

	MÜHENDİSLİKTE YAKITLAR, YANGIN VE YANMA DERGİSİ FUELS, FIRE AND COMBUSTION IN ENGINEERING JOURNAL		
	eISSN: 2564-6435		
	Dergi sayfası: http://dergipark.gov.tr/fce		
	<u>Geliş/Received</u> 29.04.2022	<u>Doi</u> https://doi.org/10.52702/fce.1111328	
	<u>Kabul/Accepted</u> 11.10.2022		

Yangından Etkilenme Oranını Azaltan ve Tahliyeyi Kolaylaştıran Yöntemlerin Etkinliğinin Simülasyon Destekli İncelenmesi: Yaşlı Bakım ve Huzurevleri Modeli

Kerem İLBAY¹ Gökhan COŞKUN^{2,3}, Ekrem BÜYÜKKAYA²

ÖZET

Bu çalışmada bedensel olarak bakıma muhtaç ve hareket kabiliyetleri sınırlı ya da kendi başlarına hareket edemeyen insanların yangın anında bulunduğu binadan tahliyesi farklı senaryolar üzerinden incelenmiştir. Tahliye anında yangın sonucu açığa çıkan gazların insanlar üzerindeki nihai ve hayati etkileri sıcaklık ve görüş olarak analiz edilmiştir. Ulusal ve uluslararası standartlar araştırılarak huzurevi ve yaşlı bakımevlerinde ulusal standartlara uygun mimari modelleme yapılmıştır. Bu modele farklı senaryolar üzerinde yangın Simülasyon programı ve tahliye Simülasyon programı kullanılarak, kullanıcıların tahliye sırasında yangın ve yangın sonucu oluşan faktörlerden etkilenmeleri incelenmiştir. Yapıdaki katların koridorlarında duman kontrol sisteminin olup olmadığı, yağmurlama söndürme sisteminin bulunup bulunmadığı durumlar dikkate alınarak farklı tahliye senaryoları oluşturulmuş ve bu sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Tahliye olan kişiler ise sedye ile tekerlekli sandalye ve kendi kendine tahliyeyi gerçekleştirecek şekilde sınıflandırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Acil durum, huzurevi, simülasyon, tahliye, yangın

Investigation of the Efficiency of Methods that Reduce the Rate of Affected by Fire and Facilitate Evacuation by Simulation Methods: The Elderly Care and Nursing Homes Model

ABSTRACT

This study examines the safe evacuation of elder and handicapped people from a building that they are in, in case of fire through different scenarios, and analyzes the eventual and vital effects on people obviously caused by the released gases during the incident as temperature and visibility. By researching national and international standards, architectural modeling made in accordance with national standards in elderly care homes, adding people into this model, and fire simulation and evacuation simulation program was used on different scenarios, and how users are affected by fire and fire-related factors during evacuation examined. In the architectural model, evacuation scenarios were created in the floor corridors, whether the smoke exhaust control system and an automatic sprinkler system or not, and these results were compared. Persons to be evacuated were diversified by stretcher, wheelchair, and self-evacuation.

Keywords: Emergency, evacuation, fire, nursing home, simulation

¹ Sakarya Üniversitesi, Yangın ve Yangın Güvenliği Yüksek, kerem.ilbay1@ogr.sakarya.edu.tr

² Sakarya Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü,

³ Sakarya Üniversitesi, Yangın Uygulama ve Araştırma Merkezi

1. GİRİŞ

Huzurevleri ve yaşlı bakımevleri gibi sağlık yapıları, acil durum anlarında bina içinde bulunan insanların hareket kabiliyeti sınırlı olduğundan binanın tahliyesi, diğer yapılara göre daha yavaş olacaktır. Bu nedenle binada tahliye yolları mümkün olduğu kadar sık yapılmalı, yangından korunumlu tahliye koridorlarına mümkün olduğunca hızlı ulaşılabilir. Otoriteler tarafından oluşturulmuş yönetmeliklerde tahliye ve diğer mimari durumlar için koşullar belirtilmiş olsa da bazı durumlarda saha koşulları, mimari ya da mekanik etmenler neticesinde yapılan uygulama çok sağlıklı olamamaktadır. Örneğin refakatçi ile yapılması gereken bir tahliye ile ilgili detaylı açıklamalar bulunmamakta ya da sedye ile taşınması gerekli insanlar için acil durum asansörü kullanılacak ise asansör kapasitesinin ne olması gerektiği ile ilgili bir standart Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik (BYKHY) içerisinde bulunmamaktadır.

Bu çalışmada yönetmeliksel olarak bir binada tahliye sisteminin mimari, mekanik ve elektriksel açıdan yönetmeliklerce nasıl olması gerektiği anlatılacak olup temel gereklilikler ilgili maddeler referans edilerek belirtilecektir. Her binanın, kullanım sınıfı, yapı yüksekliği, kullanılan cephe elemanı gibi çeşitli etkilere göre farklı ihtiyaçları bulunabilir. Daha sonrasında bilgisayar destekli tasarım programı ile yönetmeliklere mimari olarak uygun bir yaşlı bakımevinin çeşitli senaryolar ile tahliye Simülasyonu incelenerek bakımevinde bulunan kişilerin yangın ve duman etkisi altında kalmaları incelenecek ve senaryolar birbirleri ile karşılaştırılıp yorumlanacaktır. Yapmış olduğum bu çalışmada yangın sırasında çıkacak toksik gazların etkileri ve sıcaklıktan etkinlenme durumları da görüş mesafeleri ve sıcaklık etkilerinin yanında ayrıca incelenecektir.

Ülkemizde binaların yangından korunması ile ilgili geçerli tek tasarım metodu yönergesel tasarım olup bilgisayar temelli tasarım, bilgi ve tecrübe arttıkça ülkemizde de geçerlilik kazanacağı öngörülmektedir. Hem dünyada hem de ülkemizde yönetmeliksel olarak mimari uygunluk bulunmayan ya da maliyet azaltmak adına yapılarda alternatif olarak kullanılmaya zamanla başlanması beklenmektedir.

2. YÖNETMELİKLER TARAFINDAN BELİRTİLEN GEREKLİLİKLER

Bir binada tahliye mesafesi, çıkışa ulaşım, çıkış ve çıkıştan tahliye için kat edilen mesafelerin toplamıdır. Bu mesafeler için BYKHY ve (Ülkemizde ilk uygulanması gereken standartlar BYKHY de belirtilen kurallardır.) gerekli olması durumunda NFPA veya diğer uluslararası standartlara başvurulabilir. Aşağıda tüm binalar için gerekli ortak gereklilikler açıklanmıştır. Bunun yanı sıra BYKHY ve NFPA 101' de yaşlı bakımevleri ile ilgili ayrıca gereklilikler de belirtilmiştir. Bir insanın binadan tahliyesi çıkışa ulaşım, çıkış ve çıkıştan tahliye olarak üç temel başlık altında açıklanabilir.

BYKHY'e göre yağmurlama sistemi (Sprinkler sistemi) bulunmayan bir huzurevinde tek yönde kaçış mesafesi 15 metre, iki yönde kaçış mesafesi ise en fazla 30 metre olabilir. Yağmurlama sistemi bulunan bir huzurevinde tek yönde kaçış mesafesi 25 metre çift yönde kaçış mesafesi ise en fazla 45 metre olabilmektedir [1].

NFPA yaşlı bakımevlerini gün içinde bakım yapılan yapılar ile tam zamanlı bakım yapılan ve gerektiğinde tedavi de yapılabilen binalar olarak ayırmaktadır. Her iki bina tipi için de tek yönde tahliye mesafesi yağmurlama sistemi bulunmayan binalarda 23 metre, yağmurlama sistemi bulunan binalarda 30 metredir. İki yönlü tahliye mesafesi ise yağmurlama sistemi bulunmayan binalarda 46 metre, yağmurlama sistemi bulunan binalarda 61 metredir. Tedavi merkezleri ve tam zamanlı bakım yapılan hastane gibi merkezlerde yağmurlama sistemi bulunması zorunludur.

Çıkış başlığı altında yangın holleri ve kaçış merdiveni özellikleri ve merdiven kapı, basamak, sahanlık gibi etmenler incelenmektedir. Çıkışların birbirine alternatif oluşturabilmesi, çıkış lokasyonlarının belirlenmesinde başlıca dikkat edilecek noktadır. 2 veya daha fazla çıkış olan odalarda ve bina yangın merdiveni kapılarında iki çıkış arasındaki mesafe, kat veya oda diyagonal mesafesinin minimum üçte biri kadar olmak zorundadır. Yağmurlama sistemi bulunmayan mekanlarda iki kaçış arasındaki mesafe, kat veya oda diyagonal mesafesinin yarısı kadar olmalıdır [1,2].

3. BİLGİSAYAR TEMELLİ TASARIMDA DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN KAVRAMLAR

Bilgisayar destekli yangın ve tahliye simülasyon programları ile tasarım yaparken kontrol edilmesi gereken kriterler; yangın sırasında oluşan toksite gazların etkisi ile kişilerin zehirlenme durumları, ortam sıcaklığı ve ortamdaki görüş mesafesidir. İstatistiksel çalışmalarda; ölümlerin % 90'ından fazlasına zehirli dumanın neden olduğu görülmüştür. Yanma ürünleri genellikle partiküller, yanmamış ürünler, su buharı, karbondioksit ve karbonmonoksit ile diğer zehirleyici ve korozif gazları içerir. Bir birey, yangında mahsur kaldığında veya aciz kaldığında, koşullar birkaç saniye ile birkaç dakika içinde ölümcül hale gelebilir. Yangınların ürettiği ısı, duman ve zehirli gazlar gibi etmenler katlanarak artabilir. Bir yangında hayatta kalmanın temel belirleyicisi, kabiliyetlerin yapılamadığı duruma gelme süresidir.

Toksik gazların etkisini belirleyebilmek için, kısmi etkili doz (FED- fractional effective dose) değeri hesaplanır. Kısmi etkili doz kabaca, belirli bir t zamanında alınan dozun yetersizlik veya ölüme neden olacak etkili doza oranı olarak tanımlanabilir. FED için kabul edilir değerler çeşitli kaynaklara göre değişiklik göstermektedir. Bu kavram matematiksel olarak aşağıdaki gibi formüle edilir.

FED= Belirtilen zamanda alınan doz (Ct) / Ölüme veya bilinçsizliğe neden olabilecek (Ct) dozu

Matematiksel olarak bu değer aşağıdaki gibi formüle edilmektedir.

$$FED = \int_{t_1}^{t_2} \sum_{i=1}^N \frac{C_i}{(Ct)_i} \Delta t \quad (2.1)$$

C_i :Seçilen zaman değişiminde boğucu gazın "i" gibi bir doza bağlı toksik maddenin ortalama konsantrasyonudur;

Δt : Seçilen zaman değişimi

Ct: Tahliye sırasında güvenli bir şekilde çıkabilmesi için gazın etki ettiği son sınır dozu

Tablo 1. de belirtilen etkilenme, insanların normal işleri veya hareketleri yapamamasını tariflemektedir, genel olarak güvenlik limiti FED=0,3 alınmaktadır [3].

Tablo 1. Kısmi etkili doz seviyesi ile popülasyon etkilenme oranları [3].

FED	Tahmin edilen etkileyecek popülasyon oranı
0,0 - 0,3	0 - 11%
0,3 - 1,0	11 - 50%
1,0 - 3,0	50 - 89%

Isıya maruz kalmanın yetersizliğe ve ölüme yol açabileceği üç temel yol vardır. Bunlar; sıcak çarpması, vücut yüzey yanıkları ve solunum yolu yanıklarıdır. Cilde ısı temasından kaynaklanan ağrı, 0.1 mm derinlikteki cilt sıcaklığı 44.8° C'ye ulaştığında ortaya çıkar. Bu, Lawrence ve Bull'un, sıcak bir tutamaç ile elin derisi arasındaki ara yüz 43 °C'ye ulaştığında rahatsızlığın yaşandığını tespit eden araştırmasıyla ortaya çıkmıştır.

Tablo 2. Isı maruziyetine karşı insan toleransı [6].

Isı transferi türü	Yoğunluk	Tolerans
Işınım	<2,5 kW · m ⁻²	>5 dak
	2,5 kW · m ⁻²	30 sn
	10 kW · m ⁻²	4 sn
Taşınım	<60 °C %100	>30 dak
	100 °C < %10 H ₂ O ^a	8 dak
	120 °C < %10 H ₂ O	4 dak
	140 °C < %10 H ₂ O	3 dak
	160 °C < %10 H ₂ O	2 dak
	180 °C < %10 H ₂ O	1 dak

^a % 10 H₂O' nun bir hacim fraksiyonu (v/v)

Bir yangın olayı sırasında esas olarak radyant ısıya (örneğin sıcak bir duman tabakasının altında yürürken veya bir alevi geçerken), konveksiyonlu ısıya (örneğin aşırı ısınmış bir odada) veya radyant ve konveksiyonlu ısı kombinasyonuna maruz kalınır. Babrauskas 2,5 kW/m²'lik bir

dayanıklılık sınırı öngörmektedir. 2.5 kW/m² seviyesinde, Buettner, Simms ve Hinkley ağrının yaklaşık 30-60 saniye maruziyette meydana geldiğini bulmuşlardır. Radyant akış azaldıkça tolerans süreleri üssel olarak artar; Mudan ve Croce, maruziyet süresine bakılmaksızın, altında hiçbir ağrı yaşanmayan 1.7 kW/m²'lik kritik bir ısı akışı belirtmiştir. 2,5 kW/m² üzerindeki radyant ısı, ciltte ağrıya ve ardından birkaç saniye içinde yanmalara neden olur [5].

Bir çıkış yolu boyunca görünürlüğün azalması, kendi başına bireyleri etkisiz hale getirmeyecek veya ölüme neden olmayacaktır. Bir yangının ürettiği aşırı ısıya maruz kalma ve yüksek dozda zehirli gazlar, iş göremezlik ve ölümlerle sonuçlanabilir. Görünürlük eksikliği (kısa vadeli) fizyolojik bir etkiye neden olmaz, bu da insanların karanlık odalarda seyahat edebilecekleri anlamına gelir. Seyahatin karanlık tarafından yavaşlatılması beklenir, ancak doğrudan yaralanma tek başına karanlığa (kısa vadede) atfedilemez. Benzer şekilde, insanların deneylerde ve bazı yangın olaylarında yoğun dumanın içinde değişen hızlarda hareket ettikleri gösterilmiştir. Azaltılmış görüş, hareket hızının düşmesine, ısıya ve zehirli gazlara daha uzun süre maruz kalmasına neden olur. Yeterli ve sürekli olarak ısıya ve / veya toksik gazlara maruz kalındığında, hareket hızı insanların hareketini yavaşlatmaya devam edebilir ve zihinsel yeteneklerini azaltabilir. Azalan görüş mesafesi, yol bulmayı da etkiler ve çıkışları bulmak için geçen süreyi uzatabilir.

4. SİMÜLASYON SENARYOLARI VE METODOLOJİ

Modelleme sırasında ilk adım, mimari yapı Autocad programına aktarılması ve BYKHY'de belirtilen mimari gerekliliklere (Kaçış mesafeleri, merdiven ve kapı genişliği, gerekli minimum çıkış sayısı gibi) göre iki boyutlu olarak oluşturulmasıdır. Daha sonra iki boyutlu çizim Sketchup programında üç boyutlu olarak modellenmiştir. 3 boyutlu olarak modellenen çizim Pyrosim (Yangın simülasyon programı) ve Pathfinder (Acil Durum Tahliye Programı) Simülasyon hesap programlarına aktarılmıştır. Kullanılan yangın Simülasyon programları ve temel girdiler aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

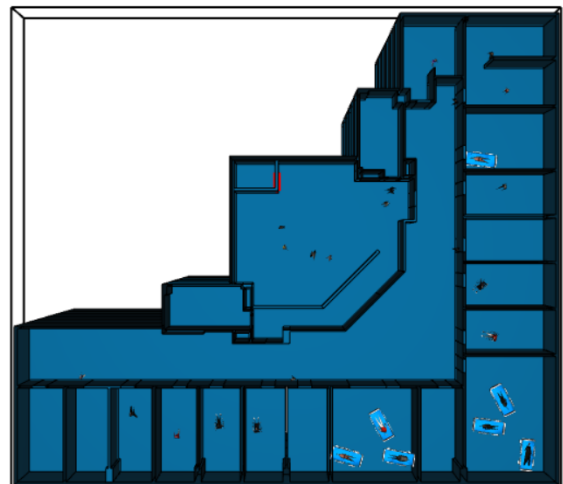
PyroSim, Yangın Dinamikleri Simülatörü (FDS) için bir grafik kullanıcı arayüzüdür. FDS modelleri yangın sırasında oluşan duman,

sıcaklık, karbon monoksit ve diğer maddeleri tanımlanan veriler ışığında hesaplar ve analiz eder. Bu simülasyonların sonuçları, binaların henüz tasarım aşamasındayken güvenliğini sağlamak, mevcut binaların güvenlik seçeneklerini değerlendirmek, kaza sonrası inceleme için yangınları yeniden inşa etmek ve itfaiyecilerin eğitimine yardımcı olmak için kullanılabilir.

FDS, Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü'nde (NIST) geliştirilmiş güçlü bir yangın simülatörüdür. FDS, düşük hızlı, termal olarak yönlendirilen akış için optimize edilmiş hesaplamalı akışkanlar dinamiğini (HAD) kullanarak yangın senaryolarını simüle eder. Bu yaklaşım çok esnek ve çok çeşitli yangınlara uygulanabilir. Binalarda havalandırma gibi yangın içermeyen durumları da modelleyebilir

PyroSim metrik veya İngiliz birimlerinde çalışabilir ve ikisi arasında istediğiniz zaman geçiş yapabilirsiniz. PyroSim ayrıca diyagonal duvarlar, eskiz için arka plan görüntüleri, nesne gruplama, esnek görüntüleme seçenekleri ve engellerin kopyalanması gibi üst düzey 2D ve 3D geometri oluşturma özellikleri sunar.

Pathfinder Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü'nde (NIST) geliştirilmiş güçlü bir yangın tahliye simülatörüdür. Hastanelerden stadyumlara kadar çok çeşitli mimari yapılar da simülasyon imkanı sunmaktadır. DXF, DWG ve Pyrosim modelleri içe aktarılabilir. Bu sayede pyrosim tarafından oluşturulan bir yangın modellemesi pathfinder programına aktarılarak, tahliye sırasında yangın dumanının vermiş olacağı zararlar da belirlenebilir. Bunun yanında tahliye olacak kişilerin sedye ya da refakatçi eşliğinde taşınması da simüle edilebilir.



Şekil 1. Pathfinder programında yangının çıktığı katın gösterimi

Simülasyon hesaplamalarında ısı salınım oranı, tahliye hızı gibi etmenler belirlenmelidir. Bu değerler simülasyon analizinin temelini oluşturmaktadır.

Tahliye hızı cinsiyet durumu, yaş ve fiziksel etmenlere bağlı olmakla birlikte yangın anında solunan duman ve görülebilirlikte etkili olmaktadır. Pathfinder ile duman yoğunluğunun hareket hızına etkisi hesaplanabilmektedir.

$$\text{Yürüme hızı} = \min(1, \text{maks}(0,2*(1-324*(3/\text{görülebilirlik} - \text{mesafesi}))) \quad (2.1)$$

Burada yürüme hızı en fazla 1 m/s en az 0,2 m/s arasında duman yoğunluğuna göre değişim göstermektedir [7].

Isı salınım oranı (ISO) performans dayalı tasarımda, tasarımın başlangıç değişkenlerinden biridir. Binalardaki yangın davranışının hesaplanması, yangının ısı yayma oranı bilinmedikçe mümkün değildir. Birçok nesne ve ürün için yayınlanmış ISO mevcut değildir, bu nedenle, bir yanıt gerekirse laboratuvar testlerinin yapılması gereklidir. Bununla birlikte, bazı malzemeler için, örnek veriler Tablo 3. de gösterilmiştir. Tasarım için yangın yükü poliüretan koltuğu yanması üzerine belirlenmiştir.

Tablo 3. Çeşitli malzemelerin en yüksek ısı salınımları [4].

Yanıcı yük	Kütle	En Yüksek Isı Seviyeleri
Koton yatak	12-13 kg	40-70 kW
Plastik çöp kutusu	1,2 kg	120-350 kW
Poliüretan yatak	3-14 kg	810-2630 kW
Poliüretan koltuk	51 kg	3120 kW
Yılbaşı ağacı	6-20 kg	3000-5000 kW
Ahşap mobilya	70-121 kg	1900-6400 kW

Bina 6 kattan oluşmaktadır. Tüm katlarla birlikte toplam 170 kişi bulunmaktadır. Tüm senaryolarda yatakta yatılı bulunan refakatçi eşliğinde tahliye olan ve kendi başlarına tahliye olabilen kullanıcılar bulunmaktadır. Yatılı refakatçi eşliğinde bulunan bireyler acil durum asansörünü kullanarak tahliye olacaklardır. Diğer kullanıcılar

ise yangın merdivenlerini kullanarak tahliye olmaktadır. Toplam iki adet yangın merdiveni bulunmaktadır. Tahliye iki yangın merdiveni ve acil durum asansörü kullanılarak yapılmaktadır. Bu ana senaryoya ek olarak aşağıdaki dört farklı senaryo üzerinde araştırılıp sonuçları karşılaştırılmıştır.

Yangın tüm senaryolarda en üst katta çıkmıştır. Binayı en son terk eden altı görevlinin simülasyon sonuçlarından elde edilen verileri karşılaştırılıp, yorumlanmıştır.

Duman tahliye sistemi bulunan tüm senaryolarda ikinci duman dedektörü algılama yaptıktan 15 saniye sonra duman tahliye sistemi devreye girmektedir [5].

Yağmurlama sistemi bu sistemlerden bağımsız çalışmaktadır. Yağmurlama başlığı 68 °C sıcaklığa ulaşılması durumunda aktif olmaktadır.

Senaryo-1; Senaryoda koridor üzerinde bulunan bir koltuğun yanması ile yağmurlama sistemi bulunmadan huzurevi sakinlerinin tahliyesi incelenecektir.

Senaryo-2; Senaryoda koridor üzerinde bulunan bir koltuğun yanması ile yağmurlama sistemi bulunan huzurevi sakinlerinin tahliyesi incelenecektir.

Senaryo-3; Senaryoda koridor üzerinde bulunan bir koltuğun yanması ile yağmurlama sistemi bulunmayan ancak duman tahliye sistemi bulunan bir mekanda huzurevi sakinlerinin tahliyesi incelenecektir.

Senaryo-4; Senaryoda koridor üzerinde bulunan bir koltuğun yanması ile yağmurlama sistemi ve duman tahliye sistemi bulunan bir mekanda huzurevi sakinlerinin tahliyesi incelenecektir.

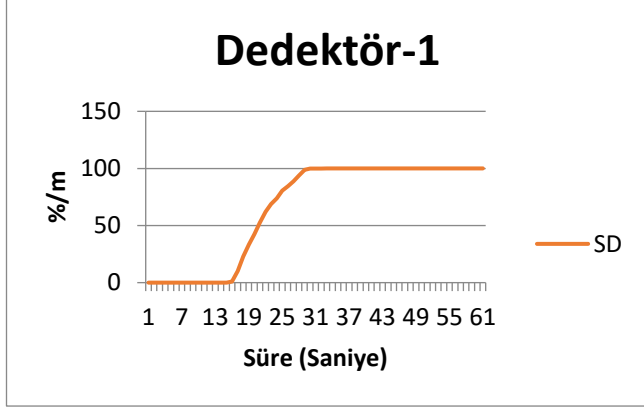
5. SİMÜLASYON SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

MGKS (Mevcut Güvenli Kaçış Süresi) > GGKS (Gereken Güvenli Kaçış Süresi) durumu güvenli tahliye için gerekli kriterdir. MGKS değerine ulaşabilmek için binada tahliye tatbikatı yapılması gerekir. Ancak tedavi gören bireylerin bulunabileceği durumlarda huzurevlerinde tatbikat yapmak mümkün olmayabilir. Simülasyon sonucunda GGKS değerine ulaşılabilir.

$$GGKS = t_d + t_n + t_{p-e} + t_e$$

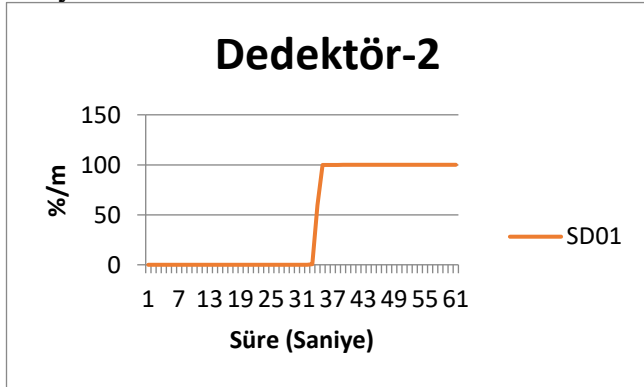
T_d = Yangının tutuşmasından algılamaya kadar geçen süre, algılama aşaması

Simülasyonda 0. saniyede tutuşma başlamaktadır. 1. dedektör ilk algılamayı 16. saniye sonra yapmıştır. 2. dedektör ise yangın başladıktan 33. saniye sonra yangını algılamıştır.



Şekil 2. Birinci dedektör algılama süresi (Sn)

Senaryolar bölümünde daha önce belirtildiği gibi NFPA72’de belirtilen pozitif alarm senaryosu uygulandığından başka bir dedektör 180 saniye içerisinde algılama yapmaz ise bu süre geçene kadar binada alarm durumuna geçilmeyecektir. Ancak 30. saniyelerde Dedektör-2 duman algıladığı için artık bina alarm durumuna geçecektir. Simülasyonda T_d süresi yaklaşık 30 saniyedir.



Şekil 3. İkinci dedektör algılama süresi (Sn)

T_n = Tespitten yangın acil durumunun bina sakinlerine bildirilmesine kadar geçen süre, bildirim aşaması;

Binada otomatik yangın alarm sistemi olduğu düşünülmüş ve Dedektör-2 duman algılayınca bekleme yapmadan alarm durumuna geçildiği düşünülmüştür. Bu nedenle bu değer 0 olarak düşünülmüştür.

t_{p-e} = Bildirimden tahliyenin başlamasına kadar geçen süre, ön tahliye aşaması;

Bu süre içinde kesin bir bilgi tatbikat yapılmadan anlaşılamayacaktır. Aynı zamanda yangının uyku durumunda ya da gün içinde çıkması bu süreyi etkileyecektir. Simülasyonda bu değer 15 saniye olarak tasarlanmıştır.

t_e = Tahliye hareketinin başlamasından güvenli alana ulaşılan kadar geçen süre, tahliye aşaması;

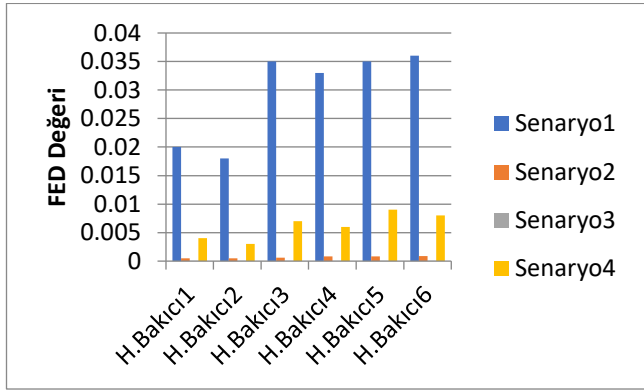
Tahliye 45. saniyede başlamış olup, t_e süresi 150 saniye sürmektedir. Güvenli alana en son geçen kişi 195. saniyede ulaşmaktadır. Yani GGKS süresi 195 saniye olarak kabul edilebilir.

Yangın çıkan katta güvenli alana ulaşım 3 dakika altında gerçekleşmektedir. Güvenli alana geçtikten sonra dumana maruz kalınmayacaktır.

Kritik olan ve FED değerleri için analizi yapılacak değerlendirme güvenli bölgeye geçene kadar devam eden tahliye süresidir. Binadan tüm kullanıcıların tahliye olması toplamda yaklaşık 580 saniye süre almaktadır. Her dört senaryo için hesaplanan tahliye olacak kişilerin FED değerleri Tablo 4. de belirtilmiştir.

Tablo 4. Simülasyonların sonuçlarına göre FED değerlerinin karşılaştırılması

	Senaryo1 (Yağmurla ma ve duman tahliye sistemi yok)	Senaryo2 (Yalnızca yağmurla ma sistemi var)	Senaryo3 (Yağmurla ma ve duman tahliye sistemi var)	Senaryo4 (Yalnızca duman tahliye sistemi var)
H.Bakı cı-1	0,020	0,0005	0,00002	0,004
H.Bakı cı-2	0,018	0,0005	0,00002	0,003
H.Bakı cı-3	0,035	0,0006	0,00002	0,007
H.Bakı cı-4	0,033	0,0008	0,00006	0,006
H.Bakı cı-5	0,035	0,0008	0,00004	0,009
H.Bakı cı-6	0,036	0,0009	0,00004	0,008

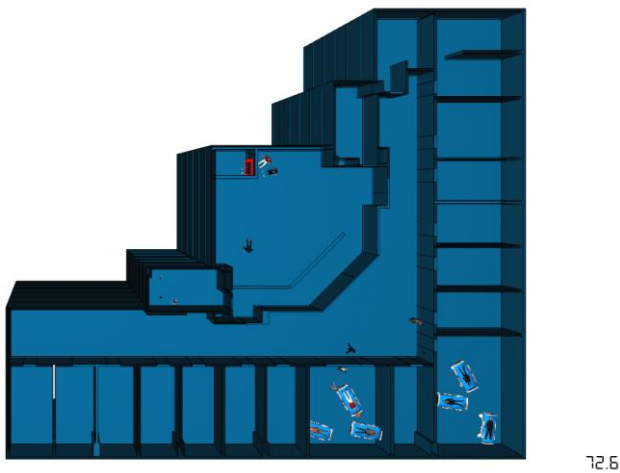


Şekil 4. FED değerlerinin grafik ile belirtilmesi

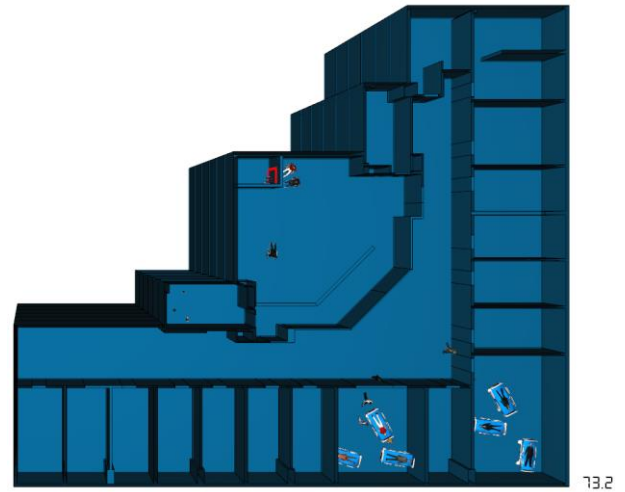
Tablo 4. deki verilere göre FED tüm senaryolarda kritik değer olan 0,3' ün altında kalmıştır. Bina yaşlı insanların bulunduğu bir bina olduğundan duman etkisine insanların direnci daha az olabilir. Bu nedenle daha düşük bir kritik oran emniyet için belirlenir. Sonuçlar baz alındığında Fed değerleri bu simülasyon için kritik bir önem oluşturmamaktadır.

Veriler incelendiğinde yağmurlama sistemi bulunmasının önemi görülmektedir. Yağmurlama sistemi ve duman tahliye sistemi bulunan senaryoda FED değeri neredeyse sıfırdır. Yağmurlama sisteminin sadece mal güvenliği değil can güvenliği bakımından da ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

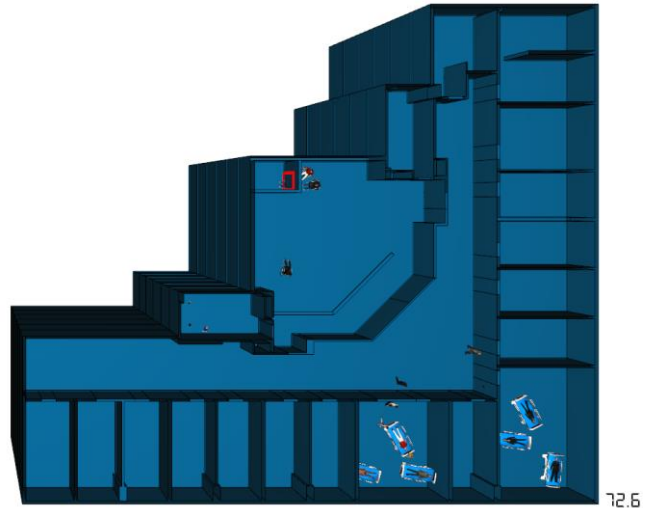
Refakatçi eşliğinde tahliye olan insanlar 70. saniyelerde odalarını boşaltmaya başlamış ve güvenli alana geçmeleri 195. saniyeye kadar devam etmiştir.



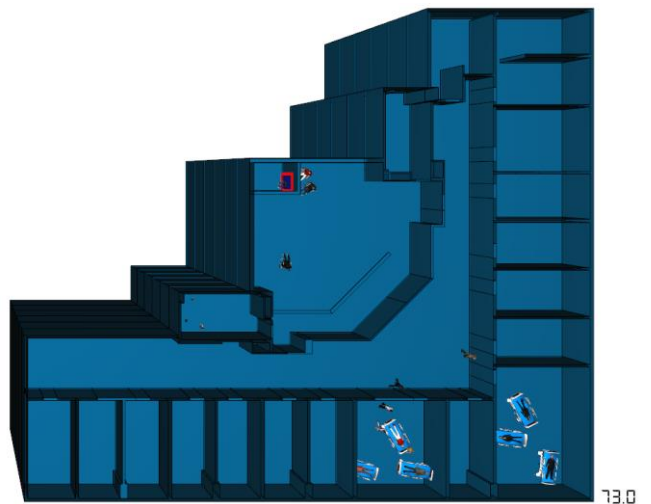
Şekil 5. Senaryo-1'e göre 72. saniyede refakatçi eşliğinde tahliye başlangıcı



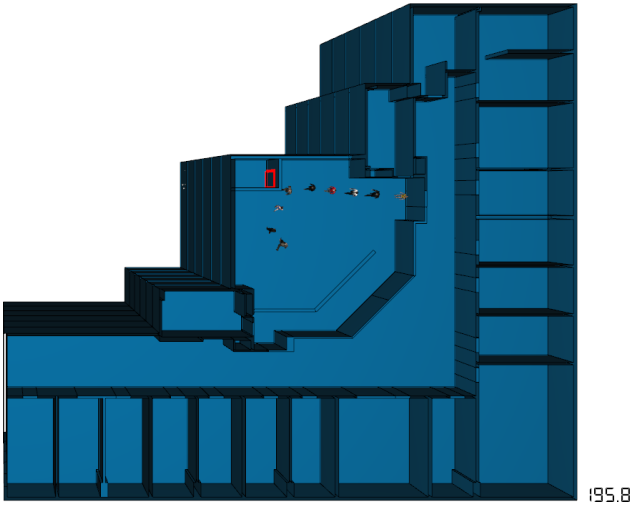
Şekil 6. Senaryo-2'ye göre 73. saniyede refakatçi eşliğinde tahliye başlangıcı



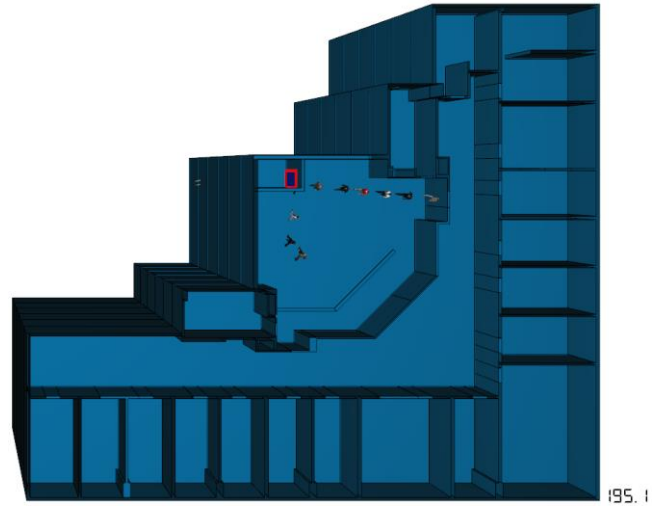
Şekil 7. Senaryo-3'e göre 72. saniyede refakatçi eşliğinde tahliye başlangıcı



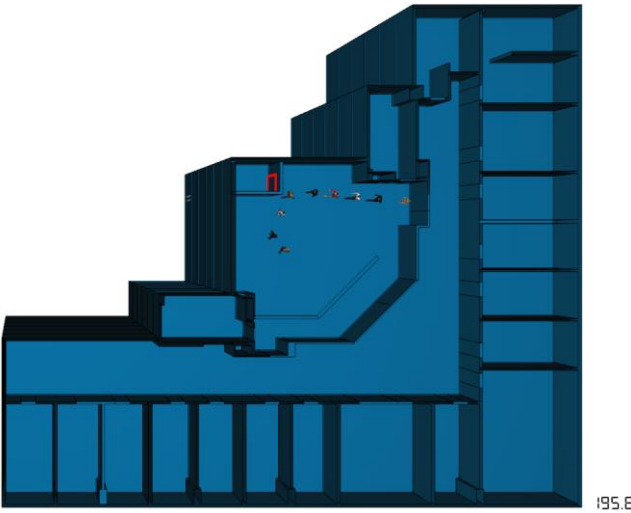
Şekil 8. Senaryo-4'e göre 73. saniyede refakatçi eşliğinde tahliye başlangıcı



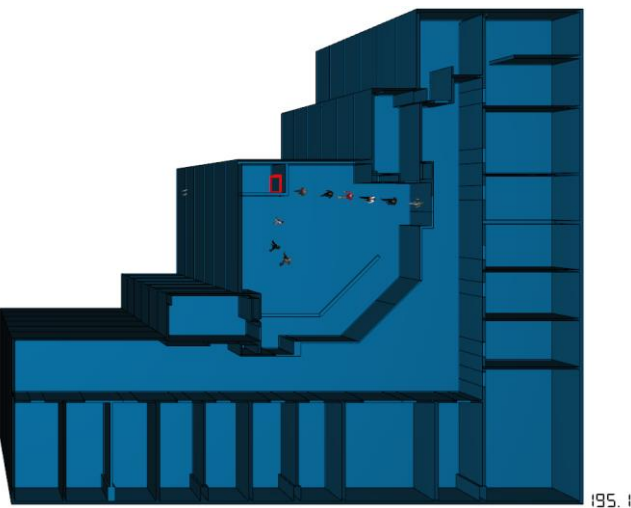
Şekil 9. Senaryo-1'e göre 195. saniyede tüm kişilerin güvenli tahliyesinin sağlandığı süre



Şekil 12. Senaryo-4'e göre 195. saniyede tüm kişilerin güvenli tahliyesinin sağlandığı süre



Şekil 10. Senaryo-2'ye göre 195. saniyede tüm kişilerin güvenli tahliyesinin sağlandığı süre

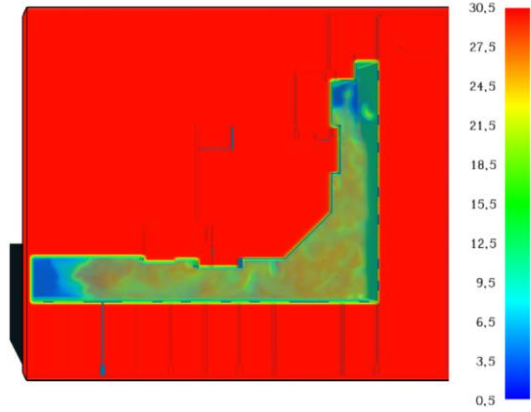


Şekil 11. Senaryo-3'e göre 195. saniyede tüm kişilerin güvenli tahliyesinin sağlandığı süre

Yağmurlama sistemi bulunmayan senaryolarda (Senaryo1 ve Senaryo4), görüş mesafesi neredeyse sıfıra yakın olduğundan tahliye uygun olmayacaktır. Sadece yağmurlama sistemi bulunan senaryolarda (Senaryo2 ve Senaryo3) ise görüş mesafesinde ciddi iyileşme sağlanmış ancak yeterli mesafe olan 5 metre sağlanamamıştır. Hem duman tahliye sistemi hem de yağmurlama sistemi bulunan senaryoda bir iki saniyelik zaman dilimleri hariç görüş mesafesi 5 metrenin üzerindedir.



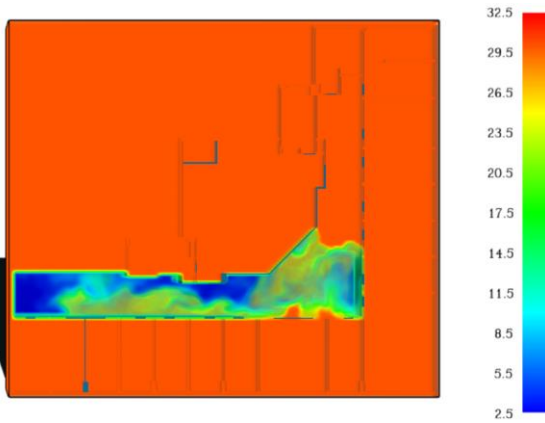
Şekil 13. Senaryo-1'e göre 90. saniyede görüş mesafesi değerleri (m)



Şekil 14. Senaryo-2'ye göre 90. saniyede görüş mesafesi değerleri (m)



Şekil 15. Senaryo-3'e göre 90. saniyede görüş mesafesi değerleri (m)

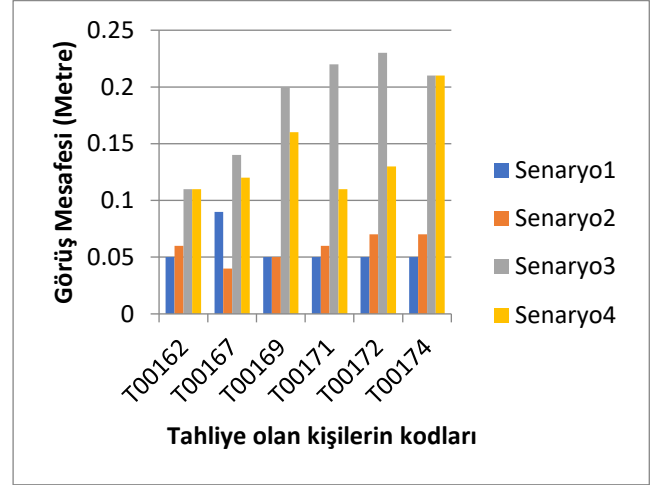


Şekil 16. Senaryo-4'e göre 90. saniyede görüş mesafesi değerleri (m)

Tablo 5. Simülasyonların sonuçlarına göre görüş mesafelerini karşılaştırılması

Tahliye olan kişinin kodu	Senaryo1 (Yağmurl ama ve duman tahliye)	Senaryo2 (Yalnızca yağmurlama sistemi var)	Senaryo3 (Yağmurlama ve duman tahliye sistemi var)	Senaryo4 (Yalnızca duman tahliye sistemi)
---------------------------	---	--	--	---

	sistemi yok)			var)
H.Bakıcı-1	0,05 m (162 s)	0,98 m (181 s)	7 m (66 s)	0,11 m (162 s)
H.Bakıcı-2	0,09 m (165 s)	1 m (182 s)	21,3 m (64 s)	0,12 m (167 s)
H.Bakıcı-3	0,05 m (167 s)	0,7 m (183 s)	30	0,16 m (168 s)
H.Bakıcı-4	0,05 m (169 s)	0,9 m (181 s)	3,3 m (79s)	0,11 m (164 s)
H.Bakıcı-5	0,05 m (171 s)	0,9m (177 s)	13,4 m (66 s)	0,13 m (167 s)
H.Bakıcı-6	0,05 m (160 s)	0,82 m (187 s)	3.7 m (80 s)	0,21 m (168 s)

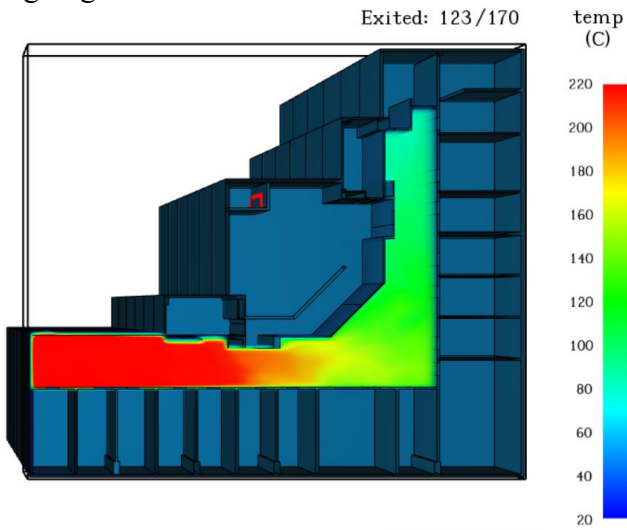
Şekil 17. 1,8 metrede görüş mesafelerinin en düşük değerinin grafik ile karşılaştırılması (5 m³/s)

BYKHY'de koridrolarda olması gereken duman egzoz fanı tasarım kriteri net olarak belirtilmemiştir. BYKHY madde 88'de kapalı otopark, kazan dairesi ve bodrum katta bulunan depolarda saatte 10 hava değişimi sağlayacak şekilde egzoz sisteminin çalıştırılması gerektiği belirtilmiştir. Ülkemizdeki genel anlayış binalarda koridor hacminin de saatte 10 katı kadar hava çevrimi sağlayacak şekilde havalandırma yapılmasıdır. Kimi görüşlerde yangın çıkan katın alt ve üst katındaki kat koridorlarını da bu hacme eklemesi gerektiğidir. Bu şekilde yorumlandığında bina mimarisine göre koridor için BYKHY gerekliliklerine göre yaklaşık 17900m³ /saat (4,9 m³/s) kapasiteli egzoz fanı ihtiyacı oluşmaktadır. Simülasyon sonuçları üç kat için 5 m³/s kapasiteli bir fan kullanılarak incelenmiş ve görüş mesafesinin sadece egzoz sistemi bulunması durumunda 1,8 metre yükseklik için yeterli olmadığı Tablo 5'de belirtilen değerler baz alındığında görülmüştür.

BYKHY'de koridor için gerekli hava çevrimi kriterlerinin de yönetmeliğe eklenmesi kişilerin yorumuna bırakılmaması gerekmektedir.

Yapılan simülasyonda koltuk yangının tasarlanması, kullanılan malzemenin poliüretan olması nedeni ile yoğun duman oluşturması ve yangın yükünün yüksek olması da görüş mesafesinin bu derece düşük olmasında etkili olabilir. Bununla beraber, bu tip yapılarda ana koridorlarda zemin seviyesinde de yönlendirme işaretlerinin bulunmasının, dumanın tavandan başlayıp zemine doğru birikeceği düşünüldüğünde iyileştirici bir durum yaratacaktır. Ana koridorlarda görüş mesafesinin iyileştirilmesi için kullanılan mobilya tekstil malzemelerinin yoğun duman çıkarmayan ürünlerden seçilmesi uygun olacaktır.

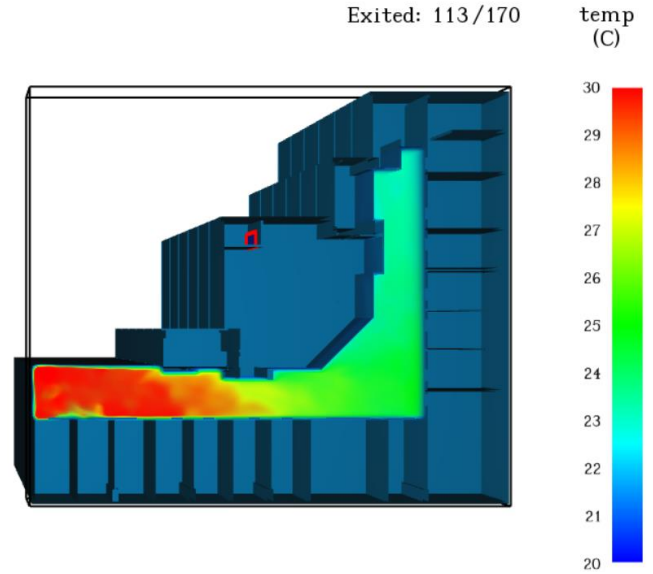
Şekil 10. Şekil 11. Şekil 12. ve Şekil 13. de koridorda oluşan sıcaklık dağılımı belirtilmektedir. Yağmurlama başlığı ve duman tahliye sistemi olmayan birinci senaryoda sıcaklık 220°C'ye ulaşmaktadır. Tüm senaryolar içerisinde ulaşılan en yüksek sıcaklık olarak bu değer görülmektedir.



Şekil 18. Senaryo-1'e göre 270. saniyede koridorda oluşan sıcaklık değerleri

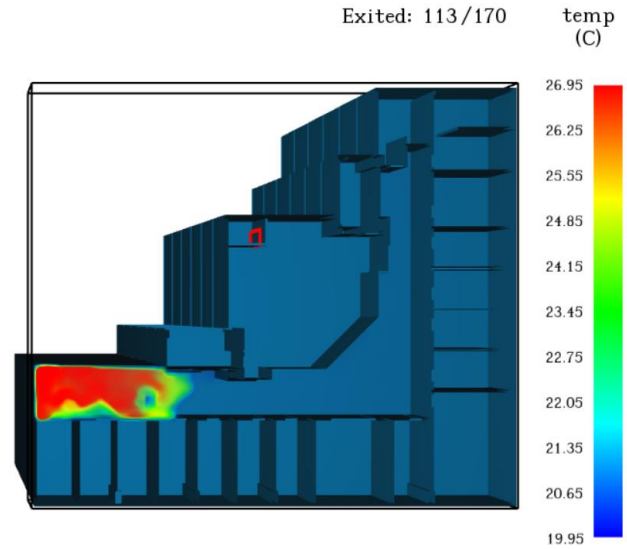
Sadece sprinkler sistemi bulunan ikinci senaryoda sıcaklık en fazla 30°C'ye çıkmaktadır. Yağmurlama başlığı 33. saniyede aktif olmuştur. Aktif olduktan birkaç saniye sonra alev söndürülmüştür. Soğuk duman koridor boyunca

yayılmıştır.



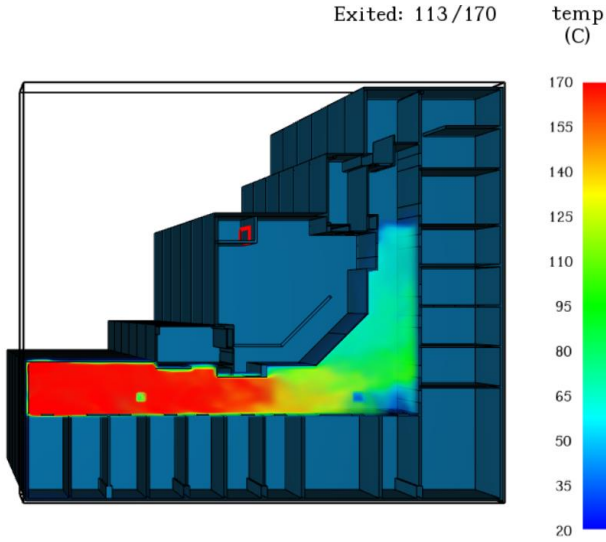
Şekil 19. Senaryo-2'ye göre 270. saniyede koridorda oluşan sıcaklık değerleri

Hem yağmurlama sistemi hem de duman tahliye sisteminin bulunduğu üçüncü senaryoda ulaşılan en yüksek sıcaklık 27 °C dir. Bu senaryoda da ilk yağmurlama başlığı 33. saniyede aktif olmuştur. Yağmurlama sisteminin bulunduğu iki senaryoda da bir adet yağmurlama başlığının aktif olması ile alev söndürülebilmştir.

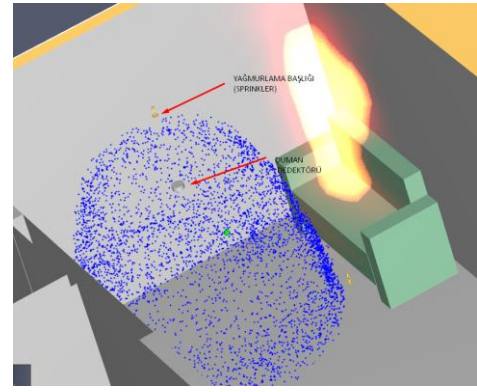


Şekil 20. Senaryo-3'e göre 270. saniyede koridorda oluşan sıcaklık değerleri

Sadece duman tahliye sisteminin bulunduğu dördüncü senaryoda görülen en yüksek sıcaklık 170 °C dir.



Şekil 21. Senaryo-4'e göre 270. saniyede koridorda oluşan sıcaklık değerleri

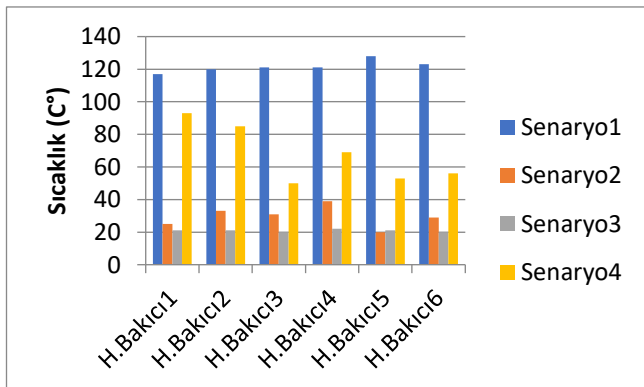


Şekil 22. Simülasyon programında yangının başladığı bölgede yağmurlama başlığı ve duman dedektörü gösterimi

Senaryolar sonucunda ortaya çıkan simülasyon sonuçlarına göre, sadece yağmurlama sistemi ve duman tahliye sistemi bulunan senaryoda ortam sıcaklığı en düşük seviyededir. Daha sonra yağmurlama sistemi bulunan senaryo gelmektedir. Ancak bu iki senaryo arasında sıcaklık farkı oldukça düşüktür. Alev çabuk söndüğü için sıcak duman koridorda yayılamamıştır. Sadece duman tahliye sistemi bulunan Senaryo-4 de sıcaklık 170 °C ye ulaşmaktadır. Sıcak duman koridorda yayılıp insan sağlığı için tehlikeli boyutlara ulaşmıştır.

Tablo 6. Simülasyonların sonuçlarına göre sıcaklıkların karşılaştırılması

Kullanıcı Kodu	Temas süresi (sn)	Senaryo-1		Senaryo-2		Senaryo-3		Senaryo-4	
		En Düşük °C	En Yüksek °C	En Düşük °C	En Yüksek °C	En Düşük °C	En Yüksek °C	En Düşük °C	En Yüksek °C
H.Bakıcı-1	5	91	117	20	25	20	21	41	93
H.Bakıcı-2	8	91	120	20	33	20	21	29	85
H.Bakıcı-3	11	84	121	20	31	20	20	36	50
H.Bakıcı-4	11	76	121	20	39	20	22	23	69
H.Bakıcı-5	15	76	128	43	20	20	21	44	53
H.Bakıcı-6	12	76	123	20	29	20	20	32	56



Şekil 23. Yangın çıkan koridorda insana tesir eden en yüksek sıcaklık değerlerinin grafik ile karşılaştırılması (°C)

Yukarıda bölüm 3 de sıcaklık için belirtilen açıklamalara göre, bir kişinin cildinde sıcaklık nedeni ile ağrı oluşması cilt sıcaklığı 44.8° C'ye ulaştığında ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle tüm senaryolarda yangının yaydığı ısı kaynaklı cilt ağrısı olma ihtimali bulunmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda Tablo 4.9. da görüldüğü üzere, ısı mazurietine karşı insan toleransı 140° C sıcaklığın altında 3 dakikadır. Tablo 6. da bu sınırdaki toplam temas süresi en fazla 15 saniye

olduğundan mevcut senaryoların tümünde sıcaklık açısından tolere edilir sınırlar içerisinde kalmıştır. Sıcaklık bazında incelendiğinde simülasyon can güvenliği açısından uygundur.

[7]. Walking Speed in Smoke: Representation in Life Safety Verifications- Karl Fridof, Daniel Nilsson, Hakan Frantzich, Enrico Ronchi (2018)

6. ÖNERİLER

Simülasyon sonuçları göz önüne alındığında özellikle görece dar ya da hacimsel olarak küçük olan tahliye koridorlarında yangın çıkması durumunda görüş mesafesi kritik ve önlem alınması en zor kriter olmaktadır. Tahliye koridorlarında görüş mesafesinin iyileştirilmesi için kullanılan mobilya ve tekstil malzemelerinin yoğun duman çıkarmayan ürünlerden seçilmesi ve bu konuda bir standart getirilmesi gerekmektedir. Bu konu NFPA101’de oteller için önerilmektedir. Ülke standartlarında ise sağlık yapıları için sınırlandırma yapılmamaktadır. BYKHY’de sağlık yapılarının yağmurlama başlığı ile korunması zorunlu değildir. Ancak bu sistemler alevi söndürüp dumanın yayılmasını düşürdüğü için kullanılması son derece önemlidir. Simülasyon sonuçları da bu görüşü doğrulamaktadır. BYKHY’de de NFPA 101’de belirtildiği gibi sağlık yapılarında yağmurlama sistemi bulunması zorunlu hale getirilmelidir.

Fed analizi sonuçları simülasyonda kritik bir önem arz etmemiştir. Ancak tahliye koridorunun daha büyük olduğu daha uzun süreli tahliyelerde bu değer kritikleşir. Tüm senaryolar incelendiğinde yağmurlama başlığı kullanıldığı takdirde dumandan etkilenmeyi ne kadar fazla oranda azalttığı, yağmurlama sisteminin insan sağlığı için olumlu etkisi olduğu görülmektedir.

KAYNAKÇA

- [1]. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik -(09/07/2015)-29411, 2021
- [2]. NFPA 101 Life Safety Code 2021Edition
- [3]. Fire Protection Handbook 20 th Edition
- [4]. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering-5th Edition-Morgan J_2015-2016
- [5]. BS 7899-2:1999 Assessment of hazard to life and health from fire - Part 2: Guidance on methods for the quantification of hazards to life and health and estimation of time to incapacitation and death in fires
- [6]. SFPE Guide to Human Behavior in Fire 2nd Edition