



Evaluation of vertical interior voids in green building designs in the context of smoke extraction

Mehmet Akif Yıldız*^{ID}, Figen Beyhan^{ID}

Department of Architecture, Faculty of Architecture, Gazi University, 06570, Ankara, Türkiye

Highlights:

- Smoke extraction and temperature control strategies through green building vertical interior voids
- Evaluation of smoke extraction and temperature control in green buildings through simulation
- Examination of the appropriate design for evacuation with dimensional arrangement for vertical internal voids

Keywords:

- Green buildings
- Vertical interior voids,
- Smoke extraction,
- Performance-based approach,
- Simulation

Article Info:

Research Article

Received: 27.06.2022

Accepted: 10.08.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1136022

Correspondence:

Author: Mehmet Akif Yıldız
e-mail: mehmetakif.yildiz@gazi.edu.tr
phone: +90 505 683 0234

Graphical/Tabular Abstract

A prototype building was designed to study fire development and smoke propagation in green building vertical interior voids. The scenarios in the prototype building were modeled through the Pyrosim simulation program, which includes the computational fluid dynamics model FDS (Fire Dynamics Simulator) software. Smoke, temperature, and velocity analyzes are given in Table A by changing the width of the extraction void in the first 4 scenarios and the height of the extraction void in the last 4 scenarios.

Smoke (Scenario 1-4)	Temperature (Scenario 1-4)	Velocity (Scenario 1-4)	Smoke (Scenario 5-8)	Temperature (Scenario 5-8)	Velocity (Scenario 5-8)

Table A. Smoke, temperature, and velocity view for scenarios

Purpose: In this study, it is aimed to control smoke, flame, and temperature during fire through interior spaces in green buildings designed to use natural ventilation and natural lighting efficiently.

Theory and Methods: Physical model studies in the literature dealing with fire propagation risks in solar chimneys, double-shell facade cavities, and atriums were analyzed. Vertical extraction void and atrium were in the 3-storey prototype building, which was designed using these studies for smoke, flame, and temperature control. Different scenarios such as 50, 100, 150, and 200 cm were created by making use of the vertical extraction void widths in the double-skin facade works. The height of the extraction void was determined as 1050, 1400, and 1575 cm by utilizing the heights of the solar chimneys with the chimney effect working principle. Scenarios created in the prototype building were modeled through the Pyrosim simulation program, which includes computational fluid dynamics, and smoke, temperature, and velocity analyzes were studied.

Results: With the first 4 scenarios, the void height was fixed at the building floor height and the extraction void width was changed. As the width increases, it has seemed that smoke and flames are directed to the outer wall of the void, and as the width decreases, the time for smoke and flames to pass into the void is shortened. There was a smoke passage in the top floor room with a void width of 200 cm and the temperature in the room was 19.90 C. In the scenario with a void width of 50 cm, the smoke did not pass into the rooms and the highest temperature in the rooms was 17.70 °C. In the first 4 scenarios, the highest velocity in the discharge void reached 2.5 m/s. In scenarios with a cavity height of 1400 and 1575 cm, smoke, flame distribution, and temperature were observed at close levels. In the scenario with 50 cm void width and 1400 cm void height, the speed reached 3 m/s and the passage of smoke and flames to the atrium decreased compared to other scenarios.

Conclusion: Using the performance-based fire safety approach, a model has been developed for smoke the extraction void and temperature control through vertical interior voids in green buildings.



Yeşil bina tasarımlarındaki düşey iç boşlukların duman tahliyesi açısından değerlendirilmesi

Mehmet Akif Yıldız*^{ID}, Figen Beyhan^{ID}

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

Ö N E Ç I K A N L A R

- Bina düşey iç boşluklar yoluyla duman tahliyesi ve sıcaklık kontrolü stratejileri
- Yeşil binaların duman tahliyesi ve sıcaklık kontrolünün simülasyon yoluyla değerlendirilmesi
- Düşey iç boşluklar için boyutsal düzenleme ile tahliye için uygun tasarımın incelenmesi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 27.06.2022

Kabul: 10.08.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1136022

Anahtar Kelimeler:

Yeşil binalar,
düşey iç boşluklar,
duman tahliyesi,
performansa dayalı yaklaşım,
simülasyon

ÖZ

Bina kabuğu yoluyla doğal havalandırma ve doğal aydınlatmadan faydalanma bütün binalarda tercih edilmektedir. Yeşil binalarda ise doğrudan bina kabuğunun tercih edilmesine ek olarak bina içerisinde oluşturulan düşey boşluklar ile doğal hava ve gün ışığı kontrollü olarak mekânlara alınmaktadır. Ancak düşey iç boşlukların ve boşluğa bakan mekânlardaki havalandırma açıklıklarının düşey ve yatayda kesintisiz alanlar oluşturması yangın güvenliği tasarımı için risk oluşturmaktadır. Bu boşluklar bir yangın olayında duman ve alevlerin yayılımına neden olması sebebiyle yeşil binalarda yangın güvenliği tasarımı geleneksel ve mevzuatlardaki hükme dayalı yöntemlerle çelişmektedir. Yeşil binada gerçekleşecek yangında duman ve alevlerin düşey iç boşluklar yoluyla yayılması probleminin avantaja dönüştürülmesi amacıyla bu çalışmada düşey iç boşluk yoluyla duman ve alev tahliyesi için hükme dayalı düzenlemelere alternatif olarak performansa dayalı yaklaşım gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, duman seviyesi, sıcaklık değişimi ve iç hava hızlarının izlenmesi amacıyla hesaplamalı akışkanlar dinamiğini kullanan, simülasyona imkan veren ve FDS (Fire Dynamics Simulator) yazılımını içerisinde barındıran Pyrosim simülasyon programı kullanılmıştır. Literatürdeki fiziksel model çalışmalarından faydalanılarak tasarlanan prototip binadaki düşey iç boşlukta genişlik ve yükseklik değişkenlerinden oluşan senaryolar ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Analizler neticesinde iç boşluk genişliğinin azaltılması ve yüksekliğinin artırılması ile duman ve alevlerin tahliye hızının arttığı, kullanım alanlarındaki sıcaklık ve duman seviyesinin düştüğü tespit edilmiştir.

Evaluation of vertical interior voids in green building designs in the context of smoke extraction

H I G H L I G H T S

- Smoke extraction and temperature control strategies through green building vertical interior voids
- Evaluation of smoke extraction and temperature control in green buildings through simulation
- Examination of the appropriate design for evacuation with dimensional arrangement for vertical internal voids

Article Info

Research Article

Received: 27.06.2022

Accepted: 10.08.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1136022

Keywords:

Green buildings,
vertical interior voids,
smoke extraction,
performance-based approach,
simulation

ABSTRACT

The use of natural ventilation and natural lighting through the building envelope is preferred in all buildings. On the other hand, natural air and daylight are taken into the spaces with the vertical voids created in the green building. However, it is a risk for fire safety design that vertical interior voids and ventilation openings in the spaces adjacent to the voids create uninterrupted vertical and horizontal areas. These voids can cause the spread of smoke and flames in a fire event. To prevent the spread of smoke and flames through vertical interior voids in a fire event, in this study a performance-based design was developed for smoke and flame evacuation through vertical interior voids. Pyrosim simulation program was used to monitor smoke level, temperature change, and indoor air velocity. Pyrosim is a program that uses computational fluid dynamics, allows simulation, and includes FDS (Fire Dynamics Simulator) software. Temperature, smoke, and flame level analyses were made with scenarios created by changing the width and height of the vertical interior void in the prototype building, which was designed using the physical model studies in the literature. It was determined that the evacuation speed of smoke and flames increased, and the temperature and smoke level in the rooms decreased because of reducing the width of the inner void and increasing the height of the void.

1. Giriş (Introduction)

Tüm dünya ülkelerini iş birliği içerisinde hareket ettirmeye yönlendiren çevresel sorunlar ve gelecek kaygısı çerçevesinde çözümün önemli bir ortağı olmayı hedefleyen yapı sektörü de daha iyi bir gelecek için çalışmalarını hızlandırmıştır. Bu ivme ile 1970'lerden bu yana sürekli sorgulanan ve iyileştirme çabalarına maruz kalan yapı çevre içerisinde binaların tasarımı da etkilenmiştir. Sürdürülebilir mimari tasarım arayışları kapsamında bir çözüm önerisi olarak ortaya çıkan ve yaşam konforu ile gereklilikleri hususlarında ödün vermeksizin doğal çevreyi gözetmeyi, kaynakların korunumunu ve enerji verimliliğini hedefleyen yeşil bina tasarımları öne çıkmaya başlamıştır. Uluslararası ve ulusal sertifikasyon sistemleri ile de desteklenen Yeşil Bina tasarımlarında pasif yöntemlere dayalı mimari tasarım yaklaşımları ile bina kabuğu içerisindeki tüm mekânlarda konfor koşullarını sağlamak amacıyla bina kabuğunda, plan düzleminde ve katlar arasında ilişkiyi örgütleyen özel boşluklar bulunmaktadır. Özellikle doğal havalandırmayı, doğal aydınlatmayı ve bina kabuğu içerisinde ortak ısı rejimini kontrollü bir biçimde sağlamak amacıyla oluşturulan yatay ve düşey bu boşluklar yeşil bina tasarımlarının önemli bir parçasıdır. Bina kabuğu içerisinde havalandırma ya da ısıtma/soğutma amacıyla hava akışlarını düzenleyen atriumlar, çift kabuklu cephe boşlukları, güneş ve/veya rüzgâr bacaları, diğer şaftlar vb. sistemin işleyişi açısından öne çıkan tasarım elemanlarından bazılarıdır. Ancak düşey iç boşlukların ve boşluklara bakan mekânlardaki açıklıkların; düşey ve yatayda kesintisiz alanlar oluşturması yangın güvenliği açısından ciddi bir risk oluşturmakta, hatta yangın güvenliği tasarımının geleneksel ve mevzuatlardaki hükme dayalı yöntemleri ile çelişkili durumlar yaratmaktadır.

Bina iç boşluklarında meydana gelen hava akımları olası bir yangın anında başta içerisinde zehirli gazları ve yüksek ısıyı bünyesinde barındıran duman olmak üzere alevlerin de boşluk aracılığıyla yatayda ve düşeyde yayılımına sebep olmaktadır. Bu sebepten dolayı yeşil binalardaki iç boşluklarda meydana gelen hava hareketlerinin kontrol edilebilmesi tasarlanan sistemin doğru işleyişi kadar yangın güvenliği tasarımı için de gereklidir. Bina içi ve dışındaki hava sıcaklığı ve yoğunluğu farkı sebebiyle hava hareketlerinin doğal havalandırma ile yangın anında duman yayılımını benzer şekilde etkilemesi kaçınılmazdır. Bu nedenle doğal havalandırma yöntemleri ve doğal duman tahliye sistemleri bütünlüklü bir tasarım prensibiyle performansa odaklı olarak ele alınmalıdır.

Binalarda hava akımlarına sebep olan düşey boşluklarda yangın güvenliğini esas alarak çözümler üreten sayısal ve deneysel çalışmalar mevcuttur. Düşey sirkülasyon alanlarında oluşan baca etkisinin yangın olaylarındaki davranışı sayısal ve fiziksel modeller kullanılarak doğal ve mekân duman tahliye sistemlerinin konumu ve boyutu ile boşluğa bakan mekânlardaki pencere ve kapıların açıklık durumlarından oluşan senaryolarla incelenmişken [1, 2], şaftlardaki yangın yayılımını inceleyen sayısal çalışmalarda ise şaftların alt ve üst seviyesindeki havalandırma açıklıkları ve shaft doğrudan ve/veya dolaylı komşu mekânlardaki pencere ve kapıların açıklık durumlarına göre oluşturulan senaryolardan basınç, sıcaklık, duman analizleri gerçekleştirilmiştir [3-5]. Atrium problem alanı olarak belirleyen çalışmalar duman seviyesini tahliye süresince yeterli seviyelerde tutmayı hedeflemiştir. Geniş hacimli atrium çeperlerinde yer alan kapı ve pencere açıklıklarında giren farklı hızlardaki rüzgârın yangında sıcaklığa ve alev dağılımına etkisini inceleyen çalışmaların yanı sıra [6, 7], geniş hacimli atriumun üst çeperinde hava çıkışları alt ve yanlarda ise kapı pencere boşluklarının yangında atriuma duman dolununun analizini yapan çalışmalar yer almaktadır [8, 9]. Atriumla ilgili doğal havalandırma ve doğal duman tahliye açıklıklarına ilave olarak mekanik duman tahliye sistemlerinin geniş hacimli atrium

alanlarında duman dolumu ve sıcaklık dağılımı üzerindeki etkileri incelenmiştir [10-12]. Atriumlar ile ilgili çalışmalarda genel olarak farklı yangın havuzları, doğal duman tahliye açıklıkları mekanik duman tahliye sistemleri, pencere ve kapı açıklıklarından oluşan bir dizi senaryolar ile sayısal ve deneysel analizler yapılmıştır. Çift kabuklu cephe boşluklarının yangın davranışlarını sayısal ve deneysel olarak irdelleyen fiziksel modellerde, iç ve dış kabuklarda oluşan basınç ve sıcaklık değişimleri ve duman tahliyesi araştırılmıştır. Yangın havuzları ve konumu ile boşluk genişliklerinin değiştirilmesinden oluşan senaryolarda iç ve dış camların basınç ve sıcaklık etkisi ile patlama durumları ortaya koyulmuştur [13-16]. Bu çalışmaların yanı sıra dışarıya açılan biri sıcak, diğeri soğuk iki egzoz bacası ile bina içinde hava akımları oluşmasına yardımcı olan ve güneş ışınımına dayalı doğal havalandırma ile binada soğutma veya ısıtma kontrolünü hedefleyen güneş bacalarının duman tahliyesi için kullanılabilmesine dayanan fiziksel model çalışmaları da yapılmıştır [17-20]. Bu çalışmalarda oluşturulan prototip binalarda farklı boyutlarda tasarlanmış olan giriş ve çıkış açıklıkları sayesinde yangın boyutlarının farklılaşması esas ile oluşturulan senaryolarda duman tahliyesi analizlerine yer verilmiştir. Bina içerisinde hava akımlarına sebep olarak yangının yayılımında etkili olan boşlukları analiz eden çalışmalarda farklı boyut ve konumlardaki mekanik ve doğal duman tahliye sistemlerinin tasarımları ile havalandırma açıklıklarının düzenlenme biçimleri en fazla araştırılan alanlardır.

Son yıllarda yangın güvenliği açısından yaygın bir çalışma alanı bulan bu gelişmelerin yeşil binalarda düşey boşlukların tasarımından kaynaklanan yangın güvenliği problemlerinin çözümü için nasıl kullanılabilceğini konu alan bu çalışmada ise, olası bir yangın durumunda yeşil bina iç boşlukları yoluyla duman, alev tahliyesi ve sıcaklık kontrolünün yapılması amacıyla hesaplamalı akışkanlar dinamiği modeli olan Fire Dynamics Simulator (FDS) aracılığıyla düşey bir tahliye boşluğu tasarlanması hedeflenmektedir.

2. Materyal ve Metot (Material and Method)

Çalışmanın kapsamı yeşil bina iç düşey boşluklarında yangın yayılımının pasif önlemler ile kontrol altına alınabilmesi üzerine kurulmuştur. Yeşil binalarda bina kabuğu içerisindeki mekânlarda arasında düşey hava akımlarının düzenlenmesi amacıyla ihtiyaç duyulan ve sıklıkla kullanılan güneş bacalarındaki yangın büyüme potansiyelleri irdelenerek pasif iklimlendirme esaslı birincil görevlerinin yanı sıra yangın güvenliği açısından da en iyi performansı sağlayacak tasarım biçimi araştırılmıştır. Bu bağlamda bir mekânda başlayan yangından çıkan dumanın açık bir pencere veya kapı boşluğundan geçerek komşu mekânlara yayılma etkisine ait mesafesinin düşürülmesi ile sıcaklık ve duman seviyesinin azaltılması performans kriterleri olarak belirlenmiştir. Buradaki amaç düşey iç boşluk tasarımında yangın mahalli haricindeki komşu mekânlarda duman ve sıcaklık seviyesinin kritik koşullara ulaşmasının önüne geçebilmektedir.

Yangın gelişimi ve yangın sonucu ortaya çıkan duman ve diğer zehirli gazların tasarım aşamasında izlenebilirliği bina kullanım aşamasında olası risklerin önüne geçilmesi açısından önemlidir. Yangın gelişiminin tasarım aşamasında izlenmesi aşamalarının tanımlanması için performans analizlerine dayalı yangın güvenlik tasarımı kullanılmaktadır [21]. Performansa dayalı yangın güvenlik tasarımı karmaşıklığının önüne geçilmesi ve sistematik bir düzen oluşturulması amacıyla geliştirilen model için Society of Fire Protection Engineers (SPFE) tarafından tanımlanan ve çalışmanın tanımlanması, performans kriterlerinin belirlenmesi, yangın senaryolarının oluşturulması ve iyileştirme stratejileri ile optimum tasarımı elde edilmesi olmak üzere alt bileşenlere sahip performansa dayalı tasarım aşamaları kullanılmıştır [22].

Çalışmanın kapsam, amaç ve hedefleri ile sınırlılıkların belirlendiği ilk aşama ile çalışma tanımlanmaktadır. Yeşil binalarda bina kabuğu içerisindeki mekânlar arasında düşey hava akımlarının düzenlenmesi amacıyla ihtiyaç duyulan düşey boşluklardaki yangın güvenliği tasarımı çalışmanın kapsamını oluşturmakta ve gerçekleştirilecek model ile can güvenliği ve mülkiyetin korunması amaçlanmaktadır. Amaçlar doğrultusunda yangında optimum düşey boşluk tasarımı için uygun düşey boşluk boyutlarının ortaya koyulması hedeflenmektedir.

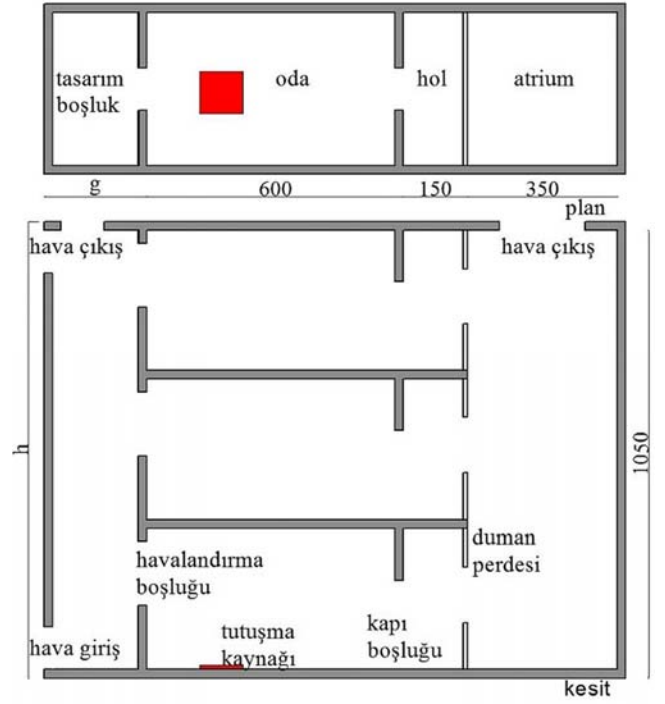
İkinci aşamada çalışma amaç ve hedeflerine yönelik olarak can ve mal güvenliğinin sağlanması amacıyla bina kullanım alanlarında sıcaklık ve dumanın riskli seviyelere ulaşmadan duman tahliyesi gerçekleştirilmesi ve sıcaklık kontrolü için performans kriterleri belirlenmektedir. Sıcaklık sınır değeri için insan vücudu ve solunum sistemi dayanabilir sınır olan 60°C, duman katmanı seviyesi olarak yangın odası haricindeki diğer kullanım alanlarında 220 cm altına inmemesi belirlenen parametrelerdir.

Üçüncü aşama olan yangın senaryolarının oluşturulmasında giriş bölümünde açıklanan fiziksel model çalışmalarından faydalanılarak baca etkisi çalışma prensibi ile çalışan güneş bacası özelliğine sahip tahliye boşluğu ve iç hava hareketlerinin kontrolü için tercih edilen atrium bulunan prototip bina tasarlanmıştır. Prototip binada yangın odası, reaksiyon türü ve ısı yayma oranı, tahliye boşluğu ve atriuma açılan havalandırma açıklıklarının konumu, boyutu ve yanmaz malzeme seçimi ile tasarım senaryolarında değişken olmayan kriterler belirlenmiştir. Tahliye boşluğu için farklı genişlik ve yükseklik değerleri ise tasarımın değişkenlerini oluşturmuştur. Dördüncü aşamada belirlenen sabit ve değişken değerlerden oluşan senaryoların simülasyon programına aktarılması ve iyileştirme stratejileri ile en uygun tahliye boşluğu tasarımı gerçekleştirilmiştir.

2.1. Prototip Bina Tasarımı (Prototype Building Design)

Öncelikle literatürde bulunan ilgili çalışmalar çerçevesinde, yer ve hâkim rüzgar gibi iklimsel elemanların etkisi ihmal edilerek bir prototip bina tasarlanmıştır. 3 katlı prototip binanın her katında bir adet 400 x 600 x 350 cm (Genişlik x Uzunluk x Yükseklik) boyutlarında oda ve bu odalara bir cephe yüzeyinde alt ve üst kısımlarında hava giriş ve çıkışları bulunan güneş bacası (bundan sonra tahliye boşluğu olarak ifade edilecektir.), diğer cephesinde ise sirkülasyon holü ile atriuma komşuluğu sağlamıştır. Güneş bacalarının alt açıklıktan soğuk havanın alınarak üst açıklıktan atılabilmesi çalışma prensibinin yeteneğini iyileştirmek için bina yüksekliği esas alınmış ve bina yüksekliğine göre farklı tahliye boşluğu yüksekliklerinden senaryolar oluşturulmuştur. Boşluk genişliğinin düzenlenmesinde ise, çift kabuk cephe boşluklarının analizinin gerçekleştirildiği fiziksel model çalışmalarında kullanılan 50 cm, 100 cm, 150 cm, 200 cm ölçüleri esas alınarak 4 farklı boşluk tasarımından senaryolar tanımlanmıştır. İç kabuk pencere özelliklerinin tasarımı da benzer şekilde çift kabuk cephe tasarım ilkelerine göre düzenlenmiştir. Bu bağlamda düşey iç boşluğa bakan kısımda 100x150 cm pencere boşluğu bırakılmış, hol kısmına ise yatay sirkülasyonun sağlanması amacıyla 100x210 cm kapı boşluğu yerleştirilmiştir. Tahliye boşluğuna bakan havalandırma boşlukları ve hava giriş – çıkışlarının boyutlarının tasarlanmasında benzer çalışmalarda duman tahliyesi için optimize edilmiş boyutlardan faydalanılarak ön tasarımlar gerçekleştirilmiş ve Pyrosim programı vasıtasıyla tasarımlar sinanarak uygun havalandırma ve hava giriş-çıkış boşlukları oluşturulmuştur (Şekil 1). Mekânın duvar, tavan ve döşemesi ısıl ataleti $k\rho c$ yaklaşık 2 kW/s /m⁴ k² olan beton şeklinde tasarlanmıştır. Mekânın diğer tarafında hava akımlarının kontrollü düzenlenmesi amacıyla tasarlanan atriumun boyutları 350 x 400 x 1050 cm olarak belirlenmiş, atrium boşluğunun tavan kısmında ise 200x100 cm'lik bir hava çıkışı planlanmıştır. Binaların Yangın Korunması Hakkında Yönetmelik gereği 90 m²'den küçük olan atrium

çevresi her katta 60 cm yüksekliğinde duman perdesi ile çevrelenmiştir.



Şekil 1. Tasarım bina plan ve kesiti (Design building plan and section)

2.2. Tasarım Yangını Özellikleri (Design Fire Features)

Açık alev yangını ile ilgili performansa dayalı yaklaşımlar sunan uzmanlar yanma hızının zamanın karesiyle orantılı olarak değiştiği T kare yangını kullanılmaktadır. T kare yangınları büyüme hızına göre yavaş, orta, hızlı ve ultra hızlı olarak sınıflandırılır ve NFPA 92'ye göre uygun referans ısı yayma oranı 1000 Btu / s (1055 kW) olarak alınmaktadır. Çalışma kapsamında da ısı yayma değeri bu değer kabul edilmiş ve büyüme hızı hızlı ve ısı yayma oranı 1055 kW olarak alınmıştır [23] (Tablo 1). Zemin kattaki bir mekânda belirlenen yangın reaksiyon kaynağı 1,00 karbon, 1,7 hidrojen, 0,3 oksijen, 0,08 nitrojen atomlarından oluşan poliüretan GM27 olarak seçilmiştir. Söz konusu reaksiyon kaynağı için duman üretimi 0,198 g/g ve karbonmonoksit (CO) üretim ise 0,042 g/g'dir. [22]. Birim alan başına açığa çıkan ısı oranını bulmak için Eş. 1 kullanılmıştır.

$$Q = \alpha t^2 \quad (1)$$

Q = Isı yayma oranı (HRR) Btu/s (kW),
 α = Yangın büyüme katsayısı, Btu/s³ (kW/s²),
 t = Tutuşmadan sonraki zaman, s,

Yangın büyüme faktörü

$$\alpha = Q_0 / t_0^2$$

α = Yangın büyüme katsayısı, Btu/s³ (kW/s²),
 Q_0 = Referans ısı yayma oranı (kW)
 t_0 = Yangın büyüme zamanı (s)

Literatürde uygun referans ısı yayma oranı olarak kabul edilen 1055 kW (= 1000 Btu / s) değeri çalışma kapsamında da aynen alınmıştır. Yangın büyüme oranının hızlı olduğu kabul edilerek büyüme katsayısı (α) 0,047 kW/s² ve 1055 kW'a ulaşma zamanı (t) Eş.1'e göre 150 bulunmuştur. Tutuşmanın başlangıç süresi 10 saniye olarak ayarlanmış ve 1055 kW ısı yayma oranına ulaşmak için toplam

simülasyon süresi 160 s olarak tanımlanmıştır. Tablo 1’de tasarım yangın senaryolarına ait değerler verilmiştir.

Tablo 1. Tasarım yangınının özellikleri (Design fire features)

Özellik	Değer
Yangın türü	Alevli yangın
Reaksiyon türü	Poliüretan GM27
Yangın büyümesi	t^2 yangını
Duman üretimi	0,198 g/g
CO üretimi	0,042 g/g
HRR	1055
Yangın büyüme katsayısı	0,047
Tutuşma başlama süresi	10 s
Simülasyon süresi	160 s
Malzeme	Betonarme (ısıl atelet: 2 kW/s /m4 k ²)

2.3. Sayısal Model (Computational Model)

Sayısal analiz için hesaplamalı akışkanlar dinamiğini simülasyon ile birlikte sunabilen FDS ve sonuçları görselleştirebilen Smokeview yazılımları kullanılmıştır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, Navier-Stokes denklemlerini kullanarak kütle, momentum, basınç ve türbülansın korunumu için çözümler üretmektedir. [24]. Çalışma kapsamında FDS fonksiyonlarını ve Smokeview görsellerini içerisinde barındıran ve geometri oluşturmaya, sınırlılıkları tanımlamaya imkân veren Pyrosim programından yararlanılmıştır. Pyrosim programında üç boyutlu modelin hazırlanması için sınırlılıkların belirlendiği hücre ağ yapısı uzunlukları 0,2x0,2x0,2 m olarak belirlenmiştir. Sıcaklık, duman hareketi ve hızını ölçmek için x2 yönünde dilimler (slice), tahliye boşluğu ve atrium boşlukları kat seviyelerinde birer adet ve duman ve sıcaklık riski fazla olan son kat mekânda da bir adet olmak üzere toplam 7 adet ısılıçift (thermocouple) yerleştirilmiştir (Şekil 2).

Yükseklik artıka boşlukta oluşacak baca etkisinin artacağı prensibiyle boşluk genişliklerinin yanı sıra boşluk yükseklikleri de dikkate alınarak duman, sıcaklık, hız analizlerini gerçekleştirmek

amacıyla 8 adet senaryo hazırlanmıştır. Tahliye boşluğu 50, 100, 150, 200 cm ve yüksekliği ise bina yüksekliği olan 1050 cm’den başlayarak bir kat yüksekliği olan 350 cm ve toplam yüksekliğin yaklaşık yarısı olan 525 cm yükseltilmesi ile oluşturulan senaryolara ait özellikler Tablo 2’de verilmiştir. Süreçte öncelikle bina kat yüksekliği sabit tutularak boşluk genişlikleri bağlamında değişkenlik gösteren senaryolardaki analizler gerçekleştirilmiş, 200 cm ve 150 cm boşluk genişliklerinin yakın performans göstermesi sebebiyle işlevsel bağlamda faydalı kullanım alanından kaybetmemek amacıyla daha az yer kaplayan 150 cm genişliği ve diğer boşluk genişliklerine oranla daha iyi performans gösteren 50 cm boşluk genişliği tespit edilmiştir. Bu tespit çerçevesinde tahliye boşluk yükseklikleri sadece bu genişlikler için artırılmıştır.

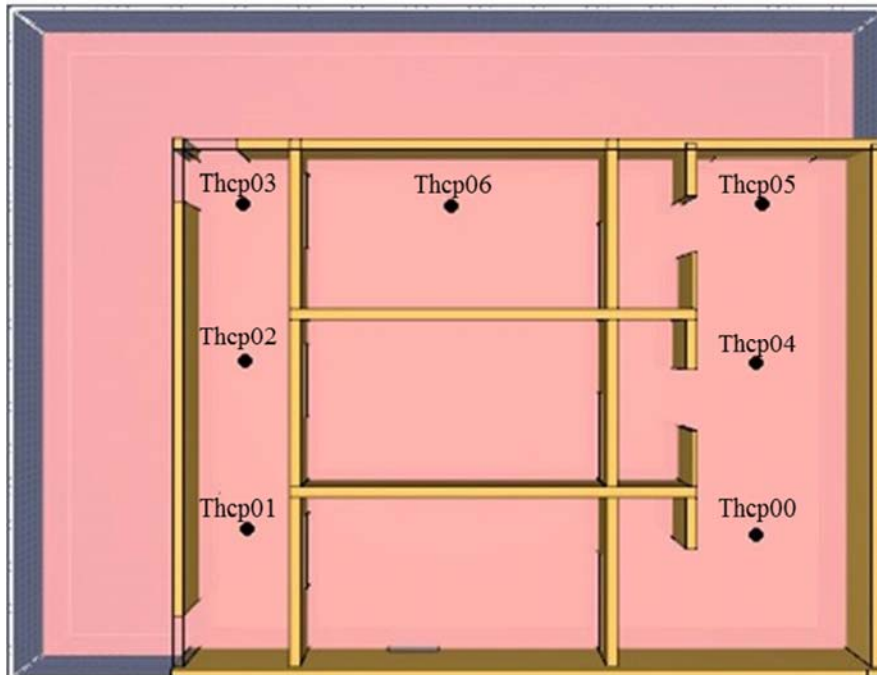
Tablo 2. Sayısal model senaryolarına ait değerler (Values for computational model scenarios)

Senaryo	Genişlik (cm)	Yükseklik (cm)	Pencere boşlukları	Kapı boşlukları	Hava giriş çıkışları
S1	200	1050	Açık	Açık	Açık
S2	150	1050	Açık	Açık	Açık
S3	100	1050	Açık	Açık	Açık
S4	50	1050	Açık	Açık	Açık
S5	150	1400	Açık	Açık	Açık
S6	150	1575	Açık	Açık	Açık
S7	50	1400	Açık	Açık	Açık
S8	50	1575	Açık	Açık	Açık

3. Bulgular (Findings)

Prototip binada tahliye boşluğuna ait farklı genişlik ve yüksekliklerin yangın yayılımı ve duman tahliyesine etkisini ölçmek için belirlenen 8 adet senaryo ile sıcaklık, duman katmanı ve hızı analizleri yapılmıştır.

Senaryo-1: Şekil 3’te S1 senaryosu için duman, alev ve hız görünümleri verilmektedir Duman 50. saniyede son kat pencere



Şekil 2. Bilgisayar modeli ısılıçift ve dilimlerin konumu (Position of slices and thermocouple)

seviyesinde iken, 100. saniye sonunda yapı dışına çıkıp hücre üst ağı boyunca yayılmıştır. Alevler 100. saniyede tahliye boşluğunda boşluk dış duvarına doğru yayılım gösterirken, simülasyon sonunda tahliye boşluğu hava çıkışlarında geçmiştir. Alev simülasyon süresince atrium boşluğu ve diğer mekânlara ulaşmamıştır. Duman, alev ve hava akımlarının hareket seviyesini gösteren iç mekândaki hız yangının boşluğa yayılımının başladığı 50. saniyede tahliye boşluğunda 1 m/s altında iken, 100. saniyede 2,5 m/s olmuştur.

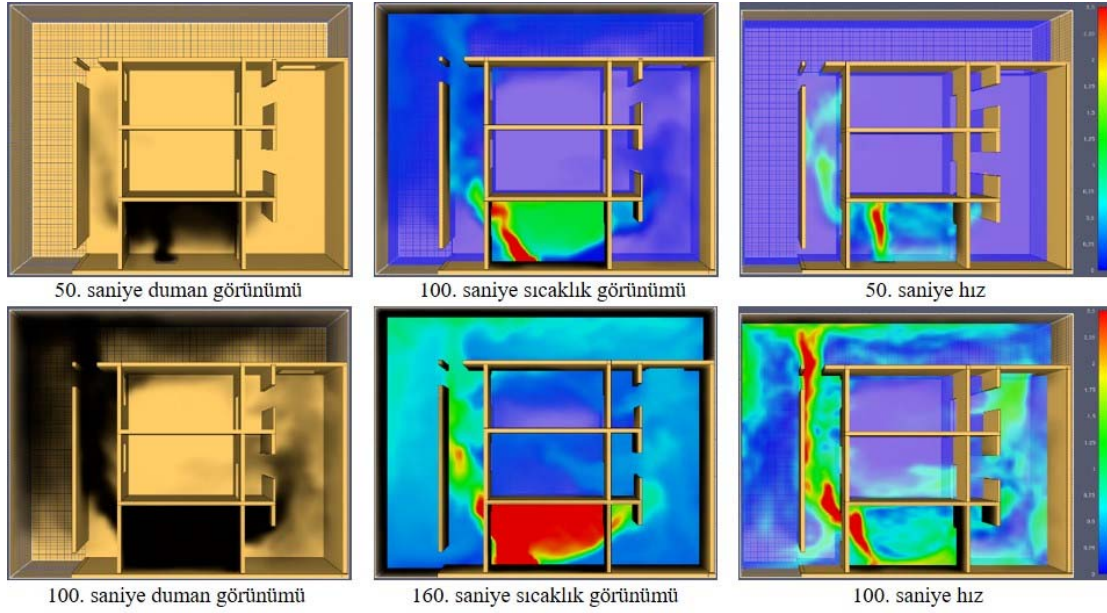
Şekil 4'teki simülasyon süresi boyunca ısı çiftlerinden ölçülen değerlere göre en yüksek sıcaklık son kat odada 19,86°C, tahliye boşluğunda 99,14°C, atrium boşluğunda ise 37,48°C'dir.

Senaryo-2: Şekil 5'te S2 senaryosu için duman, alev ve hız görünümleri verilmektedir. Duman 50. saniyede dış kabuğa doğru

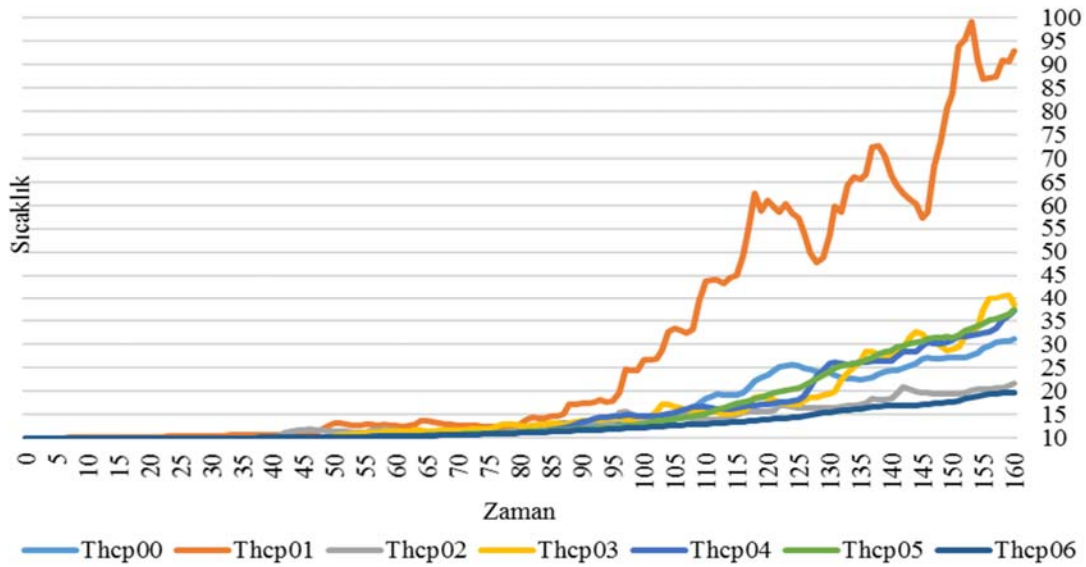
hareket ederek son kat taban döşeme seviyesine yaklaşmışken, 100. saniye sonunda tahliye boşluğu hava çıkışlarından geçerek hücre üst ağı boyunca dolmuştur. Alev bulutu 100. saniyede tahliye boşluğu dış duvarına doğru yönelirken, 160. saniyede tahliye boşluğu üst hava çıkışından geçerek yükselme gerçeklemiştir. Hız 50. saniyede tahliye boşluğunda 1 m/s altında iken, 100. saniyede 1,5 ve 2,5 m/s arasında değişen seviyeye ulaşmıştır.

Şekil 6'daki S2 senaryosu simülasyon süresi boyunca ısı çiftlerinden ölçülen değerlere göre son kat odada en yüksek sıcaklık 19,10°C, tahliye boşluğunda 98,3°C, atrium boşluğunda 36,80°C'ye ulaşmıştır.

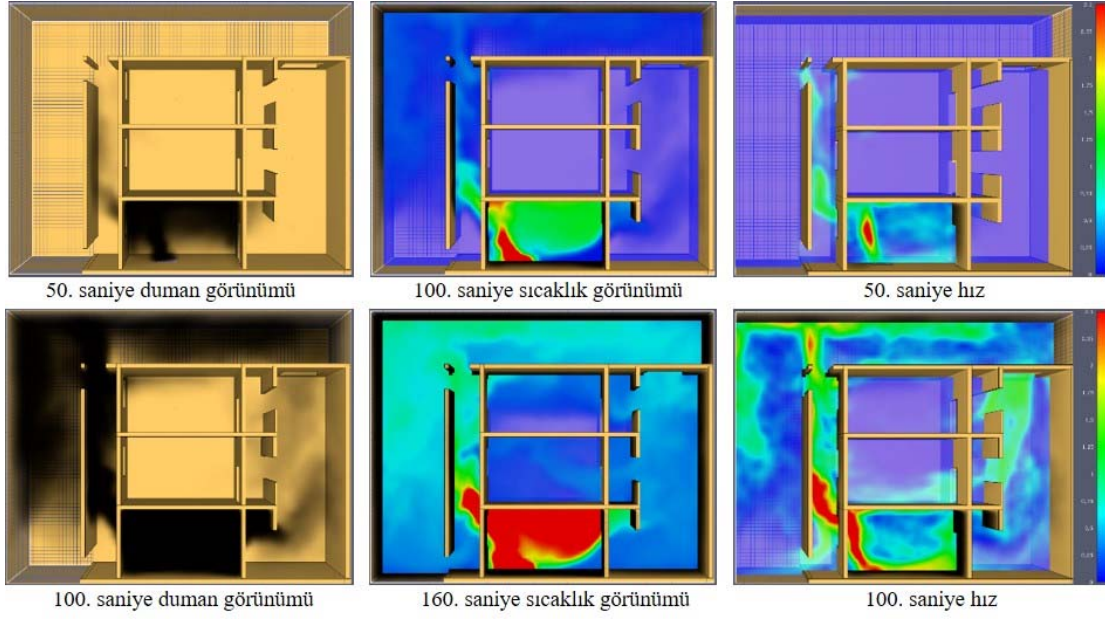
Senaryo 3: Şekil 7'de S3 senaryosu için duman, alev ve hız görünümleri verilmektedir. Duman 50. saniyede dış kabuk hava çıkışı



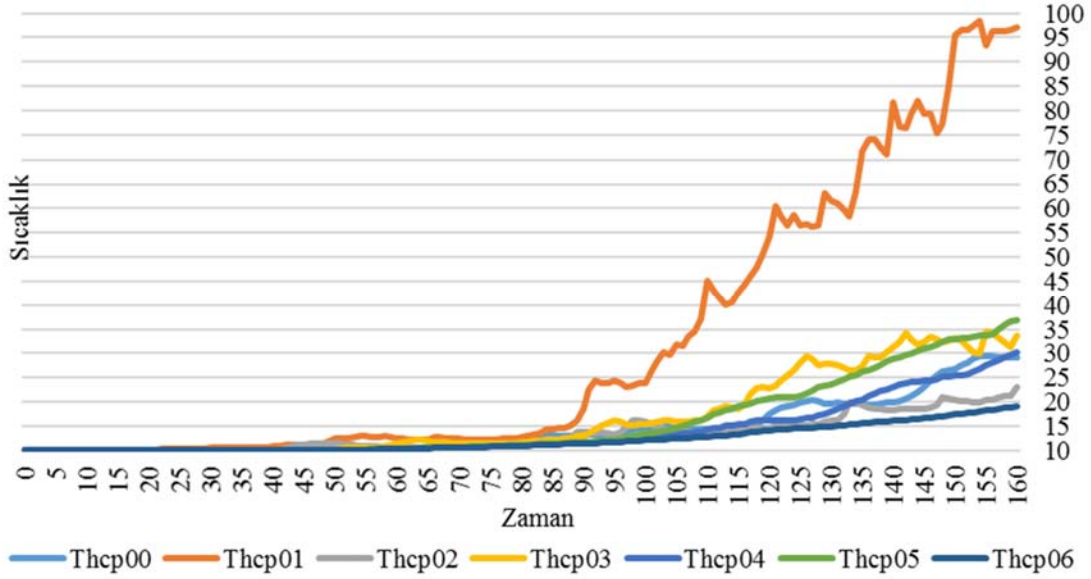
Şekil 3. S1 senaryosu duman katmanı, sıcaklık seviyesi ve hız görünümleri (S1 scenario smoke layer, temperature level and velocity views)



Şekil 4. S1 senaryosunda ısı çiftlerinden ölçülen sıcaklık zaman değerleri (Temperature time values measured from thermocouples for scenario S1)



Şekil 5. S2 senaryosu duman katmanı, alev seviyesi hız görüntüleri (S2 scenario smoke layer, flame level and velocity views)



Şekil 6. S2 senaryosunda ısılıçiftlerden ölçülen sıcaklık değerleri (Temperature time values measured from thermocouples for scenario S2)

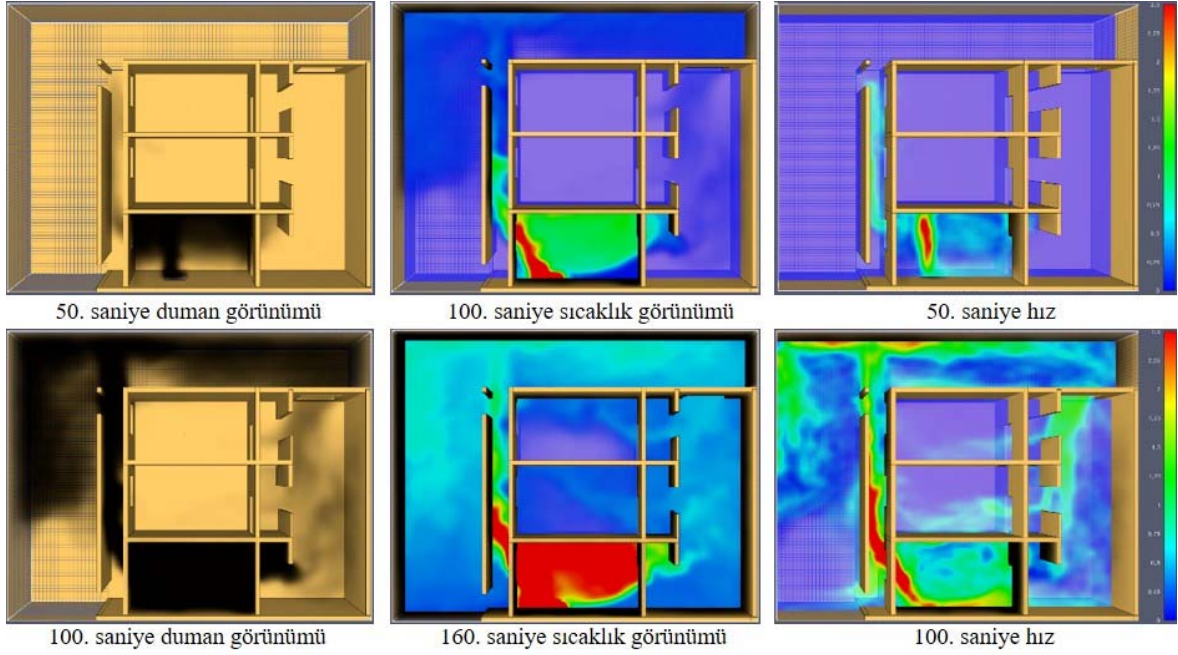
hizasına ulaşmışken, 100. saniye sonunda tüm boşluğa dolarak hücre üst ağ yapısı boyunca yayılmıştır. Alev bulutu 100. saniyede tahliye boşluğu birinci kat pencere seviyesinde iken, 160. saniyede tahliye boşluğu üst hava çıkışından geçmiştir. Alev bulutunun dış kabuk hava çıkışı yerine tavan hava çıkışından geçme eğilimi göstermiştir. Alev ve hava akım hızları yangının boşluğa yayılımının başladığı 50. saniyede tahliye boşluğunda 1 m/s altında iken, 100. saniyede 1,5 ve 2,5 m/s arasında değişen seviyeye ulaşmıştır. S3 senaryosu simülasyon süresi boyunca ısılıçiftlerden ölçülen değerlerin verildiği Şekil 8'e göre ise, sıcaklıklar son kat odada 18,6°C, tahliye boşluğunda 93,10, atrium boşluğunda 37,48°C'ye ulaşmıştır.

Senaryo 4: Şekil 9'da S4 senaryosu için duman, alev ve hız görüntüleri verilmektedir. Duman 50. saniyede tahliye boşluğu tavanına ulaşmışken, 100. saniye sonunda tüm boşluk boyunca

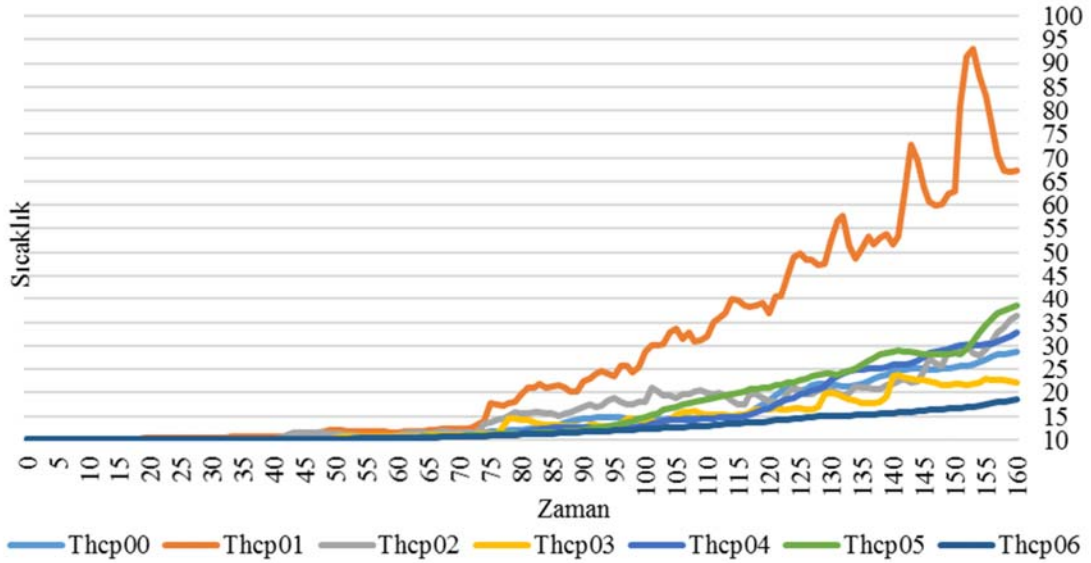
yükselip çatı boyunca yayılım tamamlanmış, atrium tavanı hava çıkış sınırına gelmiştir. Alev bulutu 100. saniyede tahliye boşluğu birinci kat tavan seviyesine ulaşmışken, 160. saniyede tahliye boşluğu üst hava çıkışından geçmiştir. Alev ve hava akım hızları 50. saniyede tahliye boşluğunda yaklaşık 1 m/s ye ulaşmışken, 100. saniyede tahliye boşluğu boyunca 1,75 ve 2,25 m/s arasında değişmiştir.

S4 senaryosu simülasyon süresi boyunca ısılıçiftlerden ölçülen değerlerin verildiği Şekil 10'da son kat odada ölçülen en yüksek sıcaklık 17,7°C, tahliye boşluğunda 49,30°C, atrium boşluğunda ise 45,7°C olarak atrium boşluğu zemin seviyesinde ölçülmüştür.

Senaryo 5: Şekil 11'de S5 senaryosu için duman, alev ve hız görüntüleri verilmektedir. Duman 50. saniyede tahliye boşluğunda birinci kat tavan seviyesinde iken, 100. saniyede tüm boşluk boyunca



Şekil 7. S3 senaryosu duman katmanı, alev seviyesi ve hız görüntüleri (S3 scenario smoke layer, flame level and velocity views)



Şekil 8. S3 senaryosunda ısıçiftlerden ölçülen sıcaklık zaman grafiği (Temperature time values measured from thermocouples for scenario S3)

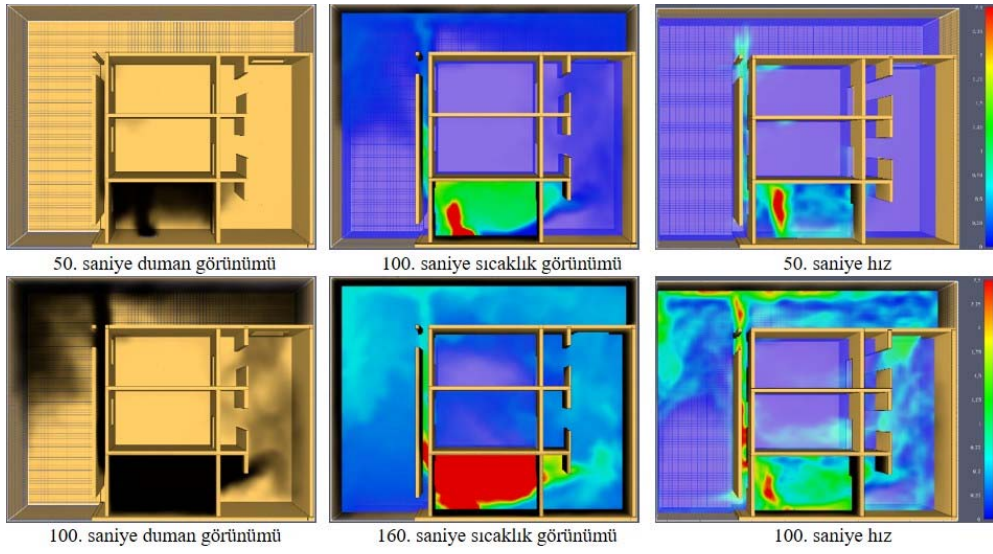
yükselip hücre ağ yapısı tavanında yatay yayılmıştır. Alev bulutu 100. saniyede ikinci kat pencere seviyesinde iken, 160. saniyede tahliye boşluğu üst hava çıkışından geçmiştir. Atrium boşluğunda ise zemin seviyesinde yoğunlaşma olmuştur. Hız 50. saniyede tahliye boşluğunda 1 m/s altında iken, 100. saniyede tahliye boşluğunda 1,75 ve 2 m/s arasında hıza ulaşmıştır.

S5 senaryosunda ısıçiftlerden ölçülen değerlerin verildiği Şekil 12'de son kat odada ölçülen sıcaklık 17,1°C, tahliye boşluğunda 74,50°C, atriumda 34,3°C olarak ölçülmüştür.

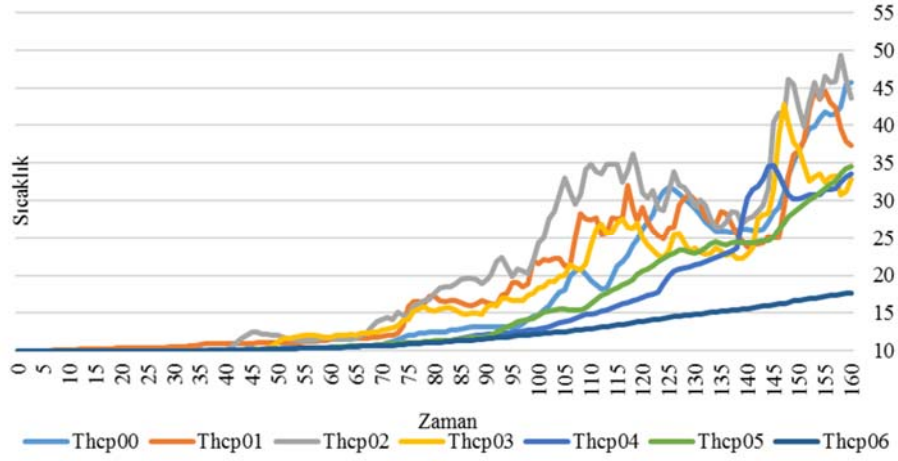
Senaryo 6: Şekil 13'te S6 senaryosu için duman, alev ve hız görüntüleri verilmektedir. Duman 50. saniyede tahliye boşluğunda dış kabuğa doğru hareket ederek birinci kat tavan seviyesini geçerken,

100. saniye sonunda tüm boşluk boyunca yükselip hücre ağ yapısı boyunca yayılımını tamamlayarak aşağı doğru hareketine başlamıştır. Alev bulutu 100. saniyede dış kabuk boşluğuna doğru yönelim göstererek birinci kat pencere seviyesinde iken, 160. saniyede tahliye boşluğu üst hava çıkışından zayıf hareketler ile geçmiş, atrium boşluğunda ise zayıf hareket gerçekleşmiştir. Hız 50. saniyede tahliye boşluğunda 1 m/s altında ve ikinci kat pencere seviyesinde iken, 100. saniyede tahliye boşluğu ikinci kat pencere seviyesinde 1,75 ve 2,5 m/s arasında seviyeye ulaşmıştır.

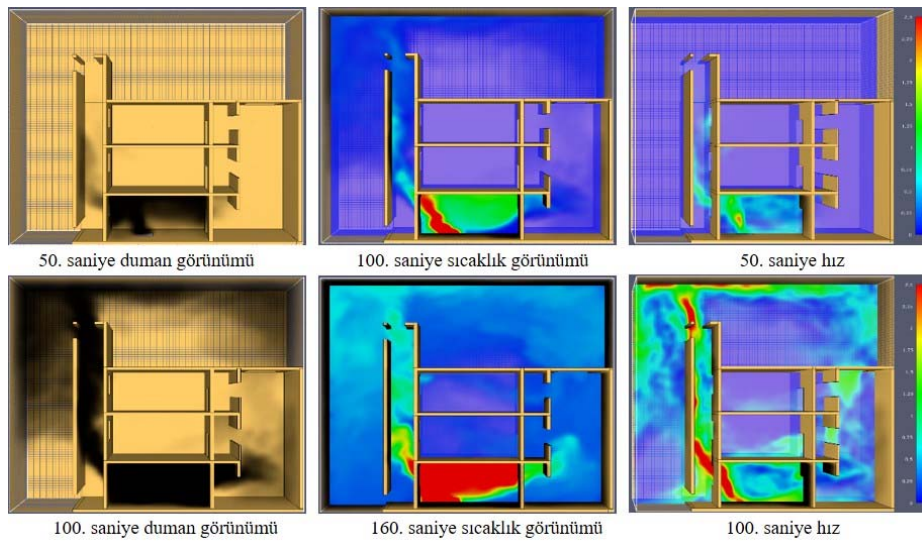
Isıçiftlerden ölçülen değerlerin verildiği Şekil 14'te son kat odada ölçülen en yüksek sıcaklık 16,5°C, tahliye boşluğunda 51,60°C, atrium boşluğunda 29°C olarak atrium boşluğu zemin seviyesinde ölçülmüştür.



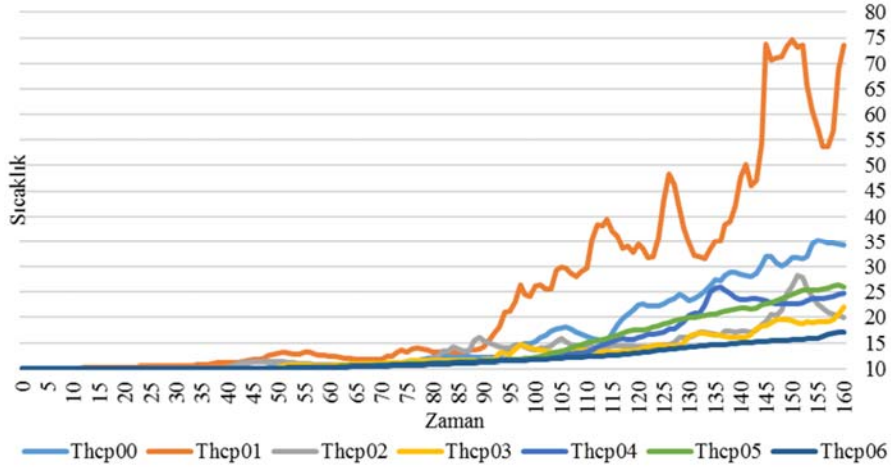
Şekil 9. S4 senaryosu duman katmanı, alev seviyesi ve hız görüntümleri (S4 scenario smoke layer, flame level and velocity views)



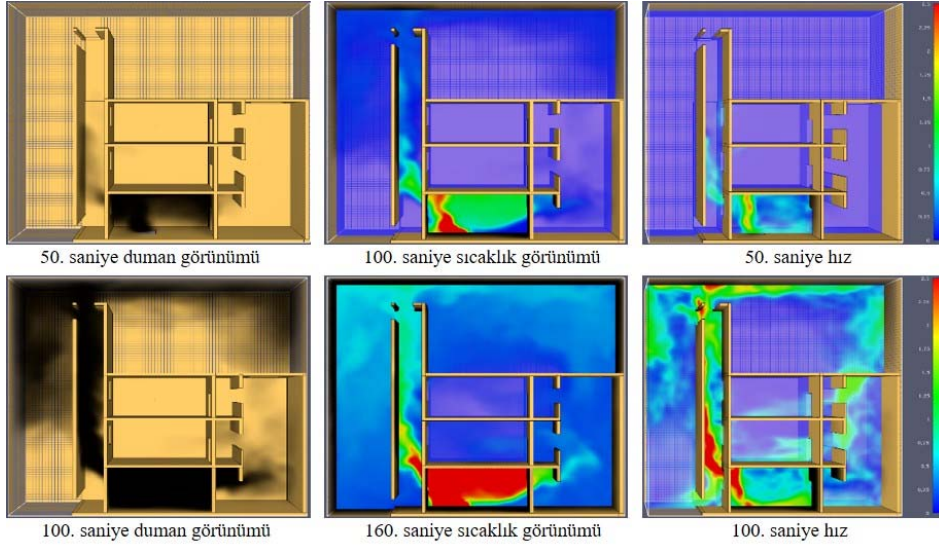
Şekil 10. S4 senaryosunda ısıçiftlerden ölçülen sıcaklık zaman grafiği (Temperature time values measured from thermocouples for scenario S4)



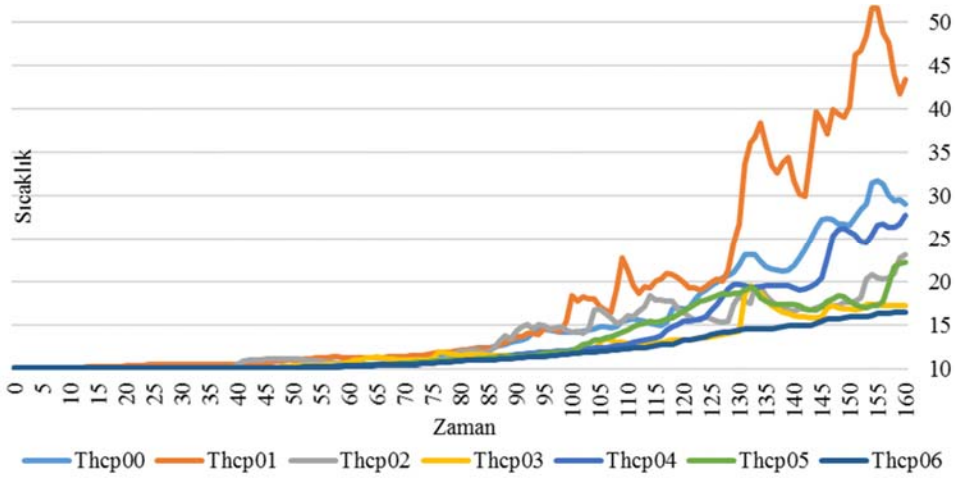
Şekil 11. S5 senaryosu duman katmanı, alev seviyesi ve hız görüntümleri (S5 scenario smoke layer, flame level and velocity views)



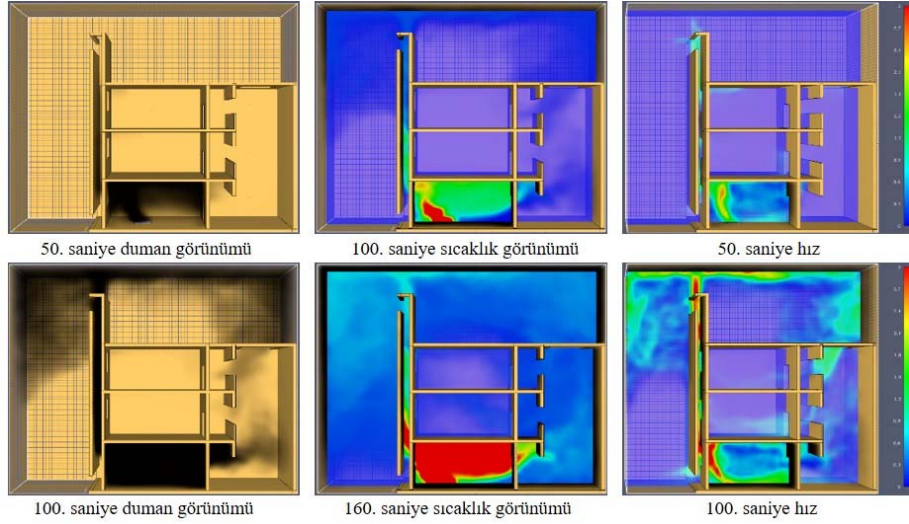
Şekil 12. S5 senaryosunda ısıçiftlerden ölçülen sıcaklık zaman grafiği (Temperature time values measured from thermocouples for scenario S5)



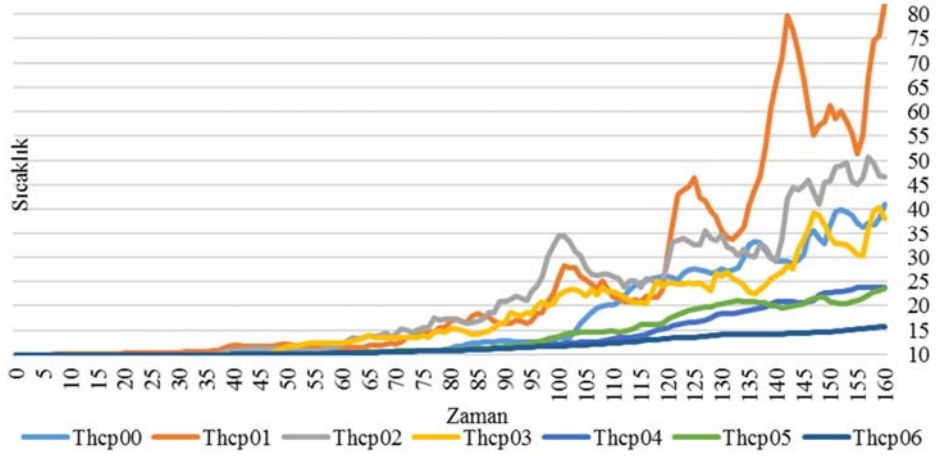
Şekil 13. S6 senaryosu duman katmanı, alev seviyesi ve hız görünümleri (S6 scenario smoke layer, flame level and velocity views)



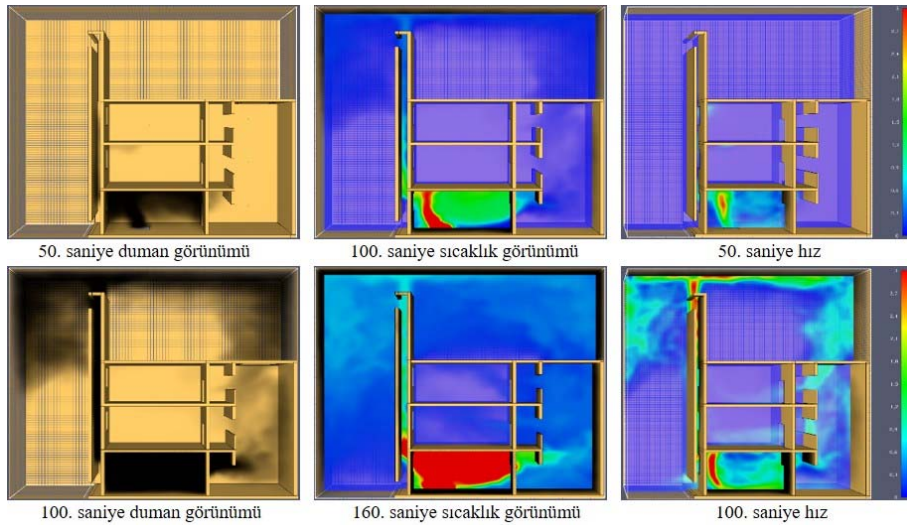
Şekil 14. S6 senaryosunda ısıçiftlerden ölçülen sıcaklık zaman grafiği (Temperature time values measured from thermocouples for scenario S6)



Şekil 15. S7 senaryosu duman katmanı, alev seviyesi ve hız görüntüleri (S7 scenario smoke layer, flame level and velocity views)



Şekil 16. S7 senaryosunda ısıçiftlerden ölçülen sıcaklık zaman grafiği (Temperature time values measured from thermocouples for scenario S7)



Şekil 17. S8 senaryosu duman katmanı, alev seviyesi ve hız görüntüleri (S8 scenario smoke layer, flame level and velocity views)

Senaryo 7: Şekil 15'te S7 senaryosu için duman, alev ve hız görünümleri verilmektedir. Duman 50. saniyede tahliye boşluğunda son kat tavan seviyesini geçmişken, 100. saniye sonunda tüm boşluk boyunca yükselip hücre üst ağ yapısı boyunca yayılım tamamlanmış ve çatıya inmiştir. Alev bulutu 100. saniyede tahliye boşluğu hava çıkış seviyesinde iken, 160. saniyede tahliye boşluğu üst hava çıkışından geçmiştir. Alev atrium boşluğu döşeme seviyesinde harekete başlamış ancak diğer odalara ulaşmamıştır. Hız 50. saniyede tahliye boşluğunda yaklaşık 1,25 m/s ye tüm boşluk boyunca ulaşırken, 100. saniyede tahliye boşluğu farklı noktalarında 2 ve 2,5 m/s arasında değişen seviyeye ulaşmıştır. Simülasyon sonunda boşluktaki hız 3 m/s olarak gerçekleşmiştir.

Isılçiftlerden ölçülen değerlerin verildiği Şekil 16'ya göre; son kat odada ölçülen en yüksek sıcaklık 15,8°C, tahliye boşluğunda 82,40°C, atrium boşluğunda 41,1°C olarak atrium boşluğu zemin kat seviyesinde ölçülmüştür.

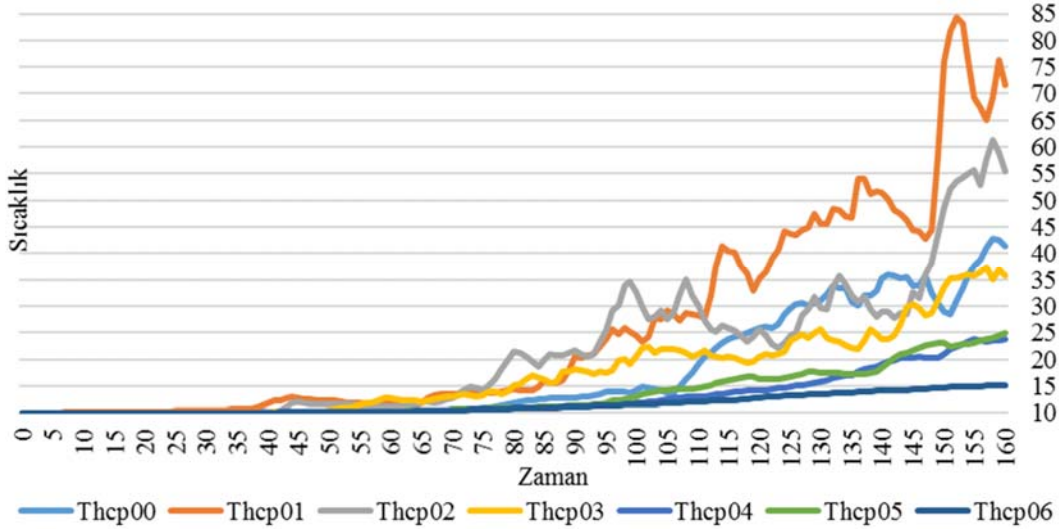
Senaryo 8: Şekil 17'de S8 senaryosu için duman, alev ve hız görünümleri verilmektedir. Duman 50. saniyede tahliye boşluğu son kat tavan seviyesini geçmişken, 100. saniye sonunda tüm boşluk boyunca yükselip hücre üst ağ yapısı boyunca yayılım tamamlanmış

ve çatıya iniş gerçekleştirmiştir. Alev bulutu 100. saniyede tahliye boşluğunun son kat tavan seviyesine ulaşmışken, 160. saniyede tahliye boşluğunu doldurarak üst hava çıkışından geçmiştir. Hız 50. saniyede tahliye boşluğunda 1,25 m/s ye ulaşmışken, 100. saniyede tahliye boşluğu farklı noktalarında 2 ve 2,5 m/s arasında değişen seviyelere ulaşmıştır. Simülasyon sonunda boşluktaki hız 3 m/s olarak gerçekleşmiştir.

Isılçiftlerden ölçülen değerlerin verildiği Şekil 18'e göre son kat odada ölçülen en yüksek sıcaklık 15,5°C, tahliye boşluğunda 84,40°C, atrium boşluğunda 41,3°C olarak ölçülmüştür.

4. Değerlendirme (Evaluation)

Senaryolarda duman, sıcaklık, alev ve hava akımı hızları analizleri gerçekleştirilmiştir. Tablo 3'te duman tahliyesinin hedeflendiği boşluktaki duman seviyesinin zamana bağlı değişimi verilmekte olup, 60. saniye itibariyle bütün senaryolarda duman tahliye boşluğu hava çıkışına ulaşmıştır. Senaryo S5, S6 ve S7'de 30. saniyede duman boşluğa geçmeye başlarken diğer senaryolarda henüz yangın odasında kalmıştır. S7 ise diğer senaryolara göre dumanın boşluğa ve hava çıkışına ulaşma süresi açısından en iyi performansı göstermiştir.



Şekil 18. S8 senaryosunda ısılciftlerden ölçülen sıcaklık zaman grafiği (Temperature time values measured from thermocouples for scenario S8)

Tablo 3. Tahliye boşluğundaki duman seviyesinin senaryolara göre dağılımı
(Distribution of the smoke level in the discharge space according to the scenarios)

Senaryo	30. saniye	45. saniye	60. saniye	75. saniye
S1	Yangın odası	Birinci kat pencere seviyesi	Dış ve üst kabuk hava çıkışı	Tavan mesh seviyesi
S2	Yangın odası	Birinci kat tavan seviyesi	Dış ve üst kabuk hava çıkışı	Tavan mesh seviyesi
S3	Yangın odası	Birinci kat tavan seviyesi	Dış ve üst kabuk hava çıkışı	Tavan mesh seviyesi
S4	Yangın odası	Birinci kat tavan seviyesi	Tavan mesh seviyesi	Tavan mesh seviyesi yatay yayılım
S5	Zemin kat pencere seviyesi	Birinci kat tavan seviyesi	Dış ve üst kabuk hava çıkışı	Tavan mesh seviyesi
S6	Zemin kat pencere seviyesi	Birinci kat tavan seviyesi	Dış kabuk hava çıkışı	Tavan mesh seviyesi
S7	Zemin kat pencere seviyesi	Son kat pencere seviyesi	Tavan mesh seviyesi	Tavan mesh seviyesi yatay yayılım
S8	Yangın odası	Birinci kat tavan seviyesi	Dış kabuk hava çıkışı	Tavan mesh seviyesi yatay yayılım

Atrium boşluğunda S1 senaryosunda duman mekânların sirkülasyonu olan hole doğru yönelim gösterirken boşluk genişlikleri azaldıkça duman yönelimi atrium dış duvarına doğru olmuş ve dolaşım için kullanılan alanlarda riskin azalmasını sağlamıştır. Tüm senaryolarda yangın odası hariç diğer katlarda duman katmanı seviyesi kullanıcıları etkileyecek seviyeye ulaşmamıştır.

200 cm boşluk genişliği olan S1 senaryosunda alevler duman tahliyesinin hedeflendiği boşluğun dış duvarına doğru yönelmiş ve alevlerin boşluğa ulaşma süresi diğer senaryolara göre daha yavaş gerçekleşmiştir. Boşluk genişliği azaldıkça alevlerin boşluğa ulaşma süresi ve boşluk içi sıcaklığın arttığı görülmüştür. Tablo 4'te boşluktaki alev hızlarının senaryolara göre dağılımı verilmiş olup, en dar boşluğa sahip S4 senaryosunda hız daha geniş boşluk genişliğine sahip S1, S2 ve S3 senaryolarına göre daha yüksek olmuştur. Boşluk yüksekliklerinin artırıldığı senaryolarda ise 150 cm boşluk genişliğine sahip S5 ve S6 senaryolarında hız S1 ve S2 senaryolarına göre yüksek gerçekleşmiştir. 50 cm genişliğe sahip S7 ve S8 senaryolarında hız 3 m/s'ye ulaşırken diğer senaryolarda en fazla 2,5 m/s olarak gerçekleşmiştir. Sonuç olarak hız açısından genişliklerin ölçüldüğü senaryolarda S4 ve yüksekliklerin ölçüldüğü senaryolarda ise S7 senaryosunun performansları diğer senaryolara göre üstünlük göstermiştir.

Tablo 4. Tahliye boşluğundaki hızının senaryolara göre dağılımı (m/s)
(Distribution of the velocity in the discharge space according to the scenarios)

Senaryo	50.saniye	75.saniye	100.saniye	125.saniye	150.saniye
S1	> 1	1-1,25	1,25-1,5	1,75-2,25	1,75-2,5
S2	0,75-1	1-1,25	1,5-2	2-2,25	2-2,5
S3	0,75-1	1-1,25	1,5-2	2-2,5	2-2,5
S4	1	1,5-1,75	1,75-2	2,25-2,5	2,5
S5	0,75-1	1-1,5	1,75-2	1,75-2,25	2-2,5
S6	0,75-1	1-1,5	1,75-2	1,75-2,25	2-2,5
S7	1-1,25	1,5-1,75	2-2,5	2,25-3	2,5-3
S8	1-1,25	1,5-1,75	2-2,5	2,5-3	2,5-3

Boşluk ve kullanım alanlarındaki sıcaklıkları ölçmek için yerleştirilen ısılıçiftlerde tüm senaryoların sonunda kullanım alanlarında ölçülen sıcaklıklar kullanıcıları ve yapısal bütünlüğü tehdit edecek seviyelere ulaşmamıştır. Duman tahliyesi ve kullanım alanlarında sıcaklık

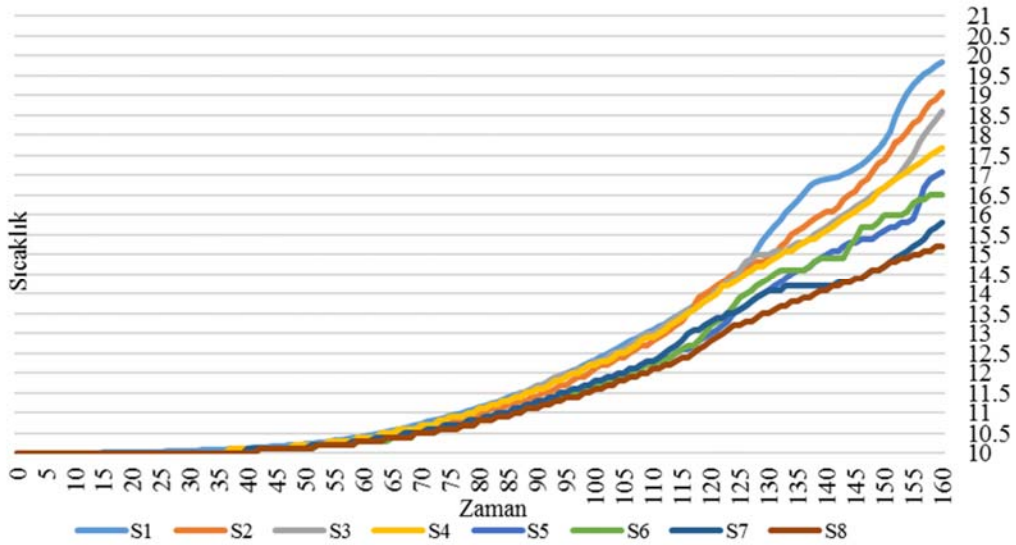
kontrolü için tasarlanan boşluktaki hava çıkışları bütün senaryolarda başarılı olarak duman ve alev tahliye edebilmiştir. Boşluk yoluyla yangının yayılımında riskli bölge olan son kattaki mekândaki sıcaklık değeri boşluk genişliği azaldıkça azalırken, atrium boşluğu zemin seviyesinde ise boşluk genişliği azaldıkça sıcaklık artmıştır. 50 cm boşluk genişliğinde olan son kattaki mekân sıcaklığı 17,7°C, atrium zemin seviyesi sıcaklığı 45,7°C olmuştur. Boşluk yüksekliği artkça son kat mekândaki sıcaklık değerlerinin düştüğü görülmüş ve 50 cm genişlik ve bina seviyesi üzerinde yükseklikteki boşluklarda en iyi performans gerçekleşmiştir. Toplam 8 adet senaryoda son kat mekândaki sıcaklık değeri S7'de 15,8°C, S8'de 15,5°C olarak görülmüştür (Şekil 19). Ayrıca atrium hava çıkışına yakın seviyedeki ısılıçiftte (Thcp05) ölçülen değerler boşluk genişliği azaldıkça ve yüksekliği artkça önemli ölçüde azalmıştır. Bu durum boşluk genişliğinin azalması ve yüksekliğinin artırılması ile duman ve alevlerin atrium boşluğu yerine tahliye boşluğu yoluyla tahliyesinin daha etkin gerçekleştiğini göstermiştir. Ayrıca son kat tahliye boşluğu seviyesindeki ısılıçiftte (Thcp03) sıcaklık değerlerinin S4 ve S7 senaryolarında yüksek olması bu durumu desteklemiştir (Tablo 5).

Tablo 5. Senaryolara göre ısılıçiftlerde ölçülen sıcaklıklar (°C)
(Measured temperatures in thermocouples according to scenarios)

Senaryo	Son kat mekânı	Boşluk son kat	Atrium zemin	Atrium son kat
S1	19,90	36,00	31,18	37,48
S2	19,10	33,70	29,10	36,80
S3	18,60	23,70	28,70	38,60
S4	17,70	42,80	45,70	34,60
S5	17,10	22,00	34,30	25,90
S6	16,50	17,40	29,00	22,30
S7	15,80	40,30	41,10	23,50
S8	15,50	37,30	42,90	25,00

5. Sonuçlar (Conclusions)

İç mekânlarda oluşan hava akımını etkin bir şekilde yönlendirerek uygun havalandırma koşulları sağlamak amacıyla tercih edilen bina iç boşlukları, bir yangın olayında duman ve alevlerin diğer mekânlara yayılımında risk oluşturabilirken, doğru tasarım yöntemleri ile duman tahliyesi için çözüm olabilmektedir. Bu bağlamda çalışma kapsamında bir cephesinde güneş bacası ve çift kabuklu cephe boşluğu çalışma prensibinden faydalanılarak tasarlanan tahliye



Şekil 19. Son kat mekânda senaryolara ait sıcaklık değerleri (Temperature values for the scenarios for the last floor office room)

boşluğu ve diğer yanında atrium boşluğu bulunan 3 katlı prototip bir binada duman, alev yayılımı ile sıcaklık ve iç mekânda oluşan hava akım hızlarının gözlemlenebileceği senaryolar hazırlanmış ve duman tahliyesi ve alev yayılımını küçültmek için etkin performansa sahip olabilecek boyutlandırma odaklı tasarım yaklaşımı incelenmiştir. Çalışma ile herhangi bir pasif ve aktif yangın güvenlik önlemi yapılmaksızın ve binada bütün havalandırma ve hava çıkışlarının açık olduğu koşuldaki yangın olayında alev, duman ve sıcaklık analizi yapılmaktadır. İlave tedbir alınmaması sebebiyle yalnızca tahliye boşluğu boyutlarının boşlukta oluşacak baca etkisine katkısı incelenmiştir.

Tahliye boşluğu genişliği azaldıkça duman ve alevlerin boşluğa geçme süresi önemli ölçüde kısalmış ve boşluktaki hareket hızı artarak etkin duman tahliyesinin gerçekleşebildiği test edilmiştir. Genişliği az olan tahliye boşluğu senaryolarında kullanım mekânları ve hol için sıcaklık ve duman diğer senaryolara göre daha uygun seviyede olmuştur. Boşluk genişliğinin azaltılması duman ve alevlerin boşluk yoluyla tahliyesi ve diğer kullanım alanlarında yangının etkisinin azaltılması için birincil çözüm olacaktır. Bu çözüm kullanım alanlarında duman, alev ve sıcaklıkların riskli düzeylere ulaşmadan tahliyenin gerçekleşmesini sağlarken, atriuma dumanların geçişinin önlenmesi ve yangın odasındaki duman ve alevlerin riskli seviyelere ulaşmadan tahliyenin gerçekleşmesi için yağmurlama sistemi, duman perdeleri, mekanik tahliye sistemleri gibi ek çözümlere ihtiyaç vardır.

Yüksekliği bina seviyesindeki tahliye boşluklarına alternatif olarak boşluk yüksekliklerinin bina seviyesinin üzerinde tasarlanması baca etkisini artırarak duman ve alevlerin boşluğa geçme süresini azaltmakta, boşluktaki hava akım hızını artırmakta ve yangının hızlı ve diğer mekânlara taşınmadan tahliyesinin yapılmasını sağlamaktadır. Boşluk yüksekliğinin bina üst kotundan hangi seviyeye kadar artırılacağı hususunda yapılan analiz ise boşluğun bir kat yüksekliğinde artırılması ile toplam bina yüksekliğinin yarısı kadar artırılması durumunda sıcaklık değerinin yakın, boşluktaki alev ve hava akım hızlarının aynı olduğunu göstermektedir. Bu durum boşluktaki baca etkisinden optimum düzeyde faydalanmak için boşluk yüksekliğinin bina seviyesinden yalnızca bir kat yüksekliğinde artırılması sonucu yüksek hava akımı ile binadan duman tahliyesi etkin bir şekilde gerçekleşmekte ve yangın odası harici diğer mekânlarda yangının etkisi en az düzeyde olmaktadır. Yeşil binalardaki iç mekânlarda doğal havalandırma kontrolü için önemli bir tasarım parametresi olmasına rağmen bir yangın olayında duman ve alevlerin yayılmasında risk oluşturan düşey iç boşluklarda genişlik ve yüksekliklerin uygun boyutlarda tasarlanması yoluyla yangın anında risk oluşturan bu boşlukların yangın güvenliği tasarımına katkılar sunabileceği görülmektedir.

Kaynaklar (References)

- Chen Y., Zhou X., Zhang T., Hu Y., Yang L., Turbulent smoke flow in evacuation staircases during a high-rise residential building fire, *International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow*, 25 (3) 534–549, 2015.
- Shi W.X., Ji J., Sun J.H., Lo S. M., Li L.J., Yuan X.Y., Influence of staircase ventilation state on the airflow and heat transfer of the heated room on the middle floor of high rise building, *Applied Energy*, 119, 173–180, 2014.
- Lai C.M., Chen C.J., Tsai M.J., Tsai M.H., Lin T.H., Determinations of the fire smoke layer height in a naturally ventilated room, *Fire Safety Journal*, 58, 1–14, 2013.
- Chow W.K., Hung W.Y., On the fire safety for internal voids in highrise buildings, *Building and Environment*, 38 (11), 1317–1325, 2003.
- Chow W.K., Zhao J.H., Scale modeling studies on stack effect in tall vertical shafts, *Journal of Fire Science*, 29 (6), 531–542, 2011.
- Krol M., Numerical studies on the wind effects on natural smoke venting of atria, *International Journal of Ventilation*, 40 (1), 67–78, 2016.
- Meroney R.N., Wind effects on atria fires, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 99 (4), 443–447, 2011.
- Yuen C.Y., Chen B.Y., Yang W., Wang C., Li A., Yeoh Q.N., Chan C. M., Natural ventilated smoke control simulation case study using different settings of smoke vents and curtains in a large atrium, *Fire*, 2 (1), 7–24, 2019.
- Chow C.L., Li J., An analytical model on static smoke exhaust in atria, *Journal of Civil Engineering and Management*, 16 (3), 372–381, 2010.
- Ivanov M.L., Peng W., Wang Q., Chow W.K., Sustainable smoke extraction system for atrium: a numerical study, *Sustainability*, 13 (13), 7406, 2021.
- Montes C.G., Rojas S., Kaiser A.S., Viedma A., Numerical model and validation experiments of atrium enclosure fire in a new fire test facility, *Building and Environment*, 43 (11), 1912–1928, 2008.
- Montes C.G., Rojas S., Viedma A., Rein G., Experimental data and numerical modelling of 1.3 and 2.3 MW fires in a 20 m cubic atrium, *Building and Environment*, 44 (9), 1827–1839, 2009.
- Kahrman S., Experimental analysis of fire-induced flows for the fire-safe design of double-skin facades, Doctor of Philosophy, The University of Edinburgh, Edinburgh, 2016.
- Chow C.L., A qualitative investigation on double-skin façade fires, MATEC Web of Conferences, Paris, France, 3007-3015, 2013.
- Thomas G., Al-Janabi M., Donn M., Designing double skin facade venting regimes for smoke management, *Fire and Materials*, 42 (5), 549-560, 2018.
- Chow C. L., Numerical studies on smoke spread in the cavity of a double-skin façade, *Journal of Civil Engineering and Management*, 17 (3), 371–392, 2011.
- Ding W., Minegishi Y., Hasemi Y., Yamada T., Smoke control based on a solar-assisted natural ventilation system, *Building. Environment*, 39 (7), 775–782, 2004.
- Ding W. and Hasemi Y., Smoke control through a double-skin façade used for natural ventilation, *ASHRAE Transactions*, 112 (1), 181–188, 2006
- Chow C.L., Chow W.K., Initial buoyancy reduction in exhausting smoke with solar chimney design, *Journal Heat Transfer*, 132 (1), 1–3, 2010.
- Cheng X., Shi L., Dai P., Zhang G., Yang H., Li J., Study on optimizing design of solar chimney for natural ventilation and smoke exhaustion, *Energy and Buildings*, 170, 145–156, 2018.
- Çetin S., Beyhan F., A model based on performance analysis on the relationship of fire development – smoke spread, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 37 (2), 825-842, 2022.
- The Society of Fire Protection Engineers, SFPE handbook of fire protection engineering, Fifth edition, Springer, New York, 2016.
- National Fire Protection Association, NFPA 92 standart for smoke control systems, 2021 edition, National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, 2021.
- Mcgrattan K., Hostikka S., McDermott R., Floyd J., Weinschenk C., Overholt K., Fire dynamics simulator, technical reference guide, Sixth edition, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, 2013.