

	<b>MÜHENDİSLİKTE YAKITLAR, YANGIN VE YANMA DERGİSİ</b> <i>FUELS, FIRE AND COMBUSTION IN ENGINEERING JOURNAL</i>		
	eISSN: 2564-6435		
	Dergi sayfası: <a href="http://dergipark.gov.tr/fce">http://dergipark.gov.tr/fce</a>		
	<u>Geliş/Received</u> 13.02.2022	<u>Doi</u> <a href="https://doi.org/10.52702/fce.1072953">https://doi.org/10.52702/fce.1072953</a>	
	<u>Kabul/Accepted</u> 14.07.2022		

## YANICI KİMYASALLARIN LEL HACİMLERİNDE PATLAYICI ATMOSFERİNİN BELİRLENMESİ

Murat Teker<sup>1</sup>, Ümit Özhan<sup>2</sup>

### ÖZ

Bu çalışma da alt patlama limitindeki (LEL) yanıcı sıvı buharının oluşturabileceği patlayıcı atmosferi, tehlikeli alan yarıçapını hesaplamak ve patlamanın olabilmesi için gerekli koşulların nasıl olgunlaşmadan engellenmesi gerektiği amaçlanmıştır. Çalışma ortamında kaza ile dökülen sıvının buharlaşması ile oluşan tehlikeli ortamın sınırlarının hangi şartlara bağlı olduğu bu çalışmada gösterilmiştir. Bu çalışma gazın alt patlama limitinde yapılıp, oluşan minimum patlayıcı atmosfer gösterilmiştir. Etanol ile 20 °C de patlayıcı atmosfer oluşturup deneysel olarak elde ettiğimiz verileri ile tehlikeli alan yarıçapı hesaplanması yapılmıştır. Kimya mühendisleri odasının yapmış olduğu endüstriyel yangın ve patlama raporuna göre 2020 yılında Ülkemiz de en az 493 endüstriyel yangın ve patlama gerçekleştirilmiştir. Bu olaylardan 52 tanesi endüstriyel patlamadır. Bu olaylar sonucu ise en az 29 işçi hayatını kaybetmiş, 239 işçi ise yaralanmıştır [1]. Ülkemiz için sadece 2020 verileri bile kaybettiğimiz insan ve sermaye gücünün büyüklüğünü gösteriyor.

**Anahtar Kelimeler:** Yanma, Alt Patlama Limiti, Patlayıcı Atmosfer, Tehlikeli Alan Yarıçapı

### DETERMINATION OF EXPLOSIVE ATMOSPHERE IN LEL VOLUMES OF FLAMMABLE CHEMICALS

### ABSTRACT

The aim of this study is to calculate the explosive atmosphere which flammable liquid vapor at the lower explosive limit (LEL) can create, to calculate the radius of the hazardous area and how to prevent the conditions for explosion before it can generate. In this study, it is shown that under which conditions the limits of the dangerous environment are formed by evaporation of the accidentally spilled liquid in the working environment. The lower explosive limit (LEL) is the minimum amount of gas that will cause an explosion volumetrically when it is in ambient air. In this study, the minimum explosive atmosphere was shown by making the lower explosion limit of the gas. The sample explosive atmosphere and the radius of hazardous area were calculated with the experimental data of ethanol at 20 °C. According to the industrial fire and explosion report made by the Chamber of Chemical Engineers, at least 493 industrial fires and explosions occurred in our country in 2020. 52 of these events are industrial explosions. As a result of these events, at least 29 workers lost their lives, and 239 workers were injured. (1) For our country, even only the 2020 data show the magnitude of the human and capital resources we have lost.

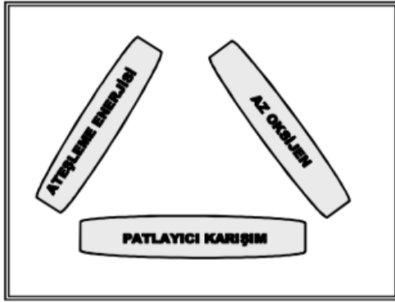
**Keywords:** Combustion, Lower Explosion Limit, Explosive Atmosphere, Dangerous Area Radius.

<sup>1</sup>Kimya Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya

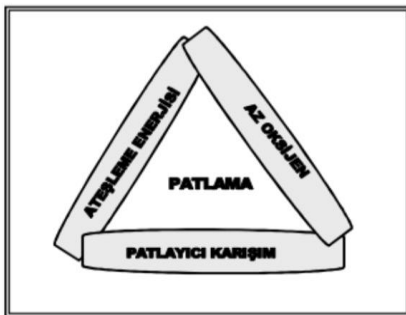
<sup>2</sup>Kimya Bölümü, Fen Edebiyat, Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya

## 1. GİRİŞ

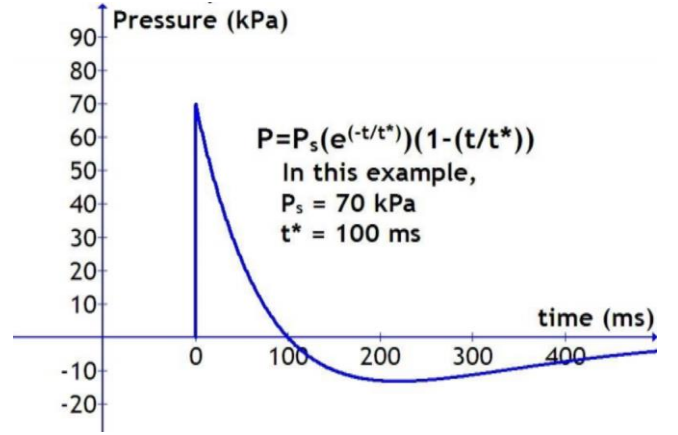
Katı, sıvı veya gaz halindeki patlayıcı maddelerin kıvılcım, reaksiyon veya şok etkisiyle ateşlenmesi sonucu yüksek derecede ısı, ışık, gaz, ses ve basınç meydana getirerek hava içerisinde aniden ve şiddetle yayılması olayına patlama denir. Patlama yanma olayının çok hızlı bir şekilde meydana gelmesidir. Patlamanın mekanik ve kimyasal patlama şeklinde iki çeşidi vardır. Mekanik patlama kapalı veya basınçlı kapların çeşitli dış fiziksel etkilerle iç basıncının artması olayıdır. Kimyasal patlama ise sıvı veya katı halde bulunan maddenin kendinden çok büyük hacime ulaşması olayıdır. Bu olay saliseler içerisinde gerçekleşir[6]. Patlamanın şiddetinin bağlı olduğu parametreler vardır. Bunlar sıcaklık, basınç, LEL vb. faktörlerdir. Patlamanın olabilmesi için ortamda belli şartların bir arada olması gerekir. Patlama ortamı aşağıdaki şekilde gösterilebilir[4].



Şekil 1. Patlama Ortamı



Şekil 2. Patlama



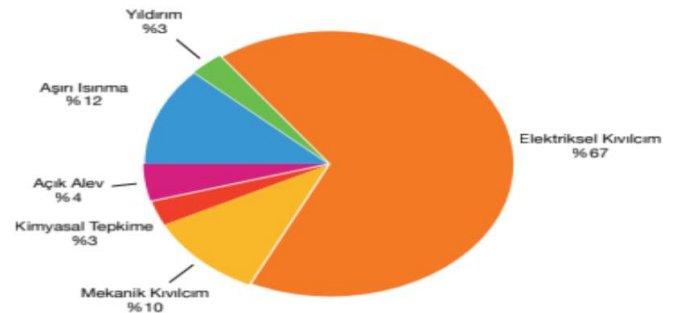
Şekil 3. Patlama basıncının zamana göre değişimi

Patlamanın oluşabilmesi için gerekli olan ateşleme enerjisi, oksijen ve patlayıcı karışımı inceleyelim.

### 1.1. Ateşleme Enerjisi

Çoğu yanıcı maddenin tutuşması için normal şartlarda 0.1 ile 0.3 mJ arasında bir enerjiye ihtiyaç vardır. Patlayıcı atmosfer bu aralıktaki enerjiyi çoğu zaman elektrik arkı, ısı, mekanik elektriklenme gibi durumlarda kazanıyor[6]. Tutuşturucu kaynaklar aşağıdaki gibidir.

- Açık Alevler
- Elektrik
- Aşırı Isı
- Kızgın Yüzey
- Kendi Kendine Tutuşma
- Kıvılcım
- Statik Elektrik
- Sürtünme
- Kimyasal Tepkime
- Doğal Isı Kaynakları (Yıldırım vb.)



Şekil 4. 2020 Yılında Yaşanan Endüstriyel Yangın ve Patlamaların Tutuşma Kaynakları

## 1.2. Gaz Karışımı

Parlayıcılık aralığı alt patlama limiti ve üst patlama limitleri arasındadır. Buhar konsantrasyonu alt patlama limiti altında (LEL) olan karışımlarda yeterli miktarda gaz yoğunluğu olmadığı için alevlenme veya patlama olmaz. Buhar konsantrasyonu çok yoğun olan karışımlar yani üst patlama limiti üstünde (UEL) olan karışımlarda yeterli oksijen olmadığı için patlama veya alevlenme olmaz. Alt patlama limiti (LEL) ve üst patlama limitinin (UEL) arasındaki gaz yoğunluğuna patlayıcı atmosferde denilmektedir. Bu limitler sıcaklık ve basınç etkisi ile değişebilir. Yoğunlukla sıcaklık artışı LEL değerini düşürürken UEL değerini yükseltir.

Parlama noktası düşük olan sıvılara ekstra dikkat edilmesi gerekir. Çünkü bu sıvıların uçuculuğunun ve havadaki gaz yoğunluğunun fazla olması demektir. Düşük sıcaklıkta gaz yoğunluğun fazla olması ise daha düşük sıcaklıklarda parlama veya patlama olması demektir. Yanıcı sıvıların kategorize edilmesi için yoğunlukla parlama noktası kullanılır. Sürekli bir yanma hali parlama noktasında olmaz. [3].

Tablo 1. Bazı Kimyasalların LEL ve UEL değerleri[2]

Madde İsmi	LEL	UEL
Asetaldahit	4	60
Aseton	2.6	12.8
Asetilen	2.5	81
Amonyak	15	28
Benzen	1.35	6.65
n-Bütan	1.86	8.41
Karbon Disülfür	1.3	50
Karbon Monoksit	12	75
Etan	3	12.4
Etilen	2.75	3.86
Etil Alkol	3.3	19

## 1.3. Oksijen Miktarı

Havadaki oksijen miktarı % 20,8 dir. Bu miktar yanma için yeterli miktardır. Bunun yanı sıra havadaki oksijen miktarının artması yanma ve patlama olayının gerçekleşme ihtimalini artırır. Oksijence zengin olan ortam (%22 den fazla) giysi

ve saç gibi parlayıcı maddelerin şiddetle tutuşmasını sağlar. Bu nedenle kapalı ortamı hiçbir zaman saf oksijenle havalandırmamalı bunun yerine normal hava kullanılmalıdır [4].

## 2. PATLAYICI ATMOSFER VE TEHLİKELİ ALAN YARIÇAPI HESAPLAMA

Patlayıcı atmosfer hesaplama için yanıcı sıvı olarak etanol kullanıldı. Ölçeklendirilmiş 5 cm çapta ve 60 cm uzunluğunda bir tarafı kapalı şeffaf silindir cam içerisine 100 ml etanol konduktan sonra hareketli makara sistemi ile elektrik arkı silindirin içerisine yukarıdan aşağıya etanole doğru indirildi. Aşağı etanole doğru inen elektrik arkı buharlaşan gazın tutuşacak yoğunluğuna gelince Şekil 5 de görüldüğü gibi bir parlama oldu. Bu şekilde alt parlama limiti (LEL) bulundu. O nokta gaz ölçer ile ölçülerek (%3,7) alt patlama limiti belirlendi.

Etanolün molekül kütlesi (M) =46,07 kg / kmol  
Etanolün deneyde ölçülen alt patlama limiti (LEL<sub>v</sub>) = % 3,7

Sıcaklık 20 °C de: T = 20+273 = 293 K

Etanolün 20 °C deki buhar basıncı (P<sup>t2</sup>) = 5,86 kPa = 5860 Pa

Evrensel gaz sabiti (R) = 83145 J.mol<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>

2.5 cm yarıçaptaki yüzey alanı (A) = π.r<sup>2</sup> = (3.14)x(2.5)<sup>2</sup> = 19.625 cm<sup>2</sup> = 0,0019625 m<sup>2</sup>

Maddenin gaz fazının hızı (K) = (0.83)x(18 / M)<sup>1/3</sup> = 0.6068 cm = 0.006068 m

Hava değişim sayısı (C) = 0,00333

Kalite Faktörü (f) = 2

LEL<sub>m</sub> uygulanan emniyet faktörü (k) = 0,5

Alt patlayıcılık sınırı (LEL<sub>m</sub>) = 0,416x10<sup>-3</sup>xLEL<sub>v</sub>xM kg / m<sup>3</sup>[8]. (1)

LEL<sub>m</sub> = 0,416x10<sup>-3</sup>x3.7x46,07 = 0.0709

G<sub>m</sub> = Sıvı yüzeyinde buharlaşan gaz miktarı

G<sub>m</sub>=(M x K x A x P<sup>t2</sup>)/( R x T)[8]. (2)

G<sub>m</sub> = (46,07 x 0.006068 x5860 x 0,19625) / (83145 x 293) = 1.32 x 10<sup>-7</sup> kg / sn

$$\text{Boşalma derecesi } (dV / dT)_{\min} = (G_m \times K) / (k \times \text{LEL}_m \times 293) [8]. \quad (3)$$

$$\text{Boşalma derecesi } = ((1.32 \times 10^{-7}) \times 293) / (0.5 \times 0.0709 \times 293) = 3.72 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sn}$$

$$V_k = (dV / dT)_{\min} / C [8]. \quad (4)$$

$$V_k = (3.72 \times 10^{-6}) / 0,00333 = 1.12 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Ortamdaki patlayıcı atmosfer (etanol buharı) ;

$$V_z = f \times V_k [8]. \quad (5)$$

$$V_z = 1.12 \times 10^{-3} \times 2 = 2.24 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Patlayıcı atmosferin ( etanol buharının ) tehlikeli alan yarıçapı;

$$V_z = (4/3)\pi r^3 \quad (6)$$

$$2.24 \times 10^{-3} = ((4/3) \times (3,14) \times r^3)$$

$r = 0.0811 \text{ m}$  etanol buharının tehlikeli alan yarıçapı.

Yaptığımız deneyde, 5 cm çapı olan bir kaptan 20 °C de bulunan etanolün LEL hacminde tehlikeli alan yarıçapı 0.0811 m ve patlayıcı atmosferi  $2.24 \times 10^{-3} \text{ m}^3$  olarak bulunmuştur. Deneysel olarak bulduğumuz etanolün patlayıcı atmosferinin tutuşturucu kaynağı ile temasında Şekil 5 deki gibi patlama meydana gelmiştir.



Şekil 5. Etanol deneyinde buharlaşan yanıcı gazın tutuşturucu ile temasındaki patlama anı.

### 3. PATLAMADAN KORUNMA ÖNLEMLERİ

Parlayıcı, patlayıcı gaz, toz ve buharın patlama şiddetini güvenli bölgeye yönlendirmemiz gerekir. Eğer güvenli bölgeye yönlendiremiyorsak o zaman başka önlemler almamız gerekecek. İş ekipmanlarının kurulumu ve çalışmasında görevli olan çalışan eğitilmiş olup standartlara uygun şekilde çalışırsa patlama ihtimali azalır veya etrafa yayılmasının önüne geçilir. Patlamadan korunma önlemleri sırasıyla aşağıda verilmiştir [7].

#### 3.1 Birincil Önlemler

Patlayıcı atmosferin oluşumunu engellememiz için ilk dikkat etmemiz gereken madde gaz hava karışımının alt patlama limiti ve üst patlama limiti arasında olmamasıdır. Bu şekilde patlama üçgenindeki oksijen ve yanan gaz çıkarılmış olur.

#### 3.2. İkinci Önlemler

Gaz hava karışımının LEL ve UEL arasında olması engellenemiyorsa o zaman ortam için ikincil önlemler alınır. Bu önlemler patlayıcı atmosferi tutuşturacak enerji kaynağının olması engellemektedir. Kullanılacak malzeme exproof seçilir.

#### 3.3. Üçüncü Önlemler

Üçüncü önlemler kapsamında, artık patlama ihtimali bertaraf edilemez ise şu önlemler alınır. Patlamaya dayanıklı malzeme seçilir, standartlara uygun söndürme tesisatı kullanılır, patlamanın yayılması engellenir ve patlamanın şiddeti azaltılır. Patlamayı bastırma önlemleri alınır.

### 4. PATLAMA RİSK DEĞERLENDİRMESİ

Parlayıcı toz, buhar ve gazın patlama riskinin ve tehlikelerin değerlendirilmesi KİNNEY risk analizi yöntemiyle yapılır. Bu risk analizinde olasılık, frekans ve şiddet şeklinde üç veri bulunur. Şans ateşleme kaynağının çalışma ihtimali, frekans ortamda parlayıcı veya patlayıcı maddenin bulunma ihtimali, şiddet ise oluşan etki şeklinde açıklanabilir.

$$\text{Risk} = \text{Frekans} \times \text{Şiddet} \times \text{Şans} \quad (7)$$

Yukarıdaki (7) denklem riskin frekans, şiddet ve şansın çarpımına eşit olduğunu gösteriyor. Bu işlem için aşağıdaki frekans, şans ve şiddet değerleri kullanılır.

Tahmini şans derecelendirmesi: Mümkündür, ortamda ateş kaynağı açık halde olması.

Oldukça yüksek ihtimali olması: Ortamdaki ateş kaynağının aktif şekilde çalışıyor olması.

Olası: Ateşleme çalışanlara bağlı ise.

Olma ihtimali var ama zayıf: Ateşleme için engel alınmış ama engel devre dışı kalmış.

Beklenmez fakat olabilmek ihtimali var: Kontroller çalışan dışında ise.

Beklenmez: Belirli bakım ve çalışanların eğitimi ile ateşleme kaynağının kontrolde tutulması durumu.

OLASILIK DEĞERİ	ŞANS (OLASILIK) zararı gerçekleşme olasılığı	D.S	FREKANS DEĞERİ	FREKANS İhtimali zaman içinde meydana gelebilir	D.S	ŞİDDET DEĞERİ	ŞİDDET İhtimali zarar / ortamın kullanılabilirliği	100
10	beklenir, kesin	+	10	her zaman hemen sürekli (bir saatte birkaç defa)	+	100	büyük miktarda ölüm / yaralanma / çevresel felaket	+
6	yüksek / oldukça mümkün	+	6	sık (günde bir veya birkaç defa)	+	40	ölümler / yaralanmalar / çevresel zarar	+
3	olası	+	3	ara ara (haftada bir veya birkaç defa)	+	15	kişisel yaralanmalar, iş kazaları / çevresel engeller oluşumu, yakın çevreye zarar	+
1,5	mümkün fakat az	+	2	az sıklıkta (yılda bir veya birkaç defa)	+	7	önemli hasarlar oluşumu, diğer iş yerlerini etkileme / zararlı sonuçlar doğurma potansiyeli	+
0,5	beklenmez fakat mümkün	○	1	seyrek (yılda birkaç defa)	○	3	kişisel yaralanmalar, dahili iş yerlerini etkileme / zararlı sonuçlar doğurma potansiyeli	○
0,2	beklenmez	-	0,5	çok seyrek (yılda bir veya daha seyrek)	-	1	uzun süreli / çevresel zarar yok	-
<b>RISK DEĞERİ</b>			<b>RISK DEĞERLENDİRME SONUCU</b>					
400 < R		+	tolerans gösterilemez risk, hemen gerekli önlemler alınmalı / veya tesis, bina, çevrenin kapatılması düşünülmelidir					
200 < R < 400		+	aşırı risk, kısa dönemde iyileştirilmelidir (birkaç ay içinde)					
70 < R < 200		+	önemli risk, uzun dönemde iyileştirilmelidir (yıllık içinde)					
20 < R < 70		○	olası risk, HSE gözetim altında uygulanmalıdır					
R < 20		-	önemsiz risk, önem öncelikli değildir					

Şekil 6. Fine-Kinney Yöntemi [9].

Risk analizi sonucu var olan riskler kaynağında bertaraf edilmiyorsa riskin şiddetini azaltacak önlemler alınması gerekir. Bu önlemler;

- Ortadan kaldırma
- Yerine Koyma
- Teknik Kontrolleri
- Uyarıcı işaretler
- KKD (Kişisel Koruyucu Donanım)
- Eğitim
- Kontrol

## 5. PATLAYICI ORTAM SINIFLANDIRILMASI

AB'nin çıkardığı ATEX 137 ye göre patlayıcı ortamlar sınıflandırılmış ve üç bölgeye ayrılmıştır. Ülkemizde bu metodu benimsemiştir.

### 5.1. Zone 0

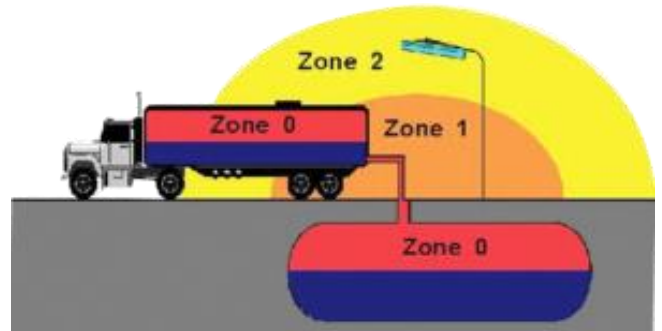
Gaz, buhar ya da sis halindeki yanıcı maddenin hava ile karışımında oluşan patlayıcı ortamın sürekli veya sık sık olduğu yerler.

### 5.2. Zone 1

Hayatın olağan akışında patlayıcı ortam oluşma ihtimali az olan, arıza veya anormal durumlarda tesadüfen patlayıcı ortamın olduğu yerlerdir.

### 5.3. Zone 2

Normal çalışırken, arıza veya anormal durumda patlayıcı ortam oluşma ihtimali çok az olan, olsa bile kısa süren yerlerdir.



Şekil 7. Patlayıcı ortamın sınıflandırılması örneği[7]

## 6.SONUÇ

Deneysel çalışmada 5 cm çapta şeffaf boru içerisine 100 ml etanol konarak, ateş kaynağı yaklaştırılmış, yanıcı buharın tuttuğu nokta gaz ölçüm cihazı ile ölçülerek deneysel LEL değeri bulundu.

Bulunan LEL değerinden yola çıkarak sıvı yüzeyinde buharlaşan gaz miktarı, patlayıcı atmosferi ve tehlikeli alan yarıçapı hesaplandı.

Bu hesaplamalar doğrultusunda oluşan tehlikeli alanın nelere bağlı olduğu, nasıl önlenebileceği ve tehlikeli alan içerisinde alınması gereken önlemler belirtildi.

Bulunan veriler ışığında çalışma yapılan ortamın sürekli gaz yoğunluğu ölçülerek LEL-UEL değerleri arasında bulunması engellenmeli. Alınacak önlemlerde tehlikeli alan yarıçapı göz önünde bulundurulmalıdır.

## REFERENCES

- [1] TMMOB (2020). Endüstriyel Yangınlar ve Patlamalar 2020 Yılı Raporu, Erişim: [https://www.kmo.org.tr/resimler/ekler/18620199630c9df\\_ek.pdf](https://www.kmo.org.tr/resimler/ekler/18620199630c9df_ek.pdf)
- [2] İnce, A., (2013). Patlayıcı Patlama Davranışları Atmosferlerin (ATEX) Erişim: <https://www.abdurrahmanince.net/AtexPatlamaDavranislari.pdf>
- [3] Özhan, Ü., (2021). Çeşitli Yanıcı Kimyasalların LEL Hacimlerinin Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- [4] Eğri, N., (2008). Patlayıcı Ortamlarda İş Güvenliği, İş Sağlığı ve Güvenliği Tezi, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenliği Bakanlığı, Ankara.
- [5] Sarı, M., K., (2017). Atex Yönetmelikleri ve Türkiye’de Exproof Sektörünün Durumu, Elektrik Mühendisliği Dergisi, (462), 49-54.
- [6] Ekermen, E., N., (2020). Patlayıcı ve Yüksek Patlayıcı Maddelerin Özellikleri, Sınıflandırılması ve Patlama Etkileri, Erişim: [https://www.kmo.org.tr/resimler/ekler/5d9f44cfbfd5a1a\\_ek.pdf](https://www.kmo.org.tr/resimler/ekler/5d9f44cfbfd5a1a_ek.pdf)
- [7] Uslu, Ö., A., (2019). Endüstriyel Tesislerdeki Yanıcı, Parlayıcı Kimyasal Sıvıların Atmosfer Patlamalarının (atex) Teorik ve Uygulamalı Olarak Hesap Edilerek Önlemlerinin Belirlenmesi, (Yüksek Lisans Tezi), Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Bölümü, Kütahya.
- [8] Teker, M., Patlamadan Korunma Dökümanı, Solvent Buharlarının Parlama ve Patlama Hesaplamaları, PLASTİMED Plastik Medikal Ürünler San. Tic. Ltd. Şti., İSTANBUL
- [9] Yurtsever, M., (2018). Risk Değerlendirme Fine-Kinney Yöntemi, <http://www.metinyurtsever.com>