

**ENDÜSTRİYEL YANGIN GÜVENLİĞİ**  
**UYGULAMA VE ARAŞTIRMALARI**  
*INDUSTRIAL FIRE SAFETY APPLICATIONS AND RESEARCHES*



**EDİTÖR**  
**KASIM YILMAZ**

**Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • C. Cansın Selin Temana**  
**Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Serüven Yayınevi**  
**Birinci Basım / First Edition • © Ekim 2022**  
**ISBN • 978-625-7276-03-0**

**© copyright**

Bu kitabın yayın hakkı Serüven Yayınevi'ne aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

The right to publish this book belongs to Serüven Publishing.

Citation can not be shown without the source, reproduced in any way without permission.

**Serüven Yayınevi / Serüven Publishing**

**Türkiye Adres / Turkey Address:** Yalı Mahallesi İstikbal Caddesi No:6  
Güzelbahçe / İZMİR

**Telefon / Phone:** 05437675765

**web:** www.seruvenyayinevi.com

**e-mail:** seruvenyayinevi@gmail.com

**Baskı & Cilt / Printing & Volume**

Sertifika / Certificate No: 47083

**ENDÜSTRİYEL YANGIN GÜVENLİĞİ**  
**UYGULAMA VE ARAŞTIRMALARI**  
*INDUSTRIAL FIRE SAFETY APPLICATIONS AND RESEARCHES*

**EDİTÖR**  
**KASIM YILMAZ<sup>1</sup>**





Bu kitapta ifade edilen görüşler, Editör, Yayın Kurulu, Yayınevi veya yazarların bağlı olduğu üniversitelere değil, sadece yazarlara aittir.

The views expressed in this book are those of the authors and not the Editor, Editorial Committee, Publisher or the universities with which the authors are affiliated with.



## ÖNSÖZ

Sanayileşmenin artması toplumsal yaşamda kendine özgü riskleri de beraberinde getirmektedir. Bu risklerin en önemlilerinden birisi de teknolojik afet riskidir. Sanayileşme faaliyetlerini planlı bir şekilde gerçekleştiremeyen toplumlar maalesef bu risklere fazlasıyla maruz klabilmektedirler.

Allianz Global Corporate & Specialty şirketi tarafından her yıl hazırlanan 'Allianz Risk Barometresi 2022' raporuna göre, tüm dünyada sanayi işletmelerinin karşılaştığı endüstriyel riskler arasında yangın ve patlamalar %17 yüzdeyle 6. sırada yer almaktadır. Türkiye'de İstanbul Kimya Mühendisleri Odası tarafından hazırlanan yıllık rapora göre 2021 yılında 358 adet endüstriyel yangın ve 36 endüstriyel patlama olayı gerçekleşmiş, bu olaylarda 8 kişi hayatını kaybetmiş, 103 kişi ise yaralanmıştır. Değişik sektörlerde yangın risklerinin boyutu da değişiklik göstermektedir. Ülkemizde en fazla endüstriyel yangın ve patlama olayı ağaç, kâğıt ve mobilya sektöründe gerçekleşmiştir.

Üretim veya ürün işleme yapılan her türlü fabrika, endüstriyel dağıtım merkezi, depo, enerji üretim ve dağıtım merkezi, maden, rafineri gibi tesisler ve bu tesislere ait depo ve arazilerde çıkan yangınlar endüstriyel yangın olarak kabul edilmektedir. Sanayi kuruluşlarında meydana gelen büyük yangın ve patlamalar teknolojik afetler olarak tasnif edilmektedir. Teknolojik afetler doğal afetler sebebiyle ortaya çıkabileceği gibi insan kaynaklı yanlış uygulama veya dikkatsizlik gibi sebeplerle de gerçekleşebilmektedir. Sanayi kuruluşlarının yerleşim alanlarına yakınlığı ve bu tesislerde bulundurulmuş tehlikeli maddelerin niteliği ve miktarları sebebiyle büyük endüstriyel kazalar her zaman toplumsal ve çevresel bir afete yol açabilme potansiyeline sahiptir. Bu çerçevede Avrupa Birliği

lkeleri tarafından oluşturulan Seveso Direktifleri adlı düzenlemelere ülkemiz de katılmış ve mevzuat uyumu amacıyla BEKRA (Büyük Endüstriyel Kazaların nlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik) Yönetmeliğini hazırlayarak uygulamaya koymuştur. Sanayi ve ticarete ülke sınırlarının anlamsızlaştığı günümüzde bu şekilde yapılan çalışma ve örgütlenmelerle ortak bir sistem oluşturulmaya çalışılmakta, böylece ortak politika, nleme, denetleme ve kontrol mekanizmalarının geliştirilmesi hedeflenmektedir.

İstatistik açısından AB genelinde endüstriyel kazalar EM-DAT veri sistemine kaydedilmektedir. Bu sistemde teknolojik afetler kapsamında endüstriyel kazalar, ulaşım kazaları ve diğer kazalar şeklinde bir tasnifleme yapılmakta, endüstriyel yangın ve patlamalar birden fazla başlık altında raporlanmaktadır.

Endüstriyel yangın ve patlamalar ciddi düzeyde can ve mal kaybına yol açabilmekte, bu felaketler sonrası işletmelerin toparlanması hiç te kolay olmamaktadır. Bundan başka yaşanabilecek çevresel olumsuz etkiler de duruma göre çok büyük çaplı tahliye ihtiyaçları ortaya çıkarma potansiyeline sahiptir.

Endüstriyel yangın güvenliği, çok disiplinli araştırmalar yapılmasını gerektiren oldukça geniş bir alandır. İtfaiyecilik eğitimi yanında hemen hemen tüm mühendislik dallarının ilgi alanına giren konuları içermektedir. Kamusal alanda yasal zorunluluklar gereği yerine getirilmesi gereken yükümlülükler yanında başta sigortacılık alanı olmak üzere özel sektör kuruluşlarının da yoğun ilgi duyduğu konuları kapsamaktadır. Bu erevde multidisipliner çalışmalar bu konuda özel öneme sahiptir. Tüm afet türlerinde olduğu gibi endüstriyel yangın ve patlamalar konusunda da güncel çalışmaların yürütülmesi ve konunun sürekli gündemde tutulması önleyici



güvenlik tedbirlerinin geliştirilip uygulanması açısından özel öneme sahiptir.

Kitabımızda alışmaları yer alan yazarlarımız kimya, itfaiyecilik eğitimi, afet yönetimi, malzeme mühendisliği ve fiili olarak sanayi kuruluşlarında iş sağlığı ve yangın güvenliği alanında çalışmalar yürüten kişilerden oluşmaktadır. Bölümler endüstriyel alanlarda yangın güvenliği konusunda yapılan uygulama ve araştırmaları içermektedir. Yapılan araştırma ve çalışmaların özet bilgileri Karabük Üniversitesi koordinesinde 16-17 Haziran 2022 tarihleri arasında gerçekleştirilen '1.Uluslararası Endüstriyel Yangın Güvenliği Sempozyumu' özet bildirimler kitapçığında yer almış, isteğe bağlı olarak tam metin bildirimler gerekli süreçlerden geçirdikten sonra bu kitapta bölümler halinde düzenlenmiştir.

Kitabın oluşmasında yoğun emeği geçen tüm yazarlarımıza, teknik altyapının gerçekleştirilmesini sağlayan meslektaşlarıma, Serüven Yayınevinin yönetici ve çalışanlarına desteklerinden dolayı teşekkürü bir borç biliririm. Hepimiz yapılacak eleştirileri bizleri daha iyiye yönetecek değerli fikirler olarak kabul ediyoruz. Bu sebeple iletişim adreslerimiz kanalıyla okuyucularımızın tepki, görüş ve önerilerini bekliyoruz.

Eserin tüm okuyucularımıza faydalı olması dileğiyle, saygılarımızı sunarız.

**Editör**

**Kasım Yılmaz**

## FOREWORD

Increasing industrialization brings its own risks in social life. Technological disaster is one of the most important of those risks. The nations who couldn't establish and maintain very well planned industrialization activities may become vulnerable to these type of risks.

According to the 'Allianz Risk Barometer 2022' report prepared annually by Allianz Global Corporate & Specialty company, fire and explosions rank 6th among the industrial risks faced by industrial enterprises all over the world with 17% percentage. In Turkiye, according to the annual report prepared by the Istanbul Chamber of Chemical Engineers, 358 industrial fires and 36 industrial explosions occurred in 2021, where 8 people lost their lives and 103 injured in those events. The extent of fire risks in different sectors varies. In our country, the most industrial fire and explosion incidents took place in the wood, paper and furniture sectors.

Fires in all kinds of factories, industrial distribution centers, warehouses, energy production and distribution centers, mines, refineries, warehouses and surrounding areas of these facilities are considered as industrial fires. Major fires and explosions in industrial establishments are classified as technological disasters. Technological disasters can occur due to natural disasters as well as human-induced misapplication or carelessness. Due to the proximity of industrial establishments to residential areas and the nature and amount of hazardous materials contained in these facilities, major industrial accidents always have the potential to cause a social and environmental disaster. In this context, our country has agreed to join and participate in European Union Seveso Directives. Turkiye prepared national legislation (BEKRA-Regulation on the Prevention of Major

Industrial Accidents and Reducing the Effects) in order to comply with Seveso Directives. Today, in the world, national borders have become meaningless in many ways like international trade, transportation of dangerous goods or big industrial accidents. Establishing multilateral systems may help to develop common policy, prevention measures, inspection and control mechanisms.

Statistically, industrial accidents are recorded in the EM-DAT data system throughout the EU. In this system, industrial accidents, transportation accidents and other accidents are being reported seperately under the general scope of technological disasters. The industrial fires and explosions are reported under more than one subheading.

Industrial fires and explosions can cause serious loss of life and property, and it is not easy for businesses to recover after these disasters. In addition, adverse environmental impacts have the potential to create very large evacuation needs depending on the situation.

Industrial fire safety is a very broad field that requires multidisciplinary research. In addition to firefighting education, it includes subjects that are of interest to almost all engineering branches. In addition to the obligations to be fulfilled in the public sphere as required by legal obligations, it covers subjects that are of great interest to private sector organizations, especially the insurance field. In this context, multidisciplinary studies have special importance in this regard. As with all types of disasters, carrying out current studies on industrial fires and explosions and keeping the issue on the agenda are of special importance in terms of developing and implementing preventive security measures.

Our authors whose works are included in our book consist of people who work in the field of chemistry, firefighting education, disaster management, materials engineering and occupational health and fire safety

in industrial establishments. The chapters include applications and research on fire safety in industrial areas. Summary information of the research and studies carried out are included in the summary proceedings booklet of the “1st International Industrial Fire Safety Symposium” held between 16-17 June 2022 under the coordination of Karabuk University, and optionally, full-text papers are arranged in this book after going through the necessary processes.

I would like to express my gratitude to all our authors that contributed to the creation of this book, to my colleagues who provided technical support, and to the managers and employees of Seruven Publishing House for their efforts. We all accept the criticisms as valuable ideas that will lead us to do the better. For this reason, we expect and appreciate the reactions, opinions and suggestions of our readers through our contact addresses.

We hope that the work will be useful to all our readers.

Respectfully...

**Editor**  
**Kasım Yılmaz**

## EDİTÖR VE BÖLÜM YAZARLARI HAKKINDA

**Dr. Öğr. Üyesi Kasım YILMAZ (kasimyilmaz@karabuk.edu.tr):** 1968 Ankara doğumlu olan yazar, lisans eğitimini 1997 yılında Gazi Üniversitesi'nde tamamlamıştır. Türkiye'de 21 yıl kamu hizmetinden sonra, ABD'de 6 yıl süreyle Afet Yönetimi alanında kamu görevi yürütmüştür. 2010 yılından itibaren Karabük Üniversitesinde çalışan yazar yüksek lisans ve doktora çalışmalarını yönetim ve organizasyon alanında Karabük Üniversitesinde yapmıştır.

**Dr. Öğr. Üyesi Bora BALUN (borabalun@karabuk.edu.tr):** Lisans ve Doktora derecelerini Anadolu Üniversitesi Çalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri Bölümünden almıştır. Halen Karabük Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümünde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Akademik ilgi alanı arasında göç ve göçmen sorunları, dezavantajlı gruplar, sosyal adalet, refahın yeniden bölüşümüne dair çalışmalar yer almaktadır.

**Dawid Ryś, PhD, ORCID ID 0000-0002-7252-8002:** Assistant Professor at Department of Highway and Transportation Engineering (Faculty of Civil and Environmental Engineering, Gdańsk University of Technology, Poland). Main research interests include: traffic engineering and traffic prediction, pavement design, properties of pavement materials, healing of bituminous materials. One of the major investigators of many transportation related projects such as SEPOR, Polish Catalogue of Typical Flexible Asphalt Pavement, The Usage of Hima in Polish Climatic Conditions.

**Marek Pszczoła, PhD, DSc ORCID ID 0000-0002-6401-7966:** Associate Professor at Department of Hi-

ghway and Transportation Engineering (Faculty of Civil and Environmental Engineering, Gdańsk University of Technology, Poland). Main research interests include: low-temperature properties of asphalt mixtures, low temperature cracking assessment of pavement structures, road materials properties, thermal stress analysis, design of pavement structures, airfield design and analysis. One of the major investigators of many transportation related projects such as SEPOR, Polish Catalogue of Typical Flexible Asphalt Pavement and INDFIRES.

**Mariusz Jaczewski, PhD, ORCID ID 0000-0003-4722-2957:** Assistant Professor at Department of Highway and Transportation Engineering (Faculty of Civil and Environmental Engineering, Gdańsk University of Technology, Poland). Main research interests include: mechanical and rheological properties of asphalt mixtures and asphalt based materials, pavement design, recycling of pavement materials, emerging technologies in road engineering and fire prevention and engineering issues in tunnel and other transportation elements and fire resistance properties of pavement materials. The principal investigator of the INDFIRES project at Gdańsk University of Technology, one of the major investigators of many transportation related projects such as SEPOR or Ecobitumen.

**Piotr Jaskuła, PhD, DSc ORCID ID 0000-0002-1563-2778:** Associate Professor and Head of Department of Highway and Transportation Engineering (Faculty of Civil and Environmental Engineering, Gdańsk University of Technology, Poland). Main research interests include: pavement structures, interlayer bonding, pavement materials, recycling of road pavements, road material engineering: asphalt mixtures, bitumens, construction and maintenance of pavement structures. Principal investigator of many transportation related projects such as SEPOR, Polish Catalogue of Typical Flexible Asphalt Pa-

vement and The Usage of Hima in Polish Climatic Conditions. The member of many transportation policy making boards in Poland.

**Dr. Öğr. Üyesi Sude KART (sudekart@karabuk.edu.tr):** 1985 Konya doğumlu olan yazar, Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi mezunudur. Yüksek lisansını aynı üniversitede, doktorasını İstanbul Üniversitesinde tamamlamıştır. 2010-2020 yılları arasında Hakkari Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde görev yapmıştır. 2020 yılından bu yana Karabük Üniversitesi TOBB Teknik Bilimler MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü bünyesinde çalışmaktadır.

**Öğr. Gör. Nuray Vural ÇINAR (nuraycinar@karabuk.edu.tr):** 1980 Karabük doğumlu olan yazar, 1998 yılında, Gazi Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri bölümünden mezun olmuş, yüksek lisans ve doktora eğitimlerini de aynı üniversitede yürütmüştür. Halen Karabük Üniversitesi TOBB Teknik Bilimler MYO'nda, Sivil Savunma ve İtfaiyecilik Programı uhdesinde eğitim vermektedir.

**M. Burcu ÖZTÜRK (mbozturk@kardemir.com):** 1980 doğumlu olan yazar Gazi Üniversitesi İstatistik Bölümü mezunudur. 2003 yılından itibaren eğitim, danışmanlık ve proje sektöründe çalışmaktadır. Bu çerçevede Akdan Danışmanlık, Kosgeb, Ostim Vakfı, ATO, Ostim Proje Gelişim A.Ş., JCI Ankara Yönetim Kurulu'nda yöneticilik görevi yapmıştır. Aynı zamanda sertifikalı dış ticaret uzmanı olan yazar halen Kardemir A.Ş.'de Akademi Müdürü olarak iş hayatını sürdürmektedir.

**Erdem PINARÖNÜ (epinaronu@kardemir.com):** 1978 Ankara doğumlu olan yazar, lisans öğrenimini Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde tamamlamıştır. 2002 yılından itibaren İsdemir A.Ş., Man Ankara Otobüs Fabrikası, Posco TST, Tersan Tersanesi ve Kardemir A.Ş.'de teknik emniyet ve iş sağlığı/güvenliği alan-

larında yönetici pozisyonlarında görev yapmıştır. Halen Kardemir A.Ş.'de iş sağlığı ve güvenliğinden sorumlu yönetici pozisyonunda çalışmaktadır.

**Esra BEYAZBENLİ (ebeyazbenli@kardemir.com):**  
1983 Bursa doğumlu olan yazar Uludağ üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü mezunudur. Profesyonel iş hayatında Abdi İbrahim İlaç şirketinde başlayan yazar 2012 yılından beri Kardemir A.Ş.'de A sınıfı İş Güvenliği Uzmanı olarak görev yapmaktadır.



## İÇİNDEKİLER/CONTENTS

ÖNSÖZ.....	VII
FOREWORD.....	X
EDİTÖR VE BÖLÜM YAZARLARI HAKKINDA.....	XIII
<b>1. BÖLÜM</b>	
Statik Elektrik ve Toz Patlamaları .....	1
<i>Nuray Vural Çınar ve Sude Kart</i>	
<b>2. BÖLÜM</b>	
Endüstriyel Tesislerde Yangın Güvenliği Açısından Su Sisi Uygulamaları.....	17
<i>Kasım Yılmaz</i>	
<b>3. BÖLÜM</b>	
Engelli Bireyler ve Acil Durumlar: NFPA Tahliye Planlaması Örneği.....	39
<i>Bora Balun</i>	
<b>4. BÖLÜM</b>	
The innovative approach for using pavement as a fire prevention measure in tunnels .....	51
<i>Mariusz Jaczewski, Marek Pszczola, Dawid Rys &amp; Piotr Jaskula, Nuray Vural Çınar ve Sude Kart</i>	
<b>5. BÖLÜM</b>	
Demir Çelik Sektöründe Sıvı Metal Yangınları ve Müdahale Yöntemleri.....	71
<i>Erdem PINARÖNÜ, M. Burcu ÖZTÜRK &amp; Esra BEYAZBENLİ</i>	



# 1. BÖLÜM

## STATİK ELEKTRİK VE TOZ PATLAMALARI

## STATIC ELECTRICITY AND DUST EXPLOSIONS

*N. Vural Çınar<sup>1</sup>, S. Kart<sup>2</sup>*

---

<sup>1,2</sup> TOBB Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Karabük Üniversitesi, Karabük, TÜRKİYE

1 nuraycinar@karabuk.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5097-0510>

2 sudekart@karabuk.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6631-7316>

## GİRİŞ

Günümüzde tüm dünyada ve ülkemizde ahşap işleme endüstrisinden, gıda ve metal endüstrisine kadar birçok alanda üretim sürecinde toz partiküller ya kullanılmakta ya da açığa çıkmaktadır. Bu tozlar; ahşap tozları, hububat tozları, baharatlar gibi organik tozlar olabildiği gibi metal tozları da olabilmektedir. Yanıcı katı partiküllerin tanecik boyutunun 420 µm ya da daha küçük boyutlarda olması durumunda, bu materyaller yanıcı toz sınıfında değerlendirilmektedir. Ülkemizde partikül boyut kriteri 500 µm olarak, yürürlükte olan IEC 60079-10-2 standardına göre belirlenmiştir. NFPA Amerikan Ulusal Yangından Korunma Birliğince yapılan standart deneylerde, 500 µm'den büyük olan parçacıkların patlama tehlikesi göstermediği bildirilmiştir (CSB,1996).

İlgili literatür incelendiğinde, toz patlamalarının sebepleri, koşulları ve alınabilecek önlemler ile ilgili çalışmalara rastlanmaktadır (Asana, 2015; Layık, 2016; Glor,2003). Bu çalışmalarda endüstriyel tesislerde yaşanan ve yaşanması muhtemel toz patlamalarının doğası incelenmiştir. Ayrıca toz patlamaları risklerinin azaltılması, patlamanın gerçekleşmesi durumunda zararlarının azaltılabilmesi için alınabilecek önlemler üzerinde durulmuştur. Buna göre endüstriyel tesislerde parlayıcı patlayıcı ortamların oluşmasının önlemesi ve tutuşturucu kaynakların kontrol altına alınması gerekmektedir. Endüstride gözlemlenen toz bulutu patlamalarının büyük bir kısmından elektrostatik boşalmalar sorumludur. Kaynağa ve ülkeye bağlı olarak, statik elektrik boşalması nedeniyle gerçekleşen patlamalar bazı endüstri alanlarında (örneğin plastikler) %10 ila %25'e tekabül etmektedir. Bu nedenle, dökme katı işleme endüstrileri için statik elektrikle ilgili tehlikeleri anlamak, sürecin ve insanların güvenliğini sağlamak açısından kritik öneme sahiptir (Van Laar,1991).

Bu amaçla, bu çalışmada ilk olarak patlama, toz patlamaları ve patlama koşullarından bahsedilmiş, daha sonra tutuşturucu kaynaklar ve statik elektriğin patlamalar üzerindeki etkisi üzerinde durulmuş ve son olarak statik elektrik kaynaklı toz patlamalarına karşı alınabilecek önlemlerden bahsedilmiştir.

## 1. PATLAMA NEDİR?

Patlama, hacimdeki ani bir artış sonucu yüksek miktardaki enerjinin açığa çıkması olarak tanımlanabilir. Patlama sırasında bazı gazlar ortaya çıkabilir ve ortam sıcaklıklarında yükselmeler meydana gelebilir (Asana,2015).

### 1.1.Toz patlamaları

Benzin gibi yanıcı sıvılarla, propan gibi gazların yanıcı ve patlayıcı özellikleri bilinmesine rağmen endüstride kullanılan veya üretimde ortaya çıkan çeşitli tozların çoğunun yanıcılık ve patlayıcılık potansiyelleri bilinmemektedir. Büyük patlamalara neden olabilecek toz bulutlarını un, şeker, kakao, çay gibi gıda maddeleri de oluşturabilmekte, uygun koşulların varlığında patlamalara neden olabilmektedirler (Asana, 2015). Yanıcı bir katı malzeme havada dağılmış ince parçacıklara bölündüğünde toz patlamaları meydana gelebilir. apı 0,5 mm'ye kadar olan parçacıklar patlamaya katılır. Parçacıklar ne kadar ince olursa, patlama o kadar şiddetli olur ve toz bulutu tutuşturucu kaynaklara karşı o kadar hassas hale gelir. Yanıcı bir toz bulutunun oluşumu, doğal olarak organik ürünlerle yapılan çoğu partikül prosesi ile ilgili olduğu kadar metalik ürünlerle yapılan birçok işlemele de ilgilidir. Buna ek olarak, triboşarj olgusu ve dolayısıyla üründe olduğu kadar ekipman ve tesisatlarda da yük oluşumu göz ardı edilemez. Çoğu organik ürün ya da metal, topraklanmış ve bağlı ekipmanlarda işlendiğinde

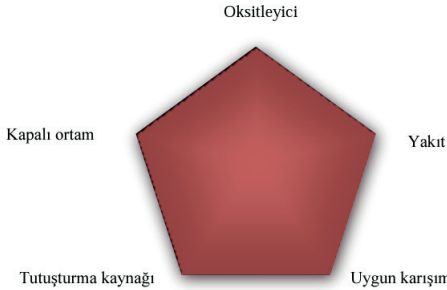
bile kolayca şarj olur. Yük birikimi, çevredeki atmosferin iyonlaşmasıyla bir boşalmayı başlatacak kadar yükselirse, boşaltma kanalı içindeki sıcak plazma yanıcı toz bulutunu ateşleyebilir. Geçmişte havadaki hassas bir toz bulutunun, yeterli enerjinin boşalması sonucu tutuşması farklı sanayi kollarında çok ciddi yangınlara ve patlamalara yol açmıştır (Glor, 2003).

Atmosferik koşullarda, toz patlamaları normalde aşağıdaki özellikleri gösterir.

**Tablo 1.** Atmosferik koşullarda toz patlamalarının özellikleri (Glor,2003).

	Organik Toz	Metal Tozu
Patlama aralığı	20 bar/m <sup>3</sup>	Birkaç kg/ m <sup>3</sup>
Maksimum patlama aşırı basıncı	9 bara kadar	13 bara kadar
1 m <sup>3</sup> 'lük bir kaptaki maksimum basınç artış hızı	100–300 bar/s	1000 bar/s.

Bir yangının meydana gelebilmesi için 3 koşula ihtiyaç vardır. Bunlar yanıcı madde, oksijen ve ısı koşullarıdır. Ancak, toz patlamalarının ortaya çıkabilmesi için kapalı bir ortam ve toz-hava karışımı olmak üzere iki koşulun daha sağlanması gerekmektedir. Şekil 1'de bu beş koşul toz patlama beşgeni olarak gösterilmiştir.



**Şekil 1.** Patlama beşgeni (Asana,2015; Layık,2016)

İnsanlara ve çevreye etkileri bakımından toz patlamaları normalde gaz patlamalarından daha tehlikeli-

dir. Çünkü çok daha uzun süre ısı radyasyonuna maruz kalma söz konusudur. Statik elektrikle tutuşma ile ilgili olarak, bir toz bulutunun tutuşma hassasiyeti önemlidir ve minimum ateşleme enerjisi (MIE) ile karakterize edilir. MIE, standart bir prosedürle (özel olarak tasarlanmış bir devre ve aparatta üretilen kıvılcım deşarjları) ölçülen, belirli bir yanıcı malzemenin hava ile karışımını ateşleyebilen minimum enerji olarak tanımlanmaktadır (Glor, 2003; Eckhoff, 1991). Belirli bir malzeme için, neredeyse hareketsiz bir toz bulutu içinde homojen olarak dağılmış çok ince toz için tutuşma enerjisi en düşüktür. Endüstride en sık meydana gelen elektrostatik boşalmaların enerjisi normalde yaklaşık 10 mJ'den az olduğundan, MIE değeri 10 mJ veya daha az olan malzemeler statik elektrikle tutuşma açısından en kritik olarak kabul edilir (Barton,1991). Ancak, bu durumun herhangi bir yanıcı gaz veya buharın ortamda olmadığı durumlarda geçerli olduğu akılda tutulmalıdır. Yanıcı gazlar veya buharlar ek olarak mevcut ise hibrit karışımlar oluşur ve MIE 100 mJ'nin üstünden 10 mJ'nin altına veya hatta saf gazların veya buharların MIE aralığına (tipik olarak 0.2) düşebilir. (Hidrokarbonlar için -0.4 mJ) (Eckhoff,1991).

Tozlar, yanıcılık ve patlayıcılıklarına göre farklı şekilde sınıflandırılabilir. Yanıcı tozlar dışarıdan bir kaynak tarafından tutuşturulabilen ve kaynaktan uzaklaşsa bile enerjinin ortaya çıkmasına devam eden bir toz tabakası olarak tanımlanabilir (Asana,2015). Bir tozun patlayıcılığını belirlemek için maddenin fiziksel ve kimyasal özellikleri dikkate alınarak bazı hesaplama ve testler yapılır. Minimum başlangıç tutuşturma enerjisi (BTE), maksimum patlama basıncı (PB) gibi bazı özellikler, bazı maddeler için Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Bazı yanıcı tozların patlayıcı özellikleri (Asana,2015)

Toz Cinsi	Patlama Sıcaklığı (°C)		Min. BTE (mJ)	Maks. PB (bar)	K <sub>st</sub> (bar *m/s)	Min. Patlama Konsant. (g/m <sup>3</sup> )	Limitleyici O <sub>2</sub> Konsant. (% hacim)
	Bulut	5 mm film					
<b>Antrakinin</b>	550	Süblimleşme	3	9.1	298	30	-
<b>Leblebi tozu</b>	560	260	40	-	-	-	15
<b>Linyit Köm.</b>	390	180	30	11.0	151	60	12
<b>Alüminyum</b>	550	740	15	13.0	750	60	5
<b>Kömür</b>	610	170	60	9.8	114	15	14
<b>Mısır unu</b>	380	330	40	10.3	125	60	9
<b>Tahta</b>	470	260	40	10.2	142	60	10
<b>Buğday unu</b>	380	360	50	9.8	70	125	11
<b>Yağsız süt</b>	490	200	50	9.8	125	60	-
<b>Şeker</b>	370	400	30	9.5	138	60	-
<b>Sülfür</b>	280	113	5	6.8	151	30	-
<b>Çinko</b>	690	540	9600	7.8	93	250	-

## 1.2. Toz Patlamalarında Etkili Olan Etmenler

Toz patlamalarında tozların fiziksel ve kimyasal özelliklerle birlikte çevresel faktörlerin de varlığı göz ardı edilmemelidir. Bu faktörler şu şekildedir. (Asana,2015; Layık,2016; Eckhoff, 1991):

1. Partikül boyutu: Birim ağırlığa denk gelen yüzey alanı ne kadar büyük olursa patlamanın oluşturacağı potansiyel etkiler de o kadar fazla olacaktır.

2. Toz konsantrasyonu / oksijen konsantrasyonu: Bir toz bulutunun patlaması için toz konsantrasyonunun sadece belirli aralıklar arasında bulunması gerekmektedir. Genellikle bunlar en düşük 50-100 g/m<sup>3</sup> derişim ve



maksimum derişim  $2-3 \text{ kg/m}^3$  civarındadır. Eğer oksijen oranı %11'in altına düşerse yanma olayı durur.

3. Tutuşma sıcaklığı: Tutuşabilme özelliğine sahip toz ve hava karışımı ısıtıldığında alev aldığı en düşük sıcaklık minimum tutuşma sıcaklığı (MIT) olarak tanımlanır.

4. Toz bulutu türbülansı: Üç boyutlu düzlemde toz bulutunu oluşturan partiküllerin hızlıca geliş güzel bir şekilde hareket etmeleri sonucunda oluşur.

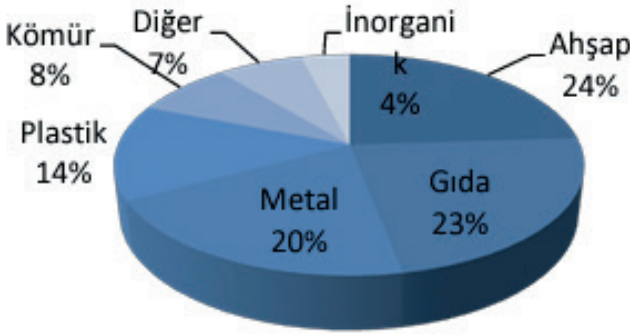
5. Basınç artışıdaki maksimum hız: Tozun tutuşmasından sonra basıncın artış hızı, sadece tozun "patlayıcılığının" ölçümünde değil, pek çok patlama denetleme tasarımının da anahtar noktasıdır.

6. Yanıcı gaz varlığı: Tozun patlayıcılığı, ortamda başka yanıcı bir gaz da varsa artmaktadır. Böylece minimum patlayıcı derişimi minimum ateşleme sıcaklığı ve minimum ateşleme enerjisi azalarak maksimum basınç artış hızı yükselmektedir (Layık, 2016).

### **1.3. Toz Patlamalarından Etkilenen Sanayi Dalları**

Toz patlamalarından en çok etkilenen sanayi dalları; ahşap işleme ve depolama işletmeleri tahıl siloları, un ve tahıl değirmenleri alüminyum ve magnezyum üretimi veya depolaması yapan işletmeler, kimyasal üretimi yapan işletmeler, plastik üretimi yapan işletmeler, nişasta veya şeker üretimi yapan işletmeler, kakao üretimi yapan işletmeler, kömür madeni veya işletmeleri, ilaç üretimi yapan işletmelerdir (Asana,2015; Glor, 2003; Karul Tonka, 2015).

Şekil 3'te endüstriyel tesislerde en çok patlamaya neden olan toz türleri verilmiştir.



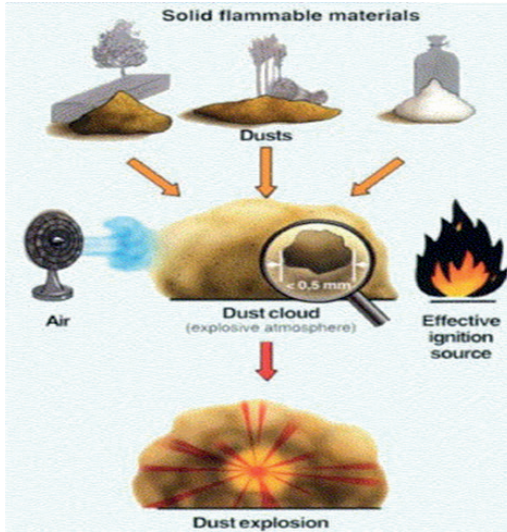
**Şekil 3.** Endüstriyel tesislerde en çok patlamaya neden olan toz türleri (Asana,2015).

Çeşitli ülkelerde meydana gelen toz patlamalarına bakıldığında literatüre geçen ilk toz patlaması, 1785'te İtalya'nın Torino şehrindeki bir fırında meydana gelmiştir. Fırında çalışma esnasında bir gaz lambasının tetiklemeyle birlikte oluşan toz bulutu patlamış ve şans eseri can kaybı olmamıştır. Ancak bu kazayla birlikte durumun ciddiyeti anlaşılmıştır. Gelişmekte olan ülkelerde toz patlamaları patlama adı altında geçmektedir. Ülkemizde de aynı şekilde ÇSGB verileri incelendiği zaman, kayıt altındaki kazalar patlama adı altında geçmektedir ve toz patlamalarına dair bir kayıt görülmemektedir (Layık, 2016).

#### 1.4. Önleme ve Koruma

Yanıcı malzeme, oksijen ve ateşleme kaynağı, iyi bilinen yangın üçgeninin üç bileşenini temsil eder. Bir patlamayı önlemek için bu bileşenlerden biri bertaraf edilmelidir. Bu çalışmada ana odak noktası, ateşleme kaynağı olarak statik elektriğin bertaraf edilmesi olsa da endüstrideki en önemli amaç, patlayıcı bir atmosferden

tamamen kaçınmaktır (Glor, 2003). Bu amaca, yalnızca yanıcı maddenin doğası veya derişiminin patlama aralığı dışında bir değere değıştirilmesi veya oksijen derişiminin sınırlayıcı oksijen konsantrasyonunun (LOC) altında bir değere değıştirilmesiyle ulaşılabilir. Bununla birlikte, olası tek ateşleme kaynağı statik elektrik nedeniyle düşük enerjili bir deşarj ise, oksijen derişiminin LOC ile karşılaştırıldığında daha düşük bir şekilde azaltılması yeterli olabilir, çünkü MIE, azalan oksijen konsantrasyonu ile güçlü bir şekilde artar. Bu durum, özellikle, LOC'si çok enerjik (2–10 kJ) tutuşturma kaynaklarıyla belirlenen toz/hava karışımları için geçerlidir. Şekil 4'te yanıcı katıların toz patlamalarına neden olma prosesi gösterilmiştir (Glor, 2003).



Şekil 4. Yanıcı katıların toz patlamalarına neden olma prosesi (Glor,2003).

Endüstriyel tesislerde toz patlamaları için alınabilecek genel önlemler Tablo 2'de özetlenmiştir (Asana, 2015).

Patlamaları önlemek için yanıcılığı bulunmayan bir tozun kullanılması, toz konsantrasyonunun patlayıcı toz ve hava karışımı oluşmayacak şekilde düşük seviyede bulundurulması, tozun patlamasına neden olan oksijen derişiminin düşük düzeyde bulundurulması ve etkili ateşleme kaynaklarının dışarıda tutulması alınabilecek yapısal olmayan önlemler arasında bulunmaktadır (Asana, 2015; Kassebaum ve Kocken, 1997).

Etkili ateşleme kaynakları endüstriyel tesislerde aşağıdaki gibi gruplara ayrılabilir.

- Sürtünmeden kaynaklı ısı ve mekanik kıvılcım, kayışlı cisimler, rulman, yabancı cisimler,
- Kıvılcımlar ve çıplak alevler,
- Elektrostatik ve elektriksel kıvılcımlar,
- Akkor maddeler ve kendinden ısınma,
- Sıcak yüzeyler,
- Yıldırımlar.

## **2. STATİK ELEKTRİK**

### **2.1. Statik Elektrik nedir?**

Statik Elektrik adından da anlaşılacağı üzere durgun, hareket etmeyen elektriktir ve ara sıra arklar şeklinde boşalabilmektedir. Genel olarak bu boşalma kontrol altına alınamamaktadır ve faydalanılamamaktadır. Ama bu kontrol edilemeyen güç, birçok yangının çıkışında önemli bir rol oynamıştır (Toktaş, 2022). Statik elektrik, elektronların atomlar arasında hareket etmesiyle ortaya çıkan enerjidir. Buradaki elektronların hareketi, çekirdeğin etrafında hareket etmeleri değil, farklı atomların arasında hareket etmeleridir. Yıldırım, statik elektrige en büyük örnek olarak verilebilir.

Statik şarjın doğal bir örneği olarak yıldırım verilebilir. Yıldırımın nasıl oluştuğu belirsizdir ve hala tartışma konusudur. Fırtına bulutlarının içerisindeki buz parçacıkları ile temasının ilk şarj ayrımı olduğu düşünülmektedir. Genellikle, elektriksel iletkenliği düşük olan bölgelerde önemli yük birikimleri olmaktadır. Süper ısı deşarjı parlak flaşa neden olmakta ve klik sesi ile birlikte bir şok dalgası üretmektedir. Yıldırım, statik boşalmanın çok fazla olduğu durumda görülen kıvılcımların büyütülmüş hali olarak düşünülebilir. Flaşın oluşmasının nedeni, deşarj kanalındaki havanın akkor tarafından ışıdığı emen yüksek sıcaklık ile ısıtılmış olmasıdır.

## 2.2. Statik Elektrik Yüklerin Birikmesi ve Dağılması

Yüklerin ayrıştığı hızın, yüklerin birleştiği hızı aşması durumunda statik elektrik yükü birikir. Yüklerin ayrışması için hareket etmesi gerekmektedir. Ancak hareket eden yükler daima nötr durumuna dönme eğilimindedirler. Herhangi iki nokta arasındaki yükleri bir noktadan diğerine hareket ettirmek için yapılması gereken birim yük başına iş, potansiyel farkı olarak tanımlanır. Bu yapılan iş, söz konusu olan sistemin şekline, boyutuna, cisimlerin yerine ve malzemelerin doğasına bağlıdır (Karul Tonka, 2015).

## 2.3. Statik Elektriğin Deşarjı

Tehlikeli seviyelerdeki yüklerin taşınması sırasında, iletkenin taşıyabileceği yük miktarına göre maksimum direnç değeri değişir. Bu direnç değeri topraklama ve eş potansiyelleme sistemlerinin kurulumunda kabul edilebilecek maksimum seviyeyi geçmemelidir (Kassebaum, ve Kocken,1997).

Güç dağıtım sistemlerine göre, statik elektriğe karşı etkili bir topraklama sistemi kurmak farklıdır. İki cisim

arasında ya da cisimle toprak arasında yük oluşumunu önlemek için olması gereken maksimum direnç değeri en fazla 1 M $\Omega$  olmalıdır. Patlayıcı madde üretimi yapılan fabrikalarda 100 V, tehlikeli gerilim değeri olarak görülmektedir. Yapılan kabuller sonucunda bu değer, aşağıda belirtildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$E = 1/2 CV^2 \quad (1)$$

$$V = I \times R \quad (2)$$

Gerilim değerinin tehlikeli gerilimden düşük olması, oluşabilecek kıvılcımın enerjisinin maksimum değerden düşük olması için yeterli olacaktır.

$$R \times I < 100 V \quad (3)$$

Yapılan çalışmalarda şarj akımlarının 10-11 A ile 10-4 A arasında olduğu belirlenmiştir. Bu durumda en yüksek akım değeri dikkate alındığında maksimum direnç değeri 106  $\Omega$  olmaktadır (Kassebaum, ve Kocken, 1997).

### **3. STATİK ELEKTRİK DEŞARJININ SEBEP OLACAĞI PARLAMA, PATLAMA VE YANGIN TEHLİKELERİ**

Yanıcı madde, ısı ve oksijenin uygun oranlarda bir araya gelmesi ile yanma olayı meydana gelmektedir. Eğer yanıcı madde sıvı veya katı fazda ise, öncelikle ısı ile buharlaşmalı ki daha sonra patlama sıcaklığına gelebilsin.

Normal şartlarda statik elektrikten kaynaklanan kıvılcımlar katı veya sıvı yakıtları buharlaştırabilecek enerjiye sahip olmadığından dolayı ortamda yanıcı ve parlayıcı bir etken yoksa bu arktan kaynaklı yangın tehlikesi yok denecek kadar azdır. Ancak ortamda yeterli oranda uygun tanecik boyutunda toz bulutu varsa tutuşma riski de ona göre artmaktadır. Yangın riskini önlemek üzere o zaman yapılabilecek ilk iş, statik elektrik deşarjını engel-

leyerek ortamdaki parlama ve patlamaya hazır orandaki organik veya inorganik toz bulunmasını önlemektir. Bu durumda alınabilecek önlemler:

1. Yüksek parlama sıcaklığındaki sıvılar bu sıcaklık seviyesinin altında, düşük parlama sıcaklığındaki sıvılar ise kapalı kaplar içerisinde muhafaza edilmelidir.

2. Uygun havalandırma sistemi toz bulutunun oluşmasını engellemek üzere uygulanmalıdır.

3. Ortamdaki oksijen oranı %8-%11 aralığına indirilerek yanma olayının devam etmesi önlenmelidir (Toktaş, 2022).

### **3.1. Statik Elektrik Deşarjını Önlemek İçin Alınabilecek Önlemler**

Statik elektrik yüklerinin oluşumunu önlemek pek mümkün değildir. Fakat, bu yüklerin yüksek potansiyel farkı yaratarak tehlikeli bir seviyeye gelmesi önlenebilir.

Statik elektriğin deşarj olmasını önlemek için alınması gereken tedbirler şu şekilde sıralanabilir (Toktaş, 2022)

1. Kısa Devreleme ve Topraklama: Bu yöntemle yalnızca iletken olan cisimler arasındaki statik elektrik deşarjı önlenebilir.

2. Nemlendirme: Yalıtkan maddeler, üzerlerindeki biriken statik elektrik yükünü dışarıya kolayca atamazlar ve yalıtkan maddeler üzerindeki elektrik yükünün dağılımı da homojen değildir. Ancak iletkenlerde oluşan statik elektrik yükleri homojen olarak dağılmakta ve bu iletkene dokunan bir insan eli vasıtasıyla toprağa akmaktadır. O zaman buradan çıkan sonuç, iletken olmayan maddelerdeki statik elektrik yükü sabit kalma eğilimindedir. Yalıtkanlardaki yük birikimini homojen hale getirmenin en iyi yolu malzeme üzerindeki yükü toprağa

aktaran bir iletken aracı bulmaktır. Bu iletken aracı nem vasıtasıyla olabilir. Havadaki nem oranının artmasıyla da havanın yalıtkanlık özelliği azalmaktadır. Böylece meydana gelecek yüklerin tehlikeli bir seviyeye erişmeden önce ark yapmadan hafif iletken özelliğindeki nemli hava ortamından geçerek toprak üzerinden deşarj olması sağlanabilecektir.

3. İyonizasyon: İyonizasyon; Elektriksel ve radyoaktif iyonizasyon olarak iki şekilde yapılabilir. Bu yöntemle birlikte yüzeyde bulunan statik elektrik yükü tehlikeli seviyelere gelmeden deşarj edilmiş olacaktır.

4. Personelin Korunması: İnsan vücudu, iyi bir iletkenidir. Fakat, kullanılan bazı sentetik kıyafetler insan vücudunda elektrostatik yüklerin oluşmasına sebep olabilir. Böylece insan vücudunun yere göre kapasitansı artarak oluşan yük ark yapar. Bu durum da arka bir iletken yüzey veya toprak üzerinden boşalmasına neden olarak tehlikeli durumlar oluşturabilir. Bu maksatla nötralizatörler kullanılmalı ve parlayıcı, patlayıcı gaz, buhar ve tozların bulunduğu işyeri bölümleri ayrılmalıdır. Girişler kontrollü olmalı ve bu girişlerde insan vücudu üzerindeki statik elektrik yükünü topraklayacak istasyonlar bulunmalıdır. Ayrıca antistatik bilek statik elektrik toparlayıcısı (elektronik sanayinde), yalıtkan ayakkabı, iletken ayakkabı, antistatik ayakkabı, elektrostatik yük boşalması ayakkabısı gibi malzemeler de kullanılabilir.



## KAYNAKÇA

- Asana, M. M., (2015). Endüstriyel Tesislerde Toz Patlamaları, Modellenmesi ve Risk Azaltılması. *Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı Kimya Mühendisliği Programı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- Barton, J., (1991). Dust Explosion, Prevention and Protection, Massachusetts: Gulf Publishing Company, 2002
- CSB, (U.S. Chemical Safety Board), (2006), Investigation Report Combustible Dust Hazard Study, 2006. [www.powderprocess.net](http://www.powderprocess.net). Bulk powder electrostatics hazards (dust explosions). Electrostatic risks to be considered in Dust Hazard analysis.
- Eckhoff, R.K., (1991), Butterworth-Heinemann, Dust Explosions in Process Industries, Oxford.
- Glor, M., (2003), Ignition hazard due to static electricity in particulate processes, *Powder Technology*, Volumes 135–136, 2003, Pages 223-233, ISSN 0032-5910. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2003.08.017>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032591003001992>)
- Karul Tonka, Ş. (2015). Statik Elektriğin İş Güvenliği Açısından Yaratacağı Tehlikelerin Tespiti ve Çözümleri. *Üsküdar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı Ve Güvenliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.*
- Kassebaum, J.H ve Kocken, R.A., (1997). *Controlling static electricity in hazardous (classified) locations*”, Transactions on Industry Applications, cilt. 33, no1, s. 209-215, Ocak-Şubat. 1997, doi: 10.1109/28.567115.
- Layık, E., (2016). Gıda Sektöründe Toz Patlamalarının Araştırılması Ve Patlamadan Korunma Dokümanının Hazırlanması Bir Uygulama Örneği, *İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi.*
- Siwek R. and Cesana C., (1995). Process Safety Progress, 14 (1995), s. 107.

Toktaş, F.Ü. (2022). unaltoktas.com/issagligiguvenligiishuku-ku/statik-elektrik. Erişim Tarihi: 12.06.2022.

Van Laar, I. G. (1991). Static electricity as a hazard in industry. *Journal de Physique III*, 1(8), 1377-1387.

## **2. BÖLÜM**

### **ENDÜSTRİYEL TESİSLERDE YANGIN GÜVENLİĞİ AÇISINDAN SU SİSİ UYGULAMALARI**

### **WATER MIST APPLICATIONS IN TERMS OF FIRE SAFETY IN INDUSTRIAL FACILITIES**

*Kasım Yılmaz<sup>1</sup>*

---

<sup>1</sup> Doktor Öğretim Üyesi, Karabük Üniversitesi, [kasimyilmaz@karabuk.edu.tr](mailto:kasimyilmaz@karabuk.edu.tr). <https://orcid.org/0000-0002-4544-4727>

## GİRİŞ

Su sisi kullanılarak yangına müdahale edilmesi sağladığı avantajlardan dolayı özellikle endüstriyel tesislerde kullanım alanı bulmuştur. Kurulum maliyeti ve zorluktan dolayı itfai faaliyetlerde genelde tercih edilmeyen su sisi sistemleri, otomatik söndürme sistemlerinde tercih edilmektedir. Suyun atomize edilmesi neticesinde, çok daha az miktarda su kullanılarak söndürme yapılması mümkün hale geldiğinden su hasarından endişelenilen alanlarda da rahatlıkla kullanılabilir. Üstün soğutma, oksijenin alandan uzaklaştırılması, radyant ısı etkilerinin azaltılması ve bitişik alanların korunması kabiliyetleri, yüksek kurulum maliyetlerine rağmen su sisi sistemlerinin ilgi çekmeye devam etmesine yol açmıştır.

Bu çalışmada su sisi sistemleriyle ilgili literatür incelenerek, tanımı, bileşenleri, söndürme mekanizması ve özellikle endüstriyel kullanım alanlarıyla ilgili çalışmalar özetlenerek ortaya konulmuştur.

### 1. SU SİSİ SÖNDÜRME SİSTEMİ NEDİR?

Su sisi sistemlerinin esası suyun çok küçük taneciklere dönüştürülerek yangın bölgesine gönderilmesine dayanmaktadır. Su sisi sistemleri farklı basınç düzeylerinde tasarlanmaktadır. Yüksek basınçlı sistemlerde 120 bar çalışma basıncıyla 50-100 mikron çapında tanecik boyutuna ulaşılabilir. Geleneksel sprinkler sistemlerinde tanecik boyutları genelde 1000 mikrondan daha fazladır (Şiranlı & Turanlı, 2019).

Su sisi söndürme sistemleriyle ilgili Avrupa standardı EN 14972, Amerikan standardı ise NFPA 750'dir. NFPA 750'ye göre su sisi uygulaması hem can hem de mala yönelik olarak yangından korunma amaçlı tasarlanmaktadır. Su sisi, yangında ısıyı emmek, oksijen seviyesini düşürmek ve radyant ısıyı engellemek suretiyle yangın-

ları kontrol etmek, baskılamak ve söndürmek amacıyla kullanılır. NFPA 750 kurumun kendi standartları yanında ASTM (American Society for Testing and Materials), ANSI (The American National Standards Institute), ASME (American Society of Mechanical Engineers) gibi standart kuruluşlarının kaynaklarını da kapsayacak şekilde geliştirilmiş bir standarttır.

Standarda göre yüksek basınçlı sistemler, bileşenlerin 34.5 bar ve üzeri basınca maruz kaldığı sistemlerdir. Orta basınçlı sistemler 12.1-34.5 bar arası basınca uygun tasarlanırlar. 12.1 bar basınçtan daha düşük olan sistemler ise düşük basınçlı su sisi sistemleridir. Su sisi sistemleri tek akışkanlı veya çift akışkanlı olarak tasarlanabilmektedirler. Su sisi terimi, çapı 1000 mikronun altında olan su taneciklerine verilen addır. Su sisi sistemlerinde pozitif deplasmanlı pompalar kullanılmaktadır (NFPA 750, 2023).

Tasarım açısından su sisi sistemleri geleneksel sprinkler sistemlerine benzer bir şekilde, ıslak, kuru, ön uyarılı ve baskın sistemleri şeklinde kurulabilmektedirler. Su sisi koruma sistemleri yangınların söndürülmesini, baskılanmasını, kontrol edilmesini, sıcaklıkların kontrolünü ve yangına bitişik alanların korunmasını hedeflemektedir. Oluşturulan su spreysi içindeki damlacıkların hacminin %90'ını oluşturan her bir damlacık boyutu (Balık, 2015);

- 200  $\mu\text{m}$ 'den küçükse 1.sınıf su sisi
- 400  $\mu\text{m}$ 'den küçükse 2.sınıf su sisi
- 1000  $\mu\text{m}$ 'den küçük ise 3.sınıf su sisi şeklinde tanımlanmaktadır.

Otomatik su sisi sistem türleri ve özellikleri aşağıda belirtildiği gibidir (Öner, 2009):

a) **Islak borulu su sisi sistemi:** Sistemde her an basınçlı suyun bulunduğu tasarım türüdür.

b) **Kuru borulu su sisi sistemi:** Sistem içerisinde belirli bir noktadan sonra su yerine basınçlı hava, azot veya asal gazın bulunduğu tasarım türüdür.

c) **Ön-tepkili su sisi sistemi:** Sistem içerisinde belirli bir noktadan sonra su yerine basınçlı hava, azot veya asal gazın bulunduğu, suyun akması için yangının başladığı alandaki nozul kafasının açılmasından başka elektronik veya mekanik anlamda bir doğrulama sonrası suyun boşaltıldığı tasarım türüdür.

d) **Baskın sistemi:** Sistem boruları içinde suyun bulunmadığı, nozulların tamamının açık olarak bulundurulduğu, su akışına kumanda eden baskın vanasının mekanik, elektrikli veya elle hareket ettirilmesi sonucu, suyun korunan alandaki tüm nozul başlıklarından alanın tamamına uygulandığı tasarım türüdür.

e) **Paket tipi baskın sistemi :** Su sisi sistemlerinin sadece korunacak yere özgü tasarlanmasıdır. Endüstriyel işletmelerde özel tehlike ortamlarının korunması amacıyla tasarlanmaktadır. (Öner, 2009).

Su sisi uygulamalarının kullanım alanları belirlenirken bazı hususlara dikkat edilmelidir. Bu hususların başlıcaları suyla şiddetli tepkimeye giren maddelerin bulunduğu alanlar, kriyojenik sıcaklıklarda sıvılaştırılmış gazlar ve sistem bileşenlerinin yalıtımı yapılmamış elektrik kaynaklarına mesafeleridir (NFPA 750, 2023).

Su sisi sistemleri, suyla şiddetli tepkimeye girerek tehlikeli ürünler üretebilecek malzemeler üzerine direkt uygulanacak şekilde tasarlanamazlar. Bu maddelerin bazıları şunlardır:

1. Lityum, sodyum, potasyum, magnezyum, titanyum, zirkonyum, uranyum ve plütonyum gibi reaktif metallere,
2. Sodyum metoksit gibi metal alkoksitler,
3. Metal amidler,
4. Karbürler,
5. Halojenürler,
6. Hidritler,
7. Oksihalidler,
8. Silanlar,
9. Sülfürler,
10. Siyanatlar.

Su sisi uygulamaları kriyojenik sıcaklıklarda sıvılaştırılmış (LNG gibi) gazlara direkt uygulama yapacak tarzda da tasarlanamazlar. Çünkü su sıcaklıklarında bu gazlar şiddetli bir şekilde kaynarlar.

Sistem tasarımında, sistem bileşenlerinin izole edilmiş elektrik enerjisi kaynaklarına minimum mesafeleri de dikkate alınmalıdır. NFPA 750'ye göre bu mesafeler aşağıda Tablo 1' de gösterilmektedir.

*Tablo 1. Su Sisi Sistem Bileşenlerinin Yalıtımı Yapılmamış Elektrik Kaynaklarına Mesafesi (NFPA 750, 2023)*

Nominal Sistem Voltajı(kV)	Maksimum Sistem Voltajı ((kV)	Tasarım BIL (kV) Temel Yalıtım Seviyesi	Minimum Mesafe (mm)
13.8'e kadar	14.5	110	178
23	24.3	150	254
34.5	36.5	200	330
46	48.5	250	432
69	72.5	350	635
115	121	550	1067

138	145	650	1270
161	169	750	1473
230	242	900	1930
		1050	2134
345	362	1050	2134
		1300	2642
500	550	1500	3150
		1800	3658
765	800	2050	4242

Su sisi B sınıfı yangınlarda veya su hasarına katlanılamayacak durumlarda etkili bir şekilde kullanılmakta olan Halon ve muadili temiz gazların alternatifi olarak kullanılabilir. A sınıfı yangınlarda da su sisi sistemleri bazı çekincelerle birlikte geleneksel sprinkler tasarımlarının alternatifidir. (Butz vd.,1993)

Su sisi uygulamaları, özellikle gazlı söndürme sistemlerinin bazı dezavantajlı yönlerinden dolayı, bu sistemlere alternatif olarak kabul görmeye başlamıştır. Gazlı söndürme sistemlerinin dezavantajlı yönleri olarak aşağıdaki hususlar sayılabilir (Kılıç, 2016);

- Gazlı söndürme sistemlerinde sızdırmazlığın sağlanması güç olabilir.
- Söndürme etkileri bazen kısıtlı olabilmektedir.
- İnsan sağlığına yönelik riskleri vardır.
- İşletme ve test problemleri mevcuttur.

Gazlı söndürme sistemleri ve geleneksel sprinkler sistemlerine göre su sisi kullanılarak yangına müdahale edilmesinin avantajları şunlardır (Rashbash, 1986):

1. İnsanlara yönelik boğulma ve zehirlenme riski doğurmaz.
2. Çevresel bir tehdit içermez.
3. Sistem maliyeti düşüktür.



4. Su hasarı oluşmaz.
5. Belirli yangın türlerinde çok etkili söndürme sağlar.

Tesisat ve etkinlik açısından su sisi sistemlerinin sunduğu avantajlar şunlardır (Şiranlı & Turanlı, 2019):

- Söndürme performansı açısından daha yüksek teknoloji ve etkinliğe sahiptir.
- Ara seviye basınçlandırmasına ihtiyaç yoktur.
- Ana hatlarda ve branşlarda daha küçük çaplı boru kullanılır.
- Paslanmaz çelikten borular kullanıldığından, sistemin kullanım ömrü daha uzundur.
- Sistemde kullanılan nozul sayısı geleneksel sprinkler sistemindeki fıskiye başlıklarından çok daha azdır ve daha estetik uygulamalara imkan sağlar.

Su sisi sistemlerinde basınç artırılıp, orifis çapı küçültüldüğünde su spreyini oluşturan damlacıkların çapı azalmaktadır. Damlacık çapı 5 kat azaltıldığında suyun yüzey alanı 25 kat artırılmış olmakta, böylece soğutma ve boğma etkisi çoğalmaktadır. Su sisi uygulamalarında kullanılan söndürme suyu miktarı geleneksel yağmurlama sistemlerine göre yaklaşık %90 oranında azalmaktadır. Yüksek basınçlı sistemlerde basınç 120 bara kadar yükselmektedir. (Kılıç, 2016)

Su sisi sistemlerinin olumsuz yönlerinden birisi, küçük su taneciklerinin yeterli momentuma sahip olamamalarından dolayı yangın kaynağına erişememeleridir. (Balık, 2015).

## 2. SU SİSİ SÖNDÜRME SİSTEMİ BİLEŞENLERİ

Su sisi söndürme sistemi bileşenleri amaca uygun üretilmiş nozullar, basınçlandırma ekipmanları ve basın-

ca uygun tasarlanmış tesisat ve alarm vanalarıdır. (Şiranlı & Turanlı, 2019).

Sistemde nozullar özel bir öneme sahiptir. Su sisi nozulları suyun atomize hale getirilmesi mekanizmalarına göre başlıca üç kategoriye ayrılırlar. (Liu & Kim, 1999)

1. Çarpma nozulları (İmpingement Nozzles): Tek akışkanla çalışır. Nispeten geniş ağız ve deflektörü vardır. Düşük ve orta düzeyde basınçla çalışır. 60-120 derece arasında su spreyi konisi oluşturur. Nispeten büyük damlacık gerektiren yangınların söndürülmesinde kullanılır. A sınıfı yangınların söndürülmesi için tercih edilmektedir. Gemi kabinlerinin korunmasında, birikmiş veya püsküren hidrokarbon yangınlarında, endüstriyel alanlarda makine arası boşlukların korunmasında kullanılmaktadır.

2. Basınçlı Jet Nozulları (Pressure Jet Nozzles): Tek akışkan kullanılır. Ağız açıklıkları küçüktür. Su girdap odaları vasıtasıyla da püskürtülebilir. Nozul deliklerinden yüksek hıza sahip su jeti şeklinde uygulanan su çok ince damlacıklar haline gelir. Nozul delik çapları 0,2-3 mm. arasındadır. Nozul üzerinde nispeten daha düşük basınçla çalışan birden fazla delik bulunabilir. Akış oranları tipe göre 1-45 litre/dakika şeklinde olabilmektedir. Çalışma basınçları düşük basınçlı olan sistemlerde 5.1 bar düzeyinde iken yüksek basınçlı sistemlerde 272 bara kadar çıkabilmektedir. Su sisi sprej konisi açısı 20-150 arasında gerçekleşebilmektedir. Bu nozullarda damlacık dağılımı ve çapı basınçla ayarlanmaktadır. Basınç artırıldıkça tanecik çapı azalmaktadır. Basınçla birlikte tanecik momentumu ve akış yoğunluğu da artış göstermektedir. Bu nozullar endüstriyel işletmelerde makinalar arası boşluklarda ve gaz türbin bölmelerinde özellikle B sınıfı yangınların söndürülmesinde kullanılmaktadır. Gemilerde A sınıfı yangınların söndürülmesinde etkili-

dir. Dezavantajlı yönü yüksek basınçtan dolayı malzeme maliyetinin yüksek olmasıdır.

3. İkiz Akışkan Nozulları (Twin Fluid Nozzles): Basınçlı hava ve suyla çalışırlar. Hava giriş kanalı, su giriş kanalı ve dahili haznedan oluşurlar. Haznede oluşan su şeridi basınçlı havayla parçalanarak küçük taneciklere çevirilir. Nozulu terkeden damlacıklar yüksek türbülanslı jet sayesinde daha küçük parçacıklar haline dönüşür. Bu nozullarda su ve havanın basınçları birbirlerinden ayrı basınçlandırılmaktadır. Su ve hava basınçları 3-12 bar arasındadır. Su spreyi koni açıları 20-120 arasında gerçekleşir. Basınçlı hava yarattığı türbülansla su taneciklerinin yangın alanındaki karışımını ve etkinliğini artırır. Bu nozullar endüstriyel alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır. Güvenilirlikleri yüksek, nispeten geniş nozul delikleri, düşük basınçları sebebiyle bakımları kolaydır. Bu nozullarda hava yerine Halon muadilleri veya soy gazlar da kullanılabilir. Sistem maliyeti diğerlerine göre daha yüksektir. Tek akışkanlı ve yüksek basınçlı sistemlere göre yangın söndürme kabiliyeti daha düşüktür (Liu & Kim, 1999).

### 3. SU SİSİ SİSTEMLERİNİN SÖNDÜRME MEKANİZMASI

Su sisi sistemlerinin boğma ve soğutma etkisi mevcuttur. Su sisi uygulamaları yangının yayılmasını da etkili bir biçimde engellemektedir. Su tanecikleri alevden, sıcak gazlardan ve yakıttan ısı emerek yangını söndürebilmektedir. Su sisi uygulamaları parlama sıcaklığı yüksek olan sıvı yangınlarında, alevi soğutarak ve sıvı yüzeyine etki eden radyant ısı transferini azaltarak etkili bir söndürme sağlamaktadır. Parlama sıcaklığı düşük olan sıvı yangınlarında aynı etki görülmemektedir. Katı yangınlarında da alevlerin soğutulması yanma hızını azaltmaktadır. Ancak su sisinin yangın kaynağına erişmesi için tanecik

büyükülüğünün daha fazla olması gerekmektedir. Su sisiiyle şiddeti büyük yangınlar küçük yangınlara oranla daha çabuk söndürülebilmektedir. Bunun sebebi ortama püskürtülen su sisinin aniden büyük oranda buharlaşarak ortamdaki oksijeni seyreltmesidir. (Kılıç, 2016)

Su sisinin yangını söndürme mekanizmaları birincil ve ikincil mekanizmalar olarak sınıflandırılmaktadır. Buna göre birincil mekanizmalar;

1. Isının emilmesi,
2. Oksijenin ortamdaki uzaklaştırılması, seyreltilmesi.

İkincil mekanizmalar ise;

1. Radyant ısının zayıflatılması,
2. Kinetik etkidir.

Soğutma işlemi yangın bulutunun (alevler ve ısınmış gazlar) soğutulması işleminin yanı sıra yakıt yüzeyinin ıslatılması ve soğutulmasını da kapsar. Bu suretle adyabatik alev sıcaklıkları çoğu hidrokarbon organik buharlar için 1327 C olan alt sıcaklık limitine eriştiğinde yangınlar söndürülebilmektedir. Yakıt yüzeyi soğutulduğunda yakıt yanma noktasının altında sıcaklıklara düşürüldüğü takdirde de yangınlar söndürülmüş olur. Bunun için su sisinin yangın bulutunu delerek yakıt yüzeyine erişmesi gerekir (Mawhinney & Back, 2016), (Liu & Kim, 1999).

Kapalı bir alan içerisindeki oksijen oranı su sisi damlacıklarının buharlaşması ve hacim genişlemesiyle çok hızlı bir şekilde düşmektedir. Hesaplamalar göstermektedir ki, 100 m<sup>3</sup>'lük bir hacime sahip odada oksijen oranı 5.5 litre suyun tamamıyla buharlaşması durumunda %10 seviyesine düşürülebilmektedir. Oksijen oranı buharlaşan su miktarının yanı sıra yangının şiddeti, büyüklüğü, yanma süresinin uzunluğu, kapalı alanın hacmi ve havalandırma durumuyla da ilişkilidir. Oksijen yokluğu sa-

yesinde yangının söndürülmesi yakıt türüne de bağlıdır. Çoğu hidrokarbon yakıtların yanmaya devam edebilmesi için yaklaşık %13 düzeyinde oksijene ihtiyaçları vardır. Katı yakıtlar daha az oranda oksijenle yanmayı sürdürebilirler. Yakıt yüzeyine ulaşan su damlacıkları, yakıt yüzeyine alevlerden kaynaklanan radyant ısının yansıyan etkisini azaltarak ve yakıtı soğutarak yanma reaksiyonunu yavaşlatmış olurlar. (Liu & Kim, 1999).

Yapılan araştırmalar su sisi uygulamaları sayesinde yangın alanında oksijenin deplase edildiği ve etkili bir soğutma sağlandığını göstermektedir. Yapılan testlerde 5.5 dakika içerisinde yangın alanında oksijen seviyesinin % 16.8'e sıcaklığın da 590 C den 50 C ye düşürülebildiği belirlenmiştir. Su ısınırken değil de buharlaştığında en fazla ısıyı emerek soğutma yaptığından dolayı, soğutma efekti açısından su sisi sistemleri oldukça etkili olmaktadır. 1 litre su gaz fazına geçerken ortamdan 2257 kJ ısı emebilmektedir. Su sisi sistemleri geleneksel sprinkler sistemlerine göre aynı miktarda su kullanılarak yapılan söndürmelerde 7 kat daha etkilidir. (Şiranlı & Turanlı, 2019).

Yüksek Basıncılı Su Sisi Sistemlerinde kullanılan özel nozullar vasıtasıyla su, mikron mertebesinde sis halinde boşaltılır. Böylece su damlacığının yüzey alanı maksimum hale gelerek ortam ısısını hızla düşürür. Aynı zamanda oksijen seviyesini düşürerek yangını hızla kontrol eder (Çiftler, 2020).

Kapalı alan etkisi su sisi uygulamalarının etkisini artırır. Yangın biliminde bu metoda dolaylı söndürme adı verilmektedir. Kapalı alan etkisi sebebiyle su sisi uygulamaları sayesinde, engellerle dolu kapalı alanlarda derinlemesine yangın söndürülmesi mümkün hale gelmektedir (Liu & Kim, 1999).

Su sisi sistemleri kanalıyla yangın alanına boşaltılan tanecikler kapalı alanda dinamik bir karışıma sebep olur-

lar. Dinamik karışım sayesinde kompartıman içerisinde her yerde sıcaklıklar eşitlenme eğilimine girer. Araştırmalara göre su sisi nozullarının tavana yakın yerleştirilmeleri durumunda söndürme kabiliyetleri daha yüksek olmaktadır. Bunun en büyük sebebi tavan sıcaklıklarının yüksek olmasından dolayı maksimum buharlaşmanın gerçekleşmesidir (Mawhinney & Back, 2016).

Söndürme etkisini arttırmak için su sisi içerisinde katkı maddeleri katmak ta mümkündür. Bu amaçla deniz suyu (su ağırlığının %2,5'i oranında sodyum klorür) veya %0,3 oranında AFFF köpük konsantresi kullanılmaktadır. Araştırmalara göre hava yerine itici güç olarak azot veya diğer soy gazların kullanılması su sisinin söndürme etkisini arttırmaktadır. Ayrıca FM-200 veya Halon 1301 gibi gazlardan hemen önce veya hemen sonra su sisi uygulanması yangın alanında yeniden tutuşmayı engellemektedir. Ancak katkı maddelerinin kullanımı maliyet artışına, sitemde paslanmaya ve zehirli etkilere yol açabilmektedir. Yangın alanına uygulanan su sisi tam olarak gazlar gibi hareket etmez. Bazı damllar yangına ulaşamaz ve uzağa savrulurlar. Bazıları yangın bulutunu delerek alevi ve sıcak gazları soğutur ve bir kısmı yangının kaynağına erişir. Duvar, tavan ve zemine erişen damlacıklar bu alanları soğuturlar. Yangın alanına bitişik yakıtların soğutulması yangının yayılmasını engeller (Liu & Kim, 1999).

Su sisi sistemlerinin etkinliği su sisinin özelliklerine bağlıdır. Su sisi özellikleri bu amaçla üretilmiş nozullar vasıtasıyla kazandırılır. Su sisi uygulamalarına etkinlik kazandıran su sisi parametreleri şunlardır (Rashbash, 1986):

1. Yangın bölgesinde birim alana uygulanan ortalama akış oranı,
2. Akış oranının yangın ve çevresine dağılımı,

3. Uygulamanın yönü,
4. Damlacık çapı ve dağılımı,
5. Yangın alanına giren havanın hızı,
6. Giriş yapan havanın hızına, alevin hızına ve yakıt türüne göre damlacıkların hızı.

#### **4. SU SİSİ SÖNDÜRME SİSTEMLERİNİN KULLANILDIĞI ALANLAR**

Endüstriyel işletmelerde su sisi kullanılarak yapılan yangın söndürülme işlemlerinde çok daha az su hasarı olduğundan malzemelerin yeniden çalıştırılmaya başlanması ve bu sayede daha kısa iş kesintisine uğranması, iş kesintisinden kaynaklanan maliyetleri düşürmektedir. Geleneksel sprinkler sistemleriyle su sisi sistemleri karşılaştırıldığında su sisi sistemleri daha maliyetlidir. Bunun sebebi yüksek basınçlı sistemlerin ileri üretim teknolojileriyle üretilmesidir. Ancak toplam yatırım maliyeti olarak ele alındığında, su sisi sistemleri maliyetlerinin projeye bağlı olarak kabul edilebilir düzeyde olduğu görülmektedir. 31 katlı bir binada geleneksel sprinkler sistemleriyle su sisi sistemlerinin toplam yatırım maliyetlerinin birbirlerine yakın düzeyde, 1,6 milyon dolar düzeyinde olduğu belirlenmiştir (Şiranlı & Turanlı, 2019).

NFPA standardında su sisi uygulamalarının tasarlandığı koruma alanları aşağıdaki şekilde listelenmiştir (NFPA 750, 2023):

1. Endüstriyel tesislerde makinalar arası boşlukların korunması,
2. Yanma türbinleri,
3. Islak tezgahlar ve benzeri işlem malzemeleri,
4. Yerel koruma uygulamaları,
5. Endüstriyel yağlı ocaklar,

6. Yükseltilmiş zemin bilgisayar odaları,
7. Kimyasal buhar davlumbazları,
8. Kesintisiz ahşap baskıların üretim alanları.

Uygulamada aşağıda sıralanan alanlarda su sisi sistemleri tasarımları sayesinde yangına karşı korunma sağlanmaktadır (Kılıç, 2016), (Şiranlı & Turanlı, 2019);

- Veri merkezleri,
- Madenler,
- Hastaneler, oteller, müzeler, tarihi binalar,
- Kablo kanalları
- Yanıcı/parlayıcı sıvıların olduğu alanlar.
- Elektrik odaları,
- Gaz türbinleri,
- Trenler, gemiler, uçaklar, uzay mekikleri,
- Petrol platformları.

Yapılan araştırmalar göre karayolu tünel yangınlarında düşük veya yüksek basınçlı su sisi sistemlerinin, yangının tünele zarar verecek boyuta ulaşmasını engellediği, can güvenliği açısından ortam sıcaklığını düşürerek mücadeleye olumlu katkı sağladığı, itfai faaliyetler açısından zaman kazandırdığı ancak yangın çıkış bölgelerinde görüş mesafesini kısalttığı belirlenmiştir (Balık, 2015). Su sisi uygulamalarının, tünel ve koridor benzeri alanlarda meydana gelen havuz türü yanıcı sıvı içeren yangınlara yönelik etkisini belirlemeye yönelik yapılan araştırmalarda 40 bar sistem basıncına kadar basınçlarda su sisi müdahalesinin toptan alev almayı engelleyemediği görülmüştür. Bu deneylerde 60 bar basıncında, radyant ısı yayılımının önemli düzeyde azaltıldığı ve toptan alev almanın engellendiği, 70 bar basınçta ise kısa sürede söndürmenin gerçekleştirilebildiği belirlenmiştir. Baskın



sistemlerinde su sisi uygulamaları halon muadili gazlara ciddi bir alternatif oluşturmaktadır. Çünkü su sisi, gazları ve alevi etkili soğutabilmekte, radyant ısı etkisini önemli oranda azaltabilmekte ve oksijen oranını hızla düşürebilmektedir. (Zhang vd., 2016).

Su sisi sistemlerinin elektrik odalarında kullanımında, su hasarı meydana gelmemesi için yüksek basınçla kullanılması tercih edilmektedir (150-200 bar). Jeneratör oda ve kabinlerinde su sisi sistemleri diğer gazlı söndürme sistemlerine göre daha avantajlı olmaktadır. Bunun sebebi jeneratör odalarında soğutma ve havalandırma zorunluluğu sebebiyle sızdırmazlığın sağlanamamasıdır. İtici güç olarak azot gazıyla su sisinin birlikte kullanılması, azot gazının inertleme özelliğinden dolayı daha etkili sonuç alınmasını sağlamaktadır. (Çiftler, 2020).

Endüstriyel binaların yanı sıra tarihi binaların yangına karşı korunmasında da su sisi sistemlerinin kullanılması tercih edilmektedir. Bunun en önemli sebebi su hasarının en az düzeyde gerçekleşmesidir. Endüstriyel işletmelerde, uzay, hava ve deniz araçlarında sulu söndürme sistemlerinin tasarımında depo inşaası için ayrılacak alanın en düşük hacimde gerçekleştirilebilmesi için su sisi sistemlerinin tasarımı idealdir. Sulu söndürme sistemlerinin yangına müdahalesi neticesinde insan hayatına yönelik bir risk de ortaya çıkmamaktadır. Sistemin dezavantajlı yönlerinden birisi ise için için yanma şeklindeki yangınlarda daha az etkili olmasıdır (Kidd, 2017).

Endüstriyel tesislerde zaman zaman toz patlamalarının yaşandığı görülmektedir. Toz patlaması riski taşıyan malzemelerden birisi de kükürttür. Toz bulutlarında %25 ve üzerinde kükürt tozu bulunması tutuşturma şartları oluştuğu takdirde patlamalara yol açabilmektedir. Kükürt tozunun tutuşma sıcaklığı 190 C'dir. Kükürtün depolanması veya transferi esnasında oluşabilecek patlama risklerinin önlenmesinde, toz baskılama ve yangın sön-

dürme amacıyla sprinkler veya su sisi sistemleri yatırım maliyetleri de dikkate alınarak değerlendirilebilir (Şiranlı & Turanlı, 2019).

Endüstriyel mutfaklarda çıkan yağ yangınlarına müdahalede su sisi kullanımının etkili bir biçimde yağ yangınlarını söndürdüğü ve yeniden tutuşmayı engellediği görülmüştür. Bu tür yangınların söndürülmesinde su sisi sistemlerinin performansını etkileyen unsurların su sisi sistem tipi, sistem basıncı ve davlumbaz konumu olduğu belirlenmiştir (Liu vd., 2006).

Endüstriyel işletmelerde özellikle tehlikeli maddelerin bulunduğu alanlarda su sisi kullanılarak perdeleme yapılması da mümkündür. Su sisi perdelemesi, farklı risklere yönelik olarak kullanımı kolay bir teknik olarak ortaya çıkmıştır. Zehirli gazların kazara salınımı ya da yangın anında ortaya çıkan sıcak ve zehirli gazlardan kaynaklanan risklere karşı su sisi perdesi kullanılabilir. Ayrıca depolama tankları gibi korunmak istenen alanların yangına karşı oluşturulan termal kalkanla korunması da mümkündür. Radyant ısıya karşı su sisi perdesiyle koruma yapılırken dikey perdeleme yerine aynı anda korunmak istenen malzemenin/alanın ıslatılması daha etkili olmakta ancak su kullanımı hemen hemen ikiye katlanmaktadır (Buchlin, 2017).

Su sisi sistemleri yanıcı ve parlayıcı sıvı yangınlarının söndürülmesinde ve patlamaların baskılanmasında kullanılabilir. NFPA 30'a göre parlama noktaları 37,8 C nin altında ve bu sıcaklıktaki buhar basınçları 276 kPa'yı aşmayan sıvılar parlayıcı sıvılar, parlama noktası 37,8 C'nin üzerindeki sıvılar ise yanıcı sıvılar olarak tanımlanmaktadır (NFPA 30, 2023). Yanıcı/parlayıcı sıvıların çoğu normal sıcaklıklarda buharlaşarak havadan daha ağır gazlar çıkartırlar. Parlayıcı sıvı buharları kaynaktan çok daha uzak noktalara gidebilir. Yanıcı ve parlayıcı sıvıların parlama noktası düştükçe yangın açı-

sından daha fazla risk yaratırlar. Endüstriyel işletmelerde çıkan yangınlarda meydana gelebilecek üç tip patlama vardır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir (Özer, 1985);

a) **Yangın patlamaları:** Yanıcı sıvı buharı ve havanın hızla karışmasıyla, yanıcı buharın havadaki oranını patlama limitleri arasında olduğunda, karışımın bir tutuşturma kaynağına maruz kalmasıyla patlama gerçekleşmektedir. Yangın patlamalarında yanma çok hızlı gerçekleşir. Alev ilerleme hızı yaklaşık olarak saniyede 2 metredir.

b) **Detonasyon patlamaları:** Detonasyonun ayırıcı özelliği ısı bırakma hızından kaynaklanır. Detonasyonla oluşan şok dalgası patlayıcı karışımın özelliklerine göre 2-8 km/sn'lik bir hızla ilerler.

c) **Kaynayan sıvılarda buhar genişmesi patlamaları:** Kapalı kaplar içerisindeki yanıcı sıvının ısıya maruz kalmasıyla kaynama noktasına erişmesi sonucu kap içerisindeki basıncın artarak kaba zarar vermesiyle ortaya çıkar. Kabın zarar görmesiyle serbest kalan yanıcı sıvı yanmaya devam ederken basınçla gerçekleşen patlama fiziki hasarlara yol açar. (Öner, 2009).

Çalışmalar su sisiyle müdahalenin yanıcı/parlayıcı sıvı yangınlarıyla, katı yangınlarının kontrol edilmesinde, ayrıca hidrokarbon buharlarından kaynaklanan patlamaların baskılanmasında çok etkili olduğunu göstermektedir. Halon 1301 ve Halon 1211 bu alanlarda kullanılan en etkili kimyasal söndürücüler iken çevresel endişeler sebebiyle üretimi durdurulmuştur (Liu & Kim, 1999).

Su sisinin katkı maddeleriyle birlikte kullanımı patlama baskılama özelliğini artırmaktadır. Kapalı alanda metan gazı patlamasının çok ince su sisi tanecikleri ve %5 kütle oranında NaCl (Sodyum Klorür), Na<sup>2</sup>CO<sup>3</sup> (-Sodyum Karbonat), KHCO<sup>3</sup> (Potasyum Bikarbonat), KCl

(Potasyum Klorür) ve  $K^2CO^3$  (Potasyum Karbonat) katkı maddeleri kullanılarak baskılanması konusunda yapılan çalışmalar neticesinde patlama baskılanmasıda en etkili katkı maddesinin Potasyum Karbonat olduğunu göstermiştir (Cao vd., 2019).

Patlamaların su sisi kullanılarak baskılanması konusunda yapılan araştırmalar neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır (Butz vd.,1993), (Zalosh, 1994):

1. Gaz patlamalarında, havayla karışmış ve patlama limitleri içerisinde olup ta tutuşan yanıcı gazın alev cephesi tutuşma noktasından etrafa doğru hızla ilerlerken çok ince su sisi içerisinde geçirilirse, yeteri kadar ince ve yeterli miktarda su damlacığıyla karşılaşırse söndürülebilir.

2. Bir detonasyonun şok dalgası enerjisi, su sisi içerisinde geçirilirse azaltılabilir/engellenebilir.

3. Su sisi damlacıklarının ortamda bulunması yanıcı buhar/hava karışımının tutuşabilmesi için ihtiyaç duyulan enerji miktarını artırır.

4. Açık alanda yüksek momentuma sahip su sisi yanıcı bir gaz bulutuna uygulanırsa bu bulut içerisinde daha fazla hava karıştırarak gaz bulutunu alt patlama eşiği altına düşürerek tutuşmasını engeller.

5. Yüksek sıcaklıklarda su sisi/buharının etkisi düşük sıcaklıklardaki etkisinden daha fazladır.

6. Detonasyonlarda, çok yüksek alev hızıyla birlikte şok dalgası ortaya çıkmaktadır. Detonasyonda, su sisi patlama basınçlarını azaltabilmekte ve şok dalgasıyla su damlacıklarının 1 mikrona kadar küçülmesiyle alevlerin söndürülmesi mümkün olmaktadır.

7. Su sisi tanecikleri çok küçük boyutlarda olmazlarsa (1 mikron) patlamalarda yanma enerjisini yeteri kadar hızla ememezler.

Açık alanda A sınıfı yangınların su sisi kullanılarak söndürülmesi konusunda yapılan araştırmalar neticesinde, ortalama damlacık büyüklüğünün yanıcı madde yüzeyine erişecek kadar büyük olmaması durumunda su sisi sistemlerinin söndürmede etkili olamadığı belirlenmiştir. (Yu & Liu, 2019).

## SONUÇ

Su sisi sistemleri, gazlı söndürme sistemlerinin bazı dezavantajlı yönlerinden dolayı özellikle endüstriyel alanlarda kullanım alanı bulmuştur. Kullanılan teknoloji sayesinde etkili söndürme özelliğine sahip olan su sisi sistemleri uygulandığında insan hayatına yönelik sakıncalar doğurmadığından dolayı da önemli bir üstünlüğe sahip olmaktadır.

Suyla birleştiğinde tehlikeli ürünler oluşturacak şekilde tepkime geliştiren maddelerin mevcut olduğu alanlarda tasarlanamamaktadırlar. Ancak yanıcı/parlayıcı sıvı yangınları ve endüstriyel mutfak yangınlarının söndürülmesi ve patlama etkilerinin baskılanması amacıyla etkili bir biçimde kullanılmaktadır.

## KAYNAKÇA

- Balık, G. (2015) Karayolu Tünellerinde Su Sisi Söndürme Sistemi. Tesisat Mühendisliği - Sayı 145 - Ocak/Şubat 2015.
- Buchlin, J. M. (2017). Mitigation of industrial hazards by water spray curtains. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 50, 91-100.
- Cao, X. Y., Bi, M. S., Ren, J. J., & Chen, B. (2019). Experimental research on explosion suppression affected by ultrafine water mist containing different additives. *Journal of hazardous materials*, 368, 613-620.
- Çiftler, M. K. (2020). Elektrik tesisatı ve ekipmanlarının yangından korunmasında kullanılan otomatik yangın söndürme sistemlerinin incelenmesi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Butz, J.R., French ,P., and Plooster, M., (1993), "Application of Fine Water Mists to Hydrogen Deflagrations," in Halon Options Technical Working Conference Proceedings, Albuquerque, NM, pp. 345-355 (1993).
- Kılıç, A. (2016)., Su Sisi Söndürme Sistemi. Yangın ve Güvenlik Sayı 183;8-10.
- Kidd, S., (2017), Tarihi Binalarda Yangın Söndürme Sistemleri, TÜYAK Yangın Mühendisliği Dergisi, Sayı 1, s 40-43, 2017
- Liu, Z., & Kim, A. K. (1999). A review of water mist fire suppression systems—fundamental studies. *Journal of fire protection engineering*, 10(3), 32-50.
- Liu, Z., Carpenter, D., & Kim, A. K. (2006). Characteristics of large cooking oil pool fires and their extinguishment by water mist. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 19(6), 516-526.
- Mawhinney, J. R., & Back, G. G. (2016). Water mist fire suppression systems. In *SFPE Handbook of fire protection engineering* (pp. 1587-1645). Springer, New York, NY.

- NFPA 750, (2023). <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=750> Accessed on 28.4.2022.
- NFPA 30, (2021). Flammable and Combustible Liquids Code, <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=30>, Accessed on 10.5.2023.
- Öner, A. (2009). Yanıcı/parlayıcı sıvı depolanan binalarda yangın güvenliği ve söndürme sistemleri. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 14, Sayı 1, 2009
- Özer, M. (1985) Endüstriyel Yangın Tehlikeleri ve Güvenlik Tedbirleri, Özer Yayınları, İstanbul.
- Rasbash, D.J., "Extinction of Fire with Plain Water: A Review," Proceedings of the First International Symposium on Fire Safety Science, Hemisphere Publishing Corporation, 1986, pp. 1145-1163.
- Şiranlı, B., & Turanlı, İ., (2019)., Yüksek Basınçlı Su Sisi (Water Mist) Sistemlerinin Endüstriyel Uygulamalarda Kullanımı Ve Performans Değerleri, 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 17-20 Nisan 2019-İzmir, ss 1917-1931.
- Yu, H. Z., & Liu, X. (2019). An efficacy evaluation of water mist protection against solid combustible fires in open environment. *Fire Technology*, 55(1), 343-361.
- Zalosh, R. G. (1994). Water Mist for Deflagration Control. Summary Paper Prepared for the NFPA 750 Committee on Water Mist Suppression Systems, Quincy, MA.
- Zhang, P., Tang, X., Tian, X., Liu, C., & Zhong, M. (2016). Experimental study on the interaction between fire and water mist in long and narrow spaces. *Applied Thermal Engineering*, 94, 706-714.





## **3. BÖLÜM**

### **ENGELLİ BİREYLER VE ACİL DURUMLAR: NFPA TAHLİYE PLANLAMASI ÖRNEĞİ**

### **HANDICAPPED INDIVIDUALS AND EMERGENCY CASES: NFPA EVACUATION PLANNING SAMPLE**

*Bora BALUN<sup>1</sup>*

---

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Karabük Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, borabalun@karabuk.edu.tr, ORCID: 0000-0002-4933-2271

## 1. GİRİŞ

Birleşmiş Milletler Engelli Bireylerin Haklarına Dair Sözleşme ve İhtiyari Protokole göre “diğer bireylerle eşit koşullarda topluma tam ve etkin katılımlarını engelleyecek derecede uzun süreli fiziksel, zihinsel, ruhsal veya duysal bozukluklara sahip kişiler” engelli birey olarak tanımlanmaktadır (CRPD, 2008). Engelli bireyler homojen bir grup olmayıp, engellilik temelinde ve aynı zamanda dışlanma durumlarına yol açabilecek diğer gerekçelerle birden fazla ve çoklu ayrımcılık biçimleriyle karşı karşıya kalabilmektedirler. Bununla birlikte günlük yaşam içerisinde ve rutin koşullarda dahi birçok engelle yüzleşmek zorunda kalan engelli bireyler, normal yaşamın kesintiye uğradığı afet ve acil durumlarda daha ciddi sorunları aşmak zorunda kalmaktadırlar.

Birçok çalışma, engelli bireylerin diğer bireylerle kıyaslandığında afet ve acil durumlardan daha fazla ve derin boyutlarda etkilendiğini göstermektedir (Hoffman, 2009; UN, 2012; UN, 2018; World Bank, 2022). Bununla birlikte, söz konusu kitlenin olası afet ve acil durumlarda yaşamını yitirme riskinin, diğer bireylere oranla birkaç kat daha fazla olduğu da özellikle belirtilmektedir (UN, 2017). Bu açıdan bakıldığında engelli bireylerin, acil durumların en savunmasız kesimini oluşturduğunu belirtmek mümkündür. Ortaya çıkan savunmasızlığın nedenleri ise ekonomik, sosyal, kültürel ve politik birçok değişkene bağlanabilmektedir. Örneğin ekonomik açıdan, benzer tür ve ölçekteki afetlerde ölenlerin sayısı bölgeden bölgeye büyük farklılıklar göstermektedir. Ekonomik olarak zengin ve iyi yönetilen bir şehir/bölgede afet ve acil durumlardan etkilenecek hayatını kaybeden insan sayısı, daha kötü yönetilen şehir/bölgelerden çok daha azdır (DANIDA, 2000). Bölgelerarası ekonomik gelişmişlik farkını engelli bireyler açısından yorumladığımızda, engelli bireyler yeterli düzeyde ekonomik kaynaklara

ulaşamadıklarından dolayı, bu durum, söz konusu kitle-  
nin genellikle şehircilik hizmetlerinin daha kısıtlı oldu-  
ğu bölgelere yönelmesine yol açmakta ve karşılaşılan afet  
risklerini daha da arttırmaktadır (King vd., 2019).

Afet ve acil durumlar gibi olaylar her ne kadar top-  
lumun tüm kesimleri açısından tehdit potansiyeli taşısa  
da engelli bireyler bu tür olayların yol açtığı ani ve uzun  
vadeli etkilerden orantısız şekilde etkilenmektedir. Orta-  
ya çıkan farklı düzeydeki etkinin nedenleri arasında yal-  
nızca engelliliğin boyutları yer almamakta; kırılabilirliği  
arttıran diğer risk faktörleri de önemli bir yer tutmakta-  
dır. Normal şartlarda ve dönemlerde toplumsal yaşam-  
da hâkim olan engellilere yönelik ayrımcılık, bu kitleyi  
marjinalleştirip, çoğu durumda onları bağımlı yaşamaya  
zorlarken; afet ve acil durumlar bu tür koşulları daha da  
kötü hale getirebilmektedir. Dolayısıyla böyle bir durum-  
da engelli bireyler ile toplumun diğer üyeleri arasındaki  
eşitsizlik daha da artmış olmakta hem acil durum sıra-  
sında hem de sonraki dönemde engellilerin ortaya çıkan  
koşullardan olumsuz etkilenme olasılığı artmaktadır  
(GFDRR, 2017).

Engelli bireylerin karşılaştığı sorunların başlık sa-  
yısını arttırmak mümkündür, fakat olgunun temelinde  
gündelik ve sosyal yaşamda ortaya çıkan toplumun gö-  
rünmeyen yüzü olma gerçekliğinin afet ve acil durum  
yönetim sistemine dahil edilmeleri noktasında da devam  
ediyor olması bulunduğu düşünülmektedir (IFRC, 2018).  
Doğal olarak afet ve acil durum risklerinin azaltılması-  
na yönelik politika, plan ve programlardan dışlanmanın  
sonucunda, engelli bireyler ve diğer dezavantajlı gruplar  
daha yüksek ölüm, yaralanma ve ilave sakatlık riskiyle  
karşılaşmaktadırlar (UN, 2012). Bu sürece sosyo-ekono-  
mik dışlanma, yoksulluk, toplumsal süreçlere tam ve eşit  
oranda katılamama gibi faktörler de eklendiğinde engel-  
li bireylerin durumu daha karmaşık bir hal almaktadır  
(World Bank, 2022).

## 2. ENGELLİ BİREYLERE DAİR GÜNCEL VERİLER

Dünya genelindeki engelli nüfusa dair verileri yorumlarken karşımıza iki alternatif çıkmaktadır. Birinci alternatif olan Dünya Sağlık Araştırmasına göre 15 yaş ve üzeri engelli bireylerin dünya nüfusuna oranı %15,6'dır. İkinci alternatif olan Küresel Hastalık Yüğü Araştırmasına göre ise bu oran %19,4 şeklinde verilmektedir. Dünya nüfusunun 8 milyar civarında olduğunu düşündüğümüzde, iyimser tahminle yaklaşık 1 milyar 200 milyon insanın herhangi bir tür engellilik olgusuyla yüzleştiği anlaşılmaktadır (Dünya Sağlık Örgütü, 2011). Fakat bu oranın, nüfus artışı, tıbbi ilerlemeler ve yaşam süresinin uzamasıyla artmaya devam ettiğini belirtmek yerinde olacaktır<sup>2</sup>. Örneğin ortalama yaşam süresinin 70 yıldan daha uzun olduğu ülkelerde, bireyler ortalama 8 yıl veya başka bir ifadeyle yaşam sürelerinin %11,5'ini engelli olarak geçirmektedirler. Engellilerin %80'inin gelişmekte olan ülkelerde yaşadığı vurgulanırken; dünyanın en yoksul bireylerinin %20'sinin bir tür engele sahip olduğu ve ait oldukları toplumların en dezavantajlı kesimini oluşturdukları belirtilmektedir. Ayrıca engellilik mevzuatına ilişkin karşılaştırmalı araştırmalar, yalnızca 45 ülkede ayrımcılıkla mücadele ve engelliliğe özgü diğer yasaların bulunduğunu göstermektedir (UN, 2022).

Uluslararası literatürde eksikliği sıklıkla vurgulanan konuların başında gelen engelli bireylere dair istatistiki verilere ulaşma güçlüğü konusu, Türkiye'de de aşılması gereken bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Dolayısıyla engelli bireylere dair anlamlı ve gerçek bir sayı vermek oldukça güçleşmektedir. Üstelik son dönemde dünyada olduğu gibi Türkiye'de de engellilik tanım ve sınıflandırma sistemi değiştiğinden, engelli bireylerin

2 Dünya Sağlık Örgütü 1970'li yıllarda dünya nüfusunun yaklaşık %10'unun engelli olduğunu tahmin etmekteydi.

profiline ilişkin veri toplama ölçütleri bu sürece uygun olarak değişmiş, durum daha da karmaşık bir hal almıştır. Bundan dolayı Türkiye'deki engelli bireylere ait 2,5 milyon ile 8 milyon civarında değişen rakamlar verilmektedir. Örneğin söz konusu kitleye yönelik kapsamlı son çalışma 2002 yılında gerçekleştirilen Türkiye Özürlüler Araştırmasıdır. Bu araştırmada ülke nüfusunun %12,29'unun engelli bireylerden oluştuğu tespit edilmiştir (Devlet İstatistik Enstitüsü Başkanlığı, 2002.). Çalışmanın gerçekleştirildiği 2002 yılında ülke nüfusunun 65 milyon civarında olduğunu dikkate aldığımızda, engelli birey sayısının 8 milyon civarında olduğu anlaşılmaktadır. Biraz daha yakın tarihli çalışma ise Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi aracılığıyla ulaşılamayan verileri içeren ve engelli bireylerin illere göre dağılımını gösteren 2011 tarihli Nüfus ve Konut araştırmasıdır. Söz konusu araştırma sonuçlarına göre, en az bir engele sahip üç ve daha yukarı yaştaki bireylerin sayısı 4 milyon 876 bin, genel nüfusa oranı ise %6,9 olarak bulunmuştur. Bu araştırmanın sonucu göstermektedir ki yaş grubu yükseldikçe en az bir engele sahip nüfus ta artmaktadır. Bir diğer alternatif istatistik ise engelli birey sayısının idari kayıtlar dikkate alınarak hazırlandığı ve Ulusal Engelli Veri Sisteminin esas alındığı metodolojidir. Buna göre ülkemizdeki engelli birey sayısı 2 milyon 511 bin 950'dir (Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı, 2022).

Gerek Dünya genelindeki sayıları gerekse de Türkiye için verilen istatistikleri dikkate aldığımızda, engelli bireylerin azımsanamayacak derecede geniş bir kitleyi temsil ettikleri ve toplumun önemli bir kesimini oluşturdıkları anlaşılmaktadır. İstatistikleri aile üyeleri, sağlık sistemi ve sosyal çevre ilişkisi bağlamında değerlendirdiğimizde toplumun neredeyse tamamını doğrudan ilgilendiren bir fenomen karşımıza çıkmaktadır.

### 3. NFPA STANDARTLARI

Engelli bireylerin acil durumlarda tahliyesine yönelik NFPA kılavuzu, Amerika Birleşik Devletleri (ABD) konut yasası tasarım kılavuzunda tanımlanan hareket, görme, işitme, konuşma ve bilişsel bozukluğa sahip engelli bireyler olmak üzere beş engelli kategorisi esas alınarak geliştirilmiştir. Ayrıca kılavuzun temel yaklaşımı, herkes için geçerli olan fakat engelli bireylerin kullanımına yönelik değişiklik veya genişletme gerektirebilecek ve ayrıca bireylerin ihtiyacı olan bildirim (acil durum nedir?), tahliye yolunun bulunması (çıkış nerede?), tahliye yolunun kullanımı (tek başıma çıkabilir miyim yoksa yardıma ihtiyacım var mı?), yardım (ne tür bir yardıma ihtiyacım olabilir?) olmak üzere dört tahliye bilgisini içermektedir. Dolayısıyla erişilebilirlik standartlarının ve tasarım kriterlerinin, yukarıdaki beş genel kategoride tanımlanan engelli bireylerin ihtiyaçlarına göre ve dört tür tahliye bilgisini içerecek şekilde tasarlandığını söylemek mümkündür (NFPA, 2016). Çalışmanın bu bölümünde her bir engel grubu için geliştirilen önlemlere ayrı ayrı yer verilecektir.

Sınırlı düzeyde hareket edebilen engellilere yönelik tahliye planı yapılmasında; bu grupta kitlenin standart alarmları ve sesli duyuruları duyabilir olmaları, tehlike ve tahliye uyarılarına ait görsel bildirim cihazlarını (flaş ışıkları) görebiliyor olmalarından dolayı, bu işlevin yerine getirilmesi için ek planlama veya özel düzenlemeye gerek duyulmamıştır. Bununla birlikte tekerlekli sandalye veya diğer yardımcı cihazları kullananların kendi başına kullanılabilir bir dolaşım yolunda hareket etmesi mümkün olmadığından; bu gruptakilerin halka açık ve güvenli bir noktaya yardımsız seyahat edebileceğini doğrulamak gerekmektedir. Bu kuralı gerçekleştiremeyenler için acil tahliye planlarında nasıl ve kimden yardım alacağına açıklığa kavuşturulması beklenmektedir. Tahliye

bilgisine yönelik olarak ise engelli birey yardım almadan binadan tahliye oluyorsa, bina kullanılabilir dolaşım yoluna açık kabul edilmektedir. Bu kural tekerlekli sandalye kullanan engelliler için de geçerlidir. Fakat tüm dolaşım yollarının uluslararası erişilebilirlik sembolü ile açıkça belirtilmesi beklenmektedir. Ayrıca, kullanılabilir sirkülasyon yollarının yerlerini ve güzergahlarını gösteren binanın basit kat planları hazır bulundurulmalı ve hareket engelli ziyaretçilere binaya girerken verilmelidir (NFPA, 2016).

Görme engelli veya sınırlı düzeyde görebilen engellilere yönelik tahliye planı yapılmasında; görme engelli bireyler, tahliye konusunda standart bina yangın alarmlarını ve sesli anonsları duyabileceğinden dolayı, bunun dışında ek bir planlama veya özel düzenlemeye gerek duyulmamaktadır. Ayrıca bu gruptakiler bedensel engellilerde olduğu gibi yardım almadan binadan tahliye oluyorsa, bina kullanılabilir dolaşım yoluna açık kabul edilmektedir. Fakat çıkış tahliyesine yönelik istisnai bir kural getirilmiştir. Buna göre çıkış rotalarının uygun şekilde yerleştirilmiş dokunsal işaretlerle işaretlenmesi ve dokunsal uluslararası erişilebilirlik sembolü ile tanımlanması gerekmektedir. Ayrıca, binanın kullanılabilir sirkülasyon yolunun yerini ve güzergahlarını gösteren basit kat planlarının görme engelli ziyaretçilere binaya girdiklerinde acil bir durumda çıkışları bulabilmeleri için verilmesi istenilmektedir. Nitekim kişisel tahliye planının, Braille alfabesi, büyük yazı veya dokunsal karakterler veya tahliyesi düşünölen bireyin tercih ettiği alternatif bir formatta hazırlanması beklenmektedir (NFPA, 2016).

Bir diğer grup olan işitme engelli bireyler ise tahliye alarmlarını ve sesli anonsları duyamayacaklarından, bu kitleye yönelik olarak tahliye konusunda bilgilendirici ve yol gösterici görsel cihazların bina içerisinde bulunması gerekmekte, varsa görsel bildirim sistemlerinin ne olduğunu bilmeleri son derece önem kazanmaktadır. Ayrıca

işitme engelli bireylere yönelik tahliye planlarına alternatif bildirim yöntemlerinin eklenmesi de gerekebilmektedir. Acil durumlarda gerekli bilgilendirme sağlanıyorsa, işitme engellilerin standart çıkış yollarını kullanabilecekleri belirtilmektedir (NFPA, 2016).

Konuşma bozukluğu olan bireyler hem standart alarm ve sesli anonsları duyabileceğinden hem de uyarıcı görselleri görebileceğinden bu konular için ek bir planlama veya özel düzenlemeye gerek duyulmamaktadır. Aynı zamanda doğru ve gerekli bilgilendirmeler bu kitlenin binadan rahatlıkla çıkabilmesine olanak tanıyacaktır. Fakat kat planları ve tahliye konusunun alternatif formatlarda mevcut olması ve bunların gerekirse binaya girişte ziyaretçilerle de paylaşılması gerekmektedir. Bunun için önerilen en uygun yöntem ise söz konusu planların nerede bulunduğu işaretlenmesi veya nereden alınabileceğinin tabelalar ile gösterilmesidir (NFPA, 2016).

Bilişsel bozukluklar, bina özelliklerinin kullanımı veya bu özelliklere erişimi engelleyebilecek nitelikte olgular olduğundan bina tahliyesi konusunda özel yaklaşımlara ve düzenlemelere gereksinim duyulmaktadır. Örneğin tahliye prosedürlerine dair resimli bir kılavuz hazırlanması, çıkış yollarının çeşitli renklerle kodlanması, mümkünse bire bir sorumlu arkadaş eşleştirmesinin yapılması gibi düzenlemeleri bu kapsamda değerlendirmek mümkündür. Bilişsel bozukluğa sahip bireyler, standart alarmları ve sesli duyuruları duyabilir ve ayrıca tahliye ihtiyacı konusundaki uyarıcı görselleri de görebilirler. Ancak bilişsel bozukluğu olan bir kişinin bir yangın alarmını veya diğer acil durum bildirim sistemlerini tanıma ve anlama yeteneği ve bunların ne anlama geldiği doğrulanmalıdır. Kişi alarmları tanımıyor ve anlamıyorsa, yardım planları geliştirilmelidir. Çıkış rotalarının belirlenmesi noktasında ise bilişsel bozukluğa sahip bireylerin bu rotaları kullanma yeteneğinin önceden doğrulanmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Şayet birey bunları



yardımdan tanıyamıyor ve kullanamıyorsa ilave yardımdan yararlanmasını geliştirilmesi gerekmektedir (NFPA, 2016).

#### 4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

2006 yılında kabul edilen Birleşmiş Milletler Engelli Hakları Sözleşmesi, engelli bireylere yönelik tutum ve yaklaşımlarda topluma örnek bir model önermektedir. Nitekim bu kitle sosyal korumanın nesnesi olmanın ötesine geçmekte yani toplumsal haklarını talep eden ve karar mekanizmalarına aktif katılım gösteren özne konumuna taşınmaktadır. Fakat hemen her alanda olduğu gibi bu çalışma kapsamında incelediğimiz engelli bireylerin acil durumlarda tahliyesi konusunda da belirgin bir eksikliğin bulunduğu görülmekte, dolayısıyla Birleşmiş Milletlerin söz konusu beklentisinin henüz niyet beyanı düzeyinde kaldığı anlaşılmaktadır. Örneğin konuyla bağlantılı olarak incelediğimiz ve ölkemizde ana mevzuat olarak kabul edebileceğimiz “Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik” dikkate alındığında, engelli kelimesinin sadece altı kez kullanıldığı görülmekte ve engelli bireylere yönelik belirgin yaklaşım eksikliği dikkati çekmektedir. Oysa engelli bireylerin tahliyesi; planlamalardan (çıkış rotaları, sesli ve görüntülü uyarılar vb.), binanın fiziksel durumuna (engeller, rampalar, acil durum asansörü vb.) ve engel gruplarına (fiziksel, görme, işitme vb.) kadar birçok ayrıntıyı gerektirmektedir.

Çalışmada dikkatimizi çeken bir diğer konu literatürde de sıklıkla eksikliği vurgulanan istatistiki verilerin eksikliği olgusudur. Nitekim dünya genelinde olduğu gibi ölkemizde de engellilik türüne göre ayrıştırılmış sağlıklı veri ve istatistik mevcut değildir. Bu durumun, engellilere yönelik planlamaların tasarımıını zorlaştırdığı düşünölmektedir. Çözüm olarak nüfus sayımı ve anket gibi birçok veri toplama tekniği bulunmaktadır. Fakat hali hazır-

da her vatandaşın bir kimlik numarasına sahip olduğunu ve hemen hemen tüm kişisel bilginin işlendiğini dikkate aldığımızda, Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi hızlı bir çözüm olarak görülebilir. Zira burada sağlık, çalışma, güvenlik gibi kişisel bilgilerin kolaylıkla elde edilebildiği entegre bir sistemin varlığından bahsetmekteyiz.

Engelli bireylerin afet ve acil durumlarda kırılabilirliklerini arttıran olguların başında bu süreçte ihtiyaçlarının, görüş ve önerilerinin bizzat kendileri tarafından politika üretme mekanizmasına aktarılmaması yani sürece aktif olarak dahil edilmemelerinin verdiği eksikliğin bulunduğu düşünülmektedir. Kolektif akıl eksikliği şeklinde nitelendirebileceğimiz bu durum, afet ve acil durum öncesinde dışlanmaya, acil durum sırasındaki müdahale hizmetlerine erişimde eşitsizliğe, afet sonrasında ise kaynakların etkin kullanımını sınırlamaya yol açtığı düşünülmektedir.

Esasında engelli bireylerin çözmeye çalıştığı üç açmaz bulunmaktadır. Birinci açmaz sağlık sorunlarından kaynaklanan engellerinin yarattığı bireysel zorluklara karşı kişisel başa çıkma stratejisi geliştirmek zorunda kalmaları; ikincisi toplum tarafından üretilen sosyal, kültürel ve politik bariyerler; üçüncüsü ise nispeten ikinci açmazın devamı olarak niteleyebileceğimiz yoksulluktur. Bilimsel çalışmalar engelli yoksulluk oranlarının, sağlıklı bireylere oranla daha yüksek olduğunu göstermektedir. Çalışmamızın önceki bölümlerinde de zikrettiğimiz gibi bu kesim yoksulluk olgusuyla bağlantılı olarak, çoğunlukla şehircilik hizmetlerinin zayıf olduğu bölgelerde yaşamlarını sürdürmek zorunda kaldıklarından, afet ve acil durumlara daha savunmasız hale gelmektedirler. Afet ve acil durum planlamalarındaki eksikliklerin, olası afetlerde söz konusu eşitsizlikleri daha da arttırabileceği ifade edilmelidir.

## KAYNAKÇA

- Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı. (2022). Engelli ve Yaşlı İstatistik Bülteni Mart 2022. Ankara: Engelli ve Yaşlı Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları.
- CRPD, (2008), Convention on the Rights of Persons with Disabilities and Optional Protocol. <https://www.un.org/disabilities/documents/convention/convoptprot-e.pdf> (Erişim Tarihi: 10.05.2022).
- DANIDA. (2000). Workshop Papers: Improving the Urban Environment and Reducing Poverty. <http://web.mit.edu/urbanupgrading/urbanenvironment/issues/vulnerable-groups.html> (Erişim Tarihi: 11.05.2022).
- Devlet İstatistik Enstitüsü Başkanlığı. (2002). Türkiye Engelliler Araştırması 2002. Ankara: Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü Başkanlığı Yayınları, Yayın No: 2913.
- Dünya Sağlık Örgütü. (2011). Dünya Engellilik Raporu. Malta: Dünya Sağlık Örgütü Yayınları.
- Global Facility for Disaster Reduction and Recovery [GFD-RR]. (2017). Disability Inclusion in Disaster Risk Management Promising Practices and Opportunities for Enhanced Engagement. Washington: Global Facility for Disaster Reduction and Recovery Publication.
- Hoffman, S. (2009). Preparing for Disaster: Protecting the Most Vulnerable in Emergencies (2009). UC Davis Law Review, Vol. 42, Case Legal Studies Research Paper No. 08-27.
- International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies [IFRC]. (2018). World Disasters Report 2018. Geneva: International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies Publication.
- King, J., Edwards, N., Watling, H. ve Hair, S. (2019). Barriers to Disability-Inclusive Disaster Management in the Solomon Islands: Perspectives of People with Disability.

International Journal of Disaster Risk Reduction, 34, 459-466.

United Nations [UN]. (2012). Incheon Strategy to “Make the Right Real” for Persons with Disabilities in Asia and the Pacific. Bangkok: United Nations Publication, ST/ESCAP/2648.

United Nations [UN]. (2017). Disaster Statistics for Analysis of Vulnerable Groups. file:///C:/Users/user/Downloads/11%20vulnerablegroups\_finaldraft.pdf (Erişim Tarihi: 11.05.2022).

United Nations [UN]. (2018). Population Dynamics, Vulnerable Groups and Resilience to Climate Change and Disasters. ESCAP/APPC/2018/4.

United Nations [UN]. (2022). Factsheet on Persons with Disabilities. <https://www.un.org/development/desa/disabilities/resources/factsheet-on-persons-with-disabilities.html> (Erişim Tarihi: 02.05.2022).

United States National Fire Protection Association [NFPA]. (2016). Emergency Evacuation Planning Guide for People with Disabilities. National Fire Protection Association Publication, June.

World Bank. (2022). Disability Inclusion in Disaster Risk Management–Assessment in the Caribbean Region. Washington: International Bank for Reconstruction and Development/World Bank Publication.

## **4. BÖLÜM**

### **THE INNOVATIVE APPROACH FOR USING PAVEMENT AS A FIRE PREVENTION MEASURE IN TUNNELS**

### **TÜNELLERDE YANGIN ÖNLEMİ OLARAK KAPLAMANIN KULLANILMASINA YÖNELİK YENİLİKÇİ YAKLAŞIM**

*M. Jaczewski<sup>1</sup>, M. Pszczola<sup>2</sup>, D. Rys<sup>3</sup>, P. Jaskula<sup>4</sup>*

---

<sup>1,2,3,4</sup>Department of Highway and Transportation Engineering, Gdańsk University of  
Technology, 11/12 Gabriela Narutowicza Street, Gdańsk, POLAND

1 mariusz.jaczewski@pg.edu.pl

2 marek.pszczola@pg.edu.pl

3 dawid.rys@pg.edu.pl

4 piotr.jaskula@pg.edu.pl

<sup>1,2,3,4</sup>[www.pg.edu.pl](http://www.pg.edu.pl)

## 1. INTRODUCTION

Tunnels are one of the most difficult object included in the road or rail infrastructure. It is not only difficult from the constructive point of view, but also taking into consideration safety of the user. As we consider safety of the road user, apart of the traffic accident safety, which we consider for the most of the road infrastructure, in tunnels great attention must be put to the fire safety. Polish requirements (Ordinance of ministry of transport and sea industry, 2000) states fire requirements for following tunnel elements according to the European standard [EN 13501-1]:

a) fire separation elements (main structure, walls, ceilings) – required fire resistance class A2, d0;

b) elements of the facing of the tunnel – required fire resistance class, A2-s1, d0;

c) other non-constructive elements of tunnel – required fire resistance class B or Bfl-s1 – in the case of floor/pavement material.

Following classes are similar across the Europe, and for most of the elements, similar materials are used. Another question is what kind of material should be used as a pavement. The question was of high importance after tragic fire in Mont Blanc tunnel in 1999 r., in which 39 people died. Conducted investigation and research stated that the type of used pavement materials did not have any influence n the size and the process of the fire (Rimac et al., 2014), (De Lathauwer, 2007). Nevertheless this raised many questions regarding used pavement type and till today there are no unified requirements in this matter.

Apart of the typical pavement solutions, many different types of pavement materials were presented as a solution to improve the fire safety in tunnels. The purpose

of this study is the fire safety analysis of the used typical materials for pavements in tunnels and presentation of the first trials of the innovative pavement material solution – SEPOR (Ejsmont et al., 2018a), which improves the performance properties (such as noise) and fire safety properties of the road structure. The paper presents two fire trials conducted for the typical bituminous materials and SEPOR pavement and analyses its potential for usage in tunnel structure.

### **1.1 Pavement structures used in tunnels**

Currently there are no unified requirements regarding material used for pavement in tunnels. While there are some countries which recommend one type of pavement – either cement concrete or asphalt courses, there are some which does not state any specific conditions, apart from the fire resistance class. Among the used bituminous materials, some countries recommend specific mixtures, and in others one can design any type of mixture. Among the most common mixture types following can be listed: asphalt concretes, stone mastic asphalts or permeable mixtures such as porous asphalt. SEPOR mixture presented in this paper can be treated as the permeable mixture.

Cement concrete pavement structures are required in tunnels of length longer than 500 or 1000 meters in following countries: Austria since 2001 (Bartolomé, 2015), (Rimac et al., 2014), (Bibm, 2004), in Slovakia since 2001 (Knaze, 2006), (Rimac et al., 2014), in Slovenia and Spain since 2006 (Bartolomé, 2015), (Rimac et al., 2014) and in Bosna and Hercegovina since 2013.

Asphalt pavements are treated equally with cement concrete pavements in following countries: Poland, Germany (Rimac et al., 2014), Croatia (Rimac et al., 2014), Norway (especially for low volume roads) (NPRA, 2004),

(Lundebrekke, 2020), Italy (Bocci et al., 2012), Holland, Denmark, Great Britain (Shell, 2015), Ireland (DMR, 2006), France, United States (FHA, 2015) and Australia (Brinckerhoff, 2004). However different countries recommends different types of mixtures for the tunnel pavement. In Czechia (Šperka et al., 2018) recently the law documents required only cement concrete pavements, but last research and construction projects such as Blanka tunnel in Prague showed the possibility of the usage of asphalt pavements. Very often the recommendations from specific countries contradicts each other – for example in treating permeable mixtures.

Innovative solution developed among other applications for usage in tunnels was SEPOR (Safe, Eco-friendly POroelastic Road Surface) mixture. It is low noise poroelastic mixture based on the highly polymer-modified asphalt binder (45/80-80 according to EN Standards with approximately 7.5% of SBS polymer). Poroelastic Road Surface is a special wearing course for road pavements with very high content of interconnecting voids (to facilitate the passage of air and water), while at the same time the mixture is elastic, due to the use of rubber (or similar products) used as the main aggregate. The desirable air void content is at least 20% by volume and the desirable rubber content is at least 20% by weight. For current research one specific mixture of designation SEPOR-PSMA5 W4 was used. It consists of 0/5 mineral aggregate, 0.5/4 rubber aggregate and 45/80-80 binder.

## **1.2 Fire issues in tunnels**

Most of the technical reports and research projects published by the PIARC organization and European Asphalt Pavement Association EAPA (2008) reports that both asphalt and cement based pavement structures can be used in tunnels with no negative impact on fire and traffic safety. According to De Lathauwer (2007)



research conducted in France indicate, that while toxic fumes are emitted by bituminous pavement during fire, it is negligible amount in comparison to the toxic fumes emitted by burning cars, and the influence of the smoke from pavement is negligible during evacuation of the car passengers. Additional information confirmed during the presented study indicated, that asphalt pavements does not contribute to propagation of the fire and are hard to fire. The temperature required for self-fire in case of asphalt pavements is very high. Depending on the test results the self-fire temperature of asphalt mixtures ranges from 430 to 530°C (Eupave, 2010), (Fiedler et al., 2018). Additionally it should be noted that there are numerous additives used in bituminous mixtures in fire risk areas to slow down the temperature, to increase the temperature of self-fire and to dampen the propagation of the fire spreading. Appropriate additives can slow down the ignition of the fire by few or even a dozen of minutes. But it should be noted that numerous research conducted in accordance to the EN 13501-1 standard proved high resistance to the action of fire (Fiedler et al., 2018) and are in accordance to national law regulation stated for construction materials in tunnel.

## **2. THE INFLUENCE OF PAVEMENT TYPE ON FIRE SAFETY IN TUNNEL**

In the case of fire in tunnel the first minutes after the appearance of fire are of a key importance. It is a time, in which people near the source of fire should: leave the car and evacuate or help the people trapped in the car, to safely leave it and leave the area of fire. Due to this critical first minutes the most important issues are: the speed (time) of fire spreading and propagation and the appearance of smoke (and the time in which the smoke appears). If fire is ignited by the vehicle the spread of the flames to the next vehicles is caused usually by reaching

very high temperature in the vicinity of the vehicle and its self-ignition (usually firstly the fire ignites in the elements made by plastic or in tires) or by the direct action of fire. Reaching very high temperature needed for self-ignition requires time, usually few minutes from the appearance of flame source. Polish regulations [1] indicates, it is around 3 minutes to reach the temperature of around 900°C. This time can be shortened if easy to fire liquids, such as oils and gasoline are spread on the surface of the pavement. The second cause for fire spreading is direct action of flames. In this case, the time needed for ignition of the near vehicles is much shorter and equal to around dozen of seconds. But direct action of flames are only in the nearest area of the vehicle. In the case of spreading the easy to fire liquids direct flame area is similar to the area of spreading the liquids.

The road pavement of tunnel, constructed from both cement and asphalt concretes, does not set on fire due to the high temperature or direct action of flames. Usually in the case of asphalt mixture during fire firstly the bituminous film on the surface burns. But it should be noted that in typical asphalt concrete, asphalt is only around 5-6 % of mass of the whole mixture. The rest is rock aggregate, which is non flammable material. And the bituminous film on the surface of the layer usually is wiped in the first years of the exploitation of the pavement. Cement concrete is nonflammable material. During burning of the bituminous film some toxic fumes can appear (usually the carbon oxide compounds). But this appears just after reaching the temperature of 500°C, so in advanced phase of fire. Also the most of the toxic fumes are originated from burning objects, such as vehicles. And as stated before, from the point of view of safety and people evacuation, the most important is the first phase of the fire.

Most of the research show, that in the first phase of fire, both types of pavements presents similar fire safety properties. But it should be noted, that in both cases, there are specific properties, which can further increase the fire safety of the tunnel.

One of the most important property which influences the time of fire initiation is void content (see fig 1). With the increase of the mixture porosity, the ability to drain the flammable liquids such as oils or gasoline increases. If proper drainage of the pavement is present, this simple property can strongly slow down the initiation of fire. Due to the drainage of gasoline from the surface of the pavement, the appearance of the direct flames is mostly limited only to the vehicles. The spreading of fire on near cars is slowed, so the evacuation time and chances are increased. Also the amount of smoke and toxic fumes is lowered, due to lack of burning of gasoline. Research conducted in China (Qiu et al., 2019) showed the process of heat releasing from the spilled gasoline on the surface of two different asphalt mixtures – dense graded (fig 1a) and open graded (fig 1b). With the increase of the mixture porosity the amount of released heat decreases strongly and the time to the fire ignition increases.

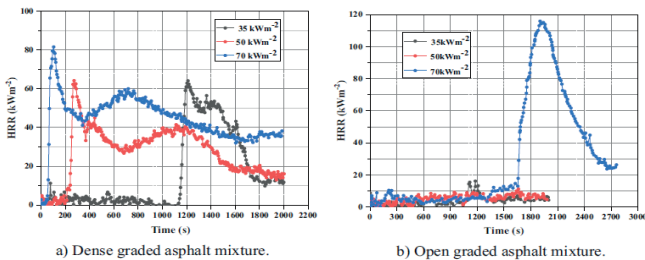


Fig. 9. HRR curves under different radiant heat fluxes [68].

**Figure 1.** Heat release rate for different asphalt mixtures (Qiu et al., 2019)

With the increase of the mixture porosity also faster drainage of the gasoline, shorter combustion time and lower surrounding temperature were observed (fig 2). The maximum temperature observed for asphalt mixtures for porosity of 16 to 20% did not exceed 300°C. It is lower temperature than need for self-ignition of the bitumen. It was observed that in this range of porosity the voids in the mixture create the “fuel tank” for spilled gasoline in the lower part of the mixture. In the middle part the barrier from micropores appears, which close the access of the air to the gasoline and its fumes. It can lead to the self-exhaustion of the fire. But on the other hand, it was also showed that when the porosity is to high, the fuel drainage is slower, and the gasoline fumes are not blocked by the micropore barrier, what can lead to the extension of the combustion time. But it should be noted, that even in this case the lower surrounding temperature was observed.

And while this phenomenon seem very promising, there are several shortcomings, especially after the fire, when the gasoline need to be drained from such pavement course. It is one of the reason, why in some countries, such as Australia (Fiedler et al., 2018) does not recommend to use porous asphalt in tunnels, even when this mixture is used outside of the tunnel. Research (Sezen & Fisco, 2013) conducted for other bituminous mixtures showed that the surrounding temperature was notes in the similar level as the temperature of self-ignition of the bitumen.

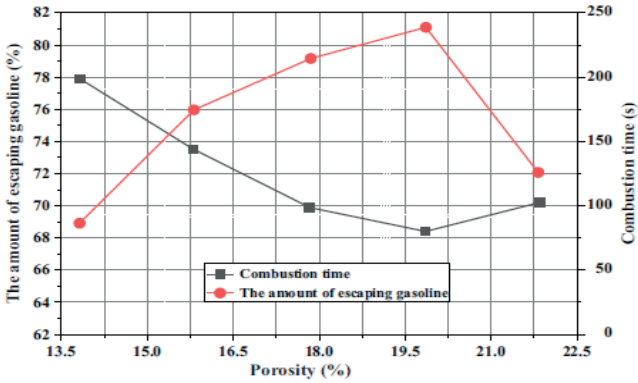
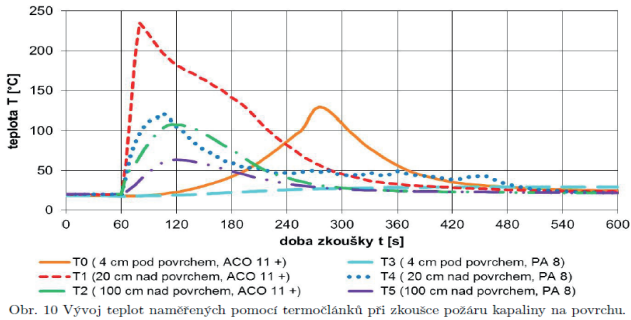


Fig. 16. The amount of escaping gasoline and the varying time of combustion [113].

**Figure 2.** *The influence of porosity on the drainage of gasoline and combustion time (Qiu et al., 2019)*

The research on the flammability of different types of pavements were conducted also in Poland (Ejsmont et al., 2018a), (Jaskula et al., 2020) (presented in more details in this paper) and in Czechia (Šperka et al., 2018), (Fiedler et al., 2018). In both cases compared where different types of asphalt and cement mixtures. In both research it was observed that more porous mixtures are less prone to fire (Šperka et al., 2018), (Jaskula et al., 2020), (Fiedler et al., 2018). Also the observed surrounding temperatures measured on different heights were lower in the case of porous mixtures in comparison to typical asphalt or cement pavements. The research conducted in Czechia are presented in figure 3 and 4.



**Figure 3.** The surrounding temperatures for the 4, 20 and 100 cm above the surface for dense graded asphalt concretes (ACO) and porous mixtures (PA8). (Šperka et al., 2018)

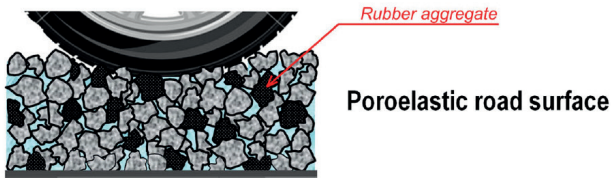


**Figure 4.** The comparison of the gasoline combustion of the surface of different asphalt mixtures: porous mixture (PA 8), stone mastic asphalt (SMA11, with ~7% of bitumen) and typical asphalt concrete (ACO 11) (Fiedler et al., 2018)

In the case of smooth surfaces (with dense structure) such as asphalt concrete, stone mastic asphalt or cement concretes, the surrounding temperature significantly increases just after 60 seconds after appearance of fire. In the case of porous asphalt the fire is dampened due to the drainage and storage of the gasoline. This phenomenon was confirmed by many independent research.

### 3. POROELASTIC PAVEMENT- FIELD EVALUATION OF FIRE RESISTANCE AND FIRE SLOWDOWN POSSIBILITIES

One of the most promising technology that could be used in tunnels and is still under research stage is poroelastic pavement (Sandberg & Ejsmont, 2002). The idea of that pavement as a Poroelastic Road Surface (PERS) consists with wearing course with a very high content of interconnecting voids to facilitate the passage of air and water through it. The surface is elastic due to the use of rubber or other elastic products as a main aggregate. The design air void content is at least 20% by volume and the design rubber content is at least 20% by weight (Ejsmont et al., 2019a). Poroelastic Road Surfaces have a very interesting and important feature namely they prevent the spread of fire associated with burning spilled fuel. There is because of open structure and elastic properties of that mixture. The idea of PERS pavement as prevention layer in case of burning spilled fuel is presented in Fig. 5.



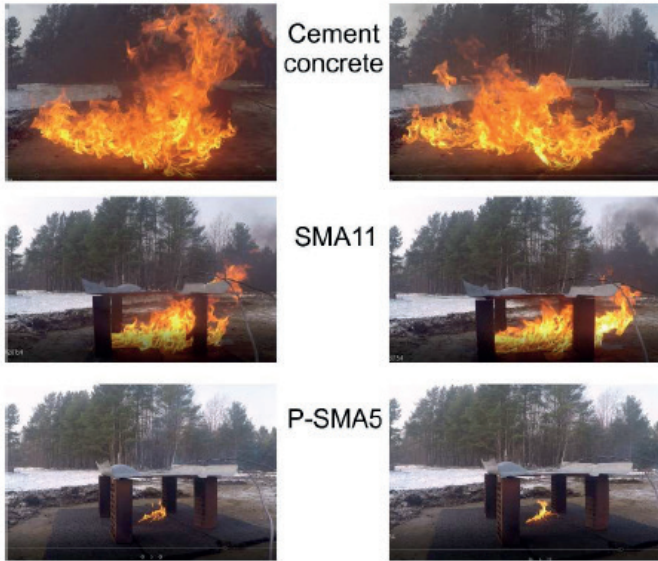
**Figure 5.** *The idea of PERS pavement also as prevention layer in case of burning spilled fuel*

According to Ejsmont et al. (2019a) comparison of fire development on three different pavements is shown. On each pavement 0.25 liter of gasoline was spilled and after 30 seconds ignited by gunpowder charge. In the Fig. 6 the fire development after 5 and 30 seconds from ignition is presented. On figure 7 the development of temperature for each of the section is presented. It is clearly visible

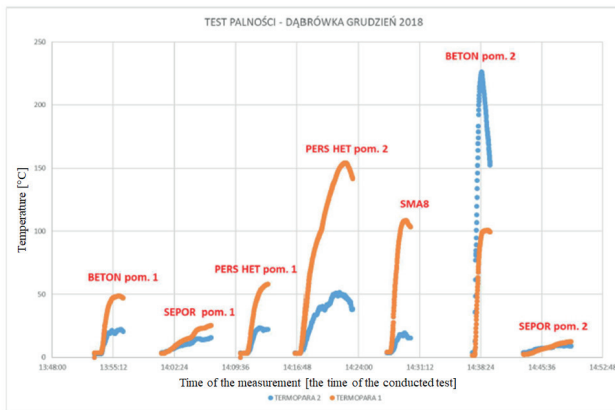
that the trend of the temperature development is lower for all of the tested SEPOR pavements in comparison to classical asphalt and cement mixtures. Additionally the temperature measured on the floor of the vehicle is much lower than measured for the classical pavements.

Poroelastic pavement P-SMA5 clearly damps flames as gasoline penetrates the material thus making it difficult to contact with oxygen. According to program SEPOR (Świeczko-Żurek et al., 2015), (Jaskula et al., 2020) two test sections were built in 2019 to test the production technology and performance of the new poroelastic pavement. It is observed that some of the problems with previous poroelastic materials were mainly eliminated (especially delamination from the base layer and raveling) but noise reduction is a little less than expected (up to 9 dB). Rolling resistance for car tires is acceptable and fire properties (damping of spill fuel fires, toxic gas emission) are very good. The results from those trial sections are showed in Figures 8–10, The main observation was the development of fire in time on different sections. One second after ignition flame under the car standing on drainage asphalt was very small, flames under cars standing on poroelastic pavements were somewhat higher but also not dangerous, while in the case of comparable pavement (SMA8) it would already be dangerous to leave the car. Ten seconds after ignition car standing on SMA8 was already burning with flames as high as 2–3 m making the evacuation of passengers nearly impossible. Unlike SMA8 it would still be possible to leave cars standing on poroelastic pavements, and the flame under the car standing on drainage asphalt was very small and not dangerous. A similar situation was recorded 30 s after the ignition.

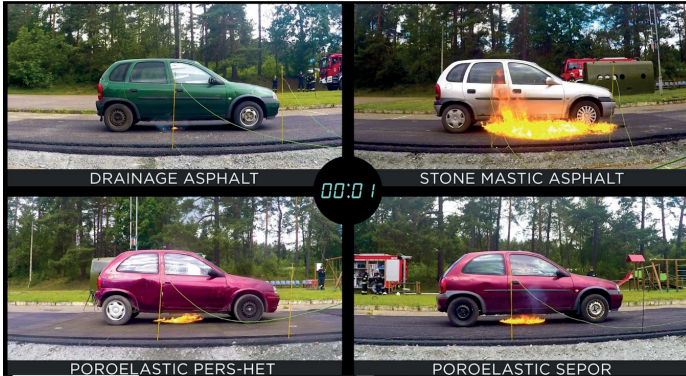




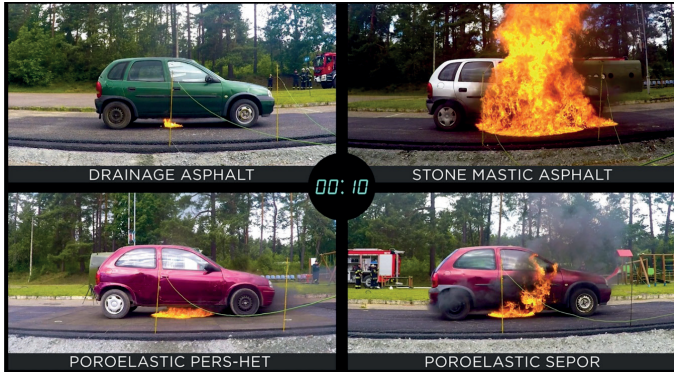
**Figure 6.** *Flames over three tested road pavements 5 and 10 seconds after ignition (Ejsmont et al., 2019a)*



**Figure 7.** *The measurement of the vehicle floor temperature (Ejsmont et al., 2019a)*



**Figure 8.** Development of fire 1 s after ignition (Jaskula et al., 2020)

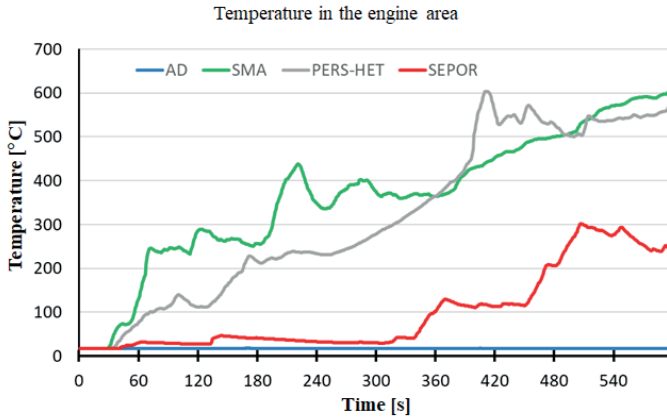


**Figure 9.** Development of fire 10 s after ignition (Jaskula et al., 2020)



**Figure 10.** *Development of fire 30 s after ignition (Jaskula et al., 2020)*

Summarizing the results conducted in the SEPOR program (Ejsmont et al., 2018b, 2019b, 2021), a spill of 20 L gasoline on drainage asphalt burning was not able to ignite the car so after 10 min the experiment was stopped. It is very promising result according to safety in tunnels when time to leave the car is crucial. On poroelastic pavements, it would be possible to leave the car during the first 2 min of fire. After 2, min the interiors of cars started to burn due to heat coming through the floors. In the case of typical dense pavement like SMA8, after only 3 s, the fire cut off the possibility of evacuation through the door, and after 30 s, the interior of the vehicle was on fire. The experiment conducted in program SEPOR shows that drainage pavements have very favorable fire properties and may be used in places where fire risk is very high like tunnels, but also fuel stations, etc. Poroelastic pavements like SEPOR exhibit also very good fire properties despite the high contents of rubber. Regardless of whether modified asphalt or polyurethane is used as the binder, their fire properties are similar. In the Fig. 11 the relationship between time and temperature measured closed to vehicle engine for different types of pavements is presented.



**Figure 11.** *The relationship between time and temperature for different types of pavements tested in the program SEPOR (Ejsmont et al., 2018b, 2019b, 2021), (Stryjek & Motycz, 2019)*

I was proved that SEPOR poroelastic pavement obtained the lowest temperatures measured closed to engine and for the longest time period which enables the rescue of passengers from cars stuck in road tunnels during road accident.

#### 4. CONCLUSIONS

The paper presented study regarding pavement types used as typical in tunnels and the innovative pavement SEPOR which is still under research, and for which the initial fire loads were performed. For all the presented information following conclusions can be stated:

- *Both asphalt and cement pavements presents similar fire protection performances in the first phase of the fire. In the second phase the concrete pavements presents better performance.*
- *For the specific range of voids in the bituminous pavement (16-20%) isolated “gasoline storage” is created in the bottom of the porous layer. Porous*

*pavements also shows better drainage of the spilled flammable liquids. This was confirmed by various independent studies conducted in many countries.*

- *Innovative pavement SEPOR presents much better performance in regards to fire protection in comparison to typical asphalt pavements. It joins the advantages of porous pavement with appropriately designed materials.*
- *Poroelastic SEPOR pavement showed dampening of the flames in the first phase of fire and decrease the temperature which appears in the vehicle floor.*
- *Field test on the real vehicles showed that the usage of the poroelastic SEPOR pavement can prolong the ignition of the fuel and start of the fire by even 5 minutes in comparison to classical asphalt and cement concretes. To prove this better performance similar test should be conducted in the closed environment which simulates the tunnel environment.*

**Acknowledgements:** The results presented in this paper were partially financially supported by the Polish National Centre for Research and Development (NCBiR) within the TECHMATSTRATEG project SEPOR (ID 347040). The results presented in this paper were prepared under framework of European Union Erasmus + Program “Strategic Partnerships for Vocational Education” Project # 2020-1-TR01-KA202-092962 and title “Effective and Innovative Approaches to The Prevention and Intervention of Industrial Fires”

**Disclaimer:** The European Commission’s support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

## REFERENCES

- Bartolomé, C, (2015) The role of concrete pavement in tunnel safety, in: Smart Transp. Alliance Author, pp. 7.
- Bibm, Cembureau, (2004) ERMCO, Improving fire safety in tunnels: The concrete pavement solution
- Bocci, M, Grilli, A, Cardone, F, Virgili, A, (2012) Clear Asphalt Mixture for Wearing Course in Tunnels: Experimental Application in the Province of Bolzano, SIIV - 5th International Congress - Sustainability of Road Infrastructures, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 53, pp. 115–124
- Brinckerhoff, P, (2004) Tugun Bypass Environmental Impact Statement, Technical Paper Number 2 Engineering Design, Tugun Bypass Alliance,
- De Lathaywer, W. (2007) Effects of pavement on fires in road tunnels, *Routes/Roads Mag.*, pp. 8.
- Department of Main Roads Road Planning and Design, (2006), Chapter 23 Tunnels,
- Ejsmont J et al., (2018a) Wyniki wstępnych badań palności nawierzchni SEPOR, Raport techniczny, Strategiczny program badań naukowych i prac rozwojowych „Nowoczesne technologie materiałowe” – TECHMATSTRATEG, Umowa nr TECHMATSTRATEG1/347040/17/NCBR/2018, 2018-12-30
- Ejsmont, J, Stryjek, P, Ronowski, G, Świczko-Żurek, B, Owczarzak, W, Sommer, S, (2018b) Preliminary test results of flammability tests of SEPOR pavement (in Polish) Wyniki wstępnych badań palności nawierzchni SEPOR, Report No. R2-SEPOR PG WM-02, Gdańsk University of Technology.
- Ejsmont, J, Świczko-Żurek, B, Jakula, P, (2019a) Low Noise Poroeastic Road Pavements Based on Bituminous Binder, NOISE-CON Conference, San Diego, California, August 26-28.

- Ejsmont, J, Ronowski, G, Sommer, S, Owczarzak, W, Świeczko-Żurek, B, Stryjek, P, Motrycz, G, (2019b) Investigation of the influence of the pavement on the spread of fire of fuel spilled under the car (in Polish) Badanie wpływu nawierzchni na rozprzestrzenianie się pożaru paliwa rozlanego pod samochodem, Report No. R11-SEPOR PG WM-04, Gdańsk University of Technology,
- Ejsmont, J, Jaskula, P, Gardziejczyk, W, et al., (2021) Safe, pro-ecological and poroelastic road pavement SEPOR, final report (in Polish) SEPOR Bezpieczna, proekologiczna poroelastyczna nawierzchnia drogowa, Techmatstrateg, Gdańsk University of Technology, National Centre of Research and Development,
- EN 13501-1 Fire Test to Building Material - Classification
- EUPAVE (2010), Contribution of concrete pavements to the safety of tunnels, 2010.
- European Asphalt Pavement Association, (2008), Asphalt pavements in tunnels
- Federal Highway Administration, (2015) US Department of Transportation, Tunnel Operations, Maintenance, Inspection, and Evaluation (TOMIE) Manual, FHWA-HIF-15-05, July 2015
- Fiedler, J, Bureš, P, Svoboda, P, (2018) Pavement design in tunnels, International workshop on pavement design, Lednice, November 2018
- Jaskula, P, Ejsmont, J, Stienss, M, Ronowski, G, Szydłowski, C, Świeczko-Żurek, B, Ryś, D, (2020) Initial Field Validation of Poroelastic Pavement Made with Crumb Rubber, Mineral Aggregate and Highly Polymer-Modified Bitumen, *Materials*, 13(6), 1339, <https://doi.org/10.3390/ma13061339>
- Knaze, DIP, (2006) Concrete pavements in highway tunnels, *Bet. Zement.*, pp. 36–38.
- Lundebrekke, E, (2020) Tunnels as Elements of the Road System

- Norwegian Public Roads Administration, (2004), Road Tunnels, 2004.
- Ordinance of ministry of transport and sea industry from 30 may 2000, regarding technical requirements for road engineering objects and its location (in Polish), Dz.U.2000.63.735
- Qiu, J, Yang, T, Wanga, X, Wangb, L, Zhang, G, (2019) Review of the flame retardancy on highway tunnel asphalt pavement, *Construction and Building Materials*, 195, pp. 468–482
- Rimac, I, Šimun, M, Dimter, S, (2014) Comparison of Pavement Structures in Tunnels, *Elektron. Časopis Građevinskog Fak. Osijek.*, pp.12–18. doi:10.13167/2014.8.2.
- Sandberg, U, Ejsmont, J, (2002) Tyre/Road Noise Reference Book; Informex: Kisa, Sweden,
- Sezen, H, Fisco, N, (2013) Evaluation and Comparison of Surface Macrotecture and Friction Measurement Methods, *J. Civ. Eng. Manag.* 19, pp. 387–399. doi:10.3846/13923730.2012.746237.
- Shell, (2015), Case Study And Customer Testimonial Name Of Project, pp. 1–3.
- Šperka, P, Sachr, J, Bebcák, P, (2018) Use of the Asphalt Mixture to Pavement in Road Tunnels, Juniorstav, 20th International Conference of Doctoral Students, Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering, 318-326
- Stryjek, P, Motrycz, G, (2019) Temperature distribution in vehicles during experimental tests on road pavements (in Polish) Rozkład temperatury w pojazdach podczas badań eksperymentalnych na nawierzchniach drogowych, Report No R13-SEPOR PG WM-05, Gdańsk University of Technology, 2019.
- Świeczko-Żurek, B, Ejsmont, J, Motrycz, G, Stryjek, P, (2015) Risks related to car fire on innovative Poroelastic Road Surfaces—PERS. *Fire Mater.*, 39, pp. 95–108.F



## **5. BÖLÜM**

### **DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜNDE SIVI METAL YANGINLARI VE MÜDAHALE YÖNTEMLERİ**

#### **MOLTEN METAL FIRES AND RESPONSE METHODS IN THE IRON AND STEEL INDUSTRY**

*Erdem PINARÖNÜ<sup>1</sup>, M. Burcu ÖZTÜRK<sup>2</sup>,*

*Esra BEYAZBENLİ<sup>3</sup>*

- 
- 1 Kardemir A.Ş. İş Sağlığı ve Güvenliği Müdürü, Karabük, TÜRKİYE, epinaronu@kardemir.com
  - 2 Kardemir A.Ş. , Eğitim Müdürü, Karabük, TÜRKİYE, mbozturk@kardemir.com
  - 3 Kardemir A.Ş. , İş Güvenliği Uzmanı, Karabük, TÜRKİYE, ebeyazbenli@kardemir.com

## 1. GİRİŞ

Ticari faaliyetlerin gerçekleştirildiği üretim yapılan işletmeler endüstri olarak adlandırılmaktadır. Ticari amaçlı ürünlerin üretilmesi, yetiştirilmesi, hazırlanması veya işlenmesi endüstrinin içerikleri arasında yer almaktadır. 18. Yüzyılın ikinci yarısında başlayan, demir ve kömürün asıl enerji kaynağını oluşturduğu sanayileşme, diğer bir deyişle endüstriyelleşme günümüzde ülke ekonomilerine etki eden en önemli faktörler arasında yer almaktadır. Bu nedenle endüstriyel tesislerin sürdürülebilir olması ülke ekonomileri için büyük önem arz etmektedir. Bir işletme için risk, işletmenin ve personellerinin varlığını tehdit eden, karşılaşılabilecek her türlü tehlikeyi ifade eder. Endüstriyel işletmeler de işletme ve personelleri açısından birtakım riskler ile karşı karşıya kalırlar. Bu riskler arasında finansal, politik, doğal afet, operasyonel veya iş gücü kayıplarına neden olabilecek riskler yer almaktadır. İstatistiki veriler incelendiğinde, hasarlara ya da işgücü kayıplarına neden olabilecek risklerin, endüstriyel işletmelerin en büyük sıklıkla karşılaştığı ve toplam kayıplara bakıldığında en büyük kayba neden olan risk unsurları olduğu görülmektedir.

Günümüzde, endüstriyel tesislerde yapılan üretim süreçleri incelendiğinde, işletmeleri madde ve manevi olarak kayıplara uğratan en önemli tehlikelerin başında yangınlar gelmektedir. Ülkemizdeki sanayi tesislerinde meydana gelen yangın olayları incelendiğinde, yangın tehlikesinin bugüne kadar tam olarak çözümlenemediği durumlar olduğu da fark edilmektedir. Türkiye sanayisinin en önemli tehlikelerinden biri olan yangınlar; ölüm ve yaralanmalara, işletmelerde geri dönüşü olmayan hasar olaylarına, büyük çevresel zararlara ve ekonomik olarak olağanüstü maddi kayıplara sebebiyet vermektedir.

Endüstriyel tesislerde meydana gelen yangın olaylarının, geri dönüşü oldukça zor hasarlar bırakması duru-

munda, işletmelerin sigorta poliçeleri olsa da işletmenin tekrar faaliyete geri dönebilme oranı %40 gibi oldukça düşük bir değere tekabül eder. Yangınların meydana getirdiği fiziki zararlar göz önünde fark edilebilirken, işletmeler için ortaya çıkan dolaylı kayıpların etkilerinin çok daha fazla olduğu detaylı raporlamaların sonucunda ortaya çıkmaktadır. Yangınlar sadece meydana geldiği işletmede değil, ülke ekonomisine de ciddi zararlar vermektedir. Bu zararlar da dikkate alındığında, yangın tehlikesinin her yönü ile özenle değerlendirilmesi gereken bir konu olduğu ortaya çıkmaktadır.

## 2. YANGIN OLUŐUMU VE YANMA ÇEŞİTLERİ

Yangın, iş güvenliği anlamında işletmelerde ve günlük yaşamımızda çok sık rastlanan tehlikelerden biridir. Yangın konusuna genel anlamda çok yabancı olmamakla birlikte, yangının yayılım süresinin çok kısa olması, kısa sürede ortaya çıkardığı sonuçları itibariyle çok önemsenmesi gereken bir konu olduğu unutulmamalıdır.

Yanma kimyasal bir oksidasyon reaksiyonudur. Dışarıya ısı veren ekzotermik bir olay şeklinde de tanımlayabiliriz. Yangın reaksiyonunun oluşması için öncelikle, yanıcı madde ve havaya diğer bir deyişle havanın oksijenine ihtiyaç vardır. Yanıcı madde ve havanın oksijeninden oluşan karışım, genellikle bir başlangıç enerjisiyle yanmayı başlatır. Bazı yanıcı maddelerin kimyasal özellikleri nedeniyle, başlangıç enerjisine ihtiyaç duyulmadan yanabilmesi de söz konusudur. Yanıcı madde ile hava arasındaki karışım oranları da yanmanın oluşmasında temel faktördür. Yangın olaylarının başlangıcı tutuşma olayı ile ortaya çıkar. Yanıcı maddenin tutuşabilmesi için ısı, oksijen ve yakıt bir arada hazır bulunmalıdır. Yanıcı madde, ısı ve oksijenden biri ortadan kalktığında reaksiyon sona erecektir ve yangın kontrol altına alınmış olacaktır. Yan-

gın oluşabilmesi için bu üçünün aynı anda birlikte olması zorunludur ve buna Yangın Üçgeni (Şekil 1) denir.



Şekil 1: Yangın üçgeni

## 2.1. Yanma Çeşitleri;

Yavaş yanma; havanın oksijeni ile reaksiyon oluşturabilecek metallerin, yüzeyinde meydana gelen, yanan maddede alev, ışık, ısı ve korlaşmanın görülmediği yanma çeşididir. Yavaş yanma olayında, yanıcı madde bünyesinde yanıcı buhar ya da gaz meydana getiremez ve ortamda yeterli ısı da yoksa yavaş yanma meydana gelir. Demir, bakır gibi metallerin paslanması, canlıların solunum yapması yavaş yanma olayının örneklerindedir.

Kendi kendine yanma; yavaş yanmanın, zamanla hızlı yanmaya dönüşmesidir. Kendi kendine yanma olayında alev gözlemlenmektedir. Endüstride kullanılan yağlar ve yağ bulaşmış yüzeyler normal olan hava sıcaklığında havanın oksijeniyle birleşir. Havanın oksijeniyle yağın birleşmesi sonucunda ısı artmaya başlar. Artan ısı alevlenmeye kadar ulaşır ve kendiliğinden yanmaya başlar. Bezir yağına bulaşan bez parçasının bir süre sonra ısının artması ile kendi kendine yanmaya başlaması kendi kendine yanma olayının örneklerindedir.

Hızlı yanma; yanmanın tüm belirtileri olan alev, ısı, ışık ve korlaşmanın bir arada görüldüğü yanma olayıdır. Alevli yanma ve korlaşma olarak iki kısma ayrılır. Alevli yanma, yanıcı maddenin yüzeyinde oluşan yanıcı buhar ve gazlar oksijenle tepkimeye girerken alev meydana getirirler. Korlaşmada ise, katı maddelerin yanmasında, yangının son evresinde meydana gelen yüksek ısıya sahip alevsiz yanma şeklidir. Odun kömürü, kok kömürü vb. katı madde yangınları alevli yanma ve korlaşmanın örneklerindedir.

Parlama, patlama şeklinde yanma; düşük sıcaklıkta yanıcı buhar oluşturan maddelerin yanma şeklidir. İşletmeler açısından, en tehlikeli olan yangın çeşididir. Düşük sıcaklıkta yanıcı buhar oluşturan parlayıcı maddeler, çok hızlı ve kontrol edilemeyen enerji açığa çıkartırlar. Kontrol edilemeyen enerji patlama olayını oluşturur. Kapalı kaplarda bulunan benzin, tiner vb. kimyasalların, güneş ışığı altında parlama, patlama eğilimi göstermesi bu tip yangınların örneklerindedir.

### **3. DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜNDE MEYDANA GELEBİLECEK YANGIN ÇEŞİTLERİ**

Demir Çelik Sektöründe, birçok çeşit yangın durumu ile karşılaşabiliriz. Kok kömürünün havanın oksijeniyle birleştiği anda meydana çıkan yanma olayı, kontrolün kaybedilmesi durumunda yangına dönüşebilir. Kok Fabrikaları yan ürünler bölgesinde, yanıcı ve parlayıcı kimyasalların bulunması, çıkabilecek küçük bir kıvılcımla yangına dönüşebilir. Elektrik yangını tehlikesi tüm işletmede karşılaşılabilecek bir yangın çeşididir. Katı madde yangını, elektrik yangını ve kimyasal yangını birçok tesiste ve sektörde karşılaşılabilecek yangın çeşitlerindedir.

Demir Çelik Sektörü için en kritik yangın çeşidi sıvı ham demir, sıvı çelik ve sıvı cüruf dökülmelerinden kaynaklanan yangınlardır.

### **3.1. Vaka Analizi: Yüksek Fırın Bölgesinde Sıvı Ham Demir Dökülmesi**

Yangın Olayı:

Yüksek Fırınlarda üretilen sıvı ham demir, torpido aracılığı ile demiryolu hattından çelikleştirme işleminin gerçekleştirilmesi için Çelikhaneye taşınmaktadır. Yüksek Fırın maden kanalından akan sıvı ham demir torpidoya dolum yapılır. Bir torpido ortalama 160 ton sıvı ham demir almaktadır. Yüksek fırının, olayın yaşandığı vakadaki üretimi 160 tonun üzerinde gerçekleşmiş olup, yedek torpido bulundurulması ön görülemediği. Yedek torpido bulunmaması nedeniyle, madene cüruf karışmadan, fırın çıkışının kapatılması gerekmektedir. Fırın ağızını kapatmak için kullanılan çamur topu makinesinin kumandasında meydana gelen arıza nedeniyle, fırın kapatılamamıştır. Bu sebeple dolu torpidodan akan yaklaşık 1200 °C- 1300°C sıcaklıktaki sıvı ham demir, demiryolu raylarına doğru akarak, yüksek sıcaklık nedeniyle yangın olayının başlangıcını tetiklemiştir.

Sıvı ham demir dökülmesi yaşanan olay yerine itfaiye ekipleri sevk edilmiştir. Olayda, 1 itfaiye aracı, 2 araçöz, 1 İtfaiye Formeni ve 3 İtfaiyeci görev almıştır.

Yangın Olayına Müdahale:

Demiryolu hattı ve zemine akan yaklaşık 1200 °C- 1300°C sıcaklıktaki sıvı ham demirin, yangının büyümesine ve iş kazasına sebebiyet vermesi riski göz önünde bulundurularak, İş Güvenliği ekiplerince öncelikle çevre güvenliği sağlanmıştır.

Demiryolu İşletme ve Bakım ekiplerine durum bildirilmiş olup, daha fazla sıvı maden akışının engellenmesi için olay yerine boş torpido sevk edilmesi sağlanmıştır.

Demiryolu hattına ve zemine akan sıvı ham demirin, yaklaşık 1200 °C- 1300°C sıcaklıkta olması, yangına sebebiyet vereceği için, itfaiye ekiplerinde, dökülen sıvı ham demirin soğutma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Olay yerindeki soğutma işleminin tamamlanmasının ardından, torpido boşaltma alanına itfaiye nezaretinde sevk edilmiştir. ( Fotoğraf – 1)



*Fotoğraf - 1*

### Sıvı Ham Demir Dökülmesinde Soğutma İşleminde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

Sıvı ham demir dökülmesinde, su ile soğutma işlemi yapılırken, akan maden kısmına kesinlikle su püskürtülmemelidir. Su, sıvı ham demirin alt kısmına geçmemelidir. Döküntü olan sıvı ham demirin alt bölgesine su geçmesi, yüksek sıcaklık nedeniyle, suyun sıvı fazdan gaz

fazına geçmesine neden olmaktadır. Sıvı fazdan gaz fazına geçen suyun içindeki hidrojen bağında ani kopmalar meydana gelir. Su, sıvı fazdan gaz fazına geçerken yüksek oranda hacim genleşmesi yaşar ve sıvı madenin patlayarak, etrafa dağılmasına neden olur. Patlayarak etrafa yayılan sıvı ham demir, tesislerde yangınlara, en önemlisi de ciddi yanıkla sonuçlanabilecek iş kazalarına sebebiyet verir.

Sıvı ham demir dökülmelerinde, soğutma işleminin başlatılabilmesi için, sızıntının kesilmesi gerekmektedir. Sızıntı kesildikten sonra, döküntünün kenarlarından başlayarak, orta kısma doğru yağmurlama yöntemi ile soğutma işlemi yapılır.

Sıvı ham demir dökülmesinde, döküldüğü yerde yatabilecek materyallerin bulunması halinde, yağmurlama yöntemi kullanılır. Sıvı ham demir dökülmeye devam ediyorsa ve yangın boyutu söz konusu ise, köpüklü yangın söndürme yönteminin en uygun olduğu ön görülmektedir.

### **3.2. Vaka Analizi: Çelikhane Bölgesinde Potadan Sıvı Çelik Dökülmesi**

Sıvı ham demir, Yüksek Fırınlarda Çelikhaneye torpidolar ile demiryolunda taşınmaktadır. Çelikleştirme işlemi, konvertere şarj edilen hurda ve sıvı ham demirin, oksijen üfleme ile başlar. Karbon oranı düşürülen sıvı ham demir, çelikleştirme'nin ilk aşamasından geçmiş olur. Ardından, istenilen kalitelerde çelik oluşturulmak üzere çelik potalarına alınır. Çelik potaları yaklaşık 180 tondur. Çelik potalarının içi, refrakter tuğla ile ortalama 70 dökümde bir kaplanır.

#### **Yangın Olayı:**

Sıvı çelik dolu olan potada, refrakter deformasyonu nedeniyle, delinme meydana gelmiştir. Köprülü tavan



vinci operatörü, potadan sıvı çelik dökülmesi olduğunu fark etmiş ve transfer arabasını taşıyan vinç operatörüne anons geçmiştir. Sıvı çelik dökülmesini engellemek için pota altına transfer arabası alınmıştır. Ancak transfer arabasının kapasitesi potadan akan sıvı madene yetmemiş, zemine sıvı çelik dökülmesi meydana gelmiştir. (Fotoğraf - 2)



*Fotoğraf - 2*

Sıvı çelik dökülmesi yaşanan olay yerine itfaiye ekipleri sevk edilmiştir. Olayda, 1 itfaiye aracı, 2 arazöz, 1 İtfaiye Formeni ve 3 İtfaiyeci görev almıştır.

### **Yangın Olayına Müdahale:**

Çelikhane pota fırınları bölgesinde zemine akan yaklaşık 1200 °C- 1300°C sıcaklıktaki sıvı çeliğin, yangının büyümesine ve iş kazasına sebebiyet vermesi riski göz önünde bulundurularak, İş Güvenliği ekiplerince öncelikle çevre güvenliği sağlanmıştır.

Transfer arabasını sıvı çelik dökülmesi meydana gelen bölgeye getiren vinç operatörü, dolu olan transfer arabasını güvenli bir alana bıraktıktan sonra, boş bir transfer arabasını olay yerine getirmiştir. Ancak bu süreçte, potada kalan sıvı ham çelik, zemine dökülmeye devam etmiştir.

Olay yerine yakın bölgede bulunan magnezyum deposuna, sıvı çelik ulaşmasını engellemek için, itfaiye ekibi öncelikle, deponun duvarlarına köpük ile soğutma yapmıştır.

Sıvı ham çelik akışı bittikten sonra, itfaiye ekibi, kenar noktalardan başlamak suretiyle, soğutma işlemi gerçekleştirmiştir.

### **Sıvı Çelik Dökülmesinde soğutma işleminde dikkat edilmesi gereken hususlar:**

Sıvı çelik dökülmesinde, su ile soğutma işlemi yapılırken, akan maden kısmına kesinlikle su püskürtülmemelidir. Su, sıvı çeliğin alt kısmına geçmemelidir. Döküntü olan sıvı çeliğin alt bölgesine su geçmesi, yüksek sıcaklık nedeniyle, suyun sıvı fazdan gaz fazına geçmesine neden olmaktadır. Sıvı fazdan gaz fazına geçen suyun içindeki hidrojen bağında ani kopmalar meydana gelir. Su, sıvı fazdan gaz fazına geçerken yüksek oranda hacim genişmesi yaşar ve sıvı madenin patlayarak, etrafa dağılmasına neden olur. Patlayarak etrafa yayılan sıvı çelik, tesislerde yangınlara, en önemlisi de ciddi yanıkla sonuçlanabilecek iş kazalarına sebebiyet verir.

Sıvı çelik dökülmelerinde, soğutma işleminin başlatılabilmesi için, sızıntının kesilmesi gerekmektedir. Sızıntı kesildikten sonra, döküntünün kenarlarından başlayarak, orta kısma doğru yağmurlama yöntemi ile soğutma işlemi yapılır.

Sıvı çelik dökülmesinde, döküldüğü yerde yanabilecek materyallerin bulunması halinde, yağmurlama yöntemi kullanılır. Sıvı çelik dökülmeye devam ediyorsa ve yangın boyutu söz konusu ise, köpüklü yangın söndürme yönteminin en uygun olduğu ön görülmektedir. (Fotoğraf - 3)



*Fotoğraf - 3*

Demir elik Sektöründe meydana gelen ortalama 1200 °C- 1300°C sıvı metal dökülmelerinde, çevre güvenliği sağlanması birinci önceliktir. Sıvı metal dökülmele- rinde, patlama riski söz konusu olduğu için soğutma iş- lemleri tecrübeli itfaiyeciler tarafından yapılmalıdır.

## KAYNAKÇA

Mühendis ve Makine Güncel Dergisi, Kasım 2019

Kardemir, “İş Sağlığı ve Güvenliği Müdürlüğü Yangın Analiz Raporları”, Kardemir, Karabük (2021)

İMRAK, M., E., “Endüstriyel yangınlara müdahale faaliyetlerinde iş sağlığı ve güvenliği çözümleri”, Üsküdar Üniversitesi (2019)

GÜRİSOY, F., (2021), “Teorik ve Pratik Yangın Eğitimleriyle Yangın Bilinci ve Kültürü Oluşturulması”, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ağustos 2021

GENÇ, R., PEKEY, H., (2014), “Endüstriyel Tesislerde Ortaya Çıkabilecek Yangın Risklerinin Bir Değerlendirmesi: Kocaeli Örneği”, Kocaeli Üniversitesi, Elektronik Mesleki Gelişim ve Araştırma Dergisi, Cilt-2, Ağustos 2014



[www.serüvenyayınevi.com](http://www.serüvenyayınevi.com)



[/serüvenyayınevi](https://www.facebook.com/serüvenyayınevi)



[/serüvenyayınevi](https://www.instagram.com/serüvenyayınevi)



[/serüvenyayınevi](https://www.twitter.com/serüvenyayınevi)

