1] binalarda duman hareketi ve kontrolü üzerine yaptıkları çalışmada havalandırma sisteminin doğrudan duman yüksekliğini etkilediğini deney ve modellerle inceleyerek detaylandırmışlardır. Jie ve diğ. [2] doğal havalandırma yanında mekanik olarak zorlanmış hava akışı sağlayan duman tahliyesi sistemleri üzerine yaptıkları çalışmada duman tahliyesi hızı ve havalandırma yüksekliğinin etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Duman tahliyesindeki önemli bir gösterge olan Froude sayısını farklı havalandırma yüksekliği, karbonmonoksit (CO) ve duman hızına göre optimum havalandırma yüksekliğini ve hızını tespit etmeye çalışmışlardır. Duman tahliye verimliliğine, havalandırma yüksekliğinin tek başına etkisinin olmadığı ortaya konmuştur. Küçük havalandırma borusu ve yüksek duman tahliye hızlarında, havalandırma yüksekliğinin azalması ve duman tahliye hızının düşmesi ile duman tahliyesinin azaldığı bu çalışmayla ortaya konmuştur.

Son yıllarda gelişen yazılım teknolojileri ile yangın ve duman yayılımının simülasyonlarını yapabilen kodlar üzerine yapılan çalışmalar artmıştır. Bu yazılımlardan biri hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) mantığı ile simülasyon

yeteneğine sahip olan Fire Dynamics Simulator (FDS) ve elde edilen sonuç verilerini görselleştirebilen Smokeview olup bu yazılımlar yangın simülasyonları için sıklıkla kullanılmaktadır [3]. FDS yazılımı türbülansın gerçeğe en yakın şekilde modellenmesini sağlayan Large Eddy Simulation (LES) türbülans modelini kullanarak çözüm yaptığı için özellikle duman hareketlerini oldukça gerçekçi bir şekilde modellenebilmektedir [4]. Aynı zamanda deneysel şartlar aslına uygun bir modellenerek FDS yazılımı ile yapılan simülasyonların doğruluğu desteklenmiş ve güvenilirliği tespit edilmiştir [5, 6]. Hua ve diğ. 88 metre uzunluğunda bir kanalda yangından kaynaklı dumanın ve karbon monoksitin yayılımını FDS ile yaptıkları simülasyon çalışması ile karşılaştırmışlardır. Sonuçlar doğrultusunda, karbon monoksit konsantrasyonunun yerden yüksekliği ile doğrusal olarak artacağı ve ateşten uzak mesafelere doğru katlanarak azaldığı belirlenmiştir [6]. Bu durum ancak kat yüksekliğinin aynı kalması durumunda geçerlidir. Dumanın sirayet ettiği diğer oda yada kompartımanların kat yüksekliği değişirse duman yoğunluğu artmaktadır [7]. Olası bina yangınlarının ortaya çıkarabileceği zararlar ve alınması gereken önlemlerin tespiti mevcut her bir bina için deneysel çalışmaların yapılmasının mümkün olmaması nedeniyle oldukça zordur. Bu nedenle bilgisayar simülasyonları yardımıyla olası bir yangın senaryosunu modelleyerek yangının gelişimini ve ilerlemesini incelemek, havalandırma sisteminin ve bina tasarımının etkisiyle farklı davranışlar gösterebilecek duman hareketleri gibi öngörülmesi zor olan kaotik olaylar görselleştirilebilmektedir. 2003 yılında Tayvan'ın Taoyuan şehrinde bulunan 10 katlı, çok odalı biretkinlik ve eğlence salonu bulunan bir otelin 7. katında çıkan yangının gelişimini ve duman yayılımını incelemek amacıyla FDS yazılımı kullanılarak kundaklanmış bir yangın mahalli incelenmiştir. Bu çalışma ile , olay yerinde ısı, duman ve zehirli gazların durumu incelenerek yangın yeri inceleme çalışmalarına destek olunmuştur. Oteldeki yangının gözlemleri ile simülasyon çalışması karşılaştırılmış ve birbiriyle örtüşen neticeler elde edilmiştir [8]. Xu ve diğ. ise bir metro istasyonu ve bir ilköğretim binasında FDS ile yangın simülasyonu yaparak yangından kaçan insanlar için en uygun kaçış rotalarını belirlerken yangın anında yangın kapanlarının yerlerini tespit etmişler ve ayrıca itfaiyecilerin kurtarma çalışmalarını en verimli şekilde yapabilecekleri senaryoları geliştirmişlerdir [9]. Bina

yangınlarında mobilyalar, elektronik eşyalar veya elektrik tesisatlarının yanında otopark gibi yüksek oranda yanıcı malzemelerden oluşan araçlarında yanabileceğini göz önünde bulunduran Zhang ve diğ. büyük bir yeraltı otoparkında yangının yayılmasını ve dumanın hareketini FDS yazılımı kullanarak modelleyerek incelemişlerdir. Simülasyon sonuçları doğrultusunda emniyetli tahliye işlemi için 12 dakikalık süre önermişlerdir [10]. Zhang ve diğ. günlük yaşamda karayolu ulaşımının sıklıkla kullanılmasından dolayı insanlar için daha fazla otobüs gerekli olduğunu düşünerek FDS ile birkaç senaryo için otobüs yangınının sayısal simülasyon çalışmasını yapmışlardır. Kapıların açık ve kapalı olması durumlarına göre ısı yayılım oranının zamana bağlı değişimini incelemişlerdir [11].

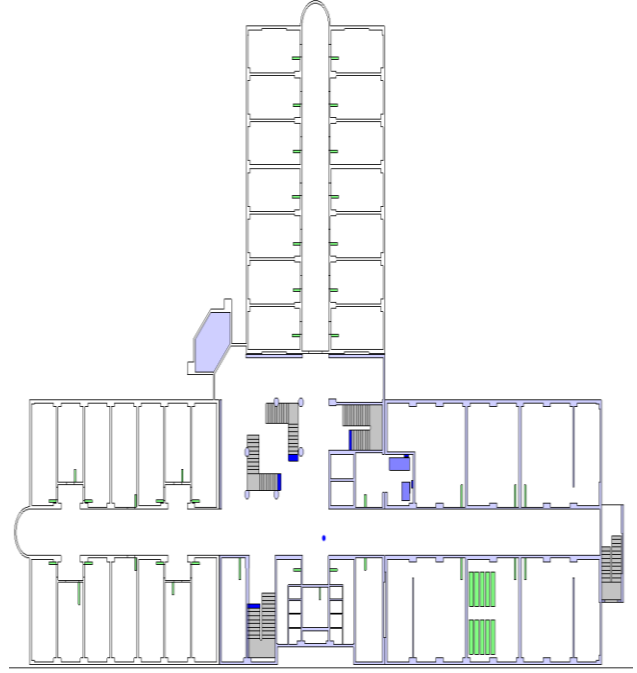
## 2. MODELLEME PARAMETRELERİ (MODELLING PARAMETERS)

Sakarya Üniversitesi M-7 binasının yangın modelinin oluşturulabilmesi için öncelikle binanın 3 boyutlu CAD modeli oluşturulmuştur. 3 boyutlu CAD modeli oluşturulduktan sonra HAD simülasyonunun yapılacağı ve M7 binasını içeren bir çözüm hacmi belirlenmiştir. Sınırları belirlenen hacim üzerine HAD simülasyonunu yapabilmek için gereken ağ yapısı oluşturulmuştur. Son adımda ise her bir senaryo için hazırlanan modellere aynı sınır koşulları ve malzeme tanımlamaları girildikten sonra simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.

### 2.1.3 Boyutlu CAD Modelin Hazırlanması (Preparing of the 3-D CAD Model)

CAD modelinin oluşturulması için SolidWorks ve PyroSim programlarından yararlanılmıştır. Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekanlığı tarafından hazırlanmış olan M7 binasının tüm katlarının ayrıntılı teknik resmi kullanılarak SolidWorks programı aracılığıyla 3 boyutlu model oluşturulmuştur. Şekil 1 de yangının çıktığı zemin katın 2 boyutlu görseli verilmiştir. Resimde mavi nokta ile belirtilen yerde dikey bir çizgi üzerinde ağ optimizasyonu için ölçümler alınmıştır. Binada toplam 18 adet

laboratuvar odası, 4 adet bilgisayar laboratuvarı, 69 adet ofis odası, 24 adet sınıf, 12 adet WC bulunmaktadır. 98 adet akademik personel ve 10 adet idari personel binada hizmet vermektedir. Sınıfların dolulukları derslere göre sürekli farklılık göstermekte olduğundan bina içerisinde öğrenci sayıları sürekli değişmektedir. Öğrenci sayısı bir gün içerisinde 250 ile 750 arasında değişiklik gösterebilmektedir.



Şekil 1. M7 Binasında zemin katın 2 boyutlu görseli (2 dimensional model of basement of the M7 building)

Elde edilen taslak model 4 farklı senaryo için tekrar düzenlenmiştir. Bu senaryolar şunlardır:

Senaryo 1: Pencerelerin çift kanatları açık

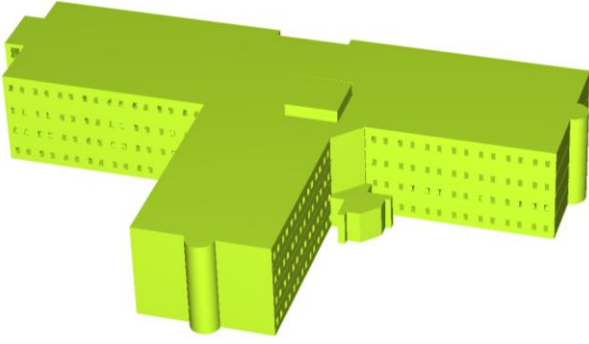
Senaryo 2: Pencerelerin tek kanatları açık

Senaryo 3: Sadece ışıklık penceresi (fiilen mevcut değil fakat senaryo gereği modele eklendi) açık

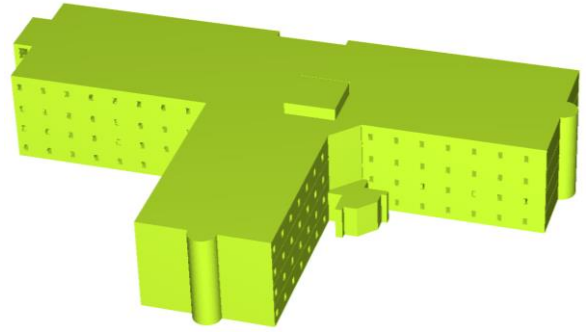
Senaryo 4: Tüm pencereler kapalı

Senaryo 5: Işıklık penceresine duman tahliye fanı eklenmesi (fiilen mevcut değil fakat senaryo gereği modele eklendi)

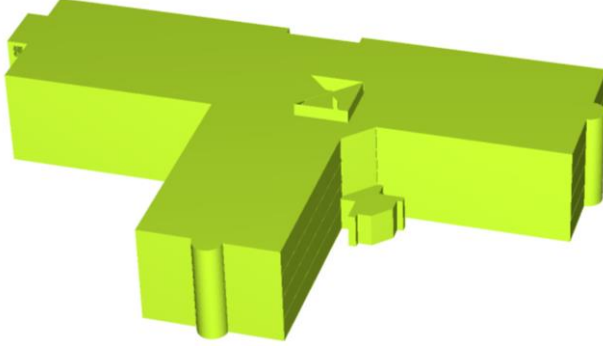
Senaryo 1



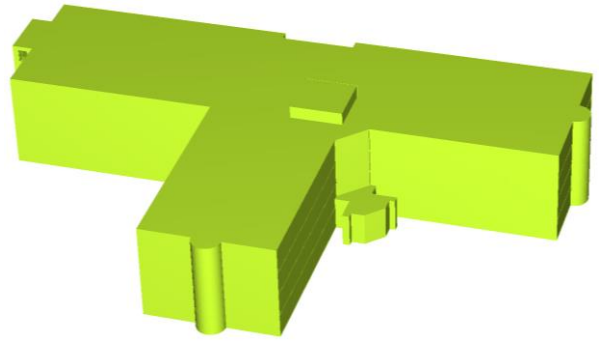
Senaryo 2



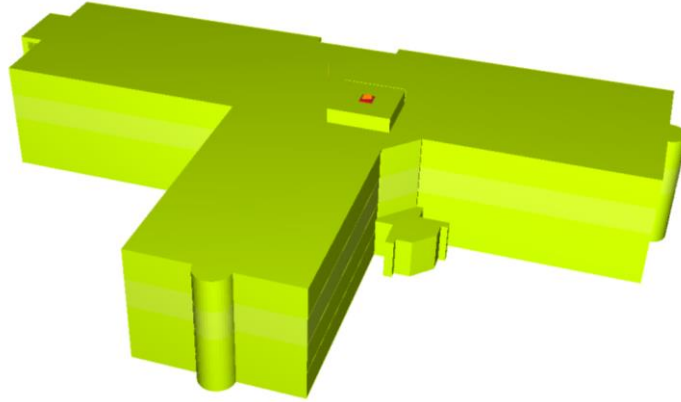
Senaryo 3



Senaryo 4



Senaryo 5

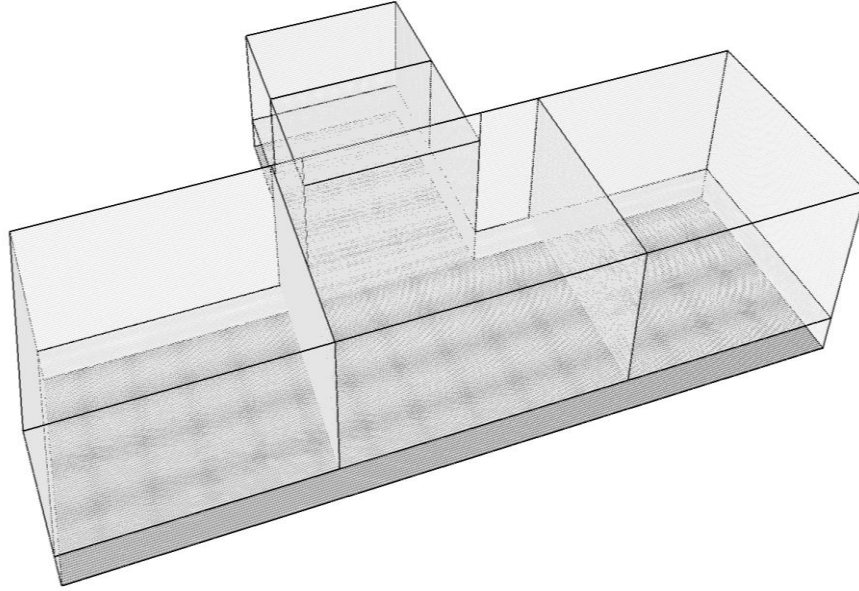


Şekil 2. 5 farklı senaryo için hazırlanan CAD modelleri (CAD models for 5 different scenarios)

## 2.2. Ağ Yapısının Oluşturulması ve Simülasyon Parametreleri (Mesh Structure and Simulation Parameters)

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 CAD modellerin üzerine ve yangın analizi entegreli paralel çözümler yapılabilir. Bu sebeple tüm modeli bloklardan oluşan ağ yapılarına ayırmak çözüm sırasında paralel işlemcilerin çok daha verimli kullanılmasını sağlamış ve bu sayede toplam

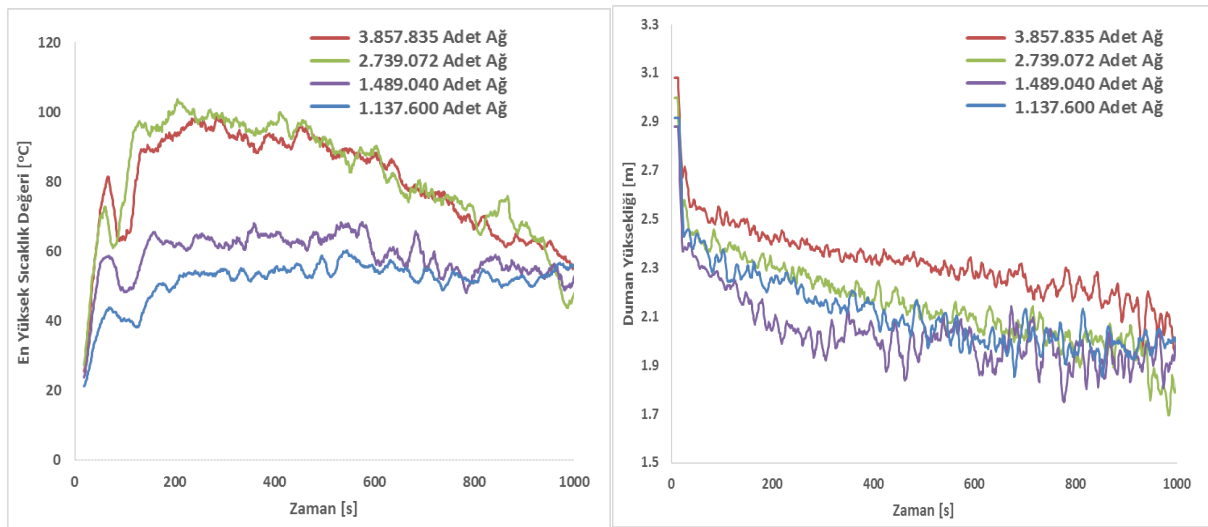
çözüm süresi kısaltılmıştır. Ayrıca binanın yapısı “T” biçiminde olduğu için çözüm yapılmasına gerek olmayan bölgeler silinerek bu hacimlerde ağ yapısı oluşturulmamıştır. Şekil 3’de modelin ağ yapısı verilmiştir ve ağ yapısı oluşturulan hacimlerin dış sınırları siyah çizgiler ile belirtilmiştir. HAD yazılımında akış çözümü LES türbülans modeli ile yapıldığı için yazılım otomatik olarak akış hacmini katı modelden ayırarak bu hacme düzenli (dörtgenel) ağ yapısı oluşturmaktadır. Yazılımın dörtgenel ağ yapısını kullanmasının temel nedeni türbülans modelinin LES olarak uygulanması ve LES türbülans modelinin düzenli ve oldukça yoğun ağ yapısına ihtiyaç duymasıdır. Bu denklemlerle modeldeki kıvrımlı yüzeyler ağ yapısının büyüklüğüne göre dörtgenlere bölünmektedir.



Şekil 3. Oluşturulan ağ yapısı ve dış sınırları (Mesh structure and peripheries )

Yapılan çalışmada modelde farklı yoğunlukta ağ yapıları kullanarak optimum değerde ağ yapısı elde edilmeye çalışılmıştır. Bu sayede model ağ yapısının çözüme etkilerinden bağımsız hale getirilmiştir. Tümü eş dörtgen prizmalardan oluşturulan ağ yapıları için kenarının uzunluğu 0,35 x 0,32 x 0,324 [m] için 1.137.600 adet ağ, 0,3 x 0,3 x 0,32 [m] için 1.489.040 adet ağ, 0,25 x 0,25 x 0,25 [m] için 2.739.072 adet ağ ve 0,22 x 0,2214 x 0,22 [m] için 3.857.835 adet ağ olacak şekilde dört ağ yapısı kullanılarak simülasyonlar yapılmıştır. Her bir farklı ağ yoğunluğu için model üzerinde yangının çıktığı sunucu odasının

bulduğu koridorun binanın içerisinden başladığı noktadan zemin katın tavanına kadar yerleştirilen, Şekil 1 üzerinde belirtilen, çizgisel bir sensör üzerinden alınan duman yüksekliği ve en yüksek sıcaklık verileri Şekil 4’de görülebilmektedir. Şekil 4’de görülebileceği gibi 2.739.072 ve 3.857.835 adet ağa sahip modellerin sonuçları arasında göz ardı edilebilecek kadar az farklılıklar bulunmaktadır. Bu sebeple tüm simülasyonlar 0,25 x 0,25 x 0,25 [m] ölçülerinde eş dörtgen prizmalardan oluşan 2.739.072 adet ağa sahip hacimsel yapı kullanılarak yapılmıştır.

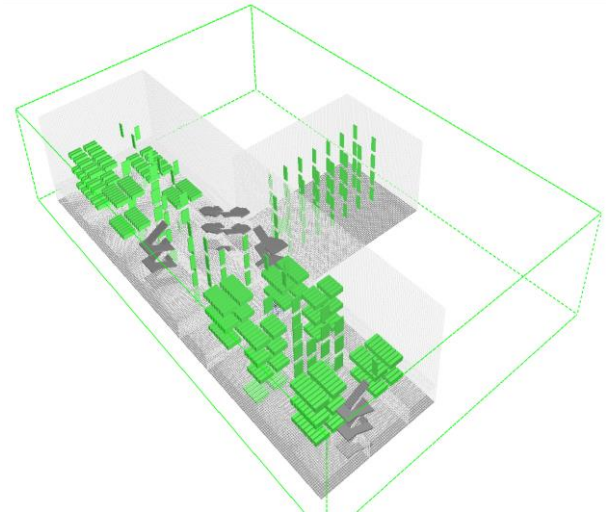
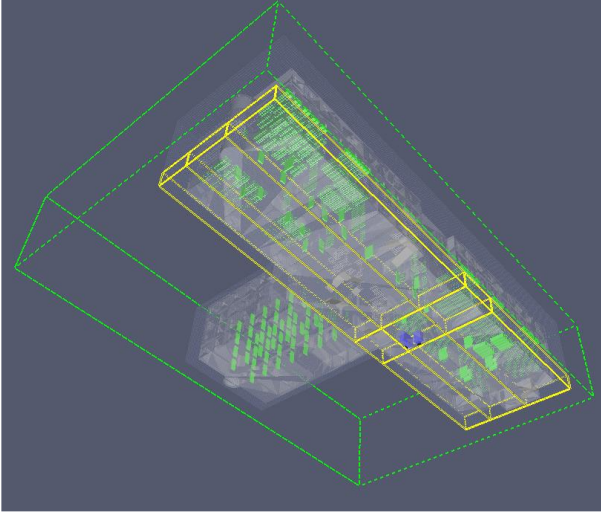


Şekil 4. Farklı ağ sayıları için zemin kattaki çizgisel sensör üzerinden alınan en yüksek sıcaklık ve duman yüksekliği değerleri (Maximum temperature and smoke layer height values from a linear sensor in the basement for different mesh cell numbers)



Şekil 5’de sıraların, masaların, kapıların ve zemin kattaki ana şalter ve sunucu kabinlerinin (mavi renkte) modele eklendiği binanın tam modelinin farklı açılardaki görüntüleri verilmiştir. Ağ yapısı

oluşturulurken belirtilen katı fazdaki hacimler ve duvarların kapladığı alanlar ağ yapısı hacminden çıkartılarak HAD çözümüne hazır hale getirilmiştir.

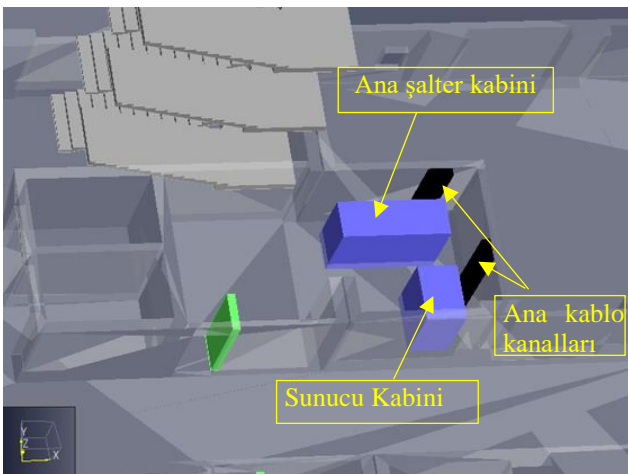


Şekil 5. Ağ yapısı oluşturulmuş binanın tam modeli (Entire model of the building with mesh structure)

### 2.3. Simülasyon Parametreleri (Simulation Parameters)

Ana şalter ve sunucu kabinleri ve ana kablo kanalları zemin katta yer alan Şekil 6’da görülen odada bulunduğu şekilde ve gerçek boyutlarında çizilerek modele eklenmiştir. Yangının ana şalterden çıkabileceği ihtimalinin daha yüksek olması nedeniyle yangının başlangıç yeri de yine ana şalterler kabininin üst bölgesi olarak tanımlanmıştır.

M-7 binasının duvarları modelde beton malzeme olarak tanımlanmıştır. Model üzerinde sınıflara yerleştirilen sıralara, masalara ve her odanın girişindeki kapılara ise sunta malzeme atanmıştır. Sunucu odasında yer alan elektrik panoları için PVC kablo malzemesi tanımlanmıştır. Tanımlanan malzemelerin yoğunluk, özgül ısı, iletkenlik ve ışınım yayma faktörü değerleri Tablo 1’de görülmektedir.



Şekil 6. Sunucu odasında ana şalter, sunucu kabinleri ve ana kablo kanallarının konumları (Master switch, server cabin and main cable locations in the server room)

Zamana bağlı olarak simülasyonun yapılacağı çalışmada kurgulanan yangın için model 1000 saniye 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 [13]. Modelde kullanılan diğer simülasyon parametreleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Ortam parametreleri (Environment Parameters)

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>

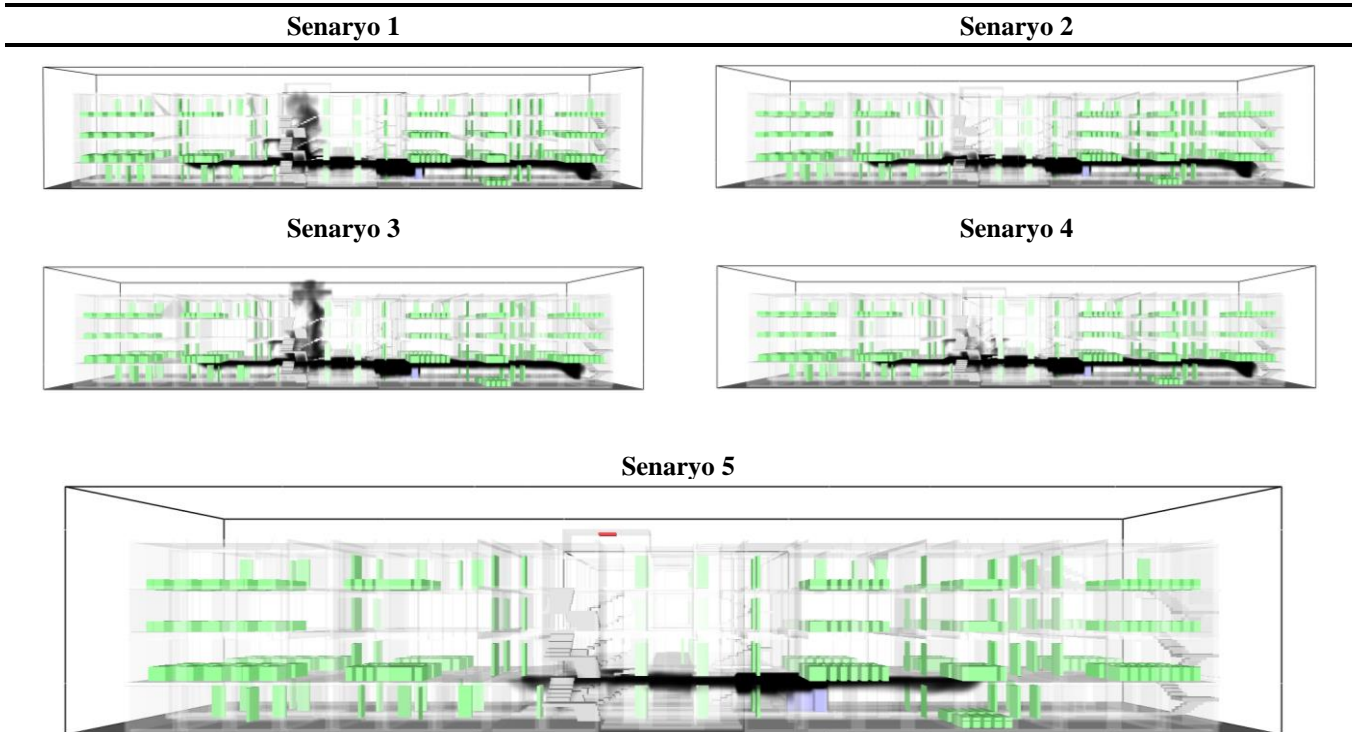
### 3. SİMULASYON SONUÇLARI (SIMULATION RESULTS)

Her bir senaryo için 1000 saniye boyunca çalıştırılan simülasyonlar sonucunda bina içerisindeki duman dağılımı ve hava hızlarının zaman bağlı değişimlerinin 100, 300, 500, 700 ve 1000 saniye sonraki durumları görsel olarak elde edilmiştir. Ayrıca bina içerisindeki ortalama ısı yayılım oranı da yine zamana bağlı olarak bir grafik ile verilmiştir.

#### 3.1. Farklı Senaryolar İçin Bina İçerisindeki Duman Dağılımının İncelenmesi (Investigation of Plume Dispersal in the Building for Different Scenarios)

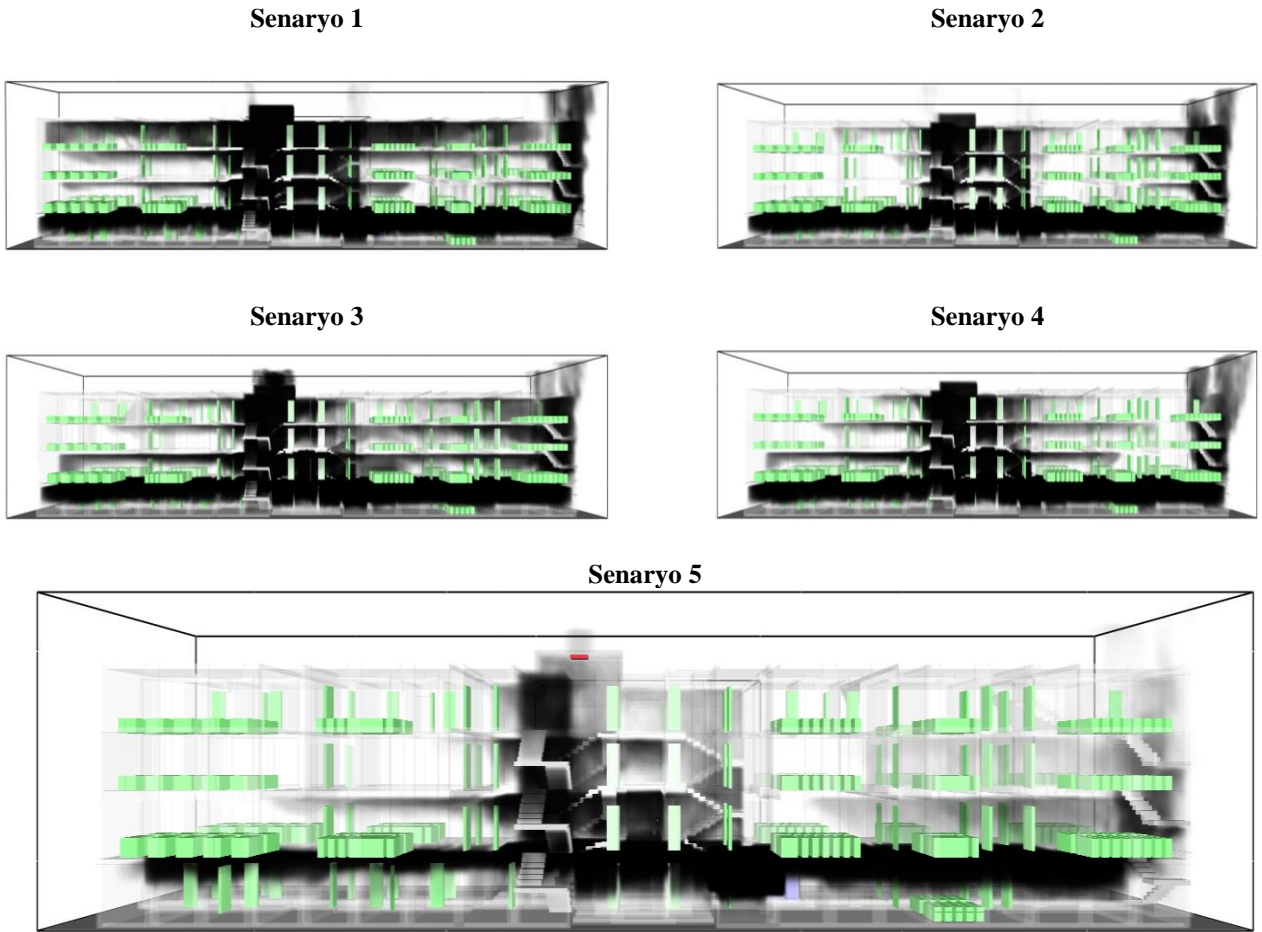
Yapılan simülasyonlar sonucunda elde edilen verilere göre M7 binasındaki sunucu odasında çıkacak yangın neticesinde bina içerisinde dumanın yangın başlangıcından 100 saniye sonraki durumu Şekil 7’de görülmektedir. Buna göre senaryo 1,3 ve 4’de duman yukarı yönde

bulabildiği ilk boşluklardan ilerleyerek binanın son katındaki ışıklık penceresine ilerlemeye başlamıştır. Aynı zamanda zemin katta simülasyon boyunca açık olduğu varsayılan acil çıkış kapısına doğru ilerlediği de gözlemlenmektedir. Senaryo 5’e eklenen duman detektörüne 44. saniyede duman ulaşmaktadır ve böylece detektörün gönderdiği sinyal ile fan aktif hale gelmiştir. 44. Saniyeden sonra fan sürekli olarak çalışmış ve saniyede 18 m<sup>3</sup> havayı binadan dışarı tahliye etmiştir. 100. saniyede fanın kullanıldığı senaryoda dumanın diğerlerine göre daha az ilerlediği görülmektedir. Bu durumun fanın bina içerisinden dış ortama sürekli hava pompalayarak hava sirkülasyonunu arttırdığı ve koyu duman oluşumu azalttığı görülmüştür. Yangının çıktığı ana şalter odasının dış ortamla tek bağlantısı giriş kapsıdır ve içeride herhangi bir havalandırma sistemi mevcut değildir, bu sebeple fanın çalışması ile ana şalter odasında oluşan vakum etkisinin yangını besleyecek taze havanın oda içerisine girmesini bir miktar engellediği de gözlenmiştir. Çatı bölgesine açılan pencerenin baca etkisi gördüğü ve bu senaryoda dumanın çatıya diğerlerine göre daha hızlı ulaştığı açıktır. Tüm pencerelerin kapalı olduğu senaryoda ise bina içi hava hızının düşük olmasından dolayı duman tabakasının daha yavaş ilerlediği simülasyon sonuçlarından anlaşılmıştır.



Şekil 7. 100’üncü saniyedeki dumanın bina içerisindeki dağılımı (Plume dispersal in the building after 100 s)

Şekil 8’de 300’üncü saniye için fanlı modelin dışında tüm senaryolarda zemin katlarda dumanın yoğun bir şekilde yayıldığı görülmektedir. Bu durumda zemin kattan yangın merdivenlerine ulaşmanın mümkün olmayacağı anlaşılmaktadır. En yoğun ve hızlı duman yayılımı tüm pencerelerin açık olduğu senaryoda oluşurken en az dağılım fanın çalıştığı senaryo 5’de ortaya çıktığı görülmektedir. Beklenmedik bir şekilde pencerelerin tek kanatlarının açık olduğu durumda dumanın en az dağıldığı ikinci senaryo olmuştur ki bu durumun tüm pencerelerin kapalı olduğu senaryo 4’de ortaya çıkması daha olasıdır. Üst havalandırma penceresinin kullanıldığı senaryo 3’ün ise dumanın en hızlı yayıldığı ikinci durum olduğu ortaya çıkmıştır. Böylece M7 binası için ışıklık bölgesine pencere açmanın duman tahliyesine olumlu bir etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 8. 300 saniye sonra dumanın bina içerisindeki dağılımı (Plume dispersal in the building after 300 s.

Şekil 9’da 500’üncü saniye için tüm senaryolarda zemin katlarda dumanın tamamen yayıldığı görülmektedir. Tüm pencerelerin açık olduğu senaryo 1 ve fanın çalıştırıldığı senaryo 5 dışında

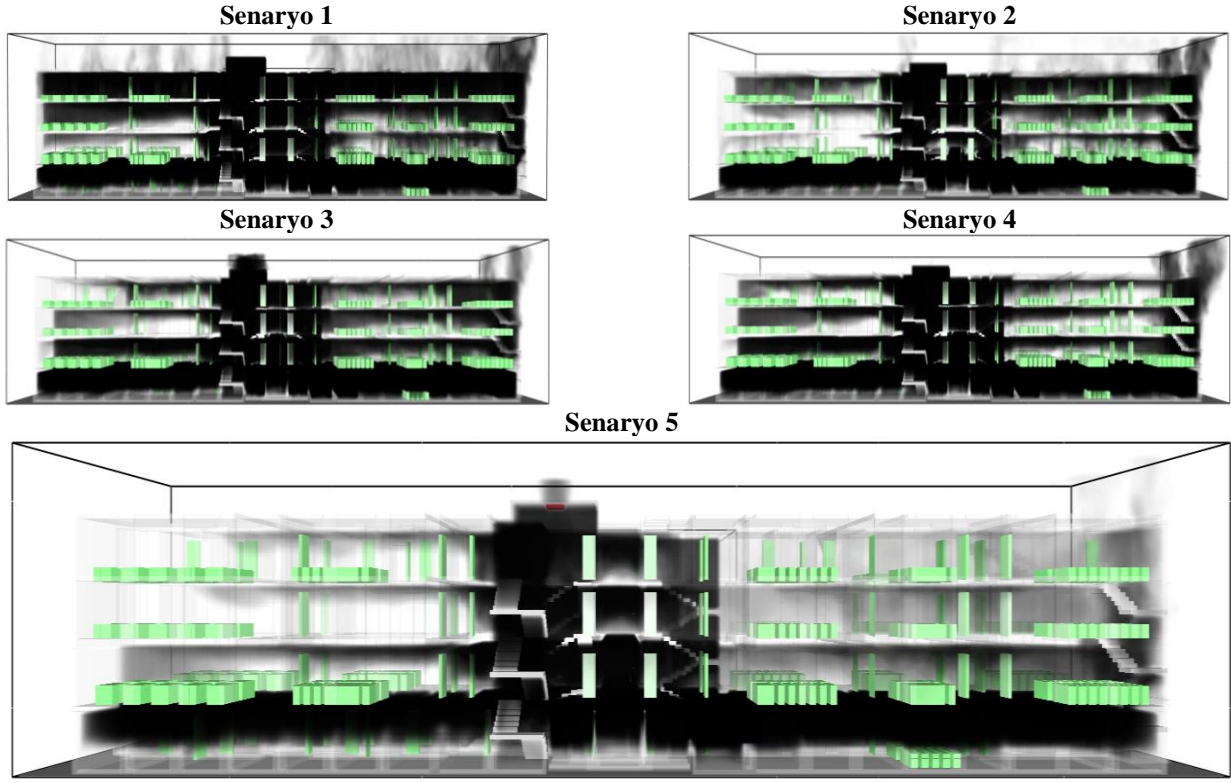
kalan durumlardaki duman dağılımlarının benzerlik gösterdiği sadece pencerelerin yarı açık olduğu durum için en üst katta daha fazla duman yoğunluğu olduğu görülmektedir. Senaryo 1 de 1. Kat dışında tüm katlarda dumanın oldukça yoğun



olduğu görülürken fanın çalıştırıldığı senaryoda zemin kat dışındaki tüm katlarda dumanın ince bir sis tabakası halinde bulunduğu ve bu dumanında fanın vakum etkisiyle acil durum kaçış kapılarından içeri girdiği anlaşılmaktadır.

Simülasyonlarda acil durum kapıları sürekli açık tutulmuştur fakat 500 saniyeye kadar bina

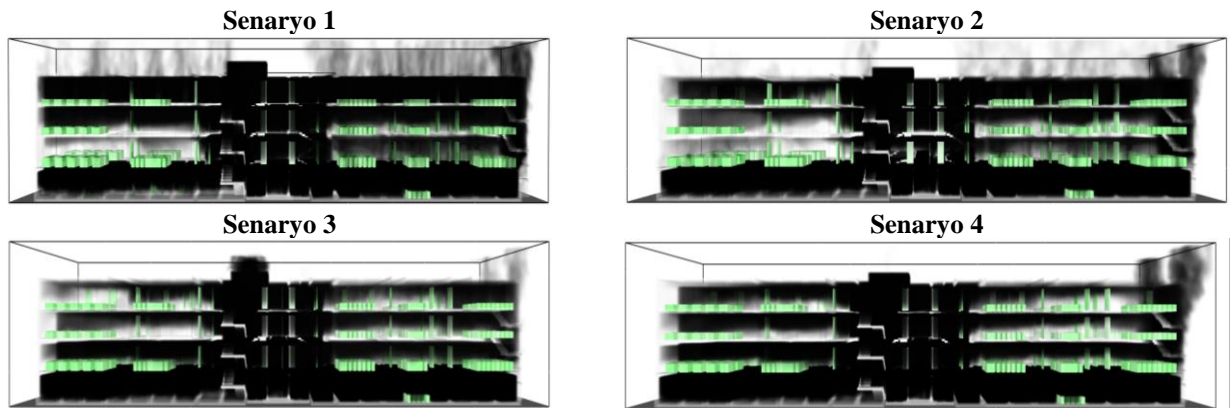
boşaltılmış olsaydı kapılarda otomatik kapatma sistemi olduğundan kapalı konuma geçecek ve böylece yangın merdivenindeki duman bina içerisine tekrar geri giremeyeceğinden yangın merdiveninde duman bulunmayacağı görülmüştür.



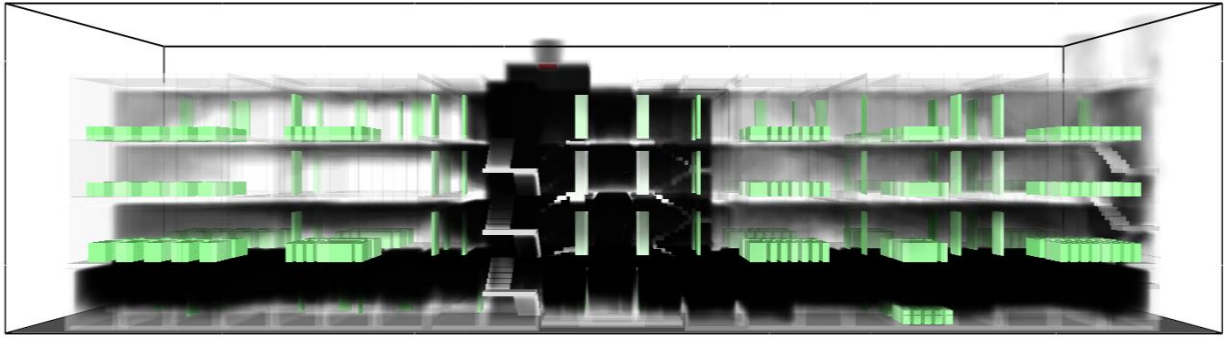
Şekil 9. 500 saniye sonra dumanın bina içerisindeki Dağılımı (Plume dispersal in the building after 500 s.)

Şekil 10'da 700'üncü saniyede fanın çalıştırıldığı senaryo dışındaki tüm senaryolarda dumanın tüm katlarda oldukça yoğunlaştığı görülmektedir. Fanlı senaryoda birinci kat dışında hala diğer katlarda

binadan kaçışa ve yangına daha hızlı müdahale etmeye imkân verebilecek şekilde duman yoğunluğunun az olduğu görülmektedir.



### Senaryo 5

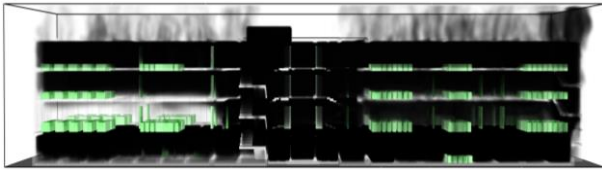


Şekil 10. 700 saniye sonra dumanın bina içerisindeki dağılımı (Plume dispersal in the building after 700 s.)

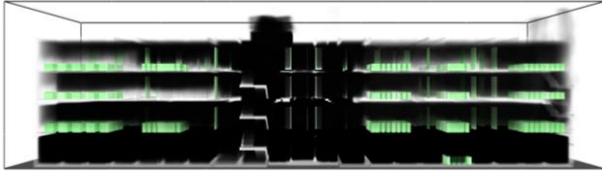
Şekil 11’da yangın başlangıcından 1000 saniye sonra bina içerisindeki duman dağılımının son hali görülmektedir. Bu süre sonunda en yoğun duman birikiminin tüm pencerelerin kapalı olduğu durum

için olduğu bunun yanında en az duman birikiminin fanın çalıştırıldığı senaryoda ortaya çıktığı görülmektedir.

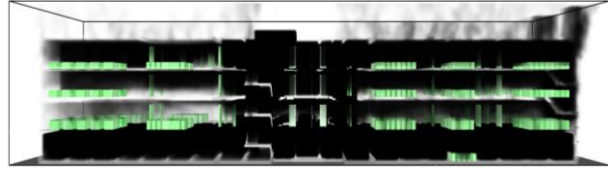
### Senaryo 1



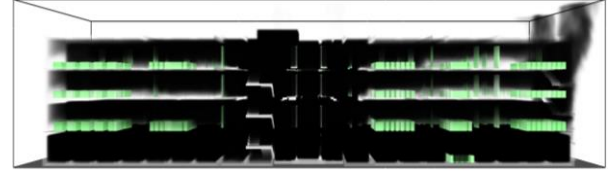
### Senaryo 3



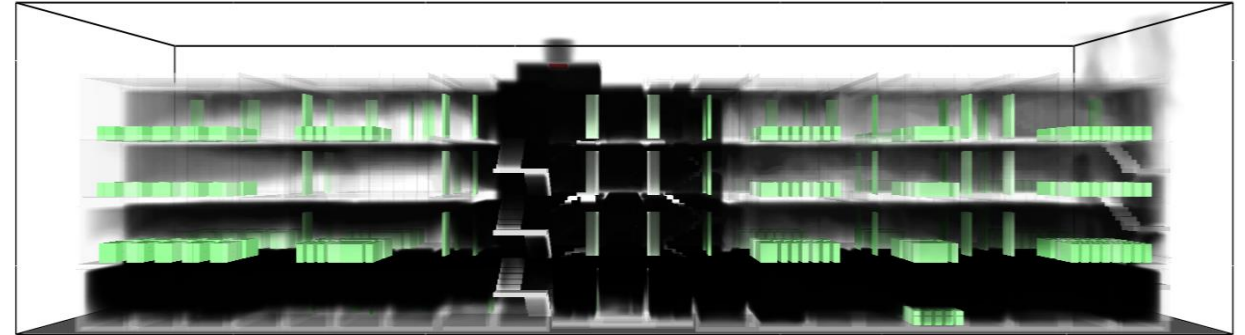
### Senaryo 2



### Senaryo 4



### Senaryo 5

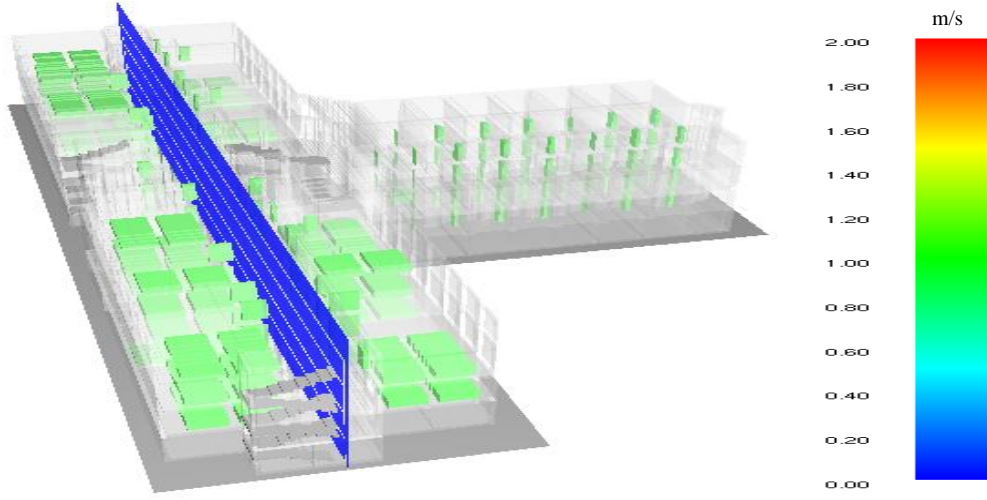


Şekil 11. 1000 saniye sonra dumanın bina içerisindeki dağılımı (Plume dispersal in the building after 1000 s.)

### 3.2. farklı Senaryolar İçin Bina İçerisindeki Gazların Akış Hızının İncelenmesi (Investigating Of Gas Flow Velocities In The Building For Different Scenarios)

Beş senaryo için yangının başlangıcından itibaren bina içerisindeki gazların akış hızlarının dağılımı binayı dik kesen 2 boyutlu bir yüzey üzerinden alınan kesit görüntüsü ile verilmiştir. Şekil 12’de

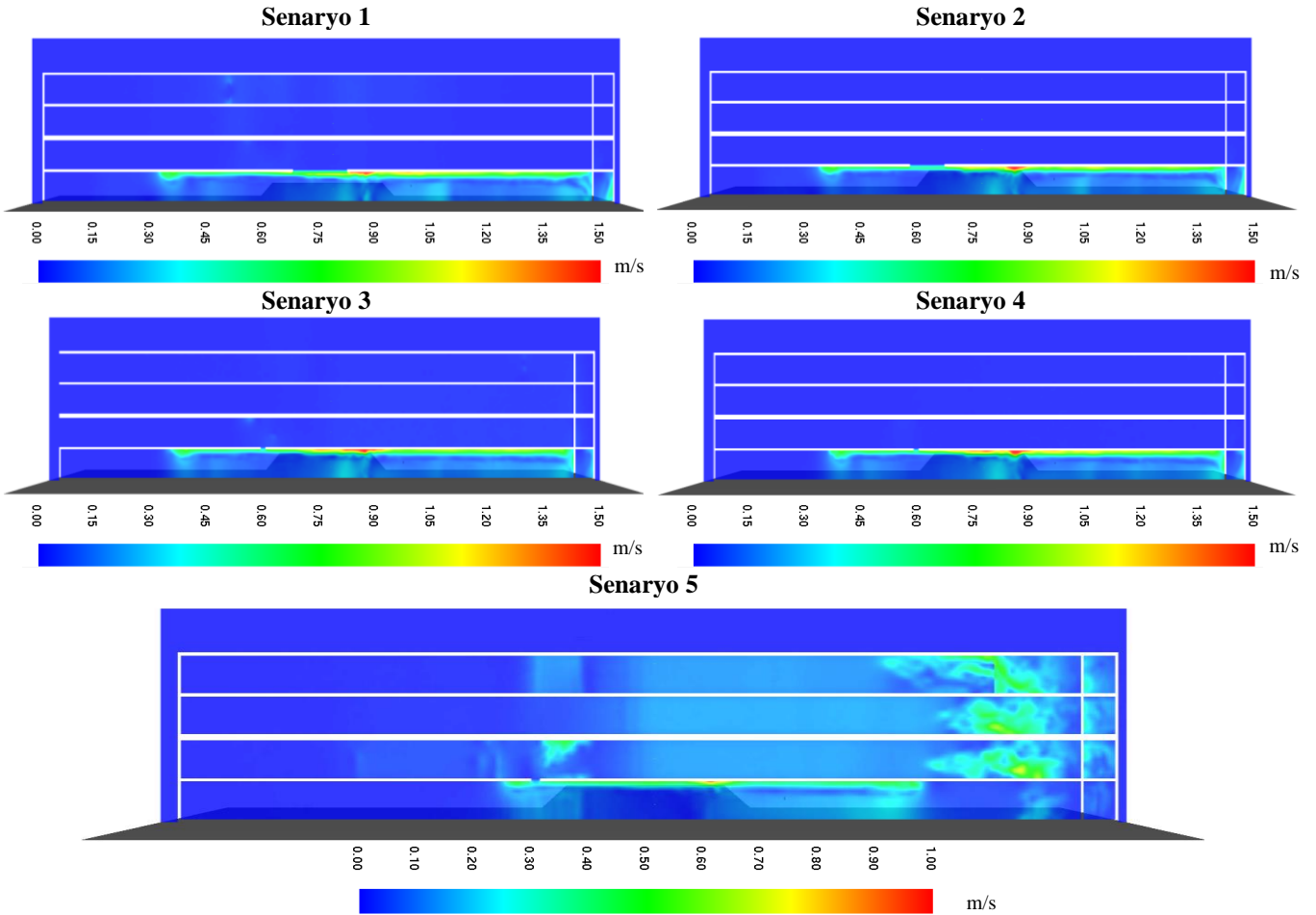
görüldüğü üzere yangının çıktığı odanın bağlandığı koridor üzerinden alınan kesit görünümü ayrıca yangın merdivenini de kapsamaktadır. Belirtilen kesitteki gazların hareketlerinin yangının ve dumanın bina içerisinde dağılımının irdelenmesi açısından önemli olduğu düşünülmektedir. Bina içerisindeki gazların akış hızı verileri simülasyonda tanımlandığı şekliyle havayı oluşturan  $O_2$  ve  $N_2$ ’nin yanında dumanın hızını da temsil etmektedir.



Şekil 12. Bina içerisi gazların akış hızı dağılımının alındığı kesit görüntüsü (Sectional view of where gas flow distribution obtained in the building )

Şekil 13’de 100’üncü saniye için gazların hızının zemin katlarda ve zemin katların tavanlarında artmaya başladığı, üst katlarda ise fanın çalıştırıldığı senaryo 5 dışında hava hareketlerinin çok daha düşük hızlarda olduğu görülmektedir. Senaryo 5’de fanın çalışmasıyla birlikte yangın merdivenlerine çıkan kapılardan bina içerisine hava girişinin olduğu hava hızlarından anlaşılmaktadır.

Fanlı senaryoda yangının çıktığı sunucu odasında vakum etkisinin olduğu düşünülmekte ve bu yüzden oda içerisindeki yetersiz havanın etkisiyle daha az dumanın oluştuğu varsayılmaktadır. Bu sebeple 2 boyutlu kesitin alındığı alandaki dumanın hızının 1 m/sn’yi geçmediği anlaşılmaktadır. Diğer senaryolarda ise duman hızı ise 1.5 m/sn olduğu simülasyon sonuçlarından anlaşılmaktadır.

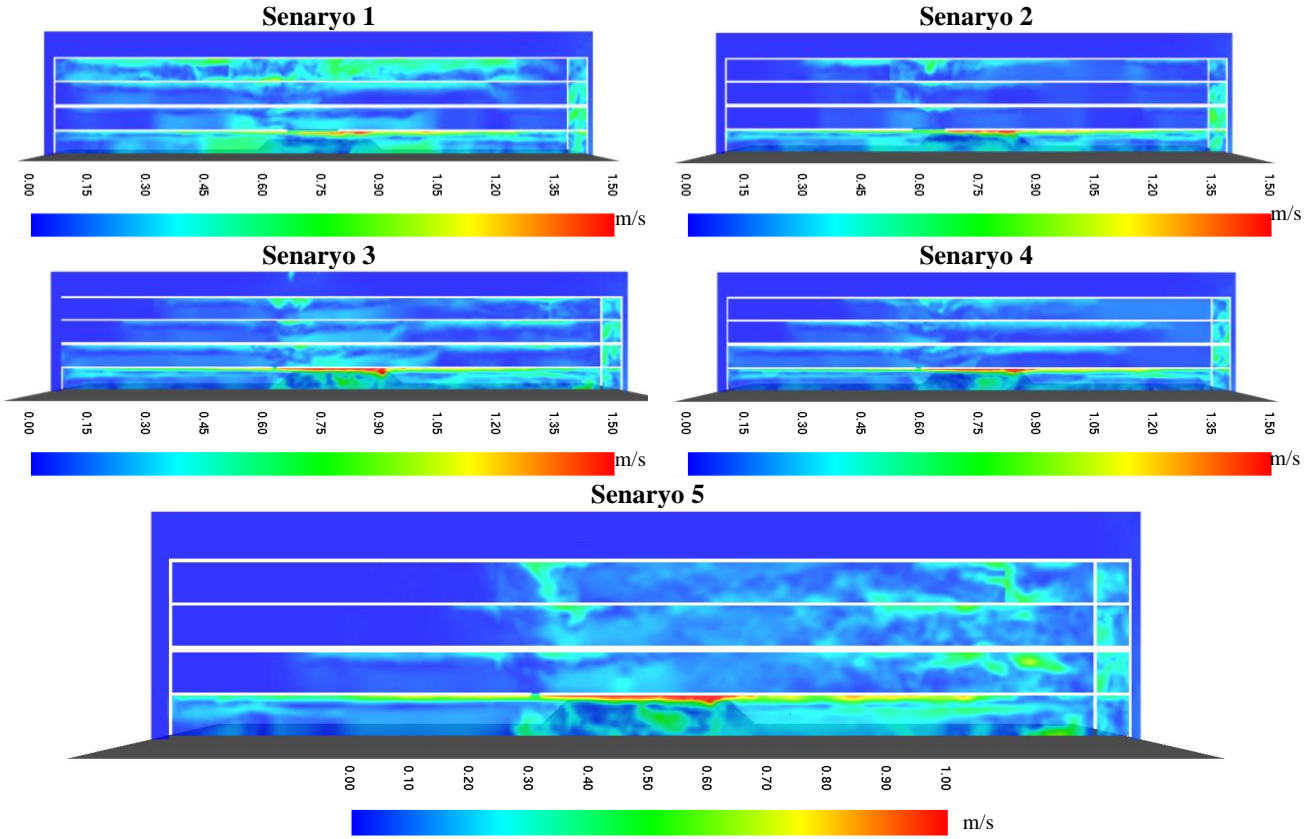


Şekil 13. 100 saniye sonra bina içerisindeki gazların akış hızı dağılımı (Gas flow distribution in the building after 100 s.)



Şekil 14'de 300'üncü saniye için gazların hızlarının tüm katlarda belirgin oranda artış gösterdiği anlaşılmaktadır. En düşük hava hızı dağılımının ise pencerelerin tek kanatlarının açık olduğu durumda ortaya çıktığı anlaşılmaktadır.

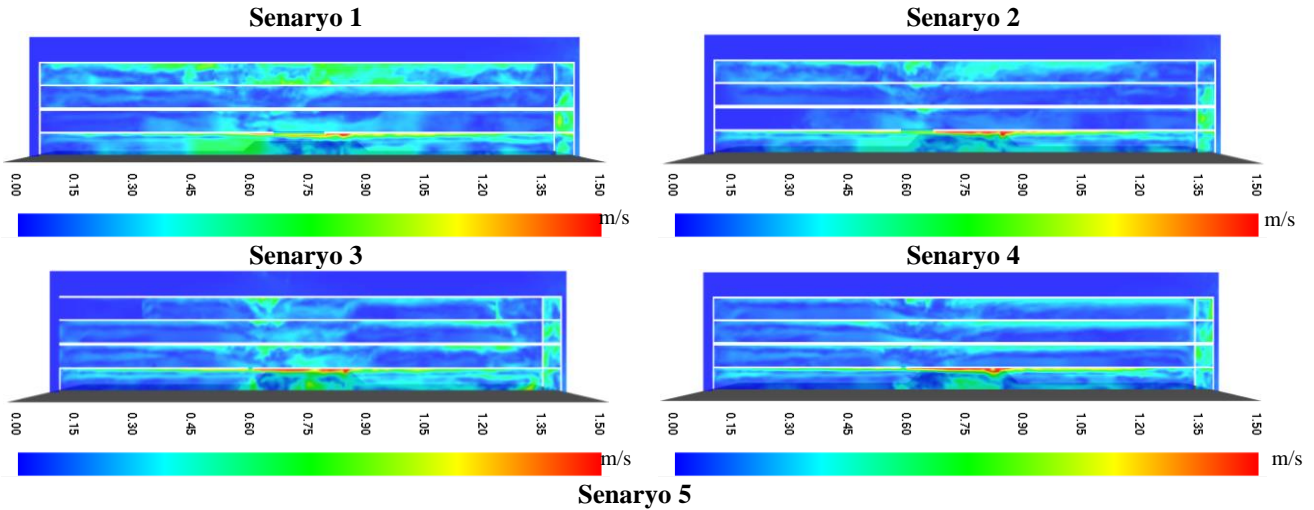
Fanlı senaryoda yangın merdiveni çıkış kapıları ile fan arasında kalan alanda hava hızının belirgin şekilde fazla olduğu görülmektedir.



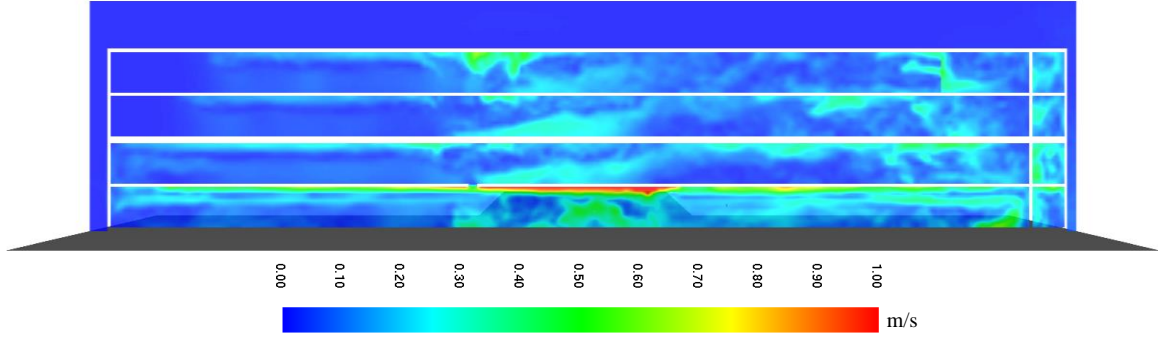
Şekil 14. 300 saniye sonra bina içerisindeki gazların akış hızı dağılımı (Gas flow distribution in the building after 300 s.)

Şekil 15'de 500'üncü saniye için verilen bina içi hız dağılımlarından anlaşılacağı üzere duman tüm katlara yayıldıkça binada içi hava hızları

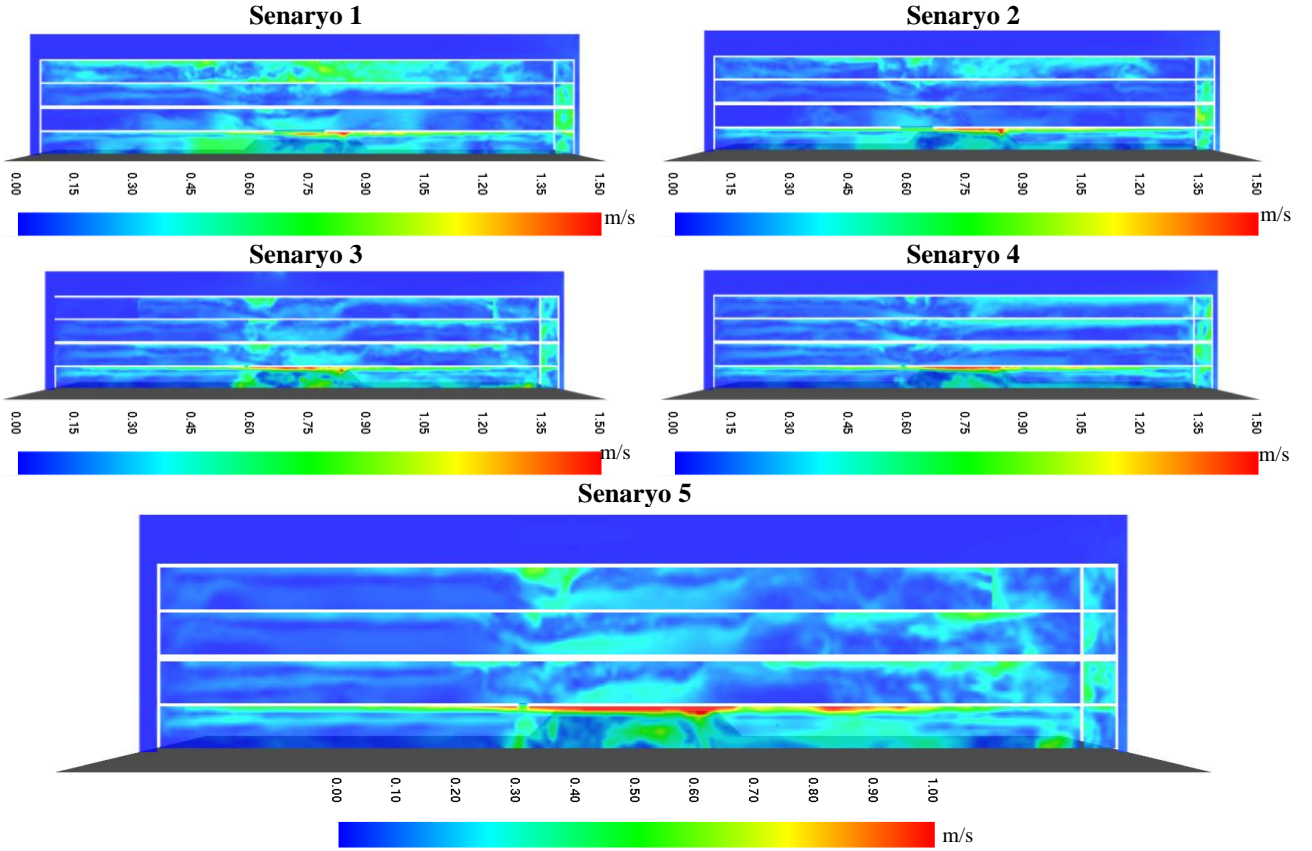
artmaktadır. Pencerelerin tam açık olduğu durumda en üst katta hava hızlarının diğer katlara göre daha hızlı olduğu dikkat çekmektedir.







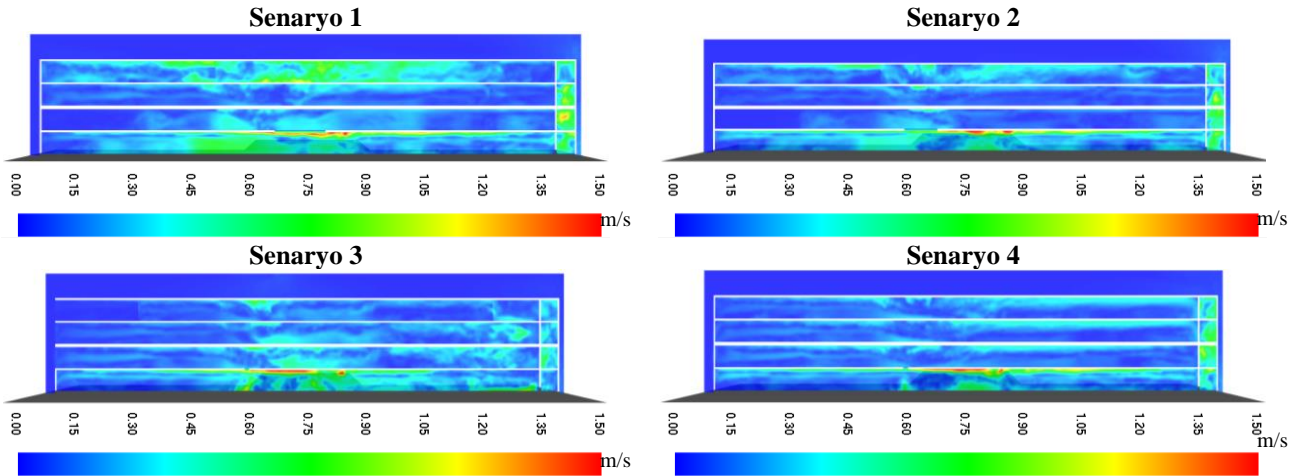
Şekil 15. 500 saniye sonra bina içerisindeki gazların akış hızı dağılımı (Gas flow distribution in the building after 500 s.)



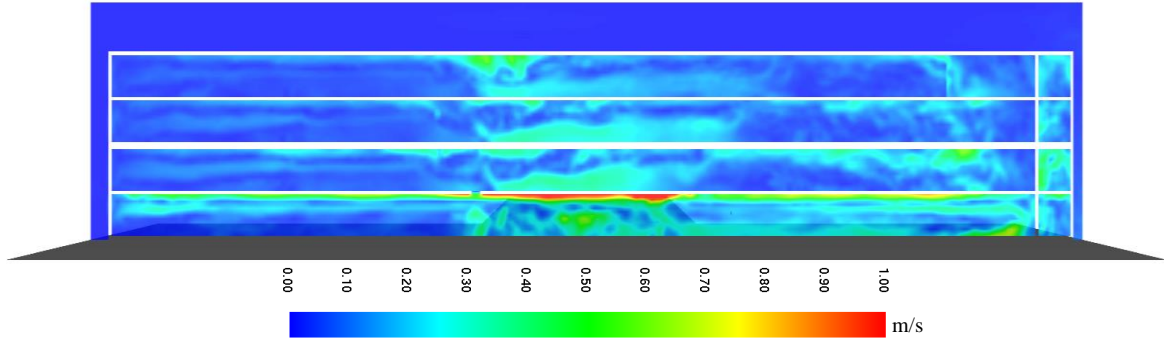
Şekil 16. 700 saniye sonra bina içerisindeki gazların akış hızı dağılımı (Gas flow distribution in the building after 700 s.)

Şekil 16' de 700'üncü saniye için pencerelerin yarı ve tam açık olduğu durumlarda zemin ve en üst katlarda ortalama gaz hızlarının yaklaşık olarak

1,5 m/sn'ye yükseldiği görülmektedir. Diğer durumlarda ise sadece yangının çıktığı bölgede yüksek hızlı gaz akışı olduğu anlaşılmaktadır.



### Senaryo 5

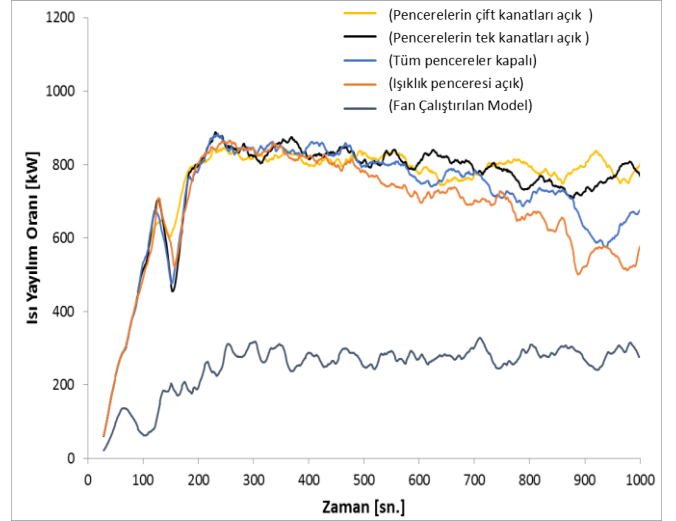


Şekil 17. 1000 saniye sonra bina içerisindeki gazların akış hızı dağılımı (Gas flow distribution in the building after 1000 s.)

Şekil 17’de yangının 1000. saniyesinde bina içerisindeki gaz hızlarının son hali görülmektedir. Tüm senaryolar için hız dağılımları bina içi hava akışının durumuna göre şekillenmiştir. Bu bölgelerde duman hareketlerinin yoğun olduğu ve yangına müdahale aşamasında hava hızlarının düşük olduğu yerlerden ilerlemeni çok daha etkin ve hızlı müdahaleye imkân vereceği düşünülmektedir.

### 3.3. Farklı Senaryolar İçin Isı Yayılım Oranı Grafikleri (Heat Release Rate Graphic for Different Scenarios)

Şekil 18’de dört farklı senaryo için zamana bağlı olarak ısı yayılım oranı değerleri verilmiştir. 850 kW enerji ile 60 saniye boyunca artarak başlaması planlanan yangının fan çalıştırılan model dışında oda içerisindeki tanımlanan malzemelerin tutuşma anına kadar (yaklaşık 120 saniye) hızla yükseldiği daha sonra bir miktar düşüp yanmaya başlayan malzemeler ile yaklaşık 900 kW kadar yükseldiği görülmektedir. Yangının oda dışında başka bir yere sıçramadığı ve 300. saniyeden sonra azalmaya başladığı anlaşılmaktadır. Fakat bu durumun fanlı çalışma için farklılık gösterdiği anlaşılmaktadır. Bunun nedeni ana şalter odasında yangının büyümeye fırsat bulamadığı, oda içerisindeki havanın vakum etkisiyle taze hava ile sirkülasyon fırsatı bulamadığı ve yangının bir miktar boğulduğu anlaşılmaktadır. Bu yüzden yangın ile oluşan ısı yayılımının en yüksek 350 kW değerine kadar ulaştığı ve 1000 saniye boyunca bu seviyelerde sabitlendiği anlaşılmaktadır. Simülasyon süresi daha uzun olsaydı ilerleyen saniyelerde yanan malzeme tükendikçe ısı yayılım oranının azalacağı beklenmektedir.



Şekil 18. Bina İçerisindeki Isı Yayılım Oranı Grafikleri (Heat Release Rate Graphics in the Building)

## 4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME (RESULT AND CONCLUSIONS)

Bu çalışmada bina pencerelerinin açık ve kapalı olması ve binada duman tahliye fanının çalıştırılması durumlarına göre tasarlanan beş farklı senaryo için yangın simülasyonları yapılmıştır. Yapılan simülasyonlar ile yangın dumanının bina içerisindeki dağılımı, gaz hızları ve ısı yayılım oranları farklı senaryolara göre elde edilerek sonuçlar incelenmiştir. Elde edilen verilere göre sonuçlar maddeler halinde sıralanırsa;

- Yapılan analiz sonuçları için, fiziki olarak mevcut olmayıp senaryo gereği eklenen duman tahliye fanının çalıştırıldığı simülasyonda bina içerisindeki dumanın dağılımı diğer senaryolara göre gözle görülür biçimde daha azdır. Elde edilen veriler ışığında binaya eklenecek ve yangın anında aktif hale getirilecek bir duman tahliye fanının ciddi miktarda duman tahliyesi sağlayabileceğini anlaşılmaktadır. Böylece duman zehirlenmesinden kaynaklanan olası can kayıpları ihtimalini diğer senaryolara göre daha aza indirmek anlamına

gelmektedir. Ayrıca yangına müdahale eden sorumlu personel ve itfaiye ekiplerine daha rahat müdahale imkânı da sağlanabilecektir.

- Pencerelerin çift kanatlarının açık olduğu durumlarda dumanın bina içerisine çok daha hızlı bir şekilde yayıldığı anlaşılmıştır.
- Yangın merdivenine giden koridor ekseninde bina içerisindeki gaz hızlarının pencerelerin tek kanatlarının açık ve tüm pencerelerin kapalı olduğu senaryolarda diğer senaryolara göre daha az olduğu görülmüştür.
- Yapılan analizler sonucu, çıkabilecek bir yangında en etkili duman tahliyesinin ışıklık bölgesine duman tahliye fanının çalıştırılması ile gerçekleştirilebileceği anlaşılmaktadır.
- Simülasyonlar sırasında yangın merdivenlerinde duman birikimi gözlemlenmiştir. Bina tahliyesi sırasında yangın merdivenlerinde yoğun bir dumanın olması istenmeyen bir durum olacaktır. Yangın merdivenlerinin yan duvarlarına ek havalandırma pencerelerinin açılmasıyla daha iyi bir havalandırma sağlanabilir veya havalandırma pencerelerini tamamen kapatıp yine bir fan yardımıyla merdiven boşluğuna ters basınçla yaparak dumanın merdiven alanına girmesinin önlenmesi sağlanabilir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] L. Fang, P. V. Nielsen, H. Brohus, "Investigation on smoke movement and smoke control for atrium in green and sustainable buildings", *Aalborg University, Department of Civil Engineering Technical Report No. 32*, 2007.
- [2] J. Jie, L. Kaiyuan, Z. Wei, H. Ran, "Experimental investigation on influence of smoke venting velocity and vent height on mechanical smoke exhaust efficiency", *Journal of Hazardous Materials*, Cilt 177, Sayı 1-3, pp. 209-215, 2010.
- [3] K. McGrattan, R McDermott, S. Hostikka, J. Floyd, "NIST Special Publication 1019 Fire Dynamics Simulator (Version 6.1.2) User's Guide", NIST, 2015.
- [4] W.K. Chow, "Application of Computational fluid dynamics in building services engineering", *Build. Environ.* Cilt 31, pp. 425-436, 1996)
- [5] G. W. Zou, W. K. Chow, "Evaluation of the Field Model, Fire Dynamics Simulator, for a Specific Experimental Scenario", *Journal of Fire Protection Engineering*, 15: 77, 2005.
- [6] L.H. Hua, N.K. Fong b, L.Z. Yang a, W.K. Chowb, Y.Z. Li a, R. Huoa, "Modeling fire-induced smoke spread and carbon monoxidetransportation in a long channel: Fire Dynamics Simulator comparisons with measured data", *Journal of Hazardous Materials*, cilt 140, pp. 293-298, 2007.
- [7] V.A. Oven, N. Cakici, "Modelling the evacuation of high-rise Office building in İstanbul", *Fire Safety Journal*, vol. 44, pp. 1-15, 2009.
- [8] T-S. Shen, Y-H. Huang, S.-W. Chien, "Using fire dynamic simulation (FDS) to reconstruct an arson fire scene", *Building and Environment*, vol. 43, pp. 1036-1045, 2008.
- [9] Z. Xu, X. Z. Lu, H. Guan, C. Chen, and A. Z. Ren, "A virtual reality based fire training simulator with smoke hazard assessment capacity," *Advances in Engineering Software*, vol. 68, pp. 1-8, 2014.
- [10] X.G. Zhanga, Y.C. Guoa, C.K. Chanb, W.Y. Lina, "Numerical simulations on fire spread and smoke movement in an underground car park", *Building and Environment*, cilt 42, pp. 3466-3475, 2007.
- [11] X. Zhang, X. Wang, Y. Zhou, "Numerical simulation study on bus fire", *International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering*, 2011.
- [12] <http://www.thunderheadeng.com/pyrosim/> (Erişim tarihi: 15.04.2017)
- [13] Seçilmiş Göstergelerle Sakarya 2013, Türkiye İstatistik Kurumu. Yayın No: 4218 ISSN: 1307-0894