

Bir boyahane patlayıcı ortam oluşumunun standartlara göre incelenmesi Evaluation of explosive atmosphere in a paint shop according to standards

Fatma OĞUZ ERDOĞAN^{1*} , Okan DUMAN¹ 

¹Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye.
foerdogan@gmail.com, okndmn@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 16.02.2021
Kabul Tarihi/Accepted: 27.03.2022

Düzeltilme Tarihi/Revision: 05.03.2022

doi: 10.5505/pajes.2022.88027
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Endüstrinin pek çok dalında boyahane alanlarında boyama prosesi yer almaktadır. Bu proseste çok çeşitli tehlikeli kimyasallar kullanılmakta olup söz konusu kimyasalların yanıcılık, parlayıcılık ve alevlenebilirlik gibi özelliklerinden kaynaklı patlamalar meydana gelmekte, ciddi ve ölümcül sonuçlar doğurabilmektedir. Patlayıcı ortam oluşturma ihtimali olan durumların değerlendirilerek riskin kontrol edilmesine yönelik tüm çalışmalar ulusal mevzuatın öngördüğü şekilde "Patlamadan Korunma Dokümanı (PKD)" çerçevesinde ele alınarak yapılmaktadır. Patlayıcı ortamların belirlenmesinde ulusal ve uluslararası standartlarla ortaya konulan kavramlara, hesaplamalara ve diğer teknik düzenlemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Patlamadan Korunma Dokümanının temelini patlayıcı ortamın türünün ve boyutunun belirlenmesi aşamaları oluşturmaktadır. Bu çalışmada, yerel bir işletmede yer alan boyahane karşılaşılan en önemli tehlikelerden biri olan gaz patlaması riskine ilişkin olarak olası tehlikeli bölgelerin tespit edilmesi için; (1) proseste kullanılan yanıcı sıvı kimyasal maddelerin patlamaya sebep olabilecek fiziksel özellikleri ve (2) bu kimyasalların işletmedeki yayılma kaynakları belirlenmiştir. Sonrasında; bu proseste patlayıcı ortam oluşmasına sebep olabilecek sıvıların prosedeki hız ve debileri önceden belirlenmiş ve TS EN 60079-10-1 standardı ile ortaya çıkan kısıtlar kapsamında detay düzenlemeler içeren İtalya milli standardı (uygulama kılavuzu) CEI 31-35 kullanılarak tehlikeli bölge türü ve bu bölgenin boyutu belirlenmiştir. İşletmeye patlayıcı ortamda kullanılacak ekipmanların belirlenmesi dahil kontrol ve güvenlik tedbirlerinin kararlaştırılması ile ilgili önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Patlayıcı ortam, Patlamadan korunma dokümanı, Sıvı boşalması, Tehlikeli alanların sınıflandırılması, İş sağlığı ve güvenliği.

Abstract

In many branches of the industry, there is painting processes in the dyehouse areas. A wide variety of hazardous chemicals are used in this process, and explosions can arise from the properties of such chemicals such as flammability, flammability and flammability, and can have serious and fatal consequences. All studies for controlling the risks by evaluating the situations that may create an explosive atmosphere are handled within the framework of "Explosion Protection Document (EPD)" as stipulated by national legislation. Concepts, calculations and other technical arrangements laid down by national and international standards are needed in determining explosive atmospheres. The basis of the Explosion Protection Document is the determination of the type and extent of the explosive atmosphere. In this study, in order to identify potential hazardous areas related to gas explosion risk, which is one of the most important hazards encountered in a paint shop located in a local enterprise, firstly, the physical properties of flammable liquid chemicals used in the process and their sources of release in the enterprise were determined. Afterwards, the speed and flow rates of the liquids that may cause an explosive atmosphere in the process have been determined beforehand and the hazardous zone type and extent have been determined, by using the Italian national standard (application guide) CEI 31-35, which contains detailed regulations within the scope of the restrictions arising with the TSE EN 60079-10-1 standard. Suggestions were made regarding the determination of control and safety measures, including the determination of equipment that can be used in the explosive atmosphere.

Keywords: Explosive atmosphere, Explosion protection document, Liquid release, Hazardous area classification, Occupational health and safety.

1 Giriş

İş sağlığı ve güvenliği bilim dalı çalışanların ve dolaylı olarak toplumun güvenlik ve sağlığının teminini ve geliştirilmesini amaçlamaktadır. Temel anlamda çalışma gücünün korunması için devlet yasal düzenlemeler ile Anayasa'nın öngördüğü tedbirleri almakla yükümlüdür. Bu amaçla ülkemizde 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu yayımlanmış ve mezkûr kanunun 30. maddesine bağlı olarak birçok yönetmelik çıkarılmıştır [1]. Söz konusu bu yönetmeliklerden "Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik" işyerlerinde oluşması muhtemel patlayıcı ortamlara ilişkin işverenlere önemli sorumluluklar yüklemiştir. Yönetmeliğin 6. maddesi gereğince işyerlerindeki patlama riski işveren tarafından değerlendirilmelidir. İşverenin bu kapsamda yükümlülüğünü yerine getirmesi için "patlamadan korunma dokümanı" hazırlanması gerektiği ise yönetmeliğin

10. maddesinde düzenlenmiştir. Bu dokümanın altyapısını ise tehlikeli ortamın türünün ve boyutunun tayin edilmesi oluşturmaktadır [2]. Patlayıcı gaz atmosferlerinin mevcut olabileceği tehlikeli alanların sınıflandırılması Avrupa direktifleri, uluslararası ve ulusal standartlar tarafından belirlenir. Tommasini 2013 yılında yaptığı çalışmada standart tarafından (60079-10-1) benimsenen yaklaşımı tanımlamış ve İtalyan ulusal kılavuzunda (Comitato Elettrotecnico Italiano, CEI 31-35) tanıtılan bazı denklemleri ve değerlendirme yöntemlerini göstermiştir [3], [6]. Miranda ve diğ. [4] yaptıkları çalışmada patlayıcı ortam değerlendirmesini; UNE 60079-10-1 standardı ile FLUENT yazılım uygulaması kullanılarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği (computational fluid dynamics, CFD) temelinde karşılaştırarak yapmışlardır. Tommasini ve diğ. [5] patlayıcı gaz ve buhar atmosferlerinin mevcut olabileceği endüstriyel tesislerdeki tehlikeli alanların kapsamını belirlemeyi üç farklı yaklaşımla

*Yazışılan yazar/Corresponding author

gerçekleştirmişlerdir. Bariha ve diğ. [7] Hindistan'ın Kerala kentindeki Kannur'da LPG (sıvılaştırılmış petrol gazı) tankerinin dahil olduğu bir patlama kazasının analizini ve simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Tankerin alt borusundaki bir çatlak nedeniyle yaklaşık 20 dk süreyle LPG sızıntısına yol açarak büyük bir buhar bulutu oluşturarak ve oluşan buharın patlamasıyla sonuçlanmış olduğu bildirilmiştir. Bu kaza sonucunda birçok ölüm ve yaralanma meydana gelmiştir. Dufaud ve diğ. [8] hibrit karışımların patlamasının buhar veya toz patlamalarıyla benzer özelliklerini incelemişlerdir. Costin [9] yaptığı çalışmada kapalı bir alanda havada yayılan sıvılaştırılmış petrol gazından patlayıcı bir atmosferin patlamasını sayısal modelleme kullanarak incelemiştir.

Patlamaların önlenmesi ve patlamadan korunma çalışma ortamları için önemli iki kavramdır. Bu kavramları operasyonel karar terimlerine dönüştürmek için tehlikeli bölgeleri belirlemek oldukça önemlidir. Ülkemizde patlama veya patlayıcı ortam kaynaklı birçok kaza gerçekleşmekte ve ciddi sonuçlar doğurmaktadır. 1997 yılında Kırıkkale'de mühimmat fabrikasında patlama meydana gelmiş ve büyük maddi hasara neden olmuştur. 2002 yılında Kocaeli'de LPG dolmuş tesisinde yangın ve patlama oluşmuştur. Bu kaza sonucunda 3 kişi yaralanmıştır ve 3 milyon TL zarar açıklanmıştır. 2007 yılında İzmir'de boya vernik fabrikasında yangın meydana gelmiş ve büyük maddi hasar oluşmuştur. 2011 yılında Batman'da LPG dolmuş tesisinde patlama meydana gelmiş ve 3 kişi hayatını kaybetmiştir. 2015 yılında gübre fabrikası patlamasında bir işçi hayatını kaybetmiştir [15]. Çünkü hemen hemen tüm işyerlerinde tehlikeli kimyasallar kullanılmaktadır. Özellikle işyerlerinin boyahane diye adlandırılan bölümlerindeki boyama proseslerinde kullanılan tehlikeli kimyasal kapsamındaki yanıcı kimyasal maddelerin gaz, buhar ve sis formları atmosferik şartlar altında "patlayıcı ortam" diye adlandırılan hava ile patlamaya elverişli bir ortam oluşturabilmekte ve oluşan bu ortamın tutuşturucu bir kaynağa temasında tesirli gaz patlamaları meydana getebilmektedir. Bu patlamalar neticesinde yaralanmalı ve hatta ölümlü iş kazaları meydana gelmektedir. İş kazalarını azaltmak amaçlı yapılan çalışmalar hayati önem taşımaktadır. Ülkemizde iş kazalarını azaltmak için; oluşabilecek risklerin ortadan kaldırılması ya da uygun mühendislik önlemlerinin alınması gereklidir [10].

Bu çalışmada, boyahanelerde sıvı boşalması sonucu oluşacak göllenme alanlarında gaz patlamasına sebep olabilecek patlayıcı ortamların değerlendirilmesine ilişkin mevzuat çerçevesinde, ulusal standart ve bu standardın atf yaptığı İtalya milli standardı kullanılarak gaz patlaması riskinin değerlendirilmesi kapsamında tehlikeli bölgenin türünün ve boyutunun belirlenebilmesi için kullanılacak teknik düzenlemeler hakkında bilgiler verilmiştir. Sonrasında bir boyahane tesisindeki pompa, vana gibi ekipmanlardan sıvı boşalması sonucu oluşacak göllenme alanlarında meydana gelen patlayıcı gaz ortamının türü ve boyutunun tespit edilmesi amaçlanmıştır. Uygulama kapsamında göllenme oluşturabilecek üç sıvı boşalması tespit edilmiş ve TS EN 60079-10-1 standardı ile ortaya çıkan kısıtlar kapsamında detay düzenlemeler içeren İtalya milli standardı (uygulama kılavuzu) CEI 31-35 kullanılarak tehlikeli bölge türü ve bu bölgenin boyutu belirlenmiştir.

2 Teori ve yöntem

2.1 EN 60079-10-1 ve CEI 31-35 standardına göre bölge hesaplamaları

Bu çalışmada patlayıcı ortam oluşma ihtimali ve kalıcılık süresi hesabında TS EN 60079-10-1 2015 standardı ve bu standardın öngördüğü kısıtlar dikkate alınarak standardın atf yaptığı ulusal ülke standartlarından CEI 31-35 İtalyan standardı birlikte kullanılmış ve tehlikeli bölgeler sınıflandırılmıştır [2], [6]. Çalışanların patlayıcı ortamların tehlikelerinden korunması hakkında yönetmelikte de bölge tanımlamaları yapılmıştır. Bu tanımlamalarda patlayıcı ortam oluşma sıklığı ve bu ortamın devam etme süresi esas alınmaktadır. Bölge 0, gaz buhar ve sis halindeki yanıcı maddelerin hava ile karışımından oluşan patlayıcı ortamın sürekli olarak veya uzun süreli ya da sık sık oluştuğu yerler olarak tanımlanmaktadır. Bölge 1, gaz buhar ve sis halindeki yanıcı maddelerin hava ile karışımından oluşan patlayıcı ortamın normal çalışma koşullarında ara sıra meydana gelme ihtimali olan yerler olarak tanımlanmaktadır. Bölge 2 ise, gaz buhar ve sis halindeki yanıcı maddelerin hava ile karışarak normal çalışma koşullarında patlayıcı ortam oluşturma ihtimali olmayan yerler ya da böyle bir ihtimal olsa bile patlayıcı ortamın çok kısa bir süre için kalıcı olduğu yerler olarak tanımlanmaktadır [16].

TS EN 60079-10-1 2015 standardında bulunmayan buhar basıncı yüksek sıvılar (buhar basıncı yüksek olan sıvılar uçucudur ve kaynama noktaları düşük olan sıvılardır. Uçuculuğun tanımlanmış bir sayısal değeri yoktur. Genellikle buhar basınçları ve kaynama noktaları kullanılarak tanımlanır), boşalma süresinin bölge türüne etkisi, zemin pürüzlüğü vb. hususlar için İtalya'da yürürlükte bulunan CEI 31-35 uygulama kılavuzu kullanılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan boşalma kaynakları, ilgili yanıcı kimyasallar ve diğer parametreler işletmeden alınarak kullanılmıştır.

Bu çalışmada TS EN 60079-10-1 2015 standardında yer alan dört sınıflandırma metodolojisinden salım kaynakları metoduna göre açıklanan sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır.

Tehlikeli bölgelerin sınıflandırmasında; bir boşalma kaynağının birden fazla boşalma derecesi ortaya çıkarabileceğine ve bunların bileşimine yol açabileceği yaklaşımı dikkate alınmıştır [2]. Yanıcı maddeler fazlarına ve boşalım hızlarına bağlı olarak, buldukları kapalı sistemden boşalabilirler [6].

Ortamdan salınan gazın seyrelmesi ve alt patlayıcılık sınırına (LEL) ulaşmasını engellemek için CEI 31-35 uygulama kılavuzundan "Kapalı Alan Havalandırma Durumuna Göre Gaz Yayılım Modeli" kullanılmıştır. Bu modelde kimyasalın havayla bağlı yoğunluğu dikkate alınmıştır. Kimyasalın özelliğine göre örneğin kimyasalın havadan ağır olması durumunda tabanda birikme yapacağı dikkate alınmalı ve havalandırma sistemi tabanı süpürecek şekilde düzenlenmelidir [6].

Boşalma kaynaklarının tespiti ve boşalma derecelerinin belirlenmesi tehlikeli bölge (Zone) tiplerini belirlemenin temel unsurlarıdır. Sadece yanıcı gaz veya buharın havayla birlikte mevcut olması halinde patlayıcı gaz ortamı oluşabileceği için, bu yanıcı maddelerin değerlendirme yapılan bölgede mevcut olmasının mümkün olup olmadığına karar verilmesi gerekir [6]. Kimyasalın atmosfere alev alabilen madde salınımı yaptığı belirlenmişse, boşaltma sıklığını ve süresini belirlemek için boşalma derecesini tespit etmek gerekmektedir. Boşalma kaynağı dereceleri;

1. Tali boşalma derecesi veren kaynak,
2. Ana boşalma derecesi veren kaynak,
3. Sürekli boşalma derecesi veren kaynak.

olarak yapılmaktadır. Tehlikeli alan mesafesi (d_z), yayılan olası patlayıcı ortamdan olan uzaklıktır. Güvenlik katsayısı k_{dz} , d_z 'nin hesaplanmasında LEL'e uygulanan bir katsayıdır. Bu katsayı, sürekli ve birincil dereceli salımlar için 0.25-0.50; ikincil salımlar için 0.50-0.75 arasında kabul edilir [5]. Boşalma derecesi ile bölge çeşidi arasında yakın bir ilişki vardır. Genellikle sürekli boşalma Bölge 0'ı, ana boşalma Bölge 1 ve tali boşalma Bölge 2'yi tanımlamaktadır. Ortam havalandırması belirtilen bölge çeşitlerini değiştirmektedir. Kötü havalandırma bölge çeşidinin azalmasına neden olur. Kötü havalandırma ile ana boşalmayı Bölge 1'den, Bölge 0'a düşürebilir [6].

Kuramsal hacim V_z ile gerçek patlayıcı karışım hacmi V_{ex} arasındaki ilişki her zaman kolaylıkla belirlenemez. Gerçek patlayıcı karışım hacmi V_{ex} 'in belirlenmesinde aşağıda verilen Eş. 1'den yararlanılmaktadır,

$$V_{ex} = V_z x k \quad (1)$$

Kapalı ortamlar da V_{ex} hacmi için aşağıda belirtilen şartlar gerçekleştiğinde ihmal edilebilen değerler için potansiyel patlayıcı ortamın kuramsal hacmi V_{zNE} ihmal edilir.

2.2 Sıvının salım hızının hesaplanması

Göletin alanını hesaplamak için kapalı bir sistemden boşalan sıvının ilk hızı $Q_1 = W$ (kg/s) Eş. 2 ile hesaplanarak tahmin edilmelidir [3];

- Bölge 0 için $V_{ex} < 1 \text{ dm}^3$
- Bölge 1 için $V_{ex} < 10 \text{ dm}^3$
- Bölge 2 için $V_{ex} < 10 \text{ dm}^3$

Yukarda verilen bilgilere ek olarak Bölge 0,1,2 için $V_{ex} < 1/10$ $000 V_d \text{ dm}^3$ şartı sağlanmalıdır. Yapılan bölge hesaplamalarında bu şart sağlanmıştır.

Standartta tanımlanmış olası bölgeler, havalandırma derecesi "Yüksek (HV)", havalandırmanın uygunluk derecesi ise "İyi" olduğunda ihmal edilebilir boyutlarda oluşmaktadır ve genellikle Bölge ONE, Bölge 1NE, Bölge 2NE olarak adlandırılırlar. Bu bölgeler, herhangi bir boşalma kaynağının birkaç dm^3 yakınında herhangi bir elektriksel ekipmanın kurulmaması öneriliyor olsa bile tehlikeli bölgelerin sınıflandırması sürecinde etkisi olmayan bölgelerdir. Eğer bu birincil bölgenin etrafında havalandırma derecesi "Yüksek (HV)", uygunluk derecesi "Orta" veya "Kötü" ise, boşalma kaynağına bağlı olarak ayrıca bir Bölge 1 veya Bölge 2 oluşur.

Eğer havalandırma tehlikeli hacim değeri olan " V_z "yi ihmal edilebilir bir boyuta indirgeyebiliyorsa dikkate alınan boşalma kaynağına ve alana göre havalandırma derecesi "yüksek" olarak kabul edilebilir. Eğer havalandırma tehlikeli hacim değeri olan " V_z "yi ihmal edilebilir bir boyuta indirgeyemiyorsa ancak dikkate alınan boşalma kaynağına ve tehlikeli bölgeye göre boyutlarını belirli bir düzeyde sınırlandırabiliyorsa bu havalandırma "orta" olarak kabul edilir. Son olarak eğer havalandırma boşalma kaynağı çevresindeki tehlikeli hacmi düşüremiyorsa bu havalandırma "düşük" olarak kabul edilmelidir. "Düşük havalandırma (LV)" derecesi delikler gibi hava akımının belirgin şekilde sınırlandırıldığı bölgeler dışında genellikle açık havada oluşmaz.

Boşalma derecesinin, havalandırma derecesinin ve havalandırma uygunluk (kullanılabilirlik) derecesinin tespit edilmesi sonrasında bölge tipinin tayininde TSE EN 60079-10-1 standardındaki tablodan faydalanılmıştır.

$$Q_1 = C_d S \sqrt{2p\Delta p} \quad (2)$$

Burada;

Q_1 : Sıvı salım oranı (birim zaman başına kütle, kg/s)

C_d : Salım açıklıklarının bir özelliği olan ve türbülans ile viskozite etkilerinin hesaba katıldığı, tipik olarak keskin kenarlı açıklıklar için 0.50 ila 0.75 ve yuvarlak kenarlı açıklıklar için 0.95 ila 0.99 değerleri arasında olan tahliye katsayısı (boyutsuz)

S : Akışkanın salım yaptığı açıklığın (açıklık) kesiti (m^2)

p : Sıvı yoğunluğu (kg/m^3)

Δp : Sızıntının meydana geldiği açıklıktaki basınç farkı (Pa)

Hacimsel boşalma hızı Q_{vl} aşağıdaki Eş. 3 ile hesaplanmaktadır;

$$Q_{vl} = \frac{Q_1}{\rho_{liq}} \quad (3)$$

2.3 Buharlaşan havuzların salım hızının hesaplanması

Buharlaşan havuzlar sıvı sızıntısının sonucu ortaya çıkabilir veya yanıcı sıvının açık bir kaptaki depolandığı veya kullanıldığı yerlerde buharlaşma söz konusu olabilir. Buharlaşan havuzların boşalma hızı; ABD Çevre Koruma Ajansı' tarafından oluşturulmuştur. Aşırı Tehlikeli Maddeler içi Acil Durum Planlaması Tehlike Analizi Teknik Kılavuzu'na göre hesaplanabilmektedir [2].

Acil Durum Planlaması Tehlike Analizi Teknik Kılavuzu'na göre değerlendirme için aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır:

- Ortamda bulunan gaz veya buhar bulutunun sıcaklığı ortam sıcaklığına eşitir,
- Boşalan yanıcı maddenin havadan hafif olduğu kabul edilmektedir,
- Sıvılar kaplarından düz bir yüzeye dökülmüş ve 1 cm derinliğinde göllenme oluşturmuş ve ortam koşullarında buharlaşmasına izin verilmiştir.

Bu durum için, buharlaşma hızı aşağıdaki Eş. 4 kullanılarak hesaplanabilir [2];

$$W_e = \frac{6.55 x u_w^{0.78} x A_p x P_v x M^{0.667}}{R x T} \quad (4)$$

Burada A_p , göllenme yüzeyi alanı (m^2); u_w , sıvı havuz yüzeyi üzerindeki rüzgâr hızı (m/s) ve P_v , T sıcaklıkta sıvının buhar basıncını (kPa) ifade etmektedir [2].

Bölge büyüklüğünün hesaplanabilmesi için TS EN 60079-10-1 ve CEI 31-35 uygulama kılavuzu standardında verilen gaz ve buhar yayılma oranı hesabı kullanılmıştır. CEI 31-35'de sıvı dökülmesi için Q_g hesabı farklı verilmiştir. Ancak gaz hesaplaması aynen geçerlidir.

Teorik hacmi tespit etmek için, yayılan yanıcı madde konsantrasyonunun, taze hava akışıyla, alt patlama limitinin altında kalmasını sağlayacak teorik havalandırma akış oranını hesaplamak gerekir. Teorik hacim V_z genellikle, yanıcı gaz veya buhar konsantrasyonunun bir güvenlik faktörünün (k)

değerine bağlı olarak, alt patlama limitinin 0.25 ya da 0.5 katına ulaştığı andaki hacimdir [6].

V_z hesaplaması sadece havalandırma derecesini belirlemeye yardımcı olması için tasarlanmıştır. Teorik hacim, tehlikeli bölgenin büyüklüğü ile doğrudan ilgili değildir. Daha fazla yayılma oranı, daha büyük bölge boyutu demektir. Yayılma oranı; yayılma kaynağının geometrisi, yayılma hızı, konsantrasyon ve yanıcı sıvının buharlaşma özelliğine bağlıdır.

Sıvı dökülmesi veya gaz yayılması durumunda Q_g hesaplaması tehlike mesafesi d_z 'yi tanımlamak için kullanılır. Tehlikeli bölge mesafeleri tehlikeli madde ve çalışma koşullarının karakteristikleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Rüzgâr hızı hesaplamalarda açık alanlar için risk sınırı kabul edilen 0.5 m/s olarak alınmıştır [6].

2.4 CEI 31-35'e göre yayılma hızının (Q_g) hesaplanması

Yanıcı maddeler, kontrol altında tutuldukları sistemlerden şartlara bağlı olarak, farklı yapılarda (gaz, sıvı veya buhar) ve yayılma hızında (yüksek veya düşük) yayılabilir. Tehlikeli bölge sınıflandırması için hazırlanmış İtalyan Metodolojisi CEI 31-35 No.lu standarttaki denklemler kullanılarak "Bölge Genişliği" modellenmiştir. Gölet alanının hesaplanması için iki farklı durum mevcuttur.

İlk durumda, Eş. 5 kullanılarak sıvı kaçağını durdurma amacıyla yapılacak müdahaleler dikkate alınarak alan hesabı yapılmaktadır. Bu eşitlikte sıvı salınımı süresince buharlaşmanın olmayacağı göz önünde bulundurulur [3]. Ayrıca, gölet hesaplarında, boşalım zamanının (t_p 'nin) uzun ve/veya boşalınan sıvının kaynama sıcaklığına çok yakın bir sıcaklıkta olduğunda, buharlaşma dikkate alınmalıdır. Ve bu durumda Eş. 5 ile hesaplanandan daha küçük bir alan kabul edilebilir [6];

$$A_1 = \frac{Q_{vl} x t_p}{h_m} \quad (5)$$

Burada; Q_{vl} boşalma volumetrik debisini [m^3/s], t_p boşalma süresini [saniye] ve h_m sıvı göletin derinliğini [m] ifade etmektedir. Gölet derinliği (h_m); Zemin gözenekliliğine, pürüzlülüğüne ve materyalin vizkozitesine bağlı olarak değerlendirilir. Gözeneksiz yüzey için 5×10^{-3} m (örneğin, beton), gözenekli yüzey için 10×10^{-3} m (örneğin, çakıllık, kumluk) olarak alınabilir. Oldukça düşük vizkoziteli sıvılar için (örneğin, incelticilerde), gölet derinliği (h_m) 5×10^{-3} m'den daha az olabilir. Oldukça yüksek vizkoziteli sıvılar için ise gölet derinliği 5×10^{-3} m'den yüksek olabilir [6]. Boşalma süresinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Boşalma süresinin (Eş. 5'te kullanılan t_p) belirlenmesinde koşullara göre süreler belirlenebilmektedir [2].

İkinci durumda ise, sıvı kaçağını durdurabilmek için gerekli müdahale süresi dikkate alınmadan (yüksek müdahale, yani; zamanında tesisteki otomatik sistemler ile kapatma dikkate alınır, insanlı müdahaleler ise hesaplamaya dahil edilmez), sınırlandırılmamış göllenme bölgesi, buharlaşmanın oluşacağı denge koşuluna göre aşağıdaki şekilde tanımlanır: Denge şartlarında sınırlanmamış göletin alanı (A_2) için Eş. 6 kullanılır [6];

$$A_2 = \frac{Q_1}{Q_{gs}} x k_A \quad (6)$$

Q_1 sıvının boşalma debisini ($kg \ s^{-1}$) ifade etmektedir. Q_1 ile Q_{gs} arasında aşağıda belirtilen bir ilişki söz konusudur, söz konusu ilişkiye göre k_A değeri aşağıdaki şekilde belirlenir [3]:

$$Q_1 / Q_{gs} < 1,0 \ m^2 \text{ olduğunda } k_A = 0,7$$

$$1,0 \leq Q_1 / Q_{gs} < 4,0 \ m^2 \text{ olduğunda } k_A = 1,0$$

$$Q_1 / Q_{gs} \geq 4,0 \ m^2 \text{ olduğunda } k_A = 1,4$$

Q_{gs} , göletten spesifik buharlaşma hızıdır ($kg/s \cdot m^2$). A_1 veya A_2 göllenme alanlarından hangisi küçük ise o değer üzerinden Eş. 7 kullanılarak hesaplanır;

$$Q_{gs} = 2 \times 10^{-3} x \frac{w_a}{f_{SE}} x \frac{M x P_a}{R x T} \ln \left(\frac{P_a}{P_a - P_v} \right) \quad (7)$$

Sonuç olarak gölleşmenin Q_g buharlaşma oranı, havalandırma etkileri ile beraber Eş. 8 kullanılarak hesaplanır;

$$Q_g = 2 \times 10^{-3} x \frac{w_a}{f_{SE}} x r_{eq}^{-0,11} x \frac{M x P_a}{R x T} \ln \left(\frac{P_a}{P_a - P_v} \right) \quad (8)$$

Burada; w_a ortamdaki hava hızı [m/s], M yanıcı maddenin molar kütlelerini [kg/kmol], P_a ortamın atmosfer basıncını [Pa], R evrensel gaz sabitini (8314 J/kmol K), T kapalı sistemdeki boşalma noktasındaki referans sıcaklığını [K], P_v maksimum ortam sıcaklığındaki buhar basıncını [Pa], r_{eq} dairesel veya dörtgenel sıvı yüzey alanının eş çapını ($r_{eq} = 2 \text{ Alan} / \text{çevre}$) [m], ifade etmektedir.

2.5 Bölge boyutunun belirlenmesi

CEI 31-35 kılavuzunda tehlikeli bölgenin türünün ve bölgenin boyutlarının tayininde hassas noktalar verilmektedir. Varsayımsal V_z hacmi tahmin edilirken, yanabilen maddenin salımı süresince devam eden dağılma mekanizmasının iyi bir şekilde anlaşılması önem taşımaktadır. Esas olarak iki dağılma mekanizması vardır [6]:

Salım jetinin uç noktalarında hava tarafından kendiliğinden seyrelmenin gerçekleşmesi (sıfır rüzgâr hızı veya sıfır rüzgâr hızına yakın koşullarda veya salım jeti ile aynı yöne ve aynı hıza sahip aksenal rüzgâra sahip salım jetleri)

Hava hareketi/rüzgâr tarafından seyreltilme (yüksek rüzgâr hızına sahip düşük salım basıncı olan salım jetleri)

Birinci durumda, yanabilen maddenin seyreltilmesi, jet momentumundan kaynaklanan düzensiz difüzyonla sağlanırken, ikinci durumda bu rüzgâr tarafından sağlanmaktadır. Bu yüzden herhangi bir salım kaynağından yayılan potansiyel patlayıcı atmosferler için iki ana çeşit vardır [6]:

- Momentum salım jeti,
- Pasif bulut.

Gerçek hayattaki uygulamalar için, sadece tek bir formda salımın gerçekleşmesi çok zordur. Genellikle, yaygın olan bazı faktörlere bağlı olarak (jet momentumu veya rüzgâr) bu iki mekanizma birlikte gerçekleşmektedir [6]. Bu yüzden, hızlı bir değerlendirme yapabilmek amacıyla, bazı basit kılavuzlara ihtiyaç vardır. Her durumda noktasal bir salım kaynağından yayılan potansiyel patlayıcı ortamlar genellikle radyal genişleme açısından daha büyük veya daha küçük açığa sahip konik bir şekle sahip olacaktır. EN 60079-10-1:2015 ve CEI 31-35 uygulama kılavuzuna göre; V_z hacminin hesaplaması yapıldıktan sonra özellikle ses hızında (sonic) ve ses altında

(subsonic) boşalma mevcut ise bu durumda hesaplamaların iki şekilde yapılması gerekmektedir [6]:

Tehlikeli alan mesafesinin (d_z) hesaplanması;

Gaz veya sıvı boşalması düşük hızda ise ($u_0 < 10$ m/s) Eş. 9 kullanılmalıdır;

$$d_z = k_z x \left(\frac{42300 x Q_g x f_{se}}{M x k_{dz} x LEL_v x w} \right)^{0.55} \quad (9)$$

Gaz veya sıvı boşalması yüksek hızda ise ($u_0 \geq 10$ m/s) Eş. 10 kullanılmalıdır.

$$d_z = \frac{1650}{k_{dz} x LEL_v} x (P x 10^{-5})^{0.5} x M^{-0.4} x A^{0.5} \quad (10)$$

Diğer bir durumda ise; türbülanslı yüksek bir akışa sahip değil ise ve debisi Q_g biliniyorsa Eş. 11 kullanılmalıdır;

$$d_z = 50 x \frac{M^{-0.65}}{k_{dz} x LEL_v} x \left(\frac{Q_g}{\rho x c} \right)^{0.5} x \left[\gamma x \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^\beta \right]^{-0.25} x T^{0.25} \quad (11)$$

Türbülanslı yüksek bir akışa sahip değil ise ve rüzgâr hızı 2.5 m/s'den büyük değil ise Eş. 12 kullanılmalıdır;

$$d_z = k_z x (p_v x 10^{-5})^a x M^b x (k_{dz} x LEL)^c x A^d x (4 - w_a) \quad (12)$$

Tehlikeli alan mesafesinin hesaplanması için kullanılan eşitlik için gerekli üs değerlerinin belirlenmesi oldukça önemlidir.

Yanıcı maddelerin geneli için, k_z katsayısı 1 alınabilir, ancak çok küçük molekül kütlesi (M) durumunda veya artan kimyasal konsantrasyonu $\%X_m$ ile k_z artar ve Eş. 13 ile hesaplama yapılabilir [6];

$$k_z = 0.9 x 10^{\left(\frac{\%X_m}{k x LEL_v} \right)} \quad (13)$$

Sıvılar ve açık alanlar için k_z 'nin genellikle 1 alınması CEI 31-35 uygulama kılavuzunda önerilmektedir [6].

3 Bulgular ve tartışma

Faaliyet alanı kompozit panel üretimi olan işletmede Alüminyum Bobin Boyama hattı ve bu hattı besleyen boya üretim hattı bulunmaktadır. Kompozit paneller boyahane bölümünde sıvı boyalar ile boyanmaktadır.

Zone (bölge) hesaplamaları, ulusal mevzuat dikkate alınarak EN 60079 standardının da atıf yaptığı İtalya'nın ulusal uygulama kılavuzu dikkate alınarak yapılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan işyerinde kullanılan tehlikeli sıvı kimyasalların özelliklerine ilişkin veriler işyerinde mevcut güvenlik bilgi formlarından elde edilerek Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. İşyerindeki yanıcı kimyasallara ait bilgiler.

Table 1. Information on flammable chemicals in the workplace.

| Kimyasal Ticari Adı | Parlama Noktası (°C) | LEL | Yoğunluk (kg/m ³) | Buhar Basıncı (Pa) | Kaynama Noktası (°C) |
|------------------------|----------------------|-----|-------------------------------|--------------------|----------------------|
| Epoksi Backcoat-Beyaz | 19 | 1.4 | 1.42 | 110 | 136 |
| DT 101-Temizlik Tineri | 4 | 1.2 | 0.87 | 2900 | 108 |

İşyerinde bulunan malzeme güvenlik bilgi formlarında Epoksi Backcoat-Beyaz kimyasalının içeriği ve yüzde oranları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. İşyerindeki Epoksi Backcoat-Beyaz yanıcı kimyasalın içeriği.

Table 2. The contents of the Epoxy Backcoat-White flammable chemical used in the workplace.

| Kimyasal İçerik | % |
|--------------------------------|---------|
| 4-hidroksi-4-metilpentan-2-on | 10-25 |
| Ksilen | 2.5-10 |
| Hidrokarbonlar, C9 aromatikler | 2.5-10 |
| 1-metoksi-2-propanol | 2.5-10 |
| 2-metoksi-1-metiletilasetat | 0.1-2.5 |
| 2-metilpropan-1-ol | 0.1-2.5 |
| Etilbenzen | 0.1-2.5 |
| Bütanon | 0.1-2.5 |

Boyahane bölümüne ait tespitler 3 ana bölümde değerlendirilmiştir. Bölüm 1'de merdaneli boya makinesinin bulunduğu alan, Bölüm 2'de boya makinelerinin tavaları ve Bölüm 3'te tiner varillerinin bulunduğu alan için hesaplamalar yapılmıştır.

3.1 Bölüm 1 için zone hesaplamaları (zone calculation for department 1)

Astar boya uygulama odasında yer alan Bölüm 1'de Şekil 1'de gösterilen merdaneli boya makinesi vardır. Burada sıvı kimyasal IBC'den (Intermediate Bulk Container) pompa yardımıyla merdaneli yüzeye basılmaktadır. IBC, akıcı ve sert maddelerin depolanması ve taşınması için kullanılan konteynerlere verilen genel bir adlandırmadır. Pompanın basıncı 6 bar'dır. Bu alandaki ekipmanlar exproof özelliktedir ve yangın söndürme tüpü bulunmaktadır. Bölüm 1 girişinde statik elektrik levhası bulunurken gaz kaçağını algılayacak dedektör yoktur.



Şekil 1. Merdaneli boya makinesi.

Figure 1. Paint machine.

1 No.lu uygulamada merdanelere basınçlı boya püskürten pompa boşalma kaynağı olarak tespit edilmiştir. Bu kapalı alanda bulunan pompanın bulunduğu alanın eni 5.9 m, boyu 6.2 m, yüksekliği ise 4 m'dir. Boşalma kaynaklarından yanıcı kimyasal sıvı astar boya boşalması sonucu buharlaşabilen bir havuz oluşacağı ve bu havuzun da bir patlayıcı gaz ortamı oluşturma tehlikesi olduğu değerlendirilerek oluşabilecek tehlikeli bölgenin türü ve boyutu (yarıçapı) tespit edilmiştir.

Uygulamanın ilk bölümünde kullanılan astar boyanın fiziksel ve kimyasal bilgileri ile havalandırma ve sıcaklık bilgileri Tablo 3'te ayrıntılı olarak verilmiştir. Gerçek havalandırma debisi $6.586 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak hesaplanmış ve ortam sıcaklığı 293.15 K olarak ölçülmüştür. Yine aynı tabloya boşalma kaynağı ve boşalma derecesinin bilgileri de eklenmiştir.

Hesaplamaların temelini öncelikle sıvı boşalma hızının tespiti ve sonrası oluşacak buharlaşabilen havuzdan gaz salınımına ilişkin gaz boşalma hızının tespiti oluşturmaktadır. Başlıca bu değerler ve hesaplama tablosunda yer alan diğer değerler kullanılarak ortamdaki muhtemel patlayıcı hacim, arka plan yoğunluğu tespit edilmiş sonrasında havalandırma derecesi ve kullanılabilirliği de kıymetlendirilerek bölge sınıfı ve bölge boyutu belirlenmiştir. Tablo 4'te uygulamalara ilişkin veriler ve hesaplama sonuçları yer almaktadır. Göletten spesifik buharlaşma hızı $2.685 \times 10^{-6} \text{ kg/s m}^2$, havuzdan buharlaşma oranı 2.097×10^{-4} olarak belirlenmiştir. Hesaplamalar sonucunda oluşabilecek patlayıcı ortam Bölge 1+ Bölge 2 karışımı olarak belirlenmiş ve bölge büyüklüğü 1.65 m olarak hesaplanmıştır.

3.2 Bölüm 2 için zone hesaplamaları (zone calculation for department 2)

Astar boya uygulama odasında yer alan bu alanda Şekil 2'de verilen merdaneli boya makinesi tavalarından buharlaşma olmaktadır. Bu alanda 1 adet emniyet tahliye vanası bulunmaktadır.



Şekil 2. Merdaneli boya makinesi tavaları.

Figure 2. Dye pans of the paint machine.

Tablo 3. Fiziksel, kimyasal, havalandırma ve sıcaklık bilgileri ile boşalma kaynağı ve derecesinin bilgileri.

Table 3. Information on the physical conditions, chemicals, ventilation, temperature, source of release and grade of release.

| Fiziksel ve Kimyasal Bilgiler | | Havalandırma ve Sıcaklık Bilgileri | |
|---|------------------------|---|------------------------|
| Kimyasal Adı | Astar boya | Gerçek havalandırma debisi, Q_0 (m^3/s) | 6.586 |
| Kimyasal Fazı | Sıvı | Hacim, V_0 (m^3) | 145.35 |
| Kaynama noktası ($^{\circ}\text{C}$) | 136 | Hava değişimi sayısı, C_0 (birim/s) | 4.531×10^{-2} |
| Buhar basıncı (P_v) (Pa) | 110 | Ortam sıcaklığı, T (K) | 293.15 |
| Parlama noktası ($^{\circ}\text{C}$) | 19 | Başlangıç boşalma konsantrasyonu, X_0 | 5.428×10^{-2} |
| Molekül kütlesi (kg/kmol) | 106.2 | Dökülmenin etkisizleştirilme süresi, t (s) | 2700 |
| Alt patlayıcılık sınırı, LELv | 1.4 | Boşalma Kaynağı ve Derecesinin Belirlenmesi | |
| LELm | 6.183×10^{-2} | Tespit | Pompa |
| Emniyet faktörü, k | 0.25 | Boşalma derecesi | Ana (birincil) |
| Kalite faktörü, f_{SE} | 1 | Kesit alanı (mm^2) | 5 (CEI 31-35) |

Tablo 4. Uygulama 1 için veriler ve hesaplama sonuçları.

Table 4. Data for Application 1 and results of calculations.

| Uygulama Verileri ve Hesaplama Sonuçları | | | |
|---|----------------|---|---------------------------------------|
| Sıvının boşalma hızı, Q_1 (kg/s) | 0.1238 | Boşalma hızı (m/s) | $U_0 < 10$ |
| Min. kuramsal havalandırma debisi, Q_{amin} (m^3/s) | 0.01358 | Kaçışa müdahale süresi t_p (s) | 5400 (genel gözetim) |
| Potansiyel patlayıcı ortamın kalıcılık süresi t (s) | 1 | Sıvı göleti derinliği hm (m) | 5×10^{-3} (zemin gözeneksiz) |
| Gerçek patlayıcı karışım hacmi, V_{ex} (dm^3) | 74.9 | Göletten spesifik buharlaşma hızı Q_{gs} ($\text{kg}/\text{s m}^2$) | 2.685×10^{-6} |
| Sızıntı süresi t (sa.) | 2.25 | Havuzdan buharlaşma oranı Q_g | 2.097×10^{-4} |
| Zone Sınıfı | Zone 1+ Zone 2 | k_{dz} | 0.5 |
| Genel havalandırma debisi (m^3/s) | 6.586 | Zone büyüklüğü(m) | 1.65 |

2 No.lu uygulamada makine tavalarındaki emniyet tahliye vanası boşalma kaynağı olarak tespit edilmiştir. Bu kapalı alanda bulunan makine tavalarındaki buharlaşma için hesaplama yapılmıştır. Kimyasal özellikleri ve kapalı alan bilgileri uygulama 1 ile aynıdır (Tablo 3). Havalandırma ve sıcaklık ile ilgili bilgiler Tablo 5'te verilmiştir. Yine aynı tabloya boşalma kaynağı ve boşalma derecesinin bilgileri de eklenmiştir. İncelenen bu ortamda gerçek havalandırma debisi 6.821 m³/s olarak hesaplanmış ve ortam sıcaklığı 293.15 K olarak ölçülmüştür.

Tablo 5. Uygulama 2 için havalandırma ve sıcaklık bilgileri ile boşalma kaynağı ve derecesinin bilgileri.

Table 5. Information on ventilation, temperature, source of release and grade of release for Application 2.

| Havalandırma ve Sıcaklık Bilgileri | |
|---|------------------------|
| Gerçek havalandırma debisi, Q_0 (m ³ /s) | 6.821 |
| Hacim, V_0 (m ³) | 145.35 |
| Hava değişimi sayısı, C_0 (birim/s) | 4.693x10 ⁻³ |
| Ortam sıcaklığı, T (K) | 293.15 |
| Başlangıç boşalma konsantrasyonu, X_0 | 5.428x10 ⁻² |
| Dökülmenin etkisizleştirilme süresi, t (s) | 2700 |
| Boşalma Kaynağı ve Derecesinin Belirlenmesi | |
| Tespit | Açıklık/Yükleme kapağı |
| Boşalma derecesi | Tali (ikincil) |
| Kesit alanı (mm ²) | 0.1 (CEI 31-35) |

Uygulama 2'de makine tavalarındaki buharlaşmaya ait veriler kullanılarak bölge sınıfı ve bölge boyutu belirlenmiştir. Tablo 6'da uygulama 2'ye ilişkin veriler ve hesaplama sonuçları yer almaktadır. Göletten spesifik buharlaşma hızı 2.781x10⁻⁶ kg/s m², havuzdan buharlaşma oranı 6.321x10⁻⁵ olarak belirlenmiştir. Hesaplamalar sonucunda oluşabilecek patlayıcı ortam Bölge 1+ Bölge 2 karışımı olarak belirlenmiş ve bölge büyüklüğü 1.65 m olarak hesaplanmıştır. Böyle bir çalışma ortamında alevlenebilir gaz veya tehlikelerinin ortaya çıkabileceği alanların hesaplanması ve bu ekipmanların tehlikeli alanlarda kullanılması için uygun bir şekilde seçilmesi ve tesis edilmesi iş sağlığı ve güvenliğinin proaktif yaklaşımı açısından oldukça önemlidir. Çoğu durumlarda yangınlar ve patlamalar önemli ekonomik ve sosyal etkilerle hasara neden olduğundan, bu tehlikeleri önlemek için uygun önlemler alınmalıdır. Bu önlemler, patlayıcı atmosferlerin önlenmesini, ardından tutuşturucu kaynakların oluşumunu önlemeyi ve ardından patlamaların etkilerini sınırlamayı amaçlamaktadır [11].

3.3 Bölüm 3 için zone hesaplamaları (zone calculation for department 3)

Asma boya katında bulunan Bölüm 3'te uygulama 3 için Şekil 3'te görülen 1 adet temizlik tineri varili (sağdaki) bulunmaktadır. Tiner varilinde 1 adet DN 150 numune alma vanası mevcuttur. Alan bilgileri için, en 14.5 m, boy 135 m ve yükseklik 11 m olarak belirlenmiştir.

Tablo 6. Uygulama 2 için veriler ve hesaplama sonuçları.

Table 6. Data for Application 2 and results of calculations.

| Uygulama Verileri ve Hesaplama Sonuçları | | | |
|---|----------------|---|---------------------------------------|
| Sıvının boşalma hızı, Q_1 (kg/s) | 0.0354 | Boşalma hızı (m/s) | $U_0 < 10$ |
| Min. kuramsal havalandırma debisi, Q_{amin} (m ³ /s) | 0.00205 | Kaçığa müdahale süresi t_p (s) | 5400 (genel gözetim) |
| Potansiyel patlayıcı ortamın kalıcılık süresi t (s) | 1 | Sıvı göleti derinliği hm (m) | 5x10 ⁻³ (zemin gözeneksiz) |
| Gerçek patlayıcı karışım hacmi, V_{ex} (dm ³) | 21.8 | Göletten spesifik buharlaşma hızı Q_{gs} (kg/s m ²) | 2.781x10 ⁻⁶ |
| Sızıntı süresi t (saat) | 2.25 | Göletten buharlaşma oranı Q_g | 6.321x10 ⁻⁵ |
| Zone Sınıfı | Zone 1+ Zone 2 | k_{dz} | 0.75 |
| Genel havalandırma debisi (m ³ /s) | 6.821 | Zone büyüklüğü(m) | 1.65 |



Şekil 3. Temizlik tineri varili (sağda).

Figure 3. Cleaning thinner barrel (right).

3 No.lu uygulamada temizlik tineri varilinden numune alma vanası boşalma kaynağı olarak tespit edilmiştir. Bu kapalı alanda bulunan vananın bulunduğu alanın eni 14.5 m, boyu 135 m ve yüksekliği ise 11 m'dir. Boşalma kaynaklarından temizlik tinerinin boşalması sonucu patlayıcı gaz ortamı oluşturma tehlikesi olduğu değerlendirilerek oluşabilecek tehlikeli bölgenin türü ve boyutu (yarıçapı) tespit edilmiştir.

Uygulamanın üçüncü bölümünde kullanılan tinerin fiziksel ve kimyasal bilgileri ile havalandırma ve sıcaklık bilgileri Tablo 7'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Yine aynı tabloya boşalma kaynağı ve boşalma derecesinin bilgileri de eklenmiştir. İncelenen bu çalışma ortamında gerçek havalandırma debisi 15.95 m³/s olarak hesaplanmış ve ortam sıcaklığı 293.15 K olarak ölçülmüştür. İşletmelerde patlayıcı

ortamların oluşmaması için sistematik bir yaklaşım gerekmektedir. Bu yaklaşımda öncelikle patlayıcı buharların bulunabileceği yerlerin tespit edilmesi önemlidir. İşletmelerde kullanılan buharların patlayıcı özelliklerinin anlaşılması ve normal veya anormal koşullarda bulunabilecek potansiyel ateşleme kaynaklarının tespiti oldukça önemlidir [12].

Hesaplamaların temelini öncelikle sıvı boşalma hızının tespiti ve sonrası oluşacak buharlaşabilen havuzdan gaz salınımına ilişkin gaz boşalma hızının tespiti oluşturmaktadır. Başlıca bu değerler ve hesaplama tablosunda yer alan diğer değerler kullanılarak ortamdaki muhtemel patlayıcı hacim, arka plan yoğunluğu tespit edilmiş sonrasında havalandırma derecesi ve kullanılabilirliği de kıymetlendirilerek bölge sınıfı ve bölge boyutu belirlenmiştir. Tablo 8'de uygulamalara ilişkin veriler ve hesaplama sonuçları yer almaktadır. Göletten spesifik buharlaşma hızı 2.225×10^{-5} kg/s m², göletten buharlaşma oranı 9.889×10^{-5} olarak belirlenmiştir. Hesaplamalar sonucunda oluşabilecek patlayıcı ortam Bölge 1+ Bölge 2 karışımı olarak belirlenmiş ve bölge büyüklüğü 1.93 m olarak hesaplanmıştır. İncelen üç farklı iş ortamı içerisinde bölge büyüklüğü en yüksek Bölüm 3'te hesaplanmıştır.

İşletmelerde patlayıcı ortam oluşumunun değerlendirilmesi, herhangi bir ekipman veya sistem potansiyel olarak patlayıcı

bir atmosfer oluşturabildiğinde gereklidir. Bu değerlendirmenin yapılabilmesi için alan sınıflandırması (Bölge I, II ve III) ve tutuşma kaynağının tanımlanması oldukça önemlidir. Ayrıca tehlikeli maddeler içeren tesisler ve ekipman üzerindeki birçok işlem operatörler tarafından yapıldığı için insan ve organizasyonel faktörlerin göz önünde bulundurulması da gerekmektedir [13].

Patlayıcı bir atmosferin çeşitli türlerde yanıcı gazlar, buharlar veya tozlar içerdiği durumlarda, koruma önlemleri olası en yüksek tehlikeye uygun olmalıdır. Bununla birlikte; işverenler, işyerinde yangın ve patlamaların oluşması/yayılmasını önlemek amacıyla, bunları tetikleyecek tehlikeleri tespit ederek işyerinde oluşan tehlikeli atmosferlerin oluşmaması için tedbirler almak zorundadır. İşyerinde meydana gelen tehlikeli durumlarda derhal ve güvenli bir şekilde işyerinden ayrılmasını sağlamak amacıyla uygun kurtarma ve kaçış planlarını da yapmalıdır [14]. Bu amaçla işyerinde acil durum planları hazırlanmalı, acil durum önleyici ve sınırlayıcı tedbirler, müdahale çalışmaları planlanmalı, tatbikatlar yapılmalı, arama-kurtarma ve ilk yardım ekiplerinin organizasyonu yapılmalı, eğitimler verilmeli ve müdahale için gerekli ekipmanlar hazır ve ulaşılabilir halde bulundurulmalıdır [15].

Tablo 7. Fiziksel, kimyasal, havalandırma ve sıcaklık bilgileri ile boşalma kaynağı ve derecesinin bilgileri.

Table 7. Information on the physical conditions, chemicals, ventilation, temperature, source of release and grade of release.

| Fiziksel ve Kimyasal Bilgiler | | Havalandırma ve Sıcaklık Bilgileri | |
|-------------------------------|----------------------|---|------------------------|
| Kimyasal Adı | Temizlik tineri | Gerçek havalandırma debisi, Q_0 (m ³ /s) | 15.95 |
| Kimyasal Fazı | Sıvı | Hacim, V_0 (m ³) | 21532.5 |
| Kaynama noktası (°C) | 108 | Hava değişimi sayısı, C_0 (birim/s) | 7.407×10^{-4} |
| Buhar basıncı (P_v) (Pa) | 2900 | Ortam sıcaklığı, T (K) | 293.15 |
| Parlama noktası (°C) | 4 | Başlangıç boşalma konsantrasyonu, X_0 | 1.431 |
| Molekül kütlesi (kg/kmol) | 92.1 | Dökülmenin etkisizleştirilme süresi, t (s) | 2700 |
| Alt patlayıcılık sınırı, LELv | 1.2 | Boşalma Kaynağı ve Derecesinin Belirlenmesi | |
| LELm | 4.6×10^{-2} | Tespit | Dreyin Vanası |
| Emniyet faktörü, k | 0.50 | Boşalma derecesi | Tali (ikincil) |
| Kalite faktörü, f_{SE} | 1 | Kesit alanı (mm ²) | 0.1 (CEI 31-35) |

Tablo 8. Uygulama 3 için veriler ve hesaplama sonuçları

Table 8. Data for Application 3 and results of calculations.

| Uygulama Verileri ve Hesaplama Sonuçları | | | |
|---|----------------|---|---------------------------------------|
| Sıvının boşalma hızı, Q_1 (kg/s) | 0.0365 | Boşalma hızı (m/s) | $U_0 < 10$ |
| Min. kuramsal havalandırma debisi, Q_{amin} (m ³ /s) | 0.0043 | Kaçışa müdahale süresi t_p (s) | 5400 (genel gözetim) |
| Potansiyel patlayıcı ortamın kalıcılık süresi t (s) | 1173 | Sıvı göleti derinliği hm (m) | 5×10^{-3} (zemin gözeneksiz) |
| Gerçek patlayıcı karışım hacmi, V_{ex} (dm ³) | 2904 | Göletten spesifik buharlaşma hızı Q_{gs} (kg/s m ²) | 2.225×10^{-5} |
| Sızıntı süresi t (saat) | 2.58 | Göletten buharlaşma oranı Q_g | 9.899×10^{-5} |
| Zone Sınıfı | Zone 1+ Zone 2 | k_{dz} | 0.75 |
| Genel havalandırma debisi (m ³ /s) | 15.95 | Zone büyüklüğü(m) | 1.93 |

4 Sonuçlar

Patlayıcı ortam oluşturma ihtimali olan yanıcı maddelerin kullanıldığı işyerlerinde patlama önleme ve patlamadan korunma çalışmalarının yürütülmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmalar yürütülürken öncelikli olarak olası boşalma kaynakları tespit edilmeli, boşalma dereceleri belirlenmeli,

boşalma oranları hesaplanmalı ve havalandırma ile ilgili değerlendirmeler de yapılarak olası tehlikeli bölge tipleri ve bölge boyutları belirlenmelidir. Bu çalışmada, bir boyahane sıvı boşalması sonucu oluşacak sıvı havuzlarına ilişkin bir gaz/buhar patlamasına sebep olabilecek patlayıcı ortamlar değerlendirilmiştir. Değerlendirme yapılırken TSE EN 60079-10-1 standardı ve bu standardın uygulanmasının kısıtlı olduğu

durumlarda CEI 31-35 kullanılarak tehlikeli bölge türü ve boyutu belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda incelenen alanlarda başlıca Bölge 1 ve Bölge 2 olduğu gözlemlenmiştir. Tehlikeli bölge boyutları ise uygulama 1, uygulama 2 ve uygulama 3 için sırasıyla 1.65 m, 1.65 m ve 1.93 m olarak bulunmuştur. Bu çalışma yapıldıktan sonra standart güncellenmiştir (TS EN IEC 60079-10-1). Bir sonraki çalışmamızda güncel standart kullanılarak hesaplamalar gerçekleştirilecek ve bu çalışmada yapılan hesaplamalarla karşılaştırılacaktır. Bu sebeple bu çalışmadan elde edilen veriler sonraki çalışmalara da kaynak olacaktır.

5 Conclusions

It is of great importance to carry out explosion prevention and explosion protection studies in workplaces where flammable materials that may form an explosive atmosphere are used. While conducting these studies, first of all, possible sources of release should be determined, grades of release should be determined, release rates should be calculated, and types and extents of dangerous zones should be determined by considering effectiveness and availability of ventilation. In this study, explosive atmospheres that may cause a gas / vapor explosion related to liquid pools that will occur as a result of liquid discharge in a paintshop are evaluated. During the evaluation, types and extents of the dangerous zones were determined using the TSE EN 60079-10-1 standard and CEI 31-35 in cases where the application of TSE EN 60079-10-1 is limited. As a result of the studies carried out, it was observed that the areas examined were mainly Zone 1 and Zone 2. Extents of the dangerous zones were found as 1.65, 1.65 and 1.93 meters for application 1, application 2 and application 3, respectively. After this study was performed, the standard was updated (TS EN IEC 60079-10-1). In our next study, calculations will be performed using the current standard and will be compared with the calculations made in this study. For this reason, the data obtained from this study will be a source for future studies.

6 Yazar katkı beyanı

Bu çalışmada Okan DUMAN fikrin oluşması, literatür taraması, verilerin toplanması ve analizinin yapılmasında; Fatma OĞUZ ERDOĞAN literatür taraması, verilerin analiz edilmesi, makalenin yazımı ve sonuçların değerlendirilmesi kısımlarında katkı sunmuşlardır.

7 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

"Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur".
"Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır".

8 Kaynaklar

- [1] T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. "İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu". <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=6331&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5> (30.06.2012).
- [2] Türk Standartları Enstitüsü. "Patlayıcı Gaz Atmosferler". Ankara, Türkiye, TS EN 60079-10-1:2009, 2011.
- [3] Tommasini R. "The classification of hazardous areas where explosive gas atmospheres may be present". *Safety Science*, 58, 53-58, 2013.
- [4] Miranda JT, Camacho EM, Formoso JAF, García JDR. "Comparative study of the methodologies based on Standard UNE 60079/10/1 and computational fluid Dynamics (CFD) to determine zonal reach of gas-generated Atex explosive atmospheres". *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26, 839-850, 2013.
- [5] Tommasini R, Pons E, Palamara F. "Area classification for explosive atmospheres: comparison between European and North American approaches". *IEEE Transactions on Industry Applications*, 50(5), 3128-3134, 2014.
- [6] Comitato Elettrotecnico Italiano. "Patlayıcı Ortamları Sınıflandırma Kılavuzu". Milano, Italiano, CEI 31-35, 2011.
- [7] Bariha N, Mishra IM, Srivastava VC. "Fire and explosion hazard analysis during surface transport of liquefied petroleum gas (LPG): A case study of LPG truck tanker accident in Kannur, Kerala, India". *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 40, 449-460, 2016.
- [8] Dufaud O, Perrin L, Traore M, Chazelet S, Thomas D. "Explosions of vapour/dust hybrid mixtures: A particular class". *Powder Technology*, 190, 269-273, 2009.
- [9] Costin NS. "Numerical simulation of detonation of an explosive atmosphere of liquefied petroleum gas in a confined space". *Defence Technology*, 10, 294-297, 2014.
- [10] Akboğa-Kale Ö, Güranlı GE, Baradan S. "Kentsel dönüşüm sürecinde asbest maruziyeti ve korunma yöntemleri". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(6), 694-706, 2017.
- [11] Gabor D, Radu SM, Ghicioi E, Paraian M, Jurca AM, Vatavu N, Paun F, Popa CM. "Study of methods for assessment of the ignition risk of dust/air explosive atmospheres by electrostatic discharge". *Quality-Access to Success*, 20, 93-99, 2019.
- [12] Ebadat V. "Dust explosion hazard assessment". *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 23, 907-912, 2010.
- [13] Geng J, Mure S, Demichela M, Baldissoni G. "ATEX-HOF Methodology: Innovation driven by human and organizational factors (HOF) in explosive atmosphere risk assessment". *Safety*, 6(5), 1-23, 2020.
- [14] Burduhos-Nergis DP, Bejinariu C, Toma SL, Tugui AC, Baci ER. "Carbon steel carabiners improvements for use in potentially explosive atmospheres". *MATEC Web of Conferences*, Petrosani, Hunedoara, Romania, 3 October 2019.
- [15] Yüksel M, Sandal A, Kalyoncu AF. *Büyük Endüstriyel Kazalar ve Terör Saldırılarının Sağlık Sonuçları*. Editörler: Yıldız AN, Sandal A. İş Sağlığı ve Güvenliği Meslek Hastalıkları, 611-617, Ankara, Türkiye, Hacettepe Üniversitesi Yayınları, 2020.
- [16] T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. "Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik". <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=18335&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5> (30.04.2013).