

Modeling the Physical Effects of the LPG Tanker Accident That Occurred in Diyarbakır Lice

Ahmet DURMUŞ¹  Saliha ÇETİNYOKUŞ^{2,*} 

¹Gazi University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Environmental and Technical Investigation of Accidents, 06500, Yenimahalle/ANKARA
Ministry of Transport and Infrastructure, 06530 Çankaya/ANKARA
0000-0002-6933-9657

²Gazi University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, 06570, Maltepe/ANKARA
salihakilicarslan@gazi.edu.tr, 0000-0001-9955-6428

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Research article
Received: 22.07.2022
Revision: 7.11.2022
Accepted: 7.11.2022

Highlights

- LPG Tanker Accident
- Threat zones.
- Comparison of e testimonies of the eyewitnesses of the accident with the modeling results.

Keywords

LPG
BLEVE
Accident impact modeling
Correlation
ALOHA Software

In this study, it was aimed to model the physical effects of the tanker accident that took place in Diyarbakır Lice on 21/07/2014. Physical impact areas were obtained as a result of the modeling study.

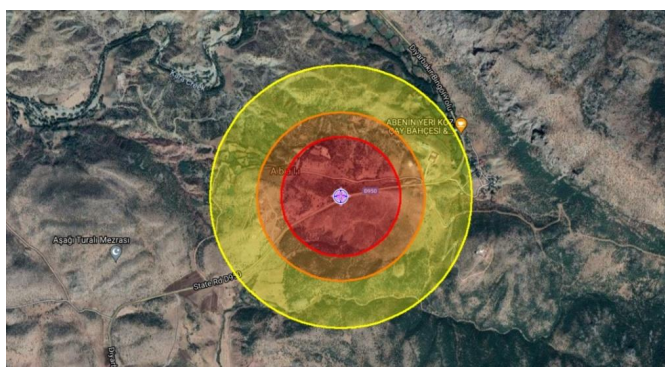


Figure A. MARPLOT display of BLEVE threat zones.

Purpose: The LPG tanker accident and its consequences, which occurred on the 90th km of Diyarbakır-Bingöl Highway, were examined.

Theory and Methods: It was stated that there were different amounts and volumes of LPG in the tanker at the time of the accident. The accident was modeled by using ALOHA Software and correlations for the winter conditions as well as the summer conditions where the accident occurred, over the mass amounts specified in different sources. The results obtained were compared with the evaluations stated in eyewitnesses and accident reports.

Results: It was observed that the BLEVE impact distances increased in winter conditions, and the impact distances of jet fire and vapor cloud flammable area decreased. It has been determined that the type and amount of the hazardous substance involved in the accident and atmospheric conditions directly affect the consequences of the accident. Since they are based on the same model equivalence, the results obtained with the correlations were found to be compatible with the software results. Additional parameters such as pressure effects and escape time could also be determined by correlation. It was shown by software and correlations that the lethal effects of the accident were caused by thermal radiation.

Conclusion: Modeling the physical effects of hazardous events such as fire, explosion and toxic emission will contribute to the prevention/reduction of other possible accidents and will also help to reduce/prevent the damage to people and the environment. In addition, the safety of the response teams will be ensured by determining the distances that can be safely intervened in the accidents. Considering the listed elements, it can be said that accident impact models will provide important inputs to emergency planning.



Modeling the Physical Effects of the LPG Tanker Accident That Occurred in Diyarbakır Lice

Ahmet DURMUŞ¹ Saliha ÇETİNYOKUŞ^{2,*}

¹Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması Anabilim Dalı, 06500, Yenimahalle/ANKARA

Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 06530, Çankaya, ANKARA

0000-0002-6933-9657

²Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 06570, Maltepe/ANKARA

salihakilicarslan@gazi.edu.tr, 0000-0001-9955-6428

Abstract

In this study, it was aimed to model the physical effects of the tanker accident that took place in Diyarbakır Lice on 21/07/2014. In the accident, the LPG-laden tanker overturned at the 90th kilometer of the Diyarbakır-Bingöl highway, 34 people lost their lives and 36 people were injured. The modeling of the accident was carried out using ALOHA Software and correlations both in the summer conditions of the accident and in the selected winter conditions. The testimonies of eyewitnesses of the accident and the distances specified in the accident reports were compared with the modeling results. All physical impact areas obtained as a result of the modeling study were moved to MARPLOT, and the structures and population that were/may be affected by the accident were revealed. It was determined that the modeling results and the accident results in the testimonies of eyewitnesses were compatible with the BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion). It was shown that the type and amount of the dangerous substance involved in the accident and atmospheric conditions directly affected the consequences of the accident. It is thought that all driving and traffic rules should be obeyed at the highest level during the passage of dangerous goods through residential areas in road transport, and if possible, the route should be created outside the dense populated areas.

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 22.07.2022
Düzeltilme: 7.11.2022
Kabul: 7.11.2022

Keywords

LPG
BLEVE
Accident impact modeling
Correlation
ALOHA Software

Anahtar Kelimeler

LPG
BLEVE
Kaza etki modellenmesi
Korelasyon
ALOHA yazılımı

Diyarbakır Lice'de Meydana Gelen LPG Tankeri Kazasının Fiziksel Etkilerinin Modellenmesi

Öz

Bu çalışmada, 21/07/2014 tarihinde Diyarbakır Lice' de gerçekleşen tanker kazasının fiziksel etkilerinin modellenmesi amaçlanmıştır. Kazada LPG (sıvılaştırılmış petrol gazı) yüklü tanker, Diyarbakır-Bingöl karayolunun 90'ncü kilometresinde devrilmiş, 34 kişi hayatını kaybetmiş ve 36 kişi yaralanmıştır. Kazanın modellenmesi, hem kazanın olduğu yaz mevsimi koşullarında hem de örnek seçilen kış mevsimi koşullarında ALOHA (Aerial Locations of Hazards Atmosphere) yazılımı ve korelasyonlar kullanılarak yapılmıştır. Kaza görgü tanıklarının ifadeleri ve kaza raporlarında belirtilen mesafeler ile modelleme sonuçları karşılaştırılmıştır. Modelleme çalışması sonucu elde edilen tüm fiziksel etki alanları, MARPLOT üzerine taşınarak kazadan etkilenen/etkilenebilecek yapılar, nüfus ortaya konulmuştur. Modelleme sonuçları ile görgü tanıklarının ifadelerindeki kaza sonuçlarının BLEVE (Kaynayan Sıvı Genleşen Buhar Patlaması) ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Kazaya karışan tehlikeli maddenin cinsi ve miktarı ile atmosferik koşulların kaza sonuçlarına doğrudan etkisi gösterilmiştir. Tehlikeli maddelerin karayolu taşımacılığında yerleşim yerleri içerisinde geçişler esnasında tüm sürüş ve trafik kurallarına azami derecede riayet edilmesi, mümkün ise güzergâhın nüfus yoğun yerleşim yerleri dışında oluşturulması gerektiği düşünülmektedir.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Doğal gaz, petrol gazı vb. yakıtlar enerji üretimi ve ısıtma endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [1-3]. Bu yakıt gazları, depolama kapasitesini büyütme ve nakliye maliyetini azaltmak için depolama ve

taşımadan önce sıvılaştırılmaktadır [1]. LPG, motor gücü, yakıt verimliliği, düşük emisyon, nispeten düşük maliyet yönleri ile karayolu taşımacılığı-yakıt pazarında dünya çapında büyük bir role sahiptir [3]. Çok miktarda LPG, çeşitli ulaşım araçlarıyla (demiryolu, karayolu, gemi vb.) düzenli olarak taşınmaktadır [4, 5]. Çoğu zaman da LPG, nüfus yoğun yerleşim alanlarından taşınır ve bu nedenle ölümcül etkiler içeren potansiyel kaza riskine sahiptir [4].

Karayolu taşımacılığında LPG tankerlerinin dahil olduğu trafik kazaları, LPG sızıntısına neden olmakta devamında yangın, patlama gibi yüksek enerji salınımları ile toksik yayılım oluşturmaktadır [3]. Bu kazalar, kaza yerinde ve çevresinde can, mal, çevre kayıpları ile domino etkileri meydana getirebilmektedir [3, 6, 7]. Elverişsiz yol koşulları, sürücülerin yasa dışı çalışması, araç koşulları veya çevresel faktörler, farklı araçlar arasında, araçlar ve yayalar arasında veya araçlar ile sabit nesnelere arasında trafik kazalarına neden olmaktadır. LPG tanker kazası sadece trafik kazasından kaynaklanmayıp, LPG tankerinin bulunduğu römorkun arızası, tank arızası, valf ve diğer parçaların hasar görmesi vb. ile doğrudan da meydana gelebilmektedir [3, 6, 7].

Bir basınçlı kaptan ortama sıvılaştırılmış gazın ani salınımı, genellikle BLEVE' ye yol açan karmaşık bir olayın başlangıcıdır [2-7]. BLEVE, basınç altında aşırı ısınmış büyük miktarda sıvı kütlesinin atmosfere ani salınımına dayanan bir patlama türüdür [1, 3, 7]. Serbest kalan malzeme yanabilir ise BLEVE, ateş topu oluşumuna neden olur. Ateş topları, maddi hasarlara, yaralanmalara veya ölüme neden olan büyük miktarda termal radyasyon oluşturur [3, 4].

LPG tehlikeli kimyasalının dahil olduğu karayolu taşımacılığı kazaları dikkat çekmektedir. Bariha ve arkadaşları (2016) tarafından 27 Ağustos 2012'de Hindistan'ın Kerala eyaletine bağlı Chala köyünde 23.30' da LPG taşıyan bir aracın neden olduğu kaza incelenmiştir. Kazada LPG, BLEVE' ye neden olmuştur. PHAST ve ALOHA yazılımları ile kaza verileri üzerinden yapılan modelleme sonuçları gerçek hasar verileriyle ilişkilendirilmiştir. Ateş topu ve jet yangını termal radyasyonu, nokta kaynak ve katı alev modeli üzerinden belirlenmiş; katı alev modelinin daha iyi sonuçlar sağladığı gösterilmiştir. TNT eşdeğerlik yöntemi üzerinden jet yangını, ateş topu radyasyonu ile BLEVE' de oluşan patlama aşırı basıncı hesaplanmış, jet yangının daha düşük etkiler verdiği görülmüştür. Yaklaşık 200 m yarıçaplı bir alanın ölümcül etkiler oluşturduğu ve hesaplanan kayıpların, gerçek can ve mal kaybı ile uyumlu olduğu belirtilmiştir [2]. Mishra (2016) tarafından, 13 Temmuz 2013' te Moskova'da bir otoyolda 36 adet propan tüpü taşıyan bir kamyonun önündeki bir minibüsle çarpıştığı kaza analiz edilmiştir. Kazada dökülen dizel yakıtının oluşturduğu havuz yangınına (çap ~10 m) propan tüplerinin girmesi, birden fazla BLEVE ve ateş topu oluşturmuştur. Tek BLEVE ve ateş topu için geçerli olan yarı deneysel modellerin, birden fazla BLEVE için uygulanabilirliği doğrulanmış ve bu tür senaryolara ilişkin ilave öneriler getirilmiştir [5]. Hemmatian ve arkadaşları (2015) tarafından taşıma, depolama, proses tesisleri ve nakil esnasında meydana gelen 202 BLEVE kazası incelenmiştir. Kazanın olduğu faaliyet türleri, neden olan etkenler, en sık rastlanan maddeler, zaman aralıkları ve nerede görüldükleri analiz edilmiştir. LPG'nin (%59) bu kazalarda en sık rastlanan madde olduğu, su (%11) ile LNG'nin (%4) de BLEVE' ye neden olduğu belirtilmiştir. Söz konusu kazaların en çok darbe (%44,8) ve insan kaynaklı hata (%30,3) nedenleri ile meydana geldiği gösterilmiştir [6]. Hemmatian ve arkadaşları (2019) tarafından yürütülen başka bir çalışmada ise 330 kaza analiz edilerek domino etkisi araştırılmış ve çeşitli kriterlere göre domino etkisi içeren 167 kaza incelenmiştir. 40 kazada BLEVE' nin tek olay olduğu, domino etkisi içeren 127 BLEVE kazası tespit edilmiştir [7]. Domino etkisini tetikleyen ilk olayın patlama veya yangın olduğu, BLEVE kazalarının 1 dakikadan az ve 1 saatten fazla sürebileceği görülmüştür. Domino etkisi olan BLEVE kazalarının en çok taşımacılık faaliyetleri esnasında meydana geldiği tespit edilmiştir [7]. Planas ve arkadaşları (2015) tarafından Puerto Lumbreras'ı Granada'ya bağlayan A-91 otoyolunun batıya giden şeridinin 3,5 kilometresinde LNG taşıyan bir tanker meydana getirdiği kaza incelenmiştir. Kazada BLEVE, hem acil durum yönetimi hem de patlama ve ateş topu etkileri açısından analiz edilmiştir. Kaza, yol kenarında duran bir araca LNG tankerinin arkadan çarpması sonucu meydana gelmiş ve kaza noktasından kuzeye doğru 90 m uzaklıkta bulunan bir ev, yolun karşı tarafında 125 m uzakta benzin istasyonu bulunan bir servis alanı etkilenmiştir [8].

Bu çalışmada, 21/07/2014 gününü 22/07/2014 gününe bağlayan gece Diyarbakır İli Lice İlçesine bağlı Ergin Mahallesi sınırları içerisinde Diyarbakır-Bingöl Karayolu 90. km`sinde meydana gelen LPG tankeri kazası ve sonuçları incelenmiştir. Kaza esnasında tanker içerisinde farklı miktarlarda 19 ton [9], 22 ton [10] LPG bulunduğu, kimyasal hacminin ise 45 m³ [11, 10], 46 m³ [9] olduğu belirtilmiştir. Bu kaza, farklı

kaynaklarda belirtilen kütle miktarları üzerinden kazanın olduğu yaz mevsimi koşulları yanı sıra kış mevsimi koşulları durumlar için ALOHA yazılımı ve korelasyonlar kullanılarak modellenmiştir. Elde edilen sonuçlar görgü tanıkları ve kaza raporlarında belirtilen değerlendirmeler [9-11] ile karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOTLAR (MATERIALS AND METHODS)

2.1. Kazanın Analizi (Analysis of the Accident)

İlgili kazaya ait farklı kaynaklarda değerlendirmeler yapılmış, kazaya dahil olan olayın BLEVE ya da UVCE (Sınırlandırılmayana Buhar Bulutu Patlaması) olabileceği üzerinde durulmuştur. “Diyarbakır İli Ergin Mahallesi sınırları içerisinde Diyarbakır-Bingöl Karayolu 90. km`sinde kaza meydana gelmiştir. Bingöl istikametinden gelen LPG tankeri şoförü direksiyon hâkimiyetini kaybetmiş, 45 m³’lük dorse kısmı kamyonun kafa kısmından ayrılmış ve yan yatarak yaklaşık 40-50 metre sürüklenmiştir. Bu esnada tankerin üst tarafında bulunan emniyet ventili yerinden çıkmış ve LPG bu bağlantı yerinden dışarıya gaz olarak salınmıştır. Ani genişleme ve yayılma özelliği (üzerindeki basıncın kalkması sonucunda hacminin 250 kat artabilme özelliği) nedeniyle çok kısa zamanda (yaklaşık 10-15 dakika içinde) çevreye LPG yayılmıştır. Yoğunluğu havadan ağır olan LPG, yerden sürünerek çukur yerlere doğru yayılmış, bu şekilde yaklaşık 500-600 metre yokuştan aşağıya (mahallenin yerleşim yerine 500-600 metre uzaklığa kadar) doğru akmıştır. Sızan gazın bulunduğu bu alana iki otobüs ve bir aracın Diyarbakır istikametinden gelerek girdiği, her üç aracın gazın yoğun bulunduğu alanda, tam olarak bilinmeyen bir nedenden(camı açık araçlardan birinin içerisinde sigara içiliyor olması, yeni bir sigara yakma girişimi, egzozdan veya yola sürtünme vb.) dolaylı bir patlamayla yangın başladığı belirtilmiştir” [8].

Başka bir kaynakta, 19 ton LPG yüklü olduğu belirtilen tankerin gece saat 24.00 sıralarında devrilmesi sonucu kaza meydana geldiği ifade edilmiştir. “LPG tankinin bağlı olduğu dorseden kopması sonucu sağ tarafa devrilerek darbe aldığı, tank üzerindeki deformasyondan gözlenmiştir. 2007 imal yılı, 46 m³ kapasiteli LPG tankında yapılan incelemede; tankta herhangi bir çatlama, yarıma vb. olmadığı tespit edilmiştir. Ancak tankta sızıntının; LPG tankinin devrilmesi ile tank üzerinde bulunan iki emniyet ventilinden birinin bağlantı noktasından kırılması sonucu oluştuğu belirtilmiştir. Tank üzerinde yapılan incelemede LPG tank emniyet ventili muhafazasının ventil yüksekliğinin altında kaldığı, olması gereken yükseklikte olmadığı tespit edilmiş, bu durumun tank imalatlarında veya sonraki yapılan tank kontrollerinde ventil ve muhafazası yüksekliğinin dikkate alınmadığı kanaatine varılmıştır. Bu kazada LPG tankına bir şey olmadığı, tank patlaması olması halinde facianın daha da büyüyebileceği, meydana gelen olayın UVCE olduğu rapor edilmiştir” [11].

Bir başka kaynakta ise BLEVE patlaması sonucu altmış dokuz kişinin alevlerle çevrildiği ve olaydan sonraki 3 ay içinde 34’ünün öldüğü belirtilmiştir [12].

Kullanılmaz hale gelen yolcu otobüsünden yara almadan kurtulan M. G. “Olay yerine yaklaşık 300 metre mesafede bulunan otobüste seyahat ettim. Patlamadan önce otobüsün içinde yoğun gaz kokusu aldım ve önümüzde seyreden başka bir yolcu otobüsü gördüm. İçeride yoğun bir gaz kokusu oluştu. Aracı durduran şoför kapıları açarak yolcuları tahliye etti. Otobüsten inerek korku içinde geriye doğru koşmaya başladığımız sırada şiddetli bir patlama sesi duyduk. Hemen ardından üzerimizden bir alev topu geçti. ” ifadelerini kullanmıştır [10].

Görgü tanığı H. D. “Patlamayı, olayın yaşandığı bölgeden 15 kilometre uzaklıkta deprem etkisi şeklinde hissettim, köylülerden önce olay yerine ilk ben yetiştim. 4 aracın yandığını gördüm. Yaralıların hepsi yandıkları için çıplak haldeydi. Bazı yaralılar olası bir patlamanın endişesiyle çıplak halde dağa kaçıyorlardı. Her yerden telefon sesleri geliyordu. Korkunç bir durum söz konusuydu. Olay yeri adeta cehennem gibiydi. Tanker şoförünün sızıntıyı fark edince karşı yönden gelen araçları uyardığını, otobüsteki yolcuların araçtan inmeye başladığı sırada patlamanın yaşandığını” ifade etmiştir [10].

Diyarbakır Büyükşehir Belediye Başkanlığı İtfaiye Daire Başkanı İ. H. Bilici, “Sıkışan gazın patlaması sonucu yaklaşık 1 kilometrelik alan tamamen alev topuna döndü, ilk ekiplerimiz 12 dakika sonra olay yerine ulaştı.” ifadelerini kullanmıştır [10].

Bilirkişi raporunda;

1. “Diyarbakır-Bingöl karayolunun 70 ila 100’üncü kilometresi arasındaki bölümün kusurlu olması bu yolda seyir halindeki araçların karşı yönden gelen araçlar için tehlike oluşturduğunu,
2. Kazaya neden olan tanker sürücüsünün ise 30 kilometre hız ile gitmesi gerekirken yaklaşık 60 kilometre hız yaptığını,
3. İki otobüs firması şoförünün LPG sisini görmelerine rağmen kendilerini ve yolcuların canını ve malını tehlikeye attıklarını,
4. Diyarbakır-Bingöl karayolunun güvenlik ve teknik anlamda tehlikeli ve yanıcı maddelerin taşınması konularında yetersiz olmasına rağmen, sürücülerini seyahat ettirdiği; terör olayları nedeniyle yolda hasarlar olduğu bilincine rağmen sürücünün bu yolda gitmeye ısrarcı olduğu; emir ve talimat verdiği gerekçesiyle tankerin bağlı olduğu lojistik uluslararası firmanın da kusurlu görüldüğü,”

belirtilmiştir [10].

2.2. LPG’nin Teknik Özellikleri ve LPG Yangınları (Technical Specifications of LPG and LPG Fires)

LPG, doğal gaz ve petrolün çıkarılması sırasında veya petrolün rafinasyonu sırasında bir yan ürün olarak elde edilmektedir. LPG’yi oluşturan temel bileşenler, propan ve bütan, kimyasal olarak oldukça benzerdir. Propan ve bütanın özellikleri arasındaki farklılıklar, LPG’nin farklı kullanım alanlarına ya da koşullarına uyumunda kolaylık sağlamaktadır. Propan, düşük kaynama noktası nedeniyle, dış mekânda depolamaya uygundur ve öncelikle merkezi ısıtma olmak üzere çok sayıda ticari uygulamada kullanılmaktadır. Bütan ise özellikle evsel ısıtıcılar ve taşınabilir ekipmanlar için uygundur [13, 14].

Propan(C₃H₈), doymuş bir hidrokarbondur. Isıl değeri 46 MJ.kg⁻¹’dir. Bütan(C₄H₁₀) önemli derecede yanıcı, sıvılaştırılabilir bir gazdır ve ısıl değeri 45 MJ.kg⁻¹’dir [14]. Sıvılaştırılmış gazlar, buhar basınç eğrisinin altında gaz fazında, üzerinde sıvı fazındadır. Yaygın kullanılan LPG karışımının (%30 propan+ % 70 bütan) mutlak doyma basıncı 10°C-30°C’ de 3,0 ila 5,8 bar arasında değişim gösterir. Atmosferik basınçta (101,3 kPa), n-bütan= -0,5°C, i-bütan= -11,70 °C, propan= -42,1°C ’de buharlaşır [15].

LPG, hava ile belli oranlarda karıştığında yanıcı ve parlayıcıdır. LPG, yanıcı gaz özelliğine sahip olduğu için statik elektrik veya alev, sıcak cisimler gibi ısı kaynakları aracılığıyla tutuşabilmektedir [15]. LPG’nin yanma bölgesi % 1,9 ila % 9 arasındadır [2, 15]. Önemli miktarda yanıcı gaz veya hava ile karışmış buhar içeren kimyasal patlamalar VCE (Buhar Bulutu Patlamaları) olarak tanımlanmaktadır. Genellikle yanıcı sıvıların veya buhar-sıvı karışımlarının salınımı ile ilişkilidirler. Bir buhar bulutu patlamasına her zaman bir ani yangın eşlik eder ve mekanik etkilerin (patlama) şiddeti, ilgili kütle ve ortamın özellikleri (kapalılık/tıkanıklık) tarafından belirlenir [13]. Basıncı bir gaz veya aşırı ısıtılmış bir sıvı (atmosferik basınçtaki kaynama noktasından önemli ölçüde daha yüksek bir sıcaklıktaki bir sıvı) içeren bir kabın buharı ile dengede ani arızalanmasından kaynaklanan fiziksel patlamalar ise BLEVE olarak adlandırılmaktadır [7, 16]. Bir delik, bir flanş vb. den belirli bir hızda salınan yanıcı gaz veya buhardan oluşan türbülanslı bir jetin hemen ateşlenmesinden kaynaklanan difüzyon alevleri, jet yangını oluşturur. Aleve, akıştaki türbülans nedeniyle çok daha fazla hava girer [13]. Termal radyasyon, bir jet yangını ile ilişkili birincil tehlikedir. Duman, yangından kaynaklanan zehirli yan ürünler ve çevredeki ikincil yangınlar ve patlamalar da diğer tehlikeleri oluştururlar [16].

2.3. LPG’nin Taşınması (LPG Transport)

Ülkemizde karayolu ile LPG ve diğer tehlikeli maddelerin taşınması:

- i. 4925 Sayılı Karayolu Taşıma Kanunu [17]
- ii. 2918 Sayılı Karayolları Trafik Kanunu [18]
- iii. Karayolu Taşıma Yönetmeliği [19]

- iv. Karayolları Trafik Yönetmeliği [20]
 - v. Karayolu Taşımacılık Faaliyetleri Mesleki Yeterlilik Eğitimi Yönetmeliği [21]
 - vi. Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Taşınması Hakkında Yönetmelik [22]
 - vii. Tehlikeli Madde Taşıyan Araç ve Üst Yapıların Teknik Muayeneleri Hakkında Yönetmelik [23]
- hükümlerine uygun olarak yapılmak zorundadır.

A. 4925 sayılı Karayolu Taşıma Kanunu'nun 5 inci maddesinin;

- 1 inci fıkrası; "Taşımacılık, acentelik ve taşıma işleri komisyonculuğu ile nakliyat ambarı ve kargo işletmeciliği yapılabilmesi için Bakanlıktan yetki belgesi alınması zorunludur." hükmüne,
- 2 nci fıkrası; "...Ayrıca, karayoluyla yük ve yolcu taşımacılığı faaliyetlerinde kullanılan ticari araçlarda çalışan şoförlerin, sürücü mesleki yeterlilik belgesi almaları zorunludur..." hükmüne,
- 3 üncü fıkrası; "Taşımacılara, yetki belgesinden ayrı olarak taşımalarda kullanılacak taşıtların niteliğini ve sayısını gösteren taşıt belgesi ile taşımacının taşıt belgesinde kayıtlı her taşıt için düzenlenen ve taşıtta bulunması gereken taşıt kartı verilir." hükmüne
- 5 inci fıkrası; "Tehlikeli yük taşıyan taşıtlar ve bunların bağlı olduğu taşımacılar, taşıyacakları yüklerin özelliğine uygun olduğunu gösteren bilgi ve belgelere dayanarak birinci fıkrada belirtilen yetki belgesinden ayrı olarak ilgili mercilerden ayrıca izin almakla yükümlüdürler." hükmüne,

B. 2918 Sayılı Karayolları Trafik Kanunu'nun

- 34 üncü maddesinin 1 inci fıkrası; "Trafığe çıkarılacak motorlu araçların teknik şartlara uyup uymadığı ekonomik yapıları da, dikkate alınmak suretiyle belirli zamanlarda muayene edilerek tespit edilir." hükmüne,
- 65 inci maddesinin 1 inci fıkrası;
 - "b) Azami yüklü ağırlığın veya izin verilen azami yüklü ağırlığın aşılması,
 - c) (b) bendindeki ağırlıklar aşılmamış olsa bile azami dingil ağırlıkları aşılabilecek şekilde yüklenmesi,
 - d) Karayolu yapısı ve kapasitesi ile trafik güvenliği bakımından tehlikeli olabilecek tarzda yükleme yapılması,
 - e) Tehlikeli ve zararlı maddelerin gerekli izin ve tedbirler alınmadan taşınması, yasaktır.",
 - 91 inci maddesinin 1 inci fıkrası; "İşletenlerin, bu Kanunun 85 inci maddesinin birinci fıkrasına göre olan sorumluluklarının karşılanmasını sağlamak üzere mali sorumluluk sigortası yaptırmaları zorunludur." hükmüne,

amirdir.

Buna göre;

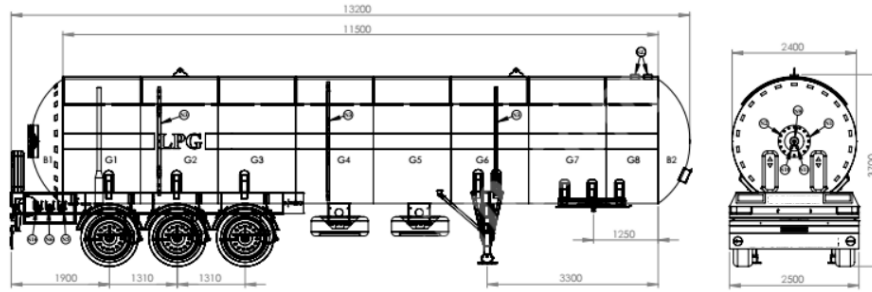
- "LPG taşıyacakların Karayolu Taşıma Yönetmeliğinin 6 ncı maddesi uyarınca "C", "K", ve "L" türü yetki belgesi alması ve yetki belgesi sahiplerinin faaliyetlerinde kullanacağı taşıtlar, yetki belgesi eki taşıt belgesine kaydedilmesi,
- Karayolu Taşımacılık Faaliyetleri Mesleki Yeterlilik Eğitimi Yönetmeliği'nin 6 ncı maddesi uyarınca sürücülerin SRC5 türü mesleki yeterlilik belgesi alması,
- Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Taşınması Hakkında Yönetmelik'in 5 inci maddesi uyarınca taşımacı, dolduran, paketleyen, yükleyen, gönderen, boşaltan, alıcı ve tank-konteyner/portatif tank işletmecilerinin, "Tehlikeli Madde Faaliyet Belgesi" almaları,
- Karayolları Trafik Yönetmeliğinin
 - 98. maddesinde belirlenen Araç Kullanma ve Dinlenme Sürelerine Uyuma Mecburiyeti ve Denetleme Esasları'na göre sürücülerin çalışması,
 - 128 inci maddesinde belirtilen şekilde araçlara yükleme yapılması,
- Araç Muayene İstasyonlarının Açılması, İşletilmesi ve Araç Muayenesi Hakkında Yönetmelik'in 14 üncü maddesi uyarınca araçların her yıl muayeneye tabi tutulması,
- Tehlikeli Madde Taşıyan Araç ve Üst Yapıların Teknik Muayeneleri Hakkında Yönetmelik' 13 üncü maddesi uyarınca araçların her yıl muayeneye tabi tutulması,"

zorunludur.

LPG'nin de içerisinde bulunduğu yanıcı gazlar ve diğer tehlikeli maddelerin taşınması yukarıda anılan Kanun ve Yönetmeliklerin ilgili diğer maddelerine, Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Taşınması Hakkında Yönetmelik ve Tehlikeli Madde Taşıyan Araç ve Üst Yapıların Teknik Muayeneleri Hakkında Yönetmelik'in diğer hükümlerine ve Tehlikeli Malların Karayolu ile Uluslararası Taşımacılığına İlişkin Anlaşması (ADR) hükümlerine de uygun olmak zorundadır.

2.4. LPG Tankeri Özellikleri (LPG Tanker Characteristics)

İşletme basıncı, dökme taşıma araçları üzerindeki LPG tankları için, 1716 kPa (17,5 kgf/cm²)' dir. [10]. Tankların gövde ve kapaklarının imalatında kullanılan çelik sacların kalınlığı tank dış çapının 1/200' ünden az olmamalıdır. Mukavemet hesapları daha ince et kalınlığına müsaade etse de, sac kalınlığı 9 mm'den az olmamalıdır. Bu sacların MPa cinsinden çekme mukavemeti ile kopma uzama yüzdesinin çarpımı en az 102 olmalıdır [15]. Şekil 1'de örnek bir tankerin boyutları gösterilmekte olup; tankerin hacmi 55 m³ ve emniyet valfi çapı 2" (58mm)' dir.



Şekil 1. Örnek bir silindirik LPG tankının boyuna ve enine kesiti ile boyutları [15]

2.5. Kaza Etki Modelleme Çalışmaları (Accident Impact Modeling Studies)

Söz konusu kazanın muhtemel fiziksel etkileri ALOHA yazılımı ve korelasyonlar üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Yazılım ile kaza etki modellemesi

ALOHA yazılımı, kimyasal acil durumlara müdahalede ve acil durumların planlanmasında kullanılan tehlike modelleme programıdır. Gerçek veya potansiyel kazalar hakkında detay bilgilerin girişini sağlayarak farklı tehlikeler için tehlike bölgeleri belirlenmektedir. Kırmızı tehlike bölgesi en kötü tehlike seviyesini, turuncu ve sarı sırasıyla azalan tehlike seviyelerini temsil etmektedir [24].

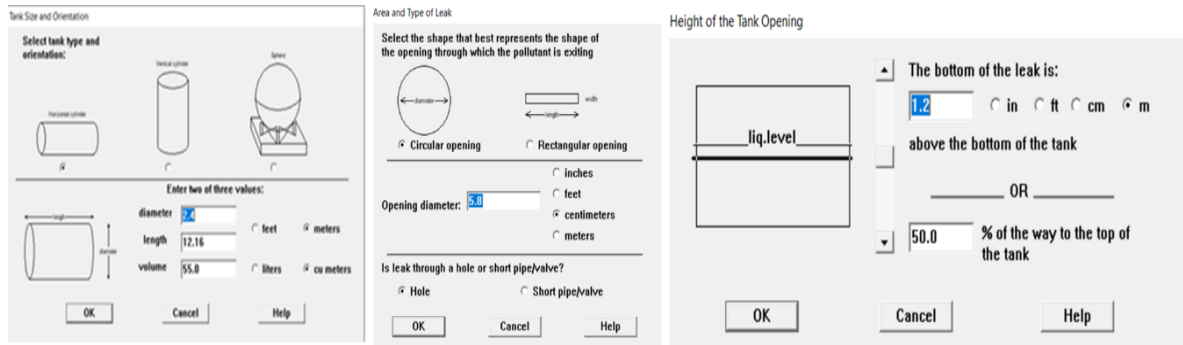
Bir BLEVE' de hem yanıcı hem de yanıcı olmayan sıvılaştırılmış gazlar bulunabilmesine rağmen, yazılım yalnızca yanıcı özellikteki BLEVE' leri modellemektedir. Yaygın bir BLEVE senaryosu, sıvılaştırılmış gazdan oluşan bir konteynerin ateşle ısıtıldığında meydana gelir ve tank parçalanıp bozulana kadar konteyner içindeki basıncı artırır. Kap bozulduğunda, kimyasal, bir patlamayla açığa çıkar. Kap bozulduğunda kimyasal kaynama noktasının üzerindeyse, sıvının bir kısmı veya tamamı ani kaynar, yani anında gaz haline gelir. Kimyasal yanıcı ise, kimyasalın önemli bir miktarı ani kaynadığında ateş topu adı verilen yanan bir bulut oluşturur. Yazılım, ateş topunda tüketilmeyen herhangi bir sıvının havuz yangını oluşturacağını var sayar. Potansiyel BLEVE tehlikeleri arasında, termal radyasyon, ani basınç, tehlikeli parçalar, duman ve yangından kaynaklanan toksik yan ürünler bulunur [16].

Jet yangınları, bir borudan veya tanktan yanıcı bir gaz sızdığına meydana gelir. Bu tür yangınlar için iki yaygın deneysel modelleme yaklaşımı vardır: yanma enerjisinin bir kısmının termal radyasyona dönüştürüldüğü ve yangının merkezinden yayıldığı nokta kaynaklı modeller ile yangının boyutunun ve şeklinin olduğu katı alev modelleridir [16,24].

Parlama/ani yangınlarda üretilen termal radyasyon oldukça geçicidir. Yazılım, ani yangınla ilişkili termal radyasyonu modellemez, bunun yerine ABD EPA'nın (Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı Kimyasal Acil Durum Hazırlık ve Önleme Ofisi, 1999) bulut için alt yanıcılık veya patlayıcı sınırlı tehlike bölgesi ile ilgili yaklaşımını kullanır ve ani yangından kaynaklanan tehlike bölgesinin yakında olduğunu varsayar [16].

Kimyasal kaynak

Kaza raporları temel alınarak iki farklı LPG miktarı (19 ton ve 22ton) üzerinden çalışılmıştır. ALOHA, birçok karışımı modellemede kısıtlıdır. Bu nedenle, LPG' nin %30 propan ve %70 bütan dan oluştuğu karışım dikkate alınarak yüksek içerik bütan üzerinden modelleme yapılmıştır. Kazada tank üzerinde bulunan iki emniyet ventilinden birinin bağlantı noktasından kırıldığı ifade edilmiştir [11]. Hem ALOHA yazılımı kullanılırken hem de korelasyonlar uygulanırken emniyet valfinin tankın üst noktasında ve orta ekseninde olduğu kabul edilmiş; kaza resimlerinden tankın yan yattığı göz önünde bulundurularak kaza anında emniyet valfi yüksekliği tank yarıçapı olan 1,2m ve sızıntıya neden olan delik dairesel formda kabul edilerek modelleme yapılmıştır. Şekil 2'de tank özellikleri, sızıntı türü ve alanı ile sızıntı yüksekliği verilerinin yazılıma girişi ekran görüntüleri yer almaktadır.



Şekil 2. Tank özellikleri, sızıntı türü ve alanı ile sızıntı yüksekliği verilerinin yazılıma işlendiği ekran görüntüleri

Kazanın olduğu nokta koordinatları Google Maps üzerinden 38°30'57"N, 40°33'03"E olarak tespit edilmiştir. Kazanın ağaç ve nüfus yoğunluğunun az olduğu kırsal alanda ve yaklaşık olarak 1000 m rakımda gerçekleştiği görülmüştür.

Atmosferik Koşullar

Kazanın olduğu tarihte, kaza noktasına ait meteorolojik verilerin bulunmaması nedeniyle Diyarbakır Havaalanına ait veriler üzerinden çalışılmıştır. Kazanın kış koşullarında gerçekleşmesi durumunu temsilen seçilen örnek tarih ve kazanın gerçekleştiği tarihteki atmosferik koşullar Tablo 1' de verilmiş ve bu veriler yazılıma işlenmiştir.

Tablo 1. Kazanın olduğu tarih(yaz) ve örnek seçilen tarih(kış) için atmosferik koşullar

	Kazanın olduğu tarih (22/07/014)	Örnek seçilen tarih(08/02/2022)
Hava sıcaklığı	25°C	4,4°C
Rüzgar hızı	2 m/s	4 m/s
Bulutluluk	Açık	Kapalı
Ortam pürüzlülüğü	Kırsal alan	Kırsal alan
Nemlilik	Orta	Orta
Bağıl nem oranı	53%	100 %
Rüzgâr yönü	Kuzey Doğu	Kuzey Doğu
Atmosferik kararlılık sınıfı	B	D

Etkilerin elde edileceği yükseklik	2m	2m
İnversiyon	Yok	Yok

Senaryo Seçimi

Kazaya dair muhtemel tüm fiziksel etkiler modellenmiştir. Basınçlı yanıcı sıvı içeren bir tank senaryo edilmiş ve tanktaki arızaların türü aşağıda sıralanmıştır:

- i) Sızdıran tank, kimyasal atmosfere salınırken yanmaz.
- ii) Sızdıran tank, kimyasal jet yangını olarak yanar.
- iii) BLEVE, tank patlar ve kimyasal, ateş topu içinde yanar.

Korelasyonlar ile kaza etki modellenmesi

BLEVE kazalarında genellikle patlamaların gücü TNT eşdeğerlilik metodu yardımı (Eş. 2.1) ile hesaplanmaktadır [8]. TNT eşdeğerlik yöntemi, patlama bölgesine yakın patlama aşırı basıncının çok gerçekçi sonuçlarını vermektedir [[2]].

$$W_{TNT} = \eta \cdot \frac{M \cdot \Delta H_C}{\Delta H_{TNT}} \quad (2.1)$$

Burada, M; kütle (kg) , ΔH_C ; malzemenin alt ısıl değeri (kJ/kg), ΔH_{TNT} ; patlama enerjisi (4680 kJ/kg) ve η ise patlama verimidir.

Hidrokarbonlar buhar bulutu patlamalarına dahil olan en yaygın maddelerdir. Ancak, oldukça zayıf patlayıcıdır ve açığa çıkan enerjinin sadece küçük bir kısmı patlama dalgasını oluşturmak için kullanılır. Bu oran çeşitli kaynaklarda %1 -10 olarak önerilir, ancak %3 ($\eta=0,03$) genel kabuldür [25]. Daha sonra ölçeklendirilmiş mesafe, d_n (Eş. 2.2) belirlenerek patlamanın tepe basıncı, ΔP (Eş. 2.3) hesaplanır. (P_0 ; atmosfer basıncı (101325 Pa))

$$d_n = \frac{R}{W_{TNT}^{1/3}} \quad (2.2)$$

$$\frac{\Delta P}{P_0} = \frac{1}{d_n} + \frac{4}{d_n^2} + \frac{12}{d_n^3} \quad (2.3)$$

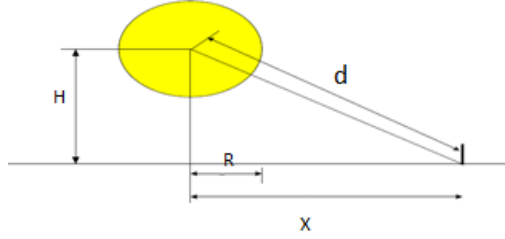
BLEVE ateş topu termal radyasyon etkilerinin belirlenmesinde katı alev modeli kullanılabilir [25]. Bu modelde, ateş topunun maksimum çapı (Eş. 2.4) ve süresi (Eş. 2.5) ile yüksekliği (Eş. 2.6) hesaplanır.

$$D = a \cdot M^b \quad (2.4)$$

$$t = c \cdot M^d \quad (2.5)$$

$$H = 0,75 \cdot D \quad (2.6)$$

Burada D , ateş topunun (m) maksimum çapı; t , ateş topunun maksimum süresi (s) ve M yakıtın kütlesi (kg)'dir. a , b , c , d ise deneysel belirlenmiş birer sabittir [4, 8, 25]. LPG için a , b , c , d sabitleri sırasıyla 6,48; 0,325; 0,825 ve 0,26 olarak kabul edilir [4]. Ateş topunun geometrik gösterimi Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Ateş topunun gösterimi [25]

Emisyon gücü (E) Eş. 2.7 ve radyant ısı fraksiyonu (η) Eş. 2.8 ile hesaplanır [25]. Görüş faktörü Şekil 3'ten yararlanılarak Eş. 2.9 ve Eş. 2.10, atmosferik geçirgenlik Eş. 2.11-13 ile hesaplanır.

$$E = \frac{\eta \cdot M \cdot \Delta H_c}{\pi \cdot D^2 \cdot t} \quad (2.7)$$

$$\eta = 0,0325 \cdot P_{sv}^{0,32} \quad (2.8)$$

(ΔH_c yanma ısısı (kJ/kg), P_{sv} , tankın içindeki basınç (Pa) ve η , radyant ısı fraksiyonu)

$$F_g = \left(\frac{R}{d}\right)^2 = \left(\frac{R}{\sqrt{H^2 + x^2}}\right)^2 \quad (2.9)$$

$$d = \sqrt{H^2 + x^2} \quad (2.10)$$

$$\tau_a = 2,02 \cdot [P_w \cdot (d - R)]^{-0,09} \quad (2.11)$$

$$P_w = H_R \cdot P_{wa} \quad (2.12)$$

$$\ln P_{wa} = 23,18986 - \frac{3816,42}{(T - 46,13)} \quad (2.13)$$

Burada P_w , atmosferdeki suyun kısmi basıncı (Nm⁻²); P_{wa} , atmosfer sıcaklığındaki doymuş su buharı basıncı(Nm⁻²); H_R , atmosferin bağıl nemidir (%). (P_{wa} , atmosferin sıcaklığından elde edilebilir). Nihayetinde termal radyasyon akısı, I(kW/m²), Eş. 2.14 ile hesaplanır.

$$I = E \cdot F_g \cdot \tau_a \quad (2.14)$$

Literatürde, ısı akısının bir fonksiyonu olarak ağırı/acı hissetmeden önce geçen süre(kaçış süresi) araştırılmıştır [26]. Deneysel olarak elde edilen veriler, cilt 0,1 mm yanık derinliğine ve 45° C sıcaklığa ulaştığında bir kişinin acı hissettiğini göstermiş ve bu aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$t_d = (35/I)^{4/3} \quad (2.15)$$

Burada t_d , acı hissedene kadar geçen süredir ve I, kW/ m² cinsinden termal akıdır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Kaza, ALOHA yazılımı ve korelasyonlar ile kazanın olduğu tarihteki ve kış mevsimini temsil eden örnek bir tarihteki atmosferik koşullara göre ilgili kütleler üzerinden ayrı ayrı modellenmiştir. Hesaplamalar yapılırken tank basıncı bilinmediğinden tankın işletme basıncı (1716 kPa) temel alınmıştır [25]. Görgü tanığının ifadesine göre 300 metre mesafedeki otobüste bulunan kişilerin etkilenmesi durumu dikkate alınmıştır [10].

3.1. Yazılım ile Kaza Etki Modellemesi (Accident Impact Modeling with Software)

ALOHA yazılımı ile LPG sızıntısı sonucu olası BLEVE, jet yangını ve buhar bulutu yanabilir alan etkileri modellenmiştir. Yazılım, BLEVE, jet yangınlarından kaynaklanan termal radyasyon tehlikelerini hesaplamak için katı alev modelini kullanır. Parlama yangınlarında ise hava dağılım modelleri kullanılır. Salımdan sonra herhangi bir zamanda gaz konsantrasyonunun LEL(Lower Explosion Limit-Alt Patlama Sınırı)'nin %60'ını aştığı herhangi bir yer, tehlike bölgesine dahil edilir[16]. Farklı madde miktarları üzerinden elde edilen fiziksel etki mesafeleri Tablo 2 ve Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 2. Yazılım ile belirlenen fiziksel etki mesafeleri (19 ton LPG)

Tehlike Bölgesi	Kazanın Olduğu Tarih (Yaz)			Seçilen Tarih (Kış)		
	BLEVE	Jet Yangını	Buhar Bulutu Yanabilir Alan	BLEVE	Jet Yangını	Buhar Bulutu Yanabilir Alan
Kırmızı	347m	37m	170m	358m	26m	75m
Turuncu	489m	56m	-	506m	39m	-
Sarı	763m	89m	415m	789m	61m	214m

Tablo 3. Yazılım ile belirlenen fiziksel etki mesafeleri (22 ton LPG)

Tehlike Bölgesi	Kazanın Olduğu Tarih (Yaz)			Seçilen Tarih (Kış)		
	BLEVE	Jet Yangını	Buhar Bulutu Yanabilir Alan	BLEVE	Jet Yangını	Buhar Bulutu Yanabilir Alan
Kırmızı	363m	37m	170m	375m	27m	78m
Turuncu	513m	56m	-	530m	39m	-
Sarı	799m	89m	418m	827m	61m	222m

Tablo 2 ve 3'te BLEVE ve jet yangını kırmızı, turuncu ve sarı bölge etki mesafeleri sırası ile 10kW/m²: 60saniye içinde potansiyel ölüm; 5 kW/m²: 60 saniye içinde ikinci derece yanıklar; 2 kW/m²: 60saniye içinde acı/ağrı eşik değerlerine karşılık gelmektedir. Buhar bulutu yanabilir alan kırmızı ve sarı etki mesafeleri ise sırasıyla 9600ppm:%60 LEL alev paketçikleri, 1600ppm: %10 LEL değerlerine karşılık gelmektedir. Yanabilir alan için tanımlanan LEL hava içinde olması gereken minimum yanıcı madde buhar oranıdır [24]. Kimyasal miktarı arttıkça BLEVE etkilerinin arttığı, jet yangını ve buhar bulutu yanabilir alan etki mesafelerinde ciddi değişimlerin olmadığı görülmüştür. BLEVE için yazılım, neredeyse ani bir kopma olduğunu ve tanktaki tüm içeriğin ateş topuna katkıda bulunduğunu varsaymaktadır [16]. Kaza analizinde ateş topunun kütlelerine bağlı olarak, ateş topunun maksimum çapı hesaplanmıştır.

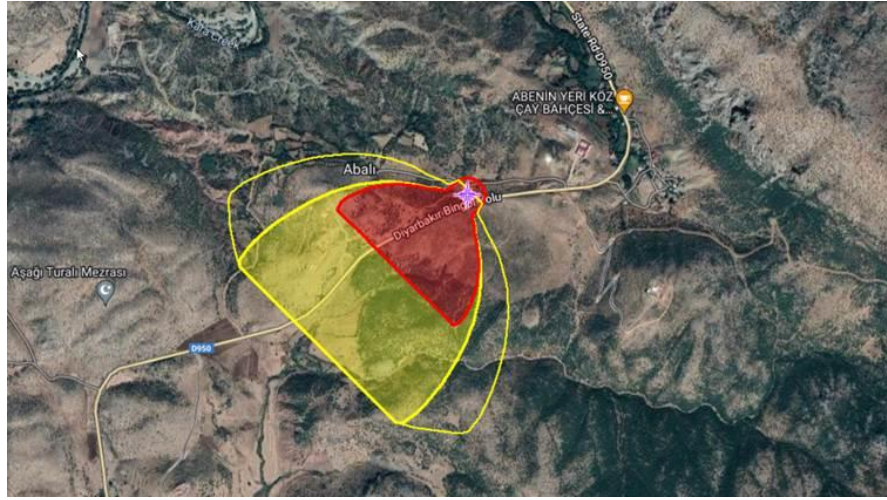
BLEVE, jet yangını ve buhar bulutuna ait elde edilen çeşitli parametreler ise Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Yazılım ile kazaya dair hesaplanan parametreler

		Kazanın Olduğu Tarih (Yaz)	Seçilen Tarih (Kış)	Kazanın Olduğu Tarih (Yaz)	Seçilen Tarih (Kış)
BLEVE	Kütle kaybı (kg)	19 000	19 000	22 000	22 000
	Ateş topu çapı (m)	155	155	163	163
	Yanma süresi (s)	11	11	11	11
JET YANGINI	Alev uzunluğu (m)	33	23	33	23
	Yanma hızı (kg/dk)	1 290	605	1 290	614
	Yanma süresi (dk)	34	57	36	*
	Toplam yanan kütle (kg)	17 607	15 580	20 533	18 552
BUHAR BULUTU YANABİLİR ALAN	Sızıntı hızı (kg/dk)	1 290	567	1 290	613
	Sızıntı süresi (dk)	34	57	36	*
	Salınan kütle (kg)	17 607	15 580	20 533	18 552

* ALOHA Süreyi 1 saat ile sınırlandırmıştır.

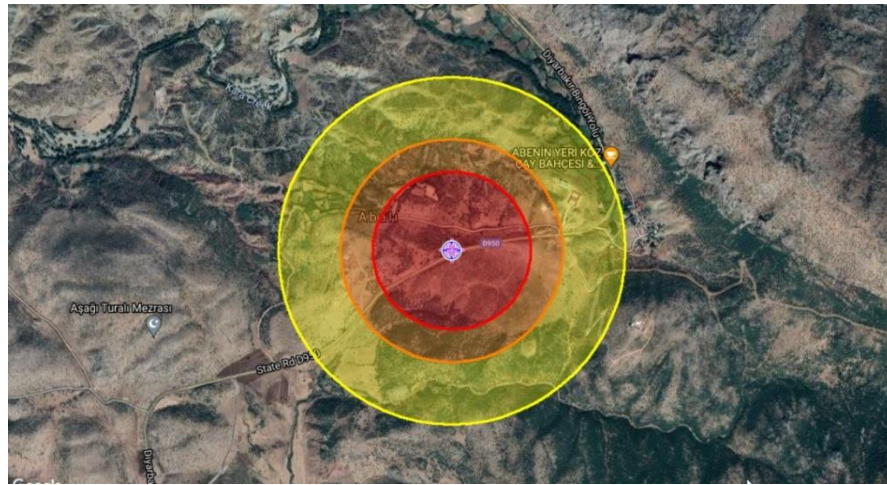
Tablo 4' ten madde miktarı arttıkça BLEVE ateş topu çapının arttığı, atmosferik koşulların ise çap değeri üzerinde bir etkisinin olmadığı görülmüştür. BLEVE durumunda, patlama hemen hemen salınım noktasında meydana geldiğinden ve atmosfere dağılım önemsiz olduğundan, yaz ve kış durumunu temsilen seçilen atmosferik koşullar etki mesafelerini değiştirmemiştir [27]. BLEVE yanma süresinin atmosferik koşullar ve madde miktarı ile değişmediği belirlenmiştir. Yazılım, BLEVE için havuz yangını ve ateş topu kaynaklı termal radyasyon etkilerini belirlemektedir. BLEVE sonucu patlama ve yangın yan ürünlerinin toksik etkilerini dikkate almamaktadır [16]. Jet yangını alev uzunluğu ve yanma hızının madde miktarı ile değişmediği, ancak kış koşullarında daha az olduğu görülmüştür. Jet yangını yanma süresi ve toplam yanan kütle hem madde miktarı hem de atmosferik koşullardan etkilenmiştir. Jet yangını, belirli bir hızda salınan yanıcı bir gaz veya buharın yanmasından kaynaklanan türbülanslı difüzyon alevleridir. Jet yangınlarında, akış türbülansı nedeniyle alev büyük miktarda hava girer. Tipik olarak, bu yangınlarda havanın hacmi stokiometrik yanma için gerekli olanın beş katına kadar çıkabilir [13, 25]. Buhar bulutu yanabilir alanı sızıntı hızı atmosferik koşullardan; sızıntı süresi ve salınan kütle atmosferik koşullar yanında madde miktarından etkilenmiştir. Buhar bulutu, salınım sonrası hemen tutuşmayan buharın ortamda dağılımı ile ilgilidir. Buharın içerdiği basınç enerjisi, kinetik enerjiye dönüştürülür. Bu esnada buharın yoğunluğu, basıncı ve sıcaklığı değişir [25]. Özellikle buhar bulutu yanabilir alanı burada potansiyel parlama yangını temsil etmektedir. Elde edilen tehlike alanlarının MARPLOT gösterimi Şekil 4' te ayrı ayrı verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4. Tehlike alanlarının MARPLOT programı ile gösterimi (a) Buhar bulutu (b) Jet yangını (c) BLEVE

Şekil 4' ten BLEVE' nin, ilgili kazanın hakim sonucu olduğu bir kez daha görülmüştür. Literatürde, BLEVE kazalarının en sık karayolu taşımacılığında görüldüğü ve bu kazalara dahil olan tehlikeli kimyasalın en çok LPG olduğu belirtilmektedir [[4], 6, 7]. Söz konusu kazada aracın devrilmesi nedeni ile LPG tankının darbeye bağlı arızalanması meydana gelmiştir. Darbe etkisi ile BLEVE mekanizmasına bağlı olarak sıvılaştırılmış gaz hızla buharlaşmış basınç yükselmiş ve patlama etkisi ile vanaların olduğu tankın üst kısmı ayrılarak iki parçaya bölünmüştür ve bu patlama tankı paramparça etmemiştir. Silindirik tanklar söz konusu olduğunda, ilk çatlak genellikle aksel bir doğrultuyu izlemektedir [6, 28]. Sonuç analizleri yorumlarının nitel gözlemler yanında daha çok metrik değerlere dayandırılması önemlidir. Çünkü bu çalışmalar deterministik bir yaklaşıma dayanır. Olay yeri görgü tanıkları ifadelerinde hem nitel hem de nicel gözlemlere bir arada önem verilmelidir. BLEVE mekanizması sonucu ortama salınan buhar muhtemelen düşük enerji yoğunluğuna sahip bir kaynak (sigara vb.) ile tutuşmuş ve ateş topu meydana getirmiştir. Ateş topu BLEVE' ye bağlı gelişen bir yangın türüdür [29]. "BLEVE zamanının" kesin olarak bilinmediği, birkaç saniye ile birkaç saat arasında değişim gösterdiği çeşitli kaynaklarda belirtilmektedir [7, 25, 29]. Ortamda yeterince büyük miktarlarda buhar birikmesi ve salınan bu buharın tamamını tutuşturacak nitelikte bir enerji kaynağının ortamda bulunması ancak VCE' a yol açabilir. Gerçekleşen VCE' da yine BLEVE' nin bir başka sonucu olacaktır [25]. Görgü tanıklarının patlama sesi duyması, buhar bulutu gözlemi, ateş topu gözlemi ile 300m' lik mesafede etkilenme yorumları birlikte dikkate alındığında kazaya karışan olayın BLEVE olduğu bir kez daha söylenebilir. BLEVE' nin ateş topu ile ilişkisi, mekanik etkileri termal etkiler ile birleştiren bir kaza meydana getirmiştir.

3.2. Korelasyonlar ile Kaza Etki Modellemesi (Accident Impact Modeling with Correlations)

Kazanın yazılım ile modelleme çalışmaları, BLEVE etkilerinin baskın olduğunu ve kazanın gerçek etki mesafelerinin BLEVE fiziksel etkileri ile uyumlu olduğunu göstermiştir. Bu nedenle BLEVE' ye yönelik ilgili korelasyonlar uygulanarak (Eş. 2.1-2.14) çeşitli parametreler hesaplanmış, Tablo 5' te sunulmuştur.

Tablo 5. Korelasyonlar ile kazaya dair hesaplanan parametreler

Parametre	19 ton LPG	22 ton LPG
W_{TNT}	5602,56kg	6487,18kg
d_n	4,6149m/kg ^{1/3}	4,6117 m/kg ^{1/3}
ΔP	0,5266bar	0,5272bar
D	159,38m	167,06m
t	10,69s	11,10s
H	119,46m	125,29m
E	360,27	365,03
F_g	0,061	0,066
τ_a	Kazanın olduğu tarihte:0,6557 Seçilen tarihte:0,6994	Kazanın olduğu tarihte:0,6578 Seçilen tarihte:0,7015
I	Kazanın olduğu tarihte:14,41 kW/m ² Seçilen tarihte:15,37 kW/m ²	Kazanın olduğu tarihte:15,85 kW/m ² Seçilen tarihte:16,90 kW/m ²
t_d	Kazanın olduğu tarihte:3,27s Seçilen tarihte:2,99s	Kazanın olduğu tarihte:2,88s Seçilen tarihte:2,64s

*Kazanın olduğu tarihte ve seçilen tarihte sırasıyla P_w parametresi 1640,31 ve 802,954 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5' ten yazılım ve korelasyon ile elde edilen yanma süresi ve ateş topu çaplarının birbiri ile uyumlu olduğu (fark < %10) görülmüştür. Bu durum yazılım ve korelasyonların aynı modele (nokta kaynak modeli) dayandığının bir sonucudur. Korelasyonlar ile yazılımın modellemeye yetersiz kaldığı patlama basınçları da hesaplanabilmiştir. Ayrıca yaklaşık 3 saniyelik bir kaçış süresi belirlenmiştir. Madde miktarı arttıkça patlama basıncı, ateş topu yüksekliği, ateş topu çapı, ateş topu süresi ve termal radyasyon değerlerinin arttığı görülmüştür. Ateş topunun çapı, süresi ve yüksekliğinin tankerde bulunan yanıcı madde miktarı ile doğru orantılı olduğu literatürde de belirtilmektedir [4]. Kış mevsimini temsilen seçilen atmosferik koşullarda daha yüksek termal radyasyon değerleri elde edilmiştir. Elde edilen tüm termal radyasyon değerleri ölümcül eşik değerinden (8kW/m²) yüksektir. Hesaplanan yaklaşık 7,6 psia mertebesindeki basınç ortamdaki yapıların yıkılması eşiğine ulaşmadığını (>8psia) ve ölümcül etkilerin oluşmayacağını

göstermiştir [24]. Bu nedenle, kazada yaşanan can kayıplarının BLEVE termal radyasyon etkilerinden kaynaklandığı söylenebilir. Hesaplanan termal radyasyonun ($\approx 15 \text{ kW/m}^2$) yapılar üzerinde etkisi incelendiğinde ise tahta malzemeler için kritik radyasyon yoğunluğuna erişildiği ve yüzeyle temas etmeden alevle tutuşmanın gerçekleşebileceği söylenebilir [30].

Bu kaza analizi, kazanın kırsal alan yerine şehir içerisinde yer alan karayolu üzerinde gerçekleşmesi halinde daha büyük faciaların ortaya çıkacağını göstermektedir. Bu nedenle, tehlikeli maddelerin şehir içi geçişlerinin daha dikkatli ve özenli yapılmasını sağlayacak şekilde teknik çalışmalar ve mevzuat çalışmalarının yapılmasının önemli olduğu düşünülmektedir. Ülkemiz tehlikeli madde taşımacılığı kazalarına yönelik spesifik verilerin temini/kaydı ve analizi ile kazaların frekanslarının bilinmesi, daha kapsamlı sonuçlar sağlayan analizlerin (QRA-Kantitatif Risk Analizi, FTA-Hata Ağacı Analizi vb.) yapılabilmesini sağlayacaktır [[6]].

4. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Kazaların yangın, patlama ve toksik yayılım gibi fiziksel etkilerinin modellenmesi olası diğer kazaların önlenmesi/azaltılmasına katkı sağlayacağı gibi kazaların insanlara ve çevreye vereceği zararların da azaltılmasına/önlenmesine yardımcı olacaktır. Ayrıca, kazalara güvenli bir şekilde müdahale edilebilecek mesafeler belirlenerek müdahale ekiplerinin de güvenliği sağlanmış olacaktır. Sıralanan unsurlar dikkate alındığında, kaza etki modellemelerinin acil durum planlamalarına önemli girdiler sağlayacağı söylenebilir.

Çalışmada, hem 22 ton LPG hem de 19 ton LPG miktarı üzerinden yazılım ile yapılan modelleme sonuçlarının görgü tanıklarının nitel ve nicel ifadelerini birlikte doğruladığı belirlenmiştir. Aynı kazanın kış mevsimini temsilen seçilen bir tarihte olması durumu her iki miktardaki LPG'ye göre yeniden yazılım ile modellenmiştir. Kış koşullarında BLEVE etki mesafelerinin arttığı, jet yangını ve buhar bulutu yanabilir alanı etki mesafelerinin azaldığı görülmüştür. Kazaya karışan tehlikeli maddenin cinsi ve miktarı ile atmosferik koşulların kaza sonuçlarına doğrudan etki ettiği belirlenmiştir. Aynı model denkliklerini temel aldıkları için korelasyonlar ile elde edilen sonuçlar yazılım sonuçları ile uyumlu bulunmuştur. Korelasyon ile basınç etkileri ve kaçış süresi gibi ilave parametreler de belirlenebilmiştir. Kazanın ölümcül etkilerinin termal radyasyon kaynaklı olduğu yazılım ve korelasyonlar ile gösterilmiştir. Kazanın BLEVE ile başlayıp sonrasında UVCE ile devam etmesinin de ihtimal olduğu söylenebilir.

İlgili kaza gerçek verileri ile yazılım, modelleme sonuçları dikkate alındığında, tehlikeli maddelerin muhtemel can ve çevre kayıplarını önlemek için karayolu taşımacılığında yerleşim yerleri içerisinde geçişler esnasında tüm sürüş ve trafik kurallarına azami derecede riayet edilmesi gerektiği söylenebilir. Nüfus yoğun alanlarda taşımacılık güzergâhının mümkün ise alternatif güzergâhlara (kırsal, az yoğun alanlar vb.) aktarılmasının önemi görülmektedir. Ayrıca bu güzergâhlarda yer alan mevcut yapılarda ve kaza etkilerini artırabilecek yeni yapı inşaatlarında ilgili etki mesafeleri göz önüne alınarak koruyucu/iyileştirici önlemlerin alınması önem arz etmektedir.

Bu çalışmaya konu olan LPG tankeri patlaması kazasının, çeşitli kaynaklarda sürücünün kontrolünü kaybetmesinin neden olduğu kabul edilmiştir. Ancak, patlamaya neden olan ateşleme kaynağının birkaç nedenden biri olabileceğine dair varsayımlar ileri sürülmüştür [11, 12]. Kazaya uğrayan araçlar (çekici ve yarı römork) hakkında, imalat bilgileri ve mevzuat hükümlerine ilişkin bilgi ile sürücünün tehlike madde taşımacılığı faaliyetlerine yönelik eğitim alıp almadığı ve çalışma sürelerine dair herhangi bir bilgi tespit edilmemiştir [11-13]. Bu tür tehlikeli madde taşımacılığı kazalarının önlenmesine yönelik olarak sürücünün taşınan tehlikeli maddeler konusunda yeterli eğitimi alması, taşıma esnasında çalışma ve dinlenme sürelerine uyumu sağlanmalıdır. Tankerin tehlike madde taşınmasına uygun malzeme ve yöntemle imal edilmesi, bu tür kazaların önlenmesinde büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Duan, Z., Ren, T., Ding, G. (2017). Experimental and modeling studies on the transient pressurization in response to boiloff vapor recondensation in liquefied gas storage tanks. *Experimental Thermal and Fluid Science* 88, 93-102.

- [2] Bariha, N., Mishra, I. M., Srivastava, V. C. (2016). 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.
- [3] Wang, K., Hu, Q., Qian, X., Li, M., Shi, T. (2022). Cause analysis and damage mechanism of explosive destruction with case investigation involving LPG tank trailer. *Engineering Failure Analysis* 133, 1-27.
- [4] Dhurandher, B. K., Kumar, R., Dhiman, A. (2015). Impact Assessment of Thermal Radiation Hazard from LPG Fireball. *Procedia Earth and Planetary Science* 11, 499 – 506.
- [5] Mishra, K.B.(2016). Multiple BLEVE's and fireballs of gas bottles: Case of a Russian road carrier accident. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 41, 60-67.
- [6] Hemmatian, B., Casal, J., Planas, E., Rashtchian, D. (2019). BLEVE: The case of water and a historical survey. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 57, 231–238.
- [7] Planas, E., Pastor, E., Casal, J., Bonilla, J.M. (2015). Analysis of the boiling liquid expanding vapor explosion (BLEVE) of a liquefied natural gas road tanker: The Zarzalico accident. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 34, 127-138.
- [8] İnternet: https://www.kmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=1725, Son Erişim Tarihi: 04.02.2022
- [9] Zengin, Y., Dursun, R., İçer, M., Gündüz, E., Durgun, H.M., Erbatur, S., Damar, Ö., Güloğlu, C. (2015). Fire Disaster Caused By LPG Tanker Explosion At Lice In Diyarbakır (Turkey): July 21, 2014. *Burns* 41 (6), 1347-1352.
- [10] İnternet:<https://www.aksam.com.tr/guncel/tanker-faciasinin-bilirkisi-raporu-tamamlandi/haber-340778>, Son Erişim Tarihi: 27.12.2021.
- [11] İnternet:http://www1.mmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=39824&tipi=1&sube=6#.Yf2Uf-pBxPY, Son Erişim Tarihi: 04.02.2022.
- [12] İnternet: <https://www.haberler.com/lice-de-tanker-patladi-70-yarali-6287850-haberi/>, Son Erişim Tarihi: 27.12.2021.
- [13] Synčka, F., Čulíka, K., Rievaja, V., Gaňa, J. (2019). Liquefied Petroleum Gas as an Alternative Fuel. 13th International Scientific Conference on Sustainable, Modern and Safe Transport (TRANSCOM 2019), Slovakia. 527-534.
- [14] İnternet: KILIÇ, A. LPG Özellikleri Ve Tehlikeleri. URL: http://www.yangin.org/dosyalar/lpg_ozellikleri_ve_tehlikeleri.pdf, Son Erişim Tarihi: 27.12.2021.
- [15] Türk Standartları Enstitüsü (1995). “TS 1445 Sıvılaştırılmış Petrol Gazları (LPG)-Taşıma Kuralları”.
- [16] ALOHA Kullanım Kılavuzu, (2007).
- [17] 4925 Sayılı Karayolu Taşıma Kanunu (10.07.2003).
- [18] 2918 Sayılı Karayolları Trafik Kanunu (18.10.1983).
- [19] Karayolu Taşıma Yönetmeliği (08.01.2008).
- [20] Karayolları Trafik Yönetmeliği (17.04.2015).
- [21] Karayolu Taşımacılık Faaliyetleri Mesleki Yeterlilik Eğitimi Yönetmeliği (28.03.2018).
- [22] Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Taşınması Hakkında Yönetmelik (18.06.2022).
- [23] Tehlikeli Madde Taşıyan Araç ve Üst Yapıların Teknik Muayeneleri Hakkında Yönetmelik (27.05.2016).
- [24] Çetinyokuş S. (2017). Sonuç Analizi ile Belirlenen Etki Mesafeleri Üzerine Atmosferik Seçimlerin Etkisi (ALOHA Yazılımı), Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17: 209-217.
- [25] Casal, J. (2017). Evaluation of the Effects and Consequences of Major Accidents in Industrial Plants. 2nd Ed., Elsevier.
- [26] Quintiere J.G., Harkleroad, M. (1984). New Concepts for Measuring Flame Spread Properties, NBSIR 84-2943. National Bureau of Standards.
- [27] Alfatesha, M.A., Radiah D., Biaka, A. (2019). Analysis of Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion (BLEVE) Due To Loss of Containment for Liquefied Petroleum Gas (LPG) Road Tankers. *Journal of Occupational Safety and Health*, 16(2):11-19.
- [28] İnternet: https://www.safteng.net/images/BLEVE-Cause_and_Effects.pdf, Son Erişim Tarihi: 18.10.2022.

- [29] Guidelines for Evaluating Process Plant Buildings for External Explosions and Fires by Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineers, appendix A, Explosion and Fire Phenomena and Effects, (1996).
- [30] Mcdevitt, C. A., C. K. Chan, F. R. Steward, K. N. Tennankore (1990). Initiation Step of Boiling Liquid Expanding Vapor Explosions. *Journal of Hazardous Materials*, 25:169–180.