



A model based on performance analysis on the relationship of fire development -smoke spread

Sevinç Çetin^{1*}, Figen Beyhan²

¹Republic of Turkey Ministry of Health, Ankara Provincial Health Directorate, Ankara, 06105, Turkey

²Department of Architecture, Faculty of Architecture, Gazi University, Ankara, 06570, Turkey

Highlights:

- Development of competent and adequate strategies in fire safety design of buildings
- Evaluation of the fire development and smoke propagation in buildings via simulation
- Comparison of fire protection measures to prevent fire development and smoke propagation

Keywords:

- Fire development
- Smoke propagation
- Performance based analysis
- FDS
- Pyrosim

Article Info:

Research Article
Received: 20.01.2021
Accepted: 21.08.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.865597

Correspondence:

Author: Sevinç Çetin
e-mail:
sevinc_ari@hotmail.com
phone: +90 542 423 3645

Graphical/Tabular Abstract

This study provides a model to monitor fire development and smoke propagation in buildings and to take effective measures regarding fire safety in buildings.

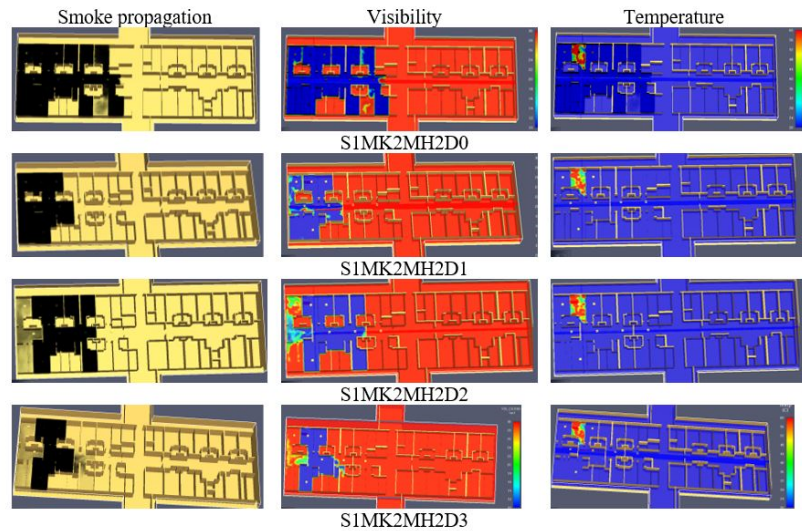


Figure A. An example of smoke propagation, visibility, and temperature changes according to the number of smoke curtains

Purpose: Predicting the conditions of the fire environment provides guidance for the development of competent and adequate strategies in the design of fire-safe buildings. Performance analysis-based fire safety design is one of the methods that helps to monitor the development of fire and its products propagation. This study presents a model that systematizes and facilitates the performance-based analysis processes in fire safety design of buildings.

Theory and Methods:

The model, whose system components are determined based on the system analysis method, consists of five stages. Pyrosim simulation program, that includes FDS (Fire Dynamics Simulator) software was used to determine the changes in smoke propagation, visibility, temperature changes, and CO concentration. The designed model was applied to the patient bedroom storey of a hospital building, and the current situation and the situations after the suggestions for improvement were evaluated comparatively.

Results:

Research results revealed that the basic parameters determining the fire environment are smoke propagation and visibility. In case of using smoke curtains and the smoke extraction fans, the smoke density decreases significantly with the increasing fan speed. The activation of the automatic sprinkler system is effective in reducing the temperature in the fire environment.

Conclusion:

Performance analysis-based design provides a basis for development and evaluation of fire protection measures based on the project's needs. The effects of performance-based analysis should be taken into consideration in the fire safety design process of buildings.



Yangın gelişimi - duman yayılımı ilişkisi üzerine performans analizlerine dayalı bir model

Sevinç Çetin^{1*}, Figen Beyhan²

¹Ankara İl Sağlık Müdürlüğü, Destek Hizmetleri Başkanlığı, 06105 Yenimahalle Ankara, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 06570 Maltepe Ankara, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- Yangına güvenli bina tasarımında yetkin ve yeterli stratejilerin geliştirilebilmesi
- Binaların yangın gelişimi ve duman yayılımının benzetim yoluyla değerlendirilmesi
- Yangın gelişimi ve duman yayılımını önlemek için yangından korunma önlemlerinin karşılaştırılması

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 20.01.2021

Kabul: 21.08.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.865597

Anahtar Kelimeler:

Yangın gelişimi,
duman yayılımı,
performansa dayalı analiz
süreci,
FDS,
pyrosim

ÖZ

Yangının seyrinin ve oluşacak koşulların önceden bilinmesi, yangına karşı güvenli bina tasarımlarında geliştirilecek stratejilerin doğruluğu ve uygulanabilirliği bağlamında yol gösterici olmaktadır. Bu bağlamda performans analizlerine dayalı yangın güvenlik tasarımları, yangın olaylarının gelişimini ve sonuç ürünlerinin yayılımını izlemeye yardımcı olan yöntemlerdendir. Yangına güvenli bina tasarımında yetkin ve yeterli stratejilerin geliştirilebilmesi amacıyla yangın ve sonuç ürünlerinin izlenebiliyor olmasının önemine dikkat çeken bu çalışmada, performansa dayalı analiz süreçlerinin işleyişini sistematikleştiren ve kolaylaştıran bir model tasarlanmıştır. Sistem analizi yöntemi esas alınarak, sistem bileşenleri belirlenen model beş aşamadan oluşmaktadır. Duman yayılımı, görüş mesafesi, sıcaklık değişimi ve CO yoğunluğu değişimlerinin belirlenmesinde FDS (Fire Dynamics Simulator) yazılımını içerisinde barındıran, kullanıcı ara yüzü olarak çalışan Pyrosim benzetim programı kullanılmıştır. Tasarlanan model bir hastane binasının yatak katında uygulanmış, mevcut durum ile iyileştirme önerileri sonrasındaki durumlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, yangın ortamını belirleyen temel parametrelerin duman yayılımı ile görüş mesafesi olduğu görülmüş, duman tahliye fanı ve duman perdelerinin kullanılması durumunda artan fan debisi ile duman yoğunluğunun önemli miktarda azaldığı tespit edilmiştir. Yangının çıktığı mekândaki otomatik yağmurlama sisteminin başarılı bir şekilde çalışması ortamdaki sıcaklığın düşürülmesinde etkili olmuştur. Performans analizlerine dayalı tasarım, projenin ihtiyaçlarına göre yangından korunma önlemlerinin değerlendirilmesi ve geliştirilmesi için bir temel sağlamaktadır.

A model based on performance analysis on the relationship of fire development -smoke spread

H I G H L I G H T S

- Development of competent and adequate strategies in fire safety design of buildings
- Evaluation of the fire development and smoke propagation in buildings via simulation
- Comparison of fire protection measures to prevent fire development and smoke propagation

Article Info

Research Article

Received: 20.01.2021

Accepted: 21.08.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.865597

Keywords:

Fire development,
smoke propagation,
performance-based analysis,
FDS,
pyrosim

ABSTRACT

Predicting the conditions of the fire environment guides for the development of competent and adequate strategies in the design of fire safe buildings. Performance analysis-based fire safety design is one of the methods that helps to monitor the development of fire and its products propagation. This study presents a model that systematizes and facilitates the performance-based analysis processes in fire safety design of buildings. The model, whose system components are determined based on the system analysis method, consists of five stages. Pyrosim simulation program, which works as a user interface that includes FDS (Fire Dynamics Simulator) software was used to determine the changes in smoke propagation, visibility, temperature changes, and CO concentration. The designed model was applied to the patient bedroom storey of a hospital building, and the current situation and the situations after the suggestions for improvement were evaluated comparatively. Research results revealed that the basic parameters determining the fire environment are smoke propagation and visibility. In case of using smoke curtains and the smoke extraction fans, the smoke density decreases significantly with the increasing fan speed. In addition, the activation of the automatic sprinkler system is effective in reducing the temperature in the fire environment. Performance analysis-based design provides a basis for development and evaluation of fire protection measures based on the project's needs.

*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : *sevinc_ari@hotmail.com, figenbeyhan@gmail.com / Tel: +90 542 423 3645

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yangın olayları tamamen yok edilemeyen ancak yönetilebilir bir risk olarak ele alınabilmektedir. Yangının kontrol altına alınarak can güvenliğinin sağlanması, bina ile içindeki mal varlığının korunması ve binanın yangın güvenlik seviyesinin kabul edilebilir bir risk aralığı (bir yangın olayında, bina kullanıcılarının hesaplanan kaçış süreleri içerisinde yangın etkilerine maruz kalmayacakları güvenli kaçış olanaklarının sağlandığı durum) içerisinde tutulmak istenmesi kapsamında oluşturulan yangından korunma önlemlerine ilişkin kurallar genelde bina kodları ve standartları vasıtasıyla, çeşitli gerekliliklerin listelendiği düzenlemeler şeklinde uygulanmış ve yeni gereksinimler ortaya çıktıkça mevcut olanların üzerine eklenerek yıllarca geliştirilmiştir [1]. Günümüzde de bu hükme dayalı mevzuatlar, kabul edilebilir bina yangın güvenlik seviyesini belirleyen birincil araç olmaya devam etmektedir [2]. Ancak, ne kadar geliştirilseler de hükümlere dayalı bu kurallar binaların, altyapıların, teknik sistemlerin ve toplumun ihtiyaçlarının karmaşıklığı giderek arttığı için binaların yangın güvenliğini sağlamada sınırlı veya yetersiz kalmakta, değişen malzemelere, yapı sistemlerine ve radikal mimari kararlara uyum sağlayamamaktadırlar [3, 4]. Bu nedenle performans dayalı yangın güvenliği tasarımı, binalarda etkin ve yeterli yangın güvenliği sağlamak için rasyonel bir araç olarak dünya çapında kabul görmekte [5, 6] ve dünyanın birçok ülkesinde tasarım esnekliği, maliyet ve elde edilebilecek kalite konusunda sağladığı faydalar ile daha fazla benimsenmektedir [7, 8].

Yangın esnasında can güvenliğinin tehlikeye girmesi yangından dolayı binanın çökmesiyle değil, yüksek sıcaklıklara, zehirli ve tahriş edici gazlara, düşük oksijen seviyelerine ve dumana maruz kalmaktan kaynaklanmaktadır [9]. Aynı zamanda azalan görüş mesafesi, kullanıcıların kaçış hızını azaltmakta ve daha fazla süre dumana maruz kalınmasına sebebiyet vermektedir. Kullanıcılar çok yüksek sıcaklıklara veya yüksek yoğunluklarda duman veya zehirli gazlara maruz kaldığında yaralanma veya ani ölümler olmaktadır [10, 11]. Bir başka deyişle, binalarda yangın durumunda ortamın kullanıcıların dayanamayacakları koşullara ulaşma süresini tayin eden temel parametreler dumanın yayılması ve görüş mesafesinin azalmasıdır. Can güvenliği için duman ve ısı etkilerinden arındırılmış ya da maruz kalma süresinin sınır değerleri aşmayacağı bir tasarım ile optimum koşulların oluşturulması gerekmektedir [11]. Pek çok parametrenin bir arada değerlendirilerek optimum çözümlere ulaşılmasını gerektiren binalarda yangın güvenliği tasarımı sürecinde performans analizlerinden faydalanılmaktadır [12, 13]. Performans analizleriyle yangın güvenliği tasarımının mimari tasarım sürecine entegre edilmesi bu noktada önemli olmaktadır.

Gelişmiş benzetim programlarının kullanımıyla bugün yangınlar gerçeğe yakın bir şekilde modellenebilmekte, yangın durumunda yangının nasıl gelişeceği ve dumanın nasıl yayılacağı izlenebilmektedir [14]. Binaların yangın güvenliğinin tasarımı, binadan binaya değişkenlik gösteren,

içerisinde pek çok gereksinimin mevcut olduğu, karmaşık olarak nitelendirilebilecek bir süreçtir. Bu süreç kapsamındaki karmaşık etkileşimlerin çözümlenebilmesine yönelik doğru analizlerin yapılabilmesi ve tutarlı sentezlere ulaşılabilmesi için uygun yöntemlerin kullanılması gerekmektedir. Ancak, binaların yangın güvenlik tasarımında ya da mevcut binaların yangın güvenliğinin iyileştirilmesinde çoğunlukla, güncel mevzuatta belirtilen hükümlerin yerine getirilip getirilmediğinin denetlenmesini kapsayan yaklaşımlar ile yürütülen bir süreç izlenmekte olup, yangın gelişimini ve kullanıcı potansiyellerini dikkate alarak karmaşık problemlerin çözümüne dayalı yöntemler nadiren kullanılmaktadır. Yangın durumunda yangın gelişim sürecinin izlenmesi, en uygun kaçış ortamlarının ve sürelerinin belirlenmesi, tasarlanan binaya özgü doğru yangın güvenlik önlemlerinin saptanmasında yardımcı olmaktadır. Kullanıcıların can güvenliği için duman ve ısı etkilerine maruz kalmayacakları bir tasarım oluşturabilmek, yangın durumunda nasıl koşulların oluşabileceğinin bilinmesini gerektirmektedir. Özellikle hastane binaları hizmet verdiği özel kullanıcı profilleri (fiziksel ve/veya zihinsel kısıtlılıkları olabilecek insanlar) başta olmak üzere, iç örgütlenme düzenleri, yapı malzemeleri, yüzey bitiş malzemeleri, donatıları, cihazları, tesisat sistemleri açısından yangın güvenliği hususunda dikkatle yaklaşılması gereken bina tipleridir. Ayrıca hasta yatak katlarının gelişim sürecinde tasarım eğilimi en fazla iki hastanın kaldığı bireysel hasta odalarına ve doktor odası, hemşire odası, yatak, çarşaf, yastık gibi ekipmanların saklanacağı depolar olmak üzere daha fazla işleve sahip daha geniş koridorlara doğru kaymaktadır. Bu eğilim ile hasta odalarında ve koridorlarda daha yüksek yangın riskleri ortaya çıkmaktadır [15]. Bu nedenlerden dolayı çalışmada performans dayalı analiz süreçlerinin işleyişini sistematikleştiren ve kolaylaştıran bir model tasarlanmış ve geliştirilen model Türkiye’de 2018 yılında Ankara’da yapımı tamamlanmış bir devlet hastanesinin hasta yatak katına uygulanarak sınanmıştır. Hasta yatak katında olası bir yangının gelişim süreci ve duman yayılımının izlenmesi yoluyla optimum kaçış koşullarının tasarımına yönelik önlemler geliştirilmiş, geliştirilen önlemler performans analizleriyle test edilerek etkileri değerlendirilmiş ve uygulanabilir etkin çözümler ortaya konmaya çalışılmıştır. Çalışmanın bulgularında ve sonuçlarında, hasta yatak katlarında benzer mekân tipolojisi ile tasarımı ya da yapımı devam eden hastane binaları için yangın kaçış yollarının güvenlik seviyesinin artırılması hususunda bilgilere ulaşılmıştır. Geliştirilen modelin, hasta yatak katlarında güvenli kaçış yollarının tasarımı hususunda farklı mekân tipolojilerine sahip hastane binaları için uygulanabilme potansiyeli, güvenli yangın kaçış yollarının sağlanmasına dair yürütülen karmaşık tasarım süreçlerinin doğru yönetilmesinde yönlendirici olacaktır.

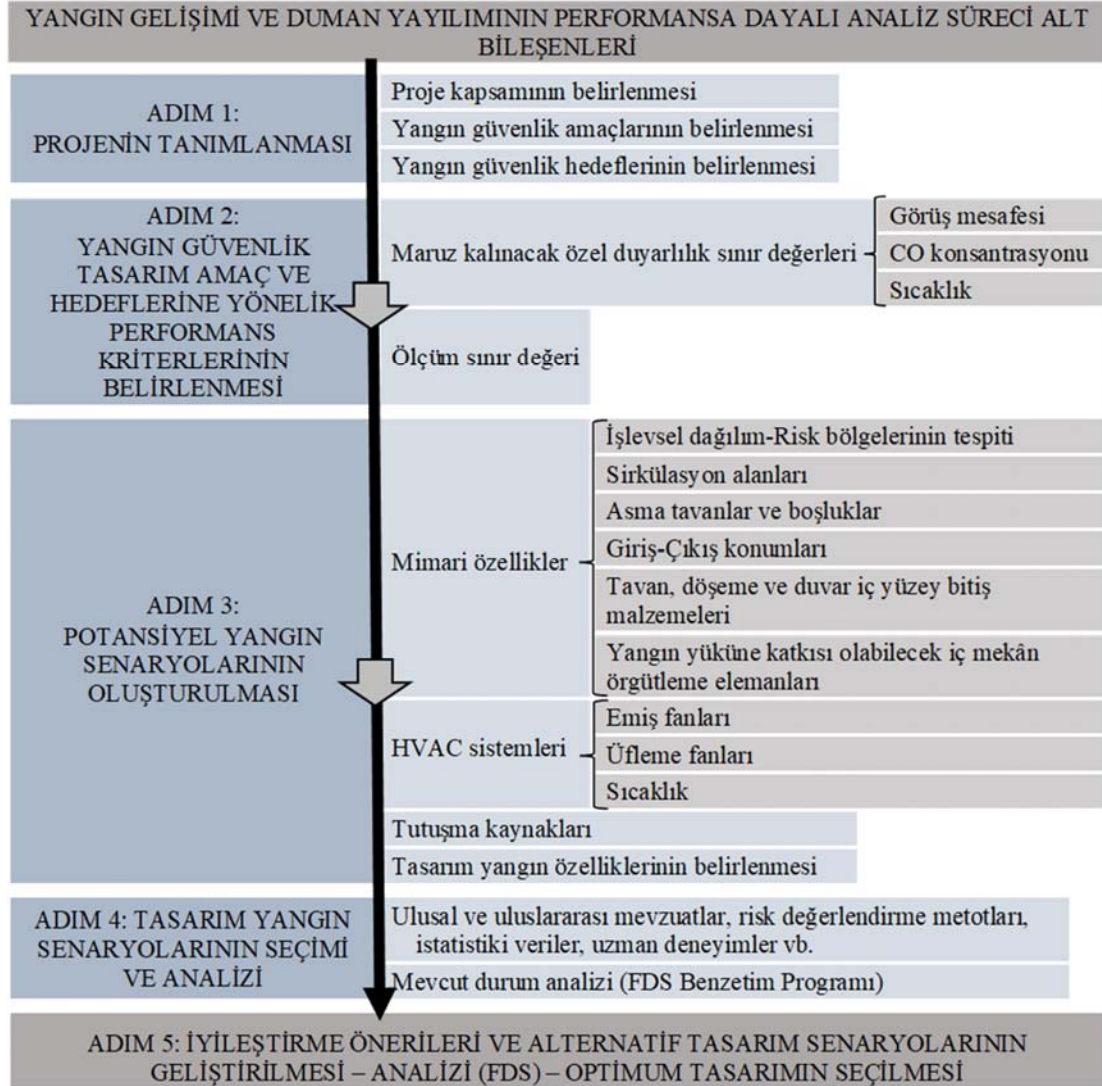
2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Yangın riski bağlamında binalarda can güvenliğinin sağlanması amacıyla gerçekleştirilen yangın güvenlik tasarımında dikkate alınması gereken en önemli parametrelerden olan yangının gelişimi ve dumanın dağılımı süreçlerinin izlenebiliyor olması, geliştirilecek olan

stratejiler açısından son derece önemlidir. Performans analizlerine dayalı yangın güvenlik tasarımı birçok sistem ve sistem alt bileşeninden oluşan karmaşık bir süreçtir. Bu karmaşık sürecin doğru yönetilerek yürütülebilmesi amacıyla geliştirilen model için dünyada yangın güvenlik önlemlerine ilişkin en kapsamlı araştırmaların yapıldığı SFPE (Society of Fire Protection Engineers)' nin performansa dayalı yangın güvenlik tasarımı ve süreci için yapmış olduğu tanım [11] başlangıç noktası olarak kabul edilmiştir. Öncelikle sistem analizi yöntemi kullanılmış ve performans analizlerine dayalı yangın güvenlik tasarımında yangın gelişimi ve duman yayılımına dair geliştirilecek stratejiler için sürecin izlenmesinde yararlanılabilecek birbirleriyle ilişkili temel alt sistem bileşenleri belirlenmiştir. Bu bileşenler; projenin tanımlanması, yangın güvenlik tasarım amaç ve hedeflerine yönelik performans kriterlerinin belirlenmesi, yangın senaryolarının tasarlanması, tasarım yangın senaryosunun seçilerek benzetim programına aktarılması yoluyla analizi ve geliştirilecek iyileştirme

önerilerine dayanarak tasarlanan alternatif tasarım senaryolarının analiz edilmesi ile optimum tasarımın seçilmesi adımlarından oluşmaktadır (Şekil 1).

Sistemin birinci alt bileşeni projenin tanımlanmasıdır. Bina genel işlevi ve alt işlevleri, kullanıcılarının özellikleri, ilgili mevzuat gereklerinin saptanması aşamalarının ardından can güvenliğinin sağlanması, mal kaybının, iş kesintisinin ve çevresel zararın engellenmesi hususlarında temel amaçların belirlenmesi ve bu amaçların gerçekleştirilebilmesi için yangın ve sonuç ürünlerinin yayılmasının sınırlandırılması gibi özelleşmiş hedeflerin ortaya konulması projenin tanımlanması alt sistem bileşeninin kapsamını oluşturmaktadır. İkinci alt sistem bileşeni olan performans kriterlerinin belirlenmesi ise ısı etkileri, zehirlilik oranları, görüş mesafesi gibi can güvenliğine dayalı kriterler ile yangın tutuşma kriteri, yangın büyüme kriteri, yayılma kriteri, yapı elemanlarının yangına dayanım kriteri ve yangının düşeyde ve yatayda yayılma kriteri gibi can



Şekil 1. Yangın gelişimi ve duman yayılımı odaklı performans analizlerine dayalı yangın güvenlik tasarımı modeli
(Fire safety design model based on performance analysis focused fire development and smoke propagation)

güvenliği ile ilgili olmayan eşik değerler ya da değer aralıklarından oluşmaktadır. Üçüncü alt sistem bileşeni, potansiyel yangın senaryolarının oluşturulmasıdır. Potansiyel yangın senaryolarının oluşturulması alt bileşeni, bina özelliklerinin belirlenmesi, iklimlendirme sistemlerinin etkilerinin saptanması, tutuşma kaynaklarının tespit edilmesi, tasarım yangın özelliklerine karar verilmesi aşamalarını kapsayan karmaşık bir süreçtir. Bu sürecin devamında dördüncü alt sistem bileşeni olarak tasarlanan senaryoların seçimi ise uzman bilgisi, yangın risk değerlendirme metodları, NFPA (National Fire Protection Association), BYKHY (Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik) gibi ulusal ve uluslararası mevzuatlardan gelen bilgileri, istatistik verileri, yaşanmış deneyimleri bir arada bulundurmaya, ardından yetkin ve yeterli bir benzetim programının seçimini, modelin hazırlanmasını, ağ yapısının oluşturulmasını ve benzetim parametrelerinin girilerek senaryoların sayısal modele aktarılmasını gerektirmektedir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen bulguların değerlendirilmesi ve hedeflenen performans kriterleri ile karşılaştırılması neticesinde iyileştirme önerilerinin geliştirilerek alternatif senaryoların hazırlanması ve seçilen benzetim programında yeniden analiz edilerek sonuçlarının karşılaştırılıp optimum çözüm önerisine karar verilmesini kapsayan beşinci alt sistem devreye girmektedir.

3. MODELİN UYGULANMASI: HASTA YATAK KATI ÖRNEĞİ (APPLICATION OF THE MODEL: EXAMPLE OF PATIENT BEDROOM STOREY)

Geliştirilen model, kullanıcılarının hareket kısıtlılıklarının söz konusu olabileceği ve hareket esnasında yardıma ihtiyaç duyabilecekleri hastane binalarındaki hasta yatak katı örneğinde sınırlanmıştır. Bu amaçla, hasta yatak katlarında tip plan şeması ile yüksek katlı olarak üretilen ve yapımı 2018 yılında tamamlanan Ankara'da bir hastane binası seçilmiştir. İki blok olarak tasarlanan hasta yatak katlarının bina yüksekliği 34 m'dir. Hastalar, hasta yakınları ve hastalara yardım eden görevlilerin, olası bir yangın olayı esnasında yaralanmalarını en aza indirmek ve can güvenliklerini sağlamak amacıyla geliştirilecek etkin ve yeterli yangın güvenlik önlemlerinin geliştirilebilmesi amacıyla, geliştirilen model adım adım uygulanarak yangının gelişimi ve duman yayılımı izlenmiştir. Yangın durumunda, hasta yatak katında bulunan kaçış yolları dayanılmaz koşullara ulaşmadan önce tüm kullanıcıların güvenli ve hızlı bir şekilde kattan ayrılmasını ve güvenli bir yere ulaşmalarını sağlayabilmek amacıyla uygun kaçış süreleri ve optimum kaçış koşulları incelenmiştir.

3.1. Projenin Tanımlanması- Adım 1 (Defining the Project- Step 1)

Sürecin ilk adımı olan projenin tanımlanmasında projenin kapsamı ile yangın güvenliği amaç ve hedefleri belirlenmiştir. Projenin yangın güvenliği amacı; hastaların ve ilgili görevlilerin yangına bağlı yaralanmalarını en aza indirerek ve can kaybını önleyerek kullanıcıların can

güvenliğini sağlamaktır. Yangın güvenlik hedefleri ve performans kriterleri can güvenliğinin sağlanması amacı doğrultusunda saptanmıştır. Projenin yangın güvenliği hedefi, kullanıcıların can güvenliği ile arama ve kurtarma faaliyetlerinin yürütülebileceği koşulları sağlamak amacıyla yangının çıktığı hasta yatak katında hastaların ve görevlilerin yangına ve sonuç ürünlerine (duman, sıcaklık, zehirli gaz vb.) maruz kalmasının engellenmesini gerektirmektedir. Bunun için bilhassa kaçış güzergahlarında dayanılmaz koşullara ulaşılmadan yangının ve dumanın yayılması sınırlandırılmalıdır.

3.2. Performans Kriterlerinin Belirlenmesi-Adım 2 (Identifying Performance Criteria- Step 2)

Sürecin ikinci adımı olan performans kriterlerinin belirlenmesi, tasarım hedeflerinin tasarım performansının değerlendirilebileceği değerlere dönüştürülmüştür. Can güvenliği için performans kriterleri, yangında kullanıcıların maruz kalabileceği özel duyarlılık sınır değerleridir. Bu sınır değerler aynı zamanda hasta yatak katının optimum kaçış koşullarını da belirlemektedir. Çalışma için duyarlılık sınır değerleri zeminden 2 metre yükseklikte değerlendirilmektedir. Analiz edilen parametreler; sıcaklık, CO yoğunluğu ve görüş mesafesidir. Görüş mesafesi, genel olarak ortamın dayanılmaz koşullara ulaşmasındaki ilk tehlike parametresidir. Kullanıcıların hasta olduğu göz ardı edilmemelidir. Çalışma kapsamında belirlenen duyarlılık sınır değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Can güvenliği için performans kriterleri [16-19].
(Performance criteria for life safety [16-19])

Duyarlılık parametreleri	Duyarlılık sınır değerler
Görüş Mesafesi	≤ 10 m.
CO Yoğunluğu	En fazla 1400 ppm
Sıcaklık	En fazla 60°C
Tüm değerler 2 m yükseklikten alınacaktır.	

3.3. Potansiyel Yangın Senaryolarının Belirlenmesi- Adım 3 (Identifying Possible Fire Scenarios- Step 3)

Sürecin üçüncü adımı olan potansiyel yangın senaryolarının belirlenmesi için öncelikle hasta yatak katının özellikleri ve olası meydana gelebilecek yangın özellikleri analiz edilmiştir. Hasta yatak katının özellikleri; mimari özellikleri, yangın yükü, yapısal bileşenler, yangından korunma sistemleri, yapı hizmet ve süreçleri, çalışma özellikleri, itfaiye müdahale olanakları ve çevresel özellikler bakımından ele alınmıştır.

Çalışmada ele alınan hastane binasında hasta yatak katları iki kompartıman alanından oluşmaktadır. Birinci kompartıman alanı her katta 650, 92 m² olup, 10 adet çift kişilik hasta odası, hemşire odası, doktor odası, elektrik odası ve ilaç deposu mahallerini barındırmaktadır. İkinci kompartıman alanı ise her katta 559,03 m² olup 9 adet çift kişilik hasta odası, hemşire odası, doktor odası, elektrik odası ve ilaç deposu bulunmaktadır. Her iki kompartımanda iki adet yangın merdivenine sahiptir. İki kompartıman arasındaki

lobide elektrik odası, depo, sedye ve tekerlekli sandalye parkı, gündüz odası, muayene odası, temizlik odası, mekanik shaft alanı ve kat ofisi bulunmaktadır. Hasta yatak odaları 4,15×7,15×3,40 (h) boyutlarındadır. Hasta odalarından koridora 1,10×2,20 m boyutlarında kapı açılmaktadır. Hasta odaları ayrı bir yangın kompartımanı olarak tasarlanmamıştır, ancak hiçbir hasta odasından diğer bir odaya kapı açık olmadığı sürece duman sızmayacağı varsayılmaktadır. Hasta yatak katlarında bulunan mahallerin döşeme, duvar ve tavan kaplama malzemelerinin yangının yayılmasına ihmal edilebilir katkı sağlayan malzemeler olduğu tespit edilmiştir. Hasta odalarında bulunan yatak, masa, dolap, koltuk gibi mobilyalar ise yangın yüküne önemli katkıda bulunmaktadır. Binada ortam konfor koşullarının sağlanabilmesi amacıyla HVAC (Heating Ventilating and Air Conditioning) sistemi kurulmuştur. Emiş ve üfleme fanlarının yerleri mekanik projesi esas alınarak tanımlanmıştır. Yangının dışa yayılımı bu çalışma kapsamı dışında olduğundan cephe yangınları ve binanın komşu binalarla olan ilişkisi incelenmemiştir.

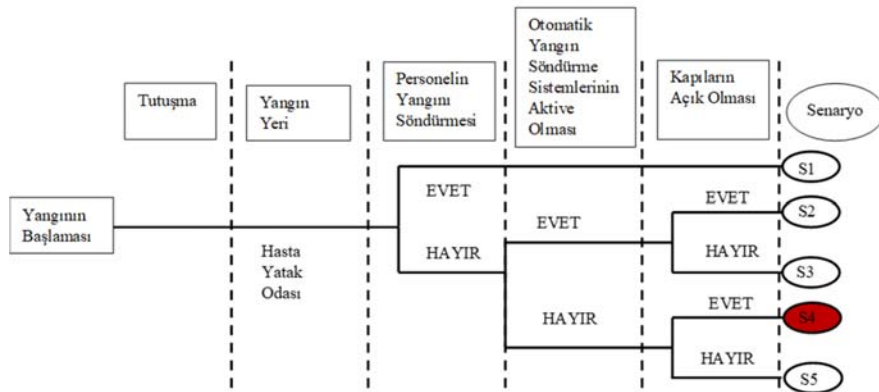
Hasta yatak katında farklı mahallerde potansiyel birer yakıt olabilecek çeşitli maddeler ve/veya eşyalar bulunmaktadır. Bu eşyalar/maddeler farklı yanma ürünleri üreten birkaç farklı malzemenin karışımından oluşmaktadır. Potansiyel yangın senaryoları belirlenirken ele alınan hasta yatak katında yangın çıkabilecek mahaller ve olası tehlike kaynakları belirlenmiştir. Böylelikle yangın özelliklerinin ilk parametreleri olan yangının çıkacağı mahal ve tutuşma kaynağı tespit edilmiştir. Hasta odalarında bulunan medikal cihazların dağınık elektrik kabloları, hemşire odasında bulunan oksijen tüplerinin güvenli bir şekilde tutturulmaması, doktor odasında açık elektrik buatlarının bulunması ve hemşire odasında yetersiz ısınmadan dolayı kullanılan açık alevli elektrik sobaları olası yangın tehlike kaynaklarıdır.

3.4. Tasarım Yangın Senaryosunun Seçimi, Benzetim Programına Aktarılması ve Analizi-Adım 4 (The Selection of Design Fire Scenario, Transferring of Design Fire Scenario into Simulation Program and Analysis- Step 4)

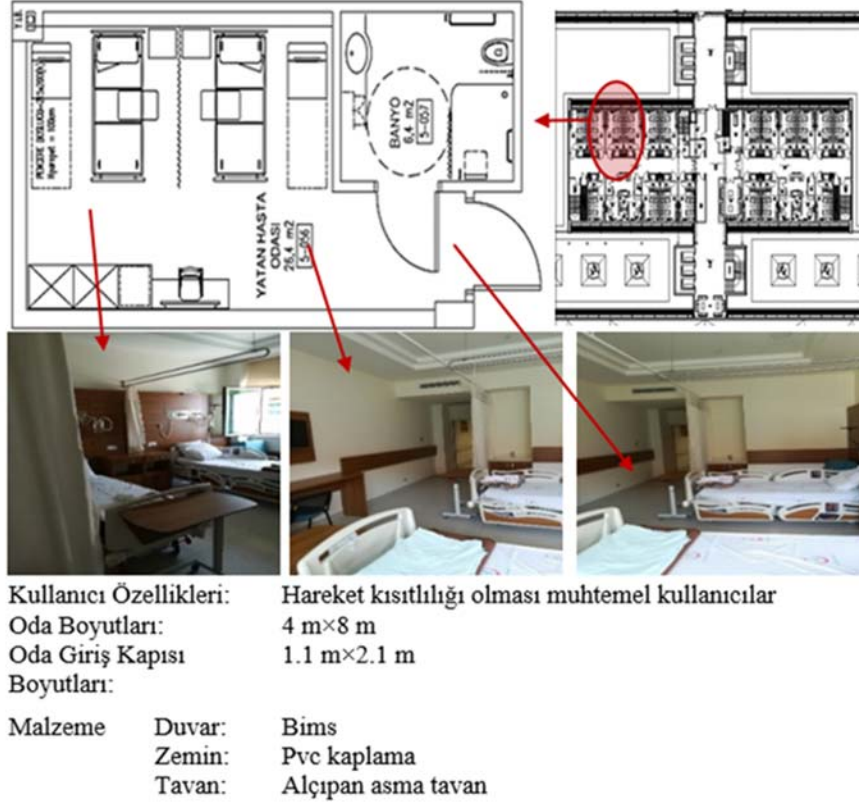
Tasarım yangın senaryosunun seçiminde NFPA 101’ de belirtilen 8 adet yangın senaryosundan tasarım yangın

senaryosu 1’e [20] uygun olarak binanın kullanım sınıfı göz önünde bulundurulmuş, binaya özgü bir alan olan hasta yatak katı ele alınmış ve en kötü senaryo seçilmiştir. NFPA 101 “Can Güvenliği” kodu, can güvenliği ile ilgili amaçları ve diğer hususları tanımlayan ve uluslararası kabul gören can güvenliği odaklı yangın güvenliğinin sağlanmasında yaygın olarak kullanılan uluslararası bir standarttır. BYKHY, yeterli hüküm bulunmayan hususlar için uluslararası geçerliliği kabul edilen standartların kullanılabilceğini belirtmiştir. Senaryoya göre, birincil yakıt olarak hasta yatağı belirlenmiştir. Yangının, yangın güvenlik amaç ve hedeflerine yönelik olarak sadece tutuşma ve büyüme aşaması ele alındığından ikincil yakıtlar tanımlanmamıştır. Hasta yatak katında özellikle hasta yatak odasında çıkan bir yangın yaralanma ve ölümlerle sonuçlanma olasılığı oldukça yüksek olduğu için kabul edilemez bir risk seviyesini temsil etmektedir. Bu nedenle yangının bir hasta yatak odasında elektrikli medikal bir cihazdan çıkan kıvılcımların hasta yatağına tutuşturması doğrultusunda çıktığı varsayılmıştır. Hasta odasında çıkan bir yangının doktor odasında ya da hemşire odasında çıkan bir yangına göre daha geç fark edileceği ve yangına müdahalenin de daha geç olacağı tahmini ile büyüyeceği dikkate alınmıştır. Hasta yatak katındaki kapıların tahliye sırasında ve/veya tahliye öncesinde açık bırakıldığı, hasta odasındaki yağmurlama sisteminin etkinleşmediği veya mevcut olmadığı durumun tanımlandığı tasarım senaryosu (S₄) Şekil 2’de verilmiştir. Şekil 3’te ise hasta yatak odası ve yangının hasta yatak katındaki konumu gösterilmiştir.

Tasarım yangın senaryolarının benzetim programına aktarılması sürecinde hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) mantığı ile benzetim yeteneğine sahip olan Fire Dynamics Simulator (FDS) ve Smokeview yazılımlarını içerisinde barındıran kullanıcı ara yüzü olarak çalışan Pyrosim benzetim programı kullanılmıştır. Aynı zamanda deneysel şartlar aslına uygun modellenerek FDS yazılımı ile yapılan benzetimlerin doğruluğu desteklenmiş ve güvenilirliği tespit edilmiştir. PyroSim benzetim programı ile CAD modellerin üzerine yangın analizi entegreli paralel çözümler yapılabilmektedir. FDS, her bir ağ hücresi için korunum denklemlerini çözmektedir. Yangının ve dumanın gerçeğe yakın modellenmesi açısından hücre



Şekil 2. Tanımlanan tasarım yangın senaryosunun olay ağacında gösterilmesi (Displaying the design fire scenario in the event tree)



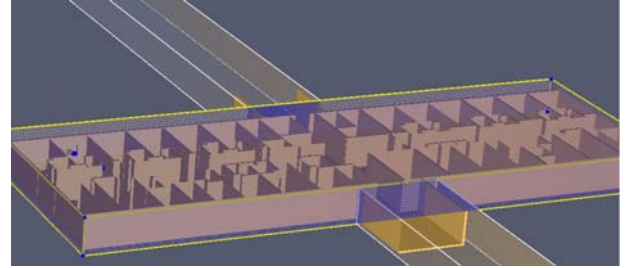
Şekil 3. Tanımlanan yangının hasta yatak katındaki konumu (The location of the design fire on the patient bedroom storey)

boyutlarının optimum boyutta olması önemli bir husustur. Belli bir boyuttan sonra gereğinden küçük ağ elemanları yangın analizlerinin sonucunu çok etkilememekte ve analiz süresinde (CPU time) gereksiz uzamalara sebebiyet vermektedir. Ağ elemanlarının gereğinden büyük olması ise çözüm esnasında iraksamalara ve senaryonun gerçeklikten uzaklaşmasına neden olmaktadır.

Hasta yatak katının 3 boyutlu CAD modelinin Pyrosim programına aktarılmasıyla hasta yatak katını içeren bir çözüm hacmi belirlenmektedir. Bu şekilde sınırları belirlenen hacim üzerine HAD benzetimini yapabilmek için gereken hücre ağ yapısı oluşturulmaktadır. Yapılan çalışmada modelde farklı yoğunlukta ağ yapıları kullanarak optimum değerde ağ yapısı elde edilmiştir. Model ağ yapıları için kenarının uzunluğu 0,2 x 0,2 x 0,2 m olmak üzere; birinci bölümde 892.500 adet, ikinci bölümde 425.250 adet ve üçüncü bölümde 401.625 adet, toplamda ise 1.719,375 adet hücre ağ yapısı kullanılmış ve benzetimler gerçekleştirilmiştir (Şekil 4).

Yangın kaynağı olarak, 1,52 m² yüzey alanına sahip pencereye yakın olan hasta yatağı seçilmiştir. Çeşitli malzemelerin yangın durumunda açığa çıkan ısı oranları literatürde yer almaktadır. Benzetim programına girilmesi gereken ve bir hasta yatağının tutuşmasıyla açığa çıkan ısı oranı (HRR) literatürde 6,5 dakikada 700 kW olarak yer almaktadır [21]. Birim alan başına açığa çıkan ısı oranı (HRRPUA) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (Eş. 1).

$$\begin{aligned} \text{Yatak alanı: } & 1,52 \text{ m}^2 \\ \text{Açığa çıkan ısı oranı (HRR)} & = 700 \text{ kW} \\ \text{Birim alan başına açığa çıkan ısı (HRRPUA)} & = 700 / 1,52 = 460 \text{ kW/m}^2 \end{aligned} \quad (1)$$



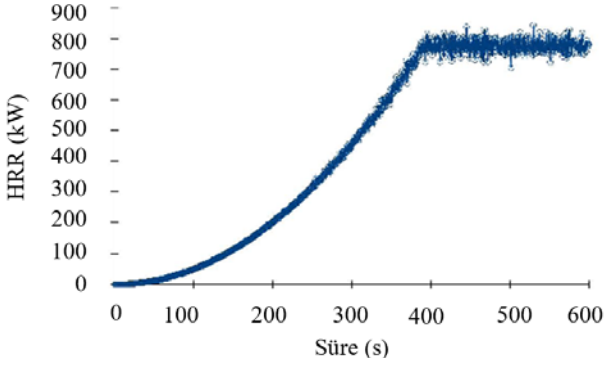
Şekil 4. Benzetim programında oluşturulan hasta yatak katının hücre ağ yapısı

Cell network structure of the patient bedroom storey created in the simulation program)

Tasarım yangın senaryosu için zamana bağlı olarak açığa çıkan ısı oranı değerleri Şekil 5'te verilmiştir. Artarak devam eden HRR değeri 390. saniyede 700 kW'a ulaşmakta ve sonrasında 600 saniyeye kadar sabit olarak devam etmektedir.

Yangın büyüme oranını (α) belirlemek için t² yangınları kullanılmıştır (Eş. 2). Literatürde, hasta yatakları için 0,01-0,005 kW/s² yangın büyüme oranlarının alınabileceği belirtilmiştir [11, 22]. Aşağıda verildiği şekilde hesaplanan

“ α ” değerinin (Eş. 3) ise 0,01-0,005 kW/s² arasında kaldığı bulunmuştur.

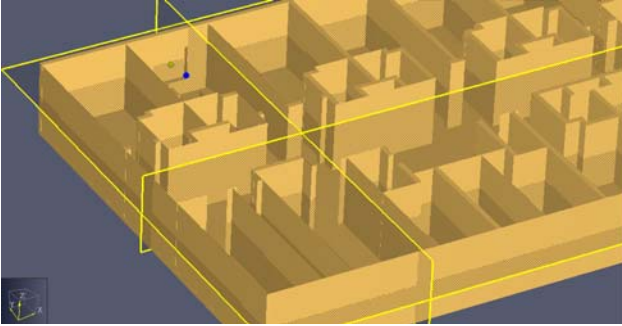


Şekil 5. Analizler için belirlenen tasarım yangın eğrisi
(Design fire curve determined for analysis)

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

$$\begin{aligned} 6,5 \text{ min.} &= 390 \text{ s} \\ 700 \text{ kW} &= \alpha \times (390)^2 \\ \alpha &= 0,0046 \text{ kW/s}^2 \end{aligned} \quad (3)$$

Benzetim esnasında görüş mesafesi, CO yoğunluğu ve sıcaklığı gözlemleyebilmek amacıyla x (yangının çıktığı hasta odası boyunca), y (koridor boyunca) ve z (2 m yükseklikte) eksenleri boyunca dilimler (slice) yerleştirilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. x, y ve z eksenleri boyunca yerleştirilen dilimler
(Slices placed along the x, y, and z axes)

3.5. Kaçış Ortamının Dayanılamaz Koşullara Ulaşma Süresinin Artırılmasına Yönelik İyileştirme Önlemlerinin Belirlenmesi-Adım 5

(Determination of Improvement Measures to Increase the Time for Escape Environment to Reach Intolerable Conditions-Step 5)

Hasta yatak katının dayanılamaz koşullara ulaşma süresini artırmak için oluşturulacak alternatif tasarımlarda dumanın yayılması, kontrolü ve yönetimi ile yangın söndürme önlemleri çerçevesinde iyileştirme önlemleri geliştirilmiştir. Belirlenen senaryo çerçevesinde hasta yatak katı için optimum kaçış koşullarının sağlanmasında duman yayılması ve görüş mesafesinin azalması kontrol altına alınması gereken temel parametreler olarak tespit edilmiştir. Ortamın dayanılamaz koşullara ulaşma süresini artırmak için

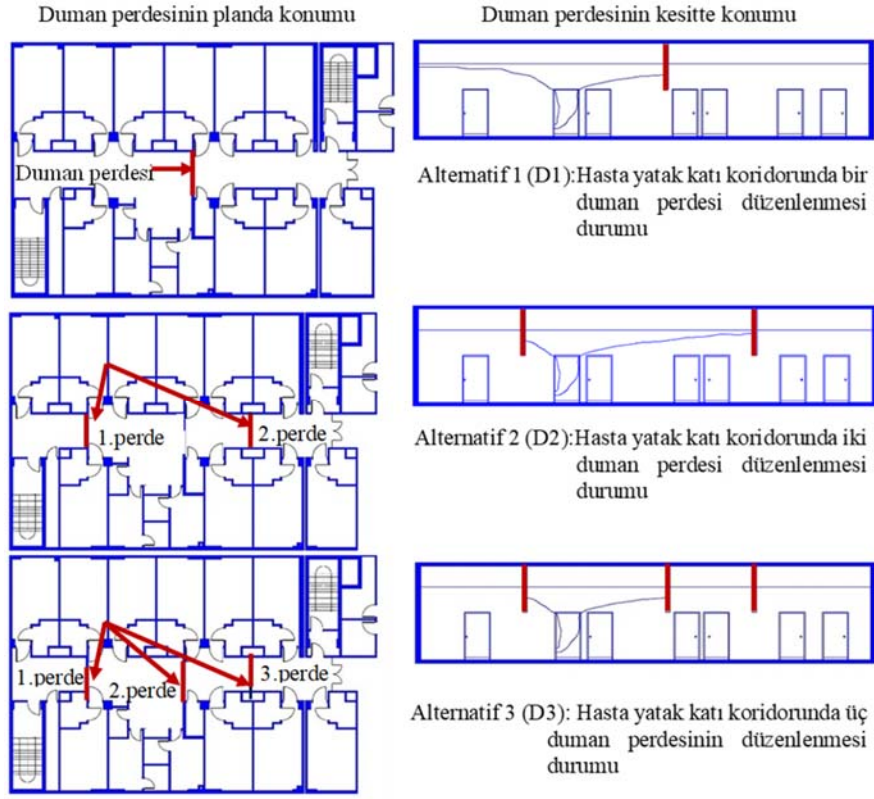
dumanın yayılması, kontrolü ve yönetimi son derece önemlidir. Bu nedenle yangın hâlinde hasta yatak katında duman ve sıcak gazların yapı içindeki hareketini veya yayılımını denetlemek amacıyla öncelikle duman perdesi ve mekanik duman kontrol sistemlerinin tasarıma ilave edilmesi önerilmiştir. Tavanda sabit konumda, uzaktan kapatılabilen veya bir algılayıcı uyarısıyla kapanan, yangına karşı dayanıklı duman perdesi düzenlemeleri Tablo 2’de gösterilmiştir. Tanımlanan alternatifler çerçevesinde oluşturulan senaryolarda; duman perdesinin mevcut olmadığı durum (D0), hasta yatak katı koridorunda bir duman perdesinin düzenlenmesi durumu (D1), hasta yatak katı koridorunda iki duman perdesinin düzenlenmesi durumu (D2) ve hasta yatak katı koridorunda üç duman perdesinin düzenlenmesi durumu (D3) değerlendirilmektedir.

Duman ve zehirli gazların yapı içindeki hareketini veya yayılımını sınırlamak amacıyla hasta yatak katının mevcut iklimlendirme ve havalandırma tesisatına ait kanalların BYKHY’ de yer alan 87. Madde hükümleri doğrultusunda fanların duman ve yangına dayanıklı hale getirilerek duman tahliye fanları olarak kullanılması kapsamında öneriler geliştirilmiştir. Oluşturulan altı senaryoda aşağıdaki durumlar değerlendirilmiştir:

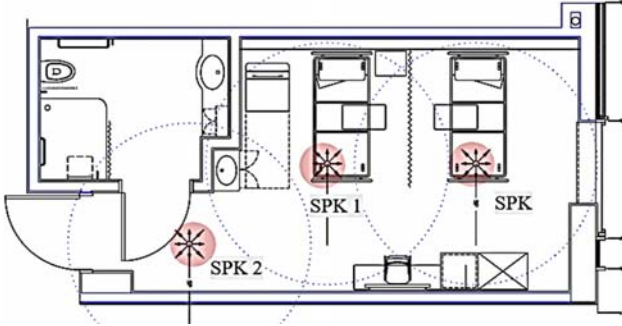
- Hasta yatak katı koridorunda duman tahliyesinde kullanılacak fanların mevcut olmadığı durum (MK0)
- Hasta yatak odalarında duman tahliyesinde kullanılacak fanların mevcut olmadığı durum (MH0)
- Mevcut iklimlendirme ve havalandırma tesisatına ait koridordaki fanların mevcut 0,093 m/s² debisiyle duman tahliyesinde kullanılmasındaki durum (MK1)
- Mevcut iklimlendirme ve havalandırma tesisatına ait koridordaki fanların duman tahliyesinde kullanılıp debisinin 1,25 m/s²’ye artırıldığı durum (MK2)
- Mevcut iklimlendirme ve havalandırma tesisatına ait hasta odasındaki fanların mevcut 0,093 m/s² debisiyle duman tahliyesinde kullanılmasındaki durum (MH1)
- Mevcut iklimlendirme ve havalandırma tesisatına ait hasta odasındaki fanların duman tahliyesinde kullanılıp debisinin 1,25 m/s²’ye artırıldığı durum (MH2)

68°C’ de aktif olacak yağmurlama sistemine ait alternatifler çerçevesinde oluşturulan senaryolarda ise yangın esnasında hasta odasında bulunan yağmurlama sisteminin aktif olmama durumu ya da mevcut olmama durumu (S0) ve yangın esnasında hasta odasında bulunan yağmurlama sisteminin aktif olma durumu (S1), değerlendirilmiştir. Yağmurlama başlıklarının konumu Şekil 7’de verilmiştir, ancak yağmurlama sistemi aktif olması durumunda da duman yayılımını izleyebilmek amacıyla yangını söndürmeyeceği kabul edilmiştir.

Mevcut tasarım için sunulan iyileştirme önlemleriyle oluşturulan alternatif tasarımlar senaryolaştırılarak analizler yapılmıştır. Alternatif tasarımlara ilişkin 20 senaryo tanımlanmış olup Tablo 2’de bu senaryoların özellikleri verilmiştir.



Şekil 7. Önerilen duman perdelerinin plan ve kesitte konumları
(The location of the proposed smoke curtains in plan and section)



Şekil 8. Hasta yatak odasında yağmurlama sisteminin gösterimi
(Illustration of the sprinkler system in the patient bedroom)

Senaryoların hangi iyileştirme önlemlerini kapsadığının daha iyi anlaşılabilmesi için bir kodlama yapılmıştır. “S” harfi yağmurlama sistemini, “M” harfi fanları, “D” harfi ise duman perdesini tanımlamaktadır. Harflerin yanında bulunan “0” rakamı sistemin olmadığını, “1” rakamı sistemin bulunduğunu “2” ise sistem etkinliğinin artırılmış bir şekilde bulunduğunu ifade etmektedir. S0MK1MH1D1 şeklindeki bir kodlama; “yağmurlama sisteminin bulunmadığını, hasta yatak koridorunda ve hasta yatak odalarında duman tahliyesini sağlayan emiş fanlarının bulunduğunu, duman perdelerinin eklendiğini”; S0MK0MH0D0 şeklindeki bir kodlama “yağmurlama sisteminin bulunmadığı, hasta yatak koridorunda ve hasta yatak odalarında duman tahliyesinde kullanılacak emiş

fanlarının olmadığı ve duman perdelerinin düzenlenmediği” mevcut durumu göstermektedir. Karşılaştırma yapmak için 5 yangın senaryo grubu oluşturulmuştur. Her senaryo grubunda yağmurlama sistemi, hasta yatak koridoruna ve hasta yatak odasına eklenen duman tahliye fanları kendi içlerinde sabit tutulmuş, koridora eklenen duman perdelerinin sayısı ise değiştirilmiştir.

4. BULGULAR (RESULTS)

Optimum tahliye süresi dikkate alınarak 600 saniye gerçekleştirilen benzetimde mevcut durum için süreye bağlı olarak duman yayılımı, görüş mesafesi ve sıcaklık izlenmiştir. Tasarım yangın senaryosunun analizi incelendiğinde (Tablo 3) yangının çıktığı hasta yatak odasında CO yoğunluğunun 600 saniye sonunda 850 ppm’ e çıktığı, sıcaklık değerinin 60°C’ ye 178 saniyede ulaştığı ve görüş mesafesinin 10 m’nin altına 90 saniyede düştüğü görülmüştür.

Hasta yatak katı koridorunda ise; CO yoğunluğunun 580 saniye sonunda 1400 ppm’ e çıktığı, sıcaklık değerinin 60°C’ ye 590 saniyede ulaştığı ve görüş mesafesinin 10 m’nin altına 290 saniyede düştüğü tespit edilmiştir. Performans kriterleri olarak belirlenen CO yoğunluğu, sıcaklık ve görüş mesafesi kriterlerinden ilk tehlike parametresi görüş mesafesi olmuştur ve hasta yatak katındaki kaçış koşullarının dayanılmaz koşullara ulaştığı süre 290 saniye olarak tespit edilmiştir. Mevcut duruma ait benzetim görselleri Şekil 9’ da verilmiştir.

Tablo 2. İyileştirme önlemleri çerçevesinde analiz edilecek senaryoların özellikleri
(Characteristics of the scenarios to be analyzed within the framework of improvement measures)

Senaryo Grubu Kodu ve Gruplar	Yağmurlama Sistemi (S1)	Fan koridor debi: 0,093 m ³ /s (MK1)	Fan hasta odası debi: 0,093 m ³ /s (MH1)	Fan koridor debi: 1,25 m ³ /s (MK2)	Fan hasta odası debi: 1,25 m ³ /s (MH2)	Duman perdesi 1 adet (D1)	Duman perdesi 2 adet (D2)	Duman perdesi 3 adet (D3)
S0MK0MH0D0 (Mevcut)	-	-	-	-	-	-	-	-
I	S1MK0MH0D0	√	-	-	-	-	-	-
	S1MK0MH0D1	√	-	-	-	√	-	-
	S1MK0MH0D2	√	-	-	-	-	√	-
	S1MK0MH0D3	√	-	-	-	-	-	√
II	S1MK1MH0D0	√	√	-	-	-	-	-
	S1MK1MH0D1	√	√	-	-	√	-	-
	S1MK1MH0D2	√	√	-	-	-	√	-
	S1MK1MH0D3	√	√	-	-	-	-	√
III	S1MK1MH1D0	√	√	√	-	-	-	-
	S1MK1MH1D1	√	√	√	-	√	-	-
	S1MK1MH1D2	√	√	√	-	-	√	-
	S1MK1MH1D3	√	√	√	-	-	-	√
IV	S1MK2MH0D0	√	-	-	√	-	-	-
	S1MK2MH0D1	√	-	-	√	√	-	-
	S1MK2MH0D2	√	-	-	√	-	√	-
	S1MK2MH0D3	√	-	-	√	-	-	√
V	S1MK2MH2D0	√	-	-	√	√	-	-
	S1MK2MH2D1	√	-	-	√	√	-	-
	S1MK2MH2D2	√	-	-	√	-	√	-
	S1MK2MH2D3	√	-	-	√	-	-	√

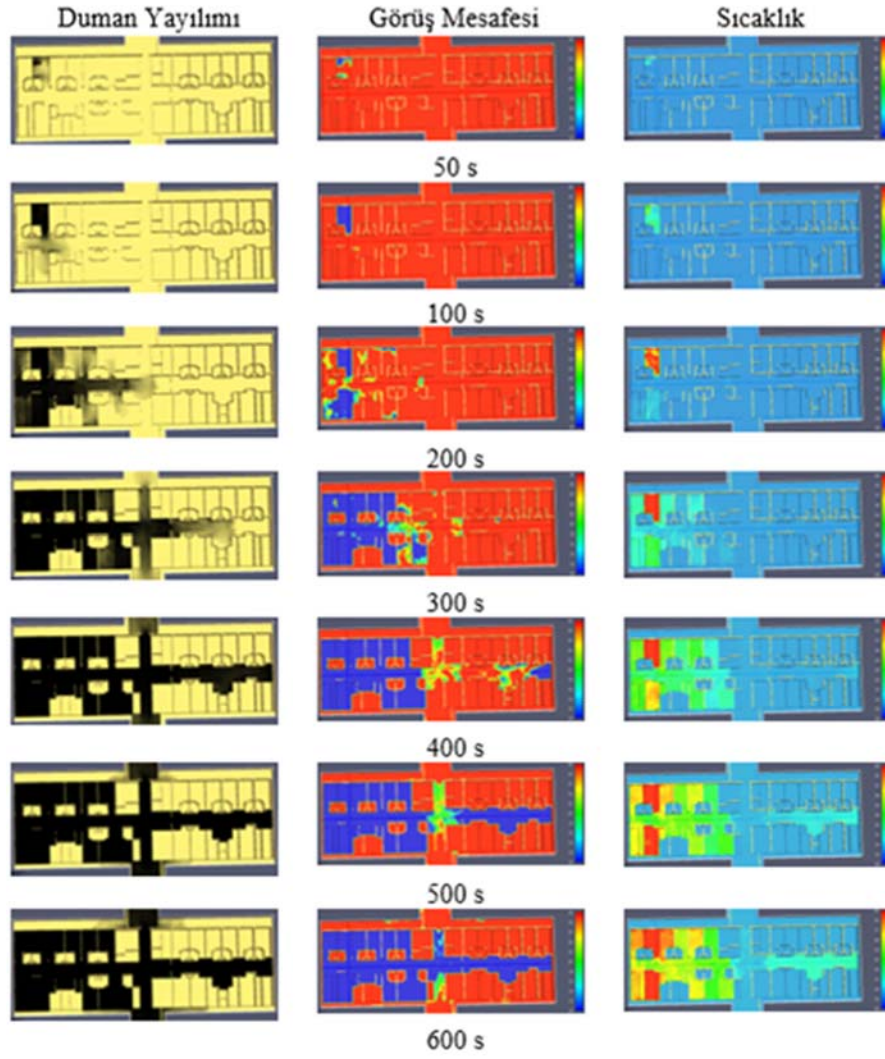
Not: “√” sistemin olduğunu, - ise sistemin olmadığını göstermektedir.

Tablo 3. Tasarım yangın senaryosunun analiz sonuçları (Analysis results of the design fire scenario)

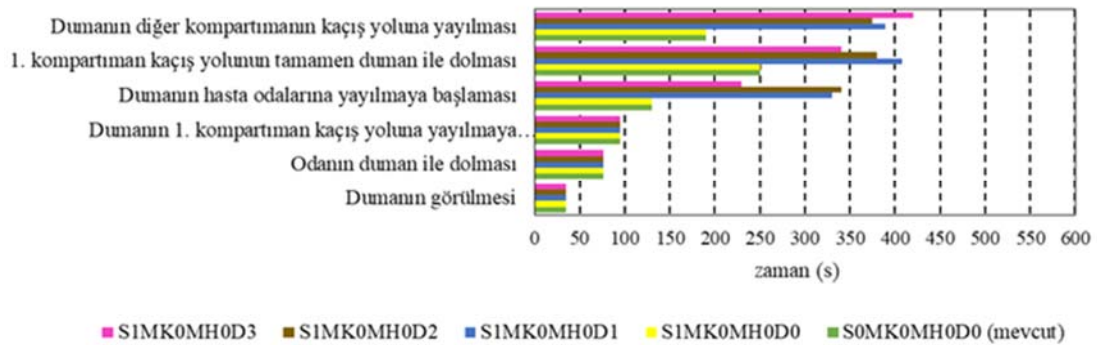
Değerlendirilen performans kriterleri	Sınır değerler	Süre	Dayanılamaz koşullara ulaşma süresi
Yangının çıktığı oda	Görüş mesafesi	10 m.	90 s
	Sıcaklık	60°C	178 s
	CO yoğunluğu	1400 ppm.	600 saniye sonunda 850 ppm
Kaçış yolu boyunca	Görüş mesafesi	10 m.	290 s
	Sıcaklık	60°C	590 s
	CO yoğunluğu	1400 ppm.	580 s

I. grup senaryolar mevcut durum ile karşılaştırıldıklarında; tasarıma duman perdesi eklenmesi önerilerinin dumanın 1.kompartıman kaçış yoluna dolma süresini, hasta odalarına yayılmaya başlama süresini ve 2. kompartımanın kaçış yoluna dolma süresini artırdığı tespit edilmiştir. Ancak 600 saniye sonunda dumanın hasta odalarına ve kaçış yollarına yayıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 10). Bu grubun benzetim görselleri Şekil 11’de verilmiştir. II. grup senaryolarda; hasta yatak koridoruna 0,093 m³/s debi ile çalıştırılan duman tahliye fanlarının eklenmesi dumanın 1.kompartıman kaçış yoluna dolma süresini, hasta odalarına yayılmaya başlama süresini ve 2. kompartımanın kaçış yoluna dolma süresini artırdığı tespit edilmiştir. Ancak 600 saniye sonunda

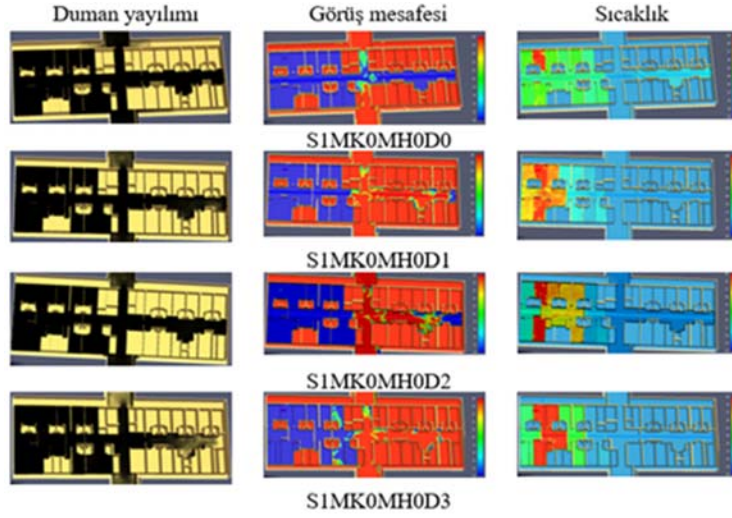
dumanın hasta odalarına ve kaçış yollarına yayıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 12- Şekil 13). III. grup senaryolarda tasarıma hasta yatak koridorundaki fanlara ek olarak hasta yatak odalarına koridordaki duman tahliye fanlarıyla aynı debide duman tahliye fanı eklenmektedir. Dumanın 1.kompartıman kaçış yoluna dolma süresini, hasta odalarına yayılmaya başlama süresini ve 2. kompartımanın kaçış yoluna dolma süresini artırdığı tespit edilmiştir. Ancak 600 saniye sonunda dumanın hasta odalarına ve kaçış yollarına yayıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 14-Şekil 15). Sıcaklıktaki artışın I. grup senaryolarındaki kadar olmadığı gözlenmektedir. II. grup ve III. grup senaryolarda etkili olan iyileştirme önlemleri duman perdeleri olmaktadır.



Şekil 9. Mevcut tasarımda duman yayılımı, görüş mesafesi ve sıcaklık değişimi
(Smoke spread, visibility and temperature change in existing design)



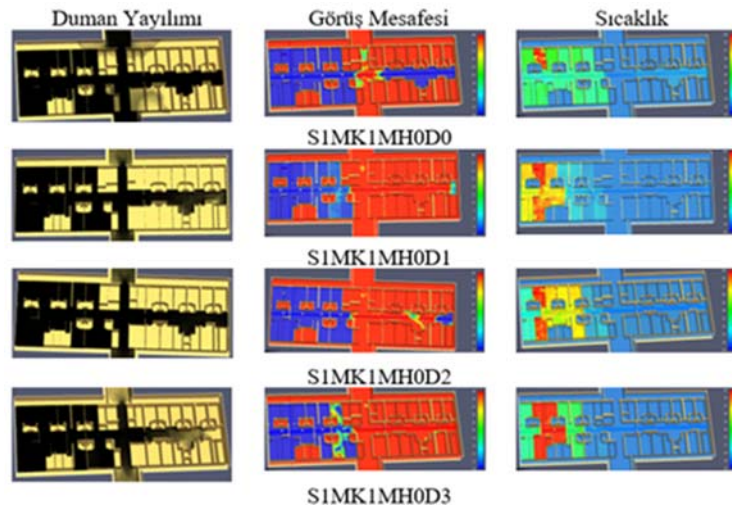
Şekil 10. I. Grup senaryolar için dumanın görülmesiyle başlayan duman yayılımı zaman ilişkisi
(Smoke propagation time relationship starting with the appearance of smoke for group I scenarios)



Şekil 11. I. grup senaryolar için 600 saniye sonunda duman yayılımı, görüş mesafesi ve sıcaklık değişimi
(Smoke spread, visibility and temperature change for group I scenarios at the end of 600 second)



Şekil 12. II. Grup senaryolar için dumanın görülmesiyle başlayan duman yayılımı zaman ilişkisi
(Smoke propagation- time relationship starting with the appearance of smoke for group II scenarios)



Şekil 13. II. Grup senaryolar için 600 saniye sonunda duman yayılımı, görüş mesafesi ve sıcaklık değişimi
(Smoke spread, visibility and temperature change for group II scenarios at he end of 600 second)

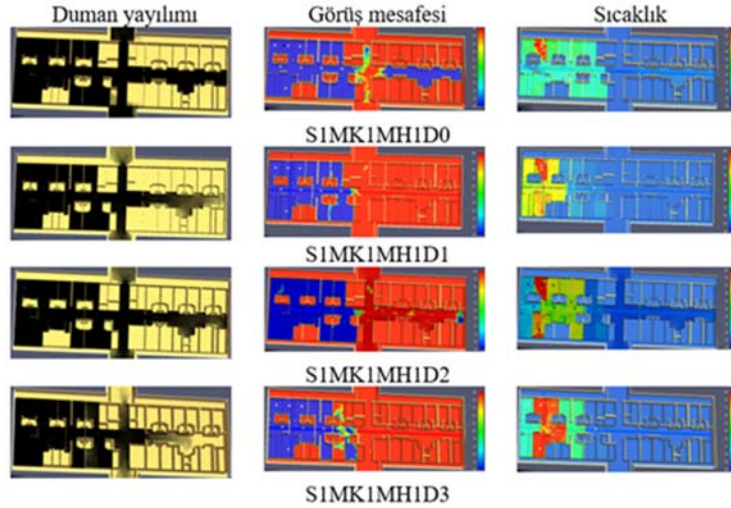
IV. grup senaryolarda tasarımda hasta yatak koridoruna fanların debisi (1,25 m³/s) artırılarak eklenmektedir. Bu grup senaryoların I., II. ve III. grup senaryolarına göre duman yayılımında, sıcaklık değişiminde azalma görülmektedir. Koridora yerleştirilen duman tahliye fanlarının debilerinin artırılmasının etkisi açıkça gözlemlenmektedir. Özellikle tasarıma duman perdelerinin eklenmesiyle senaryolarda

dumanın diğer kompartımanın kaçış yoluna yayılması engellenmiştir (Şekil 16- Şekil 17)

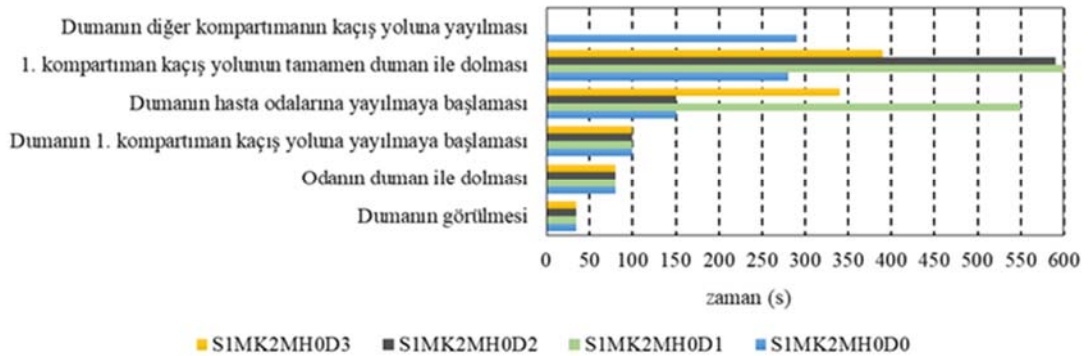
V. grup senaryolarda tasarıma hasta yatak koridorundaki fanlara ek olarak hasta yatak odalarına koridordaki duman tahliye fanlarıyla aynı debide (1,25 m³/s) duman tahliye fanı eklenmektedir. Duman perdesi eklenmemesi durumunda da



Şekil 14. III. Grup senaryolar için dumanın görülmesiyle başlayan duman yayılımı zaman ilişkisi (Smoke propagation time- relationship starting with the appearance of smoke for group III scenarios)



Şekil 15. III. Grup senaryolar için 600 saniye sonunda duman yayılımı, görüş mesafesi ve sıcaklık değişimi (Smoke spread, visibility and temperature change for group III scenarios at the end of 600 second)

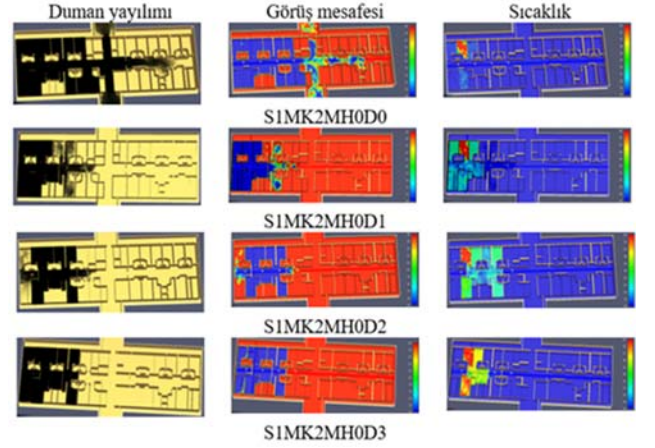


Şekil 16. IV. grup senaryolar için dumanın görülmesiyle başlayan duman yayılımı zaman ilişkisi (Smoke propagation time- relationship starting with the appearance of smoke for group IV scenarios)

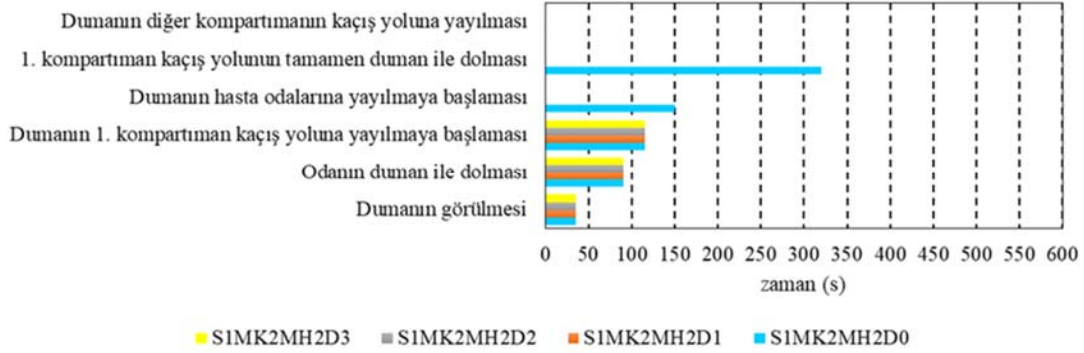
dumanın diğer kompartımanın kaçış yoluna yayılması engellenmiştir. Duman yayılımı V. grup senaryolarda duman yayılımı, sıcaklık değişimi ve görüş mesafesinin değişimi S1MK2MH2D1 senaryosunda duman perdesine kadar, S1MK2MH2D2 senaryosu ile S1MK2MH2D3 senaryosunda birinci ve ikinci perde arasında gözlemlenmiştir. Ancak S1MK2MH2D3 senaryosunda duman perdeleri tarafından oluşturulmuş duman haznesi, S1MK2MH2D2 senaryoda duman perdeleri tarafından oluşturulan duman haznesi boyutlarına göre daha küçük olduğundan duman yayılımı, sıcaklık değişimi, görüş mesafesinin birinci ve ikinci perde arasında daha fazla olmaktadır. V. grup senaryolarda duman yayılımı, sıcaklık değişimi, görüş mesafesinin değişiminde hasta yatak katında daha az sayıda odaların etkilenmesi duman perdelerin varlığının yanı sıra koridora ve hasta odalarına yerleştirilen duman tahliye fanlarının emiş gücünün artırılarak kullanılmasının etkisinin fazla olduğu görülmektedir (Şekil 18- Şekil 19).

I. grup senaryolarda sıcaklık artışı 600 saniye boyunca 2 m. yükseklikte (z dilimi) 60°C'ye ulaşmıştır, ancak duman perdelerinin bulunduğu senaryolarda duman, duman

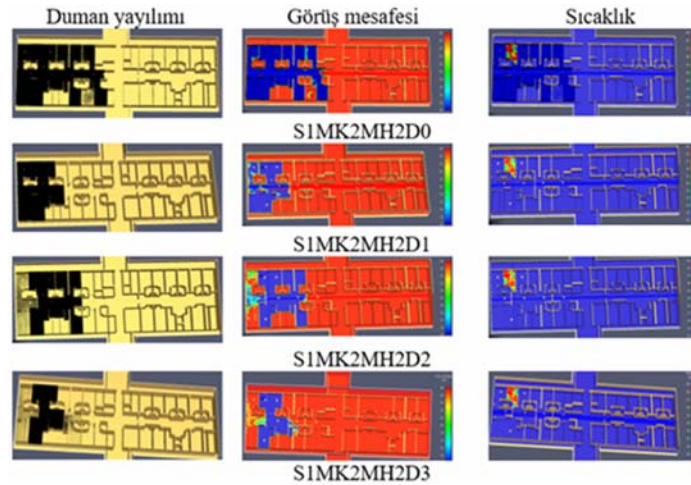
perdesine kadar olan kısımda ya da birinci ve ikinci perde arasında oluşan duman haznesinde 60°C'ye ulaşmış diğer kısımlarda sıcaklık 60°C'ye ulaşmamıştır.



Şekil 17. IV. Grup senaryolar için 600 saniye sonunda duman yayılımı, görüş mesafesi ve sıcaklık değişimi (Smoke spread, visibility and temperature change for group IV scenarios at the end of 600 second)



Şekil 18. V. Grup senaryolar için dumanın görülmesiyle başlayan duman yayılımı zaman ilişkisi (Smoke propagation time- relationship starting with the appearance of smoke for group V scenarios)



Şekil 19. V. Grup senaryolar için 600 saniye sonunda duman yayılımı, görüş mesafesi ve sıcaklık değişimi (Smoke spread, visibility and temperature change for group V scenarios at the end of 600 second)

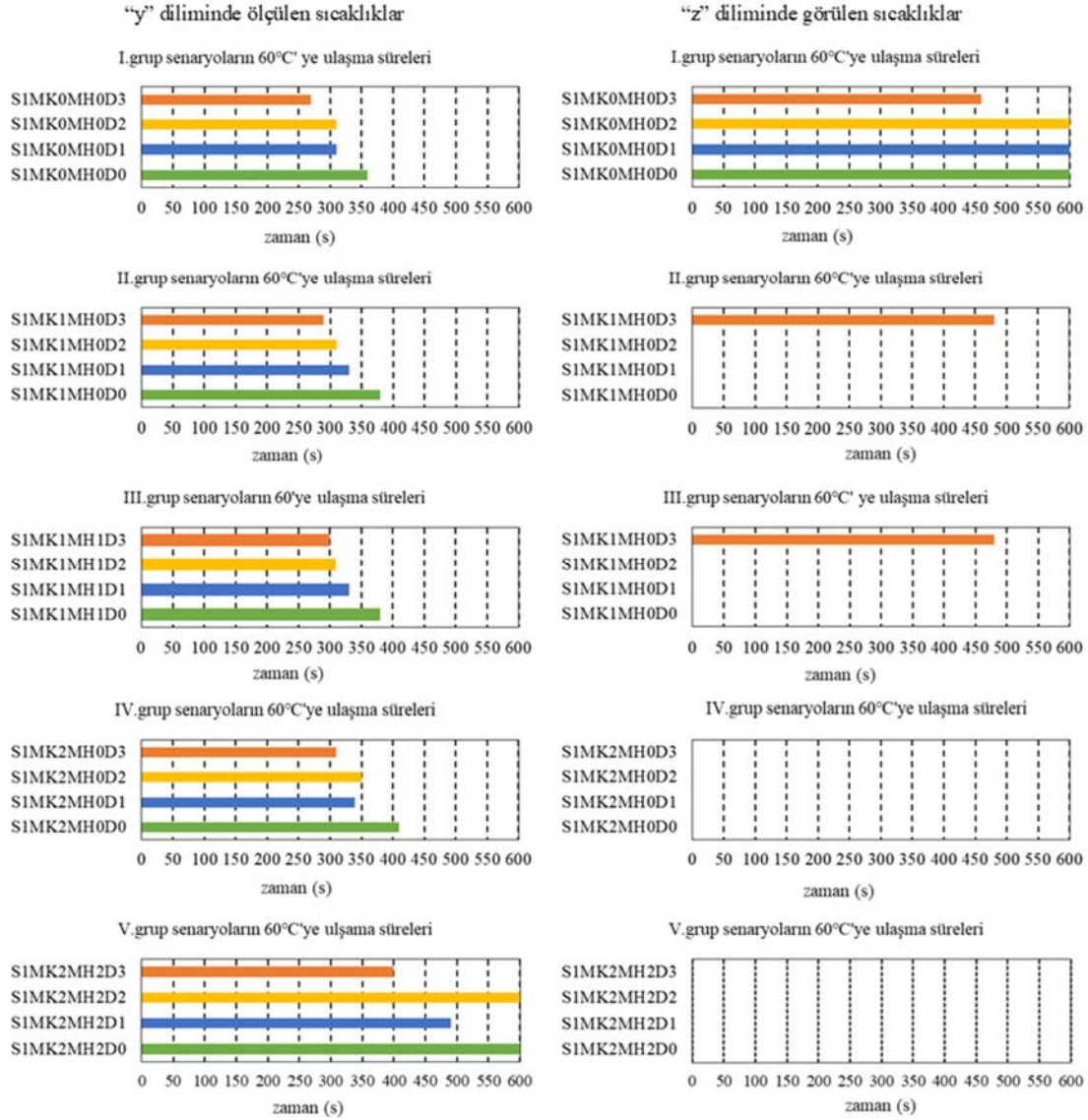
İki ve üç perdeli senaryolarda duman haznesi boyutlarına göre 60°C'ye ulaşma süresi daha kısa olmuştur. Duman tahliye fanlarının debilerinin artırılarak kullanılmasıyla oluşturulan senaryolarda sıcaklık artışı 600 saniye sonunda 2 m yükseklikte (z dilimi) 60°C'ye ulaşmamıştır. II. ve III. grup senaryolarda sıcaklık artışı 2 m yükseklikte üç perdeli senaryolarda birinci ve ikinci perde ile oluşturulan duman haznesinde 60°C'ye ulaşmıştır (Şekil 20). Her senaryoda ise 2 m' nin üstünde 600 saniye boyunca sıcaklık 60'ye ulaşmıştır. Ancak perde eklenen senaryolarda sıcaklık perdeye kadar olan kısımda ya da birinci ve ikinci perde arasında kalan kısımda 60°C'ye ulaşmıştır.

Duman perdelerinin sayılarına göre senaryolar karşılaştırıldıklarında 1,25 m³/s debi gücünde duman tahliye fanlarıyla birlikte hem iki perdeli senaryolarda hem de üç perdeli senaryolarda sıcaklık 2 m yükseklikte 60°C'ye ulaşmamıştır. 2 m yüksekliğin üzerinde 1.perde ve 2. perde

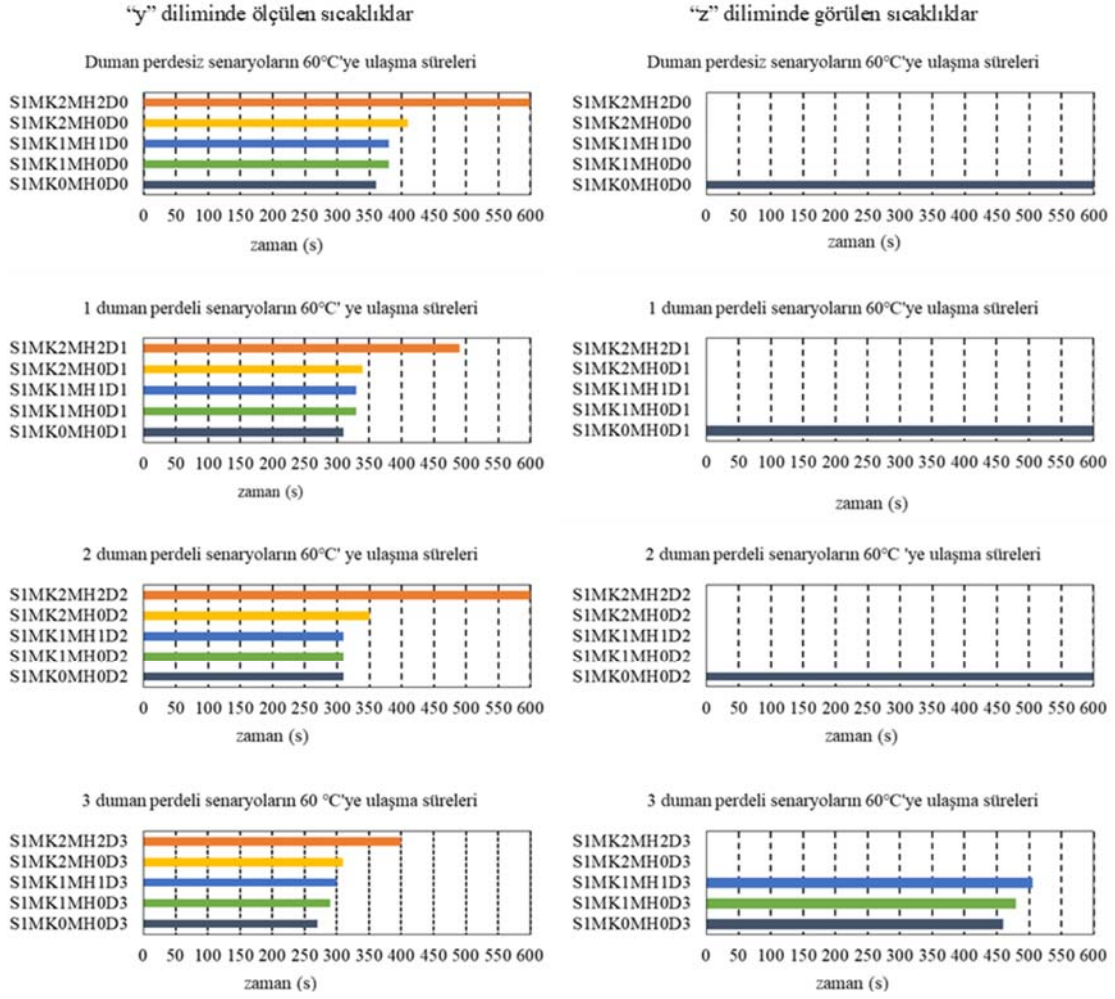
arasında oluşan duman haznelinde 60°C sıcaklığa ulaşmıştır. Duman hazne boyutlarının 3 perdeli senaryolarda küçülmesi bu haznelerde sıcaklığın 60°C'ye ulaşma süresini kısaltmıştır (Şekil 21). CO yoğunluğu ise dumanın yayıldığı ve sıcaklığın arttığı kısımlara paralel olarak artış göstermiş ancak 1400 ppm ve altı yoğunluklar gözlemlenmiştir.

5. TARTIŞMA (DISCUSSION)

Elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, duman tahliye fanlarının aktif olmadığı durumlar için duman perdelerinin olmasının ya da sayılarının artırılmasının duman yayılmasını engellenmesi açısından önemli bir etki göstermediği tespit edilmiştir. Dumanın yayıldığı alanlarda ise sıcaklık ve CO yoğunluğunun artışı gözlemlenmiştir. 0,093 m³/s debili duman tahliye fanlarının koridorda ve /veya hasta yatak odalarında kullanılması durumlarında, duman perdeleri kullanılsa da dumanın yayılması devam



Şekil 20. Grupların sıcaklık değişimi (Temperature change of scenarios)



Şekil 21. Duman perdelerin sayılarına göre sıcaklık değişimi (Temperature change according to the number of smoke curtains)

etmiştir. 1,25 m³/s debili duman tahliye fanlarının koridorda ve /veya hasta yatak odalarında kullanılması durumlarında, dumanın yayılmasının duman perdelerinin kullanılmasıyla büyük oranda engellendiği gözlemlenmiştir. Duman tahliye fanlarının debilerindeki artış ise, binadan daha fazla dumanın atılmasını sağlamıştır. Analizlerin bulguları, duman perdelerinin, duman tahliye fanları olmadan veya duman tahliye fanlarının debilerinin yetersiz olduğu durumlarda duman yayılımını engellenmesinde yeterli olmadığını, duman yayılımının engellenmesinde duman tahliye fanlarının ve duman perdelerinin birlikte kullanılmasının önemini ortaya çıkarmaktadır. Bu durum, binaların yangın güvenlik tasarımında aktif ve pasif yangın önlemlerinin bir arada kullanılması gereğini açıkça desteklemektedir. Duman tahliye fanlarında doğru debide fan seçimi için ise performans analizlerinden yararlanılması etkin ve yeterli çözümlere ulaşılmasında son derece önemlidir.

Duman perdelerinin sayıları duman haznesi boyutlarını değiştirmiştir ve sıcaklık dağılımının duman haznesi boyutlarına göre değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. Üç duman perdesinin kullanıldığı durumlarda hazne hacmi küçük olduğundan hazne içerisinde sıcaklık hızla artmış, duman yayılımı, sıcaklık artışı ve CO yoğunluğu hazne

içinde kalmıştır. Dumanın, duman haznesi içerisinde kalması ve yayılmasının engellenmesi istenilen bir durum olmasına rağmen bu alan içerisinde sıcaklık ve CO yoğunluğunun artması istenilen bir durum değildir. Bu yüzden binaların yangın güvenlik tasarımında duman perdeleri arasındaki mesafelere dikkat edilmesi ve duman perdelerinin küçük boyutlarda duman haznesi oluşturulacak şekilde konumlandırılmamasına dikkat edilmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Yapılan analizlerde, CO yoğunluğu performans kriteri olarak belirlenen 1400 ppm' in altında kalmakla birlikte en çok 600 saniye sonunda 850 ppm' e ulaşmıştır. Dumanın yayılması ve yoğunluğundaki azalışa bağlı olarak CO yoğunluğunda 850 ppm' in altında değerler görülmüştür. Hasta yatak katında dayanılamayan koşulların, CO yoğunluğunun sınır değerine ulaşmasıyla değil, duman yayılımı ve görüş mesafesinin azalmasından dolayı olduğu anlaşılmaktadır. Ulaşılan bu sonuç, dumanın yayılmasının ve görüş mesafesinin azalmasının, binalarda yangın durumunda ortamın kullanıcıların dayanamayacakları koşullara ulaşma süresini tayin eden temel parametreler olduğunu desteklemektedir.

Yangının çıktığı mekândaki otomatik yağmurlama sisteminin başarılı bir şekilde çalışması ortamdaki sıcaklığın

düşürülmesinde etkili olmaktadır. Yangının çıktığı hasta yatağı üzerinde bulunan SPK yağmurlama başlığının ilk aktive olması beklenirken, hasta odası kapısına yakın olan SPK2 başta olmak üzere sırasıyla SPK1 ve SPK'nın aktive olması beklenen durum ile çelişki yaratmıştır. Bu durumun, dumanın koridora doğru yayılması ve yayıldığı alanlarda sıcaklık artışına sebep olmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bu da binalarda olası yangın durumlarında duman yayılımının izlenebiliyor olmasının önemini göstermektedir.

6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, binalarda yangın güvenliği tasarımının performans analizleri yardımıyla gerçekleştirilmesine yönelik bir model geliştirilmiş, geliştirilen model son yıllarda hastane binalarında yaygın olarak kullanılan tip plan şemasına sahip olan bir hasta yatak katına uygulanmıştır. Hasta yatak katının saha çalışmasında gözlemlenen yangın risklerine dayalı olarak oluşturulan yangın senaryosu Pyrosim benzetim programı ile modellenmiştir. Görüş mesafesinin 10 m'nin altına düşme süresini artırmak, duman yayılımı, sıcaklık artışı ve CO yoğunluğunu ise azaltmak amacıyla tasarıma eklenen yağmurlama sistemi, duman tahliye fanları ve duman perdelerine ilişkin toplam 20 farklı alternatif senaryo analiz edilmiştir. Mevcut durum ile iyileştirme önerileri sonrasındaki durumlar karşılaştırmalı olarak değerlendirildiğinde, yangın ortamını belirleyen temel parametrelerin duman yayılımı ile görüş mesafesi olduğu görülmüştür. Duman tahliye fanı ve duman perdelerinin kullanılması durumunda artan fan debisi ile duman yoğunluğunun önemli miktarda azaldığı tespit edilmiştir. Dumanın yayılmasının engellenmesi görüş mesafesinin azalmasını, sıcaklığın ise artışının engellenmesinde etkili olmuştur. Duman tahliye fanlarının kullanımında uygun debinin seçimi, binaya ve yangın yüküne göre değişen son derece özel bir konudur. Performans analizlerine dayalı yangın güvenlik tasarımının, tasarım aşamasına entegre edilmesi doğru kapasitede fan seçimine yardımcı olacak önemli bir yaklaşımdır.

Duman perdesinin sıcaklık dağılımına etkisi duman haznesi boyutlarına göre değişiklik göstermektedir. Üç duman perdesinin kullanıldığı durumlarda hazne hacmi çok küçük olduğundan hazne içerisinde sıcaklık hızlı artmış, ancak duman yayılımı, sıcaklık artışı ve CO yoğunluğu hazne içinde kalmıştır. Bu sebeplerle ilerideki çalışmalarda duman perdeleri arasındaki mesafelerin duman yayılımına ve sıcaklığa olan etkilerinin daha fazla araştırılması gerekmektedir. Ayrıca, yağmurlama sistemlerinin ortamda oluşan sıcaklığın düşürülmesinde, duman sistemleri ve duman tahliye fanları kadar etkili olduğu tespit edilmiştir. Yangın güvenliği tasarımında duman hareketine bağlı olarak, olası sıcaklık artışının ve yağmurlama başlıklarının aktive olma sürelerinin de izlenebiliyor olması, yağmurlama başlıklarının doğru konumlanması açısından önemlidir. Bu bağlamda performans analizlerinden yararlanmak mümkündür.

Çalışma kapsamında geliştirilen model, hem mevcut binaların yangın güvenliği etkinliğinin artırılmasında, hem

de yeni tasarlanacak binaların yangın güvenliği tasarımında hangi önlemlerin daha etkili olacağı konusunda tasarımcılara yardımcı olacaktır. Modelde, her alt sistemin bileşeni tanımlanarak tasarımcılar için karar adımları oluşturulmuştur. Bu karar adımları, tasarım yangın senaryolarının seçimi, programa verilerin girişi gibi tasarımcının göz önünde bulundurması gereken kararları içermektedir. Bu şekilde, tasarımda ihmal edilen bilgilerin ya da alternatiflerin gözden kaçırılması olasılığını en aza indirmek mümkün olmaktadır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Hadjisophocleous, G. V., Benichou, N., Tamim, A. S., Literature review of performance-based fire codes and design environment, *Journal of Fire Protection Engineering*, 9 (1), 12–40, 1998.
2. Alvarez, A., Meacham, B., Dembsey, N., Thomas, J., Twenty years of performance-based fire protection design: challenges faced and a look ahead, *Journal of Fire Protection Engineering*, 23 (4), 249–276, 2013.
3. Croce, P. A., Grosshandler, W. L., Bukowski, R. W., Gritzo, L. A., A position paper on performance-based design for fire code applications, *Fire Safety Journal*, 43 (3), 234–236, 2008.
4. Foliente, G. C., Developments in performance-based building codes and standards, *Forest Products Journal*, 50 (7), 12–21, 2000.
5. Chow, W., Experience on implementing performance-based design in Hong Kong, *Procedia Engineering*, 62, 28–35, 2013.
6. Lo, S. M., Gao, L. J., Yuen, K. K., The development of performance-based fire safety engineering design in Hong Kong and Japan, *International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes*, 9 (3), 133–139, 2007.
7. Ministry of Business, Innovation and Employment, *New Zealand Building Code Handbook*, New Zealand Government, 2014.
8. Australian Building Codes Board, *Fire Safety Verification Method Overview*, Australian Building Codes Board, Australia, 2019.
9. Jager, G., Schröder, B., Evacuation And Life Safety Assessment in Germany. 11th Conference on Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods, Warsaw, Poland, 36-50, 2016.
10. Hurley, M. J., Rosenbaum, E. R., *Performance-Based Fire Safety Design*, Boca Rotan, CRC Press, 2015.
11. Hadjisophocleous G.,V., Mehaffey R., J., *Fire Scenarios*, SFPE Handbook Of Fire Protection Engineering Fifth edition, Editör: Hurley, M. J., Springer, Newyork, A.B.D, 1262–1288, 2006.
12. Hadjisophocleous, G.V., Bénichou, N., Development of performance-based codes, performance criteria and fire safety engineering methods, *International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes*, 2 (4), 127–142, 2000
13. Baker, G., Wade, C., Spearpoint, M. and Fleischmann, C., *Developing probabilistic design fires for*

- performance-based fire safety engineering, *Procedia Engineering*, 62, 639–647, 2013.
14. Li, Y. Z. and Ingason, H., A new methodology of design fires for train carriages based on exponential curve method, *Fire Technology*, 52 (5), 1449–1464, 2016.
 15. Department of Health, Health Technical Memorandum 05-02: Firecode, London: Guidance in Support of Functional Provisions Fire Safety in The Design of Healthcare Premises, London, 2015.
 16. Mairah, W. P., Tenability criteria for design of smoke hazard management systems, *Ecolibrium Journal*, 32–37, 2011.
 17. Purser, D. A., Fire toxicity and Toxic Hazard Analysis, Sixth International Seminar on Fire And Explosion Hazards (FEH6), University of Leeds, United Kingdom, 9-11, 2010.
 18. Hadjisophocleous, G.V. and Benichou, N., Performance criteria used in fire safety design, *Automation in Construction*, 8 (4), 489–501, 1999.
 19. Custer, R. (2005). SFPE Engineering Guide To Performance-Based Analysis and Design of Buildings, Second edition, Quincy, National Fire Protection Association, Massachusetts, 2005.
 20. National Fire Protection Association, NFPA 101 Life Safety Code 2018 Edition, Quincy, National Fire Protection Association, Massachusetts, 2018.
 21. Olsson, F., Tolerable Fire Risk Criteria for Hospitals, Sweden: Department of Fire Safety Engineering Lund University, 25-30, 1999.