

	<b>MÜHENDİSLİKTE YAKITLAR, YANGIN VE YANMA DERGİSİ</b> FUELS, FIRE AND COMBUSTION IN ENGINEERING JOURNAL		
	eISSN: 2564-6435		
	Dergi sayfası: <a href="http://dergipark.gov.tr/fce">http://dergipark.gov.tr/fce</a>		
	Geliş/Received 29.04.2022	Doi: <a href="https://doi.org/10.52702/fce.1111132">https://doi.org/10.52702/fce.1111132</a>	
	Kabul/Accepted 10.10.2022		

## Alışveriş Merkezlerinde Yangın Anında Tahliye Olanaklarının Bilgisayar Destekli Simülasyon Programları ile Performans Bazlı Değerlendirilmesi

Koray ULUÇ<sup>\*1</sup>, Gökhan COŞKUN<sup>2,3</sup>, Ekrem BÜYÜKKAYA<sup>2</sup>

### ÖZ

Alışveriş merkezleri kullanıcı bakımından antropometrik değerleri çok farklı olan hemen hemen toplumda bulunan her tip ve yaşta insanın bulunabileceği mekânlardır. Bu mekânlarda gerçek anlamda bir tahliye tatbikatı yapılması ve deneysel sonuçlar edinilebilmesi geleneksel yöntemler kullanılarak oldukça güçtür ve günümüze kadar bu tip çalışmalar nadir olarak yapılabilmektedir. Yaşanan yangınların incelenmesi ile de bu tip binaların yangınında can güvenliği performansının detaylı irdelenebilmesi, mimari olarak yaratıcı fikirler ile inşa edilen bu tip bir birinden oldukça farklı yapılar için uygulanabilir değildir. Günümüzde bu tip binalardaki yangınların sonuçlarının öngörülüp, irdelenebilmesi için bilgisayar destekli programlardan yararlanılabilmektedir. Bu çalışmanın konusu; örnek bir alışveriş merkezi (AVM) yangınında can güvenliği performansının, bilgisayar destekli programlar yardımı ile farklı yangın senaryoları için tespit edilmesi ve çıkan sonuçların irdelenmesidir. Alışveriş merkezlerinde çıkan yangınlarda misafirlerin daha çok binaya girdikleri güzergâhtan panik halinde çıkmaya çalıştıkları tecrübe edilmiş bir durumdur. Zira kullanıcıların bina tahliye olanakları ile ilgili önceden bilgi alma ihtimalleri olmadığı gibi çok farklı eğitim seviyelerinde ve değişken sosyal statülerde olmaları nedeni ile yangınında davranış hakkındaki ortak eğitim seviyesi olabilecek en düşük seviyededir.

Binaların yangından korunması hakkındaki yönetmelik ülkemizde yangın tahliye olanaklarının sadece yönergesel yöntemler ile boyutlandırmasına müsaade etmektedir. Yönergesel tasarım yöntemi ile yangından korunum sistemleri tasarlanmış bir binada bina tahliye performansının ölçülmesi sistemin tasarlanabilmesi için bir zaruret değildir. BYKHY (Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik) gereği tüm binalarda senede en az bir sefer tahliye tatbikatı yapılmalıdır, alışveriş merkezi binalarında ise yönetmelikte yer almasına karşın uygulanabilir olmadığı için tam tahliye tatbikatı hiçbir zaman yapılmamaktadır. Zira bunun yapılabilmesi için AVM binasının tam dolu hale getirilmesi ve tatbikatın yapılması gerekmektedir, bunu yapabilmek için büyük AVM binalarında 1000'lerce değişik fiziki kondisyonda ve yaşta kişi görevlendirilmesi gerekecektir. Veya bu tatbikat gerçek kullanım esnasında yapılabilir, ama hiç bir AVM yönetimi en kalabalık olduğu zamanda müşterileri ile tahliye tatbikatı düzenlememektedir. Bu tip bir tahliye tatbikatının düzenlenmesinin ciddi mali ve yasal problemlere yol açacağı açıktır. Bu nedenlerden ötürü alışveriş merkezi binaları sıradan ofis, fabrika gibi binalara nazaran yangınında tahliye performansı öngörülebilir veya kontrol edilebilir yapılar değildir. Yönergesel olarak tasarlanan bir can güvenliği sisteminin performans bazlı bir ölçüm metodu kullanılarak değişik senaryolar için sınanması ve senaryolar arasındaki performans farklarının incelenebilmesi bu çalışmanın öne süreceği görüşlere dayanak oluşturacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Çıkış, tahliye, alışveriş merkezi, can güvenliği, yangın simülasyonu.

\* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1 Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yangın ve Yangın Güvenliği, [koray.uluc1@ogr.sakarya.edu.tr](mailto:koray.uluc1@ogr.sakarya.edu.tr)

2 Sakarya Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü

3 Sakarya Üniversitesi, Yangın Uygulama ve Araştırma Merkezi

# Performance-Based Evaluation Of Means Of Egress In Shopping Mall In Case Of Fire With Computer Aided Simulation Softwares

## ABSTRACT

Shopping malls are places where people of all types and ages can be found in the society with very different anthropometric values in terms of occupants. It is very difficult to carry out a real evacuation exercise and to obtain experimental results in these places using traditional methods and such studies have rarely been carried out until today. Examining the life safety performance of this type of buildings in detail by examining the fires experienced is not applicable for these types of buildings, which are built with architecturally creative ideas, which may not be very similar to each other. Today, computer aided programs can be used to examine the consequences of fires in such buildings. The subject of this study is to determine the life safety performance in a sample shopping mall fire with the help of computer aided programs for different fire scenarios and to examine the results. It is an experienced situation that shopping malls' fires, guests mostly try to get out of the path they entered the building in a panic. Because the users are not likely to receive prior information about building means of egress and because they have very different education levels and varying social statuses, the common education level on fire behavior is at the lowest possible level.

Legal regulations allow sizing fire evacuation possibilities in our country only with prescriptive methods. It is not a necessity to measure the building evacuation performance in a building designed with this method. In accordance with BYKHY (Turkey's Regulation on Fire Protection of buildings), evacuation drills must be performed at least once a year in all buildings, whereas full evacuation drills are never carried out in shopping mall buildings as it is not applicable, although it is included in the regulation. For these reasons, shopping mall buildings are not predictable or controllable structures in fire evacuation performance compared to ordinary buildings such as offices and factories. Testing a life safety system designed as a directive for different scenarios by using a performance-based measurement method, and examining the performance differences between scenarios will form the basis for the results that this study will put forward

**Keywords:** Egress, evacuation, shopping mall, life safety, fire simulation.

## 1. GİRİŞ

AVM binaları içerisinde bulunan insan özellikleri çok çeşitli olabilmektedir. Hareket engelli yardıma muhtaç insanların olabileceği bu yerleşkelerde her yaşta insan bulunabilmektedir. Yerleşkede bulunan insanların eğitim seviyeleri ve yangın anında verecekleri tepkiler de değişiklik gösterebilmektedir. Yangının çıktığı bölge ve insanlara etkisinin şiddeti neticesinde panik ve izdiham yaşanması mümkün mekânlardır.

AVM binaları çoklukla en üst katlarında yoğun insan bulunduran sinema salonları, yeme içme, eğlenme alanları barındırmaktadır, bu hali ile mağazadan çok birer toplanma amaçlı bina olarak değerlendirilmeleri doğru olacaktır.

AVM binaları genellikle atriumlara sahip mimarileri ile bilinmektedirler, bu halleri ile tahliye yolları alt katta çıkan bir yangın sebebi ile kısıtlı bir zaman içerisinde engelli hale gelebilmekte, kullanıcıların panik duruma geçmesine neden olabilmektedir.

Güncel AVM mimarilerinde sıkça kullanılan atriumlar yönetmelik gereği duman kontrol sistemleri ile korunmalıdır, fakat bu tip sistemlerin boyutlandırılabilmesi için yürürlükteki yönetmelikte ve referans standartlarda yangın mühendisliği bakış açısı ile tutarlı olabilecek yönergesel tasarım kriteri bulunmamaktadır. BYKHY gerekliliklerine göre bu gibi durumlarda tasarım aşamasında (Computational Fluid Dynamics) CFD destekli yangın simülasyonları kullanılması gerekmektedir [1]. Bu simülasyonların hesap başlangıç kriterinin içerisinde (gerekli güvenli tahliye süresi) GGTS değeridir. Öyle ki gerekli tahliye süresi bulunacak bu süre boyunca yaşanabilir ortam kriterlerinin sağlanabilmesi için olası yangında ne kadar duman (Kirlenmiş hava) hacmi egzoz edilmesi gerektiği hesaplanabilecektir. Bu değer sağlanabilmesi ise dizayn aşamasındaki bir AVM de bulunan Atrium bölümü için ancak tahliye performansı bilgisayar simülasyonu ile ölçülmüş ise belirlenebilir. Bu değer çok önemli bir can güvenliği sisteminin (Duman kontrol sistemi) tasarım başlangıç kriteri olacağı için gerçek durumu yansıtabilecek şekilde hesaplanabilmesi ve olası olumsuzlukların dikkate alınabilmesi hayati önemdedir. Bu tip sistemlerin tasarlanmasında her zaman olası olumsuzluklar ve beklenmeyen aksaklıklar (Örnek: Yeterli performansta çalışmayan duman egzoz fanı,

yangının geç algılanması, tahliye anonsunun geç idrak edilmesi vs.) göz önünde bulundurularak belirli bir tolerans ile tasarım yapılması gereklidir. MGTS (Mevcut güvenli tahliye süresi) her zaman GGTS (Gerekli güvenli tahliye süresi) üzerinde bir süre olmalıdır.

## 2. YANGINDAN KORUNUM SİSTEMLERİ STRATEJİLERİ, TASARIMDA KULLANILAN YÖNETMELİKLER VE STANDARTLAR

### 2.1. Yangından Korunum Stratejileri

Yangından korunum temelde iki şekilde sağlanabilir;

Tutuşmanın önlenmesi en etkili ve maliyet avantajlı korunum stratejisidir, bu stratejiyi yalnız başına kullanmak proseslerin ve ortam koşullarının nadir olarak izin verebileceği bir durumdur. Şekil 1’de gösterildiği üzere, ısı kaynakları ile yanıcı malzemeleri tümü ile ayırabilmek ve yangın riskini sıfıra indirmek çoğu zaman mümkün olmamaktadır, bu gibi durumlarda diğer yangından korunum stratejisini geliştirmek gerekmektedir “Yangının etkisini yönet” Bu strateji artık yangının oluştuğunu ve etkilerinin minimum seviyeye indirilmeye çalışıldığı aşamadır. Bu aşamada yangını yönetmek ve maruz kalanları (Yanıcı yükleri, eşyaları, yangının yayılmasına yardımcı olabilecek gaz tesisatı, malzeme deposu vs.) kontrol altına almak yangınla yapılan mücadelede başarı sağlanmasını sağlayacaktır.



Şekil 1: Yangın güvenliği ağacı (NFPA550 Guide to the fire safety concepts tree)

## 2.2. Yangından Korunum Sistemleri Tasarımında Yönergesel Tasarım Metodu

Ülkemizde kullanılabilir tek tasarım yöntemi bu tasarım yöntemidir, bu yöntemde önceden belirlenmiş ve tarif edilmiş tasarım kurallarına bağlı kalarak bina tasarlanır kural dışı tasarımlar ve daha önceden yapılmamış yerleşkeler tasarlamak ancak uzun süreli standart revizyonları ile hayata geçebilir, bu yöntemde alternatif yangından korunum sistemleri kullanılması mümkün değildir. Bu nedenlerden hayal gücü ve güncel teknoloji ile sınırlı estetik mimari tasarımlara, günün koşullarına göre çok hızlı değişim gösteren endüstriyel bina tasarımlarına yönergesel tasarım metodu kullanılarak her zaman cevap verebilmek mümkün olmamaktadır.

Yönergesel tasarım kriterleri bina özelliklerini önceden konulmuş sınırlar dâhilinde tutmayı amaç edinmiştir, bu kriterler haricinde tasarım yapılmasını engellemektedirler.

Örnek yönergesel tasarım kriterleri;

- Çıkışa ulaşım mesafesi,
- Tahliye yolu genişliği,
- Yangın merdiveni genişliği,
- Alternatif çıkışların birbirinden uzak olması gerekliliği,
- Kullanıcı sayısına göre çıkış sayısı,
- Yerleşke tipine ve kullanım amacına göre alınması gereken en az seviyedeki tedbirlerdir.

## 2.3. Yangından Korunum Sistemleri Tasarımında Performans Bazlı Tasarım Metodu

Performans bazlı tasarımda tasarlanmak istenen sistem ve korunmak istenenlerin maruz kaldığı etmenler bilimsel yöntemler ile hesaplanarak tasarımın amacına uygun olup olmadığı kontrol edilir. Yapılan tasarım uygun değil ise geliştirilerek tekrar sınırlar ve bu süreç uygun tasarıma ulaşana kadar tekrarlanır.

Can güvenliğinin amaç olarak edinildiği tasarımlarda ise performans bazlı tasarımın en basit olarak ifadesi olası yangında ortamdaki Mevcut Güvenli Tahliye Süresi (MGTS) ile Gereken Güvenli Tahliye Süresinin (GGTS) bilimsel yöntemler ile hesaplanarak yerleşkenin yangına karşı güvenli olmasını sağlamaktır.

MGTS > GGTS koşulu yerleşkenin güvenli olduğu durumdur.

Güvenli alan kriterlerine aşağıdaki koşullar örnek verilebilir [9];

Tahliye edenlerin hayatta kalması için performans kriterleri, zeminden 5 ft (1,5 m) yükseklikte aşağıdaki koşullar karşılanır:

- Sıcaklık 150°F (65°C) değerini geçmez.
- Anlık karbon monoksit konsantrasyonu 10.000 ppm'yi geçmez.
- Kümülatif karbon monoksit konsantrasyonu yüzde 25 karbon monoksit hemoglobin düzeyini geçmez.
- Oksijen konsantrasyonu yüzde 14'te tutulur veya daha büyüktür.

Flashover'ın önlenmesine ilişkin kriterler şunlar olabilir:

- Üst katman sıcaklığı maksimum 600°C
- Kattaki radyan ısı akısı 20 kW/m<sup>2</sup>'yi geçmez (veya eşik 1,8 Btu/sn/ft<sup>2</sup> olarak belirtilebilir, bu eşik yukarı aynıdır).

Performans bazlı tasarım aşamaları Şekil 2'de gösterildiği üzere aşağıdaki gibidir;

- Proje konusu

Bu bölümde çalışma yapılacak bina mimarisi ve özellikleri tanımlanır (kullanım amacı, yüksekliği, yapı elemanları vs.)

- Maksadın belirlenmesi

Mimari estetiğin sağlanması, duman kontrolünün sağlanarak hasarın minimize edilmesi, bu bölümde yer alabilecek birbirine tezat iki hedefe örnek olarak gösterilebilir.

- Amaçların tanımlanması

Örnek olarak bir atrium alanında dumanın kontrol edilebilmesi için alınacak farklı önlemler gösterilebilir. Dumanın atrium dolmasına müsaade edilerek daha yüksek bir debi ile duman tahliyesi yapılabileceği gibi katlarda hapsederek daha düşük debilerde duman tahliyesi yapılabilir veya yangın yükü atrium alanında sınırlandırılabilir.

- Yangın senaryolarının oluşturulması

Bina karakteristik özellikleri, kullanıcı özellikleri ve olası yangın özellikleri senaryoların

oluşturulmasında irdelenmesi ve kullanılması gereken hususlardır.

Atrium yangınından örnek vermek gerekirse bina özelliği olarak atriumun yüksekliği, genişliği, en üst kullanılabilir alan ile tavan arasındaki mesafe gibi veriler kullanılır, kullanıcı yoğunluğu ve davranış karakteri değerlendirilir, olası yangın yükü, yanıcı malzeme miktarı, tipi, yangın hızı, söndürme sistemleri, emisyon gazları değerlendirilir.

- Deneme tasarımının geliştirilmesi

Tüm proje katılımcıları ile yapılacak değerlendirmeler sonucunda kurulması gereken sistem ve boyutları hakkında çalışma yapılarak analiz edilecek tasarımlar belirlenir.

- Deneme tasarımlarının sınanması

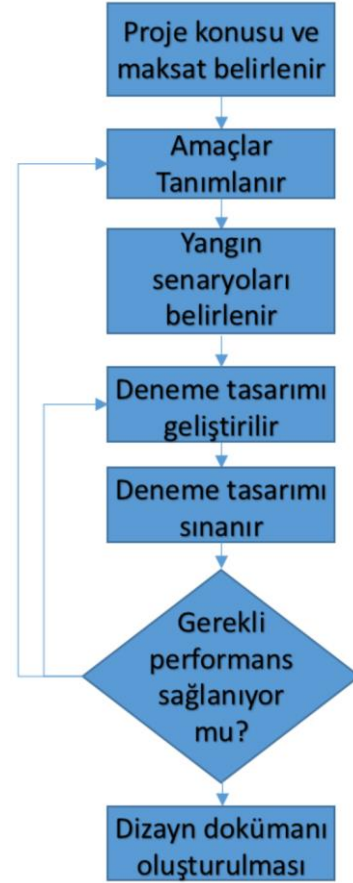
Bu aşamada hem duman hem de tahliye simülasyonları çalışmaları yapılarak çeşitli sistemler için performans analizleri yapılarak sonuçlar çıkarılır.

- Final tasarımın seçilmesi

Yapılan denemeler sonucunda tasarlanacak sistem seçilir. Örnek olarak atriumda çıkan bir yangın için duman kontrolünün cebri veya doğal duman atım sistemleri ile atılması veya atriumun bir duman rezervuarı olarak duman kontrolü yapılmaksızın kullanılması gibi tasarımlar eğer yapılan analizlerde başarılı olmuşlar ise değerlendirilerek seçilirler.

- Dizayn dokümanlarının oluşturulması

Bu aşamada dizayna konu olan alan ve girdi verilerinin belirlenerek tüm katılımcılarca onaylanması sağlanır, bu veriler içerisinde mekânda bulunabilecek maksimum kullanıcı, ortamda bulunabilecek maksimum yanıcı malzeme miktarı, bulundurulma biçimi ve yeri gibi veriler ve analiz sonuçları yer alır.



Şekil 2: Performans bazlı tasarım aşamaları [8]

## 2.4. Yangından Korunum Sistemleri Tasarımında Kullanılan Standartlar ve Yönetmelik

Yangından korunum sistemlerinin tasarlanmasında, kurulumunda ve işletmesinde genel anlamda Şekil 3 'de gösterildiği üzere dört etmen vardır;



Şekil 3: Tasarım ve kurulum paydaşları

Yönetmelikler, tasarımın hangi standartlara göre yapılacağını tarif eden kanunlar, tüzükler ile belirlenmiş tasarım, işletme, bakım, kurulum, kapsam, sorumluluklar gibi konuların bütününi teşkil eder. Yönetmelikler kapsadıkları alanlarda anayasa, kanun ve tüzüklerin altında standartların üzerindedirler.

Ülkemizde Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik (BYKHY) 2002

senesinden bu yana bulunmakta olup en son revizyonunu 2021 senesinde geçirmiştir.

Standartlar ise bir tasarım yöntemlerini, tasarımın nasıl yapılacağını, tasarım kriterlerini ihtiva eden dökümanlardır. Genellikle yönetmelikler tasarım kriterleri içermeden ilgili sistem tasarımları için ilgili standartları belirtmektedir fakat BYKHY içerisinde Türk standartlarında belirtilen tasarım kriterlerine uyum olmayan tasarım kriterleri de verilmiştir, bu gibi durumlarda yönetmelik standartların üzerinde olduğu için BYKHY gereklilikleri tasarımlarda uygulanmalıdır.

BYKHY öncelikli olarak TS lerin kullanılmasını bu standartlarda yer almayan konularda EN Avrupa standartlarının kullanılmasını bu standartlarda da yer almayan konularda ise yurt dışı standartların kullanılmasını istemektedir.

Yetkili merci, tasarımın kabul edilebilir olduğunun onaylandığı mercidir, ülkemizde bu ruhsat vermeye yetkili belediyeler, organize sanayi bölgeleri kimi durumlarda ise çevre ve şehircilik bakanlığıdır. Bazı özel durumlarda, binalarda yetkili merci kanun ile belirlenmiş farklı kamusal birimlerde olabilmektedir.

Ayrıca iş yeri çalışma ruhsatı alınacağı zamanlarda ilgili belediyenin yönlendirdiği itfaiye denetim birimi de yetkili merci olarak görev alabilmektedir. İtfaiye denetim birimi genellikle işin tamamlanması sonrasında kontrol amaçlı hizmet verebilmektedir.

Kimi durumlarda yetkili merci tek bir birim olmamakta yukarıda da bahsedildiği üzere belediye, itfaiye denetim birimi yanında sigorta firması risk değerlendirme birimi de yetkili merciler içerisinde bulunabilmektedir.

Yapılan tasarımın uygunluğunun bu üç birim onayına tasarım aşamasında sunulması sonradan yaşanabilecek problemlerin önüne geçilebilmesi için kritiktir.

Uygulanan tasarımda kullanılan ekipmanların, sistemlerin istenen performansta çalışabilir olduğunun garantisi ise ancak sertifikasyon ve test kuruluşlarınca verilecek hizmet ve denetim neticesinde mümkün olabilmektedir.

Yurt içinde kullanılan test kuruluşu TSE Türk standartları enstitüsüdür, TSE yangından korunum sistemleri bakımından birçok alanda test ve sertifikalandırma hizmeti verebilmekle beraber eksik kalınan noktalarda öncelikle EN standartları sonrasında yurt dışı standartları sıkça

kullanılmaktadır. Maalesef yangından korunum sistemleri bakımından ülkemiz standartları ve yönetmeliği güncel, kapsamlı tasarım kriterleri içermediği için ülkemizde tasarımcılar sıklıkla National Fire Protection Association-Ulusal Yangından Korunma Derneği (NFPA), Underwriters Laboratories (UL), Factory Mutual (FM), Society of Fire Protection Engineers - Yangından Korunum Mühendisleri Derneği (SFPE) gibi Amerika Birleşik Devletleri kökenli standartlar, kodlar ve kaynaklar kullanılmaktadırlar.

Yangından korunum ile ilgili standartlar yapılan deneysel çalışmalar ile sürekli olarak geliştirilmektedir. Dolayısı ile bu konuda en çok araştırma, geliştirme yapan ve bu sayede güncel tutulan standartlar sigorta firmalarınca da talep edilen olmaktadır. Global ölçekli sigorta firmaları, franchise veren firmalar (Otel, Restoranlar vs.), global faaliyet gösteren firmalar merkezi sigorta poliçeleri neticesinde güncel olan ve geliştirilen, zaman içerisinde yaşanan kayıplarda alınan dersler neticesinde hızlı bir şekilde düzeltilen bu standartları tasarım kriteri olarak kabul etmektedirler.

### 3. YANGIN TAHLİYE SİSTEMLERİ TASARIMI KRİTERLERİ

Yangın durumunda tahliye olanaklarının sağlanması can güvenliğinin temini bakımından çok önemlidir. Mimari olarak yangından kaçış yolları güvenliği temini yanı sıra yangın tahliye olanaklarının yardımcı elektromekanik tesisatlar sayesinde yangın durumunda kullanılabilir kalması temin edilmelidir.

Yangın tahliye olanakları BYKHY’de kaçış yolları olarak isimlendirilmektedir. Kaçış yolu BYKHY’de “Oda ve diğer müstakil hacimlerden çıkışlar, katlardaki koridor ve benzeri geçişler, kat çıkışları, zemin kata ulaşan merdivenler ve bina son çıkışına giden yollar dâhil olmak üzere binanın herhangi bir noktasından yer seviyesindeki cadde veya sokağa kadar olan ve hiçbir şekilde engellenmemiş bulunan yolun tamamını” olarak tarif edilmiştir.

Yangın tahliye olanakları üç ana temelde değerlendirilir [2];

- Çıkışa ulaşım
- Çıkış
- Çıkıştan tahliye

Çıkışa ulaşım:



Kat bazında güvenli yangın hollerine kadar ulaşımı kapsar ve çıkışa kadar maksimum seyahat mesafesi, tek yönde zorunlu seyahat mesafesi, ölü koridor maksimum uzunluğu, çıkışa ulaşım koridoru yapısal özellikleri, çıkışa ulaşım yolu üzerindeki kapıların özellikleri, çıkışların birbirinden minimum uzaklığı gibi kriterler üzerinden standartlarda ön görülen limitlerde binalar tasarlanmalıdır.

#### 4. DUMAN KONTROL SİSTEMLERİ TASARIMI KRİTERLERİ

##### 4.1. Duman Tahliye Sistemleri Tipleri

Duman tahliye sistemleri cebri veya doğal duman atım sistemleri olabilmektedir. Cebri duman atım sistemleri duman egzoz fanları marifeti ile ortamdan dumanın çekilmesi taze havanın da ortama doğal veya cebri yöntemlerle verilmesi neticesinde çalışırlar.

Duman atım sistemlerinin tasarlanmasında amaç tahliye süresini olabildiğince uzatmakla birlikte yangına müdahale edecek itfaiye personelinin binaya girişini ve yangının merkezini tespit etmesine olanak sağlamaktır.

Mülkün korunmasına yönelik tasarlanan yangından korunum sistemlerinde, yangına manuel müdahalenin geç olacağı ve can güvenliği riskinin düşük olduğu yangınlarda, eğer sprinkler sistemleri var ise, yangına sprinkler sistemi ile müdahale edilmesine olanak tanımak ve duman egzozunu otomatik olarak yapmamak daha uygun bir yangın ile savaşma stratejisidir.

Zira duman egzoz yapılırken ortama taze hava verilmesi bir zorunluluk olup yanmayı körükleyecek oksijen girişine müsaade edilmiş ve olası yangının oksijene doyurulması ile daha verimli yanmasına neden olunur.

Tabii ki tahliye süresince ortamın yaşanabilir kalması ve manuel müdahalenin gerekli olduğu AVM yangınları gibi koşullarda yangının taze hava beslenmesi ve körüklenmesi durumu güvenli ortamın uzatılması için yangının kontrol edilmesi amacından fedakârlık edilmesi gereken bir durumdur.

Doğal duman atım sistemlerinde mekânın mümkünse en üst noktasından atmosfere açık konumlandırılmış duman atım klapeleri marifeti ile dumanın ortamdaki havadan ısı farkını kullanarak klapeler üzerinden doğal akış ile tahliye edilmesi sağlanarak atılması amaçlanır, Taze hava

girişinin bu tip sistemlerde doğal yöntemler ile sağlanması tavsiye edilir, cebri hava besleme sistemleri tasarlanması zorunlu ise dikkatli bir tasarım yapılması gerekir, duman kirlenmiş hava olarak tanımlanmaktadır, doğal duman atım sistemlerinde dumanın olabildiğince çalkalanmadan dolayısı ile daha fazla duman oluşturmadan atılması hedeflenmektedir.

Her iki yöntemde de dumanın atılabilmesi için ortama taze hava girişi olması vazgeçilmez bir gerekliliktir. Taze hava ortama bina cidarından sızıntı ile girebilse de bu oran atılan dumana nazaran çok küçük bir değerdir, bu nedenle NFPA92 gerekliliği olarak en az %95 oranında taze hava beslemesi yapılabilir [6].

BYKHY’de atriumlarda duman atım yöntemi olarak cebri duman kontrol sistemleri zorunlu tutulmamıştır (Madde 24-5) atriumlarda cebri veya doğal duman atım sistemlerinin tasarlanabileceği belirtilmiştir [1].

İlgili madde aşağıdaki gibidir;

“Atriumlu bölümlere, sadece düşük ve orta tehlikeli sınıfları içeren kullanımlara sahip binalarda müsaade edilir. Atrium alanının hiçbir noktada 90 m<sup>2</sup>’den küçük olmaması esastır. Alanı 90 m<sup>2</sup>’den küçük olan atrium boşluklarının çevresi her katta en az 45 cm yüksekliğinde duman perdesi ile çevrelenir ve yağmurlama sistemi ile korunan binalarda duman perdesinden 15 ila 30 cm uzaklıkta, aralarındaki mesafe en çok 2 m olacak şekilde yağmurlama başlığı yerleştirilir. Atriumlarda doğal veya mekanik olarak duman kontrolü yapılır.”

Yönetmelikçe doğal duman atıma izin verilmesi ve bu sistemin cebri sistemden daha düşük performanslı olması nedeni ile yapılacak simülasyonda farkın daha iyi anlaşılabilmesi için performansı daha stabil ve iyi olan AVM binası atriumunda cebri duman kontrol sistemi kullanılması kararlaştırılmıştır.

##### 4.2. Isı Salınım Oranı (ISO)

Duman kontrol sistemlerinin tasarımında ısı salınım oranı (ISO) karar verilmesi çok önemli olan bir tasarım başlangıç parametresidir. Hali hazırda küçük ölçekte çeşitli malzemelerin ısı yayma oranları laboratuvarlarda ölçülerek eğrileri ile birlikte kayıt altına alınmıştır fakat bir mağazada çıkan yangının birçok farklı yanıcı malzemeyi farklı zamanlarda tutuşturacağı her bir grubun farklı ısı salınım eğrileri olacağı ve belirli

## MGTS ve GGTS

zaman diliminde kümülatif eğrinin nasıl olacağı konusunda parametreleri çokluğu nedeni ile bilimsel dökümü yapılmış bir eğri mevcut değildir. BS 7346-4 (Components for smoke and heat control systems - Part 4: Functional recommendations and calculation methods for smoke and heat exhaust ventilation systems, employing steady state design fires — Code of practice) Tablo 1 [8] dikkate alınır ise, mağaza içerisinde çıkan bir yangın için standart tepki süreli sprinkler kullanılması halinde hesaba sokulması gereken ısı salınım oranı  $0,625\text{MW/m}^2$ 'dir. Yangının yayılım alanı ise  $10\text{ m}^2$  alınmalı yangının çapı  $12\text{ m}$  alınmalıdır. Yangını toplam  $10\text{ m}^2$  yayıldığı düşünülüğünde hesaba sokulması gereken toplam yangın yükü  $6,25\text{ MW}$  olarak bulunmaktadır.

Bu çalışmada kullanılacak en yüksek yangın yüklü senaryolarda sprinklersiz ortam için oksijen yeterliliği üzerinden maksimum yangın yükü hesaplaması yapılacaktır.

### 4.3. Yaşanabilir Ortam Kriteri

Duman kontrol sistemlerinin amacı GGTS (Gerekli güvenli tahliye süresi) süresince yaşanabilir ortam koşullarını sağlayabilmektir ancak bu şekilde binayı tahliye edecek herkesin güven içerisinde tahliyeyi gerçekleştirebileceğinden emin olunabilir.

Optik olarak yoğun duman, çıkış seçimini ve kaçış kararlarını etkiler, yol bulma yeteneği ve yolcuların hareket hızı duman konsantrasyonuna (optik yoğunluk) bağlıdır.

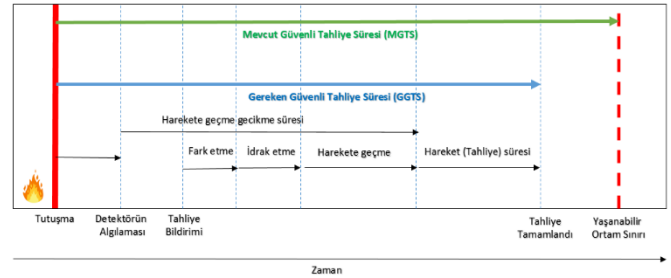
İnsanlı yapılan deneylerde, insanların dumanla dolu bir koridorda yürümesi istendiğinde, tahriş edici olmayan duman (Duman gözleri ve üstü solunum yollarını tahriş eder.) içinde yürüme hızının duman yoğunluğu ile azaldığını ve  $0,5\text{ OD/m}$  optik yoğunlukta (tükenme katsayısı  $1,15$ ) yürüme hızının yaklaşık  $1,2\text{ m/s}$ 'den (dumansızken ki hız)  $0,3\text{ m/s}$ 'ye kadar azaldığını göstermiştir. Jin [5] tarafından yapılan bu testte insanlar zifiri karanlıktaymış gibi davranmışlar ve yollarını duvarlar boyunca dokunarak bulmuşlardır [10].

Günümüzde bu değerlendirme kriterlerinin yanına dumanda oluşan zehirli gazların etkisinin değerlendirilmesi de girmiştir. Aynı zamanda (Fractional Effective Dose) FED kısmi etkili doz değerleri de izlenmektedir. Çeşitli kaynaklara göre FED kabul edilebilir sınırları değişiklik göstermektedir.

Performans bazlı tasarımda mevcut güvenli tahliye süresi (MGTS) ve gerekli güvenli tahliye süresinin (GGTS) analizi yapılarak binanın güvenli olup olmayacağına karar verilebilmektedir.

MGTS yangının başlangıcından yangının etkileri nedeni ile ortam koşullarının elverişsiz hale gelmesi neticesinde yerleşkeden tahliye yapacak kişilerin etkisiz, hareketsiz kalacağı tahmin zamana kadar geçecek süreyi tariflemektedir.

GGTS yangının başlangıcından itibaren tüm kişilerin güvenli bir alana tahliye etmesi için gerekli tüm süreyi ifade etmektedir [3].



Şekil 4: MGTS ve GGTS Kavramları

Gerekli güvenli tahliye süresi hesabı tutuşmadan sonra eğer otomatik bir yangını algılama sistemi mevcut ise dedektörlerin yangını algılama süresinin harekete geçme süresi ile ve tahliye süresi ile toplanması ile bulunmaktadır.

Harekete geçme süresi ise içerisinde fark etme süresi, idrak etme süresi ve harekete geçme sürelerini içermektedir.

Tahliye süresi yapılacak simülasyon sonucu belirlenir. Sonuçta hesaplanan gerekli güvenli tahliye süresi (GGTS), binanın tamamen tahliye edilmesi için yangının başlangıcından itibaren geçen sürenin mevcut güvenli tahliye süresinden (MGTS) az olmalıdır.

### Harekete Geçme Süresi

Harekete Geçme Süresi: İnsanların yangın çıktığını anladıktan sonra harekete geçme için karar aldığı süredir. SFPE el kitabı [11] Tablo 3.13.1'de de belirtildiği üzere toplam 3 dakikalık bir harekete geçme süresi gecikmesi kayıt edilmiş ses ile sesli anons sistemi kullanılan bir AVM binası için uygun bir yaklaşımdır.

Yerleşke tipi	W1	W2	W3
Dükkan, mağaza, spor merkezleri, toplanma alanları (İnsanlar uyanık, bulunduğu yere, alarm sistemine, tahliye prosedürüne yabancı)	<2	3	>6



W1: Kapalı devre televizyon sistemi ile canlı sesli komuta sistemi bulunan, üniformalı , iyi eğitilmiş personel tüm insanlar tarafından görülecek ve duyulacak şekilde direktifler verebiliyor ise.

W2: Önceden kayıt edilmiş anons sistemi bilgilendirme uyarısı yapıyor ve görsel olarak personel tarafından yönlendirme yapılabiliyor ise.

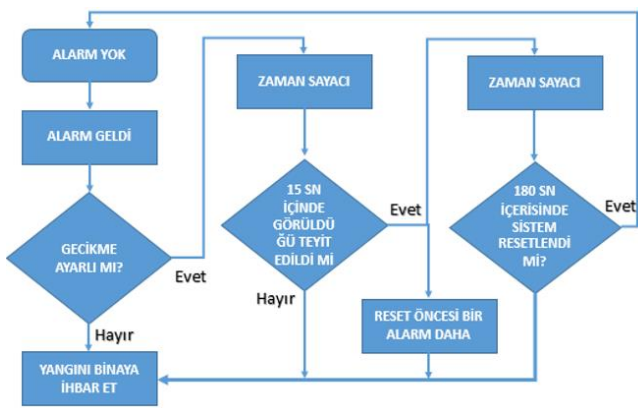
W3: Uyarı sistemi anons olmayan ve personelin eğitim almadığı durumlarda.

Şekil 5: SFPE [11] Tablo 3.13.1 Dakika olarak tahmini tahliye başlangıç gecikme süresi

Çalışma yapılan AVM’de BYKHY gerekliliği olarak tesis edilmiş TS EN 54 standardına uygun vasıfta tüm binayı kapsayacak şekilde otomatik bir yangın algılama ve ihbar sistemi mevcut olduğu varsayıp, pozitif alarm sıralaması metodu ile yangın ihbarı yapılacağı düşünülmüştür.

Dedektörler algıladıktan sonra standartlarca izin verilen en uzun sürede alarmın geciktirilebilmesi pozitif alarm sıralama metodunun kullanılması ile mümkündür. Ülkemizde uygulamalara bakıldığında standartlara bağlı kalmaksızın bu gecikme sürelerinin oldukça uzun olarak bırakıldığını hatta çoğu AVM’de yaşanan yanlış alarmlar neticesinde alarm sisteminin yönetmeliğe uygun olmayacak şekilde manuel olarak çalıştırıldığını da görmekteyiz. Zira bu konuda ilgili yangın algılama ihbar sistemi kurulumu standardında ve yönetmelikte somut veri ve sınırlama bulunmamaktadır [1, 3].

Pozitif alarm sıralaması NFPA72 de; sistem resetlenmez ise bir alarm ile sonuçlanan otomatik bir sıralama olarak tanılanmaktadır [4].



Şekil 5: NFPA72 Pozitif alarm sıralaması algoritması

## 5. MATERYAL VE METOT

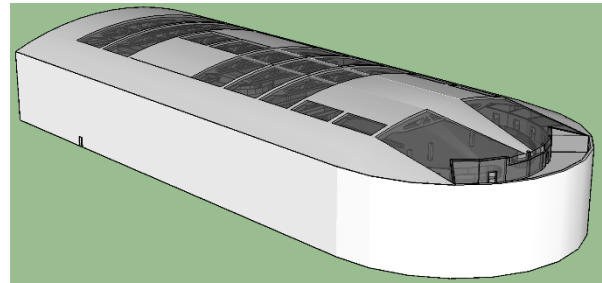
### Tahliye Süresi

Tahliye hızları gerçek hayatta insanların fiziki kondisyonları, cinsiyeti, kıyafeti, eşlik ettikleri

kişiler, yaş ve maruz kaldıkları dış etmenlere göre değişiklik göstermektedir, tahliye hızları çıkışa ulaşım yolları üzerinde geniş alanlarda, kapılarda, düz koridorlarda, sıkışık düzende ve rahat yürüme koşullarında da farklılık göstermektedir. Bu konuda SFPE el kitabında [7] belirtilen deneysel sonuçlar edinilmiştir. Tahliye simülasyonunda kullanılan Pathfinder programı SFPE modunda tahliye hesapları yaptırılarak kullanılmıştır, SFPE modunda tahliye hızı yoğunluğun bulunan bölgenin ve SFPE temel diyagramına bağlı bir hız eğrisinden çekilen fonksiyondur.

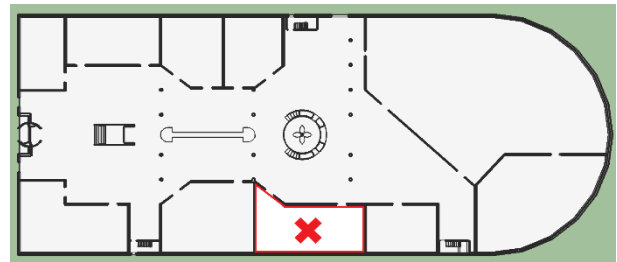
### Simülasyon Yapılacak AVM Mimarisi

Simülasyon yapılacak AVM örnek binası bir girişi 3 normal kat olmak üzere toplam 4 kattan oluşmaktadır, AVM de tüm katlara hitap eden toplam 3 adet yangın merdiveni ve katlar arası değişken ara dolaşım merdivenleri vardır.



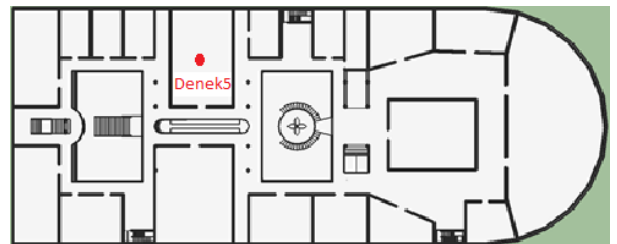
Şekil 6: AVM Dıştan görünüş

Yangın başlangıç noktası AVM binası giriş katında yer alan aşağıdaki oyuncakçı mağazası olacaktır;

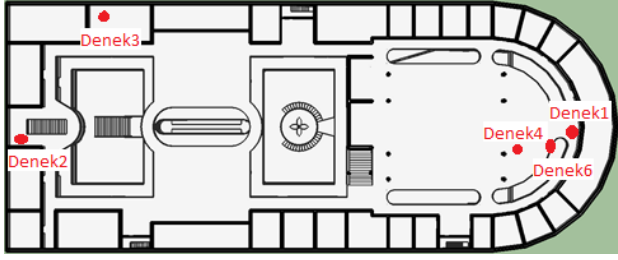


Şekil 7: Yangın merkezi

Simülasyonda incelenen deneklerin kat planındaki başlangıç pozisyonları aşağıdaki gibidir;



Şekil 8: İkinci kat planı



Şekil 9: Üçüncü kat planı

## Yangın Senaryosu

Atrium bölgesinde çıkacak yangın ve bu yangın için çeşitli senaryolar ile simülasyon başlangıç kriterlerinin oluşturulmasında SFPE 5. Addition kullanılmıştır [7].

YANGIN LOKASYONU	OTOMATİK SÖNDÜRME	DUMAN EGZOZ SİSTEMİ	SENARYO NO	SENARYO OLASILIK
Atriuma açılan mağaza	Evet (0,7)	Evet (0,7)	S01	0.49
		Hayır (0,3)	S02	0.21
	Hayır (0,3)	Hayır (0,3)	S03	0.09
		Evet (0,7)	S04	0.21

Şekil 10: Senaryo olasılık ağacı

Atriumlarda duman kontrol sisteminin sadece CFD çalışması yapılarak tasarlanmasının mümkün olduğu bu çalışmanın önceki bölümlerinde belirtilmiştir. Bu nedenle yapılacak analizde duman egzoz sistemi kapasitesi en kötü senaryolar dikkate alınarak S04, S02 ve S03 senaryoları için duman kontrol sisteminin ve sprinkler sisteminin bu tip binalarda can güvenliği bakımından önemi irdelenecektir.

S01: Yangın lokasyonu atriumda, otomatik söndürme sistemi (sprinkler sistemi) çalıştı, duman egzoz sistemi çalıştı senaryosu.

S02: Yangın lokasyonu atriumda, otomatik söndürme sistemi (sprinkler sistemi) çalıştı, duman egzoz sistemi çalışmadı senaryosu.

S03: Yangın lokasyonu atriumda, otomatik söndürme sistemi (sprinkler sistemi) çalışmadı, duman egzoz sistemi çalışmadı senaryosu.

S04: Yangın lokasyonu atriumda, otomatik söndürme sistemi (sprinkler sistemi) çalışmadı, duman egzoz sistemi çalıştı senaryosu.

## Simüle Edilecek Yangın Özelliği

Mağazanın içinde oluşabilecek pik yangın yükü için doğal havalandırma sınırı aşağıdaki Walton ve Thomas 2008 denklemi kullanılarak hesaplanabilir [7];

$$Q_{vl} = 1500 \frac{kw}{m^{5/2}} A_0 \sqrt{h_0} \quad (1)$$

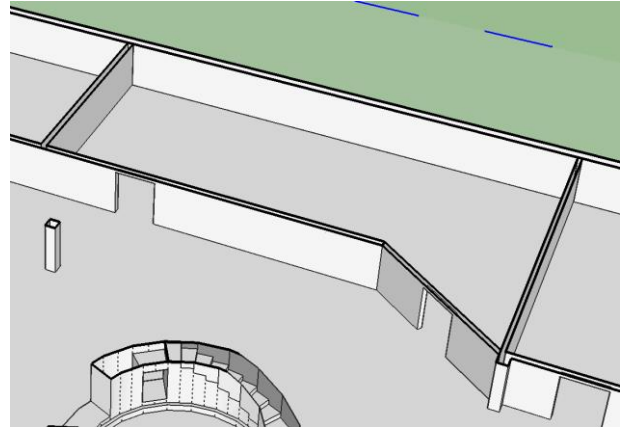
$Q_{vl}$ =Doğal havalandırma ile sınırlı yangın büyüklüğü (kW)

$h_0$ = Açıklığın yüksekliği (m)

$A_0$ = Açıklığın alanı (m<sup>2</sup>)

Modelde yangının çıkacağı alan olarak belirlenen oyuncak mağazasının iki adet kapısı vardır, kapılar 2,4 metre yüksekliğinde ve 2 metre genişliğindedir.

Formül üzerinden hesaplandığında her iki kapıdan girebilecek taze hava miktarı, bu alanda klima santrallerinin yangın ihbar üzerine durması ile sadece kapılardan doğal hava sirkülasyonu olacağı kabulü ile 14.400 kw (14,4 MW) olacaktır.



Şekil 11: Yangın çıkan mağaza kapıları

## Simüle Edilecek Duman Tahliye Sistemi Özellikleri

Simülasyonda çatıya yerleştirilmiş 2 adet duman egzoz fanı kullanılacaktır her bir egzoz fanının debisi sabit olarak 33,3 m<sup>3</sup>/saniye (119.880 m<sup>3</sup>/saat) olacak toplam debi 66.6m<sup>3</sup>/saniye (239.760 m<sup>3</sup>/saat) olacaktır. Duman egzoz fanları yangını merkezindeki duman detektörlerinden herhangi birisi aktive olduktan sonra 30 saniyelik bir bekleme süreci sonrasında devreye girecektir.

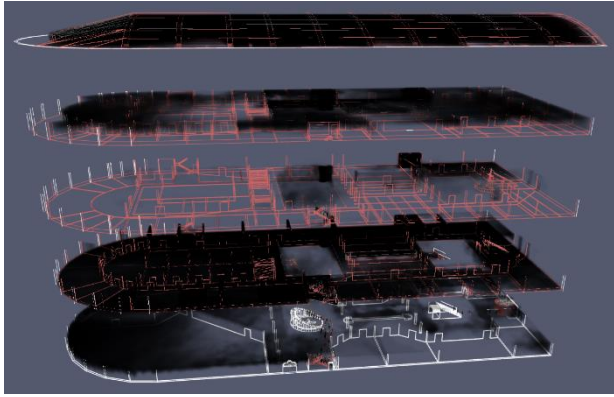
Taze hava bina zemin katında bulunan 4 adet kapının yangın anında otomatik olarak açılması ile sağlanacaktır.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

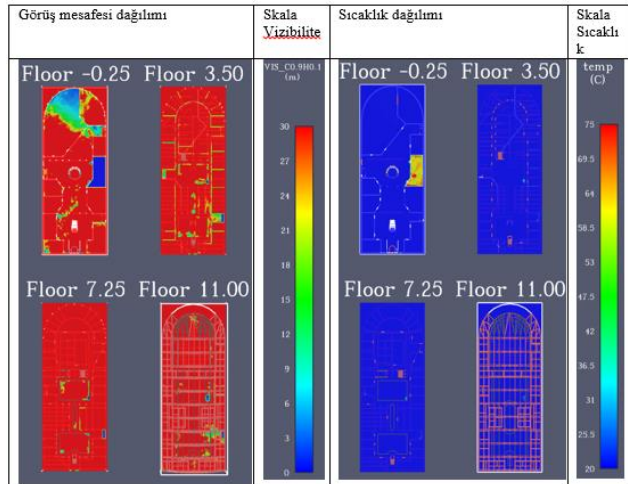
### 6.1. Sonuçların Genel Planlar Üzerinden Değerlendirmesi

S02 Senaryosu yani sadece sprinkler sisteminin çalıştığı bu nedenle yangın yükünün 6,25 MW ile sınırlı kaldığı senaryo can güvenliği bakımından en güvenli senaryo olarak belirlenmiştir, simülasyonun sonunda 675. saniyede görüş mesafesi (Vizibilite) ve baş mesafesindeki sıcaklık değerleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

Görüş mesafesinin 5-10 metre civarlarında olması BS PD 7974-6:2019 'a göre uygundur [4]. Yangın merkezi hariç bina genelinde görüş mesafesinin 5 metre altına düşmediği simülasyon sonuçlarında görülmüştür.

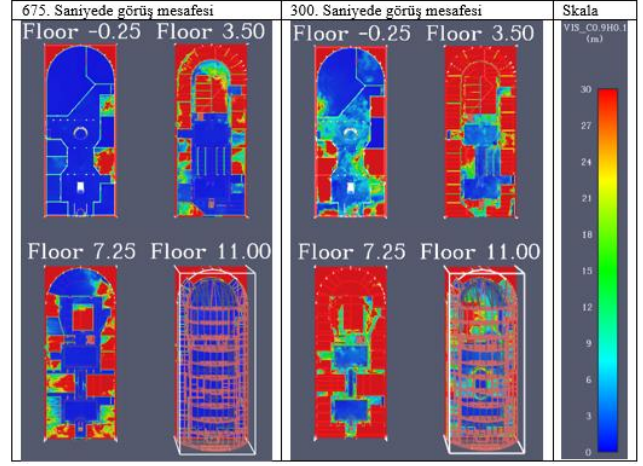


Şekil 12: Senaryo 2, 650. saniye duman yayılımı (Görselde katlar birbirinden ayrılarak gösterilmiştir.)



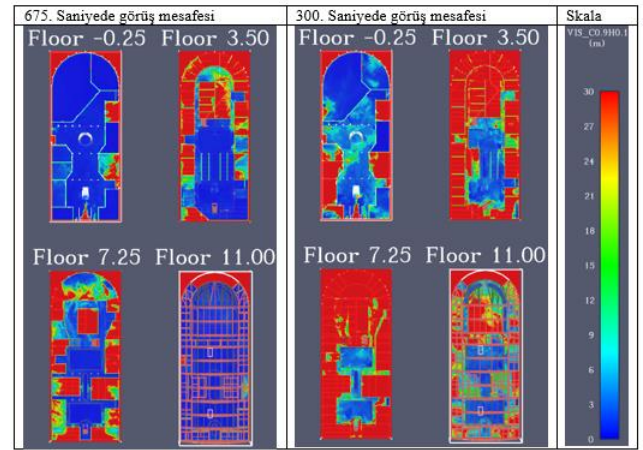
Şekil 13: Senaryo 2, senaryosu 675. saniye görüş mesafesi ve sıcaklık değerleri

S03 Senaryosunda, duman egzoz sisteminin ve sprinkler sisteminin aktif olmadığı senaryoda görüş mesafeleri aşağıdaki görseldeki gibi olmuştur;



Şekil 14: Senaryo 3, senaryosu vizibilite (görebilirlik) mesafeleri

S04 Senaryosunda, sadece duman egzoz sisteminin aktif olduğu senaryoda görüş mesafeleri aşağıdaki görseldeki gibi olmuştur;



Şekil 15: Senaryo 4, senaryosu vizibilite (görebilirlik) mesafeleri

### 6.2. Sonuçların Denekler Üzerinden Değerlendirmesi

Yapılan incelemede S02 senaryosu için vizibilite konusunda hiçbir denek için kritik eşğin aşılmadığı görülmüştür, S03 ve S04 senaryolarında ise her denek için vizibilite sınırlarının aşıldığı tespit edilmiştir;



### 6.3. Çalışma Sonuçlarının Değerlendirmesi

Çalışma sonucunda;

Bu tip bina yangınlarında duman kontrol sistemi tasarımı bakımından görülebilirlik sınırının FED kriterinden daha konservatif bir tasarım verisi olduğu değerlendirilmiştir.

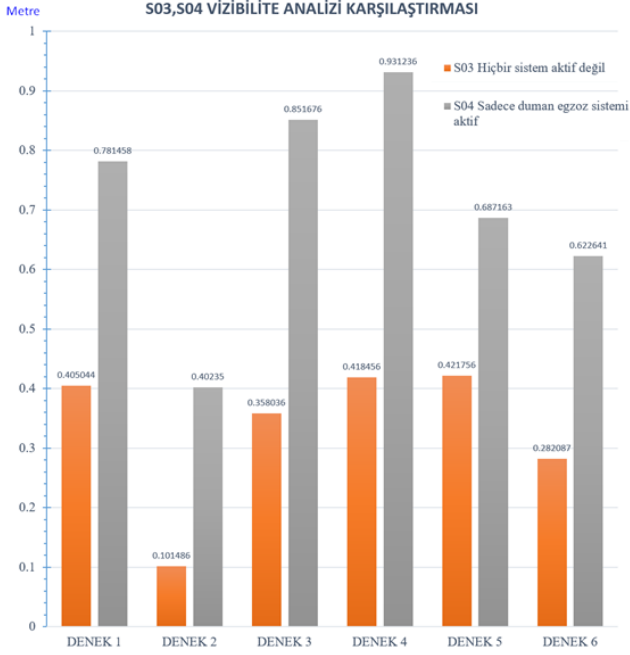
Duman kontrol debisinin yetersiz seçilmesi durumunda bile FED bakımında pozitif etkinin kayda değer oranda görülebileceği değerlendirilmiştir.

Yetersiz bir duman kontrol sistemi görülebilirlik (Vizibilite) konusunda duman kontrol sistemi yoksunluğu durumu ile benzer sonuçlar vereceği görülmüştür.

Sprinkler sisteminin kullanımının duman kontrol sistemi kullanımına nazaran daha etkin bir can güvenliği önlemi olduğu görüşü kuvvetlenmiştir.

### REFERANSLAR

- [1] Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik -(09/07/2015)-31665, 2021
- [2] NFPA 101: Life Safety Code, 2021 Edition
- [3] TS EN 54-14 Yangın algılama ve yangın alarm sistemleri - Bölüm 14: Planlama, tasarım, kurulum, devreye alma, kullanım ve bakım için rehber. Kasım 2018
- [4] NFPA 72: National Fire Alarm and Signaling Cod, 2022 Edition
- [5] JIN, T. Visibility through fire smoke. Part 5. Allowable smoke density for escape from fire. Report of Fire Research Institute of Japan. 1976, No.42, 12
- [6] NFPA 92 Standard for smoke control systems, 2021
- [7] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering-5th Edition-Morgan J\_2015-2016.
- [8] SFPE Performance-Based Fire Safety Design, 2015
- [9] Fire Protection Handbook 20 th Edition
- [10] 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.
- [11] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering Third Edition

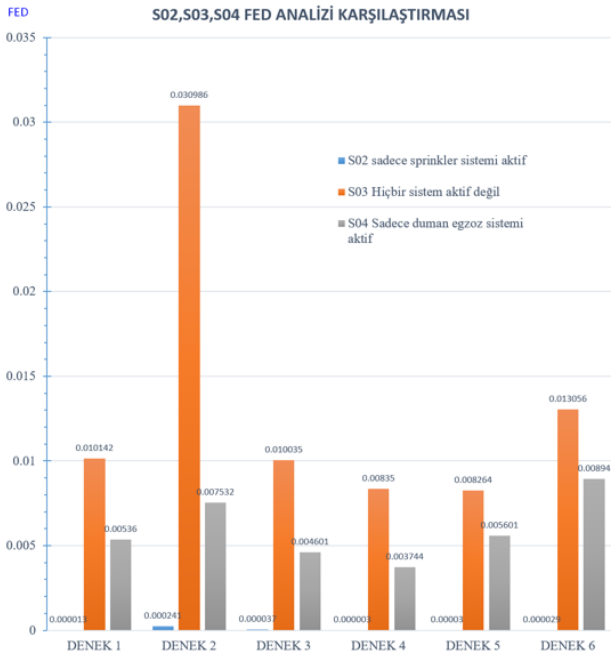


Şekil 16: Senaryo 3-4 Vizibilite Karşılaştırması

Her iki senaryo da vizibilite bakımından gerekli kabul değerlerini sağlamamasına rağmen duman kontrol sisteminin varlığı denekler geneline bakıldığında misli oranında pozitif yönde etki sağlayabilmiştir.

Senaryolara göre FED (Kısmi etkili doz) karşılaştırması;

675. saniye sonunda tahliye eden insanlardaki Fed oranları senaryolara kıyasla aşağıdaki gibidir;



Şekil 17: FED analizi Karşılaştırması