



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Yanıcı, Patlayıcı Kimyasalların Oluşturacağı Tehlikeli Bölgelerin Hesaplanarak Risklerin Değerlendirilmesi, Amonyak Tankı Örneği

Bülent BÜYÜKKIDAN^a, Ömer Ahmet USLU^a, Hüseyin GÜMÜŞ^{b*}

^a*Kimya Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, TÜRKİYE*
^b*İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, Osmaniye Meslek Yüksekokulu, Bilecik Ş.E. Üniversitesi, Bilecik, TÜRKİYE*

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: huseyin.gumus@bilecik.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1030485

Öz

Patlayıcı ve yanıcı özellikteki maddelerin ortama sızması sonucunda oluşabilecek tehlikeli bölgelerin bilimsel yöntemle ve nicel değerlerle belirlenmesi, çalışma ortamının güvenliği için son derece önemlidir. Bu çalışmada bir işletmede bulunan amonyak tankının alt çıkışında ve bağlantılarında oluşabilecek sızıntı ihtimalleri değerlendirilerek, muhtemel patlayıcı bölgelerin sınırları ALOAH programında, patlayıcı bölgelerin sınıflandırılması standardına (TS 60079-10-1) göre yapılmıştır. Amonyak tankının pompa ve alt bağlantı flanşlarından meydana gelebilecek tali boşalmanın karakteristiği sırasıyla 24,64 ve 10,36 m³/s, bölge yarıçapları 14 ve 7 m olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplama ve değerlendirmeler sonucunda oluşacak patlayıcı ortamın Bölge 1 tanımına uyduğu bulunmuştur. L-tipi matris sistemi kullanılarak, haftada bir patlama ihtimalinin oluşabileceği (3P) ve ciddi yaralanmalara (4P) sebep olabileceği düşünülerek risk derecesi 12 olarak hesaplanmıştır. ATEX hesaplamalarının ortam risklerinin nicel olarak tanımlanmasında ve gereken önlemlerin zamanında alınmasında faydalı olduğu anlaşılmaktadır. Ancak bu hesaplamaların farklı iş yerinde her bir patlayıcı kimyasala özgü yapılması halinde riskleri belirlemede etkili olacağı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Patlayıcı kimyasallar, ATEX, Tehlikeli ortam, LPG, İSG

Evaluation of Risks by Calculating Dangerous Areas to be Created by Flammable and Explosive Chemicals, Example of Ammonia Tank

ABSTRACT

It is extremely important for the safety of the working environment to determine the dangerous areas that may occur as a result of the leakage of explosive and flammable substances into the environment with scientific method and quantitative values. In this study, the leakage possibilities that may occur at the bottom outlet and connections of the ammonia tank in an enterprise were evaluated, and the boundaries of the possible explosive zones were determined in the ALOAH program, according to the classification of explosive zones standard (TS 60079-10-1). The characteristics of secondary discharge that may occur from the pump and lower connection flanges of the ammonia tank are calculated as 24.64 and 10.36 m³/s, region radii of 14 and 7 m, respectively. As a result of the calculations and evaluations, it was found that the explosive atmosphere to be formed complies with the definition of Zone 1. Using the L-type matrix system, the risk value was calculated as 12, considering that there is a possibility of explosion once a week (3P) and serious injuries (4P). It is understood that ATEX calculations are useful in

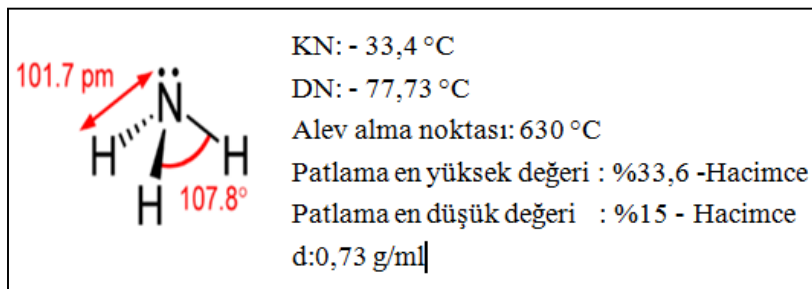
quantitatively defining the environmental risks and taking the necessary precautions in a timely manner. However, it has been concluded that these calculations will be effective in determining the risks if they are made specific to each explosive chemical in different workplaces.

Keywords: Explosive chemicals, ATEX, Hazardous environment, LPG, OHS

I. GİRİŞ

Normal şartlarda veya daha yüksek sıcaklıklarda buharlaşabilen sıvıların kullanıldığı endüstriyel sektörlerde kolayca yangın ve patlama tehlikesi oluşmaktadır. Kimyasalların depolanması ve kullanımı sırasında buldukları kaplardan veya vanalardan ortama sızmaları veya dökülmeleri ve sonrasında kıvılcımla buluşmaları patlama veya yanma riski oluşturmaktadır. Ortama sızan madde ile uygun oranda karışan oksijen yanma veya patlamanın oluşmasına neden olur. Yine de yanma veya patlama için gerekli şart, oksijen ile uygun oranda karışmış yanıcı maddenin kıvılcımla etkileşmesidir. Yanıcı madde miktarının hava ve yanıcı maddenin toplam kütlelerine oranı patlayıcı kimyasalın alevlenme veya patlama değeri olarak tanımlanmıştır [1,2]. Etrafa sızan yanıcı madde hava ile uygun karışım oluşturmuş ancak kıvılcımla buluşmamışsa buna patlayıcı atmosfer denir. Bu atmosferin ateşleme kaynağı ile buluşması ile oluşan ani yanma olayı, önemli zararlara neden olabilir. Bununla ilgili yapılan çalışmalardan bazılarında CO/H₂/N₂/hava karışımının alevlenme davranışlarının kısmi oksijen varlığında incelenmesi [3,4], inert gaz eklenmiş çeşitli hidrokarbonların alevlenme davranışlarının incelenmesi [5], hidrojen katılmış doğal gazın patlama limitlerinin araştırılması örnek verilebilir [6]. Tehlikeli atmosferin yanması-patlama sonucu oluşan gazlar f, yüksek basınca sahiptir. Bu basıncın etkisi ile etraftaki yapılar zarar görebilir ve ciddi hasara hatta yaralanma ve ölümlere yol açabilir. 21 kişinin ölümüne ve 117 kişinin ağır yaralanmasına neden olan 2008 yılında İstanbul Davutpaşa sanayi sitesindeki patlama, 2 kişinin ölümü 2 kişinin yaralanmasıyla sonuçlanan İstanbul Tuzla'da 2011 yılında epoksi reçine reaktörünün patlaması, 11 Ekim 2017'de Tüpraş İzmir rafinerisinde hava ile uygun karışım oluşturan nafta buharının ateş kaynağı ile birleşmesi sonucu meydana gelen patlama ve oluşan büyük hasar bunlara örnektir [7]. Genellikle sanayi faaliyetlerinde sıklıkla kullanılan ve ortama sızması sonucu tehlikeli ortam oluşturan kimyasallardan bazıları metan, propan, bütan, hidrojen, asetilen ve bunların birbiri içindeki belirli orandaki karışımlarıdır. Her kimyasalın patlaması veya yanması için farklı oranda oksijenle karışım oluşturmaları gerekir. Metanın patlaması için hava (oksijen kaynağı) ile %5-17'lik bir karışım oluşturmaları gerekirken bu değer asetilen için %3-82 olup asetilenin patlama riskinin daha yüksek olduğuna işaret etmektedir [8]. Ayrıca yanıcı patlayıcı kimyasalların oksijenle oluşturdıkları tehlikeli ortamlar sadece kıvılcım etkisiyle değil, farklı şekilde ısıtılması sonucu da faaliyete geçebilir. Parlama ve tutuşma olarak tanımlanan bu durumlar da ortama sızan kimyasalın oluşturduğu tehlikenin hesaplanmasında dikkate alınmalıdır. Örneğin bu değerler etil alkol için sırasıyla 12,7 (parlama) ve 362,7 °C (tutuşma) olarak kaydedilmiştir. Ortama yayılması sonucu patlayıcı atmosfer oluşturma potansiyeline sahip bir başka önemli endüstriyel kimyasal amonyaktır.

Amonyak, NH₃ kapalı formülüne sahip, bir azot ve üç hidrojen atomunun sp³ hibritleşmesiyle oluşmuş molekül yapısında, renksiz ve keskin kokulu bir gazdır (oda koşullarında) Şekil 1. Amonyakın yapısında OH⁻ iyonu bulunmamasına rağmen suda zayıf baz özelliği göstermektedir ve bu nedenle bronsted-lowry asit-baz tanımına uymaktadır. Amonyak, kovalent bağlı (ametal + ametal) bir bileşiktir. Polar molekül yapısı sayesinde kendi molekülleri arasında ve su molekülleri ile zayıf hidrojen bağı oluşturarak suda yüksek oranda çözünür [9]



Şekil 1. Amonyak molekülünün yapısal gösterimi ve bazı özellikleri

Amonyagin gazlaşma gizli ısı çok yüksektir. Bu nedenle endüstride soğutucu kimyasal olarak da kullanımının yanında; gübre üretimi, boyalarda, parfümlerde, temizlik malzemelerinde, patlayıcılarda, nitrik asitin üretiminde ana veya yan bileşen olarak kullanım alanına sahiptir. Patlayıcı ortam oluşturan gaz ve buharlar dışındaki diğer yanıcı-patlayıcı tehlike grubu ise yanıcı madde tozlarının uygun hava ile oluşturduğu karışımlardır. Kinetik açıdan yapılan tanımlama: tutuşma sıcaklığı 25 mJ'den daha az olan tozlar" olarak belirtilmiştir. Ortamda bulunan nem miktarı ve dış ortam sıcaklığı toz patlama riskini arttırmaktadır [10]. Tutuşma enerjisi 10 mJ den daha düşük tozlar ise en yüksek riskte patlama özelliğine sahip olup, bu tür tozlarla yapılan çalışmalarda uygun koruyucu önlemler alınmalı, yüksek nem oluşturma gibi tedbirler düşünülmelidir. Uygun oranda hava ile karışmış toz ve gazların patlaması elektrik arkları, sürtünme, sıcak alanlar ve durgun elektrik kaynakları ile tetiklenebilmektedir. Bu nedenle belirtilen tehlikelerden korunmak amacıyla Avrupa birliği direktifi ATEX 95 uygulamaya konulmuştur. ATEX aynı isimle Türkçeye çevrilerek mevzuatımıza girmiştir [11]. ATEX 137 ya da ATEX İşyeri direktifi 99/92/EC sayılı standart olup, patlayıcı ortamların olduğu yerlerde işçilerin korunması için alınması gereken güvenlik önlemlerini içerir. 30.04.2013 tarih ve 28633 sayılı; "Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik" bu direktife istinaden oluşturulmuştur [12]. 94/9/EC kodlu ATEX 95 düzenlemesi koruyucu ekipman olarak adlandırılmaktadır ve Resmi gazetede 30.12.2006 tarih ve 26392 Sayılı "Muhtemel Patlayıcı Ortamda Kullanılan Teçhizat ve Koruyucu Sistemler İle İlgili (94/9/AT) yönetmelik" in dayanağını oluşturur (Resmi Gazete, 2016). Ancak ATEX 137 de ve ilgili yönetmeliklerde yanıcı-patlayıcı atmosferin içeriği ile ilgili kesin bir tanım yoktur. Genel anlamda: 0,8-1.1 bar değerlerindeki basınç şartları ve -20 °C ile + 60°C arasında karışım sıcaklığı atmosferik şartlar olarak adlandırılmaktadır [13]. Tehlikeli ortamların şartlarının bilinmesi ve kontrol altına alınması güvenli çalışma ortamı için gereklidir. TS 60079-10-1 standardında patlama riski bulunan ortamlar belirli kriterlere göre gruplara ayrılmaktadır. Bu kriterlerin başında tehlikeli ortamın varlığını devam ettirme süresi gelmektedir. Gaz ve buharlar için Bölge0, 1, 2 tozlar için Bölge20, 21, 22 olarak en tehlikeliden daha az tehlikeliye doğru adlandırılmaktadır [10].

Patlayıcı kimyasalların oluşturacağı tehlikeli ortamlar her zaman, ara sıra ve nadiren oluşan olmak üzere üç ana grupta incelenmektedir. Kaçınılmaz olarak kullanılmakta olan ve hava ile karışarak patlama veya yanma riski oluşturan kimyasalların oluşturacağı tehlikeli ortamların tanımlanması ve önlem alınması güvenli çalışma ortamı açısından gereklidir. En etkili önlem elbette bu gibi tehlikeleri kaynağında gidermek olup, bu yöntem birçok tehlikeli durumla mücadelede her zaman mümkün olmamaktadır. Bunun yerine belirtilen tehlike kaynağı ile gelişmiş yöntemler kullanılarak mücadele edilmesi daha verimli sonuçların alınmasını sağlayacaktır. Bu kapsamda geliştirilen risk analizi programları önemli bu amaca hizmet etmektedir [14]. Türkiye de uygulanmakta olan iş sağlığı ve güvenliği adımlarından biri de kazalara yol açacak etmenlerin belirlenmesi ve giderilmesidir. Bunun için yapılan çalışmalar ve değerlendirmeler genellikle nitel gözleme dayanmaktadır. Benzer tehlikeleri barındıran kurum ve kuruluşlardaki risk değerlendirmeleri hesaba katılarak geçerli bir risk yönetimi tercih edilmektedir. Tehlikelerin nicel olarak yüksek doğrulukla belirlenmesine yönelik çalışmalar son yıllarda tercih edilmeye başlanmıştır. Ancak her bir işletmenin tehlike kaynağı o işletmeye özgüdür. Çalışanların eğitimi, işletmenin faaliyetleri, fiziksel şartları, uygulanan iş sağlığı ve güvenliği politikaları gibi birçok unsur tehlikelerin belirlenmesinde ve giderilmesinde anahtar unsurlardır. Bu nedenle bu çalışmada gerçek bir işletmede yer alan kimyasalın ortama sızması araştırılmış ve bu sızıntı şekli, ortamın havalandırma hızı, sızıntı miktarı gibi birçok ayrıntı hesaba katılarak tehlikeli atmosfer oluşumu incelenmiştir. Elde edilen veriler ALOHA programında değerlendirilerek muhtemel patlayıcı atmosfer ortamının sınırları sayısal olarak belirlenmiştir [15]. Bu çalışmada tehlikeli atmosfer tanımlaması için kullanılan sayısal parametrenin yanında, kaçınılmaz olarak bazı nitel değerlendirmelere de yer verilmiştir. Bu yönüyle tamamen kişisel yaklaşımlara dayanan tehlike tanımlamalarından daha etkin ve doğru bir ölçek elde edilmiştir. Yanıcı-patlayıcı kimyasalların oluşturduğu tehlikeli atmosferlerden korunmak için teknik hesaplamaların kullanımının önemi ortaya konulmuştur.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada kimya alanında faaliyet gösteren bir işletmede bulunan amonyak tankından ortama salınan ve patlayıcı atmosfer oluşturma potansiyeline sahip noktaların hesabı TS 60079-10-1 standartına göre kimyasal acil durumları planlamak ve bunlara müdahale etmek için yaygın olarak kullanılan tehlike modelleme programı ALOHA kullanılarak hesaplanmıştır. ALOHA, gerçek veya potansiyel bir kimyasal salım hakkında ayrıntıları girmenize olanak tanır ve ardından çeşitli tehlike türleri için tehdit bölgesi tahminleri oluşturur. ALOHA, zehirli gaz bulutlarını, yanıcı gaz bulutlarını, BLEVE'leri (Kaynayan Sıvı Genişleyen Buhar Patlamaları), jet yangınlarını, havuz yangınlarını ve buhar bulutu patlamalarını modelleyebilir. Tehdit bölgesi tahminleri ALOHA'da bir grafik üzerinde gösterilir ve haritalarda da çizilebilir. Kırmızı en kötü tehlike seviyesini, turuncu ve sarı azalan tehlike alanlarını temsil eder [15]. Tank altındaki ve pompa flanşlarından salınan amonyağın etki alanı belirlenerek, tehlikeli bölge tanımlaması yapılmıştır. Matris sistemine göre yapılan risk değerlendirmesi sonucunda kararlaştırılan tehlikeli durumların giderilmesi için gerekli önlemler belirtilmiştir.

Bir endüstri kuruluşunda prosesi direk besleyen, basınçlı amonyak (NH₃) dolu tankın flanşlarından amonyak sızması halinde oluşabilecek tehlikeli ortam hesaplanacaktır. Bunun için IEC (International Electrotechnical Commission) tarafından hazırlanan ve TSE tarafından Türkçeye çevrilen TS 60079-10-1 standardında belirtilen aşağıdaki eşitlikler kullanılacaktır [16]. Etrafa sızan kimyasalın yönetmelikte belirtilen bölge nitelendirmeleri ve mesafeleri, olası patlama neticesinde patlamanın yayılma alanları ve gösterdiği karakteristik özellikler ALOHA modelleme programı kullanılarak hesaplanacaktır. Elde edilecek sayısal tehlikeli ortam değerlerine göre olası sızıntı sonucunda oluşacak tehlikeli durumların meydana gelme olasılığı ve bu tehlikeli durumların meydana gelmesi halinde verebileceği zarar değerlendirmesi L tipi risk değerlendirme yöntemiyle yapılacaktır. Gerekli önlemler ve kullanılması gereken ekipmanlar belirtilecektir. Patlama riski oluşturan kimyasalın bulunduğu kaptan boşalma hızı (W) Şekil 2'de verilen eşitliğe göre hesaplanır.

Denklem	Değişken	Birim	Açıklama
$W = C_d S \sqrt{2\rho\Delta P}$	W	kg/s	Boşalma hızı
	C _d	-	Boşalma katsayısı
	S	m ²	Boşalma açıklığı kesit alanı
	ρ	kg/m ³	Sıvı yoğunluğu
	ΔP	Pa	Boşalma bölgesindeki iç ve dış basıncın farkı

Şekil 2. Kimyasalın boşalma hızı (W) eşitliği, kg/s

Kaçak kesitinden saniyede meydana gelecek boşalma hızı kullanılarak kimyasalın boşalma karakteristiği hesaplaması Şekil 3'teki eşitlik kullanılarak yapılır.

Denklem	Değişken	Birim	Açıklama
$Boşalmanın karakteristiği = \frac{W_g}{\rho_g * k * LFL}$		m ³ /s	Boşalmanın karakteristiği
	W _g	kg/s	Boşalma hızı
	ρ _g	kg/m ³	Buharın yoğunluğu
	k	-	Güvenlik katsayısı
	LFL	vol/vol	Alt parlama sınırı

Şekil 3. Kimyasalın boşalma karakteristiği (RC), m³/s

W ve RC değerleri seyrelme derecesinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Boşalma karakteristiğine karşı havalandırma hızı grafiğinde bu iki değer kesiştiği noktanın yer aldığı alan seyrelme derecesini

vermektedir. Sızıntı meydana gelen alanda sızıntının muhtemel büyüklüğü, boşalma karakteristiğine karşı mesafe grafiğinden sızıntı tipi bilinmesi durumunda tespit edilebilir.

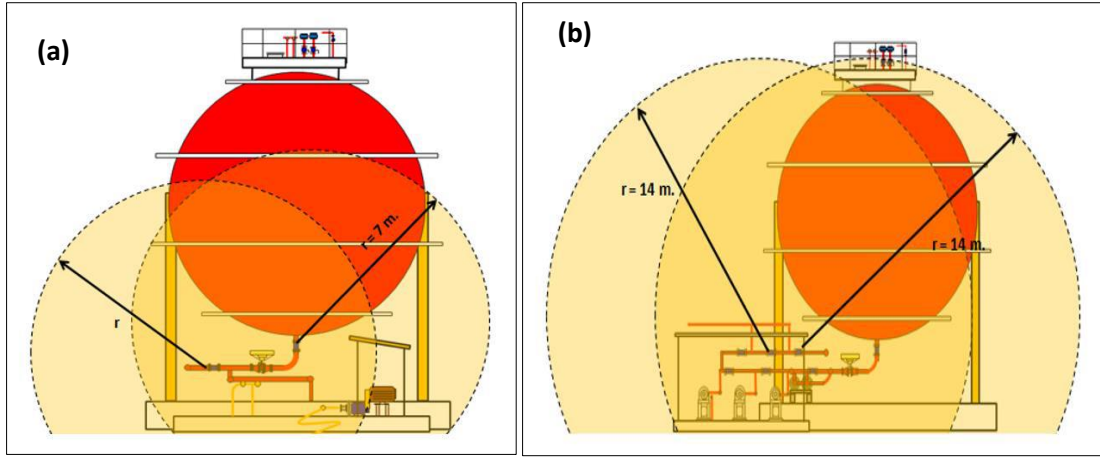
Hava akım hızının belirlenmesi için kimyasal maddenin özellikleri ve ortamın açık veya kapalı oluşu yani hava giriş çıkış özellikleri etkili olmaktadır. Bu ve diğer gerekli parametreler hesap uzmanı tarafından EN 60079 -10 -1 standardına göre verilen tablodan bulunur. Havalandırma ve bölge (ZONE) tipi tablosundan en uygun değer kullanır (Tablo 1). Bu çalışmada havalandırma hızı ortam şartları göz önünde bulundurularak 0,5 m/s olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 1. Havalandırma Hızı Tablosu

Açık alan çeşitleri	Engelsiz bölümler			Engelli bölümler		
	≤2 m	≥2 m' den 5 m 'ye kadar	>5m	≤2 m	≥2 m' den 5 m 'ye kadar	>5m
Yüksekten yer seviyesine						
Havanın molekül kütlelerinden hafif gaz veya buhar salımlarını azaltmak için tahmini hava akım hızları	0,5 m/s	1 m/s	2 m/s	0,5 m/s	0,5 m/s	1 m/s
Havanın molekül kütlelerinden ağır gaz veya buhar salımlarını azaltmak için tahmini hava akım hızları	0,3 m/s	0,6 m/s	1 m/sn	0,15 m/s	0,3 m/s	1 m/s
Rastgele yükseklik seviyesinde tahmini sıvı birikmiş havuzun buharlaşma miktarını havalandırmak için gerekli hava akım hızı		>0,25 m/sn			>0,1 m/sn	
Kapalı yerler için genellikle 0,5 m/s havalandırma hızı değeri kabul edilmektedir. Farklı değerlerin kabul edilmesi için özel durumların varlığı söz konusu olmalıdır (Örnek; hava giriş ve çıkışının sağlandığı noktalar) Havalandırma için kullanılan düzenek kontrol edilebilmeli ve en az hava akım hızı hesaplanabilir olmalıdır.						

III. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

Çalışmaya konu olan amonyak tankının pompa hattında ve tank altında olmak üzere iki tür flanş bağlantısı olduğu uzman incelemeleri sonucunda tespit edilmiştir. Bu flanşların amonyak sızması yapan veya yapmaya elverişli kısımları incelenmiş ve sızıntı oluşması durumunda tehlikeli bölgeler belirlenmiştir. Tankın olası sızıntı durumunda oluşturduğu kimyasal sızıntının dağılımına ait gösterim ve hesaplanan dağılım mesafeleri Şekil 4'te verilmektedir.



Şekil 4. Hesaplaması yapılan amonyak tankının alt (a) ve pompa (b) flanşları ile bunlardan meydana gelen kimyasal sızıntının dağıldığı mesafe gösterimi

A. TEHLİKELİ BÖLGENİN SINIFLANDIRILMASI

Tehlikeli bölgeler, havalandırma etkinliği tablosunda verilen boşalma özelliklerine göre kararlaştırılmıştır Tablo 4. Her iki sızıntı sonucunda ortamların mevzuatta “Gaz, buhar ve sis halindeki yanıcı maddelerin hava karışımlarının oluşturduğu patlayıcı ortamın normal çalışma koşullarında ara sıra meydana gelme ihtimali olan yerler” olarak tanımlanan Bölge I tanımına uyduğu anlaşılmıştır. Şekil 5 ‘te seyrelme derecesi ile boşalma şekline ilişkin bilgilerin kesiştiği noktalar tehlikeli bölgenin sınıfını vermektedir. Boşalma kaynağı, yanıcı kimyasalın ortama sızarak patlayıcı ortam oluşturduğu alanı ifade etmektedir. Kimyasalın sızma durumuna ve sızma zamanına göre boşalma üç grupta sınıflandırılmaktadır [17,18].

- Devamlı boşalma kaynağı: Boşalmanın sürekli uzun süreli veya kısa süreli ve sık sık meydana geldiği durumları,
- Ana boşalma kaynağı: Boşalmanın normal süreç şartlarında düzenli aralıklarla veya ara sıra olduğu durumları,
- Tali boşalma kaynağı: Boşalmanın normal süreç şartlarında oluşmasının beklenmediği, ancak seyrek ve kısa süreli gerçekleşebildiği halidir.

Bu değerlendirmede amonyak tankındaki sızıntıların genellikle yükleme veya sisteme amonyağın sevkiyatı sırasında meydana geldiği göz önünde bulundurularak tali boşalma olduğu varsayılmıştır. Amonyak sevkiyatı ana kumanda masasından otomatik olarak yapıldığından, sevkiyat dışında tank altındaki vanalar kapalıdır. Sevkiyat esnasında hem üst hem de alt flanşlardan madde geçmekte ve sızıntı ihtimali oluşmaktadır. Patlama ihtimalinin doğruya yakın hesaplanabilmesi için sızıntı şeklinin önemli bir yeri vardır.

Boşalma Derecesi	Havalandırma Etkinliği						
	Yüksek Seyreltme-VH			Orta Seyreltme-VM			Düşük Seyreltme-VL
	Güvenilirlik Derecesi						
	İyi	Orta	Kötü	İyi	Orta	Kötü	İyi, Orta veya Kötü
Sürekli	Tehlikesiz (Bölge 0 Ne) ^a	Bölge 2 (Bölge 0 Ne) ^a	Bölge 1 (Bölge 0 Ne) ^a	Bölge 0	Bölge 0 + Bölge 2	Bölge 0 + Bölge 1	Bölge 0
Ana / Birinci derece	Tehlikesiz (Bölge 1 Ne) ^a	Bölge 2 (Bölge 1 Ne)	Bölge 2 (Bölge 1 Ne) ^a	Bölge 1	Bölge 1 + Bölge 2	Bölge 1 + Bölge 2	Bölge 0 + Bölge 1 ^c
Tali / İkinci derece ^b	Tehlikesiz (Bölge 2 Ne) ^a	Tehlikesiz (Bölge 2 Ne) ^a	Bölge 2	Bölge 2	Bölge 2	Bölge 2	Bölge 0 + Bölge 1 ^c

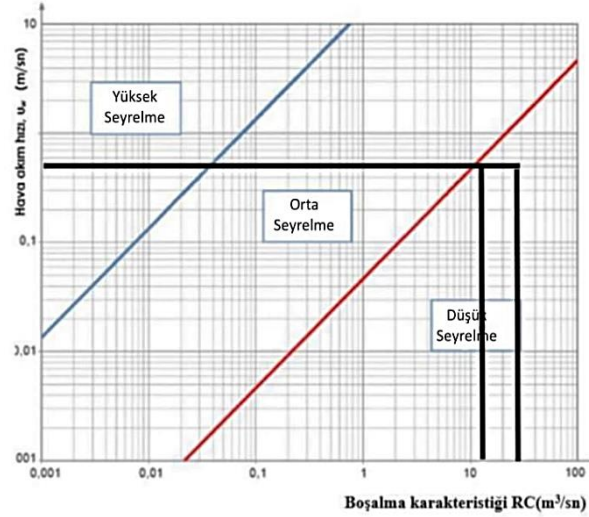
Not : “+” etrafında anlamına gelmektedir.
a: Bölge 0 NE, Bölge 1 NE ve Bölge 2 NE normal şartlarda ihmal edilebilir yayılma sınırına sahip teorik bölgeleri gösterir.
b: Tali boşalma tarafından oluşturulan Bölge 2 alanı ana veya sürekli boşalma derecelerine atfedilebilecek olanı aşabilir. Bu durumda daha büyük olan mesafe kullanılmalıdır.
c: Eğer pratikte havalandırma çok zayıf ve yayılma sürekli gaz ortamı oluşacak şekilde ise (havalandırma yok durumuna yaklaşık ise) Bölge 0 kullanılır.

Şekil 5. Amonyak tankı havalandırma etkinliği tablosu

A. 1. Seyrelme Derecesi

Bir kaynaktan çıkan boşalmanın hava ile karışarak patlama ve/veya yanmaya karşı güvenli hale gelmesi olarak tanımlanabilir. Yapay veya doğal havalandırma ile boşalan kimyasal miktarının patlayıcılık değerinin altına indirilmesi ve böylece ortamdaki tehlike kaynağının oluşumunun engellenmesi gerekir. Yüksek seyrelme: Boşalma kaynağının etrafındaki kimyasal miktarı hızlıca azalır ve boşalma durduktan sonra hemen hemen hiç kalıcılığı yoktur. Orta seyrelme: Boşalma devam ederken kararlı bir bölge sınır değeri oluşturarak kimyasal miktarı kontrol altına alınır ve ayrıca boşalma bittikten sonra da patlayıcı gaz ortamı yüksek seviyede kalıcı olmaz. Düşük seyrelme: Boşalma devam ederken kimyasal miktarı çoktur ve/veya boşalma tamamlandıktan sonra alevlenebilir ortamın kalıcılığı olarak ifade edilmektedir [19].

Bu çalışmada pompa ve tank altındaki flanşların seyrelme derecesi “düşük” olarak bulunmuştur Şekil 6. Bu durum ortama sızan amonyak miktarının hava ile süpürülen değerden daha yüksek olduğunu ifade etmektedir. Bu nedenle patlama veya yanma tehlikesinin varlığı devamlıdır. Seyrelme derecesi, boşalma kaynağının bulunduğu ortamdaki hava akım hızına karşı (bu çalışmada ele alınan amonyak kaynağının hava akım hızı Tablo 4 kullanılarak 0,5 m/s olarak hesaba katılmıştır.) kimyasalın boşalma karakteristiği grafiğinde değerlerin kesiştiği noktanın bulunduğu alan olarak standartlarda yer almaktadır [7].



Şekil 6. Seyrelme derecesi hesabı için hava akım hızı-boşalma karakteristiği grafiği

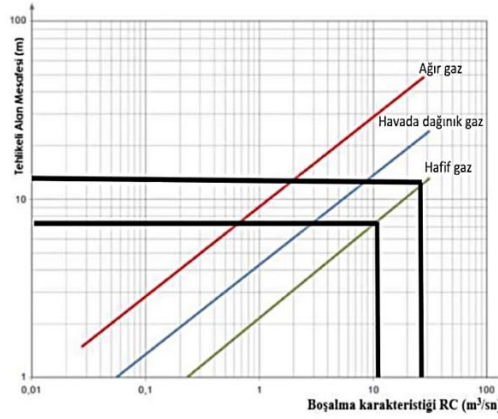
Boşalma karakteristiği bir noktadan sızan patlayıcı ortam oluşturabilecek gaz veya tozun ortama yayılma hızı ve oluşturacağı tehlike bölgeleri ile bilgiler verir [13]. Üç tür boşalma şekli vardır bunlar: jet, difüzyon ve ağır gaz tipidir. Amonyak tankının pompa altındaki ve tank altındaki flanşların boşalma karakteristikleri sırasıyla 24,64 ve 10,36 m³/s olarak hesaplanmıştır.

- Jet Tipi Salım: Bir sızıntının, yüksek basınçla, yüksek hızla boşalmasıdır. Zamanla jet salım seyrelerek hava akımı olmadan etkisini kaybeder.
- Difüzyon Tipi Boşalma: Düşük hızda difüzyonla dağılan veya yayıldığı yüzeylere çarparak yayılma ivmesini kaybeden salımdır.
- Ağır Gaz Tipi Salım: Yatay yüzeyler doğrultusunda dağılan ağır gaz veya buhar salımlarıdır.

Çalışmamızda amonyak tankından meydana gelen salımın alt ve üst flanşlarının jet tipi olduğu sonucuna varılmıştır. Bu değerler salım mesafesinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Jet tipi salım gaz veya tozun hızlı çıkışı anlamına gelmektedir. Jet tipi salımın etki alanı difüzyon ve ağır gaz salımına göre daha azdır. Ayrıca jet tipi salımda etki alanı düşük olup hızlı seyrelme söz konusu olduğundan patlayıcı ortam mesafesi kısmen daha küçüktür.

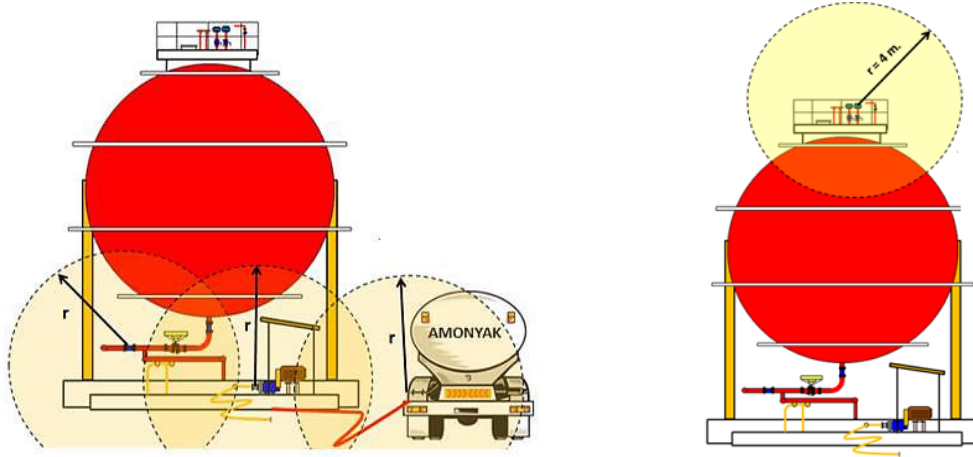
B. TEHLİKELİ BÖLGE YARIÇAPLARININ HESAPLANMASI

Tehlikeli bölge yarıçaplarının hesaplanması, boşalma karakteristiğine karşı tehlike mesafeleri grafiğinden faydalanılarak yapılmıştır. Bunun için salım tipini gösteren doğru üzerinde, boşalma karakteristiği değerine karşılık gelen tehlikeli mesafeler (m) belirlenmiştir. Buna göre iletim hatlarından sızıntı sonucu oluşan tehlikeli alanın yarıçapı 14 m, tank altı flanşların ise 7 m olduğu kaydedilmiştir Şekil 7 ve 8.



Şekil 7. Tehlikeli alan mesafe hesabı için kullanılan salım tipi-boşalma karakteristiği grafiği

Amonyak tankından meydana gelen boşalma noktaları ile ilgili diğer özellikler ve değerlendirme sonuçları Tablo 2’de verilmektedir. TS 60079 standart verileri ve grafikleri kullanılarak yapılan hesaplamada tehlikeli bölgelerin sayısal değerlerle nitelendirilmesi yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan yöntem sadece gaz halde sızan amonyakla sınırlı olmayıp diğer patlayıcı ortamların tehlikelerinin hesaplanmasında da rahatlıklar kullanılabilir nitel değerleri göstermektedir. Bu sayede çalışanların bu gibi tehlikeli ortamlardan korunmasında etkinlik ve verim artacaktır. En önemli unsurlardan birisinin hesaplamalarda kullanılan ve uzman bilgisine dayanan verilerin seçilmesindeki hassasiyettir. Boşalma karakteristiği, seyrelme derecesi, tehlikeli alan mesafeleri gibi birçok değer sayısal formüller kullanılarak hesaplanmaktadır. Ancak bazı durumlarda ortam şartlarına en uygun seçimlerin yapılması ve gözleme dayalı değerlerin kullanımının da gerekli olduğu anlaşılmaktadır. Havalandırma hızının tablodan faydalanılarak seçilmesi, boşalma kaynağının (tali, ana ve sürekli) ve şeklinin (jet, difüzyon ve ağır gaz) belirlenmesi bunlara örnektir ve uzman tarafından seçilerek hesaplamaya dahil edilmektedir.



Şekil 8. Sırasıyla amonyak tankı pompa transferi ve nefesli zone gösterimi

Bu durum farklı teknik bilgi ve tecrübeye sahip kişilerin farklı parametre girişine imkan sunmakta ve sonuçlarda değişikliklere yol açmaktadır. İş sağlığı uygulamalarında daha yüksek koruyucu önlemler ancak kişisel kararlara ve parametrelere dayalı hesaplamaların en aza indirgenmesi ile sağlanabilir. Miranda Tj ve arkadaşları, patlayıcı ortamların bölge ve risklerinin hesaplanmasında UNE 60079/10/1 standart yönteminden daha iyi bir yöntem araştırmışlardır [20]. Bilgisayarlı akışkan dinamiği (BAD) yöntemi ile UNE standart yöntemlerini karşılaştırmış ve BAD yönteminin standart 60079/10/1 metoduna göre daha avantajlı olduğu sonucuna varmışlardır. BAD yöntemi ilgilenilen patlayıcı atmosferin hacminin hesaplanmasına izin vermekte olup bu yönüyle UNE yönteminden üstünlük sağlamaktadır. Ferrero ve arkadaşları tetrafloroetilen gazının reaktör ortamında patlama sıcaklığını araştırmışlardır [21]. Bunun sonucunda artan basınç ve ateşleme sıcaklığı arasındaki ters orantıyı

kaydetmişlerdir. Tetrafloroetilenin basıncı arttıkça ateşleme düşüşün diğer patlayıcılarda da benzer davranış gösterebileceğine vurgu yapılmıştır. Keshevarz grubu çalışmalarında moleküllere bağlanan fonksiyonel kimyasal grupların alev alma sıcaklığına etkisini araştırmışlardır [22]. Çalışmada bazı amin gruplarının sahip oldukları fonksiyonel moleküler gruplar ve bunların buharlaşma ve alev alma davranışlarına etkisi incelenmiştir. Bu tespitler için kullanılan Rowley and Wilding tarafından önerilen metodu gerçek moleküller için uygulamışlar ve "FP ¼ 207:2 + 23:43nC - 7:363nH + 49:41nN + 64:79IP-62:96DP" fonksiyonunu önermişlerdir. Bu yeni denklemde arttırma "IP" ve azaltma "DP" faktörleri ile moleküldeki ek gruplardaki C, H, N sayıları hesaba katılarak alev alma dereceleri hesaplanmıştır. Bu yöntemle fonksiyonel gruplar varlığında oluşan 137 K lik değişiklik doğru şekilde hesaplanmıştır. 13 Haziran 2020 tarihinde Çin'in Wenling, Zhejiang bölgesinde meydana gelen 20 kişinin öldüğü, 25,36 tonluk sıvı LPG kamyonunun beton direklere çarpması ve sonrasında patlaması olayı ALOHA programıyla olay sonrası analiz edilmiştir. ALOHA programıyla yapılan analiz sonuçlarının enkaz dağılımı ve gaz bulutu dağılımı modellerine göre sınırları daha belirlediği anlaşılmıştır [23]. Bir başka çalışmada ALOHA programı kullanılarak doğal gaz fabrikasında oluşabilecek sızma sonucu fabrika etrafındaki yerleşim yerlerinde alınacak tedbirler değerlendirilmiştir. "Boru hattı kaçak açıklığı 100 mm olduğunda, santralde acilen kurtarma ve tahliye yapılacak ve kaçak kazasının kasabaya hiçbir etkisi olmayacaktır. Boru hattı sızıntı açıklığı 200 mm olduğunda, kişiler sızıntıyı derhal kontrol etmeli ve doğal gaz patlama limitleri aralığında olan santralin rüzgar yönünde 55m'den 92m'ye kadar patlamaya dayanıklı önlemleri almalıdır. Boru hattı sızıntı açıklığı 1200 mm olduğunda, acil tahliye önlemleri alınmalı ve doğal gaz patlama limitleri aralığında olan kasabanın çoğunda genişleyen kazalar önlenmelidir" önlemleri önerilmiştir [24]. 3 m çapında 30 m uzunluğunda 107955 kg amonyak tankından (diğer şartlar belirtilerek) oluşacak 9760 kg/dk sızıntı (0,22 m³/s) sonucunda yerleşim yerinde oluşturacağı toksik buhar bulutu, yanıcı alan ve buhar bulutu batlama senaryoları analiz edilmiştir. Toksik buhar senaryosunun en muhtemel tehlike olduğu ve 3400 m mesafedeki yerleşim yerlerine ulaşabileceği hesaplanmıştır [25]. Buradaki örneklerin ikisinde daha önce yaşanan kazalara ait, birinde ise muhtemel tehlike analizi yapılmıştır. İSG uygulamalarının amacı olumsuz durum yaşanmadan önce tedbir almaktır. Bu çalışmada muhtemel bir sızıntı anında oluşacak patlayıcı alanlar kapalı ortam için belirlenmiştir. Aynı tank için yerleşim yerlerinde oluşacak patlayıcı ortamlar ve toksik gaz bulutu dağılımı bir başka çalışmanın konusunda ele alınabilir. Bu iş yerinde oluşacak toksik etki kapalı alan olduğu için hiç şüphesiz nitel bir değerlendirme ile %100 değerindedir.

Tablo 2. Amonyak Tankının Dağılımına Ait Özellikler

Amonyak Tankının Yayılma Özellikleri			
Kaynak	Kısaltma	Amonyak Hattı Pompa Hattındaki Flanşlar	Amonyak Hattı Tank Altındaki Flanşlar
Kaynağın tanımı		Açık alan	Açık alan
ATEX tipi		Gaz	Gaz
Kaynağın çeşidi		Kapalı sistem	Kapalı sistem
Yanıcı Madde		Amonyak	Amonyak sıvı
Molekül Kütle (kg/kmol)	M	17,0000	17,0000
Kaçak yüzey alanı, (m²)	S	0,00014	0,00014
Boşalma Kaynağı (Tali)		Flanş Kaçağı	Flanş Kaçağı
Sızıntı yapan yerdeki basınç farkı (Pa)	$\Delta p = \rho g \Delta h$	53096	53096
Alt patlayıcılık sınırı (kg/m³)	LEL _m	0,1061	0,1061
Alt patlayıcılık sınırı (%)	LEL _v	15,0000	15,0000
Boşalma Derecesi		Tali	Tali
Emniyet Faktörü LFL (0,5 ila 1 arasında)	k	0,50	0,50
Kabın iç basıncı (Pa)	P	300000	300000
Dış atmosfer basıncı (Pa)	Pa	101325	101325

Tablo 2 (devam). Amonyak Tankının Dağılımına Ait Özellikler

Evrensel gaz sabiti, (J/kmol.K)	R	8314,0000	8314,0000
Boşalma Karakteristiği (m ³ /sn)	RC	24,64	10,36
Deşarj Katsayısı	Cd	0,75	0,75
Sıvıların boşalma oranı, (kg/sn)	(W=Wg)	1,222	0,514
Sıcaklık, (°C)	T	40	40
Sıcaklık, (K)	T	313	313
Yoğunluk	P	0,903	0,903
Genleşen gazın yoğunluğu (m ³ /sn)	ρg	0,661	0,661
Kaçığın olduğu yüzey alanı, (mm ²)	S	70	70
Subsonik koşullarda bölge yarıçapı, (m)	r	14	7
Açık hava hızı (m/sn)	Uw= Ur	0,5	0,5
Kalıcılık süresi, (saat)	t	0,0320	0,0320
Kalıcılık süresi, (dakika)	t	1,92	1,92
Yanıcı maddenin başlangıç yoğunluğu, (%)	Xo	100	100

Değerlendirme

Seyrelme Derecesinin Değerlendirilmesi	Düşük Seyrelme	Düşük Seyrelme
Havalandırmanın Kullanılabilirlik Derecesi	Orta	Orta
Bölge	Bölge 1	Bölge 1
Ekipman	Kategori 2	Kategori 2

C. ALINMASI GEREKEN ÖNLEMLER

Yapılan hesaplamalardan elde edilen veriler, amonyak kaçağı olması durumunda patlamanın meydana gelebileceği Bölge 1'in varlığını göstermiştir. Basit L-tipi (5x5) matrisinde hesaplanan risk değeri 12 olarak hesaplanmıştır Tablo 3. Gerek risk skoru hesaplamalarında gerek bundan önceki bölge ve gazın dağılımı çapı hesaplamalarında birçok yaklaşık değer ve göreceli yaklaşımlarla risk durumu belirlenmeye çalışılmıştır. Bu yaklaşımlardan bazıları hesaplamayı yapan teknik elemanın tecrübesine dayandığından, daha tecrübesiz kişilerin yaklaşımlarında hata paylarının yüksek olması muhtemeldir. Bu nedenle risk skorunu göz önünde bulundurarak, alınacak tedbirleri hassasiyetle belirlemek ve uygulamak gerekmektedir.

Tablo 3. Risk Değerlendirmesi ve Alınması Gereken Önlemler

Yanıcı/Patlayıcı Madde:	AMONYAK	Tehlikeli Bölge Yarıçapı:	2,5 m + 4 m
Uygun Ekipman	EX II 3G T1 IIA	Tehlikeli Bölge Sınıfı :	Bölge 1
Boşalma kaynağı:	Flanş kaçağı, dolum ağızları, nefeslik	Etkilenecek Kitle:	Tüm çalışanlar
Risk Değerlendirme Matrisi	İhtimal 3	Şiddet 4	Skor 12

Patlama yanma riskine karşı en önemli tedbirlerden biri kullanılacak ekipmanların seçimidir. Kıvılcım oluşturabilecek malzemelerden kaçınarak anti statik kıyafet ve ESD sertifikalı ayakkabı kullanılmalıdır. Seyyar malzemelerin kullanım kurallarına dair talimat oluşturularak iş yerine asılmalıdır. Ex-proof cihazların montajı ve bakımı IEC 60079-14 eğitimlerini almış personel tarafından yapılmalıdır. Bu cihazlar yılda en az bir defa IEC 60079-17 kapsamında nitel ve teknik muayeneden geçirilmelidirler. Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik EK-2 birinci madde gereğince çalışanlara patlamadan korunma eğitimi verilmelidir. Topraklama konusunda gerekli tedbirlerin alınmış olması gerekmektedir. Yapılan çalışma alanında eş potansiyel topraklama sisteminin olduğu ancak yeterli sayıda noktasal ölçüm yapılmadığı görülmüştür. Topraklama her noktadan yapılan ölçümlerin sonucuna göre raporlanmalıdır ve hangi tip elektrik topraklaması olduğu açıkça belirtilmelidir. Güvenlik talimatları ve çalışanların uymaları gereken hususlar bildirilmelidir. Bölge 1: CE belgeli ATEX'e göre bölge hesaplamaları göz önünde bulundurularak amonyak dolmuş tankeri veya tank için 2,5 metre alanda uygun elektrikli cihazlar kullanılmalıdır. Unutulmamalıdır ki iş kazaları ölüm, ağır yaralanma, yaralanma gibi insana ve iş yeri cihaz ve makinelerine zarar verme potansiyeli olan bütün istenmeyen durumları kapsamaktadır.

IV. SONUC

Endüstriyel alanlarda sıklıkla kullanılan ve ortama sızarak hava ile belirli oranlarda karışarak patlayıcı ortam oluşturan maddelerin oluşturacakları tehlikeli ortamların kapsamının önceden bilinmesi, tehlikelerin önlenmesinde önemli bir adımdır. Bu çalışmada TSE EN 60079-1 standardı kapsamında patlayıcı ortam oluşturabilen amonyak sızıntısının hesaplamaları yapılarak, amonyak tankı etrafında mevcut şartlarda meydana gelebilecek tehlikeli alanlar, bu alanların mesafeleri ve bölge sınıflandırması yapılmıştır. Bu hesaplamalar göz önünde bulunarak alınması gereken tedbirler ve kullanılacak koruyucu ekipmanların nitelikleri belirlenmiştir. Buna göre:

- Endüstriyel tesislerde, bu tür hesaplamaların yapılmadığı patlayıcı ve patlayıcı madde bulunan ortamlarda belirlenen tedbirlerin göreceli olup, teknik verilerce yetersizdir.
- Etkin bir riskin değerlendirilmesi ve patlamadan korunma belgelerinin iş yerinde bulunan patlayıcı ortamların mesafelerinin kesin hatlarla belirlenmesi ile yapılabilir.
- Tehlikeli kimyasalların oksijen ve kıvılcımla buluşması sonucu oluşan yanma/patlamalar ölümlü, ağır yaralanmalı veya ağır hasarlı kazalara neden olabilmektedir. Üretim sürecinde veya depolarda kullanılacak elektrikli ve kıvılcım çıkarıcı muhtemel ekipmanların exproof kategoride seçilmesine özen gösterilmelidir.
- Bu tür hesaplamalar, iş yerinde bulunan kimyasalın çeşidine, hacmine, bağlantılarına, bulunduğu ortamın havalandırma şartlarına ve sızıntının durumu gibi birçok değişkene bağlı olduğundan kesin sonucun her bir işletme için yerinde ve o ortama has hesaplamalarla ulaşılabileceği anlaşılmıştır.
- Yapılacak hesaplamalar sonucunda, tehlike boyutu belirlenerek alınacak güvenlik önlemleri sıralanmıştır. Bu önlemler sayesinde her an kullanılması zorunluluk olan yüksek maliyetli ex-proof özellikteki elektrik ekipmanlarının yerine az maliyetli düşük ex-proof ekipmanların kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.
- Yangının dağılımını engellemek için muhtemel sıvı ATEX patlamalarının önlenmesi amacıyla depolarda patlamaya dayanıklı perde beton ve ayrı binalar şeklinde bölümler oluşturulmalıdır.

V. KAYNAKLAR

[1] N. Martino, P. Feyen, M. Porro, C. Bossio, E. Zucchetti, D. Ghezzi, F. Benfenati, G. Lanzani, and M.R. Antognazza, "Photothermal cellular stimulation in functional bio-polymer interfaces", *Scientific Reports*, vol. 5, pp. 1-8, 2015.

[2] A.M. Nassimi, M. Jafari, H. Farrokhpour, and M.H. Keshavarz, "Constants of explosive limits",

Chemical Engineering Science, vol. 173, pp. 384–389, 2017.

[3] T. Ma, Q. Wang, and M.D. Larrañaga, "Correlations for estimating flammability limits of pure fuels and fuel-inert mixtures", *Fire Safety Journal*, vol. 56, pp. 9–19, 2013.

[4] F. Van den Schoor, F. Norman, K. Vandermeiren, F. Verplaetsen, J. Berghmans, and E. Van den Bulck, "Flammability limits, limiting oxygen concentration and minimum inert gas/combustible ratio of H₂/CO/N₂/air mixtures", *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 34, pp. 2069–2075, 2009.

[5] G. Shu, B. Long, H. Tian, H. Wei, and X. Liang, "Evaluating upper flammability limit of low hydrocarbon diluted with an inert gas using threshold temperature", *Chemical Engineering Science*, vol. 138, pp. 810–813, 2015.

[6] H. Miao, L. Lu, and Z. Huang, "Flammability limits of hydrogen-enriched natural gas", *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 36, pp. 6937–6947, 2011.

[7] Ö. A. Uslu "Endüstriyel tesislerdeki yanıcı, parlayıcı kimyasal sıvıların atmosfer patlamalarının (atex) teorik ve uygulamalı olarak hesap edilerek önlemlerinin belirlenmesi" Yüksek Lisans Tezi, Kimya Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye, 2019.

[8] P.L. Barros, A.M. Luiz, C.A. Nascimento, A.T.P. Neto, and J.J.N. Alves, "On the non-monotonic wind influence on flammable gas cloud from CFD simulations for hazardous area classification", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 68, pp. 104278, 2020.

[9] Wikipedia. (2020). Amonyak [Çevrimiçi]. Erişim: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Amonyak>,

[10] *Patlayıcı Ortamlar - Bölüm 10-2: Alanların Sınıflandırılması - Patlayıcı Tozlu Ortamlar Standardı*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 60079-10-2, 2015.

[11] European Union. "On minimum requirements for improving the safety and health protection of workers potentially at risk from explosive atmospheres EU Directive", *Official Journal of the European Communities*, L23.No. 1999/92/EC, Dec. 16,1999.

[12] Çalışanların patlayıcı ortamların tehlikelerinden korunması hakkında yönetmelik, *T.C. Resmi Gazete*, Sayı: 28633, 30 Nisan 2013.

[13] T. G. Rodrigues, "A software application to define and rank atex zones" M.S thesis, Faculdade de Engenharia da (Faculty of Engineering), Universidade do Porto (The University of Porto), Portugal, 2016.

[14] M. Hanefi Calp, ve M. Ali Akcayol, "Teknokent'lerde geliştirilen yazılım projelerinin risk analizi ve başarı düzeyleri", *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 4, ss. 293–304, 2016.

[15] ALOHA Software, *Bilgisayar Programı*, WINDOWS versiyon, O. US EPA, , United States Environmental Protection Agency2016.

[16] *Patlayıcı ortamlar - Bölüm 10-1: Alanların sınıflandırılması-Patlayıcı gaz ortamları Standardı*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 60079-10-1, 2015

[17] M.M. Van der Voort, R.M.M. van Wees, J.M. Ham, M.P.N. Spruijt, A.C. van den Berg, P.C.J. de Bruijn, and P.G.A. van Ierschot, "An experimental study on the temperature dependence of CO₂ explosive evaporation", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 26, pp. 830–838, 2013.

- [18] E.E. Layık, "Gıda sektöründe toz patlamalarının araştırılması ve patlamadan korunma dokümanının hazırlanması bir uygulama örneği"İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi,T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, 2016.
- [19] U. Mevlevioğlu, M.A.N. Kadirgan ve G. Alev Çiftçioğlu, "Kimya endüstrilerinde patlama ve yangınların önlenmesi ve ilgili vaka çalışmaları", *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, c. 1, s.. 36–46, 2019.
- [20] J. Telmo Miranda, E. Muñoz Camacho, J.A. Fraguera Formoso, and J. de D. Rodríguez García, "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*, vol. 26, pp. 839–850, 2013.
- [21] F. Ferrero, R. Meyer, M. Kluge, V. Schröder, and T. Spoomaker, "Study of the spontaneous ignition of stoichiometric tetrafluoroethylene-air mixtures at elevated pressures", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 26, pp. 759–765, 2013.
- [22] M.H. Keshavarz, S. Moradi, A.R. Madram, H.R. Pouredal, K. Esmailpour, and A. Shokrolahi, "Reliable method for prediction of the flash point of various classes of amines on the basis of some molecular moieties for safety measures in industrial processes", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 26, pp. 650–659, 2013.
- [23] S. Lyu, S. Zhang, X. Huang, S. Peng, and J. Li, "Investigation and modeling of the LPG tank truck accident in Wenling, China," *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 157, pp. 493–508, 2022.
- [24] H. Shao, and G. Duan, "Risk quantitative calculation and ALOHA simulation on the leakage accident of natural gas power plant," *Procedia Engineering*, vol. 45, pp. 352–359, 2012.
- [25] J.L. Orozco, J. Van Caneghem, L. Hens, L. González, R. Lugo, S. Díaz, and I. Pedroso, "Assessment of an ammonia incident in the industrial area of Matanzas," *Journal of Cleaner Production*. vol. 222, pp. 934–941, 2019.