

## Kapalı Alan Yangınlarıyla Mücadelede Yeni Stratejiler ve Yangın Eğitimlerinde Simülasyon Sistemlerinin Önemi: Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Yangınla Mücadele Eğitim ve Araştırma Simülasyonu Örneği<sup>1</sup>

Bülent Buldu, Hakan Aykul, Ağah Aygahoğlu, Ahmet Danış, Sevinç Gündüz Danış, Ali Telli

Öğretim Görevlisi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, [bulent.buldu@dpu.edu.tr](mailto:bulent.buldu@dpu.edu.tr), ORCID: 0000-0002-8705-31182

Profesör Doktor, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, [hakan.aykul@dpu.edu.tr](mailto:hakan.aykul@dpu.edu.tr), ORCID: 0000-0003-3014-0947

Doktor Öğretim Üyesi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, [agah.aygahoglu@dpu.edu.tr](mailto:agah.aygahoglu@dpu.edu.tr), ORCID: 0000-0002-6556-8663

Öğretim Görevlisi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, Hisarcık Meslek Yüksekokulu, [ahmet.danis@dpu.edu.tr](mailto:ahmet.danis@dpu.edu.tr), ORCID: 0000-0002-8007-1743

Öğretim Görevlisi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, Pazarlar Meslek Yüksekokulu, [sevinc.danis@dpu.edu.tr](mailto:sevinc.danis@dpu.edu.tr), ORCID: 0000-0002-8067-4560

Öğretim Görevlisi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, [ali.telli@dpu.edu.tr](mailto:ali.telli@dpu.edu.tr), ORCID: 0000-0002-2285-351X

### Makale Bilgisi

#### Makale Tarihsel Süreci:

Geliş Tarihi:06/11/2024

Düzeltilme Tarihi:24/12/2024

Kabul Tarihi:28/12/2024

**Anahtar Kelimeler:** Yangın,  
Duman, Isı, Flashover

**JEL Kodları:** H84, O18, H89

### Özet

Günümüz yangınlarıyla mücadele özel söndürücüler ve teknikler gerektirir. Yangın ortamının gerçeğe en yakın şekilde oluşturulması, yangın boyunca oluşan tehlikelerin izlenmesi, bu tehlikelerin nasıl önlenebileceğinin itfaiyecilere tatbik edilmesi önemlidir. Bu çalışmada, yangın ortamında karşılaşılabilecek tehlikelerin benzetiminin yapılması amaçlanmıştır. Yangın gelişim süreci simüle edilerek izlenmiş ve yangın aşamalarında oluşan durumlar gözlemlenmiştir. Simülasyonda gerçekleştirilen yangında duman ve ısı birikimi ölçülmüş ve elde edilen veriler istatistiki olarak işlenmiştir.

## New Strategies In Fighting Indoor Fires And The Importance Of Simulation Systems In Fire Training: Kütahya Dumlupınar University Fire Fighting Training And Research Simulation Example

### Article Info

#### Article history:

Received:06/11/2024

Revised:24/12/2024

Accepted: 28/12/2024

**Keywords:** Fire, Smoke, Heat,  
Flashover

**JEL Codes:** H84, O18, H89

### Abstract

Fighting today's fires requires special extinguishers and techniques. It is important to create the fire environment as close to reality as possible, to monitor the dangers that occurs during the fire, and to teach firefighters how to prevent these dangers. In this study, it is aimed to simulate the dangers that may be encountered in a fire environment. The fire development process was simulated and monitored, and the situations occurring during the fire stages were observed. Smoke and heat accumulation in the fire in the simulator were measured and the obtained data were processed statistically.

<sup>1</sup> Buldu, B., Aykul H., Aygahoğlu A., Danış A., Gündüz Danış S., Telli A. (2024). Kapalı alan yangınlarıyla mücadelede yeni stratejiler ve yangın eğitimlerinde simülasyon sistemlerinin önemi, *Uluslararası Sosyal ve Ekonomik Çalışmalar Dergisi*, 5(2), 361-383, DOI: 10.62001/gsijses.1580222

## **GİRİŞ**

Yangın ciddi yıkım ve ölümcül risklere sebep olabilen genellikle insan kaynaklı bir acil durum olarak kabul edilmekle birlikte yangının bazı durumlarda oluşturduğu yıkım bir afete dahi dönüşebilmektedir.

Yanma (ateş) uygun şekilde kullanıldığında, endüstriyel ve evsel ihtiyaçlarımızı karşılamak için bir güç ve ısı kaynağı olarak büyük fayda sağlar, ancak kontrolsüz ve uygun olmayan kullanımda, yani yangına dönüşmesi durumunda ciddi maddi hasara ve can kayıplarına neden olabilmektedir (Drysdale, 2011).

Sanayi devrimi ile başlayan ve günümüzde devam eden üretim prosesleri, ulaşım ve iletişim araçları ile eşyalar ve yaşamın temel gereksinimi haline dönüşmüş enerji kaynaklarının çeşitliliği, meydana gelen yangınların da bu değişim ve çeşitliliğe denk olarak karmaşık hale gelmesi, yangınla mücadelede de yeni önlemlerin öne çıkmasını ve yangıcı malzemenin türüne göre özel söndürücü ve tekniklerin kullanımını gerekli kılmıştır.

Bu çeşitlilik, yangına müdahalede doğru teknik ve malzemelerin kullanılmaması durumunda, yangın mahallinde ölümcül tehlikelere sebep olabilmekte ve yine bu yanlış uygulamalar nedeniyle söndürme işleminin uzaması ve oluşan zararın artması söz konusu olabilmektedir.

Tüm afet ve kazalar da olduğu gibi, toplumun ve bireyin can ve mal güvenliğini tehdit eden yangın afetine karşıda önleyici ve koruyucu tedbirlerin alınması devlet, kurumlar, sivil toplum ve birey boyutuyla güvenli ve sağlıklı bir yaşam açısından öncelikli olarak ele alınması ve hayata geçirilmesi gereken bir konudur.

Yangınlar sonucu yaşadığımız ve yaşıyor olduğumuz insani, ekonomik ve kültürel kayıplar, yangın zararlarının önlenmesine ve azaltılmasına yönelik bilimsel araştırma çalışmalarının ve yaygın eğitim faaliyetlerinin ne denli önemli olduğunu da ortaya koymaktadır.

Yangın zararlarının önlenmesi/azaltılması ve yangına etkin ve güvenli müdahale noktasında yangın sırasında yaşanan olayların ve etkileşimlerin bilimsel temelde iyi anlaşılması ve çözümlenmesi önem arz eden bir konudur.

Bunun için ise kapalı ortamda çıkan yangınların gerçeğe en yakın şekilde benzetimi yapılarak oluşturulması gerekmektedir. Bu sayede yangınların tüm aşamalarında ortaya çıkabilecek tehlikeler izlenebilir ve bu tehlikelere karşı alınması gerekli tedbir ve eylemlerin belirlenmesi de mümkün olacaktır. Şüphesiz bu konu yangına maruz kalan kazazedeler kadar müdahale personelinin güvenliği açısından da büyük önem taşımaktadır.

Dünyada önde gelen yangınla mücadele araştırma ve inceleme sistemleri incelendiğinde bahsi geçen tehlikelerle bu tehlikelere karşı alınması gerekli tedbirlerin araştırılmasında gerekli olan deneysel çalışma ve uygulama ortamlarının, kapalı ortam simülörleri kullanılarak başarılı bir şekilde hayata geçirildiği görülmektedir. Kapalı ortam simülörlerinden en yaygın olarak kullanılanlardan bir tanesi konteyner simülörlerdir.

Bu çalışmada kapalı alanda oluşan bir yangının tüm aşamalarında karşılaşılabilecek olay ve tehlikelerin benzetiminin yapılması (simüle edilmesi) ve benzetim yapılan bu ortamda (simülörde) ortamdaki bazı yangın faktörlerinin araştırılması amaçlanmaktadır.

Bu amaç doğrultusunda yapılan çalışmalar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Yangın simülasyonu kavramı, önemi, yöntemleri ve mevcut uygulamaları incelenmiştir.
2. Kapalı alan yangınlarının dinamiğine ilişkin literatür araştırması yapılmıştır.

3. Konteyner yangın simülöründe benzetim deney ortamı hazırlanmış ve yangın deneyi yapılmıştır.
4. Deney ve uygulamalardan elde edilen bulguların değerlendirilmesi yapılmıştır.
5. Tartışma yapılmış ve sonuçlar ortaya konmuştur.

Yangınlar sonucu yaşadığımız ve yaşıyor olduğumuz insani ekonomik ve kültürel kayıplar, yangın zararlarının önlenmesine ve azaltılmasına yönelik bilimsel araştırma çalışmalarının ve yaygın eğitim faaliyetlerinin ne denli önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

Şüphesiz Fen ve Teknik Bilimler alanındaki bilimsel araştırmalarda ve eğitim faaliyetlerinde, ilgili alandaki uygulama altyapısı imkânları nitelikli bir eğitim açısından son derece önemlidir. Afet yönetimi gibi odağında insan hayatı olan bir disiplinde bu önem bir kat daha artmaktadır.

Pek çok bilim alanında olduğu gibi afet yönetimi alanında da risk azaltma, hazırlık, müdahale ve iyileştirme boyutuyla uygulamaya dönük yapı alan ve tesislerin kuruluşu nitelikli eğitim ve araştırma faaliyetleri yönünden önem arz etmektedir.

Bu çerçevede Üniversitemiz bünyesinde afet yönetimi kapsamındaki araştırma ve geliştirme çalışmalarının uygulama boyutuyla niteliği ve kapasitesini arttırmak amacıyla bir yangın araştırma uygulama alanının oluşturulması planlanmaktadır.

Bu araştırma uygulama kompleksinin başta Üniversitemiz Sivil Savunma ve İtfaiyecilik ve İş sağlığı Güvenliği programları alanlarında eğitim alan öğrenciler ile yine bu alanlarda görev yapan profesyonellere araştırma yapma imkanı verilmesi, akademik seviyede bilgi üretimi ve birikiminin gelişmesi, Devletin ve sivil toplumun yetkin kurumları ile (AFAD, İtfaiye, UMKE, Türk Kızılay'ı vb.) etkin bir şekilde ortak çalışma imkânının sağlanması ve toplumun afet ve kazalara yönelik farkındalık ve bilinç düzeyinin artırılması konularında ciddi katkılar sağlayacağı öngörülmektedir.

Ülkemizde ve Dünyada en riskli gruptaki acil durumlardan birisinin yangın olduğu göz önüne alınarak, bu çalışma kapsamında, yangın modülü kapalı alan yangınla mücadele araştırma eğitim simülörünün tasarımı ve tesisinin hayata geçirilmesi amaçlanmaktadır. Üniversitemiz bünyesinde oluşturulacak bu yangınla mücadele simülörünün, araştırma amaçlı bilgi üretiminde ve itfaiye teşkilatları ve sivil savunma itfaiyecilik bölümlerinin nitelikli uygulama ihtiyaçlarının karşılanmasında önemli katkılar sağlayacağı öngörülmektedir.

## **SİMÜLASYON KAVRAMI ve YANGIN SİMÜLASYONU**

Kapalı alanlarda en acil durumlardan biri olan yangın yüksek ısı ve yoğun duman yaymakta ve hem itfaiyecileri hem de diğer insanları tehdit eden bir ortam oluşturmaktadır. Bu nedenle de yangının araştırılması ve incelenmesi ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Yangının yapısını ve evrelerini anlamak, yangında yayılan dumanın içeriğini araştırmak, söndürme tatbikatı yapmak, yangın eğitimini gerçekleştirmek için kapalı alanlarda yangın deneyleri yapılmaktadır. Kapalı alan yangını araştırmak için tercih edilen araçlardan biri de konteynerlerdir. Konteynerlerin içinde yangın modelinin oluşturulması ve deneyin gerçekleştirilmesi yani yangının simüle edilmesi simülasyon ve simülör kavramlarını öne çıkarmaktadır.

Simülasyon kavramının literatür taraması yapıldığında birçok kaynakta yayınlanan araştırmalar bilgisayar tabanlı model üzerinden gerçekleştirildiği için simülasyon tanımında bilgisayar modellemesi ifadesine yer verilmişse de simülasyonun sadece bilgisayar tabanlı olmadığı aynı zamanda gerçek olayların incelenmesi için yapılan deney ortamının modellenmesinin de simülasyon olarak ifade edilebileceği söylenebilir.

Chung simülasyon örneklemesini ve analizini, bir fiziksel sistemin bilgisayar matematiği ile yaratılması ve denenmesi metodu olarak tanımlamıştır (Chung, 2004). Simülasyonların genellikle bir sistemin bazı yönlerinin nasıl kurulması veya çalıştırılması gerektiğini belirlemek için kullanıldığını belirten Thesen ve ark. simülasyonu karmaşık bir sistemin davranışını “taklit etmek” ve böylece çeşitli koşullar altında bu sistemin performansına ilişkin fikir edinmek için bir bilgisayar modelinin kullanılması olarak tanımlamıştır (Thesen & Travis, 1991). Ünal 2015 yılında yayınlanan projesinde simülasyonu, teorik ya da gerçek fiziksel bir sisteme ait neden sonuç ilişkilerinin bir bilgisayar modeline yansıtılmasıyla, değişik koşullar altında gerçek sisteme ait davranışların bilgisayar modelinde izlenmesini sağlayan bir modelleme tekniği olarak açıklamış ve yine aynı çalışmada ve ayrıca Shannon yaptığı çalışmada bir sistemin simülasyonu için model oluşturmanın gerekli olduğu ve bu model ile sistemin davranışını anlayabilmek ve değişik stratejileri değerlendirebilmek için deneyler yürütülmesi gerektiği belirtilmekte ve böylece simülasyonda model geliştirme ve deneysel çalışma olarak iki süreç öne çıkmaktadır (Ünal, 2015), (Shannon, 1998). Banks simülasyonu gerçek dünyadaki bir sürecin veya sistemin zaman içindeki işleyişinin taklidi olarak tanımlamaktadır (Banks, 2000). White simülasyonun ilgilenilen davranışları taklit eden bir model yaratmayı içerdiğine ve bu davranışları gözlemlemek için model üzerinde deneyler yapılarak davranışları anlama, özetleme ve/veya genelleme çalışmalarını içerdiğine değinmiştir (White & Ignalls, 2009).

Türk Dil Kurumu (simülasyon, 2024) tarafından benzetim, öğrencia olarak tanımlanan simülasyon kavramının üç türü Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı'nın Modelleme ve Simülasyon Sözlüğünde şu şekilde ifade edilmiştir: gerçek sistemleri çalıştıran gerçek insanları içeren simülasyon; canlı simülasyon, simüle edilmiş sistemleri çalıştıran gerçek insanları içeren simülasyon; sanal simülasyon, simüle edilmiş sistemleri çalıştıran simüle edilmiş insanları içeren simülasyon; yapıcı simülasyon olarak belirtilmiştir (US Department of Defense Modeling and Simulation Glossary.pdf, 2011). Burada yapmış olduğumuz çalışma gerçek yangın olayının gerçekleştirilmesi ve bu olayın gerçek insanlar tarafından gözlenmesini kapsaması nedeniyle canlı simülasyon olduğu açıktır. Gerçekleştirdiğimiz bu canlı simülasyonda kapalı alan yangınının incelenmesi için gerçek yangın meydana getirilerek yangın aşamalarının gözlenmesi, her aşamada sıcaklık değişimi, gaz ölçümü konularında fikir edinmek amacıyla bilimsel modelleme gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyon modeli ile bir yangında değiştirilen etkenin yangın davranışını nasıl etkilediğini gözlemlemek mümkündür.

Kapalı alan yangın eğitimiyle hem yangınla mücadele personelinin mesleki gelişimine katkı sağlaması hem de yangın kaynaklı oluşan zararın doğru tekniklerle en aza indirgenmesi amaçlanan bu çalışma konteyner içinde simüle edilmektedir.

Eğitim amacıyla kullanılan bir aracın, uçağın veya diğer karmaşık sistemlerin kontrollerinin ve çalışmasının gerçekçi bir taklidini sağlamak için tasarlanmış makineler simülatör olarak tanımlanmaktadır. TDK (simülasyon, 2024) ise simülatörü “öğrencelik” olarak tanımlamıştır.

Birçok dünya şirketi yangın eğitimine yönelik hem eğitim aracı hem de strateji üretmeye yardımcı simülatör üretmektedir. Simülatörlerde sanal ya da gerçek simülasyon modelleri kullanılmaktadır. Fire Training Structures, Leipzig/Halle Airport, Confiresim ve Dräger şirketleri yangın söndürme simülatör sistemleri üretmekte ve bu simülatörler gerçek yangınla mücadele için en iyi hazırlığı sunmaktadırlar. Yangın Şirketlerinin yangın söndürme simülatörlerinde çıkardıkları gerçek yangınla yangın söndürme tatbikatı ve gerçekçi koşullarda yangın söndürme pratiği yapma imkânı, yangınla mücadele esnasında sığağa, dumana ve strese alışma eğitimi, solunum koruma taktiklerine yönelik

pratik yapma imkânı sunulmaktadır (firetrainingstructures.com, 2024), (fire-training-informations-eng-396524.pdf), (Dräger product finder, 2024), (<http://confiresim.com/index.html>, 2024).



Şekil 1 : Dünyada kullanılan farklı yangın simülörleri örnekleri (firetrainingstructures, 2024)

Şekil 1’de Dünya’da kullanılan simülörlerde örnekleri verilen simülörlerin benzerleri ülkemiz itfaiye teşkilatlarında da kullanılmaktadır. Örneğin; Kocaeli Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Dairesi Başkanlığı Eğitim Merkezi’nde (KOBİTEM) Gözlem, Atak ve Alt Havalandırmalı Yangın Eğitim Simülörleri aracılığıyla kapalı alan yangını kapsamında itfaiyeciliğin ileri seviye mesleki bilgi ve beceri kazanma eğitimi gerçekleştirilmektedir. (Şekil 2)



Şekil 2 : KOBİTEM’in itfaiyecilere yönelik gerçekleştirdiği eğitimlerden örnekler

Avrupa’da ve dünyanın gelişmiş itfaiye eğitim merkezlerinde bulunan simülörlerin benzerleri olan KOBİTEM’deki bu simülörler de katı yakıt(sunta) yakılarak gerçek yangın ortamı oluşturulmakta ve bu sayede kursiyerlerin kapalı alan yangın ortamını yaşayarak deneyimlemeleri sağlanmaktadır. (Şekil 3)



Şekil 3 : KOBİTEM'deki simülasyonlar ve kursiyerlerin yangını gözlemlemesi (Kocaeli İtfaiyesi, 2024)

Bu amaçla oluşturulan yangın simülasyonunda yangının başlangıç ve yayılma aşaması, dumanın başlangıç ve gelişimi, yanıcı gazların çıkış koşulları ve bunların hava ile karışımları halinde uygun konsantrasyonlarda nasıl alevlenebildikleri ve dumandan kaynaklanan bu alevlenmeleri ortadan kaldırma metotları, ısıdan kaynaklı hasarlar gibi birçok konuda kursiyerlere eğitim imkanı sunulur ve yangın akımları (su kullanımı), söndürme prensipleri, yanıcı gazların alevlenmemeleri için soğutma yöntemleri, yangında güvenli biçimde ilerleme teknikleri, duman içerisinde bulunan yanıcı gazların tutuşması halinde korunma ve acil çıkış teknikleri, havalandırma prosedürleri, manuel ve termal kamera yardımı kullanılarak kazazede ve yangın arama teknikleri gibi bir çok konuda uygulamalı eğitim imkanı bulunur. Ayrıca bu simülasyonlarda yangın gelişiminin son aşamasında gerçekleşebilen backdraft olayının tehlikeleri, meydana geliş mekaniği ve nasıl mücadele edilmesi gerektiğine dair kapsamlı eğitimler gerçekleştirilebilir.

Literatür araştırmaları sonucunda kapalı alan yangınına yönelik eğitim ve araştırma çalışmalarında konteyner ve kompartıman kullanımının fazlaca tercih edildiği görülmektedir. Pagni ve Fleischmann backdraft olayının fiziksel ve kimyasal temellerini açıklamak için 1,2 m yüksekliğinde, 1,2 m genişliğinde, 2,4 m uzunluğundaki bir kompartmanda yaptıkları çalışmada birikmiş fazla pirolizatlarla dolu bir kompartmana oksijen verilmesi sonrasında backdraftın gerçekleştiğini belirtmişlerdir (Fleischmann C. P., 1993) . 1994'de Fleischmann backdarft olaylarını güvenli bir şekilde simüle etmek için tasarlanmış özel bir kompartmanda bir dizi keşif deneyi yapmış ve bir backdraftın oluşması için %15'ten fazla yanmamış yakıt kütle fraksiyonlarının gerekli olduğunu ve backdraft şiddetinin gecikme süresine ve tür konsantrasyonlarına büyük ölçüde bağlı olduğunu göstermiş ve yine bu çalışmada bilgisayar programı FIRE Simülasyon Tekniğini duman sürüklenme modeliyle kullanarak elde edilen sıcaklık verilerinin deneysel sonuçlarla uyumlu olduğunu belirtmiştir (Fleischmann C. , 1994). Mackay ve ark. 2010 yılında Avustralya'daki Yeni Güney Galler İtfaiyesinin Kompartman Yangın Davranışı Eğitimi'nin (CFBT) uygulandığı ve itfaiyecileri artan bilgi ve deneyimle donatmak için hazırlanan konteynerde hem deneysel hem de hesaplamalı inceleme yapmak üzere test hücrelerinde sadece kalasın yer aldığı, kalasa ilaveten alt ve arka kısma yonga levhalar eklendiği sonra üst levhaların eklendiği ve en son hepsine ilaveten havalandırmanın kullanıldığı farklı testler gerçekleştirmiş ve tüm konfigürasyonda termokupl ile sıcaklık ölçümleri yapılarak hem deneysel sonuç hem de Yangın Dinamikleri Simülatorü (FDS) sonucu karşılaştırıldığında pik sıcaklıklar arasında iyi bir uyum olduğunu ancak hücredeki yangının FDS modeliyle tahmin edilenden çok daha hızlı soğudu rapor edilmiştir (Mackay, Barber, & Yeoh, 2010). Roblin ve ark. tarafından itfaiyecilerin yangın gelişiminde katlandıkları kısıtlamaları ve ekipman performanslarını değerlendirmek ve konteyner içindeki sıcaklıkları ve ısı akışlarını ölçmek amacıyla yapılan deneylerde itfaiyecilerin kask, ceket ve pantolonlarının dışında farklı noktalara ısı akışı ölçerler yerleştirilmesi sonucunda konteyner içinde ulaşılan sıcaklıkların çok yüksek olduğu ve



itfaiyecilerin baş hizasında 450°C veya 500°C civarında zirvelere ulaştığı ayrıca ısı akıları 40 ve 50 kW/m<sup>2</sup>'ye ulaşabilir olduğu belirtilmiştir (Roblin, ve diğerleri, 2015).

Yukarıda tanımı yapılan sanal ve yapıcı simülasyonların yangın olaylarında kullanımı da çok yaygındır. Bunlara yönelik literatür çalışmalarını sunmadan önce yangın olayına yönelik bilgisayar ortamında oluşturulan deney ortamı ve yazılımlarını açıklamak fayda sağlayacaktır. CFD (Computational Fluid Dynamics; Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD)) temel olarak akışkan davranışlarının önemli sorunlarını sayısal veri ve algoritmalar ile bilgisayar ortamında analiz edildiği akışkanlar mekaniğinin önemli bir dalıdır. Sıvı ve gazların katı yüzeyler ile etkileşimleri bilgisayar yardımı ile simüle edilir. Sonuçların gerçek etkileşime göre durumları, kullanılan bilgisayar ya da bilgisayarların performansına bağlıdır (Hesaplamalı akışkanlar dinamiği - Vikipedi (wikipedia.org), 2024). CFD'nin yaygın olaylarının incelenmesinde kullanılmasının nedenleri; Klasik deney ortamında yapılan analizlerde farklı parametreleri ölçmek için farklı deneyler kurmak gerekirken CFD kullanılarak birden çok parametre aynı ortamda ve tek seferde hesaplanabilmesi, CFD yazılımı ile verilerin birbiriyle bağıntılı olarak görünmesi, CFD ile inşa edilen sayısal simülasyonlar sayesinde, sanal deney ortamı ve sonuçlarının her zaman erişime açık olması, CFD kullanılarak oluşturulan sanal deneylerde, deney için kullanılan bütün materyallerin idealize edilmesiyle sonuca daha doğru ve çok daha kısa sürede ulaşılması, CFD kullanıcılarının daha az enerji ile daha kısa zaman aralığında en yüksek performansı elde etmesi şeklinde sıralanabilir. CFD, Hız-sıcaklık ve basınç dağılımları, fazlı akışlar, sabit ve yoğunluklu akışkanlar, sıcaklık transferleri gibi olay ve kavramlarla ilgili bize detaylı bilgi sağlar. Bilgisayar ile oluşturulan deney sahaları olarak nitelendirilen CFD, hız-sıcaklık ve basınç dağılımları, fazlı akışlar, sabit ve yoğunluklu akışkanlar, sıcaklık transferleri gibi olay ve kavramlarla ilgili detaylı bilgi elde edilmesini sağlar (CFD Analizi Nedir? - İntaç, 2024). Yine yukarıdaki çalışmalarda kullanılan FDS, Amerikan Ulusal Standartlar ve Teknoloji Kurumu (NIST) tarafından geliştirilen yangın simülasyonları için özel olarak tasarlanmış bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı olarak tanımlanmaktadır. Bu yazılım yangın sonucu oluşan hava hareketlerini, duman dağılımlarını ve sıcaklık dağılımlarını sayısal olarak çözebilmektedir. FDS, analiz sonuçlarının görüntülenebilmesi için "Smokeview" adında yardımcı bir programa ihtiyaç duyulmaktadır. FDS farklı zaman adımları için her hücredeki sıcaklık, özkütle, basınç, hız ve kimyasal bileşikleri, katı yüzeylerdeki ısı akısı, kütle kayıp hızı, gazlar için ise gaz sıcaklığı, gaz hızı, gaz türleri konsantrasyonları ve görüş mesafesini de hesaplayabilmektedir (McGrattan & Forney, Fire Dynamics Simulator (Version 4) User's Guide NISTIR Special Publication 1019, 2004) (McGrattan & Forney, User's Guide for Smokeview Version 4- A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulator NISTIR Special Publication 1017, 2004) (McGrattan K. , 2006) .

Sanal deney ortamında yapılan çalışmalardan Kadı ve ark. hastane binalarında yangın anında kullanıcıların tahliyesi ve dumandan etkilenme oranlarının simülasyon destekli olarak incelemek için HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, CFD) tabanlı yangın simülasyonu Fire Dynamic Simülator (FDS) ile birlikte tahliye simülasyonu kullanmış, yangın simülasyonu yazılımında hazırlanan örnek yangın durumu tahliye simülasyonu yazılımına aktararak bu programda bina kullanıcılarının tahliye süreleri, dumana maruz kalma düzeyleri, maruz kalınan sıcaklık değerleri ve yangın emisyonu olan toksik gazlara maruziyet derecelerini incelemiştirlerdir (Kadı, Coşkun, & Büyükkaya, 2022).

Shen ve ark. 2003 yılında Tayvan'nın Taoyuan şehrinde 10 katlı, çok odalı ve birçok etkinlik ve eğlence salonu bulunan bir otelin 7. katında çıkan yangının ilerleyişini ve dumanın yayılımını incelemek için FDS yazılımı kullanılarak yangın simülasyonu yapmışlardır (Shen, Huang, & Chien, 2008).

Coşkun ve Demir yaptıkları çalışmada Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi M-3 Binasının zemin katında bulunan elektrik kat dağıtım panosunda elektrik kaçağı veya aşırı yüklenme, fazla ısınan ana şalter ve plastik kabloların tutuşması gibi nedenlerle ortaya çıkabilecek yangını "Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yazılımı olan "Fire Dynamic Simulator (FDS)" kullanarak modellemiş ve sonuçta duman tahliye fanının kullanılması durumunda artan fan debisi ile birlikte duman yoğunluğunun önemli miktarda azaldığını tespit etmişlerdir (Coşkun & Demir, 2018).

Senveli ve ark. yaptıkları çalışmada İstanbul'daki önemli bir ticaret merkezinin 8 katlı kapalı otoparkında jet fanlarla dumanın kontrolü için HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, CFD) ile analizini yapmışlardır. Böylece jet fanlarının konumunun ve seçiminin uygunluğunu HAD (CFD) analizi ile çözümlyerek uygun metodu ekonomik ve işlevsel yolla elde etmişlerdir. Çalışmalarını yaparlarken Autodesk Simulation CFD programını kullanmışlardır (Senveli, ve diğerleri, 2015).

Çalışmanın gerçekleştirilmesi için kullanılan simülatörümüzde yangına yönelik birçok akademik çalışmalar yapmanın yanında çeşitli yangın modeli oluşturularak itfaiyecilere ve itfaiyecilik programı öğrencilerine eğitim imkânı sunulacaktır.

## **KAPALI ALAN YANGINLARININ GELİŞİM SÜRECİ**

Ateş insanoğlunun ilk çağlardan beri kullandığı en büyük yaşam idame etme araçlarındandır. En temel gereksinimler olan yemek pişirme, ısınma, aydınlatma ve kap kaçak yapımı hep ateş sayesinde olmuştur. Bu sayede ateş, insanoğlu için mitlere konu olacak kadar önemli bir hal almıştır (Buldu, Yangının Gelişim Evreleri ve Yangının Yayılmasında Isı Transferinin Etkisi, 2023).

Aslına bakıldığında bilinen tarihin tüm dönüm noktalarının ana kaynağında ateş faktörü yer alır. Fatih Sultan Mehmet'in 1453'te İstanbul'u fethinde kullandığı topların ana enerjisi yanma reaksiyonudur. Endüstri devrimi ve makineleşmenin temelinde ana enerji kaynağı yine yanma reaksiyonudur. Günümüzde otomobillerin çalışması, ısınma, beslenme ve daha birçok işlemin temelinde yanma reaksiyonu yer alır (Buldu, Yangının Gelişim Evreleri ve Yangının Yayılmasında Isı Transferinin Etkisi, 2023).

Yanma (Oksitlenme): Şekil 4' de verilen yanma üçgeninden de anlaşılacağı üzere yanma binlerce yanıcı maddenin buhar molekölünün oksidasyonu şeklinde tanımlanabilmektedir. Yanabilir moleküllerin oksidasyona uğraması için, atomların birbirlerinden ayrılarak oksijen ile birleşmesi gerekir. Bunun sonucunda geriye dönüşü mümkün olmayacak yeni bir moleköl oluşturması söz konusudur. Yanmanın gerçekleşmesi için üç ana unsura gereksinim duyulur bunlar;

- 1) Yanıcı Madde,
- 2) Oksijen,
- 3) Isı





Şekil 4 : Yanma Üçgeni (Buldu, Yangının Gelişim Evreleri ve Yangının Yayılmasında Isı Transferinin Etkisi, 2023)

İnsanlık ve medeniyetin gelişmesi adına bu denli faydalı olan yanma olgusunun kontrol altında tutulması da o denli önemlidir. Yangın kontrol edilemediği takdirde sürekli büyüyen ve her aşamasında farklı tehlikeler oluşturabilen kontrolsüz bir yok etme durumuna dönüşür. Yangın adeta yok etmeye programlanmıştır (Buldu, Yangının Gelişim Evreleri ve Yangının Yayılmasında Isı Transferinin Etkisi, 2023).

### Yangın Evreleri

Bir yanma reaksiyonunun büyüerek kontrol edilemez büyüklüğe ulaşması ile yangın oluşur. Yangın, önü alınmaz ise kararlı bir şekilde büyür ve ulaşabildiği tüm yanicıları tüketene kadar devam eder. Yangını, başlamasından itibaren üç temel evrede incelemek mümkündür. Bunlar başlangıç evresi, gelişme evresi ve sönme evresidir (Buldu, Yangının Gelişim Evreleri ve Yangının Yayılmasında Isı Transferinin Etkisi, 2023).



Şekil 5 : Flameover(alev dili) (Drysdale, 2011)

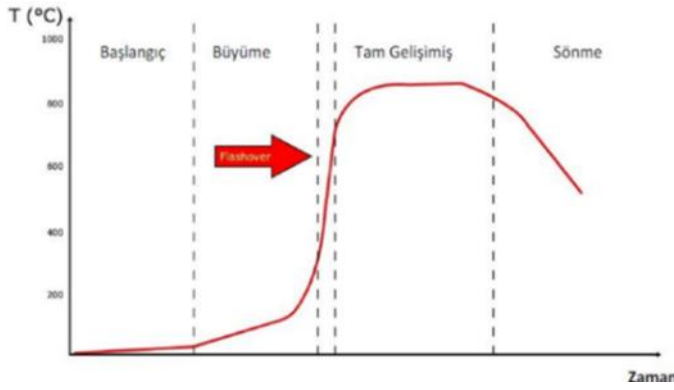
### Başlangıç evresi

Başlangıç evresinde, ortamındaki oksijen miktarının yeterli fakat ısı seviyesinin yetersiz olması sebebiyle tam yanma meydana gelmez. Bundan dolayı tam yanmamış gazlar sıcak olmalarından dolayı tavana doğru yükselir. Tavan seviyesinde biriken bu sıcak gazlar yeterli oksijen ve tutuşma

sıcaklık oranını yakaladıklarında kısa süreli olarak tutuşur ve söner. Bu olaya flame-over veya alev dili denir. (Şekil 5) Bünyesinde ısı barındıran gazların odada yoğunlaşması ve bünyesindeki ısıyı ortamda bulunan diğer yanıcılara taşımasıyla ortam ısısı kısa sürede kararlı bir şekilde yükselir (Buldu, Yangının Gelişim Evreleri ve Yangının Yayılmasında Isı Transferinin Etkisi, 2023).

### Gelişme evresi

Odanın tavanında toplanan yoğun sıcak gaz tabakası, bünyesindeki ısıyı oda tabanına doğru yansıtarak odanın diğer alanlarının da tutuşma sıcaklığına gelmesine neden olur. Ortam ısısı zemin seviyesinde tavan seviyesi ısısına göre daha düşüktür ancak hızla artmaya başlamıştır. Tavan seviyesi boyunca biriken yanıcı gazların tutuşması ile gazların dağıldığı alanın tümüne uzanan alevlenme gerçekleşir. Bu alevlenme sebebiyle tavan ısısı iyice artar ve beraberinde odanın alt seviyelerine doğru ışıyarak ısıyı artırır. Bu aşamada tavan seviyesi sıcaklığı yaklaşık 593,3 °C sıcaklığa ulaştığında (Şekil 6) ve odanın içindeki tüm yanıcılar yanma sıcaklığına ulaşır ve birlikte yanmaya başlarlar. Bu olaya flashover denir. Yangın, serbest yanma safhasına kadar odadaki oksijeni tüketerek devam eder (Buldu, Yangının Gelişim Evreleri ve Yangının Yayılmasında Isı Transferinin Etkisi, 2023).



Şekil 6 : Yangın gelişim eğrisi (Drysdale, 2011)

Flashover gerçekleştikten sonra, yangın ortamının bir kaç saniyede terk edilmesi gerekir. Çünkü daha fazla süre bu ortamda hayatta kalmak/hayatı idame ettirmek mümkün değildir. Yangına müdahale eden itfaiyeciler ısıya karşı koruyan özel kıyafetler kuşanmış olmalarına rağmen flashover sırasında büyük tehlike içindedirler. Müdahale ekibinin ortam sıcaklığının arttığını anlayabilmeleri kendi güvenliği için hayati önem taşır (Buldu, Yangının Gelişim Evreleri ve Yangının Yayılmasında Isı Transferinin Etkisi, 2023).

Flashover'ın gerçekleşmesi ve müdahale personelinin tahliye edilmesi gerekliliğini gösteren yangın işaretleri: Bunlardan birincisi; yüz siperlerinin renk ve bütünlüğünün bozulmasıdır. Yangına müdahale ekiplerinin kullandığı yüz siperleri genelde 250-300 °F (121-149 °C) arasındaki sıcaklıklarda yapısal dengesini kaybetmeye başlar. Renk ve şekil bozunumu başlayan siperler yangınla mücadele personeline çok sıcak ve tehlikeli bir ortamda bulunduğunu gösterir.

İkinci işaret; hızla alçalan duman katmanı ve dumanın taşıdığı ısı miktarıdır. Yangının ürettiği duman, ısı barındırdığı için önce tavan seviyesinde birikir ve dağılır. Duman yangın ortamından tahliye olabileceği bir açıklık bulamadığı takdirde oda içerisinde zemine doğru yoğunlaşır ve bünyesinde taşıdığı ısıyı zemin seviyesindeki eşyalar ve yapı kaplamalarına taşır. Zemin seviyesindeki eşya ve kaplamaların da tutuşma sıcaklığına gelmesiyle Flashover gerçekleşir. Duman birikimi arttıkça doğru

orantı ile içinde barındırdığı ısı seviyesi de artacaktır. Her ne kadar müdahale personeli ısıya dayanıklı kişisel korunma ekipmanlarıyla donanmış olsa da ortam ısısının dayanılmaz bir durum oluşturması ve daha önemlisi oluşan ısının ölçülebilmesi, özellikle tavan seviyesinde ısının 500 °C civarında ölçülmesi Flashover oluşumunun her an gerçekleşebileceğinin göstergesi olacaktır (Drysdale, 2011).



Şekil 7 : Termal Denge

Üçüncüsü; duman içindeki yanıcı gazlardır. Yangın dumanı yanan karbon partikülleri ve oda içindeki ısınan nesnelere salınan piroliz gazlarından oluşur. Şekil 7'e göre duman katmanının altına bir çizgi çekilirse, duman katmanında, yangının devam ediyor olmasından dolayı, gaz fazındaki yakıt miktarı artmaya devam ederken, bu katmanın altında bol miktarda oksijen bulunmaktadır. Ayrıca, şekilden de anlaşılacağı üzere oksijenin fazla olması sayesinde duman katmanının altında görüş mesafesi daha iyidir. Büyüyen yangınla, duman katmanı alçalır. Bu dönüşümün hızı yangının ne kadar hızlı büyüdüğünü bize gösterir. Hızlı bir şekilde alçalın duman katmanı, hızlı bir şekilde büyüyen yangına işaret eder ve çok tehlikelidir (Buldu, Yangının Gelişim Evreleri ve Yangının Yayılmasında Isı Transferinin Etkisi, 2023).

Bu durumda bir süre sonra yukarıda biriken dumanda alevlenme gerçekleşir ve tavana çarparak tavan boyunca yatay olarak yayılmaya başlar. Bu noktada duman katmanının içinde bir alev yüzeyi vardır. Bu alev yüzeyi yangının merkezinden ortamdaki diğer alanlara doğru duman içinde ilerler. Bu olaya roll-over denir. Bir roll-over görülmesi yangının büyüme aşamasının sona erdiğinin işaretidir. Duman katmanından gelen radyant ısı nedeniyle sıcaklık çok hızlı yükselir ve flash over gerçekleşir (Buldu, Yangının Gelişim Evreleri ve Yangının Yayılmasında Isı Transferinin Etkisi, 2023).

Dördüncü işaret; duman rengi ve hareketidir. Siyah renge sahip bir duman katmanı ya da açık griden koyu siyaha dönüşmekte olan bir duman tabakası ortamda flashover habercisi olacaktır. Ayrıca aşırı türbülans halinde hareket eden bir duman katmanı veya hareketi gittikçe daha çalkantılı hale gelen bir duman, yine ortamda flashover öncesi görülebilmektedir (İtfaiye Gönüllüleri Eğitim Kitabı).

Yangın ortamında bulunan ve henüz tutuşmamış yanıcı objelerin hızla pirolize olmaya başlanması da flashover habercisi olacaktır.

Piroliz aslında yakarak geri dönüşüm sağlama olarak tanımlanabilir. Yanabilen cisimler, ısıya maruz kaldığında ve tutuşma sıcaklığına doğru ısınmaya başladığında tutuşmadan önce bünyesindeki nemi ve gazları salmaya başlayacaktır. Yangın ortamında bulunan ve henüz tutuşmamış ancak yüzeyinde

duman çıkışı oluşmaya başlamış eşyaların kısa bir süre sonra tutuşacağı unutulmamalıdır (Wikipedia, 2024).

Yangın flashover sonrası aşamaya geldiğinde odadaki her şey yanmaya başlamıştır. Oda dahilindeki her şey yanmıştır. Yangının başladığı ortamın yapı elemanlarının (döşeme, tavan ve duvar) yangın dayanım direnci yangının oda dahilinde kalmasını veya diğer odalara sirayet edip etmeyeceğini belirler. Bir odada tam gelişmiş bir yangın varken yan odasında gelişmekte olan (flashover öncesi) bir yangın bulmak mümkündür. Tam gelişmiş yangının bulunduğu oda tamamen yanar. Bu aşamada yangın hava kontrollüdür. Yakıt bitene kadar yanmaya devam eder (Buldu, Koyunlu, Göroğlu, Aydın, & Erdoğan, 2010).

### **Sönme evresi**

Bu aşama öncesinde ortamda bulunan hemen hemen tüm yanıcılar tutuşmuş ve ortam havası yangın tarafından tüketilmiştir. Oksijen yetersizliğinden dolayı tam yanma artık oluşamamakta ve tutuşan yanıcılar çok miktarda duman üretmektedir. Kapalı alan yüksek ısı barındıran dumanla dolduğunda alevli yanma neredeyse tamamen biter. Ortama oksijen akışı sağlandığı takdirde yangının tekrar alevlenmesi sağlanmış olur ve ortamda yoğunlaşan gazlar patlayıcı bir kuvvet ile tutuşur (Şekil 8). Bu backdraft olarak bilinir. Bu patlama önemli yapısal hasara neden olabilir. Backdraft, yıllar boyunca birçok itfaiyecinin ölümüne ya da yaralanmalarına neden olmuş bir olaydır. Backdraft her türlü kapalı alanda oluşabilir (Buldu, Yangının Gelişim Evreleri ve Yangının Yayılmasında Isı Transferinin Etkisi, 2023).



Şekil 8 : Backdraft (www.fireengineering.com, 2024)

### **Backdraft Oluşma İhtimalinin Olduğu Durumlar**

Bir kapalı alan yangınında backdraft oluşumunun bazı öncü göstergeleri bulunmaktadır. Bunlar aşağıda açıklanmıştır.

Hava açıklıklarından duman çıkması; Kapalı alan yangınlarında pencere açıklıklarından, kapı altlarından dışarı doğru duman çıkması ve tekrar çıktığı açıklıktan içeri yönelmesi odanın tamamında duman basıncının olduğunu ve yangının alevlenmesi için oksijene ihtiyaç duyduğu anlaşılacaktır.

Duman çıkış şekli ve rengi; Dumanın 'Karnabahar Bulutu' şeklinde çıkışı ve sarı-gri renge dönmesi (siyah duman, önemli miktarda yanma gazının biriktiğini gösterir. Daha fazla kahverengi duman ise çoğunlukla piroliz gazlarının yüksek konsantrasyonda bulunduğunu gösterir) ortama ani oksijen girişinin sağlanmasıyla dumanın baskıladığı alevli yanmanın tekrar hızlanacağı unutulmamalıdır (Buldu, Yangının Gelişim Evreleri ve Yangının Yayılmasında Isı Transferinin Etkisi, 2023).

Kapalı alan ve yüksek sıcaklık; Kapalı alan yangınlarında backdraft oluşmasının nedeni ortamda yanıcı gazların birikmesidir. Yangın ortamını sürekli havalandırabilecek açıklıkların olmaması yangın ortamında yanıcı gaz birikimini kolaylaştırır. Yukarıda da değindiğimiz gibi yangın ilerledikçe ortam ısını yükseltecektir. Flashover gerçekleştikten sonra ortam ısı 600 °C'nin üzerine çıkmıştır.

Alevin olmaması veya çok az olması; yangın alanının dumanla dolması alana yangının ihtiyaç duyduğu oksijenin girişini sınırlandıracaktır. Bu durumda alevli yanma azalır veya biter ancak unutulmamalıdır ki alev olmaması yangının söndüğü anlamına gelmez. İçten yanma (tütme şeklinde yanma) devam edeceği için ısı ve yanıcı gaz üretimi devam eder (Buldu, Koyunlu, Göroğlu, Aydın, & Erdoğan, 2010).

Dumanla lekelenmiş pencereler; Yangın ortamında biriken ve yoğun karbon partikülü barındıran duman yapıda bulunan camların içten islenmesine sebep olur. Bu islenme özellikle camın tavana yakın kısımlarında daha yoğun olacaktır.

Yangın alanının dışındaki boyaların yanması veya kabarması; kapalı alan yangınlarında içeride oluşan yüksek ısının etkisiyle yapı dış yüzeylerinde bulunan kaplama malzemeleri veya boyaların yanması, kabarması veya bütünlüğünün bozulması gözlemlenebilir.

Boğuk sesler; Yangın ortamında ısının yüksek olması ve özellikle içeride yoğun yangın gazlarının birikmesi çeşitli boğuk seslerin oluşmasına neden olacaktır. Bu seslerin duyuluyor olması da backdraft belirtisi olarak değerlendirilebilir.

Kapının çok sıcak olması; Kapalı alan yangınlarına müdahalenin başlanacağı kapının açılmadan önce ısısının kontrol edilmesi son derece hayati öneme sahiptir. Çünkü aşırı ısınmış bir kapı bize içeride yüksek ısının bulunduğunu ve kapının açılmasıyla içeri hızlı oksijen girmesi backdraft gerçekleştirecektir (Buldu, Yangının Gelişim Evreleri ve Yangının Yayılmasında Isı Transferinin Etkisi, 2023).

Yukarıda sıralanan yangın evrelerinin itfaiyeciler için oluşturduğu tehlikeleri incelemek, oluş şekillerini öğrenmek, bu tehlikelerin gerçekleşmesini engellemek veya geciktirmek ve oluşması durumunda müdahale tekniklerini geliştirmek amacıyla aşağıda (yöntem bölümünde tanımlanmıştır) teknik özellikleri verilen yangın simülasyonunun gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Yangın, günümüz dünyasında toplamda değerlendirildiğinde görülecektir ki başta gelen yıkıcı ve zarar verici afetlerdendir. Yangın her safhasında farklı tehlikeler barındırabilen bir süreç ile sürekli büyür. Yangına müdahale eden personelin söndürme çalışmaları esnasında zarar görmemesi yangının aşamalarını ve bu aşamalarda oluşabilen tehlikeleri kontrollü şekilde tatbik edebilecekleri eğitim aparatlarının oluşturulması ve yapılacak eğitimlerle önlenir.

Günümüz önde gelen itfaiye birimlerinin de kabul ettiği yangına doğru müdahale teknikleri incelendiğinde, özellikle kapalı alan yangınlarında yangının merkezine ulaşarak söndürme teknikleri ön plana çıkmaktadır. Kapalı alan yangınlarına müdahale ederken, yangının merkezine ulaşma sürecinde, söndürme personeli açısından yangın evrelerinde oluşan tehlikelerin başında gelen yangın davranışları; flameover, flashover ve backdraft olayları yukarıda tanımlanmıştır. Bu tarz yangınlara müdahale ederken yangın alanının havalandırılması, kapı açma yöntemleri, yangın alanına su buharı verme tekniklerinin öğrenilmesi ancak gerçeğe yakın yangın ortamının simüle edilmesi ile mümkün olacaktır. Yine bu bahse geçen konulara ilişkin yapılacak deneysel araştırma çalışmaları için bu benzetim ortamları önemli bir gerekliliktir (Buldu, Yangının Gelişim Evreleri ve Yangının Yayılmasında Isı Transferinin Etkisi, 2023).

## **MATERYAL ve YÖNTEM**

Bu çalışmanın amacı yangının tüm aşamalarında karşılaşılabilecek olay ve tehlikelerin benzetiminin yapılması ve bazı yangın faktörlerinin incelenmesidir. Bu amaç çerçevesinde bu bölümde yangın deney ortamının hazırlanması ve karakteristik özellikleri ile bu hazırlanan ortamda deneyin hayata geçirilişi hakkında bilgiler verilmiş, deneyden elde edilen bulguların değerlendirilmesi yapılmıştır.

### **Deney Ortamının Hazırlanması ve Karakteristik Özellikleri**

Bu yangın simülasyon deneyi için Kütahya Dumlupınar Üniversitesi tarafından Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Merkez Kampüsü içerisinde Afet ve Acil Durum Yönetimi Eğitim Uygulama ve Araştırma Merkezine tahsis edilmiş arazi içindeki bir alan kullanılmıştır.

Deneyde kullanılacak konteynerin çökme ve kaymasını önlemek ve sağlıklı bir şekilde zemine oturabilmesini sağlamak için 15x12 m ölçülerinde beton zemin hazırlanmış, sonrasında temin edilen deney konteyneri vinç yardımıyla bu beton alana yerleştirilmiş, iç düzenlemesi için hazır hale getirilmiştir.

Simülasyon olarak tasarlanan konteyner 40 DRY CARGO tipi deniz konteyneri olup, iç uzunluğu 12.031 mm, iç genişliği 2.348 mm, iç yüksekliği 2.390 mm'dir.



Şekil 9 : Konteyner içerisinde güçlendirilmiş yakma kısmı

Konteynerin uç tarafındaki 2x2 m'lik bölümü yakma ünitesi olarak tasarlanmış olup, bu bölümün zemin, tavan ve yan duvarları ısıya uzun süre dayanıklı olması için taş yünü ve üç mm'lik saç plakalar ile kaplanmıştır (Şekil 9). Ayrıca konteyner tavanını ortalayacak şekilde 40x40 cm ebadında ve 50 cm yüksekliğinde kapaklı duman tahliye bacası açılmıştır (Şekil 10). Zeminde ise 10x200 cm ölçülerinde su tahliye mazgalı yapılmıştır. Yangın gazlarının tavanda birikerek termal denge oluşumunun hızlandırılması amacıyla tavan seviyesinden başlayarak düşey yönlü 50 cm yüksekliğinde duman biriktirme kalkanı monte edilmiştir.





Şekil 10 : Duman çıkışını sağlamak için yapılan bacanın içten ve dıştan görünümü



Şekil 11 : Yatayda bölünmüş konteyner kapıları

İhtiyaç duyulduğunda konteyner içerisinde biriken dumanın tahliye edilebilmesi ve konteyner içerisine temiz havanın girişinin sağlanması amacıyla yüksekliği 2.336 mm, genişliği 2.280 olan iki kanatlı konteyner kapıları yatayda eşit olarak bölünerek dört ayrı kanat olarak birbirinden bağımsız çalışabilecek şekilde düzenlenmiştir (Şekil 11). Konteyner içine personel giriş çıkışını sağlamak için yan yüzeyde 80x200 cm boyutlarında kapı açılmıştır (Şekil 12).



Şekil 12 : Yan yüzeyde yapılan kapının görünümü

### **Simülâtör Deney Ortamında Kullanılan Yanıcı Malzemeler ve Yangın Yüğü**

Belirli bir alan içindeki yanabilir tüm maddelerin yanması halinde çıkaracakları toplam ısının birim alana olan oranı yangın yüğü olarak tarif edilir (Kars, 1999).



Simulasyon icerisinde gerceklestirilen yangin ortamının Sekil 13'deki gibi genel bir konut odasına benzerligi hedeflenerek asagida listelenen ev esyalari ile donatilmistir. Esyalarin urettiği ısıl degerin ve yangin yuku hesaplanmasında İsviçre Yangin Sigortacilar Birliği Başkanliğı yapmiş M.GRETENER'in yangin uzmanlari, tarafından da kabul goren ve aynen uygulanan arastirmasi esas alınarak asagida hesaplanmistir (Gok, 2008).

Tablo 1. Deney esnasında yakılan materyallerin ısı değeri tablosu

Cinsi	Miktarı	Ebat	Isıl Değeri
Çekyat	2	3 kişilik	1680MJ
İki katlı ahşap raf	1	50*50*80 cm	800MJ
Halı	1	1.5*3 m	300 MJ
Ahşap çerçevesi pano	2	1,5*1m	60MJ
Tüplü Bilgisayar ekranı	1	15"	150MJ
Metal ayaklı sehpa	1	40*40*50	50MJ
Çalışma masası	1	60*70*70cm	500MJ
Metal ayaklı sandalye	2		120 MJ
Perde	1	1*2 m	50 MJ
Sunta	1	1*2m	500MJ
Toplam			4210MJ



Şekil 13 : Simülasyon iç dizaynı

### Yangın yükü

Bir yangın sırasında ortaya çıkan toplam ısı yangın ortamındaki yanıcı maddelerin ağırlığına ve bu ağırlığın sahip olduğu ısı değere bağlıdır. Her bir yanıcı madde için miktar (kg) ve sahip olunan ısı değerlerinin çarpımının toplamı yangın yükü olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla yanma ne denli hızlı

olursa, çıkan ısı da havanın sıcaklığını o denli yükseltir. Katı, sıvı, gaz halinde olan yanıcı maddelerin kendine özgü yanma dereceleri, yaydıkları ısı miktarı vb. özellikleri vardır. Bu yanıcıların toplam miktarı yangını etkileyen bir faktördür. Az miktarlar daha az ısı verirken miktarının fazlaşması yangın süresini ve ısıyı arttırmaktadır (Kars, 1999).

Gazlar sıvılardan, sıvılar ise katı yanıcılardan daha kolay tutuşmakta olup, katı yanıcıların küçük kütleleri büyük kütlelerine göre daha kolay tutuşmaktadır. (İnce ahşap çita ve tahtalar kalın kereste ve kütüklerden daha kolay tutuşur.) Keza küçük küçük bölünmüş ancak bitişik yanıcıların kalorifik ısı güçleri büyük tek kütlerden daha yüksektir (Gök, 2008).

Mekanların yerleştirilmesi ve yanıcılar arasındaki boşluklar, yanıcıların yerleşim şekli ile boşlukların şekli yangın hızını doğrudan etkiler. Her ne kadar genel kapsamlı olsa da mekanları kapalı yapılar olarak değerlendirmek daha doğru olacaktır. Aynı türden yanıcı maddeler sınırlı alanda bile olsa yüksekliği arttıkça yanma hızı da artar. Keza boş alanlar yanmayı canlandıran taze hava akımına daha fazla maruz olduğundan bu alanlarda yanma hızı artmaktadır. Kapalı yerlerde (yapılarda) tavan ve duvarlardaki açıklıkların biçimi de yangının gelişimini etkiler. Çünkü bu açıklıkların altta kalan 1/3'ünden temiz hava girerken üstte kalan 2/3'ünden duman ve yanma ürünü gazlar çıkar. Yangın alanında bulunan açıklıklar yangın esnasında baca görevi göreceğinden dolayı yüksekliği genişliğinden fazla olan açıklıklarda hava sirkülasyonunun daha fazla olduğu ve yangını güçlendirdiği belirlenmiştir. Bu durum aşağıdaki formül ile açıklanabilir. (Gök, 2008)

$$R = 5.5 \times AB \times HB$$

1 kg odunu yakmak için yaklaşık 5,5 m<sup>3</sup> hava gereklidir. Formülde “R” yanma hızı (yanma miktarı) (kg/dk), “B” açıklık adedini, “AB” her bir açıklığın alanını (m<sup>2</sup>) ve “HB” her bir açıklığın yüksekliğini (m) ifade etmektedir.

Yukarıda verilen formüle göre yüzey alanı aynı olan ancak yükseklik ve genişliği değişen bir açıklığın farklı oranlarda hava akışı sağladığı anlaşılmaktadır. Dolayısıyla; yüksek yangın yükü olmasına rağmen küçük açıklıklı alanlarda özellikle kapalı mekanlarda (yapılarda) yangının daha yavaş ilerleyeceği ve sıcaklığın ani yükselmeyeceği anlaşılmaktadır.

## **Yangın Deneyi**

40 DRY CARGO tipi Simülatör konteyner, iç tasarımı da tamamlandıktan sonra yangın deneyi için hazır hale getirilmiştir. Ortalama bir konut içinde bulunabilecek standart ev eşyası yangının benzetiminin yapıldığı bu simülatör yangın deneyinde;

- Zamana bağlı olarak sıcaklıktaki değişimin belirlenmesi
- Yangın evrelerinin gelişiminin ve meydana gelen olayların zamana bağlı olarak izlenmesi,
- Yanma sürecinin belli aşamalarında söndürme amaçlı kullanılan suyun yangın ortamı ve gelişimine etkilerinin incelenmesi ve
- Yanma esnasında ortaya çıkan yanma ürünü baca gazlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Simülatör içerisinde oluşturulan oda ortamının tutuşturulması ile başlatılan yangın deneyi yaklaşık 50 dakika sürmüştür. Zamana bağlı sıcaklık değişimini belirlemek amacıyla Şekil 14’de görseli verilen Cole-Parmer Taramalı Termometre cihazı kullanılmıştır. Sıcaklık ölçümünü yapabilmek için bu cihaz a bağlı iki adet termokupl konteynerin yanma odasının dış cidarından iç boşluğuna kadar delinen iki farklı deliğe yerleştirilerek, yangın ortamında zamana bağlı olarak oluşan sıcaklık değişimleri deney süresi boyunca takip edilmiş ve kayıt altına alınmıştır.



şekil 14 : Cole-Parmer Taramalı Termometre görünüşleri

Yanma esnasında oluşan dumanın içerisindeki baca gazlarının tespit edilmesi amacıyla Testo 350 gaz ölçüm cihazı (şekil 15) kullanılmıştır. Testo 350 gaz ölçüm cihazı ile yangın ortamında oluşan dumanın içerisindeki gazların konteynır bacasından tahliyesi esnasında gaz ölçümleri yapılmış ve kayıt altına alınmıştır.



şekil 15 : Testo 350 gaz ölçüm cihazı

Yangın evrelerinin gelişiminin ve meydana gelen olayların zamana bağlı olarak izlenmesi ve söndürme amaçlı kullanılan suyun yangın ortamı ve gelişimine etkilerinin incelenmesi için profesyonel olarak itfaiyeci yetkinliği olan bir personel den faydalanılmış ilgili personel deney boyunca yanma odasındaki yangın evre ve olaylarını gözlemlemiştir. Bununla beraber konteyner içine yerleştirilen kamera ile bu evreler ve olaylar kayıt altına alınmıştır.

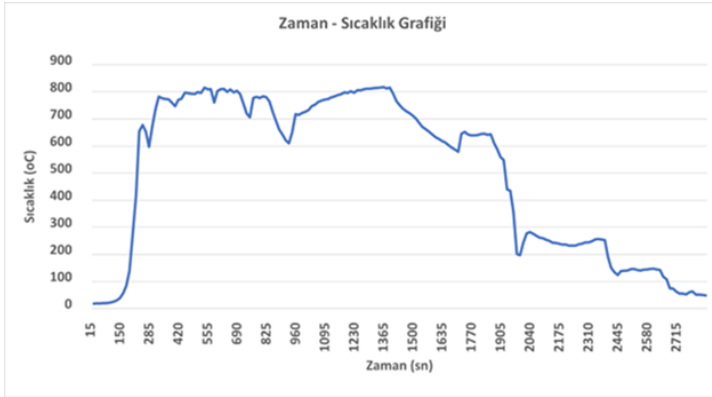
Yanma deneyi esnasında ve sonunda söndürme amaçlı kullanılan suyun temininde Kütahya Dumlupınar Üniversitesi'nin itfaiye aracı kullanılmıştır.

### Bulgular ve Değerlendirme

Cole-Parmer Taramalı Termometre cihazı ile ölçümler sonucunda elde edilen zaman-sıcaklık grafiği şekil 5.2'de görülmektedir. Bu verilere göre hava açıklıkları bir oda ortamına benzer şekilde kapatılmış yangın simülatöründe yangının başlatılması ile beraber kısa sürede ısının hızla yükseldiği ve 210 saniye içerisinde yaklaşık 650 °C'ye ulaştığı görülmüştür. 140. saniyeden 210. saniyeye kadar olan süreçte ısının hızlı yükselişi (6300C) dikkat çekmiştir. Simülatör ortamında sıcaklığın bu denli hızlı yükselmesinde konveksiyon, kondüksiyon şeklinde ısı iletiminin aynı anda etkili olması rol oynamıştır. Bu süreçte aynı zamanda dumanında tavandan tabana doğru giderek yayıldığı ve görüş mesafesinin de azaldığı izlenmiştir.

Yangının 275. saniyesinde tavanda biriken ve konteyner boyunca dağılan yarım yanmış yangın gazlarının gerekli ısıyla buluştuğu noktada konteyner boyunca tutuştuğu görülmüş, bir başka deyişle alev dili (flame over) olayı gözlemlenmiştir.

609 °C'lik sıcaklık seviyesinde yarım yanmış yangın gazlarının da tutuşması ile flashover olayının gerçekleştiği ve ortamda bulunan tüm yanıcıların pirolize uğrayarak tutuştuğu gözlemlenmiştir.



Şekil 16 : Zaman-Sıcaklık Grafiği

Flashover olayının gerçekleşmesinden sonra yaklaşık 260. saniyede ortama su buharı sokulmuş ve ısının 680 oC'den 600 oC'ye hızla düştüğu ve bununla beraber duman miktarının daha da arttığı gözlenmiştir. Bu durum flashover olayının önlenmesi veya etkisinin azaltılmasında zamanında su ile yapılacak müdahalenin önemini ortaya koymaktadır.

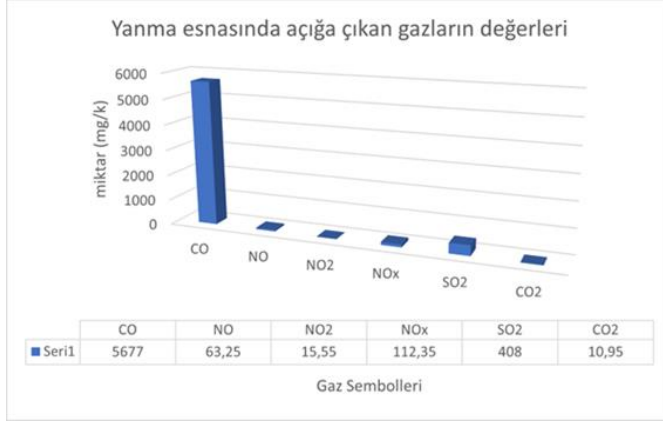
Kısa süreli bu soğutma müdahalesinden sonra yangın doğal gelişimine bırakılmış, 285. saniyeden 330. saniyeye kadar ısı 600 oC den 790 oC hızla tırmanmıştır. 330. saniyeden 825. saniyeye kadar olan süreçte sıcaklığın bir miktar daha artarak 800 oC civarında kararlı hale geldiği, bu sürecin başından orta bölümüne kadar tüm yanıcıların alevli şekilde yandığı, 825. saniyeye yaklaştıkça ortamdaki oksijenin azalması sebebi ile alevli yanmanın azaldığı, ısının sınırlı bir miktar düşme eğilimine girdiği ve korlaşmanın oluştuğu görülmüştür. Yine bu süreçte tam yanma olan bölümde yangın başlangıcına göre dumanın azaldığı, korlaşmanın başlaması ile de dumanın tekrar arttığı gözlemlenmiştir.

Yangın deneyinin 825. saniyesinde backdraft olayını gözlemleyebilmek için tüm hava girişleri açılarak yangın ortamına hızlı oksijen girişi sağlanmıştır. Böylece korlu halde yanan yanıcıların tekrar alevlenmesi sağlanırken backdraft olayı da gözlemlenmiştir. Backdraftın hemen sonrası yanma odasında tekrar alevli yanmanın başladığı görülmüş ve bu gözlem sonrası tekrar 3-4 dakika süreyle soğutma uygulaması yapılmıştır. Bu soğutma uygulaması ile 960. saniyede sıcaklığın 600oC'ye kadar düştüğu görülmüştür. Bu soğutma sonrası tüm hava açıklıklarının açık olduğu şartlarda yangın yine doğal gelişime bırakılmıştır. Bu süreçte ise alevli yanmanın tekrar başlayarak 1400. saniyeye kadar sıcaklığın 805 oC'ye kadar yükseldiği, dumanın ise korlaşma aşamasına göre azaldığı tespit edilmiştir. Doğal gelişime bırakılan yangında 1400. saniyeden sonra yanıcı maddenin azalmasına bağlı olarak sıcaklığın düşmeye başladığı görülmüş, 1870. saniyeden sonra yapılan soğutma uygulaması ile de bu ısının 1970. saniyede 200 oC'ye düştüğu, bu andan itibaren ise doğal gelişime bırakılan yangının 2810. saniyede tamamen söndüğu ve sıcaklığında oda sıcaklığına düştüğu tespit edilmiştir.

Yangın sırasında oluşan yanma ürünü baca gazlarının da tespiti yapılmıştır. Buna göre yangın ortamında oluşan ve ölçülebilen başlıca gazlar aşağıda sunulmuş olup, bu gazların miktarları ise Şekil 17'de gösterilmiştir.

- Karbon monoksit (CO)
- Azot monoksit (NO)

- Azot dioksit (NO<sub>2</sub>)
- Azot oksit (NO<sub>x</sub>)
- Kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>)
- Karbon dioksit (CO<sub>2</sub>)



Şekil 17 : Yanma esnasında açığa çıkan gazların değerleri

Şekil 17'de görüldüğü gibi yangın ortamında en yoğun konsantrasyonda oluşan gaz Karbonmonoksit(CO)'tir.

## SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Simülasyon deneyinde elde edilen ve yukarıda değinilen tüm veriler incelendiğinde günümüz konut yangınlarının kısa sürede yayılarak büyüdüğü ve buna paralel olarak ürettiği sıcaklığın kısa sürede zarar verici seviyelere ulaşabildiği ayrıca yanan malzemenin ham maddesinin cinsine bağlı olarak yangın gazlarının çeşitlendiği ve ortaya çıkan gazların yanıcı, zehirli ve boğucu gazlar olduğu anlaşılmıştır.

Karbonmonoksit (CO) gibi yanıcı gazların ortamda yeterli miktarda bulunması ile yangının bir anda yayılarak tüm eşyalara sirayet etmesine neden olduğu gözlemlenmiştir. Karbonmonoksit gazının diğer özelliği ise zehirli olmasıdır. Dolayısıyla yangına müdahale edecek personelin ortam havasına bağımlı olmayan solunum koruyucu cihazlar kullanmasının zorunluluğu aşikardır. Ayrıca ortamda Karbonmonoksit'e göre daha az miktarda olsa da zehirli ve akciğere zarar veren gazlar olan Azot dioksit ve Kükürt dioksit gazlarının bulunması solunum koruyucu cihazlar kullanılmasının zorunluluğunu desteklemektedir.

Bu çalışmayla oluşturulan simülasyon deney ortamında flameover (alev dili), flashover (yangın parlaması) ve backdraft (yangın patlaması) olaylarının gerçekleştiği görülmüş ve elde edilen bulguların literatürdeki bilgilerle uyumlu olduğu görülmüştür.

Oluşturulan bu tip simülasyonlar, bu çalışmada incelenemeyen pek çok yanma ve yangın parametresinin incelenmesi noktasında elverişli olup, bu parametreler yapılacak yeni çalışmalarla incelenebilecektir.

## TEŞEKKÜR

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Yangınla Mücadele Eğitim ve Araştırma Simülasyonu Projesi Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nün destekleri ile hayata geçirilmiştir. Bu anlamda desteklerinden dolayı Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkürü borç biliriz.

## KAYNAKÇA

- Banks, J. (2000). Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference.
- Buldu, B. (2023). Yangının Gelişim Evreleri ve Yangının Yayılmasında Isı Transferinin Etkisi. *Social Science Development Journal*, 8(37). doi:<http://dx.doi.org/10.31567/ssd.889>
- Buldu, B., Koyunlu, H., Goroğlu, M., Aydın, Y., & Erdoğan, İ. (2010). İtfaiye Ders Sunumları. Ankara: Belediye Akademisi Yayınları.
- CFD Analizi Nedir? - İntaç. (2024). <https://www.intacinsaat.com/>: <https://www.intacinsaat.com/cfd-analizi-nedir-hangi-alanlarda-kullanilir/> adresinden alındı
- Chung, A. (2004). *Simulation modeling handbook: a practical approach*. CRC Press.
- Coşkun, G., & Demir, Ü. (2018). Atriumlu Binalarda Duman Emiş Fanı Seçiminin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yöntemi İle Belirlenmesi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 6(3), s. 138-144. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/apjess> adresinden alındı
- Dräger product finder. (2024). [https://www.draeger.com/tr\\_tr/Home](https://www.draeger.com/tr_tr/Home) adresinden alındı
- Drysdale, D. (2011). *An Introduction to Fire Dynamics*. John Wiley & Sons, Ltd.
- [fire-training-informations-eng-396524.pdf](#). (tarih yok).
- <https://firetrainingstructures.com/flashover-simulator-2/> adresinden alındı
- [firetrainingstructures.com](https://firetrainingstructures.com). (2024). [firetrainingstructures.com](https://firetrainingstructures.com) adresinden alındı
- Fleischmann, C. (1994). *Backdraft Phenomena*. NIST.
- Fleischmann, C. P. (1993). *Exploratory Backdraft Experiments*. Fire Technology.
- Gök, Y. (2008). *Yangınla Mücadele*. Ege Basım.
- Hesaplamalı akışkanlar dinamiği - Vikipedi (wikipedia.org). (2024). [https://tr.wikipedia.org/wiki/Hesaplamalı\\_akışkanlar\\_dinamiği](https://tr.wikipedia.org/wiki/Hesaplamalı_akışkanlar_dinamiği) adresinden alındı
- <http://confiresim.com/index.html>. (2024). <http://confiresim.com/index.html> adresinden alındı
- İtfaiye Gönüllüleri Eğitim Kitabı. (tarih yok). İSTANBUL: İstanbul Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Daire Başkanlığı. [http://itfaiye.ibb.gov.tr/img/111927432020\\_\\_1546289325.pdf](http://itfaiye.ibb.gov.tr/img/111927432020__1546289325.pdf) adresinden alındı
- Kadı, F., Coşkun, G., & Büyükkaya, E. (2022). Tahliye Sırasında Yangın Dumanından Etkilenme Oranlarının Simülasyon Destekli İncelenmesi: Bir Hastane Modeli. *Mühendislikte Yakıtlar, Yangın ve Yanma Dergisi*, 10(1), s. 103-117.
- Kars, F. (1999). Yapılarda Yangın Riskini Sınırlamaya Yönelik Önlemler Ve Duman Kontrolünün Sağlanması. IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi. İzmir.
- Kocaeli İtfaiyesi. (2024). <https://www.kocaeli.bel.tr/tr/main/birimler/itfaiye-dairesi-baskanligi/67> adresinden alındı

- Mackay, D., Barber, T., & Yeoh, G. H. (2010). Experimental and computational studies of compartment fire behavior training scenarios.
- McGrattan, K. (2006). Fire Dynamics Simulator (Version 4) Technical Reference Guide NISTIR Special Publication 1019. National Institute of Standards and Technology.
- McGrattan, K. B., & Forney, G. (2004). Fire Dynamics Simulator (Version 4) User's Guide NISTIR Special Publication 1019. National Institute of Standards and Technology.
- McGrattan, K. B., & Forney, G. (2004). User's Guide for Smokeview Version 4- A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulator NISTIR Special Publication 1017. U.S. Government Printing Office.
- Roblin, S., Batiot, B., Rogaume, T., Richard, F., Baillargeat, J., Poisson, M., . . . Lepelletier, M. (2015). Improvement of the Firefighters' Training: Assessment of the Constraints During Compartment Fire Behaviour Traininin Shipping Container. In Second European Symposium on Fire Safety Science Bibliographie. Cyprus.
- Senveli, A., Dizman, T., Celen, A., Bilge, D., Dalkılıç, A. S., & Wongwises, S. (2015). CFD Analysis of Smoke and Temperature Control System of an Indoor Parking Lot with Jet Fans,. Journal of Thermal Engineering.
- Shannon, R. E. (1998). Introduction to the art and science of simulation. Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference.
- Shen, T. Z., Huang, Y. H., & Chien, S. W. (2008). Environmental Science Building and Environment. simülasyon. (2024). <https://sozluk.gov.tr/> adresinden alındı
- Thesen, A., & Travis, L. E. (1991). Introduction to Simulation. In Proceedings of the 1991 Winter Simulation Conference.
- (2011). US Department of Defense Modeling and Simulation Glossary.pdf.
- Ünal, C. (2015). Konfeksiyonda Simülasyon Tekniğiyle Yalın Üretim Sistemlerinin İncelenmesi.
- White, K. P., & Ignalls, R. G. (2009). Introduction to simulation. Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference (WSC).
- Wikipedia. (2024). <https://tr.wikipedia.org/wiki/Piroliz> adresinden alındı
- www.fireengineering.com. (2024). <https://www.fireengineering.com/firefighting/usfa-backdraft-and-reading-smoke/#gref> adresinden alındı



## **EXTENDED ABSTRACT**

Today's production, transportation, communication tools and daily life items, and the diversification of energy sources have diversified fires in parallel, and this has made firefighting a situation that requires special extinguishers and techniques according to the type of fire. Failure to use the right techniques and materials in firefighting and extinguishing can cause fatal dangers at the fire scene. It is important to reduce losses in firefighting, create the fire environment as close to reality as possible, monitor the dangers that occur during the fire, and apply how these dangers can be prevented to firefighters.

In this study, it is aimed to simulate the dangers that may be encountered during the fire stages by examining the fire stages.

For this purpose, simulator projects used in the world were examined and the simulation type to be created within the scope of the study was decided. The fire process was simulated and the fire development process was monitored and the situations that occurred during the fire stages were observed. Smoke and heat accumulation were measured in the fire carried out in the simulator and the obtained data were processed statistically.

It is foreseen that the fire simulator created within our university will contribute to the research and training in question.